

Projektgesellschaft C+G Papier GmbH, Hennef

## **Entwicklung eines Verfahrens zur Gewinnung von Gras als Rohstoff und Verarbeitung für die Herstellung von Papierprodukten unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus einer nachhaltigen Wertschöpfungskette**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem Az: 30990/01 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



von

Frank Cruse

Dr. Wolfram Dietz

Martin Höller

Sabine Szafera

**Hennef, Mai 2015**



Projektgesellschaft C+G Papier GmbH, Hennef

## **Entwicklung eines Verfahrens zur Gewinnung von Gras als Rohstoff und Verarbeitung für die Herstellung von Papierprodukten unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus einer nachhaltigen Wertschöpfungskette**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem Az: 30990/01-23 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



von

Frank Cruse

Dr. Wolfram Dietz

Martin Höller

Sabine Szafera

**Hennef, Mai 2015**



**Bezugsquelle:**  
**Projektgesellschaft C+G Papier GmbH**  
**Reiserstraße 5**  
**53773 Hennef**

**Dieses Papier besteht zu 35% aus Gras.**



**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>30990/01</b>	Referat	<b>23</b>	Fördersumme	<b>167.037 €</b>
<b>Antragstitel</b>	<b>Entwicklung eines Verfahrens zur Gewinnung von Gras als Rohstoff und Verarbeitung für die Herstellung von Papierprodukten unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus einer nachhaltigen Wertschöpfungskette</b>				
<b>Stichworte</b>	Produkt, Verfahren				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>12 Monate</b>	<b>19.05.2014</b>	<b>18.05.2015</b>	<b>1</b>		
Zwischenberichte					
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Projektgesellschaft C+G Papier GmbH Reisertstr. 5 53773 Hennef			Tel 02242 9257-0 Fax 02242 9257-70	
				Projektleitung Frank Cruse	
				Bearbeiter Frank Cruse, Uwe D'Agnone, Dr. Wolfram Dietz, Martin Höller, Sabine Szafera	
<b>Kooperationspartner</b>	Papiertechnische Stiftung (PTS) Primaer Str. 37, 01809 Heidenau				
	Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn Klein-Altendorf 2, 53359 Rheinbach				

### **Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Die drei Kooperationspartner verfolgen mit dem vorliegenden Antrag einen interdisziplinären Ansatz zur Entwicklung eines Rohstoffes aus Gras für die Papierindustrie und seine Verarbeitung für die Herstellung von Papier(-produkte) unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus einer nachhaltigen Wertschöpfungskette von der Rohstoffgewinnung bis zum Herstellungsprozess in der Papierindustrie.

Durch die Marktänderungen im Papiersektor wird der Bedarf an hochwertigem Altpapier auch bei gleichbleibender oder ansteigender Recyclingquote nicht abzudecken sein, so dass der verstärkte Einsatz von Frischfasern erforderlich sein wird. Die Projektgesellschaft C+G Papier GmbH sieht hierin eine Chance für die umweltverträgliche Produktentwicklung begründet.

### **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Zur Überprüfung der Realisierungsmöglichkeiten dieser Idee, hat das Unternehmen C+G eine Reihe von Versuchen und Tests durchgeführt, die die grundsätzliche Machbarkeit belegen konnten. Das Projekt umfasst einen analytischen und einen verfahrenstechnischen Ansatz, beinhaltet papiertechnologische Untersuchungen, landwirtschaftliche Rohstoffanalysen, eine Beschaffungs- und Logistikkonzeption, eine Nachhaltigkeitsprüfung und mündet in eine Pilotanwendung zur Überprüfung der Machbarkeit unter Praxisbedingungen, sowie eine Verwertungsanalyse der Ergebnisse.

Die Arbeiten gliedern sich in acht Arbeitspakete und wurden für eine Projektlaufzeit von 12 Monaten ausgelegt.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Im AP I wurde das Segment der Verpackungspapiere als Wachstumsmarkt identifiziert und der Einsatz des neuen Rohstoffes in Karton und Pappe aufgrund des bestehenden Anforderungsprofils als Referenzmarkt ausgewiesen. Im AP II erfolgte eine weiterführende Produktentwicklung des neuen Rohstoffes durch die Erprobung unterschiedlicher Verfahrenstechniken sowie Heuanalysen. Im Ergebnis konnten verschiedene Verarbeitungsvarianten sowie die stoffliche Nutzung für die Papierherstellung nachgewiesen werden.

In AP III wurde das technologische Potenzial von Gras-Stoff für die Papierherstellung geprüft. Alle Grasmaterialien wiesen 20-25 % wasserlösliche Bestandteile auf. Für den Einsatz in der Papierherstellung impliziert dies Materialverluste und bei dauerhaftem Einsatz eine mögliche Beeinträchtigung der Runnability und eine erhöhte Belastung der Abwasserreinigungsanlage. Mit allen untersuchten Proben ergab sich ein Grobrückstand von mindestens 10 %. Mit den aufbereiteten Gras-Stoffen war eine Laborblattbildung ohne Auffälligkeiten im Vorgehen machbar. Das spezifische Volumen der Prüfblätter nahm durch Gras-Einsatz deutlich zu. Die Modellierung mehrlagiger Kartone belegte eine Steigerung der Biegesteifigkeit durch Einbringen von mechanisch aufbereitetem Gras. In dieser Anwendung ist das papiertechnologische Potenzial zu sehen. Nach den Ergebnissen kann Gras klassisch zur Volumenbildung eingesetzten Holzstoff in gleicher Menge ersetzen.

Die sehr gute Volumenbildung von Gras eröffnet einen papiertechnologisch förderlichen Einsatz in Karton und Pappe, insbesondere in der Mittellage von mehrlagigem Karton (Faltschachtelkarton FSK).

Im Rahmen des AP IV wurde ein erster Entwurf für eine nachhaltige Beschaffungsstrategie erarbeitet, um für die industrielle Fertigung Versorgungssicherheit zu realisieren. Hierbei konnte der Ansatz „aus der Region für die Region“ nachgewiesen werden.

Die Arbeiten zur Vorverarbeitung des Rohstoffes sowie seines Transportes zu den Unternehmen der Papierindustrie im AP V haben ergeben, dass die Zerkleinerung und Pelletierung einen maßgeblichen Einfluss auf die Eigenschaften des Rohstoffes und seine Einsatzmöglichkeiten bei der Papierherstellung nimmt. In diesem Zusammenhang wurde eine erste Anlagenkonzeption für eine Pilotanlage erstellt, die durch einen modularen Aufbau anforderungsgerecht modifiziert werden kann. Des Weiteren machten die Arbeiten deutlich, dass für den Transport des Rohstoffes vielfältige Optionen bestehen, die an den Anforderungen der jeweiligen Papierfabrik ausgerichtet werden können. Im AP VI erfolgte eine Ökobilanz von grashaltigem Karton. Im Ergebnis kann aus Sicht der umweltbezogenen Bewertung der anteilige Einsatz von Graspellets zur Herstellung von Karton als eine Alternative zu Holzstoff und Altpapier bieten.

Aufgrund des Interesses verschiedener Papierfabriken und mit deren Unterstützung konnten mehrere Maschinentests in unterschiedlichen Papierbereichen durchgeführt werden. Die Pilotanwendungen im AP VII konnten alle vollständig in der Praxis durchgeführt werden und haben damit die Tauglichkeit des Rohstoffes aus Gras für eine industrielle Fertigung bewiesen. Die Anforderung, die Grobbestandteile zu reduzieren, bestätigte sich übereinstimmend. Ein erster Lösungsansatz konnte bereits durch die Uni Bonn ermittelt werden. Die von der PTS ermittelten CSB-Belastungen des Wasserkreislaufes einer Papierfabrik durch wasserlösliche Bestandteile wurden ebenfalls bestätigt. Zur Reduzierung dieser Belastung und des damit verbundenen Materialverlustes bedarf es weiterer Untersuchungen in enger Kooperation mit Industriepartnern. In der Verwertungsanalyse wurden abschließend die Stärken und Schwächen, sowie Chancen und Risiken der Entwicklungsarbeiten für den neuen Rohstoff aus „Gras“ zusammengefasst.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Bisherige Teilergebnisse wurden bereits auf zwei Seminaren der PTS zum Thema „Alternative Rohstoffe“ in 2014 und 2015 vorgetragen. Nach Abschluss des Projektes werden diverse Pressemitteilungen veröffentlicht. Weiterhin vorgesehen sind Teilnahmen an Messen sowie eine Teilnahme am Deutschen Verpackungspreis 2015. Auch besteht bereits eine Anfrage vom Deutschlandfunk für eine Reportage zum Thema „Graspapier“.

## **Fazit**

Bei dem vorliegenden Vorhaben handelte es sich um ein Pilotprojekt mit Modellcharakter, das dem Nachweis der grundsätzlichen Machbarkeit der verfolgten Produktinnovation sowie der verfahrenstechnischen Umsetzung diente. Dieser Nachweis konnte erbracht werden. Der neue Rohstoff auf Basis von „Gras“ kann grundsätzlich als dritte Komponente, neben Altpapier und Zellstoff/ Holzschliff, verstanden werden und in unterschiedlichen Kombinationsvarianten bei der Papierherstellung zukünftig Einsatz finden. Um die Chancen und Einsatzmöglichkeiten am Markt nutzen zu können, müssen vor allem die Verfahrenstechniken zur bedarfsgerechten Aufbereitung des Rohstoffes durch weitere Entwicklungsarbeiten verbessert und die Zusammenarbeit mit Unternehmen der Papierindustrie forciert werden.



---

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VIII
1 Zusammenfassung.....	1-1
2 Einleitung .....	2-3
3 Bedarfsanalyse und Anforderungsprofil.....	3-7
3.1 Charakterisierung des Marktes .....	3-7
3.2 Anforderungen an den Einsatz von Gras .....	3-8
4 Produktentwicklung Rohstoff.....	4-12
4.1 Anforderungsprofil .....	4-12
4.1.1 Heuqualität .....	4-12
4.1.2 Inhaltsstoffe .....	4-13
4.1.3 Kornklassenverteilung .....	4-13
4.1.4 Auflösezeit.....	4-14
4.2 Heuanalyse .....	4-14
4.2.1 Qualitätsbestimmung mittels Sinnenprüfung.....	4-14
4.2.2 Bonitur.....	4-16
4.2.3 Analyse der Inhaltstoffe .....	4-17
4.3 Verfahrenstechnik.....	4-18
4.3.1 Zerfaserung .....	4-19
4.3.2 Zerkleinerung .....	4-19



---

4.3.2.1	Hammermühle.....	4-20
4.3.2.2	Schneid- und Mahlmühle.....	4-21
4.3.2.3	Kollermühle .....	4-22
4.3.3	Kompaktierung .....	4-23
4.3.3.1	Brikettierung .....	4-23
4.3.3.2	Pelletierung .....	4-24
4.4	Pelleteigenschaften .....	4-28
4.4.1	Pelletfestigkeit (PDI) .....	4-28
4.4.2	Schüttdichte.....	4-28
4.4.3	Auflösezeit.....	4-29
4.5	Fazit zum Arbeitspaket II „Produktentwicklung des Rohstoffs“ .....	4-30
5	Potenzialbewertung.....	5-32
5.1	Material und Methoden .....	5-32
5.1.1	Proben.....	5-32
5.1.2	Zerfaserung .....	5-33
5.1.3	Nassmahlung .....	5-33
5.1.4	Abtrennung der Grobbestandteile.....	5-33
5.1.5	Analytik und Blattbildung .....	5-33
5.2	Ergebnisse und Diskussion.....	5-34
5.2.1	Suspendierbarkeit.....	5-34
5.2.2	Wasserlöslicher Anteil und CSB-Abgabe.....	5-36
5.2.3	Abrasivität.....	5-37
5.2.4	Einfluss der Mahlung auf die Papiereigenschaften .....	5-37
5.2.5	Kreislaufwasserführung .....	5-39



---

5.2.6	Sortierung suspendierter Pellets; Einfluss von Feinstoff .....	5-39
5.2.7	Nassmahlung .....	5-41
5.2.8	Spaltwiderstand .....	5-44
5.2.9	Rauheit .....	5-45
5.2.10	Vergleich mit Holzstoff .....	5-46
5.3	Zusammenfassung und Fazit zum Arbeitspaket III „Potenzialbewertung“ .....	5-47
6	Flächennutzung und Versorgungssicherheit .....	6-48
6.1	Entwicklung des Heupreises .....	6-48
6.2	Verfügbarkeit von Grünflächen und deren Nutzung .....	6-50
6.2.1	Verfügbarkeit von Grünflächen .....	6-51
6.2.2	Nutzung der Grünflächen .....	6-52
6.3	Ein Beschaffungskonzept als Basis der Versorgungssicherheit .....	6-56
6.3.1	Anforderungen und Risiken .....	6-56
6.3.2	Beschaffungskonzept .....	6-56
6.4	Fazit zum Arbeitspaket IV „Flächennutzung und Versorgungssicherheit“ .....	6-60
7	Vorverarbeitung und Transport .....	7-62
7.1	Entwicklung eines Konzeptes für eine Heu-Aufbereitungsanlage .....	7-62
7.2	Test im Technikum der Firma Kahl .....	7-66
7.3	Überarbeitetes Anlagenkonzept .....	7-69
7.4	Fazit zum Arbeitspaket V „Vorverarbeitung und Transport“ .....	7-72
8	Ökobilanz und Nachhaltigkeitsprüfung .....	8-73



---

8.1	Zielprodukt und Szenarien.....	8-73
8.2	Ergebnisse der Modellierung der Kartonherstellung .....	8-73
8.3	Ergebnisse der Ökobilanz.....	8-73
9	Pilotanwendung / Machbarkeitstests .....	9-75
9.1	Anwendungen in der Papierindustrie .....	9-75
9.2	Gras-Wellpappenrohpapier.....	9-76
9.3	Gras-Karton für Faltschachteln (GD2) .....	9-78
9.4	Grafische Graspapiere.....	9-81
9.4.1	Maschinentest Köhler .....	9-81
9.4.2	Maschinentest Cordier.....	9-83
9.5	Anwendungstest Schuhkarton aus Gras-Vollpappe .....	9-83
9.6	Anwendungstest Wellpappkarton aus Graswellpappe .....	9-86
9.7	Fazit zum Arbeitspaket VII „Pilotanwendung / Machbarkeitstest“ .....	9-88
10	Verwertungsanalyse.....	10-89
10.1	SWOT-Analyse.....	10-92
10.1.1	Stärken-Schwächen-Analyse.....	10-92
10.1.2	Chancen-Risiken-Analyse .....	10-94
10.1.3	SWOT-Matrix.....	10-96
10.1.4	Kombinierte SWOT-Matrix.....	10-97
10.2	Weitere Vorgehensweise und Ausblick.....	10-98
	Abkürzungsverzeichnis .....	I
	Literatur- und Quellenverzeichnis .....	III

---



---

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Anteile an der Gesamtproduktion 2013 und Mengenentwicklung der Papier-Hauptsorten in Deutschland.....	3-7
Abb. 2:	Anteile von NDF, ADF und Rohfaser, am Trockenmassegehalt der Heuproben. ....	4-18
Abb. 3:	Anteile der Siebfractionen im Mahlgut der Hammermühle, in Abhängigkeit der Siebgröße.....	4-21
Abb. 4:	Anteile der Siebfractionen im Mahlgut der Schneid- und Mahlmühle, in Abhängigkeit der Siebgröße.....	4-22
Abb. 5:	Anteile der Siebfractionen im Mahlgut der Kollermühle, in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser der Flachmatrize.....	4-23
Abb. 6:	Arbeitsweise Kollergangpresse mit Ringmatrize.....	4-26
Abb. 7:	Arbeitsweise Kollergangpresse mit Flachmatrize .....	4-26
Abb. 8:	Vergleich der Siebfractionen von Mahlgut und Pellet, nach Pelletierung mit der Ringmatrizenpresse.....	4-27
Abb. 9:	Vergleich der Siebfractionen von Mahlgut und Pellet, nach Pelletierung mit Flachmatrizenpresse.....	4-28
Abb. 10:	Pelletfestigkeit (PDI) und Schüttdichte der produzierten Pellets.....	4-29
Abb. 11:	Auflösezeit der produzierten Pellets .....	4-30
Abb. 12:	Original-Graspellets und Rückstand nach 25 min Desintegration.....	5-35
Abb. 13:	Rückstandsmenge von Graspellets nach 25 min Zerkleinerung im Desintegrator bei verschiedenen Stoffdichten .....	5-35
Abb. 14:	Rückstand von Grasbrickets nach 30 min Zerkleinerung im Technikum-Pulper.....	5-36
Abb. 15:	Wasserlöslicher Anteil (links) und CSB-Abgabe (rechts) verschiedener Proben .....	5-36
Abb. 16:	Einfluss verschiedener Mahlzeiten auf Zugfestigkeit und Volumen bei anteiligem Einsatz von aufbereiteten Gras-Stoffen in Papier auf Altpapier-Basis.....	5-38
Abb. 17:	Einfluss verschiedener Mahlzeiten auf Biegesteifigkeit und modellierte dreilagige Biegesteifigkeit .....	5-39
Abb. 18:	Haindl-McNett-Fractionen von zwei Proben .....	5-40
Abb. 19:	Rückstandsmenge auf Schlitzplatte 0,15 mm im Vergleich von Haindl-McNett-Fractionierung und Wuchtschüttler .....	5-40



---

Abb. 20:	Einfluss der Abtrennung von Grobbestandteilen im Wuchtschüttler auf ausgewählte Papiereigenschaften anhand zweier Proben .....	5-41
Abb. 21:	Mikroskopie-Bilder von nass und trocken gemahlene Proben .....	5-42
Abb. 22:	Einfluss der Nassmahlung auf ausgewählte Papiereigenschaften.....	5-43
Abb. 23:	Einfluss des Einsatzes der aufbereiteten Gras-Stoffe auf den Spaltwiderstand .....	5-44
Abb. 24:	Visualisierung der Oberflächentopographie eines Blattes aus Standardfaserstoff und eines Blattes mit 30 % Grasstoff-Anteil.....	5-45
Abb. 25:	Vergleich ausgewählter Papiereigenschaften bei anteiligem Einsatz von Holzschliff HS und von aufbereitetem Gras-Stoff am Beispiel von GP013.....	5-46
Abb. 26:	Durchschnittlicher Heupreis der Jahre 2009 – 2015 .....	6-49
Abb. 27:	Veröffentlichte Minimal-/Maximalpreise für Heu in Rheinland-Pfalz, im Zeitraum 2009 – 2015 .....	6-50
Abb. 28:	Landwirtschaftliche Fläche in Rheinland-Pfalz, untergliedert in Dauergrünland und Ackerland, für den Zeitraum 1960-2014 .....	6-52
Abb. 29:	Entwicklung der Raufutterfresser in Rheinland-Pfalz von 1950 – 2014, untergliedert in Rinder, Milchkühe, Schafe und Einhufer .....	6-54
Abb. 30:	Zusammensetzung der Bestände an Raufutterfressern, in den Jahren 1950, 1980 und 2013, nach Nutztierart.....	6-55
Abb. 31:	Anteil der unterschiedlichen Raufutterfresser an der Gesamt-RGV in Rheinland-Pfalz, im Jahr 2010.....	6-55
Abb. 32:	Zusammenarbeit mit dem MR / Lieferantenkonzept .....	6-57
Abb. 33:	Aufgabenverteilung im Lieferantenkonzept.....	6-58
Abb. 34:	Anlagenkonzept der Firma Kahl .....	7-63
Abb. 35:	Anforderungen an eine Aufbereitungsanlage .....	7-64
Abb. 36:	Auszug aus dem Testfragebogen der Firma Kahl .....	7-68
Abb. 37:	Auszug aus dem Testbericht der Firma Kahl.....	7-69
Abb. 38:	Auszug aus dem Anlagenkonzept der Firma Weidmann / Komponenten.....	7-70
Abb. 39:	Auszug aus dem Anlagenkonzept der Firma Weidmann / Graspellets.....	7-71
Abb. 40:	Auszug aus dem Anlagenkonzept der Firma Weidmann / Aufstellplan .....	7-71
Abb. 41:	Technische Werte WPR, Delkeskamp Verpackungswerke.....	9-77
Abb. 42:	Prognose der technischen Werte für den Maschinentest, Fa. Weig .....	9-78



---

Abb. 43:	Aufbau eines Kartons aus Altpapier für Lebensmittelverpackungen, CVUA Stuttgart .....	9-79
Abb. 44:	Technische Werte des Gras-Kartons, Fa. Weig .....	9-80
Abb. 45:	Aussortierte Grobbestandteile, Fa. Weig .....	9-81
Abb. 46:	Graspapier der Fa. Köhler, Greiz .....	9-82
Abb. 47:	Qualitätsbericht (unterliegt dem Betriebsgeheimnis), Köhler Greiz .....	9-82
Abb. 48:	Auszug aus der Versuchsdokumentation, Köhler, Gengenbach .....	9-84
Abb. 49:	Schuhkarton aus Graspappe, Otto Gruppe, Hamburg .....	9-84
Abb. 50:	Auszug aus dem Prüfbericht Nr. 0831/14 des BFSV, Hamburg .....	9-85
Abb. 51:	Auszug aus dem PTS Bericht Nr. AB020202, München .....	9-86
Abb. 52:	Wellpappkarton aus Graspapier, Delkeskamp Verpackungwerke, Nortrup .....	9-87
Abb. 53:	Technische Werte Wellpappkarton aus Graspapier, Delkeskamp Nortrup .....	9-87



---

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Produktion von Papier, Karton und Pappe nach Sorten .....	3-8
Tab. 2:	Allgemeine Anforderungen an den Einsatz von neuen Rohstoffen und Einstufung eines anteiligen Einsatzes von Gras .....	3-9
Tab. 3:	Anforderungen wichtiger Papiersortenbereiche an den Einsatz von neuen Rohstoffen und Einstufung eines anteiligen Einsatzes von Gras .....	3-10
Tab. 4:	Ergebnis der Qualitätsbestimmung mittels Sinnenprüfung .....	4-15
Tab. 5:	Brikettierparameter und Auflösezeit.....	4-24
Tab. 6:	Hergestellte Pellets nach Zerkleinerungs- und Kompaktierungsmethode .....	4-25
Tab. 7:	Zur Blattbildung eingesetzte Rohstoffe GP Gras-Pellets, GB Gras-Briketts.....	5-32
Tab. 8:	Charakterisierungsmethoden für Faserstoffe.....	5-34
Tab. 9:	Messverfahren an Rapid-Köthen-Prüfblättern .....	5-34



---

## 1 Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt verfolgte einen interdisziplinären Ansatz zur Entwicklung eines Rohstoffes aus Gras für die Papierindustrie und seine Verarbeitung für die Herstellung von Papier(-produkte) unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus einer nachhaltigen Wertschöpfungskette von der Rohstoffgewinnung bis zum Herstellungsprozess in der Papierindustrie.

Das Projekt umfasst einen analytischen und einen verfahrenstechnischen Ansatz, beinhaltet papiertechnologische Untersuchungen, landwirtschaftliche Rohstoffanalysen, eine Beschaffungs- und Logistikkonzeption, eine Nachhaltigkeitsprüfung und mündet in Pilotanwendungen zur Überprüfung der Machbarkeit unter Praxisbedingungen, sowie eine Verwertungsanalyse der Ergebnisse. Die Arbeiten gliedern sich in acht Arbeitspakete und wurden für eine Projektlaufzeit von 12 Monaten ausgelegt.

Das wesentliche Ergebnis der Arbeiten ist, dass der neue Rohstoff auf Basis von „Gras“ grundsätzlich als dritte Komponente, neben Altpapier und Zellstoff / Holzschliff, genutzt werden und in unterschiedlichen Kombinationsvarianten bei der Papierherstellung zukünftig Einsatz finden kann.

Mit den aufbereiteten Gras-Stoffen war eine Laborblattbildung ohne Auffälligkeiten im Vorgehen machbar. Das spezifische Volumen der Prüfblätter nahm durch Gras-Einsatz deutlich zu. Die Modellierung mehrlagiger Kartone belegte eine Steigerung der Biegesteifigkeit durch Einbringen von mechanisch aufbereitetem Gras. Die sehr gute Volumenbildung von Gras eröffnet einen papiertechnologisch förderlichen Einsatz in Karton und Pappe, insbesondere in der Mittellage von mehrlagigem Karton (Faltschachtelkarton FSK).

Mit den eingesetzten Aufbereitungsverfahren erwies sich der Anteil an Grobbestandteilen im Rohstoff noch zu hoch und auch die wasserlöslichen Bestandteile führten noch zu einer Belastung der Wasserkreisläufe bei der Papierherstellung. Erste Lösungsansätze konnten jedoch ermittelt werden. Durch das erarbeitete Beschaffungskonzept konnte eine Versorgungssicherheit für die Unternehmen nachgewiesen werden.

Mit Unterstützung verschiedener Papierfabriken konnten mehrere Maschinentests in unterschiedlichen Papierbereichen durchgeführt werden. Die Pilotanwendungen konnten alle vollständig in der Praxis durchgeführt werden und haben damit die Tauglichkeit des Rohstoffs aus Gras für eine industrielle Fertigung bewiesen.

Ergänzend zu der bereits vorliegenden vergleichenden Bilanz der Rohstoffe, Altpapier, Zellstoff und Gras wurde im Rahmen dieses Projektes eine Ökobilanz für das Produkt Faltschachtelkarton (GD2) erstellt. Der Karton mit einem Grasanteil von ca. 20 % weist



---

dabei gute Ergebnisse neben dem Karton aus 100 % Altpapier auf und aufgrund der Regionalität entstehen entsprechende ökologische Vorteile, wenn Holzschliff durch Gras substituiert wird.

Ausgehend von den ermittelten Ergebnissen und der Bewertung ihrer Verwertungsmöglichkeiten wird eine Weiterentwicklung des neuen Rohstoffes angestrebt. Schwerpunkte werden die Verfahrenstechnik zur bedarfsgerechten und planbaren Aufbereitung des Rohstoffes sowie der experimentelle Einsatz in der industriellen Praxis bilden. Parallel hierzu ist die Grundlagenforschung am Rohstoff „Gras“ voranzutreiben, um die stofflichen Nutzungsmöglichkeiten weiter zu konkretisieren. Des Weiteren sind die papiertechnologischen Optionen zu bestimmen, die die verfahrenstechnische Kompatibilität verbessern. Aktuell sind bereits weitere Maschinentest vorgesehen.

Projektinitiator ist die Projektgesellschaft C+G GmbH; ihr oblag auch die Projektleitung und -koordination. Kooperationspartner sind die Papiertechnische Stiftung (PTS) und der Forschungsbereich Nachwachsende Rohstoffe der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn.

Das Entwicklungsprojekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Az.: 30990/01 gefördert.



---

## 2 Einleitung

Das Pilotvorhaben weist entlang der gesamten Wertschöpfungskette, von der Rohstoffgewinnung bis zur Verarbeitung des neuen Rohstoffes aus Gras in papierbasierten Produkten, umweltrelevante Aspekte auf. Durch stoffliche Nutzung einer schnell nachwachsenden heimischen Pflanze können vorhandene Flächenressourcen effizient genutzt werden aber auch Anteile des verwendeten Altpapiers als Sekundärfaserstoff bei der Papierherstellung durch den neuen Faserstoff ersetzt werden. Hierdurch sind die mit dem Altpapier verbundenen Verunreinigungen/Belastungen anteilig umweltentlastend zu vermeiden.

Eine bereits vor Projektbeginn durchgeführte „Screening-Ökobilanz“, die Primärfaserstoff, Recyclingfaser und Graspellets zur Papierherstellung hinsichtlich mehrerer Wirkungskategorien miteinander verglichen hat, ergab mit Fokus auf den sogenannten Kohlenstofffußabdruck (engl. Carbon Footprint) eine Empfehlung für die Verwendung von Graspellets in der Papierproduktion. Ebenfalls positiv fiel der Vergleich hinsichtlich des fossilen Ressourcenverbrauchs, des kumulierten Energieaufwandes nicht erneuerbarer Energien sowie des kumulierten Wasserverbrauchs aus. Auch bei der Beschaffung des Rohstoffes „aus der Region“ können wesentliche Transportvorgänge im Vergleich zur aktuellen Situation eingespart werden, wodurch direkte Einsparungen im Energieaufwand für die Rohstoffbeschaffung zu erwarten sind. Dies gilt insbesondere unter Berücksichtigung der Import- und Exportprozesse, die sowohl für die Beschaffung des Rohstoffes „Holz“ als auch für die Versorgung der Papierindustrie mit dem aus Holz gewonnenen Primärfaserstoff notwendig sind, während der neue Rohstoff als dritte Komponente im Herstellungsprozess die Beschaffung auf „kurzen Wegen“ ermöglicht.

Ergänzend zu der vergleichenden Bilanz der Rohstoffe Altpapier, Zellstoff und Gras wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes eine Ökobilanz für das Produkt Falt-schachtelkarton (GD2) erstellt. Der Karton, mit einem Grasanteil von ca. 20 %, weist dabei gute Ergebnisse neben dem Karton aus 100 % Altpapier auf und aufgrund der Regionalität entstehen entsprechende ökologische Vorteile, wenn Holzschliff durch Gras substituiert wird.

Für die Herstellung von Papier und papierbasierten Produkten (z.B. Kartonagen und Hygienepapiere) der unterschiedlichsten Qualitäten werden national und international zu einem überwiegenden Anteil (95%) aus Holz gewonnene Primär- und Sekundärfaserstoffe genutzt. Bei den Primärstoffen handelt es sich um Rohstoffe, die erstmals in der Papierproduktion eingesetzt werden; bei den Sekundärstoffen um Recyclingstoffe (Altpapier). Für die Primärstoffe finden Nadelhölzer wie Fichte, Tanne, Kiefer und Lärche Verwendung. Laubhölzer wie Buche, Pappel, Birke und Eukalyptus werden mit



---

ersteren vermischt, um die Papiereigenschaften zu verändern. Dahingegen werden Harthölzer ausschließlich für hochwertige Papiersorten als Rohstoff verwandt.

Da zur Papiergewinnung grundsätzlich alle cellulosehaltigen Stoffe geeignet sind, wird mit dem Vorhaben eine anteilige Abkehr von der Holznutzung angestrebt, um die zunehmend wertvoller werdende Ressource „Baum“ anteilig durch schneller wachsende Grassorten zu ersetzen und bereits vorhandene Flächen schonend zu nutzen.

Trotz langer Tradition in der Papierherstellung und der nach wie vor vielfältigen Verwendung von Papierprodukten, blieben grundlegende Innovationen in der Rohstoffgewinnung und Verarbeitung bisher aus. Holzfasersetzebstoffe konnten sich aus unterschiedlichsten Gründen nicht durchsetzen und finden aktuell nur sehr eingeschränkt Einsatz. Dies lässt sich einerseits darauf zurückführen, dass die Ersatzstoffe einen zu hohen Ligninanteil aufweisen und andererseits auf die nicht hinreichend zur Verfügung stehenden Mengen, um eine kontinuierliche Versorgungssicherheit aufrechterhalten zu können.

Sowohl der industrielle Einsatz eines aus Gras bzw. Heu hergestellten Rohstoffes in der Papierherstellung als auch die Verfahrensmöglichkeiten der Verarbeitung des Rohstoffes sowie die Analyse der unterschiedlichen Eignungs- und Qualitätskriterien in Bezug auf die Papierproduktion und die Endprodukte kennzeichnen den innovativen Charakter des hier durchgeführten Vorhabens.

Die hohe Nachfrage nach Primär- und Sekundärfaserstoffen als Papierrohstoff verbunden mit der Abnahme der Altpapierqualität führen zur Suche nach alternativen Faserrohstoffen. Aufgrund der zum Teil ungenügenden Verfügbarkeit einzelner Altpapier-Sorten muss entweder auf schlechtere Sorten ausgewichen werden, was die Qualität des Endprodukts und die Produktivität verschlechtert; oder es werden höherwertige Primärfaserstoffe anteilig zugeführt.

Die Verwendung von Einjahrespflanzen besitzt zwar eine lange Tradition. In Europa sind Gräser, Stroh oder Bambus aber bisher noch keine Massenrohstoffe für die Papierherstellung. Aus tropischen Gräsern hergestellte Papiere besitzen jedoch außerhalb Europas eine größere Bedeutung. So ist z.B. Miscanthus wegen seiner hohen Gehalte an Cellulose und Hemicellulose nach Cellulose-Aufschluss geeignet für die Herstellung von Karton. In Kanada und Skandinavien wurden Gräser auch als mögliche Substitute für Holzzellstoff bei der Papierherstellung identifiziert. Nicht-Holzstoffe auf der Basis von Gräsern werden in der Regel einem Zellstoff-Aufschluss unterworfen. Nicht chemisch aufbereitetes Gras wird in Europa nur in kleinen Mengen bei der Herstellung von Designpapieren eingesetzt.

Für Gras bzw. Heu wurden der ideale Erntezeitpunkt und die optimale Heuzusammensetzung zur Futternutzung intensiv erforscht und entsprechende Gerätschaften zur Heuwerbung und -aufbereitung sind dem Stand der Technik entsprechend vorhanden. Neu und innovativ im Rahmen des Projektes ist der Verwendungszweck von Gras bzw. Heu als grundlegender Papierrohstoff.



Zielsetzung des vorliegenden Projektes ist die Entwicklung eines Rohstoffes aus Gras für die Papierindustrie und seine Verarbeitung für die Herstellung von Papier sowie Papierprodukte unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus einer nachhaltigen Wertschöpfungskette von der Rohstoffgewinnung bis zum Herstellungsprozess in der Papierindustrie. Das Pilotvorhaben umfasst einen analytischen und einen verfahrenstechnischen Ansatz, der durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachrichtungen verfolgt wurde.

Initiator und Koordinator dieses Projektes ist die Projektgesellschaft C+G Papier GmbH. Im Rahmen ihrer unternehmerischen Tätigkeit entstand die Produktidee, Papier unter Verwendung des Rohstoffes Gras herzustellen. Das Unternehmen startete erste Vorarbeiten und Testläufe, um die grundsätzliche Machbarkeit der Produktinnovation zu verifizieren. Als Kooperationspartner beteiligten sich an den Projektarbeiten die Papiertechnische Stiftung (PTS) und der Forschungsbereich „Nachwachsende Rohstoffe“ der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung wurden 12 Laufzeitmonate benötigt und die Arbeiten gliederten sich in acht Arbeitspaketen.

Die Ermittlung eines Anforderungsprofils für den nachhaltigen Einsatz von Gras bei der Papierherstellung sowie eines Referenzmarktes und die papiertechnologische Potenzialbewertung für den neuen Rohstoff erfolgte durch die PTS. Die Analyse der stofflichen Nutzungsmöglichkeiten von Gras/Heu sowie der Einsatz unterschiedlicher Verfahrenstechniken bei der Aufbereitung oblag der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn. Ein Beschaffungskonzept als Basis der Versorgungssicherheit für die Industrie, die Entwicklung einer Anlagenkonzeption für die Aufbereitung von Gras/Heu, die Analyse unterschiedlicher Möglichkeiten des Transportes sowie die Durchführung mehrerer Pilotanwendungen und Maschinentests wurden von der Projektgesellschaft C+G Papier GmbH als Aufgabenstellungen bearbeitet. Die Erstellung einer Ökobilanz und die Nachhaltigkeitsprüfung wurden in Auftrag geben und extern durchgeführt. Eine abschließende Verwertungsanalyse der Ergebnisse erfolgte ebenfalls im Auftrag der C+G Papier GmbH durch die SALCO GmbH.

Im Einzelnen umfasste die Aufgabenstellung die folgenden Arbeiten:

- Ermittlung der Anforderungen an den neuen Faserrohstoff für die Papierherstellung sowie seines Substitutionspotenzials.
- Ermittlung der Qualitäts- und Eignungskriterien von etablierten Grünlandbeständen für die Papierherstellung.
- Ermittlung der Basispapiereigenschaften und Weiterverarbeitungsmöglichkeiten des neuen Papierrohstoffes durch den Einsatz unterschiedlicher Verfahrenstechniken.



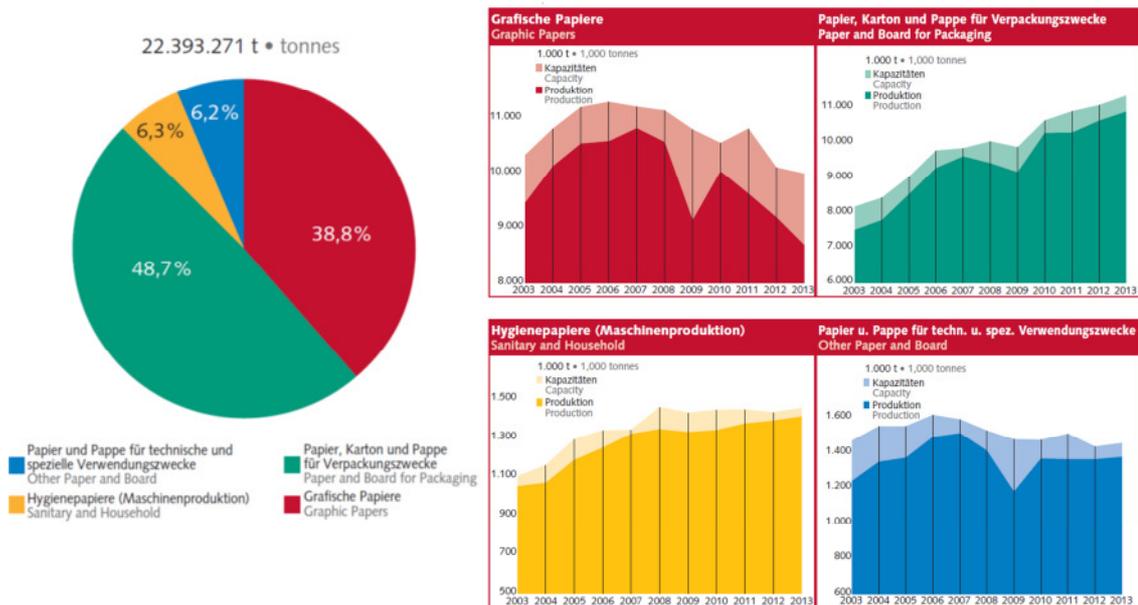
- 
- Erzeugung eines ersten Papierpilotproduktes unter Verwendung des neuen Rohstoffes.
  - Erarbeitung einer Logistikkonzeption und Bewertung der Versorgungssituation.
  - Erstellung einer Verfahrenskonzeption für die Vorverarbeitung des Rohstoffes unter Berücksichtigung eines ökologisch effizienten Transportes.
  - Erstellung einer weitergehenden Nachhaltigkeitsprüfung (Ökobilanz) für ein gras-haltiges Referenzprodukt.
  - Anwendung der Ergebnisse in Form erster Pilotanwendungen in der Praxis sowie die Durchführung von Maschinentests als der Beleg der Machbarkeit und
  - Bewertung der Verwertungschancen und -risiken in Form einer SWOT-Analyse.

### 3 Bedarfsanalyse und Anforderungsprofil

Arbeitspaket I (AP) gibt eine Marktübersicht der Papierherstellung. Ein Anforderungsprofil für den nachhaltigen Einsatz von Gras wird definiert und ein Referenzmarkt wird ermittelt.

#### 3.1 Charakterisierung des Marktes

Abb. 1 und Tab. 1 geben grundlegende Größenordnungen und Entwicklungen der Papierherstellung in Deutschland wieder. Die grafischen Papiere verzeichnen seit Jahren einen stetigen Rückgang, wogegen Hygienepapiere und besonders Verpackungspapiere in der Produktionsmenge zulegen. Die größten Sortengruppen innerhalb der Verpackungspapiere sind Pack- und Wellpappenpapiere mit 7,8 Mio. t/a und Maschinenkarton mit 2,5 Mio. t/a. Maschinenkarton umfasst Faltschachtelkarton und sonstigen Maschinenkarton (Graukarton)<sup>1</sup>.



**Abb. 1: Anteile an der Gesamtproduktion 2013 und Mengenentwicklung der Papier-Hauptsorten in Deutschland**

Quelle: VDP14, S. 20

<sup>1</sup> Vgl. VDP14

**Tab. 1: Produktion von Papier, Karton und Pappe nach Sorten**

in t • in tonnes	2012	2013
Grafische Papiere • Graphic Papers	9.201.561	8.698.104
Holzhaltige Papiere • Mechanical Papers	5.933.350	5.705.880
Zeitungsdruckpapier Standard • Newsprint Standard	1.718.076	1.749.534
LWC Papiere • LWC Papers	1.835.326	1.722.215
Andere Presse- und Katalogpapiere (SC, HWC, ...) Other Magazine and Catalogue Papers (SC, HWC, ...)	1.959.224	1.817.900
Andere holzhaltige Papiere (gestrichen/ungestrichen) Other mechanical Papers (coated/uncoated)	185.233	182.466
Recyclingpapiere • Recycling Papers	235.491	233.765
Holzfreie Papiere • Woodfree Papers	3.268.211	2.992.224
Gestrichene Druck- und Schreibpapiere • Coated Woodfree Papers	1.644.029	1.463.372
Ungestrichene Druck- und Schreibpapiere • Uncoated Woodfree Papers	1.624.182	1.528.852
<b>Papier, Karton und Pappe für Verpackungszwecke Paper and Board for Packaging</b>	<b>10.644.261</b>	<b>10.902.655</b>
Pack- und Wellpappenpapiere • Case Materials	7.567.675	7.803.275
Maschinenkarton • Carton Board	2.508.644	2.532.160
Wickelpappe • Millboard	47.498	47.128
Verpackungspapiere • Wrappings	520.444	520.092
Hygiene-Papiere (Maschinenproduktion) • Sanitary and Household	1.392.213	1.413.894
<b>Papier, Karton und Pappe für technische und spezielle Verwendungszwecke Other Paper and Board</b>	<b>1.364.744</b>	<b>1.378.618</b>
Tapetenrohpapier • Wall Paper Base	156.962	174.122
Rohpapier für z.B. Fotopapier, Dekorfolien Base paper for e.g. Photography or Decor films	495.590	478.333
Andere Papiere und Pappen für technische und spezielle Zwecke Others	712.192	726.163
<b>Papier, Karton und Pappe insgesamt • Total Paper and Board</b>	<b>22.602.779</b>	<b>22.393.271</b>

Quelle: VDP14, S. 38

### 3.2 Anforderungen an den Einsatz von Gras

In Tab. 2 sind wichtige Kriterien für den Einsatz von neuen Rohstoffen in der Papierherstellung zusammengestellt. Die Erfüllung dieser Kriterien durch Gras wurde anhand von Informationen eingestuft, die bereits vorlagen oder im Projekt erarbeitet wurden. Die Einstufung ist orientierend und kann für konkrete Papierprodukte innerhalb der Sortenbereiche abweichen.

Zu einzelnen Kriterien ist anzumerken: Für den Einsatz in der Papierherstellung notwendige Partikelgrößen lassen sich durch Mahlung erzielen, wobei ein Aussortieren von verbleibenden groben und harten Bestandteilen notwendig ist (vgl. Kap.5.2.6). Eine Inhibierung des biologischen Abbaus in Abwasserreinigungsanlagen durch Inhaltsstoffe des Grases ist nicht anzunehmen, da wasserlösliche Grasinhaltsstoffe fermentierbar sind<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Vgl. Gra04, S. 169

Papierqualitätsanforderungen für einzelne Papiersortenbereiche gibt Tab. 3 wieder. Für Wellpappenrohpaper, Faltschachtelkarton und Vollpappe wurde angenommen, dass der Einsatz nicht in Decklagen erfolgt, an die optische und Oberflächen-Anforderungen gestellt werden.

Glätte oder Rauheit sind auch relevant für den Einsatz in Faltschachtelkarton und Papppe, wenn die Produkte gestrichen oder bedruckt werden sollen und das Grasmaterial die Papieroberfläche beeinflusst. Der Gras-eigene Geruch kann in sensiblen Anwendungen zum Ausschluss führen, insbesondere im Lebensmittel- und Kosmetikbereich.

**Tab. 2: Allgemeine Anforderungen an den Einsatz von neuen Rohstoffen und Einstufung eines anteiligen Einsatzes von Gras**

<b>Prozessfähigkeit</b>	Suspendierbarkeit	2	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Anforderung von Gras erfüllt?</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Bewertungsstufen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>nein</td> </tr> <tr> <td>0,1</td> <td>veraussichtlich nein→prüfen</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>teilweise</td> </tr> <tr> <td>1,1</td> <td>veraussichtl. teilweise→prüfen</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>ja</td> </tr> <tr> <td>2,1</td> <td>vermutlich ja→prüfen</td> </tr> <tr> <td>kA</td> <td>keine Angabe→prüfen</td> </tr> </tbody> </table>	Anforderung von Gras erfüllt?		Bewertungsstufen		0	nein	0,1	veraussichtlich nein→prüfen	1	teilweise	1,1	veraussichtl. teilweise→prüfen	2	ja	2,1	vermutlich ja→prüfen	kA	keine Angabe→prüfen
	Anforderung von Gras erfüllt?																				
	Bewertungsstufen																				
	0	nein																			
	0,1	veraussichtlich nein→prüfen																			
	1	teilweise																			
	1,1	veraussichtl. teilweise→prüfen																			
	2	ja																			
	2,1	vermutlich ja→prüfen																			
	kA	keine Angabe→prüfen																			
Partikelgröße	2																				
Wasserlöslicher Anteil	1																				
CSB-Abgabe	1																				
Inhibierung biol. Abbau	2,1																				
Klebrigkeit	2																				
Ladung/Reaktivität	2																				
Keimeintrag	kA																				
Abrasivität/Härte	1																				
<b>Verfügbarkeit/Logistik</b>	Verfügbarkeit	Saisonalität	1																		
		Regionalität/Entfernung	kA																		
		Aufwand Vorbehandlg.	kA																		
	Transport	Transportaufwand	2																		
		Lagerbarkeit	2																		
		Dosierbarkeit	2																		
<b>Recht</b>	Abfallrecht	2																			
	Chemikalienrecht	2																			
	Patentlage	2																			
<b>Umwelt</b>	Umwelt/Nachhaltigkeit	Carbon Footprint	1,1																		
	Recycling	Rezyklierbarkeit	1																		

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

Da hinsichtlich der Verfügbarkeit des neuen Rohstoffes keine Angaben für die Charakterisierung der allgemeinen Anforderungen vorlagen, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit hierzu gesonderte Analysen vorgenommen (vgl. Kapitel 6.2).

**Tab. 3: Anforderungen wichtiger Papiersortenbereiche an den Einsatz von neuen Rohstoffen und Einstufung eines anteiligen Einsatzes von Gras**

Eigenschaftsbereich	Kriterium	Anforderung Relevanz 0-2					Anforderung von Gras erfüllt 0-2					
		ZDP	WPR	FSK	Vollpappe	Tissue/AP	ZDP	WPR	FSK	Vollpappe	Tissue/AP	
Optische Eigenschaften	Weißer	2	0	0	0	0	0					
	Färbung	1	0	0	0	0	0					
	Opazität	2	0	0	0	0	2					
	Glanz	2	0	0	0	0	kA					
	Vergilbung	2	0	0	0	0	kA					
Papierspezifikationen/ weitere	Volumen	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2,1	
	Asche	0	0	0	0	2					kA	
	Wasseraufnahme/ Benetzbarkeit	2	1	2	2	2	kA	2,1	2,1	2,1	1,1	
	Feuchtdehnung	2	0	0	0	2	kA				kA	
	Planlage	1	2	2	2	0	kA	kA	kA	kA		
	Luftdurchlässigkeit	2	2	0	0	0	kA	kA				
	Be- und Verdruckbarkeit	2	1	1	1	0	kA	kA	kA	kA		
	Glätte/Rauheit	2	1	2	2	0	0	1	2	2		
Oberflächen- eigenschaften Festigkeiten	Rupffestigkeit	2	0	0	0	0	kA					
	Zugfestigkeit	2	2	1	0	1	1	0	2		2,1	
	Bruchdehnung	1	0	0	0	2	kA				2,1	
	Durchreißfestigkeit	2	2	0	0	1	0	0			1,1	
	Nassfestigkeit	0	0	0	0	2					2,1	
	Biegesteifigkeit	1	0	2	2	0	2		2	2		
	Spaltfestigkeit	0	2	2	2	0		1	1	1		
	Berstfestigkeit	0	2	0	0	0		1				
	Ring-, Streifen-, Flachstauchwiderstand	0	2	0	0	0		1				
	Weichheit	0	0	0	0	2					1,1	
	Stauben	2	1	0	0	2	kA	kA			kA	
	Mikrobiologie/ Verträglichkeit	Keimbelastung	1	2	2	2	2	kA	kA	kA	kA	kA
		Geruch, Geschmacksübergang	1	2	2	1	2	1,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lebensmittelkontakt		0	2	2	1	0		kA	kA	kA		
Allergiepotenzial		1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	

Relevanz: 0 nicht relevant, 1 teils relevant, 2 relevant; Bewertung der Anforderungen s. vorige Tabelle  
ZDP Zeitungsdruckpapier, WPR Wellpappenroh papier, FSK Faltschachtelkarton, /AP aus Altpapier;

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

Folgende Folgerungen sind aus Tab. 2 und Tab. 3 zu ziehen: Die Anwendung von mechanisch aufbereitetem Gras für grafische Papiere mit Weißer- und Schmutzpunktanforderungen ist nicht möglich. Dennoch ist der Einsatz in speziellen grafischen Anwendungen, bei denen die Graszugabe bewusst visuell hervortritt, möglich und vielversprechend – etwa in Image- und Korrespondenzpapieren und Papieren für Werbezwecke. Solche Papiere können einen erheblichen Marktpreis erzielen; die absetzbare Tonnage ist jedoch gering.

Zugfestigkeit und verwandte Festigkeiten (Berstfestigkeit, Ring-, Streifen- und Flachstauchwiderstand) sind für Wellpappenroh papier (WPR) wesentlich. Dabei lässt das Festigkeitspotenzial von Altpapier über die Jahre nach. Mechanisch aufbereitetes Gras kann hier keinen Beitrag leisten (Kap. 5.3). Dies ist beim Einsatz von Gras in Wellpappenroh papier nachteilig.



---

Die Weichheit ist eine wichtige Anforderung für die meisten Tissue-Sorten. Der Einfluss von Gras wird hierfür als kritisch eingeschätzt. Für konkrete Produkte könnte die Prüfung dennoch positiv ausfallen.

Die sehr gute Volumenbildung von Gras (s. Kap. 5.3) eröffnet einen papiertechnologisch förderlichen Einsatz in Karton und Pappe, insbesondere in der Mittellage von mehrlagigem Karton (Faltschachtelkarton FSK).



---

## 4 Produktentwicklung Rohstoff

Das Arbeitspaket II stellt die Anforderungen an den neuen Grasrohstoff da. Es werden die Eigenschaften des Heus und seine Verarbeitung unter Einsatz unterschiedlicher Verfahrenstechniken erläutert sowie die Eignung des Rohstoffes für die Papierherstellung bewertet.

### 4.1 Anforderungsprofil

In Zusammenarbeit mit der Papiertechnischen Stiftung (PTS) und mittelständischen Papierproduzenten konnte ein erstes Anforderungsprofil für den neuen Grasrohstoff erarbeitet werden. Dieses bezieht sich vor allem auf die Heuqualität, die Länge der Graspartikel und die Auflösezeit der hergestellten Pellets und Briketts.

#### 4.1.1 Heuqualität

Ziel dieses Arbeitspaketes war es, eine Heuqualität zu definieren, die eine problemlose Nutzung des Rohstoffes in der Papierindustrie, erlaubt.

Die Tests der PTS als auch der mittelständischen Papierproduzenten haben ergeben, dass in Bezug auf die Heuqualität, der Schimmelbesatz sowie der Heugeruch von besonderer Bedeutung sind. Von Seiten der Papierindustrie wurde die Befürchtung geäußert, dass sich durch den Rohstoff eingetragene Schimmelpilze im Wasserkreislauf der Papiermaschine anreichern könnten, die dann zu Problemen in der hauseigenen Kläranlage führen. Eine Restfeuchte von unter 14%<sup>3</sup> sorgt für eine Deaktivierung von Schimmelpilzen und ist somit der erste wichtige Qualitätsparameter für die stoffliche Qualitätsbeurteilung von Heu. Der Geruch von frischem Heu konnte in vielen der hergestellten Wellpappen und Kartons nachgewiesen werden. Dieser frische Heugeruch hat unter Marketinggesichtspunkten hohe Relevanz. Dies bedeutet aber auch, dass etwaige Negativgerüche, verursacht durch zu hohe Mengen an Buttersäure oder Ammoniak, im eingesetzten Heu nicht vorhanden sein dürfen. Auch hier kann durch eine Reduktion der Restfeuchte auf unter 16%<sup>4</sup> weitere Fehlgärung und somit die Produktion von Buttersäure und Ammoniak ausgeschlossen werden. Nachdem die Anforderungen definiert wurden, musste ein Testverfahren gefunden werden, dass die Anforderungen an den Rohstoff abdeckt und zugleich möglichst einfach durchzuführen ist. Dabei konnte man sich der in der Landwirtschaft häufig angewendeten Sinnenprüfung bedienen.

---

<sup>3</sup> Vgl. NO86, S. 116

<sup>4</sup> Vgl. Opi94, S. 289



Die Qualitätsbestimmung der zur Verfügung stehenden Heuchargen hat ergeben, dass die Sinnenprüfung, unter Zuhilfenahme einer Messlanze zur Feuchtebestimmung eine hinreichend genaue Qualitätsbestimmung, unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Heuqualität, zulässt.

#### **4.1.2 Inhaltsstoffe**

Die Analyse und Dokumentation der Heuinhaltsstoffe hatte das Ziel, zukünftig Rückschlüsse zwischen der Papierqualität und den Heuinhaltsstoffe zuzulassen. Unser heutiger Wissensstand erlaubt noch keine Aussage über die Funktion der in Kap. 4.2.3 analysierten Heuinhaltsstoffe auf die Papiereigenschaften, wie z.B. Volumenbildung oder Reißfestigkeit. Die Funktion von Inhaltsstoffen wie Zucker oder Protein bei der Blattbildung in der Papierherstellung ist auch in der Papierindustrie noch nicht bekannt, da der eingesetzte Zellstoff durch die chemische Vorbehandlung frei von jeglichen organischen Verbindungen ist. Die rein mechanische Zerkleinerung des Heues hat zur Folge, dass alle Inhaltsstoffe der Pflanze, wie der oben genannte Zucker oder die Proteine, in den Herstellungsprozess des Papiers gelangen. Erkenntnisse aus den Pilotanwendungen zeigen, dass die im Vorfeld der Tests simulierten Papiereigenschaften jedes Mal in der Praxis Abweichungen aufwiesen. Diese Tatsache könnte darauf hindeuten, dass Heuinhaltsstoffe im Zuge der Papierherstellung Einfluss auf dessen Qualität nehmen.

#### **4.1.3 Kornklassenverteilung**

Zu Ballen gepresstes Heu hat, je nach Schnittlänge und Vorzerkleinerung beim Pressen, Halmlängen von 20 – 80 cm. Die in Kap. 4.3.2 getesteten Zerkleinerungsverfahren sind in der Lage, den Grashalm auf eine Länge von unter 0,15 mm zu verkürzen. Da rein mechanisch zerkleinert wird, werden die Zellulosefasern nicht von den übrigen Zellwandbestandteilen wie Lignin und Hemizellulose getrennt, daher werden im Folgenden die Schnittlängen nicht als Faserlängen sondern präziser als Partikellängen bezeichnet. In Absprachen mit Papierproduzenten und der PTS wurde eine Zielpartikellänge von 1 – 1,2 mm als geeignet ausgewählt. Bei der Wahl der Partikellänge hat man sich an der Faserlänge von Zellstoff auf Laubholzbasis (1-1,5 mm) orientiert. In Anlehnung an bisherige Erfahrungen der Papierproduzenten, soll der Feinstoffgehalt, das heißt die Fraktion unter 0,15 mm lichte Maschenweite, einen Anteil von 20% nicht übersteigen. Ein Feinstoffanteil von bis zu 20% dient als Füllstoff bei der Blattbildung, indem er Zwischenräume zwischen den Fasern auffüllt und so zur Stabilität des Papiers beiträgt. Anteile über 20% können nicht mehr eingelagert werden und gehen im Wasserkreislauf verloren. Neben der Zielpartikellänge spielen die Nodien der Grashalme eine wichtige Rolle. Gegen Ende des Projektes wurde erkannt, dass die Nodien, auch Wachstumsknoten genannt, den Zerkleinerungsvorgang unbeschadet durchlaufen und bei der Papierherstellung zu Problemen im Herstellungsprozess führen können. Die Nodien gelangen mit den weiteren Grasbestandteilen auf die Papiermaschine



---

und setzen sich dort an den Trocknungswalzen fest. Angesichts dieser Erkenntnis müssen weitere Versuche an der Kollermühle folgen, da diese nach aktuellem Wissensstand durch ihre Mahlarbeit am ehesten in der Lage ist, die Nodien zu vermahlen.

#### **4.1.4 Auflösezeit**

Bei der Papierherstellung werden die Papierrohstoffe Zellstoff und Altpapier im Pulper, einem großen Rührbottich, unter Zugabe von Wasser aufgelöst und durchmischt. Ziel ist es, auch den Grasrohstoff im Pulper hinzuzufügen. Dies würde bedeuten, dass keine Veränderungen an der bestehenden Technik der Papierfabriken für den Einsatz von Gras notwendig sind. Die mittlere Verweildauer der Rohstoffe im Pulper beträgt 20 Minuten. Damit ist festgelegt, dass die zustellenden Pellets und Briketts maximal 20 Minuten benötigen dürfen, um sich aufzulösen und mit den weiteren Papierrohstoffen zu vermischen.

## **4.2 Heuanalyse**

Alle Versuche wurden mit Heu, einer der drei häufigsten Konservierungsformen von Gras, durchgeführt. Die Universität Bonn hat in den Erntejahren 2013, 2014 selber kein Heu geerntet. Was zur Folge hatte, dass das Heu zugekauft wurde. Dabei wurde Heu von Betrieben gekauft, deren Flächenbewirtschaftung der Universität bekannt ist.

Das untersuchte Heu stammte aus den Ernten 2013 und 2014 und kam von Dauergrünlandflächen in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen. Zwei der Flächen stammten aus der Verbandsgemeinde Kelberg in der Eifel. Die übrigen drei aus der Gemeinde Much im Rhein-Sieg-Kreis. Die Grünlandbewirtschaftung ist prägend für beide Regionen. Die Flächen wurden extensiv, das heißt ohne Einsatz von Mineraldünger bewirtschaftet, um dem Ziel einer möglichst ressourcenschonenden Rohstoffherstellung Genüge zu tun. Alle Heuballen wurden auf ihre Gräserzusammensetzung, Qualität und Inhaltstoffe hin untersucht, um davon ausgehend, mögliche Rückschlüsse auf die Papiereigenschaften zuzulassen. Die anschließenden verfahrenstechnischen Untersuchungen wurden nur mit Heu von einer Fläche durchgeführt, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

### **4.2.1 Qualitätsbestimmung mittels Sinnenprüfung**

Die Heuqualität kann einerseits im Labor durch Nahinfrarotspektroskopie oder andererseits direkt am Heuballen mittels Sinnenprüfung vorgenommen werden. Der Landwirt bedient sich in der Regel der Sinnenprüfung, da diese hinreichend genaue Informationen und direkte Ergebnisse liefert. Darüber hinaus kann sie vom Landwirt selbst durchgeführt werden. Bei der Sinnenprüfung wird das Heu einer sensorischen Qualitätsprüfung unterzogen. Anhand weniger Prüfparameter kann der Landwirt innerhalb kürzester Zeit das Heu in Güteklassen einteilen oder den ungefähren Energiegehalt des Futters bestimmen. Das für die Untersuchungen angekaufte Heu wurde mit der

Sinnenprüfung der ÖAG<sup>5</sup>, Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Grünland, bewertet. Diese Sinnenprüfung ist abgeleitet von der Sinnenprüfung der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft und bewertet das Heu anhand von vier Prüfparametern: Geruch, Farbe, Gefüge und Verunreinigung. Je nach Qualität erreichen die Proben Gesamtpunktzahlen von -3 bis 20 und werden darüber in die Güteklassen von "1 – sehr gut" bis "4 – verdorben" eingeteilt.

**Tab. 4: Ergebnis der Qualitätsbestimmung mittels Sinnenprüfung**

Bewertung	Standort				
	Eifel I (G)	Eifel I (S)	Much I (RO)	Much I (WG)	Much I (RT)
Punktzahl	12	9	16	11	13
Güteklasse	befriedigend	mäßig	gut	befriedigend	befriedigend
Geruch	geruchlos	muffig/brandig	aromatisch	geruchlos	aromatisch

Punkte:	Güteklasse
20 - 16	1. sehr gut bis gut
15 - 10	2. befriedigend
9 - 5	3. mäßig
4 - (- 3)	4. verdorben

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015 in Anlehnung an ÖAG99, S. 2

Die fünf getesteten Heuchargen hatten eine „mäßige“ bis „gute“ Qualität. Hinsichtlich der neuen Qualitätsanforderungen hatte keiner der Ballen Anzeichen auf Schimmel. Die Feuchtemessungen mit der Messlanze lagen bei 14 Prozent oder darunter. Der Ballen Eifel I (S) ist durch einen schwach muffig bis brandigen Geruch aufgefallen, was auf Fehlgärungen hindeutet. Die Proben Much I (RO) und Much I (RT) hatten einen guten aromatischen Heugeruch. Hier ist davon auszugehen, dass die Konservierung schnell und ohne Probleme stattgefunden hat. Die Ballen Eifel I (G) und Much I (WG) waren relativ geruchlos. Die produzierten Pellets und Briketts wurden alle aus Heu des Standortes Much I (RT) hergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine „befriedigende“ Heuqualität für die Papierherstellung vollkommen ausreichend ist. Eine Konkurrenz zwischen der Pferdefütterung und der Papierherstellung ist damit als gering einzuschätzen, da in der Pferdefütterung nur „gutes“ bis „sehr gutes“ Heu eingesetzt wird. Da die Sinnenprüfung mehr auf die futtermassischen als die stofflichen Eigenschaften

<sup>5</sup> Vgl. Öag99, S. 2



des Heus zielt, ist es theoretisch denkbar, dass noch schlechtere Qualitäten, die für die Fütterung uninteressant sind, für die stoffliche Nutzung genutzt werden könnten. Heu, das auf Grund geringer Inhaltstoffe eine schlechte Bewertung bekommt, könnte solange es frei von Schimmel ist, in der Papierherstellung eingesetzt werden. Ein Ziel der weiteren Forschung muss es sein, den Prozess der Papierherstellung so zu modifizieren, dass Schimmelpilze und unangenehme Heugerüche neutralisiert werden. Heu minderer Qualität, das jährlich anfällt und für das es keine Abnehmer gibt, könnte so einer sinnvollen Nutzung zugeführt werden.

#### 4.2.2 Bonitur

Die wichtigsten Pflanzenarten im Dauergrünland sind Gräser, Kräuter und Leguminosen. Die Bonitur dieser Pflanzenarten hatte das Ziel, die genaue Zusammensetzung jedes einzelnen Ballens zu dokumentieren, um bei zukünftigen Untersuchungen der Testpapiere, Rückschlüsse auf wertmindernde und wertgebende Pflanzenarten machen zu können. Die Bestimmung der Einzelgräser in den Heuballen erwies sich als schwierig, da nur wenig Blattmaterial für eine eindeutige Identifizierung der Gräser vorhanden war. Grund dafür sind die häufigen Wendevorgänge beim Trocknen des Grasses, die immer zu Bröckelverlusten führen, das heißt einem Verlust an Blatt- und Blütenmaterial<sup>6</sup>. Das untersuchte Heu stammte vom 1. Schnitt, der in der Regel im Mai/Juni eines jeden Jahres geerntet wird. In den fünf Heuproben konnten zwischen 6 und 8 Gräserarten identifiziert werden. Die Gräserzusammensetzung war heutypisch<sup>7</sup> mit einem hohen Anteil an Obergräsern wie dem Knaulgras, Wiesenfuchsschwanz oder Wiesenlieschgras. Obergräser haben einen besonders hohen Anteil an Rohfaser<sup>8</sup> und sind somit die erste wertgebende Gräsergattung für die Papierherstellung. Das für den Futterwert bedeutende Deutsche Weidelgras konnte in vier der fünf Proben nachgewiesen werden. Die Leguminose Klee, entweder als Rot- oder Weißklee, war in jedem Ballen zu finden. Die Kräuter Löwenzahn und Ampfer waren in drei, beziehungsweise zwei Heuballen aufzufinden. Somit bestanden die Ballen aus 7-11 Pflanzenarten. Neben den fünf Ballen vom 1. Schnitt wurde auch ein Ballen vom 2. Schnitt untersucht. Dieser Ballen vom 2. Schnitt ist dadurch aufgefallen, dass er mit vier identifizierten Gräsern, gerade nur halb so viele Gräserarten im Vergleich zum Ballen vom 1. Schnitt, aufwies. Der Anteil an Obergräsern war stark rückläufig, dies ist typisch mit zunehmender Schnittnutzung<sup>9</sup>. Auf Grund dessen ist der 1. Schnitt für die Papierherstellung vorzuziehen. Denkbar ist auch der Einsatz von sehr spät gemähtem 1. Schnitt, welcher auf Grund von Vertragsnaturschutz-Programmen erst ab Juli geerntet werden darf und für die Fütterung schlecht geeignet ist.

<sup>6</sup> Vgl. Ger11, S. 194

<sup>7</sup> Vgl. Opi94, S. 104

<sup>8</sup> Rohfaser (nach der Weender Analyse) ist ein Sammelbegriff für Cellulose (40%-100%), Hemicellulose (15%-20%), Lignin (5-90%), Suberin und Cutin. Die Werte in Klammern zeigen die Variation je nach Futtermittel.

<sup>9</sup> Vgl. Opi94, S.110



Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob sich möglicherweise auch ein überständiger 2. Schnitt für die Papierherstellung eignet. Um den Einfluss der jeweiligen Gräser auf die Papierherstellung zu untersuchen, ist es zunächst angebracht, sich in Folgeprojekten das Heu unterschiedlicher Flächentypen anzusehen, um dann im nächsten Schritt, Rückschlüsse auf die einzelnen Gräser zuzulassen. Dies wird jedoch auf Grund der Neuheit des Themas und dem geringen Angebot an Literatur zur stofflichen Nutzung von Gräsern noch einige Zeit benötigen.

### 4.2.3 Analyse der Inhaltstoffe

Die Analyse der Inhaltstoffe hatte das Ziel, vor allem jenes Heu auf seine Inhaltstoffe zu kontrollieren, dass für die Pellet- und Brikettherstellung und sich anschließenden Papiertests genutzt wurde. Neben diesen zwei Heu-Proben (5 und 6) vom Standort Much I (RT) wurden noch vier weitere Standorte in die Analyse aufgenommen.

- 1 Eifel I (G)
- 2 Much I (RO)
- 3 Much II (RT)
- 4 Much I (WG)
- 5 Much I (RT) Ballen 2
- 6 Much I (RT) Ballen 4

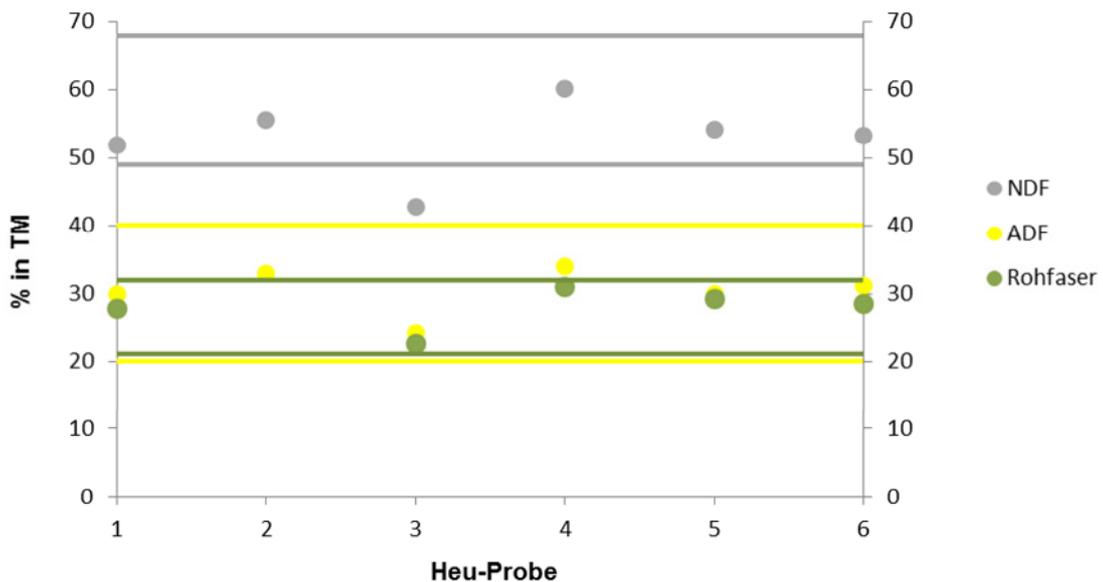
Trotz der Tatsache, dass das Wissen über die Funktion der einzelnen Inhaltsstoffe noch nicht vorliegt, wurden sie analysiert, um die Möglichkeit für spätere Rückschlüssen, von der Papierqualität auf den Rohstoff, zu bewahren. Augenmerk wurde auf die Strukturparameter Rohfaser, NDF<sup>10</sup> und ADF<sup>11</sup> gelegt, da diese für die physikalischen Eigenschaften des Papiers verantwortlich sind. Daneben wurden Protein und Zucker analysiert. Diese Inhaltstoffe haben möglicherweise Einfluss auf die Volumenbildung und Festigkeit des Papiers. Die Analyse der Inhaltstoffe wurde zum einen am Campus Klein-Altendorf der Universität Bonn und zum anderen im Labor der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Die Inhaltstoffe wurden mittels Nahinfrarotspektroskopie und der erweiterten Futtermittelanalytik (Weender) erhoben. Da die Graspartikel nicht chemisch aufgeschlossen werden und somit keine reine Cellulose vorliegt, wurde auf einen Celluloseaufschluss verzichtet.

Die horizontalen Linien in Abbildung 2 zeigen die Normbereiche für Rohfaser, NDF und ADF, für Heu vom 1. Schnitt. Da es sich bei Rohfaser, ADF und NDF um Sammelbegriffe verschiedener strukturgebender Inhaltsstoffe handelt, dürfen die Werte nicht aufaddiert werden. Bis auf Probe 3 liegen alle Gehalte im Normbereich. Bei Heu-Probe 3

<sup>10</sup> NDF: Neutrale Detergentien Faser

<sup>11</sup> ADF: Säure Detergentien Faser

handelt es sich um Heu vom 2. Schnitt. Dies erklärt die etwas niedrigeren Gehalte, da mit zunehmender Schnittnutzung der Anteil an strukturgebenden Obergräsern sinkt, fallen auch die Gehalte an NDF, ADF und Rohfaser. Die durchschnittlichen Gehalte von Protein und Zucker lagen bei 8,4 % Trockenmasse (TM) für Protein und 10,1 % TM für Zucker und sind ebenfalls typisch für Heu vom 1. Schnitt. Der Rohfasergehalt von Probe 2 konnte auf Grund eines Messfehlers nicht erhoben werden. Da die zugehörigen NDF- und ADF-Gehalte jedoch im Normbereich liegen, ist davon auszugehen, dass auch der Rohfasergehalt im entsprechenden Normbereiche liegt.



**Abb. 2: Anteile von NDF, ADF und Rohfaser, am Trockenmassegehalt der Heuproben.**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015

### 4.3 Verfahrenstechnik

Ziel dieses Arbeitspaketes, war die Herstellung der im Anforderungsprofil definierten Zielpartikellänge von 1 – 1,2 mm. Neben den Zerkleinerungsversuchen wurde auch die Zerfaserung des Materials getestet. Die Zerkleinerungsversuche anhand verschiedener Mühltypen haben gezeigt, dass es möglich ist, das Heu so zu zerkleinern, dass ein großer Anteil der Siebfraktionen im Bereich der Zielpartikellänge liegt. Die Kompaktierung als Pellet oder Brikett war unproblematisch. Weitere Pilotanwendungen müssen zeigen, welcher Kompaktierungsgrad der geeignete ist, um zum einen den Transport z.B. im Big Bag zu ermöglichen und zum anderen ein schnelles Auflösen der Pellets im Pulper zu gewährleisten.



---

### 4.3.1 Zerfaserung

Bei der Zerfaserung handelt es sich um einen mechanischen Faseraufschluss entlang der Längsachse der Pflanzen. Dieser rein mechanische Faseraufschluss hatte das Ziel, den Anteil der nutzbaren Grasfasern zu erhöhen und somit die physikalischen Papiereigenschaften, wie Reißfestigkeit und Volumenbildung, weiter zu verbessern. Die hier eingesetzte Maschine ist ein Prototyp und wurde in Kooperation der Fachhochschule Köln und der Universität Bonn entwickelt. Ursprüngliches Ziel für die Entwicklung des Prototypens war, die Zerfaserung von holziger Biomasse wie Miscanthus und schnellwachsenden Gehölzen. Eine Zerfaserung der Grashalme war kaum möglich. Die Grashalme waren zu dünn und konnten von der Maschine nicht erfasst werden. Eine Erhöhung des Durchsatzes führte zu untypischer Rauchentwicklung, weil sich das Heu in der Maschine ansammelte und auf Grund der hohen Temperaturen im Inneren der Maschine, zu entzünden drohte. Da es sich bei der Maschine um einen Prototypen handelt, war die Anpassung an einen weniger holzigen Rohstoff nicht möglich. Auf Grund dessen sollte im Rahmen weiterer Entwicklungsarbeiten weiterhin eine Zerfaserung der Grashalme in Betracht gezogen werden, um das Potential des Faseraufschlusses zu ermitteln.

### 4.3.2 Zerkleinerung

In diesem Arbeitsschritt sollte zunächst die Machbarkeit einer sehr feinen Heuzerkleinerung untersucht werden. Nachdem dies gelang, bestand die nächste Aufgabe darin, einen möglichst hohen Anteil der Zielpartikellänge herzustellen.

Die Heuzerkleinerung wurde anhand von drei Mühlentypen untersucht. Sowohl die Hammermühle als auch die Schneid- und Mahlmühle waren an der Universität Bonn vorhanden. Die Tests an der Kollermühle wurden bei der Firma Amandus Kahl durchgeführt. Alle Mühltypen waren in der Lage das Heu zu zerkleinern. Die besten Ergebnisse wurden mühlenübergreifend mit Siebgrößen/Lochungsdurchmessern zwischen 1 - 3 mm erzielt. Die Neuheit des Rohstoffes macht es erforderlich, die bestehenden Siebverfahren zur Analyse der Siebfraktionen im Mahlgut zu hinterfragen. Auf Grund der annähernd zweidimensionalen Ausdehnung der Zellstofffasern hat sich in der Papierindustrie die Nasssiebung etabliert. Die dreidimensionale Ausdehnung der Graspartikel macht es notwendig, auch die Trockensiebung in Betracht zu ziehen. Somit wurden die Siebungen sowohl im Nassverfahren, durch die PTS, als auch im Trockenverfahren, durch die Universität Bonn, durchgeführt. Die Papierindustrie klassiert die Faserlängen der eingesetzten Rohstoffe in vier Siebfraktionen: Stippen, Langfaser, Kurzfaser und Feinstoff. Für die Blattbildung sind vor allem Lang- und Kurzfasern von Bedeutung. Ein Feinstoffanteil von unter 20% kann nach jetzigem Wissensstand die



Eigenschaften des Papiers weiter verbessern, da er sich bei der Blattbildung als Füllstoff zwischen die Fasern setzt und diese dadurch stabilisiert. Stippen sind aufgrund ihrer Partikellänge von über 1,4 mm zu groß und werden von einem Sieb abgeschieden.

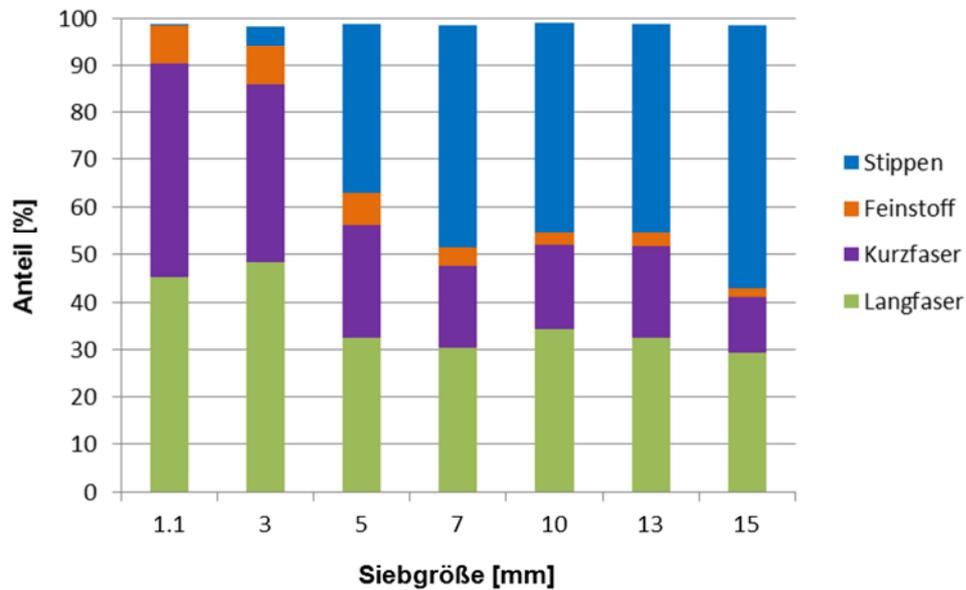
Stippen:	> 1,4 mm
Langfaser:	1,4 – 0,71 mm
Kurzfaser:	0,71 – 0,25 mm
Feinstoff:	< 0,25 mm

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Siebergebnisse, angesichts der verschiedenen Siebmethoden, nicht übertragbar sind. Es wurde trotzdem bei der Auswahl der Siebe darauf Acht gegeben, die Siebfraktionen der Nasssiebung möglichst abzubilden.

#### 4.3.2.1 Hammermühle

Die Hammermühle wird in der Landwirtschaft zum Vermahlen von Getreide genutzt. Die kinetische Schlagwirkung der Hämmer sorgt für die Zerkleinerung des Mahlguts. An einem eingehausten Rotor befinden sich bewegliche Stahl-Hämmer, die das Mahlgut solange zerkleinern bis es klein genug ist, um die Mühle durch ein Sieb zu verlassen. Dabei sorgt ein vom Rotor erzeugter Luftstrom für den Transport des Mahlgutes durch die Mühle. Für die Zerkleinerung von Heu wurde der Einlass geringfügig versetzt, um einen kontinuierlichen Einzug des Heues zu ermöglichen. Durch den Einbau verschiedener Siebgrößen lässt sich die Zerkleinerung steuern.

An der Hammermühle wurden insgesamt sieben Rundlochsiebe mit Lochdurchmessern von 1,1 – 15 mm getestet. Der Stippenanteil ist bei den kleinsten Sieben mit 0% und 4% relativ gering, nimmt dann jedoch beim 5 mm Sieb sprunghaft auf 36% zu. Auffällig ist, dass bei jeder Variante ein gewisser Anteil an Feinstoff entstanden ist, dieser nimmt mit Zunahme der Siebdurchmesser ab. Das beste Ergebnis konnte mit dem kleinsten Sieb erreicht werden. Lang- und Kurzfaser machen 90% aus und der Feinstoffanteil liegt mit 8% noch deutlich unter der Grenze von 20%.

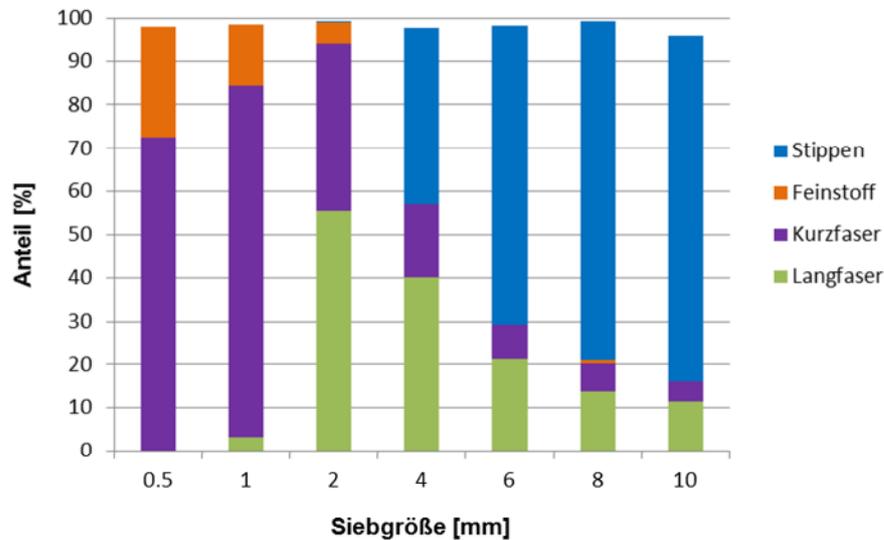


**Abb. 3: Anteile der Siebfractionen im Mahlgut der Hammermühle, in Abhängigkeit der Siebgröße**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015

#### 4.3.2.2 Schneid- und Mahlmühle

Bei der Schneid- und Mahlmühle fällt das Mahlgut durch einen Trichter in den Mahlraum. Zwischen einem mit Messern besetzten Rotor und gegenüberliegenden Gegen-schneiden wird das Mahlgut durch Scherwirkung solange zerkleinert und leicht zermahlen bis es am Boden des Mahlraums durch ein Rundlochsieb fällt. Auch hier sind die Siebgrößen variabel. Es wurden sieben verschiedene Siebgrößen mit einem Lochdurchmesser von 0,5 bis 10 mm getestet. Die Feinstofffraktion ist nur bei den drei kleinsten Sieben vertreten und nimmt mit zunehmender Siebgröße ab. Ähnlich der Hammermühle ist der Stippenanteil bei den drei kleinsten Siebgrößen fast 0% und nimmt dann beim 4 mm Sieb sprunghaft auf 40% zu. Ab dann nimmt der Stippenanteil mit zunehmender Siebgröße immer weiter zu bis er beim 10 mm Sieb fast 80% ausmacht. Der Kurzfasergehalt ist bei den Sieben 0,5 mm und 1 mm mit 72% und 81% am größten und nimmt dann mit zunehmender Siebgröße ab. Der Langfaseranteil ist beim 2 mm Sieb am größten und sinkt mit Zunahme der Siebgrößen. Die besten Zerkleinerungsergebnisse wurden mit den Siebgrößen 0,5 mm, 1 mm und 2 mm erreicht, da hier der Stippenanteil sehr gering war. Welches der drei Siebergebnisse nun am besten ist, ist vom angestrebten Papierprodukt abhängig.

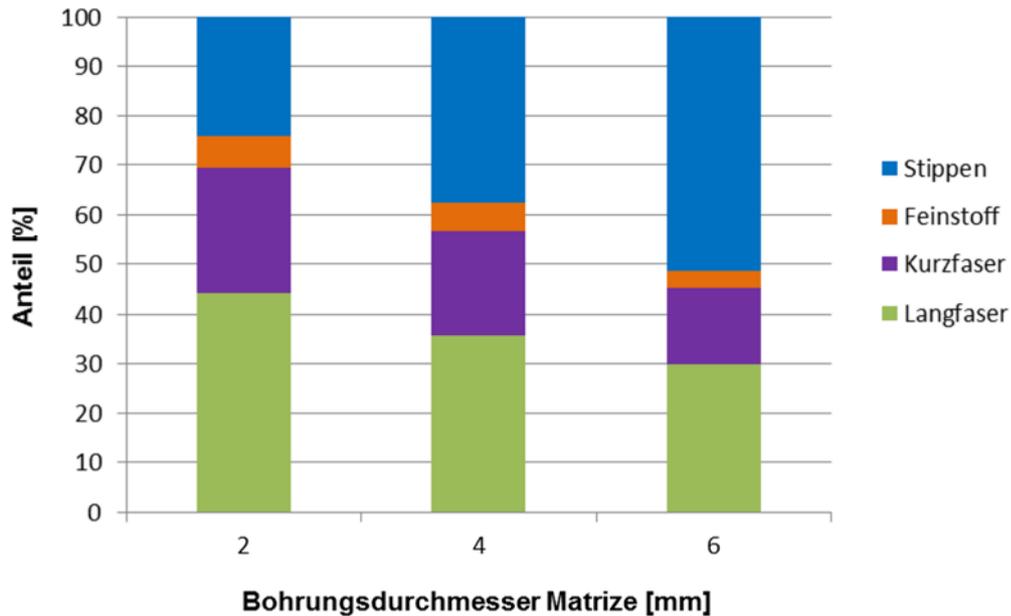


**Abb. 4:** Anteile der Siebfractionen im Mahlgut der Schneid- und Mahlmühle, in Abhängigkeit der Siebgröße

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015

#### 4.3.2.3 Kollermühle

Bei der Kollermühle rollen zwei, sich gegenüberliegende Koller auf einer gelochten Matrize. Dabei zermahlen und zerkleinern sie das Mahlgut und drücken es durch die Bohrungen der Matrize. Die getesteten Matrizen hatten Bohrungen mit 2, 4 und 6 mm Durchmesser. Feinanteil, Kurz- und Langfaser nehmen mit Zunahme des Bohrungsdurchmessers ab, wohingegen der Stippenanteil steigt. Ob die Kollermühle in der Lage ist, die Wachstumsknoten der Gräser vollständig zu vermahlen, konnte auf Grund der geringen Anzahl an Testdurchläufen noch nicht bestätigt werden. In Zukunft könnte ein wesentlicher Vorteil der Kollermühle die gleichzeitige Pelletierung des Mahlgutes sein. Neben dem Bohrungsdurchmesser wurden auch unterschiedliche Pressverhältnisse getestet. Das Pressverhältnis ergibt sich aus Bohrungsdurchmesser und Bohrungslänge. Je nach Zerkleinerungsgrad des Mahlgutes und Pressverhältnis konnte beobachtet werden, dass das Mahlgut leicht anpelletiert die Matrize verlässt. Diese Pellets haben die Bezeichnungen 5 und 7 und sind in Tabelle 6 aufgeführt.



**Abb. 5: Anteile der Siebfractionen im Mahlgut der Kollermühle, in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser der Flachmatrize**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015

### 4.3.3 Kompaktierung

Wird das Mahlgut ohne jegliche Kompaktierung in den Pulper gegeben, besteht die Gefahr, dass das Material aufschwimmt und sich nicht mit dem Wasser und den weiteren Papierrohstoffen vermengt. Auf Grund dessen wurden in diesem Arbeitspaket sowohl die Brikettierung als auch die Pelletierung als mögliche Kompaktierungsverfahren getestet. Darüber hinaus ermöglicht die Kompaktierung, den Transport von höheren Tonnagen als Schüttgut oder abgepackt im Big Bag.

#### 4.3.3.1 Brikettierung

Parallel zur Pelletierung wurde auch die Brikettierung des Heues getestet, um deren Machbarkeit zu überprüfen. Als Ausgangsmaterial diente Heu, das mit der Hammermühle und Siebeinsätzen von 7 und 15 mm Lochung hergestellt wurde. Die Beschickung des Brikettierzylinders mit dem jeweiligen Ausgangsmaterial erfolgte über Förderschnecken, wobei sich das Material gut transportieren ließ und keine Brückenbildung in den Vorratstanks zu erkennen war. Um die Eigenschaften der Briketts bei verschiedenen Pressdrücken zu untersuchen, wurde der Brikettierversuch Nr.1 (Ausgangsmaterial:

Hammermühle, 7 mm) in vier Druckstufen unterteilt. Die Druckstufen lauteten 90, 100, 110 und 120 bar. Die Versuche dauerten jeweils 15 Minuten, dabei lag die Temperatur der Briketts bei Verlassen des Presszylinders zwischen 62,5°C und 68,5°C. Ein Zusammenhang zwischen Pressdruck und Briketttemperatur konnte nicht festgestellt werden.

**Tab. 5: Brikettierparameter und Auflösezeit**

Brikettierparameter		Auflösezeit [min]
Druck [bar]	Temperatur [°C]	
90	64.9	15:20
100	62.5	16:10
110	68.5	17:00
120	67.6	18:00

Produkt: Brikett

Ausgangsmaterial: Heu, Much I (RT). Hammermühle, 7 mm.

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015

Von den abgekühlten Briketts wurde im Anschluss jeweils eins jeder Druckstufe in drei Litern Wasser aufgelöst. Mit zunehmendem Pressdruck stieg auch die Auflösezeit der Briketts von 15 Minuten bei 90 bar auf 18 Minuten bei 120 bar. Somit liegen alle Briketts unter der „20-Minuten-Grenze“. Die Schüttdichte der Briketts lag bei 300- 350 g/cm<sup>3</sup> und somit unter der der hergestellten Pellets. Ältere Brikettversuche von Miscanthus an der Universität Bonn haben ergeben, dass eine Brikettierung weniger Energie im Vergleich zur Pelletierung benötigt<sup>12</sup>. Darüber hinaus besteht die Vermutung, dass das Ausgangsmaterial während des Brikettvorganges nicht mehr weiter zerkleinert wird. Diese Faktoren sollten in einer möglichen zweiten Projektphase genauer untersucht werden.

#### 4.3.3.2 Pelletierung

Die Pelletierung des Heues soll zum einen die Transportfähigkeit und zum anderen die Misch- und Dosiermöglichkeit des Grasrohstoffes mit weiteren Rohstoffen ermöglichen. Zunächst musste die generelle Machbarkeit der Pelletierung überprüft werden, da Graspellets, die bisher in der Fütterung und der energetischen Nutzung eingesetzt werden, aus längerem Ausgangsmaterial hergestellt werden.

<sup>12</sup> Vgl. Wen14, S. 132, Sch13, S. 134

Für die Papierherstellung ist es von besonderer Bedeutung, dass sich das komprimierte Material im Pulper der Papierfabrik schnell auflöst, um einen kontinuierlichen Stofffluss zu garantieren. Daher wurden die Pellets auf ihre Auflösezeit hin untersucht. Neben der Auflösezeit wurde die Festigkeit der Pellets in einem Pelletprüfstand gemessen. Aus den Ergebnissen der Festigkeitsmessung konnte der PDI (Pellet Durability Index) errechnet werden, anhand dessen die Festigkeit (vgl. Abb. 10) der Pellets dokumentiert werden konnte.

Die Herstellung von Pellets war unproblematisch. Insgesamt konnten 11 verschiedene Pellets produziert werden. Es konnten sowohl stabile als auch sehr brüchige Pellets hergestellt werden. Dabei kamen zwei unterschiedliche Kollergangpressen zum Einsatz. Die Pellets 1 bis 4 wurden mit einer Ringmatrizenpresse hergestellt. Die Pellets 6, 8 bis 11 wurden mit einer Flachmatrizenpresse hergestellt. Bei Pellet 5 und 7 handelt es sich um die Pellets, die schon anpelletiert die Kollermühle verlassen haben und in Folge dessen nicht mehr weiter pelletiert wurden, wodurch ein Arbeitsgang eingespart wurde.

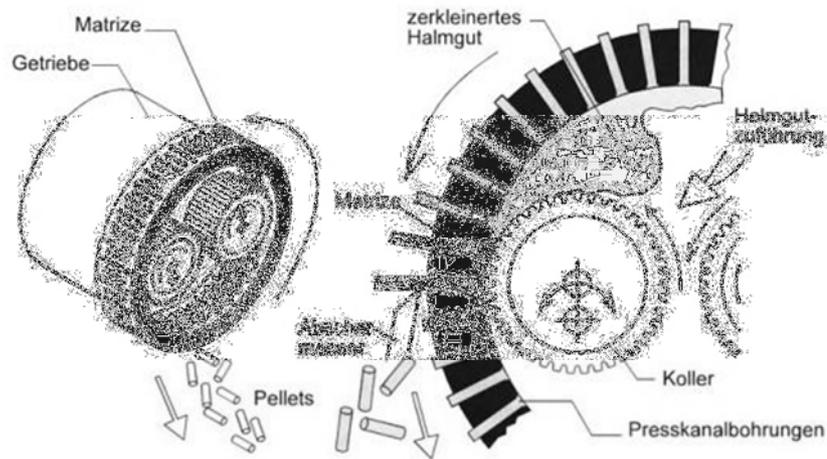
**Tab. 6:           Hergestellte Pellets nach Zerkleinerungs- und Kompaktierungsmethode**

Pellet-Nr.	Zerkleinerung	[mm]	Kompaktierung	[mm]
1	HM	5	RM	6
2	HM + SM	5 + 1	RM	6
3	HM	1.1	RM	6
4	SM	0.5	RM	6
5	KM	4	-	-
6	KM	8	FM	8
7	KM	2	-	-
8	KM	8	FM	8
9	HM	3	FM	4
10	HM	5	FM	4
11	HM	20	FM	4

HM Hammermühle  
 KM Kollermühle  
 SM Schneid- und Mahlmühle  
 RM Ringmatrize  
 FM Flachmatrize

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015

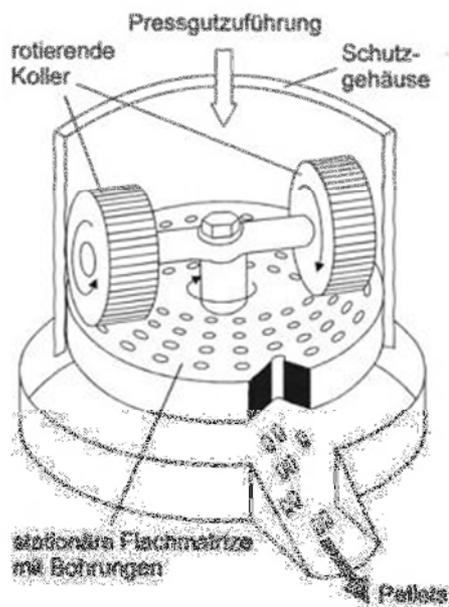
Bei der Kollergangpresse mit Ringmatrize wird das Material von einer Transportschnecke zwischen Koller und Matrize transportiert. Die Matrize dreht sich und treibt dadurch die Koller passiv an. Das Material sammelt sich zwischen Koller und Matrize und wird dann vom Koller durch die Bohrungen der Matrize gedrückt. Am Austritt der Bohrungen befinden sich Abschermesser, die die Pelletstränge auf eine einstellbare Länge schneiden.



**Abb. 6: Arbeitsweise Kollergangpresse mit Ringmatrize**

Quelle: KHH13, S. 194

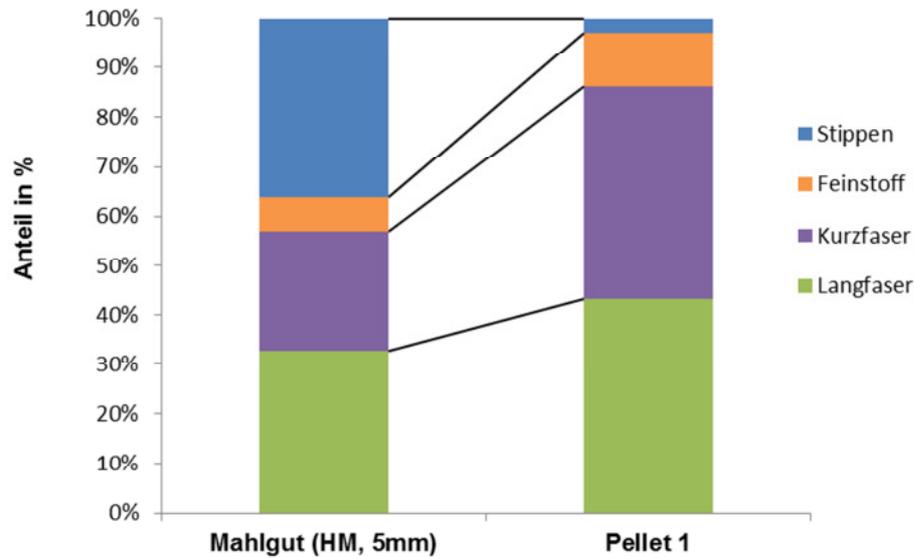
Im Vergleich zur Ringmatrize werden bei der Flachmatrize nicht die Matrize, sondern die Koller angetrieben, diese laufen an einer horizontalen Achse über die Matrize. Das Material fällt von oben in die Presse, wird wie bei der Ringmatrize zwischen Koller und Matrize vermahlen und durch die Bohrungen der Matrize gepresst. Auch hier sorgt ein Abschermesser unter der Matrize für das Ablängen der Pelletstränge.



**Abb. 7: Arbeitsweise Kollergangpresse mit Flachmatrize**

Quelle: KHH13, S. 194

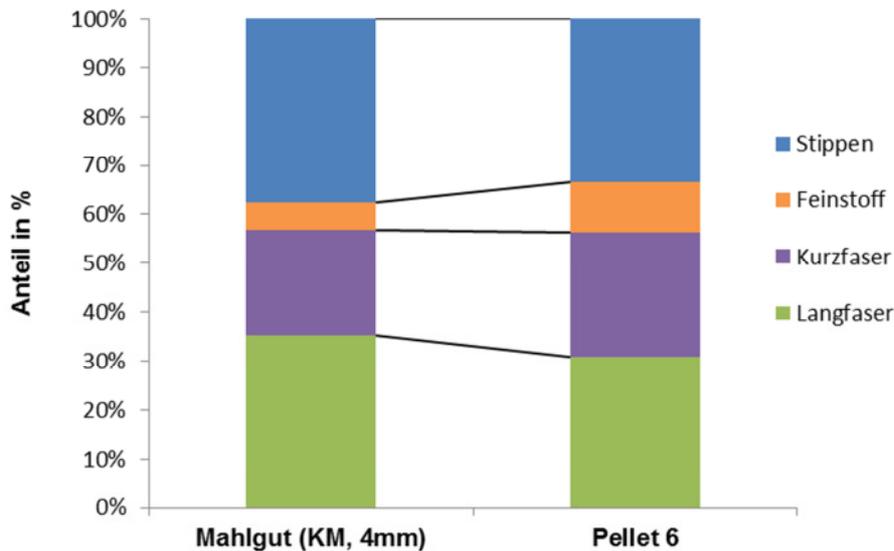
Auffällig war, dass je nach Pelletiermethode ein zusätzlicher Zerkleinerungseffekt des Mahlgutes eingetreten ist. Stellt man die Siebung des Mahlgutes neben die entsprechende Siebung des aufgelösten Pellets, ist bei der Ringmatrizenpresse zu sehen, dass der Stippenanteil stark abgenommen und die Anteile der anderen drei Fraktionen zugenommen hat (siehe Abb. 8).



**Abb. 8: Vergleich der Siebfraktionen von Mahlgut und Pellet, nach Pelletierung mit der Ringmatrizenpresse**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015

Vergleicht man ein Pellet, das mit der Flachmatrize gepresst wurde mit seinem Ausgangsmaterial, zeigt sich nur eine geringfügige Zerkleinerung des Stippen- und Langfaseranteils (siehe Abb. 9).



**Abb. 9: Vergleich der Siebfractionen von Mahlgut und Pellet, nach Pelletierung mit Flachmatrizenpresse**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015

## 4.4 Pelleteigenschaften

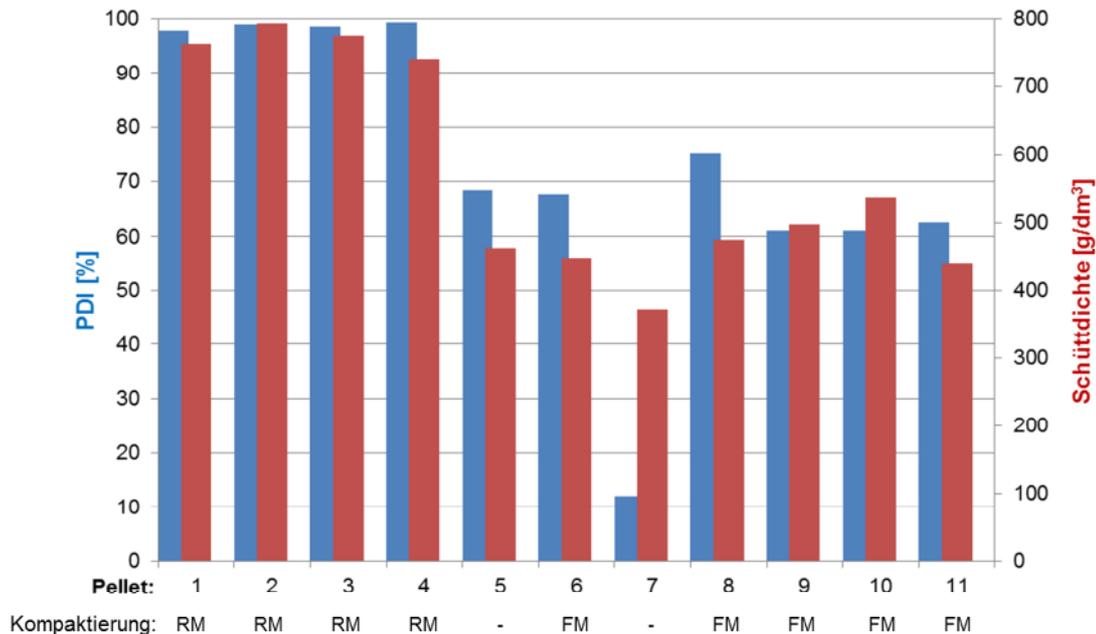
### 4.4.1 Pelletfestigkeit (PDI)

Die Festigkeit der hergestellten Pellets wurde in einem Pelletprüfstand der Firma New Holmen (NHP 100) am Campus Klein-Altendorf für alle 11 Pellets ermittelt. Dabei wurden 100 g der jeweiligen Pellets für 60 Sekunden bei 70 mbar verwirbelt und im Anschluss, durch Rückwaage der Pellets, der Abrieb bestimmt. Auch hier wurde jede Messung dreimal wiederholt und der Mittelwert berechnet. Aus Rück- und Einwaage ließ sich dann der PDI (Pellet Durability Index) errechnen. Dieser Prozentwert gibt Aufschluss über die Festigkeit der Pellets. In Abbildung 10 ist zu sehen, dass die Pellets 1 bis 4 aus der Ringmatrizenpresse einen höheren PDI im Vergleich zu den Pellets 6 und 8 bis 11 aus der Flachmatrizenpresse aufweisen. Von den Pellets, die schon anpelletiert die Kollermühle verlassen haben fällt vor allem Pellet 7 mit einem extrem niedrigen PDI von 12% auf.

### 4.4.2 Schüttdichte

Für die Berechnung der Schüttdichte wurden die Pellets in ein Litermaß gefüllt und das Gewicht notiert. Dieser Vorgang wurde jeweils dreimal wiederholt und im Anschluss der Mittelwert aus den drei Ergebnissen errechnet. Die Schüttdichtemessung zeigt

ähnliche Ergebnisse wie die Berechnung des PDIs. Pellet 1 bis 4 haben Schüttdichten von 741 – 794 g/dm<sup>3</sup>, die Pellets 6, 8 bis 11 von 440 – 537 g/dm<sup>3</sup>. Ausreißer ist auch hier Pellet 7 mit einer Schüttdichte von 373 g/dm<sup>3</sup>.



**Abb. 10: Pelletfestigkeit (PDI) und Schüttdichte der produzierten Pellets**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015

#### 4.4.3 Auflösezeit

Für die Berechnung der Auflösezeit wurden 10 g Pellets in 200 ml Wasser gegeben und die Zeit notiert, bis sie sich selbständig aufgelöst haben. Es konnten extreme Zeitunterschiede zwischen den Pellets aus der Ringmatrizenpresse und der Flachmatrizenpresse dokumentiert werden. In Abbildung 11 wird der Unterschied sehr gut sichtbar. Die Pellets 1 bis 4 haben zwischen 67:00 und 120:00 Minuten benötigt, wohingegen die Pellets 5 bis 11 nur Sekunden bis wenige Minuten benötigten.

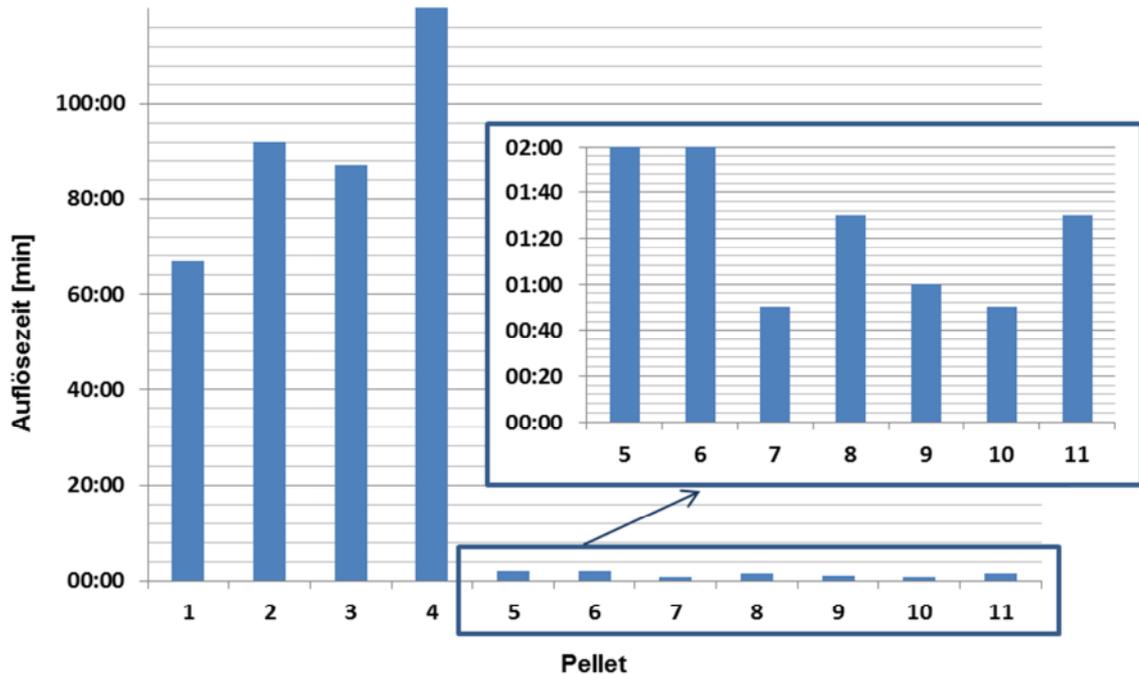


Abb. 11: Auflösezeit der produzierten Pellets

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015

#### 4.5 Fazit zum Arbeitspaket II „Produktentwicklung des Rohstoffs“

Sowohl die Hammermühle als auch die Schneid- und Mahlmühle waren in der Lage, Stippen-freies Mahlgut zu produzieren. Auf Grund der extern durchgeführten Versuche an der Kollermühle und der damit einhergehenden geringen Anzahl an Teilversuchen konnte hier noch kein stippen-freies Mahlgut produziert werden. Der Feinanteil lag bei allen Mahlversuchen unter der Grenze von 20%. Das hergestellte Mahlgut besteht aus einer Mischung der unterschiedlichen Siebfraktionen.

Ein Zusammenhang zwischen Pelletfestigkeit (PDI), Schüttdichte und Auflösezeit ist erkennbar. Die Pellets 1 bis 4 aus der Kollergangpresse mit Ringmatrize sind fester, woraus eine höhere Schüttdichte und Auflösezeit resultiert. Somit scheint der PDI als Maß für die Beurteilung der Pellets geeignet zu sein. Weitere Tests in einem PDI-Bereich von 70% – 90% müssen zeigen, wo der optimale Kompromiss zwischen Auflösezeit und Transportfestigkeit der Graspellets liegt.



---

Resultierend aus den Kapiteln *Zerkleinerung* und *Kompaktierung* ergibt sich eine Kombination von Mahlgut der Hammermühle (1,1 mm) oder der Schneid- und Mahlmühle (2 mm) mit anschließender Flachmatrizen-Pelletierung, welche die Anforderungen der Papierindustrie am besten abdeckt.

Weiterführende Untersuchungen sollten sich mit einer an die Zerkleinerung anschließenden Siebung befassen, bei der die gewünschte Partikellänge herausgesiebt wird, um so ein Pellet/Brikett mit definierter Partikellänge herzustellen. Dieses Pellet/Brikett könnte in der Papierproduktion gezielt, je nach Endprodukt und gewünschter Papiereigenschaft, eingesetzt werden. Darüber hinaus ist es von großer Bedeutung, die hier im Labormaßstab durchgeführten Tests im Zuge einer 2. Projektphase in einem größeren Maßstab auf Plausibilität zu testen. Tests in einem größeren Maßstab können dann Ergebnisse in Bezug auf Energiebedarf und Durchsatz liefern, die es ermöglichen, die Produktion auf Industriemaßstab zu skalieren. Auch die Brikettierung muss umfangreicher getestet werden, um zu untersuchen ob diese möglicherweise eine energieeffizientere Alternative zur Pelletierung darstellt.

Die Heuanalysen hat gezeigt, dass eine befriedigende Qualität für die Papierherstellung vollkommen ausreichend ist. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen kann nun überprüft werden, ob Heu von Naturschutzflächen oder ähnlichen Grenzstandorten in der Papierindustrie eingesetzt werden kann. Heu dieser Flächen ist für eine Fütterung ungeeignet und kann oft keiner sinnvollen Nutzung zugeführt werden. Ein möglicher Einsatz in der Papierindustrie stellt eine hochwertige, stoffliche Nutzung dar und könnte dazu beitragen, die wirtschaftliche Attraktivität von Naturschutzprogrammen für den Landwirt weiter zu erhöhen.

## 5 Potenzialbewertung

Im Arbeitspaket III wurde der anteilige Ersatz konventioneller Faserstoffe in Papierprodukten durch aufbereitetes Gras technologisch geprüft. Verschiedene mechanische Aufbereitungsoptionen wurden getestet. Sowohl Papiereigenschaften wie auch Einflüsse auf den Herstellungsprozess wurden bewertet. Anhand der Ergebnisse wurden geeignete Papiersorten und Anwendungsfelder herausgestellt.

### 5.1 Material und Methoden

#### 5.1.1 Proben

In Tab. 7 sind die zur Blattbildung eingesetzten Rohstoffe zusammen mit den Aufbereitungsverfahren aufgelistet. Die trockene Mahlung erfolgte in Arbeitspaket II. Die anderen Aufbereitungsverfahren sind folgend spezifiziert.

**Tab. 7: Zur Blattbildung eingesetzte Rohstoffe  
GP Gras-Pellets, GB Gras-Briketts**

Probenbezeichnung	Trockene Aufbereitung	Nasse Aufbereitung
GP011	Hammermühle 5 mm	Valley Beater (VB); Cavi-Mix
GP012	Hammermühle 5 mm Schneidmühle 1 mm Pelletierung	Suspendieren in Wasser
GP013	Hammermühle 1 mm Pelletierung	Suspendieren in Wasser
GP05	Schneidmühle 0,5 mm	Suspendieren in Wasser
GB_0	Hammermühle 15 mm Brikettierung	Zerfaserung im Pulper
GB_50		Nassmahlung (Refiner) 50 kWh/t
GB_75		Nassmahlung (Refiner) 75 kWh/t
GB_100		Nassmahlung (Refiner) 100 kWh/t
AP	Referenz: Altpapiermischung Wellpappenroh papier (1.02/1.04)	
HS	Referenz: Markt-Holzschliff für den Einsatz in Karton-Mittellage	

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015



---

### 5.1.2 Zerfaserung

Eine Zerfaserung (synonym: Desintegration, Aufschlagen) erfolgte je nach Probenmenge im Labor-Desintegrator oder im Lamort-Pulper mit LC-Rotor (990 U/min) sowie ohne wesentlichen Energieeintrag durch Suspendieren und Einweichen.

### 5.1.3 Nassmahlung

Graspellets GP011 wurden mit dem Labordisperger Cavimix (vom Hagen & Funke) nach Einweichen über 1 h bei einer Stoffdichte von 20 oder 30 % gemahlen.

Die Aufbereitung der Probe GP011 mit Holländer (Valley Beater, VB) erfolgte nach Desintegration im Lamort-Pulper bei 10 % Stoffdichte über 30 min. Aufgrund verbleibender unzerfaserter Pellets wurde folgend eine weitere Stunde eingeweicht.

Grasbrickets (GB) wurden durch Zirkulationsmahlung am Technikum-Scheibenrefiner bei 3 % Stoffdichte gemahlen. Der Energieeintrag wurde zwischen 0 (nur Einweichen) und 100 kWh/t eingestellt.

### 5.1.4 Abtrennung der Grobbestandteile

Die Abtrennung grober Bestandteile bei 3 % Stoffdichte erfolgte an einem Wuchtschüttler mit 0,15 mm-Schlitzplatte.

### 5.1.5 Analytik und Blattbildung

Tab. 8 gibt eine Übersicht über die eingesetzten Methoden zur Fasercharakterisierung.

Mit den aufbereiteten Rohstoffen wurden 80 g/m<sup>2</sup>-Prüfblätter am Rapid-Köthen-Blattbildner nach EN ISO 5269-2 gebildet. Als Standardfaserstoff wurde eine Mischung der Altpapiersorten 1.02 und 1.04 verwendet. Dieser Standardfaserstoff wurde anteilig durch Gras-Stoff ersetzt. Die Stoffdichte im Vorlagebehälter betrug 0,4 % oder 0,6 %. Die höhere Stoffdichte wurde bei der Blattbildung mit Kreislaufwasser eingesetzt. Hier wurden die ersten sechs Blätter bis zur annähernden Einstellung des Gleichgewichts im Siebwasser verworfen. Zur Papierprüfung kamen die in Tab. 9 gelisteten Messverfahren zum Einsatz.

Aus der wirksamen Dicke der Prüfblätter sowie dem gemessenen E-Modul wurde die Biegesteifigkeit eines dreilagigen Kartons rechnerisch modelliert. Für Deck- und Mittellage wurden je Standardfaserstoff zu 40 g/m<sup>2</sup> angesetzt, für die Mittellage Standardfaserstoff mit Grasstoff-Zumischung zu 160 g/m<sup>2</sup>. Das Modellierungsverfahren fußt auf der Laminat-Theorie. Die wirksame Dicke wurde durch Rückkorrektur über den Unterschied zwischen gemessener und berechneter einlagiger Biegesteifigkeit bestimmt.

**Tab. 8: Charakterisierungsmethoden für Faserstoffe**

Parameter	Messmethode
Entwässerungswiderstand (Schopper-Riegler, SR)	EN ISO 5267:1999
Haindl-McNett-Fraktionierung	Haindl-McNett-Fraktionator für sechs Fraktionen (Rückstand Schlitzplatte 0,15 mm, R16, R30, R50, R100, D100).
Bestimmung des Übergangs von organischen Stoffen in die Wasserphase und des wasserlöslichen Anteils beim Suspendieren von Halbstoffen	PTS-Methode RH-014/2015
Abrasivität	Veraschen bei 525 °C; Asche wird suspendiert und über definierte Zeit gegen ein Kunststoffsieb in einer Einlehnner-Apparatur gerieben. Der Abrieb des Siebes wird gravimetrisch bewertet.

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

**Tab. 9: Messverfahren an Rapid-Köthen-Prüfblättern**

Parameter	Messmethode
Flächenbezogene Masse	DIN EN ISO 536
Dicke, Dichte und spez. Volumen	DIN EN ISO 534
Zugversuch	DIN EN ISO 1924-2
Spaltarbeit nach Scott-Bond	TAPPI T833 pm-94
Biegesteifigkeit (2-Punkt-Verfahren)	DIN 53121
Durchreißwiderstand nach Elmendorf	DIN EN ISO 1974
Rauheit nach Bendtsen	ISO 8791/2
Oberflächentopographie	Scan der Oberfläche über Fokusvariation im Alicona-IFM G3 (5fach-Objektiv), Messfläche 2,04 mm auf 1,63 mm. Auswertung des 3D-Datensatzes.

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

## 5.2 Ergebnisse und Diskussion

### 5.2.1 Suspendierbarkeit

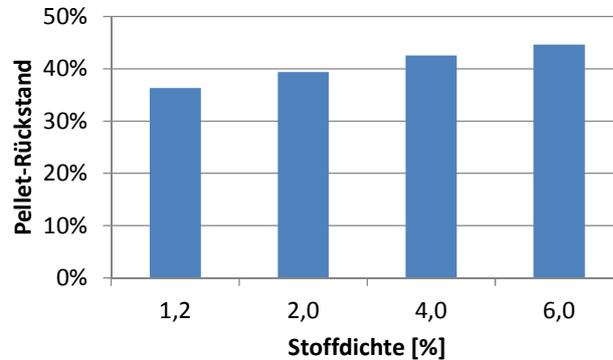
Eine Suspendierung und Zerfaserung der Graspellets im Desintegrator führte auch nach 25 min Aufschlagzeit nicht zu einer homogenen Suspension; Graspellet-Stücke verblieben (Abb. 12). Eine Erhöhung der Stoffdichte von 1,2 % auf 6 % setzte die Effizienz der Zerfaserung weiter herab (Abb. 13). Auch die Desintegration in einem Larmort-Pulper über 30 min ergab einen erheblichen Anteil nicht suspendierter Pellets. Ein einfaches Einweichen über 2 h führte dagegen zum Zerfall der Pellets, wobei diese stets grobe Bestandteile enthielten.

Brikettiertes Gras, kompaktiert bei 80 bar und 32 °C, ließ sich im Technikum-Pulper innerhalb 15 min homogen suspendieren. Ein Rückstandsanteil von ca. 10 % verblieb auf dem 10 mm-Lochblech des Aggregats (Abb. 14).



**Abb. 12: Original-Graspellets und Rückstand nach 25 min Desintegration**

Quelle: Eigene Darstellung, PTS, 2015



**Abb. 13: Rückstandsmenge von Graspellets nach 25 min Zerkleinerung im Desintegrator bei verschiedenen Stoffdichten**

Quelle: Eigene Darstellung, PTS, 2015



**Abb. 14: Rückstand von Grasbrickets nach 30 min Zerkleinerung im Technikum-Pulper.**

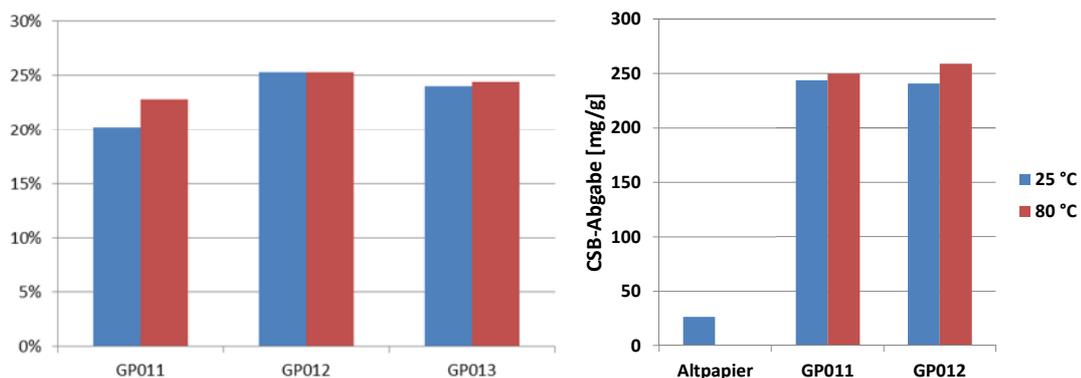
Linkes Bild: Rückstand nach Pulper-Leerung. Rechtes Bild: Rückstand (links) und Durchgang (rechts)

Quelle: Eigene Darstellung, PTS, 2015

### 5.2.2 Wasserlöslicher Anteil und CSB<sup>13</sup>-Abgabe

Die Graspellets wiesen einen wasserlöslichen Anteil von 20-25 % auf. Die CSB-Abgabe betrug ca. 250 g/kg (Abb. 15). Bei einer Suspensionstemperatur von 80 °C lagen die Werte jeweils geringfügig höher.

Um den Bedingungen einer Papierfabrik näher zu kommen, wurde eine Erhöhung der Stoffdichte im Messverfahren bis auf 20 %, eine fünffache Extraktion von jeweils neuem Grasmaterial mit der gleichen Flüssigphase und eine Zugabe von üblichen Retentionsmitteln getestet. Diese Modifikationen des Messvorgehens erbrachten keine signifikante Änderung der Werte (ohne Abb.).



**Abb. 15: Wasserlöslicher Anteil (links) und CSB-Abgabe (rechts) verschiedener Proben**

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

<sup>13</sup> CSB: chemischer Sauerstoffbedarf



Typische CSB-Abgaben von Altpapier liegen im Bereich 5-30 g/kg. Ein Beispielswert für Sorte 1.02 ist  $13 \pm 3$  g/kg. Die Werte für Gras liegen um ca. den Faktor 20 höher.

Da wasserlösliche Anteile bei der Blattbildung nicht im Papiergefüge zurückgehalten werden, belasten die Stoffe den Wasserkreislauf der Papierfabrik und gehen letztlich in das Rohabwasser. Dies bedeutet zum einen Materialverluste: Gegenüber anderen Faserstoffen ist ein höherer Gras-Einsatz notwendig. Zum anderen nimmt die Wasserkreislaufbelastung zu. Damit kann die Runnability beeinträchtigt werden. So steigen die Risiken für Ablagerungen, schlechter Entwässerung, geringer Additivwirksamkeit und mikrobiellem Wachstum; letzteres mit Auswirkungen auf Geruch, Biofilmbildung und Produktqualität. Nicht zuletzt steigt die CSB-Fracht im Abwasser. Eine Erweiterung der Abwasserreinigungsanlage kann notwendig werden, gegebenenfalls steigt auch die Abwasserabgabe oder Einleitegrenzwerte können nicht mehr eingehalten werden.

### 5.2.3 Abrasivität

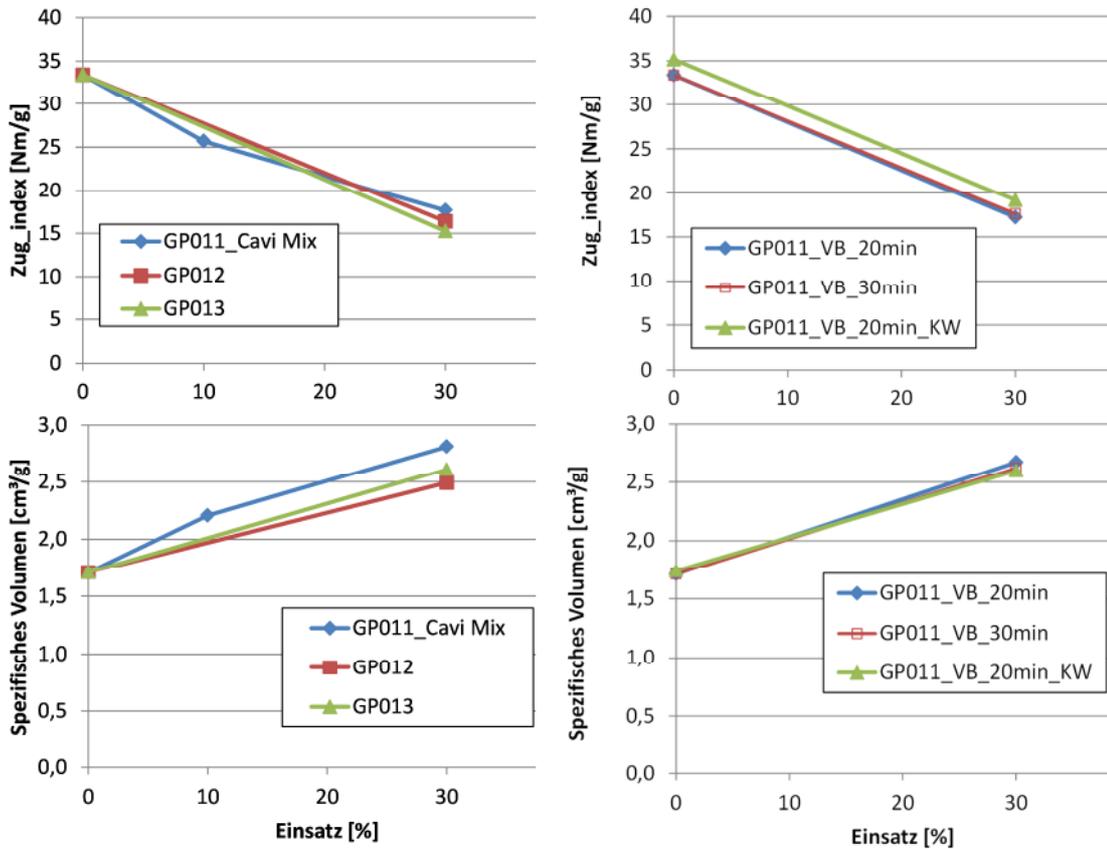
Bei gleicher Ascheeinwaage war die Abrasivität von Standard-Altpapierstoff und Gras im Rahmen der Reproduzierbarkeit gleich. Da Gras allerdings einen Aschegehalt von 5 % aufweist, gegenüber 15 % bei Altpapierstoff, ist mit einer geringeren Verschleißwirkung als bei Altpapierstoff zu rechnen. Der Test zielt auf den Verschleiß von Sieben und Filzen im Produktionsprozess. Hierfür sind keine Beeinträchtigungen zu erwarten; es darf sogar mit längeren Standzeiten der Besspannungen bei Graseinsatz gerechnet werden.

Zu potenziellen Druck-Einwirkungen auf Maschinenoberflächen (z.B. Glättwerk) durch grobe, feste Partikel kann mit dem Test keine Aussage getroffen werden.

### 5.2.4 Einfluss der Mahlung auf die Papiereigenschaften

Die Proben GP011, GP012 und GP013 unterschieden sich durch die Art der Trockenmahlung vor der Pelletierung. Aufgrund der groben Beschaffenheit von GP011 wurde diese Probe nach Desintegration und vor Blattbildung mittels Valley Beater (Holländer) oder Cavi-Mix zusätzlich gemahlen.

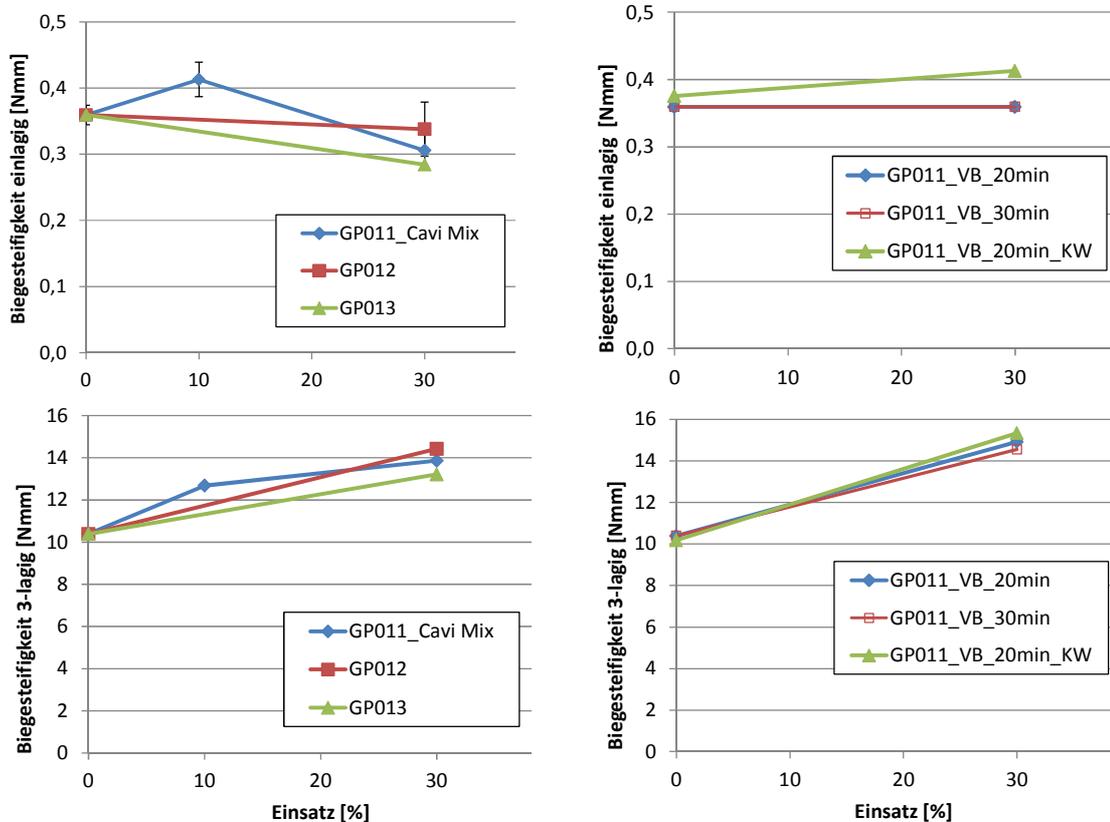
Bei allen Varianten zeigten sich in den Prüfblättern ein deutlicher Verlust an Zugfestigkeit und ein deutlicher Anstieg des Volumens gegenüber Prüfblättern aus reinem Altpapier-Stoff (Abb. 16). Keine signifikante Änderung ergab sich bei der Biegesteifigkeit einlagig; jedoch stieg die Biegesteifigkeit dreilagig deutlich an (Abb. 17).



KW Kreislaufwasserführung, VB Valley Beater

**Abb. 16: Einfluss verschiedener Mahlzeiten auf Zugfestigkeit und Volumen bei anteiligem Einsatz von aufbereiteten Gras-Stoffen in Papier auf Altpapier-Basis**

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015



Fehlerbalken: Standardfehler. KW Kreislaufwasserführung VB Valley Beater

**Abb. 17: Einfluss verschiedener Mahlungen auf Biegesteifigkeit und modellierte dreilagige Biegesteifigkeit**

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

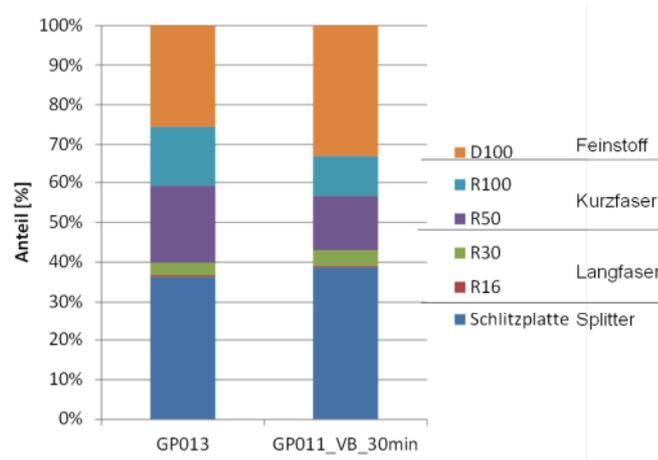
### 5.2.5 Kreislaufwasserführung

Eine Kreislaufwasserführung bei der Labor-Blattbildung kann den Verlust an Feinstoffen mit dem Siebwasser anteilig aufheben. Damit nähert sich die Laborblattbildung dem industriellen Maßstab. Mit Kreislaufwasserführung ergaben sich geringfügig abweichende Niveaus aller Messwerte; die relativen Effekte der Graszugabe wurden dabei bestätigt. Von einer Übertragbarkeit der relativen Effekte auf den industriellen Maßstab darf ausgegangen werden.

### 5.2.6 Sortierung suspendierter Pellets; Einfluss von Feinstoff

Die groben Bestandteile der aufgeschlagenen Probe GP013 und der mit Valley-Beater gemahlene Probe GP011 (vgl. Abb. 18) wurden über einen Wuchtschüttler abgetrennt. Abb. 19 zeigt die Rückstandsmengen im Vergleich zum Haindl-McNett-Rückstand bei Schlitzplatte 0,15 mm. Der Wuchtschüttler-Rückstand fällt geringer aus als der beim Haindl-Fraktionator, da der mechanische Energieeintrag bewirkt, dass ein

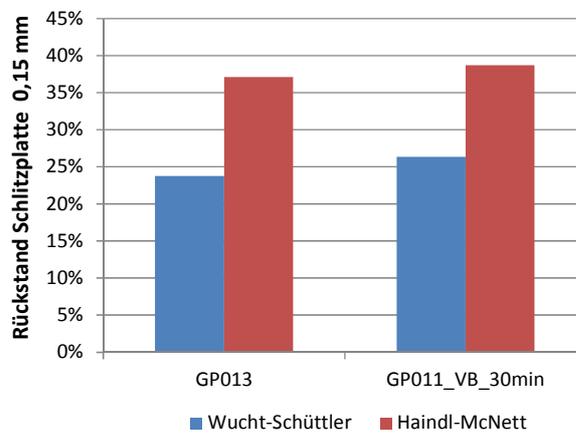
höherer Anteil an Aufgabegut die Schlitzplatte passiert. Am Drucksortierer einer Papiermaschine ist ein nochmals geringerer Rückstand zu erwarten. Für den industriellen Prozess wird somit ein Rückstandsanteil von 10-15 % abgeschätzt. Dieser Anteil ließe sich durch mehrstufige Mahlung des Grases reduzieren. Er ist als Materialverlust einzukalkulieren.



Proben: GP011\_VB\_30min: GP011 nach 30 min Mahlung im Valley Beater

**Abb. 18: Haindl-McNett-Fractionen von zwei Proben**

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

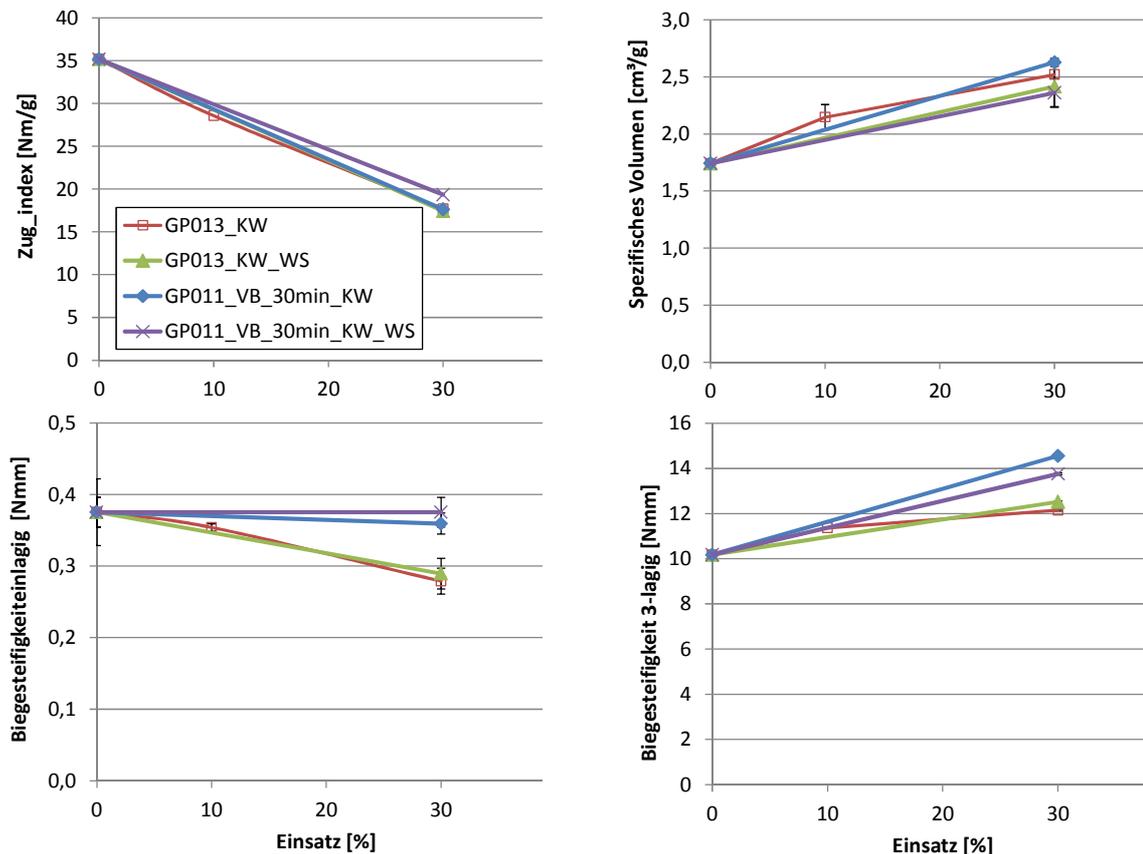


Wuchtschüttler GP011\_VB\_30min: GP011 nach 30 min Mahlung im Valley Beater

**Abb. 19: Rückstandsmenge auf Schlitzplatte 0,15 mm im Vergleich von Haindl-McNett-Fraktionierung und Wuchtschüttler**

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

Die Abtrennung der Grobbestandteile führte zu keinen signifikanten Unterschieden in den erfassten Papiereigenschaften der Laborblätter (Abb. 20). Da mit dem Abtrennen von Grobbestandteilen der Anteil der Feinstoffe steigt, muss anhand dieser Ergebnisse angenommen werden, dass der Anteil an Feinstoff-Fraktion im Gras-Stoff keinen relevanten Einfluss auf die Papiereigenschaften nimmt.



WS Wuchtschüttler, KW Kreislaufwasserführung, VB Valley Beater

**Abb. 20: Einfluss der Abtrennung von Grobbestandteilen im Wuchtschüttler auf ausgewählte Papiereigenschaften anhand zweier Proben**

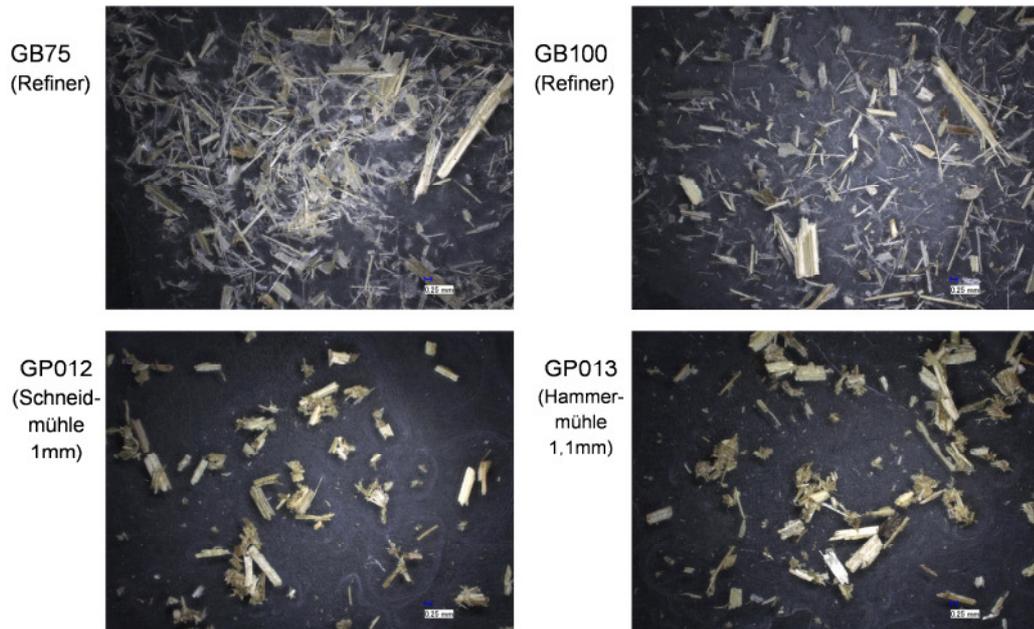
Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

### 5.2.7 Nassmahlung

Die Mahlung von Faserstoff ist eine Grundoperation der Papierherstellung, die bei Zellstoffen die innere Faseroberfläche erhöht und Faserfibrillen freilegt. Hierdurch wird die Faser-Faser-Bindung im Papier gestärkt, was u. a. zu höherer Zugfestigkeit führt. Der Entwässerungswiderstand (Mahlgrad, gemessen als Schopper-Riegler) steigt. Allerdings kann auch eine Faserkürzung auftreten. Die Nassmahlung von Gras-Stoff mit Technikumsrefiner wurde geprüft.

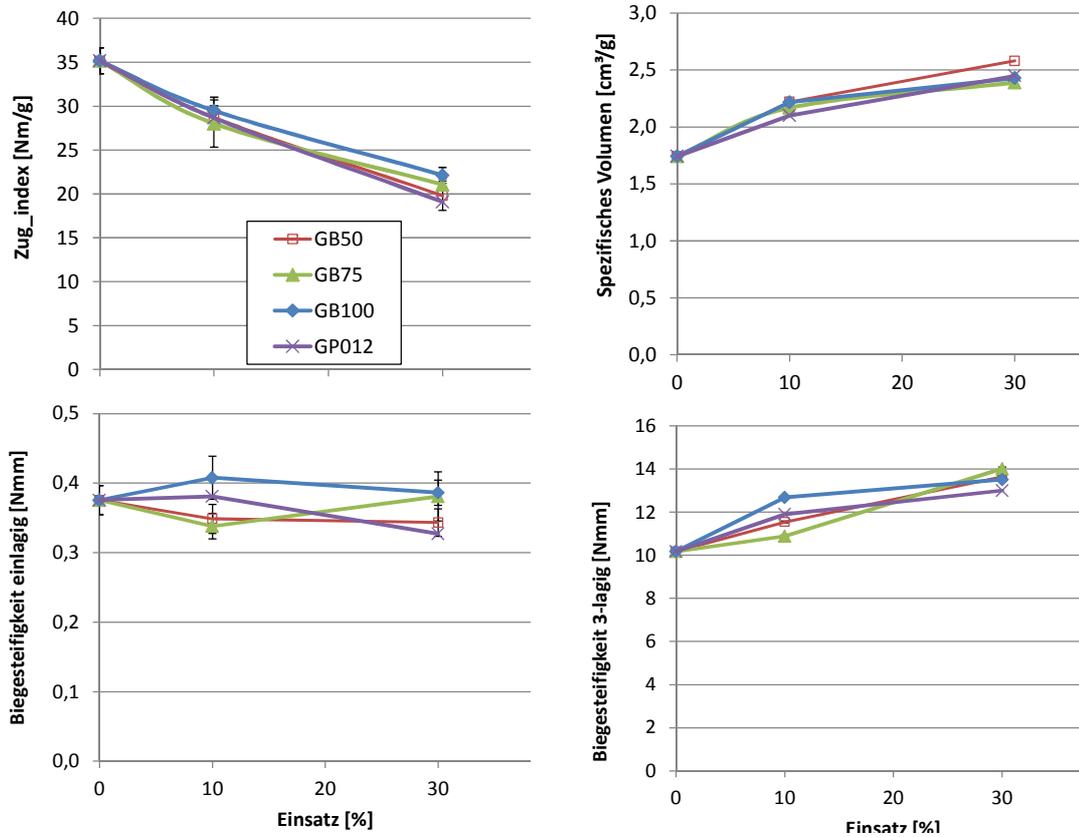
Nach beiden Aufbereitungsoptionen – trocken und nass gemahlen – lagen weiterhin Grobbestandteile vor. Die Nassmahlung erzielte dabei höhere Anteile an schlanken Fasern (Abb. 21).

Die Refinermahlung ließ keinen signifikanten Effekt auf die Papiereigenschaften erkennen (Abb. 22). Von einer weiteren Betrachtung dieser Option wurde daher abgesehen.



**Abb. 21: Mikroskopie-Bilder von nass und trocken gemahlene Proben**

Quelle: Eigene Darstellung, PTS, 2015



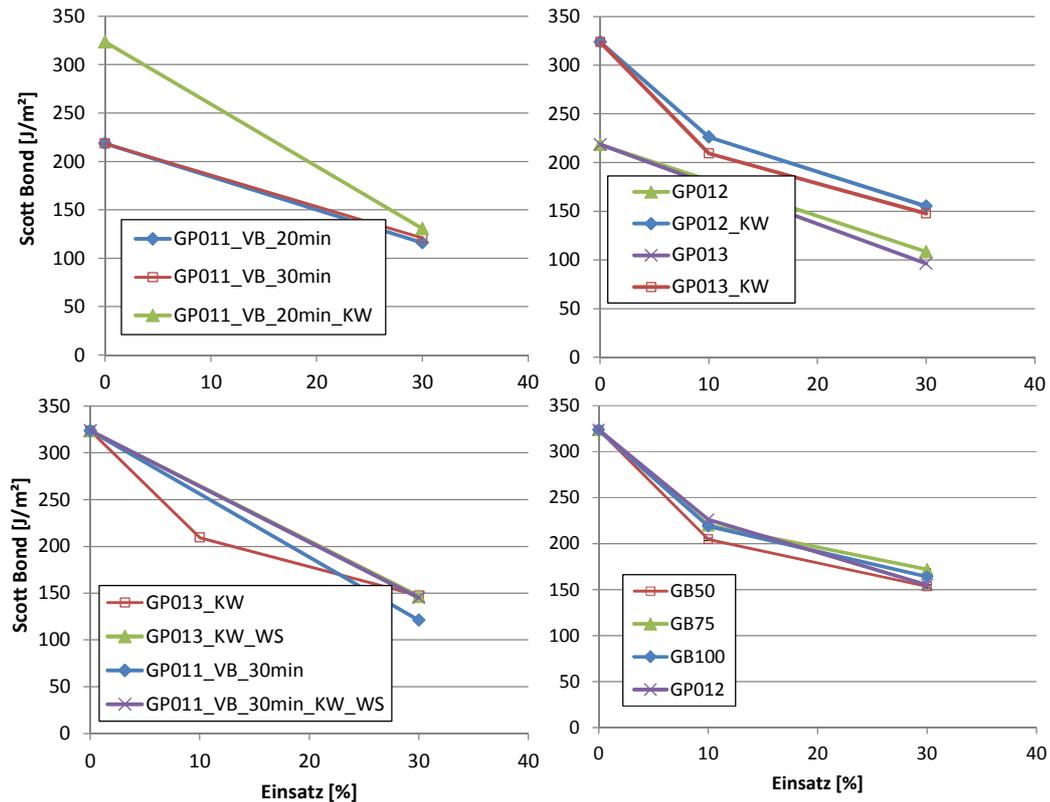
(Probe GB mit Mahlpunkten 50, 75 und 100 kWh/t, Probe GP012) Fehlerbalken: Standardfehler

**Abb. 22: Einfluss der Nassmahlung auf ausgewählte Papiereigenschaften**

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

## 5.2.8 Spaltwiderstand

Der anteilige Einsatz von Gras-Stoff in Altpapier-basierten Testblättern führte in allen Varianten zu einem deutlichen Verlust an Spaltwiderstand (Abb. 23). Für die industrielle Umsetzung bedeutet dies, dass bei Papiersorten, bei denen Spaltfestigkeit eine wichtige Zielgröße ist, Gegenmaßnahmen ergriffen werden müssen. Dies kann der Einsatz von Massen- oder Sprühstärke sein.



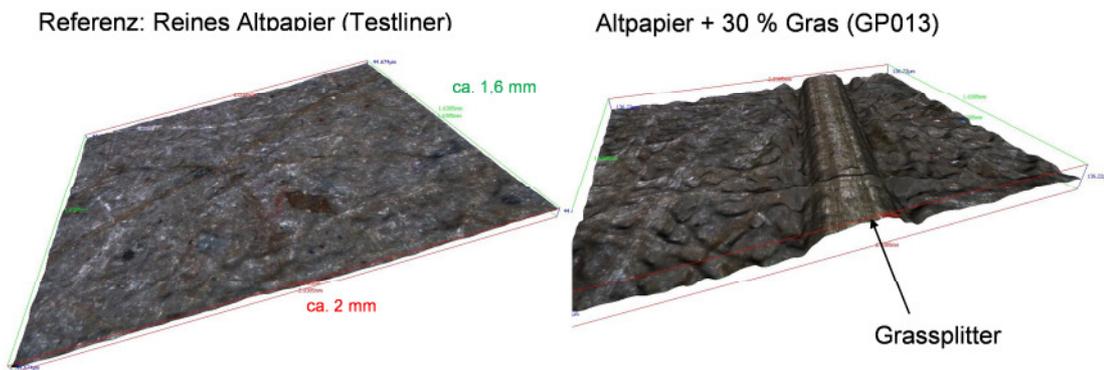
**Abb. 23: Einfluss des Einsatzes der aufbereiteten Gras-Stoffe auf den Spaltwiderstand**

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015

### 5.2.9 Rauheit

Die eingesetzten gemahlene(n) Gras-Stoffe führten zu einer erhöhten Rauheit der Testblätter. In Abb. 24 ist dies anhand der Oberflächentopographie visualisiert. Messungen der Rauheit nach Bendtsen bestätigten die Aussage (ohne Abb.).

Die Rauheit spielt bei der Papierverarbeitung an zahlreichen Stellen eine Rolle, insbesondere beim Streichen und im Druck. Vor dem Einsatz von Gras in entsprechenden Anwendungen sollten die Auswirkungen detaillierter untersucht werden. Gegebenenfalls bringt auch hier eine feinere Mahlung Abhilfe. Beim Einsatz in der Mittellage von mehrlagigen Produkten sind negative Auswirkungen dagegen nicht zu erwarten.



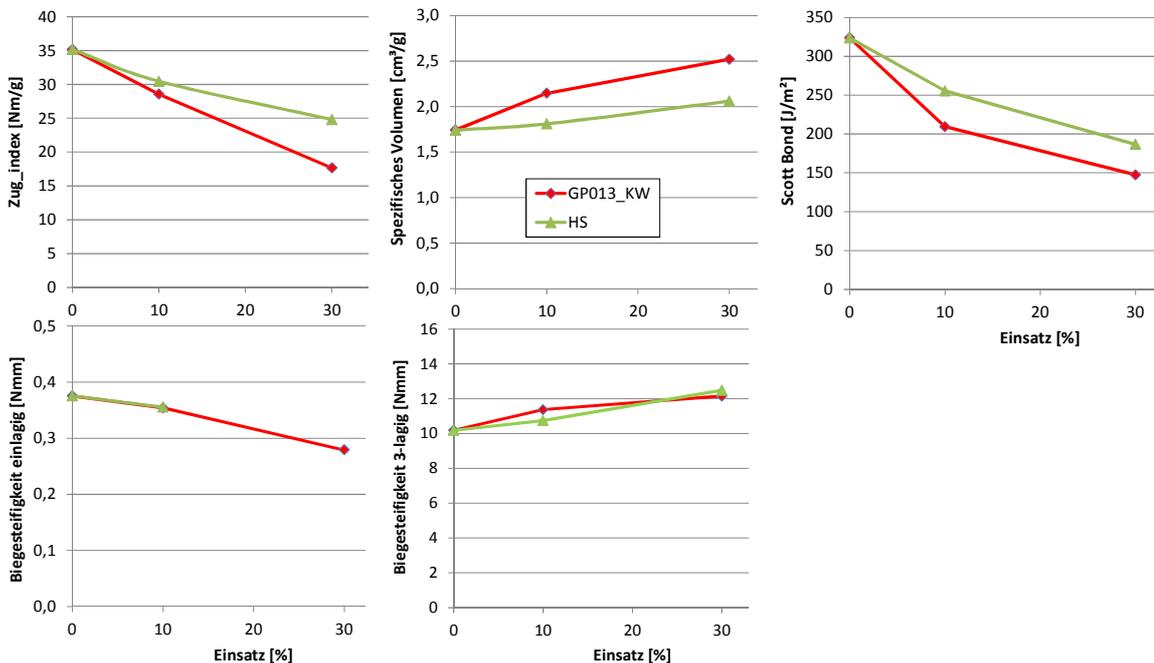
**Abb. 24:** Visualisierung der Oberflächentopographie eines Blattes aus Standardfaserstoff und eines Blattes mit 30 % Grasstoff-Anteil

Quelle: Eigene Darstellung, PTS, 2015

### 5.2.10 Vergleich mit Holzstoff

Zur Volumenbildung in Karton wird nach Stand der Technik Holzstoff eingesetzt. Es wurde untersucht, ob Gras-Stoff und Holzschliff vergleichbare Ergebnisse erzielen, inwieweit also Gras-Stoff Holzschliff substituieren könnte.

Die Ergebnisse der Testblätter sind in Abb. 25 wiedergegeben. Der betrachtete GP013-Stoff führte zu geringerer Zug- und Spaltfestigkeit als Holzschliff, hatte jedoch einen stärkeren Volumeneffekt. Im Zusammenspiel beider Faktoren war die dreilagige Biegesteifigkeit mit beiden Stoffen im Rahmen der Verfahrensgenauigkeit gleich.



Blattbildung jeweils mit Kreislaufwasserführung

**Abb. 25: Vergleich ausgewählter Papiereigenschaften bei anteiligem Einsatz von Holzschliff HS und von aufbereitetem Gras-Stoff am Beispiel von GP013**

Quelle: Eigene Darstellung, Dietz, 2015



---

### 5.3 Zusammenfassung und Fazit zum Arbeitspaket III „Potenzialbewertung“

In AP III wurde das technologische Potenzial von Gras-Stoff für die Papierherstellung geprüft. Varianten der Trocken- und Nassmahlung mit pelletiertem und brikettiertem Gras sowie eine Abtrennung grober Bestandteile wurden untersucht.

Um eine Suspendierung des Grasmaterials in üblicher Pulper-Technologie der Papierherstellung zu gewährleisten, ist eine nur schwache Kompaktierung (Pelletierung, Brikettierung) notwendig. In den Untersuchungen zeigte sich dabei die Auflösezeit als vorrangige Stellgröße, um eine weitgehend homogene Suspension zu erhalten; der Energieeintrag erschien nebenrangig.

Alle Grasmaterialien wiesen 20-25 % wasserlösliche Bestandteile auf. Für den Einsatz in der Papierherstellung impliziert dies Materialverluste und bei dauerhaftem Einsatz eine mögliche Beeinträchtigung der Runnability und eine erhöhte Belastung der Abwasserreinigungsanlage.

Mit allen untersuchten Proben ergab sich ein Grobrückstand nach Suspendierung und Desintegration in einem Anteil von mindestens 10 %. Dieser Anteil ist im Herstellungsprozess auszusortieren, da er nicht maschinengängig ist. Er stellt einen Materialverlust dar. Durch geeignete Mahlung ließe sich der Anteil gegebenenfalls reduzieren.

Mit den aufbereiteten Gras-Stoffen war eine Laborblattbildung ohne Auffälligkeiten im Vorgehen machbar.

In allen Varianten führte der Gras-Einsatz zu einem Verlust an Zugfestigkeit und Spaltwiderstand im Vergleich zu Referenzpapieren aus 100 % Altpapierstoff. Die Nassmahlung des Grases erbrachte hier keine nennenswerten Vorteile.

Das spezifische Volumen der Prüfblätter nahm durch Gras-Einsatz hingegen deutlich zu. Die Modellierung mehrlagiger Kartone belegte eine Steigerung der Biegesteifigkeit durch Einbringen von mechanisch aufbereitetem Gras in die Mittellage. In dieser Anwendung ist das papiertechnologische Potenzial zu sehen. Nach den Ergebnissen kann Gras klassisch zur Volumenbildung eingesetzten Holzstoff in gleicher Menge ersetzen. Auf den geringeren Spaltwiderstand mit Gras-Stoff ist zu achten.

Damit sollte eine Anwendung von mechanisch aufbereitetem Gras in der Papierherstellung sich auf Karton fokussieren.

Zwischen den betrachteten mechanischen Aufbereitungsvarianten zeigten sich im Labor keine signifikanten Unterschiede für die Papierqualität. Für die Aufbereitung liegen daher Freiheitsgrade vor.



---

## 6 Flächennutzung und Versorgungssicherheit

Forschungen zur Entwicklung von alternativen Rohstoffen für die Papierherstellung wurden u.a. von der PTS in den vergangenen Jahren mehrfach durchgeführt. Hierbei wurden z.B. Stroh, Miscanthus oder auch Erdnussschalen hinsichtlich der Eignung getestet. Im Grundsatz waren die Forschungsergebnisse positiv und eine Eignung gegeben. Einheitlich bei allen Alternativen bestand jedoch die Herausforderung, größere Mengen des Ersatzrohstoffs, die eine industrielle Nutzung ermöglichen, bereitzustellen.

In den mit den Papierfabriken geführten Gesprächen war das Thema Versorgungssicherheit somit auch immer ein zentraler Punkt. Es galt daher einen Nachweis zu erbringen, der aufzeigt, dass

- ausreichend Grünflächen vorhanden sind und neben der landwirtschaftlichen Nutzung die erforderlichen Mengen Heu für eine Papierherstellung bereitgestellt werden können und
- eine Versorgungssicherheit für eine Papierfabrik im Sinne von gleichmäßiger Zuführung bei gleichbleibender Qualität realisiert werden kann.

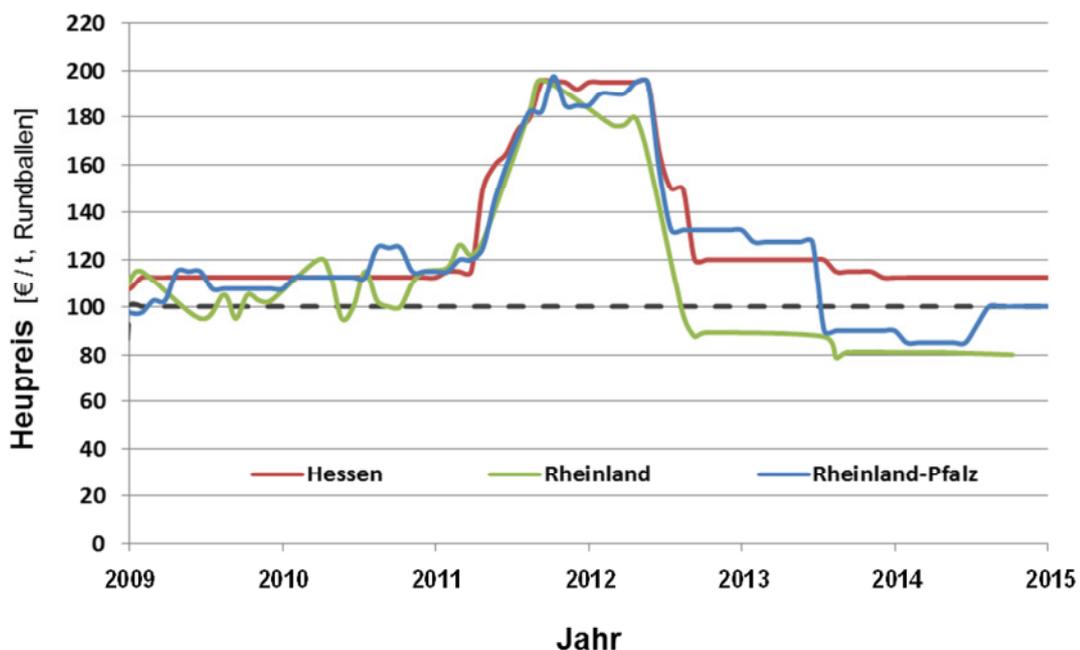
Ergänzend zu diesen beiden Punkten wurden im Arbeitspaket IV die aktuellen Heupreise analysiert, um die Einflussfaktoren und Risiken für den Einkauf von Heu kennen zu lernen.

### 6.1 Entwicklung des Heupreises

Heupreise werden von weniger als der Hälfte der insgesamt 22 deutschen Produkt- und Warenbörsen veröffentlicht. Die hier untersuchten Preise wurden von den jeweiligen Landwirtschaftskammern oder Warenbörsen, je nach Jahreszeit und Heusaison in Abständen von 1-4 Wochen, ausgegeben. Dabei handelt es sich um Orientierungspreise, die nicht mehr auf Basis von tatsächlich an der Börse gehandelten Preisen, sondern auf der Grundlage von Befragungen und Hochrechnungen erstellt werden. Bei den Befragungen werden Heuhändler der Region befragt. Eine Gegenkontrolle der erfragten Preise ist nicht möglich, da weder Produzenten noch Endabnehmer, wie Landwirte oder Pferdebetriebe, befragt werden. Diese Tatsache und der Umstand, dass das Heu häufig direkt zwischen Landwirt und Endabnehmer gehandelt wird, machen den Heumarkt sehr intransparent.

Analysiert wurden neben den Heupreisen aus Rheinland-Pfalz (einschließlich dem Saarland) auch die Heupreise in Hessen und dem Rheinland, um einen größeren Regionsbezug herzustellen. Es handelt sich um den Heupreis ab Hof, ohne Mehrwertsteuer, in €/t.

Die Darstellung des durchschnittlichen Heupreises (berechnet aus den veröffentlichten Minimal- und Maximalpreisen pro Tonne) der Jahre 2009 – 2015 zeigt zum einen, dass die Preise über mehrere Jahre relativ stabil waren (2009 – 2011, 2013 - 2015). In diesen Perioden lag der durchschnittliche Heupreis zwischen 80 und 120 € pro Tonne (Rundballen). Zum anderen zeigt die Darstellung einen starken Anstieg der Preise im Sommer 2011, der sich bis ins Jahr 2012 zieht. Auf Grund von ungünstigen Wetterbedingungen hat sich in dieser Zeit der Heupreis fast verdoppelt. Der milde Frühling 2011, mit seinen sehr hohen Temperaturen und geringen Niederschlägen hat dazu geführt, dass sich der Heuertrag im 1. Schnitt halbierte. Zudem haben häufige Niederschläge in den Sommermonaten zu einem Komplettausfall der Ernte zum 2. Schnitttermin geführt. Diese extreme Verknappung des Heuangebotes, bei gleichbleibender Nachfrage, war Grund für die annähernde Verdopplung des Heupreises. Erst die Heuernte im Frühjahr 2012 konnte den Markt langsam beruhigen und die Ernte des 2. Schnittes im Sommer 2012 sorgte dann für den Rückgang der Preise auf Normalniveau.

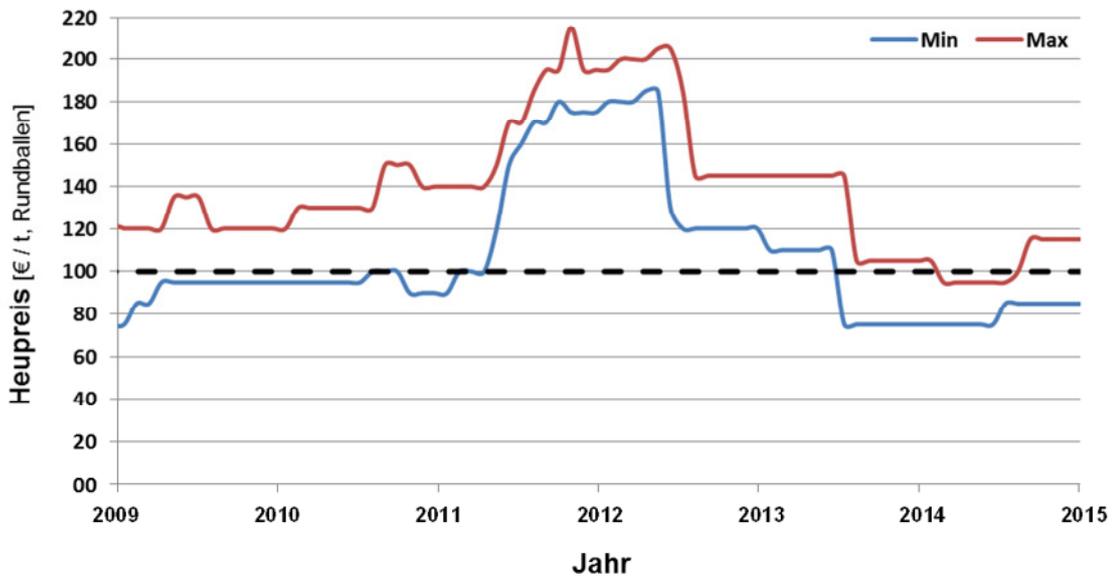


**Abb. 26: Durchschnittlicher Heupreis der Jahre 2009 – 2015**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015, in Anlehnung an: Rhe15, S.1 und Lkr15, S.2

Sieht man sich die veröffentlichten Minimal- und Maximalpreise für Heu in Rheinland-Pfalz und dem Saarland genauer an, wurden große Unterschiede deutlich. Grund dafür sind die an der Preisbildung beteiligten Faktoren wie: Abnahmemenge, Lagerkosten,

Qualität, Gebinde<sup>14</sup>, veröffentlichte Preise und etwaige Nebenabreden zwischen Landwirt und Käufer. Es ist anzunehmen, dass sich die Einkaufspreise für Heu zur Papierherstellung am Minimalpreis orientieren werden. Eine hohe Abnahmemenge, eine geringere Qualität (siehe 4.2.1), die Unabhängigkeit von der jeweiligen Gebindeform (Rundballen, Quaderballen) und der direkte Kauf beim Landwirt sprechen dafür, dass sich der Rohstoffeinkauf für die Papierherstellung zu Minimalpreisen realisieren lässt.



**Abb. 27: Veröffentlichte Minimal-/Maximalpreise für Heu in Rheinland-Pfalz, im Zeitraum 2009 – 2015**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015, in Anlehnung an: Rhe15, S.1 und Lkr15, S.2

## 6.2 Verfügbarkeit von Grünflächen und deren Nutzung

Unter den als „Grünflächen“ zu verstehenden Flächen gelten im Wesentlichen die landwirtschaftlich genutzten Grünflächen (Wiesen, Weiden, etc.), öffentliche Grünflächen und auch Naturschutzgebiete. Zwar gibt es Zahlen, die eine Einschätzung der Flächen ermöglichen, allerdings bestehen keine eindeutigen Informationen hinsichtlich der Nutzung dieser Flächen. D.h., öffentliche Grünflächen können auch Wald sein und landwirtschaftliche Grünflächen werden nur bedingt für die Verfütterung verwendet.

<sup>14</sup> Gebinde ist eine Transportform des Heues, in der Regel handelt es sich um Quader- oder Rundballen.



---

Um hier einen genaueren Einblick zu bekommen, wurde die Maschinenring Westertal-Taunus GmbH gebeten, in Zusammenarbeit mit der Universität Bonn eine Studie zu erstellen<sup>15</sup>, die exemplarisch für eine Region die Verfügbarkeit von Grünflächen und deren Nutzung aufzeigt. Die Ergebnisse dieser Studie sind in den vorliegenden Abschlussbericht eingeflossen.

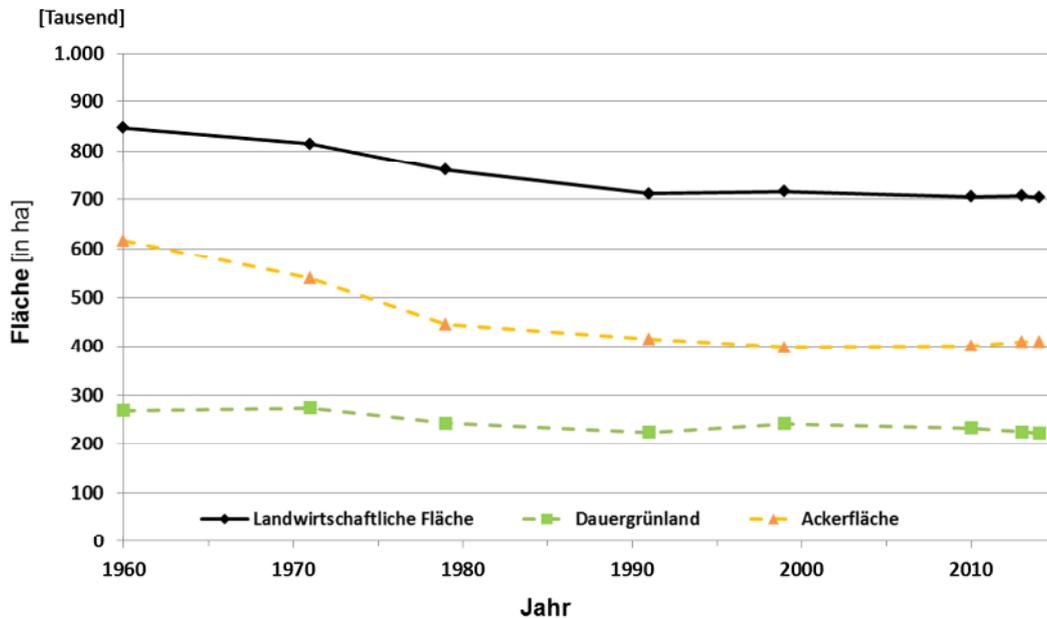
### 6.2.1 Verfügbarkeit von Grünflächen

Die landwirtschaftliche Fläche in Deutschland setzt sich zum Großteil aus Ackerflächen und Grünland zusammen. So machten diese beiden Bodennutzungstypen im Jahr 2010 90% der gesamten landwirtschaftlichen Fläche in Rheinland-Pfalz aus. Betrachtet man die Veränderungen der landwirtschaftlichen Fläche in Rheinland-Pfalz über die letzten 54 Jahre, so hat deren Größe um 17% von 847.000 ha auf 704.000 ha abgenommen. Dabei sank die Ackerfläche um 34% und das Grünland um 17%. In den Jahren von 1990 bis 2010 waren die Flächenzahlen relativ stabil. Wohingegen besonders beim Grünland ab 2010 eine Tendenz zum Grünlandumbruch zu Gunsten von neuem Ackerland zu verzeichnen war. Dies hat die Landesregierung dazu veranlasst ein Grünlandumbruchverbot ab 2015 einzuführen. Das bedeutet, dass ab 2015 Grünland nur noch nach vorheriger Genehmigung durch die Landesbehörde zu Acker umgewandelt werden darf. Dies soll den weiteren Verlust von Grünland stoppen und somit die ökologische Funktion des Grünlandes (CO<sub>2</sub>-Speicher, Kulturlandschaft, Arten-, Wasser- und Erosionsschutz) weiter gewährleisten.

Im Zeitraum von 1999 bis Ende 2014 hat sich die Ackerfläche um 3% erhöht wohingegen die Grünlandfläche um 8% gesunken ist. Ein Rückgang des Grünlandes sowie die stabile bis leicht steigende Zahl der Ackerfläche sind auch auf Bundesebene übertragbar. Eine Zunahme des Heupreises durch Rückgang der Grünlandfläche konnte nicht festgestellt werden. Trotz Zunahme der Ackerfläche wird Ackerfutter wie Soja oder Mais immer häufiger importiert. Umgekehrt wird Heu je nach Marktlage, sogar in grenznahe Länder exportiert.

---

<sup>15</sup> Siehe hierzu Mr15



**Abb. 28: Landwirtschaftliche Fläche in Rheinland-Pfalz, untergliedert in Dauergrünland und Ackerland, für den Zeitraum 1960-2014**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015 in Anlehnung an: Sta13a, S. 1 und Sta14, S. 6f

## 6.2.2 Nutzung der Grünflächen

Die Entwicklung der Futterflächen und der Bestände an Raufutterfressern<sup>16</sup> soll Aufschluss darüber geben, ob neben dem für die Fütterung benötigten Grünlandaufwuchs, der Anteil übriger Mengen zu- oder abnimmt. Die Methodik zur Erhebung der Tierzahlen in Rheinland-Pfalz hat sich zuletzt 1999 geändert. Deshalb wurde der Beobachtungszeitraum von 1999-2014 gewählt um methodische Fehler zu vermeiden. Die Analyse wurde unter der Annahme erstellt, dass die Futtermittelration der Tiere, welche sich aus Raufutter (Silage, Heu) von Grünlandflächen und Kraftfutter von Ackerflächen zusammensetzt, im Beobachtungszeitraum nicht wesentlich verändert hat. Der Analyseansatz kann auch auf andere Regionen und Bundesländer übertragen werden. Neben der Fütterung von Raufutterfressern wie Rindern, Schafen und Pferden geht ein geringerer Anteil in die Fütterung von Ziegen und Dam-Rotwild. Restmengen und mindere Qualitäten werden häufig einer energetischen Verwertung überwiegend als Biogassubstrat zugeführt. Heu geht zudem in die Futtermittelindustrie, wo es für die Kleintierfütterung weiterverarbeitet wird. Der Verkauf von Heu in die Niederlande ist vor allem in den

<sup>16</sup> Raufutterfresser sind pflanzenfressende Nutztiere, deren Nahrung aus Raufutter (Silage, Heu, Stroh) besteht.



---

grenznahen Bundesländern nicht untypisch. Offizielle Zahlen zur gehandelten Heumengen gibt es jedoch weder für den Export, noch für Heu, das innerhalb von Deutschland gehandelt wird.

Mit großen Veränderungen der Grünlandfläche ist in Rheinland-Pfalz ab 2015 nicht mehr zu rechnen, da ein landesweites Grünland-Umbruchverbot die Grünlandfläche auf einem stabilen Niveau halten soll. Eine sichere Prognose der Tierbestände über das Jahr 2015 hinaus ist kaum möglich, da ab dem 1. April 2015 die Milchquotenregelung in Deutschland ausläuft und deshalb mögliche Veränderungen der Milchkuhbestände noch nicht abzusehen sind.

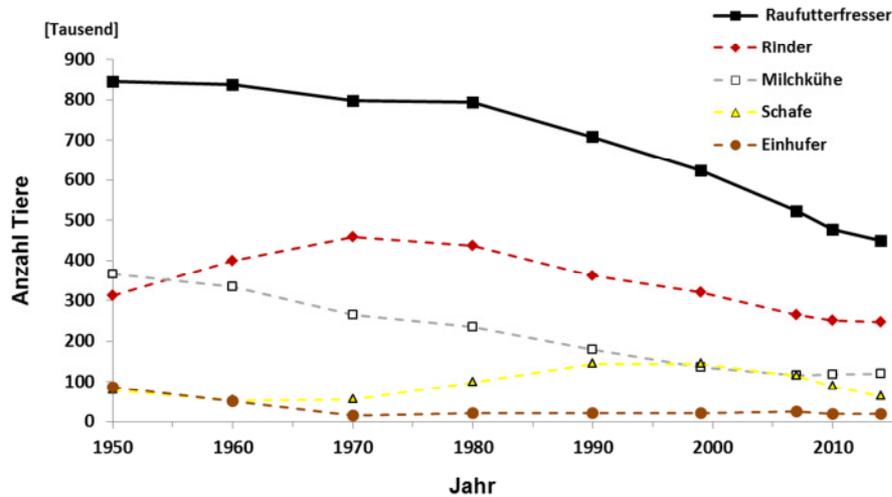
Zu den Raufutterfressern zählen Rinder jeden Alters, Milchkühe, Einhufer<sup>17</sup> (Pferde, Esel), Schafe, Ziegen und Dam-/Rotwild. Belastbare, langjährige Bestandszahlen gibt es nur für die drei großen Nutztierarten, die Rinder/Milchkühe, die Schafe und die Einhufer.

Der Bestand an Raufutterfressern war in den letzten Jahrzehnten stark rückläufig. Im Beobachtungszeitraum von 1999 bis 2014 ist er von 624.000 auf 450.000 Tiere, und damit um 28% gesunken. Veränderungen auf den europäischen Agrarmärkten und produktionstechnische Leistungssteigerungen, vor allem bei der Milchleistung der Kühe, haben zu einer starken Abnahme der Raufutterfresser geführt. Der erhöhte Grundumsatz der leistungsstärkeren Kühe wurde größtenteils durch verstärkten Einsatz von Importfutter, wie Soja oder Mais ausgeglichen<sup>18</sup>. Erst in den letzten 4 Jahren, seit 2010 ist eine Stabilisierung der Rinder und Milchkuhbestände erkennbar. Die Bestände der Einhufer sind seit 1970 relativ stabil, wohingegen die Schafbestände von 1970 bis Mitte der 1990 gestiegen und im Anschluss wieder leicht gefallen sind. Ähnliche Tendenzen sind für die ganze Bundesrepublik erkennbar.

---

<sup>17</sup> Einhufer sind eine Gattung der Säugetiere. Die Gattung (Equus) besteht aus Pferden, Zebras und Eseln. Meist werden innerhalb der Gattung sieben Arten unterschieden.

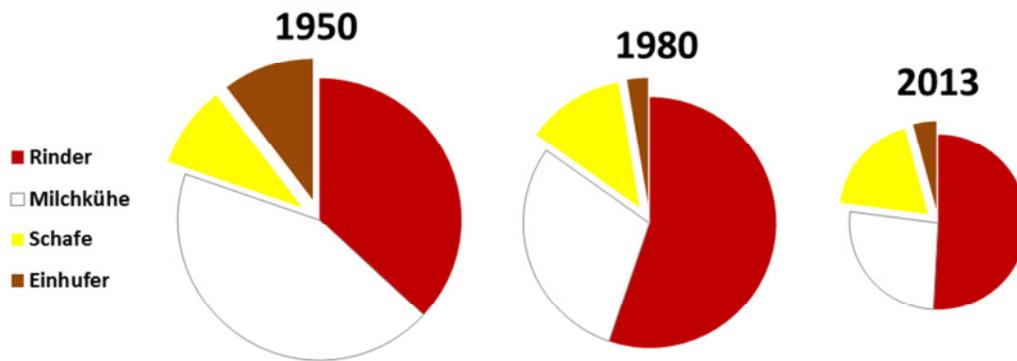
<sup>18</sup> Vgl. WH08, S. 48



**Abb. 29: Entwicklung der Raufutterfresser in Rheinland-Pfalz von 1950 – 2014, untergliedert in Rinder, Milchkühe, Schafe und Einhufer**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015 in Anlehnung an: Sta13, S. 1

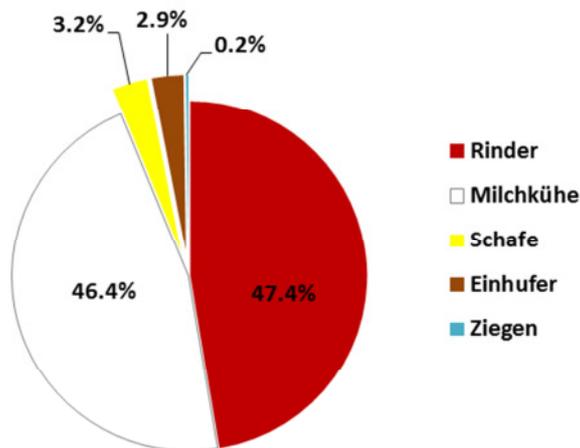
Die Zusammensetzung der Raufutterfresser in Rheinland-Pfalz hat sich in den letzten Jahrzehnten nur geringfügig verändert. Der Großteil der Raufutterfresser entfiel in den letzten 63 Jahren, mit einem Anteil von mehr als 75%, auf Rinder und Milchkühe. Der Anteil der Einhufer ist von 1950 – 2013 stetig gesunken. Der Bestand der Einhufer für das Jahr 2014 war zum Untersuchungszeitpunkt noch nicht veröffentlicht. Daher wurde der Bestand aus 2010 weitergeführt. Aufgrund der geringen Zahl an Dam-/Rotwild werden in Rheinland-Pfalz lediglich deren Schlachtzahlen erhoben, daher fehlt diese Nutztierart in den Abbildungen 30 und 31. Die Ziegenbestände in Rheinland-Pfalz wurden nur im Jahr 2010 erfasst, daher werden diese nur in Abbildung 31 ausgewiesen.



**Abb. 30: Zusammensetzung der Bestände an Raufutterfressern, in den Jahren 1950, 1980 und 2013, nach Nutztierart**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015 in Anlehnung an: Sta13, S. 1

Die Bedeutung der Rinder und Milchkühe am Anteil der Raufutterfresser nimmt weiter zu, setzt man die Bestände der Raufutterfresser in Relation zu ihrem durchschnittlichen Körpergewicht (Futteraufnahme) und dem Raufutteranteil ihrer täglichen Futterration. Dabei bedient man sich der Einheit RGV (Raufutter verzehrende Großvieheinheit). Dadurch zeigt sich, welchen Anteil die jeweiligen Nutztiere am tatsächlichen Raufutterbedarf haben. Mit ungefähr 94% sind Rinder und Milchkühe die mit Abstand größten Raufutterverzehrer in Rheinland-Pfalz. Somit hat deren Bestandsgröße wesentlichen Einfluss auf die Verfügbarkeit von Grünlandaufwuchs in der Zukunft.



**Abb. 31: Anteil der unterschiedlichen Raufutterfresser an der Gesamt-RGV in Rheinland-Pfalz, im Jahr 2010**

Quelle: Eigene Darstellung, Höller, 2015 in Anlehnung an: Sta13, S. 1 und Sta12, S. 9



---

## 6.3 Ein Beschaffungskonzept als Basis der Versorgungssicherheit

### 6.3.1 Anforderungen und Risiken

Der Rohstoff Gras und dessen Verarbeitung zu Heu bietet mehrere Herausforderungen. Die erste Herausforderung liegt darin, dass Gras als Rohstoff nicht kontinuierlich in einer planbaren Menge produziert werden kann. Es wird zwar mehrmals innerhalb eines Jahres abgeerntet, aber nicht so, dass man einen industriellen Prozess abbilden kann.

Die zweite Herausforderung ist die Qualität des Heus. Hinsichtlich der Qualität des Heus sind zum einen die Gräservielfalt und zum anderen vorhandene Verunreinigungen bzw. Fremdstoffe von Bedeutung. Eine weitgehend gleichbleibende Qualität kann z.Z. nur bei Heu von landwirtschaftlichen Grünflächen realisiert werden, so dass öffentliche Grünflächen oder Naturschutzgebiete zunächst noch unberücksichtigt bleiben.

Eine weitere Herausforderung ist die Trocknung des Grases bzw. der Feuchtegehalt des Heus, um einen Schimmelbefall zu vermeiden und eine Lagerfähigkeit des Heus aber auch später des zu Graspellets verarbeiteten Heus zu erzielen.

Anhand dieser Herausforderungen wird deutlich, dass der Lösungsansatz ein durchgängiges Konzept von der „Weide bis zur Papierfabrik“ bedingt.

### 6.3.2 Beschaffungskonzept

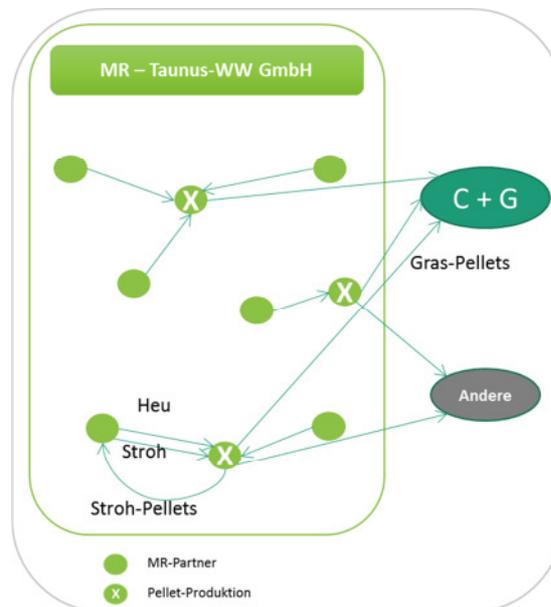
Das Projekt verfolgt den Grundsatz „Aus der Region für die Region“. Dieser resultiert in erster Linie aus der Tatsache, dass Papierfabriken sich grundsätzlich in ländlichen Gebieten befinden und von daher davon ausgegangen werden kann, dass ausreichend Grünland in der gleichen Region vorhanden ist. Darüber hinaus sollen möglichst kurze Transportwege realisiert werden. Dieses erfolgt durch den Bau einer Anlage zur Aufbereitung von Gras und zur Herstellung von Graspellets in der Region der Papierfabrik. Untersuchungen haben ergeben, dass eine Anlage dann wirtschaftlich betrieben werden kann, wenn mehr als 4000 t Graspellets benötigt werden.

Neben der Studie zur Verfügbarkeit von Gras wurde mit dem Maschinenring Westwald-Taunus GmbH (MR), in dem 250 regionale landwirtschaftliche Betriebe organisiert sind, auch das Beschaffungskonzept durch die Projektgesellschaft C+G Papier GmbH (C+G) abgestimmt und Potenziale für eine mögliche zukünftige Zusammenarbeit im Fall der Belieferung einer in der Region befindlichen Papierfabrik erörtert.

Die Grundlagen der Zusammenarbeit und Basis für ein Lieferantenkonzept stellen sich wie folgt dar:

- C+G vereinbart Einkaufskonditionen für eine bestimmte Jahresmenge aus der Region des MR.
- Der MR vereinbart Jahresmengen mit den Landwirten in der Region.

- Da Heu, solange es trocken gelagert wird, langfristig nutzbar bleibt, erfolgt die Lagerung bei den Landwirten.
- Der MR koordiniert die Zuführung zum Produktionsstandort für Graspellets in der Region und verrechnet mit den MR-Partnern / Landwirten.
- Zusätzlich zur Produktion von GRASPAP®<sup>19</sup> entwickelt der Landwirt weitere Aktivitäten zur Auslastung der Produktionsanlage. Dieses kann z.B. die Herstellung von Strohpellets sein, die z.B. als Einstreu für Pferdeställe verwendet werden.
- Der MR unterstützt die Entwicklung der Zusammenarbeit mit den Landwirten und zwischen den Landwirten durch entsprechende Informationen an die MR-Partner.



**Abb. 32: Zusammenarbeit mit dem MR / Lieferantenkonzept**

Quelle: Eigene Darstellung, Cruse, 2014

Die Zusammenarbeit mit dem MR bietet für die C+G folgende Vorteile:

- umfangreicher und dennoch regionaler Zugang zu dem Rohstoff Heu;
- optimale Umsetzung des Regionalkonzeptes;
- Reduzierung der Schnittstellen durch Koordination der „Quellen“ durch den MR.

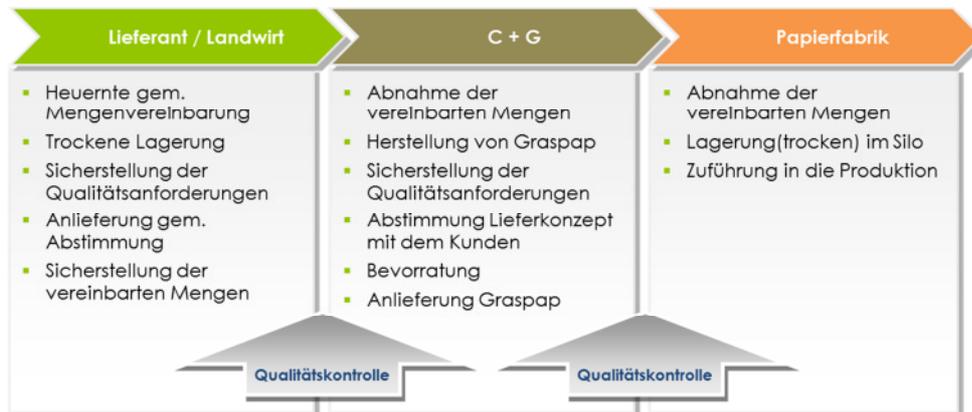
<sup>19</sup> GRASPAP: die Bezeichnung setzt sich zusammen aus den Worten „Gras“ und „Papier“. Im Rahmen der Patententwicklung wurde der Begriff geschützt.

Die Zusammenarbeit mit der C+G ermöglicht dem MR neben den Lieferungen von Heu die Entwicklung weiterer Leistungen / Synergien:

- Übernahme einer Anlage zur Herstellung von GRASPAP ®

Kombination der Anlage mit einer Biogasanlage zur Nutzung der Wärme für die Trocknung von Gras:

- Ersatz der „Sonnentrocknung“ und Verlängerung der Erntezeit;
- Reduzierung der Ausfallrisiken durch mangelnde Heuverfügbarkeit aufgrund von schlechtem Wetter;
- Entwicklung von Lohnbetriebs-Leistungen durch die Herstellung von Holz- oder Strohpellets;
- Realisierung von Synergien in den Bereichen Personal und Equipment.



**Abb. 33: Aufgabenverteilung im Lieferantenkonzept**

Quelle: Eigene Darstellung, Cruse, 2014

Neben der bereits angesprochenen Lage des Produktionsstandortes sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Genaue Definition der Art, Qualität und des Feuchtegehalt des zu liefernden Heus;
- Zwischenlagerung des Heus beim Lieferanten;
- Vereinbarung über das Mengengerüst und Preise des zu liefernden Heus;
- Übergeordnete Organisation des Transportes über verschiedene Lieferanten hinweg, um die mit dem Transport verbundenen Kosten und Emissionen vor Ort für alle so gering wie möglich zu halten;
- Umsetzung eines Qualitätssicherungssystems.



---

Vorgesehen ist ein fünfstufiges Qualitätssicherungssystem. Grundlage der Qualitätssicherung sind definierte und vereinbarte Qualitätsstandards. Diese Standards beinhalten:

**Lieferantenanforderungen:**

- Festlegung der heutzutage üblichen Gräserarten (siehe Kapitel 4.2.2)
- Bewertung der Inhaltsstoffe gem. LUFA-Analyse<sup>20</sup>
  - Trockenmasse
  - Wassergehalt
  - Zuckeranteil
  - Schimmelpilze, etc.
- Länge der Gräserhalme zwischen 10 und 20 cm
- Quader- oder Rundballen mit einem Mindestgewicht von 250 KG

**Produktanforderungen:**

Die Produkthanforderungen regeln die mit dem Kunden vereinbarten Produktmerkmale hinsichtlich:

- Pelletgröße (Länge und Durchmesser)
- Faserlängen
- Faserstruktur
- Feinstoffanteil
- Feuchtegehalt
- Auflösezeiten
- Reinheitsgrad bzw. Verunreinigungen (Erde, Steine, Müll, etc.)

Diese Standards werden in folgenden Stufen überprüft:

**Stufe 1 - Lieferantenvereinbarung:**

Im Rahmen der Lieferantenvereinbarung erfolgt eine Qualifizierung des angebotenen Heus. Auf der Basis dieser Qualifizierung werden Schwankungsbreiten festgelegt und vereinbart.

**Stufe 2 - Übernahmekontrolle:**

Mit der Übernahme der Ware erfolgt eine erste Sichtkontrolle. Diese Sichtkontrolle beinhaltet:

---

<sup>20</sup> LUFA: Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nordrhein-Westfalen



- 
- Eine Inaugenscheinnahme hinsichtlich Verunreinigungen und Schimmelbefall
  - Geruchskontrolle hinsichtlich heuuntypischen Gerüchen (Schimmel, Gülle)
  - Feuchtemessung
  - Allgemeiner Zustand der Gebinde

### **Stufe 3 - Probenname:**

Einmal jährlich erfolgt eine Probenahme pro Lieferant und eine Kontrolle / Analyse durch ein unabhängiges Institut.

### **Stufe 4 - Produktionskontrolle**

In der laufenden Produktion erfolgt eine kontinuierliche Überwachung der Qualität durch:

- Inaugenscheinnahme der zugeführten Heuballen (Sinnenprüfung, siehe Kapitel 4.2.1)
- Dokumentation der Anlagenkonfiguration (verwendete Siebe, Matrizen, etc.)
- Inaugenscheinnahme der produzierten Pellets
- Probenname pro Schicht

### **Stufe 5 - Ausgangskontrolle**

Vor jeder Kundenlieferung wird eine Probe der gelieferten Pellets gezogen und eine entsprechende Dokumentation erstellt. Der Zeitraum der Aufbewahrung der Probe richtet sich an den gelieferten Mengen und dem durchschnittlichen Verarbeitungszeitraum des Kunden aus. Damit soll im Fall von Reklamationen eine Ursachenanalyse ermöglicht werden.

Über diese fünfstufige Qualitätskontrolle ist eine lückenlose Qualitätssicherung vom Lieferanten über die Produktion bis zum Kunden gegeben.

## **6.4 Fazit zum Arbeitspaket IV „Flächennutzung und Versorgungssicherheit“**

Zielsetzung war es, einen ersten Entwurf für eine ökologisch nachhaltige und wirtschaftlich tragfähige Beschaffungsstrategie zu erarbeiten und über den Ansatz „Aus der Region für die Region“ eine Versorgungssicherheit zu realisieren.

Im Beobachtungszeitraum von 1999 bis 2014 hat nach Angaben des Statistischen Landesamtes in Rheinland Pfalz, die Grünlandfläche um 8% abgenommen. Im gleichen Zeitraum sind die Bestände an Raufutterfressern um 28% gesunken. Der reduzierte Tierbestand sowie der vermehrte Einsatz von Ackerfutter in der Milchviehhaltung haben dazu geführt, dass der Anteil des Grünlandaufwuchses in der Tierfütterung insgesamt abgenommen hat.



---

Theoretisch errechnet sich aus dem Rückgang der Raufutterfresser in Relation zur Grünlandfläche, ein Aufwuchs-Überschuss von 20%, der zum Teil exportiert oder einer außerlandwirtschaftlichen Verwertung, z.B. als Biogassubstrat, zugeführt wird.

Kalkuliert man vorsichtig und nimmt an, dass auf  $\frac{1}{4}$  der Grünlandfläche Heu geerntet wird, errechnet sich für Rheinland-Pfalz ein Überschuss an Heu von 5% oder 62.000 Tonnen pro Jahr.

Der Umstand das Grünland zu Acker umgebrochen wurde, sowie der Einsatz von Grünlandaufwuchs in Biogasanlagen oder als Festbrennstoff, sind weitere Belege für die abnehmende Attraktivität des Grünlandaufwuchses in der Tierernährung. Durch das fast flächendeckende Grünlandumbruchverbot werden sich diese Rahmenbedingungen auf absehbare Zeit nicht grundlegend verändern.

Mögliche Auswirkungen durch Wegfall der Milchquote zum 1.4. dieses Jahres können schwer abgeschätzt werden. Es ist jedoch abzusehen, dass sich die Konzentration auf große Betriebe verstärken wird. Ob ihr Wachstum sich einzig auf Kosten aufgegebener kleiner und mittlerer Betriebe vollzieht, oder es zu einer Vergrößerung des Tierbestandes kommt, bleibt abzuwarten.

Der durch die EEG Förderung stark subventionierte Biogasanlagenbau ist nahezu zum Erliegen gekommen. Der ältere Anlagenbestand wird nach überwiegender Meinung am Ende der Garantiepriephase nicht mehr wirtschaftlich zu betreiben sein; einzig Anlagen mit hohen Reststoffanteilen aus organischen Abfällen haben eine Perspektive.

Nach Abwägung dieser Kriterien spricht vieles dafür, dass nicht unerhebliche Mengen an Grünlandaufwuchs künftig der stofflichen Verwertung zur Verfügung stehen werden.

Mittels eines durchgängigen Beschaffungskonzepts kann die Versorgungssicherheit für eine Papierfabrik garantiert und eine ganzjährige Produktion von „Graspapier“ ermöglicht werden.



---

## 7 Vorverarbeitung und Transport

Ziel des Arbeitspaketes V war es, für den Rohstoff Gras anforderungsgerechte Vorverarbeitungs- und Transportmöglichkeit zu entwickeln, die die Versorgung der verarbeitenden Papierfabriken nachhaltig gestaltet.

Die für die Versuche zur Herstellung von Graspapier verwendeten Pellets wurden bei dem Unternehmen Kaliro GBR in Rheine hergestellt. Hierbei handelt es sich um ein Unternehmen, das bereits mehr als 10 Jahre Erfahrung in der Herstellung von Stroh- und Brennpellets besitzt.

Die dort hergestellten Pellets waren gut und haben in der Papierherstellung auch das erwartete Ergebnis erzielt. Die wesentlichen nachteiligen Erkenntnisse aus diesen Versuchen waren jedoch:

- Der Anteil an Grobbestandteilen war durchgängig zu hoch.
- Der Feinstoffanteil war durchgängig zu hoch.

In den ersten Versuchen war die Festigkeit, wie bei Brennpellets üblich, viel zu hoch. Durch die Zugabe von Wasser und die Reduzierung des Drucks in der Presse konnte eine wesentliche Verbesserung der Pellets erzielt werden.

Da diese Anlage für die Herstellung von landwirtschaftlichen Produkten ausgelegt ist, bestanden jedoch keine Einstellmöglichkeiten zur Feinjustierung des Drucks, der Temperatur und des Feuchtegehalts. Des Weiteren war die Anbindung von weiteren Aggregaten für die Reinigung des Heus oder das Sieben der Graspartikel aufgrund der baulichen Gegebenheiten nicht möglich.

Die Entwicklung eines Anlagenkonzeptes unter Berücksichtigung aller Anforderungen und ein nachfolgender Test im Technikum der Firma Kahl war daher die Zielsetzung.

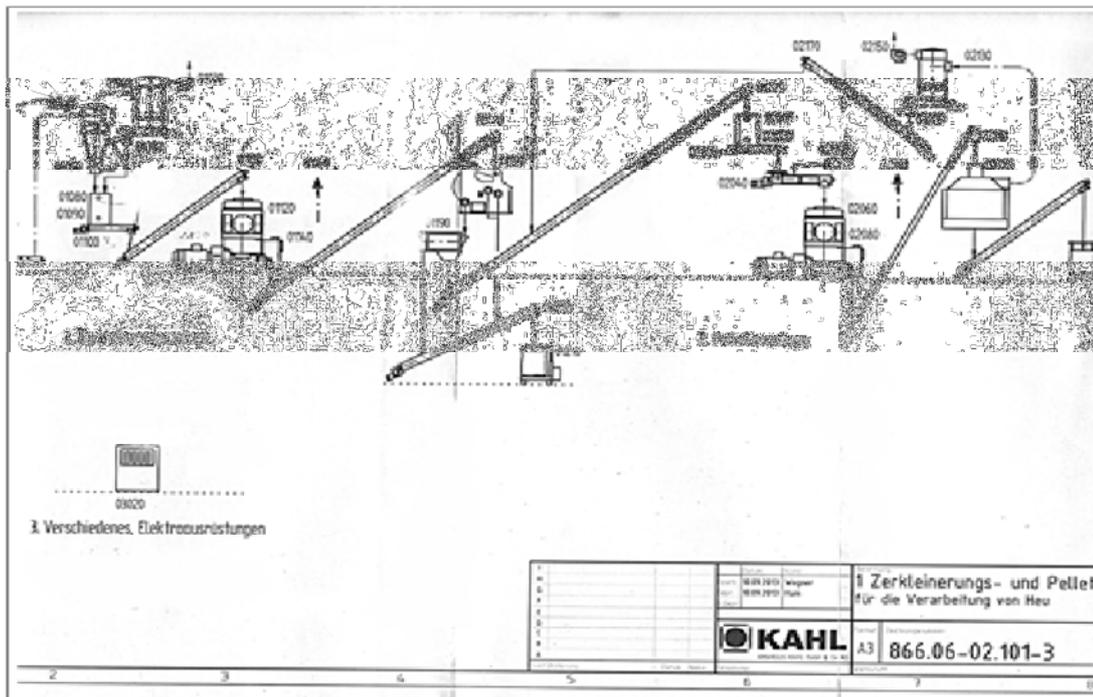
### 7.1 Entwicklung eines Konzeptes für eine Heu-Aufbereitungsanlage

Aus allen vor und während des Projektes durchgeführten Versuchen, wurde hinsichtlich der Aufbereitung deutlich, dass die bestehenden Aufbereitungsanlagen, die der Herstellung von Pellets aus unterschiedlichen land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen (bzw. Holz) zur Brennstoffverwertung dienen (sog. Brennstoffpellets), den Anforderungen der Papierherstellung insbesondere in den Bereichen „Reinheitsgrad“ und „Gestaltung“ der Partikelfractionen nicht ausreichen.

Verunreinigungen oder Grobbestandteile (z.B. Wachstumsknoten im Gras) in den Pellets führten zu einem Mangel in der Papierqualität und Beschädigungen an der Pa-

piermaschine (Schäden am Glättwerk<sup>21</sup>). Die wesentliche Konsequenz ist jedoch, dass ein Ausschuss in der Papierproduktion und ein Materialverlust beim Rohstoff entstehen.

Basierend auf den Versuchen am Campus Kleinaltendorf (Universität Bonn) hinsichtlich der Zerkleinerung und Pelletierung von Heu und den Erkenntnissen aus den Versuchen, wurden die Anforderungen an eine Anlage zur Aufbereitung von Heu neu definiert. Zielsetzung dabei war es, eine bestehende Konfiguration für eine Aufbereitungsanlage der Firma Amandus Kahl GmbH & Co. KG, Reinbeck, zu nutzen und durch die Einbindung von Zusatzaggregaten anforderungsgerecht zu gestalten.



**Abb. 34: Anlagenkonzept der Firma Kahl**

Quelle: Kah14

In diesem Zusammenhang wurde auch deutlich, dass zur Verarbeitung der Erkenntnisse und Entwicklung von Lösungen zusätzlich Know How aus dem Bereich Maschinenbau erforderlich ist. Dazu konnte die Firma Weidmann<sup>22</sup> gewonnen werden.

Gemeinsam mit der Firma Weidmann wurden die Anforderungen an eine Aufbereitungsanlage neu definiert und der Test im Technikum der Firma Kahl vorbereitet.

<sup>21</sup> Vgl. Mr15, S.48

<sup>22</sup> Weidmann Maschinenbau GmbH, Troisdorf

Komponenten	Aggregat	Ziel	Bemerkung
Reinigung	Transportschnecke, Zyklon	Befreiung von groben und feinen Fremdstoffen	Metall- und Plastikgegenständen, Erde, Steine, Äste, etc.
Zerkleinerung	Hammermühle	Faserlänge	Erlangung einer optimalen Verteilung der Fraktionen mit
	Schneidemühle	Mahlgrad	geringsten Grobbestandteilen (>1,4 mm)
	Kollermühle	Feinstoffanteil	größtmöglichen Anteil der Zielfraktion (0,8 – 1,2 mm)
Reinigung	Windsichter	Befreiung von feinen Fremdstoffen und Wachstumsknoten	Erforderlich, um Schäden an der Papiermaschine zu vermeiden.
Fraktionierung	Sieb	Herstellung homogener Fraktionen, Bestimmung Feinstoffanteil	Ausschleusen nicht gewünschter Fraktionen, Auffangen Feinstoff, Wiederaufführung größerer Fraktionen
Pelletierung	Kollermühle, Brikettpresse	Verdichtung aber geringe Auflösezeiten	Zusammenwirken von Druck, Hitze, Wasser ist nicht bekannt. An den bestehenden Anlagen befinden sich keine Instrumente zur Messung bzw. Einstellung.

**Abb. 35: Anforderungen an eine Aufbereitungsanlage**

Quelle: Eigene Darstellung, Cruse, 2015

### Reinigung des Heus

Die Anforderungen, Heu von Verunreinigungen und Fremdstoffen zu befreien, schwanken zwischen Hygienepapieren ( $17 \text{ g/m}^2$ ) mit extrem hohem Reinheitsgrad und Vollpappen ( $> 600 \text{ g/m}^2$ ) mit einem geringen Reinheitsgrad. Entsprechend mehr oder weniger aufwendig muss dieser Prozess gestaltet werden.

Nach dem Auflösen des Heuballens erfolgt der Transport des Heus durch eine Transportschnecke. Hierbei werden gleichzeitig grobe Fremdstoffe wie z.B. Metall- und Plastikgegenstände entfernt.

Im Zyklon erfolgt eine Verwirbelung des Heus, so dass weitere weniger grobe Fremdstoffe aussortiert werden.

### Zerkleinerung / Schnittlänge- Mahlgrad

Je feiner das herzustellende Papier ist, umso homogener sollte die Schnittlänge des Heus sein. Damit werden Störungen im Papierherstellungsprozess vermieden und eine gute Oberflächenstruktur erzielt. Diese Anforderungen werden durch den Einsatz unterschiedlicher Mühlen (Hammer-, Koller-, Schneidemühle) und den Einsatz unterschiedlicher Matrizen erzielt (siehe Kapitel 4, Produktentwicklung Rohstoff). Eine einheitliche Schnittlänge (100 % Zielfraktion) kann im Rahmen einer Zerkleinerung aber nicht erreicht werden.

### Zweite Reinigung

Mit der zweiten Reinigung sollen kleinere Fremdstoffe und insbesondere Graspartikel, die Wachstumsknoten enthalten, aussortiert werden. Diese kleineren Fremdstoffe können je nach Papiermaschine auch im Papierherstellungsprozess weitgehend durch ein



---

Sieb ausgesondert werden. Gleichzeitig entstehen damit aber Materialverluste, die entsprechende Kosten verursachen.

Sollte dieses Aussieben im Herstellungsprozess nicht möglich sein, ist eine zweite Reinigung des Heus erforderlich. Dieser Vorgang kann durch einen Windsichter erzielt werden. Hierbei werden die Partikel durch Verwirbelung und aufgrund Ihres Eigengewichtes voneinander getrennt.

### **Sieben / Feinstoffanteil**

Durch das Sieben werden die Partikel in verschiedene Fraktionen unterteilt. Dadurch werden Grobbestandteile, die durch den Zerkleinerungsvorgang nicht erfasst wurden, ausgesondert und der Feinstoffanteil eingegrenzt. Das Ergebnis ist ein den Anforderungen entsprechend aufbereitetes Heu. D.h., die Partikellängen entsprechen den gewünschten Längen und die Zielfraktion hat einen hohen Anteil.

Ein gewisser Feinstoffanteil ist als Füllmaterial in jeder Papierherstellung erforderlich. In den bisherigen Maschinentests wurde festgestellt, dass ein Feinstoffanteil von ca. 20% ideal ist und vermutlich aufgrund des Zucker- und Stärkegehalts noch positiv zur Festigkeit beiträgt.

### **Pelletierung**

Die Pelletierung vereinfacht den Lager- und Transportprozess. Zusätzlich wurde festgestellt, dass die Partikel in loser Form in der Stoffaufbereitung des Papierherstellungsprozesses in der Pulpe nicht versinken sondern oben schwimmen und somit den Prozess der Stoffaufbereitung verlängern.

Für den Papierherstellungsprozess ist sicherzustellen, dass die Pellets sich schnell auflösen und die Grasfasern sich mit der Pulpe verbinden. Dieses wird durch eine möglichst geringen Festigkeit und poröse Oberfläche der Pellets erreicht.

Dieses widerspricht weitgehend der Zielsetzung bei der Herstellung von Heizpellets. Hier soll durch einen hohen Druck eine starke Verdichtung erzielt werden. Die dabei entstehende Temperatur sorgt zusätzlich für eine hohe Festigkeit des Pellets.

Ganz im Gegensatz zu den Graspellets. Hier soll nach der Pelletierung

- eine ausreichende Festigkeit vorhanden sein, um sich durch Lager- und Transportbeanspruchung nicht wieder aufzulösen aber
- ebenso ein schnelles Auflösen in der Stoffaufbereitung möglich sein.

Ein kontrollierter Druck im Kessel der Pelletierung und die kontrollierte Hinzuführung von Wasser haben die gewünschten Ergebnisse erbracht. Für eine zukünftige Anlage sind die entsprechenden Aggregate daher so auszustatten, dass das Zusammenwirken von Druck, Hitze und Feuchtegehalt kontrolliert und gesteuert werden kann.



## Abfüllung

Grundsätzlich ist die Art der Abfüllung der Pellets in transport- und lagerfähige Einheiten von den Anforderungen bzw. der internen Logistik einer Papierfabrik abhängig. Bei den besichtigten Papierfabriken erfolgte die Zuführung der Rohstoffe in der Regel als Ballen über ein Transportband. Dieses Transportband kann ggf. auch für die Zuführung der Graspellets verwendet werden. D.h. die Abfüllung der Pellets kann in Papiersäcken, in Octabins, in Big Bags oder in Silos erfolgen – je nach Anforderung der Papierfabrik.

Bei Mengen von mehr als 5.000 Tonnen pro Jahr erscheint die Silovariante am sinnvollsten zu sein. Insbesondere auch, da der Einsatz von Silos für eine Papierfabrik ein gängiger Standard ist.

## 7.2 Test im Technikum der Firma Kahl

Das Unternehmen Kahl besitzt ein Technikum in dem Versuche von einigen Kilogramm bis zu mehreren Tonnen auf einer Labor- und Pilotanlage durchgeführt werden können. Verfahrens-Know How, Maschinen und Anlagen sowie moderne Analysengeräte zur Qualitätssicherung stehen hier zur Verfügung. Anhand der Ergebnisse können Anlagenkonzepte und Angebote individuell ausgearbeitet und / oder Optimierungspotenziale ermittelt werden.

Ziel des Tests im Technikum war die Überprüfung ob die erarbeitete Konfiguration der Anlage zur Verarbeitung von Heu zu den gewünschten Ergebnissen führt. In Vorbereitung auf den Test wurden die Testanforderungen gemeinsam mit der Firma Weidmann und der Universität Bonn erarbeitet und im Vorfeld mit der Firma Kahl abgestimmt. Grundlage für den Test waren die Ergebnisse aus den Versuchen am Campus Kleinaltendorf der Universität Bonn sowie die Ergebnisse aus den Versuchen zur Herstellung von Graspapier.

### Testanforderungen – KAHL

Der Test soll in einem kleinen Maßstab die geplante Pilotanlage abbilden und möglichst alle Verfahrensschritte beinhalten. Der Aufbau soll praxisnahe Erkenntnisse liefern und der Entscheidungsfindung, beim Kauf der verschiedenen Komponenten, dienen. Probleme und Lösungsansätze bei der Auswahl und Abstimmung der verschiedenen Komponenten müssen dokumentiert werden, um später Rückschlüsse auf das Ergebnis zuzulassen.



Anforderungen an das Pellet:

- I. Partikellänge von 1 mm nach der Pelletierung
- II. Feinstoffgehalt < 20% (Feinstoff = Siebfraction < 0,15mm, lichte Maschenweite)
- III. Geringe Festigkeit, Pellet-Auflösbarkeit in Wasser < 20 Minuten
- IV. Reduzierung der Grobbestandteile (> 1,4 mm) auf ein Minimum (< 10 %)

Für die Siebanalysen sind folgende Fraktionen / Kornklassen von besonderer Bedeutung:

- 1,18 – 0,6 mm
- 0,3 – 0,15 mm
- < 0,15 mm

Anmerkung: Die Zerkleinerung erfolgt nur mit einer Kollermühle (ohne Hammermühle). Eine Reduzierung der Grobbestandteile bildet den Schwerpunkt des Tests.

Seitens der Firma Kahl wurde vorab ein Testfragebogen gefordert, der insbesondere eine Beschreibung der Produkteigenschaften von Heu dokumentiert:



AMANDUS KAHL GmbH & Co. KG  
Technikum  
Dieselstraße 5-9  
21465 Reinbek/Hamburg

Tel.: +49(0)40 72771-0  
Fax: +49(0)40 72771-100  
E-Mail: [sales@amandus-kahl-group.de](mailto:sales@amandus-kahl-group.de)  
Internet: <http://www.akahl.de>



Vom KAHL Vertriebsmitarbeiter auszufüllen

Vertrieb	<input type="text"/>
Zeichen / Zuständig	<input type="text"/>
E - Mail	<input type="text"/>

**Produktfragebogen - Flachmatrizenpresse**  
*Ihre Informationen werden für die Versuchsvorbereitung im Technikum benötigt und selbstverständlich vertraulich behandelt.*

**1 Rohmaterialdaten**

Produktbezeichnung	Heu (Rundballen). [Standort: Much I, RT, Ballen-4]
Chemische Bezeichnung	-

Zusammensetzung	%	Aschegehalt	~ 5	%
genaue Zusammensetzung unklar!		Schüttgewicht	~ 0,07	kg/l
(Mischung aus: Ober- und Untergräsern, sowie Kräutern und Leguminosen)		Wassergehalt	10 -15	Gew.-%
		Erweichungstemperatur	-	°C
		Schmelztemperatur	-	°C
		Fließeigenschaften	sehr kohäsiv <input type="text"/>	

Materialform	lose
Korngrößenverteilung	Gräserlänge ~80-200 mm ←
Sonstige Materialeigenschaften (klebend, hygroskopisch, thixotrop, ...)	mäßig elektrostatisch

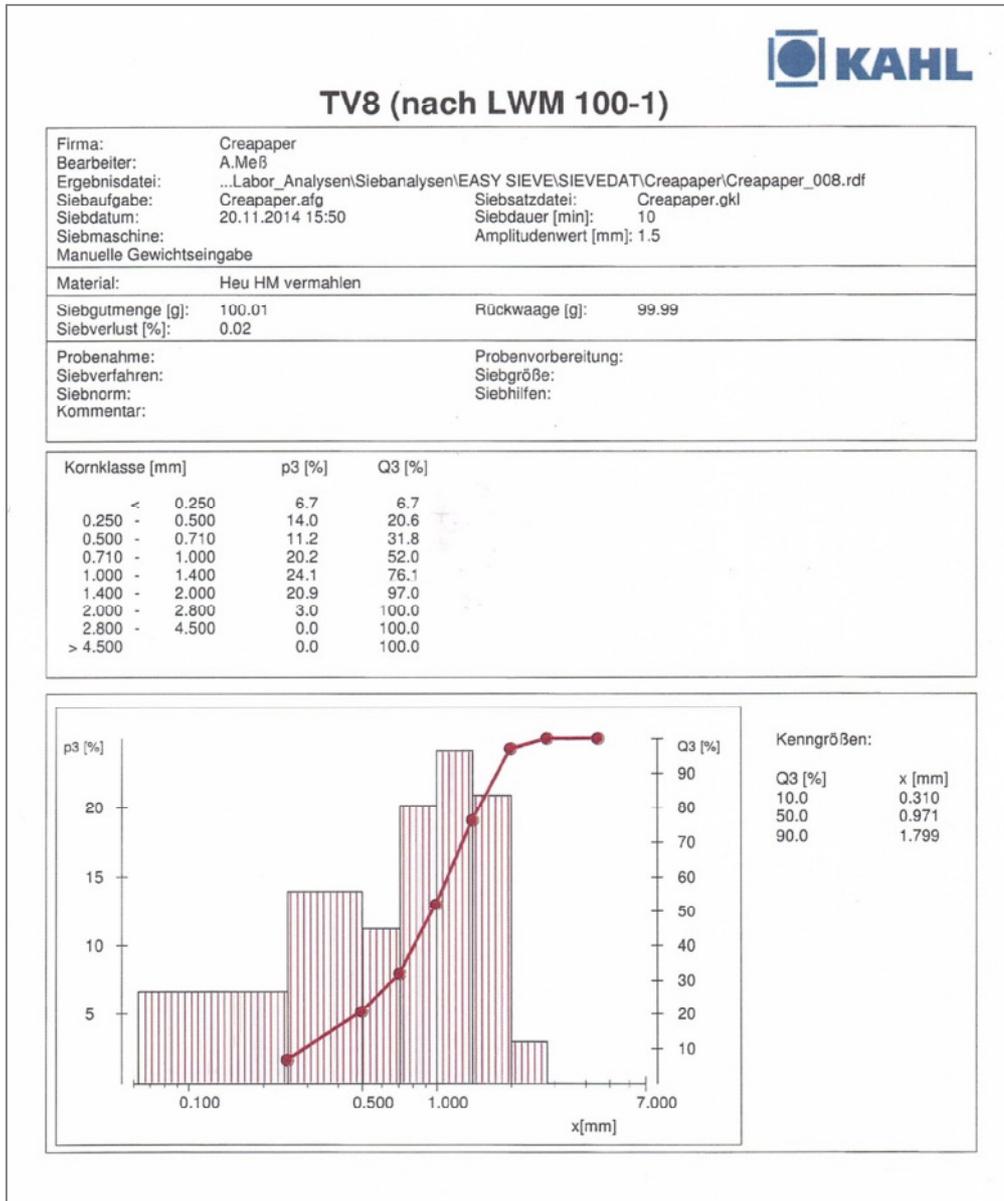
**Abb. 36: Auszug aus dem Testfragebogen der Firma Kahl**

Quelle: Kah14

## Testverlauf (TV) und Testergebnisse

Primär ging es in dem Test um die Auslotung des erreichbaren Zerkleinerungsgrads unter Verwendung einer Kahl-Kollermühle mit der die Zerkleinerung und die Pelletierung in einem Arbeitsgang erfolgt. Dazu wurde die Presse Typ 33-390 verwendet und in den Einzeltests verschiedene Matrizen mit einem Bohrungsdurchmesser von  $d = 2 \text{ mm}$  bis  $d = 8 \text{ mm}$  verwendet.

In allen Tests wurden gute Ergebnisse erzielt und die Pellets hatten die geforderte geringe Festigkeit. In keinem Fall jedoch wurde eine Zerkleinerung erzielt, die den geforderten Kornklassen entsprach. Das beste Ergebnis wurde im TV 8 erzielt. Hier lagen ca. 76 % der Partikel im Zielbereich; 24 % lagen darüber im Bereich der Grobbestandteile. Das gesamte Verfahren überzeugte durch eine geringe Staubentwicklung.

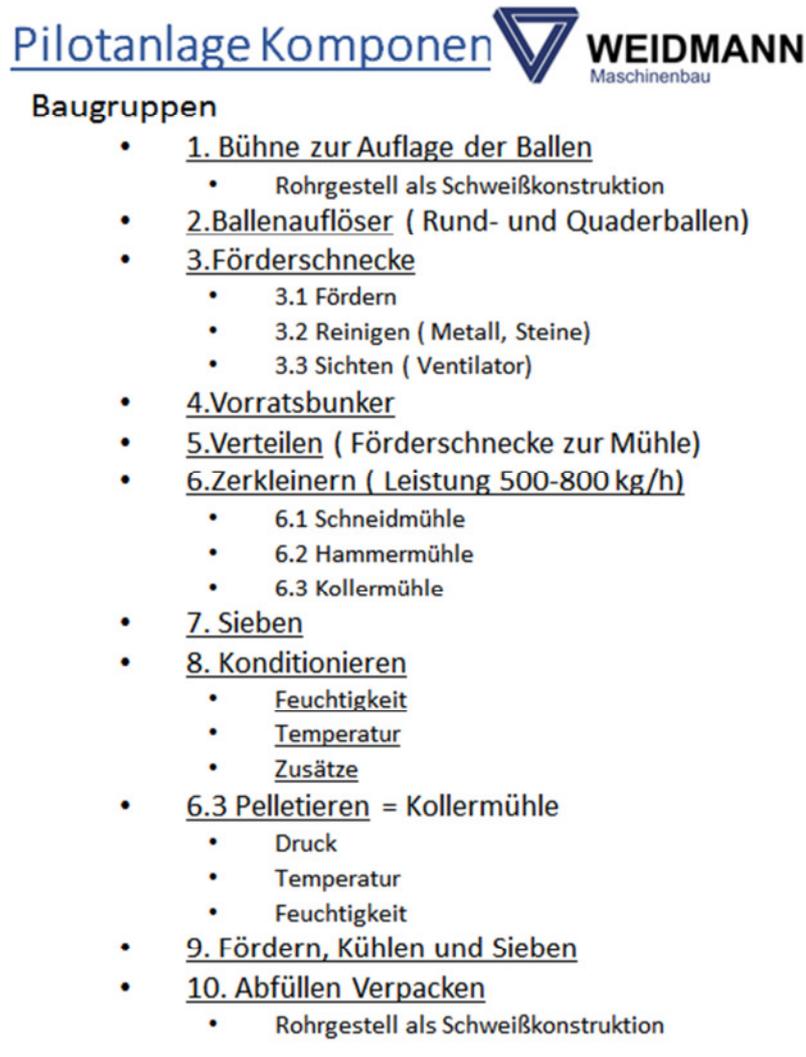


**Abb. 37: Auszug aus dem Testbericht der Firma Kahl**

Quelle: Kah14

### 7.3 Überarbeitetes Anlagenkonzept

Aus den Ergebnissen des Projektes und dem Test im Technikum der Firma Kahl wurde deutlich, dass die Zerkleinerung und Bildung von anforderungsgerechten Fraktionen mit einem geringsten Anteil an Grobpartikeln mit dem bisherigen Anlagenkonzept nicht realisiert werden kann. Gemeinsam mit der Firma Weidmann wurde daher ein neues Anlagenkonzept erstellt:



**Abb. 38: Auszug aus dem Anlagenkonzept der Firma Weidmann / Komponenten**

Quelle: Wei14

Durch die Einbindung verschiedener Typen von Mühlen besteht die Möglichkeit, die jeweils erforderlichen Partikelgrößen herzustellen. Durch das nachgelagerte Sieben können Fraktionen separiert und Materialverluste damit erheblich reduziert werden.

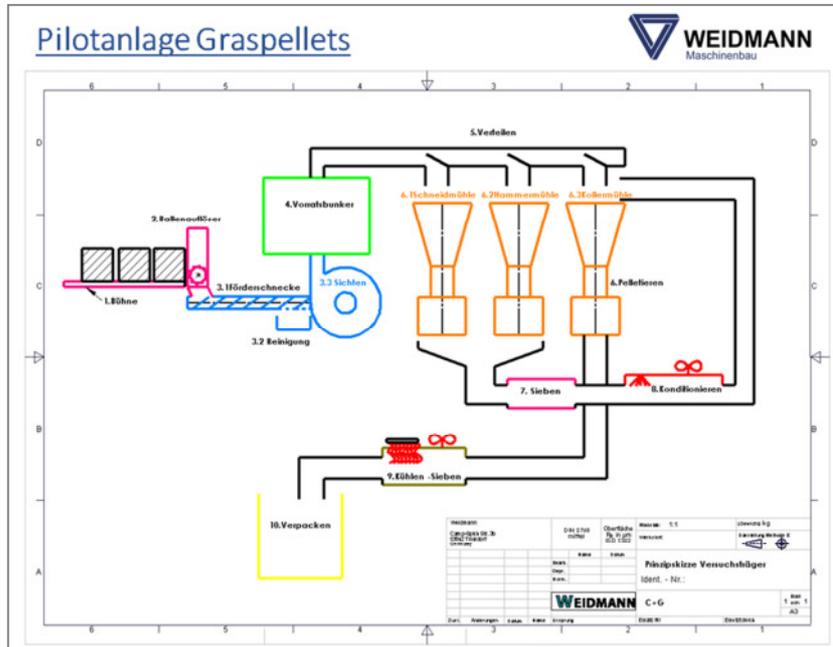


Abb. 39: Auszug aus dem Anlagenkonzept der Firma Weidmann / Graspellets

Quelle: Wei14

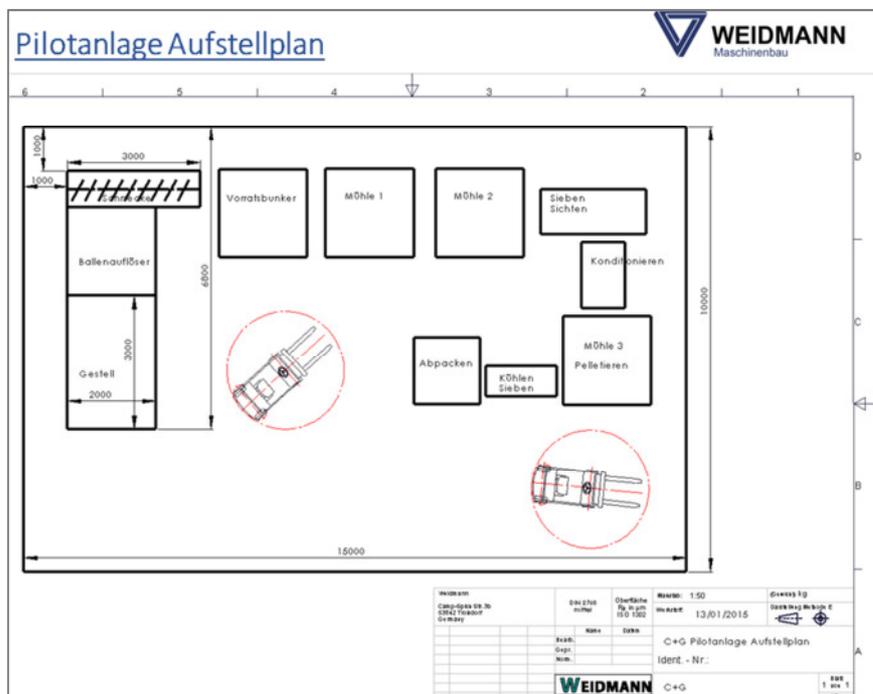


Abb. 40: Auszug aus dem Anlagenkonzept der Firma Weidmann / Aufstellplan

Quelle: Wei14



---

## 7.4 Fazit zum Arbeitspaket V „Vorverarbeitung und Transport“

Die bisherigen Erkenntnisse im Rahmen des laufenden Projektes haben ergeben, dass die eingesetzten Verfahren und Technologien nicht ohne erheblichen Entwicklungsaufwand auf die bedarfsgerechte Herstellung von Graspellets für die Papierherstellung übertragbar sind. Die derzeit eingesetzten Maschinen erlauben nur sehr eingeschränkte Modifikationen und die Herstellung von Graspellets ist nur in geringen Mengen möglich.

Eines der wesentlichsten Ergebnisse der Arbeiten ist, dass der Prozess der Vorverarbeitung (Zerkleinerung) und Pelletierung einen maßgeblichen Einfluss auf die Eigenschaften des Rohstoffes nimmt sowie seine Einsatzmöglichkeiten in der Papierherstellung.

Mit dem Anlagenkonzept für eine Pilotanlage wurde ein erstes Grobkonzept geschaffen, das modular aufgebaut ist und je nach Anforderung modifiziert werden kann.

Gleichzeitig machten die Arbeiten im AP V deutlich, dass für den Transport vielfältige Optionen bestehen und dieser an die Anforderungen der jeweiligen Papierfabrik angepasst werden kann.



---

## 8 Ökobilanz und Nachhaltigkeitsprüfung

Ziel des Arbeitspakets IV war es, anhand einer Ökobilanz die Nachhaltigkeit von gras-haltigem im Vergleich zu konventionellem Karton zu bewerten. Die Details zu Vorgehen und Ergebnissen der Ökobilanzierung sind in dem PTS-Projektbericht Nr. 21998 dokumentiert<sup>23</sup>.

### 8.1 Zielprodukt und Szenarien

Als geeignetes Zielprodukt für den Einsatz von Graspellets wurde Faltschachtelkarton GD2 (Chromoduplexkarton) betrachtet. Auf Basis eines typischen Produktaufbaus wurde ein Einsatz von 20 % in der Mittellage angenommen.

- Erstes Referenzprodukt war ein 350 g/m<sup>2</sup>-Karton aus 100 % Altpapier.
- Als zweite Referenz wurde ein Karton aus Altpapier mit 20 % Holzschliff in der Mittellage gewählt. Hierbei wird mit einer Flächenmasse von 338 g/m<sup>2</sup> die gleiche Biegesteifigkeit wie beim rein Altpapier-basierten Produkt erzielt.
- Das grashaltige Produkt hat 20 % Gras in der Mittellage und eine Flächenmasse vom 338 g/m<sup>2</sup>.

Der Berechnung wurde eine Kartonproduktion von 450 km<sup>2</sup>/a zugrunde gelegt, entsprechend der Jahresproduktion einer mittleren Kartonfabrik.

### 8.2 Ergebnisse der Modellierung der Kartonherstellung

Durch die Volumeneffekte von Gras und Holzstoff erzielt ein um 3,4 % in der flächenbezogenen Masse reduziertes Produkt die gleiche Biegesteifigkeit wie der rein Altpapier-basierte Karton. Entsprechend ist mit der Produktion von Gras- oder Holzschliff-haltigem Karton ein in geringem Umfang reduzierter Ressourcenaufwand verbunden. Die Massen- und Energiebilanz der Kartonherstellung in den drei Szenarien ging in die Ökobilanzierung ein.

### 8.3 Ergebnisse der Ökobilanz

Korrespondierend zu dem reduzierten Ressourcenaufwand beim Einsatz von Gras und Holzschliff sinken auch die Umweltwirkungen, die beispielsweise an die Erzeugung der zur Kartonproduktion benötigten Strom- und Wärmemengen gekoppelt sind. Dem stehen allerdings höhere Umwelt-Aufwendungen aus dem Anbau und der Bereitstellung der Ausgangsprodukte Holz und Gras gegenüber.

---

<sup>23</sup> PtB15



---

Der Einsatz von Gras als Ersatz für Holzschliff ist aus Sicht der umweltbezogenen Bewertung tendenziell positiv und nicht mit substantziellen Risiken verbunden. Umweltbezogenen Nachteilen aus dem Einsatz von Düngemitteln bei intensiver Grasproduktion kann durch die Verwendung von extensiv angebautem Gras entgegengewirkt werden

Die Umweltwirkungen des Kartons mit Gras aus extensivem Anbau gleichen denen des Kartons aus 100 % Altpapier. Nur in der Wirkungskategorie Naturraumbedarf besteht ein systematischer Nachteil des Ausgangsstoffes Gras gegenüber dem Sekundärprodukt Altpapier.

Aus Sicht der umweltbezogenen Bewertung kann der anteilige Einsatz von Graspellets zur Herstellung von Karton eine Alternative zu Holzstoff und Altpapier bieten. Allein die mit dem Grasanbau verbundene Naturraumbeanspruchung bleibt als systematischer Nachteil gegenüber dem Sekundärprodukt Altpapier bestehen.



---

## 9 Pilotanwendung / Machbarkeitstests

Ziel dieses Arbeitspaketes VII war es, die Papierherstellung unter Einsatz von Gras beispielhaft nachzuweisen sowie den Modifikationsbedarf für industrielle Papierherstellungsverfahren zu ermitteln.

Die im Folgenden dargestellten Pilotanwendungen und Machbarkeitstests wurden von der Projektgesellschaft C+G Papier GmbH initiiert und begleitet. Aufgrund des innovativen Charakters des Projektes und des verfolgten interdisziplinären Ansatzes ergab sich die Notwendigkeit der engen Zusammenarbeit mit Praxispartnern. Hierfür sprachen auch die von den jeweiligen Papierfabriken eingesetzten „Rezepturen“ für die Papierherstellung. Diese unterliegen der Geheimhaltung der unterschiedlichen Unternehmen und basieren auf Erfahrungen mit den jeweiligen Erzeugnissen und eingesetzten Rohstoffen. Auch bestimmen diese nachhaltig die erzielten Qualitäten der Papiersorten und werden von den Anforderungen der jeweiligen Papierprodukte beeinflusst.

### 9.1 Anwendungen in der Papierindustrie

Im Rahmen der Gespräche mit verschiedenen Papierfabriken zur Einschätzung einer möglichen Pilotanwendung ergaben sich mehrere Möglichkeiten zur Durchführung eines Maschinentests. Ein solcher Maschinentest ist für eine Papierfabrik von besonderer Bedeutung, da hiermit festgestellt werden kann, ob die vorhandene Papiermaschine grundsätzlich für die Verarbeitung des Rohstoffs „Gras“ geeignet ist.

Die Anwendungen wurden von C+G parallel zum Projekt durchgeführt, um Erfahrungen und Ergebnisse in die Entwicklungsarbeiten unter Laborbedingungen einfließen lassen zu können. Mit den ersten Machbarkeitstests wurde somit auch recht frühzeitig begonnen; sie unterstreichen gleichermaßen die hohe Praxisrelevanz der Arbeiten. Der für die Tests benötigte Einsatz von Heu (rd. 50 Tonnen) und die Verarbeitung des Heus zum Rohstoff, sowie der Transport erfolgten in Eigenleistung von C+G.

Die Angebote einen solchen Maschinentest durchzuführen, erbrachten für das Projekt des Weiteren hervorragende Möglichkeiten, auch die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse einzubringen. So wurden folgende Maschinentests durchgeführt:

- Durchführung eines Maschinentests bei der Delkeskamp Verpackungswerke GmbH, Nortrup, mit einer Produktion von Gras-Wellpappenrohpaper (WPR) und einem Grasanteil von ca. 30 %.
- Durchführung eines Maschinentests bei der Papierfabrik Köhler Greiz GmbH mit einer Produktion von „Grafischen-Graspapier“ und einem Grasanteil von ca. 35 %.



- 
- Durchführung eines Maschinentests bei der Moritz J. Weig GmbH & Co. KG, Mayen, mit einer Produktion von Karton für Faltschachteln (GD 2) und einem Grasanteil von ca. 10 % in 6 von 9 Lagen.
  - Durchführung eines Maschinentests bei der Cordier Spezialpapiere GmbH mit einer Produktion von „Grafischen-Graspapier“ mit einem Grasanteil von ca. 50 %.

Im Fortgang des Projektes und anhand der Forschungsergebnisse durch die PTS kristallisierte sich die Herstellung von Karton für Faltschachteln (GD2) als zu präferierender Anwendungsbereich für Gras heraus. Da der Maschinentest bei der Fa. Weig bereits ein sehr positives Ergebnis erbracht hat, wurde auf eine abschließende Pilotanwendung verzichtet.

Ergänzend zu diesen Maschinentests wurden zwei Anwendungstests durchgeführt:

- Entwicklung und Herstellung von Schuhkartons aus Gras-Vollpappe für den Bereich Sporttextilien / Outdoor im Otto Versand. Der Karton wurde nachfolgend in einem Praxistest eingesetzt und eine Kundenbefragung durchgeführt.
- Basierend auf dem Gras-Wellpappenrohpaper aus dem Maschinentest der Firma Delkeskamp wurde auf der Delkeskamp-eigenen Wellpappen-Anlage eine Wellpappe (alle Lagen aus Gras-WPR, B-Welle) hergestellt und als Test in die laufende Kartonproduktion eingebunden.

Bei allen durchgeführten Maschinentests bestand die Herausforderung, die Papiermacher mit dem Rohstoff Gras vertraut zu machen. Aufgrund der rein mechanischen Aufbereitung befinden sich neben den Faserstoffen auch weitere Stoffe wie Zucker oder Stärke in dem Rohstoff. Diese Stoffe reagieren im Produktionsprozess unter Einfluss von Wasser, Wärme und Druck und haben vermutlich eine Wirkung auf Festigkeiten, Entwässerung und Trocknung.

Mit diesen Reaktionen wurden die Papiermacher im Test dann auch konfrontiert und jeweils Maßnahmen im Rahmen der normalen Papierherstellung zur Sicherstellung einer funktionierenden Produktion eingeleitet. In keinem Test gab es einen Papierabriss.

Da es sich jeweils um einen ersten Test auf der jeweiligen Papiermaschine handelte, sind die erzielten Ergebnisse sehr zufriedenstellend. Es darf davon ausgegangen werden, dass mit steigenden Erkenntnissen und Erfahrungen, die Papiermacher zu noch besseren Ergebnissen im Sinne von Festigkeiten und Oberflächenbeschaffenheit gelangen werden.

## 9.2 Gras-Wellpappenrohpaper

Die Delkeskamp Verpackungswerke stellen seit über 100 Jahren Wellpappenrohpaper sowie Verpackungen aller Art her. Bei der Herstellung der Produkte kommen fortschrittliche und umwelteffiziente Technologien zum Einsatz. Unter diesem Aspekt war der

Maschinentest zur Herstellung von Gras-Wellpappenrohpaper durch und mit der Fa. Delkeskamp eine besondere Herausforderung.

Die Daten aus dem laufenden Förderprojekt wurden der Fa. Delkeskamp zur Verfügung gestellt und dabei insbesondere auf die Problematik der CSB-Belastung (siehe Kap. 5.2.2.) hingewiesen.

Die Produktion verlief ohne Zwischenfälle, so dass der Maschinentest grundsätzlich als „erfolgreich“ bewertet werden kann.

Der Maschinentest erfolgte im Rahmen der normalen Produktion. Der Grasanteil betrug ca. 30 % und die Grammatür 170 g/m<sup>2</sup>.

**Technische Werte**  
der eingesetzten Papiere im Vergleich zu TL3 (D aus 2011 bis 2014)

Eigenschaften	Vergleich Isomerte TL3 170 g/m <sup>2</sup>		Vergleich Isomerte TL3 180 g/m <sup>2</sup>		Vergleich rechnerisch TL3 175 g/m <sup>2</sup>		Isomerte AD TL 175 g/m <sup>2</sup> Graspapier 151115.1		Isomerte Q TL 175 g/m <sup>2</sup> Graspapier 151115.2		Isomerte AD KWT 135 g/m <sup>2</sup> Misch		Vergleich Isomerte WS 175 g/m <sup>2</sup>		Isomerte Stelle TL 175 g/m <sup>2</sup> Graspapier 151115.1		
	D	Stabwe	D	Stabwe	D	Stabwe	D	Stabwe	D	Stabwe	D	Stabwe	D	Stabwe	D	Stabwe	
Rf. Masse [g/m <sup>2</sup> ]	168	2	178	3	173	3	173	2	177	3	136	2	176	4	173	1	
SCT Länge [kN/m]	4.43	0.27	4.72	0.27	4.58	0.30	4.37	0.21	4.27	0.28	5.17	0.22	4.72	0.30	4.35	0.13	
SCT quer [kN/m]	2.61	0.16	2.79	0.21	2.70	0.20	2.63	0.12	2.58	0.26	2.93	0.12	2.70	0.27	2.64	0.19	
WET [g/m <sup>2</sup> ]	354	25	375	34	354	34	366	34	344	39	443	43	-	-	-	-	
DWR Länge [m/s]	1230	100	1320	90	1275	100	1050	50	1230	100	1350	100	-	-	-	-	
DWR quer [m/s]	1530	150	1590	135	1560	140	1360	60	1360	80	1520	160	-	-	-	-	
Stärke [mm]	0.263	0.009	0.277	0.006	0.270	0.007	0.277	0.005	0.291	0.003	0.168	0.008	0.270	0.007	0.281	0.004	
Randglättz [mL/min]	1650	50	1700	80	1670	60	1870	95	2070	80	280	30	-	-	-	-	
CMT [g]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	278	20	198	11.0
Scott Bond [J/m <sup>2</sup> ]	296	-	280	-	288	-	254	-	247	-	520	-	278	-	198	11.0	

Ersteller: Rüdiger Kaufmann, Leiter Qualitätswesen  
Technische Werte Gras-Papier.de  
1 von 1  
Stand: 04.11.2014

Abb. 41: Technische Werte WPR, Delkeskamp Verpackungswerke

Quelle: Del14

Erstaunlicher Weise lagen die Festigkeitswerte bereits in diesem ersten Test auf fast identischem Niveau mit den Werten des in der normalen Produktion hergestellten Testliners. Durch weitere Verbesserungen in der Rezeptur und im Rohstoff Gras sind vermutlich verbesserte Werte zu erzielen.

Da in den Graspellets nach wie vor ein geringer Bestandteil an Grobanteilen vorhanden war, mussten diese im Produktionsprozess aussortiert werden.

Eine erhöhte Belastung durch die in den Pellets befindlichen wasserlöslichen Bestandteile wurde zwar festgestellt, aber führte nicht zu einer unmittelbaren Belastung des Wasserkreislaufes und der Kläranlage.

Genauere Daten zur Rezeptur und der Produktion wurden aufgrund von Wahrung der Betriebsgeheimnisse nicht zur Verfügung gestellt.

### 9.3 Gras-Karton für Faltschachteln (GD2)

Das Unternehmen Moritz J. Weig GmbH & Co. KG, Mayen, ist in den Bereichen des Papierrecyclings, der Kartonproduktion sowie der Kartonverarbeitung aktiv. Neben der Produktion von Karton für Faltschachteln werden Gipskarton, Hülsen und Testliner hergestellt. Zur Sicherstellung der Rohstoffverfügbarkeit und zur Qualitätssicherung hat das Unternehmen einen eigenen Bereich der Altpapierentsorgung und des Recyclings aufgebaut.

Durch eine Empfehlung der PTS wurde der Kontakt mit der Fa. Weig hergestellt und ein Maschinentest ermöglicht.

Vorbereitend für den Maschinentest wurden Labortests von dem Unternehmen durchgeführt und die Ergebnisse der technischen Werte anhand eines vorhandenen Prognosemodells für den Test hochgerechnet. Grundlage für die Hochrechnung war ein Grasanteil von 10 %.

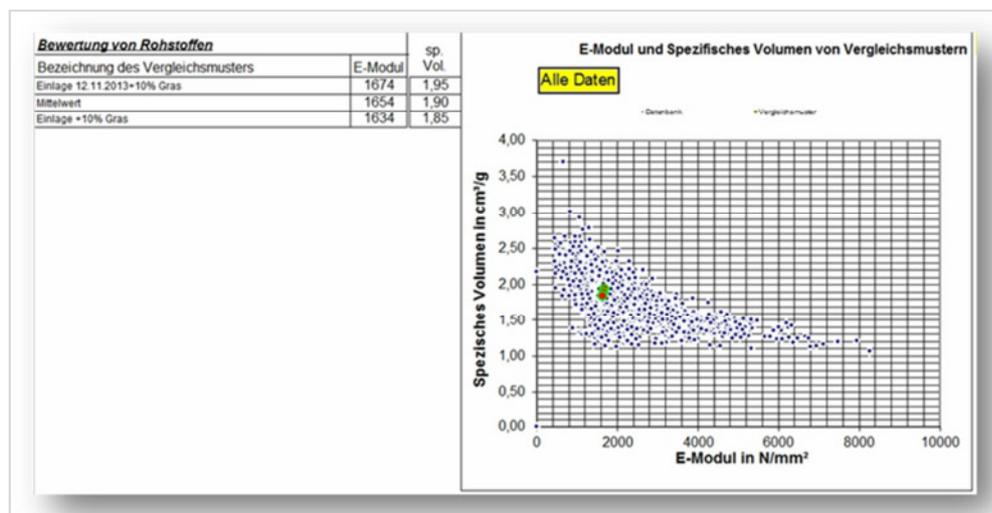
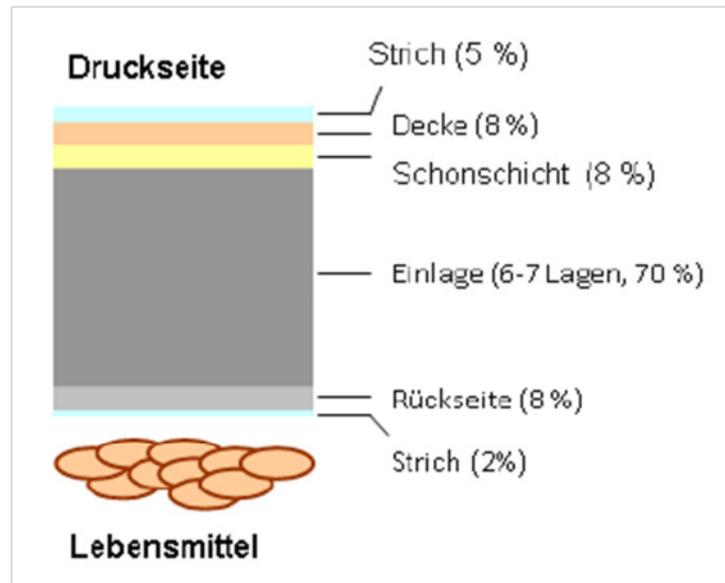


Abb. 42: Prognose der technischen Werte für den Maschinentest, Fa. Weig

Quelle: Mor14

Da ein Faltschachtelkarton im Wesentlichen als Verkaufsverpackung eingesetzt wird, besteht u.a. die Anforderung nach einer hochwertigen, gut bedruckbaren Oberfläche. Dazu wird die oberste Schicht mit einer Farbschicht versehen. Alle weiteren Schichten (im Test 9 Schichten) erfüllen unterschiedliche Funktionen und haben somit unterschiedliche Zusammensetzungen. Eine wesentliche Funktion wiederum ist der Aufbau von Volumen, da aus der Kombination von Festigkeit und Volumen eine hohe Biegefestigkeit des Kartons erzielt werden soll.

Da Gras gute Werte in der Volumenbildung bei den bisherigen Untersuchungen der PTS erzielt hat, wurde ein 10 %iger Einsatz von Gras in den inneren 6 Schichten für den Maschinentest festgelegt.



**Abb. 43: Aufbau eines Kartons aus Altpapier für Lebensmittelverpackungen, CVUA Stuttgart**

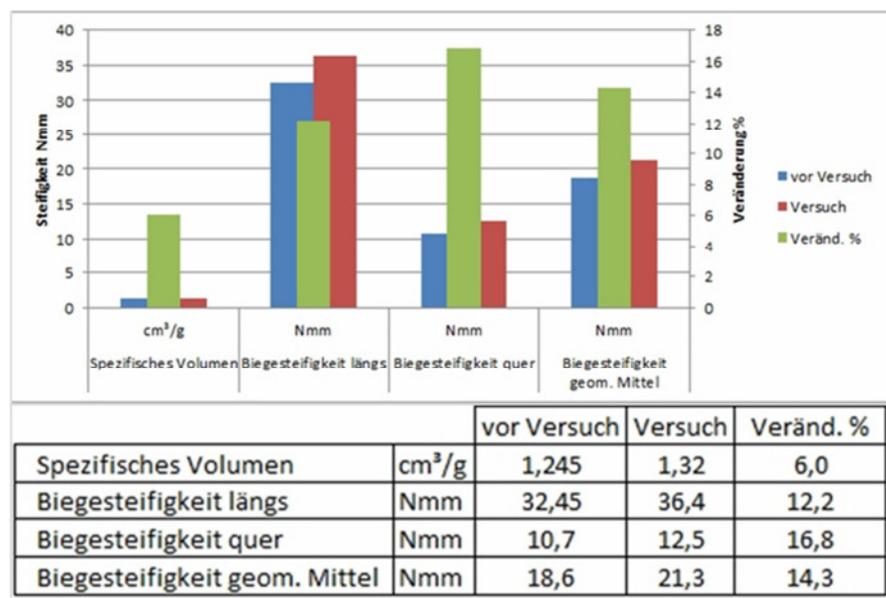
Quelle: Cvu14

Der Ablauf in der Produktion wurde zusammengefasst wie folgt beschrieben:

- Geruch in der Halle nach Gras – erträglich,
- SF entwässern geringfügig schlechter,
- Faser-/Gras-Bruch an den Wuchtschüttlern,
- Zuwachs Steifigkeit 14,5 %,
- Zuwachs spezifisches Volumen 6 %,
- Bedruckbarkeit ohne Probleme,
- Keine Ablagerungen in der Trockenpartie,
- Keine Auffälligkeiten in der Streichanlage,

- *Splitter der Grobstoffe sind zu groß, drücken sich an die Oberfläche durch, zeigen Tendenz zur Bläschenbildung an dieser Stelle. Die Splitter sind nicht aufgeschlossene Teile bei der Herstellung der Grasfasern, nicht durch unaufgelöste Pellets.<sup>24</sup>*

Die Untersuchung des hergestellten Gras-Karton hat die prognostizierten Werte bestätigt. So wurde in der Volumenbildung eine Verbesserung von 6 % und in der Biegesteifigkeit von 14,3 % erzielt.



**Abb. 44: Technische Werte des Gras-Kartons, Fa. Weig**

Quelle: Mor14

Die wasserlöslichen Stoffe haben den CSB Wert stark belastet und negativ auf den Wasserkreislauf gewirkt.

Ebenfalls aus Gründen der Betriebsgeheimnisse konnten keine weiteren Daten zur Verfügung gestellt werden.

Auch in diesem Maschinentest haben die Grobanteile im Gras zu einer Aussortierung im Produktionsprozess geführt. Dieses bedeutet zum einen Materialverlust und zum anderen Qualitätsverluste in der Oberflächenbeschaffenheit. Es sind somit weitere An-

<sup>24</sup> Dokumentation des Betriebsablaufes der Fa. Weig, 2014

strebungen zu unternehmen, um in der Aufbereitung von Gras eine Lösung für die Reduzierung der Grobbestandteile zu erzielen.



**Abb. 45: Aussortierte Grobbestandteile, Fa. Weig**

Quelle: Mor14

## 9.4 Grafische Graspapiere

Sowohl bei der Papierfabrik Köhler Greiz GmbH als auch bei der Firma Cordier Spezialpapiere GmbH wurden Maschinentests zur Herstellung von grafischen Papieren unter Verwendung des Rohstoffes Gras hergestellt. Anlass dieser Maschinentests waren Anfragen von Unternehmen nach „Graspapier“, die u.a. die Pressemitteilung der DBU und der PTS gelesen hatten.

Hierbei bestand die besondere Anforderung, den natürlichen Charakter von Graspapier zu erhalten und gleichzeitig eine gute Bedruckbarkeit zu erzielen.

### 9.4.1 Maschinentest Köhler

Die Papierfabrik August Koehler SE, Oberkirch, ist seit über 200 Jahren in der Papierherstellung aktiv und Marktführer in der Herstellung von Thermopapieren. Mit dem Werk in Greiz hat Koehler sein Sortiment um hochwertige, farbige Papiere und Kartons erweitert und gehört in Europa zu den führenden Herstellern. An dem Standort Greiz wurde der Maschinentest für die Herstellung von Graspapier durchgeführt.

Für die Produktion von Graspapier wurde eine Rezeptur bestehend aus 50 % Altpapier, 13 % Zellstoff und 37 % Gras entwickelt. Da das Altpapier den „Natureffekt“ negativ beeinflusst, wurde eine Zugabe von Farbstoff beschlossen.

Der Papiermaschinenlauf verlief unkritisch. Allerdings führten auch hier die Grobbestandteile im Gras zu einer teilweisen Aussortierung und zu einer Aufrauung im Glättwerk.





Aufgrund der vorhandenen technischen Ausstattung der Papierfabrik bestand die Hoffnung, die Grobbestandteile mit dem Einsatz eines Refiners (Mahlwerk) erheblich zu reduzieren. Da im Maschinentest aber Steuerungsprobleme auftraten, konnte der Refiner nicht eingefahren werden.

In einem durch C+G nachfolgend durchgeführten Drucktest (Digital und Offset) konnte eine eingeschränkte Bedruckbarkeit festgestellt werden. Die Oberflächenbeschaffenheit aller 3 Grammaturen ermöglicht zwar eine Bedruckbarkeit, aber es wurden noch Materialablösungen an der Oberfläche festgestellt.

#### **9.4.2 Maschinentest Cordier**

Das Unternehmen Cordier Spezialpapiere GmbH ist ein Spezialist in dem Bereich von technischen Papieren. So werden Papiere für unterschiedlichste Industrien und insbesondere für die Herstellung von Büroartikeln hergestellt. Im Bereich der grafischen Papiere werden viele Bücher aus den Bestenlisten auf Papier von Cordier gedruckt.

Für die Produktion von Graspapier wurde eine Rezeptur bestehend aus 40 % Altpapier, 30 % Zellstoff und 30 % Gras entwickelt. Durch den größeren Anteil an Zellstoff soll eine verbesserte Oberflächenbeschaffenheit und gute Festigkeitswerte erzielt werden.

Mit dem Maschinentest wurde ein Graspapier mit einer Grammaturn von 100 g/m<sup>2</sup> hergestellt. Die bekannten Schwierigkeiten mit den Grobbestandteilen traten auch in diesem Test wieder auf.

In einem nachfolgenden Drucktest durch die C+G wurde eine verbesserte aber noch nicht gute Bedruckbarkeit festgestellt. Es lösten sich wiederum Bestandteile von der Oberfläche und verschmutzten die Druckmaschine.

Cordier ist mit dem Ergebnis des ersten Tests sehr zufrieden und strebt nach einigen Laborversuchen mit einem anderen Leim für die Masseverleimung einen weiteren Test an.

Detaillierte Daten wurden auch hier aufgrund von Betriebsgeheimnissen nicht bereitgestellt.

#### **9.5 Anwendungstest Schuhkarton aus Gras-Vollpappe**

In einem der ersten Testversuche in 2014 wurde bei der Papierfabrik Albert Köhler GmbH & Co. KG in Gengenbach Graspappe hergestellt. Dieses war möglich, da aufgrund der Materialdicke von Pappe auch wenig aufbereitetes Gras mit einem hohen Anteil an Grobbestandteilen eingesetzt werden konnte.

Der Test ergab gute Ergebnisse im Bereich der Lagenfestigkeit und aufgrund der guten Volumenbildung von Gras eine Verbesserung des spezifischen Gewichts um 15 %.

### Versuchsdokumentation

**Köhlerbox-Gras 70/30**

Die Produktion mit 70% Altpapier und 30% Gras wurde problemlos gestartet. Der Stoffauftrag am Zylinder war sehr homogen und gleichmäßig. (Maschinengeschwindigkeit 79m/min) Die fertigen Pappen waren optisch einwandfrei. Bei 10 Lagen an der Formatwalze stellte sich durch das bessere Volumen bereits ein Dicke von 1,3 – 1,35mm ein. Die Lagenhaftung konnte als sehr gut bezeichnet werden. Erhöhung der Pappenglätte durch Kalandrierung auf eine Pappendicke von 1,03mm.

Ein Rillversuch mit unterschiedlichen Rillenbreiten konnte ausreichend Informationen über die Falbarkeit und das Aufbrechen an den Kanten der Pappe geben. Eine Kantung von 180° ließ keine qualitativen Mängel erkennen. Die Reißfestigkeit der Pappen verschlechtert sich leicht durch die Zugabe von Gras. Es konnte ein spez. Gewicht von 570 – 590gr. ermittelt werden! Im Vergleich zur pappe aus 100% Altpapier ist dies eine Verbesserung des spezifischen Gewichts um 15%

	--	-	+	++
Reproduzierbarkeit			x	
Optik				x
Haptik			x	
Reißfestigkeit		x		
Spaltfestigkeit			x	
Spez. Gewicht				x

**Abb. 48: Auszug aus der Versuchsdokumentation, Köhler, Gengenbach**

Quelle: Akö14

Durch eine bestehende Zusammenarbeit mit der Otto Gruppe, die immer auf der Suche nach innovativen, umweltverträglichen Verpackungsalternativen ist, entstand die Idee aus der Graspappe einen Schuhkarton für den Bereich Sporttextilien / Outdoor herzustellen.

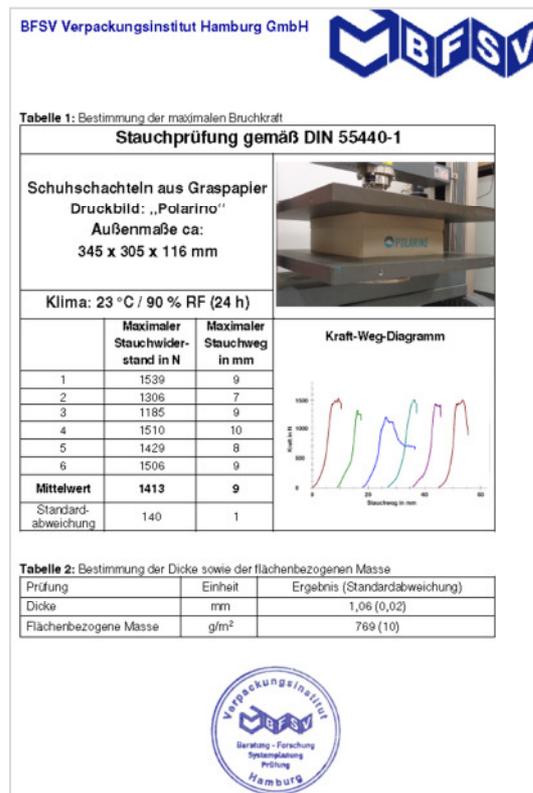
Gemeinsam mit der Fa. Köhler wurde ein Schuhkarton entwickelt und 7000 Exemplare für einen Praxistest hergestellt.



**Abb. 49: Schuhkarton aus Graspappe, Otto Gruppe, Hamburg**

Quelle: Eigene Darstellung, C+G, 2014

Die Hermes Fulfilment GmbH als verantwortliche Tochterfirma unterstützte dieses Projekt bei der Entwicklung und Überprüfung der Praxistauglichkeit. Die Anforderungen der innerbetrieblichen Logistik wurden vollumfänglich erfüllt und durch einen Test des Verpackungsinstituts Hamburg GmbH bestätigt.



**Abb. 50: Auszug aus dem Prüfbericht Nr. 0831/14 des BFSV, Hamburg**

Quelle: Ber14

Eine Anforderung an den Karton, die durch die Otto Gruppe gestellt wurde, war die Rezyklierbarkeit der Graspappe. Mit dieser Untersuchung wurde die PTS parallel zum Projekt beauftragt.

Grundsätzlich stellt die PTS in Ihrem Bericht Nr. AB020202 „AUSWIRKUNGEN VON GRASPAPPE AUF DAS PAPIERRECYCLING“<sup>25</sup> fest, dass die Graspappe recyclingfähig ist. Aufgrund optischer Inhomogenitäten wird die Graspappe als „bedingt rezyklierbar“ bewertet.

<sup>25</sup> Vgl. Pts14

#### 4 Zusammenfassende Bewertung

**Rezyklierbarkeit** Das Muster M-Graspappe war hinsichtlich Zerkleinerbarkeit und klebender Verunreinigungen ohne Beanstandung. Aufgrund optischer Inhomogenitäten im aufbereiteten Faserstoff wird das Muster insgesamt als bedingt rezyklierbar bewertet.

**Bewertung und Empfehlungen für das Recycling** Auf der Basis der Untersuchungsergebnisse und der Anforderungen der Papierindustrie an Altpapierqualitäten ist festzustellen, dass das Einbringen des Produktes P-Graspappe in den Papierkreislauf nur unkritisch für den Recyclingprozess ist, wenn ein konzentrierter Eintrag in einzelne Altpapierströme vermieden wird. Akzeptable maximale Mengenanteile von P-Graspappe für relevante Altpapiersorten wurden abgeschätzt.

Ein konzentrierter Eintrag von P-Graspappe kann insbesondere bei den Recyclingpfaden „Abfall aus der Papierverarbeitung“ und „Verpackungsabfall aus Industrie, Gewerbe und Handel“ auftreten. Organisatorische und/oder technische Gegenmaßnahmen sind hier vorzusehen.

**Abb. 51: Auszug aus dem PTS Bericht Nr. AB020202, München**

Quelle: Pts14

## 9.6 Anwendungstest Wellpappkarton aus Graswellpappe

Basierend auf dem Gras-Wellpappenrohpaper aus dem Maschinentest der Firma Delkeskamp wurde auf der Delkeskamp-eigenen Wellpappenanlage eine Wellpappe hergestellt und als Test in eine laufende Kartonproduktion eingebunden.

Für die Konstruktion der Wellpappe wurden für alle drei Lagen (Deckschicht, B-Welle, Innenlage) das zuvor hergestellte Gras-Wellpappenrohpaper mit der Grammatur von 170 g/m<sup>2</sup> verwendet.

Befürchtungen, dass aufgrund der Oberflächenbeschaffenheit Schwierigkeiten bei der Verleimung der Welle entstehen könnten, haben sich nicht bestätigt.

Im Anschluss wurde die Gras-Wellpappe in einen laufenden Prozess für eine Kartonproduktion eingebunden und so der erste Wellpappkarton aus Graspapier hergestellt.



**Abb. 52: Wellpappkarton aus Graspapier, Delkeskamp Verpackungwerke, Nortrup**

Quelle: Del14

Die Festigkeitswerte waren gut und lagen annähernd auf dem Niveau des Standardkartons. Auch hier darf angemerkt werden, dass es sich um einen ersten Test mit neuem Material handelte.

**Technische Werte**  
der Verpackungen aus Wellpappe mit 3 x Graspapier und 2 x Graspapier mit KWT-Decke

Eigenschaft	Istwerte Faltkiste 0201 375 x 225 x 157 aus 3 x Graspapier B-Welle		rechnerische Vergleichswerte 375 x 225 x 157 aus 3 x TL3 170 B-Welle		Istwerte Faltkiste 0201 375 x 225 x 157 aus 2 x Graspapier und KWT AD B-Welle		rechnerische Vergleichswerte 375 x 225 x 157 aus 2 x TL3 170 und KWT AD B-Welle	
	Ø	Stabw	Ø	min	Ø	Stabw	Ø	min
ECT [kN/m]	6,2	0,24	6,1	5,6	6,3	0,3	6,0	5,6
Dicke [mm]	3,04	0,01	3,0	0,1	2,97	0,01	2,9	0,1
BCT [N]	1960	40	2010	1860	1800	80	1940	1800

Eigenschaft	Istwerte Stanzverpackung 0427 aus 3 x Graspapier B-Welle		rechnerische Vergleichswerte aus 3 x TL3 170 B-Welle		Istwerte Stanzverpackung 0427 aus 2 x Graspapier und KWT AD B-Welle		rechnerische Vergleichswerte aus 2 x TL3 170 und KWT AD B-Welle	
	Ø	Stabw	Ø	min	Ø	Stabw	Ø	min
BCT [N]	5440	110	-	-	5275	185	-	-

Ersteller: Rüdiger Kaufmann, Leiter Qualitätswesen  
technische\_Werte\_Verpackungen\_Gras-Wellpappe.xlsx

1 von 1

Stand: 04.11.2014

**Abb. 53 Technische Werte Wellpappkarton aus Graspapier, Delkeskamp Nortrup**

Quelle: Del14



---

## 9.7 Fazit zum Arbeitspaket VII „Pilotanwendung / Machbarkeitstest“

Aufgrund des Interesses verschiedener Papierfabriken und mit deren Unterstützung konnten im Verlauf des Projektes Maschinentests in unterschiedlichen Papierbereichen durchgeführt werden. Die ganz wesentliche Erkenntnis ist: Es haben alle Tests und Anwendungen funktioniert und damit die Tauglichkeit des Rohstoffs aus Gras für eine industrielle Fertigung bewiesen.

Sehr wohl gibt es übereinstimmend die Anforderungen, die Grobbestandteile auf ein Minimum zu reduzieren. Die technischen Möglichkeiten dafür wurden im Rahmen der Untersuchungen durch die Universität Bonn entwickelt. Eine direkte Umsetzung dieser Lösungsansätze – sieben des Materials nach der Zerkleinerung und Trennung der Fraktionen – war leider nicht möglich. Dazu wären größere Umbauten an der eigentlich für landwirtschaftliche Zwecke genutzten Anlage von der Firma Kaliro, Rheine, erforderlich gewesen.

In Abstimmung zwischen der Universität Bonn und der Firma Kaliro wurde dennoch durch die Verwendung unterschiedlicher Siebe in der Hammermühle und kleinerer Matrizen in der Kollermühle eine Reduzierung der Grobbestandteile erzielt.

Für optimale Ergebnisse und Qualitäten in der Papierherstellung, aber auch um den Materialverlust zu vermeiden, ist die Entwicklung einer technischen Lösung zur Separierung der Grobbestandteile erforderlich.

Werden diese Verbesserungen erzielt, so ist ein Einsatz von Gras in den getesteten Papieren und Kartonagen realisierbar.

Die von PTS ermittelten CSB-Belastungen bedeuten neben einer stärkeren Belastung des Wasserkreislaufes einer Papierfabrik auch einen Materialverlust. Hierzu sind zusätzliche Untersuchungen, die sowohl den Aufbereitungsprozess des Grasses als auch die Stoffaufbereitung in der Papierfabrik betrachten, erforderlich.

Beispielhaft ist zu vermuten, dass Gras, das länger steht einen größeren Faseranteil und weniger wasserlösliche Stoffe hat. Im Bereich der Stoffaufbereitung könnte eine schnellere Auflösung und geringere Verweilzeit in der Bütte ebenfalls zu einem positiven Effekt führen.

Auch konnten im Rahmen dieses Projektes nicht die Wirkungen der einzelnen Stoffe (Zucker, Stärke, etc.) im Produktionsprozess untersucht werden. Die bei der Herstellung des Gras-Wellpappkartons erzielten Festigkeiten, lassen aber darauf schließen, dass sowohl im Papierherstellungs-Prozess als auch in den Prozessen der Produktion der Wellpappe und des Kartons diese Eigenschaften positiv beeinflusst werden.



---

## 10 Verwertungsanalyse

Die Verwertungsanalyse für die hier relevante Entwicklung eines Faserersatzstoffes aus Gras zur Herstellung von unterschiedlichen Papiersorten hat eine Vielzahl von Kriterien zu berücksichtigen. Diese nehmen u.a. Bezug zu:

- den papiertechnologischen Anforderungen, denen ein Faserersatzstoff genügen muss, um grundlegende Umsetzungschancen in der industriellen Fertigung realisieren zu können;
- der Rohstoffverfügbarkeit, um die Versorgungssicherheit für die industrielle Produktion aufrechterhalten zu können;
- den unterschiedlichen Aufbereitungsmöglichkeiten des Grundstoffes „Gras“, um den Anforderungen der Papierindustrie Rechnung zu tragen und eine tragfähige Lösung für die Praxis zu garantieren;
- der wirtschaftlichen Tragfähigkeit der Umsetzung unter Berücksichtigung der zukünftigen Rohstoffsituation, um eine marktfähige Alternative darstellen zu können;
- den (rechtlichen) Rahmenbedingungen, insbesondere im Hinblick auf die Endprodukte, um die entsprechenden Vorgaben und geforderten Qualitäten anforderungsgerecht erfüllen zu können und nicht zuletzt
- den Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung und Verwertung entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Bei den unterschiedlichen **Anwendungsmöglichkeiten** in der Papierherstellungsbranche sind sowohl die Anforderungen und Produkteigenschaften des Rohstoffes zu berücksichtigen, als auch die Anforderungen des Endproduktes. Hier gilt es die Eigenschaften des alternativen Rohstoffes im Vergleich zu den Eigenschaften der bisher zum Einsatz kommenden Rohstoffe zu analysieren, um die Vor- und Nachteile einer Bewertung unterziehen zu können, aber auch die Eigenschaften der unterschiedlichen Endprodukte zu beachten, die verschiedenen Funktionalitäten (z.B. Lebensmitteltauglichkeit, Hautfreundlichkeit, Reißfestigkeit, Geruchsneutralität) zu genügen haben.

Hinsichtlich der **Prozessfähigkeit** sind die Verfahrensschritte in der Papierindustrie zu beachten. Die Produktivität in der Papierherstellung ist von ausschlaggebender Bedeutung und die Branche ist von überdurchschnittlichem Produktivitätswachstum gekennzeichnet. So finden neue Technologien Anwendung, die sich in größeren Papiermaschinen mit hohen Geschwindigkeiten ausdrücken. Eine moderne Papiermaschine produziert etwa mit einer Geschwindigkeit von bis zu 2.200 m/Min.. Diese Anforderungen an die Produktivität erfordern eine entsprechende Qualität des Faserrohstoffes, um eine kontinuierliche Produktion gewährleisten zu können und Rüstzeiten zu minimie-



ren. Hierfür ist u.a. die Reißfestigkeit des Rohstoffes von Relevanz. Des Weiteren hat der Rohstoff die derzeitigen Verfahrenstechniken bei der Papierherstellung zu beachten, um zusätzliche Investitionen zu vermeiden. Ausschlaggebend sind hierfür die Verarbeitungsmöglichkeiten des neuen Rohstoffes in den Anlagen (z.B. Belastung der Walzen durch Anhaftung) und die mit der Verwendung des Grasrohstoffes verbundenen Wirkungen z.B. auf die Entwässerungssysteme (z.B. CSB-Wert).

Papier ist eine Art „Koppelprodukt“ aus seinen Rohstoffen und den spezifischen Rezepturen unter Verwendung von Zusatzstoffen sowie spezifischen Verfahrensumsetzungen (z.B. Einsatz von Druck, Wasser etc.). Hierbei bestehen Wechselwirkungen zwischen Rohstoff, Rezeptur und Anwendungsverfahren. Die von der Papierindustrie bisher eingesetzten Rohstoffe sind „holzbasierend“ und die von der Industrie eingesetzten Rezepturen und Verfahren darauf abgestimmt.

Um – wie im vorliegenden Projekt – mit einem Rohstoff aus Gras belastbare Erfahrungen zu erzielen, bedarf es somit der Pilotanwendung durch ein konkretes Unternehmen aus der Papierindustrie. Da aber weiterhin die Rezeptur das wesentliche Geschäftsgeheimnis jedes Unternehmens darstellt, kann von Seiten des Projektinitiators, der C+G, die Entwicklung nur bedingt autonom vorangetrieben werden. In der Konsequenz wird ein „Universalrohstoff“ basierend auf Gras, nur langfristig zu entwickeln sein. Vielmehr ist davon auszugehen, dass in der mittelfristigen Perspektive unterschiedliche Rohstoffqualitäten anforderungsgerecht entwickelt werden, die jeweils konkrete Einsatzfelder aufweisen werden.

Der Zugang zu Rohstoffen und die kontinuierliche Versorgung mit entsprechenden Rohstoffmengen in Abhängigkeit des Bedarfs stellen grundlegende Voraussetzungen für die Papierindustrie dar. Die **Versorgungssicherheit** muss gegeben sein, um eine effiziente Auslastung der Produktionsanlagen garantieren zu können. Zu einer Verknappung der Ressourcen Zellstoff und Altpapier kommt es aktuell aufgrund eines international steigenden Bedarfs, sowie einer Ressourcenkonkurrenz durch die alternative stoffliche oder energetische Nutzung der Rohstoffe. Des Weiteren sind es die Rohstoffkosten für den Sekundärrohstoff Altpapier und die Primärfaserstoffe aus der Holzgewinnung, die über die Marktchancen eines alternativen Rohstoffes entscheiden.

Die Papiererzeugung gilt als eine sehr kapital- als auch energieintensive Branche. Darüber hinaus ist der Papiermarkt in Europa nicht homogen, sondern in seiner Entwicklung nach Papiersorten bzw. Sparten zu differenzieren. Während z.B. der Bedarf an Transportverpackungen aus Papier, Pappe und Karton vom zunehmenden Weltmarkt und dem steigenden Online-Handel profitiert, nimmt der Bedarf an grafischen Papieren deutlich ab.



---

Neben dem zunehmenden internationalen Wettbewerb sieht sich die Papierindustrie in Deutschland unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten den Kostenentwicklungen und der Verfügbarkeit von Rohstoffen (Altpapier, Holz, Zellstoff), der Energiekostenentwicklung, sowie Fragestellungen zu Innovationen und Investitionen gegenüber.

Nischenproduzenten zeichnen sich u.a. durch qualitativ hochwertige Produkte und Innovationen aus. Vor allem bei der Herstellung von Standardpapieren aber sind Kostenführerschaft und Flexibilität von ausschlaggebender Bedeutung.

Grundsätzlich sind für die Papierproduktion Standortfaktoren von maßgeblicher Relevanz, die sich durch räumliche Nähe zu den Kunden / Märkten aber auch Zentralität in Bezug auf die Beschaffungslogistik auszeichnen.

Sollen unter **Wirtschaftlichkeitsaspekten** die Verwertungschancen des neuen Rohstoffes aus Gras einer Bewertung unterzogen werden, sind somit die Rohstoffkomponenten zu beachten, die substituiert werden können, sowie die Substitutionsanteile, als auch die Herstellungskosten bzw. die Konkurrenzpreise und die mit der Beschaffung im Zusammenhang stehenden Transportkosten.

Ebenfalls unter dem Wirtschaftlichkeitsaspekt sind die Kosten bzw. Kosteneinsparungen bei der Papierherstellung unter Verwendung des neuen Rohstoffes zu beachten und somit Prozessanalysen und Prozesskostenvergleiche von Bedeutung, die sich nicht allein auf die Herstellungskette von dem neuen Rohstoff beschränken, sondern vielmehr die gesamte Wertschöpfungskette berücksichtigen.

Eng mit den Herstellungsprozessen, sowohl für den neuen Rohstoff als auch für die Papiererzeugung, verbunden ist die **Nachhaltigkeit** des Rohstoffes aus Gras. Hierbei ist es die Energieeffizienz sowie der Carbon-Footprint, die sowohl unter ökologischen als auch ökonomischen Gesichtspunkten über die Verwertungsmöglichkeiten in der Papiererzeugung mitentscheiden.

Unter dem Aspekt der **Umweltverträglichkeit** sind auch zukünftige Entwicklungen zu beachten. So sind Unternehmen der Papiererzeugung durch Ausnahmeregelungen für energieintensive Branchen teilweise von der EEG-Umlage und von Netzentgelten befreit und können durch die „Carbon-Leakage-Kriterien“<sup>26</sup> beim Emissionshandel sparen. Ein Wegfall dieser Regelungen kann zukünftig zu deutlichen Einschränkungen in der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Papierindustrie im internationalen Vergleich führen. Produktinnovationen könnten in diesem Zusammenhang einen Lösungsansatz darstellen.

---

<sup>26</sup> Vgl. hierzu: Dih14



## 10.1 SWOT-Analyse

Um durch die Verwertungsanalyse den im Rahmen des vorliegenden Projektes erzielten Ergebnissen Rechnung zu tragen, sowie die zukünftige Ausrichtung der Entwicklungsarbeit bestimmen zu können, werden im Folgenden die Möglichkeiten einer Verwertung der Ergebnisse mittels einer SWOT-Analyse<sup>27</sup> bewertet. Hierbei konzentriert sich die „interne Analyse“ auf die Stärken und Schwächen bei der Rohstoffentwicklung und seines Einsatzes als neuer Rohstoff in der Papierindustrie; die sog. „externe Analyse“ nimmt Bezug auf die Marktpotenziale, die Papierindustrie als Verarbeitende Industrie sowie das wirtschaftliche Umfeld und bewertet in diesem Zusammenhang die Chancen und Risiken. In der abschließenden integrierten SWOT-Matrix werden die wichtigsten positiven und negativen Einflussfaktoren auf die weiteren Entwicklungsarbeiten ausgewiesen. Der grundlegende Ansatz einen neuen Rohstoff aus „Gras“ für die Herstellung von Papier in der Industrie herzustellen -„Papier aus Gras“- ist im Rahmen der SWOT-Analyse die verfolgte grundlegende Strategie.

Die Verwertungsanalyse schließt mit einem Überblick über den weiteren Entwicklungsbedarf und den Ausblick auf die weitere Vorgehensweise ab.

### 10.1.1 Stärken-Schwächen-Analyse

Bei der internen Analyse wurden die Stärken und Schwächen des Entwicklungsvorhabens anhand der folgenden 8 Kriterien ermittelt:

1. Aufbereitung von „Gras“ zum Rohstoff
2. Verfahrenstechnik
3. Produkteigenschaften des Rohstoffes für die Papierherstellung
4. Substitutionseigenschaften
5. Entwicklungsoptionen
6. Versorgungssicherheit/Verfügbarkeit
7. Umweltrelevanz
8. Innovationsgehalt

#### Stärken

#### Schwächen

Stärken	Schwächen
<b>Aufbereitung</b> Grundlegende Machbarkeit der Aufbereitung von Gras für die Papierherstellung nachgewiesen	Merkmale des aufbereiteten Rohstoffes noch nicht hinreichend „gut“ für relevante Papierprodukte (z.B. Grobbestandteile)
Positive Eigenschaften des Rohstoffes hinsichtlich Volumenbildung und Biegesteifigkeit	Materialverluste durch wasserlösliche Bestandteile

<sup>27</sup> SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Treats. SWOT-Analyse: eine Methode zur strategischen Planung.



<b>Verfahrenstechnik</b>	
Vorhandene Verfahrenstechniken sind für die Aufbereitung nutzbar	Vorhandene Verfahrenstechniken erlauben keine ausreichend kontrollierte Herstellung; Erweiterungen und Modifikationen sind notwendig
<b>Produkteigenschaften</b>	
Eigenschaften des Rohstoffes zeigen Eignung für die Papierherstellung	Wirkungszusammenhänge zwischen Inhaltsstoffen des Rohstoffs und Papierherstellung noch weitreichend unbekannt, so dass Produktstabilität nicht ausreichend zu gewährleisten ist
Unterschiedliche Papierprodukte weisen Potenziale für bereits erzielte Qualitäten auf	Spezifikationen hinsichtlich unterschiedlicher Qualitäten des Rohstoffes nur sehr eingeschränkt möglich (z.B. Fraktionierung)
Positive Effekte bei der Volumenbildung ermöglichen u.a. Materialeinsparungen bei relevanten Papierprodukten	
<b>Substitutionseigenschaften</b>	
Der Rohstoff konnte im Labor und im Praxistest den Einsatz von Altpapier anteilig (10%-50%) substituieren	Spezifische Eigenschaften des Rohstoffs (z.B. Faserstruktur, Geruch) schränken die Substitution ein
Machbarkeitstests in der Praxis haben auch die Substituierbarkeit von Zellstoff / Holzschliff ergeben	Substituierbarkeit kann nur in konkreten Praxisfällen getestet werden, da Anforderungen an das Endprodukt maßgeblich sind
In Abhängigkeit der Rezepturen kann der neue Rohstoff neben Altpapier und Holzschliff / Zellstoff als dritte Komponente eingesetzt und anteilig mit den herkömmlichen Komponenten kombiniert werden	Die zukünftige Ressourcenverfügbarkeit wird maßgeblich den Bedarf bestimmen
<b>Entwicklungsoptionen</b>	
Anpassungen am Rohstoff und in der Verfahrenstechnik haben Entwicklungsfortschritte in Richtung unterschiedlicher Qualitäten erwiesen	Die Wirkungszusammenhänge zwischen Rohstoff, Verfahren bei der Papierherstellung und individuelle Rezepturen erfordern kurz- bis mittelfristig eine enge Kooperation mit Unternehmen der Papierherstellung
<b>Versorgungssicherheit/Verfügbarkeit</b>	
Grünlandnutzung flächendeckend für Grasrohstoff möglich	Keine direkte Einflussnahme auf Heuproduktion möglich
Vorhandene Exportanteile ermöglichen direkten Einkauf	Witterungsabhängigkeit bestimmt verfügbare Mengen am Markt
Konkurrenz zu Futterpflanzen nur bedingt vorhanden, da mindere Qualitäten für die Rohstoffherstellung hinreichend	Aufbereitungskapazitäten nicht am Markt verfügbar



<b>Umweltrelevanz</b>	
Der schnell wachsender Grundstoff Gras (Heu) ersetzt Holz	CSB-Belastung des Wassers in der Papierherstellung steigt an
Beschaffung und Lieferung erfolgt „aus der Region für die Region“	
Herstellung des Rohstoffs erfordert geringeren Energieeinsatz	
<b>Innovationsgehalt</b>	
Gras als Grundstoff für einen neuen Rohstoff für die industrielle Papierherstellung stellt eine Produktinnovation dar, ebenso wie die zu nutzende Verfahrenstechnik zur Herstellung des Rohstoffs; dies eröffnet neue Märkte und Absatzpotentiale	Die stoffliche Nutzung von Gras erfordert eine interdisziplinäre Grundlagenforschung und die Verfahrenstechnik grundlegende Neuerung unter Berücksichtigung der Anforderungen der jeweiligen Papiererzeugnisse

### 10.1.2 Chancen-Risiken-Analyse

Im Rahmen der externen Analyse wurden die Chancen und Risiken der Produktinnovation in Bezug auf die nachstehenden Kriterien bestimmt:

1. Prozessfähigkeit
2. Einsatzkompatibilität zur Papierherstellung
3. Absatzpotenzial
4. Substitutionsmöglichkeiten
5. Wirtschaftlichkeit
6. Umweltrelevanz bei Papierherstellung
7. Konkurrenzsituation
8. Akzeptanz

#### Chancen

#### Risiken

<b>Prozessfähigkeit</b>	
Die Prozessfähigkeit für den Einsatz des neuen Rohstoffes in der industriellen Fertigung konnte grundsätzlich durch mehrere Pilotanwendungen nachgewiesen werden	Der Anteil der wasserlöslichen Bestandteile ist kritisch, insbesondere bei größeren Mengen oder höheren Anteilen des neuen Rohstoffs bei der Verarbeitung; Ergänzung der Entwässerungssysteme
	Grobbestandteile setzen sich auf den Walzen fest und könnten mittelfristig zu Produktivitätsverlusten der Papiermaschinen führen; Verringerung der Marktakzeptanz



<b>Einsatzkompatibilität bei der Papierherstellung</b>	
Die Zuführung des Rohstoffes kann vergleichbar dem Status Quo erfolgen	
Die Aufbereitung im Pulper setzt keine Anpassungen voraus	Rezepturen bedürfen der Anpassung; verlängerte Anlaufzeiten
<b>Absatzpotenzial</b>	
Papiertechnologisch positive Einsatzmöglichkeiten in Karton und Pappe; beide Papiersorten sind Bestandteil der größten Sortengruppen; hohes Absatzpotenzial	Substitution erfolgt nur in geringem Umfang aufgrund möglicher Risiken in der Fertigung
Verpackungspapiere repräsentieren Wachstumsmärkte; Nachfragesteigerungen können zu Versorgungsengpässen beim Altpapier beitragen und Alternativen erforderlich machen	Absatzmarkt überschaubar somit hohe Abhängigkeit von einzelnen Unternehmen
<b>Substitutionsmöglichkeiten</b>	
Es wurde der Einsatz bei der Herstellung von Wellpappe und GD2 Kartonagen positiv bewertet	Der Einsatz von Altpapier als Kernrohstoff wird weiterhin von hoher Relevanz sein und in Abhängigkeit von der Ressourcenverfügbarkeit sowie positiver Produkteigenschaften des neuen Rohstoffes mit der neuen Alternative kombiniert werden
Der Einsatz bei Nischenprodukten (z.B. Papiere für Visitenkarten, Kartonagen für die Verpackung umweltorientierter Produkte) erwies sich als möglich	
Anteilige Kombination mit Zellstoff / Holzschliff erwies sich im Praxistest als möglich	
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Nach derzeitigen Kostenschätzungen tragfähig als Zellstoffersatz	Produktionsrisiken für die Papierindustrie nicht hinreichend abschätzbar
Bei Verknappung der Altpapierverfügbarkeit und Ausschöpfung der Volumenbildungsfähigkeit des neuen Rohstoffes ist die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit bereits heute gegeben	Beschaffungspreise für Gras/Heu steigen bzw. unterliegen zu hohen Schwankungen; wirtschaftliches Risiko steigt
<b>Umweltrelevanz bei Papierherstellung</b>	
Umweltbezogene Bewertung als anteilige Alternative zu Holzstoff und Altpapier positiv	Einsatz von Düngemitteln bei Grasproduktion ist auszuschließen
Entspricht Nachhaltigkeitsanspruch der Endabnehmer; Absatzchancen steigen	



<b>Konkurrenzsituation</b>	
Keine Konkurrenzsituation zu anderen alternativen Rohstoffen bekannt; Erschließung neuer Märkte	
Imagezuwächse und Alleinstellungsmerkmale durch Produktinnovationen in der Papierindustrie	
<b>Akzeptanz</b>	
Akzeptanz konnte bei ausgewählten Unternehmen ermittelt werden	Bereitschaft zu Prozessanpassungen nur eingeschränkt gegeben

### 10.1.3 SWOT-Matrix

In der nachstehenden SWOT-Matrix wurden die ermittelten Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken verdichtet, um die wesentlichen Einflussgrößen auf zukünftige Entwicklungsarbeiten zu verdeutlichen.

#### SWOT-Matrix

Stärken - Strengths	Schwächen - Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die grundlegende Eignung des Rohstoffs als Alternative bei der Papierherstellung konnte nachgewiesen werden.</li> <li>Für ausgewählte Papierprodukte können positive Effekte realisiert werden.</li> <li>Die Versorgungssicherheit kann grundsätzlich sichergestellt werden können.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die eingesetzten Verfahrenstechniken erlauben noch keine hinreichend gute Rohstoffqualität und der Anteil wasserlöslicher Bestandteile ist für einen industriellen Einsatz zu hoch.</li> <li>Die in der Praxis eingesetzten Rezepturen erlauben keine universelle Produktentwicklung.</li> <li>Aufbereitungskapazitäten sind sowohl in technischer als auch kapazitärer Hinsicht nicht verfügbar.</li> </ul>
Chancen - Opportunities	Risiken - Threats
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die nachgewiesenen Einsatzmöglichkeiten des neuen Rohstoffes in Verpackungspapieren bieten die Partizipation an einem Wachstumsmarkt in der Papierindustrie.</li> <li>Insbesondere unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit dürften auch Marktnischen besetzt werden können.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sowohl die Problematik bei der Wasserkreislaufführung als auch bei der Verarbeitung der Grobbestandteile des Rohstoffes lassen im Status Quo der Entwicklungsarbeit auf eine unzureichende Akzeptanz schließen.</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der steigende Bedarf an Altpapier als auch Zellstoff (mit steigenden Importmengen), lassen mittelfristig den neuen Rohstoff auch als wirtschaftlich tragfähige Alternative erwarten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Entwicklung der Beschaffungspreise für Gras/Heu sowie der Rohstoffsituation in der Papierindustrie sind nur sehr eingeschränkt zu prognostizieren.</li> </ul>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 10.1.4 Kombinierte SWOT-Matrix

In einem abschließenden Analyseschritt wurden die ermittelten Einflussgrößen in Beziehung zueinander gesetzt, um so die Zusammenhänge zu verdeutlichen und mittels einer Kombination von Stärken und Chancen Möglichkeiten für die Weiterentwicklung des neuen Rohstoffes aufzuzeigen.

Die Kombination der Schwächen und Risiken liefert Hinweise darauf, welche Gefährdungen es bei den Entwicklungsarbeiten zu vermeiden gilt bzw. welche Maßnahmen notwendig werden, um den Gefährdungen entgegen wirken zu können.

Der Vergleich der Schwächen und Chancen zeigt auf, welche Voraussetzungen bei der Produktentwicklung geschaffen werden müssen, um vorhandene Chancen am Markt nutzen zu können.

Die Kombination von Stärken und Risiken liefert abschließend Hinweise darauf, wo es externe Risiken abzufedern gilt, um die vorhandenen Vorteile bei der Produktentwicklung ausschöpfen zu können.

#### Kombinierte SWOT-Matrix

		<i>Interne Analyse</i>	
		<b>Stärken – Strengths</b>	<b>Schwächen – Weaknesses</b>
<b>Externe Analyse</b>	<b>Chancen - Opportunities</b>	Entwicklungsleistungen für Verpackungspapiere ausbauen.	Mängel in der Verfahrenstechnik ausgleichen und Zusammenarbeit mit der Industrie forcieren.
	<b>Risiken – Threats</b>	Verbesserungen in der Aufbereitungstechnik realisieren und verschiedene Rezepturen in die Entwicklung integrieren.	Vermeidung einer einseitigen Herangehensweise; stattdessen Kombination von Theorie und Praxis.



Die Stärken der bisherigen Entwicklungsarbeiten liegen vor allem in den Anwendungsbereichen zur Herstellung von Pappen und Kartonagen. Da diese Marktsegmente der Papierindustrie auch die Wachstumsträger sind, sprechen die Stärken in der eigenen Entwicklung sowie die Chancen am Markt dafür, die weiterführenden Arbeiten auf diesen Bereich zu konzentrieren. Insbesondere die positiven Praxistests mit dem GD2-Karton sprechen dafür, den Einsatz des neuen Rohstoffes für diese Papierprodukte mit zunächst geringeren Anteilen von ca. 10%-30% weiter auszubauen.

Um die Chancen und Einsatzmöglichkeiten am Markt nutzen zu können, müssen vor allem die Verfahrenstechniken zur bedarfsgerechten Aufbereitung des Rohstoffes durch weitere Entwicklungsarbeiten verbessert und die Zusammenarbeit mit Unternehmen der Papierindustrie forciert werden. In diesem Bereich gilt es derzeit noch fehlende Erkenntnisse aufzuholen.

Die Risiken beim Einsatz des neuen Rohstoffes aus „Gras“ in der Papierindustrie, die durch Grobbestandteile und den Anteil wasserlöslicher Bestandteile derzeit auftreten, kann durch die erprobten Modifikationen in den Verfahren der Aufbereitung begegnet werden. Sowohl durch die Fortführung des interdisziplinären Entwicklungsansatzes als auch durch die Integration unterschiedlicher Rezepturen der Papierbranche lassen sich die positiven Erfahrungswerte weiter absichern.

Sowohl die Rohstoffqualitäten als auch die Prozessfähigkeit müssen parallel Verbesserungen unterzogen werden. Hierfür ist zunächst eine Konzentration auf ausgewählte Papierprodukte bei der Weiterentwicklung notwendig. Zu vermeiden ist eine einseitige Herangehensweise; theoretische und praxisorientierte Entwicklungsschritte müssen revolvierend erfolgen, um Fehlentwicklungen vorbeugen zu können.

## 10.2 Weitere Vorgehensweise und Ausblick

Bei dem vorliegenden Vorhaben handelte es sich um ein Pilotprojekt mit Modellcharakter, das dem Nachweis der grundsätzlichen Machbarkeit der verfolgten Produktinnovation sowie der verfahrenstechnischen Umsetzung diente. Dieser Nachweis konnte erbracht werden. Der neue Rohstoff auf Basis von „Gras“ kann grundsätzlich als dritte Komponente, neben Altpapier und Zellstoff / Holzschliff, verstanden werden und in unterschiedlichen Kombinationsvarianten bei der Papierherstellung zukünftig Einsatz finden. Allerdings ist auf dem derzeitigen Stand der Entwicklungsarbeit noch keine hinreichende Eignung für die unterschiedlichen Papierprodukte gegeben.

Ausgehend von den ermittelten Ergebnissen und der Bewertung ihrer Verwertungsmöglichkeiten wird eine Weiterentwicklung des neuen Rohstoffes angestrebt. Schwerpunkte werden die Verfahrenstechnik zur bedarfsgerechten und planbaren Aufbereitung des Rohstoffes sowie der experimentelle Einsatz in der industriellen Praxis bilden. Parallel hierzu ist die Grundlagenforschung am Rohstoff „Gras“ voranzutreiben, um die stofflichen Nutzungsmöglichkeiten weiter zu konkretisieren. Hierfür wird ein Promotionsverfahren in enger Zusammenarbeit mit allen Beteiligten angestrebt. Des



---

Weiteren sind die papiertechnologischen Optionen zu bestimmen, die die verfahrenstechnische Kompatibilität verbessern.

Aktuell ist für Ende September 2015 ein weiterer Maschinentest vorgesehen. Vorbereitend dafür wurde – basierend auf den Erkenntnissen des Projektes – von der C+G eine Siebmaschine gekauft, die es erlauben soll, Grobbestandteile aus dem Rohstoff auszuschleusen. Dieser Test dient der späteren Herstellung von Karton für Faltschachteln (GD2).



---

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.: Abbildung

AP: Arbeitspaket

ADF: Acid Detergent Fibre/Säure Detergentien Faser, Probenrückstand( = Cellulose, Lignin) nach der Behandlung mit sauren Lösungsmitteln

C+G: Projektgesellschaft C+G papier GmbH

CSB: Chemischer Sauerstoffbedarf

etc.: et cetera

Fa: Firma

FSK: Faltschachtelkarton

g: Gramm

GD2: Chromeduplexkarton

g/dm<sup>3</sup>: Gramm pro Dezimeter<sup>3</sup>, Dichte-Einheit

GP: Graspellet

GV: Eine *Großvieheinheit* (GV oder GVE) dient als Umrechnungsschlüssel zum Vergleich verschiedener Nutztiere auf Basis ihres Lebendgewichtes in Bezug auf Flächen- und Futterbedarf. Eine Großvieheinheit entspricht dabei 500 Kilogramm Lebendgewicht.

HS: Holzschliff

LUFA: Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt

MR: Maschinenring

NDF: Neutral Detergent Fibre/Neutrale Detergentien Faser, Probenrückstand( = Cellulose, Hemicellulose, Lignin, Asche) nach der Behandlung mit neutralen Lösungsmitteln.

PDI: Pellet Durability Index

PTS: Papiertechnische Stiftung

RGV: Raufutter verzehrende Großvieheinheit; gibt den Raufutteranteil an, in der für die Nutztierart typischen Futterration.

S.: Seite

SALCO: Szafera Logistics Composition GmbH

SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Treats



---

t: Tonne

Tab.: Tabelle

TM: Trockenmasse

u.a.: unter anderem

z. B.: zum Beispiel

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- [Akö14] ALBERT KÖHLER GmbH & Co. KG, Gengenbach, 2015.
- [Ber14] BERATUNGSSTELLE FÜR SEEMÄßIGE VERPACKUNGEN e. V. (BFSV), 2014.
- [Cvu14] CHEMISCHES- UND VETERINÄRUNTERSUCHUNGSAMT, Stuttgart, 2014.
- [Del14] DELKESKAMP Verpackungswerke GmbH, Nortrup, 2014.
- [Dih14] DEUTSCHE INDUSTRIE UND HANDELSKAMMER BERLIN: Fakten und Argumente zum Emissionshandel in der dritten Handelsperiode und zur geplanten Strukturreform in der vierten Handelsperiode, Faktenpapier Emissionshandel. Berlin, 2014.
- [DJS08] DROCHNER, W., JEROCH, H., SIMON, O.: Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Ulmer Verlag, 2008.
- [Ger11] GERINGHAUSEN, H.-G.: Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung: Jetzt auch mit Silagen für Biogasanlagen. DLG-Verlag, 2011.
- [Gra04] GRASS, S.: *Utilisation of grass for production of fibres, protein and energy*. In: Biomass and Agriculture Sustainability, Markets and Policies – Sustainability, Markets and Policies. OECD Publishing, 2004.
- [Kah14] AMANDUS KAHL GmbH & Co. KG, Reinbeck.
- [KHH13] KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., HOFBAUER, H.: Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, 2013.
- [Köl15] ALBERT KÖHLER GmbH & Co. KG, Oberkirch, 2015.
- [Lkr15] LANDWIRTSCHAFTSKAMMER RHEINLAND-PFALZ: Markt- und Preisinformation 2009-2014. Bad Kreuznach, 2015.
- [Mr15] MASCHINENRING WESTERWALD-TAUNUS GmbH, RHEINISCHE FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT: Flächennutzung und Versorgungssicherheit. Montabauer und Bonn, 2015.
- [Mor14] MORITZ J. WEIG GmbH & Co. KG, Mayen, 2014.
- [NO86] NÖSBERGER, J., OPITZ VON BOBERFELD, W.: Grundfutterproduktion. Parey Verlag, 1986.
- [Öag99] ORGANISATION DER ÖSTERREICHISCHEN ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR GRÜNDLAND: Heubewertung nach Sinnenprüfung, ÖAG-Schlüssel, 1999.
- [Opi94] OPITZ VON BOBERFELD, W.: Grünlandlehre: Biologische und ökologische Grundlagen. Ulmer Verlag, 1994.
- [PtB] PAPIERTECHNISCHE STIFTUNG, BIFA UMWELTINSTITUT GMBH: Prozessmodellierung und vergleichende Ökobilanz für gras-haltigen Karton, Projektbericht Nr. 21998 im Auftrag von C+G Papier. München, Augsburg, 2015.



- 
- [Pts14] PAPIERTECHNISCHE STIFTUNG: Auswirkungen von Graspappe auf das Papierrecycling, Projektbericht Nr. AB020202. München, 2014.
- [Rhe15] RHEINISCHE-WARENBÖRSE: Preisbericht der Rheinischen Warenbörse e.V. Stroh und Heu: Strohnotierung, 2009-2014. Köln, 2015.
- [Sch13] SCHMID, M. A.: Analyse und Optimierung innovativer Verfahrensketten zur Kaskadennutzung von Schnitt- und Rodungsholz aus Obstplantagen als biogener Festbrennstoff. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät, Dissertation, Bonn 2013.
- [Sta13a] STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ: Landwirtschaftlich genutzte Fläche 1960 bis 2013 nach ausgewählten Kultur- und Fruchtarten. Bad Ems, 2013.
- [Sta13] STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ: Viehhaltung 1950 bis 2013 nach ausgewählten Tierarten. Bad Ems, 2013.
- [Sta14] STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ: Bodennutzung landwirtschaftlicher Betriebe 2014. Bad Ems, 2014.
- [UK15] MALLON, U., KÖHLER Greiz GmbH & Co. KG: Versuchsbericht CT02-15 Graspapier, 2015.
- [VDP14] VERBAND DEUTSCHER PAPIERFABRIKEN VDP: *Papier 2014 – Ein Leistungsbericht*. Bonn, 2014.
- [Wei14] WEIDMANN Maschinenbau GmbH, Troisdorf, 2014.
- [Wen14] WENGHOEFER, V.: Entwicklung einer optimierten Produktionskette für die Bereitstellung von Miscanthus-Mischpellets zur Nutzung in Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät, Dissertation, Bonn, 2014.
- [WH08] WÜRFL, P., HALAMA, M.: Gründlandstudie Bayern. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan, 2008.