



INFOR-Projekt Nr. 165

**Vollständig biobasierte Papierprodukte
Irrweg oder Chance?**

Schlussbericht

Dezember 2013

Papiertechnische Stiftung München

Dr. Frank Miletzki

Projektbearbeiter:
Dr. Günter Müller, MBA
Dipl.-Ing. Ingrid Demel

Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Papierfabrikation und
Mechanische Verfahrenstechnik

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Projektbearbeiter:
Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz
Dipl.-Chem. Antje Kersten

Schlussbericht INFOR-Projekt 165

Vollständig biobasierte Papierprodukte Irrweg oder Chance?

Papiertechnische Stiftung (PTS)

Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik
(PMV), Technische Universität Darmstadt

Projektbearbeiter:

Dr. Günter Müller, MBA (PTS)

Dipl.-Ing. Ingrid Demel (PTS)

Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz (PMV)

Dipl.-Chem. Antje Kersten (PMV)

München / Darmstadt, den 22.12.2013



Projektbegleiter:

Name	Firma	Ort
Heiner Grussenmeyer	Stora Enso Research Centre	Mönchengladbach
Dr. Stefan Karrer	Sappi Alfeld GmbH	Alfeld
Dr. Thomas Pfitzner	Stora Enso Maxau GmbH	Karlsruhe
Dr. Detlef Rhodius	Papierfabrik Schoellershammer GmbH & Co. KG	Düren

Kontakt:

Papiertechnische Stiftung

Dipl.-Ing. Ingrid Demel

Heßstraße 134

D-80797 München

Telefon: +49 – (0)89 - 121 460

E-Mail: Ingrid.Demel@ptspaper.de

Gliederung

Gliederung	III
Kurzfassung	V
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1. Einleitung.....	1
2. Grundlagen und Begriffe.....	1
2.1 Definition und Abgrenzung des Begriffs „biobasiert“	1
2.1.1 Biobasierte Produkte	2
2.1.2 Abgrenzung zur biologischen Abbaubarkeit	2
2.1.3 Nachwachsende Rohstoffe	3
2.2 Prüfung und Zertifizierung	3
2.2.1 Zertifizierung durch die DIN CERTCO	4
2.2.2 Prüfverfahren	5
2.2.3 Einteilung biobasierter Produkte	6
2.3 Papierprodukte	6
3. Problemstellung	7
4. Zielsetzung	7
5. Ist-Situation in der Papierindustrie	8
5.1 Rohstoffeinsatz der Papierherstellung und Verarbeitung	8
5.1.1 Datenerfassung der Einsatzstoffe.....	8
5.1.2 Unterteilung der Einsatzstoffe.....	9
5.1.3 Kosten der Einsatzstoffe	11
5.2 Nachwachsende Rohstoffe in der Papierindustrie	12
5.2.1 Ermittlung der biobasierten Anteile	12
5.2.2 Biobasierte Anteile ausgewählter Produkte	15
6. Ist-Situation in der Kunststoffindustrie	18
6.1 Entwicklung von Biokunststoffen.....	18
6.1.1 Unterteilung der Biokunststoffe.....	18
6.1.2 Datenerfassung zu Produktionsmengen.....	19
6.1.3 Datenerfassung zu Preisen.....	20
6.1.4 Anwendungsgebiete der Biokunststoffe.....	21
6.2 Bewertung von Biokunststoffen	22
6.2.1 Probleme und Kritik.....	22
6.2.2 Positive Erfolge	24

7. Übertragbarkeit der Ergebnisse der Biokunststoffe auf die Papierindustrie	25
8. Substitutionspotentiale der nicht biobasierten Anteile im Rahmen der Papierproduktion.....	26
8.1 Biopolymere	27
8.2 Substitutionspotential der chemischen Additive	28
8.2.1 Machbarkeit der Substitution chemischer Additive	28
8.2.2 Bewertung der Substitution chemischer Additive.....	32
8.2.3 Bewertungsmatrix	36
8.3 Substitutionspotential der Mineralien	38
8.3.1 Machbarkeit der Substitution von Mineralien	38
8.3.2 Bewertung der Substitution von Mineralien	39
8.4 Substitutionspotential des anorganischen Anteils im Altpapier	41
8.4.1 Machbarkeit der Abtrennung des anorganischen Anteils	41
8.4.2 Bewertung der Stoffabtrennung	43
9. Zusammenfassung und Diskussion.....	45
10. Handlungsempfehlungen	47
11. Fazit.....	48
12. Ausblick	49
Anhang.....	50
Literaturverzeichnis	56

Kurzfassung

Biobasierte Produkte bestehen aus nachwachsenden Rohstoffen aber auch aus anorganischen Füllstoffen sowie petrochemisch basierten Materialien. Heute gelten Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe als unerlässlich für eine ressourcenschonende und umweltverträgliche Kreislaufwirtschaft. Durch steigende Anforderungen an die Umweltfreundlichkeit von Produkten sowie eine stetige Verteuerung von Ressourcen steigt auch die Nachfrage nach biobasierten Papiererzeugnissen kontinuierlich. Derartige Produkte beeinflussen bereits heute stark die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und bestimmen, gemeinsam mit Preis und Qualität, zunehmend den Einkauf.

Cellulosische Faserrohstoffe und Stärke für die Papiererzeugung erfüllen die Anforderung, biobasiert zu sein. Für verschiedene Additive und Zusatzstoffe, die derzeit in den Prozessen der Papiererzeugung und -verarbeitung eingesetzt werden, ist dies nicht der Fall. Es ist deshalb notwendig, ökologische und monetäre Chancen und Risiken vollständig biobasierter Papier- und Verpackungsprodukte zu beleuchten und gegenüberzustellen, um deren Akzeptanz bei Papiererzeugern und Verarbeitern weiter zu steigern.

Ziel der Arbeit ist es aufzuzeigen, welche Chancen und Risiken aus heutiger Sicht hinsichtlich biobasierter Papier- und Verpackungsprodukte bestehen. Dabei soll insbesondere auch das Potential ermittelt werden, um Papierprodukte vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen zu erzeugen. Hindernisse sollen identifiziert und bewertet werden, auch im Vergleich zum Entwicklungsstand biobasierter Produkte in der Kunststoffbranche. Ökonomische und ökologische Zusammenhänge sollen beurteilt und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Substitution chemischer Additive durch Biopolymere wie Polysaccharide oder Proteine für jedes Additiv eine spezifische Untersuchung bezüglich technischer, ökologischer und monetärer Faktoren erfolgen muss. Bei Verzicht auf mineralische Füllstoffe und Streichpigmente sowie bei der Abtrennung des anorganischen Anteils vom Altpapier können aus heutiger Sicht klare Grenzen hinsichtlich der Machbarkeit aufgezeigt werden, da beispielsweise bei der Altpapieraufbereitung hohe Faserverluste eintreten und die Substitution der Mineralien nur unter Verschlechterung der Papiereigenschaften und unter Kostennachteilen erfolgen kann.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema des CO ₂ -Kreislaufs eines biobasierten Produkts	2
Abbildung 2: Qualitätsstufen der biobasierten Produkte.....	6
Abbildung 3: Einsatzstoffe der Papier-, Karton- und Pappeproduktion.....	9
Abbildung 4: Rohstoffeinsatz der Papierherstellung 2011	15
Abbildung 5: Substitutionspotential (2011) ausgewählter Sorten.....	17
Abbildung 6: Material-Koordinatensystem für Biokunststoffe.....	19
Abbildung 7: Biokunststoffe in Deutschland.....	20
Abbildung 8: Weltweite Produktionskapazitäten für Biokunststoffe 2011	22
Abbildung 9: Landnutzung nachwachsender Rohstoffe.....	24
Abbildung 10: Auszug in Anlehnung an Abbildung 4	26
Abbildung 11: Einordnung der Biopolymere.....	27
Abbildung 12: Verluste bei der Altpapieraufbereitung.....	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Produktion nach Hauptsorten 2011.....	7
Tabelle 2: Preise der jeweiligen eingesetzten Rohstoffe	12
Tabelle 3: Ermittlung der biobasierten Anteile	13
Tabelle 4: Aschegehalt verschiedener Altpapiersorten.....	14
Tabelle 5: Nicht nachwachsender Anteil ausgewählter Papiersorten	16
Tabelle 6: Preis von Biopolymeren verglichen zu konventionellen Kunststoffen ...	21
Tabelle 7: Substitution der Funktionellen Additive	28
Tabelle 8: Substitution der Prozessadditive	29
Tabelle 9: Bewertungsskala.....	36
Tabelle 10: Bewertungsmatrix.....	37
Tabelle 11: Substitution der Mineralien.....	38
Tabelle 12: Preise ausgewählter Einsatzstoffe	40
Tabelle 13: Anfallstellen von Rückständen	42
Tabelle 14: Unterschiedliche Anforderungen an den Waschprozess abhängig von seinem Einsatz bei der Altpapieraufbereitung	43
Tabelle 15: Vorteile von Recyclingpapier im Vergleich.....	45

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AKD	Alkylketendimer
ASA	Alkyliertes Bernsteinsäureanhydrid
ASTM	American Society for Testing and Materials
BRIDGE	Bio-based and Renewable Industries for Development and Growth in Europe
C	Kohlenstoff
CaCO ₃	Calciumcarbonat
CEN	European Committee for Standardization
CEPI	Confederation of European Paper Industries
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
GGM	Galactoglucomannan
kt	Kilotonnen
MVA	Müllverbrennungsanlage
nawaRo	nachwachsende Rohstoffe
PCF	Product Carbon Footprint
PDADMAC	auch PolyDADMAC, Polydiallyldimethylammoniumchlorid
PMV	Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik
PTS	Papiertechnische Stiftung
UBA	Umweltbundesamt
VDP	Verband Deutscher Papierfabriken

1. Einleitung

Der Umwelt- und Ressourcenschutz gewinnt heutzutage zunehmend an Bedeutung. Ursachen sind insbesondere die globale Erwärmung, die zunehmende Umweltverschmutzung durch die Industrien, die Ausbeutung von Ressourcen sowie das steigende Umweltbewusstsein der Gesellschaft. Die verantwortungsvolle und wirtschaftliche Nutzung von natürlichen Ressourcen sowie die Auswirkungen von Produkten und deren Produktionsprozessen auf Umwelt und Verbraucher werden immer wichtiger für die Kaufentscheidung in der Wertschöpfungskette aber auch beim Endverbraucher [1].

In diesem Zusammenhang hat sich eine europäische Initiative gegründet. Die BRIDGE ist eine öffentlich-private Partnerschaft und steht für „Bio-based and Renewable Industries for Development and Growth in Europe“. Sie hat sich bis 2020 das Ziel gesetzt, Europa in der schnell wachsenden globalen Bioökonomie zu einer wettbewerbsfähigen Wirtschaft zu verhelfen. Die Bioökonomie setzt die Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen und die Nutzung biologischer Ressourcen voraus. Dadurch soll eine nachhaltige, biobasierte Wirtschaft geschaffen werden. Bestrebungen sind insbesondere die effizientere Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen, eine Verwertung der ungenutzten Neben- und Abfallprodukte, die Schließung von Stoffströmen, die Gewinnung biobasierter Chemikalien, Produkte und Bioenergien aus Biomasse oder Reststoffen, die Entwicklung biobasierter Produkte, welche mit den bisherigen fossil-basierten Produkten konkurrieren können sowie die Entwicklung neuer Ansätze für eine umweltfreundlichere Produktion [2].

Auch auf Bundesebene wird eine biobasierte Wirtschaft gefördert. Die Anzahl der Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen soll in Zukunft gesteigert werden.

Für eine nachhaltigere Papierindustrie sind die Entwicklung neuer biobasierter Produkte sowie ein nachhaltiger Umgang mit den verwendeten Rohstoffen erforderlich. Dies kommt auch in Strategiepapieren wie der CEPI „2050 Roadmap to a low carbon bio-economy“ zum Ausdruck.

2. Grundlagen und Begriffe

2.1 Definition und Abgrenzung des Begriffs „biobasiert“

In diesem Kapitel werden wichtige Begriffe bezüglich biobasierter Produkte eingeordnet, um auf das Thema hinzuführen. Bisher werden die Begriffe „biobasiert“ und „biologisch abbaubar“ vor allem in der Kunststoffindustrie verwendet.

2.1.1 Biobasierte Produkte

„Biobasierte Produkte bestehen vollständig oder zum Teil aus biobasierten Rohstoffen. Es können auch Zusatzstoffe, anorganische Füllstoffe oder fossile organische Materialien enthalten sein“ [3].

Der Begriff „biobasiert“ steht für Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Das Wort ist gleichzusetzen mit den Begriffen biologischen Ursprungs, biogen oder Biomasse-basiert und steht Rohstoffen fossilen Ursprungs gegenüber [3]. Biobasierte Produkte sind demnach aus Rohstoffen hergestellt, welche während ihres Wachstums die gleiche Menge CO₂ verarbeiten, die sie bei ihrer Entsorgung emittieren. Somit können bei Verzicht auf den Einsatz fossiler Rohstoffe die negativen Umweltauswirkungen begrenzt werden.

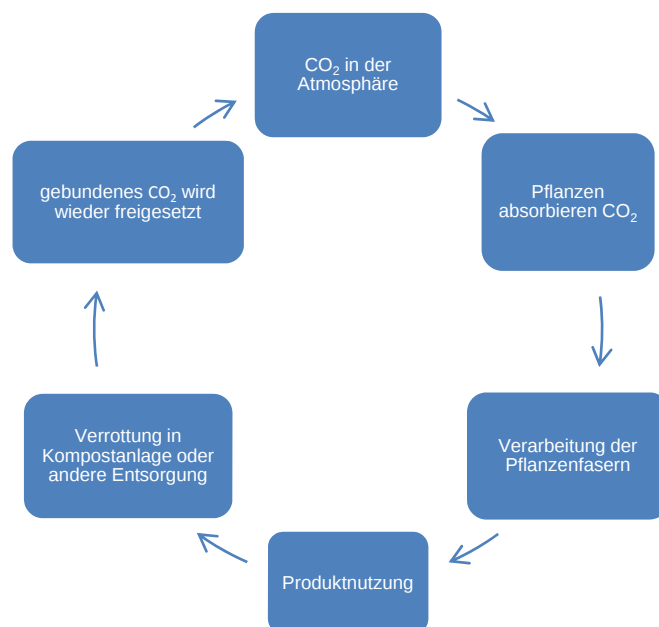


Abbildung 1: Schema des CO₂-Kreislaufs eines biobasierten Produkts [4].

Abbildung 1 zeigt den CO₂-Kreislauf während des Lebenszyklus eines biobasierten Produkts, in dem das CO₂ während des Wachstums aus der Atmosphäre absorbiert und in der Kompostieranlage oder einer anderen Entsorgung wieder freigesetzt wird. Somit weisen die Rohstoffe vollständig biobasierter Produkte eine CO₂-Neutralität auf [4].

2.1.2 Abgrenzung zur biologischen Abbaubarkeit

Im heutigen Sprachgebrauch wird das Wort „bio“ mehrfach verwendet. Deshalb ist zwischen biobasiert und biologisch abbaubar zu unterscheiden. Ist ein Produkt biologisch abbaubar, so zersetzt es sich unter bestimmten Rahmenbedingungen (Zeit,

Temperatur und Feuchtigkeit) durch Mikroorganismen zu etwa 90 Prozent in die Stoffwechselendprodukte Wasser, Kohlendioxid und Biomasse. Biobasiert und biologisch abbaubar stehen nicht im direkten Zusammenhang [5].

Folglich sind biobasierte Produkte nicht zwangsläufig auch biologisch abbaubar. Die biologische Abbaubarkeit hängt nicht ausschließlich von der Basis aus nachwachsenden Rohstoffen ab. Die ausschlaggebenden Faktoren für die Bioabbaubarkeit sind die chemische Struktur und Verarbeitung eines Stoffes.

Demnach können mehrere Produktgruppen unterschieden werden [4]:

- Biobasiert und biologisch abbaubar
- Biobasiert und nicht biologisch abbaubar
- Fossilen Ursprungs und biologisch abbaubar.

Die Kategorie der Produkte fossilen Ursprungs wird in dieser Arbeit nicht betrachtet.

2.1.3 Nachwachsende Rohstoffe

„Unter dem Begriff »Nachwachsende Rohstoffe« (nawaRo) werden alle biogenen organischen Stoffe pflanzlicher oder tierischer Herkunft eingeordnet, die nicht als Nahrungs- und Futtermittel, sondern als chemisch/technische Rohstoffe bzw. zur Energiegewinnung genutzt werden“ [6].

Nachwachsende Rohstoffe sind dementsprechend Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft. Hierunter zählen pflanzliche Produkte wie Holz, Raps, Zucker, Kartoffel- oder Maisstärke sowie tierische Produkte wie Wolle und Leder. Sie sind prinzipiell unbegrenzt erneuerbar und zeigen, wie bereits unter 2.1.1 beschrieben, bei ihrer Nutzung eine CO₂-Neutralität auf.

Nachwachsende Rohstoffe gewinnen im Rahmen der stofflichen Nutzung in der Industrie zunehmend an Bedeutung. Gründe hierfür sind die ökologischen Vorteile der nachwachsenden Rohstoffe und die Entdeckung immer neuer Anwendungen, die als umweltfreundliche Alternative den fossilen Rohstoffen überlegen sind. Biomasse kann heute sowohl energetisch als auch stofflich genutzt werden. Daher entstehen zunehmend biobasierte Produkte wie Dämmstoffe, Bioschmierstoffe und Biokunststoffe [6].

2.2 Prüfung und Zertifizierung

Biobasierte Produkte können auf ihren Anteil nachwachsender Rohstoffe geprüft werden. Das belgische Unternehmen Vinçotte machte im September 2009 mit dem

„OK-Biobased“ Logo den Anfang zur Zertifizierung biobasierter Produkte. In Deutschland folgte ein Jahr später die DIN CERTCO mit einer Einordnung biobasierter Produkte, über den Anteil organischer Verbindungen von mindestens 50 Prozent und einem Kohlenstoffanteil von mindestens 20 Prozent [7].

2.2.1 Zertifizierung durch die DIN CERTCO

Die DIN CERTCO hat für biobasierte Produkte ein Zertifizierungsprogramm erarbeitet. Hier werden Produkte auf ihre Rohstoffe untersucht. Diese Zertifizierung dient der Kenntlichmachung des Einsatzes ressourcenschonender, biobasierter Rohstoffe. Grundsätzlich können alle Produkte als biobasiert zertifiziert werden, die einen Mindestanteil an organischen Verbindungen von 50 Prozent enthalten. Aus dem Zertifizierungsprogramm ausgeschlossen sind medizinische Produkte, Kraftstoffe mit fossilen Anteilen sowie gesundheits- oder umweltgefährdende Stoffe [3].

Grundlage der Prüfung und Zertifizierung sind die nachfolgenden Normen:

ASTM D 6866	Standard Test Method für Determining the Biobased Content of Solid, Liquid and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis
DIN 18128	Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Gehaltes an Biomasse
DIN CEN T/S 15747	Feste Sekundärbrennstoffe – ^{14}C -Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes an Biomasse
DIN EN 14775	Feste Biobrennstoffe – Bestimmung des Aschegehaltes
DIN SPEC 1206	Kunststoffe – Terminologie und Charakterisierung von Biopolymeren und Biokunststoffen (DIN CEN/TR 15932:2010-06)
DIN SPEC 91236	Kunststoffe – Bestimmung des biobasierten Kohlenstoffanteils (technisch identisch mit der Prüfnorm ASTM D 6866)
FprCEN/TS 16295	Kunststoffe – Deklaration des Gehaltes an biobasiertem Kunststoff

Neben der Prüfung biobasierter Produkte vergibt die DIN CERTCO auch für kompostierbare Produkte nach DIN EN 13432 das Zertifizierungszeichen (Keimlingssymbol). Diese Prüfung ist unabhängig von der Zertifizierung biobasierter Produkte [3].

2.2.2 Prüfverfahren

Die DIN-Zertifizierung erfordert eine Prüfung in einem von DIN CERTCO anerkannten Prüflaboratorium. Dort wird anhand von Produktproben der Anteil an biobasierem Kohlenstoff mittels ^{14}C -Methode sowie der Gesamtanteil an organischem Kohlenstoff im Produkt ermittelt. Ein Produkt besteht in den meisten Fällen aus organischen sowie anorganischen Anteilen. Die Prüfung der Produkte bezieht sich lediglich auf die eingesetzten Rohstoffe, die im Endprodukt nachgewiesen werden können. Folglich werden Einsatzstoffe wie Energie oder Wasser nicht in die Beurteilung aufgenommen. Der Nachweis biobasierter Produkte erfolgt über die Ermittlung des organischen Anteils durch die Bestimmung des Glühverlustes sowie des biobasierten Kohlenstoffs mittels ^{14}C -Methode [4].

Glühverlust

Tierische und pflanzliche Stoffe enthalten organische Verbindungen. Diese bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und anderen Atomen. Der organische Anteil eines biobasierten Produkts wird durch den Glühverlust bestimmt. Hier wird der Anteil an Feststoffen ermittelt, der nach Verbrennung bei 550°C als Asche bestehen bleibt, so dass Kaolin vollständig und CaCO_3 weitestgehend mit erfasst werden. Dieser ist anorganisch. Die Menge wird bezogen auf die Trockensubstanz des Produktes angegeben. Bei biobasierten Produkten muss mindestens 50 Prozent Glühverlust (=organischer Anteil) bestimmt werden. Die Bestimmung erfolgt nach DIN EN 14775 oder DIN 18128 [3].

^{14}C –Verfahren

Die Bestimmung des biobasierten Kohlenstoffanteils eines Produkts erfolgt über die ^{14}C -Methode. Sie ist ein gängiges Verfahren zur Altersbestimmung von kohlenstoffhaltigen Materialien. Das Ergebnis wird bezogen auf den organischen Anteil in Prozent angegeben.

Das Verhältnis der Kohlenstoffisotope ^{14}C und ^{12}C dient der Unterscheidung zwischen fossiler und biobasierter Biomasse. Die Atome besitzen verschiedene Atommassen. Lebende Biomasse nimmt beim Stoffwechsel durch Nahrung oder Photosynthese ^{12}C -Atome und ^{14}C -Atome aus der Atmosphäre auf. Beim Absterben stoppt dieser Prozess und der Zerfall des Radiokohlenstoffs (^{14}C) beginnt, da es ein instabiles Kohlenstoffisotop ist. Fossile Produkte haben demzufolge einen hohen Anteil an ^{12}C -Atomen, da der Großteil des Radiokohlenstoffs bereits zerfallen ist. Biobasierte Produkte hingegen weisen einen höheren ^{14}C -Anteil auf [8].

2.2.3 Einteilung biobasierter Produkte

Auf Basis des Prüfberichts erfolgt die Konformitätsbewertung. Wenn das Ergebnis positiv ist, wird das DIN-Zertifikat für eine Dauer von fünf Jahren vergeben. Dieses wird regelmäßig gemäß dem Zertifizierungsprogramm überwacht. Das DIN-Geprüft-Zeichen wird entsprechend der Qualitätsklasse ausgestellt.

Es ist eine Doppelmindestanforderung an die zu zertifizierenden Produkte gestellt. Der Mindestgehalt an organischem Material beträgt 50 Prozent und der des biobasierten Kohlenstoffs 20 Prozent. Je nach ermitteltem biobasierten Kohlenstoffanteil werden die Produkte in drei Qualitätsstufen eingeordnet und zertifiziert (Abbildung 2). Die Prozentzahl beschreibt den Anteil verwendeter biobasierter Rohstoffe bezogen auf den organischen Kohlenstoff [3].

Biobasierter Kohlenstoff-Anteil	Zertifizierungszeichen
20 bis 50 %	
50 bis 85 %	
> 85 %	

Abbildung 2: Qualitätsstufen der biobasierten Produkte [3].

2.3 Papierprodukte

Die Rohstoffe für die Papierherstellung hängen stark von der jeweiligen Papiersorte ab. Die Papierproduktion beläuft sich für das Jahr 2011 auf 22.691 Kilotonnen. Die Verpackungspapiere weisen dabei mit 45 Prozent den größten Anteil auf (Tabelle 1). Hierunter fallen auch Wellpappenrohapiere und Maschinenkarton. Den zweitgrößten Anteil bilden mit 42,5 % die grafischen Papiere. Dies können holzhaltige und holzfreie Magazinpapiere oder Zeitungsdruckpapiere sein. Des Weiteren sind Hygienepapiere sowie Papiere für technische Anwendungen zu unterscheiden [9].

Papierprodukte	Menge in kt	Prozentualer Anteil
Hygienepapier	1.371	6,0 %
Papier, Pappe für technische und spezielle Verwendungszwecke	1.475	6,5 %
Papier, Karton und Pappe für Verpackungszwecke	10.211	45,0 %
Grafische Papiere	9.634	42,5 %
Gesamt	22.691	100,0 %

Tabelle 1: Produktion nach Hauptsorten 2011 [9].

In dieser Arbeit wird aus den Sorten Hygienepapiere, grafische Papiere und Verpackungspapiere jeweils an Hand von Standardprodukten der biobasierte Anteil der Einsatzstoffe ermittelt. Spezialpapiere werden hierbei nicht betrachtet.

3. Problemstellung

Die Bedeutung biobasierter Produkte nimmt in allen Industriezweigen deutlich zu, da die Nutzung nachwachsender Rohstoffe der Ressourcenschonung und umweltfreundlichen Kreislaufführung dient. Auch von Seiten der Bundesregierung wird eine nachhaltige biobasierte Wirtschaft angestrebt und gefördert. Richtungsweisende Strategiepapiere wie die CEPI „2050 Roadmap to a low carbon bio-economy“, zeigen die Bedeutung neuer umweltfreundlicher Entwicklungen und Technologien auf [10]. Zusätzlich steigt die Nachfrage nach biobasierten Produkten durch ein gesteigertes Umweltbewusstsein der Verbraucher kontinuierlich an.

Die Papierindustrie muss auf diese Entwicklung reagieren und marktfähige Lösungen anbieten, um auch zukünftig konkurrenzfähig zu sein. Papierprodukte erfüllen heute nur teilweise die Anforderung, biobasiert zu sein. Die eingesetzten Faserstoffe sind nachwachsende Rohstoffe. Allerdings werden zusätzlich meist petrochemisch basierte Einsatzstoffe verwendet, welche die Herstellung eines vollständig biobasierten Papierprodukts verhindern. Durch vollumfänglichen Einsatz nachwachsender Rohstoffe sollten vollständig biobasierte Papierprodukte erzeugt werden [1].

4. Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es aufzuzeigen, ob eine Herstellung von Papier- und Verpackungsprodukten vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen grundsätzlich möglich und gleichzeitig auch technologisch und ökonomisch sinnvoll ist. Hinsichtlich

dieses Ziels soll das Substitutionspotential der bisher noch nicht aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Einsatzstoffe aufgezeigt und bewertet werden. Die erkennbaren Chancen und Risiken vollständig biobasierter Papier- und Verpackungsprodukte sollen erarbeitet und die ökonomischen sowie ökologischen Zusammenhänge abgeleitet werden. Die Ergebnisse der Bewertung dienen als Grundlage von Handlungsempfehlungen für die Papierindustrie und deren Zulieferer, vor allem aus der chemischen Industrie.

5. Ist-Situation in der Papierindustrie

5.1 Rohstoffeinsatz der Papierherstellung und Verarbeitung

Der Rohstoffeinsatz für die gesamte Papierindustrie in Deutschland soll in diesem Kapitel veranschaulicht werden, um im Folgenden auf die Rohstoffbasis der jeweiligen Einsatzstoffe zu schließen.

5.1.1 Datenerfassung der Einsatzstoffe

Grundlage für die Übersicht in Abbildung 3 bilden Rohstoffdaten des Verbands Deutscher Papierfabriken e. V. (VDP), welche durch Befragungen ausgewählter Papierfabriken jährlich erhoben werden. Die Übersicht ist im Anhang A) a) dieser Arbeit zu finden. Daraus ergeben sich die oberen beiden Ebenen in Abbildung 3. Diese unterteilen die Papiereinsatzstoffe in die Faserstoffe Altpapier, Holzstoff, Zellstoff und sonstige Faserstoffe sowie Mineralien und Additive [9].

Zur Erstellung eines Überblicks über die gesamte Papierindustrie in Deutschland wird allerdings eine genauere Aufschlüsselung benötigt. Die Mineralien konnten durch Auskunft des VDP exakter definiert und den jeweiligen Mineralien auch ihre Einsatzmengen in der Papierproduktion für das Jahr 2011 zugeordnet werden [11].

Eine Einteilung der chemischen Additive erfolgte basierend auf dem Buch „Chemical Additives for the Production of Pulp and Paper“. Im Anhang A) b) ist die Datenbasis ersichtlich. Aus den in der Literatur angegebenen Prozentwerten wurden entsprechend die Tonnagen berechnet. Ausgangswerte waren die Mengenangaben zu Mineralien und Additiven des VDP Leistungsberichts [12]. Bei Diskrepanzen wurden die ermittelten Daten für die chemischen Additive durch PTS und PMV angepasst. Es ergab sich eine Abweichung von 48 Kilotonnen bei der Mengenangabe zu den chemischen Additiven, welche in der Grafik berücksichtigt wird. Die Prozentwerte der Einsatzstoffe in Abbildung 3 beziehen sich jeweils auf die übergeordnete Ebene.

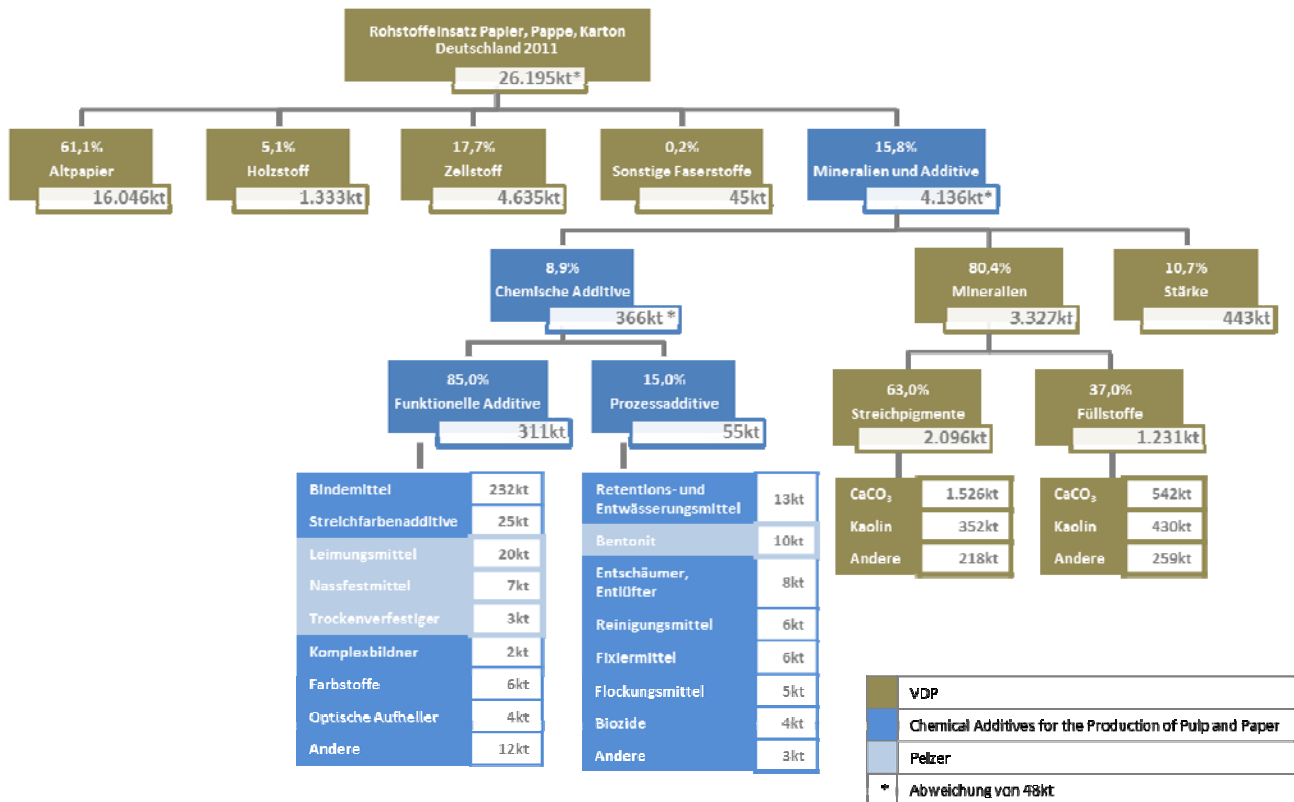


Abbildung 3: Einsatzstoffe der Papier-, Karton- und Pappeproduktion [9, 11, 12, 13].

5.1.2 Unterteilung der Einsatzstoffe

Der Rohstoffeinsatz für die Produktion von Papier, Karton und Pappe belief sich für das Jahr 2011 auf 26.195 Kilotonnen, wobei eine Produktionsmenge von Papier-, Pappe- und Kartonprodukten von 22.690 Kilotonnen erzielt wurde. Im Folgenden werden die in Abbildung 3 dargestellten Einsatzstoffe genauer definiert [9].

Faserstoffe

Grundlage für die Papierproduktion bildet der Faserstoff mit einem Anteil von 84,2 Prozent am gesamten Rohstoffeinsatz der Papierindustrie [9]. Die industrielle Bedeutung von Fasern und Faserprodukten nimmt kontinuierlich zu [14]. Ursachen liegen in der günstigen Erzeugung, der Gewichtsreduktion, oder deren spezifischen Eigenschaften. Im Allgemeinen werden Fasern in Naturfasern und synthetische Industriefasern unterschieden, wobei in Abhängigkeit von Ausgangsmaterial und Herstellungsweise folgendermaßen gruppiert werden kann [15]:

- Natürliche organische Fasern (z. B. Jute, Sisal)
- Natürliche anorganische Fasern auf mineralischer Basis
- Synthetische organische Fasern (z. B. Aramidfasern)
- Synthetische anorganische Fasern (z. B. Kohlenstoff-, Glasfasern)

Für die Papiererzeugung sind Holzfasern essentiell. Sie sind schichtweise von außen nach innen in Primärwand, Sekundärwand sowie Tertiärwand strukturiert [16, 17] und bestehen mit 40-50 % hauptsächlich aus Cellulose.

Holzstoff macht in 2011 mit 1.333 Kilotonnen etwa 5,1 Prozent der eingesetzten Rohstoffe aus. **Zellstoff** hat mit 4.635 Kilotonnen einen Anteil von 17,7 Prozent am Rohstoffeinsatz [18]. Der Anteil an **Altpapier** liegt 2011 mit 16.046 Kilotonnen bei 61,1 Prozent. Altpapier hat somit den größten Anteil am Rohstoffeinsatz in der deutschen Papierindustrie. Die Wiederverwertung der Fasern als Sekundärfasern (Recyclingfasern) erfolgt durch Aufbereitung des Altpapierstoffs. Jedoch ist hier ein komplexes Verfahren (Deinking) notwendig, um die Fasern von der Druckfarbe zu befreien [19].

Neben den Pflanzenfasern werden für Spezialanwendungen in Einzelfällen auch synthetische Fasern verwendet. Diese werden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Mineralien und Additive

Im Jahr 2011 wurden in der Papierindustrie 3.327 Kilotonnen **Mineralien** eingesetzt. Hierunter fallen 1.231 Kilotonnen mineralische Füllstoffe und 2.096 Kilotonnen mineralische Pigmente. Die Mineralien beeinflussen die Eigenschaften des Papiers wie Opazität, Farbaufnahme oder Glätte und führen zu einer Verbesserung des Weißgrads und der Bedruckbarkeit. Die Mineralien finden ihr Hauptanwendungsgebiet in grafischen Papieren und gestrichenem Karton. Die am häufigsten eingesetzten Mineralien für Füllstoffe und Streichpigmente sind Calciumcarbonat (CaCO_3), Kaolin und Talkum [19].

Chemische Additive wurden 2011 mit 366 Kilotonnen in der Papierproduktion eingesetzt, um ein optimales Ergebnis hinsichtlich des Papierprozesses und der Papiereigenschaften zu erhalten.

Die Abweichung zu den Daten vom VDP in Höhe von 48 Kilotonnen ist auf die spezifische Datenerhebung zurückzuführen. Die Mengenangaben des VDP schließen Handelswaren mit ein und beziehen sich nicht lediglich auf die Aktivsubstanz der Stoffe. Des Weiteren werden die Mengen verschiedener Stoffzustände wie Slurrys und Pulver erhoben. Daher wurden einige Daten bezüglich ihrer Produktionsmengen angepasst [11].

Chemische Additive sind nach ihrem Nutzen in zwei Gruppen eingeteilt. Es werden funktionelle Additive und Prozessadditive unterschieden.

Unter die Kategorie der funktionellen Additive fallen alle Hilfsstoffe, die der Verbesserung der Papiereigenschaften dienen, wie Bindemittel, Streichfarbenadditive, Leimungsmittel, Nass- und Trockenfestiger, Komplexbildner, Farbstoffe und optische Aufheller.

Prozessadditive optimieren hingegen den Papierherstellungsprozess. Dazu zählen Retentions- und Entwässerungsmittel, Entschäumer und Entlüfter, Reinigungsmittel, Fixiermittel, Flockungsmittel und Biozide [12].

Stärke ist eines der wichtigsten Additive der Papierindustrie, die 2011 mit 443 Kilotonnen jährlich eingesetzt wurde. Stärke kann zur Stoffaufbereitung in der Papiermasse sowie zur Oberflächenbehandlung verwendet werden [20].

5.1.3 Kosten der Einsatzstoffe

Neben der Betrachtung der eingesetzten Mengen in der Papierindustrie werden zusätzlich auch die Preise der jeweiligen Einsatzstoffe erhoben (Tabelle 2). Zellstoff ist mit einem Einkaufspreis von 590 €/t der teuerste Faserstoff. Der Preis von Altpapier ist mit etwa 95 €/t deutlich geringer [21].

Für Füllstoffe und Streichpigmente ergeben sich, je nach Mineral und Einsatzzweck, verschiedene Preise. Für Karbonat-Füllstoffe liegt ein Wert von 160 €/t vor, wohingegen der Kaolin-Füllstoff etwa 200 €/t ausmacht. Werden die Mineralien als Streichpigmente eingesetzt, ergibt sich für Karbonat ein Preis von 180 €/t und für Kaolin 220 €/t. Stärke wird mit 700 €/t angegeben. Für die chemischen Additive konnten keine verlässlichen Daten ermittelt werden, da die Werte hier je nach Art des Additivs und eingekaufter Menge stark voneinander abweichen.

Einsatzstoffe		Einsatz 2011 (in kt)	Preise (in €/t)	Kosten nach Menge (in Mio. €)
Faserstoffe*	Zellstoff	4.635	590	2.735
	Holzstoff	1.333	400	533
	Altpapier	16.046	95	1.524
	Sonstige Fasern	45	k.A.	k.A.
Mineralien + Additive	Füllstoffe	1.231	180	222
	Streichpigmente	2.096	200	419
	Stärke	443	700	310
	Chem. Additive	366	k.A.	k.A.
Rohstoffeinsatz gesamt		26.195		

Tabelle 2: Preise der jeweiligen eingesetzten Rohstoffe [21].

* Für Zellstoff und Altpapier ist der Einkaufspreis ohne Rohstoffaufbereitung (Energiebedarf) angegeben, wohingegen für Holzstoff das aufbereitete Material mit 400 €/t angesetzt ist.

5.2 Nachwachsende Rohstoffe in der Papierindustrie

Die eingesetzten Rohstoffe in der Papierindustrie sind zum Großteil bereits nachwachsend. Im Folgenden wird aufgezeigt, welche Einsatzstoffe der Papierindustrie bisher aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen und welche noch zu substituieren sind.

5.2.1 Ermittlung der biobasierten Anteile

Papier wird nach seinen Einsatzstoffen in vollständig biobasierte (Tabelle 3, grün markiert) und nicht vollständig biobasierte Anteile eingestuft, um das Substitutionspotential zu ermitteln. Das Substitutionspotential ist in Tabelle 3 dargestellt und bezeichnet die Menge der Rohstoffe der Papierindustrie, die bisher nicht aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden.

Einsatzstoffe		Einsatz 2011 (in kt)	Anteil nawaRo (in %)	nawaRo (in kt)	Substitutions- potential (in kt)
Faserstoffe	Zellstoff	4.635	100 %	4.635	-
	Holzstoff	1.333	100 %	1.333	-
	Altpapier	16.046	81 %	12.997	3.049
	Sonstige Fasern	45	0 %	-	-
Mineralien + Additive	Füllstoffe	1.231	0 %	-	1.231
	Streichpigmente	2.096	0 %	-	2.096
	Stärke	443	100 %	443	-
	Chem. Additive	366	0 %	-	366
Rohstoffeinsatz gesamt		26.195	74 %	19.408	6.742

Tabelle 3: Ermittlung der biobasierten Anteile [9, 22].

Faserstoffe

Primärfaserstoffe (Zell- und Holzstoff) bestehen aus Pflanzenfasern. Hauptsächlich werden für die Fasergewinnung Holz oder einige spezielle Einjahrespflanzen, wie Hanf und Stroh verwendet. Daher kann der Primärfaserstoff als nachwachsend eingestuft werden [19].

Beim Sekundärfaserstoff muss differenziert werden. Die Rohstoffbasis von Altpapier sind Recyclingfasern. Jedoch enthält das Altpapier Reste von Druckfarben, Mineralien und andere Verunreinigungen. Daher wird es je nach Zusammensetzung und Verunreinigungsgrad in verschiedene Qualitäten eingeordnet (siehe Tabelle 4) [22].

Um die nicht nachwachsenden Rohstoffe im Altpapier kenntlich zu machen, wird der Aschegehalt als Anhaltspunkt genutzt. Dieser gibt den Anteil anorganischer Bestandteile im Altpapier an, der während der Verbrennung bestehen bleibt.

Den höchsten Aschegehalt mit 24 Prozent besitzt die Sorte 1.11, welche überwiegend aus grafischen Papieren besteht. Bei diesen Papieren ist bei der Herstellung ein hoher Mineralieneinsatz zu erkennen, da durch das Streichen eine gut bedruckbare und glänzend weiße Oberfläche erzeugt werden soll. Die Sorte 4.03 hingegen besteht überwiegend aus Well- und Vollpappe sowie Packpapier. Bei die-

sen Papieren sind die optischen Eigenschaften von geringer Bedeutung. Daher sinkt mit Abnahme des Mineralieneinsatzes auch der Aschegehalt.

Altpapiersorte		Aschegehalt
1.11	Deinkingware: Fast ausschließlich grafische Papiere	24 %
1.02	Sortiertes gemischtes Altpapier: Grafische Papiere, Verpackungspapiere und Karton	21 %
1.04	Kaufhausaltpapier: Well-, Vollpappe und Packpapier, grafische Papiere, Verpackungspapiere und Karton	17 %
4.03	Krafthaltige Sorten: Überwiegend Well-, Vollpappe und Packpapier	12 %
Durchschnitt Altpapier		19 %

Tabelle 4: Aschegehalt verschiedener Altpapiersorten [22].

In den letzten zehn Jahren war ein Anstieg des Aschegehalts im Altpapier zu verzeichnen. Diese Zunahme ist zurückzuführen auf die Schließung von Recyclingkreisläufen, eine vermehrte Produktion von gestrichenen Papieren und Kartons und grundsätzlich gesteigerte Füllstoffeinträge im Rahmen der Papierherstellung [22].

Der durchschnittliche Aschegehalt der untersuchten Altpapiersorten beträgt etwa 19 Prozent (siehe Tabelle 4). Dieser Wert wird als Annäherung für den nicht nachwachsenden Anteil im Altpapier verwendet. Somit ergibt sich mit 19 Prozent ein zu substituierender Anteil im Altpapier von 3.049 Kilotonnen in der deutschen Papierindustrie (Tabelle 3).

Mineralien und Additive

Füllstoffe, wie beispielsweise Calciumkarbonat und Kaolin sind überwiegend mineralischen Ursprungs. Es handelt sich dabei um natürlich vorkommende Stoffe, die nicht nachwachsend sind.

Die eingesetzten chemischen Additive sind meist synthetisch hergestellt und werden nicht aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen. Eine Ausnahme bildet hier die Stärke, welche als Additiv in der Masse und an der Papieroberfläche eingesetzt werden kann. Stärke ist ein nachwachsender Rohstoff, welcher beispielsweise aus Kartoffeln oder Mais gewonnen wird. Die Bedeutung der Stärke wird in der Papierindustrie zunehmend wichtiger und macht für den ermittelten Zeitraum einen Mengenanteil von 443 Kilotonnen aus [19].

Demzufolge bilden die mineralischen Streichpigmente und Füllstoffe, die chemischen Additive sowie der anorganische Anteil des Altpapiers ein Substitutionspotential aus nicht nachwachsenden Rohstoffen von 6.742 Kilotonnen.

Der nicht biobasierte Anteil im Rahmen der Papiererzeugung liegt damit bei 26 Prozent (6.742 kt). Dieser ist in Abbildung 4 mit den blauen Segmenten dargestellt.

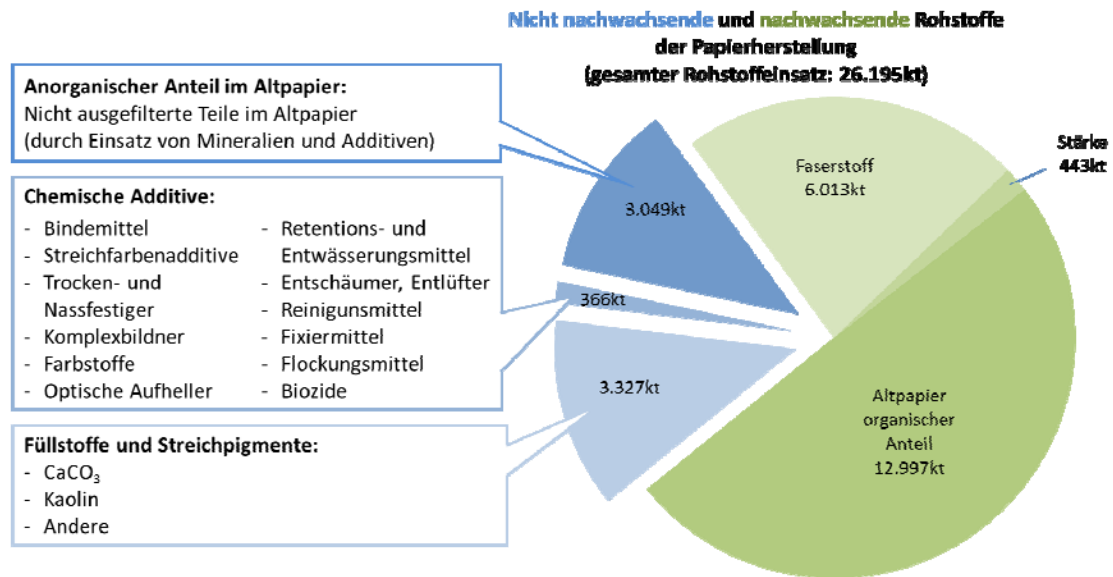


Abbildung 4: Rohstoffeinsatz der Papierherstellung 2011 [9, 22].

Da die sonstigen Fasern (45 kt) in dieser Arbeit nicht betrachtet werden, ist zu beachten, dass der gesamte Rohstoffeinsatz ohne diese Faserstoffe lediglich 26.150 Kilotonnen beträgt.

5.2.2 Biobasierte Anteile ausgewählter Produkte

Je nach Anwendung des Papiers variieren auch bei der Herstellung die Anteile an nicht nachwachsenden Rohstoffen im Papier. Daher wurde die Rohstoffbasis für ausgewählte Beispiele ermittelt, wobei hier die Weiterveredelung nicht inbegriffen ist. Die Daten der Mengenströme basieren auf einer aktuellen Arbeit der PTS, wobei für die Einsatzstoffe typische Werte von Standardprodukten angenommen wurden [23]. Die in Tabelle 5 berechneten Anteile nicht nachwachsender Rohstoffe setzen sich aus deren Anteilen im Altpapier sowie den bei der Papierherstellung zugesetzten nicht nachwachsenden Rohstoffen zusammen und entsprechen in Summe nicht dem prozentualen Anteil im hergestellten Papier.

	Menge in kt	Altpapier Anteil in %	Frischfasern Anteil in %	Stärke Anteil in %	Füllstoffe Anteil in %	Streichpigmente Anteil in %	Chem. Additive Anteil in %	Nicht nachwach- sender Anteil
Holzhaltige Papiere	3.771	20,6	48,8	1,3	11,7	15,0	2,6	33 %
Holzfremde Papiere	3.243	21,5	54,7	0,7	8,2	12,7	2,1	27 %
Maschinen- karton	2.443	78,7	12,1	1,2	<<1	8,1	<<1	23 %
Zeitungs- druckpapier	2.155	97,5	<<1	<<1	<<1	<<1	2,5	21 %
Wellpappen- rohstoffe	7.312	95,4	<<1	4,6	<<1	<<1	<<1	18 %
Hygiene- papier	1.371	41,7	56,1	0,2	1,7	<<1	0,3	10 %
		zu 19% anor- ganisch	aus nachwachsenden Rohstoffen		nicht aus nachwachsenden Rohstoffen			

Tabelle 5: Nicht nachwachsender Anteil ausgewählter Papiersorten [9, 23].

Für die holzhaltigen Magazinpapiere ergibt sich, wie in Tabelle 5 aufgezeigt, mit 33 Prozent der größte Anteil an nicht nachwachsenden Rohstoffen. Hier liegt die Ursache insbesondere in den Streichpigmenten und Füllstoffen. Diese werden in hohen Mengenanteilen eingesetzt, um die optischen Anforderungen der Produkte zu erfüllen. Magazinpapiere erfordern eine gute Bedruckbarkeit oder einen hohen Weißgrad. Ähnlich verhält es sich bei den holzfreien Papieren, welche einen Anteil von 27 Prozent an nicht nachwachsenden Rohstoffen aufweisen [19].

Maschinenkarton besteht zu einem größeren Anteil aus Altpapier, da die optischen Eigenschaften hier meist zweitrangig sind. Die nicht nachwachsenden Rohstoffe resultieren hier vor allem aus dem anorganischen Anteil im Altpapier sowie den beim Streichen verwendeten Pigmenten.

Beim Zeitungsdruckpapier spielt ebenfalls der anorganische Anteil des Altpapiers die bedeutendste Rolle. Zudem werden besonders zur Verbesserung der Festigkeitseigenschaften zusätzlich chemische Additive eingesetzt. Der ermittelte nicht nachwachsende Anteil im Zeitungsdruckpapier liegt bei 21 Prozent.

Bei der Herstellung von Wellpappenrohpapieren werden nur geringe Mengen nicht nachwachsender Rohstoffe eingesetzt. Auch der eingesetzte Klebstoff, der die Papierbahnen verbindet, ist meist auf natürlicher Basis. Wellpappe besteht zum Großteil aus Altpapierfasern und lässt sich gut recyceln. Jedoch ist durch den hohen Altpapiereinsatz ein Aschegehalt von 18 Prozent zu verzeichnen [24].

Im Bereich der Verpackungspapiere spielt das Coating eine bedeutende Rolle, um die Eigenschaften des Papiers zu verbessern. So wird beispielsweise im Hinblick auf Lebensmittelverpackungen eine gesteigerte Barriere-Wirkung angestrebt. Neben der Beschichtung von Papieren ist auch die Veredelung papierbasierter Verpackungen mit Drucken und Lacken aus nicht nachwachsenden Rohstoffen ein Faktor, der einer Herstellung vollständig biobasierter Papierprodukte entgegen wirkt [25].

Der Einsatz nicht nachwachsender Rohstoffe ist bei den Hygienepapieren mit 10 Prozent am geringsten, da ein hoher Frischfaseranteil zu verzeichnen ist.

Abbildung 5 zeigt die ermittelten „nicht nachwachsenden Anteile“ bezogen auf die jeweiligen Produktionsmengen. Wellpappenrohpapiere haben auf Grund der hohen Produktionsmengen das größte Substitutionspotential bezogen auf ihre Produktionsmenge, wohingegen die Hygienepapiere das geringste Substitutionspotential aufweisen. Hygienepapiere haben mit einer Produktionsmenge von 1.371 Kilotonnen auch den geringsten Aschegehalt.

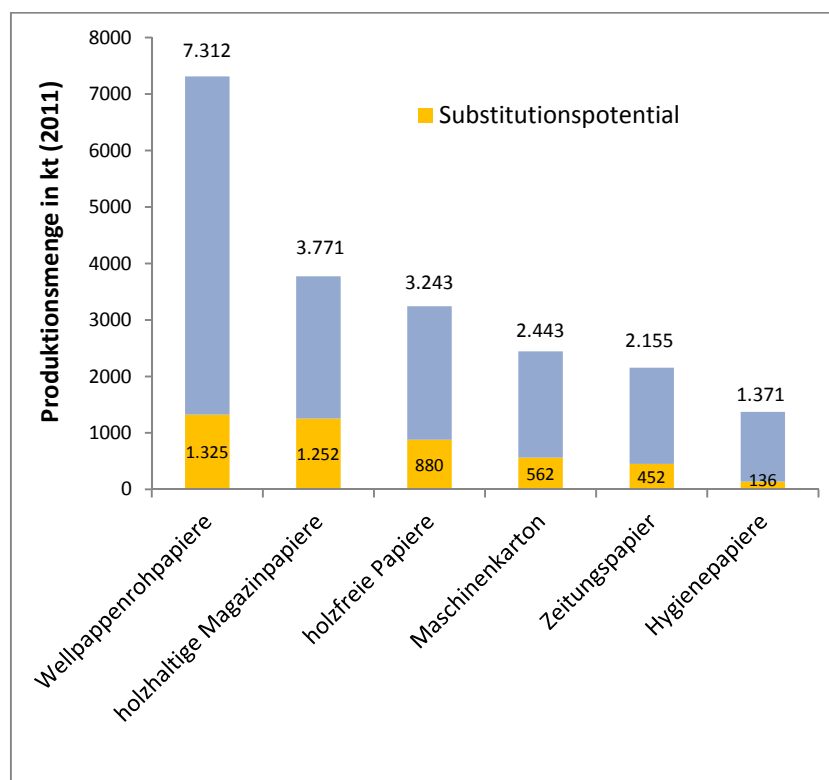


Abbildung 5: Substitutionspotential (2011) ausgewählter Sorten [9, 23].

6. Ist-Situation in der Kunststoffindustrie

Biobasierte Produkte sind auch in anderen Branchen bereits vertreten, beispielsweise in der Kunststoffindustrie. Hier erfolgen bereits seit längerer Zeit Aktivitäten auf dem Gebiet der Biokunststoffe. Daher werden im Folgenden Entwicklungen und positive Erfahrungen biobasierter Produkte in der Kunststoffindustrie aufgezeigt, um diese gegebenenfalls auf die Papierindustrie zu übertragen.

6.1 Entwicklung von Biokunststoffen

6.1.1 Unterteilung der Biokunststoffe

Derzeit gibt es noch keine allgemeingültige bzw. einheitliche Definition für Biokunststoffe. Der Begriff Biokunststoff beinhaltet Kunststoffe, deren Basis nachwachsende Rohstoffe sind und/oder die biologisch abbaubar sind. Daher werden bei den Biokunststoffen drei Hauptgruppen unterschieden.

- **Biobasiert und nicht biologisch abbaubar:** In Abbildung 6 werden mit einer grünen Ellipse die Biokunststoffe dargestellt, welche biobasiert sind, wie PE, PP oder PET sowie technische Polymere. Diese sind aus nachwachsenden Rohstoffen, jedoch nicht biologisch abbaubar. Die Massenkunststoffe wie PE, PP oder PVC können häufig aus Bioethanol hergestellt werden. Da die Wertschöpfungskette dieser Biokunststoffe nur am Anfang umgestellt werden muss, bezeichnet man sie als „drop-in“ Lösungen.
- **Biobasiert und biologisch abbaubar:** Zu diesen Biokunststoffen zählen PLA, PHA oder Stärke-Blends.
- **Nicht biobasiert und biologisch abbaubar:** Unter Biokunststoffe fallen auch Kunststoffe auf petrochemischer Basis, wenn diese biologisch abbaubar sind. Hier sind Kunststoffe wie PCL und PVOH zu nennen [26].

Die Biokunststoffe sind, ähnlich wie bei Papierprodukten, nicht vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen. Für die Herstellung von Kunststoffherzeugnissen mit annähernd gleichen Eigenschaften werden den Biokunststoffen petrochemische Komponenten und Additive zugeführt. So kann der Anteil fossiler Zusatzstoffe bei Stärkekunststoffen bis zu 50 Prozent betragen. Die Mischformen von nachwachsenden und petrochemischen Rohstoffen werden als Blends bezeichnet [8].

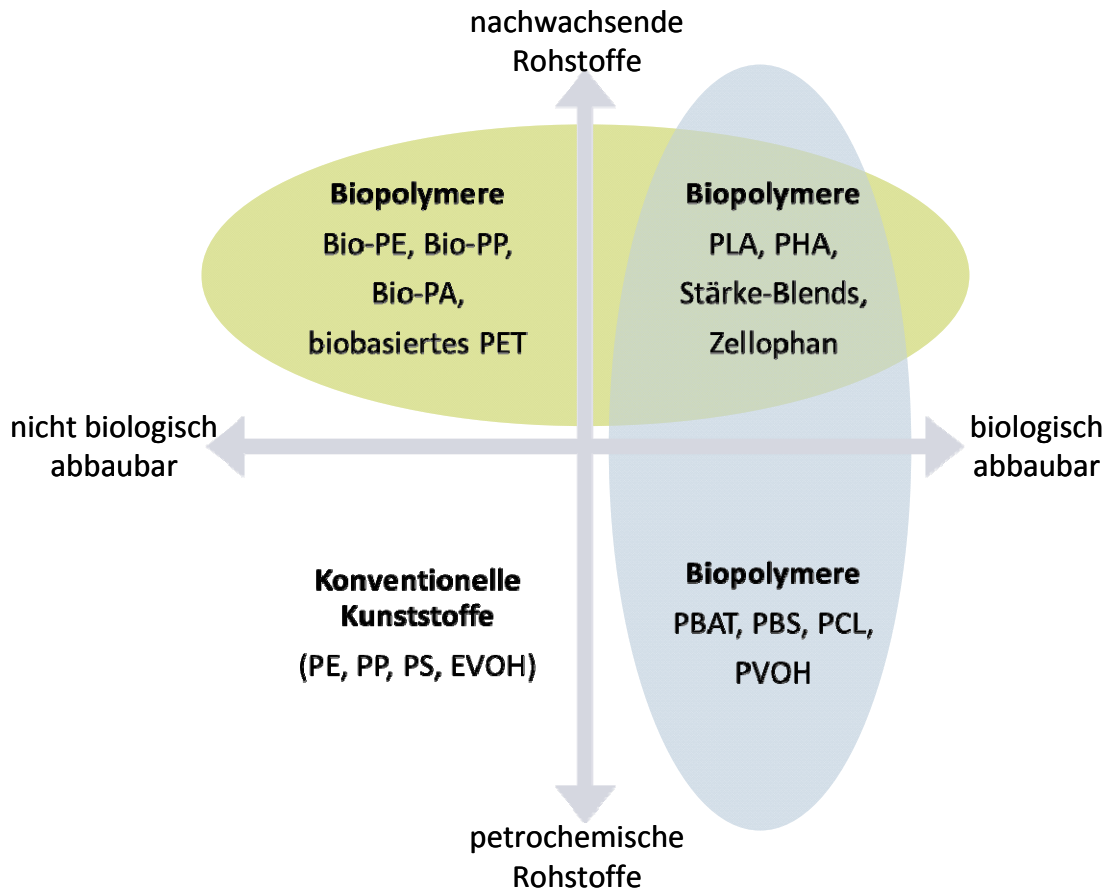


Abbildung 6: Material-Koordinatensystem für Biokunststoffe [8].

6.1.2 Datenerfassung zu Produktionsmengen

Die Produktionsmengen der Biokunststoffe sind derzeit noch sehr gering. Weltweit wurden 2011 rund 1.161.200 Tonnen Biokunststoffe produziert. Dieser Wert liegt unter einem Prozent der gesamten Kunststoffproduktion von etwa 250 Millionen Tonnen. Bis 2030 wird eine Steigerung des Anteils auf bis zu 10 Prozent prognostiziert [27].

Die europäischen Länder mit dem größten Verbrauch an Biokunststoffen sind die Niederlande und Deutschland. In Deutschland lagen die Produktionsmengen 2011 bei 78.700 Tonnen. Der Anteil ist auch hier unter einem Prozent der jährlichen Kunststoffproduktion von etwa 11,9 Millionen Tonnen. In Deutschland verzeichnen Stärke- und PLA-Blends die größten Produktionsmengen (siehe Abbildung 7) [28].

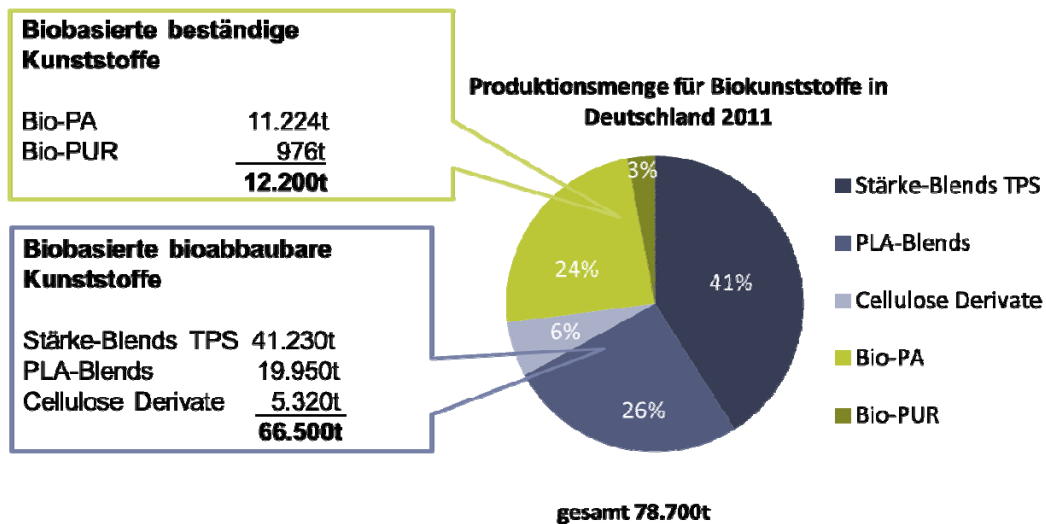


Abbildung 7: Biokunststoffe in Deutschland [28].

6.1.3 Datenerfassung zu Preisen

Bei Biokunststoffen sind teils große Preisspannen zu erkennen (Tabelle 6) [8]. So ist für Polyhydroxyalkanoat (PHA) ein Preis von 3,70 - 15,00 Euro pro Kilogramm möglich. Die Preise der Biokunststoffe übersteigen die der konventionellen Kunststoffe bei weitem. Sie liegen durchschnittlich bei 5 Euro pro Kilogramm, wohingegen die herkömmlichen Kunststoffe bei einem Wert unter 1 Euro pro Kilogramm bleiben.

Ein Preisvergleich sollte allerdings nicht auf einer direkten Gegenüberstellung der reinen gewichtsspezifischen Materialpreise vollzogen werden, sondern auch unter Beachtung des technologischen Nutzens erfolgen. Daher ist für die Biopolymere zu berücksichtigen, dass sie eine höhere Materialdichte aufweisen. Bei gleichem Gewicht kann somit Kunststoff mit geringerem Materialvolumen erlangt werden [8].

Obwohl heute die Preise der Biokunststoffe die der konventionellen Kunststoffe übersteigen, ist für die Zukunft eine Preisannäherung prognostiziert [8]. Biokunststoffe weisen im Gegensatz zu petrochemischen Kunststoffen eine größere Unabhängigkeit vom Erdöl auf. In den letzten Jahren ist ein kontinuierlicher Anstieg des Erdölpreises zu verzeichnen, beispielsweise auf Grund einer wachsenden Nachfrage nach fossilen Treibstoffen und petrochemisch basierten Kunststoffen, aber auch durch politische Entwicklungen, insbesondere im Nahen und Mittleren Osten. Biokunststoffe können bis dato allerdings noch nicht im großindustriellen Maßstab hergestellt werden. Dank des technischen Fortschritts und der Erhöhung der Produktionsmengen der Biokunststoffe ist jedoch in der Zukunft mit einer kostengünstigeren Produktion zu rechnen [8].

Biokunststoff	Preisspanne in €/kg	Mittelwert in €/kg
PLA - Polylactid	1,60 – 2,00	1,80
PHA - Polyhydroxyalkanoat	3,70 – 15,00	9,35
PVA - Polyvinylacetat	3,00 – 5,00	4,00
PCL - Polycaprolacton	4,50 – 6,00	5,25
Stärkeblends	2,50 – 5,50	4,00
Cellulose-Regenerate	5,00 – 7,00	6,00
Cellulose-Acetate	3,50 – 5,00	4,25
Herkömmlicher Kunststoff	Preisspanne in €/kg	Mittelwert in €/kg
PE – Polyethylen	0,85 – 0,91	0,88
PP – Polypropylen	0,77 – 0,85	0,81
PS – Polystyrol	0,79 – 0,85	0,82
PET - Polyethylenterephthalat	0,79 – 1,08	0,94

Tabelle 6: Preis von Biopolymeren verglichen mit konventionellen Kunststoffen [8].

6.1.4 Anwendungsgebiete der Biokunststoffe

Von den biologisch abbaubaren Kunststoffen sind die biobasierten Stärkekunststoffe, Polylactid (PLA) und Polyhydroxyfettsäuren (PHB, PHA) und fossil basierte Polyester die bedeutendsten. Thermoplastische Stärke zählt zu den gebräuchlichsten Biopolymeren, wobei ihr Anteil am Gesamtmarkt 80 Prozent beträgt. Stärke wird vor allem für Folien, Spritzgussartikel und Beschichtungen verwendet. Vorteile sind eine gute Verfügbarkeit sowie ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis. Polylactid ist ein synthetisches Polymer und entsteht aus der Milchsäure. Es wird vor allem im Bereich Verpackungs- und Faserwerkstoffe sowie in der Medizin verwendet [26].

Die Hauptanwendungsgebiete der Biokunststoffe sind bei Verpackungen, in der Landwirtschaft, Medizintechnik sowie im Gartenbau, Catering und bei Hygieneprodukten zu sehen. In Europa werden Biokunststoffe vor allem im Verpackungs- und Cateringbereich verwendet. Besonders für Verpackungen bringt die Verwendung von Biokunststoffen Vorteile. So können Biokunststoffverpackungen durch ihre biologische Abbaubarkeit überzeugen, da etwa 64 Prozent des gesamten Kunststoffabfalls Westeuropas aus Verkaufsverpackungen stammt [29].

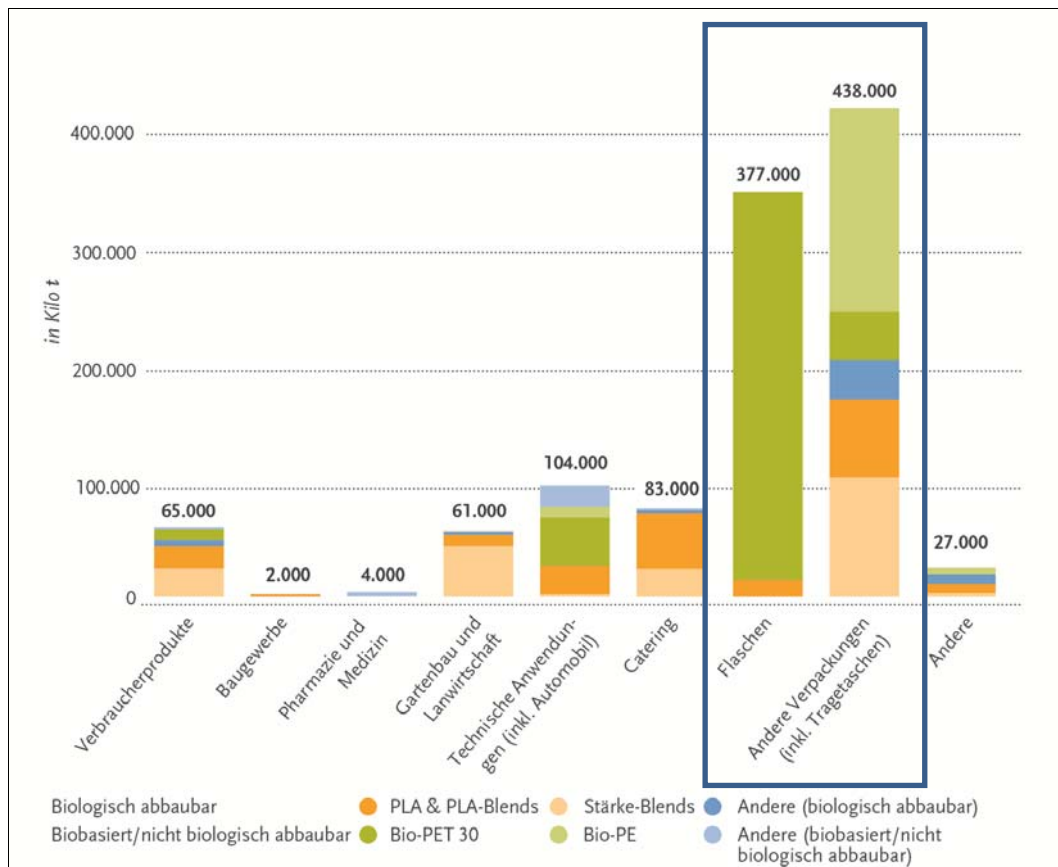


Abbildung 8: Weltweite Produktionskapazitäten für Biokunststoffe 2011 [27].

In Abbildung 8 ist zu erkennen, dass etwa 70 Prozent der Biokunststoffe für Verpackungen eingesetzt werden. Hier machen die Flaschen aus Bio-PET, welche aus Bioethanol hergestellt werden, einen großen Anteil aus. Neben den Flaschen werden auch Joghurtbecher auf das Material PLA umgestellt, womit der Einsatz fossiler Ressourcen um 43 Prozent reduziert wird. Weitere Produkte sind zum Beispiel Abfallsäcke, Tragetaschen, Einweggeschirr sowie Obst- und Gemüseschalen. Eine weitere Anwendung ist auch im Bereich Folien und Beschichtungen, die in Verbindung mit Papier als Verpackung fungieren können, zu sehen [30].

6.2 Bewertung von Biokunststoffen

6.2.1 Probleme und Kritik

Ökobilanz

Eine Ökobilanz beinhaltet eine Analyse der ökologischen Auswirkungen eines Produktes über den gesamten Produktlebenszyklus durch seine Erzeugung, Nutzung und Entsorgung. Sie ist in den DIN EN ISO 14040 und 14044 geregelt. Für die Nachhaltigkeit von Biokunststoffen gibt es bis dato noch keine wissenschaftlich aus-

reichend abgesicherten Nachweise. Es kann deshalb keine pauschale Aussage über die positive Ökobilanz von Biokunststoffen gemacht werden. Demnach kann sich für ein Produkt aus Biokunststoff eine schlechtere Ökobilanz gegenüber konventionellen Kunststoffen ergeben. Ursächlich hierfür ist, dass Biokunststoffe einerseits zwar Vorzüge hinsichtlich der Rohstoffbasis aufweisen können, beispielsweise die CO₂-Neutralität der Einsatzstoffe, andererseits aber die Emissionen im Rahmen der Erzeugung die der herkömmlichen Kunststoffe übersteigen können [5].

Entsorgung

Die Entsorgung der Biokunststoffe ist für den Verbraucher noch relativ undurchsichtig und unklar. Trotz des Kompostierbarkeits-Labels besteht ein mangelhaftes Wissen über die Entsorgung der Biokunststoffe. Man geht von der Annahme aus, dass der Verbraucher die Kunststoffe analog zu den konventionellen Kunststoffen behandelt und über den gelben Sack entsorgt. Infolgedessen gelangen die Biokunststoffe in die Müllverbrennungsanlage (MVA). Biokunststoffe, die über den Biomüll entsorgt werden, gelangen ebenfalls zur MVA, da sie in den meisten Kompostierungsanlagen als Störstoff aussortiert werden [31]. Dies verdeutlicht ein wichtiges aktuelles Problem der Biokunststoffe, da somit deren positive Effekte nicht zum Tragen kommen. Es besteht beispielsweise noch keine ausreichende Kenntnis, wie die Rohstoffe im Rahmen der Entsorgung wieder zurückgewonnen und eingesetzt werden können. Ferner fehlen effiziente Recycling-Technologien, die auf die neuen Materialien ausgelegt sind und dadurch eine effiziente Ressourcennutzung gewährleisten.

Undurchsichtigkeit der Begrifflichkeit

Neben der Unwissenheit über die Entsorgung der Biokunststoffe, ist auch der Begriff „Biokunststoff“ für viele Verbraucher wenig verständlich. 70 Prozent der Deutschen haben noch nie bewusst Biokunststoffe gekauft. Außerdem geben 55 Prozent zu, ein mangelhaftes Wissen über Biokunststoffe zu haben. Demzufolge müssen für die Biokunststoffe hohe Marketinganstrengungen betrieben werden, um Transparenz und Nachfrage zu steigern [32].

Flächenbedarf und Nutzungskonkurrenz

Die verstärkte Nutzung nachwachsender Rohstoffe setzt eine erhöhte landwirtschaftliche Produktion in Deutschland oder Rohstoffimporte aus dem Ausland voraus. Es besteht bereits eine gewisse Nutzungskonkurrenz für die Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen mit der Nahrungsmittelindustrie und der energetischen Nutzung der Rohstoffe [33].

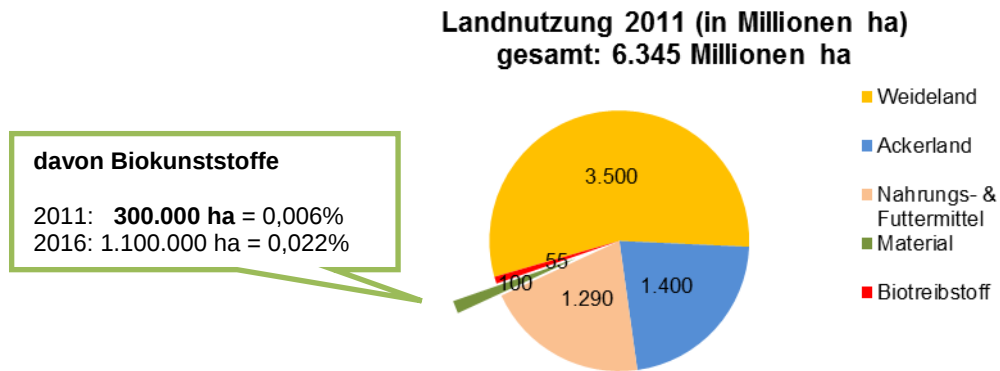


Abbildung 9: Landnutzung nachwachsender Rohstoffe [27].

Die Anbaufläche für Biokunststoffe im Jahr 2011 betrug weniger als 0,006 Prozent der weltweiten landwirtschaftlichen Fläche von 6.345 Millionen Hektar, wobei hier auch Weideland hinzugezählt wird (Abbildung 9). Eine Substitution von 20 Prozent der deutschen Kunststoffproduktion durch Biopolymere würde aber immer noch weniger als 0,2 Prozent der weltweiten landwirtschaftlichen Flächen erfordern. Daher benötigt die Nutzung nachwachsender Rohstoffe weitaus weniger Fläche als die zur Verwendung als biogener Energieträger [8].

6.2.2 Positive Erfolge

Hohes Marktwachstum

Die Biokunststoffbranche zeigt hohe Wachstumsraten von jährlich bis zu 20 Prozent. Vor allem in der Verpackungswirtschaft sind große Umbrüche im Gange. Die Wachstumsraten der Biokunststoffe gehen insbesondere von den Markenartikelherstellern wie Coca-Cola, Danone und Procter&Gamble aus, die mit ihren Entwicklungen im Bereich biobasierter Verpackungen große Markimpulse geben. Neben den Drop-in Lösungen, wie biobasierte PET-Flaschen oder Joghurtbecher aus PE, wurden bereits auch Produkte aus neuen Werkstoffen, wie PLA oder Stärkewerkstoffen entwickelt [34].

Steigende Nachfrage

Ein weiterer Auslöser für die positive Entwicklung der Biokunststoffe ist die zunehmende Nachfrage auf dem Markt. Studien zeigen, dass der Verbraucher heute mehr Wert auf nachhaltige und umweltfreundliche Produkte legt. Des Weiteren kann für einige Bevölkerungsgruppen eine höhere Zahlungsbereitschaft für biobasierte Produkte nachgewiesen werden. Hierunter fallen vor allem junge, gesundheitsbewusste Personen mit höherem Bildungsniveau. Sogenannte LOHAS bevorzugen einen Le-

bensstil mit gesteigertem Gesundheitsbewusstsein und legen Wert auf Nachhaltigkeit [32].

Beitrag zum Umweltschutz

Die Biokunststoffe weisen einige Vorzüge gegenüber konventionellen Kunststoffen auf. Der wichtigste Vorteil ist die gesteigerte Unabhängigkeit von fossilen Ressourcen. Etwa 4 Prozent des europäischen Rohölverbrauchs werden für die Produktion von Kunststoffen verwendet. Mit dem starken Wachstum der Kunststoffindustrie wird eine Substitution durch biobasierte Kunststoffe unumgänglich. Somit tragen die Biokunststoffe zur Ressourcenschonung bei. Des Weiteren ergeben sich Vorteile im Bereich der CO₂-Bilanz. Im Gegensatz zu fossilbasierten Produkten ist die Rohstoffbasis der Biokunststoffe weitgehend CO₂-neutral. Es wird lediglich die Menge CO₂ an die Atmosphäre abgegeben, die während des Wachstums der nachwachsenden Rohstoffe bereits aufgenommen wurde [33].

Entsorgung

Die Biokunststoffe können unterschiedlich verwertet werden. Bei der thermischen Verwertung kann die in den nachwachsenden Rohstoffen gespeicherte Energie freigesetzt werden und somit positiv in die Energiebilanz eingehen. Laut Schätzungen von European Bioplastics kann etwa ein 4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent eingespart werden [33]. Ein großer Kritikpunkt der konventionellen Kunststoffe ist die Verschmutzung der Umwelt, der durch den langsamen Abbau der konventionellen Kunststoffe verstärkt wird. So befinden sich derzeit, geschätzt vom Umweltbundesamt, etwa 142 Millionen Tonnen Plastikmüll in den Weltmeeren. Daher ist der Einsatz von biologisch abbaubaren Kunststoffen vorteilhaft [35].

7. Übertragbarkeit der Ergebnisse der Biokunststoffe auf die Papierindustrie

Die positiven Erfahrungen der Biokunststoffe werden, soweit dies möglich ist, auf die Prozesse der Papiererzeugung und -verarbeitung übertragen. Die hohen Wachstumsraten durch die Unterstützung der Markenartikelhersteller und die steigende Nachfrage nach Biokunststoffen zeigen die Bedeutung neuer Entwicklungen im Bereich umweltfreundlicher, biobasierter Produkte. Folgende Punkte sind für eine Übertragbarkeit auf die Papierbranche von besonderer Bedeutung:

Drop-in-Lösungen

Vor allem der Erfolg der „drop-in“-Lösungen, welche konventionelle Kunststoffe ohne große Veränderungen im Prozess ersetzen können, ist Basis für eine erfolgrei-

che Substitution. Für die Papierindustrie wären vergleichbare Entwicklungen sinnvoll, um in Zukunft mit nachwachsenden Rohstoffen durch eine Anpassung des Prozesses die gleichen Materialeigenschaften wie bisher zu erzielen [34].

Papier-Kunststoff-Kombinationen

Folien sowie Beschichtungen aus Biokunststoffen können in Kombination mit Papier neue umweltfreundliche Produkte darstellen. Daraus entstehen zum Beispiel Verpackungen mit laminiertem PLA-Folie als Sichtfenster, beispielsweise von Brot- oder Salattüten. Des Weiteren können Biokunststoffe auf Papierbechern extrusionsbeschichtet werden. Hier können die Maschinen der konventionellen Kunststoffe mit minimalen Anpassungen verwendet werden [30].

Preisentwicklung

Der verglichen zu konventionellen Einsatzstoffen höhere Preis der Biopolymere stellt auch für die Papierindustrie ein wichtiges Hemmnis für die Anwendung dar. Allerdings wird eine Annäherung der Preise von fossilen und biobasierten Stoffen prognostiziert. Diese würde wiederum eine Substitution begünstigen [8].

Schlussfolgerung

Nach den positiven Entwicklungen biobasierter Produkte in der Kunststoffindustrie wird großes Potential auch für die Papierindustrie erwartet. Dieses wird in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

8. Substitutionspotentiale der nicht biobasierten Anteile im Rahmen der Papierproduktion

Um die Herstellung von vollständig biobasierten Papierprodukten zu verwirklichen, müssen die nicht nachwachsenden Anteile substituiert werden.

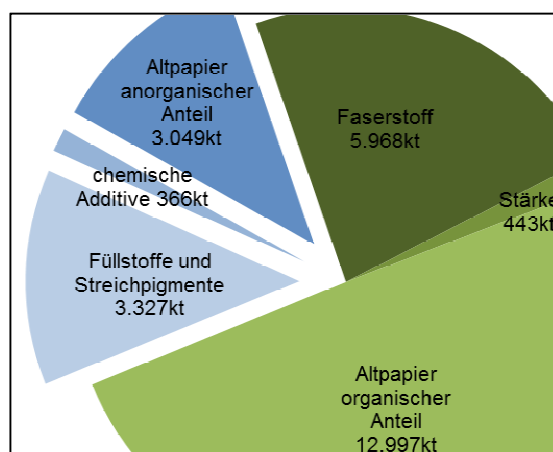


Abbildung 10: Auszug in Anlehnung an Abbildung 4 [9, 22].

Im Falle der Papierherstellung sind das die bereits ermittelten Substitutionspotentiale, wie chemische Additive (366 kt), mineralische Füllstoffe und Streichfarben (3.327 kt) sowie der anorganische Anteil im Altpapier (3.049 kt) (siehe Abbildung 10).

Im folgenden Kapitel wird die Möglichkeit der Substitution dieser Stoffe durch Biopolymere untersucht. Diese biobasierten Stoffe sind aus nachwachsenden Rohstoffen und biologisch abbaubar.

8.1 Biopolymere

Biopolymere sind Verbindungen, welche auf organischen Makromolekülen biologischen Ursprungs basieren. In Abbildung 11 werden die Biopolymere eingeordnet.

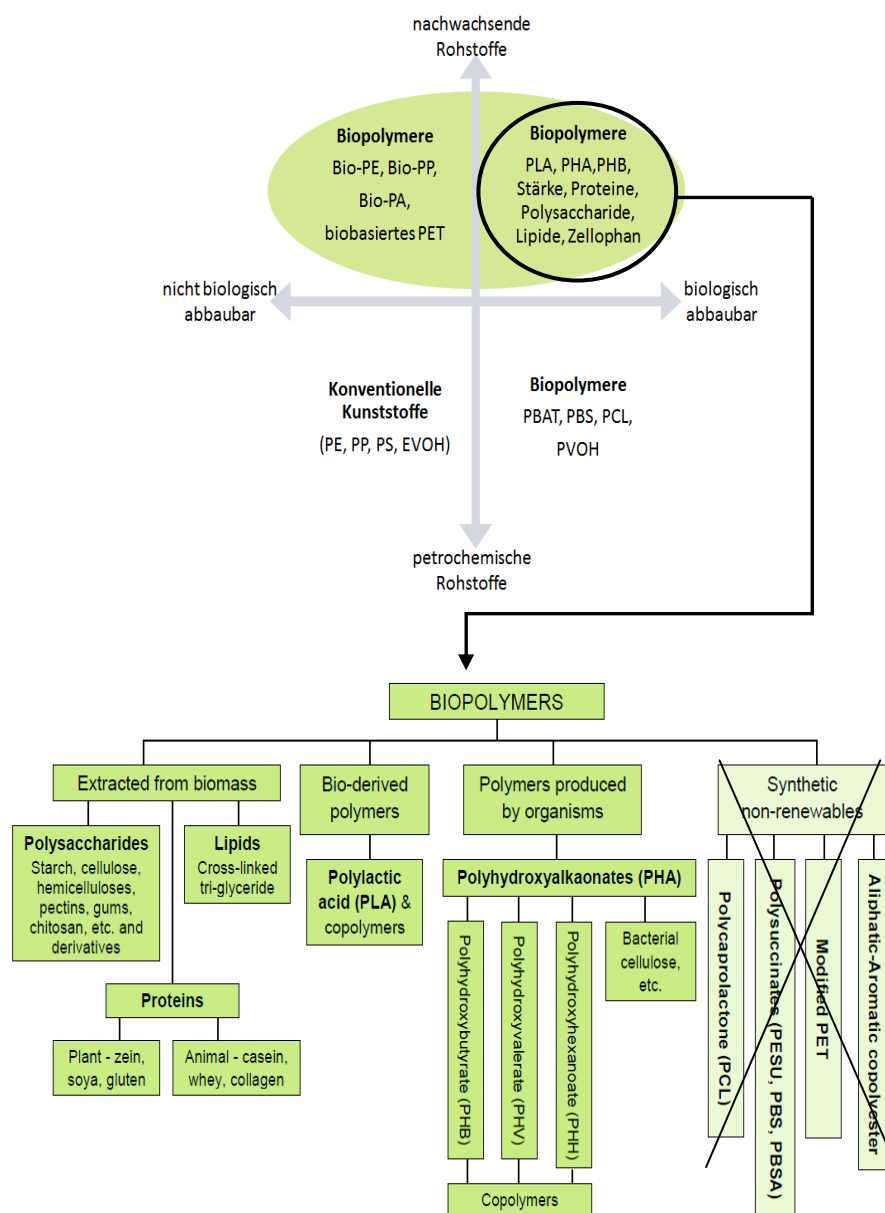


Abbildung 11: Einordnung der Biopolymere [8, 36].

Sie können unterteilt werden in Stoffe aus Biomasse, wie Polysaccharide, Proteine und Lipide, in biobasierte Polymere wie PLA sowie von Organismen hergestellte Polymere wie PHA. Auch synthetische, nicht aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Polymere, welche biologisch abbaubar sind, zählen zur Kategorie der Biopolymere. Sie werden jedoch in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Biopolymere können sowohl in der Masse als auch in der Oberflächenanwendung ins Papier eingebracht werden [36].

8.2 Substitutionspotential der chemischen Additive

Die chemischen Additive sind nicht biobasierte Rohstoffe der Papierherstellung (Seite 12). Sie weisen ein Substitutionspotential von 366 Kilotonnen auf.

8.2.1 Machbarkeit der Substitution chemischer Additive

Tabellen 7 und 8 zeigen die heute üblichen Additive und ihre möglichen Alternativen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Additiv	Menge in kt	Bisher eingesetzte Stoffe	Substitution durch nachwachsende Rohstoffe
Funktionelle Additive			
Bindemittel	232	Synthetischer Latex, Stärke, PVOH	Stärke, Casein, Sojaprotein
Streichfarben-additive	25	Fließ- und Satinagehilfsmittel, Verdicker, Härter, Vernetzer	Stärke, Soja-Lecithin, Proteine
Leimungsmittel	20	Harzleim, Polymere (z. B.: Copolymere aus Styrol und Acrylsäureestern), alkylierte Diketene (AKD), alkyliertes Bernsteinsäureanhydrid (ASA)	Stärke, Leime auf Basis pflanzlicher Öle
Nassfestmittel	7	Epichlorhydrin-Harze, Formaldehydharze, Polymere, mehrfunktionale Verbindungen	Stärke, Chitosan, Galactomannan
Trockenverfestiger	3	Polyamine, Stärke, Galactomannan	Stärke, Chitosan, Xylan, Galactomannan, Carboxymethylcellulose, Sojaprotein
Komplexbildner	2	Diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA), Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)	Stärke, Chitosan
Farbmittel	6	Synthetische saure, basische substantive Farbstoffe oder Pigmentfarbstoffe	Natürliche Farbstoffe (jedoch geringe Farb- und Ausblutetheit)
Optische Aufheller	4	Sulfonierte Stilbenderivate	Keine wirksame nachwachsende Alternative bekannt
Andere	12	-	-
Gesamt	311		

Tabelle 7: Substitution der funktionellen Additive [12, 19, 20].

Additiv	Menge in kt	Bisher eingesetzte Stoffe	Substitution durch nachwachsende Rohstoffe
Prozessadditive			
Retentions- und Entwässerungsmittel (mit Bentonit)	23	Anorganische (Aluminium-) Salze, hochmolekulare Polymere (vor allem cPAM, Polyethylenimin)	Kationische oder modifizierte Stärke, Chitosan, Xylan, Galactomannan
Entschäumer und Entlüfter	8	Unpolare, nichtpolymere Stoffe: natürliche Fette und Öle, Fettsäuren, -alkohole, -säurederivate, Polyglykole	Natürliche Fette und Öle
Reinigungsmittel	6	Natronlauge, Säure, organische Lösemittel, Tenside	Essigsäure, Zitronensäure
Fixiermittel	6	Hoch kationische Polymere (Poly-DADMAC, DicyandiamidKondensationsprodukte), anorganische Aluminiumverbindungen	Kationische Stärke (jedoch nur gering wirksam)
Flockungsmittel	5	Kationische und anionische Polyelektrolyte: Polymerdispersionen auf Basis von Polyamin, Polyacrylamid und PolyDADMAC; sowie anorganische Verbindungen wie Eisen- und Aluminiumsalze	Modifizierte Stärke, Chitosan, Xylan, Galactomannan, modifizierte Cellulosen, Ligninbasierte Polymere
Biozide	4	Synthetische Biozide	Keine wirksame nachwachsende Alternative bekannt
Andere	3	-	-
Gesamt	55		

Tabelle 8: Substitution der Prozessadditive [12, 19, 20, 42, 43].

Im Folgenden wird genauer auf die in Tabelle 7 und Tabelle 8 aufgelisteten chemischen Additive sowie ihre möglichen Alternativen aus nachwachsenden Rohstoffen eingegangen.

Funktionelle Additive zur Beeinflussung der Papiereigenschaften

Bindemittel

Bisher: Das häufigste Bindemittel in der Papierindustrie ist synthetischer Latex, wobei natürliche Bindemittel lediglich Anwendung als Co-Bindemittel finden.

Substitution: Denkbar sind stärkebasierte Polymere. Diese werden immer häufiger angewendet. Des Weiteren könnten neben den stärkebasierten Polymeren auch Casein oder Sojaprotein Einsatz als Bindemittel finden [20].

Streichfarbenadditive

Bisher: Streichfarbenadditive wie Farbstoffe, Fließ- und Satinage-Hilfsmittel sowie Härter und Vernetzer kommen in den Streichfarben vor.

Substitution: Als nachwachsende Rohstoffe können Stärke, Protein oder Soja-Lecithin als Streichfarbenadditiv eingesetzt werden.

Leimungsmittel

Bisher: Die Leimung kann durch Massezusatz oder Oberflächenauftrag erfolgen. Papier besteht zum Großteil aus Cellulosefasern. Daher dienen die Leimungsmittel zur Hydrophobierung und verhindern das Eindringen von Wasser. Dies dient der Beschreibbarkeit und Bedruckbarkeit des Papiers und ist Grundlage für viele Anwendungen von Papier und Karton. Verwendung finden Harzleime sowie synthetische Leimungsmittel wie Alkylketendimere (AKD) oder Alkylbernsteinsäureanhydride (ASA) [19].

Substitution: Unter Verwendung von Stärke sowie pflanzlichen Ölen kann eine Substitution erfolgen [37].

Nassfestmittel

Bisher: Durch die Zugabe von Nassfestmittel werden neue Bindungen im Papier geschaffen, welche nach Eintreten von Wasser die Festigkeitseigenschaften verbessern. Es finden Epichlorhydrin-Harze, Formaldehydharze sowie multifunktionale Verbindungen ihre Anwendung zur Verbesserung der Nassfestigkeit [19].

Substitution: Polysaccharide wie Stärke und Chitosan bilden zu den bisherigen Nassfestmitteln eine Alternative aus nachwachsenden Rohstoffen [38]. Auch Galactomannane können verwendet werden.

Trockenfestmittel

Bisher: Trockenfestmittel dienen, neben den Nassfestmitteln, der Verfestigung des Papiergefüges durch Erzeugung zusätzlicher Wasserstoffbrückenbindungen. Anwendung finden hier synthetische Stoffe wie Polyamide [19].

Substitution: Bereits heute finden natürliche Stoffe wie Stärke, Carboxymethylcellulose und Galactomannan Anwendung als Trockenfestiger [39]. Des Weiteren können nachwachsende Rohstoffe wie Chitosan, Xylan oder Sojaproteine zum Einsatz kommen [40].

Komplexbildner

Bisher: Bei der Papierbleiche werden Komplexbildner eingesetzt, um einen vorzeitigen Peroxidabbau zu vermeiden. Verwendung finden hier Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) und Diethylentriaminpentaessigsäure (DTPA) [12].

Substitution: Synthetische Komplexbildner können durch Polysaccharide wie Stärke und Chitosan substituiert werden [41].

Farbmittel

Bisher: Farbmittel dienen im Papier der Veränderung des farblichen Eindrucks. Die heute eingesetzten Stoffe sind synthetische saure, basische oder substantive Farbstoffe und Farbpigmente.

Substitution: Natürliche Farbstoffe können zum Einsatz kommen. Jedoch ist mit geringer Farb- und Ausblutechtheit zu rechnen.

Optische Aufheller

Bisher: Neben den Farbmitteln beeinflussen auch die optischen Aufheller die Farbe des Papiers. Die Gelbfärbung des Papiers wird in ein blaues Weiß verschoben. Die Aufheller können in der Masse, an der Paperoberfläche und im Strich eingesetzt werden, wobei hier ausschließlich sulfonierte Stilbenderivate verwendet werden.

Substitution: Bisher ist noch keine geeignete Alternative zur Substitution mit nachwachsenden Rohstoffen bekannt.

Funktionelle Additive zur Beeinflussung der Prozessfähigkeit

Retentions- und Entwässerungsmittel

Bisher: Retentions- und Entwässerungsmittel dienen der schnelleren Entwässerung sowie dem Zurückhalten von Substanzen im fertigen Papier. Als Retentionsmittel werden vor allem anorganische Stoffe wie Aluminiumsalze oder Bentonit sowie synthetische Polymere verwendet [19].

Substitution: Bereits heute finden modifizierte organische Naturprodukte, wie kationisch oder anionisch modifizierte Stärke, Anwendung als Retentions- und Entwässerungsmittel. Des Weiteren sind Chitosan, Xylan und Galactomannan Alternativen aus nachwachsenden Rohstoffen [42].

Entschäumer / Entlüfter

Bisher: Entschäumer haben die Funktion, den Oberflächenschaum zu zerstören, wohingegen Entlüfter für die Entfernung der feinteilig dispergierten Luft in der Suspension zuständig sind. Es werden Fettalkohole, Fettsäurederivate, Polyglykole aber auch natürliche Fette und Öle verwendet.

Substitution: Einsatz natürlicher Fette und Öle zur Substitution der petrochemischen Stoffe [19].

Reinigungsmittel

Bisher: Reiniger dienen zur Säuberung von verschmutzten Sieben und Filzen durch Prozesswasser [19]. Als Reiniger werden in der Papierindustrie vor allem Natronlauge, Säure, organische Lösemittel und Tenside eingesetzt.

Substitution: Organische Säuren wie Essigsäure oder Zitronensäure können als Substitut verwendet werden [19].

Fixiermittel

Bisher: Fixiermittel binden Störstoffe an die Faser, um das Prozesswasser zu entlasten. Verwendung finden hoch kationische Polymere oder anorganische Aluminiumverbindungen.

Substitution: Fixiermittel aus Stärke stellen bisher die einzige Alternative aus nachwachsenden Rohstoffen dar, haben jedoch nur eine geringe Wirkung.

Flockungsmittel

Bisher: Flockungsmittel dienen der Flockung von Schwebstoffen zur Prozesswasserklärung. Hier kommen vor allem anionische und kationische Polyelektrolyte zum Einsatz. Diese Polymere sind wasserlöslich und bestehen aus langkettigen Kohlenwasserstoffen.

Substitution: Einige natürliche Polymere können als Flockungsmittel wirksam eingesetzt werden. Hierunter fallen Polysaccharide wie Stärke oder Chitosan [43]. Des Weiteren gibt es Versuchsreihen mit Xylan, modifizierten Cellulosen, Ligninbasierten Polymeren und Galactomannan [42].

Biozide

Bisher: Synthetische Biozide sind reine Prozesshilfsmittel. Sie dienen der Hemmung des Wachstums von Mikroorganismen im Prozesswasser.

Substitution: Für die Biozide ist keine wirksame nachwachsende Alternative bekannt. Lediglich der Einsatz von Enzymen kann zur Verstärkung der Biozide führen.

Fazit:

Für die meisten chemischen Additive bestehen Alternativen aus nachwachsenden Rohstoffen. Allerdings verhalten sich diese Stoffe in Bezug auf Papierfestigkeit oder Optik anders, als die konventionellen chemischen Substanzen.

8.2.2 Bewertung der Substitution chemischer Additive

Um eine Bewertung der Substitution chemischer Additive durchzuführen, müssen die jeweiligen biobasierten Einsatzstoffe getrennt betrachtet werden. Dazu werden Barriereigenschaften, mechanische und optische Eigenschaften sowie die Pro-

zessfähigkeit, Entsorgung und der Preis der eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe analysiert. Diese Auswertung ist für die jeweiligen Biopolymere im Anhang B) zu finden.

Stärke

Das Polysaccharid Stärke ist nach Cellulose der wichtigste organisch-chemische Rohstoff. Über drei Viertel der technisch angewandten Stärken werden in der Papier- und Pappeherstellung eingesetzt. Massestärke wird direkt in die Papiermasse zugegeben und dient als Hilfsstoff zur Erhöhung der Papierfestigkeit sowie als Leimungsmittel zum Binden und Glätten des Papiers. Des Weiteren kann die Entwässerungsbeschleunigung, Flockung und Retention von Fasern und Füllstoffen verbessert werden. Vorteile der Stärke sind die erhöhte Papierfestigkeit, eine einstellbare Viskosität, die Steigerung der Effizienz anderer Additive sowie verbesserte Laufeigenschaften an der Papiermaschine. Zudem ist Stärke biologisch abbaubar und nicht toxisch. Ein weiterer Vorzug ist die gute Verfügbarkeit zu einem kostengünstigen Preis. Wird Stärke hingegen als Flockungsmittel eingesetzt, ist keine gute Leistung zu erwarten, da die Flocken zur mechanischen Entwässerung nicht ausreichend stabil sind [39].

Stärke kann neben der Anwendung in der Papiermasse auch an der Oberfläche aufgetragen werden. Hier kommt Stärke als Bindemittel für Streichfarben zum Einsatz und bildet eine gute Alternative für den synthetischen Latex. Neben der Zunahme der Oberflächenfestigkeit ist jedoch durch die Substitution des Latex eine verminderte Glanzentwicklung festzustellen [20].

Chitosan

Neben Stärke kann auch Chitosan als Additiv in der Papierindustrie verwendet werden. Es ist ein Derivat von Chitin, welches aus dem Außenskelett von Schalentieren, Insektenpanzern sowie den Zellwänden von Pilzen gewonnen wird. Jährlich fällt der Rohstoff Chitin in Deutschland in Form von 5.000 Tonnen Krabbenschalen an [38].

Da Chitosan biologisch abbaubar, biokompatibel, antimikrobiell wirksam und ungiftig ist, findet es in verschiedenen Bereichen Anwendung. Den ersten Einsatz fand Chitosan als Komplexbildner und Flockungsmittel in der Abwasserbehandlung. Chitosan beeinflusst die Bindung von Geruchstoffen sowie die Retention und Entwässerung. Des Weiteren wird das Potential als Papieradditiv in der Massenanwendung erforscht. Einige Studien belegen die Verbesserung der Trocken- und Nassfestigkeit von Papier durch den Chitosan-Einsatz. Andere zeigen Chitosan als Retentions- und Entwässerungsmittel oder als Farb-Fixiermittel bei farbigen Papieren.

Zudem kann Chitosan als Coating auf das Papier aufgebracht werden und als Barriere-Schicht fungieren.

Wird Chitosan zur Flockung eingesetzt, zeigt es im Vergleich zu konventionellen Flockungsmitteln wie PDADMAC eine bessere Wirkung im Faserbrei. Die höhere Wirksamkeit liegt an der Ähnlichkeit von Chitosan und Cellulose-Fasern. Untersucht man das Zusammenwirken von Chitosan mit anionischen Polymeren im Bereich der Nasspartie, so bildet Chitosan polyelektrolytische Komplexe an der Faseroberfläche. Dieser Mechanismus und die Fähigkeit, Wasserstoffbindungen einzugehen, verbessert das Entwässerungsverhalten und die Papierfestigkeit (Durchreißfestigkeit, Reißlänge). Des Weiteren führt das Biopolymer zu einer höheren AKD-Retention, einem besseren Zugwiderstand und Leimungsgrad. Trotz seiner hohen Verfügbarkeit kann Chitosan durch einen zu hohen Preis als Bulkchemikalie allerdings kaum bestehen [41].

Xylan

Xylan ist ein Nebenprodukt der Landwirtschaft, beispielsweise aus Getreiderückständen oder Holzabfällen und daher in großen Mengen verfügbar. So hat Holz beispielsweise einen Xylananteil von etwa 35 Prozent. In Haferspелzen liegt er bei mehr als 40 Prozent (Arabinoxylan ist ein Polysaccharid gewonnen aus Haferspелzen). Eine großtechnische Gewinnung wird allerdings noch nicht durchgeführt, weshalb Xylan weniger Bedeutung zukommt als Cellulose, Stärke oder Pektin. Die Chancen der Verwendung von Xylan liegen in seiner biologischen Abbaubarkeit und den ökonomischen Vorteilen durch die Verwertung eines Reststoffs [44].

In Testversuchen wurde der Einsatz von Xylan auf der Oberfläche von Zellstofffasern zur Verbesserung der statischen und dynamischen Festigkeit (Reißlänge, Durchreißfestigkeit) sowie als Dispergiermittel zur Senkung des TiO_2 -Einsatzes geprüft. Hier kann durch weitere Entwicklungen in Kombination mit Stärke ein Retentionssystem entstehen, welches vollständig auf nachwachsenden Rohstoffen basiert. Auch die technischen Eigenschaften des Altpapiers zeigen Verbesserungen durch den Einsatz von Xylan. Außerdem ist eine Erhöhung des Papiervolumens zu verzeichnen, was eine zweiseitige Bedruckung auch bei geringen Blattgewichten zulässt. Gegebenenfalls ist ein Bleichen des Papiers durch die Gelbfärbung auf Grund des enthaltenen Lignins notwendig. Jedoch nehmen die positiven Auswirkungen auf die Festigkeit bei steigendem Mahlgrad des unmodifizierten Xylans ab. Auf Grund der mangelnden Erkenntnisse aus der Forschung wird Xylan bisher noch nicht in der Papierindustrie verwendet [44].

Galactomannan

Galactoglucomannan (GGM) wird bereits in der Papierindustrie eingesetzt, um die Nassfestigkeit, insbesondere auch die Reiß- und Zugfestigkeit von Papier, zu verbessern. GGM agiert mit Fasern sowie mit Füllstoffen und dient als Retentionsmittel. Darüber hinaus können modifizierte Mannane in der Papierindustrie als Flockungsmittel eingesetzt werden. Außerdem sind Mannane wasserlöslicher als Stärke und finden als Retentions- und Entwässerungsmittel Anwendung. Allerdings sind die Produktionskosten von GGM höher als die von Stärke. GGM wird aus dem Samen tropischer Früchte gewonnen. Daher ist mit hohen Rohstoffkosten sowie Emissionen beim Import zu rechnen. Ein weiterer limitierender Faktor für die kommerzielle Nutzung ist die variierende und komplexe Struktur der Mannane [45].

Natürliche Öle

Neben Polysacchariden wie Stärke werden derzeit auch pflanzliche Öle aus Leinsamen, Rapssamen, Sojabohnen oder speziell gezüchteten Sonnenblumen als Leimungsmittel getestet. Natürliche Öle sind kostengünstig, regional verfügbar und haben daher geringe Transportwege. Besonders gut geeignet sind Öle mit einem hohen Anteil an einfach gesättigten Fettsäuren. Daher wird im Folgenden besonders das hoch ölsäurehaltige Sonnenblumenöl (MSOHO) betrachtet.

Auf Grund ihrer Molekularstruktur neigen die Leimungsmittel in Kontakt mit Wasser zu Hydrolyse. Bei der MSOHO-Leimung hingegen erfolgt die Hydrolyse langsamer. Außerdem ist der Schritt der Isomerisierung bei den pflanzlichen Ölen nicht notwendig, was zu einer deutlichen Energieeinsparung führt. Neben den Vorteilen der MSOHO-Leimung sind jedoch klebrige Einlagerungen (Stickys) von Calcium-Ionen zu erkennen [37].

Sojaproteine

Sojaproteine dienen aufgrund ihres hohen Bindevermögens der Festigkeit und Hitzebeständigkeit von Papier. Daher werden sie vor allem als Bindemittel oder als Beschichtung an der Papieroberfläche eingesetzt und dienen zusätzlich zur Steigerung der Trockenfestigkeit. Weitere Vorteile sind die antimikrobielle Wirkung, gute Löslichkeit und das hohe Wasserrückhaltevermögen der Sojaproteine [46].

Zudem haben Sojaproteine eine gute Verfügbarkeit bei geringem Preis. Neben der guten Fettresistenz hat Soja jedoch eine schlechte Barrierewirkung gegenüber Feuchtigkeit [47].

Casein

Casein ist ein Milchprotein und hat einige positive Eigenschaften für den Einsatz als Bindemittel für den Papierstrich. Das Protein hat im Vergleich zu Sojaproteinen einen hohen Preis, ist allerdings gut verfügbar. Zudem ist es wasserlöslich und weist eine gute Sauerstoffbarriere sowie verringerte Wasserdampfdurchlässigkeit auf. Doch die Barriere-Eigenschaften sind im Vergleich zu chemischen Einsatzstoffen erst bei ausreichendem Materialeinsatz wirksam. Casein kann neben seiner Anwendung als Bindemittel auch als Coating verwendet werden, wobei die optischen Eigenschaften nicht verbessert werden. Die Oberfläche wird durch den Auftrag von Casein porös und rau, was zu einer schlechteren Bedruckbarkeit führt [47].

8.2.3 Bewertungsmatrix

Die Beschreibung der einzelnen Biopolymere, die in der Papierindustrie Anwendung finden, ergibt für alle Stoffe sowohl Vor- als auch Nachteile. Um eine Übersicht der Substitutionsmöglichkeiten chemischer Additive zu erhalten, werden die jeweiligen nachwachsenden Rohstoffe in einer Bewertungsmatrix (Tabelle 10) dargestellt und nach dem bisherigen Kenntnisstand bewertet. Jedoch handelt es sich hierbei nur um eine Abschätzung, da die meisten der nachwachsenden Stoffe bisher nur in Testversuchen eingesetzt und geprüft wurden. Die Auswertung kann deshalb nur annähernd Auskunft zur Papierproduktion in industriellem Maßstab geben [44].

In der Bewertungsmatrix werden ausgewählte Eigenschaften wie Barrierefähigkeit, mechanische und optische Eigenschaften sowie der Preis der Biopolymere mit denen der konventionellen chemischen Additive verglichen. Dies erfolgt über eine Bewertungsskala (Tabelle 9), welche von -- bis ++ reicht. Sie stellt die Veränderung der jeweiligen Eigenschaften durch den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen dar.

Veränderungen ausgewählter Eigenschaften bei Einsatz nachwachsender Rohstoffe an Stelle von chemischen Additiven		
	Definition	Interpretation
++	Deutliche Verbesserung	Substitution ist sinnvoll und vorteilhaft
+	Verbesserung	Substitution ist sinnvoll
+-	Keine Veränderung	Substitution bringt keine Vor- & Nachteile
-	Verschlechterung	Substitution ist optimierungsfähig
--	Deutliche Verschlechterung	Substitution ist nicht sinnvoll

Tabelle 9: Bewertungsskala.

Substitution der chemischen Additive durch nachwachsende Rohstoffe	Barriere-Eigenschaften	Mechanische Eigenschaften	Optische Eigenschaften	Prozess-Eigenschaften	Verfügbarkeit	Biologische Abbaubarkeit	Rohstoffkosten
FUNKTIONELLE ADDITIVE							
Bindemittel							
Stärke	-	+	-	+	++	++	+
Casein	--	+-	-	-	+	++	--
Sojaprotein	-	+	+	+	+	++	+
Streichfarbenadditive							
Stärke	-	+-	-	+	++	++	+
Soja-Lecithin	k.A.	k.A.	+	+	k.A.	+	-
Leimungsmittel							
Stärke	-	+	-	+	++	++	+
natürliche Öle (Sonnenblumenöl)	+	+-	-	k.A.	++	+	+
Nassfestmittel							
Stärke	-	+	-	+	+	++	+
Chitosan	+-	+	+	k.A.	++	+	--
Galactoglucomannan	+	+-	k.A.	+	-	+	--
Trockenverfestiger							
Stärke	-	+	-	+	++	++	+
Chitosan	+-	+	+	k.A.	++	+	--
Xylan	+-	+	-	+	-	+	+-
Galactoglucomannan	+	+-	k.A.	+	-	+	--
Carboxymethylcellulose	k.A.	+	k.A.	k.A.	+	+	++
Komplexbinder							
Stärke	-	+	-	+	++	++	+
Chitosan	+	+	+	k.A.	++	+	-
Farbstoffe							
natürliche Farbstoffe	-	-	+	k.A.	+	+	+-
Optische Aufheller	bisher keine wirksame nachwachsende Alternative						
PROZESSADDITIVE							
Retentions- & Entwässerungsmittel							
Stärke	-	+	-	+	++	++	+
Chitosan	+-	+	+	k.A.	++	+	--
Xylan	+-	+	-	+	-	+	+-
Galactoglucomannan	+	+-	k.A.	+	-	+	--
Entschäumer, Entlüfter							
natürliche Fette und Öle	k.A.	+	k.A.	k.A.	++	+	+
Reinigungsmittel	ggf. natürliche Säuren (Essigsäure, Zitronensäure)						
Fixiermittel							
Stärke (gering wirksam)	-	+	-	+	++	++	+
Flockungsmittel							
Stärke	-	+	-	--	++	++	+
Chitosan	+-	+	+	k.A.	++	+	--
Xylan	+-	+	-	+	-	+	+-
Lignin-basierte Polymere	k.A.	k.A.	-	k.A.	+	+	k.A.
Galactomannan	+	+-	k.A.	+	-	+	--
Biozide	bisher keine wirksame nachwachsende Alternative						

Tabelle 10: Bewertungsmatrix.

Schlussfolgerung:

Die Substitution der bisher eingesetzten chemischen Additive ist für einige Additive wie Bindemittel, Streichfarbenadditive, Nassfestmittel möglich. So bilden Stärke und Sojaproteine eine wirksame Alternative zu den chemischen Bindemitteln und auch natürliche Öle finden erfolgreich Anwendung als Leimungsmittel. Jedoch ist der Einsatz der meisten nachwachsenden Rohstoffe nicht ohne Nachteile möglich. Xylane werden bislang nicht technisch gewonnen. Chitosan wird aus Schalentieren gewonnen und hat positive Einflüsse auf die Festigkeit. Sein Einsatz ist derzeit aus Preis-Leistungs-Gründen aber nicht realistisch. Galactomannan wird aus dem Samen tropischer Früchte gewonnen und hat zwar positiven Einfluss auf die Papierfestigkeit, aber sein Einsatz ist derzeit aus Gründen der Verfügbarkeit ebenfalls nicht realistisch. Für einen Einsatz als Papierchemikalien sind die Hürden daher in dem geforderten Preisniveau bzw. in der Verfügbarkeit großer Mengen bislang zu hoch [44].

8.3 Substitutionspotential der Mineralien

Die mineralischen Füllstoffe und Streichpigmente bilden gemäß 5.2.1 auf S.12 ein Substitutionspotential von 3.327 Kilotonnen.

8.3.1 Machbarkeit der Substitution von Mineralien

Da die Nutzung von herkömmlichen anorganischen Füllstoffen und Pigmenten für die Masse- und Oberflächenanwendung in der Papierherstellung zu Schwierigkeiten im Recyclingprozess und der Kompostierung führt, werden neue organische Füllstoffe und Pigmente basierend auf nachwachsenden Rohstoffen erforscht, welche das Papier vollständig recyclebar, kompostierbar und bioabbaubar machen. Es gibt erste Bestrebungen nach neuen nachwachsenden Füllstoffen und Pigmenten aus Stärke oder Holzabfällen (siehe Tabelle 11) [48].

Stoff	Menge in kt	Bisher eingesetzte Stoffe	nawaRo
Füllstoffe	1.231	CaCO ₃ , Kaolin, Talkum, andere Mineralien (Titandioxid), organische Füllstoffe (Melamin-Formaldehydharz, SB-Latexkügelchen)	Stärkebasierte und Lignin-Cellulosebasierte (aus Holzabfällen) Füllstoffe und Streichpigmente
Streichpigmente	2.096		
Mineralien	3.327		

Tabelle 11: Substitution der Mineralien [48].

8.3.2 Bewertung der Substitution von Mineralien

Das kosteneffiziente und umweltfreundliche Recycling von Papier ist für die Papierindustrie von großer Bedeutung. Mit aufwendigen Prozessen ist eine effektive Trennung der anorganischen Bestandteile im Deinking-Schlamm denkbar. Obwohl die anorganischen Komponenten des Deinking-Schlammes mit speziellen Technologien wiedergewonnen werden können, wird die Recyclingfähigkeit auf lange Sicht beeinträchtigt. So werden beim Recycling etwa 5 - 8 Prozent anorganischer Deinking-Schlamm gebildet. In Europa werden von 81,6 Millionen Tonnen konsumiertem Papier etwa 46,8 Millionen Tonnen recycelt und 23,8 Millionen Tonnen nach einmaliger Nutzung auf der Mülldeponie beseitigt. Wären die Füllstoffe und Pigmente organisch und kompostierbar, könnten etwa acht Millionen Tonnen Erdöl durch ihre Energieproduktion ersetzt werden. Deshalb ist es ein wichtiges Bestreben, durch die Substitution der mineralischen Füllstoffe und Pigmente ein Papier zu erzeugen, das vollständig kompostierbar ist [49].

Stärke und Lignin-cellulosische Zusatzstoffe

Stärke oder Lignin-cellulosische Füllstoffe bilden die Rohstoffbasis für nachwachsende Füllstoffe und Pigmente, welche die Recyclingfähigkeit erhöhen und die Menge an Abfall verringern.

Vorteile: Verglichen mit anorganischen Füllstoffen und Pigmenten, können die nachwachsenden stärkebasierten Stoffe zusätzlich zu ihrer Recyclingfähigkeit, Kompostierbarkeit und Bioabbaubarkeit, die Festigkeit (Oberflächen-, Reiß-, Zug- und innere Bindungsfestigkeit) des Papiers erhöhen und das Gewicht reduzieren. Somit können Logistikkosten eingespart und das Handling verbessert werden. Des Weiteren sind die nachwachsenden Füllstoffe und Pigmente weniger schädlich und aggressiv gegenüber den Papierfasern und der Papiermaschine und können durch Verbrennung vollständig energetisch verwertet werden [48].

Nachteile: Die nachwachsenden Alternativen reichen noch nicht an die Leistungsfähigkeit konventioneller mineralischer Stoffe heran. Die Einstellung optimaler optischer Eigenschaften durch die Partikelgröße, Partikelgrößenverteilung sowie Struktur ist bei stärkebasierten Füllstoffen und Pigmenten und ihren biotechnischen Prozessen begrenzt. Lignin-cellulose Füllstoffe aus Holzabfällen können durch mechanische und technische Behandlungen unter annehmbaren Produktionskosten erzeugt werden. Jedoch beschränken die schlechten optischen Eigenschaften deren Anwendung. Lignin führt zu einer Gelbfärbung des Papiers. Dementsprechend ist die vollständige Verwendung nachwachsender Füllstoffe und Pigmente auf Grund ihrer vergleichsweise hohen Kosten und schlechten Leistung derzeit fraglich [48].

Die Nutzung in Kombination mit anorganischen Füllstoffen ist hingegen vorstellbar. Eine Substitution von 25 % Kaolin durch Stärke verursacht einen erhöhten Glanz, eine weniger raue Oberfläche und damit verbunden eine Verbesserung des Druckglanzes. Eine vollständige Substitution der Mineralien durch nachwachsende Rohstoffe ist bisher allerdings noch nicht denkbar, was auch an den diversen Vorzügen der bisher eingesetzten Mineralien für die Papierindustrie liegt [50].

Die mineralischen Füllstoffe und Pigmente bringen der Papierherstellung einige Vorteile. So ist auf Grund der Kosteneinsparung eine Zunahme des Füllstoffeinsatzes im Papier in den letzten Jahren festzustellen. Die Füllstoffe dienen auf Grund ihres niedrigeren Preises als Substitut von Faserstoffen. Mineralische Füllstoffe wie Karbonat haben einen Preis von 160 €/t, wohingegen Zellstoff 590 €/t kostet (Tabelle 12).

Einsatzstoff		Preis in €/t
Füllstoffe	Karbonat	160
	Kaolin	200
Faserstoff	Zellstoff	590
	Holzstoff	400

Tabelle 12: Preise ausgewählter Einsatzstoffe.

Gegenwärtig liegen die Füllstoffanteile verschiedener Papiersorten, beispielsweise des Dekorpapiers, bei bis zu 40 Prozent. Die Mineralien verleihen dem Papier gute optische Eigenschaften, wie einen hohen Weißgrad und Glanz, der bisher mit keiner Alternative erzeugt werden kann. Mit steigendem Füllstoffeinsatz verschlechtert sich jedoch auch die Papierfestigkeit, da sich die Füllstoffpartikel an der Faseroberfläche anlagern und somit die Faser-Faser-Bindungen minimieren [51].

Neben der Kosteneinsparung bei erhöhtem Mineralieneinsatz ist auch eine Energieeinsparung zu verzeichnen. Durch die Mineralien wird Trocknungsenergie für die Trocknung des Faservlieses eingespart und der CO₂-Ausstoß im Rahmen der Produktion reduziert. Der Strichauftrag hat einen direkten Einfluss auf den Product Carbon Footprint (PCF). Dabei handelt es sich um die Menge von Treibhausgasen, die während des gesamten Lebenszyklus der Papierherstellung in die Umwelt freigegeben werden. Je höher der Anteil des Strichauftrags, desto geringer ist der PCF.

Durch den Strich geht der Einsatz an Faserstoffen zurück. Dies bedingt einen energieärmeren Trocknungsprozess [52].

Schlussfolgerung:

Die Bewertung zeigt, dass eine Substitution der Mineralien auf Grund des Recyclings sinnvoll wäre, da somit weniger Störstoffe bei der Entsorgungen vorkommen würden. Wiederum erreichen die bisher erforschten Alternativen aus nachwachsenden Rohstoffen aber nicht dieselbe Leistung wie konventionelle Materialien, vor allem in Bezug auf die optischen Eigenschaften. Neben den optischen Eigenschaften, sind durch den Einsatz von Mineralien Kosten- und Energieeinsparungen aufzuzeigen. Eine Substitution ist aus gegenwärtiger Sicht nicht sinnvoll.

8.4 Substitutionspotential des anorganischen Anteils im Altpapier

Neben den Substitutionspotentialen der chemischen Additive und Mineralien ist auch der anorganische Anteil im Altpapier mit einem Potential von 3.049 Kilotonnen (siehe 5.2.1) zu bewerten.

8.4.1 Machbarkeit der Abtrennung des anorganischen Anteils

Die Substitution der anorganischen Stoffe im Altpapier kann nur über eine Abtrennung selbiger erfolgen. Das heißt, die Stoffe müssen bei der Altpapieraufbereitung aus dem Prozess genommen und bei der Herstellung eines neuen Papiers durch Frischfasern ersetzt werden.

In Tabelle 13 ist die Abtrennung verschiedener Komponenten je nach Prozessschritt in der Altpapieraufbereitung aufgelistet. Die Aufbereitung beginnt mit dem sogenannten Suspendieren. Die Papierfasern lösen sich voneinander durch Zugabe von Wasser in großen Pulpern. Die entstandene Masse wird über ein am Boden angebrachtes Lochblech abgepumpt, wobei erste grobe Verunreinigungen entfernt werden können. Es folgt der Schritt der Dickstoffreinigung, in welchem die papierfremden Bestandteile abgetrennt werden. In einem konisch zulaufenden Zylinder wird der Faserbrei beschleunigt. Abhängig vom spezifischen Gewicht werden Fremdstoffe an die Enden des Wirbels befördert und ausgeschleust. Dieses Zentrifugalreinigungsprinzip wird auch bei niedrigerer Stoffdichte zur Entfernung von Leicht- und Schwerschmutz bei der sog. Feinreinigung eingesetzt. Ein weiteres Werkzeug zur Abtrennung formungeeigneter Bestandteile stellen perforierte Siebe (Loch oder Schlitz) in der sog. Grob- und Feinsortierung dar. Hauptunterschiede in der Grob- und Feinsortierung ist der genutzte Stoffdichtebereich (bei Grobsortierung höher)

und die geringeren Abmessungen der Perforationsöffnungen bei der Feinsortierung im Vergleich zur Grobsortierung.

Anschließend folgt ggf. die Deinkingflotation zur Abtrennung der Druckfarbe und Asche [53]. Bei der Flotation erfolgt die Abtrennung der anorganischen Bestandteile. Es wird zwischen Flotations-Deinking und Wasch-Deinking unterschieden. Das Flotations-Verfahren erfolgt unter Zugabe von Wasser, Natronlauge und Seife. Die Farbbestandteile heften sich an die bei der Schaumerzeugung entstandenen Bläschen und gelangen an die Oberfläche, wo sie abgeschöpft werden. Das Wasch-Verfahren hingegen dient der Entfernung von Stoffen kleiner Dimensionen wie Druckfarben, Füll- und Feinstoffe durch mehrfache Entwässerung der Suspension. Die Stoffe werden durch ein Sieb von der Fasersuspension getrennt. Dies soll die technologischen Eigenschaften des Altpapiers verbessern, da eine zumindest teilweise Entaschung angestrebt ist.

Prozessstufe	Abgetrennte Komponente bzw. Verunreinigung
Auflösung	Grobe Verunreinigungen, (Kunststofffolien und große unerwünschte Bestandteile)
Dickstoffreinigung	Schwerschmutz, Verunreinigungen schwerer als Wasser (Glas, Metalle, Sand etc.)
Feinreinigung	Schwerteilcleanerung: Schwerschmutz, Verunreinigungen schwerer als Wasser (Glas, Metalle, Sand)
	Leichtschmutzcleanerung: Leichtschmutz, Verunreinigungen leichter als Wasser (Styropor, Schaumstoff)
Grob- und Feinsortierung	Sortierung mit gelochten oder geschlitzten Trennelementen: Kleine Verunreinigungen und schwer zerfaserbare Papierbestandteile (Stippen), Stickys
Deinkingflotation	Druckfarben, Füllstoffe, Pigmente und Faserfeinstoffe
Kreislaufwasserreinigung	Feinstoffe und Füllstoffe

Tabelle 13: Anfallstellen von Rückständen.

Vor allem Tissueprodukte (Tabelle 14) stellen hohe Anforderungen an das Altpapier. Im Endprodukt darf der Aschegehalt maximal 4 Prozent und der Feinstoffanteil 20

Prozent aufweisen. Diese Abtrennung erfolgt durch die Auswaschung der anorganischen Füllstoffe und Pigmente.

Endprodukt	Gezielte Abtrennung von		
	Asche	Feinstoffen	Druckfarben
Zeitungsdruck	Nein	Nein	Ja
SC-Papiere	Teilweise	Teilweise	Ja
LWC-Papiere	Ja	Teilweise	Ja
Tissue	Ja	Teilweise	Ja

Tabelle 14: Unterschiedliche Anforderungen an den Waschprozess abhängig von seinem Einsatz bei der Altpapieraufbereitung [54].

8.4.2 Bewertung der Stoffabtrennung

Beim Wasch-Verfahren ergeben sich durch die mehrmalige Entwässerung Probleme, v. a. der erhöhte Wasserverbrauch und der damit verbundene große Reinigungsaufwand des Abwassers. Die abgetrennten Stoffe sind in stark verdünnter Form im Filtrat vorzufinden. Da das Wasser wieder in den Prozess zurückgeführt wird, muss es einer Reinigung, z. B. durch Druckentspannungsflotation unterzogen werden. Bisher finden die abgetrennten anorganischen und organischen Feinstoffe in der Zement- und Ziegelherstellung Anwendung. Eine Wiederverwertung der Füllstoffe und Pigmente zur Papierherstellung wird bereits erforscht.

Ein weiteres Problem der Auswaschung ist, dass beim Auswaschen der Suspension, neben der Abtrennung der anorganischen Stoffe, große Mengen an Feinstoffen verloren gehen. Die Verluste erreichen bis zu 40 Prozent des Faserstoffanteils im Altpapier. Wie in Abbildung 12 dargestellt, ist bei der Flotation eine Abtrennung von 60 Prozent Asche und gleichzeitig ein hoher Feststoffverlust von bis zu 18 Prozent zu verzeichnen.

Bisher ist eine Abtrennung der anorganischen Stoffe technisch nicht zufriedenstellend lösbar, da neben den hohen Faserverlusten auch eine Verschlechterung der Festigkeitseigenschaften eintritt. Diese entsteht durch das gleichzeitige Ausschleusen der organischen Feinstoffe. Die negativen Folgen des Feinstoffverlustes sind ausschlaggebend dafür, dass sich ein generelles Ausschleusen des anorganischen Materials nicht durchsetzt.

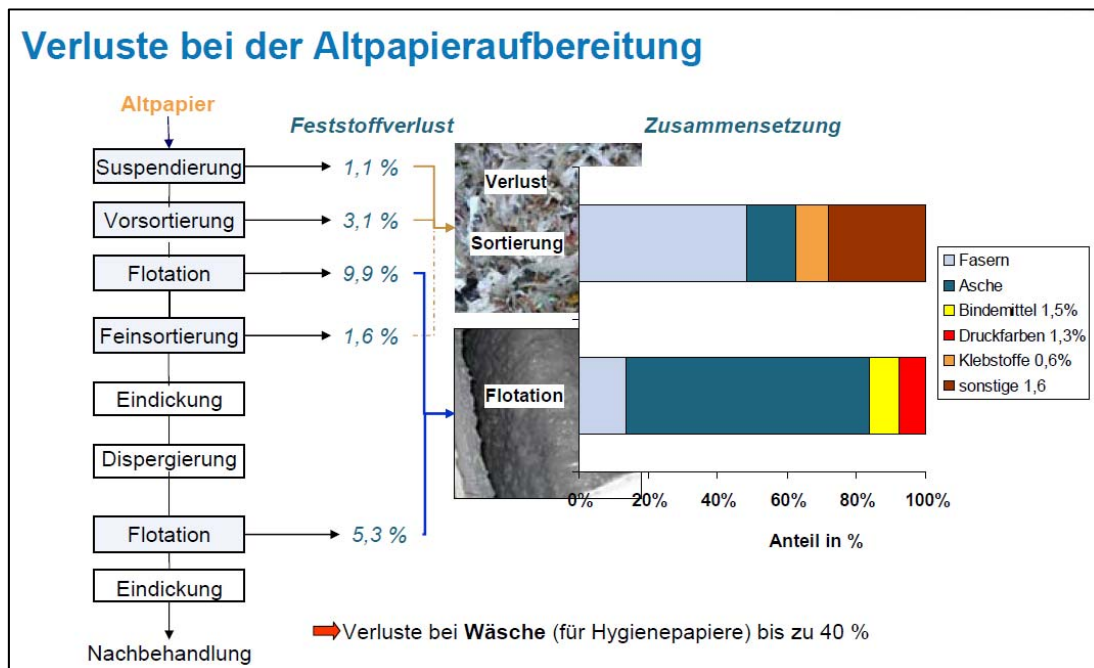


Abbildung 12: Verluste bei der Altpapieraufbereitung [18].

Vor allem Altpapiersorten mit hohen Aschegehalten führen bei der Herstellung von Papieren zu Problemen. Folglich müssen die Festigkeitsverluste durch den Einsatz von Additiven ausgeglichen werden, was wiederum zu erhöhten Kosten führt. Im Hygienepapierbereich werden die Verluste an organischem Feinstoff in Kauf genommen, da anorganische Stoffe unerwünscht sind [55].

Obgleich die Altpapieraufbereitung ein aufwendiges Verfahren ist, stellt Altpapier eine günstige Alternative zu den Frischfasern dar. Der Rohstoffverbrauch von einem Kilogramm Kopierpapier, wie in Tabelle 15 dargestellt, ist für Recyclingfasern deutlich geringer als für Frischfasern. Außerdem wird der Zellstoff vermehrt aus Ländern mit weiten Transportwegen importiert. Zudem ist der Wasserbedarf bei der Herstellung von Frischfaserpapier etwa fünfmal so hoch wie bei Altpapier [56].

Altpapier ist nicht nur wegen der Rohstoffeinsparung der Frischfaser vorzuziehen. Im Sinne der Nachhaltigkeit ist eine Wiederverwendung von Papier sinnvoll. Es werden große Abfallmengen verhindert und der Schutz von Primärwäldern gefördert [56].

Des Weiteren liegt der Preis für aufbereitetes Altpapier deutlich unter dem von Frischfasern. Allerdings erreichen die physikalischen Eigenschaften des Altpapiers, wie statische und dynamische Festigkeit, Helligkeit und seine optische Homogenität nicht die des Zellstoffs [19].

Rohstoffe	Rohstoffverbrauch für 1 kg Kopierpapier aus 100% Altpapier	Rohstoffverbrauch für 1 kg Kopierpapier aus 100% Zellstoff
Holz / Altpapier	1,1 – 1,6 kg Altpapier	2,2 – 2,5 kg Holz
Energie	2,2 – 3,3 kWh	5,6 – 11 kWh
Wasser	8 – 15 Liter	40 – 60 Liter
Abwasserbelastung (CSB vor biologischer Abwasserreinigungsanlage)	2 – 4 g Abwasser	10 – 45 g Abwasser

Tabelle 15: Vergleich von Kopierpapier aus Recyclingfasern im Vergleich zu Frischfasern [56].

Schlussfolgerung:

Um nach der Definition „vollständig biobasierte“ Papiere herzustellen, ist die Abtrennung des anorganischen Anteils des Altpapiers notwendig. Dieser Prozess ist lediglich durch eine Wäsche möglich. Insbesondere durch die hohen Feinstoffverluste, die bei diesem Verfahren nicht zu vermeiden sind, ist eine Abtrennung der anorganischen Bestandteile für alle Altpapiere nicht sinnvoll.

9. Zusammenfassung und Diskussion

Hauptchancen

Es ist generell eine hohe Marktnachfrage nach biobasierten Produkten zu verzeichnen. Papierprodukte werden vom Verbraucher dabei als vergleichsweise umweltfreundlich angesehen, da sie bereits zum Großteil auf nachwachsenden Rohstoffen basieren und recyclingfähig sind. Demzufolge ist durch einen vollständigen Einsatz nachwachsender Rohstoffe keine allzu große veränderte Wahrnehmung vom Käufer zu erwarten. Des Weiteren ist durch die zunehmende Verknappung fossiler Ressourcen die Bedeutung der Nutzung nachwachsender Rohstoffe generell gestiegen. Die Entsorgung vollständig biobasierter Papierprodukte ist hingegen eine große Chance. Bisherige Störstoffe wie Chemikalienrückstände im Prozesswasser oder ein verbleibender Ascheanteil im Altpapier würden durch die Substitution mit nachwachsenden Rohstoffen weniger problematisch bei der Entsorgung sein.

Hauptrisiken

Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen stehen jedoch auch in der Kritik. Die vollständig biobasierten Papierprodukte erfordern einen deutlich erhöhten Einsatz nachwachsender Rohstoffe. Dies kann zu einer verstärkten Nutzungskonkurrenz mit der Erzeugung von Lebens- oder Futtermitteln führen, aber auch mit anderen Einsatzbereichen, in denen nawaRo heute schon eingesetzt werden. Jedoch ist zu beachten, dass die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe derzeit sehr gering ist und bisher beispielsweise keine Lebensmittelknappheit hervorruft [6].

Schlussfolgerung

Ein vollständig biobasiertes Papierprodukt sollte definitionsgemäß lediglich aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Die Einsatzstoffe, die in Papierprodukten bisher nicht aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, sind insbesondere die chemischen Additive (366 Kilotonnen), die mineralischen Füll- und Streichpigmente (3.327 Kilotonnen) und der anorganische Anteil des Altpapiers (3.049 Kilotonnen). Es bestehen Chancen, die chemischen Additive erfolgreich durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen, denn für nahezu alle chemischen Additive sind nachwachsende, alternative Einsatzstoffe vorhanden. Allerdings zeigen diese nicht immer die gleiche Wirksamkeit wie die bisher kommerziell verfügbaren chemischen Additive. Einige Biopolymere können die Funktion des jeweiligen Additivs übernehmen und besitzen gegenüber den konventionellen chemischen Additiven gewisse Vorzüge (siehe Bewertungsmatrix Tabelle 10).

Ausschlaggebend für den Einsatz der Biopolymere ist insbesondere der Vorteil bezüglich ihrer Umweltauswirkungen. Die aufgeführten Alternativen sind nachwachsend und biologisch abbaubar. Außerdem haben sie, mit Ausnahme von Galactomannan und Xylan, eine hohe Verfügbarkeit. Die Auswirkungen auf die Papiereigenschaften und den Herstellungsprozess des Papiers können bisher lediglich abgeschätzt werden, da die meisten der Biopolymere noch nicht im Produktionsmaßstab verwendet werden.

Obwohl die Ergebnisse der bisher erforschten Biopolymere zur Substitution der chemischen Additive das große Potential aufzeigen, macht dies mengenmäßig nur einen geringen Anteil für die chemische Industrie aus. Die Anreize zum Wechsel sind somit gering.

Im Gegensatz zu den chemischen Additiven können die mineralischen Streich- und Füllstoffe weniger wirksam substituiert werden. Aus wirtschaftlicher Sicht ist ein Verzicht auf Mineralien bei der Papierherstellung nicht sinnvoll, da die kostengünstigen

Mineralien den Einsatz von Frischfasern minimieren. Des Weiteren können mit den derzeit erforschten nachwachsenden Alternativen für Streichfarben und Füllstoffe, die optischen Ansprüche an Papier nicht erfüllt werden. Demnach ist ein vollständiger Verzicht auf Mineralien nach dem heutigen Stand nicht sinnvoll. Allerdings wurde eine Teilsubstitution von etwa 25 % der Mineralien erfolgreich erprobt. Ein großes Hindernis ist in diesem Zusammenhang allerdings der Preisnachteil der Biopolymere gegenüber den Mineralien. Daher muss eine Weiterentwicklung der bestehenden Produktansätze erfolgen. Eine Substitution der Mineralien wäre für die Festigkeitseigenschaften und das Recycling des Papiers von großer Bedeutung.

Die Mineralien und andere Feinstoffe bilden einen Aschegehalt von etwa 19 % im Altpapier. Demnach würde sich bei einem Verzicht auf Mineralien bei der Papierherstellung der Anteil anorganischer Stoffe im Altpapier reduzieren. Um ein laut Definition „vollständig biobasiertes Papierprodukt“ herzustellen, müsste dementsprechend eine Entfernung des bestehenden Aschegehalts bei der Altpapieraufbereitung erfolgen. Allerdings treten bei dem dazu notwendigen Waschverfahren hohe Feinstoffverluste auf. Infolgedessen ist ein erhöhter Frischfasereinsatz notwendig. Der Altpapiereinsatz ist gegenüber dem Frischfasereinsatz jedoch von Vorteil, da damit ein geringerer Rohstoffverbrauch bezüglich Energie, Wasser und Holz verbunden ist. Die Entscheidung zur Auswahl der Faserstoffe muss je nach Papiersorte und -fabrik getroffen werden, da beispielsweise für Hygienepapiere ein vollständiges Abtrennen gefordert wird.

10. Handlungsempfehlungen

Folgende Handlungsempfehlungen können, basierend auf den ermittelten Daten und Erkenntnissen, abgeleitet werden:

Empfehlungen für die Papierindustrie

- Chemische Additive wie Bindemittel, Streichfarbenadditive, Flockungsmittel, Retentions- und Entwässerungsmittel soweit dies möglich ist, durch Polysaccharide, Proteine oder andere Biopolymere ersetzen.
- Abwägen der ökologischen Chancen und monetären sowie technischen Risiken der Substitution je nach Additiv und eingesetztem nachwachsenden Rohstoff.
- Teilsubstitution der Mineralien durch nachwachsende Rohstoffe, wie Stärke oder Lignin-cellulose Füllstoffe, zur Verbesserung der optischen Eigenschaften und Reduzierung des Mineralieneinsatzes.

- Bei braunen Papier- und Kartonsorten, z. B. Kartons und Wellpappe für Verpackungszwecke: gesamte Mineralien durch nachwachsende Stoffe wie Stärke oder Lignin-cellulosische Füllstoffe, unter Beachtung der monetären Effekte, ersetzen.
- Möglichkeiten zur Verbesserung des Prozesses der Altpapieraufbereitung ausarbeiten, um eine Abtrennung der anorganischen Stoffe im Altpapier ohne die derzeit üblichen, hohen Faserverluste zu realisieren.

Empfehlungen für die Politik

- Verbesserung der Kommunikationspolitik für Verbraucher (Aufklärung und Markteinführungsprogramme) zur Steigerung von Wissen und Transparenz zu biobasierten Produkten.
- Förderung der Entwicklung biobasierter Materialien für die Papierindustrie durch Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Unterstützung der Weiter- und Neuentwicklung als Basis für eine Substitution.

Empfehlung für die Chemieindustrie

- Weitere Entwicklungsarbeiten im Bereich nachwachsender Additive, um eine erfolgreiche Substitution der petrochemischen Additive zu realisieren.
- Optimierung des Einsatzes der bisher erforschten Biopolymere mit dem Ziel der Kostenreduktion und der technischen Eignung der Stoffe.
- Erschließen neuer nachwachsender Stoffe wie Proteine oder Zucker, die bei der Papierherstellung eingesetzt werden können.
- Neue Entwicklungen bei Additiven, die bisher noch keine wirksamen Alternativen aus nachwachsenden Rohstoffen vorweisen, wie Fixiermittel, optische Aufheller oder Biozide.

11. Fazit

Grundsätzlich ist eine Steigerung des Anteils nachwachsender Rohstoffe bei der Papierherstellung denkbar. Der Großteil der chemischen Additive kann prinzipiell durch Biopolymere substituiert werden. Ein gewisser Anteil von Mineralien kann unter Mehrkosten ebenfalls ersetzt werden. Zudem kann eine Abtrennung des anorganischen Anteils des Altpapiers erfolgen, wie es bereits bei der Herstellung von Hygienepapieren realisiert wird. Auf eine generelle Abtrennung des Aschegehalts sollte jedoch auf Grund der hohen Feinstoffverluste verzichtet werden.

Eine Herstellung vollständig biobasierter Papierprodukte ist bislang nicht sinnvoll, da die derzeit hohen Faserverluste der Altpapieraufbereitung, die derzeit fehlenden

kostengünstigen Einsatzstoffe oder die erreichbaren Papiereigenschaften einer vollständigen Substitution durch nachwachsende Rohstoffe entgegenwirken.

12. Ausblick

Durch Entwicklungen im Bereich der Biopolymere ist eine Steigerung des Anteils nachwachsender Rohstoffe am gesamten Rohstoffverbrauch der Papierindustrie zu erwarten. Neben den Biopolymeren kann auch die Forschung im Bereich Nanotechnologie zu Veränderungen im Rahmen der Papierherstellung führen. Es bestehen bereits erste Ansätze zur Anwendung nanofibrillierter und nanokristalliner Cellulose an der Paperoberfläche. Daneben gibt es viele Ansätze, biobasierte Materialien im Bereich des Papier-Coatings einzusetzen. Zudem sind Druckfarben verfügbar, welche auf natürlichen Ölen basieren. Demnach sind für die Zukunft weitere Entwicklungen im Bereich für die Papierindustrie zu erwarten. Bisher ist die Herstellung vollständig biobasierter Papierprodukte zwar noch nicht umzusetzen, aber sie stellt für die Zukunft der Papierindustrie eine große Herausforderung und Chance dar.

Anhang

A) Übersichtsgrafik – Rohstoffeinsatz der Papierindustrie	51
a) Auszug aus dem VDP-Leistungsbericht 2012	51
b) Unterteilung der chemischen Additive	52
B) Chancen und Probleme der Biopolymere.....	52
a) Stärke.....	52
b) Chitosan.....	53
c) Xylan.. ..	53
d) Galactomannan.....	54
e) Natürliche Öle	54
f) Soja Protein	55
g) Casein.....	55

A) Übersichtsgrafik – Rohstoffeinsatz der Papierindustrie

a) Auszug aus dem VDP-Leistungsbericht 2012 [9]

Einsatzstoffe der Papierindustrie mit Mengen für das Jahr 2011

N17. Vom Rohstoff zum Papier From Raw Material to Paper					
In t (lufttrocken 90 : 100) In tonnes (air dry 90 : 100)		2010	2011	Anzahl der Erzeuger/ Einsatzanteil Number of Producers/Share of Consumption in % 2011	11:10 In%
Holzstoff • Mechanical Pulp	Produktion • Production	1.239.305	1.162.776	6	-6
	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	1.398.278	1.332.569	5,1%	-5
Papierzellstoff ^{*)} • Chemical Pulp ^{*)}	Erzeugung • Production	1.523.718	1.562.004	3	3
	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	4.702.727	4.634.644	17,7%	-1
davon Sulfitzellstoff of which: Sulphite Pulp	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	662.629	719.911	2,7%	9
davon Sulfatzellstoff of which: Sulphate Pulp	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	4.029.207	3.901.798	14,9%	-3
Altpapier • Recovered Paper	Aufkommen • Collection	15.535.320	15.261.851		-2
	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	16.245.942	16.045.753	61,1%	-1
Sonstige Faserstoffe Other Pulp	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	45.908	45.431	0,2%	-1
Faserstoffe insgesamt Total Pulp	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	22.392.855	22.058.397	84,1%	-1
Füllstoffe • Filler	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	1.298.991	1.230.568	4,7%	-5
Streichpigmente Coating Materials	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	2.174.744	2.096.327	8,0%	-4
Stärke • Starch	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	451.529	442.800	1,7%	-2
andere Mineralien und Additive Other Non-fibrous Materials	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	420.328	414.136	1,5%	-1
Mineralien und Additive insgesamt Total Non-fibrous Materials	Einsatz in der Papierindustrie Consumption in Paper Industry	4.345.592	4.183.831	15,9%	-4
Rohstoffe insgesamt (Faserstoffe, Mineralien, Additive) Total Raw Materials (Pulp and Non-fibrous Materials)		26.738.447	26.242.228	100,0%	-2
Papier, Karton und Pappe Paper and Board	Produktion Production	23.061.986	22.690.361	96	-2

Quelle: VDP

^{*)} einschließlich Sonstiger und Halbzellstoff

Source: VDP

^{*)} including other chemical pulp and semi-chemical pulp

b) Unterteilung der chemischen Additive [12]

Funktionelle Additive	Anteil in %	Prozess Additive	Anteil in %
Polymer-Binder	56,0%	Retentions- und Entwässerungsmittel	3,2%
Coating Additive	6,0%		
Leimung	12,0%	Entschäumer und Entlüfter	2,0%
Nassfestmittel	7,0%		
Trockenverfestiger	2,0%	Reinigungsmittel	1,2%
Komplexbildner	0,5%	Fixative	1,4%
Farbstoffe	1,5%	Flockungsmittel	1,2%
Optische Aufheller	1,0%	Biozide	1,0%
Andere	3,0%	Andere	0,7%

B) Chancen und Probleme der Biopolymere**a) Stärke**

STÄRKE: Trocken- Nassfestmittel, Komplexbildner, Retentionsmittel, Leimungsmittel, Flockungsmittel, Bindemittel, Streichfarbenadditiv		
	Chancen	Probleme
Barriere Eigenschaften	- Glättung der Oberfläche (Poren geschlossen)	- k.A.
Physikalische Eigenschaften	- Papierfestigkeit - Veränderte Viskosität - Aussortieren anionischer Störstoffe - Steigerung der Effizienz anderer Additive	- Biologischer Abbau durch Bakterien und Enzyme - Flockungsmittel: Flocken sind nicht ausreichend stabil zur mechanischen Entwässerung
Optische Eigenschaften	- Glätte	- Abnahme des Glanzes bei vermindertem Latexanteil
Umweltaspekt	- Biologisch abbaubar - Ungiftig, Gute Verfügbarkeit	- Keine Nachteile
Kosten	- Geringer Preis	- k.A.
Prozess	- Verbesserte Laufeigenschaft	- k.A.

b) Chitosan

CHITOSAN: Trocken- und Nassfestiger, Flockungsmittel, Retentions- und Entwässerungsmittel		
	Chancen	Probleme
Barriere Eigenschaften	Bei Oberflächenanwendung: - Gute Aromabarriere - Gute Fettresistenz	- Jedoch hohe Wasseraufnahme
Physikalische Eigenschaften	- Biokompatibel - Bakterien- und pilzhemmend - Festigkeitssteigerung	- k.A.
Optische Eigenschaften	- Oberflächenglättung - Gute Bedruckbarkeit	- k.A.
Umweltaspekt	- Biologisch abbaubar - Ungiftig - Gute Verfügbarkeit	- k.A.
Kosten	- Kein Kostenvorteil	- Zu hoher Preis
Prozess	- k.A.	- k.A.

c) Xylan

XYLAN: Trockenfestiger, Retentions- und Entwässerungsmittel, Flockungsmittel		
	Chancen	Probleme
Barriere Eigenschaften	- Bessere Wasserdampfbarriere	- k.A.
Physikalische Eigenschaften	- Festigkeitssteigerung (Durchreißfestigkeit, Reißlänge) - Verbesserung der technolog. Eigenschaften des Altpapiers	- Positive Auswirkungen auf Festigkeit nehmen bei unmodifiziertem Xylan mit steigendem Mahlgrad ab (Kationisierung notwendig)
Optische Eigenschaften	- Erhöhung des Papiervolumens verbessert optische Eigenschaften - Zweiseitige Bedruckbarkeit bei geringem Blattgewicht	- Gegebenenfalls Bleichen notwendig durch gelbliche Färbung (bei hohem Ligningehalt)
Umweltaspekt	- Reststoff- Verwertung - In großen Mengen vorhanden,	- Jedoch noch keine großtechnische Gewinnung möglich (bisher nur in kleinen Mengen verfügbar)
Kosten	- Prognose: marktgängiger Preis bei hohem Absatz	- k.A.
Prozess	- Verbesserung der Laufeigenschaft	- k.A.

d) Galactomannan

GALACTOMANNAN: Trocken- und Nassfestmittel, Flockungsmittel, Retentions- und Entwässerungsmittel		
	Chancen	Probleme
Barriere	- k.A.	- k.A.
Physikalische Eigenschaften	- Erhöhung vom Wasserrückhaltevermögen - Festigkeitssteigerung (Reißfestigkeit, Zugfestigkeit) - Stärkung der Faser-Faser-Bindung	- Variierende und komplexe Struktur der Mannane - Wasserlöslich
Optische Eigenschaften	- k.A.	- k.A.
Umweltaspekt	- Biologisch abbaubar	- Schlechte regionale Verfügbarkeit (vorkommend in Samen von Tropenfrüchten) - Hohe Emissionen bei Import aus den Tropen
Kosten	- Kein Kostenvorteil	- Zu hohe Kosten
Prozess	- Ggf. verbesserte Laufeigenschaften in der Nasspartie	- k.A.

e) Natürliche Öle

MSOHO (maleated high oleic sunflower oil): Leimungsmittel		
	Chancen	Probleme
Barriere Eigenschaften	- k.A.	- k.A.
Physikalische Eigenschaften	- Langsame Hydrolyse (spätere Aufbringung möglich vgl. mit ASA-Leimung) - Höhere Viskosität	- Leimungs-Mittler zur Verbesserung der Effizienz notwendig
Optische Eigenschaften	- k.A.	- Bildung von klebrigen Calcium-Einlagerungen
Umweltaspekt	- Biologisch abbaubar - Gute lokale Verfügbarkeit - Geringe Transportwege - Einsprung hoher Energien	- k.A.
Kosten	- Geringe Produktionskosten	- k.A.
Prozess	- Weniger Prozessschritte notwendig: Keine Isomerisierung	- k.A.

f) Sojaprotein

SOJAPROTEIN: Bindemittel, Trockenfestigkeit		
	Chancen	Probleme
Barriere Eigenschaften	- Fettresistenz	- Schlechte Barriere gegen Feuchtigkeit
Physikalische Eigenschaften	- Steigerung der Trockenfestigkeit - Hohes Bindevermögen - Gute Löslichkeit - Antimikrobielle Wirkung - Hohes Wasserrückhaltevermögen	- k.A.
Optische Eigenschaften	- Bessere Bedruckbarkeit	- k.A.
Umweltaspekt	- Biologisch abbaubar - Gut verfügbar	- k.A.
Kosten	- Geringe Kosten	- Kein Preisnachteil
Prozess	- Einsatz bei hohen Produktionsgeschwindigkeiten möglich	- k.A.

g) Casein

CASEIN: Bindemittel		
	Chancen	Probleme
Barriere Eigenschaften	- Gute Sauerstoffbarriere - Verringerte Wasserdampfdurchlässigkeit	- Höhere Materialdicke für gleiche Leistung notwendig
Physikalische Eigenschaften	Gute mechanische Eigenschaften: - Wasserlöslich - Erhöhte Festigkeit	- k.A.
Optische Eigenschaften	- k.A.	- Poröse, raue Oberfläche - Schlechte Bedruckbarkeit
Umweltaspekt	- Biologisch abbaubar	- k.A.
Kosten	- k.A.	- k.A.
Prozess	- k.A.	- k.A.

Literaturverzeichnis

- 1 Müller, Günter; Demel, Ingrid (2013): Handbook of Paper and Board. Second Edition. Vol. 2. Environmentally Friendly Paper and Board Production. Edited by Herbert Holik, Wiley-VCH, Weinheim.
- 2 BRIDGE (2013): Biobased and Renewable Industries for Development and Growth in Europe, http://bridge2020.eu/wp-content/uploads/2013/06/BRIDGE_SIRA_Full_download.pdf [aufgerufen am 14.08.2013]
- 3 N.N., DIN CERTCO (2011): Zertifizierungsprogramm - Biobasierte Produkte. nach ASTM 6866, www.dincertco.de/de/din_geprueft_biobasiert_fuer_mehr_nachhaltigkeit.html [aufgerufen am 14.08.2013]
- 4 N.N., DIN CERTCO (2010): Merkblatt Biobasierte Produkte und die 14C-Methode, http://www.dincertco.de/de/din_geprueft_biobasiert_fuer_mehr_nachhaltigkeit.html [aufgerufen am 14.08.2013]
- 5 N.N., Umweltbundesamt (2009): Biologisch abbaubare Kunststoffe, <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3834.pdf>, [aufgerufen am 14.08.2013]
- 6 Oertel, Dagmar (2007): Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Sachstandsbericht zum Monitoring "Nachwachsende Rohstoffe". Arbeitsbericht Nr.114. <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2007/oert07a.pdf>, [aufgerufen am 18.11.2013]
- 7 N.N., Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Normen und Zertifizierung „bio-basiert“, <http://biopolymernetzwerk.fnr.de/biobasierte-werkstoffe/rahmenbedingungen/normen-und-zertifizierung-%22bio-basiert%22/> [aufgerufen am 23.06.2013]
- 8 Endres, Hans-Josef; Siebert-Raths, Andrea (2009): Technische Biopolymere. Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften. Carl Hanser Verlag, München.
- 9 N.N., VDP Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (2012): Papier 2012 - Ein Leistungsbericht der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie. Bonn
- 10 N.N., (2012): CEPI Sustainability Report 2011. Brüssel.
- 11 Schulz, Nina, VDP Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (2013): Mineralieneinsatz in der Papierindustrie, 24.05.2013, telefonische Mitteilung.
- 12 Auhorn, Werner; Belle, Jürgen; Geller, Adolf, N.; Gliese, Thoralf; Goebel, Konrad; Götz, Bernd; Gürtler, Adam; Hamm, Udo; Kamutzki, Walter; Kleemann, Stephan; Köcher, Matthias; Künzel, Ulf; Le, Phuong-Chi; Niemelä, Klaus; Österberg, Folke; Pelzer, Roland; Prinz, Michael; Roick, Thomas; Scholz, Wolfgang; Schrijver, Johan; Schultz, Wolf-Stefan; Thummer, Rudolf; Wirth, Bernhard (2008): Chemical Additives for the Production of Pulp and Paper, Verein der Zellstoff- und Papierchemiker und -Ingenieure, Zellcheming (Ed.), Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main.
- 13 Pelzer, Roland, BK Giulini GmbH (2013): Chemische Additive und deren Einsatzmengen, 13.05.2013, telefonische Mitteilung.

- 14 Hensel, Karl-Heinz; von Drach, Volker (2000): Verfahren zur mechanischen Bearbeitung von Fasern oder Faserprodukten, Patent: DE10052175A1.
- 15 Bergmeister, Konrad (2003): Kohlenstofffasern im Konstruktiven Ingenieurbau. Ernst W. und Sohn Verlag, Berlin.
- 16 Wagenführ, Rudi (1999): Anatomie des Holzes, DRW – Verlag Weinbrenner, Leinfelden-Echterdingen.
- 17 Back, Ernst L. (1992): Grundlagen der Chemie für Papiermacher; PTS-PTI-Seminar Teil I, CP-SE 252.
- 18 Strauß, Johann; Hanecker, Elisabeth (2013): Papierherstellung im Überblick. Tagungsband PTS-Seminar EK 1397, Strauß, J. und Hanecker, J. (Hrsg.), Papiertechnische Stiftung, München, März, 2013.
- 19 Blechschmidt, Jürgen (2010): Taschenbuch der Papiertechnik. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag.
- 20 Pajari, Timo (2012): Stärke. Natürliche Bindemittel als Alternative für Latex. Wochenblatt für Papierfabrikation, 06/2012, p. 432-433.
- 21 N.N., EUWID Papier und Zellstoff, Ausgabe: 6.2013 (2013), EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH.
- 22 Putz, Hans-Joachim; Weinert, Sabine (2010): Qualitätseigenschaften der wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen. AiF-Schlussbericht zum AiF-Vorhaben Nr. AiF 15408N ,PMV, Darmstadt.
- 23 Dietz, Wolfram (2012): Chancen einer standortnahen Ressourcenvernetzung - Integrierte Produktionsstandorte. FPT Studie 2012, Papiertechnische Stiftung, München.
- 24 N.N., Verband der Wellpappen-Industrie e.V. (2013): Von Natur aus nachhaltig, <http://wellpappen-industrie.de/nachhaltigkeit/> [aufgerufen am 22.08.2013]
- 25 Müller, Günter (2012): Was zeichnet nachhaltige Verpackungen aus? STI-Workshop: Nachhaltig erfolgreich, Lauterbach (13./14.11.2012).
- 26 N.N., European Bioplastics (2012): Was sind Biokunststoffe. Begriffe, Werkstofftypen und Technologien - eine Einführung. http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/fs/Biokunststoffe_de, [aufgerufen am 22.08.2013]
- 27 N.N., European Bioplastics (2012): Facts and Figures, http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2013/publications/EuBP_FactsFigures_bioplastics_2013.pdf [aufgerufen am 22.08.2013]
- 28 Lack-Ersöz, Nuse (2013): Produktionsdaten der Biokunststoffe für Deutschland, IfBB Hannover, 04.06.2013, Mitteilung per E-Mail.
- 29 Fenz, Christian (2011): „Bio“-Kunststoffe. Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, <http://images.umweltberatung.at/htm/bio-kunststoffe-infobl-abfall.pdf> [aufgerufen am 03.05.2013]

-
- 30 N.N., IfBB Hannover (2013): Biopolymerdatenbank,
<http://www.materialdatacenter.com/mb/main/page/4> [aufgerufen am 14.08.2013]
- 31 Detzel, Andreas; Knauertz, Benedikt; Derreza-Greeven, Cassandra (2012):
Endbericht. Untersuchung der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch
abbaubaren Kunststoffen. Umweltbundesamt, ifeu-Institut für Energie- und
Umweltforschung Heidelberg GmbH.
- 32 Menrad, Klaus; Decker, Thomas (2010): Verbraucheraspekte und -kommunikation
für Biokunststoffe. Vortrag auf Fachkongress "Biobasierte Kunststoffe" der FNR am
15.-16.06.2010 in Berlin, Wissenschaftszentrum Straubing.
- 33 Beucker, Severin; Marscheider-Weidemann, Frank; Carus, Michael (2007):
Zukunftsmarkt Biokunststoffe. Umweltbundesamt, Fraunhofer-Institut für
System- und Innovationsforschung, Karlsruhe.
<http://www.gbv.de/dms/zbw/577019562.pdf> [aufgerufen am 22.08.2013]
- 34 N.N., European Bioplastics (2011): Besser verpacken mit Biokunststoffen.
Informationen zur Technologie- und Marktentwicklung,
http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2011/04/fs/Verpackung_de
[aufgerufen am 22.08.2013]
- 35 <http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2013-04/umweltverschmutzung-meer-plastikmuell>
[aufgerufen am 22.08.2013]
- 36 Vähä-Nissi, Mika; Laine, Christiane; Talja, Riku; Mikkonen, Hannu; Hyvärinen, Sari;
Harlin, Ali (2010): Aqueous Dispersions from Biodegradable/Renewable Polymers.
VTT Technical Research Centre of Finland. Proceedings of the 2010 TAPPI PLACE
Conference, Albuquerque, USA
<http://www.tappi.org/content/events/10PLACE/papers/vaha.pdf> [aufgerufen am
22.08.2013]
- 37 Lackinger, Elisabeth; Schmid, Leo; Sartori, Jürgen; Potthast, Antje; Rosenau,
Thomas (2011): Novel paper sizing agents based on renewables. Part 4: Application
properties in comparison to conventional ASA sizes. *Holzforschung*, 65(2): 171-176
- 38 Weiß, Jurij (2006): Chitosan: ein innovatives Additiv für Stoffsuspensionen. PTS
NEWS 05 2006, p. 58-59, Papiertechnische Stiftung, München.
[http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Unternehmen/PTS_News/
Mai_2006/ Mai_2006_58.pdf](http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Unternehmen/PTS_News/Mai_2006/Mai_2006_58.pdf) [aufgerufen am 18.11.2013]
- 39 Schweiss, Rüdiger; Möller, Eckehar; Kießler, Birgit (2006): Getreidepolymere in der
modernen Papierindustrie. Technologie, Trends und Perspektiven.
PTS Papiertechnische Stiftung, Innovationsforum „Biopolymere aus Getreidemehl
für die papierverarbeitende und –veredelnde Industrie, Rostock, 10.10.-11.10.2006.
http://www.bcv.org/projects/ifbp/Dr_Schwei-337_PTS.pdf [aufgerufen am
18.11.2013]
- 40 Lindström, Tom; Wågberg, Lars; Larsson, Tomas (2005): On the nature of joint
strength in paper - a review of dry and wet strength resins used in paper
manufacturing. STFI-PF report, Report no 32, May 2005,
<http://www.innventia.com/documents/rapporteur/stfi-packforsk%20report%2032.pdf>
[aufgerufen am 18.11.2013]

-
- 41 Nicu, Raluca; Bobu, Elena; Desbrieres, Jacques (2011): Chitosan as cationic polyelectrolyte in wet-end papermaking systems. Technical University of Iasi. Cellulose Chemistry and Technology (45), 105-111.
[http://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT1-2\(2011\)/contents1-2-2011.pdf](http://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT1-2(2011)/contents1-2-2011.pdf),
[aufgerufen am 18.11.2013]
- 42 Kuutti, Lauri; Haavisto, Sanna; Hyvärinen, Sari; Mikkonen, Hannu; Koski, Riikka; Peltonen, Soili et al. (2011): Cationized biopolymer flocculants. Properties and flocculation efficiency of cationized biopolymers and their applicability in papermaking and in conditioning of pulp and paper sludge. BioResources. Vol. 6 (2011) No: 3,
http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_06/BioRes_06_3_2836_Kuutti_HMKPK_Prop_Flocculat_Cat_Biopoly_Papermak_Cond_Sludge_1181.pdf
[aufgerufen am 18.11.2013]
- 43 Schwarz, Simona; Petzold, Gudrun; Mende, Mandy; Zschoche, Stefan (2006): Synthetische und natürliche Polymere als Flockungsmittel bei der Fest-Flüssig-Trennung. Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungseinrichtungen, Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst.
http://www.ipfdd.de/fileadmin/user_upload/ax/OEA/JB2005/02_lang_06.pdf
[aufgerufen am 18.11.2013]
- 44 Puls, Jürgen; Saake, Bodo (2010): Xylan, ein neuartiges Papieradditiv. Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie. Nr. 2010/1.
http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dn046442.pdf [aufgerufen am 18.11.2013]
- 45 Lindquist, Hanna; Holmback, Jessica; Rosling, Ari; Salminen, Kristian; Holmbom, Bjarne; Auer, Markku; Sundberg, Anna (2013): Galactoglucomannan Derivates and Their Application in Papermaking. VTT Technical Research Centre of Finland, Bio Resources, (8), No 1, p. 994-1010.
- 46 Howe, Connie; Hogan, Robina; Wildes, Steve (2011): Soy Chemicals for Paper Processing. A market opportunity study. Omni Tech International.
<http://soynewuses.org/wp-content/uploads/Soy-Chemicals-for-Paper-Processing-September-2011.pdf> [aufgerufen am 18.11.2013]
- 47 Khwaldia, Khaoula; Arab-Tehrany, Elmira; Desobry, Stephane (2010): Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials. In: Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 9 (1). <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-4337.2009.00095.x/pdf> [aufgerufen am 18.11.2013]
- 48 Shen, Jing; Song, Zhanqian; Qian, Xueren (2010): Fillers and pigments for papermaking. Possible trends of renewable organic fillers and pigments derived from natural resources for sustainable development of papermaking industry. BioResources, (5), No 1, p. 5-7.
- 49 Mikkonen, Hannu; Kataja, Kirsi; Qvintus-Leino, Pia; Kuutti, Lauri; Peltonen, Soili; Heikkinen, Juha et al. (2007): Development of Novel Starch Based Pigments and Fillers for Paper Making. VTT Technical Research Centre of Finland.
http://www.vtt.fi/liitetiedostot/cluster5_metsa_kemia_ymparisto/PIRA7.pdf
[aufgerufen am 18.11.2013]

-
- 50 Klass, Charles P. (2011): Biobased Materials for Paper Coating. Proceedings of the 2011 TAPPI PaperCon Conference. Northern Kentucky, USA.
<http://www.tappi.org/content/events/11papercon/documents/644.548%20ppt.pdf>
[aufgerufen am 22.08.2013]
- 51 Kuntzsch, Timo (2005): Gezielte Einstellung von Papiereigenschaften durch Wahl geeigneter Füllstoffkombinationen. PTS -Forschungsbericht IW 072042, Papiertechnische Stiftung, Heidenau.
http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/IW_072042.pdf [aufgerufen am 22.08.2013]
- 52 Bonertz, Martina (2013): Der Product Carbon Footprint von Faltschachtelkarton mit Betrachtung des Social Life Cycle Assessment. Masterarbeit. Fernuniversität Hagen.
- 53 N.N., (2001): Einführung in die Umwelttechnik: Papierherstellung und Umweltbelastung,
http://spot.fho-empden.de/ut/forsch/papierherstellung_umweltbelastung1.pdf
[aufgerufen am 22.08.2013]
- 54 Blechschmidt, Jürgen (2011): Altpapier. Regularien, Erfassung, Aufbereitung, Maschinen und Anlagen, Umweltschutz. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München.
- 55 Schabel, Samuel; Hirsch, Georg; Nirschl, Herman; Feist, Markus (2009): Trennung von organischen und anorganischen Feinstoffen aus Altpapiersuspensionen. AiF-Schlussbericht zum AiF-Vorhaben Nr. 14650 N. http://www.vdp-online.de/de/papierindustrie/forschung.html?elID=dam_frontend_push&docID=150.
[aufgerufen am 22.08.2013]
- 56 N.N., Umweltbundesamt (2012): Vorteile von Recyclingpapier im Vergleich,
<http://papierwende.de/okobilanz-pro-recyclingpapier/> [aufgerufen am 16.08.2013]