

Diplomarbeit

Life-Cycle-Analyse für Kunststoff- und Papierschnüre im Bereich Landwirtschaft

erstellt am

**Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und
Entsorgungstechnik**

Vorgelegt von:

Tamara Tappeiner
0135021

Betreuer:

O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing.Dr.techn. Karl Lorber
Dipl.-Ing. Isabel Kastl, MBA

Leoben, 05.10.2006

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Kurzfassung

Life-Cycle-Analyse für Kunststoff- und Papierschnüre im Bereich Landwirtschaft

In dieser Arbeit wird das Verhalten von verschiedenen Kunststoffprodukten mit jenem von Papierprodukten anhand eines Rotteversuchs verglichen. Dazu wurden drei Komposter (Blindwert, Papier und Kunststoff) aufgestellt, regelmäßig beprobt und die Ergebnisse einander gegenübergestellt. In der Landwirtschaft werden zurzeit hauptsächlich Kunststoffprodukte (Schnüre, Drehbinder) für das Anbinden von Pflanzen (z.B.: Weinreben) verwendet. Allerdings ist der Einsatz von Kunststoffprodukten in Bezug auf eine ökologische Entwicklung problematisch, da Kunststoffe meist schwer bis nicht abbaubar sind und andererseits teilweise gefährliche Inhaltsstoffe wie beispielsweise Metallverbindungen aufweisen. In Hinblick auf ein nachhaltiges Wirtschaften werden zukünftig auch umweltfreundliche Produkte rechtlich gefordert sein. Daher ist in speziellen Einsatzgebieten, wie beispielsweise der Landwirtschaft, ein Substitutionsprodukt zu den Kunststoffen zu finden. Aus diesem Grund soll der hier durchgeführte Rotteversuch zeigen, dass sich Papierschnüre als mögliches Substitutionsprodukt zu Kunststoffschnüren anbieten. Dazu wird die Abbaubarkeit der Kunststoff- und Papierschnüre verglichen und anhand einer Auswertung werden die Ergebnisse kritisch hinterfragt und Schlussfolgerungen gezogen.

Abstract

Life-Cycle-Analysis for plastic and paper cords in the agriculture sector

This diploma thesis aims to compare the composting behaviour of different plastic products with that of paper products. Therefore, three composters (blank value, paper and plastic) were prepared, continuously sampled and the results were compared. At present, plastic products such as cords and binders are used in agriculture for securing plants (e.g. grapes in vineyards). However the use of plastic products can be considered to be problematic from standpoint of ecology due to the fact that the biodegradability of plastic is poor to non biodegradable and the materials contain dangerous contents (e.g. metal compounds). In the future in the sense of "sustainable development" environment-friendly products will be required. Hence, in special fields of application, such as agriculture, a substitution product for plastics has to be found. For this reason the composting behaviour should prove whether paper cords could be a suitable substitution product for the currently used plastic cords. Therefore, the biodegradability of plastic and paper cords are compared and the results of this study are discussed critically, and consequences are drawn.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	4
1.1 Problemstellung	4
1.2 Zielsetzung	4
2 MARKTSITUATION	6
2.1 Marktgeschehen und Preisbildung	6
2.1.1 Grundlagen der Rohstoffnachfrage	6
2.1.2 Grundlagen des Rohstoffangebots	8
2.1.3 Preisbildung	9
2.1.4 Verschiebung von Angebot und Nachfrage	10
2.2 Zellstoff-, Papier- und Kunststoffmarkt	11
3 NACHHALTIGKEIT	14
3.1 Ökologische Verantwortung	15
3.2 Ökonomische Verantwortung	16
3.3 Soziale Verantwortung	18
3.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen	19
4 PAPIER	21
4.1 Einsatzstoffe	21
4.2 Gewinnung und Transport des Rohstoffes Holz	21
4.3 Fasereigenschaften und Faseraufbau	22
4.3.1 Holzstoff	24
4.3.1.1 Holzschliff	24
4.3.1.2 Refinerholzstoff	25
4.3.2 Zellstoff	26
4.4 Produktionsablauf	26
4.4.1 Papiermaschine	28
4.5 Papiereigenschaften	29
4.6 Papierrecycling	29
4.6.1 Altpapier	30

5	KUNSTSTOFF	31
5.1	Einsatzstoffe	31
5.2	Gewinnung und Transport des Rohstoffs Erdöl	31
5.3	Eigenschaften der Standardkunststoffe	34
5.3.1	Polyethylen (PE).....	35
5.3.2	Polypropylen (PP).....	35
5.3.3	Polyvinylchlorid (PVC).....	35
5.3.4	Polystyrol (PS).....	36
5.4	Herstellung der Standardkunststoffe.....	36
5.4.1	Radikalische Polymerisation.....	37
5.4.2	Ionische Polymerisation.....	39
5.4.2.1	Kationische Polymerisation	40
5.4.2.2	Anionische Polymerisation	42
5.4.3	Ziegler-Natta-Polymerisation	44
5.5	Produktherstellung.....	46
5.5.1	Extrusion.....	46
5.5.2	Spritzgießen	47
5.6	Biologisch abbaubare Kunststoffe.....	49
5.6.1	Biologisch abbaubare Kunststoffe pflanzlichen Ursprungs	50
5.6.1.1	Cellulose und Cellulosederivate	50
5.6.1.2	Stärke	50
5.6.2	Biologisch abbaubare Kunststoffe durch Mikroorganismen	51
5.6.2.1	Polyhydroxyalkanolate (PHA).....	51
5.6.2.2	Polymilchsäure (PLA).....	51
5.6.3	Biologisch abbaubare Kunststoffe – Mischung aus fossilen und nachwachsenden Rohstoffen (Stärkeblends).....	51
5.6.4	Biologisch abbaubare Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen.....	52
5.7	Kunststoffrecycling.....	52
6	WEINBAU UND TOMATENZUCHT	53
6.1	Allgemeines über Weinbau	53
6.2	Allgemeines über Tomatenzucht.....	55
6.3	Flächenverbrauch	57
7	BEGRIFFSDEFINITIONEN PROBENAHEME UND KOMPOSTIERUNG	60

7.1	Prüfgut	60
7.2	Probe	60
7.3	Repräsentative Probenahme	60
7.4	Fehlerarten	60
7.5	Probeverjüngung.....	61
7.6	Beschreibung der Probenahmergebnisse.....	62
7.7	Kompostierung.....	63
8	ROTTEVERSUCH.....	65
8.1	Kunststoffprodukte.....	65
8.1.1	TEWE [®] -Erntegarn	66
8.1.2	Agriflex [®] -Schnur	66
8.1.3	Drehbinder.....	67
8.2	Papierprodukte.....	67
8.2.1	Papierschnur	67
8.2.2	ECO-BioClip [®]	69
8.3	Versuchsaufbau	69
9	ERGEBNISSE/ DISKUSSION	73
9.1	TEWE [®] -Erntegarn.....	73
9.2	Agriflex [®] -Schnur.....	75
9.3	Drehbinder	77
9.4	Papierschnur.....	78
9.5	ECO-BioClip [®]	81
9.6	Ergebnisse.....	83
10	ZUSAMMENFASSUNG	85
11	VERZEICHNISSE	86
11.1	Literatur.....	86
11.2	Abkürzungsverzeichnis	90
11.3	Tabellen	91
11.4	Abbildungen.....	92
ANHANG A	I

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Zurzeit werden in der Landwirtschaft hauptsächlich Kunststoffprodukte (Schnüre, Drehbinder) für das Anbinden von Pflanzen verwendet. Erdöl, welches zur Herstellung von Kunststoffen benötigt wird, ist allerdings ein nicht regenerierbarer Rohstoff, dessen Gewinnung und Transport mit hohen Kosten verbunden ist.

Zudem ist der Einsatz von Kunststoffprodukten in der Landwirtschaft problematisch, da Kunststoffe meist schwer bis nicht abbaubar sind und andererseits teilweise gefährliche Inhaltsstoffe wie beispielsweise Metallverbindungen aufweisen.

Da für Kunststoffe, welche in der Landwirtschaft verwendet werden, ein Recycling nur erschwert möglich ist, wird man sie zukünftig, in Bezug auf nachhaltiges Wirtschaften, durch andere, umweltfreundlichere Stoffe ersetzen müssen. Durch rechtliche Rahmenbedingungen könnte ein Substitutionsprodukt in Zukunft sogar gefordert werden.

Eine mögliche Alternative wäre der Einsatz von Papierschnüren in der Landwirtschaft, welche eine höhere ökologische Effizienz aufweisen. Papier wird aus dem regenerativen Rohstoff Holz gewonnen und es ist eine biologische Abbaubarkeit, sowie ein relativ einfaches stoffliches Recycling, gegeben.

In Bezug auf nachhaltige Entwicklung wäre die Umstellung auf Papierschnüre in der Landwirtschaft sicherlich anzuraten, denn der kontinuierlich steigende Ölpreis wird zukünftig sicherlich zu starken Preiserhöhungen bei Kunststoffprodukten führen.

Zusätzlich ist zu beachten, dass die Erdölreserven in absehbarer Zeit erschöpft sein werden. Deshalb ist es sinnvoll schon jetzt wirtschaftlich verwendbare Substitute herzustellen, um nach dem Prinzip der „schwachen“ Nachhaltigkeit auch den Bedürfnissen zukünftiger Generationen zu entsprechen.

1.2 Zielsetzung

In dieser Arbeit, deren Projektablauf mittels Zeitplan in Abbildung 1 dargestellt ist, wird mit Hilfe eines Rotteversuchs das Verhalten von verschiedenen Arten von Kunststoffschnüren mit jenem einer Papierschnur der Firma Ecofil[®] verglichen. Der Versuchsablauf soll darstellen, dass sich diese Papierschnur als mögliches Substitutionsprodukt für Kunststoffschnüre eignet, bzw. diese sogar ersetzen kann, da sie sowohl bei der Produktion als auch beim Recycling umweltfreundlicher ist.

Des Weiteren wird in dieser Arbeit auch noch das Kompostierverhalten von Drehbindern aus Kunststoff, welche ebenfalls in der Landwirtschaft Verwendung finden, mit dem von Clips

(ECO-BioClips[®]) aus Milchsäure und Kartoffelstärke verglichen, um auch hier ein mögliches Substitutionsprodukt zu finden.

Die Ergebnisse des Kompostiersversuchs, vor allem biologische Abbaubarkeit, das Verhältnis Kohlenstoff: Wasserstoff: Stickstoff (C:H:N), Trockensubstanz (TS), Atmungsaktivität nach 7 Tagen (AT₇) und optische Eigenschaften werden im Zuge der Arbeit gesammelt, ausgewertet, dargestellt und am Ende der Arbeit kritisch hinterfragt.

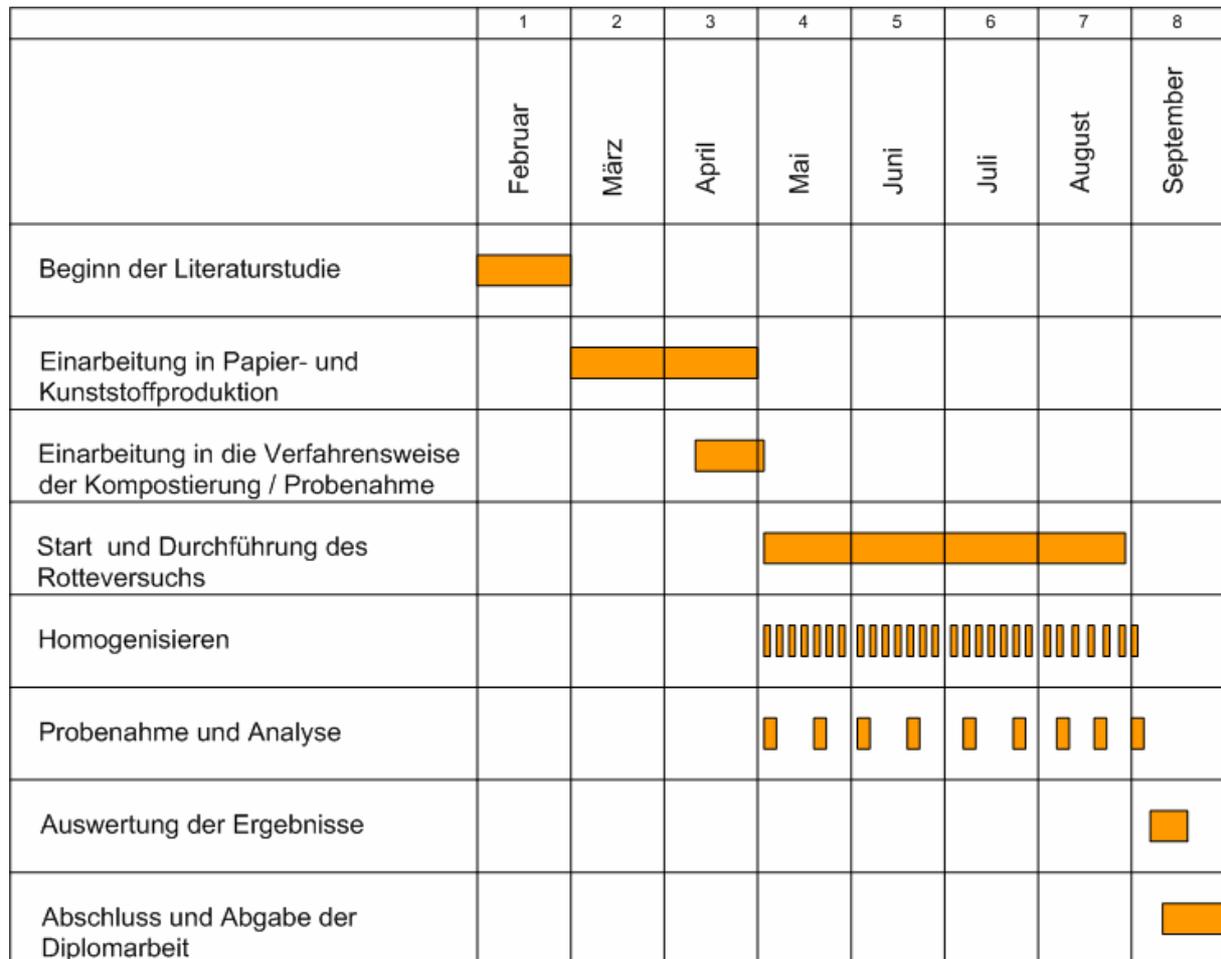


Abbildung 1: Projektablauf in Balkenplandarstellung

2 Marktsituation

In diesem Kapitel wird auf das Marktgeschehen, speziell auf die Grundlagen der Rohstoffnachfrage und des Rohstoffangebots sowie auf die Preisbildung und das Verhalten bei einer Verschiebung von Angebot und Nachfrage im Allgemeinen näher eingegangen.

2.1 Marktgeschehen und Preisbildung

Märkte sind Orte des Zusammentreffens von Angebot und Nachfrage. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen polypolistischen und oligopolistischen Märkten [1, S. 2ff].

Liegen viele Anbieter und Nachfrager vor, spricht man von polypolistischen Märkten. Gibt es jedoch nur wenige Anbieter liegt ein oligopolistischer Markt vor. Bei den meisten Märkten handelt es sich um polypolistische Märkte (z.B.: Holz- und Zellstoff sowie Papiermarkt). Es gibt nur wenige Rohstoffe (z.B.: Rutil, Erdöl und Bor) bei denen ein Angebotsoligopol vorliegt.

Um Preisbeeinflussung und den Spielraum für absatzpolitische Maßnahmen zu minimieren, muss man die Einhaltung folgender Punkte anstreben: [1, S. 5f]

- alle Güter sind gleichwertig
- alle Marktteilnehmer handeln nach dem ökonomischen Prinzip
- die betroffenen Betriebe können sich den Marktverhältnissen sehr rasch anpassen
- es liegt völlige Markttransparenz vor

Werden die oben genannten Grundregeln eingehalten liegt ein „vollkommener“ Markt vor.

2.1.1 Grundlagen der Rohstoffnachfrage

Die Nachfrage nach Konsumgütern ist direkt abhängig von der Kaufentscheidung der Konsumenten. Bei normalen Gütern geht die Nachfrage bei sinkendem Einkommen zurück und vice versa, nur bei inferioren Gütern (z.B.: billige Lebensmittel wie Reis und Kartoffel) geht die Nachfrage bei steigendem Einkommen zurück.

Zudem nehmen folgende Rahmenbedingungen Einfluss auf die Nachfrage: [2, Kap. 4, S. 3]

- Wirtschaftsleistung und demografische Entwicklung
 - BIP (Bruttoinlandsprodukt)
 - Größe der Bevölkerung
 - Pro-Kopf-Einkommen (BIP/capita)

- Preis
 - der eigene Preis des Rohstoffes
 - der Preis von Substituten und Komplementärgütern
- Technologischer Fortschritt
 - Effizienz des Rohstoffeinsatzes
 - neue Einsatzgebiete/Substitution
- Konsumentenpräferenz
 - z.B.: Papier statt Kunststoff
 - z.B.: Holz statt mineralische Baustoffe
 - z.B.: Gasheizung statt Kohle
- Regierungsaktivitäten
 - Deponiegebühren
 - Öffentliche Ausgaben
 - Gesetzliche Rahmenbedingungen (Emissionshandel, Luftreinhaltegesetz)
- Recycling
 - Wiederverwertung von Alt- und Abfallstoffen reduziert den Bedarf an Primärrohstoffen
 - Downcycling bei Altpapierverwertung

In Abbildung 2 ist die Güternachfragefunktion dargestellt, welche den Zusammenhang zwischen dem Preis eines Gutes und der nachgefragten Menge verdeutlicht.

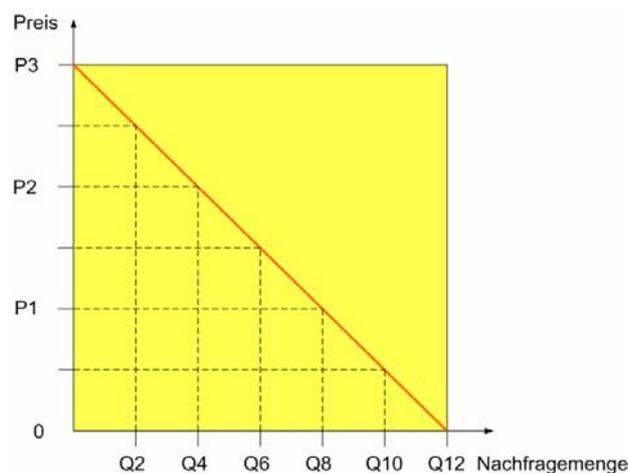


Abbildung 2: Nachfragefunktion

Wie in Abbildung 2 ersichtlich hat die Nachfragefunktion eine inverse Gestalt (die Funktion fällt von links oben nach rechts unten), bedingt durch die beiden folgenden Aspekte:

- Einkommenseffekt
- Substitutionseffekt

Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich einerseits bei steigendem Produktpreis gewisse Kunden das Produkt nicht mehr leisten können (Einkommenseffekt), oder andererseits auf billigere Substitute umsteigen (Substitutionseffekt).

2.1.2 Grundlagen des Rohstoffangebots

Grundlage der Angebotsfunktion, welche in Abbildung 3 dargestellt ist, stellt die Tatsache dar, dass die angebotene Menge eines Gutes bei steigendem Preis zunimmt.

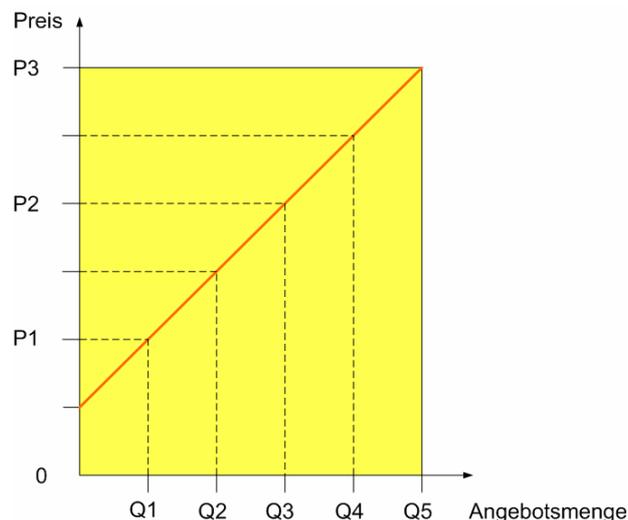


Abbildung 3: Angebotsfunktion

Anhand der Angebotsfunktion können sowohl Preisprognosen (Abschätzung des zukünftigen Produktpreises), wie auch Wettbewerbsanalysen (Feststellung der Wirtschaftlichkeit des jeweiligen Betriebes) durchgeführt werden.

Der Preis eines Produktes entspricht schließlich den Produktionskosten des letzten (marginalen) Anbieters, der gerade noch notwendig ist, um den erwarteten zukünftigen Bedarf zu decken.

Im Folgenden werden die Bestimmungsgrößen des Angebots, sowohl erhöhende wie auch senkende, dargestellt: [2, Kap. 5, S. 1]

- Preis des Produktes (mit steigendem Preis können marginale Anbieter wirtschaftlich produzieren, und somit steigt das Angebot und vice versa)

- Produktionskosten (steigende Kosten reduzieren den Gewinn und damit das Angebot)
- Technologischer Fortschritt (dieser Fortschritt reduziert Produktionskosten, wodurch das Angebot steigt)
- Produktionsstörung (Streiks und Produktionsengpässe können das Angebot temporär unterbrechen oder vermindern)
- Regierungsaktivitäten (die Regierung kann sowohl kostenerhöhende Maßnahmen, die das Angebot mindern (z.B.: Steuern), wie auch kostensenkende Maßnahmen, welche das Angebot erhöhen (z.B.: Subventionen), anordnen)
- Recycling (eine Wiederverwertung von Alt- und Abfallstoffen führt in der Regel zu einer Erhöhung des Angebots)

2.1.3 Preisbildung

Die Gegenüberstellung von Angebots- und Nachfragefunktion führt zum Marktgleichgewicht, welches in Abbildung 4 dargestellt ist.

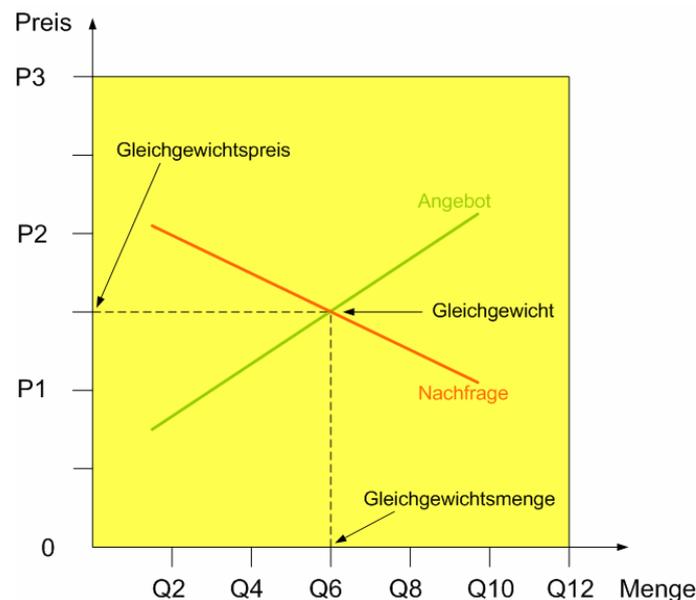


Abbildung 4: Marktgleichgewicht

Das Marktgleichgewicht existiert nur im Schnittpunkt der Angebots- und Nachfragefunktion. Der am Schnittpunkt vorliegende Preis, der „Gleichgewichtspreis“, ist der wirtschaftlich gesehen effizienteste Preis, weil er zur völligen Markträumung führt [1, S. 15ff].

Folgende Gesetzmäßigkeiten können von der Gegenüberstellung der Angebots- und Nachfragefunktion abgeleitet werden:

- Anbieter rechts vom Gleichgewicht sind vom Markt ausgeschlossen, da ihre hohen Produktionskosten nicht durch den „Gleichgewichtspreis“ gedeckt sind.
- Nachfrage rechts vom Gleichgewicht ist ebenfalls ausgeschlossen, da sie den kostendeckenden Preis nicht bezahlen kann.
- Nachfrage links vom Gleichgewicht genießt eine „Konsumentenrente“, da sie bereit gewesen wäre einen höheren Preis zu bezahlen.
- Anbieter links vom Gleichgewicht genießen eine „Produzentenrente“, da ihre Produktionskosten unter dem Gleichgewichtspreis liegen.

Neben dem Marktgleichgewicht können noch zwei andere Szenarien vorliegen, welche sich wie folgt darstellen: [1, S. 15ff]

- Angebotsüberhang (bei einem höheren Preisniveau werden Produzenten eine höhere Menge ihrer Produkte anbieten, aufgrund des hohen Preises wird die Nachfrage jedoch sinken (Nachfragedefizit))
- Angebotsdefizit (bei einem niedrigen Preisniveau werden die Produzenten eine geringe Menge ihrer Produkte anbieten, aufgrund des niedrigen Preises wird die Nachfrage jedoch steigen (Nachfrageüberhang))

2.1.4 Verschiebung von Angebot und Nachfrage

Sowohl technische wie auch wirtschaftliche Veränderungen können zu einer Verschiebung der Angebots- und Nachfragefunktion führen.

Eine Ursache für die Verschiebung der Nachfragekurve nach rechts stellt der Konjunkturaufschwung dar. Bei gleich bleibendem Angebot führt dies zu einer Preiserhöhung. Die Verschiebung der Nachfragekurve nach links wird durch eine Rezession hervorgerufen, welche bei gleich bleibendem Angebot zu einer Preissenkung führt [1, S. 15ff].

Die Verschiebung der Angebotsfunktion nach rechts wird durch Erhöhung der Produktionskapazitäten herbeigeführt. Bei gleich bleibender Nachfrage wird in diesem Fall der Preis sinken. Die Verschiebung der Angebotsfunktion nach links wird zum Beispiel durch Streiks hervorgerufen, welche bei gleicher Nachfrage zu einer Preiserhöhung führen [1, S. 15ff].

Die Höhe der Preisänderung infolge der Verschiebung von Angebots- und Nachfragefunktion ist wesentlich von der Steigung (Preiselastizität) der Angebots- und Nachfragekurve abhängig.

In Abbildung 5 ist eine hohe Preissteigerung aufgrund eines Angebotsrückgangs und einer Nachfragerhöhung dargestellt.

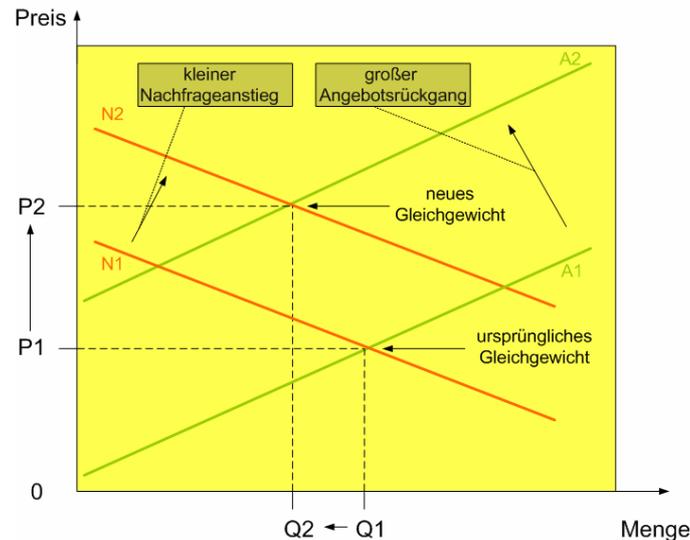


Abbildung 5: Verschiebung von Angebot und Nachfrage

2.2 Zellstoff-, Papier- und Kunststoffmarkt

Die österreichische Papierindustrie umfasst 24 Unternehmen mit 28 Betrieben, welche jährlich rund fünf Millionen Tonnen Papier produzieren [3, S. 11]. Es ist ein Industriezweig der sehr kapital- und energieintensiv ist und die anfallenden Kosten der Papierproduktion setzen sich wie folgt zusammen: [3, S.12]

- 40% Roh- und Halbstoffe (hauptsächlich Fasern)
- 20% Personal
- 10% Energie
- 10% Abschreibungen
- 10% Vertrieb (inklusive Transport)
- 10% Umweltschutz

Von den 24 österreichischen Papierproduzenten sind knapp die Hälfte „große“ Papiererzeuger, die mehr als 100.000 Tonnen Papier jährlich herstellen [3, S.11]. Zu diesen Großunternehmen zählen unter anderem: [3, S.11]

- Hallein Papier GmbH
- W. Hamburger AG

- SCA Laa Kirchen AG
- Steyrermühl Papierfabriks- und Verlags- AG
- KNP Leykam Austria AG
- Norske Skog Bruck GmbH

Neun der 24 österreichischen Papiererzeuger produzieren außerdem Zellstoff und vier Betriebe sind auch Holzstofferzeuger [3, S. 11]. In 18 Betrieben wird zur Papiererzeugung auch Altpapier verwendet [3, S. 11].

Die österreichische Papierindustrie verarbeitet jährlich rund zwei Millionen Tonnen Altpapier, dessen durchschnittlicher Preis 80 Euro/Tonne entspricht [4].

Nicht nur in Bezug auf Nachhaltigkeit werden hohe Mengen an Altpapier verarbeitet, denn im Vergleich zu Frischfasern aus Holz, welche durchschnittlich 470 Euro/Tonne kosten, stellt das relativ günstige Altpapier einen wirtschaftlich attraktiven Sekundärrohstoff dar [4].

Aufgrund des hohen Altpapiereinsatzes in der österreichischen Papierproduktion, der beträgt rund 44,1 %, ist eine ausreichende Preisdifferenz zu den jeweiligen Endprodukten gegeben und somit eine wirtschaftliche und konkurrenzfähige Papierproduktion möglich [3, S. 52].

Im Folgenden werden die wichtigsten Produkte der Papierindustrie, deren Preise und Altpapieranteil aufgelistet: [3, S. 52]

- Graphische Papiere haben einen durchschnittlichen Preis von 700 Euro/Tonne und einen Altpapiereinsatz von rund 14,8 %.
- Zeitungsdruckpapiere haben einen durchschnittlichen Preis von 480 Euro/Tonne und einen Altpapiereinsatz von rund 83,9 %.
- Karton und Packpapiere haben einen durchschnittlichen Preis von 370-400 Euro/Tonne und einen Altpapiereinsatz von rund 88,8 %.

Dem gegenüber steht ein relativ junger Kunststoffmarkt, welcher in Österreich durch den Kunststoffhersteller-Verband vertrieben wird. In etwa 1.000 Unternehmen der Rohstoffproduzenten, Kunststoffverarbeiter und Maschinenproduzenten sind ca. 24.000 Menschen beschäftigt und diese Betriebe erwirtschaften einen Umsatz von rund 4,4 Milliarden Euro jährlich [5, S. 14].

Im Vergleich zum Papier- und Zellstoffmarkt ist der Kunststoffmarkt jedoch ein internationaler Markt. Die Standardkunststoffe, Polyethylen und Polypropylen werden sogar an der London Metal Exchange (LME), einer internationalen Börse, gehandelt. Im Folgenden sind die Kunststoffpreise an der LME dargestellt: [6]

Polyethylen (low density)..... 1.200 Euro/Tonne

Polypropylen (low density)..... 1.150 Euro/Tonne

Die Kunststoffpreise sind jedoch im hohen Maß vom Erdölpreis abhängig, welcher in den letzten Jahren stark angestiegen ist und zurzeit rund 57,0 Euro/Fass, wobei ein Fass 159 Litern entspricht, beträgt [7]. Diese hohen Zusatzkosten können nur teilweise an die Abnehmer weitergegeben werden, wodurch die wirtschaftliche Situation von Kunststoffproduzenten verschlechtert wird.

3 Nachhaltigkeit

Der Begriff „Nachhaltigkeit“ wurde zu Beginn des 18. Jahrhunderts zum ersten Mal im Zusammenhang mit der Forstwirtschaft definiert. Die damals anhaltende Holzknappheit führte zum ersten Nachhaltigkeitskonzept, welches festlegte, dass man nur soviel Holz schlagen durfte, wie durch Wiederaufforstung nachwachsen konnte. Somit bedeutete Nachhaltigkeit in der Forstwirtschaft den Waldbestand als natürliche Ressource für die Holzwirtschaft auf Dauer zu sichern [8, S. 455f].

Der heutige Begriff der Nachhaltigkeit (Sustainable Development), welcher den gleichen Grundgedanken als Basis hat, wurde von der UN-Kommission, unter Führung der früheren norwegischen Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland in „Our Common Future“, im Jahr 1987 definiert. Aus dieser Sicht bedeutet Nachhaltigkeit, den Bedürfnissen der heutigen Generation zu entsprechen, ohne die Möglichkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen [9, S. 43ff].

Die Brundtland-Kommission definierte „Sustainable Development“ über zwei Hauptaspekte:

- Befriedigung der Grundbedürfnisse (essential needs) der Armen weltweit
- Begrenzte Naturressourcen sollen auch zukünftigen Generationen zur Verfügung stehen (Generationengerechtigkeit)

Vorteil dieser Nachhaltigkeitsdefinition ist die Ganzheitlichkeit ihrer Betrachtungsweise und ihre grundsätzliche Anwendbarkeit. Zudem können folgende Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden: [10, S. 58f]

- Das Niveau der Abbaurate erneuerbarer Ressourcen darf ihre Regenerationsrate nicht übersteigen.
- Das Niveau der Emissionen darf nicht höher liegen als die Assimilationskapazität der betroffenen Ökosysteme.
- Der Verbrauch nicht regenerierbarer Ressourcen muss durch eine entsprechende Erhöhung des Bestandes an regenerierbaren Ressourcen kompensiert werden.
- Eine Selbststabilisierung der Natur muss gewährleistet sein.
- Intragenerative Gerechtigkeit (alle Menschen einer Generation haben die gleichen Rechte und Chancen).
- Intergenerative Gerechtigkeit (Ausgleich der Bedürfnisbefriedigung aller Generationen).

Grundsätzlich muss man um ökologische Gerechtigkeit zu erreichen parallel dazu auch ökonomische Sicherheit und soziale Gerechtigkeit anstreben. Dies führt zum Drei-Säulen-Konzept, welches in Abbildung 6 dargestellt ist.

Dieses Konzept hat nicht nur den langfristigen Schutz von Umwelt und Ressourcen, sondern gleichermaßen auch die Verwirklichung sozialer und ökonomischer Gerechtigkeit zum Ziel.

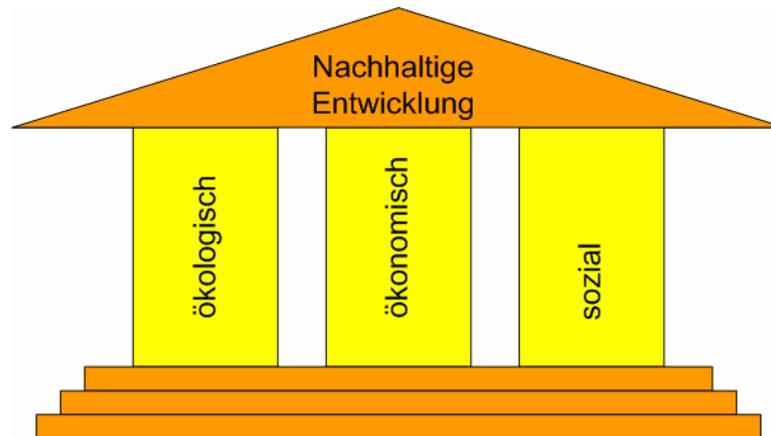


Abbildung 6: Drei Säulen Konzept

3.1 Ökologische Verantwortung

Die ökologische Verantwortung wird in zwei Bereiche unterteilt, in vorsorgende und nachsorgende Umweltschutztechniken, welche hier kurz beschrieben werden:

- „End of pipe“-Technologie: Hierbei werden die Emissionen erst nach deren Entstehung vermindert, normalerweise in Form von Abfallbehandlungsverfahren für feste und flüssige Reststoffe, Wasseraufbereitungsanlagen und Rauchgasreinigungsverfahren, was man auch nachsorgenden Umweltschutz nennt.
- Integrierte Umweltschutz-Technologie: Hierbei versucht man das Entstehen der Schadstoffemissionen grundsätzlich zu verhindern, z.B.: durch Substitution von Koks durch Wasserstoff als Reduktionsmittel bei Metallgewinnungsverfahren. Beim integrierten Umweltschutz findet aber oft nur eine regionale Verschiebung der Emissionsproblematik statt, indem die CO₂-Emissionen am Ort der Wasserstoffherstellung entstehen und nicht mehr im Betrieb, indem die Reduktion stattfindet, was man auch vorsorgenden Umweltschutz nennt.

Ziel hierbei ist es einerseits schädliche Umwelteinwirkungen zu vermeiden und wo das nicht möglich ist diese Umwelteinwirkungen zu verringern und andererseits die Umweltleistung des Unternehmens zu verbessern.

Durch Einführung von verbesserten Emissionsminderungstechniken sollen unvermeidbare Schadstoffemissionen verringert werden. Folgende Maßnahmen sind hierfür zu ergreifen:

- Erhöhung der Reaktionskinetik durch Einsatz verbesserter Katalysatoren
- Einstellung optimaler Reaktionsbedingungen (Druck, Temperatur)
- Einsatz mehrerer Emissionsminderungsaggregate, um Abscheidegrade zu erhöhen

Die Anwendung von additiven Umweltschutzmaßnahmen ist zumeist unumgänglich, weil die Entstehung gewisser Schadstoffe nicht vermieden werden kann, es ergeben sich jedoch folgende Nachteile:

- Nachgeschaltete Umweltschutztechniken greifen erst am Ende des Produktionsprozesses ein, wenn die Schadstoffe schon entstanden sind.
- Bei Störfällen besteht die Gefahr das bei nachgeschaltete Umweltschutztechniken umweltschädliche Schadstoffe freigesetzt werden.
- Die angereicherten Schadstoffe müssen oft nachbehandelt und danach deponiert werden, dies führt zu Kosten, die sich auf die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens negativ auswirken können.

Aus diesen Gründen entwickelte sich der integrierte Umweltschutz, welcher, im Idealfall, zusätzlich zum nachsorgenden Umweltschutz betrieben wird. Im Vergleich zum additiven Umweltschutz versucht man bei integrierten Umweltschutztechniken die Entstehung von Schadstoffen zu vermeiden, wobei folgende Maßnahmen eingesetzt werden:

- Energieeffiziente und materialeffiziente Prozesse
- Substitution umweltgefährdender Stoffe
- Kreislaufschließung und Stoffstrommanagement

Integrierte Umweltschutzmaßnahmen verursachen im Vergleich zu nachgeschalteten Umweltschutzmaßnahmen hohe Investitionskosten, bewirken jedoch zumeist niedrigere Betriebskosten, aufgrund der höheren Material- und Energieeffizienz.

3.2 Ökonomische Verantwortung

Grundlagen der ökonomischen Verantwortung stellen sowohl der Shareholder-Value wie auch der Stakeholder-Value und das Marktgleichgewicht dar [11, Kap. 1, S. 17f].

Beim Shareholder-Value stehen die Interessen der Kapitalgeber im Vordergrund und das Ziel dieses Ansatzes ist es eine Maximierung des Wertes des Eigenkapitals zu erreichen.

Der „ökonomische“ Wert einer Investition ergibt sich hierbei durch eine kurzfristige Gewinnmaximierung und einer Erhöhung des Eigenkapitals [11, Kap. 1, S. 17f].

In Bezug auf eine nachhaltige Unternehmensführung ist die Einführung des Stakeholder-Values jedoch besonders wichtig. Im Gegensatz zum Shareholder-Value hat der Stakeholder-Value die langfristige Existenzsicherung der Unternehmung zum Ziel. Der Stakeholder-Value ist ein anspruchsvoller Ansatz, welcher viel Zeit und Verantwortung beansprucht, um umgesetzt zu werden [11, Kap. 1, S. 32].

In Tabelle 1 sind die Ausprägungen der beiden Ansätze, des Shareholder- und Stakeholder Values einander gegenübergestellt [11, Kap. 1, S. 32].

Tabelle 1: Shareholder Value vs. Stakeholder Value

Shareholder Value v. Stakeholder Value		
	Shareholder Value Modell	Stakeholder Value Modell
Schwerpunkt	Profitabilität vor Verantwortung	Verantwortung vor Profitabilität
Unternehmen ist	Zweck zur Gewinnmaximierung	Sozioökonomisches System
Im Vordergrund steht	Maximierung der Interessen der Kapitalgeber	Werte für alle Stakeholder schaffen
Langfristiges Ziel	Maximierung des Shareholder Value	Sicherung der langfristigen Überlebensfähigkeit, Entwicklung und Wachstum
Stakeholdermanagement	Zweck	Ziel und Zweck
Der Gesellschaft wird gedient durch	Verfolgung der Eigeninteressen	Verfolgung gemeinsamer Interessen

Das Marktgleichgewicht, welches bereits in Kapitel 2 näher beschrieben wurde, ist eine weitere Kenngröße der ökonomischen Verantwortung. Die Kenntnis von Angebots- und Nachfragefunktion ist hier deshalb so wichtig, weil die Aufwendungen für ökologische und soziale Verbesserungen im Unternehmen in der Regel zu einer Verschiebung der Angebotsfunktion führen. Wie in Abbildung 7 ersichtlich, kommt es durch die Einführung von Nachhaltigkeitsstrategien zu Kosten, welche zu einem höheren Gleichgewichtspreis führen [1, S.15ff].

Aus dieser Erkenntnis über das Marktgleichgewicht und die Preiselastizität erreicht man eine gültige Abschätzung für Preis- und Mengenschwankungen, aufgrund von Umweltschutz- und Sozialkosten, und erleichtert somit wichtige strategische Entscheidungen.

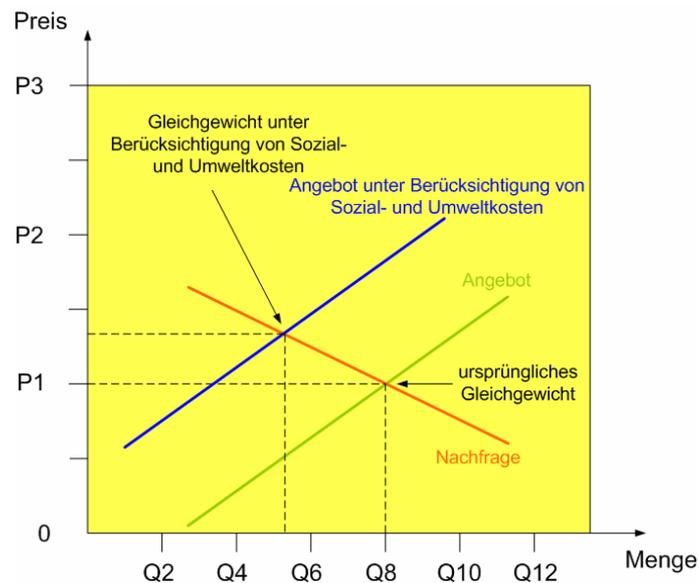


Abbildung 7: Marktgleichgewicht unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskosten

3.3 Soziale Verantwortung

Grundsätzlich handelt es sich bei sozialer Verantwortung um ein freiwilliges Engagement, welches über die gesetzlichen Bestimmungen hinausgeht. Die soziale Verantwortung eines Unternehmens bezieht sich in der Regel auf Mitarbeiterbeziehungen beziehungsweise Arbeitsbedingungen, auf die Beziehung zu Stakeholdern und die Berücksichtigung von Menschenrechten [12, S. 15].

Die Einhaltung bestehender gesetzlicher Vorschriften wird im Allgemeinen als Selbstverständlichkeit angesehen, die der sozialen Verantwortlichkeit von Unternehmen vorgelagert ist.

Als zentrale Themen der sozialen Verantwortlichkeit sind in Zukunft vor allem die Bekämpfung der anhaltenden Armut und die wachsende Kluft zwischen Industrie- und Entwicklungsländern zu nennen. Folgende Punkte werden hierbei eine hohe Priorität einnehmen: [10, S. 30]

- Weltweit leben über 1,4 Milliarden Menschen in existenzieller Armut.
- Weltweit leben über 1,3 Milliarden Menschen ohne sauberes Wasser.
- Weltweit leben über 1,0 Milliarden Menschen ohne feste Unterkunft.

Ziel der sozialen Verantwortung sollte es sein diese soziale „Zerrüttung“ zu vermindern und einen gesellschaftlich fairen Ausgleich zu erreichen.

Zudem verfolgt die soziale Gerechtigkeit auch klassische Themen wie die Messung und Erhaltung der Mitarbeiterzufriedenheit die Sicherung der Arbeitsplätze und die Erhöhung von Image und Reputation des Unternehmens in der Öffentlichkeit.

3.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Nach der Novellierung des Abfallwirtschaftsgesetzes (AWG) im Jahr 2002 ist die Deponierung von Abfällen, die einen höheren organischen Kohlenstoffgehalt (TOC) als 5 Gew. % besitzen oder deren Brennwert 6.000 kJ/kg übersteigt, verboten [13].

Dies führt dazu, dass sowohl Kunststoff- wie auch Papierprodukte einer sorgfältigen Behandlung zugeführt werden müssen, da beide Produktgruppen die oben genannten Grenzwerte überschreiten.

Bei Kunststoffen kann neben einer stofflichen Verwertung (z.B.: Reduktionsmittel im Hochofenprozess) und einem Recycling auch eine thermische Verwertung durchgeführt werden, um den Energieinhalt des Kunststoffes zu nutzen. Des Weiteren ist es möglich eine mechanisch-biologische Aufbereitung anzuwenden, wobei man eine heizwertreiche und eine heizwertarme Fraktion erhält. Die heizwertarme Fraktion kann auf einer Massenabfalldeponie entsorgt werden und die heizwertreiche Fraktion wird einer thermischen Verwertung zugeführt.

Bei Papierabfällen kann neben einem Recycling, einer mechanisch-biologischen Aufbereitung oder einer thermischen Verwertung aufgrund der biologischen Abbaubarkeit von Papierabfällen auch eine Kompostierung angewandt werden. Diese kann man als stoffliche Verwertung betrachten, weil der Kompost wieder als Produkt und nicht als Abfall anzusehen ist.

Bei den Verbrennungsprozessen zur Energiegewinnung entstehen in Abhängigkeit von den Prozessparametern unterschiedliche Mengen an Staub, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Stickoxide und bei Kunststoffen, welche Chlorverbindungen enthalten (z.B.: PVC), auch Dioxine und Furane. Zur Verminderung dieser Luftemissionen werden einerseits Primärmaßnahmen (z.B.: NO_x arme Brenner) und andererseits Sekundärmaßnahmen (Rauchgasreinigung) angewandt. Durch die Forcierung des integrierten Umweltschutzes in den letzten Jahren konnten durch Kreislaufschließung und optimierte Prozesse Luftemissionen stark verringert werden. Jedoch müssen aufgrund der niedrigen Grenzwerte für Luftschadstoffe zusätzlich immer noch additive Maßnahmen gesetzt werden, um die Emissionsgrenzwerte zu unterschreiten.

Zu diesen Verfahren zählen:

- Staubabscheidung (Elektro-, Gewebefilter, etc.)
- Rauchgasentschwefelung
- Stickoxidentfernung
- Nachverbrennung zur Dioxin-, Furan- und Kohlenmonoxidminderung

Zudem wird durch das Emissionszertifikatgesetz, welches am 01.01.2005 in Kraft getreten ist, auch die Minderung von Kohlendioxidemissionen immer wichtiger werden. Dieses Gesetz gilt für treibhausrelevante Schadstoffe und bezieht deren Schädigung auf CO₂-Äquivalente. Die Reduktion der Treibhausgase wird in diesem Gesetz nicht über Grenzwerte sondern über den CO₂-Emissionshandel bestimmt. Durch den Emissionshandel soll auf Basis des Jahres 1990 eine 13 %ige Reduktion der treibhausrelevanten Schadstoffe bis zum Jahr 2012 stattfinden [14].

4 Papier

Im folgenden Kapitel werden die Rohstoffe der Papierherstellung genannt. Außerdem wird auf den Transport vom Rohstoff Holz genauer eingegangen. Es werden die Möglichkeiten von Fasergewinnung aufgelistet und die Eigenschaften der einzelnen Fasern dargestellt. Auch wird die chemische Struktur von den Fasern kurz erklärt und der Produktionsablauf der Papierherstellung von den Fasern bis zum versandfertigen Papier dargestellt. Um den gesamten Lebenszyklus des Papiers darzustellen wird am Ende dieses Kapitels auch noch das Recycling von Papier kurz erwähnt.

4.1 Einsatzstoffe

Die Einsatzstoffe welche bei der Papierherstellung benötigt werden sind: [15, S. 8f]

- Fasern
- Wasser
- Energie
- Hilfsstoffe (Bindemittel, Mineralien, Pigmente, Farbstoffe)

Fasern aus Holz sind der Grundrohstoff für die Papierherstellung. Auch Sägenebenprodukte, wie beispielsweise Hackschnitzel werden zur Herstellung von Holzstoff und Zellstoff verwendet.

4.2 Gewinnung und Transport des Rohstoffes Holz

Abgesehen davon, dass ein Baum einige Jahre bis Jahrzehnte benötigt um „ausgewachsen“ und „schlagreif“ zu sein, ist auch noch die Fläche zu berücksichtigen, die er zum heranwachsen braucht. Zur Papierherstellung werden allerdings auch Hölzer aus ausgeforsteten Schutzwäldern und anfallenden Hackschnitzel sowie Sägenebenprodukte aus anderer Nutzung herangezogen [16, S. 52ff].

Die Transportentfernung die der Rohstoff Holz bis zur Papierindustrie im Durchschnitt zurücklegt liegt bei 140 km. Weiters wiegt ein LKW mit Kran und Allradantrieb, welcher für den Transport von Holz benötigt wird rund 20 Tonnen. Nun aber darf das Gesamtgewicht eines LKWs in Österreich 44 Tonnen nicht überschreiten (sogar nur 40 Tonnen in Deutschland und der Schweiz, aber 60 Tonnen in Schweden und Finnland), woraus man schließen kann, dass das Gewicht des zu transportierenden Holzes nur rund 22 Tonnen betragen darf [16, S. 52ff].

Beim Rohstoff Holz ist es aber heute noch so gut wie unmöglich auf LKWs zu verzichten, da auch beim Transport mit der Bahn oder auf dem Seeweg das Holz zuerst zu den Schienen oder zum Schiff transportiert werden muss. Im Notfall kann Holz allerdings auch auf dem

Luftweg transportiert werden, wobei hier die Kosten allerdings zu hoch sind um diese Art des Transportes auf Dauer zu betreiben [16, S. 52ff].

Der große Vorteil zum Erdöltransport besteht jedoch vor allem in der minimalen Gefährdung der Umwelt, falls es bei diesem Transport zu einem Unfall kommen sollte.

4.3 Fasereigenschaften und Faseraufbau

Die Fasereigenschaften sind je nach Baumart sehr unterschiedlich. So haben Laubhölzer, wie Birke, Eukalyptus, Akazie und Espe beispielsweise kurze Fasern (ca. 1 mm), während Nadelhölzer, wie Fichte oder Kiefer lange Fasern (ca. 3-4 mm) aufweisen. Bäume mit kurzen Fasern finden immer dann Verwendung, wenn eine gute Opazität (Lichtundurchlässigkeit) und Druckqualität gewünscht sind, während Bäume mit längeren Fasern zu Papiersorten verarbeitet werden, bei denen es auf hohe Festigkeit und gute Laufeigenschaften ankommt. Fasern bestehen aus Cellulose, Hemicellulose und Lignin.

Cellulose ist der Hauptbestandteil von pflanzlichen Zellwänden und durch diese Gegebenheit auch eine der häufigsten organischen Verbindungen der Erde, wodurch sie auch eines der häufigsten Polysaccharide (Vielfachzucker) ist. Der chemische Faseraufbau von Cellulose ist in Abbildung 8 ersichtlich [15, S. 8ff].

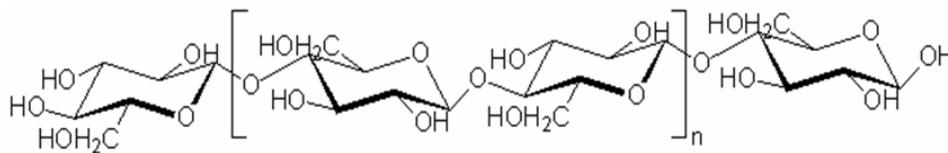


Abbildung 8: Chemische Struktur von Cellulose

Hemicellulose ist ebenfalls Bestandteil der Zellwand pflanzlicher Zellen und dient im speziellen als Stütz- und Gerüstsubstanz. Hemicellulose gehört auch zu den häufigsten Polysacchariden der Erde und die Hemicellulosemoleküle dienen als Abstandhalter zwischen den Cellulosemolekülen. Die chemische Struktur von Hemicellulose ist in Abbildung 9 dargestellt [15, S.8ff].

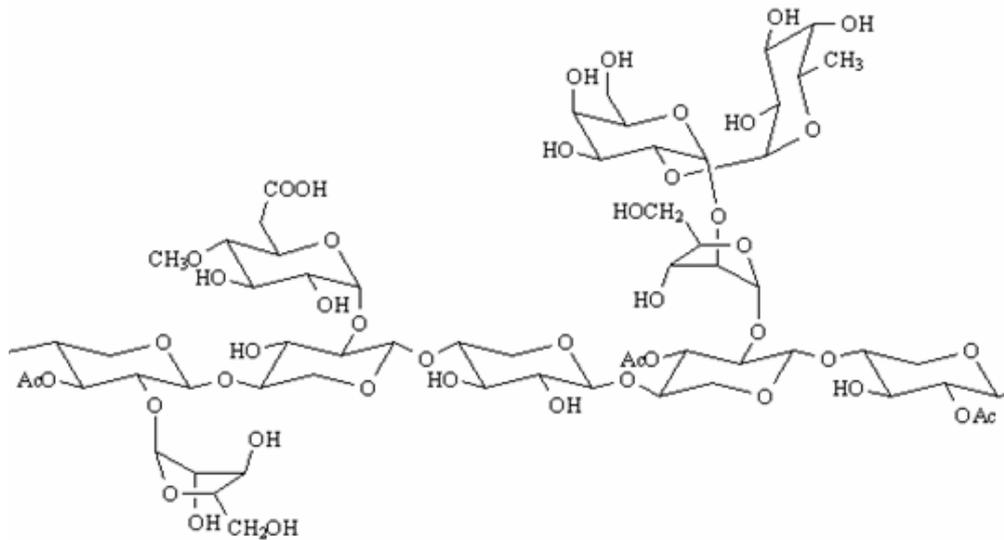


Abbildung 9: Chemische Struktur von Hemicellulose

Lignin ist ein Stoff welcher auch in der pflanzlichen Zellwand vorkommt und dort durch Einlagerung die Verholzung der Zelle bewirkt (Lignifizierung). So wie Cellulose und Hemicellulose zählt auch Lignin zu den häufigsten Polysacchariden der Erde. Der chemische Aufbau von Lignin ist in Abbildung 10 ersichtlich [15, S.8ff].

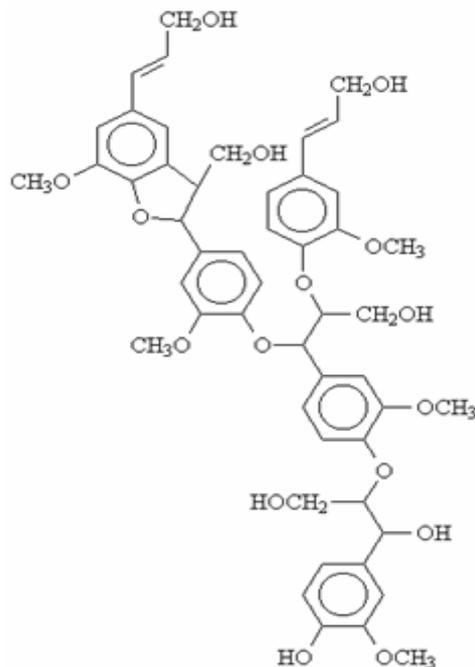


Abbildung 10: Chemische Struktur von Lignin

Weiters unterscheidet man zwischen Holzstoff- und Zellstofffasern welche als Frischfasern (Primärfasern) gelten und den Sekundärfasern, welche aus Altpapier gewonnen werden.

4.3.1 Holzstoff

Holzstoff wird durch die mechanische Zerkleinerung von Holz gewonnen. Dabei unterscheidet man beim Holzstoff zwischen Holzschliff (mechanische Zerkleinerung) und Refinerholzstoff (thermomechanische Behandlung).

Die Vorteile des Holzstoffes sind: [15, S. 12f]

- Ausgezeichnete Faserausbeute (mehr als 90 % des zerkleinerten Holzes werden zu Holzstoff)
- Hohe Opazität (Lichtundurchlässigkeit)
- Gute Eigenschaften der Papieroberfläche

Der Holzstoff weist aber folgende Nachteile auf: [15, S. 12f]

- Geringe Festigkeit
- Vergilben
- Hoher Energieverbrauch (1.500 bis 2.000 kWh je Tonne Halbstoff)

Verwendung findet der Holzstoff bei Produkten die nicht archiviert werden müssen. Dazu zählen Zeitungen, Zeitschriften, Verkaufskataloge, Bücher und Taschenbücher [15, S. 12f].

4.3.1.1 Holzschliff

Beim Holzschliff-Verfahren, welches in Abbildung 11 dargestellt ist, werden Holzprügel unter Zugabe von heißem Wasser an einen rotierenden Schleifstein gepresst. Die raue Steinoberfläche zerkleinert das Holz in Fasern, Faserbruchstücke und feinste Faserpartikel. Das ausgewogene Verhältnis zwischen kurzen und langen Fasern macht die Qualität des Holzschliffs aus. Nach dem Schleifvorgang wird der Faserstoff sortiert, gemahlen, eingedickt und bei Bedarf gebleicht [15, S. 12ff].

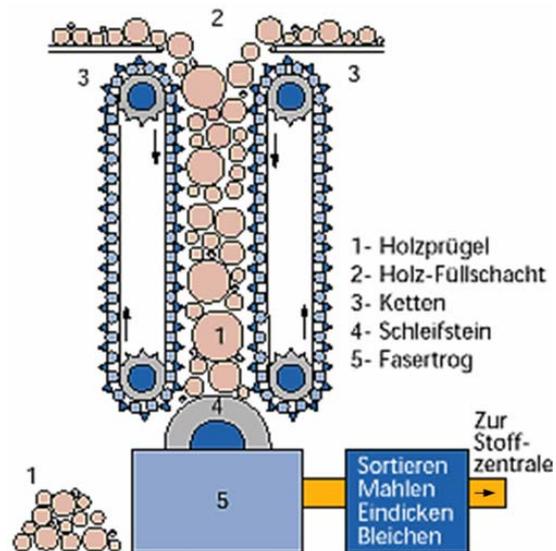


Abbildung 11: Holzschliff-Verfahren

4.3.1.2 Refinerholzstoff

Das Ausgangsmaterial beim Refiner-Verfahren, welches in Abbildung 12 dargestellt ist, sind Hackschnitzel. Das Holz wird im Refiner bei hoher Temperatur unter Zugabe von Wasser gekocht und dann zwischen zwei gegeneinander rotierenden Mahlsteinen zerfasert. Lignin, welches das Papier vergilben lässt, bleibt bei diesem Verfahren in den Fasern größtenteils erhalten. Auch hier wird nach dem Zerfaserungsvorgang der Faserstoff sortiert, gemahlen, eingedickt und bei Bedarf gebleicht [15, S. 12ff].

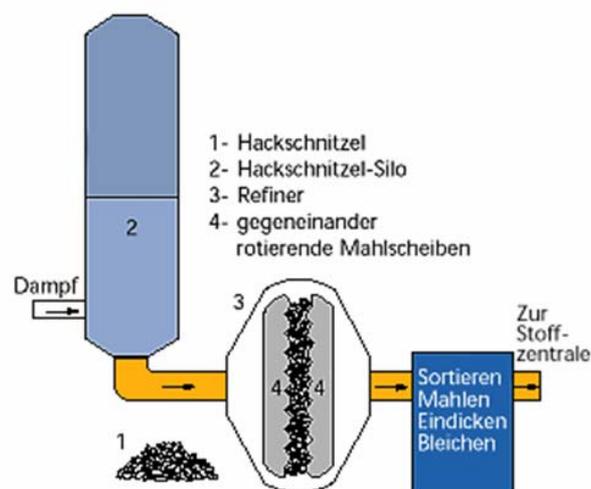


Abbildung 12: Refiner-Verfahren

4.3.2 Zellstoff

Bei der Herstellung von Zellstofffasern, wie in Abbildung 13 ersichtlich, wird das Holz, meist als Hackschnitzel, in einen Kocher chemisch aufgeschlossen. Durch Druck und Erhitzen lösen sich Stoffe wie Harze und Lignine von den Holzfasern. Nach dem Schleifvorgang wird der Faserstoff auch hier sortiert, gemahlen, eingedickt und bei Bedarf gebleicht [15, S. 12ff].

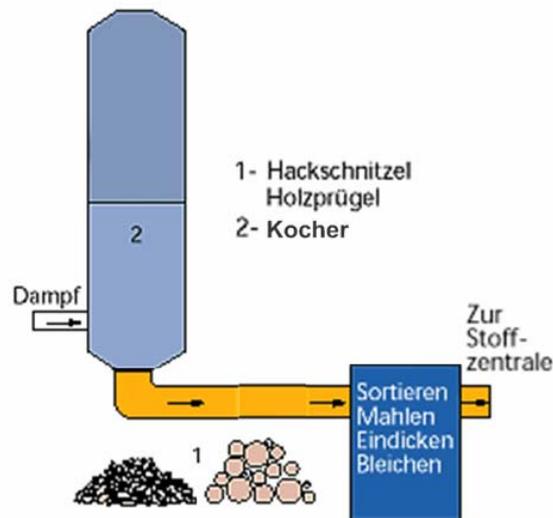


Abbildung 13: Zellstoffherstellung

Die Vorteile von Zellstoff sind: [15, S. 8ff]

- Kein Vergilben
- Gute Bedruckbarkeit
- Zellstoffwerke sind energieautark
- Sehr gute Festigkeit

Zellstoff weist folgende Nachteile auf: [15, S. 8ff]

- Geringe Faserausbeute (60 % des zerhackten Holzes werden zu Zellstoff)
- Mehr Abfälle die gereinigt werden müssen

Zellstoffe werden als Schreibpapier, Druck- und Kopierpapier, Umschläge, technische Papiere, Verpackungen und Hygienepapier verwendet [15, S. 8ff].

4.4 Produktionsablauf

Der Papierherstellungsprozess ist, wie in Abbildung 14 ersichtlich, in mehrere Schritte unterteilt. Im ersten Schritt erfolgt die Mischung von Fasern und Wasser im Stoffauflöser. Der dabei entstehenden Suspension werden vor dem Weiterleiten an den Stoffauflauf noch

Chemikalien zugefügt. Diese Hilfsstoffe reichen von Füllstoffen über optische Aufheller bis hin zu Farbstoffen. Nach der Stoffaufbereitung wird die Faserstoff-Wasser-Suspension an den Stoffauflauf der Papiermaschine gepumpt. Danach dauert es nur wenige Sekunden vom ersten Auftreffen der Faserstoff-Wasser-Suspension auf dem Sieb bis zum fertigen Papier [17, S. 38ff].

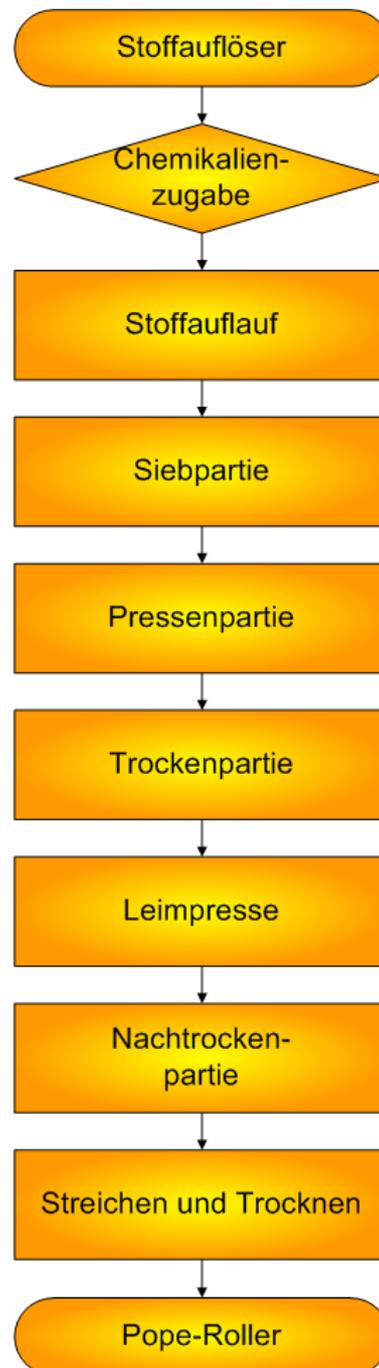


Abbildung 14: Papierherstellung

4.4.1 Papiermaschine

Die Suspension, welche zum Stoffauflauf gepumpt wird, besteht zu 99 % aus Wasser und zu 1 % aus Fasern, Füll- und Hilfsstoffen [17, S. 38].

In der Siebpartie wird die Suspension entwässert und es bildet sich ein Faservlies am Sieb (Blattbildung). Das hier ablaufende Wasser wird aufgefangen und in den Herstellungsprozess zurückgeführt. Der Wassergehalt wird in der Siebpartie von 99 % auf 80 % reduziert [17, S. 38].

Danach wird das Faservlies mit Hilfe von Filzen in die Nasspresse überführt. Im Walzenspalt der Maschine wird das Wasser in die Filze gepresst und der Wassergehalt im Vlies von 80 % auf 50 % reduziert. Durch das Pressen wird das Fasergefüge verdichtet und somit die Faserbindung erhöht [17, S. 40].

Die auf die Presse folgende Trockenpartie besteht aus dampferhitzten Hohlzylindern, welche noch mehr Wasser aus dem Faservlies verdampfen, sodass der Wassergehalt von 50 % auf 3-8 % sinkt [17, S. 40].

Um die Oberflächenfestigkeit und die Feuchtigkeitsbeständigkeit zu erhöhen wird die Papierbahn durch eine „Leimpresse“ geführt, wobei der Leim in der Regel aus Stärke (Vielfachzucker welcher aus mehreren tausend Traubenzuckermolekülen aufgebaut ist) besteht [17, S. 41].

Nachdem das Papier die „Leimpresse“ passiert hat, erfolgt eine weitere Trocknung, in der so genannten Nachtrockenpartie [17, S. 41].

Weiters bekommt die Papierbahn durch Streichen und nachfolgendes Trocknen eine hellere, glattere und geschlossener Oberfläche. Die Zusammensetzung der Streichfarbe richtet sich nach den Qualitätsansprüchen an das Papier, da sich mit unterschiedlichen Streichfarbenrezepturen unterschiedliche Oberflächen und Papierqualitäten schaffen lassen. Die Streichfarbe enthält Pigmente, Bindemittel und chemische Hilfsmittel [17, S. 43].

Am Ende der Papiermaschine, welche in Abbildung 15 dargestellt ist, steht ein so genannter Pope-Roller, der die Papierbahn zu Maschinenrollen (Tambouren) aufrollt. Diese Tambouren können einen Durchmesser von 4 m haben, 25 Tonnen wiegen und 60 km Papier enthalten [18, S. 2]. Anschließend werden die Rollen in die Ausrüstung transportiert, wo das fertige Produkt verpackt wird, um es vor Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft und Transportschäden zu schützen [17, S. 45].

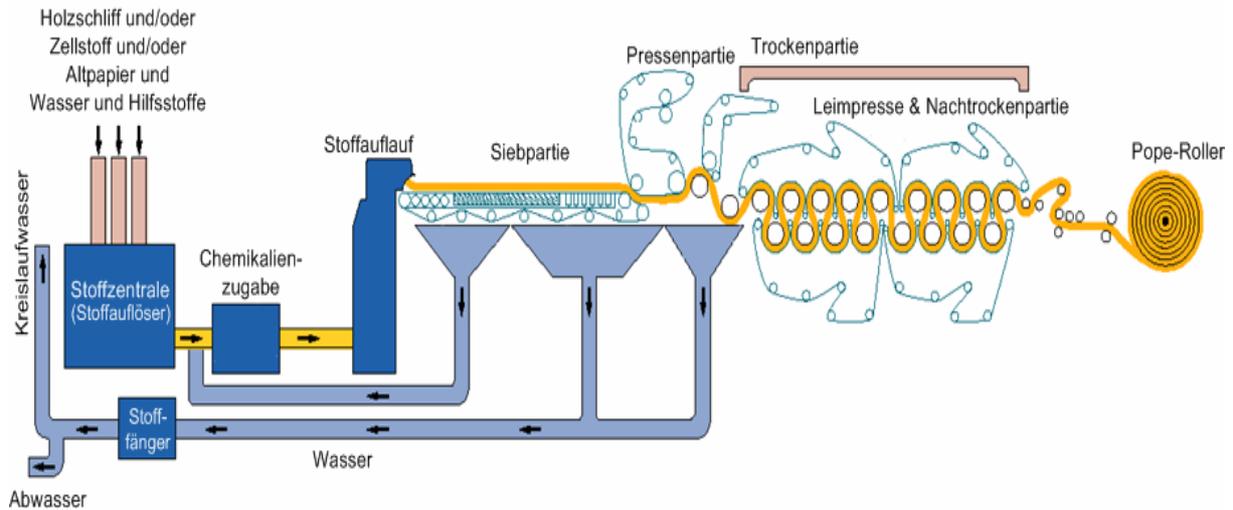


Abbildung 15: Papiermaschine

4.5 Papiereigenschaften

Die Festigkeit des Papiers ergibt sich aus folgenden drei Eigenschaften: [18, S. 19ff]

- Zugfestigkeit (stärkste Belastung, die Papier aushalten kann, ohne zu zerreißen)
- Reißfestigkeit (stärkste Belastung, die Papier aushalten kann, ohne zu brechen)
- Steifigkeit (stärkste Belastung, die Papier aushalten kann, ohne sich durchzubiegen)

Zu den optischen Eigenschaften des Papiers zählen die Reflexion des Lichtes an der Papieroberfläche und der Lichtdurchlass durch das Papier (Opazität). Die optischen Eigenschaften hängen davon ab, wie stark die Fasern gebleicht wurden. Die visuell wahrgenommene Weiße lässt sich auch durch optische Aufheller verändern. Die Opazität des Papiers kann durch Erhöhung des Flächengewichtes, Verringerung des Weißgrades, sanfte Oberflächenbehandlung oder durch Füllstoffe gesteigert werden [18, S. 19ff].

4.6 Papierrecycling

Heute wird Papier zu einem sehr hohen Prozentsatz recycelt, da Papierrecycling sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll ist. Recyclingpapier ist meist grauer als andere Papiersorten, da die Farbreste, trotz Deinking (Verfahren um Farben zu lösen welches ähnlich der Flotation (Verfahren zur Trennung von hydrophilen und hydrophoben Teilchen) ist) nicht restlos entfernt werden können [18, S. 22ff].

Außerdem kann man Papier nicht endlos recyceln, da bei jedem Recyclingschritt eine Qualitätsminderung stattfindet (Downcycling). Daher wird recyceltes Papier, in großen Mengen, vor allem zur Herstellung von minderwertigen Materialien verwendet. Darunter fallen Verpackungsmaterialien (bis zu 98 %), Zeitungspapier (bis zu 80 %) und ähnliche

Papiersorten. Wenn man höherwertiges Papier herstellen möchte, muss man den Altfasern jedoch noch zusätzlich Frischfasern zufügen, um eine höhere Qualität des Recyclingpapiers zu erhalten [18, S. 22ff].

Aber auch der Energieaufwand ist bei der Produktion von Recyclingpapier deutlich geringer (nur ein Drittel) als bei der Herstellung von neuem Papier [18, S. 22ff].

Für die Marktsituation hat das Papierrecycling einen Einfluss auf die Holzpreise, da diese bei steigendem Einsatz der Papierwiederverwertung sinken.

4.6.1 Altpapier

Um bereits verwendetes Papier zu wieder verwendbarem Papier zu machen, wird gesammeltes Altpapier zunächst in Wasser aufgelöst und zerkleinert. In verschiedenen Schritten werden die Fasern von papierfremden Teilen, wie Büroklammern, Klebern und Kunststoffen gesäubert. Wenn der Recyclingstoff später für die Herstellung von Druckpapieren eingesetzt werden soll, muss das Altpapier außerdem noch von der Druckfarbe befreit werden [18, S. 22ff].

Durch den Aufbereitungs- und Deinking-Prozess büßen die Fasern jedoch an Qualität ein, daher müssen immer wieder Frischfasern zugefügt werden, um neues Papier herstellen zu können [18, S. 22ff].

Altpapier weist folgende Vorteile auf: [18, S. 22ff].

- Geringerer Energieverbrauch als bei den anderen Verfahren
- Wiederverwertung der Fasern

Jedoch ergeben sich beim Altpapier folgende Nachteile: [18, S. 22ff].

- Reststoffe
- Niedrige Opazität
- Niedriges Volumen
- Niedrige Helligkeit

5 Kunststoff

Im folgenden Kapitel wird auf die Herstellung, die Fertigung und das Recycling von Standardkunststoffen (entstehen durch Polymerisation), sowie auf die Gewinnung und den Transport des Rohstoffes Öl eingegangen.

Kunststoffe sind organische, synthetische Werkstoffe und gliedern sich je nach Herstellungsart in folgende drei Gruppen: [19, Kap. 1, S. 35f]

- Polymerisate: PE (Polyethylen), PP (Polypropylen), PS (Polystyrol), PVC (Polyvinylchlorid) und PTFE (Polytetrafluorethylen)
- Polykondensate: PET (Polyethylenterephthalat)
- Polyaddukte: EP (Epoxidharz)

5.1 Einsatzstoffe

Die Einsatzstoffe welche zur Kunststoffherstellung benötigt werden sind: [20]

- Monomere
- Wasser
- Energie
- Hilfsstoffe (Katalysatoren)
- Additive (Weichmacher, Antistatika, Stabilisatoren gegen die Einwirkung von Licht, Wärme und Oxidation, Farbstoffe)

5.2 Gewinnung und Transport des Rohstoffs Erdöl

Zur Herstellung von Monomeren bzw. Kunststoffen wird als Rohstoff vor allem Erdöl benötigt. Aus der weltweiten Fördermenge des Erdöls werden ca. 6-7 % für die Produktstambäume der chemischen Industrie verwendet [21].

Erdöl gehört so wie Erdgas und Kohle zu den fossilen Energieträgern, welche über Jahrmillionen entstanden sind und deren Entstehungsablauf ist in Abbildung 16 dargestellt. Tote Meereslebewesen sanken in den Faulschlamm von Meeren, wo das vorhandene Salz zunächst konservierend wirkte. Dadurch konnten die natürlichen Fäulnisprozesse nicht stattfinden. Durch anaerobe Bakterien und unter hohem Druck und hoher Temperatur entstanden über Jahrhunderte und Jahrtausende dann allmählich Erdöl- und Erdgaslagerstätten [21].

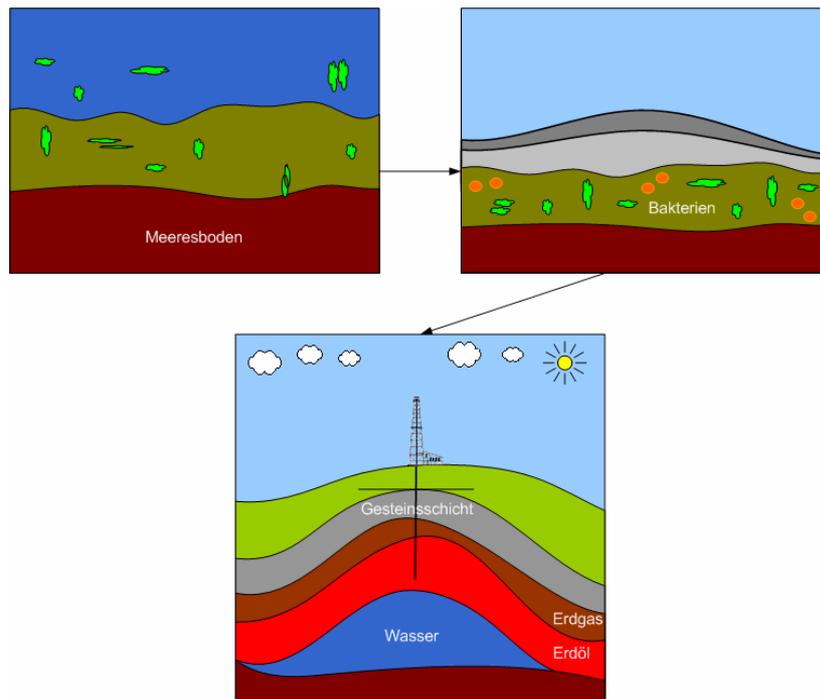


Abbildung 16: Erdöl und Erdgasentstehung

Heute findet man Erdöl- und Erdgaslagerstätten in Gesteinsschichten, wie Sandsteine, Kalksteine oder Dolomiten, welche wassergefüllte Porenräume enthalten. Wenn das gebildete Erdöl mit dem Wasser der Porenräume in Berührung kommt, steigt es wegen seiner niederen Dichte auf. Wenn es dann auf eine undurchlässige Schicht stößt, staut es sich und es entsteht eine Lagerstätte. Das Erdgas befindet sich dabei immer über der Erdölschicht [21].

Eine der häufigsten Methoden die heute zur Suche von Erdöllagerstätten eingesetzt wird, ist die Reflexions-Seismik. Hierbei werden am Erdboden Erschütterungen erzeugt (durch Sprengungen), welche sich wellenartig ausbreiten. Durch das Vorhandensein unterschiedlicher Gesteinsschichten, benötigen die Wellen beim durchqueren dieser verschiedene Zeiten. Die Wellen reflektieren an den Schichtgrenzen, wo sie von Messgeräten in einem Seismogramm aufgezeichnet und mit Hilfe eines Computers ausgewertet werden. Mit dieser Methode erhält man einen Profilschnitt des Untergrundes, welcher Auskunft über vorhandene Lagerstätten gibt [21].

Nachdem man eine solch Lagerstätte gefunden hat, führt man eine Probebohrung durch. Ist diese erfolgreich kann man mit der eigentlichen Förderung beginnen. Mit Hilfe eines Bohrturms, wie in Abbildung 17 dargestellt, wird das Bohrgestänge (Bohrstrang) in den Boden getrieben. An der Spitze des Bohrgestänges befindet sich ein Bohrmeißel. Dieser zertrümmert den Boden und trägt die Gesteinsschichten ab. Mit Hilfe von Wasser, welches durch die innen hohlen Bohrgestänge mittels einer Pumpe transportiert wird, kann das losgebohrte Gesteinsmaterial (Bohrklein) im Hohlraum (Ringraum) zwischen Bohrgestänge und Bohrloch zutage transportiert werden. Der Ringraum ist zur Verhinderung seines Zusammenbrechens mit einem Stahlrohr ausgekleidet. Mit dieser Vorgehensweise lassen

sich Bohrlöcher von mehr als einem Kilometer Tiefe bohren und wenn es die Gegebenheiten erfordern, kann auch in weiten Bögen gebohrt werden, so dass eine Lagerstätte auch von der Seite erschlossen werden kann [21].

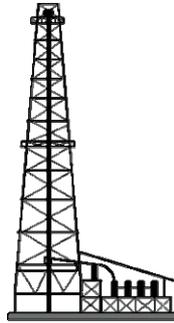


Abbildung 17: Bohrturm

In größerer Tiefe steht das Erdöl unter dem Druck der auflastenden Erdschichten und wird nach dem Anbohren aus dem Bohrloch gepresst, da es leichter als Wasser und das umgebende Gestein ist. Daher muss beim ersten Anbohren der Lagerstätte das Austreten mit einer speziellen Vorrichtung verhindert werden. Solange der Eigendruck der Lagerstätte nicht nachlässt, kann das Öl ohne weitere Maßnahmen gefördert werden. Danach muss das Öl mit Tiefpumpen zu Tage gefördert werden, welche über ein Bohrgestänge angetrieben werden [21].

Finden Bohrungen am Meeresboden statt, errichtet man Bohrplattformen. Bei Tiefen von bis zu 100 Metern stehen diese Plattformen auf Stelzen und bei größeren Tiefen verwendet man Plattformen mit langen Beinen, welche nicht am Meeresboden aufsetzen, sondern am Ende mit riesigen Ballasttanks versehen sind, wodurch der Schwerpunkt der Bohrplattform tief unter der Wasseroberfläche liegt [21].

Bevor das Erdöl transportiert wird, muss es aufbereitet werden. Hierbei wird das zunächst anfallende Gemisch aus Erdöl, Ergas und Salzwasser getrennt. Zuerst wird das Erdgas mittels eines Gasabscheiders abgetrennt. Danach trennt man das Erdöl-Salzwassergemisch im Nassöltank auf Grund der unterschiedlichen Dichten teilweise auf. Das abgepumpte Salzwasser wird in einem weiteren Verfahrensschritt vom restlichen Erdöl getrennt. Hierbei bildet ein Teil des Erdöls mit dem Wasser eine Emulsion, welche man erhitzt und einer Wechsellspannung aussetzt. Die kleinen Wassertropfchen werden hierbei in heftige Bewegung versetzt und vereinigen sich zu größeren Tröpfchen, welche sich am Boden absetzen und erneut mittels einer Dichtentrennung abgetrennt werden [21].

Das nun entwässerte Rohöl wird zunächst in einem Tank gelagert und danach zur Raffinerie transportiert. Das Rohöl wird weltweit über große Entfernungen transportiert. Der Transport von den Förderstätten zu den Verbrauchern geschieht auf dem Seeweg mit Öltankern und auf dem Landweg mittels Rohrleitungen (Pipelines), mit der Bahn oder mittels Straßentankwagen. Aber im Notfall kann Rohöl auch auf dem Luftweg transportiert werden, wobei hier die Kosten auf Dauer den Nutzen übersteigen würden [22, S. 9ff]

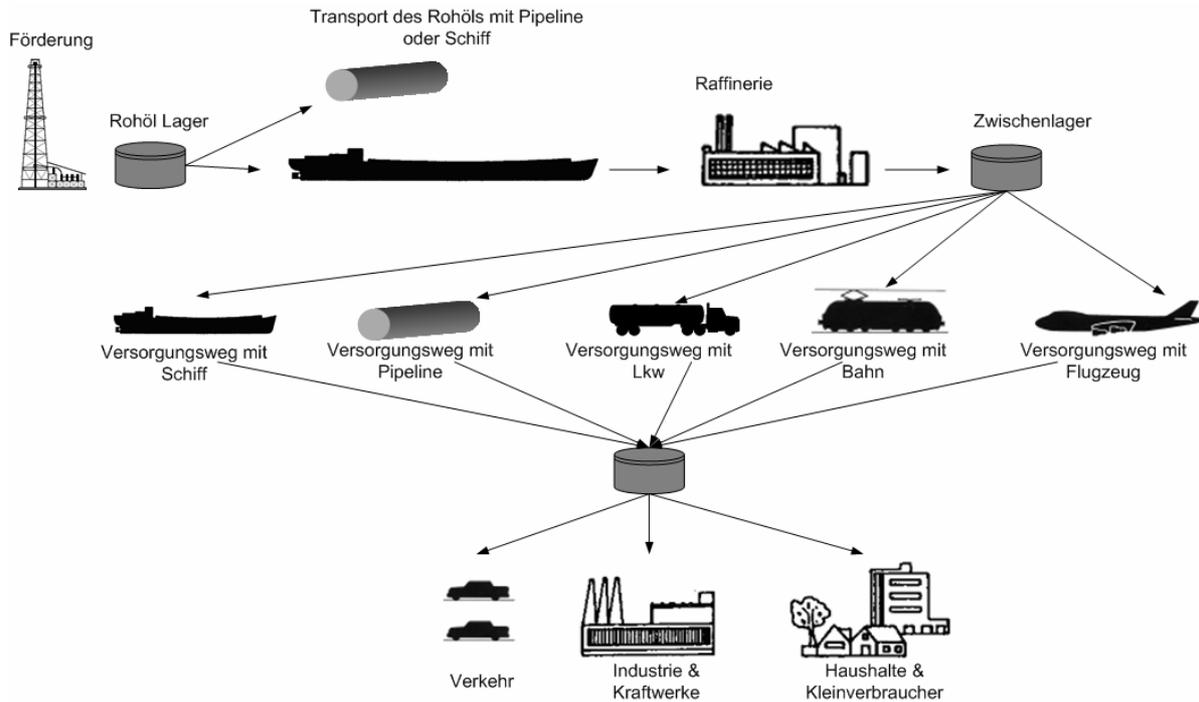


Abbildung 18: Erdöltransport

Der Transport mit Öltankern ist sehr teuer und mit hohen Risiken verbunden. Diese Tanker können viele Millionen Tonnen Rohöl fassen und bei einem Unfall entsteht eine Ölpest, welche schwere Schäden im Ökosystem Meer auslösen kann.

5.3 Eigenschaften der Standardkunststoffe

Standardkunststoffe (Thermoplasten) sind für 75-80 % der Weltproduktion an Kunststoffen verantwortlich. Hierbei handelt es sich um amorphe oder teilkristalline Kunststoffe deren Moleküle nicht untereinander vernetzt sind. Zu den Standardkunststoffen zählen: [19, Kap. 1, S. 35f]

- Polyethylen (PE)
- Polypropylen (PP)
- Polyvinylchlorid (PVC)
- Polystyrol (PS)

5.3.1 Polyethylen (PE)

Dieser Kunststoff schwimmt in Wasser, da PE eine Dichte kleiner 1 g/cm^3 besitzt. Die Oberfläche von PE ist matt und weich genug, um sie mit dem Fingernagel zu ritzen. Des weiteren erinnert dieser Kunststoff beim Angreifen stark an Wachs. Die chemische Struktur von PE ist in Abbildung 19 dargestellt [23, S. 74f].

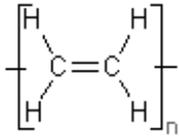


Abbildung 19: Chemische Struktur von Polyethylen

5.3.2 Polypropylen (PP)

Gleich wie PE schwimmt auch PP im Wasser, hat eine Dichte kleiner 1 g/cm^3 und erinnert beim Angreifen an Wachs. Die Oberfläche dieses Kunststoffes ist ebenfalls matt, aber im Gegensatz zum PE lässt sie sich hier nicht mehr mit dem Fingernagel ritzen. Die chemische Struktur von PP ist in Abbildung 20 dargestellt [23, S. 75f].

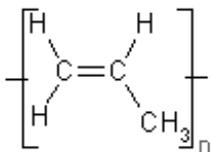


Abbildung 20: Chemische Struktur von Polypropylen

5.3.3 Polyvinylchlorid (PVC)

Dieser Kunststoff sinkt in Wasser zu Boden, da seine Dichte größer als 1 g/cm^3 ist. Bei Polyvinylchlorid unterscheidet man zwischen PVC-hart und PVC-weich und je nach Art lässt sich der Kunststoff mit dem Fingernagel ritzen oder auch nicht. Die chemische Struktur von PVC ist in Abbildung 21 dargestellt [23, S 82f].

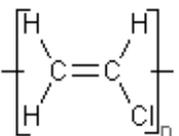


Abbildung 21: Chemische Struktur von Polyvinylchlorid

5.3.4 Polystyrol (PS)

Gleich wie PVC geht auch PS im Wasser unter da seine Dichte größer 1 g/cm³ ist. Dieser Kunststoff hat keine matte Oberfläche mehr, sondern besitzt eine schöne, glänzende Oberfläche. Die chemische Struktur von PS ist in Abbildung 22 dargestellt [23, S. 68f].

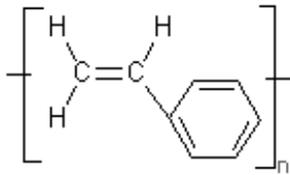


Abbildung 22: Chemische Struktur von Polystyrol

5.4 Herstellung der Standardkunststoffe

Es gibt verschiedene Möglichkeiten eine Polymerisationsreaktion, zur Herstellung von Kunststoffen, in Gang zu setzen. Daher lassen sich, je nachdem, wie die Reaktion eingeleitet wird und welche Art von Teilchen miteinander reagieren, drei Arten der Polymerisation unterscheiden: [24, S. 114f]

- Radikalische Polymerisation
- Ionische Polymerisation
- Ziegler-Natta-Polymerisation

Das Reaktionsprinzip ist bei allen Polymerisationsarten immer dasselbe. So entstehen bei der Polymerisation aus Monomeren, welche Doppelbindungen enthalten, in einer Kettenreaktion, die ohne erkennbare Stufen abläuft, lange Polymerketten. Schematisch kann man sich die Polymerisation, wie in Abbildung 23 dargestellt, vorstellen [24, S. 114f].



Abbildung 23: Schematische Darstellung der Polymerisation

Eines der einfachsten Beispiele für die Polymerisationsreaktion ist die Herstellung von Polyethylen, das durch die Polymerisation von Ethen-Molekülen, wie in Abbildung 24 ersichtlich, entsteht [19, Kap. 1, S. 19].

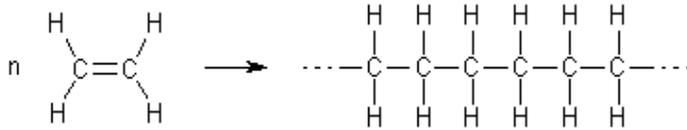


Abbildung 24: Herstellung von Polyethylen aus Ethen

Eine solche Kettenreaktion lässt sich in vier Abschnitte unterteilen: [24, S.33]

- **Initiation:** Hierunter versteht man jene Reaktion, welche die Kettenreaktion in Gang bringt
- **Wachstumsreaktion:** Hier werden die Molekülketten länger und länger
- **Kettenübertragung:** Diese Reaktion führt zur Verzweigung der Molekülketten
- **Kettenabbruch:** Das ist jene Reaktion, welche zum Abbruch der Kettenreaktion führt

5.4.1 Radikalische Polymerisation

Zur Initiation der Reaktion dient ein so genannter „Starter“, welcher durch Zerfall Radikale liefert. Die entstandenen Radikale suchen sich jetzt ein freies Elektron mit welchem sie wieder ein Elektronenpaar bilden können. Hierbei sind vor allem C=C Doppelbindungen leicht von Radikalen angreifbar. Die Doppelbindung wird aufgebrochen und es bleibt wieder ein ungepaartes Elektron übrig. In Abbildung 25 ist das anhand der Reaktion des Phenylradikals mit dem Ethen-Molekül ersichtlich [24, S.33f].

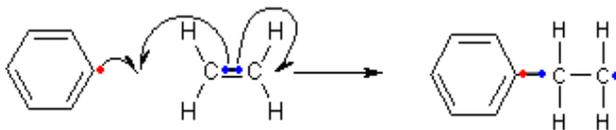


Abbildung 25: Reaktion eines Phenylradikals mit einem Ethen-Molekül

Jetzt beginnt die Wachstumsreaktion bei welcher, wie in Abbildung 26 dargestellt, das vorhandene Radikal aus dem Aufbrechen der Doppelbindung immer wieder mit einem Ethen-Molekül reagiert, wodurch die Molekülkette immer länger wird [24, S. 34ff].

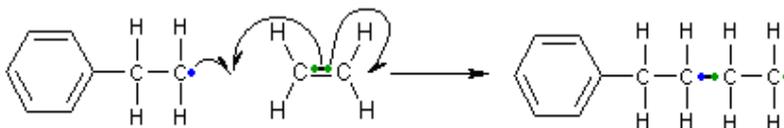


Abbildung 26: Wachstumsreaktion bei Polyethylen

Die Kettenübertragung, welche in Abbildung 27 dargestellt ist, erfolgt indem sich das Radikal ein Wasserstoffatom mitsamt dem Elektron aus einer C-H Bindung, welche sich mitten in der Kette befindet, aneignet. Dadurch bleibt an dieser Stelle ein Kohlenstoffatom mit einem ungepaarten Elektron übrig. Dieses ungepaarte Elektron reagiert nun mit einem Ethen-Molekül, wodurch eine neue Kette mitten in der ursprünglichen Kette zu wachsen beginnt und man spricht vom Verzweigen der Molekülketten [24, S. 34ff].

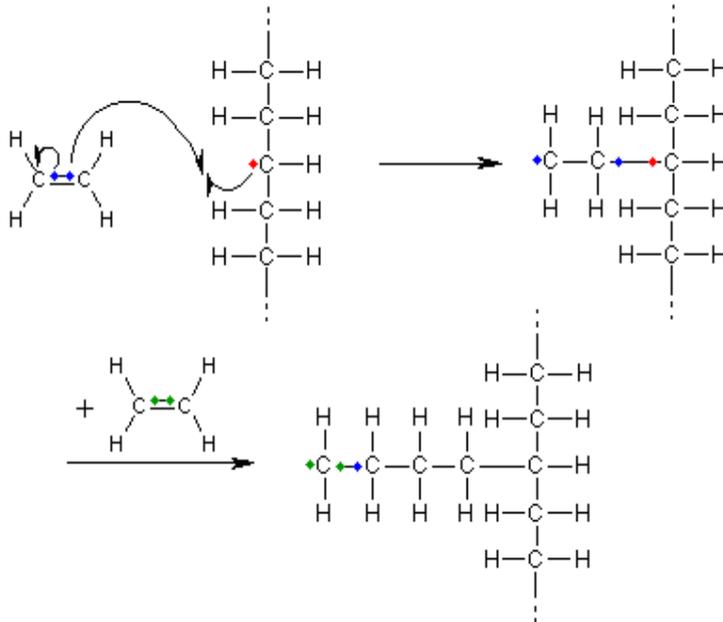


Abbildung 27: Beginn der Kettenübertragung

Der Kettenabbruch kann mittels drei verschiedener Vorgangsweisen eingeleitet werden: [24, S. 34ff]

- durch Rekombination
- durch Disproportionierung
- mittels Radikalfänger

Am häufigsten geschieht der Abbruch einer radikalischen Kettenreaktion aber durch Rekombination oder durch Disproportionierung. Bei der Verwendung von einem „Radikalfänger“, wird dieser dem Reaktionsgemisch zugegeben und wie bereits der Name sagt, werden die Radikale „weggefangen“, sodass keine weitere Kettenreaktion mehr stattfinden kann [24, S.34ff].

Bei der Rekombination, welche in Abbildung 28 dargestellt ist, bilden zwei Radikale aus ihren beiden ungepaarten Elektronen ein bindendes Elektronenpaar. Aus zwei Teilchen entsteht somit eines, welches nicht mehr reaktiv ist [24, S.34ff].

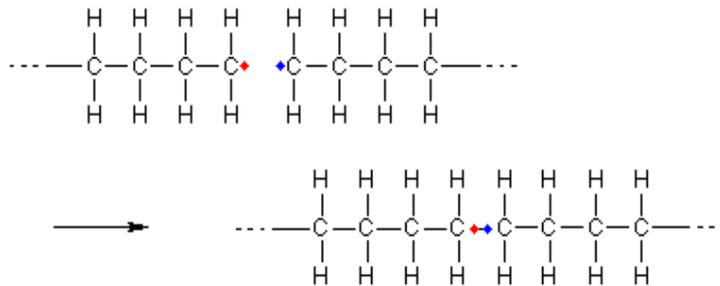


Abbildung 28: Rekombination zweier Radikale

Die Disproportionierung, welche in Abbildung 29 dargestellt ist, beruht darauf, dass ein Radikal sich aus der C-H Bindung, welche ihm am nächsten ist, das Wasserstoffatom mitsamt dem Elektron aneignet, wodurch das Radikal zwei ungepaarte Elektronen besitzt, welche sich leicht zu einem bindenden Elektronenpaar zusammenschließen können, da nur ein sehr geringer Raumabstand zwischen den beiden besteht, wodurch eine Doppelbindung entsteht [24, S.34ff].

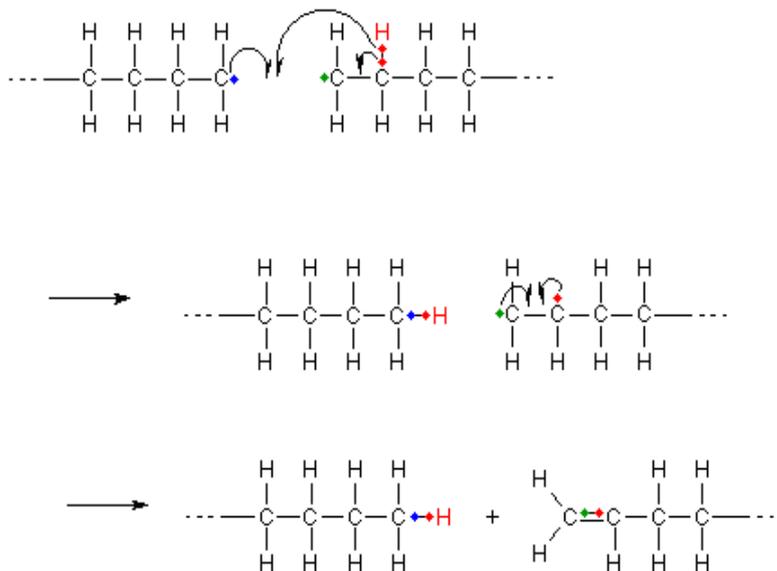


Abbildung 29: Disproportionierung von Radikalen

5.4.2 Ionische Polymerisation

Die ionische Polymerisation findet, wie der Name schon sagt, mit Hilfe von Ionen statt. Abhängig, ob es sich um Kationen (positiv geladen) oder Anionen (negativ geladen) handelt, unterscheidet man zwischen der kationischen und der anionischen Polymerisation [24, S.33].

5.4.2.1 Kationische Polymerisation

Um die ersten Kationen zur Initiation der Reaktion zu erzeugen, verwendet man Elemente aus der zweiten Reihe des Periodensystems mit sechs Elektronen in der äußersten Schale. Hierbei handelt es sich um eine so genannten Elektronenmangelverbindung (die äußerste Schale ist nicht mit acht Elektronen besetzt, z.B.: AlCl_3). Da die Oktettregel bzw. der Edelgaszustand angestrebt wird, bindet sich dieses Element mit Wasser (H_2O). Anhand Aluminiumchlorid (AlCl_3) ist diese Reaktion in Abbildung 30 dargestellt [24, S.34ff].

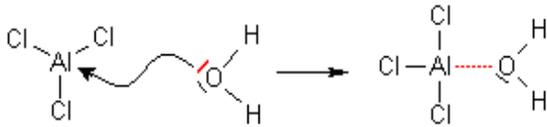


Abbildung 30: Ausbildung des $\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}$ -Komplexes

Durch Zugabe eines Monomers, bricht dessen Doppelbindung auf und bindet sich mit einem Wasserstoffatom aus der vorhergegangenen Bindung. Dadurch entsteht ein sehr instabiles Kation, weil auch hier die Oktettregel nicht erfüllt ist. Diese Reaktion ist anhand des $\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}$ -Komplexes in Abbildung 31 ersichtlich, wobei bei diesem Beispiel ein Carbokation entsteht [24, S.34ff].

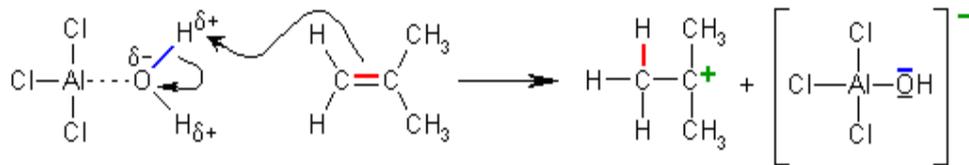


Abbildung 31: Bildung eines Carbokations durch Reaktion des $\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}$ -Komplexes mit einem Monomer

Das Kohlenstoffatom mit der positiven Ladung ist nun von drei Elektronenpaaren umgeben und nicht von vier. Aus diesem Grund macht es sich auf die Suche nach einem weiteren Elektronenpaar und findet dies bei einem weiteren Monomer mit Doppelbindung. Somit hat die Kettenreaktion, wie in Abbildung 32 dargestellt, begonnen [24, S.34ff].

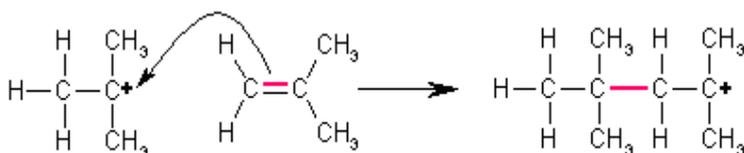


Abbildung 32: Beginn der Kettenreaktion durch Addition eines Monomers an das Carbokation

Beim Kettenwachstum bleibt die positive Ladung erhalten, was bedeutet, dass es sich bei dem entstandenen Molekül wieder um ein Kation handelt. Und an dieses entstandene Kation kann ein weiteres Monomer addiert werden und daran noch eines und so weiter [24, S.34ff].

Bei der Kettenübertragung wird vom Kation ein Proton (H^+) abgespalten, wodurch dieses seine positive Ladung verliert und wieder zum ungeladenen Molekül wird. Jedoch wird kein beliebiges Proton abgespalten, wie in Abbildung 33 ersichtlich, sondern eines aus den Methylgruppen, welche dem Kohlenstoffatom mit der positiven Ladung benachbart sind [24, S.34ff].

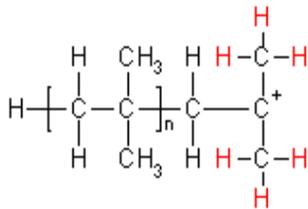


Abbildung 33: Darstellung der abspaltbaren Protonen bei der Kettenübertragung

Damit sich das Proton vom Molekül trennt, wird wieder ein Monomer mit einer elektronenreichen Doppelbindung, wie in Abbildung 34 ersichtlich, benötigt [24, S.34ff].

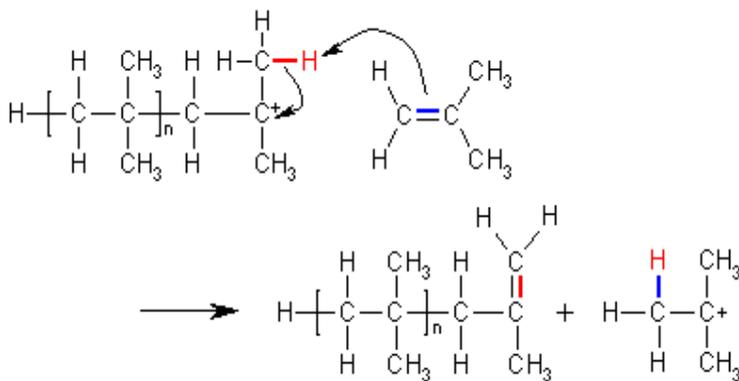


Abbildung 34: Kettenübertragungsmechanismus

Allerdings gibt es noch eine weitere Möglichkeit der Kettenübertragung. Bei der Initiationsreaktion sind neben dem Kation auch noch Anionen entstanden und diese beiden können miteinander reagieren. Dabei wird die Kettenreaktion für das Kation beendet, aber auch wieder ein Komplex hergestellt, mit dessen Hilfe ein neues Kation gebildet werden kann. Anhand des bereits oben gewählten Beispiels mit dem Carbokation und dem $AlCl_3$ - H_2O -Komplex ist diese zweite Möglichkeit der Kettenübertragung in Abbildung 35 dargestellt [24, S.34ff].

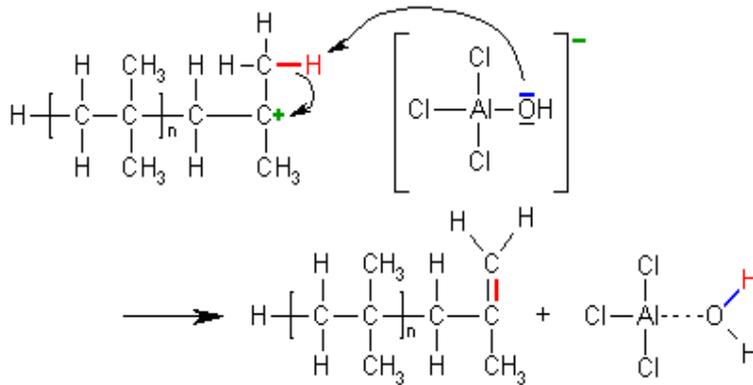


Abbildung 35: Weitere Möglichkeit der Kettenübertragung

Beim Kettenabbruch, welcher in Abbildung 36 dargestellt ist, reagiert ebenfalls das Kation mit dem Anion. Im Unterschied zur Kettenübertragung ist es hier nicht das Sauerstoffatom, welches ein Elektronenpaar zur Verfügung stellt, sondern ein anderes vorhandenes Anion. Anhand des $\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}$ -Komplexes wäre das ein Chloratom. Dieses Atom (Chloratom) reagiert direkt mit dem Kation (Carbokation) und nicht mit einem der Wasserstoffatome, sodass am Ende zwei andere Moleküle als bei der Kettenübertragung entstehen, welche beide nicht weiterreagieren können und somit ist die Kettenreaktion beendet [24, S.34ff].

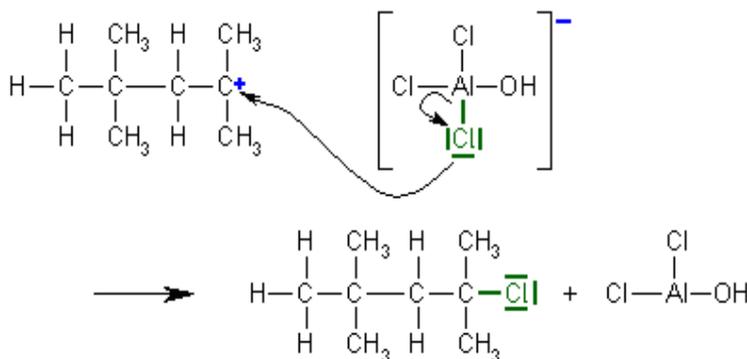


Abbildung 36: Kettenabbruchsreaktion

5.4.2.2 Anionische Polymerisation

Die Besonderheit an dieser Polymerisation besteht darin, dass es praktisch keine Kettenübertragungs- und keine Abbruchsreaktion gibt, sodass die Kettenreaktion immer weitergehen kann, solange noch Monomere vorhanden sind, es sei denn, man fügt andere Stoffe hinzu, welche die Reaktion beenden. Polymere welche auf diese Weise immer weiterreagieren können werden auch noch „Lebende Polymere“ genannt [24, S.122ff].

Die anionische Polymerisation wird meistens durch Butyllithium eingeleitet, von welchem ein Teil zu Butyl-Carbanionen (Carbanionen sind Ionen, bei denen die negative Ladung an einem Kohlenstoffatom sitzt) und Lithiumkationen, wie in Abbildung 37 dargestellt, zerfällt [24, S.122ff].

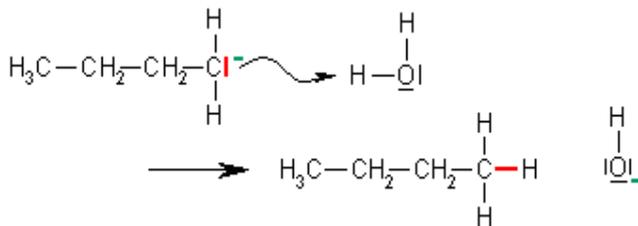


Abbildung 40: Abbruch der Kettenreaktion durch Zugabe von Wasser

5.4.3 Ziegler-Natta-Polymerisation

Für diese Reaktion werden bestimmte Katalysatoren (Ziegler-Natta-Katalysatoren) verwendet, welche Komplexe mit den reagierenden Teilchen ausbilden und die Monomere und die wachsenden Molekülketten so festhalten, dass sie nur in einer bestimmten Weise reagieren können. Allerdings ist der Mechanismus für diese Reaktion so kompliziert, dass er noch nicht endgültig geklärt ist [25, S. 5ff].

Ein Ziegler-Natta-Katalysator besteht aus zwei Komponenten, dem eigentlichen Katalysator und einem Co-Katalysator. Beim eigentlichen Katalysator handelt es sich um Übergangsmetallverbindungen (Nebengruppenelementverbindungen), meist von Titan und Vanadium und der Co-Katalysator ist normalerweise eine Aluminium-organische Verbindung (Verbindung bei welcher an ein Aluminiumatom organische Reste gebunden sind). Ein typisches Katalysatorsystem aus Titan(IV)chlorid und Triethylaluminium ist in Abbildung 41 dargestellt [25, S. 5ff].

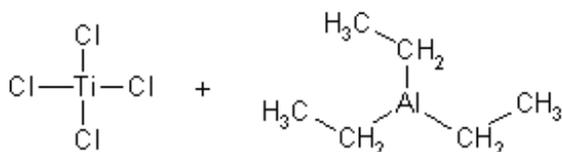


Abbildung 41: Katalysatorsystem (Titan(IV)chlorid und Triethylaluminium)

Diese beiden Katalysatoren bilden gemeinsam einen Komplex an welchen sich noch Monomere anlagern können, da abhängig vom Katalysatorkomplex, eine oder mehrere Bindungsstellen frei bleiben. In Abbildung 42 ist das anhand des Katalysatorsystems von Titan(IV)chlorid und Triethylaluminium dargestellt [25, S. 5ff].

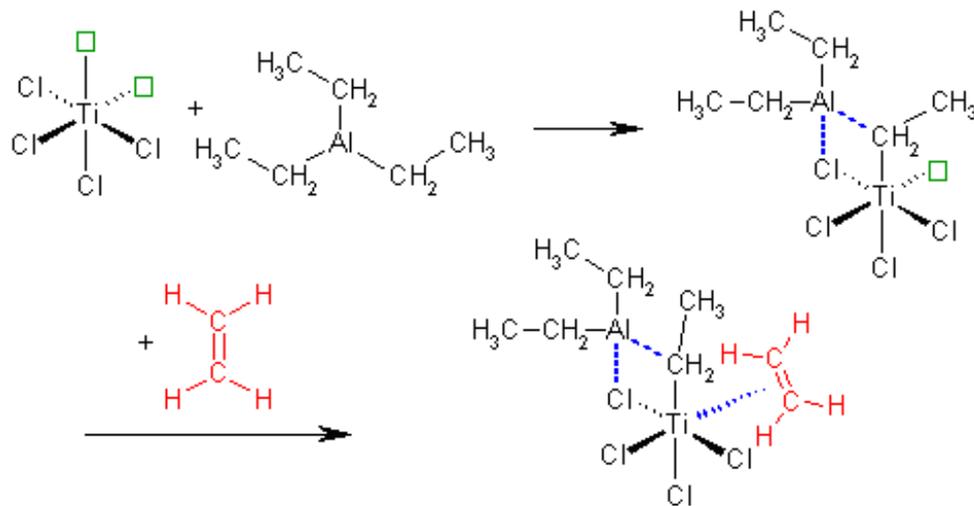


Abbildung 42: Komplexbildung der beiden Katalysatoren und Anlagerung eines Monomers an diesen Komplex

Das Kettenwachstum, welches in Abbildung 43 mit vereinfacht dargestelltem Co-Katalysator ersichtlich ist, startet durch eine so genannte „Einschiebungsreaktion“, bei welcher sich das Monomer, welches als Ligand an das Titaniumatom gebunden ist, zwischen das Titaniumatom und das Kohlenstoffatom schiebt, das ebenfalls an das Titaniumatom gebunden ist. Dadurch entsteht im Komplex wieder eine freie Bindungsstelle an welche sich wieder ein Monomer anlagern kann [25, S. 5ff].

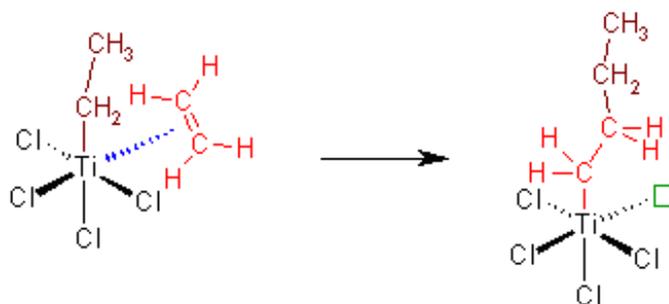


Abbildung 43: Kettenwachstum

Durch die Wahl des Katalysatorsystems kann man die Taktizität (Art und Weise, wie vorhandene Reste an der Hauptkette von Kunststoffmolekülen hängen) des Kunststoffes festlegen. Die Taktizität beeinflusst wesentliche Eigenschaften des Kunststoffes, wie beispielsweise Formbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit [25, S. 5ff].

5.5 Produktherstellung

Die Herstellung von Kunststoffprodukten kann auf viele unterschiedliche Arten erfolgen, abhängig vom entstehenden Produkt und von dessen späteren Gebrauch. So werden Kunststoffschnüre beispielsweise mittels Extrusion hergestellt, während zur Produktion von Kabelbindern oder Klammern das Spritzgießen Verwendung findet [26, S. 58f].

5.5.1 Extrusion

Die Herstellung von Kunststoffschnüren erfolgt im Normalfall mittels Extrusion, deren Ablauf in Abbildung 44 dargestellt ist.

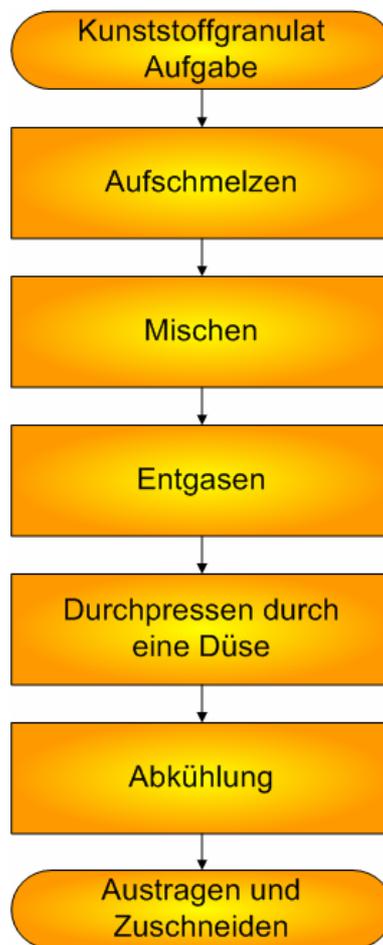


Abbildung 44: Kunststoffherstellung mittels Extrusion

Im Extruder, welcher in Abbildung 45 dargestellt ist, wird das Extruat (der Kunststoff in Form von Pulver oder Granulat) mittels eines Trichters aufgegeben und durch eine Schneckenpresse geführt. Dort wird das Kunststoffgranulat mit Hilfe von Hitze und innerer Reibung aufgeschmolzen und homogenisiert. Im Weiteren erfolgt im Mittelabschnitt des Extruders auch noch ein Abpumpen von Gasen, welche Blasen im Endprodukt hinterlassen würden. Danach wird der Kunststoff in einem kontinuierlichen Verfahren durch eine angeschlossene Düse gepresst. Im Extruder wird außerdem der notwendige Druck zum

Durchpressen durch die Düse aufgebaut. Wenn die Kunststoffschmelze aus der Düse austritt werden in einer anschließenden wassergefüllten Kalibriereinrichtung die Endkonturen bei gleichzeitiger Abkühlung erzeugt. Durch Vakuumöffnungen in der Kalibriereinrichtung wird das Profil an die Innenwände gesaugt, wobei das Profil von Wasser um- und durchspült wird, bis es abgekühlt ist. Im letzten Schritt wird der Kunststoff in seiner endgültigen Form (z.B.: Kunststoffschnur) ausgetragen und entsprechend zugeschnitten [26, S. 15ff].

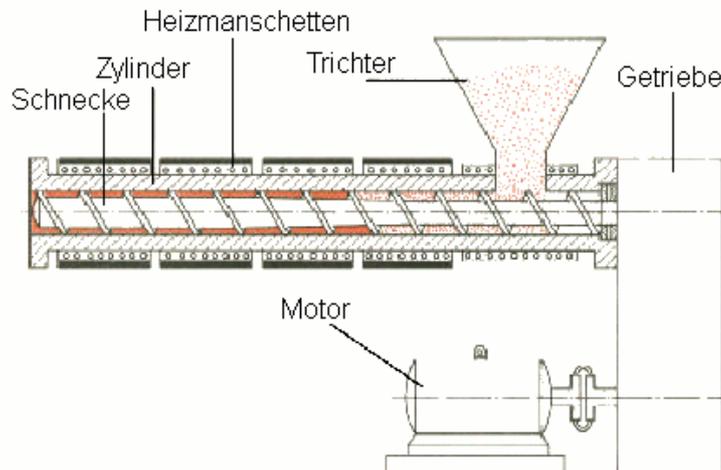


Abbildung 45: Extruder

5.5.2 Spritzgießen

Mittels Spritzgießen, dessen Verfahrensablauf ist in Abbildung 40 dargestellt ist, lassen sich die unterschiedlichsten Formteile herstellen. Die produzierbaren Teile können von wenigen Zehntel Gramm bis in den zweistelligen Kilogramm-Bereich reichen [23, S. 660ff].

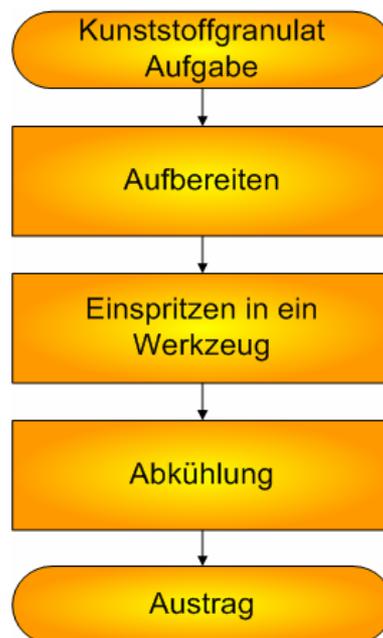


Abbildung 46: Ablauf des Spritzgießens

Die Spritzgießmaschine, welche in Abbildung 47 dargestellt ist, wird durch einen Trichter auf der Spritzeinheit mit dem Kunststoffgranulat befüllt. Das Granulat wird dann von einer Schnecke aufgenommen und zur Schneckenspitze gefördert. Dabei durchläuft das Kunststoffgranulat beheizte Zylinderzonen, wodurch es sich erwärmt und zu einer Masse wird. Durch den Fördervorgang wird ein Druck an der Schneckenspitze aufgebaut, wodurch die Schnecke sich zurückbewegt. Sobald genügend Schmelze für ein Formteil im Raum zwischen Schneckenspitze und Düse lagert, stoppt die Schneckenrotation. Die Düse liegt an der Angussbuchse des geschlossenen Werkzeuges an. Das Werkzeug, welches in Abbildung 48 dargestellt ist, besteht aus einem Hohlraum, welcher die negative Kavität (Form) des gewünschten Kunststoffteiles besitzt. Durch einen stoßartigen Druckaufbau im Hydraulikzylinder wird die Schnecke nach vorne gestoßen, sodass die Schmelze in den Werkzeughohlraum gepumpt wird. Dort erkaltet die Formmasse durch Abfall des Drucks. Danach öffnet die Schließeinheit und das Werkzeug wird gegen einen feststehenden Auswerfer gefahren, wo das Formteil dann austragen wird [23, S. 660ff].

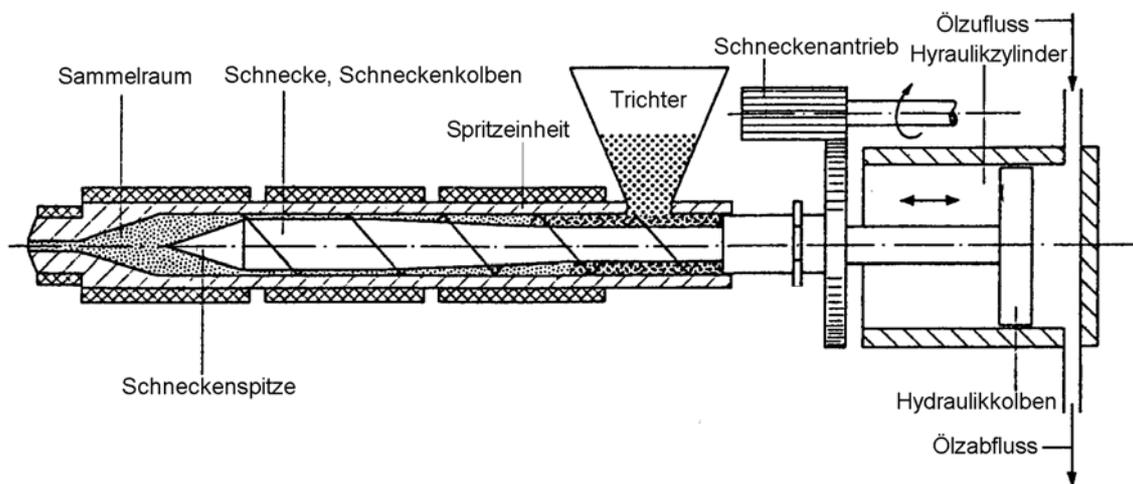


Abbildung 47: Gesamte Spritzgießmaschine

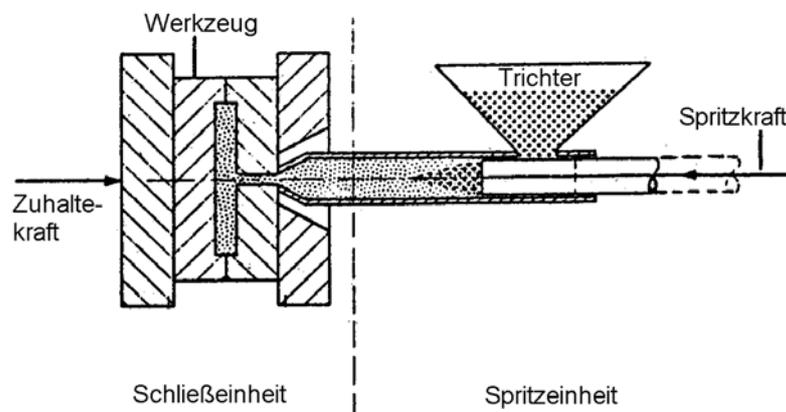


Abbildung 48: Teilbereiche einer Spritzgießmaschine

Mit diesem Verfahren lassen sich Gegenstände mit hoher Genauigkeit und in großer Menge innerhalb kurzer Zeit herstellen. Außerdem kann die Oberfläche des Bauteils beim Spritzgießen nahezu frei gewählt werden, egal ob glatt, mit Narbung oder Muster [23, S. 660ff].

5.6 Biologisch abbaubare Kunststoffe

Die biologisch abbaubaren Kunststoffe waren die erste Werkstoffgruppe, welche in der industriellen Entwicklung, gezielt auf Entsorgbarkeit hin hergestellt wurden. Der Vorteil einer Vielzahl dieser neuartigen Kunststoffe besteht vor allem darin, dass bei der Verarbeitung keine besonderen Verfahren angewendet werden müssen, sondern die Herstellung mittels Standardmaschinen erfolgt. Jedoch sind die Produktionskosten trotzdem noch höher als bei den Standardkunststoffen. Allerdings wird ein Anstieg dieser Produktgruppe am Markt verzeichnet, was auf die umweltfreundlichen Vorzüge zurückzuführen ist [27].

Biologisch abbaubare Polymerwerkstoffe können sowohl aus nachwachsenden als auch aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden. Durch ihre chemische und physikalische Zusammensetzung sind sie durch mikrobiellen Angriff zu Wasser, Kohlendioxid und Biomasse zerlegbar. Unter den Begriff biologisch abbaubar fallen im Allgemeinen polymere Werkstoffe bei denen alle organischen Bestandteile einem vollständigen biologischen Abbau unterliegen [27].

Über Additive (z.B.: Weichmacher oder Gleitmittel) in biologisch abbaubaren Produkten ist nur sehr wenig bekannt, ebenso über die Auswirkungen in den Entsorgungspfaden.

Das Risiko und gleichzeitig die größte Herausforderung aller abbaubaren Polymerwerkstoffe besteht aber trotz allem darin, eine richtige Ausgewogenheit zwischen dem Abbaubeginn und der Verrottung zu finden. [23, S. 105].

Die nachwachsenden Rohstoffe welche zur Herstellung eingesetzt werden sind vor allem Zucker, Stärke und Pflanzenöle. Es werden aber auch Mais, Weizen, Kartoffeln und Cellulose aus Raps in industriellem Maßstab verwendet [27].

In Abbildung 49 ist die synthetische Einteilung von biologisch abbaubaren Kunststoffen in Abhängigkeit ihrer Rohstoffquelle dargestellt.

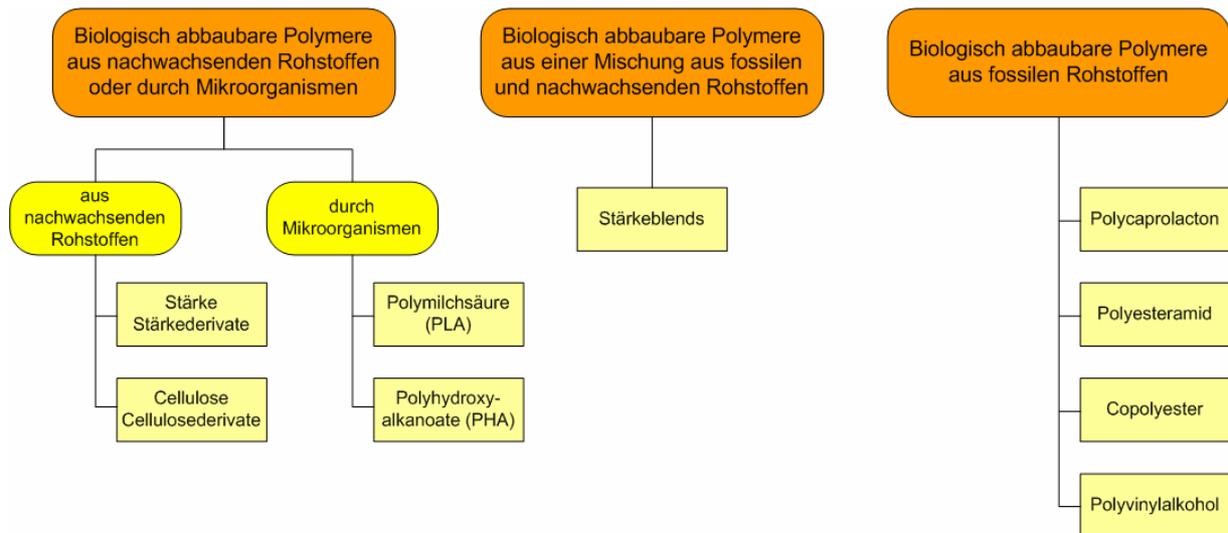


Abbildung 49: Einteilung biologisch abbaubarer Kunststoffe nach Rohstoffquellen

5.6.1 Biologisch abbaubare Kunststoffe pflanzlichen Ursprungs

Im Folgenden werden die Vertreter der biologisch abbaubaren Polymere welche pflanzlichen Ursprungs sind genannt und deren Eigenschaften und Anwendungsgebiete kurz beschrieben.

5.6.1.1 Cellulose und Cellulosederivate

Cellulose ist ein natürlich vorkommendes Polymer und wird als Ausgangsmaterial zur Herstellung einer Vielzahl von Kunststoffen und Cellulose-Verbindungen verwendet.

Celluloseacetat kann aus Baumwollinters (Reste der Fruchtkapsel nach dem Entfernen der verspinnfähigen Baumwollfasern) oder aus reiner Holzcellulose durch Veresterung mit Essigsäure hergestellt werden [28].

Die Anwendungsgebiete von Celluloseacetat als thermoplastischer Kunststoff ziehen sich angefangen bei der Brillenindustrie bis hin zu Verpackungen und Kaschierfolien. So ist beispielsweise Bioceat ein Werkstoff, welcher durch Beimengen von Zuschlagsstoffen zu einer Verbesserung in der Verarbeitbarkeit und Abbaubarkeit führt. Hauptanwendungsgebiete von Bioceat sind Kerzenhüllen für Grablichter und Kosmetikflaschen (z.B.: Shampoos) [28].

5.6.1.2 Stärke

Stärke findet häufig als Ersatz für Polystyrol Anwendung. Reine Stärkeprodukte werden vor allem im Verpackungsbereich als Füllmaterial und Verpackungschips (Stärkeschaumchips) verwendet. Problematisch ist allerdings die Wasserlöslichkeit, was auch dazu führt, dass

Stärke entweder mit anderen Polymeren, wie beispielsweise Polyolefinen, gemischt oder modifiziert wird [28].

5.6.2 Biologisch abbaubare Kunststoffe durch Mikroorganismen

Im Folgenden werden die Vertreter der biologisch abbaubaren Polymere durch Mikroorganismen genannt und deren Eigenschaften und Anwendungsgebiete kurz beschrieben.

5.6.2.1 Polyhydroxyalkanolate (PHA)

Polyhydroxyalkanolate und deren Verbindungen können von einigen Bakterien als Speicherstoffe hergestellt werden. Bei diesen Polymeren handelt es sich um hochmolekulare thermoplastische Polyester deren bekannteste Vertreter Polyhydroxybutyrat (PHB) und Polyhydroxyvalerat (PHV), auch bekannt unter dem Namen Biopol, sind [27].

Von den mechanischen und physikalischen Eigenschaften ausgehend ist PHA am ehesten vergleichbar mit Polyolefinen, während die chemischen und Barriereigenschaften näher beim PET liegen. Diese Polymere sind trotz ihrer 100 %igen biologischen Abbaubarkeit wasserbeständig. Verwendung finden sie als abbaubare Flaschen, Plastikfolien und Taschen (z.B.: Haarshampoo-Flaschen, Motoröl-Flaschen) [29].

5.6.2.2 Polymilchsäure (PLA)

Polymilchsäure kann aus Zucker oder Polysaccharidabfällen gewonnen werden, welche beispielsweise bei der Verarbeitung von Kartoffeln anfallen. Die Herstellung von PLA ist zurzeit noch sehr teuer, jedoch könnte die Verwendung von Abfallprodukten als Rohstoffe in der Produktion zu einer starken Kostensenkung führen [28].

Aus dem Granulat können beispielsweise Verpackungsfolien, Becher, Tassen, Menüscheren und Trinkhalme hergestellt werden. Um PLA den Weg als Massenkunststoff zu ebnen, wird derzeit mit hohem Einsatz an der Verbesserung der Produktionstechnologie und Produktanwendung gearbeitet [28].

5.6.3 Biologisch abbaubare Kunststoffe – Mischung aus fossilen und nachwachsenden Rohstoffen (Stärkeblends)

Die Verbindung von thermoplastischer Stärke mit synthetischen biologisch abbaubaren Werkstoffen (z.B.: Polyvinylalkohol) oder mit abgewandelten Naturprodukten („Biokunststoffen“ z.B.: Celluloseacetat) nennt man Stärkeblends. Sie sind biologisch abbaubar und gleichen in vielen Eigenschaften PE [30].

Das Einsatzgebiet erstreckt sich von Tragetaschen zu Joghurt- oder Trinkbechern, Pflanzentöpfen, Besteck und Windelfolien bis hin zu beschichteten Papier und Pappen. Einige Stärkeblends haben sich bereits am Markt etabliert, so z.B.: jene der Firma Novamont mit dem Handelsnamen „Mater Bi“ oder jene der Firma Biatec mit dem Handelsnamen „Bioflex“ [31].

5.6.4 Biologisch abbaubare Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen

Aliphatische Polyester sind wegen ihres Molekülbaus biologisch abbaubar. Durch die Ester-Bindung handelt es sich nicht nur um reine Kohlenstoff-Ketten, sondern es befinden sich auch Sauerstoffatome in der Kette. Mit Hilfe von Wasser kann die Ester-Bindung gespalten und von Mikroorganismen abgebaut werden. Wegen ihrer geringen Schmelztemperatur und Zugfestigkeit sind die aliphatischen Polyester aber nur bedingt einsetzbar. Im Gegensatz dazu besitzen aromatische Polyester, wie PET, bessere Materialeigenschaften sind aber nicht biologisch abbaubar. Um beide Vorteile zu vereinen werden die aromatischen mit den aliphatischen Polymeren gemischt (copolymerisiert). Diese Polyester eignen sich dann als Folien und Formteile und können sogar als chirurgisches Nähmaterial eingesetzt werden [28].

5.7 Kunststoffrecycling

Da alle Kunststoffe aus Teilen von Erdöl bestehen und Erdöl als eine wertvolle Ressource gilt, ist Kunststoffrecycling ökonomisch sinnvoll. Allerdings sind dem Kunststoffrecycling ökologische und technische Grenzen gesetzt, da im Durchschnitt ein sehr hoher Energieaufwand notwendig ist und teilweise auch noch die Technologien für ein effizientes Recycling fehlen [19, Kap. 6, S. 1ff].

Des Weiteren erreicht das recycelte Material manchmal nicht mehr die ursprüngliche Qualität bzw. Verarbeitbarkeit (Downcycling). Jedoch ist das Recycling bei Kunststoffen stark vom jeweiligen Ausgangsmaterial abhängig und so kann der verwertete Kunststoff in einigen Fällen durchaus das Eigenschaftsniveau der Originalware erreichen. Dies ist vor allem beim Einsatz von sortenreinen Standardkunststoffen der Fall [19, Kap. 6, S. 1ff].

Daher muss man, um ein qualitativ hochwertiges Recycling betreiben zu können, vor allem Standardkunststoffe sortenrein sammeln bzw. vor dem Recycling den Kunststoff einer Aufbereitung unterziehen, um Verunreinigungen zu entfernen [19, Kap. 6, S. 1ff].

Das aufbereitete Material der Standardkunststoffe wird dann zu Granulat verarbeitet und kann problemlos wieder im Extruder oder in der Spritzgießmaschine eingesetzt werden, ohne das man Einbußen beim recycelten Kunststoff feststellen muss [19, Kap.6, S. 1ff].

6 Weinbau und Tomatenzucht

Im folgenden Kapitel wird der Weinbau und die Tomatenzucht kurz erklärt. Außerdem werden die Länder Europas mit deren landwirtschaftlich genutzter Fläche einander gegenübergestellt und die flächenmäßige Aufwendung der einzelnen Gebiete für den Weinbau und die Tomatenzucht aufgelistet.

6.1 Allgemeines über Weinbau

Bei der Weinrebe handelt es sich um ein Ligandengewächs, welches regelmäßig geschnitten werden muss, um die Bearbeitung zu erleichtern und Pilzkrankheiten vorzubeugen. Ohne das Beschneiden der Rebe treiben immer mehr Knospen (Augen) aus, wodurch die Triebe (Reiser) immer dünner und die Trauben immer kleiner werden, was zu einer Qualitätsminimierung führen kann [32, S. 92ff].

Während des Rebschnitts entscheidet sich, wie viele Knospen stehen bleiben, wobei aus jeder Knospe ein Trieb entsteht, welcher wiederum bis zu drei Trauben tragen kann. Somit entscheidet der Schnitt sowohl über die Quantität als auch über die Qualität des Ertrags [32, S. 92ff].

Ist der Behang zu groß, spricht man von einem ungünstigen Blatt- Frucht- Verhältnis und die Fruchtreife ist dann nur schwer zu erreichen. Des Weiteren würde die Pflanze nur wenige Reserven erstellen können, da sie ja eine große Menge an Trauben zu versorgen hätte. Stellt man nach der Blütezeit fest, dass der Behang zu groß ist, kann man die Blüte oder Traube aber noch entfernen. Ist dagegen die Anzahl der Knospen zu gering, erhält man zwar dicke Triebe aber nur einen unbedeutenden Fruchtertrag. Die Qualität würde nicht verbessert werden, jedoch würde der Ertrag geschmälert [32, S. 92ff].

Somit muss man beim Rebschnitt den idealen Kompromiss für einen optimalen Behang erreichen. Außerdem ist darauf zu achten die Schnittwunden so gering wie möglich zu halten, da durch diese Wunden Holzkrankheiten eindringen können [32, S. 92ff].

Aber die Art des Rebschnitts richtet sich auch nach der Fruchtbarkeit der Rebsorte, da auf fruchtbaren Sorten an allen Augen Trauben entstehen und auf weniger ertragreichen Sorten entwickeln sich an den unteren Augen keine Trauben. Im ersten Fall führt man einen kurzen Schnitt durch, wobei hier die Triebe auf zwei bis drei Augen zurückgeschnitten werden. Beim langen Zuschnitt werden die Triebe auf mindestens fünf Augen zugeschnitten [32, S. 92ff].

Damit eine Ausdehnung des Rebstocks vermieden wird und auch um den Schnitt des folgenden Jahres vorzubereiten, wird ein Zapfen von zwei Augen übrig gelassen. Diese Vorgehensweise wird Guyot-Schnitt genannt. Dieser Schnitt kann entweder einfach, sprich ein Zapfen, ein Trieb, oder doppelt, sprich zwei Zapfen, zwei Triebe, ausgeführt sein. Diese so genannte Erziehung wird dann entweder einseitig oder zweiseitig in Bogenform ausgeführt, wie in Abbildung 50 ersichtlich [32, S. 92ff].

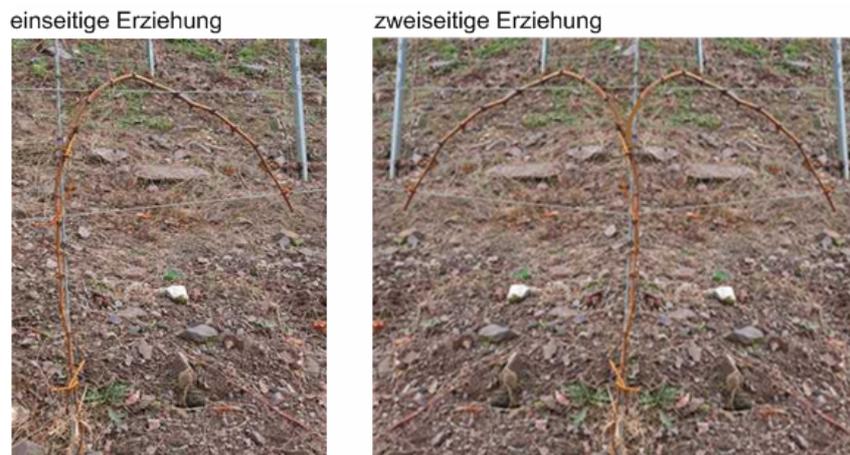


Abbildung 50: Einseitige und zweiseitige Erziehung

Des weitern ist hier auch noch das Laubheften zu erwähnen, bei welchem der Weinstock nach oben angehoben und befestigt wird, um eine hohe, lockere und windstabile Laubwand und eine lockere Traubenzone zu erhalten. Bevor man sich dann allerdings der Weinlese widmen kann, müssen die Reben noch Entlaubt werden, damit den Trauben auch der entsprechende Platz zum Wachsen offenbart wird. Den Grad der Entblätterung legt der Vinzer selbst fest und entlauben kann man ab der Blüte bis zur kurz vor der Lese. In Abbildung 51 ist die Entstehung einer Weintraube vom ersten Trieb weg dargestellt.

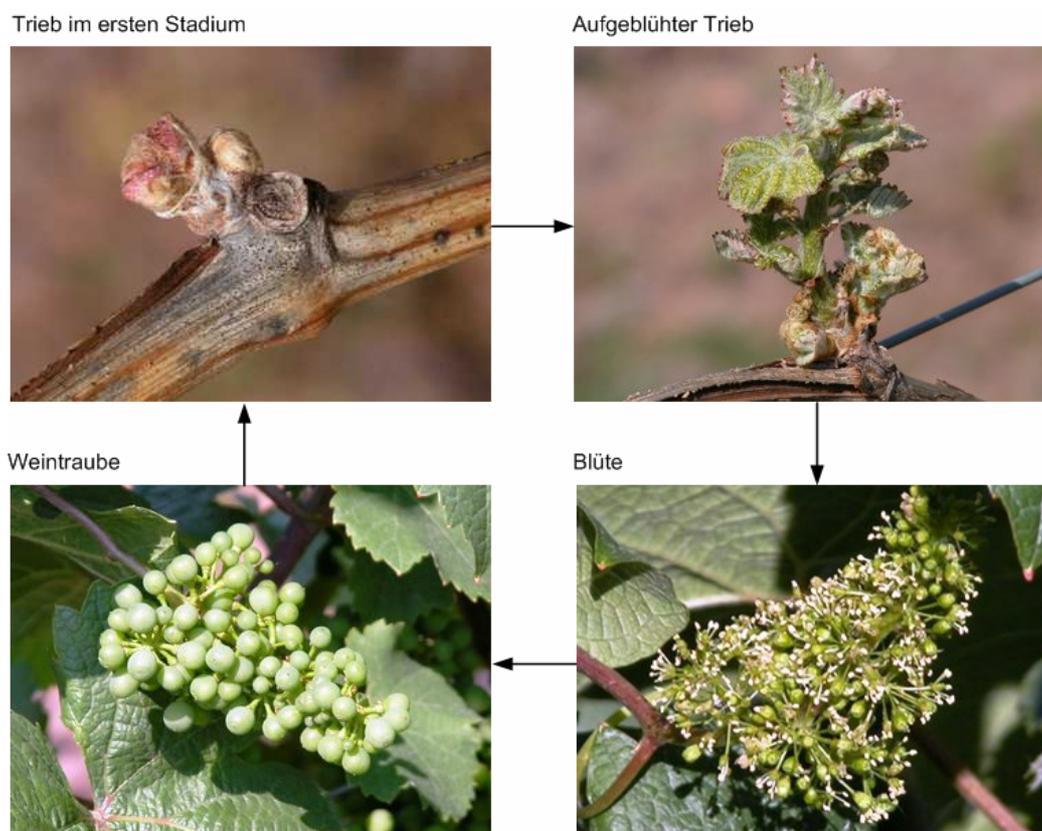


Abbildung 51: Entstehung einer Weintraube

Aber auch der Zeitpunkt des Schnitts beeinflusst den Austrieb. Jedoch ist im Allgemeinen die Hauptzeit für die Weinlese auf der Nordhalbkugel von Mitte Oktober bis Anfang November und auf der Südhalbkugel von Mitte Februar bis Anfang März. Aber man muss in jedem Fall darauf warten, dass alle Blätter abgefallen sind und der Saft zurückgeflossen ist, da erst dann die Bildung der Reserven beendet ist, welche es dem Weinstock ermöglicht den Winter zu überleben [32, S. 92ff].

Seit mehreren Jahren wird im Weinbau allerdings versucht eine Erleichterung der Arbeit mit Hilfe von Maschinen zu erlangen, was unter bestimmten Voraussetzungen, wie beispielsweise eine Zeilenbreite von 1,6 m bzw. einer guten Gewichtsverlagerung der Maschine um einer Verdichtung des Bodens entgegenzuwirken, auch durchführbar ist. Diese neuen Maschinen sind dann neben der Traubenernte auch noch für den Rebschnitt, das Laubheften und das Entlauben zuständig [32, S. 94ff].

6.2 Allgemeines über Tomatenzucht

Die Tomate gehört zu der botanischen Familie der Nachtschattengewächse. Sie besteht aus der Epidermis (Schale), dem Perikarp (Fruchtfleisch), dem Placentagewebe, den lokularen Hohlräumen mit den Samen und dem diese umgebenden gelatinösen Parenchym (Gewebe). Bei Tomaten überwiegt Selbstbefruchtung. Die Fruchtform kann hochrund, plattrund, oval, zylindrisch, apfel-, pflaumen- oder birnenförmig sein, aber auch glatt, gerippt oder gerieft, wobei auch vielzählige Übergänge zwischen diesen Formen auftreten können [33, S. 869ff].

Der Anbau von Tomaten kann auf allen Böden getätigt werden. Für die maschinelle Ernte sind jedoch steinfreie Böden zu bevorzugen. Für den Anbau im Freiland eignen sich allerdings warme, humose, sandige Lehmböden am Besten. In Gewächshäusern erfolgt der Anbau von Tomaten vorwiegend auf Steinwolle und Polyurethan-Schaumstoff. Erdloser Anbau ist jedoch auch im Freiland möglich [33, S. 870ff].

Trotz ihres großen Anpassungsvermögens haben Tomaten dennoch bestimmte Ansprüche an das Klima. Tomatenpflanzen sind sehr empfindlich gegenüber niedrigen, aber tolerant gegenüber hohen Temperaturen und benötigen viel Licht. Im Winter verhindert der Lichtmangel in unseren Breiten den ganzjährigen Tomatenanbau. Eine Zusatzbelichtung in Gewächshäusern ist zwar möglich, doch derzeit keine wirtschaftlich tragbare Alternative. Auch kann eine langjährige Monokultur zu einer Ertragsminderung führen. Daher ist für den großflächigen Tomatenanbau ein vierjähriger Fruchtwechsel zu empfehlen [33, S. 873ff].

Einzelne Tomatenarten werden zum Wachstum an Schnüren hochgeleitet, wobei diese Schnüre mit Klammern (z.B.: Eccoclip) an den Stauden befestigt sind. Die Schnüre und zugehörigen Klammern können nur für eine Tomatenkultur verwendet werden um Krankheitsinfektionen vorzubeugen [33, S. 882ff].



Abbildung 52: Mit Schnüren und Klammern befestigte Tomatenpflanze

Beim Anbau im Freien ist die eintriebige Erziehung der Pflanze üblich, wobei die Seitentriebe (Geiztriebe) regelmäßig zu entfernen sind. Für den Gewächshausanbau werden zurzeit hauptsächlich in Töpfen vorkultivierte Jungpflanzen genutzt [33, S. 888ff].



Abbildung 53: Tomatenzucht im Gewächshaus mit vorkultivierten Jungpflanzen

Die Ernte von Tomaten welche im Freien gezüchtet werden beginnt sortenabhängig und witterungsabhängig zwischen Juni und Juli und setzt sich bis Mitte Oktober fort. Gewöhnlich sind 18 bis 26 Erntedurchgänge typisch. Beim Erntevorgang schneiden vollmechanische Erntemaschinen die Pflanzen ab und trennen die Tomaten über Walzen von den Stauden. Wenn Tomaten längere Transport- und Vermarktungswege vor sich haben, werden sie bereits im grün-rosafarbenen oder hellroten Stadium geerntet, damit sie nicht überreif auf den Markt gelangen [33, S. 888ff].

6.3 Flächenverbrauch

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche der Länder Europas ist, abhängig von deren Größe, stark unterschiedlich. Unter landwirtschaftlich genutzter Fläche versteht man:

- Ackerland
- Obstanlagen
- Baumschulen
- Gartenland
- Dauergrünland
- Rebland
- Weihnachtsbaumkulturen,
Korbweiden-, u. Pappelanlagen

Wobei unter dem Oberbegriff Dauergrünland Wiesen, Mähweiden, Weiden mit Almen ohne Huttungen und Weiden mit Almen mit Huttungen fallen.

In Tabelle 2 sind die landwirtschaftlich genutzten Flächen der Länder Österreich, Deutschland, Spanien, Frankreich und Italien aufgelistet. Die Fläche die Frankreich für die Landwirtschaft zur Verfügung stellt beträgt 28.350.000 ha [34], die Spaniens 25.600.000 ha [34], gefolgt von Deutschland mit 17.200.000 ha [34], Italien mit 14.835.000 ha [34] und Österreich mit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von 3.420.000 ha [34].

Tabelle 2: Landwirtschaftlich genutzte Fläche

Land	Frankreich	Spanien	Deutschland	Italien	Österreich
Fläche LW [ha]	28.350.000	25.600.000	17.200.000	14.835.000	3.420.000

Weltweit beträgt die Fläche, welche nur für Weinbau genutzt wird 7.885.000 ha [34]. Zu den großen Weinbauländern Europas zählen Spanien, Frankreich, Italien und Deutschland. Aber auch Österreich ist mit einem kleinen Anteil im Weinbau vertreten.

In Tabelle 3 sind die Flächen welche für den Weinbau genutzt werden aufgelistet. Spanien, welches das größte Weinbaugebiet Europas ist, widmet dem Weinbau eine Fläche von 1.174.000 ha [32, S. 150]. Gefolgt von Frankreich mit 917.000 ha [32, S. 150], Italien mit 908.000 ha [32, S. 150], Deutschland mit 104.811 ha [32, S. 447] und Österreich mit einer Rebfläche von 51.027 ha [32, S. 448].

Tabelle 3: Rebfläche

Land	Frankreich	Spanien	Deutschland	Italien	Österreich
Rebfläche [ha]	917.000	1.174.000	104.811	908.000	51.027

Jedes Jahr sind pro Weinstock mindestens zwei Streckenbindungen notwendig, was rund 32 cm [35] an Schnur entspricht. Zusätzlich wird der Stamm alle sechs bis acht Jahre zweimal gebunden [35], wofür man wiederum rund 60 – 80 cm [35] Schnur benötigt. Beim Laubheften braucht man pro ha Rebfläche dann noch zusätzlich 16.000 Laufmeter [35] Schnur.

Geht man davon aus, dass pro Hektar Rebfläche ca. 4.500 Weinstöcke [35] stehen, kann man daraus schließen, dass pro ha Wein jährlich ca. 17,89 km [35] Schnur benötigt werden. Ausgehend von der Rebfläche in ha der bereits oben erwähnten Länder Europas kann man auf den jährlichen Verbrauch an Schnüren in km schließen, wie in Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4: Jährlicher Verbrauch an Schnur im Weinbau in km

Land	Verbrauch an Schnur pro Jahr [km]
Deutschland	1.875.069
Frankreich	16.405.130
Italien	16.244.120
Österreich	912.873
Spanien	21.002.860

Kennt man nun auch noch das Gewicht der Schnur, kann man auf einen jährlichen Verbrauch in Tonnen schließen. So ergeben sich, wie in Tabelle 5 dargestellt, durch das bekannte Gewicht der Papierschnur von ca. 2 kg pro km folgende Mengenverbräuche.

Tabelle 5: Jährlicher Verbrauch an Papierschnur im Weinbau in Tonnen

Land	Verbrauch an Papierschnur pro Jahr [t]
Deutschland	3.750
Frankreich	32.810
Italien	32.488
Österreich	1.826
Spanien	42.006

Weltweit beträgt die Fläche, welche nur für Tomatenzucht genutzt wird 2.896.000 ha. Zu den großen Tomatenanbaugebieten Europas zählen Italien, Spanien, Frankreich und die Niederlande. Aber auch Österreich ist mit einem sehr kleinen Anteil in der Tomatenzucht vertreten [33, S. 875f].

In Tabelle 6 sind die Flächen welche für den Tomatenanbau genutzt werden aufgelistet. Italien, welches das größte Tomatenanbaugebiet Europas ist, widmet der Tomatenzucht eine Fläche von 118.000 ha [33, S. 875f]. Gefolgt von Spanien mit 56.000 ha [33, S. 875f], Frankreich mit 12.000 ha [33, S. 875f], den Niederlanden mit 2.000 ha [33, S. 875f] und Österreich mit einer sehr kleinen Tomatenanbaufläche von 184 ha [36].

Tabelle 6: Tomatenanbaufläche

Land	Italien	Spanien	Frankreich	Niederlande	Österreich
Tomatenanbaufläche [ha]	118.000	56.000	12.000	2.000	184

7 Begriffsdefinitionen Probenahme und Kompostierung

In diesem Kapitel werden zum allgemeinen Verständnis des praktischen Versuchsablaufes die Begriffe der Probenahme und der Kompostierung näher erläutert.

7.1 Prüfgut

Unter Prüfgut ist die Grundgesamtheit zu verstehen, welche hinsichtlich bestimmter Merkmale untersucht werden soll [37, S. 4].

Die Heterogenität des Prüfgutes bedingt, dass durch die Probenahme niemals exakte Werte für das gesuchte Merkmal gefunden werden können. Jedoch liefern Proben die Grundlage für Schätzwerte der „wahren“ Werte und durch theoretisch fundierte Probenahme kann der Vertrauensbereich für den Schätzwert angegeben werden [37, S.7].

7.2 Probe

Eine Probe ist eine Teilmenge aus dem Prüfgut, welche Eingang in die Analyse finden muss, um ein zu untersuchendes Merkmal entsprechend einer definierten Unsicherheit zu bestimmen. Hierfür sind Einzelproben zu einer Sammelprobe zu vereinigen. Um eine ausreichende Sicherheit zu gewährleisten besteht eine Sammelprobe in der Regel aus mind. 15 Einzelproben [37, S. 3].

7.3 Repräsentative Probenahme

Unter Probenahme ist die Summe aller Vorgänge zu verstehen, welche zur Herstellung einer Teilmenge (Probe) aus einer klar abgegrenzten Grundmenge (Prüfgut), die bezüglich eines Merkmals repräsentativ für die Grundmenge ist, benötigt werden [37, S. 3].

Repräsentativ bedeutet die Einhaltung eines festgesetzten Vertrauensbereiches (Schwankungsbereiches) [37, S. 3].

7.4 Fehlerarten

Bei der Probenahme kann es zu unterschiedlichen Fehlerarten kommen: [37, S. 9]

- Systematische Fehler: Diese kann man statistisch nicht erfassen, wie beispielsweise den Dichteunterschied der Gutbestandteile und daraus folgende Entmischungsvorgänge.

- Zufällige Fehler: Diese Fehler sind statistisch beschreibbar und zu dieser Gruppe zählen Schwankungsfehler, Analysefehler und der stochastische Grundfehler, der aufgrund der kleinräumigen Gutinhomogenität auftritt, und besagt, dass bei einer Mischung verschiedener Substanzen nicht bei jeder Beprobung dieselbe Menge jeder Substanz vorhanden ist.

Den Schwankungsfehler kann man durch eine Erhöhung der Anzahl der Einzelproben verkleinern. Dem Analysefehler kann man durch genaues Arbeiten entgegenwirken. Und der stochastische Grundfehler kann durch hohe Probemengen oder durch die Zerkleinerung des Gutes vor der Probenahme verringert werden [37, S. 3ff]

7.5 Probeverjüngung

Unter Probeverjüngung versteht man Probeteilung und diese kann, sofern die Probe größer als 200 kg ist, in automatisierten Systemen (z.B.: Drehrohrteiler, Vezinteiler oder Drehkreuztellerteiler) stattfinden. Bei Proben die weniger als 200 kg wiegen, wäre es nicht wirtschaftlich automatisierte Systeme einzusetzen. So sind für kleine Proben, mit einer Menge die kleiner als 200 kg ist, nur manuelle Methoden wirtschaftlich (z.B.: Riffelteiler, fraktioniertes Schaufeln oder Aufhäufen und Vierteln) [38, S. 31].

In dieser Arbeit wird nur auf die manuelle Methode des Aufhäufens und anschließendem Vierteln näher eingegangen, da beim praktischen Versuch mit dieser Methode gearbeitet wurde.

Bei der Probenviertelung, welche in Abbildung 54 dargestellt ist, wird zunächst ein Kegel auf einer ebenen Fläche aufgeschüttet und homogenisiert. Danach wird der Kegel durch „Abplattung“ geebnet. Mit Hilfe eines Teilungskreuzes wird der entstandene Haufen in vier Teile gespalten. Teil I und III oder Teil II und IV werden verworfen, während die beiden übrigen diagonal liegenden Teile erneut zu einem Kegel aufgeschüttet werden [37, S. 11ff].

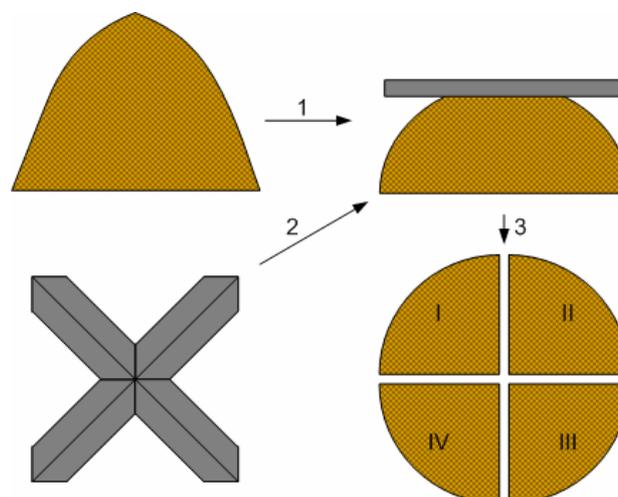


Abbildung 54: Probenviertelung

Nun wird dieser Prozess so lange wiederholt, bis man die gewünschte Menge der Probe erreicht hat, wobei die endgültige Probe wiederum aus zwei diagonal gegenüberliegenden Vierteln besteht, wie in Abbildung 55 ersichtlich [37, S. 11ff].

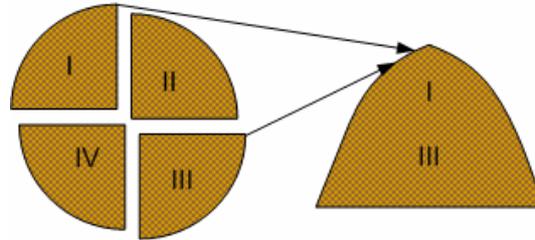


Abbildung 55: Probenahme

7.6 Beschreibung der Probenahmergebnisse

Die Beschreibung des Probenahmergebnisses erfolgt unter anderem durch mathematische Funktionen. Zum einen durch den Mittelwert \bar{x} und zum anderen durch die Standardabweichung des Einzelwertes σ_x [37, S. 11ff].

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

\bar{x} Mittelwert
 n Anzahl der Einzelproben
 x_i jeweilige Einzelprobe
 σ_x Standardabweichung

Der Mittelwert gibt einen Schätzwert für den Erwartungswert an und die Standardabweichung des Einzelwertes ist ein Maß für die Abweichung des Einzelwertes vom Mittelwert [37, S. 11ff].

7.7 Kompostierung

In der Natur gibt es zwei Arten vom Abbau organischer Substanzen. Den Abbau ohne Sauerstoff (anaerob), welcher Fäulnis genannt wird und den Abbau mit Sauerstoff (aerob), welcher Rotte genannt wird. Spricht man von Kompostierung, so spricht man von Rotte, da nur diese einen vollständigen Abbau gewährleistet [39, S. 3f].

Die Kompostierung ist also ein aerober Vorgang bei welchem Mikroorganismen die strukturbildenden Bestandteile wie beispielsweise Holz und Cellulose umwandeln. In der Landwirtschaft und in der Abfallwirtschaft wird die Kompostierung gezielt eingesetzt, um organische Substanzen schnell und kontrolliert abzubauen. Bei jeder kontrollierten Kompostierung ist ein geregelter Feuchtigkeitshaushalt und eine geeignete Belüftung zu beachten, da es sonst zu unerwünschter Austrocknung oder Fäulnis kommen kann [40, S. 6ff]

Als Standort ist für einen Komposthaufen oder Kompostbehälter (Komposter) ein halbschattiger, windgeschützter und leicht zugänglicher Ort zu wählen, damit er auch immer ohne Schwierigkeiten erreichbar ist [39, S. 7].

Komposter haben den Vorteil, dass sie eine kleinere Grundfläche als Komposthaufen benötigen und durch die Isolierung der Außenwände einen Wärmeverlust so gering wie möglich halten [39, S. 8ff]. In Abbildung 56 ist ein Komposter grafisch dargestellt.



Abbildung 56: Komposter

Der Verrottungsprozess beginnt mit der Abbauphase, in welcher die Zersetzung organischer Stoffe in ihre Einzelteile mit Hilfe von Pilzen und Bakterien, erfolgt. Durch die enorme Aktivität der Mikroorganismen wird bei diesem Vorgang viel Energie in Form von Wärme frei. Innerhalb einiger Wochen erwärmt sich daher der Kompost auf 50-70°C. Dieser Vorgang wird Heißrotte genannt und dauert abhängig vom Kompost zwischen drei und fünf Wochen [39, S. 3].

Danach beginnt die Umbauphase, in welcher Stoffe wie Lignin und Zellulose durch Pilze zersetzt werden. Die Temperatur sinkt in dieser Phase ab und das Kompostiermaterial fällt zusammen [39, S. 3].

Mit Hilfe von Kleintieren, wie Tausendfüßlern, Asseln und Kompostwürmern, kann dann die Aufbauphase eingeleitet werden. Das Material wird einheitlicher und bekommt eine dunkle Farbe, Frischkompost entsteht [39, S. 4]

Danach erfolgt der Übergang zur Reifephase, in welcher die Kompostwürmer den Kompost verlassen und Regenwürmer sich einnisten. Diese sorgen für eine weitere Lockerung und Durchmischung [39, S. 4].

8 Rotteversuch

Beim Kompostiersversuch wurde das Verhalten unterschiedlicher Kunststoffprodukte mit dem von Papierprodukten, welche speziell in der Landwirtschaft im Weinbau Anwendung finden, verglichen.

8.1 Kunststoffprodukte

Die Kunststoffprodukte unterteilen sich in drei Fraktionen:

- TEWE[®]-Erntegarn
- Agriflex[®]-Schnur
- Drehbinder

Allgemein erfolgt die Produktion dieser drei Fraktionen entweder mittels Extrusion oder Spritzgießen. Um sich die Produktion dieser speziellen Kunststoffprodukte jedoch genauer vorstellen zu können, ist in Abbildung 57 die Produktion als Black Box dargestellt [20].

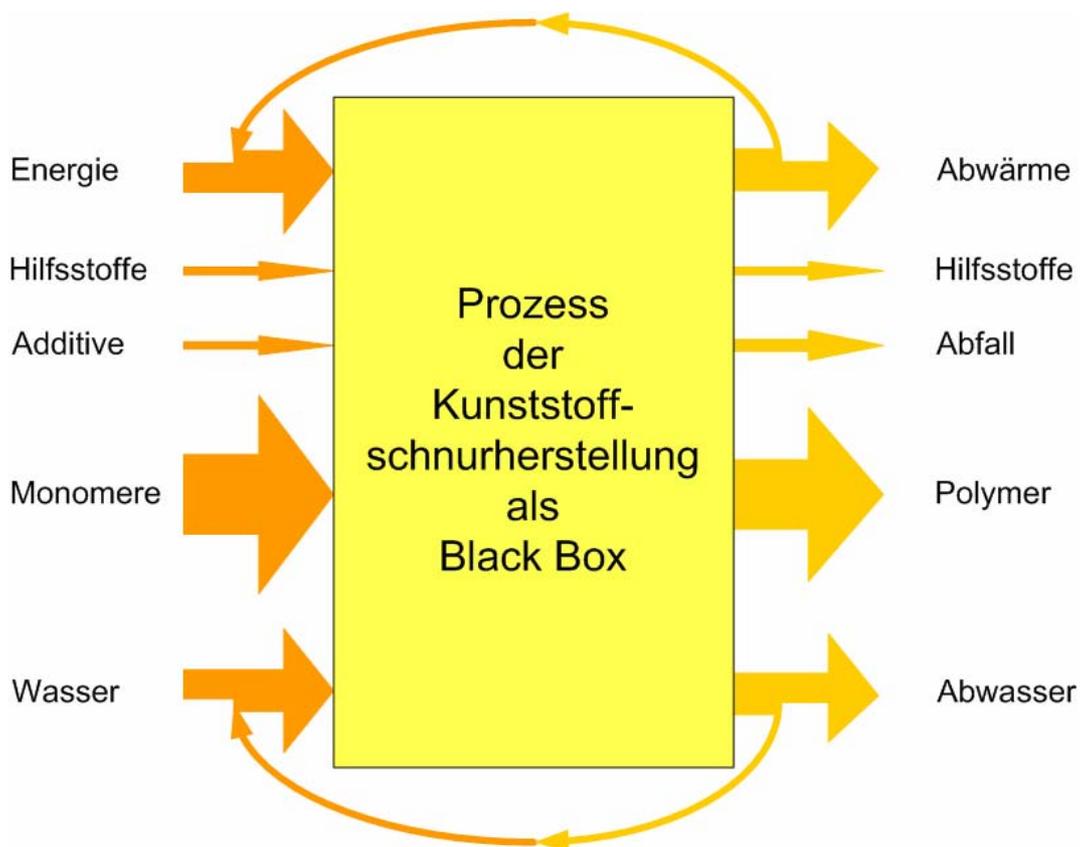


Abbildung 57: Prozess der Kunststoffschnurherstellung als Black Box

8.1.1 TEWE[®]-Erntegarn

Diese Schnur, welche in Abbildung 58 ersichtlich ist, besteht aus Polypropylen (PP), dessen Eigenschaften bereits in Kapitel 5.3 aufgelistet worden sind. Diesem Polymer sind als Additive unter anderem Weichmacher und blaue Farbmittel zugesetzt. Die Herstellung erfolgt mittels Extrusion, welche im Kapitel 5.5 näher erklärt worden ist [41].

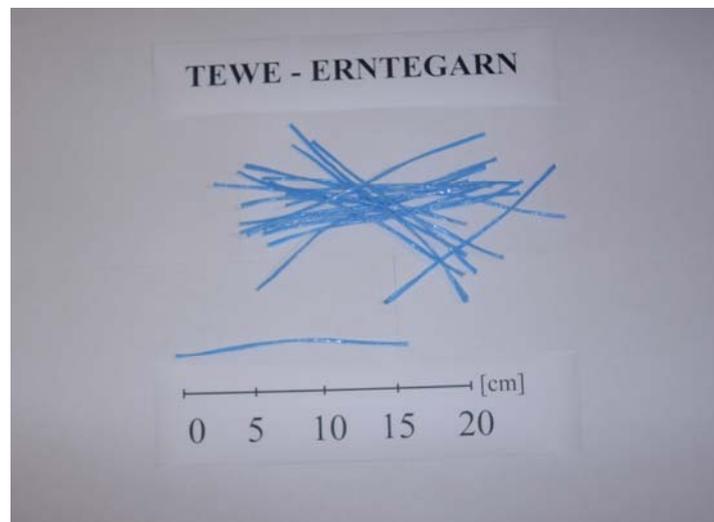


Abbildung 58: TEWE[®]-Erntegarn

8.1.2 Agriflex[®]-Schnur

Diese Schnur, welche in Abbildung 59 dargestellt ist, besteht aus Polyethylen (PE) von niedriger Dichte, dessen Eigenschaften auch bereits im Kapitel 5.3 erläutert worden sind. Als Additive sind diesem Kunststoff unter anderem ebenfalls Weichmacher und schwarze Farbmittel beigemischt. Auch bei diesem Polymer erfolgt die Herstellung mittels Extrusion, auf die bereits im Kapitel 5.5 näher eingegangen wurde [42].

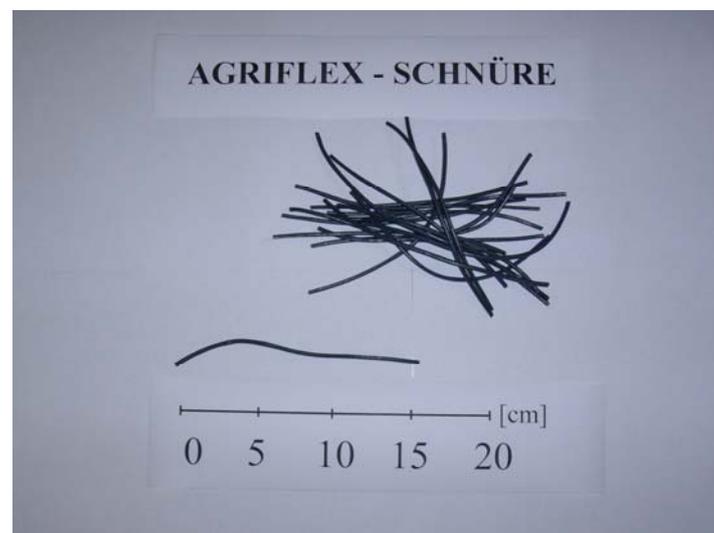


Abbildung 59: Agriflex[®]-Schnur

8.1.3 Drehbinder

Hierbei handelt es sich, wie in Abbildung 60 zu sehen, um einen Draht, welcher mit Polypropylen (PP) ummantelt ist. Dem Kunststoff sind unter anderem Additive wie Weichmacher und grüne Farbmittel zugesetzt. Die Herstellung der Drehbinder erfolgt mittels Spritzgießen, welches im Kapitel 5.5 genauer beschrieben worden ist [43].

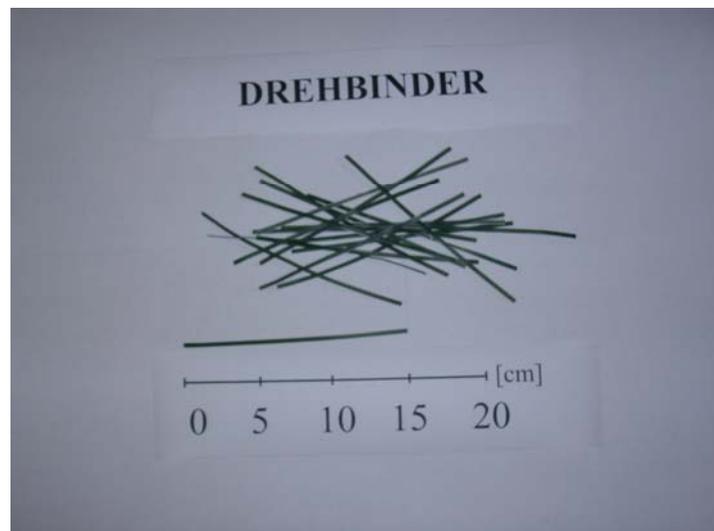


Abbildung 60: Drehbinder

8.2 Papierprodukte

Bei den Papierprodukten unterscheidet man zwischen zwei Fraktionen:

- Papierschnur der Firma Ecofil®
- ECO-BioClip® mit Papierschnur

8.2.1 Papierschnur

Diese Schnur, welche in Abbildung 61 veranschaulicht ist, wird von der Firma ECOFIL® hergestellt. Die Produktion des Papiers erfolgt auf dem zurzeit gängigem Wege, welcher in Kapitel 4 bereits beschrieben wurde [45].

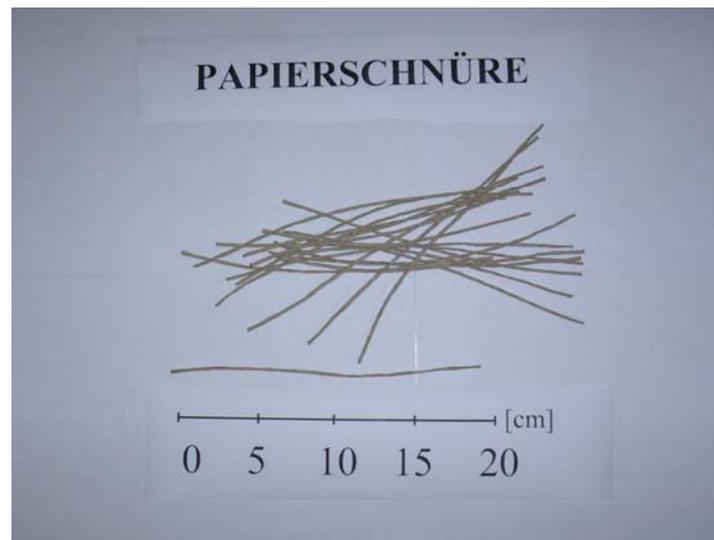


Abbildung 61: Papierschnüre der Firma Ecofil[®]

Um sich die Produktion dieser speziellen Schnur jedoch genauer vorstellen zu können, ist in Abbildung 62 die Produktion als Black Box dargestellt [45].

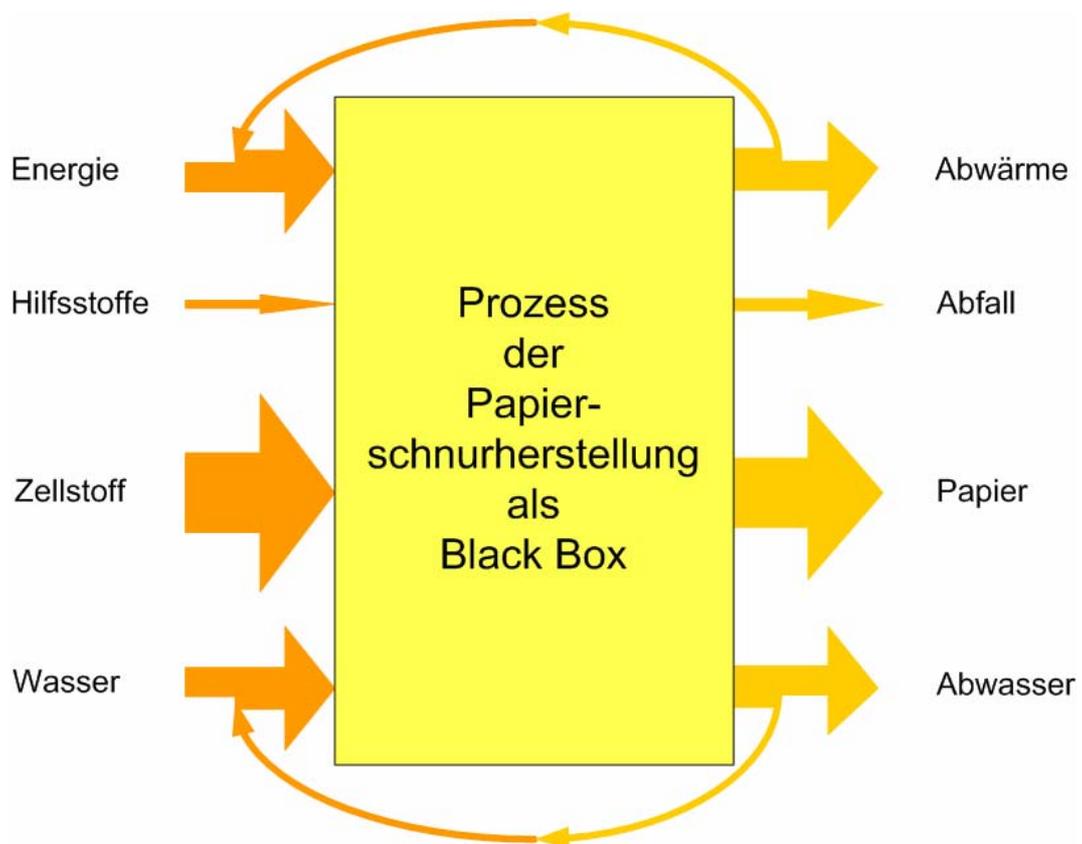


Abbildung 62: Prozess der Papierschnurherstellung als Black Box

8.2.2 ECO-BioClip®

Die Verwendung dieses Clips, welcher in Abbildung 63 ersichtlich ist, erfolgt immer gemeinsam mit der bereits erwähnten Papierschnur. Der ECO-BioClip® besteht aus abbaubarer Milchsäure und Kartoffelstärke und eignet sich zum Anbinden aller Kletterpflanzen, wobei er einer Belastung von bis zu 10 kg standhalten kann [44].

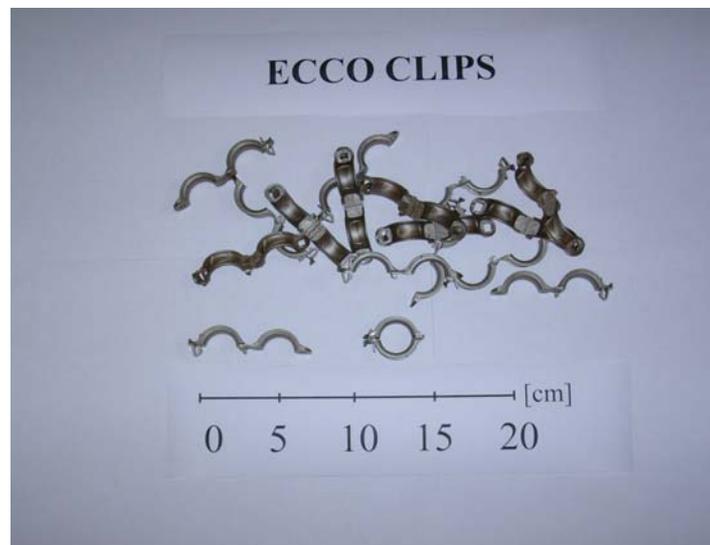


Abbildung 63: ECO-BioClip®

8.3 Versuchsaufbau

Es wurden drei Komposthaufen mit Aktivkompost und einem jeweiligen Gewicht von 295 kg gebildet. Einer der Komposthaufen wurde so belassen wie er war, ein anderer mit den Papierprodukten und der letzte mit den Kunststoffprodukten versetzt.

Der Anteil des dem Kompostes zugefügten ECO-BioClips® und Papierschnur betrug in Summe 5 Masseprozent, wobei die Papierschnur in diesem Komposthaufen als 20 cm Stücke beigefügt wurde.

Auch vom TEWE®-Erntegarn, der Agriflex®-Schnur und den Drehbindern wurden in Summe 5 Masseprozent beigemischt, wobei hier die Länge der einzelnen Produkte 15 cm betrug.

Danach wurden die Haufen in so genannte Biokomposter, welche nebeneinander aufgestellt wurden und einen jeweiligen Nutzinhalt von 600 Litern aufweisen, geschaufelt. In Abbildung 64 ist der Aufbau der Komposter mit dem jeweiligen Inhalt ersichtlich.

Bezeichnung der Komposter:

- Komposter 1: Blindwert
- Komposter 2: Papier
- Komposter 3: Kunststoff

KOMPOSTER 1 (Blindwert)	KOMPOSTER 2 (Papier)	KOMPOSTER 3 (Kunststoff)
295 kg Aktivkompost	295 kg Aktivkompost 7,38 kg Papierschnur 7,38 kg Ecco Clip	295 kg Aktivkompost 4,92 kg TEWE - Erntegran 4,92 kg Agriflex - Schnur 4,92 kg Drehbinder

Abbildung 64: Inhalt der Komposter

Zu diesem Zeitpunkt wurden auch schon die ersten Proben der drei Komposthaufen gezogen um den Startzustand festzuhalten.

Von diesen Proben wurde neben Trockensubstanz (TS), Wassergehalt (WG) und Atmungsaktivität nach 7 Tagen (AT_7) auch noch das Verhältnis von Kohlenstoff: Wasserstoff: Stickstoff (C:H:N) ermittelt.

Um die Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten wurden die Komposter während des gesamten Versuchs regelmäßig 1-2-mal pro Woche homogenisiert und bei Bedarf befeuchtet. Des Weiteren wurden neben der Homogenisierung und Befeuchtung noch alle 15-20 Tage Proben gezogen, von denen WG, TS und gegen Ende auch wieder C:H:N und AT_7 bestimmt wurde, um den Verlauf des Kompostierungsversuchs zu verfolgen.

Die Probenahme erfolgte, wie in Abbildung 65 bis 67 ersichtlich, in allen Fällen nach der Methode der Probenviertelung, welche in Kapitel 6 genauer beschrieben wurde. Hierzu wurde jeder Komposthaufen zuerst homogenisiert, dann geviertelt, zwei diagonal zueinander liegende Viertel ausgewählt, zu einem neuen Haufen gebildet und von neuem so oft geviertelt, bis die gewünschte Menge an Probe vorhanden war.



Abbildung 65: Probenahme Komposter 1



Abbildung 66: Probenahme Komposter 2

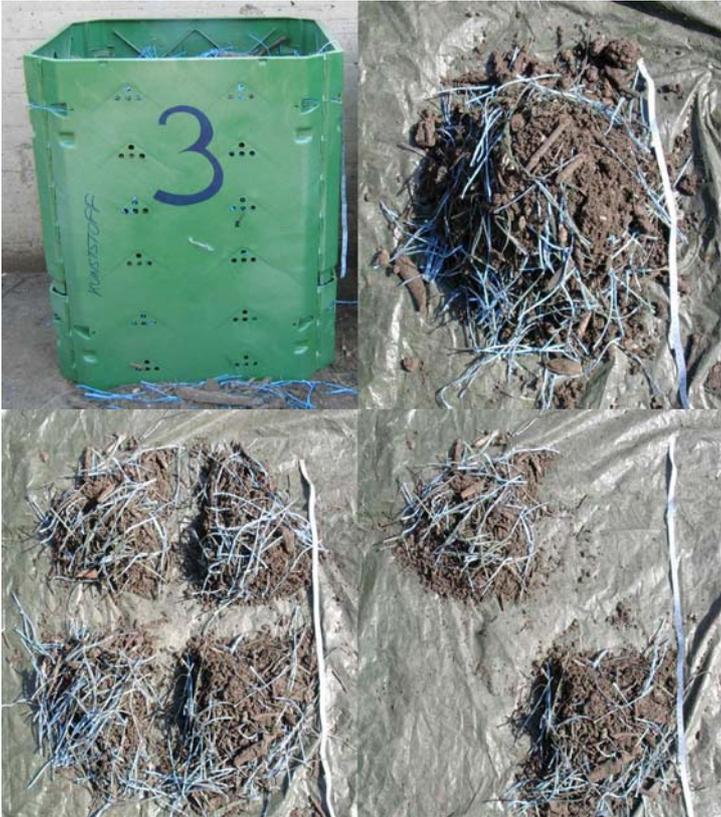


Abbildung 67: Probenahme Komposter 3

9 Ergebnisse/ Diskussion

Ziel des vier Monate andauernden Rotteversuchs war es, das unterschiedliche Verhalten von Kunststoff- und Papierprodukten während einer Kompostierung zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden die Stichproben der einzelnen Komposter in Bezug auf optische, physikalische und chemische Eigenschaften in regelmäßigen Zeitabständen untersucht. Der Temperaturverlauf des Kompostierversuchs ist in Anhang A ersichtlich. Es sei am Anfang der Auswertung darauf hingewiesen, dass die Temperaturen für eine Heißrotte (50-70°C) bei diesem Versuch nicht erreicht wurden. Die Veränderungen der zu beprobenden Stoffe wurden für alle untersuchten Produkte im Folgenden erfasst.

9.1 TEWE[®]-Erntegarn

Beim Produkt TEWE[®]-Erntegarn ist über die gesamte Versuchsdauer keine nennenswerte Gewichtsabnahme oder Festigkeitsabnahme zu verzeichnen. Es ist lediglich ein Verblässen der blauen Farbe zu Beginn des Versuchs und ein teilweises ausdrehen der einzelnen kleinen Schnüre, aus denen das TEWE[®]-Erntegarn besteht, zu beobachten. Die einzelnen Daten der Probenahme sind in den Tabellen 7 bis 9 ersichtlich.

Tabelle 7: TEWE[®]-Erntegarn Gewichtsveränderung 1

TEWE [®] -Erntegarn		
Versuchsstart	Nach 17 Tagen	Nach 32 Tagen
0,4 g	0,4 g	0,4 g
0,3 g	0,3 g	0,3 g
0,3 g	0,3 g	0,3 g
0,3 g	0,3 g	0,3 g
0,3 g	0,3 g	0,2 g
0,3 g	0,3 g	0,4 g
0,3 g	0,2 g	0,3 g
0,3 g	0,3 g	0,3 g
0,3 g	0,3 g	0,3 g
0,3 g	0,2 g	0,3 g
0,3 g	0,3 g	0,3 g
0,3 g	0,3 g	0,3 g
0,3 g	0,3 g	0,3 g
0,3 g	0,4 g	0,3 g
0,3 g	0,3 g	0,2 g
0,3 g	0,2 g	0,3 g

Summe	4,60 g	4,40 g	4,50 g
Mittelwert	0,31 g	0,29 g	0,30 g
Standardabweichung	0,03 g	0,06 g	0,05 g
Abweichung Prozent	9,68 %	20,69 %	17,67 %
TS	55,24 %	49,84 %	50,22 %
WG	44,76 %	50,16 %	49,78 %
Optisch erkennbar		blassere Farbe teilw. Ausdrehen in kl. Bändchen	blassere Farbe teilw. Ausdrehen in kl. Bändchen

Tabelle 8: TEWE[®]-Erntegarn Gewichtsveränderung 2

TEWE[®]-Erntegarn			
	Nach 53 Tagen	Nach 67 Tagen	Nach 83 Tagen
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,2 g
	0,4 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,2 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,2 g	0,4 g	0,4 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,4 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,4 g
	0,3 g	0,3 g	0,2 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
Summe	4,60 g	4,50 g	4,50 g
Mittelwert	0,31 g	0,30 g	0,30 g
Standardabweichung	0,03 g	0,05 g	0,05 g
Abweichung Prozent	9,68 %	17,67 %	17,67 %
TS	52,58 %	50,23 %	53,96 %
WG	47,42 %	49,77 %	46,04 %
Optisch erkennbar	blassere Farbe teilw. Ausdrehen in kl. Bändchen	blassere Farbe teilw. Ausdrehen in kl. Bändchen	blassere Farbe teilw. Ausdrehen in kl. Bändchen

Tabelle 9: TEWE[®]-Erntegarn Gewichtsveränderung 3

TEWE[®]-Erntegarn			
	Nach 97 Tagen	Nach 105 Tagen	Nach 119 Tagen
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,2 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,4 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,2 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,4 g
	0,3 g	0,4 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,4 g	0,3 g	0,3 g
Summe	4,60 g	4,50 g	4,60 g
Mittelwert	0,31 g	0,30 g	0,31 g
Standardabweichung	0,03 g	0,05 g	0,03 g

Abweichung Prozent	9,68 %	17,67 %	9,68 %
TS	45,80 %	52,12 %	41,84 %
WG	54,20 %	47,88 %	58,16 %
Optisch erkennbar	blassere Farbe teilw. Ausdrehen in kl. Bändchen	blassere Farbe teilw. Ausdrehen in kl. Bändchen	blassere Farbe teilw. Ausdrehen in kl. Bändchen

9.2 Agriflex[®]-Schnur

Bei der Agriflex[®]-Schnur ist im Verlauf des Kompostversuchs, so wie beim TEWE[®]-Erntegarn, keine nennenswerte Veränderung des Gewichts oder der Festigkeit zu verzeichnen. Auch bei diesem Produkt hat eine Verblässung der Farbe stattgefunden, allerdings war darüber hinaus keine Veränderung der Agriflex[®]-Schnur zu beobachten. Die einzelnen Daten der Probenahme sind in den Tabellen 10 bis 12 ersichtlich.

Tabelle 10: Agriflex[®]-Schnur Gewichtsveränderung 1

Agriflex[®]			
	Versuchsstart	Nach 17 Tagen	Nach 32 Tagen
	0,8 g	0,8 g	0,8 g
	0,8 g	0,8 g	0,7 g
	0,8 g	0,7 g	0,8 g
	0,8 g	0,8 g	0,8 g
	0,7 g	0,8 g	0,7 g
	0,8 g	0,7 g	0,8 g
	0,7 g	0,8 g	0,8 g
	0,8 g	0,8 g	0,8 g
	0,8 g	0,8 g	0,8 g
	0,7 g	0,8 g	0,8 g
	0,8 g	0,7 g	0,8 g
	0,7 g	0,8 g	0,7 g
	0,8 g	0,8 g	0,8 g
	0,8 g	0,7 g	0,8 g
	0,7 g	0,8 g	0,7 g
Summe	11,50 g	11,60 g	11,60 g
Mittelwert	0,77 g	0,77 g	0,77 g
Standardabweichung	0,05 g	0,05 g	0,05 g
Abweichung Prozent	6,49 %	6,49 %	6,49 %
TS	55,24 %	49,84 %	50,22 %
WG	44,76 %	50,16 %	49,78 %
Optisch Erkennbar		blassere Farbe	blassere Farbe

Tabelle 11: Agriflex[®]-Schnur Gewichtsveränderung 2

Agriflex[®]			
	Nach 53 Tagen	Nach 67 Tagen	Nach 83 Tagen
	0,8 g	0,7 g	0,8 g
	0,7 g	0,8 g	0,8 g

0,8 g	0,7 g	0,8 g
0,8 g	0,8 g	0,7 g
0,7 g	0,8 g	0,8 g
0,7 g	0,8 g	0,7 g
0,8 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,7 g	0,8 g
0,7 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,7 g	0,8 g
0,8 g	0,8 g	0,7 g
0,8 g	0,8 g	0,8 g
0,7 g	0,8 g	0,7 g

Summe	11,50 g	11,60 g	11,60 g
Mittelwert	0,77 g	0,77 g	0,77 g
Standardabweichung	0,05 g	0,05 g	0,05 g
Abweichung Prozent	6,49 %	6,49 %	6,49 %
TS	52,58 %	50,23 %	53,96 %
WG	47,42 %	49,77 %	46,04 %
Optisch Erkennbar	blassere Farbe	blassere Farbe	blassere Farbe

Tabelle 12: Agriflex®-Schnur Gewichtsveränderung 3

Agriflex®		
Nach 97 Tagen	Nach 105 Tagen	Nach 119 Tagen
0,8 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,8 g	0,7 g
0,7 g	0,8 g	0,7 g
0,8 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,7 g	0,8 g
0,7 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,7 g	0,8 g
0,8 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,8 g	0,7 g
0,8 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,7 g	0,8 g
0,7 g	0,7 g	0,7 g
0,7 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,8 g	0,8 g
0,8 g	0,7 g	0,8 g

Summe	11,60 g	11,50 g	11,60 g
Mittelwert	0,77 g	0,77 g	0,77 g
Standardabweichung	0,05 g	0,05 g	0,05 g
Abweichung Prozent	6,49 %	6,49 %	6,49 %
TS	45,80 %	52,12 %	41,84 %
WG	54,20 %	47,88 %	58,16 %
Optisch Erkennbar	blassere Farbe	blassere Farbe	blassere Farbe

	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
Summe	4,50 g	4,50 g	4,50 g
Mittelwert	0,30 g	0,30 g	0,30 g
Standardabweichung	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Abweichung Prozent	0,00 %	0,00 %	0,00 %
TS	52,58 %	50,23 %	53,96 %
WG	47,42 %	49,77 %	46,04 %
Optisch erkennbar	blässere Farbe	blässere Farbe	blässere Farbe

Tabelle 15: Drehbinder Gewichtsveränderung 3

Drehbinder			
	Nach 97 Tagen	Nach 105 Tagen	Nach 119 Tagen
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
	0,3 g	0,3 g	0,3 g
Summe	4,50 g	4,50 g	4,50 g
Mittelwert	0,30 g	0,30 g	0,30 g
Standardabweichung	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Abweichung Prozent	0,00 %	0,00 %	0,00 %
TS	45,80 %	52,12 %	41,84 %
WG	54,20 %	47,88 %	58,16 %
Optisch erkennbar	blässere Farbe	blässere Farbe	blässere Farbe

9.4 Papierschnur

Bei der Papierschnur der Firma ECOFIL[®] ist im Verlauf des Kompostiersversuchs, im Gegensatz zu den Kunststoffprodukten, eine hohe Festigkeitsabnahme und ein hoher Gewichtsverlust festzustellen. Bereits nach 17 Tagen ist bei den Papierschnüren die erste Festigkeitsabnahme, der erste Gewichtsverlust und ein Verblässen der ursprünglichen Farbe, wie in Tabelle 16 dargestellt, zu verzeichnen.

Tabelle 16: Papierschnur Gewichtsveränderung 1

Papierschnur			
	Versuchsstart	Nach 17 Tagen	Nach 32 Tagen
	0,4 g	0,4 g	0,3 g
	0,4 g	0,3 g	0,4 g
	0,4 g	0,5 g	0,4 g
	0,4 g	0,4 g	0,5 g
	0,4 g	0,4 g	0,4 g
	0,4 g	0,3 g	0,3 g
	0,4 g	0,4 g	0,3 g
	0,4 g	0,3 g	0,4 g
	0,4 g	0,3 g	0,3 g
	0,4 g	0,4 g	0,4 g
	0,4 g	0,4 g	0,4 g
	0,4 g	0,4 g	0,4 g
	0,4 g	0,3 g	0,3 g
	0,4 g	0,5 g	0,5 g
	0,4 g	0,4 g	0,4 g
	0,4 g	0,3 g	0,3 g
Summe	6,00 g	5,60 g	5,60 g
Mittelwert	0,40 g	0,37 g	0,37 g
Standardabweichung	0,00 g	0,07 g	0,07 g
Abweichung Prozent	0,00 %	18,92 %	18,92 %
TS	54,34 %	49,63 %	46,20 %
WG	45,66 %	50,37 %	53,80 %
Optisch erkennbar		blassere Farbe Zerfall in mehrere Schnurstücke Festigkeitsverlust	blassere Farbe Zerfall in mehrere Schnurstücke Festigkeitsverlust

Auch in den darauf folgenden Wochen ist nach der Beprobung eine weitere Gewichtsabnahme bei den Papierschnüren aufzulisten, wobei nach einer Dauer von 83 Tagen, wie in Tabelle 17 ersichtlich, bereits eine Gewichtsabnahme von 50 Masseprozent zu verzeichnen ist.

Tabelle 17: Papierschnur Gewichtsveränderung 2

Papierschnur			
	Nach 53 Tagen	Nach 67 Tagen	Nach 83 Tagen
	0,4 g	0,3 g	0,2 g
	0,3 g	0,2 g	0,1 g
	0,4 g	0,3 g	0,4 g
	0,3 g	0,3 g	0,1 g
	0,5 g	0,2 g	0,3 g
	0,3 g	0,2 g	0,2 g
	0,2 g	0,4 g	0,2 g
	0,3 g	0,4 g	0,3 g
	0,4 g	0,3 g	0,2 g
	0,3 g	0,3 g	0,1 g
	0,2 g	0,4 g	0,2 g
	0,5 g	0,2 g	0,1 g

	0,3 g	0,3 g	0,1 g
	0,4 g	0,3 g	0,2 g
	0,3 g	0,4 g	0,3 g
Summe	5,10 g	4,50 g	3,00 g
Mittelwert	0,34 g	0,30 g	0,20 g
Standardabweichung	0,09 g	0,08 g	0,09 g
Abweichung Prozent	26,76 %	25,33 %	46,50 %
TS	50,89 %	53,74 %	51,88 %
WG	49,11 %	46,26 %	48,12 %
Optisch erkennbar	blassere Farbe Zerfall in mehrere Schnurstücke Festigkeitsverlust	blassere Farbe immer mehr Schnurstücke zerfallen	blassere Farbe nur mehr wenig Schnurstücke die nicht zerfallen sind

In den folgenden Wochen ist eine weitere, sehr starke Gewichtsabnahme der Papierschnüre zu beobachten. Nach einer Dauer von 97 Tagen, wie in Tabelle 18 dargestellt, sind fast keine Papierschnüre mehr zu finden, da der Großteil der Schnüre verrottet ist. Bei der letzten Probenahme, nach 119 Tagen, wie in Tabelle 18 ersichtlich, sind so gut wie alle Papierschnüre verrottet, und bei denen die noch gefunden werden können, ist eine Gewichtsabnahme von über 83 Masseprozent feststellbar.

Tabelle 18: Papierschnur Gewichtsveränderung 3

	Papierschnur		
	Nach 97 Tagen	Nach 105 Tagen	Nach 119 Tagen
	0,2 g	0,1 g	0,1 g
	0,1 g	0,2 g	0,0 g
	0,0 g	0,1 g	0,3 g
	0,3 g	0,1 g	0,0 g
	0,1 g	0,3 g	0,0 g
	0,2 g	0,0 g	0,1 g
	0,2 g	0,1 g	0,2 g
	0,0 g	0,0 g	0,0 g
	0,1 g	0,2 g	0,1 g
	0,1 g	0,2 g	0,0 g
	0,2 g	0,1 g	0,0 g
	0,3 g	0,0 g	0,0 g
	0,1 g	0,1 g	0,2 g
	0,1 g	0,1 g	0,0 g
	0,1 g	0,0 g	0,0 g
Summe	2,10 g	1,60 g	1,00 g
Mittelwert	0,14 g	0,11 g	0,07 g
Standardabweichung	0,09 g	0,09 g	0,01 g
Abweichung Prozent	65,02 %	80,40 %	13,63 %
TS	50,82 %	52,18 %	46,90 %
WG	49,18 %	47,82 %	53,10 %
Optisch erkennbar	blassere Farbe fast alle Schnurstücke sind verrottet	blassere Farbe fast alle Schnurstücke sind verrottet	blassere Farbe so gut wie alle Schnur- stücke sind verrottet

1,7 g	1,7 g	1,7 g	
1,7 g	1,7 g	1,7 g	
1,7 g	1,7 g	1,7 g	
1,7 g	1,7 g	1,7 g	
1,7 g	1,7 g	1,7 g	
1,7 g	1,7 g	1,7 g	
Summe	25,50 g	25,50 g	25,50 g
Mittelwert	1,70 g	1,70 g	1,70 g
Standardabweichung	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Abweichung Prozent	0,00 %	0,00 %	0,00 %
TS	50,89 %	53,74 %	51,88 %
WG	49,11 %	46,26 %	48,12 %
Optisch erkennbar	blässere Farbe geringer Festigkeitsverlust	blässere Farbe geringer Festigkeitsverlust	blässere Farbe geringer Festigkeitsverlust

Tabelle 21: ECO-BioClip® Gewichtsveränderung 3

ECO-BioClip®			
	Nach 97 Tagen	Nach 105 Tagen	Nach 119 Tagen
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
	1,7 g	1,7 g	1,7 g
Summe	25,50 g	25,50 g	25,50 g
Mittelwert	1,70 g	1,70 g	1,70 g
Standardabweichung	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Abweichung Prozent	0,00 %	0,00 %	0,00 %
TS	50,82 %	52,18 %	46,90 %
WG	49,18 %	47,82 %	53,10 %
Optisch erkennbar	blässere Farbe geringer Festigkeitsverlust	blässere Farbe geringer Festigkeitsverlust	blässere Farbe geringer Festigkeitsverlust

9.6 Ergebnisse

Der Vergleich der Abbaubarkeit der Papierschnur der Firma Ecofil® und den verwendeten Kunststoffprodukten ist in Abbildung 68, welche in Form eines Portfolios erstellt wurde, dargestellt. In dieser Abbildung ist zum einen die Abbaubarkeit der Papierschnur und zum anderen die Resistenz der Kunststoffprodukte gegenüber einer Verrottung ersichtlich.

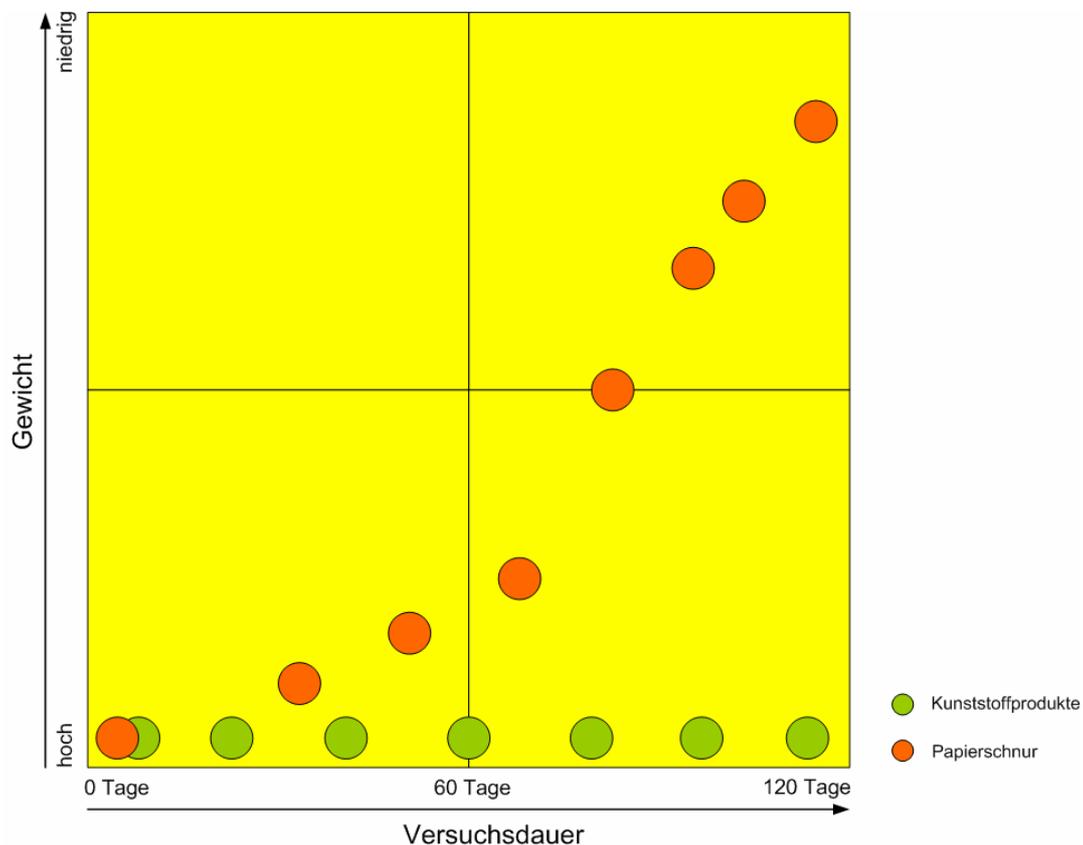


Abbildung 68: Versuchsdauer vs. Gewichtsveränderung der zu untersuchenden Produkte

Wie auch in den Tabellen 22 dargestellt minimiert sich die Atmungsaktivität (AT_7), welche den biochemischen Sauerstoffverbrauch der einzelnen Proben über einen Beobachtungszeitraum von sieben Tagen darstellt, bei jedem der drei Komposter. Der Komposter mit den Papierprodukten weist mit einer Abnahme um rund 61 % die größte Änderung der Atmungsaktivität auf, da bei den Papierschnüren eine Verrottung stattgefunden hat. Wo hingegen der Komposter mit den Kunststoffschnüren nur eine kleinere Abnahme der Atmungsaktivität mit rund 38 % verzeichnen kann.

Tabelle 22: Atmungsaktivität nach sieben Tagen

	AT_7 [mg O ₂ /g TS]		
	Blindwert	Papier	Kunststoff
Versuchstart	7,9+/-0,9	17+/-5	9,7+/-0,4
Versuchende	3,6+/-0,7	6,7+/-0,9	6+/-1

Zur Vollständigkeit sei hier erwähnt, dass sich das Verhältnis von Kohlenstoff zu Wasserstoff und Stickstoff (C:H:N), welches in Tabelle 23 ersichtlich ist, nur mittels einer minimalen Senkung der einzelnen Werte geändert hat, was über den Versuchsablauf aber keine weiteren wichtigen Erkenntnisse liefert.

Tabelle 23: Verhältnis von Kohlenstoff zu Wasserstoff und Stickstoff

	C:H:N [%TS]		
	Blindwert	Papier	Kunststoff
Versuchstart	14,36:2,23:1,00	24,62:3,53:1,00	22,60:2,86:1,00
Versuchende	14,60:1,99:1,00	28,15:3,85:1,00	28,04:4,58:1,00

Aus den Ergebnissen des Rotteversuchs lässt sich schließen, dass sich die Papierschnur der Firma Ecofil® als Substitutionsprodukt zu den einzelnen Kunststoffprodukten eignet. Allerdings wurden in diesem Versuch keine Vergleiche mit abbaubaren Kunststoffen angestellt, welche auch als Substitut zu den nicht abbaubaren Kunststoffen in Erwägung zu ziehen wären.

Auch wenn der Produktionsweg der Papierschnur umweltfreundlicher ist, als der von Kunststoffschnüren ist hier jedoch auch noch anzumerken, dass die Papierschnur der Firma Ecofil® kein Allheilmittel darstellen, da sie nicht in allen Bereichen einsetzbar ist. So ist beispielsweise ein Einsatz, wo sie starker Nässe ausgesetzt wäre nicht anzuraten.

Aber das Ziel dieser Arbeit war es, ein Substitutionsprodukt für die zurzeit in der Landwirtschaft eingesetzten schwer bis nicht verrottbaren Kunststoffschnüre zu finden. Die Papierschnur welche ein gutes Kompostverhalten aufweist erfüllt diese Voraussetzungen und ist aus diesem Grund für einen Einsatz in der Landwirtschaft, vor allem im Weinbau und der Tomatenzucht, einzusetzen. Hier ist es sogar positiv zu erwähnen, dass die Papierschnur auch bei niedrigen Temperaturen verrottet und eine Heißrotte nicht unbedingt von Nöten ist.

10 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde mit Hilfe eines Rotteversuchs das Verhalten verschiedener Kunststoffprodukte (TEWE[®]-Erntegarn, Agriflex[®]-Schnur und Drehbinder) mit jenem von zwei Papierprodukten (Papierschnur der Firma Ecofil[®] und ECO-BioClip[®] mit Papierschnur) verglichen.

Mit Hilfe des Versuchs konnte dargestellt werden, dass sich die Papierschnur der Firma Ecofil[®] als mögliches Substitutionsprodukt für die zurzeit, speziell in der Landwirtschaft, verwendeten Kunststoffe eignet.

In Kapitel 2 ist das Marktgeschehen, speziell die Grundlagen der Rohstoffnachfrage und des Rohstoffangebots sowie die Preisbildung und das Verhalten bei einer Verschiebung von Angebot und Nachfrage im Allgemeinen dargestellt. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte wurden die Papier-, Zellstoff- und Kunststoffmärkte genauer betrachtet. Beim regionalen Papier- und Zellstoffmarkt konnte die österreichische Papier- und Zellstoffindustrie vollständig dargestellt werden, wohingegen der internationale Kunststoffmarkt eher global betrachtet wurde.

In weiterer Folge sind die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Entsorgung und Verwertung von Kunststoff- und Papierprodukten näher diskutiert, wobei vor allem auf das AWG 2002 eingegangen wird.

Außerdem wurde der gesamte Lebenszyklus von Papier und Kunststoff erklärt, wobei deren Herstellung, Transport und Recycling in ökologischer und ökonomischer Sicht einander gegenübergestellt sind. Der Begriff der Nachhaltigkeit, welcher sich das erste Mal in der Forstwirtschaft definiert und heute einen wichtigen Aspekt in der Verantwortung gegenüber zukünftigen Generationen darstellt, ist erwähnt.

Im Bereich Weinbau und Tomatenzucht sind neben der Erklärung der beiden Begriffe unter anderem auch noch Angaben zu der landwirtschaftlich genutzten Fläche verschiedener ausgewählter Länder gemacht worden.

Zum allgemeinen Verständnis des praktischen Versuchsablaufes wurden die Begriffe der Probenahme und der Kompostierung näher erläutert. Dabei ist in Kapitel 7 die Probenahmemethode der Aufhäufung und Viertelung genauer dargestellt.

Danach wurde der Versuchablauf genauer beschrieben, wobei hier auch die zu untersuchenden Kunststoff- und Papierprodukte aufgelistet und deren Herstellung noch einmal kurz erwähnt sind.

Abschließend erfolgte eine Auflistung der Ergebnisse, aus denen sich dann in weiterer Folge Schlussfolgerungen ergeben haben.

11 Verzeichnisse

11.1 Literatur

- [1] Wagner, G.; Speiß, K.: Einführung in die Volkswirtschaftslehre. Technische Universität – Berlin, 2004.
- [2] Nötstaller, Richard: Skriptum zur Vorlesung Spezielle Mineralwirtschaft. Montanuniversität Leoben, Institut für Bergwirtschaft, Juni 2005.
- [3] Austropapier – Vereinigung österreichischer Papierindustrieller: Jahresbericht der österreichischen Papierindustrie 2004 – Ein Wirtschaftszweig lebt nachhaltig. Wien, 2004.
- [4] Homepage der PPM – Alliance, <http://www.ppm-alliance.com>, (Stichwörter: Papier, Altpapier). Stand: März 2006.
- [5] PlasticsEurope – Verband der Kunststoffhersteller: Geschäftsbericht 2005. Frankfurt: Zarbock, 2006.
- [6] Homepage der London Metal Exchange, <http://www.lme.co.uk> (Stichwort: Kunststoffe), Stand: Mai 2006.
- [7] Homepage des Treffpunkt Agenda 21, <http://www.learn-line.nrw.de/angebote/agenda21/daten/oelpreis.htm>. Stand: 22.04.2006.
- [8] Weiß, Joachim: F. A. Brockhaus GMBH: Lexikon. Leipzig – Mannheim, 1998. – ISBN 044974
- [9] World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [10] Hardtke, Arnd: Perspektiven der Nachhaltigkeit. Wiesbaden: Gabler, 2001. – ISBN 3-409-11715-6
- [11] Matzler, Kurt: Skriptum zur Vorlesung Marketing und strategische Unternehmensführung. Montanuniversität Leoben, Institut für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, 2004.
- [12] Klaus, Gabriel: Nachhaltigkeitsindices. Frankfurt am Main: Verlag für interkulturelle Kommunikation, 2005. – ISBN 3-88939-786-7

- [13] Doralt, Werner: Kodex des österreichischen Rechts – Abfall-Recht und Öko-Audit. Wien: LexisNexis Verlag, 2004. – ISBN 3-7007-3028-4
- [14] Richtlinie 2003/87/EG Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003: Richtlinie über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates.
- [15] Verband Deutscher Papierfabriken: Presse- Druckerzeugnisse und Ökologie. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken, 2001.
- [16] Eberhardinger, Alexander; Bodelschwingh, Ekkehard: Neue Entwicklungen im Holztransport. Universität München, 2005.
- [17] Bundesministerium für Umwelt: Branchen- Abfallwirtschaftskonzept Zellstoff- und Papierindustrie. Wien: Wirtschaftskammer Österreich, 1995. – ISBN 3-901271-34-1
- [18] Janisch, Klaus Peter: Arbeitsunterlagen zur Vorlesung Papierrecycling. Montanuniversität Leoben, Institut für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes, Juni 2005.
- [19] Pilz, Gerald: Skriptum zur Vorlesung Kunststoffrecycling. Montanuniversität Leoben, Institut für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe, Juni 2005.
- [20] BGBl. II Nr. 8 / 1999: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die gesetzliche Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen, Gummi und Kautschuk.
- [21] Pohl, Walter L.; Petraschek, Wilhelm Josef: Mineralische und Energie-Rohstoffe – Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten. Stuttgart: Schweizerbart, 2005. – ISBN 3-510-65212-6
- [22] Rieder, Gerd: Skriptum zur Vorlesung Roh- und Brennstoffversorgung. Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Wärmetechnik, Industrieofenbau und Energiewirtschaft, Juni 2004.
- [23] Johannaber, Friedrich; Michaeli, Walter: Handbuch Spritzgießen. München, Wien: Hanser, 2001. – ISBN 3-446-15632-1
- [24] Grefenstein, Achim: Reaktive Extrusion und Aufbereitung – Maschinentechnik und Verfahren. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1996. – ISBN 3-446-18837-1

- [25] Zielonka, Holger: Polymerisation von Olefinen und Dienen unter Verwendung löslicher Ziegler-Natta-Katalysatoren in Gegenwart von Metallen als Füllstoffen. Hamburg: Universität Hamburg, 1991.
- [26] Ebeling, Friedrich-Wolfhard: Extrudieren von Kunststoffen – Leichtverständliche Einführung in die Extrusions- und Hohlkörperblastechnik. Würzburg: Vogel-Verlag, 1974. – ISBN 3-8023-0073-4.
- [27] Mackwitz, H.; Stadlbauer, W.: Vermeidung und Verminderung des Müllaufkommens durch Schließung des Kohlenstoffkreislaufs, Strategien und konkrete Beispiele für den Einsatz Biologisch abbaubarer Werkstoffe (BAW) in der Stadt Wien; alchemia-nova Institut für Innovative Pflanzenforschung, Wien, Dezember 2001.
- [28] Jeitler, Barbara; Staber, Wolfgang: Biologisch abbaubare Kunststoffverpackungen. Montanuniversität Leoben, Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, März 2006.
- [29] Sotoudeh, M.; Schidler, S.: Anforderungen an Methoden zur Bewertung innovativer Technologien am Beispiel biologisch abbaubarer Polymere, Endbericht, Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, August 2001.
- [30] Homepage INARO (Informationssystem nachwachsende Rohstoffe), <http://www.inaro.De/deutsch/ROHSTOFF/industrie/STAERKE/baw.htm>, Stand: März 2006.
- [31] Karus, M.: Marktüberblick: Bio-Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe, Nova-Institut GmbH, Hürth, November 2003.
- [32] Dominé, André; Faber, Armin; Pothmann, Thomas: Bibliographie zur Geschichte und Kultur des Weines. Spanien: Könemann in der Tandem Verlag GmbH, 2003. – ISBN 3-8331-1000-7
- [33] Vogel, Georg: Handbuch des speziellen Gemüsebaues. Wien: Ulmer Eugen Verlag, 1996. – ISBN 3-8001-5285-1
- [34] Homepage Mission Tellus – Landwirtschaft in Europa (Stichwörter: Deutschland, Spanien, Frankreich, Italien, Österreich), <http://www.ceja.educagri.fr/all/pays/pays.htm>, Stand: Juni 2006.
- [35] Truchseß, Alfred: Persönliches Gespräch, Lebring, Österreich, 16. Jänner 2006.
- [36] Palme, Wolfgang: Kontakt per Mail – w.palme@gartenbau.at, August 2006.

- [37] Böhm, Andreas: Skriptum zur Vorlesung Probenahme und Produktstromvergleichsmäßigung. Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredelung, Februar 2006.
- [38] Prochaska, Michael: Entwicklung und Validierung einer Probenahmestrategie für die Qualitätssicherung von heizwertreichen Abfallfraktionen. Montanuniversität Leoben, Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Mai 2006.
- [39] Meienberg, Thomas: Stichwort Kompost. Luzern: Öko-Forum, 2005.
- [40] Seifert, Alwin: Gärtnern, Ackern – ohne Gift. München: Biederstein Verlag, 1980. – ISBN 3-7642-0150-9
- [41] Fa. Teufelberger: Katzinger, Harald: Kontakt per Mail – hka@teufelberger.com, 10. Februar 2006.
- [42] Kontakt mit der Firma Agriflex per Mail – info@palad.com, 4. April 2006.
- [43] Kontakt mit der Firma Silentag per Mail – info@silentag.ch, 01. Mai 2006.
- [44] Homepage die Natur, <http://www.dienatur.at> (Stichwörter: Biogarten, ECO-BioClip), Stand: Juni 2006.
- [45] Firma Ecofil: Truchseß, Alfred: Kontakt per Mail – alfred.truchsess@aon.at, 06. März 2006.

11.2 Abkürzungsverzeichnis

Al	Aluminium
AlCl ₃	Aluminiumchlorid
AT ₇	Atmungsaktivität nach sieben Tagen
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
CH ₃	Methyl
C ₆ H ₁₂ O ₆	Cellulose
Cl	Chlor
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlendioxid
EP	Epoxid
etc.	etcetera
g	Gramm
H	Wasserstoff
ha	Hektar
H ₂ O	Wasser
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kWh	Kilowattstunde
Li	Lithium
LKW	Lastkraftwagen
LME	London Metal Exchange
m	Meter
mm	Millimeter
N	Stickstoff
NO _x	Stickoxid
O	Sauerstoff
P	Preis
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PHA	Polyhydroxyalkanolate
PHB	Polyhydroxybutyrate
PHV	Polyhydroxyalerate
PLA	Polymilchsäure

PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
Q	Menge
t	Tonne
Ti	Titan
TOC	Total Organic Carbon
TS	Trockensubstanz
usw.	und so weiter
vs.	versus
WG	Wassergehalt
z.B.	zum Beispiel

11.3 Tabellen

Tabelle 1: Shareholder Value vs. Stakeholder Value	17
Tabelle 2: Landwirtschaftlich genutzte Fläche	57
Tabelle 3: Rebfläche	58
Tabelle 4: Jährlicher Verbrauch an Schnur im Weinbau in km	58
Tabelle 5: Jährlicher Verbrauch an Papierschnur im Weinbau in Tonnen	58
Tabelle 6: Tomatenanbaufläche	59
Tabelle 7: TEWE [®] -Erntegarn Gewichtsveränderung 1	73
Tabelle 8: TEWE [®] -Erntegarn Gewichtsveränderung 2	74
Tabelle 9: TEWE [®] -Erntegarn Gewichtsveränderung 3	74
Tabelle 10: Agriflex [®] -Schnur Gewichtsveränderung 1	75
Tabelle 11: Agriflex [®] -Schnur Gewichtsveränderung 2	75
Tabelle 12: Agriflex [®] -Schnur Gewichtsveränderung 3	76
Tabelle 13: Drehbinder Gewichtsveränderung 1	77
Tabelle 14: Drehbinder Gewichtsveränderung 2	77
Tabelle 15: Drehbinder Gewichtsveränderung 3	78
Tabelle 16: Papierschnur Gewichtsveränderung 1	79
Tabelle 17: Papierschnur Gewichtsveränderung 2	79
Tabelle 18: Papierschnur Gewichtsveränderung 3	80

Tabelle 19: ECO-BioClip® Gewichtsveränderung 1.....	81
Tabelle 20: ECO-BioClip® Gewichtsveränderung 2.....	81
Tabelle 21: ECO-BioClip® Gewichtsveränderung 3.....	82
Tabelle 22: Atmungsaktivität nach sieben Tagen.....	83
Tabelle 23: Verhältnis von Kohlenstoff zu Wasserstoff und Stickstoff	84

11.4 Abbildungen

Abbildung 1: Projektablauf in Balkenplandarstellung	5
Abbildung 2: Nachfragefunktion	7
Abbildung 3: Angebotsfunktion.....	8
Abbildung 4: Marktgleichgewicht.....	9
Abbildung 5: Verschiebung von Angebot und Nachfrage.....	11
Abbildung 6: Drei Säulen Konzept	15
Abbildung 7: Marktgleichgewicht unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskosten	18
Abbildung 8: Chemische Struktur von Cellulose	22
Abbildung 9: Chemische Struktur von Hemicellulose.....	23
Abbildung 10: Chemische Struktur von Lignin	23
Abbildung 11: Holzschliff-Verfahren	25
Abbildung 12: Refiner-Verfahren.....	25
Abbildung 13: Zellstoffherstellung	26
Abbildung 14: Papierherstellung	27
Abbildung 15: Papiermaschine.....	29
Abbildung 16: Erdöl und Erdgasentstehung.....	32
Abbildung 17: Bohrturm.....	33
Abbildung 18: Erdöltransport.....	34
Abbildung 19: Chemische Struktur von Polyethylen	35
Abbildung 20: Chemische Struktur von Polypropylen	35
Abbildung 21: Chemische Struktur von Polyvinylchlorid	35
Abbildung 22: Chemische Struktur von Polystyrol	36
Abbildung 23: Schematische Darstellung der Polymerisation.....	36
Abbildung 24: Herstellung von Polyethylen aus Ethen.....	37
Abbildung 25: Reaktion eines Phenylradikals mit einem Ethen-Molekül.....	37

Abbildung 26: Wachstumsreaktion bei Polyethylen	37
Abbildung 27: Beginn der Kettenübertragung	38
Abbildung 28: Rekombination zweier Radikale	39
Abbildung 29: Disproportionierung von Radikalen	39
Abbildung 30: Ausbildung des $\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}$ -Komplexes	40
Abbildung 31: Bildung eines Carbokations durch Reaktion des $\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}$ -Komplexes mit einem Monomer	40
Abbildung 32: Beginn der Kettenreaktion durch Addition eines Monomers an das Carbokation	40
Abbildung 33: Darstellung der abspaltbaren Protonen bei der Kettenübertragung	41
Abbildung 34: Kettenübertragungsmechanismus	41
Abbildung 35: Weitere Möglichkeit der Kettenübertragung	42
Abbildung 36: Kettenabbruchsreaktion	42
Abbildung 37: Butyllithium und dessen Zerfall	43
Abbildung 38: Start der Kettenreaktion	43
Abbildung 39: Kettenverlängerung (Propagation)	43
Abbildung 40: Abbruch der Kettenreaktion durch Zugabe von Wasser	44
Abbildung 41: Katalysatorsystem (Titan(IV)chlorid und Triethylaluminium)	44
Abbildung 42: Komplexbildung der beiden Katalysatoren und Anlagerung eines Monomers an diesen Komplex	45
Abbildung 43: Kettenwachstum	45
Abbildung 44: Kunststoffherstellung mittels Extrusion	46
Abbildung 45: Extruder	47
Abbildung 46: Ablauf des Spritzgießens	47
Abbildung 47: Gesamte Spritzgießmaschine	48
Abbildung 48: Teilbereiche einer Spritzgießmaschine	48
Abbildung 49: Einteilung biologisch abbaubarer Kunststoffe nach Rohstoffquellen	50
Abbildung 50: Einseitige und zweiseitige Erziehung	54
Abbildung 51: Entstehung einer Weintraube	54
Abbildung 52: Mit Schnüren und Klammern befestigte Tomatenpflanze	56
Abbildung 53: Tomatenzucht im Gewächshaus mit vorkultivierten Jungpflanzen	56
Abbildung 54: Probenviertelung	61

Abbildung 55: Probenahme.....	62
Abbildung 56: Komposter.....	63
Abbildung 57: Prozess der Kunststoffschnurherstellung als Black Box.....	65
Abbildung 58: TEWE [®] -Erntegarn.....	66
Abbildung 59: Agriflex [®] -Schnur.....	66
Abbildung 60: Drehbinder.....	67
Abbildung 61: Papierschnüre der Firma Ecofil [®]	68
Abbildung 62: Prozess der Papierschnurherstellung als Black Box.....	68
Abbildung 63: ECO-BioClip [®]	69
Abbildung 64: Inhalt der Komposter.....	70
Abbildung 65: Probenahme Komposter 1.....	71
Abbildung 66: Probenahme Komposter 2.....	71
Abbildung 67: Probenahme Komposter 3.....	72
Abbildung 68: Versuchsdauer vs. Gewichtsveränderung der zu untersuchenden Produkte.....	83

Anhang A

Temperaturmessung der Komposter

KOMPOSTER 1 - BLINDWERT			
WOCHENTAG	DATUM	TEMPERATUR [°C]	WETTER 1 = schön bis bewölkt 2 = Regen 3 = starker Regen
Montag	08.Mai	20,8	1
Dienstag	09.Mai	18,1	1-2
Mittwoch	10.Mai	16,7	1
Donnerstag	11.Mai	15,0	1
Freitag	12.Mai	14,5	1
Montag	15.Mai	19,0	1
Dienstag	16.Mai	19,4	1
Mittwoch	17.Mai	18,7	1-2
Donnerstag	18.Mai	19,3	1
Freitag	19.Mai	19,8	1-2
Montag	22.Mai	16,5	1
Dienstag	23.Mai	17,8	1
Mittwoch	24.Mai	18,4	2
Donnerstag	25.Mai	17,4	1-2
Freitag	26.Mai	17,4	1
Montag	29.Mai	17,6	1-2
Dienstag	30.Mai	18,3	1-2
Mittwoch	31.Mai	18,7	1
Donnerstag	01.Jun	19,3	1
Freitag	02.Jun	19,3	2
Montag	05.Jun	20,2	1
Dienstag	06.Jun	20,4	2
Mittwoch	07.Jun	19,8	1
Donnerstag	08.Jun	19,6	1-2
Freitag	09.Jun	20,2	1-2
Montag	12.Jun	16,5	1
Dienstag	13.Jun	16,4	1
Mittwoch	14.Jun	17,0	1
Donnerstag	15.Jun	17,0	1
Freitag	16.Jun	17,0	1
Montag	19.Jun	18,5	1
Dienstag	20.Jun	22,0	1
Mittwoch	21.Jun	22,1	3
Donnerstag	22.Jun	21,7	2
Freitag	23.Jun	24,5	1-2
Montag	26.Jun	22,4	1-2
Dienstag	27.Jun	22,4	3
Mittwoch	28.Jun	22,3	1
Donnerstag	29.Jun	22,5	2
Freitag	30.Jun	22,4	1
Montag	03.Jul	22,3	1
Dienstag	04.Jul	22,5	1

Mittwoch	05.Jul	22,4	1-2
Donnerstag	06.Jul	22,2	1-2
Freitag	07.Jul	22,0	3
Montag	10.Jul	23,0	1-2
Dienstag	11.Jul	23,0	2
Mittwoch	12.Jul	23,0	2
Donnerstag	13.Jul	24,0	2
Freitag	14.Jul	24,0	1
Montag	17.Jul	24,0	1
Dienstag	18.Jul	24,0	1
Mittwoch	19.Jul	24,0	1
Donnerstag	20.Jul	24,0	1
Freitag	21.Jul	24,0	1
Montag	24.Jul	24,0	1-2
Dienstag	25.Jul	24,0	2
Mittwoch	26.Jul	24,0	1-2
Donnerstag	27.Jul	24,0	3
Freitag	28.Jul	24,0	1-2
Montag	31.Jul	24,0	1
Dienstag	01.Aug	23,4	2
Mittwoch	02.Aug	23,0	1
Donnerstag	03.Aug	24,0	1-2
Freitag	04.Aug	23,4	1-2
Montag	07.Aug	20,3	2
Dienstag	08.Aug	20,0	2
Mittwoch	09.Aug	20,0	1-2
Donnerstag	10.Aug	19,8	1-2
Freitag	11.Aug	19,4	1
Montag	14.Aug	18,9	1
Dienstag	15.Aug	18,7	1
Mittwoch	16.Aug	18,1	2
Donnerstag	17.Aug	18,5	1-2
Freitag	18.Aug	19,0	1
Montag	21.Aug	17,8	1-2
Dienstag	22.Aug	18,1	2
Mittwoch	23.Aug	16,8	1-2
Donnerstag	24.Aug	17,3	1
Freitag	25.Aug	18,2	1-2
Montag	28.Aug	18,0	1-2
Dienstag	29.Aug	18,4	1
Mittwoch	30.Aug	17,1	2
Donnerstag	31.Aug	17,6	1
Freitag	01.Sep	17,8	1

KOMPOSTER 2 - PAPIER			
WOCHENTAG	DATUM	TEMPERATUR [°C]	WETTER 1 = schön bis bewölkt 2 = Regen 3 = starker Regen
Montag	08.Mai	18,7	1
Dienstag	09.Mai	17,4	1-2
Mittwoch	10.Mai	16,0	1
Donnerstag	11.Mai	16,0	1
Freitag	12.Mai	17,5	1
Montag	15.Mai	23,5	1
Dienstag	16.Mai	28,5	1
Mittwoch	17.Mai	27,2	1-2
Donnerstag	18.Mai	26,8	1
Freitag	19.Mai	27,1	1-2
Montag	22.Mai	27,2	1
Dienstag	23.Mai	26,8	1
Mittwoch	24.Mai	27,1	2
Donnerstag	25.Mai	26,8	1-2
Freitag	26.Mai	27,1	1
Montag	29.Mai	27,2	1-2
Dienstag	30.Mai	28,6	1-2
Mittwoch	31.Mai	28,4	1
Donnerstag	01.Jun	29,2	1
Freitag	02.Jun	30,0	2
Montag	05.Jun	29,2	1
Dienstag	06.Jun	28,6	2
Mittwoch	07.Jun	26,2	1
Donnerstag	08.Jun	24,8	1-2
Freitag	09.Jun	21,9	1-2
Montag	12.Jun	17,9	1
Dienstag	13.Jun	16,0	1
Mittwoch	14.Jun	16,5	1
Donnerstag	15.Jun	16,5	1
Freitag	16.Jun	16,4	1
Montag	19.Jun	16,8	1
Dienstag	20.Jun	17,0	1
Mittwoch	21.Jun	21,0	3
Donnerstag	22.Jun	21,0	2
Freitag	23.Jun	19,4	1-2
Montag	26.Jun	20,8	1-2
Dienstag	27.Jun	20,8	3
Mittwoch	28.Jun	21,0	1
Donnerstag	29.Jun	21,2	2
Freitag	30.Jun	21,4	1
Montag	03.Jul	20,9	1
Dienstag	04.Jul	21,0	1

Mittwoch	05.Jul	22,4	1-2
Donnerstag	06.Jul	23,2	1-2
Freitag	07.Jul	23,7	3
Montag	10.Jul	24,0	1-2
Dienstag	11.Jul	23,7	2
Mittwoch	12.Jul	23,5	2
Donnerstag	13.Jul	23,7	2
Freitag	14.Jul	23,0	1
Montag	17.Jul	24,0	1
Dienstag	18.Jul	24,0	1
Mittwoch	19.Jul	25,0	1
Donnerstag	20.Jul	24,0	1
Freitag	21.Jul	25,0	1
Montag	24.Jul	24,2	1-2
Dienstag	25.Jul	23,9	2
Mittwoch	26.Jul	22,2	1-2
Donnerstag	27.Jul	22,9	3
Freitag	28.Jul	23,1	1-2
Montag	31.Jul	23,3	1
Dienstag	01.Aug	23,4	2
Mittwoch	02.Aug	22,8	1
Donnerstag	03.Aug	22,1	1-2
Freitag	04.Aug	21,6	1-2
Montag	07.Aug	21,3	2
Dienstag	08.Aug	20,0	2
Mittwoch	09.Aug	21,2	1-2
Donnerstag	10.Aug	21,2	1-2
Freitag	11.Aug	22,8	1
Montag	14.Aug	22,4	1
Dienstag	15.Aug	22,0	1
Mittwoch	16.Aug	19,7	2
Donnerstag	17.Aug	19,9	1-2
Freitag	18.Aug	20,0	1
Montag	21.Aug	18,4	1-2
Dienstag	22.Aug	18,6	2
Mittwoch	23.Aug	18,3	1-2
Donnerstag	24.Aug	19,5	1
Freitag	25.Aug	18,9	1-2
Montag	28.Aug	19,0	1-2
Dienstag	29.Aug	19,0	1
Mittwoch	30.Aug	18,4	2
Donnerstag	31.Aug	19,2	1
Freitag	01.Sep	20,1	1

KOMPOSTER 3 - KUNSTSTOFF			
WOCHENTAG	DATUM	TEMPERATUR [°C]	WETTER 1 = schön bis bewölkt 2 = Regen 3 = starker Regen
Montag	08.Mai	17,2	1
Dienstag	09.Mai	16,4	1-2
Mittwoch	10.Mai	15,3	1
Donnerstag	11.Mai	16,0	1
Freitag	12.Mai	17,0	1
Montag	15.Mai	20,9	1
Dienstag	16.Mai	19,4	1
Mittwoch	17.Mai	20,4	1-2
Donnerstag	18.Mai	20,6	1
Freitag	19.Mai	20,2	1-2
Montag	22.Mai	18,1	1
Dienstag	23.Mai	19,4	1
Mittwoch	24.Mai	18,3	2
Donnerstag	25.Mai	18,3	1-2
Freitag	26.Mai	19,8	1
Montag	29.Mai	20,9	1-2
Dienstag	30.Mai	19,4	1-2
Mittwoch	31.Mai	20,4	1
Donnerstag	01.Jun	20,6	1
Freitag	02.Jun	20,2	2
Montag	05.Jun	20,4	1
Dienstag	06.Jun	20,6	2
Mittwoch	07.Jun	20,2	1
Donnerstag	08.Jun	20,6	1-2
Freitag	09.Jun	20,2	1-2
Montag	12.Jun	16,3	1
Dienstag	13.Jun	16,4	1
Mittwoch	14.Jun	16,4	1
Donnerstag	15.Jun	16,4	1
Freitag	16.Jun	16,5	1
Montag	19.Jun	17,0	1
Dienstag	20.Jun	16,7	1
Mittwoch	21.Jun	22,0	3
Donnerstag	22.Jun	21,4	2
Freitag	23.Jun	21,5	1-2
Montag	26.Jun	21,8	1-2
Dienstag	27.Jun	21,8	3
Mittwoch	28.Jun	22,3	1
Donnerstag	29.Jun	22,3	2
Freitag	30.Jun	21,7	1
Montag	03.Jul	21,5	1
Dienstag	04.Jul	21,7	1

Mittwoch	05.Jul	21,5	1-2
Donnerstag	06.Jul	20,6	1-2
Freitag	07.Jul	22,2	3
Montag	10.Jul	24,0	1-2
Dienstag	11.Jul	23,8	2
Mittwoch	12.Jul	23,8	2
Donnerstag	13.Jul	23,7	2
Freitag	14.Jul	23,5	1
Montag	17.Jul	24,6	1
Dienstag	18.Jul	24,7	1
Mittwoch	19.Jul	25,0	1
Donnerstag	20.Jul	25,0	1
Freitag	21.Jul	25,0	1
Montag	24.Jul	23,8	1-2
Dienstag	25.Jul	23,8	2
Mittwoch	26.Jul	23,7	1-2
Donnerstag	27.Jul	23,5	3
Freitag	28.Jul	22,0	1-2
Montag	31.Jul	21,4	1
Dienstag	01.Aug	21,5	2
Mittwoch	02.Aug	21,8	1
Donnerstag	03.Aug	21,8	1-2
Freitag	04.Aug	20,4	1-2
Montag	07.Aug	20,6	2
Dienstag	08.Aug	20,2	2
Mittwoch	09.Aug	20,4	1-2
Donnerstag	10.Aug	20,6	1-2
Freitag	11.Aug	19,8	1
Montag	14.Aug	20,9	1
Dienstag	15.Aug	19,4	1
Mittwoch	16.Aug	20,4	2
Donnerstag	17.Aug	20,6	1-2
Freitag	18.Aug	19,8	1
Montag	21.Aug	20,9	1-2
Dienstag	22.Aug	18,1	2
Mittwoch	23.Aug	19,4	1-2
Donnerstag	24.Aug	18,3	1
Freitag	25.Aug	18,3	1-2
Montag	28.Aug	18,2	1-2
Dienstag	29.Aug	18,1	1
Mittwoch	30.Aug	19,4	2
Donnerstag	31.Aug	18,3	1
Freitag	01.Sep	20,2	1