



Diplomarbeit

Abfall-Management für die Lederindustrie

**Aerobe biologische Behandlung von chromfreien Wet – White
Lederspänen**

erstellt am

Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED)

Montanuniversität Leoben

Vorgelegt von:

Martin Hartl 9135301

Sauraugasse 8/7

8700 Leoben

Betreuer:

Dipl.-Ing. Harald Tesch

O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber

Leoben, 27.02.2003

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig 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“

Martin F. Hartl

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | EINLEITUNG..... | 11 |
| 1.1 | Problemstellung | 12 |
| 1.2 | Zielsetzung..... | 13 |
| 2 | DIE LEDERHERSTELLUNG..... | 15 |
| 2.1 | Die Rohhaut | 15 |
| 2.1.1 | Der Aufbau der Haut | 16 |
| 2.1.2 | Die chemischen Eigenschaften der Rohhaut | 17 |
| 2.1.3 | Die Konservierung der Rohhaut | 18 |
| 2.2 | Die Vorbereitung der Rohhaut in der Nasswerkstatt..... | 19 |
| 2.2.1 | Die Weiche..... | 20 |
| 2.2.2 | Haarauflockerung und Hautaufschluss durch Äschern..... | 20 |
| 2.2.3 | Das Enthaaren und Entfleischen | 21 |
| 2.2.4 | Spalten und Crouponieren | 22 |
| 2.2.5 | Das Entkälken und Beizen..... | 23 |
| 2.2.6 | Das Streichen oder Glätten | 23 |
| 2.3 | Die wichtigsten Gerbverfahren | 23 |
| 2.3.1 | Die Gerbung mit pflanzlichen und synthetischen Gerbmitteln | 26 |
| 2.3.1.1 | Planzliche Gerbmittel | 26 |
| 2.3.1.2 | Synthetische Gerbmittel..... | 28 |
| 2.3.2 | Die „Wet Blue“ Gerbung mit Chromgerbstoffen | 28 |
| 2.3.3 | Die „Wet White“ Gerbung und Glutardialdehyd..... | 29 |
| 2.3.4 | Das Pickeln | 31 |
| 2.3.5 | Das Falzen der vorgegerbten Halbfabrikate (Wet-Blue oder Wet-White) | 31 |
| 2.4 | Zurichtung des Leders | 33 |
| 3 | DIE FESTEN LEDERABFÄLLE..... | 36 |
| 3.1 | Das Salz aus der Konservierung der Rohhäute | 38 |
| 3.1.1 | Gewinnung des Salzes durch Vorentsatzung | 39 |
| 3.1.2 | Wiederverwendung des Salzes beim Pickeln | 39 |
| 3.2 | Chromfreie Abfälle | 40 |
| 3.2.1 | Enthaarungsrückstände..... | 41 |
| 3.2.1.1 | Wiederverwertung der Haare..... | 42 |
| 3.2.1.2 | Aufbereitung zu Dünger | 42 |
| 3.2.1.3 | Kompostierung..... | 43 |
| 3.2.2 | Maschinenleimleder | 43 |
| 3.2.2.1 | Rückgewinnung von Fett und Eiweiß | 45 |
| 3.2.2.2 | Biologische anaerobe Behandlung..... | 45 |
| 3.2.2.3 | Biologische aerobe Behandlung | 46 |
| 3.2.3 | Blößenstücke | 46 |
| 3.3 | Chromfalzspäne..... | 48 |
| 3.3.1 | Lederfaserherstellung | 49 |
| 3.3.2 | Aufarbeitung durch Hydrolyse [17] | 49 |
| 3.3.3 | Thermische Behandlung (Verbrennung) | 50 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.3.4 | Deponierung..... | 51 |
| 3.3.5 | Einbinden in eine keramische Matrix..... | 51 |
| 3.4 | Chromfreie Wet-White Falzspäne | 51 |
| 4 | INTERNATIONALER VERGLEICH – LEDERABFÄLLE..... | 54 |
| 4.1 | Rohhäute..... | 54 |
| 4.2 | Die Entwicklung der Lederproduktion..... | 55 |
| 4.3 | Lederproduktion – Heute | 58 |
| 4.4 | Chromhaltige Abfallmengen der Lederherstellung..... | 59 |
| 5 | GRUNDLAGEN DER KOMPOSTIERUNG..... | 62 |
| 5.1 | Einleitung..... | 62 |
| 5.2 | Biochemische Grundlagen..... | 62 |
| 5.3 | Ausgangsmaterialien für die Kompostierung | 64 |
| 5.3.1 | Bioabfälle..... | 64 |
| 5.3.2 | Garten und Parkabfälle | 65 |
| 5.3.3 | Organische Gewerbeabfälle | 65 |
| 5.3.4 | Biokunststoffe..... | 65 |
| 5.3.5 | Klärschlamm | 65 |
| 5.3.6 | Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien | 66 |
| 5.4 | Wichtige Parameter der Ausgangsmaterialien für die Kompostierung..... | 66 |
| 5.4.1 | Gehalt an organischer Substanz und biologische Abbaubarkeit | 66 |
| 5.4.2 | Wassergehalt..... | 67 |
| 5.4.3 | Substratstruktur..... | 67 |
| 5.4.4 | Nährstoffverhältnis (C/N – Verhältnis)..... | 68 |
| 5.4.5 | pH Wert..... | 68 |
| 5.4.6 | Schadstoffgehalt | 68 |
| 5.5 | Sonstige wichtige Parameter für die Kompostierung..... | 69 |
| 5.5.1 | Sauerstoffversorgung..... | 69 |
| 5.5.2 | Temperatur \approx Rotteindikator | 70 |
| 5.6 | Die Phasen der Kompostierung..... | 70 |
| 5.6.1 | Abbauphase..... | 71 |
| 5.6.2 | Umbauphase..... | 72 |
| 5.6.3 | Aufbauphase (Reifephase) | 72 |
| 5.7 | Verfahrenstechnik der Kompostierung..... | 72 |
| 5.7.1 | Aufbereitung des Ausgangsmaterials..... | 73 |
| 5.7.2 | Rotte..... | 74 |
| 5.7.2.1 | Vorrotte..... | 74 |
| 5.7.2.2 | Nachrotte..... | 74 |
| 5.7.2.3 | Rotteverfahren | 75 |
| 5.7.2.3.1 | Statische Verfahren..... | 75 |
| 5.7.2.3.2 | Dynamische Verfahren..... | 76 |
| 5.7.3 | Aufbereitung bzw. Konfektionierung..... | 76 |
| 5.8 | Emissionen der Kompostierung..... | 77 |
| 5.8.1 | Sicker- und Kondenswasser bei der Mietenkompostierung..... | 78 |
| 5.8.1.1 | Verringerung der Sickerwässer (Cleaner Production) | 79 |
| 5.8.1.2 | Behandlung der Sickerwässer (End of Pipe) | 79 |
| 5.8.1.2.1 | Rückberieselung..... | 79 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.8.1.2.2 | Kommunale Kläranlagen..... | 80 |
| 5.8.2 | Geruchsstoffe (Osmogene) | 80 |
| 5.8.2.1 | Entstehung | 80 |
| 5.8.2.2 | Verminderung der Geruchsstoffe | 80 |
| 5.9 | Qualitätskriterien an den Kompost | 81 |
| 5.9.1 | Biologische Parameter..... | 82 |
| 5.9.1.1 | Seuchenhygienische Unbedenklichkeit | 82 |
| 5.9.1.2 | Rottegrad..... | 83 |
| 5.9.1.3 | Pflanzenverträglichkeit..... | 83 |
| 5.9.1.4 | Keimfähige Samen oder austriebsfähige Pflanzenteile | 83 |
| 5.9.2 | Physikalische Parameter | 84 |
| 5.9.2.1 | Rohdichte (Volumengewicht)..... | 84 |
| 5.9.2.2 | Korngrößenverteilung | 84 |
| 5.9.2.3 | Fremdstoff- und Steingehalt | 84 |
| 5.9.2.4 | Wassergehalt | 85 |
| 5.9.3 | Chemische Parameter..... | 85 |
| 5.9.3.1 | Der pH - Wert..... | 85 |
| 5.9.3.2 | Gehalt an organischer Substanz | 85 |
| 5.9.3.3 | Gehalt löslicher Salze..... | 85 |
| 5.9.3.4 | Pflanzennährstoffe | 85 |
| 5.9.3.5 | Anorganische Schadstoffe (Schwermetalle) | 86 |
| 5.9.3.6 | Organische Schadstoffe (AOX, PAK, PCDD/F) | 87 |
| 6 | VERSUCHSDURCHFÜHRUNG..... | 88 |
| 6.1 | Einleitung..... | 88 |
| 6.2 | Versuchsbeschreibung | 88 |
| 6.2.1 | Aufbau der Mieten..... | 89 |
| 6.2.2 | Die Einsatzmaterialien | 90 |
| 6.2.3 | Betreuung der Mieten | 92 |
| 6.2.4 | Probennahme und Aufbereitung..... | 93 |
| 6.2.5 | Beobachtete Probleme während der Rotte | 94 |
| 6.2.5.1 | Biologischer Abbau | 94 |
| 6.2.5.2 | Temperaturverläufe \neq Temperaturschwankungen..... | 95 |
| 6.2.5.2.1 | Miete 1 \neq Falzspäne mit Stroh..... | 96 |
| 6.2.5.2.2 | Miete 2 \neq Falzspäne mit Pferdemist/Stallstreu..... | 96 |
| 6.2.5.2.3 | Miete 3 \neq Falzspäne mit biogenen Abfällen..... | 96 |
| 6.2.5.2.4 | Miete 4 \neq Falzspäne mit Klärschlamm und Strukturmaterial | 97 |
| 6.2.5.3 | Geruchsentwicklung..... | 99 |
| 6.3 | Ergebnisse der Versuche | 99 |
| 6.3.1 | Gewichts- bzw. Volumensreduktion | 99 |
| 6.3.2 | Qualitätskontrolle des Produktes (Kompost)..... | 100 |
| 6.3.2.1 | Schwermetallbelastung..... | 100 |
| 6.3.2.2 | Wassergehalt | 102 |
| 6.3.2.3 | pH – Wert | 102 |
| 6.3.2.4 | Organische Substanz mittels Glühverlust | 102 |
| 6.3.2.5 | C/N – Verhältnis | 102 |
| 6.3.2.6 | Korngrößenverteilung | 103 |
| 6.3.2.7 | Pflanzenverträglichkeit..... | 104 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.4 | Schlussfolgerungen und Ausblick..... | 105 |
| 7 | ZUSAMMENFASSUNG..... | 108 |
| 8 | LITERATURVERZEICHNIS | 111 |
| 9 | ANHANG..... | 113 |
| 9.1 | Grundlagen der Kompostierung | 113 |
| 9.2 | Formeln für die Berechnung von Wassergehalt und C/N – Verhältnis [26]..... | 115 |
| 9.2.1 | Wassergehalt der Mischung bei bekannten Massen | 115 |
| 9.2.2 | Masse der Materialien bei angenommenem Wassergehalt der Mischung..... | 115 |
| 9.2.3 | C/N – Verhältnis der Mischung bei bekannten Massen..... | 116 |
| 9.2.4 | Masse der Materialien bei angenommenem C/N – Verhältnis der Mischung .. | 116 |
| 9.3 | Analyse der Kompostrohstoffe | 117 |
| 9.4 | Chemische Analysen der erhaltenen Produkte | 118 |
| 9.5 | Fotos | 121 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Abbildung 2-1 | Histologischer Aufbau der Haut..... | 17 |
| Abbildung 2-2 | Chemischer Aufbau der Rohhaut [3]..... | 17 |
| Abbildung 2-3 | Die Prozesse der Nasswerkstatt, mit Einsatzstoffen znd Abfallstoffen..... | 19 |
| Abbildung 2-4 | Einteilung der Haut..... | 22 |
| Abbildung 2-5 | Quervernetzung (Gerbung) des Kollagens durch die Gerbmittel [4]..... | 24 |
| Abbildung 2-6 | Schematisches Diagramm der Gerbverfahren..... | 25 |
| Abbildung 2-7 | Beispiel für einen synthetischen Gerbstoff auf Phenol-Basis [3]..... | 28 |
| Abbildung 2-8 | Allgemeiner Ablauf der Wet White Gerbung mit Nachgerbprozessen..... | 30 |
| Abbildung 2-9 | Vergleich der Rückstände in Wet Blue und Wet White Halbfabrikaten [8]..... | 31 |
| Abbildung 2-10 | Falzen von Rohleder, schematische Darstellung [32]..... | 32 |
| Abbildung 2-11 | Das Falzen von Leder, Fa. Vogl..... | 32 |
| Abbildung 2-12 | Die Stationen der Lederzurichtung in Abhängigkeit der zu erzeugenden Lederart [3]..... | 35 |
| Abbildung 3-1 | Die Verteilung fester Abfallströme beim Chromgerbverfahren..... | 38 |
| Abbildung 3-2 | Die Verteilung der festen Abfallströme bei Vorgerbung mit Glutardialdehyd mit anschließender Chromnachgerbung..... | 38 |
| Abbildung 3-3 | Flussdiagramm für die Verwendung des gewonnenen Konservierungssalzes beim Pickeln [10]..... | 40 |
| Abbildung 4-1 | Weltweite, prozentuelle Verteilung der Lederabfälle..... | 60 |
| Abbildung 4-2 | Weltweite Verteilung der festen Lederabfälle nach Tabelle 4 - 5..... | 61 |
| Abbildung 5-1 | Schematischer Ablauf der Kompostierung..... | 73 |
| Abbildung 6-1 | Schematische Darstellung der Probenaufbereitung..... | 94 |
| Abbildung 9-9-1 | C/N-Verhältnis der Versuchsansätze (Input) in Abhängigkeit vom jeweiligen Massenanteil der zugesetzten Substrate..... | 120 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabelle 2-1 | Die Wichtigsten Gerb. und Nachgerbstoffe, ihre Charakteristik und Einsatzgebiete [4]..... | 26 |
| Tabelle 2-2 | Chemische Einteilung pflanzlicher Gerbstoffe..... | 27 |
| Tabelle 3-1 | Output von festen Abfällen bei der Chromgerbung [7], [9]..... | 37 |
| Tabelle 3-2 | Massenbilanz für Salz aus der Konservierung für eine Tonne Rohhaut [10]..... | 39 |
| Tabelle 3-3 | Anfallende Haarmenge bezogen auf das Gewicht der Rohhaut beim haarschonenden Enthaaren..... | 41 |
| Tabelle 3-4 | Zusammensetzung von Maschinenleimleder [16]..... | 44 |
| Tabelle 3-5 | Analyse von Chromfalzspänen [16]..... | 48 |
| Tabelle 3-6 | Chemische Analyse von Wet White Falzspänen..... | 53 |
| Tabelle 4-1 | Rohhäute – Daten zur Population, Nettohandel, Verfügbarkeit [23]..... | 55 |
| Tabelle 4-2 | Daten über den Lederoutput bezogen auf Lederart und Wirtschaftsraum [23]..... | 56 |
| Tabelle 4-3 | Rinderleder – Daten über die Produktion, den Nettohandel und die Verfügbarkeit [23]..... | 58 |
| Tabelle 4-4 | Verhältnis von Abfällen bezogen auf die Produktion [24]..... | 59 |
| Tabelle 4-5 | Weltweite Lederproduktion und die dabei erzeugten festen Abfälle..... | 60 |
| Tabelle 4-6 | Lederproduktion in ausgewählten Ländern mit festen Abfällen..... | 60 |
| Tabelle 5-1 | Maßnahmen gegen mangelnde Sauerstoffversorgung der Rotte [25]..... | 69 |
| Tabelle 5-2 | Rottephasen und die sie kennzeichnenden Rotteparameter [25]..... | 71 |
| Tabelle 5-3 | Emissionen der Kompostierung..... | 78 |
| Tabelle 5-4 | Übersicht der Kompostparameter..... | 82 |
| Tabelle 5-5 | Rottegradstufen dur Ermittlung nach dem Selbsterhitzungsversuch [27]..... | 83 |
| Tabelle 5-6 | Unterscheidung zw. nährstoffreichen und nährstoffarmen Komposten [26]..... | 86 |
| Tabelle 5-7 | Schwermetallrichtwerte in verschiedenen Kompostgüterrichtlinien in mg/kg TS [27]..... | 86 |
| Tabelle 6-1 | Gewichts- und Volumsverhältnisse der Versuchsmieten..... | 91 |
| Tabelle 6-2 | Wichtige Parameter der Einsatzmaterialien..... | 91 |
| Tabelle 6-3 | Massen- und Volumensreduktion im Verlauf der der Versuche..... | 100 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabelle 6-4 | Schwermetallbelastungen der Einsatzmaterialien [in mg/kg TS] | 101 |
| Tabelle 6-5 | Vergleich der Schwermetallbelastungen in den Komposten [in mg/kg TS] | 101 |
| Tabelle 6-6 | Ausgewählte Versuchsergebnisse..... | 102 |
| Tabelle 9-1 | Wertgebende Bestandteile von verschiedenen Ausgangsstoffen der Kompostierung]..... | 113 |
| Tabelle 9-2 | Vorkommen, Aufbau und Abbaubarkeit der für die Rotte wichtigen Naturstoffe..... | 114 |
| Tabelle 9-3 | Definitionen der verwendeten Abkürzungen in den Formeln | 115 |
| Tabelle 9-4 | Chemische Analyse der Einsatzmaterialien..... | 117 |
| Tabelle 9-5 | Chemische Analyse des Kompostes aus dem ersten Versuch..... | 118 |
| Tabelle 9-6 | Chemische Analyse des Kompostes aus dem zweiten Versuch..... | 118 |
| Tabelle 9-7 | Chemische Analyse des Kompostes aus dem dritten Versuch..... | 119 |
| Tabelle 9-8 | Chemische Analyse des Kompostes aus dem vierten Versuch..... | 119 |

Diagrammverzeichnis

| | | |
|--------------|---|-----|
| Diagramm 4-1 | Entwicklung der scheren Rinderlederproduktion in 1000 t/a..... | 57 |
| Diagramm 4-2 | Entwicklung der leichten Rinderlederproduktion in mio. m ² /a | 57 |
| Diagramm 4-3 | Entwicklung der Schafs- und Ziegenlederproduktion in mio. m ² /a | 57 |
| Diagramm 5-1 | Allgemeine Temperaturentwicklung in der Kompostmiete | 70 |
| Diagramm 6-1 | Temperaturkurven des Versuches Lederspäne mit Stroh..... | 97 |
| Diagramm 6-2 | Temperaturkurven der Versuche Lederspäne mit Pferdemist/Stallstreu, mit biogenen Abfällen sowie mit Klärschlamm und Strukturmaterial | 98 |
| Diagramm 6-3 | Sieblinie des Kompostes aus dem Versuch Lederspäne/Stroh-Mist..... | 103 |
| Diagramm 6-4 | Sieblinie dedes Kompostes aus dem Versuch Lederspäne/Biogene Abfälle..... | 104 |
| Diagramm 6-5 | Sieblinie aus dem Versuch Lederspäne/Klärschlamm - Strukturmaterial | 104 |

Fotoverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----|
| Foto 3-1 | Haarrückstände [15]..... | 42 |
| Foto 3-2 | Maschinenleimleder..... | 44 |
| Foto 3-3 | Blößenstücke [15]..... | 47 |
| Foto 3-4 | Wet-White Falzspäne der Fa. Vogl..... | 52 |
| Foto 6-1 | Pferdemist/Stallstreu und Lederspäne werden mit dem Mietenwender vermischt..... | 90 |
| Foto 6-2 | Umsetzen der Miete nach einem Monat Rotte mit großer Dampf- und Geruchsentwicklung | 93 |
| Foto 9-1 | Wet white Falzspäne der Fa. Vogel..... | 109 |
| Foto 9-2 | Substrat Stroh..... | 109 |
| Foto 9-3 | Substrat Stroh/Mist..... | 109 |
| Foto 9-4 | Substrat Bioabfälle nach 2 Wochen Vorrotte..... | 109 |
| Foto 9-5 | Substrat Klärschlamm..... | 109 |

Verwendete Symbole und Abkürzungen

| | |
|---------------------|--|
| % TM | Prozent Trockenmasse |
| ° C | Grad Celsius |
| AIICA | Asociacion de Investigacion de las Industrias del Curtido y Anexas |
| Al | Aluminium |
| AOX | Adsorbierbare organische Halogenverbindungen |
| BSB bzw. | Biologischer Sauerstoffbedarf Beziehungsweise |
| C/N-Verhältnis | Kohlenstoff zu Stickstoff Verhältnis |
| C/N _{ges} | Gesamtes Kohlenstoff zu Stickstoff Verhältnis |
| C | Kohlenstoff |
| Ca | Kalzium |
| CaO | Kalziumoxyd |
| Cd | Cadmium |
| Cl | Chlor |
| Cr(III) | dreiwertiges Chrom |
| Cr(VI) | sechswertiges Chrom |
| Cr | Chrom |
| CSB | Chemischer Sauerstoffbedarf |
| Cu | Kupfer |
| d. h. | das heißt |
| e. V. | eingetragener Verein |
| EILT | Reduction of Environmental Impact of Leather Tanneries |
| EPN | Escuela Politécnica Nacional / Ecuador |
| etc. | et cetera |
| Fa. | Firma |
| FAO | Food and Agricultural Organisation of the United Nations |
| Fe | Eisen |
| Gew. % | Gewichtsprozent |
| GV | Glühverlust |
| h | Stunden |
| H | Wasserstoff |
| Hg | Quecksilber |
| H _o | Oberer Heizwert |
| INCO – DC | International Corporation with Developing Countries |
| K ₂ O | Kaliumoxyd |
| K | Kalium |
| KCl/l FS | Kalziumchlorid pro Liter Feuchtsubstanz |
| kg/t _{gRH} | Kilogramm pro Tonne gesalzener Rohhaut |
| kJ/kg | Kilojoule/Kilogramm |
| KMU | Kleinere und mittlere Unternehmen |
| l/t FS | Liter pro Tonne Feuchtsubstanz |
| Lefa | Lederfasern |
| m/min | Meter pro Minute |
| MBA | Mechanisch – Biologischen Abfallbehandlungsanlage |
| mech. | mechanischer |
| m _f | Masse Feucht |
| Mg | Magnesium |
| MgO | Magnesiumoxyd |
| mg/l FM | Milligramm pro Liter Feuchtmasse |
| mg/kg TS | Milligramm pro Kilogramm Trockensubstanz |
| mg/l | Milligramm pro Liter |
| min | Minuten |

| | |
|-------------------------------|--|
| Mio. | Millionen |
| Mio. m ² | Millionen Quadratmeter |
| ml Luft/g TS*h | Milliliter Luft pro Kilogramm Trockensubstanz und Stunde |
| mS/m | milliSiemens pro Meter |
| m _{tr} | Masse Trocken |
| MUL | Montanuniversität Leoben / Austria |
| N | Stickstoff |
| Ni | Nickel |
| O ₂ /g | Sauerstoff pro Gramm |
| P ₂ O ₅ | Phosphat |
| P | Phosphor |
| PAK | Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe |
| Pb | Blei |
| PCB | polychlorierte Biphenole |
| PCDD | Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine |
| ppm | Parts per Million |
| S | Schwefel |
| t/a | Tonnen pro Jahr |
| t/d | Tonnen pro Tag |
| t/mio m ² | Tonnen pro Millionen Quadratmeter |
| Ti | Titan |
| TOC | Total Organic Carbon |
| TS | Trockensubstanz |
| TUB | Technische Universität Berlin / Germany |
| UdeC | Universidad de Concepción / Chile |
| UDSSR | Union Der Sozialistischen Soviet Republiken |
| UFRO | Universidad de la Frontera / Chile |
| UNIDO | United Nations Industrial Development Organisation |
| USA | United States of America |
| USC | Universidad de Santiago de Compostela / Spain |
| usw. | und so weiter |
| vgl. | vergleiche |
| WG | Wassergehalt |
| z. B. | zum Beispiel |
| Zr | Zirkonium |

1 Einleitung

Die Ledererzeugung kann wohl als eines der ältesten Gewerbe der Menschheit bezeichnet werden. Schon die Urvölker haben gewusst, dass die Tierhäute, die ihnen zur Bekleidung dienten, durch Fett haltbar und weich werden. Die Entwicklung der Mineralgerbung, vor allem die Erfindung der Chromgerbung 1858 durch Knapp, Eitner und Dennis hat die Basis für eine Industrialisierung der bis dahin rein handwerklich betriebenen Lederherstellung geschaffen. Durch immer höher werdende Ansprüche an das Fertigprodukt und daher auch den Einsatz immer neuerer Chemikalien vergrößerten sich auch die negativen Umweltauswirkungen.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden vor allem Rohhäute aus den Erzeugerländern Südamerikas, Asiens und Afrikas von den Industriestaaten importiert. Das hat sich seit 1990 grundlegend geändert. Die Kostenstruktur und die technische Aufrüstung ermöglichte es diesen Ländern, preiswerte Standardleder, sogenannte Wet-Blue Halbfabrikate, in Eigenregie auf den Weltmarkt zu bringen. Der internationale Handel mit Leder und Lederprodukten ist in den letzten 20 Jahren stark angestiegen. Zwischen 1984 und 1998 stieg der Welthandelsumsatz von ungefähr 16 Mrd. US\$ auf 98 Mrd. US\$ [1]. Der Handel mit Lederwaren und Lederprodukten ist vor allem für Entwicklungsländer sehr wichtig, weil er Arbeit und Devisen bringt. Aufgrund von Kostenvorteilen hat sich die Lederindustrie immer mehr und mehr in Richtung der Entwicklungsländer in Südamerika und Südostasien verschoben. Diese Kostenvorteile ergeben sich vor allem durch ein geringeres Lohnniveau und schwächere Umweltauflagen. Vor allem der größte Teil von chromgegerbtem Wet-Blue wird heute in Entwicklungsländern erzeugt und danach als „sauberes Halbfabrikat“ exportiert, um dann in den Industrieländern ohne große Umweltbelastungen zu erzeugen, zum Fertigprodukt weiterverarbeitet zu werden.

Das INCO-DC Projekt „EILT“ (Reduction of Environmental Impact of Leather Tanneries) beschäftigt sich mit der umweltgerechten Behandlung von Abfallströmen aus Gerbereien und soll somit einen Beitrag dazu liefern. Übergeordnetes Ziel des Projektes ist die Vermeidung bzw. Reduzierung der Umweltbelastung von Gerbereien durch Veränderungen der Gerbprozesse, Nutzung von Abfallstoffen und Reduzierung der Abwasserbelastung durch verbesserte Abwasserbehandlungsverfahren. Am Projekt „EILT“ arbeiten sechs internationale Universitäten zusammen, wobei die Montanuniversität Leoben als Projektkoordinator auftritt. Zu diesen Universitäten zählen neben der Montanuniversität Leoben / Austria (**MUL**) auch die Technische Universität Berlin / Germany (**TUB**),

Universidad de Santiago de Compostela / Spain (**USC**), Universidad de Concepción / Chile (**UdeC**), Escuela Politécnica Nacional / Ecuador (**EPN**) und Universidad de la Frontera / Chile (**UFRO**).

Diese Diplomarbeit wird von der Europäischen Union finanziert und im Rahmen des INCO-DC Projektes „EILT“ an der Montanuniversität Leoben durchgeführt. Sie enthält einen Überblick über die Technologien der Lederherstellung, derzeitige Verwertungsmöglichkeiten fester Lederabfälle, die Entwicklung der Lederproduktion und der dadurch anfallenden festen Abfälle, Grundlagen zur Kompostierung und die Dokumentation der durchgeführten Versuche, chromfreie Lederspäne zu kompostieren.

1.1 Problemstellung

Vor allem in Entwicklungsländern gibt es viele kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die relativ hohe Umweltfrachten erzeugen. Daraus ergibt sich, dass diese gerade in bestimmten Sektoren den Großteil der industriellen Umweltverschmutzung ausmachen. Umweltgesetze, die den Umgang mit Abfällen regeln, werden kaum exekutiert und verbessert daher die Lage nicht wirklich. Ansammlungen von KMU's die groß genug sind um stärkere Umweltprobleme zu verursachen haben meist auch die politische Kraft um die Versuche der lokalen Politiker, die strikte Einhaltung der Umweltgesetze durchzusetzen, abzuwenden [2]. Die KMU's sind in Entwicklungsländern die führenden Arbeitgeber der armen Bevölkerungsschicht und spielen damit eine wichtige volkswirtschaftliche Rolle. Dieser Umstand erschwert ebenfalls die strenge Exekution der Umweltauflagen. Zusätzlich wird die Exekution der Umweltgesetze noch erschwert weil viele der KMU's für den Staat praktisch anonym sind. Gerade wegen diesen Einschränkungen ist das Werben für die Adaption umweltfreundlicher Technologien, welche zum einen die Umweltverschmutzungen vermindern und zum anderen die Produktionskosten reduzieren oder sie zumindest nicht signifikant erhöhen, vielversprechend. Gerade in Bezug auf Kosten bietet sich die Kompostierung fester Gerbereiabfälle, als Mittel zur Minimierung und Umwandlung der Lederspäne in ein verwertbares Produkt, an.

Es bestehen vor allem drei Ansätze, um die Abfälle einer Gerberei zu reduzieren.

- ? Der Gesamtverbrauch an Chemikalien sollte optimiert und reduziert und die Abwasserreinigung verbessert werden
- ? Chrom sollte effizienter eingesetzt und vor allem teilweise durch chromfreie Gerbverfahren ersetzt werden
- ? das Recycling der Abfälle aus der Lederproduktion muss forciert werden

Für das Recycling von Lederfalzspänen bestehen immer noch zu wenige kosteneffektive Technologien. Vor allem in Entwicklungsländern ist der Stand der Technik in Bezug auf die Abfallentsorgung noch sehr gering. Für lange Zeit war das „Loswerden“ dieser Abfälle auf wilden Deponien, in Flüsse oder im Meer die übliche Praxis. Gründe für diese Art der Entsorgung sind vor allem der Mangel an bestehenden, exekutierten Umweltgesetzen und die geringen vorhandenen finanziellen Mittel in diesen Ländern.

Bei der Entsorgung ist vor allem zwischen chromhaltigen (bei Wet-Blue Halbfabrikaten) und chromfreien Lederfalzspänen zu unterscheiden. Letztere erhält man durch sogenannte Wet - White Gerbverfahren. Als Wet-White Verfahren werden chromfreie (Vor-)Gerbverfahren mit Metallsalzen, Aldehyden oder speziellen Syntanen bezeichnet [5]. Werden diese als Vorgerbstoff angewendet, stabilisieren sie die Hautstruktur soweit, dass mechanische Prozesse zur Regulierung der Dicke (Falzen und Spalten) möglich sind und daher chromfreie Lederabfälle erhalten werden.

Die Wet-White Lederspäne der Gerberei Vogl/Österreich werden derzeit von einem Kompostgroßunternehmer übernommen. Dieser mischt die Lederspäne mit einem Anteil von etwa 2% erfolgreich seinen bestehende Kompostmieten (Rinden und Grünabfälle) bei. Ein weiterer Nachweis, dass die Kompostierung von chromfreien Lederspänen bei geringen Mischungsverhältnissen (35g trockene Wet-White Späne mit 1kg feuchtem Kompostmaterial) möglich ist, wurde von Alois Püntener erbracht [31]. In Entwicklungsländern gibt es aber kaum Kompostierungsanlagen, die die Lederspäne übernehmen könnten. Daher ist eine aerobe Entsorgung nur am betriebseigenen Gelände der Gerbereien möglich. Dadurch ergeben sich die Probleme, dass bei diesen geringen Mischungsverhältnissen der Substratbedarf und der Platzbedarf vor allem für KMU´s zu groß wäre.

1.2 Zielsetzung

Aus genannten Gründen ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit festzustellen, ob chromfreie Lederspäne mit Massenanteilen von 25% bis 50% kompostiert werden können. Mit diesen Bedingungen könnten die Lederspäne von den Gerbereien betriebsintern einer aeroben Behandlung zugeführt und damit kostengünstig und effizient entsorgt werden.

Dazu wurden vier Versuchsmieten mit verschiedenen Materialmischungen aufgebaut um zu sehen welche Zuschlagmaterialien die besten Ergebnisse bringen:

- ? Miete 1 ~~↗~~ Wet White Späne mit Stroh (Mischungsverhältnis 3:1)
- ? Miete 2 ~~↗~~ Wet White Späne mit Stroh/Mist (1,6:1)
- ? Miete 3 ~~↗~~ Wet White Späne mit biogenen Abfällen (0,45:1)
- ? Miete 4 ~~↗~~ Wet White Späne mit Klärschlamm und Strukturmaterial (0,53:1)

Nach Beendigung der der Rotte werden die Produkte daraufhin untersucht, ob die chromfreien Falzspäne in ein biologisch stabiles Produkt umgewandelt wurden bzw. wiederverwendet werden können. Desweiteren wird der verfahrenstechnische Verlauf der Rotte selbst analysiert und bestimmt um, wie viel sich die Abfälle reduziert haben.

2 Die Lederherstellung

„Die Aufgabe der Lederherstellung ist es, die leicht verderbliche, im nassen Zustand fäulnisfähige und im trockenen Zustand brechende Tierhaut mit Gerbstoffen chemisch umzuwandeln und durch besondere Zurichtmethoden widerstandsfähig zu machen.“ [3] Das so erhaltene Leder kann dann zu den verschiedensten Gebrauchsgütern, wie Schuhe, Kleidung, Möbel, und viele andere Dinge des täglichen Gebrauchs weiterverarbeitet werden.

Die Verarbeitungsprozesse der Lederherstellung bilden eine komplexe Abfolge chemischer Reaktionen und mechanischer Bearbeitungen und werden in vier Hauptgruppen eingeteilt: **Wasserwerkstatt** \rightarrow **Gerbung** \rightarrow **Nachgerbung** \rightarrow **Zurichtung**. In der Wasserwerkstatt werden die Rohhäute von den Haaren, unstrukturierten Proteinen und Fetten befreit, sodass nur die reine Kollagenmatrix übrig bleibt. Diese werden dann bei der Gerbung soweit imprägniert und stabilisiert, dass die Blößen in ihrer Dicke durch das Falzen vereinheitlicht werden können. Bei der Nachgerbung werden dann dem Leder die gewünschten Eigenschaften verliehen. Schlussendlich wird beim Zurichten aus dem Leder durch Färben und verschiedenen Oberflächenbehandlungen das gewünschte Endprodukt.

Die Lederherstellung in einer Gerberei kann alle diese Prozessgruppen beinhalten oder auch nur einige bestimmte. Zusätzlich können diese Prozessgruppen aus den verschiedensten Prozessen, abhängig von den Rohmaterialien, den gewünschten Ledereigenschaften und der verwendeten Gerbtechnologie, bestehen. Die Gerbtechnologie hängt vor allem vom verwendeten Gerbmittel ab.

2.1 Die Rohhaut

Bei lebenden Tieren hat die Haut vor allem die Funktion den Körper vor Verletzungen sowie vor klimatischen und umweltbedingten Einflüssen zu schützen. Sie dient aber auch der Regulierung der Körpertemperatur und nicht zuletzt der Tarnung. Zur Lederherstellung können die Häute fast aller Tierarten verwendet werden, sofern diese nicht durch das Washingtoner Artenschutzgesetz geschützt sind.

Wenn ein Tier geschlachtet oder erlegt wird, liefert die Haut oder das Fell bei sachgemäßem Abzug und richtiger Lagerung einen wertvollen Rohstoff, der durch den Gerber zu Leder oder Pelz veredelt wird. Leder ist enthaarte und gegerbte tierische Haut, beim Pelz bleibt das natürliche Haarkleid auch nach der Gerbung erhalten.

Der Großteil der Tierhäute, aus denen Leder produziert wird, kommen aus landwirtschaftlichen Züchtungen. Diese Rohhäute sind meist Nebenprodukte der Fleischindustrie und somit ist das Angebot an Lederrohstoffen direkt vom Fleischkonsum abhängig. Für viele Schlachtbetriebe ist der Rohhauthandel heute ein wichtiger ökonomischer Faktor.

Die Beschaffenheit dieses Rohmaterials in Bezug auf Größe, Dicke, Form, Histologie und Oberfläche wird in erster Linie durch die Rasse bestimmt. Sie ist aber auch vom Alter, dem Geschlecht sowie von den klimatischen und umweltbedingten Einflüssen abhängig.

2.1.1 Der Aufbau der Haut

Die Tierhaut ist ein netzartiges, kompliziertes Eiweißfaser–Gebilde und wird grundsätzlich in drei Hauptschichten unterteilt (siehe auch Abbildung 2-1):

- ? Die Oberhaut, auch Epidermis genannt hat einen Dickenanteil von nur etwa 1%. Sie besteht aus der nach außen liegenden, trockenen Hornschicht und einer darunter liegenden weichen Schleimhaut. Da die Oberhaut von Alkalien leicht angegriffen wird, kann sie vom Gerber einfach mitsamt der Haare entfernt werden.
- ? Die Lederhaut, auch Corium genannt macht ungefähr 85% der Gesamtstärke aus und dient der eigentlichen Lederherstellung. Die obere Schicht wird auch Papillarschicht genannt. Darunter liegt die Retikularschicht, die dem fertigen Leder seine Elastizität und Reißfestigkeit gibt. Eine Verschiebung zwischen den Fasern der Lederhaut wird durch das sogenannte Bindegewebe ermöglicht. Dieses besteht aus leimbildenden (kollagenen) Eiweißstoffen die in der Wasserwerkstatt teils chemisch herausgelöst, teils physikalisch verdrängt werden, um die Aufnahme der Gerbstoffe zu ermöglichen.
- ? Die Unterhaut, auch Subkutis genannt verbindet die Lederhaut mit dem darunter liegenden Muskelgewebe. Sie wird vor dem eigentlichen Gerbprozess entfernt.

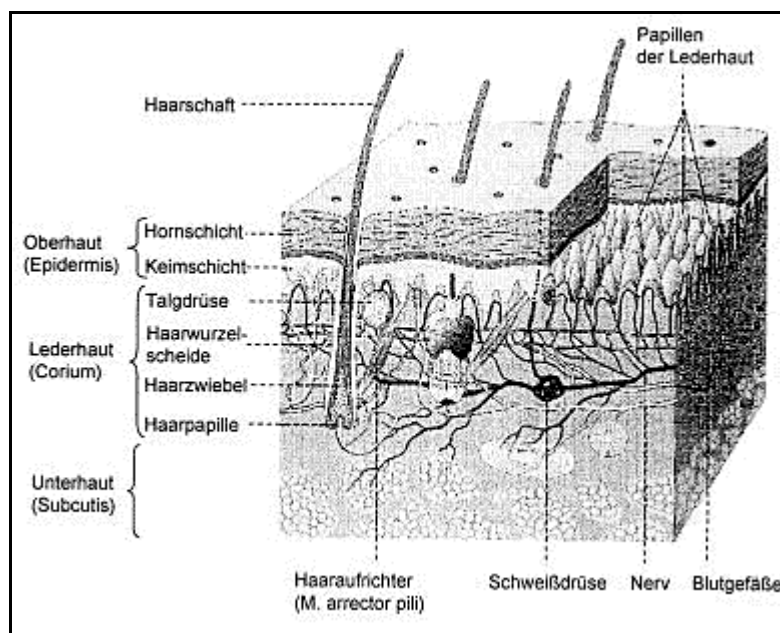
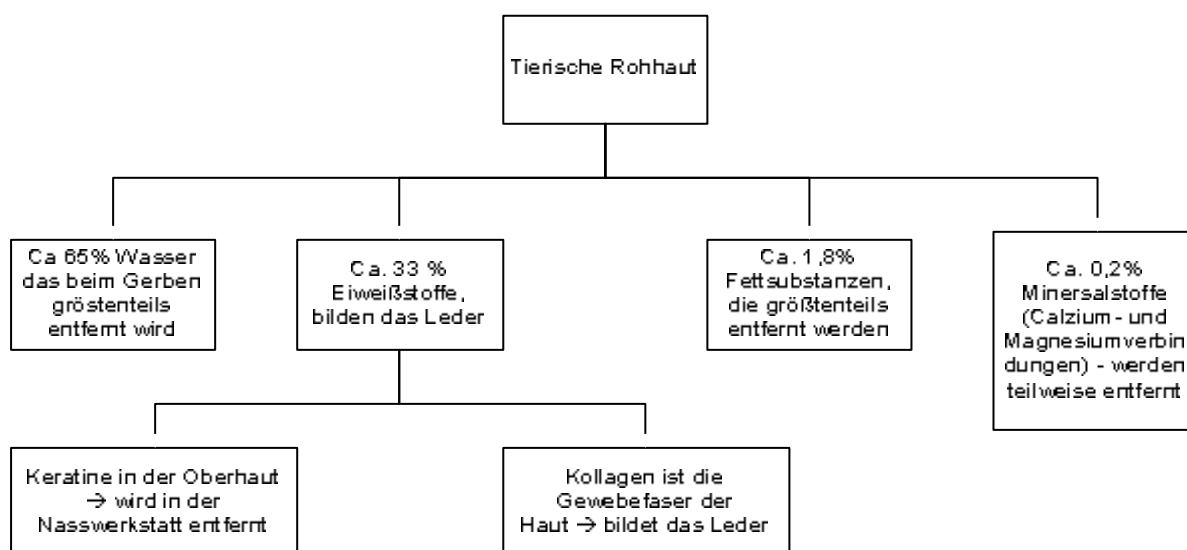


Abbildung 2-1 Histologischer Aufbau der Haut

2.1.2 Die chemischen Eigenschaften der Rohhaut

Das Fasergeflecht der Oberhaut besteht hauptsächlich aus Keratine (= Hornstoff, aus dem auch die Haare gebildet werden), welches stark schwefelhaltig ist. Es wird durch starke Säure-, Alkali- und Sulfidlösungen angegriffen.

Das Fasergeflecht der Lederhaut hingegen besteht aus Kollagen, welches im kalten Wasser, schwachen Alkali-, Säure- und Salzlösungen aufquillt, ohne aber in Lösung zu gehen. Im heißen Wasser würde es sich zu Gelatine auflösen.



2.1.3 Die Konservierung der Rohhaut

Die Bausteine der Haut sind dieselben wie beim Fleisch und bestehen in der Hauptsache aus Eiweißstoffen. Diese dienen bei unsachgemäßer Behandlung den Bakterien als Nährboden. Des weiteren brauchen die Bakterien, damit sie existieren können, Wärme und Feuchtigkeit. Da die Luft voller Bakterien ist und auch durch Insekten auf die Eiweißstoffe gelangen, muss ihnen die Existenzgrundlage entzogen werden. Wird den Kleinlebewesen nur eine dieser lebensnotwendigen Bedingungen entzogen, können sie nicht mehr existieren oder sich zumindest nicht mehr vermehren. Diese Kenntnis ist die Voraussetzung, um den Fäulnisprozess einzudämmen oder zu unterbinden. Bereits 24 Stunden nach dem Abzug beginnt die Verwesung durch Bakterien. Unsere zu bearbeitende Rohhaut, welche den Nährboden darstellt, können wir nicht entziehen aber es ist möglich ihr die Feuchtigkeit (eine dieser notwendigen Bedingungen) zu entziehen, so dass die Bakterien in die sogenannte „latente Periode“ fallen, in welcher sie nicht abgetötet werden, jedoch unschädlich sind.

Folgende Möglichkeiten bestehen zur Konservierung:

- ? **Frischhautvermarktung:** Wenn es möglich ist, werden die Frischhäute (auch Grünhäute genannt) noch direkt im Schlachthaus heruntergekühlt, mit Scheibeneis versetzt und mit Kühltransportern innerhalb von 12 Stunden zur Gerberei gebracht. Dort werden sie gleich verarbeitet oder in Kühlschränken bei 5 °C zwischen- gelagert. Der Verzicht auf die Salzkonservierung bietet einen entscheidenden ökologischen Vorteil, indem die Salzfrachten im Abwasser vermieden werden.
- ? **Stapelsalzung** (wird vor allem in Europa eingesetzt): Die Häute werden fleischseitig mit Kochsalz oder Alaun eingestreut und dann auf einen Stapel gelegt, damit sie sich bildende Salzlake abfließen kann.
- ? **Salzlakenbehandlung** (vor allem in Südamerika): Die Grünhäute werden in eine mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllten Grube gehängt. Nach etwa 15 Stunden lässt man sie abtropfen und stapelt sie wie bei der Stapelsalzung. Erforderlichenfalls können vor allem in tropischen Ländern zusätzlich Konservierungsstoffe, wie Pentachlorphenol (wird in Europa nicht mehr eingesetzt) zugesetzt werden.

Um das Transportgewicht zu vermindern, können die gesalzten Häute noch getrocknet werden.

2.2 Die Vorbereitung der Rohhaut in der Nasswerkstatt

In der Wasserwerkstatt werden die ankommenden konservierten Rohhäute auf die Gerbung vorbereitet. Abbildung 2-3 gibt einen Überblick über die Prozesse, Einsatzstoffe und Abfallstoffe der Nasswerkstatt.

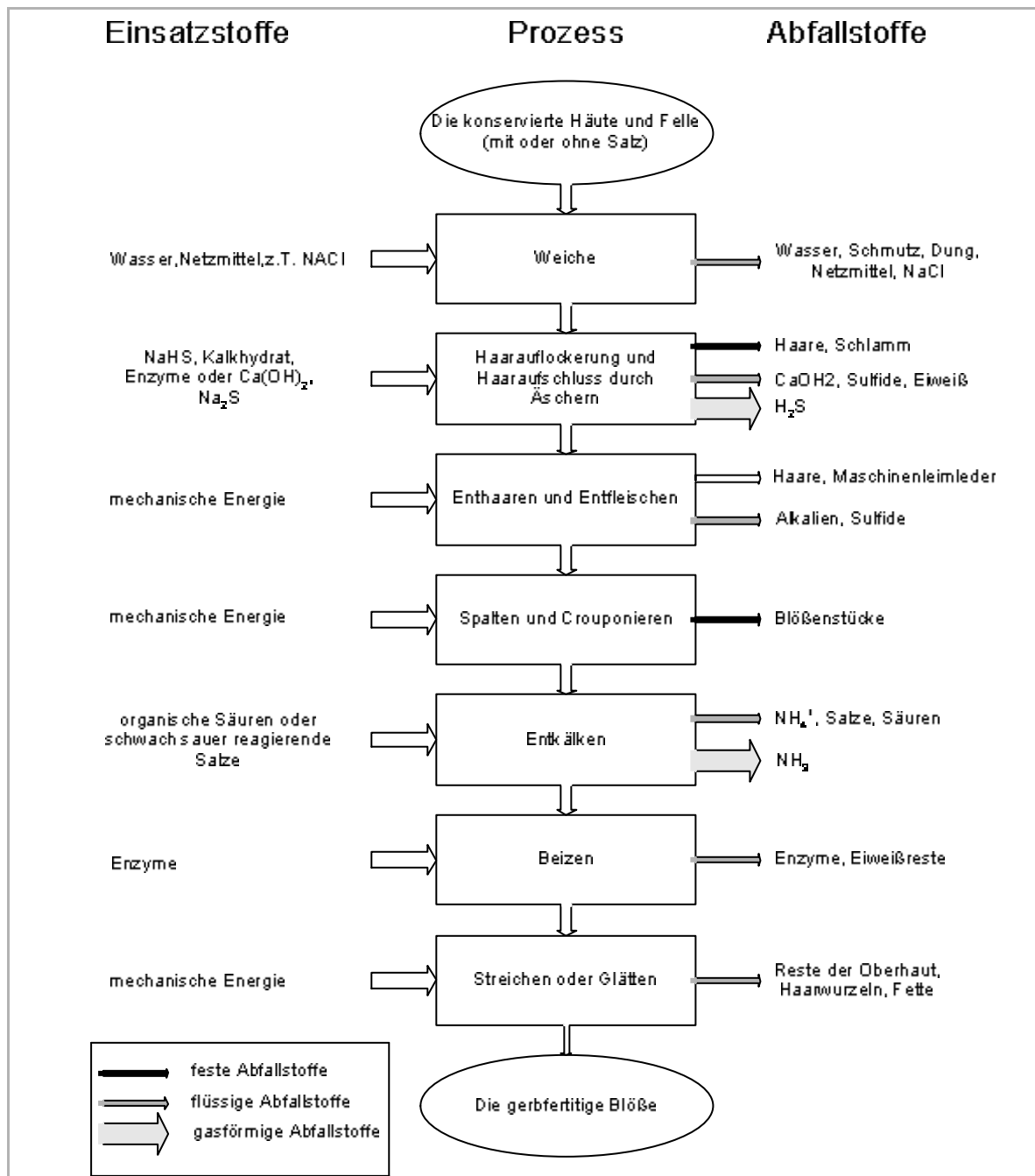
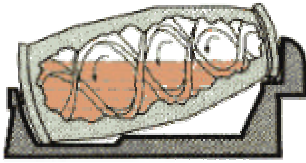


Abbildung 2-3 Die Prozesse der Nasswerkstatt, mit Einsatzstoffen und Abfallstoffen

2.2.1 Die Weiche



Die Felle sind konserviert, d. h. getrocknet, gefroren oder gesalzen und werden nun als erstes in einem normalen Waschbad geweicht. Dem Weichwasser werden meist Netzmittel zugesetzt. Die sogenannte Schmutzweiche gibt der Haut wieder die entzogene Feuchtigkeit oder Wärme zurück und löst Schmutz, Mist, Salz und anhaftendes Blut. Bereits nach kurzer Zeit (einige Stunden) muss ein Badwechsel vorgenommen werden, damit die Felle nicht im schmutzigen Wasser „verfaulen“, weil dieses Wasser stark mit Bakterien angehäuft ist, welche aus der „latenten“ Periode erwacht sind und dadurch um so aggressiver wirken. Durch Zusätze von Netzmitteln wird in der anschließenden Weiche die Haut „aufgeschlossen“, sowie Blut und Schmutzresten aller Art gelöst. Nach ca. 12 – 16 Stunden werden die Häute aus den Gefäßen entleert und auf Paletten geschichtet.

2.2.2 Haarauflockerung und Hautaufschluss durch Äschern



Die Aufgaben des Äschers sind die Oberhaut haarlässig zu machen, den berechneten Schwellungsgrad herbeizuführen, das Lederhautfasergefüge aufzuschließen und die Fettsubstanz der Haut zu reduzieren.

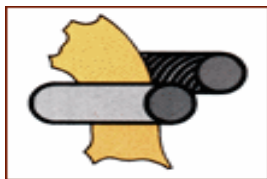
Vor allem in Entwicklungsländern werden meist haarschonende Äschermethoden angewendet, weil in diesen Ländern die Arbeitszeit keinen großen Kostenfaktor darstellt. Bei diesen Verfahren können die unbeschädigten Haare für die Filzproduktion weiterverwendet werden. Ein weiterer Vorteil ist die geringere Abwasserbelastung. Der beim Äschern eingesetzte Kalk weist eine geringe Wasserlöslichkeit auf und verhindert eine übermäßige Schwellung der Haut. Um den Äschervorgang zu beschleunigen, werden noch Schwefelnatrium und Enzyme zugesetzt. Die Durchführung erfolgt in Gruben oder rotierenden Fässern.

In Europa werden vor allem Kalziumhydroxid und Natriumsulfid verwendet. Diese zerstören die Haare und führen zu einem hohen organischen Abfallanteil im Abwasser. Gerade diese Äscherflotten zählen zu den höchstbelasteten Abwässern einer Gerberei und müssen durch meist betriebseigene Kläranlagen entsorgt werden. Dafür müssen diese Häute nach dem Äschern nicht mehr enthaart werden.

Durch das Äschern werden die späteren Eigenschaften des Leders festgelegt. Je weicher und zügiger das Leder werden soll, um so stärker muss beim Äschern das Hautgefüge aufgeschlossen werden und um so geringer soll die Schwellung sein. Soll eine feste Hautstruktur erhalten werden (für Sohlen, Sattler und Täschnerleder), wird kürzer geäschert.

Weitere Verfahren zur Haarlockerung sind das Schwitzverfahren (die Haare werden dabei erhalten) und das Schwöden mit Kalkbrei. Beide Verfahren werden aber nur mehr sehr selten angewendet.

2.2.3 Das Enthaaren und Entfleischen



Werden die Häute im bewegten Fass oder in der Haspel geäschert, dann sind die Haare bereits durch die mechanische Bewegung abgerieben worden und müssen somit nicht mehr enthaart werden. Häute, die in der Grube geäschert werden (vor allem in Entwicklungsländern üblich), geschwödete und geschwitzte Häute werden hingegen entweder von Hand mit dem Haareisen oder durch rotierende stumpfe Schabeisen enthaart.

Danach muss noch die unbrauchbare Unterhaut von der Lederhaut getrennt werden. Das kann entweder von Hand mit dem Scherdeggen auf dem Gerberbaum erfolgen oder wie meist üblich, durch die scharfen Messer der Entfleischmaschine. Die anfallende Unterhaut kann zu Leim, Gelatine oder Hundekuchen weiterverarbeitet werden.

Das handwerkliche Enthaaren und Entfleischen auf dem Gerberbaum wird heute nur noch in Kleingerbereien und in Entwicklungsländern angewendet.

2.2.4 Spalten und Crouponieren

Da vor allem Rindhäute eine für die Lederherstellung zu dick sind, müssen die Blößen "gespalten" werden. Die beim Spalten anfallenden Hautteile können verschiedenen Verwendungszwecken zugeführt werden. Das Trennen der Häute und Felle wird in der Regel vor, kann aber auch nach dem Gerbprozess durchgeführt werden. Der Spaltvorgang erfolgt auf Bandmesser-Spaltmaschinen. Die Haut wird meist in zwei oder aber auch in drei Schichten gespalten. Die dabei entstehenden Spalte werden folgendermaßen unterteilt:

- Narbenspalt:** Voll-Leder aus dem Spaltteil der Haut, der die Narbenschicht trägt (man spricht auch von erster Qualität)
- Fleischspalt:** ohne Narbenschicht, handelsübliche Bezeichnung ist Spaltleder (dritte Qualität)
- Mittelspalt:** ohne Narben- und Fleischseite – entsteht natürlich nur wenn in drei Schichten gespalten wird (zweite Qualität)

Beim Spalten wird das Hautfasergefüge durchschnitten. Dadurch vermindern sich die Festigkeitseigenschaften des Leders.

Beim Crouponieren wird das sogenannte Croupon (1. Qualität) vom Hals (2. Qualität) und von der Flanke (3. Qualität) durch Ausschneiden getrennt (siehe Abbildung 2-4). Diese Aufteilung wird meist vor dem Gerbprozess durchgeführt, da das Croupon (höhere Qualität) meist einer besseren Gerbung unterzogen, wird als der Hals und die Flanke.

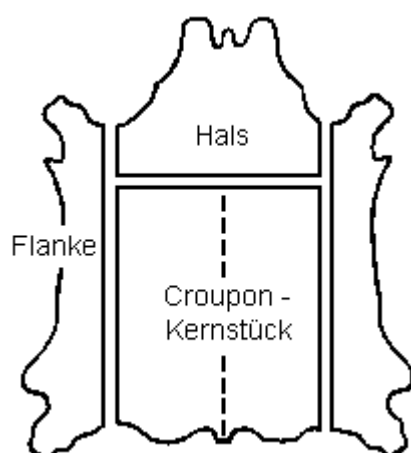
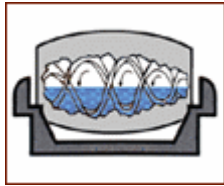


Abbildung 2-4 Einteilung der Haut

2.2.5 Das Entkälken und Beizen



Die Haarlockerung und der Hautaufschluss werden mit Kalk durchgeführt. Dieser Kalk und organische Stoffe haben sich teilweise in der Haut festgesetzt und müssen nun chemisch herausgelöst werden, da sie sonst das Eindringen des Gerbstoffes verhindern. Dazu werden meist organische Säuren (Ameisen-Milch-Glykolsäure) verwendet, die mit dem in der Haut befindlichen Kalk wasserlösliche Salze bilden. Es können aber auch schwach sauer reagierende Salze (Natriumbisulfid, Ammonsalz) verwendet werden. Diese Chemikalien werden mit Wasser zu einem Entkalkungsbad angesetzt.

Nach dem Entkälken erfolgt die Vorbereitung der Häute für die Gerbung. Durch das Beizen wird ein weiteres Verfallen der Haut durch Enzyme eingeleitet, um das Fasergefüge für den anschließenden Gerbprozess stärker aufzuschließen. Das Erzielen eines bestimmten Verfallzustandes ist besonders bei geschmeidigen Lederarten notwendig. Je weicher und geschmeidiger das Leder sein soll, um so intensiver muss das Beizen erfolgen. Das Entkälken und Beizen erfolgt in der Haspel oder im Walkfass, meist im gleichen Bad. Nach der Beize spricht man nicht mehr von Häuten sondern von Blößen.

2.2.6 Das Streichen oder Glätten

Die Blößen werden nach dem Beizen noch gestrichen, um den sogenannten Gneist (Reste der Oberhaut, Haarwurzeln und Fettstoffe), der noch in den Hohlräumen und den Schweißdrüsen sitzt, zu entfernen. Dies erfolgt entweder mit Hand mit dem Streicheisen auf dem Gerberbaum oder maschinell mit der Streichmaschine. Danach werden die Häute noch kurz ausgewaschen und sind nun bereit für die Gerbung.

2.3 Die wichtigsten Gerbverfahren

„Die Gerbung verwandelt das sonst im nassen Zustand verderbliche und im Trockenzustand harte, brüchige Kollagen der Blöße in ein weitgehend fäulnisresistentes, weich auftrocknendes Material, eben in Leder.“ [4]. Diese Umwandlung wird durch pflanzliche,

synthetische, mineralische oder Fettgerbmittel erreicht. Diese Gerbmittel können auch untereinander kombiniert werden. Die Gerbmittel müssen in die Kollagenfibrillen eindringen können, mit dem Kollagen chemisch reagieren und diese dadurch quervernetzen (vgl. Abbildung 2-5). Dadurch wird die Blöße wasser- und fäulnisbeständig, elastisch und geschmeidig. Die Eiweißfaser ist somit in eine Lederfaser umgewandelt worden, und eine nachträgliche Trennung von Gerbmittel und Kollagen ist nicht mehr möglich.

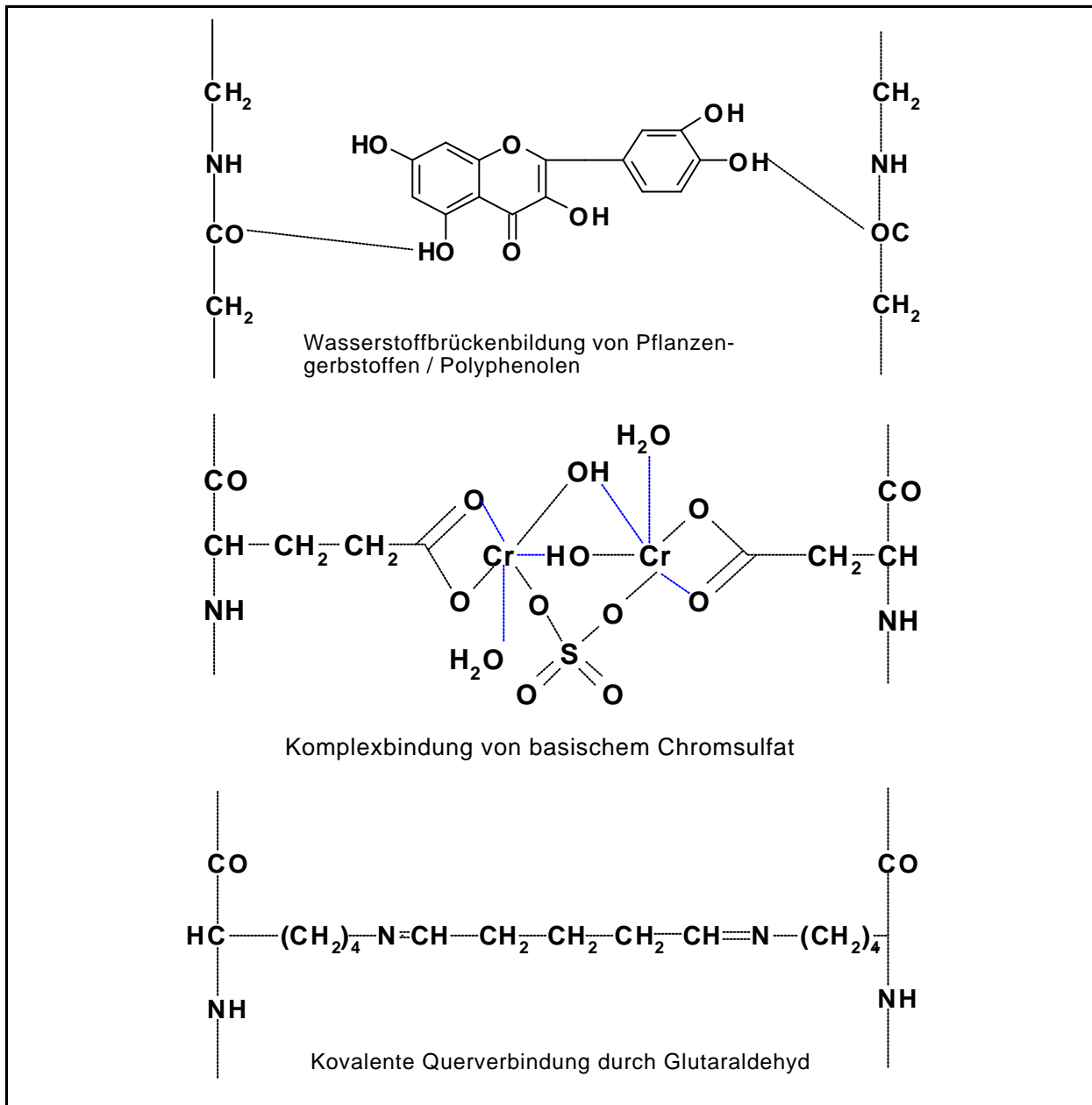


Abbildung 2-5 Quervernetzung (Gerbung) des Kollagens durch die Gerbmittel [4]

Die erzielbaren Ledereigenschaften werden vor allem von der Wahl der Gerbung und einer möglichen Nachgerbung bestimmt. Die Auswahl der Gerb- und der Nachgerbstoffe richtet

sich danach, welches Leder für welchen Verwendungszweck hergestellt werden soll. Wie in Tabelle 2-1 verdeutlicht, unterscheiden sich die einzelnen Gerb- und Nachgerbstoffe deutlich in Bezug auf ihre Charakteristik und Wirkung auf das Leder wie z. B. Fülle und Weichheit, Erhöhung der Schrumpfungstemperatur usw..

Im folgenden Abschnitt wird auf die vier wichtigsten Gerbmittelkategorien etwas näher eingegangen:

- ? Gerben mit pflanzlichen Gerbmitteln
- ? Gerben mit synthetischen Gerbmitteln
- ? Wet Blue Gerbung mit Chromgerbstoffen
- ? Wet White Gerbung mit Glutaraldehyd

Die Abbildung 2-6 gibt einen groben Überblick über den Prozessablauf dieser drei Verfahren.

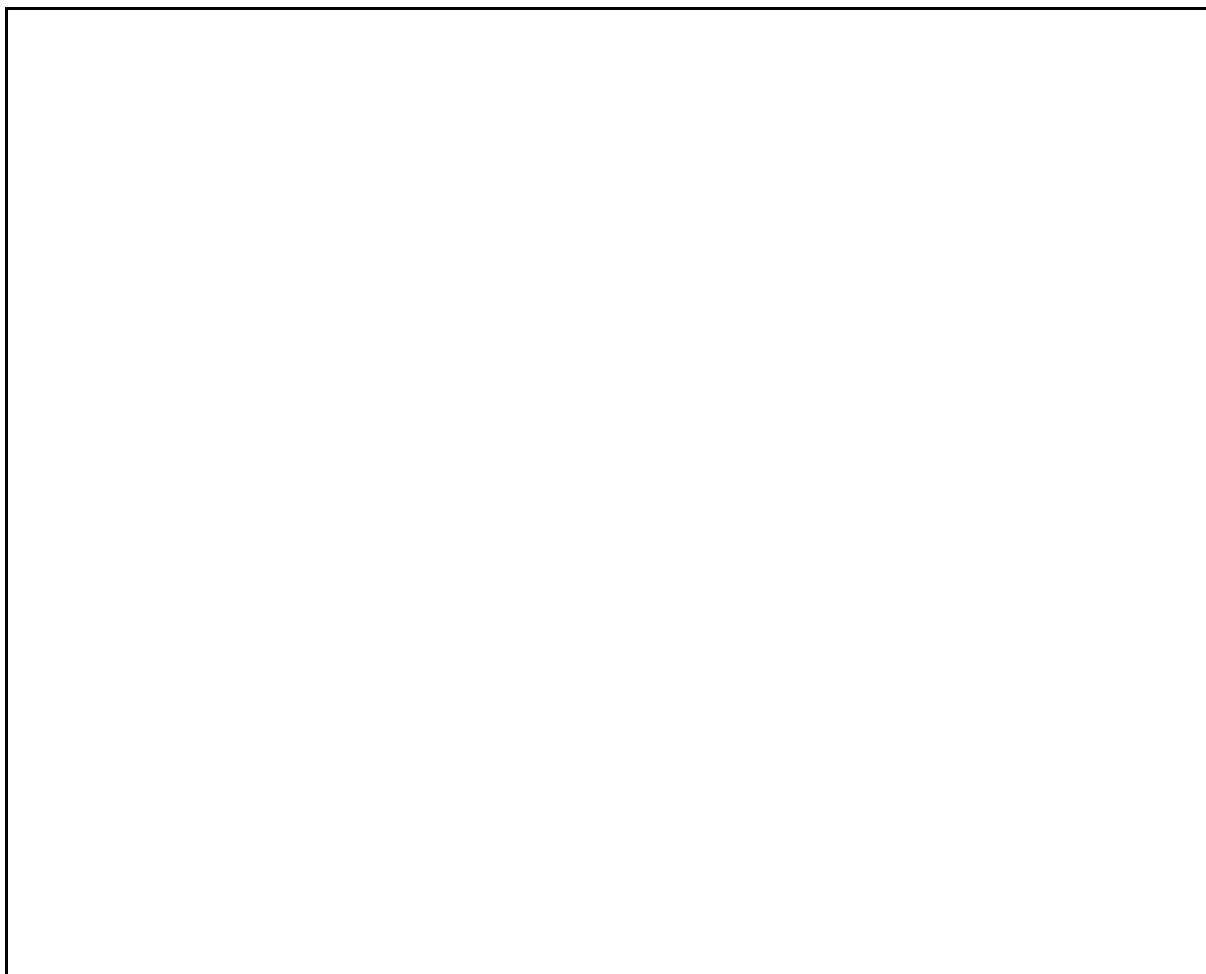


Abbildung 2-6 Schematisches Diagramm der Gerbverfahren

Tabelle 2-1 Die Wichtigsten Gerb. und Nachgerbstoffe, ihre Charakteristik und Einsatzgebiete [4]

| Kategorie | Wichtige Vertreter | Chemische Charakteristik | Einsatzgebiete, Wirkung |
|------------------------------------|---|---|--|
| Natürliche Organische Gerbstoffe | Pflanzengerbstoffe Mimosa, Quebracho Kastanie, Tara ... | Höhermolekulare Polyphenole (> 500 Dalton) vom Katechin- oder Gallussäuretyp | Früher dominierende Hauptgerbstoffe, starke Füllwirkung, heute e meist Nachgerbstoff für Chromleder |
| | Fettgerbstoffe | Hochgesättigte Fischöle (Trane) | Gerbung von Sämischleder |
| Synthetische Organische Gerbstoffe | Aromatische Syntane (Hilfsgerbstoffe) | Formaldehydkondensat Aromatischer (z.B. Naphthalin) Sulfonsäuren | Dispergiermittel gegenüber Pflanzengerbstoffen, Färbereihilfsmittel bei der Chromgerbung |
| | Aromatische Syntane (Austauschgerbstoffe) | Formaldehydkondensat von Phenolen oder Dihydroxdiphenylsulfon schwachen Sulfonierungsgrades | Alleingerbstoff anstelle von oder in Kombination mit Pflanzengerbstoffen, Nachgerbstoffe für Chromleder |
| | Polymergerbstoffe | Modifizierte Akrylpolymerisate | Füllende Nachgerbstoffe, evtl. auch Fettende (lubricating tanning agents) |
| | Harzgerbstoffe | Formaldehydkondensate von Stickstoffbasen, z.B. Harnstoff, Melamin, Dicyandiamid | Füllende Nachgerbstoffe |
| | Reaktivgerbstoffe | Aldehyde, insbesondere Glutardialdehyd | Vorgerbstoffe mit Alleingerbvermögen aber sehr geringer Füllwirkung |
| Mineralische Gerbstoffe | Chromgerbstoffe | Meist zwei- oder mehrkernige, basische Chrom(III)sulfate | Meistangewandter Hauptgerbstoffe, geringe Füllwirkung, hohe hydrothermische Stabilität |
| | Aluminium-, Zirkon- und Titangerbstoffe | Diverse Salze, z.B. Aluminiumformiat, Zirkoniumsulfat, Titanylsulfate | Von geringer Bedeutung als lichtechte Gerbstoffe (Zr, Ti) und in der Pelzveredelung (Al); Färbereihilfsmittel (Al) |

2.3.1 Die Gerbung mit pflanzlichen und synthetischen Gerbmitteln

2.3.1.1 Pflanzliche Gerbmittel

Pflanzliche Gerbstoffe sind bereits seit Jahrtausenden im Einsatz. Heute werden vor allem die Extrakte von Mimosa, Quebracho und Kastanie verwendet. Die meisten dieser Gerbmittel kommen aus Ländern mit tropischem oder subtropischem Klima. Sie werden aus Rinden,

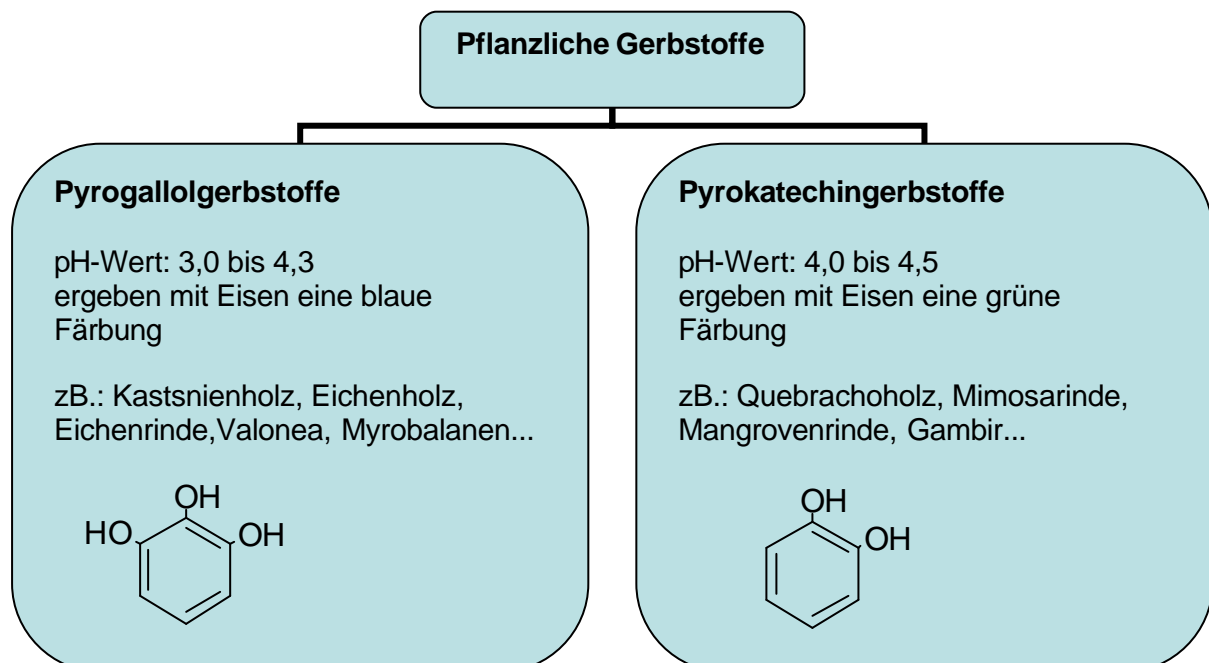
Hölzern, Früchten, Wurzeln, Blättern oder Auswüchsen gewonnen. Diese enthalten kompliziert aufgebaute Phenolderivate mit vielen phenolischen Hydroxylgruppen, die Gerbaktiv sind. Sie sind im Stande, das Eiweiß der tierischen Haut in Leder umzuwandeln, indem sie sich mit den zahlreichen chemisch aktiven Gruppen des die Haut aufbauenden Kollagens (ein Fasereiweiß) verbinden (vgl. Abbildung 2-5), Querverbindungen zwischen den Eiweißmolekülen herstellen und so das gesamte Fasergefüge vernetzen.

Die pflanzlichen Gerbstoffe können chemisch in zwei Gruppen unterteilt werden, wie in Tabelle 2-2 gezeigt wird.

Zur Gerbung mit pflanzlichen Gerbmitteln werden vor allem folgende Methoden angewendet:

- ? Gruben- oder Versatzgerbung
- ? Der Farbengang
- ? Die Fassgerbung (Schnellgerbung)

Tabelle 2-2 Chemische Einteilung pflanzlicher Gerbstoffe



2.3.1.2 Synthetische Gerbmittel

Synthetische Gerbstoffe wurden 1911 entdeckt und bringen, vor allem in Verbindung mit anderen Gerbverfahren, drei wesentliche Vorteile:

- ? Verhinderung der Schlamm- und Schmutzbildung in den Gruben
- ? Verhinderung von zu dunkler Einfärbung der Häute
- ? Beschleunigung der Durchgerbung vegetabiler Leder

Ein von Sulfogruppen freier synthetischer Gerbstoff kann heute so wirksam vorgerben, dass die Vegetabilgerbung stark verkürzt werden kann.

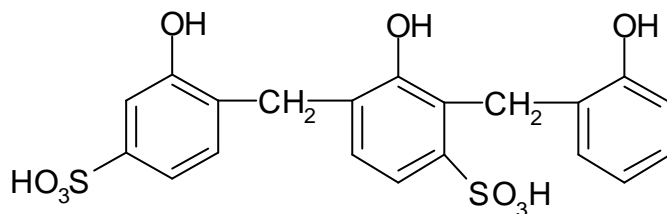


Abbildung 2-7 Beispiel für einen synthetischen Gerbstoff auf Phenol-Basis [3]

Die synthetischen Gerbstoffe lassen sich in drei Hauptgruppen zusammenfassen:

- ? Gerbstoffe zur Kombination mit pflanzlichen Gerbmitteln (= Hilfsgerbstoffe)
- ? Gerbstoffe zur reinen synthetischen Gerbung und zur Nachgerbung von pflanzlich- oder chromgegerbten Häuten (= Spezialgerbstoffe)
- ? Gerbstoffe, die anstelle von pflanzlichen Gerbmitteln für Vanchetten und Feinleder verwendet werden können (= Austauschgerbstoffe)

Die synthetischen Gerbmittel werden heute besonders für Mode und Luxusleder eingesetzt. Sie sind in Pulver- oder Sirupform im Handel erhältlich.

2.3.2 Die „Wet Blue“ Gerbung mit Chromgerbstoffen

Durch den einfachen und schnellen Ablauf der Chromgerbung sowie die Güte des gewonnenen Leders hat diese vor allem für Schuhoberleder und Bekleidungsleder die pflanzliche Gerbung weitgehend verdrängt. Da die Chromsalze lichtecht gerben, ist es möglich den Ledern verschiedenste Farben zu geben. Chromleder besitzt die doppelte Reißfähigkeit gegenüber Vegetabilleder, ist widerstandsfähig und kochbar, das heißt es

verändert sich auch im kochenden Wasser nicht. Die Chromgerbstoffe bilden Komplexe mit den Seitenketten des Kollagens und vernetzen diese dadurch (vgl. Abbildung 2-5). Die Faserzwischenräume der Haut werden nicht ausgefüllt, daher ist Chromleder sehr leicht. Der Gerbstoffgehalt beträgt nur 3 – 4 % gegenüber 15 – 20 % bei pflanzlich gegerbtem Leder.

Die Chromgerbung ermöglicht die Herstellung des Halbfabrikats „Wet Blue“, wegen seiner bläulichen Eigenfarbe so genannt, dem erst mit den Folgeprozessen (Nachgerbverfahren unterschiedlichster Art) die gewünschten Eigenschaften verliehen werden können. Dabei ist eine rationelle, schnelle und kostengünstige Prozessführung möglich. Wegen all dieser Vorteile wird die Chromgerbung heute zur Herstellung von etwa 85 – 90% aller Leder eingesetzt.

Die beiden wichtigsten Gerbstoffe der Chromgerbung sind Kaliumdichromat ($K_2Cr_2O_7$) und Natriumdichromat ($Na_2Cr_2O_7$). Des Weiteren ist auch noch Chromalaun ($Cr_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$) von Bedeutung.

2.3.3 Die „Wet White“ Gerbung und Glutardialdehyd

„Als Wet White – Verfahren werden chromfreie (Vor-) Gerbverfahren mit Metallsalzen (Aluminium, Titan, Zirkon), Aldehyden oder speziellen Syntanen bezeichnet“ [5]. Werden sie als Vorgerbstoffe eingesetzt, vernetzen und stabilisieren sie die Hautstruktur soweit, dass mechanische Dickenbearbeitungsprozesse wie Falzen (dabei erhitzt sich die Blöße bis auf 65 – 70° C) und Spalten durchgeführt werden können. Dadurch sind die dabei anfallenden festen Lederabfälle, vor allem die Falzspäne chromfrei und stellen daher ein „wertvolleres“ Abfallprodukt dar, als chromhaltige Falzspäne. Die fertigen Wet White Halbfabrikate können je nach Anforderungen an das gewünschte Fertigleder mit pflanzlichen Gerbstoffen, Chromgerbstoffen, Syntanen oder Polymergerbstoffen füllend nachgerbt werden.

Bei den Verfahren der Wet White Vorgerbungen hat sich vor allem der Einsatz von Glutardialdehyd und seinen Derivaten durchgesetzt. Die Aminogruppen des Kollagens der Haut werden durch das Glutardialdehyd quer vernetzt (vgl. Abbildung 2-5). Im Gegensatz zum blaufeuchten Wet Blue sind so gegerbte Leder gelblich weiß, daher auch die Bezeichnung Wet White. Generell kann gesagt werden, dass das Wet White vorgegerbtes Leder zwar ähnliche Eigenschaften aufweist wie chromgegerbte Wet Blue Halbfabrikate, aber Glutardialdehyd keinen Ersatz für Chromgerbstoffe darstellt sondern eher als eine Alternative dazu anzusehen ist.

Der Vorteil in dieser metallfreien Wet White Vorgerbung liegt darin, dass die anfallenden Falzspäne chromfrei anfallen und damit ein besser verwertbares Nebenprodukt darstellen. Diese können ähnlich wie ungegerbte Abfälle behandelt werden und somit als Basis für Gelatine, Klebstoffe oder andere Industrieprodukte dienen. Ziel dieser Arbeit ist es zu untersuchen, ob Wet White Falzspäne durch Kompostieren kostengünstig wiederverwertet werden können.

Die Abbildung 2-8 zeigt den allgemeinen Ablauf einer Vorgerbung mit Glutardialdehyd zum Wet White Halbfabrikat und der Nachgerbung zu Chromleder bzw. chromfreiem Leder.

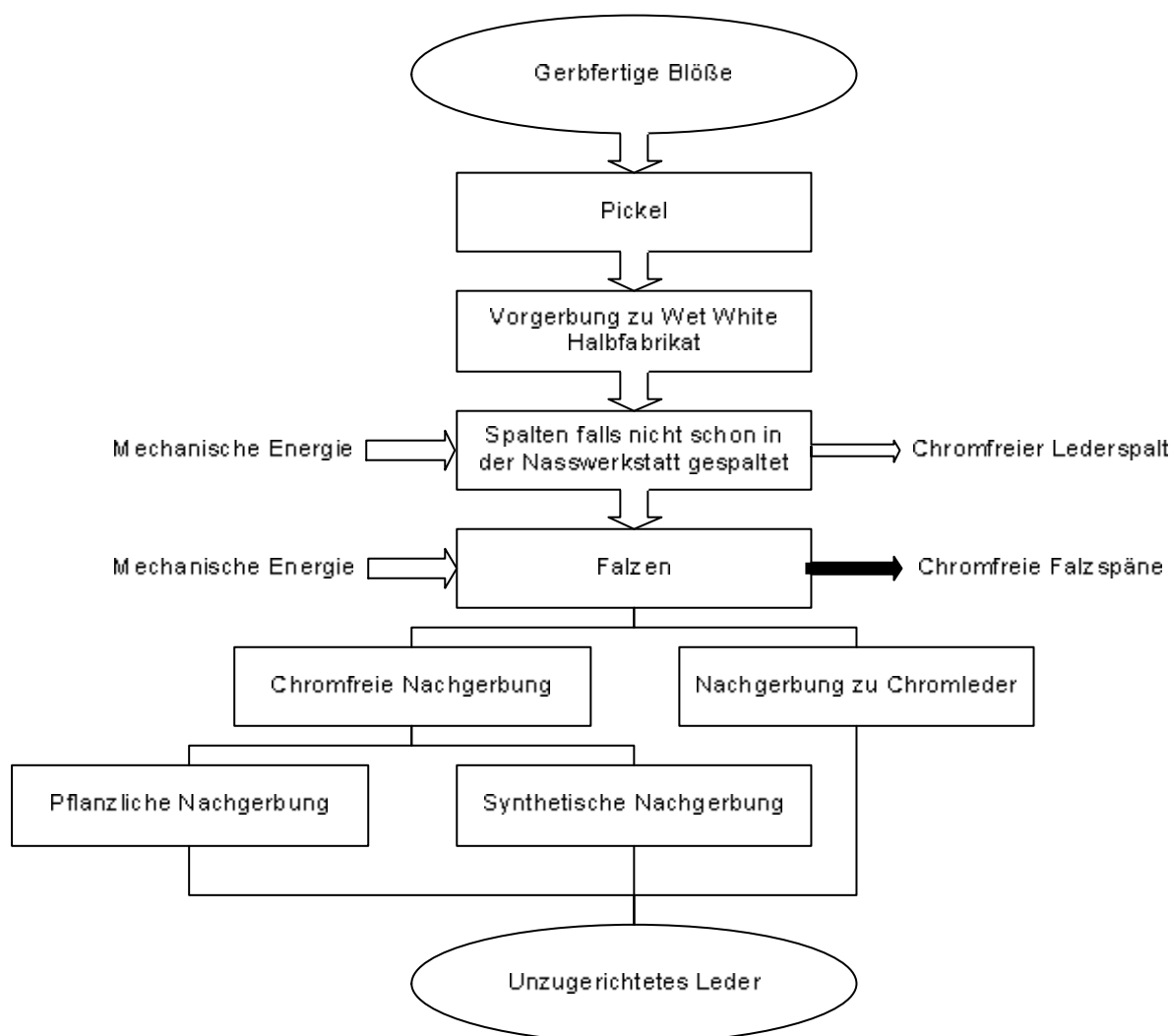


Abbildung 2-9 zeigt einen Vergleich der Rückstände zwischen einem standardvorgegebenen Wet Blue- und einem mit Glutarialdehyd vorgegebenen Wet White Halbfabrikat. Daraus ist ersichtlich, dass im Wet White vor allem Salzurückstände und Asche fast verschwinden und das Chrom natürlich vollständig fehlt.

Das erhaltene Wet White kann mechanisch genauso wie das Wet Blue bearbeitet werden (Falzen, Spalten).

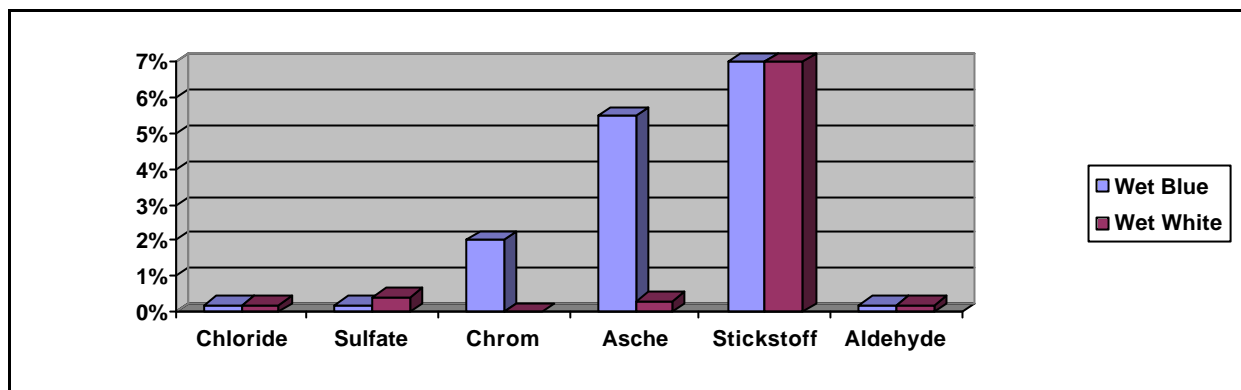
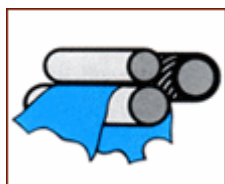


Abbildung 2-9 Vergleich der Rückstände in Wet Blue und Wet White Halbfabrikaten [8]

2.3.4 Das Pickeln

Die gerbfertigen Blößen werden vor dem eigentlichen Gerbprozess noch gepickelt. Das ist die Behandlung der Blößen mit einer Säure-Salzlösung (Kochsalz und Salzsäure, Schwefelsäure oder Ameisensäure), um den letzten Rest von Äscherkalk zu entfernen und ein gleichmäßiges Eindringen der Gerbmittel in das Hautfasergefüge zu ermöglichen. Die Durchführung erfolgt im Fass.

2.3.5 Das Falzen der vorgegebenen Halbfabrikate (Wet-Blue oder Wet-White)



In der Falzmaschine wird das Leder zwischen einer Druckwalze und einer Walze mit schraubenförmig gewundenen Messern einseitig abgehobelt. Die Abbildung 2-10 zeigt eine

schematische Darstellung diesen Vorgangs. Dadurch werden eine gleichmäßige Stärke des Leders und die gewünschte Oberflächenstruktur erreicht. Stärkenunterschiede von 0,2 bis 0,3 mm können ausgeglichen werden. Diese Arbeit kann auch von Hand mit dem Falzeisen durchgeführt werden.

Durch diesen Prozess entstehen die sog. Falzspäne. Werden Wet-White vorgegerbte Leder gefalzt, dann sind diese Falzspäne chromfrei. Eine Entsorgung dieser Abfälle durch aerobe Prozesse wird in dieser Arbeit untersucht.

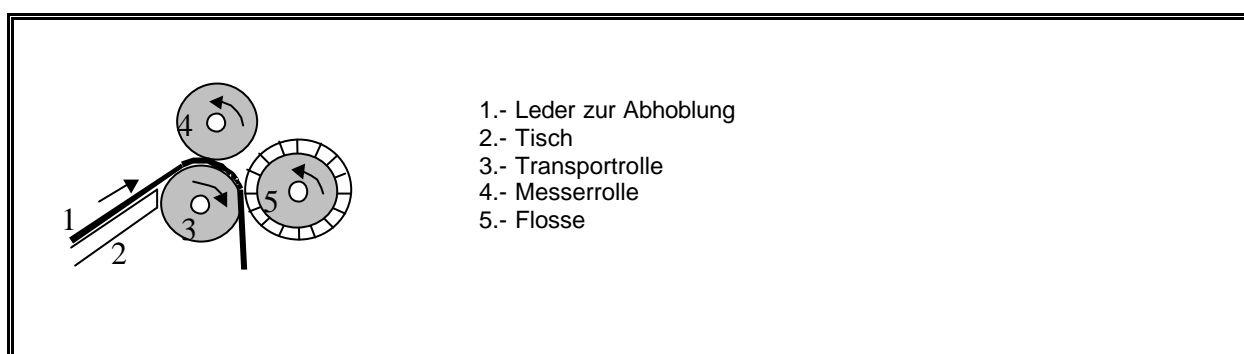


Abbildung 2-10 Falzen von Rohleder, schematische Darstellung [32]

Die nachfolgende Abbildung 2-11 zeigt das Falzen im Betrieb der Lederfabrik Vogl in Österreich. Von dieser Gerberei sind die Falzspäne für die durchgeführten Kompostierungsversuche in Allerheiligen bereitgestellt worden.



Abbildung 2-11 Das Falzen von Leder, Fa. Vogl

2.4 Zurichtung des Leders

Häute, die aus dem Gerbfass oder aus der Gerbgrube kommen, sind noch nicht verwendungsfähig. Die rohen Blößen sind zwar bereits gegerbt, aber es fehlen ihnen noch einige wesentliche Eigenschaften. Ziele der Zurichtung sind vor allem die Verbesserung und die Verschönerung des gegerbten Leders. Nachfolgend werden die einzelnen Arbeitsschritte kurz erläutert. Diese Stationen der Zurichtung werden oft nur teilweise durchlaufen und auch die Reihenfolge ist meist unterschiedlich. Die Abbildung 2-10 zeigt den allgemeinen Ablauf der Zurichtung für verschiedene Lederarten, der aber teilweise stark variieren kann.

Entwässern des Leders: Um den Wassergehalt des gegerbten Leders zu reduzieren, werden etwa 50 Häute durch eine hydraulische Stempelpresse entwässert.

Auswaschen des Leders: Vor allem geschmeidigere Lederarten, die gefärbt oder gefettet werden sollen, werden im Fass oder in der Haspel ausgewaschen. Dadurch wird der nicht gebundene Gerbstoff entfernt.

Das Abwelken: Das Leder wird vor dem Trocknen auf rotierenden Abwelkpressen mit filzüberzogenen stumpfen Spiralwalzen noch weiter entwässert.

Das Färben des Leders: Dazu können natürliche oder synthetische Lederfarbstoffe verwendet werden. Es gibt mehrere Verfahren zur Lederfärbung:

- ? Die Bürstenfärbung: wenn nur die Narbenseite gefärbt werden soll
- ? Das Foulardverfahren (Multimac): Dabei wird das Leder nach einer Abwelkwalze durch ein Farbbad gezogen.
- ? Das Färben in der Flotte: Die Leder werden in einem Arbeitsgang im Fass gefärbt, danach gelickert und dann säurefixiert.
- ? Das Färben mit der Spritzpistole: rationelle Färbemethode mit der besonders gleichmäßige Farbnuancen auf großflächigen Ledern erreicht werden können.

Das Fetten des Leders: Die physikalischen Eigenschaften des Leders wie Fasertrennung, Elastizität, Biagsamkeit, Weichheit, Zugfestigkeit und Wasserdurchlässigkeit werden durch die Fettung stark beeinflusst. Dazu werden pflanzliche Fette, tierische Fette und synthetische Fette eingesetzt. Zu den Verfahren, deren Wahl vor allem von der Art des zu fettenden Leders abhängig ist, zählen das Abölen, die Tafelschmiere, die Fassschmiere, das Einbrennen, das Lickern und das Imprägnieren.

Das Ausstoßen: Die letzten Fleischreste, Falten und Unebenheiten werden entweder mit der Ausstoßmaschine oder von Hand mit dem Stoßeisen entfernt

Das Trocknen: Um die Leder nun zu trocknen, stehen mehrere verschiedene Verfahren zur Verfügung. Zu diesen gehören das Trocknen im Trockenturm, die Vakuumtrocknung oder das Pastingverfahren (Klebetrockenverfahren). Allgemein kann gesagt werden, dass pflanzlich gegerbte Leder langsamer getrocknet werden, damit keine Flecken durch Gerbmittelaustritt auf der Narbenseite entstehen.

Das Stollen: Dabei wird das Leder durch Dehnen und Strecken des Hautfasergefüges weich und elastisch. Die Durchführung erfolgt mit Hand oder maschinell.

Das Appretieren des Leders: Um das Leder vor Verschmutzungen und Abfärbungen zu schützen, werden auf der Narben und der Fleischseite Glanz- und Schutzschichten aufgetragen. Diese Schichten werden meist entweder mit Airless- bzw. Pressluftspritzen oder durch die Bürstenwalzen der Appretiermaschine aufgetragen.

Das Glanzstoßen: Nach dem Auftragen einer dünnen Wachsappretur wird durch die Glanzstoßmaschine eine Rolle aus Glas oder Achat bahnenweise über den Narben des Leders geführt. Dadurch werden besonders feine und weiche Narbenflächen erhalten.

Das Narbenpressen: Früher wurde diese Zurichtung nur bei Spaltleder eingesetzt um diesem volllederähnliches Aussehen zu geben. Da aber heute die Naturnarbenbilder meist nicht ausreichen, werden auch Narbenleder teilweise diesem Verfahren unterzogen. Messingplatten oder Stahlwalzen, in die das gewünschte Narbennegativ eingraviert ist, werden auf das Leder gepresst.

Das Krispeln (Levantieren): Dient dem Weichmachen des Leders und der Herausarbeitung des natürlichen Narbens. Beim Maschinenkrispeln wird das Leder von zwei gleichlaufenden Walzen je nach der gewünschten Form des Narbens in verschiedenen Richtungen übereinander über eine Stahlplatte gezogen. Damit der herausgearbeitete Narben fixiert wird, werden diese gekrispelten Leder danach scharf getrocknet.

Das Walzen oder Hämmern: Nach dem Trocknen sind vor allem Schuhunterleder und Blankleder rau und spröde. Durch das Walzen oder Hämmern werden diese wieder geschmeidig.

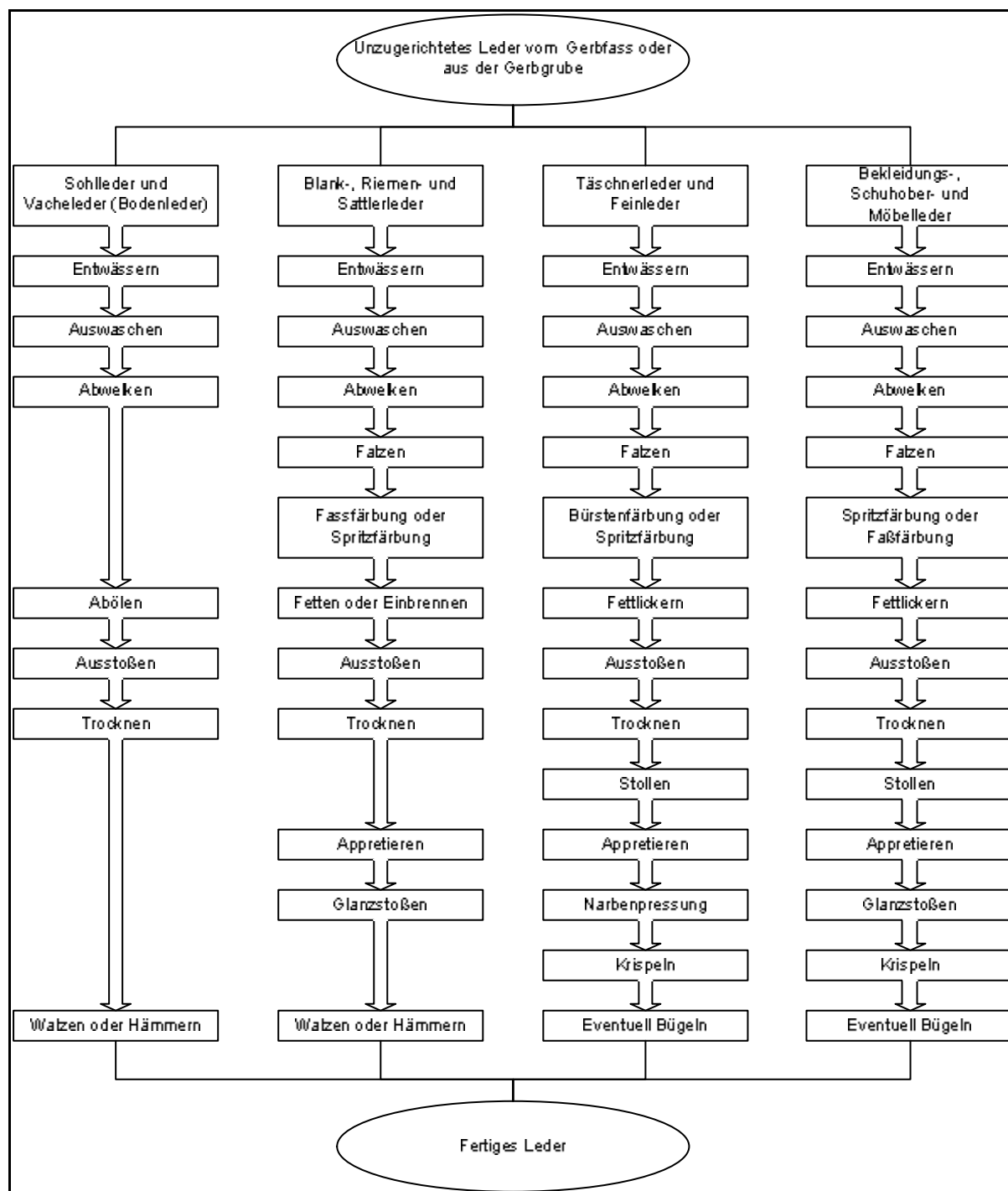


Abbildung 2-12 Die Stationen der Lederzurichtung in Abhängigkeit der zu erzeugenden Lederart [3]

3 Die festen Lederabfälle

Die Sammlung und sichere Deponierung der festen Abfälle, vor allem der chromhaltigen festen Abfälle und Schlämme, wird normalerweise von den Umweltbehörden überwacht und ist mit Kosten verbunden. Die Umwandlung dieser Abfälle in ein Nebenprodukt vermindert daher nicht nur die Abfallströme sondern kann auch kommerzielle Vorteile bringen. Indem man einen Wert aus den Abfällen ableitet, können teilweise höhere Gewinne aus dem Gerbprozess geschöpft werden. Wie auch immer, eine Reduktion der Abfälle ist unbedingt notwendig, um den Forderungen des Abfallmanagements für Gerbereien nachzukommen.

Während es für die bei der Lederherstellung verwendeten Chemikalien und Gerbstoffen durchaus ein gewisses Vermeidungspotenzial gibt, ist dies für die Hautsubstanz und damit die festen Abfälle praktisch nicht gegeben. Die Menge dieser festen Abfälle, die bei der notwendigen Hautzerlegung anfallen, wird vom verwendeten Rohmaterial und der gewünschten Lederdicke bestimmt und variiert in weiten Grenzen. Aus diesem Grund sind die Angaben über den Output der festen Abfälle immer als grobe Durchschnittswerte zu sehen, die im Realfall sehr stark abweichen können. Aus 1000kg gesalzener Rohhäute können etwa 195 kg Narbenleder hergestellt werden. Wird der Spalt ebenfalls gegerbt, können auch noch etwa 60 kg Spaltleder produziert werden. Man kann also sagen, dass nur etwa 20 -25% des Gewichtes der Rohhaut zu Leder werden. Die Tabelle 31 zeigt die Abfallmengen die bei der Verarbeitung von 1000kg gesalzener Rohhäute durch Chromgerbung zu Fertiger Leder anfallen. Da die festen Abfälle vorwiegend an bestimmten unterschiedlichen Prozessabschnitten entstehen, ist es relativ einfach sie getrennt zu erfassen und weiterzuverarbeiten.

Die Rückstände können vermarktungsfähige Produkte, ungefährliche oder gefährliche Abfälle sein. Zur Zeit werden vor allem in Entwicklungsländern die meisten der festen Abfälle aus Kostengründen auf gesicherten oder ungesicherten Deponien beseitigt. Es gibt feste Abfälle, wie Leimleder, Blößenstücke und Falzspäne, die in Industrieländern weiterverkauft oder als Rohmaterialien an andere Industriezweige weitergegeben werden. Diese können in Abhängigkeit von lokalen Voraussetzungen noch vorher durch Entwässerung, Kompaktieren, thermische-, anaerobe- oder aerobe Behandlung aufbereitet werden. Aufgrund hoher Investmentkosten sind aber die meisten Behandlungswege für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) aus ökonomischen Gründen nicht durchführbar.

Tabelle 3-1 Output von festen Abfällen bei der Chromgerbung [7], [9]

| Abfallart | Wasserwerkstatt [kg] | Gerben [kg] | Nasszurichtung [kg] |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------|------------------------|
| Salzrückstände (bei mech. Entsalzung) | 50 - 70 | | |
| Haarrückstände (schwere Rinderhaut) | 100 -150 | | |
| Maschinenleimleder | 300 | | |
| Blößenstücke (Kantieren) | 100 | 20 | |
| Blößenstücke (Spalten) | 155 | | |
| Chromfalzspäne | | 99 | |
| Lederfasern und Kantierstücke | | | 7 |

Die festen Abfälle, die bei der Lederherstellung anfallen, werden grundsätzlich in drei Hauptgruppen eingeteilt:

- ? Salz von der Konservierung
- ? Chromfreie Abfälle
- ? Chromhaltige Abfälle

Die Abbildung 3-1 gibt einen genaueren Überblick über die Abfallströme, die bei der klassischen Chromgerbung anfallen. Daraus ist zu ersehen, dass die Falzspäne, die nach der Vorgerbung anfallen, zu den chromhaltigen Abfällen zählen und dadurch eine weitere Verarbeitung erschwert wird.

Wenn man anstatt der Vorgerbung mit Chrom zum Wet Blue Halbprodukt die Vorgerbung mit Glutaraldehyd vornimmt, dann entstehen bei der anschließenden Dickenregulierung (Falzen) chromfreie Wet White Falzspäne. Diese können einfacher aufbereitet werden und es ist die Aufgabe dieser Diplomarbeit, zu untersuchen, ob diese Lederfalzspäne gut und kostengünstig kompostierbar sind. Die Abbildung 3-2 zeigt die festen Abfallstoffströme, die bei diesem Verfahren anfallen und ermöglicht somit einen guten Vergleich zum vorherigen Verfahren.

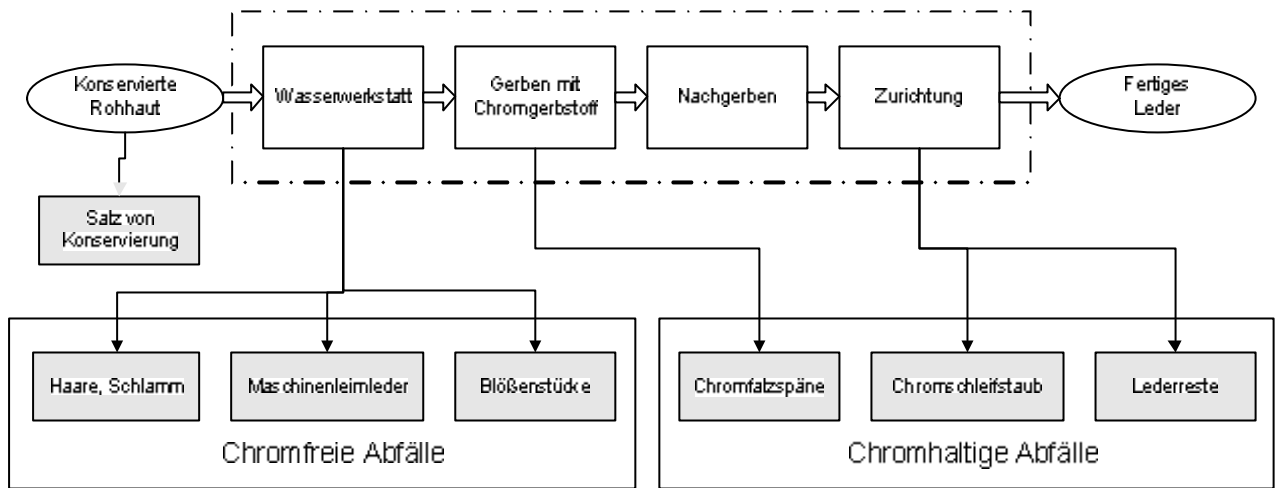


Abbildung 3-1 Die Verteilung fester Abfallströme beim Chromgerbverfahren

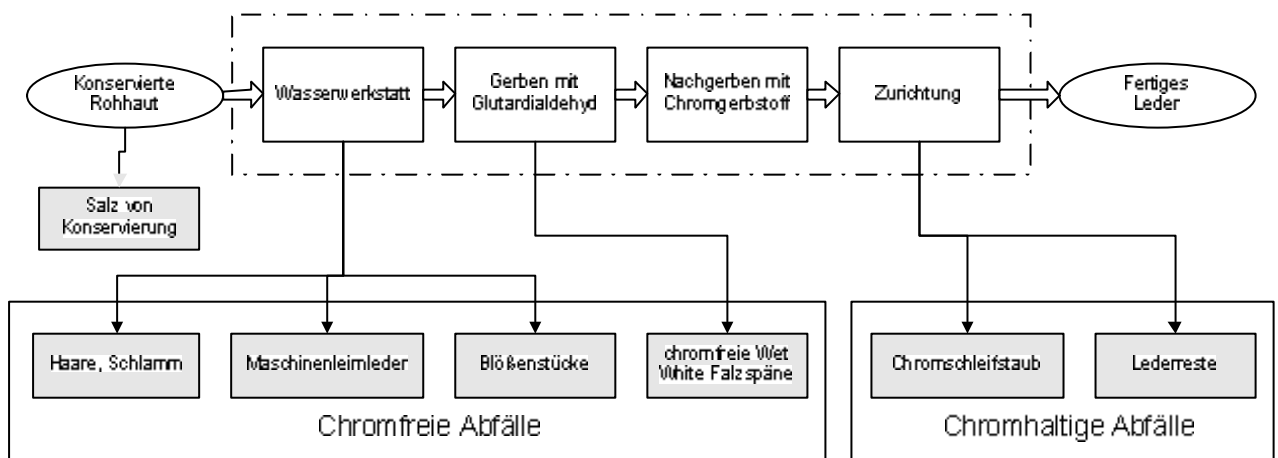


Abbildung 3-2 Die Verteilung der festen Abfallströme bei Vorgerbung mit Glutardialdehyd mit anschließender Chromnachgerbung

3.1 Das Salz aus der Konservierung der Rohhäute

Die Konservierung der Rohhäute mit Salz ist weltweit die am weitesten verbreitete Methode. Salz ist kostengünstig, nahezu überall leicht verfügbar und hat gute dehydrierende Eigenschaften. Das Konservierungssalz wird großteils in der Wasserwerkstatt entfernt und gelangt somit in dessen Abwasser. Dadurch wird der Anteil an gelösten Feststoffen im Abwasser der Wasserwerkstatt erhöht. Diese Salzmenge im Abwasser kann vermindert werden, indem die gesalzene Rohhäute vor der Weiche mechanisch bearbeitet werden.

Im Sinne der Abfallvermeidung ist die Frischhautvermarktung die beste Technologie, um die Rohhäute zu konservieren. Diese Technologie, in Mitteleuropa Stand der Technik, wird sich aber wohl mangels geeigneter Infrastruktur in Entwicklungsländern nicht durchsetzen können. Die Salzmenge, die zur Konservierung benötigt wird kann durch den Einsatz von Antiseptika verringert werden aber diese Behandlung kostet etwa doppelt soviel als die konventionelle Salzung und wird daher vor allem in Entwicklungsländer kaum Anwendung finden.

3.1.1 Gewinnung des Salzes durch Vorentsatzung

Durch die Vorentsatzung kann der Gehalt an gelösten Feststoffen im gesamten Abwasser der Gerberei um etwa 15% vermindert werden [10]. Die Vorentsatzung bietet zwar wegen des geringen Wertes von Salz keine direkten finanziellen Vorteile, jedoch entstehen indirekte Vorteile durch geringeren Verbrauch an Weichwasser und vor allem der Reduzierung der gelösten Feststoffe im Abwasser. Die Tabelle 3-2 zeigt die Massenbilanz für das Salz, mit dem eine Tonne Rohhaut konserviert wird.

Tabelle 3-2 Massenbilanz für Salz aus der Konservierung für eine Tonne Rohhaut [10]

| Beschreibung | Durchschnittliche Menge [kg] | In % |
|---|------------------------------|------------|
| Die Gesamtmenge, die zum Konservieren verwendet wird | 400 | 100 |
| Verlust beim Einsalzen | 60 | 15 |
| Verlust durch Handhabung beim Transport | 40 | 10 |
| Verlust beim Sortieren und Trimmen in der Gerberei (Wird meist gesammelt und wiederverwendet) | 15 | 3,75 |
| Durch mechanische Entsalzung entfernt | 50 - 80 | 12,5 - 20 |
| In der Weiche ausgewaschen | 165 - 205 | 41,25 - 51 |
| Durch die Häute zu den weiteren Prozessen verschleppt | 30 - 40 | 7 - 10 |

Die Vorentsatzung kann durch mechanische Entsalzungstrommeln, DODECA Holzgestelle oder mit Entsalzungsmaschinen erfolgen.

3.1.2 Wiederverwendung des Salzes beim Pickeln

Die etwa 50 bis 70 kg/t_{gRH} gewonnenen Salz sind stark mit Haaren, Blut, Schmutz, usw. verunreinigt und können damit nicht direkt wieder zum Konservieren verwendet werden. Das

Prozess-Fluss Diagramm (Abbildung 3-3) beschreibt aber die Wiederverwendung beim Pickeln. Dabei wird aus dem Salz eine 12% Lösung hergestellt. Diese Lösung wird abgesiebt um Haare, Gewebe und andere unlöslichen Stoffe zu entfernen und danach mit Polyaluminiumchlorid (300mg/l) gemischt. Durch 4 bis 6 Stunden im Absetzbecken werden etwa 90% der suspendierten Feststoffe, 60% des CSB und 80% des BSB entfernt [10].

Durch dieses Verfahren wird etwa 50% der Salzmenge, die zum Pickeln notwendig ist (ca. 80 kg/t_{gRh}), erzeugt. Diese gesäuberte Salzlösung wird mit Frischwasser und Frischsalmischung gemischt und zum Pickeln verwendet.

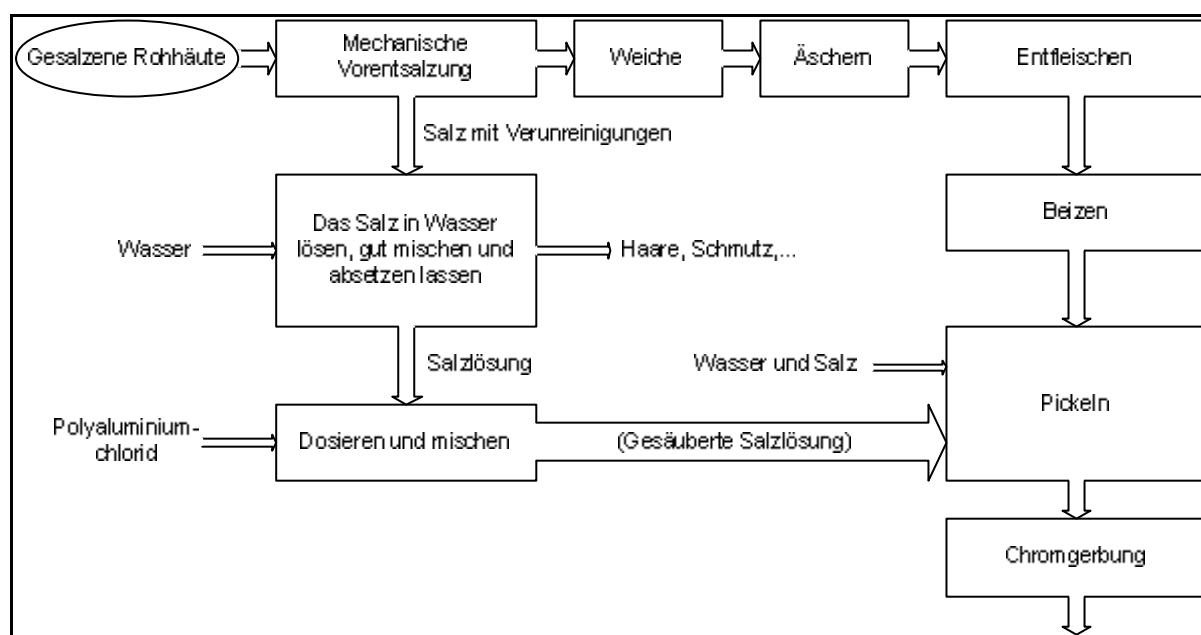


Abbildung 3-3 Flussdiagramm für die Verwendung des gewonnenen Konservierungssalzes beim Pickeln [10]

3.2 Chromfreie Abfälle

Von den gesamten festen Abfällen die bei der Lederherstellung erzeugt werden haben die chromfreien Abfälle einen Anteil von etwa 75 – 80 %. Zu diesen Abfällen zählen:

- ? Enthaarungsrückstände
- ? Maschinenleimleder
- ? Blößenstücke

Wird statt der konventionellen Chromvorgerbung mit Glutardialdehyd vorgegerbt, sind die dann anfallenden sogenannten Wet White Falzspäne ebenfalls chromfreie Abfälle.

3.2.1 Enthaarungsrückstände

Die Abwässer aus der Enthaarung zählen zu den höchstbelasteten Abwässern der Gerberei und müssen durch meist betriebseigene Kläranlagen entsorgt werden. Wird für die Enthaarung der Rohhaut ein haarschonendes Verfahren angewendet verringern sich zwar die Schadstofffrachten im Abwasser beträchtlich (CSB und BSB), es fällt jedoch ein weiterer fester Abfall an, der entsorgt werden muss. Die relativ anfallende Haarmenge bezogen auf das Gewicht der Rohhaut hängt von der Haarlänge und der Dicke der Rohhaut ab (siehe Tabelle 3-3). Die Haarrückstände können nach einer Entwässerung auf 35% Trockensubstanz einfach in eine Abfalldéponie abgeladen werden ohne Geruchsbelästigungen zu verursachen. Im Folgenden werden aber noch Wege einer Wiederverwendung näher vorgestellt.

Tabelle 3-3 Anfallende Haarmenge bezogen auf das Gewicht der Rohhaut beim haarschonenden Enthaaren

| Verarbeitete Häute | % entwässerte Haare | % Haartrockenmasse |
|-------------------------|---------------------|--------------------|
| Schwere Rinderhaut | 10 - 15 | 3 - 5 |
| Leichte Rinderhaut | 15 - 20 | 5 - 7 |
| Kalbshaut | 20 - 40 | 10 - 13 |
| Schafs- oder Ziegenhaut | 60 - 90 | 20 - 30 |

Die Haarrückstände bestehen aus ganzen und aus teilweise zerstörten Haaren mit einem Wassergehalt von anfänglich 80 – 85% (siehe Foto 3-1). Sie sollten möglichst bald durch eine Schraubenpresse oder einen perforierten Container entwässert werden, da sich sonst die Proteine zersetzen. Container, die sowohl zum Entwässern als auch zum anschließenden Transport verwendet werden können, können käuflich erworben werden. Die frischen Haare haben einen Sulfidanteil von etwa 80 bis 100 ppm, der aber durch Oxidation innerhalb von drei bis vier Stunden auf weniger als 10 ppm absinkt. Spätestens nach einem Tag ist das Sulfid praktisch verschwunden. Natrium Ionen und Kalk werden durch Waschen entfernt [11].



Foto 3-1 Haarrückstände [15]

3.2.1.1 Wiederverwertung der Haare

Die Haarrückstände können zur Filzproduktion verwendet werden. Diese Anwendung ist aber durch den Einsatz von synthetischen Fasern und den damit verbundenen Vorteilen fast vollständig verdrängt worden. Vor allem wenn Schafsfelle und Ziegenfelle verarbeitet werden, besteht die Möglichkeit der Wollproduktion. Es gibt mehrere weitere Ansätze für die Aufbereitung von Haarrückständen:

- ? Aufbereitung zu Dünger
- ? Kompostieren
- ? Biogasproduktion zur Energiegewinnung
- ? Hydrolyse (Kosmetika und pharmazeutische Produkte)

3.2.1.2 Aufbereitung zu Dünger

Die Aufbereitung der Haarrückstände zu landwirtschaftlich nutzbarem Dünger ist vor allem wegen der langsamen Abgabe von Stickstoff das vielversprechendste Verfahren. Einsatzgebiete dafür sind vor allem Obstplantagen, Baumschulen oder Privatgärten. In bestimmten Fällen kann der Dünger durch eine partielle Hydrolyse der Haare (erhitzen) oder die Zugabe von Phosphor verbessert werden.

Die italienische Firma Guiseppe Sala & Co. s.r.l. mit Sitz in Arzignano produziert und vermarktet den organischen Stickstoffdünger „Ecolfert“, der aus partiell hydrolysierten und pelletierten Haaren hergestellt wird [12]. Die spanische Non Profit Organisation AIICA

(Asociacion de Investigacion de las Industrias del Curtido y Anexas) hat einen zwei Jahre dauernden Versuch mit guten Ergebnissen durchgeführt. Trockene Haare wurden mit anderen organische Materialien vermischt und als Dünger für verschiedene Gemüsesorten verwendet. Dabei sind bereits über 10.000 Tonnen trockene Haare verarbeitet worden [13].

3.2.1.3 Kompostierung

Eine weitere Möglichkeit bietet die Kompostierung. Weil die Haare ein Kohlenstoff-Stickstoff Verhältnis von etwa 3-4:1 haben, müssen Sie mit kohlenstoffreichen Materialien (Sägespäne, Holzschnitzel, biogene Abfälle, usw.) vermischt werden, um das für die Kompostierung benötigte C:N Verhältnis von 25–35:1 zu erhalten [12]. Ein Wassergehalt von ungefähr 50 % ist für die Mischung optimal. Die Haare, die nicht abgebaut werden, geben dem Kompost einen erwünschten Langzeiteffekt.

In einer tschechischen Gerberei wurden Kompostierungsversuche durchgeführt und dabei gute Ergebnisse erzielt [14]. Versuche mit überaus guten Resultaten wurden auch von TFL mit einer Mischung von 33% Haaren und 67% organischen Haushalts- und Gartenabfällen durchgeführt [11].

3.2.2 Maschinenleimleder

In der Wasserwerkstatt fällt beim Prozessschritt Entfleischen das sogenannte Maschinenleimleder an. Dieser Prozess wird meist nach der Äscherung durchgeführt und die so erhaltenen Leimleder sind mit Kalk und Sulfid verunreinigt. Sie haben eine breiähnliche Konsistenz (siehe Foto 3-2), einen hohen pH-Wert (~ 12,5), einen Wassergehalt größer als 80% und keine Porosität.

Die Rohhaut kann auch bereits vor dem Äschern entfleischt werden. Das hat den Vorteil, dass die erhaltenen Fleischabfälle (natives Leimleder) nicht mit Chemikalien versetzt sind und somit einfacher verwertet werden können (z.B. Entsorgung über die Tierkörperverwertung, Tierfutter – in manchen Ländern wegen BSE zur Rinderfütterung verboten). Man spricht dann vom sogenannten Grüntfleischen. Durch ungleiche Haarlängen und Schmutz haben die ungeäscherten Rohhäute uneinheitliche Dicken und somit sind präzise arbeitende Maschinen nötig, die unter hohem Kostenaufwand neu angeschafft werden müssen.

Tabelle 3-4 Zusammensetzung von Maschinenleimleder [16]

| Kenndaten | Werte in % |
|--------------|-------------|
| Kollagen | 15 – 20 |
| Talg | 10 |
| Wassergehalt | 75 – 85 |
| Sulfid | 0,005 – 0,5 |
| Kalk | 5 |

**Foto 3-2** Maschinenleimleder

In Entwicklungsländern werden die Maschinenleimleder meist ohne weitere Verarbeitung auf ungesicherten Deponien entsorgt. Dadurch entstehen teils erhebliche Umweltbelastungen in Form von Geruchsbelästigungen und Grundwasserverschmutzungen.

Im Folgenden werden die möglichen Entsorgungsverfahren für geäscherte Maschinenleimleder angeführt [17]:

- ? Aufarbeitung durch Hydrolyse ↗ Fett und Proteinmehl
- ? Biologische anaerobe Behandlung ↗ energiereiches Methangas
- ? Biologische aerobe Behandlung ↗ Kompost

3.2.2.1 Rückgewinnung von Fett und Eiweiß

Durch Hydrolyse: Unter Hydrolyse versteht man die Spaltung kovalenter Verbindungen (chemische Bindung) durch Wasser, die durch Säuren, Basen oder Enzyme katalysiert wird. Es bestehen zwei Verfahren, um durch Hydrolyse Fett und Eiweiß zu gewinnen:

- ? Flüssige Hydrolyse (sauer oder alkalisch)
- ? Enzymatische Verarbeitung bei 35° C

Anschließend müssen die Emulsionen noch auf mindestens 50° C erhitzt werden um Fett, Eiweiß und Wasser zu trennen. Bezogen auf die Kapital- und Betriebskosten, ist eine derartige Aufbereitung erst ab etwa 10 t/d ökonomisch sinnvoll [17].

Eine weitere Möglichkeit bietet eine Behandlung mit Peroxyd und Schwefelsäure bei 35 – 40° C. Dafür müssen die Leimleder auf eine Größe von 50 – 200 mm klein geschnitten werden. Durch den Prozess entstehen zwei Phasen, die durch mechanische Entwässerung getrennt werden können. Die Fettphase (10 – 12,5% der ursprünglichen Leimledermasse) trennt sich von der Flüssigphase. Die erhaltene Eiweißphase kann nach der Trocknung als Tierfutter oder als Dünger verwendet werden. Auch dieses Verfahren ist erst ab einer Verarbeitung von mehr als 10 Tonnen pro Tag rentabel [17].

3.2.2.2 Biologische anaerobe Behandlung

Sowohl native als auch geäscherte Maschinenleimleder und Blößenstücke sind biologisch abbaubar. Durch eine anaerobe Behandlung erhält man energiereiches Methangas und einen zu entsorgenden wässrigen Schlamm. Dieses Biogas (Methangas) kann nach der Entfernung von H₂S als Treibstoff für Gasmotoren verwendet werden. Die Anlagen die zur Biogasproduktion verwendet werden sind relativ kompliziert und kapitalintensiv. In Entwicklungsländern wäre durch die Zusammenarbeit mehrerer Gerbereien eine derartige Behandlung vorstellbar.

In Melvisharam, Indien wird eine Biogasanlage unter der Leitung der UNIDO erfolgreich getestet. Diese Biogasgeneratoren werden mit Maschinenleimleder und Primärschlamm der ortsansässigen öffentlichen Kläranlage beschickt. Mit dem dort produzierten Methangas wird mittels eines Gas-Dieselmotors und eines Generators elektrischer Strom erzeugt. Ein ausführlicher Bericht über den Betrieb dieser Anlage ist im Internet verfügbar [18].

3.2.2.3 Biologische aerobe Behandlung

Die Kompostierung von Maschinenleimledern und Blößenstücken ist eine relativ einfache Behandlung mit geringen anlagentechnischen Anforderungen. Aus genannten Gründen ist eine derartige Behandlung von Leimledern, aber auch von Blößenstücken und Haarrückständen in Kombination möglicherweise das geeignetste Verfahren für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in Entwicklungsländern.

Probleme ergeben sich durch den hohen Wassergehalt (etwa 80%), die geringe bis keine Porosität, schwere Homogenisierbarkeit und der durch den Geruch angelockten Insekten. Eine thermische Vorbehandlung der Leimleder unter der Gewinnung von Talg ist sinnvoll. Als Produkt erhält man einen vermarktungsfähigern Kompost, der vor allem in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann.

Nähere Untersuchungen wurden im Zuge einer Dissertation an der Montanuniversität Leoben (ebenfalls ein INCO-DC „Eilt“ Projekt) durch verschiedene Versuche gemacht. Die Auswertungen und daraus entstehenden Folgerungen sind darin beschrieben [15].

3.2.3 Blößenstücke

Unter Blößenstücken versteht man die bei den Prozessen Spalten und Crouponieren in der Wasserwerkstatt anfallenden Spaltleder und Kantierstücke. Sie haben in etwa dieselben chemischen Eigenschaften wie die Maschinenleimleder, unterscheiden sich jedoch in ihren physikalisch Eigenschaften (dicht und gummiartig, siehe Foto 3-3).

Es gibt mehrere Verfahren Blößenstücke zu verarbeiten:

- ? Aufarbeitung durch Hydrolyse ↪ Proteinmehl
- ? Biologische anaerobe Behandlung ↪ energiereiches Methangas
- ? Biologische aerobe Behandlung ↪ Kompost
- ? Produktion von Hautleimen und Gelatine
- ? Spaltleder können zu minderwertigen Ledern gegerbt werden
- ? Trocknen zu Kaufutter für Haustiere durch Schneiden in bestimmte Formen und Trocknen



Foto 3-3 Blößenstücke [15]

Die Blößenstücke können teilweise ähnlich oder gleich wie die Maschinenleimleder behandelt werden. Bei der biologischen anaeroben und der aeroben Behandlung werden sie direkt mit den Maschinenleimledern verarbeitet. Auch die Aufarbeitung durch Hydrolyse ist ähnlich, jedoch wird dabei nur Proteinmehl gewonnen.

Gelatineproduktion

Eine vor allem in Industrieländern weit verbreitetes Verfahren ist die Weiterverarbeitung von Hautspalt zu Gelatine. Gelatine ist ein Protein, das durch Partialhydrolyse aus dem Kollagen gewonnen wird, das in tierischen Rohstoffen (Schweineschwarten, Rinderspalt und Rinderknochen) enthalten ist. Dank ihrer vielfältigen Eigenschaften (Geliermittel, Verdickungsmittel, Filmbildner, Emulgator) wird Gelatine verwendet in:

- ? Nahrungsmitteln (Süßwaren, Milcherzeugnisse, Fleischprodukte, usw.)
- ? Pharmazeutika
- ? Fotografie
- ? den verschiedensten technischen Anwendungen

Die Blößenstücke werden vor dem Transport zur Gelatinefabrik durch Salz oder Kalk konserviert. So beginnen die ersten Verarbeitungsprozesse in der Gelatinefabrik mit intensiven Waschverfahren und dem Schneiden des Rinderspalts auf Handgröße. Durch mehrwöchige alkalische Behandlung wird eine schonende Umwandlung der Kollagenstruktur

erreicht. Anschließend ist das darin enthaltene Kollagen in warmem Wasser löslich. Die so vorbereiteten Materialien werden nun mit Warmwasser versetzt und mehrstufig extrahiert. Danach folgen noch die Prozesse: Reinigung \approx Eindickung \approx Trocknung \approx Mahlen, Sieben und Mischen. Die Gelatine ist danach für spezifische Anwendungen verwendungsfähig und kann an verschiedenste Abnehmer verkauft werden [19].

3.3 Chromfalzspäne

Bei der Dickenregulierung der chromgegerbten Halbfabrikate fallen chromhaltige Falzspäne an. Für diese Abfälle stehen nur wenige kosteneffektive Wiederverwertungsmöglichkeiten zur Verfügung, daher werden sie meist deponiert. Aufgrund der Eluierbarkeit des Chroms und des hohen organischen Anteils ist nur eine Deponierung in Reaktordeponien zu empfehlen, was wiederum mit hohen Kosten verbunden ist.

Chromfalzspäne sind chemisch und mikrobiell stabil und haben einen relativ hohen Heizwert von etwa 21.000 kJ/kg. Tabelle 3-5 zeigt die Ergebnisse einer Analyse von Chromfalzspänen.

Die eingesetzten Chromgerbstoffe werden heutzutage vorwiegend in Form basischer dreiwertiger Chromsulfate von der chemischen Industrie bereitgestellt. Die bei der Gerbung verwendeten Cr(III) – Verbindungen sind im Gegensatz zu den Cr(VI) – Verbindungen unvergleichlich geringer toxisch. Eine Gefahr besteht jedoch bei der Verwertung oder Entsorgung der chromhaltigen Späne durch die mögliche Entstehung von Cr(VI) – Verbindungen.

Tabelle 3-5 Analyse von Chromfalzspänen [16]

| Kenndaten | Werte in % |
|---|------------|
| Trockenrückstand absolut bei 100° C | 40,9 |
| Gesamtasche (sulfatiert) | 7,0 |
| Cr ₂ O ₃ - Gehalt | 2,2 |
| CaO - Gehalt | 3,6 |
| Al ₂ O ₃ - Gehalt | 0,4 |
| Fe - Gehalt | Spuren |

Entsorgung der Chromfalzspäne

Vor allem, weil die Chromgerbung schon seit langer Zeit etabliert ist und etwa für 85% aller produzierten Leder eingesetzt wird, bestehen mehrere Verfahren zur Entsorgung der anfallenden Chromfalzspäne.

- ? Lederfaserherstellung (Lefa)
- ? Aufarbeitung durch Hydrolyse
- ? Thermische Behandlung (Verbrennung)
- ? Deponieren
- ? Einbinden in eine keramische Matrix

3.3.1 Lederfaserherstellung

Lederfaserwerkstoff ist ein Produkt, das aus einem unverwobenen, unregelmäßig gelagerten Fasergemenge, mit verschiedenen Lederfasern als Gerüstsubstanz, besteht. Dieses Faservliesgemenge ist überwiegend mit natürlichen Bindemitteln zu einem festen Ledercharakter zeigenden Material verfestigt. Sowohl Wet White Falzspäne als auch Wet Blue Falzspäne werden gemahlen und unter Zuhilfenahme von Naturlatex und Fettungsmitteln verbunden. Nach dem Zusatz von Wasser wird der Verbund auf speziellen Langsiebmaschinen ausgebracht. Durch einen Produktionsprozess, der der Papierherstellung ähnlich ist, anschließendes Trocknen, Kalandrieren und einer Oberflächenbehandlung entstehen ein Endlosprodukt oder einzelne Platten, die in verschiedensten Qualitäten und Stärken erhältlich sind.

Aus diesen Lederfaserwerkstoffen können Schuhsohlen, Schuhkappen, Bucheinbände oder Täschnerwaren hergestellt werden. Schachpunkt dieses Verfahrens sind vor allem der relativ aufwendige und damit kostenintensive Verfahrensweg und somit die Notwendigkeit einer bestehenden Lefa – Industrie.

3.3.2 Aufarbeitung durch Hydrolyse [17]

Alkalische Hydrolyse: Die Späne werden mit Magnesium Oxyd gemischt und danach werden die Gelatineanteile durch kochendes Wasser extrahiert. Der Prozess kann durch Enzyme verbessert werden. Als Abfall bleibt ein chromhaltiger Schlamm, der entwässert und

zu Chromlösung weiterverarbeitet wird. Die flüssigen Proteine werden in der Industrie eingesetzt. Es können auch andere alkalische Mittel wie Kalk oder Natriumhydroxid verwendet werden.

Saure Hydrolyse: Dieses Verfahren nutzt konzentrierte Schwefelsäure mit Dampfeinspritzung. Das Hydrolysat wird dann mit Phosphaten neutralisiert und kann durch Beigeben von organischen Zusätzen zur Düngerherstellung verwendet werden. Das Hydrolysat kann aber auch als Koagulationsmittel in der Gummiindustrie oder Weichmacher in der Betonindustrie eingesetzt werden. Der entstehende Chromschlamm kann wieder für die Gerbmittelproduktion eingesetzt werden.

Diese Verfahren sind in Industrieländer seit langem etabliert. In Entwicklungsländern dürften sie anhand mangelnder Umweltschutzbestimmungen und vorhandener Anlagen kaum eine große Rolle spielen.

Eine weitere Möglichkeit bietet die Behandlung der Späne mit Enzymen. Als Produkte erhält man ein hochwertiges und wertvolles Eiweißhydrolysat und einen mit Eiweiß verunreinigten chromhaltigen Schlamm.

3.3.3 Thermische Behandlung (Verbrennung)

Aufgrund des hohen Heizwertes von etwa 21000 kJ/kg liegt eine Verbrennung nahe. Bei der Verbrennung ist mit der Entstehung von Chromaten in der Asche zu rechnen. Diese haben je nach Zusammensetzung des Verbrennungsgutes einen Anteil < 1 - 10%, wird in Anwesenheit von Biomüll verbrannt, bis zu 25% am Gesamtchromgehalt im Rückstand [20]. Das kann durch eine reduktive Aufbereitung mit verdünnter Schwefelsäure und Wasserstoffperoxyd verhindert werden. Cr(VI) – Verbindungen, die in den Verbrennungsgasen mit bis zu 0,1% des Gesamtchroms auftreten, müssen durch entsprechende Filtertechnik aus der Abluft entfernt werden.

Die Vorteile liegen in der Nutzbarkeit der Wärmeenergie, der Reduzierung des Volumens und dem Aufkonzentrieren des Chrom(III) – Verbindungen in der Asche. Verschiedene Versuche haben gezeigt, dass die Asche bis an die 50% Chromoxid enthalten kann. Diese Asche kann wieder zur Gerbmittelherstellung verwendet werden [17].

3.3.4 Deponierung

Bei der Deponierung von chromhaltigen Falzspänen ist vor allem auf die Eluierbarkeit und die spätere Stoffumwandlung von Cr(III) zu Cr(VI) zu achten. Umfangreiche Studien mit realem und Modellsickerwasser habe gezeigt, dass erst bei in der Praxis nicht anzutreffenden pH-Werten unter 4,5 in Anwesenheit von Komplexbildnern und stark reduzierenden Bedingungen höhere Cr Mengen in Lösung gehen, aber immer als Cr(III) – Verbindungen [20]. Durch die Neutralisierung des pH-Wertes kommt es zu einer Fixierung der Cr (III) – Verbindungen.

3.3.5 Einbinden in eine keramische Matrix

Im Zuge einer Diplomarbeit „Einsatz chromhaltiger Gerbereiabfälle in der Ziegelindustrie“ an der Montanuniversität Leoben wurden Versuche durchgeführt, chromhaltige Falzspäne bzw. Schleifspäne durch Keramisierung in Ziegel einzubauen, wobei diese als Porosierungsmittel dienen, sollten. Dabei wurde festgestellt, dass selbst bei Zugabe von Zuschlägen (Borax, Silicafume und Eisen(II)-Sulfat), in den Eluaten der Versuchsziegel die Cr(IV) - Grenzwerte für Baurestmassendeponien laut Deponieverordnung überschritten wurden. Ob dieses Verfahren geeignet ist, chromhaltige Falzspäne bzw. Schleifspäne zu verwerten, kann somit erst nach weiteren Versuchsreihen mit geringeren Gehalten an chromhaltigen Falzspänen beurteilt werden.

3.4 Chromfreie Wet-White Falzspäne

Im Anschluss an die Gerbung mit Glutarialdehyd werden die erhaltenen Leder in ihrer Dicke durch das sogenannte Falzen reguliert. Die dabei anfallenden Falzspäne enthalten im Gegensatz zu chromgegerbten Ledern kein Chrom und sind somit einfacher zu entsorgen. Sie sind gelblich weiß und sehr homogen (siehe Bild 3-4). Sie haben einen Heizwert von etwa 21.000 kJ/kg, sind chemisch stabil und frei von AOX, Lösungsmittel und Metallen. Ein weiterer Vorteil der Wet-White Späne ist der erheblich geringere Ascheanteil als bei Wet-Blue Falzspänen.

Falzspäne können durch Primärmaßnahmen wie genaueres Falzen und optimalere Spaltstärken nur geringfügig vermindert werden, daher sind Sekundärmaßnahmen wie eine Weiterbehandlung der etwa 99 kg/t_{gRh} sinnvoll.

Aufgrund der fehlenden Substanz, der hohen Schimmelanfälligkeit und der Tendenz zum Austrocknen während der Zwischenlagerung sind Wet White Falzspäne nicht zur Lefa – Herstellung geeignet [4]. Bezüglich der Hydrolysatherstellung bestehen vielfältige Nutzungsmöglichkeiten bis hin zur Verwendung als Gerbstoffe [21]. Zur Deponierung kann gesagt werden, dass alle organische eluierbaren Inhaltsstoffe früher oder später oxidativ abgebaut werden und dabei keine toxischen Umwandlungsprodukte bilden. Daher ist eine Deponierung, abgesehen vom hohen organischen Anteil, unbedenklich.

Eine grundsätzliche Kompostierbarkeit für Wet White Falzspäne wurde bereits nachgewiesen [31]. Dazu wurden Laboruntersuchungen in einer Größenordnung von 1kg Kompost mit 35g Wet White Spänen durchgeführt. Die Untersuchungen, die im Zuge dieser Diplomarbeit durchgeführt wurden, sollen nun zeigen, ob eine Kompostierung auch im Feldversuch möglich und sinnvoll ist. Im Abschnitt „6. Versuchsdurchführung“ werden die Umstände und Ergebnisse der Versuche dargestellt und diskutiert.

Weitere mögliche Verfahren zur Verwertung bzw. Entsorgung:

- ? Düngemittel
- ? Thermische Behandlung (Verbrennung)



Foto 3-4 Wet-White Falzspäne der Fa. Vogl

Tabelle 3-6 Chemische Analyse von Wet White Falzspänen

| Parameter | Kurzbezeichnung | Messwert | Einheit |
|--------------------------------------|-----------------|----------|----------|
| pH-Wert im Eluat | pH | 4,03 | |
| Elektrische Leitfähigkeit im Eluat | El | 3,37 | mS/m |
| Abdampfrückstand im Eluat | ADR | 8145 | mg/kg TS |
| | | | |
| Blei | Pb | < 5 | mg/kg TS |
| Cadmium | Cd | < 0,5 | mg/kg TS |
| Chrom gesamt | Cr | 22,14 | mg/kg TS |
| Kupfer | Cu | 6,05 | mg/kg TS |
| Quecksilber | Hg | < 0,5 | mg/kg TS |
| Zink | Zn | < 125 | mg/kg TS |
| Gesamter org. gebundener Kohlenstoff | TOC | 373000 | mg/kg TS |
| Wassergehalt | WG | 56,40 | % |
| Glühverlust | GV | 97,26 | % |
| Kalium | K | 1437 | mg/kg TS |
| Chlor in Feststoffen | Cl | 10764 | mg/kg TS |
| Schwefel in Feststoffen | S | 6930 | mg/kg TS |
| Wasserstoff | H | 6,10 | % |
| Phosphor gesamt | P | 93,8 | % |
| Kohlenstoff | C | 46,6 | % |
| Stickstoff | N | 14,5 | % |

4 Internationaler Vergleich – Lederabfälle [23]

Wie im vorherigen Kapitel verdeutlicht, fallen beim Gerben von Leder verschiedenste feste Abfälle an. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die weltweite Verteilung der Lederproduktion und den internationalen Lederhandel. Ein Vergleich der Output - Mengen von 1980 mit 2000 ermöglicht Aussagen über die Entwicklung der weltweiten Lederherstellung. Mit den Daten über die Lederproduktion, die von der FAO [23] bereitgestellt werden, ist eine Abschätzung der Abfallmengen möglich.

4.1 Rohhäute

Für die moderne Lederherstellung ist die kontinuierliche Versorgung mit Rohhäuten sehr wichtig. Daher entwickelt sich die Lederherstellung vor allem in Ländern und Regionen, die ein reiches Angebot an diesen Rohstoffen haben. Dieses Angebot hängt neben der Tierpopulation vor allem vom Fleischkonsum und damit von der Schlachtrate ab. Bedeutende Rinderbestände sind in den USA, Indien, Europa, China, Brasilien, Argentinien und der ehemaligen UDSSR zu finden. Schafe werden vor allem in China, Europa, Neuseeland, Australien, dem nahen Osten, Indien und der ehemaligen UDSSR gezüchtet. Diese Länder und Regionen repräsentieren etwa 65% der gesamten Weltproduktion an Rohhäuten. Die genannten Zentren der Rohhautproduktion decken sich aber nicht zwangsläufig mit den Zentren der Lederproduktion und im Weiteren mit den Ländern, in denen das Leder zu fertigen Konsumgütern verarbeitet wird. Die Rohhäute werden daher teilweise, meist als gesalzene Rohhäute oder in zunehmendem Maße auch als bereits vorgegerbte Halbfabrikate (vor allem chromgegerbte Wet Blue Leder), international gehandelt [22].

Obwohl auf die Entwicklungsländer über 77% der globalen Rinderpopulation fallen, produzieren sie numerisch gesehen etwa 60% der Rinderhäute. Weil aber das durchschnittliche Gewicht pro Haut in den Entwicklungsländern geringer ist, entspricht das nur 51% des Gesamt - Outputs in kg. Die Situation mit den Schafs- und Ziegenhäuten ist ähnlich. Die Tabelle 4-1 zeigt einen Überblick über die Produktion, den Nettohandel und die Verfügbarkeit von Rohhäuten. Die Daten beziehen sich auf die Jahre 1997 bis 1999.

Tabelle 4-1 Rohhäute – Daten zur Population, Nettohandel, Verfügbarkeit [23]

| Rohhäute und Felle | | | | |
|--------------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| | Population | Produktion ² | Nettohandel ¹ | Verfügbarkeit ² |
| | [Mio. Tiere] | [1000 t] | [1000 t] | [1000 t] |
| Rinderhäute | | | | |
| Weltweit | 1.498,7 | 5.676,8 | +69,6 | 5.746,4 |
| Entwicklungsländer | 1.157,4 | 2.904,3 | +774,8 | 3.679,1 |
| Industrieländer | 341,3 | 2.772,5 | -705,2 | 2.067,3 |
| Schafs- und Ziegenhäute | | | | |
| Weltweit | 1.752,1 | 624,0 | +6,9 | 630,9 |
| Entwicklungsländer | 1.326,2 | 420,8 | +44,5 | 465,3 |
| Industrieländer | 425,8 | 203,2 | -37,6 | 165,6 |

1 Theoretisch sollte der globale Nettohandel gleich 0 sein – dieser Wert weicht aber wegen Verschiffungszeiten und Verspätungen bei der Datenübermittlung ab.

2 Nassgesalzen für Rinderhäute, trocken ohne Wolle für Schafshäute und trocken für Ziegenhäute

4.2 Die Entwicklung der Lederproduktion

In den letzten 20 Jahren ist die Produktion von schweren Rinderledern um etwa 21% angestiegen. Knapp 40% der globalen Gesamtproduktion entfallen auf den fernen Osten, der auch die höchste jährliche Wachstumsrate aufweist. Während der Leder - Output in den Entwicklungsländern stark ansteigend ist und sich im beobachteten Zeitraum fast verdoppelt hat, hat er sich in den Industrieländern stetig verringert. Der Anteil der Entwicklungsländer an der globalen Lederherstellung (schwere Rinderleder) ist dadurch auf etwa 60% angestiegen.

Während die weltweite Herstellung von leichten Rinderledern um 28% zugenommen hat haben die Entwicklungsländer ihren Output um 88% erhöht und haben damit ihren globalen Anteil auf etwa 57% gesteigert. Die größte Zuwachsrate hat dabei der Ferne Osten. Die Industrieländer haben auch hier wie bei den schweren Ledern die Produktion verringert.

Die weltweite Produktion von Schafs- und Ziegenledern ist um 30% expandiert. Ähnlich wie bei den Rinderledern ist der globale Anteil der Entwicklungsländer von 49% in den Jahren 1982 – 1984 auf 70% in den Jahren 1997 – 1999 angestiegen.

Genauere Angaben über die Entwicklung der weltweiten Lederproduktion sind in Tabelle 4-2 ersichtlich.

Tabelle 4-2 Daten über den Lederoutput bezogen auf Lederart und Wirtschaftsraum [23]

| Output - schwere Rindsleder | | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------|
| | Durchschnitt 1982 - 1984 | Durchschnitt 1997 - 1999 | Anstieg pro Jahr | Weltanteil 1997 - 1999 |
| | [1000 t] | [1000 t] | [%] | [%] |
| Weltweit | 409,7 | 505,5 | +1,4 | 100 |
| Entwicklungsländer | 159,3 | 303,3 | +4,4 | 60,0 |
| Lateinamerika | 54,9 | 70,2 | +1,7 | 13,9 |
| Afrika | 3,5 | 3,8 | +0,5 | 0,8 |
| Naher Osten | 14,0 | 31,4 | +5,5 | 6,2 |
| Ferner Osten | 86,9 | 197,8 | +5,6 | 39,1 |
| Industrieländer | 250,3 | 202,3 | -1,4 | 40,0 |
| Nordamerika | 27,3 | 35,9 | +1,8 | 7,1 |
| Europa | 89,3 | 71,2 | -1,5 | 14,1 |
| Frühere UDSSR | 124,3 | 86,7 | -2,3 | 17,2 |
| Ozeanien | 2,9 | 3,6 | +1,5 | 0,7 |
| Andere | 6,5 | 4,9 | -1,8 | 0,9 |
| Output - leichte Rindsleder | | | | |
| Weltweit | 8.385,9 | 10.769,4 | +1,7 | 100 |
| Entwicklungsländer | 3.287,1 | 6.181,3 | +4,3 | 57,4 |
| Lateinamerika | 1.510,0 | 2.000,0 | +1,9 | 18,6 |
| Afrika | 171,3 | 231,7 | +2,0 | 2,2 |
| Naher Osten | 286,8 | 258,2 | +1,5 | 3,3 |
| Ferner Osten | 1.319,0 | 3.591,5 | +6,9 | 33,3 |
| Industrieländer | 5.098,9 | 4.588,0 | -0,7 | 42,6 |
| Nordamerika | 667,0 | 707,5 | +0,4 | 6,6 |
| Europa | 3.110,3 | 2.812,3 | -0,7 | 26,1 |
| Frühere UDSSR | 756,7 | 516,7 | -2,5 | 4,8 |
| Ozeanien | 114,2 | 215,7 | +4,3 | 2,0 |
| Andere | 450,6 | 335,9 | -2,0 | 3,1 |
| Output - Schafs- und Ziegenleder | | | | |
| Weltweit | 3.316,1 | 4.310,7 | +1,9 | 100 |
| Entwicklungsländer | 1.464,1 | 3.010,1 | +5,2 | 69,8 |
| Lateinamerika | 165,9 | 201,4 | +1,3 | 4,7 |
| Afrika | 229,9 | 379,7 | +3,6 | 8,8 |
| Naher Osten | 270,1 | 551,3 | +5,1 | 12,8 |
| Ferner Osten | 798,3 | 1.877,7 | +6,2 | 43,5 |
| Industrieländer | 1.852,0 | 1.300,6 | -2,4 | 30,2 |
| Nordamerika | 88,5 | 84,6 | -0,4 | 2,0 |
| Europa | 1.309,8 | 958,2 | -2,1 | 22,2 |
| Frühere UDSSR | 363,4 | 193,3 | -4,2 | 4,5 |
| Ozeanien | 45,1 | 56,6 | +1,8 | 1,3 |
| Andere | 45,2 | 8,0 | -12,1 | 0,2 |

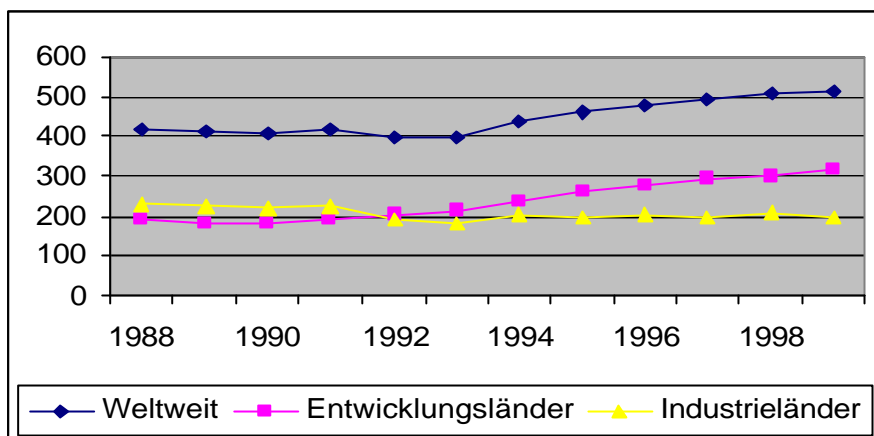


Diagramm 4-1 Entwicklung der scheren Rinderlederproduktion in 1000 t/a

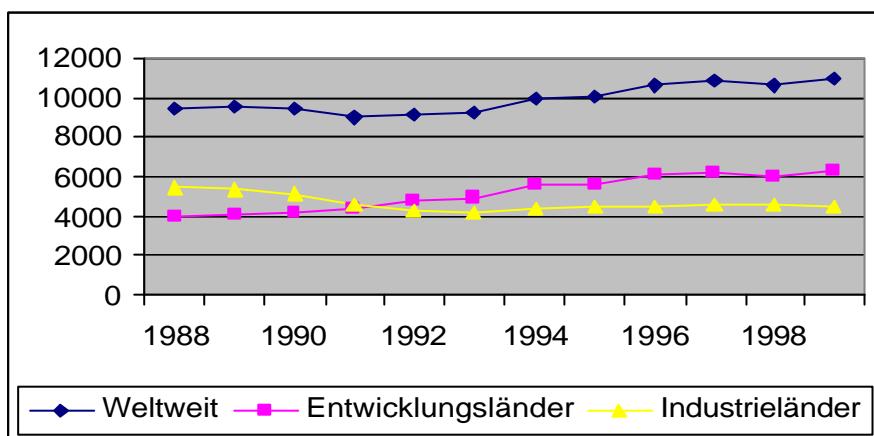


Diagramm 4-2 Entwicklung der leichten Rinderlederproduktion in mio. m²/a

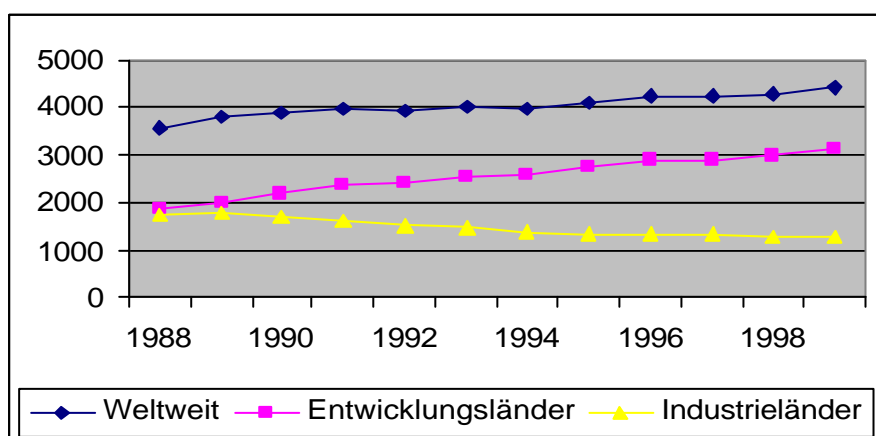


Diagramm 4-3 Entwicklung der Schafs- und Ziegenlederproduktion in mio. m²/a

4.3 Lederproduktion – Heute

Weltweit werden etwa 5,7 Millionen t/a an gesalzene Rohhäuten von Rindern verarbeitet und daraus ungefähr 506.000 Tonnen schwere Leder und 10.769 Mio. m² leichte Leder bzw. Spaltleder produziert. Aus diesen Ledern werden etwa 57% für die Schuhproduktion verwendet, die verbleibenden 43% werden zu anderen diversen Konsumgütern wie Kleidungsstücke, Mobiliar und Taschen verarbeitet. Aus den weltweit 624.000 t/a verarbeiteten getrockneten Schafs- und Ziegen Rohhäuten werden etwa 4.300 Millionen Quadratmeter Schafs- und Ziegenleder hergestellt.

Die Daten über die Produktion, den Nettohandel und die Verfügbarkeit von Rinderledern (1997 – 1999) sind in Tabelle 4-3 zusammengefasst. Daraus ist ersichtlich, dass etwa 60% der Rinderleder (sowohl schwere als auch leichte) in den Entwicklungsländern hergestellt werden. Während die Handelsbilanz bei den schweren Ledern relativ ausgeglichen ist, kann bei leichten Ledern ein deutliches Exportplus von 801,9 Mio. m² in den Entwicklungsländern festgestellt werden. Das lässt darauf schließen, dass vor allem die schweren Rinderleder in den Entwicklungsländern selbst verarbeitet werden. Die leichten Rinderleder werden hingegen größtenteils in die Industrieländer exportiert, um dort weiterverarbeitet zu werden.

Tabelle 4-3 Rinderleder – Daten über die Produktion, den Nettohandel und die Verfügbarkeit [23]

| Leder | | | | | | |
|--------------------------------|------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| | Produktion | | Nettohandel ¹ | | Verfügbarkeit | |
| | Schwer | Leicht | Schwer | Leicht | Schwer | Leicht |
| | [1000 t] | [Mio. m ²] | [1000 t] | [Mio. m ²] | [1000 t] | [Mio. m ²] |
| Rinderhäute | | | | | | |
| Weltweit | 505,5 | 10.769,4 | +3,1 | +258,1 | 505,9 | 11.027,5 |
| Entwicklungsländer | 303,3 | 6.181,3 | -1,4 | +801,9 | 297,1 | 6.983,3 |
| Industrieländer | 202,2 | 4.588,1 | +4,5 | -543,8 | 208,8 | 4.044,3 |
| Schafs- und Ziegenhäute | | | | | | |
| Weltweit | 4.301,7 | | +19,2 | | 4.329,9 | |
| Entwicklungsländer | 3.010,1 | | -192,3 | | 2.817,8 | |
| Industrieländer | 1.300,6 | | +211,5 | | 1.512,1 | |

1 Theoretisch sollte der globale Nettohandel gleich 0 sein – dieser Wert weicht aber wegen Verschiffungszeiten und Verspätungen bei der Datenübermittlung ab.

4.4 Chromhaltige Abfallmengen der Lederherstellung

Dieser Abschnitt befasst sich mit den weltweit produzierten chromhaltigen Wet Blue Abfällen, um abzuschätzen, welches Potenzial durch die chromfreie Gerbung mit Glutardialdehyd zur Verminderung dieser Abfälle zu Gunsten von chromfreien Wet White Abfällen gegeben ist. Die Tabelle 4-4 zeigt die Abfallmengen, die pro Tonne fertig produziertes Leder anfallen. Diese Abfälle umfassen Wet Blue Späne sowie die Blößenstücke aus der Spaltung und der Kantierung, wobei die Späne den größten Anteil haben. Weiters werden auch die Lederfasern und die Kantierstücke aus der Zurichtung erfasst. Für die Berechnungen dieser Tabelle wurde angenommen, dass die fertigen schweren Rinderleder 3 kg/m² wiegen und ein Schafs- oder Ziegenleder 0,75 m² groß ist.

Tabelle 4-4 Verhältnis von Abfällen bezogen auf die Produktion [24]

| | Schwere Rinderleder | Leichte Rinderleder | Schafs- und Ziegenleder |
|--|------------------------------|--|--|
| | [t / 1000t fertiges Leder] | [t / mio m ² fertiges Leder] | [t / mio m ² fertiges Leder] |
| Unbrauchbare Wet Blue Spalte, Lederspäne und Kantierstücke | 171,0 | 513,0 | 180,0 |
| Trockene Lederfasern und Kantierstücke | 27,7 | 83,2 | 151,3 |

Mit den von der FAO erstellten Daten über die globale Lederproduktion ist es anhand der Werte in Tabelle 4-4 möglich, die daraus resultierenden festen Lederabfälle zu schätzen. Wie bereits vorher ersichtlich war, zeigen die Daten der FAO die Produktionsmengen der Lederindustrie in verschiedenen Ländern und Regionen. Die Outputs werden dabei in t (schwere Rinderleder) bzw. in Mio. m² (leichte Rinderleder, Schafs- und Ziegenleder) angegeben.

Tabelle 4-5 Weltweite Lederproduktion und die dabei erzeugten festen Abfälle

| Lederproduktion | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|
| Land/Region | Schwere Rinderledern | Leichte Rinderledern | Schafs- und Ziegenleder | Wet-Blue Abfälle | Lederfasern, Kantierstücke | ? - der Abfälle |
| | [1000 t] | [mio. m ²] | [mio. m ²] | [t] | [t] | [t] |
| Entwicklungsländer | | | | | | |
| Lateinamerika | 71,0 | 191,0 | 18,8 | 113.508 | 20.702 | 134.210 |
| Afrika | 4,0 | 21,1 | 36,5 | 18.078 | 7.389 | 25.467 |
| Naher Osten | 32,0 | 32,7 | 53,2 | 31.823 | 11.656 | 43.479 |
| Ferner Osten | 208,1 | 345,6 | 181,6 | 245.566 | 61.994 | 307.560 |
| ? - Entwicklungsländer | 304,1 | 590,4 | 290,1 | 408.975 | 101.741 | 510.716 |
| Industrieländer | | | | | | |
| Nordamerika | 35,9 | 75,1 | 7,7 | 46.051 | 8.408 | 54.459 |
| Europa | 66,1 | 252,0 | 88,2 | 56.455 | 36.142 | 92.597 |
| Frühere UDSSR | 90,0 | 45,5 | 17,7 | 41.915 | 8.957 | 50.872 |
| Ozeanien | 3,6 | 22,8 | 5,4 | 13.284 | 2.814 | 16.098 |
| Andere | 5,0 | 27,5 | 0,6 | 15.071 | 2.517 | 17.588 |
| ? - Industrieländer | 200,6 | 422,9 | 119,6 | 172.776 | 58.838 | 231.614 |
| ? - Welt | 515,7 | 1.013,3 | 409,7 | 581.751 | 160.579 | 742.330 |

Tabelle 4-6 Lederproduktion in ausgewählten Ländern mit festen Abfällen

| Lederproduktion | | | | | | |
|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|-----------|
| Land/Region | Schwere Rinderledern | Leichte Rinderledern | Schafs- und Ziegenleder | Wet-Blue Abfälle | Lederfasern, Kantierstücke | ? |
| | [1000 t] | [mio. m ²] | [mio. m ²] | [t] | [t] | [t] |
| Lateinamerika | | | | | | |
| Argentinien | 19 | 380 | 36 | 204.669 | 37.589 | 242.258 |
| Brasilien | 25,6 | 592,5 | 67,9 | 320.552 | 60.278 | 380.830 |
| Chile | 0,8 | 45,7 | 4,8 | 24.445 | 4.551 | 28.996 |
| Ferner Osten | | | | | | |
| China | 138,4 | 1404,3 | 898,6 | 905.820 | 256.630 | 1.162.450 |
| Indien | 51,7 | 575 | 693,2 | 428.592 | 154.153 | 582.745 |
| Europa | | | | | | |
| Deutschland | 1,9 | 275 | 21 | 145.180 | 26.110 | 171.290 |
| Italien | 46 | 1420,8 | 387,5 | 806.486 | 178.114 | 984.600 |
| Österreich | 0 | 120 | 3,5 | 62.190 | 10.514 | 72.704 |
| Spanien | 6,7 | 280 | 215 | 183.486 | 56.011 | 239.497 |

Abbildung 4-1 Weltweite, prozentuelle Verteilung der Lederabfälle

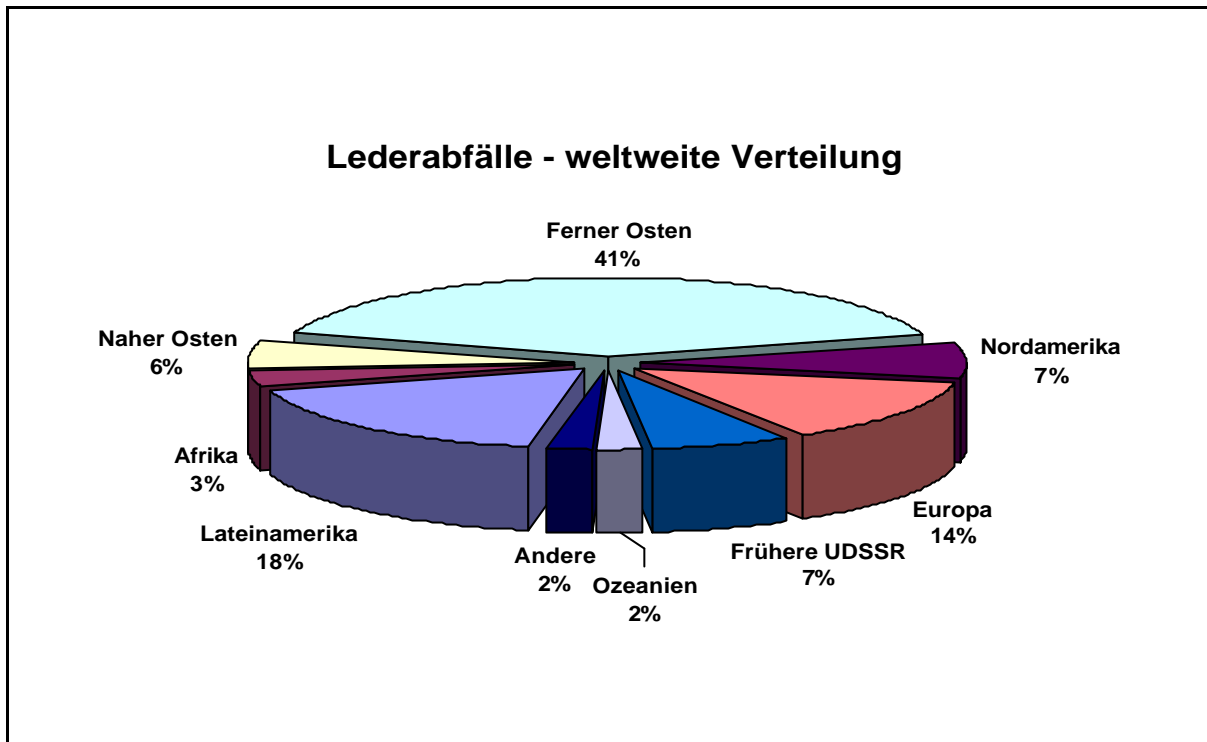


Abbildung 4-2 Weltweite Verteilung der festen Lederabfälle nach Tabelle 4 - 5

5 Grundlagen der Kompostierung [27], [28], [29], [34]

Der folgende Abschnitt beinhaltet allgemeine Informationen über die Grundlagen und Verfahrensweisen der Kompostierung. Desweiteren werden die Qualitätskriterien des fertigen Produktes „Kompost“ angeführt.

5.1 Einleitung

Die Natur verfügt über einen geschlossenen Verwertungszyklus. Die Entstehung von Abfällen ist ein Kennzeichen der wirtschaftlichen Tätigkeit des Menschen. Die Natur erhält die Fruchtbarkeit des Bodens durch Tierfäkalien und das Absterben der Pflanzen. Die beim Wachsen der Pflanzen und Tiere entzogenen Nährstoffe werden wieder in den Kreislauf zurückgeführt. Auch der Mensch hat sich Jahrtausende lang besonders in den östlichen Kulturen an dieses Prinzip gehalten. So wurde beispielsweise in China größte Sorgfalt auf das Sammeln der Fäkalien gelegt. Dort war es Usus bei einem Gastmahl nicht nur gemeinsam zu speisen, sondern danach auch gemeinsam das Feld des Gastgebers zu düngen. Es galt als unfein alles mitzunehmen.

Die Kompostierung gehört wie die Deponierung und Verbrennung zu den klassischen Verfahren der Abfallbehandlung. Die Kompostierung oder Verrottung biologischer Substanzen stellt eine der ältesten biochemischen Vorgänge auf der Erde dar. In jedem Wald werden abgestorbene tierische und pflanzliche Reststoffe zu Huminsäuren und anderen wertvollen Düngematerialien abgebaut, die von neuen Pflanzen als Nahrungsquelle verwendet werden. An der Kompostierung sind eine Vielzahl von Bakterien, Pilzen und anderen Mikroorganismen beteiligt. Die Kompostierung ist ein aerober (unter Sauerstoffverbrauch ablaufender) biochemischer Prozess durch bestimmte biochemische Mikroorganismen, bei dem höhermolekulare Biopolymere unter Wärmefreisetzung zu Huminstoffen und zu CO₂ abgebaut werden. Organische Abfälle können durch die Kompostierung verwertet und in ein wertvolles Endprodukt umgewandelt werden. *In der Hierarchie des Abfallmanagements ist die Verwertung durch Kompostieren der Entsorgung durch Deponierung vorzuziehen.*

5.2 Biochemische Grundlagen

Im Pflanzenreich werden ständig organische Stoffe gebildet und von Mensch und Tier als Nahrung genutzt. Mikroorganismen bauen diese Stoffe wieder zu einfachen Verbindungen

ab, die den Pflanzen dann als Nahrung zur Verfügung stehen. Dieser Abbau, den man als Mineralisation bezeichnet, macht man sich bei der Kompostierung zu nutze. Unter Kompostierung versteht man einen biologischen Abbau- und Umwandlungsprozess organischer Substanz, der unter Wärmeentwicklung (Selbsterhitzung) verläuft und zur Bildung von Kompost führt. Der Kompost bildet infolge seines Reichtums an Nährsalzen (Phosphate, Stickstoff- und Kaliumverbindungen), Humusstoffen und Bakterien einen wertvollen Pflanzennährstoff. Für den Kompostierungsprozess sind im Wesentlichen Bakterien, Pilze und Aktinomyzeten verantwortlich. Die größte Bedeutung kommt den Bakterien zu, ebenfalls wichtig sind Aktinomyzeten und die für den Abbau resistenter Verbindungen wie Lignin befähigten Pilze. Algen kommen zwar vor, sind aber unbedeutend. Die dem Tierreich zuzuordnenden Arten der Würmer, Insekten und Spinnentiere besiedeln den Kompost erst gegen Ende des Rotteprozesses. Durch Fraß, Ausscheidungen und Wühltätigkeit beeinflussen sie in erster Linie die physikalischen Eigenschaften des reifen Kompostes. Für die Kompostierung benötigt man ein aerobes, meist alkalisches Milieu, das durch Belüftung (durch Umsetzen oder Einblasen von Luft) aufrecht erhalten wird. Anaerobe Prozesse spielen bei der technischen Kompostieren eine untergeordnete Rolle. Kommt es in einer Miete aufgrund zu geringer Luftzufuhr zu anaeroben Bereichen, führt dies zur Bildung geruchsintensiver Substanzen, die beim Umsetzen freigesetzt werden. Bei der technischen Kompostierung steigt die Temperatur der kompostierenden Abfälle typischerweise auf über 60° (bis 77°) an und bleibt dann solange hoch, bis die biologisch leicht abbaubaren Substanzen weitgehend oxidiert sind bzw. bei anaeroben Prozessen teilweise als Methan entwichen sind. Die Temperatur ist neben dem CO₂ Gehalt ein gutes Maß für die Intensität des Ablaufes. Der Wassergehalt des Abfalls beeinflusst den biologischen Abbau. Zu geringe Feuchtigkeit hemmt die mikrobielle Aktivität, zu große erschwert den Zutritt von Sauerstoff.

An der Rotte beteiligte Mikroorganismen:

- ? Aerobe und fakultativ anaerobe Bakterien (Bazillen, Kokken, Spirillen). Sie sind mesophil bzw. thermophil und ernähren sich von organischem Material
- ? Aktinomyzeten (Strahlenpilze). Diese pilzähnlichen Bakterien sind ebenfalls mesophil bzw. thermophil und ernähren sich von organischem Material
- ? Hefe- und Schimmelpilze. Sie sind mesophil und ernähren sich von organischem Material
- ? Algen und Protozoen (mesophil). Diese Gruppe von Mikroorganismen spielt eher eine untergeordnete Rolle beim Abbau.

Die mesophile Temperaturzone ist im Bereich von 10 bis 45° C und die thermophile Temperaturzone im Bereich von 45 bis 65° C. Es gibt auch noch einzelne thermophile Arten, die bei Temperaturen von 75 °C auftreten.

5.3 Ausgangsmaterialien für die Kompostierung

Abfälle, die einer Kompostierung zugeführt werden sollen, müssen überwiegend organisch zusammengesetzt und sollten hinsichtlich ihres Schadstoffgehaltes nur sehr gering belastet sein. Die typischen eingesetzten Abfallstoffe sind:

- ? Bioabfälle (getrennt gesammelte Küchen- und Gartenabfälle)
- ? Garten- und Parkabfälle
- ? Organische Gewerbeabfälle
- ? Biokunststoffe
- ? Klärschlamm

5.3.1 Bioabfälle

Bioabfälle sind meist strukturarm und müssen daher mit Strukturmaterialien gemischt werden. Zu den Bioabfällen zählen:

- ? Küchenabfälle: Lebensmittel- und Speisereste, Kaffeesatz und Teereste inklusive Filter, zerkleinerte Eierschalen
- ? Blumenerde und abgestorbene Topfpflanzen
- ? Haarschnitt, Kleintiermist und Einstreu
- ? Verpackungsabfälle aus Stroh und Zellulosederivaten

Bioabfälle, die der Kompostierung nicht zugeführt werden dürfen:

- ? Größere Mengen von gekochtem Essen
- ? Kranke Pflanzen, weil die Krankheitserreger durch die Kompostierung möglicherweise nicht abgetötet werden
- ? Holz- und Kohlenasche
- ? Exkremete größerer Tiere wie Katzen oder Hunde
- ? Fette und Öle
- ? Leder und Gummi
- ? Schalen von Südfrüchten in großen Mengen

- ? Kunststoffe, Glas, Porzellan, Metalle, Medikamente, Hygienepapiere, Wegwerfwindeln, Zigarettenkippe, Zigarettenasche und bunte Papiere

5.3.2 Garten und Parkabfälle

Diese Abfälle sind sehr strukturreich und werden daher meist mit mit strukturarmen Abfällen gemischt. Zu den Garten und Parkabfällen gehören:

- ? Baum- und Gehölzschnitt
- ? Rasenschnitt Mähgut und Laub (bei Mähgut von Straßenrändern ist auf die Schwermetallbelastung zu achten)
- ? Pflanzenreste
- ? Fallobst in kleineren Mengen

5.3.3 Organische Gewerbeabfälle

Zu diesen Abfällen zählen:

- ? Landwirtschaftliche Abfallstoffe (Stroh, Heu, Rübenblattreste, Flüssigmist). Sie haben meist schlechte Struktureigenschaften und werden daher meist mit strukturreichen Abfällen gemischt.
- ? Rückstände aus der Nahrungs- und Genussmittelindustrie (Trester, pflanzliche Rückstände aus der Speiseölherstellung, Abfälle von Großküchen, Panseninhalte vom Schlachthof, etc.)
- ? Forstwirtschaftliche Abfälle (Astwerk, Schlagabraum, Holzspäne, Sägemehl)

5.3.4 Biokunststoffe

Biokunststoffe bestehen aus natürlichen Polyestern oder modifizierten Stärken (Mais, Weizen) und können biologisch vollständig abgebaut werden. Werden sie von anderen Kunststoffen getrennt, können sie der Kompostierung zugeführt werden.

5.3.5 Klärschlamm

Klärschlamm ist ein schlammiges Konzentrat aus Feststoffen, die beim Klärprozess im Klärwerk aus dem Abwasser ausgeschieden werden. Klärschlamm enthält daher die Stoffe, die in gelöster oder fester Form im Abwasser enthalten sind. Je nach Herkunft

des Abwassers (Industrie oder Haushalte) hat der Klärschlamm eine unterschiedliche Zusammensetzung.

5.3.6 Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien

In Pflanzen dominieren Pektin, Hemizellulose, Cellulose und Lignin in den Zellwandbestandteilen. Die Zellinhaltsstoffe sind vorwiegend Zucker, Stärke und stickstoffhaltige Verbindungen (Proteine).

In tierischen Zellen fehlt die Zellwand, und sie sind grundsätzlich nur durch ihr Plasmalemma voneinander getrennt. Das tierische Pendant zur Stärke ist das Glykogen, das ebenfalls ein Polysaccharid (Zucker) darstellt. Stütz- und Gerüstfunktionen übernehmen vor allem die (unlöslichen) Skleroproteine, z.B. das Keratin der Haare, Nägel und Federn sowie Kollagen, Myosin und Seidenfibroin. Die Tabelle 8-2 im Anhang zeigt einen Überblick über die Naturstoffe mit ihren chemischen und biologischen Eigenschaften, sowie den an der Rotte beteiligten Mikroorganismen.

5.4 Wichtige Parameter der Ausgangsmaterialien für die Kompostierung

Wie gut sich ein Substrat für die Kompostierung eignet, hängt im Wesentlichen von folgenden Eigenschaften ab:

- ? Gehalt an organischer Substanz und deren biologische Abbaubarkeit
- ? Wassergehalt
- ? Substratstruktur
- ? Nährstoffverhältnis (C/N – Verhältnis)
- ? pH – Wert
- ? Schadstoffgehalt

5.4.1 Gehalt an organischer Substanz und biologische Abbaubarkeit

Pflanzliche Abfälle haben einen sehr hohen Anteil an organischer Masse (50 – 90% TS). Der Gehalt in Fäkalien (tierisch, menschlich) ist hingegen deutlich geringer. Für die Kompostierung sollte der Gehalt an organischer Substanz über 40% TS liegen. Bei Substraten unter 40 % TS kann es vor allem bei niedrigen Außentemperaturen zu einer

mangelnden Erwärmung kommen. Die Bestimmung des Gehaltes an organischer Substanz erfolgt über den Glühverlust. Das Ergebnis enthält aber nicht nur die abbaubare Substanz sondern auch der Anteil an resistenten, nicht abbaubaren organischen Stoffen (z.B. Kunststoffe). Die Tabelle 8-1 im Anhang gibt einen Überblick über die Gehalte an organischer Substanz in einigen für die biologische Abfallentsorgung wichtigen Abfällen.

Ein wichtiges Kriterium der Ausgangsmaterialien ist die biologische Abbaubarkeit. Bei hoher biologischer Abbaubarkeit des Ausgangsstoffes besteht die Tendenz zur vollständigen Mineralisation. Ein hoher Anteil biologisch schlecht abbaubarer organischer Stoffe verlängert die Prozessdauer. Bei mäßiger Abbaubarkeit führt der Umbau der Zwischenprodukte zu Huminstoffen (Dauerhumuswirkung). Dementsprechend ist eine mittlere Abbaubarkeit für den Aufbau von Kompost günstig. Einen Überblick über die Abbaubarkeit der für die Rotte wichtigsten Naturstoffe zeigt die Tabelle 8-2 im Anhang.

5.4.2 Wassergehalt

Der Wassergehalt ist wichtig, weil Bakterien die Nährstoffe der zu kompostierenden Substrate nur in wässriger Lösung aufnehmen können. Das Wasser ist erforderlich als Lösungsmittel für Nährstoffe, Enzyme und Gase sowie als chemische Wirksubstanz bei verschiedenen Umwandlungen und ist somit eine Grundbedingung für das Gelingen der Kompostierung. Für den Rottebeginn liegt das Optimum bei etwa 40 bis 60%. Ist der Wassergehalt geringer als 30% wird der Nährstofftransport verlangsamt. Bei einem Wassergehalt von über 70% ist das Porenvolumen zu sehr mit Wasser gefüllt und daher stellen sich anaerobe Verhältnisse ein, weil die Sauerstoffzufuhr gehemmt ist.

5.4.3 Substratstruktur

Strukturreiche Kompostrohstoffe haben einen hohen Anteil an Hohlräumen unterschiedlicher Größe, die entweder mit Wasser, Luft oder einem Gemisch aus beiden gefüllt sind. Das freie Porenvolumen im Kompostsubstrat kann durch Zugabe von Strukturmaterial bzw. trockener Zuschlagstoffe (recyceltem Kompost) erhöht werden. Dadurch wird allerdings der Wassergehalt gesenkt.

Um die Angriffsfläche für die Mikroorganismen zu erhöhen und damit einen schnelleren Abbau zu ermöglichen, kann das Substrat vor der Kompostierung zerkleinert werden. Dadurch werden aber die Struktur und die Porosität verschlechtert. Je feiner das Material ist, desto öfter muss es umgesetzt werden.

5.4.4 Nährstoffverhältnis (C/N – Verhältnis)

Für die Tätigkeit der Mikroorganismen muss das Angebot von Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Kalium ausgewogen sein. Bedeutend ist vor allem das C/N - Verhältnis. Dieses beeinflusst die Abbaugeschwindigkeit und damit den Kompostierungsvorgang sowohl qualitativ als auch quantitativ. Das optimale C/N - Verhältnis für den Beginn der Rotte liegt bei etwa 20:1 bis 30:1. Die Tabelle 8-1 im Anhang zeigt die C/N – Verhältnisse verschiedenster Kompostmaterialien.

Bei einem zu großem C/N-Verhältnis (relativer C – Überschuss) verzögert sich der Rottebeginn, bis der überschüssige Kohlenstoff als Kohlendioxid entwichen ist und damit wieder ein günstigeres C/N-Verhältnis für die Mikroben erreicht wird. Abhilfe kann durch Zugabe von Materialien mit geringem C/N – Verhältnis (z.B. Klärschlamm) geschaffen werden. Ist das Verhältnis zu klein (relativer N – Überschuss) kommt es zur Bildung von NH_3 und nachfolgender pH-Wert Verschiebung. Dem kann man durch das Zumischen von G-reichen Materialien (z.B. Sägespäne, Stroh) entgegenwirken. Nach Abschluss der Rotte sollte das C/N-Verhältnis bei 15 bis 20 liegen, was der Nährstoffzusammensetzung der Kulturböden entspricht.

5.4.5 pH Wert

Der pH – Wert soll in einem Bereich des chemischen Neutralpunktes liegen. Die Mikroorganismen können am besten in einem Bereich von 6 bis 9 wachsen. Dabei haben Bakterien zum Teil geringere Toleranzbereiche als Pilze. Der pH-Wert sinkt zu Beginn der Rotte aufgrund der Bildung von Fettsäuren, der CO_2 - Produktion und der Nitrifikation zunächst ab und steigt nach einer Bakterienumstrukturierung langsam wieder an. Gegen Ende der Rotte pendelt sich der pH - Wert auf den neutralen Bereich von etwa 7 ein.

5.4.6 Schadstoffgehalt

Schadstoffe wie Schwermetalle (Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, Ni, Hg) und spezielle organische Verbindungen wie chemische Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, chlorierte Kohlenwasserstoffe und polychlorierte Biphenole (PCB), stellen in den in organischen Abfällen in der Regel vorkommenden Konzentrationen für die biologischen Prozesse keinen Störfaktor dar. Da sie aber nicht abgebaut werden und sich zum Teil auch noch anreichern sind sie für das Endprodukt im Hinblick auf die Verwertbarkeit von großer Bedeutung. Jedes Ausgangsmaterial sollte deshalb vor dem Einsatz in einer biologischen Behandlungsanlage

auf seine Brauchbarkeit hin untersucht werden. Tabelle 5-7 gibt die Schwermetallgrenzwerte für fertige Komposte in verschiedenen Güterichtlinien an.

5.5 Sonstige wichtige Parameter für die Kompostierung

5.5.1 Sauerstoffversorgung

Da die Rotte ein aerober Vorgang ist, müssen die Mikroorganismen ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden. Der Sauerstoffverbrauch steigt mit der Geschwindigkeit der Umsetzung und der Anwesenheit leicht abbaubarer Substanzen. Da bei der Rotte immer zunächst die leichter verfügbaren Substanzen abgebaut werden, ist der höchste Sauerstoffverbrauch am Anfang der Rotte in der thermophilen Phase zu beobachten. Eine ausreichende Sauerstoffversorgung ist durch etwa 10% O₂ in der Abluft charakterisiert. Das entspricht 1 bis 5 mg O₂/g organischer Ausgangssubstanz oder 5 bis 12 ml Luft/g TS*h [26]. In der Tabelle 5-1 sind einige Möglichkeiten zur Verbesserung der Sauerstoffversorgung angeführt.

Tabelle 5-1 Maßnahmen gegen mangelnde Sauerstoffversorgung der Rotte [25]

| | |
|--|--|
| <p>Maßnahmen gegen Wasserüberschuss ≠ das verfügbare Porenvolumen kann danach mehr Luft und damit mehr Sauerstoff aufnehmen</p> | <p>Minderung des Wasserinputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> ? Auswahl trockener, saugfähiger Ausgangsstoffe ? Zumischen trockener Zuschlagsstoffe (Papier, Sägemehl, Holzhäcksel, Rinde etc.) ? Als Schutz vor Regen Abdecken der Miete mit wasserundurchlässigem aber luftdurchlässigem Material, z.B. Geotextilien, Reifekompost, Stroh, Erde <p>Erhöhung des Wasseroutputs:</p> <ul style="list-style-type: none"> ? Starke Zwangsbelüftung ? Häufiges Umsetzen, ohne jedoch die Auskühlung des Kompostes (bei niedrigen Temperaturen) zu riskieren ? Aufdecken der Miete an Tagen mit hoher Evaporation ? Exposition der Miete in Hauptwindrichtung |
| <p>Maßnahmen zur Verbesserung der Struktur ≠ Vergrößerung des Porenvolumens</p> | <ul style="list-style-type: none"> ? Zumischen strukturreicher Stoffe ? Die durch Sackung besonders gefährdete Mietenbasis soll besonders strukturreich gehalten |

5.5.2 Temperatur Rotteindikator

Die Rotte ist ein exothermer biologischer Oxidationsprozess, bei dem es zu Temperaturen bis über 70° C kommt. Durch diese Selbsterhitzung wird zum Einen die Tätigkeit der Rotteorganismen erhöht und zum anderen werden pathogene Keime und Parasiten abgetötet. Dieses Abtöten erfordert eine Temperatur von 55° C, die drei Wochen anhält, oder eine Temperatur von 65° C für zwei Wochen. Da der Temperaturverlauf parallel zur Mineralisierung, zu Aufbauprozessen und der Hygienisierung verläuft, ist die Temperaturentwicklung besonders geeignet zur Charakterisierung des Rotteverlaufs. Sie ist gewissermaßen Ausdruck für das Gelingen einer Rotte. Als Rotteindikator eignet sich die Temperatur vor allem auch deshalb, weil sie messtechnisch leicht zu erfassen ist.

5.6 Die Phasen der Kompostierung

Anhand des Temperaturverlaufs (siehe Diagramm 5-1) kann der Ablauf der Kompostierung in vier Phasen untergliedert werden:

- ? Abbauphase: sie beinhaltet die Anfangs- oder Initialphase und die thermophile Phase
- ? Umbauphase (mesophile Phase)
- ? Aufbauphase (Abkühlungs- bzw. Reifephase)

In der Tabelle 5-2 sind einige charakteristische Merkmale dieser drei Rottephasen angeführt.

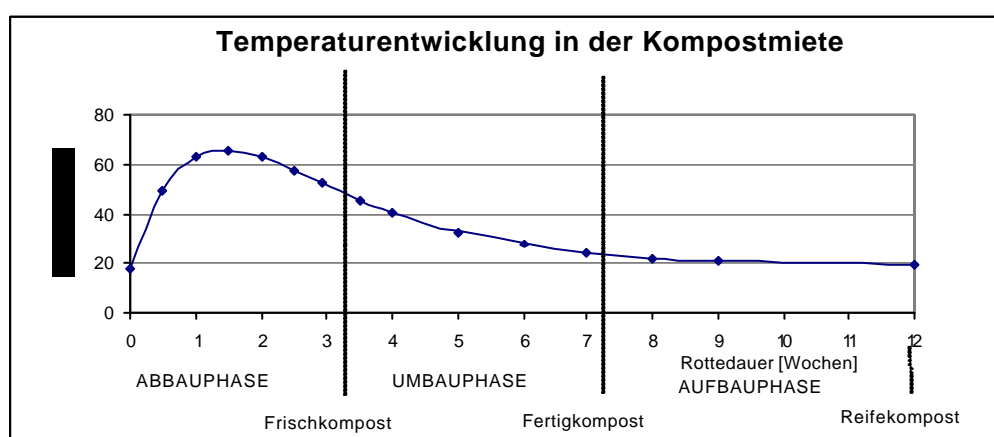


Diagramm 5-1 Allgemeine Temperaturentwicklung in der Kompostmiete

Tabelle 5-2 Rottephasen und die sie kennzeichnenden Rotteparameter [25]

| Rottephasen | Initialphase (Abbauphase) | Thermophile Phase (Abbauphase) | Mesophile Phase (Umbauphase) | Abkühlungs- oder Reifephase (Aufbauphase) |
|--------------------------------------|-------------------------------|--|---|--|
| Beteiligte Organismen | Mesophile Organismen | > 50° C: Thermophile Pilze + Aktinomyceten > 65° C: Sporenbildende Bakterien dominant > 75° C: Zellolyt.+ sporenbildende Bakterien | Mesophile Mischflora, Basidiomyceten, zersetzen auch Lignin | Besiedelung mit der Makrofauna: Roter Mistwurm, Milben, Ohrwurm, Spinnen |
| Nährstoffverfügbarkeit | Zunehmend | Hoch | - | Abnehmend |
| pH-Verlauf | Leicht sauer | Ansteigend auf > 7 | > 7 | Konstant > 7 |
| Temperatur | Bis 60° C ansteigend | bis über 70° C | 40 bis 45° C | 20° C |
| Abbau | Leicht zersetzbare Substanzen | Hauptabbauphase: Außer leicht abbaub. Stoffe werden v.a. Zellulose + Hemizellulosen abgebaut | Abbau von Zellulose und schwer abbaubaren Stoffen wie Lignin + Lignoprotein | Geringe Abbautätigkeit: (mech. Umsetzung, Zersetzung) u. vermehrt Aufbauprozesse |
| Bedeutung | | Weitgehende Hygienisierung innerhalb 3 Wochen | Zunehmender Abbaugrad | Abbaugrad, Reife |
| Reifegrad (am Ende der Phase) | Angerottetes Material | Frischkompost | Fertigkompost | Reifekompost |

5.6.1 Abbauphase

Die Initialphase und die thermophile Phase zusammen bilden die sogenannte Abbauphase. Diese Phase dauert etwa drei bis vier Wochen, wobei Temperaturen von 50 bis 70° C erreicht werden. Die mesophilen Mikroorganismen (bis etwa 40°C) ernähren sich zu Beginn der Rotte von den leicht abbaubaren Substanzen wie Zucker, Eiweiß und Stärke. Bei diesem Vorgang wird, aufgrund zahlreich vorhandener Säurebildner, das ursprünglich neutrale bis leicht basische Ausgangsmaterial angesäuert, sodass nun der organische Säuregehalt zunimmt.

Es setzt nun ein Temperaturanstieg ein, wobei die mesophilen Mikroorganismen absterben, aber thermophile und thermotolerante Mikroorganismen den Abbauprozess weiter übernehmen oder weiterführen. Sind 50°C erreicht, treten massiv thermophile Pilze und Aktinomyceten auf.

Über 65°C ist das Temperaturoptimum thermophiler Pilze schon überschritten, darum übernehmen nun Sporenbildende Bakterien den Abbauprozess. Diese zersetzen zusätzlich zu den leicht abbaubaren Stoffen auch Zellulose und Hemizellulose. Wegen der Freisetzung

von Alkali- und Erdalkalitionen, sowie wegen der Verwertung der organischen Säuren steigt der pH-Wert wieder an.

Die Grenze der mikrobiologischen Aktivität liegt etwa bei 75°C. Durch exotherme chemische Reaktionen kann eine weitere Temperaturerhöhung trotzdem stattfinden, was aber wegen der nun auftretenden reinen Substanzverluste tunlichst verhindert werden sollte.

Als Stoffwechselprodukte erhält man kleine „Bausteine“ wie Nitrat, CO₂, Wasser und Ammoniak. Die Nährstoffe, die in der organischen Substanz gebunden sind, werden herausgelöst und in die ursprüngliche mineralische Form übergeführt (Mineralisierung).

5.6.2 Umbauphase

Diese nun anschließende Phase streckt sich über einen Zeitraum von der vierten bis zur achten bzw. zehnten Woche, wobei sich die Temperatur in der Rotte wieder langsam auf 40 bis 45°C senkt. Die Stoffwechsellätigkeit wird in diesem Temperaturbereich von mesophilen Mikroben und Kleintieren übernommen, wobei hauptsächlich Zellulose weiter zersetzt und Lignine, vorwiegend von Hutpilzen, abgebaut werden.

Die mineralisierten Nährstoffe werden als Bausteine zu einem „Humuskomplex“ zusammengeführt. Die organischen Ausgangsstoffe und Ausgangsstrukturen sind nun zu einem großen Teil aufgelöst. Man kann das am gesetzten und volumenreduzierten Komposthaufen erkennen. Der Kompost hat nun für Düngezwecke seine beste Wirkung.

5.6.3 Aufbauphase (Reifephase)

In dieser letzten Phase sinkt die Temperatur weiter bis auf Umgebungstemperatur ab. Die Huminstoffbindung wird nun von Kleintieren wie Milben, Asseln, Schnurfüßer, Springschwänze und dem „Kompostwurm“ übernommen, indem sie mineralische und organische Bestandteile miteinander verbinden.

Die Düngewirkung nimmt ab, weil die Nährstoffe immer fester gebunden werden. Die Humuswirkung (bodenaufbauende Wirkung) hingegen wird in dieser Phase immer besser.

Lagert man nun den Kompost noch länger, setzt der Veredelungsprozess ein, wobei der Gehalt an organischer Substanz immer mehr abnimmt. Daher sollte der Kompost nicht länger als nötig gelagert werden.

5.7 Verfahrenstechnik der Kompostierung

Die biologische aerobe Behandlung von Abfällen kann grundsätzlich in drei Verfahrensschritte unterteilen:

- ? Aufbereitung des Ausgangsmaterials
- ? Rotte
- ? Aufbereitung zu Fertigkompost (Konfektionierung)

Die nachfolgende Abbildung 5-1 zeigt den schematischen Verfahrensablauf der Kompostierung.

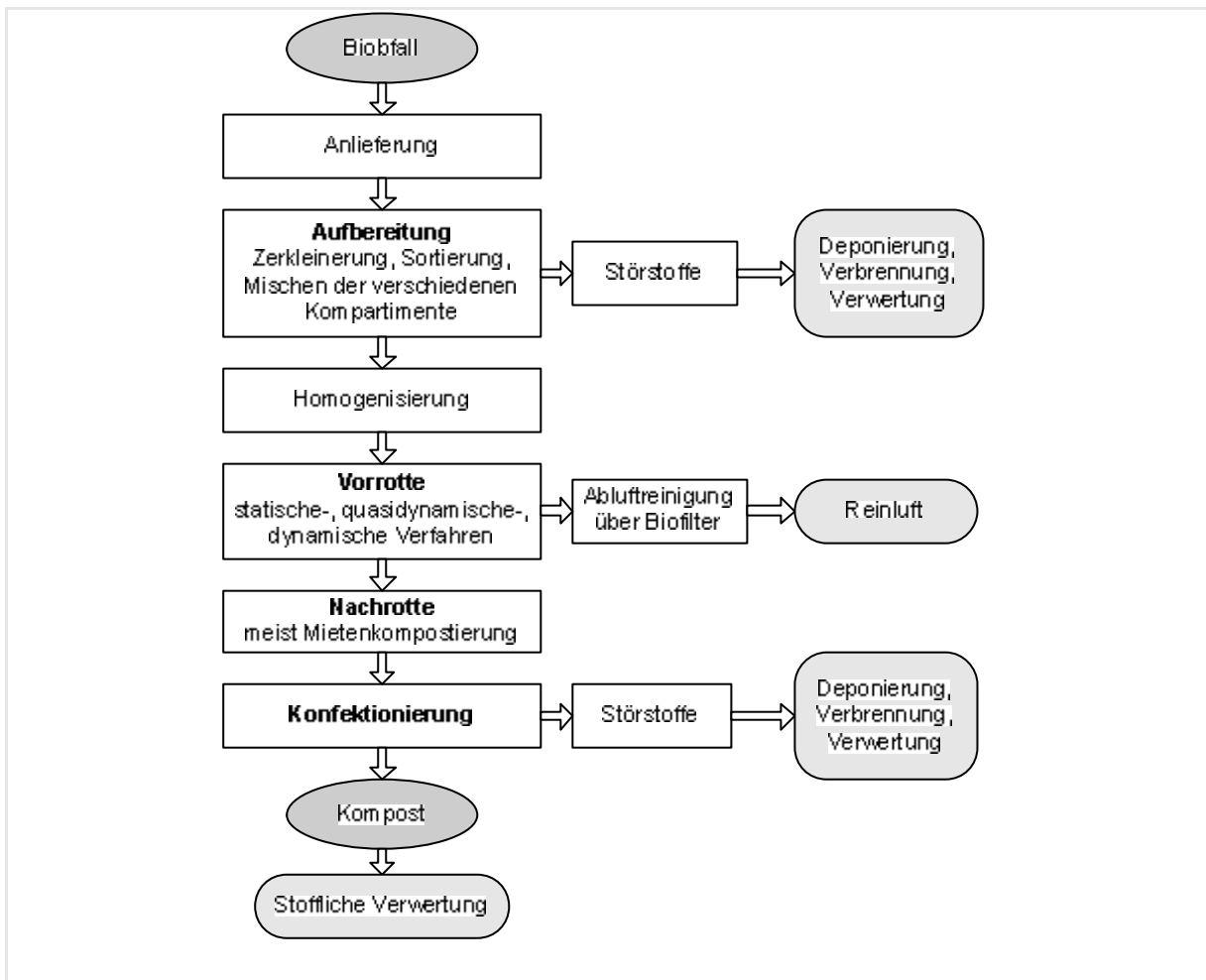


Abbildung 5-1 Schematischer Ablauf der Kompostierung

5.7.1 Aufbereitung des Ausgangsmaterials

Hauptaufgabe der Aufbereitung ist es, die Oberfläche für den mikrobiologischen Angriff zu vergrößern und die Störstoffe zu entfernen. Durch die Aufbereitung des Kompostrohstoffes werden der Rotteverlauf und die Qualität des Endproduktes (Kompost) positiv beeinflusst. Zuerst werden Fremdstoffe wie Metalle und Plastik aussortiert. Danach wird das Grobmaterial zerkleinert, aufgefasert und homogenisiert, sodass eine möglichst große

Angriffsfläche für die Mikroorganismen entsteht. Weiters werden das C/N-Verhältnis und der Wassergehalt durch Mischen mehrerer Rohstoffe dem Optimum angepasst. Berechnungsgrundlagen dazu sind im Anhang angeführt.

5.7.2 Rotte

Der Kompostrohstoff wird nach der Aufbereitung zunächst vorgerottet. Anschließend wird das Material nachzerkleinert und gesiebt. Das entstandene Produkt, der Frischkompost, ist ein entseuchter, noch in der Rotte befindlicher Kompost mit dem Rottegrad II. Dieser wird in der Regel einer Nachrotte zugeführt, bei der aus dem Frischkompost nach erneuter Absiebung der Fertigkompost mit einem Rottegrad von III bis V hervorgeht. Die Rotte ist der Hauptprozess in jeder Kompostierungs-anlage.

An die Rotteführung werden insbesondere folgende Forderungen gestellt:

- ? Beschleunigung des Prozesses durch Optimierung der Rottebedingungen
- ? Steuerung der aeroben Prozesse
- ? Emissionskontrolle

5.7.2.1 Vorrotte

Sie ist die sogenannte heiße Phase der Kompostierung, wobei sie im thermophilen Bereich mit Temperaturen über 60° C verläuft. Bei der Vorrotte werden vor allem die leicht abbaubaren Bestandteile abgebaut. Dadurch werden das Volumen, der Wassergehalt und das Gewicht reduziert und die human- und phytohygienischen Keime abgetötet. Der größte Teil der Geruchs- und Sickerwasseremissionen fallen bei der Vorrotte an. Das Ergebnis ist ein entseuchter Frischkompost mit dem Rottegrad II.

5.7.2.2 Nachrotte

Zur Erzielung eines Fertigkompostes muss das vorkompostierte Material einer Nachrotte unterzogen werden, die zumeist in Mieten erfolgt. In dieser zweiten Phase der Kompostierung werden die organischen Bestandteile weiter ab- und umgebaut aber auch biologisch stabilisiert (Humifizierung). Während früher eine Nachrotte in Dreiecksmieten vorgenommen wurde, zeichnen sich heutzutage verwendete, trapezförmige Wandermieten (größere Breite) durch schnellere Rotte sowie geringeren Platzbedarf aus. Allerdings muss

dabei noch eine ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet werden. Die Nachrotte macht aus dem Frischkompost der Vorrotte einen Fertigkompost mit dem Rottegrad III bis V.

5.7.2.3 Rotteverfahren

Grundsätzlich werden die Rotteverfahren unterteilt in:

- ? Statische Verfahren \approx das Rottegut wird nicht bewegt bzw. umgesetzt
- ? quasi dynamische Verfahren \approx das Rottegut wird sporadisch, diskontinuierliche bewegt bzw. umgesetzt)
- ? dynamische Verfahren \approx kontinuierliche Bewegung bzw. Umsetzung)

Die Vorteile der statischen und quasi dynamischen Verfahren sind:

- ? Vor allem bei der Mietenkompostierung geringe Investitionskosten
- ? Einfachere Verfahren und damit weniger reperaturanfällig
- ? Längere Verweilzeiten bei gleichen Gesamtkosten

Die Vorteile der dynamische Verfahren (in Reaktoren) sind:

- ? Besser steuerbar und dadurch schneller ablaufende Rotte
- ? Gute Kontrolle der Emissionen

5.7.2.3.1 Statische Verfahren

Das zu kompostierende Material ist in Ruhe, und die Belüftung erfolgt künstlich oder natürlich. Zu den wichtigsten statischen Verfahren gehören:

- ? Mietenkompostierung (wenn umgesetzt wird \approx quasi dynamisches Verfahren)
- ? Brikollareverfahren
- ? Boxen oder Containerkompostierung

Mietenkompostierung:

Die Kompostierungsversuche dieser Diplomarbeit wurden in Form einer Mietenkompostierung mit Umsetzen, also quasi dynamisch, durchgeführt. Dabei werden die Kompostrohstoffe in unterschiedliche geometrische Formen mit verschiedenen Varianten zur Sauerstoffversorgung (Saug- oder Druckbelüftung oder wie in den Versuchen durch Umsetzen) aufgeschüttet. Die Rotte kann offen oder, vor allem wegen der

Geruchsminimierung, in Hallen durchgeführt werden. Eine Überdachung der Mieten ist sinnvoll, um eine zu hohe Materialfeuchte durch Niederschläge auszuschließen. Außerdem wird durch diese Maßnahme der Sickerwasseranfall minimiert. Unbelüftete Mieten sind etwa 1,5 bis 2m hoch, zwangsbelüftete Mieten können bis zu 4m hoch aufgebaut werden. Die im Versuch verwendeten Trapezmieten haben gegenüber Dreiecksmieten einen geringeren Platzbedarf und ein besseres Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen. Der Nachteil liegt in der geringeren Sauerstoffversorgung im Inneren der Miete. Das Umsetzen erfolgt mit Radladern oder speziellen Umsetzgeräten. Der Platzbedarf ist abhängig von Mietenform, Mietenhöhe, Abfallmenge und Rottezeit.

5.7.2.3.2 Dynamische Verfahren

Diese Verfahren zeichnen sich durch eine kontinuierliche Bewegung und Belüftung des Materials aus. Sie werden hauptsächlich im Reaktor für die Vorrotte eingesetzt. Die hohen Geruchsemissionen der Vorrotte können in diesen Reaktoren erfasst und über einen Biofilter abgeführt werden. Kondensate und Sickerwässer können ebenfalls erfasst und in den Rotteprozess rückgeführt werden. Da das Material nie zur Ruhe kommt, können sich keine Pilzzellflächen ausbilden, die zu einer vollständigen Rotte beitragen.

Verglichen mit statischen Vorrottesystemen sind dynamische Vorrottesysteme zwar erheblich zeitsparender, doch bezogen auf die Gesamtrottezeit bringt die dynamische Vorrotte keine wesentliche Zeitverkürzung. Der Rotteverlauf ist in Bezug auf Rotteparameter wie Wassergehalt, Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt relativ gut steuerbar. Dynamische Vorrottesysteme haben weiters den Vorteil, dass sie wesentlich zur Homogenisierung des Ausgangsmaterials beitragen. Der Nachteil dieser Verfahren liegt vor allem in den höheren Investitions- und Betriebskosten. Aus diesem Grund sind in Entwicklungsländern statische bzw. quasi statische Verfahren den dynamischen Verfahren vorzuziehen. Die wichtigsten dynamischen Verfahren finden in Rottetrommeln und Rottetürme statt.

5.7.3 Aufbereitung bzw. Konfektionierung

Nach dem Ende der Rotte ist der Kompost biologisch umgewandelt. Je nach Störstoffgehalt, dem Vorbehandlungsverfahren und abhängig von den angestrebten Anwendungsgebieten kommen bei der Feinaufbereitung verschiedene Verfahren zur Anwendung. Grundsätzlich wird der Bioabfallkompost gesiebt, und es werden zwei Siebklassen und ein Überkorn gewonnen. Beide Siebfraktionen werden einer Hartstoffabscheidung unterzogen und bilden nach einer Mischung den vermarktungsfähigen Kompost. Das strukturmateriareiche

Überkorn wird zumeist wieder in den Rotteprozess zurückgeführt oder entsorgt. Weiters können zur Feinaufbereitung z.B. nachgeschaltete Metallabscheidung, Windsichtung zur Folienabtrennung und Nachzerkleinerung des Überkorns eingesetzt werden. Im Hinblick auf die Gewinnung von Komposten guter Qualität sowie eines befriedigenden Wirkungsgrades genügt eine Nachsiebung. Für die Nachsiebung sollte der reife Kompost eine Materialfeuchte von maximal etwa 30 Gew. % haben. Die häufig eingesetzten gewöhnlichen Schüttelsiebe sind in ihrem Wirkungsgrad und damit in ihrer Brauchbarkeit in den üblichen Ausführungen umstritten. Zur Eliminierung von Glas-, Steingut- und anderen Scherben mit relativ hohem spezifischen Gewicht werden Windsichter und Luftsetzmaschinen eingesetzt. Zur Nachbearbeitung von Kompost vor der Endsiebung, besonders nach statischer Rotte, können schnell laufende Mühlen verschiedener Bauart eingesetzt werden. Die Komposte werden abhängig von dem Vermarktungskonzept, als Massenware verladen oder auf dem Gelände in Säcken konfektioniert. Durch die Beigabe von unbelastetem Erdaushub können definierte Pflanzsubstrate hergestellt werden.

5.8 Emissionen der Kompostierung

Die Beeinträchtigung der Umwelt durch die Kompostierung ist gegenüber anderen Müllbeseitigungsverfahren relativ gering. Die flüssigen Reststoffe aus Kompostanlagen sind das aus dem Rottegut austretende Sickerwasser und vor allem bei offener Rotte das stark verunreinigte Niederschlagswasser. Der Sickerwasseranfall ist weitaus geringer als bei verdichteten Deponien. Er ist charakterisiert durch organische Belastungen und hohe Salzgehalte und sollte entweder in einer Nachklärung behandelt oder in den Rotteprozess zurückgeführt werden.

Besondere Beachtung bei der Errichtung von Kompostierungsanlagen verdient die Belästigung durch Geruchsstoffe (Osmogene), die zum Teil aus der Anlieferung der Ausgangsmaterialien stammen und zum Teil von den Umsetzungsprodukten herrühren. Gerade diese Emissionen können Auswirkungen auf das Ansehen der Verfahren in der Bevölkerung haben.

Staubemissionen entstehen bei der Aufbereitung und der Konfektionierung vor allem bei Siebstationen, Übergabestellen und Hartstoffabscheider. Eine Umhausung einzelner Anlagenteile, wie Bunker, Vorbehandlung und Konfektionierung, die gezielte Absaugung von Einzelaggregaten (Siebe, Übergabestellen, Hartstoffabscheider etc.) und die Entstaubung der zugehörigen Abluftströme sind empfehlenswert. Der Kompost selbst ist ebenfalls als Emissionsträger einzustufen, da über ihn sämtliche, bereits im Inputmaterial enthaltenen und

nicht während der Rotte abgebauten Schadstoffe in den Boden gelangen. Die nachfolgende Tabelle 5-3 gibt einen Überblick, bei welchen Verfahrensschritten die jeweiligen Emissionen anfallen.

Tabelle 5-3 Emissionen der Kompostierung

| Verfahrensschritt | Aggregat/ Bauteil | Emissionen über | | |
|-------------------------|---|--|---|--------------------|
| | | Wasser | Boden | Luft |
| Anlieferung | Bunker | Press-, Sickerwässer | keine | Gerüche (Staub) |
| Vorbehandlung | Aufbereitung (Siebung, Entschrottung, Mischung etc.) | Press-, Sickerwässer Kondenswässer aus Abluftbehandlung | keine | Gerüche, Staub |
| Vorrotte | Mieten, Reaktor | Preß-, Sickerwässer Kondenswässer | keine | Gerüche |
| Nachrotte | Mieten | Preß-, Sickerwässer (Kondenswässer) | keine | Gerüche |
| Konfektionierung | Sieb, Hartstoff- abscheider etc. | keine | keine | Gerüche, Staub |
| Endprodukt | Kompostlager | Keine - wenn sinnvollerweise wegen Vernässung überdacht | Schwermetalle, andere Schadstoffe | Gerüche, Staub |

5.8.1 Sicker- und Kondenswasser bei der Mietenkompostierung

Bei der Kompostierung sind drei Arten von Sickerwässern, unterschieden nach der Art ihrer Entstehung, zu erwarten:

- ? Presswässer aus der Eigenfeuchte des Materials,
- ? endogene, durch biochemische Umwandlung entstandene und
- ? exogene, durch eindringenden Niederschlag verursachte Wässer ☞ tritt auf wenn die jeweiligen Anlagen nicht gekapselt oder überdacht sind

Kondenswässer können als "verlagerte" Sickerwässer angesehen werden, die im Prinzip denselben Entstehungskriterien unterliegen, wie Sickerwasser selbst. Sie fallen bei der Fassung und Reinigung von Abluftströmen an und sind in der Regel geringer verschmutzt als Sickerwässer.

Die endogenen Sickerwässer (bei überdachter Rotte) machen etwa 10 – 30 l/t FS aus. Sie weisen eine hohe CSB-Belastung von im Mittel ca. 35.000 mg/l und NH₄-N-Gehalte um die 250 mg/l auf [27]. Bei nicht überdachten Rotten ist der zusätzliche exogene

Sickerwasseranfall stark von den Niederschlagsmengen abhängig, wobei dann aber das Sickerwasser mit Niederschlagswasser verdünnt ist. Abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit der Miete verdunstet allerdings der Großteil des Niederschlagswassers. Der prozentuale Sickerwasseranfall in Bezug auf die Niederschlagsmenge nimmt mit steigendem Mietenalter zu, was auf die in der ersten Rottephase höheren Temperaturen und die damit einhergehende größere Verdunstungsmenge zurückgeführt werden kann. Nach den Umsetzungsvorgängen verringert sich der prozentuale Sickerwasseranfall in den meisten Fällen erheblich, häufiger umgesetzte Mieten zeigen tendenziell einen reduzierten Sickerwasseraustritt. Beide Zusammenhänge weisen auf die durch die Umsetzungsvorgänge verbesserte Porenstruktur hin, die zum einen das Wasserhaltevermögen und zum anderen die Verdunstungsrate steigert.

5.8.1.1 Verringerung der Sickerwässer (Cleaner Production)

Es gibt mehrere Möglichkeiten zur Verminderung bzw. Vermeidung von Sickerwässern wie:

- ✍ Überdachung oder Abdecken der Rotteflächen bzw. Mieten
- ✍ Verwendung von strukturreichen bzw. saugfähigen Zuschlagsstoffen wie: Holzhäcksel, Rinde, Stroh, Sägespäne/-mehl, aufbereitetes Siebrückgut, biogen vorgetrocknetes Laub, Papier
- ✍ Kompostierung auf organischen Unterlagen: Holzhäcksel, Rinde, Stroh, Sägespäne/-mehl, aufbereitetes Siebrückgut
- ✍ optimale Flächenauslegung (Anteil von Frei- bzw. Wegeflächen zu belegten Rotteflächen)

5.8.1.2 Behandlung der Sickerwässer (End of Pipe)

Es gibt zwei gängige Verfahren, um das nicht mehr zu vermeidende Sickerwasser aufzubereiten:

- ? Rückberieselung
- ? Kommunale Kläranlage

5.8.1.2.1 Rückberieselung

Das anfallende Sickerwasser wird mitsamt den enthaltenen ausgewaschenen Inhaltsstoffen zum Kompost rückgeführt. Dieses Verfahren ist vor allem für überdachte Rotten sinnvoll, weil

das Sickerwasser nicht mit Niederschlagswasser vermischt sein darf. Um Geruchsstoffe zu minimieren, kann eine Teilreinigung zur Entfernung der leicht abbaubaren organischen Verunreinigungen vorgenommen werden.

5.8.1.2.2 Kommunale Kläranlagen

Für die Einleitung von Sickerwässer in kommunale Kläranlagen dürfen bestimmte, gesetzlich geregelte Grenzwerte nicht überschritten werden. Aus abwassertechnischer Sicht sind Frachten und Konzentrationen wie der CSB, BSB₅, Stickstoff, Phosphat, Schwefel aber auch Zink von Bedeutung.

5.8.2 Geruchsstoffe (Osmogene)

Die Belästigung einer Kompostierung durch Gerüche ist vor allem für das Ansehen der Anlage in der nahe liegenden Bevölkerung relevant. Gerade bei der Kompostierung von Lederfälszpänen wurden starke Geruchsemissionen beobachtet.

5.8.2.1 Entstehung

Man unterscheidet biogene und abiogene Geruchsstoffe:

Biogene Geruchsstoffe

- ? vermeidbare Faul- und Gärungsstoff-Wechselprodukte (NH₃, H₂S, Mercaptane, Cystein)
- ? unvermeidbare Übergangsstoffwechselprodukte (organische Säuren etc.)
- ? rottespezifische Stoffwechselprodukte (Aldehyde, Geosmin, Limonen)

Abiogene Geruchsstoffe

Gerüche aus der Vorrotte, die von chemischen Umsetzungsprodukten herrühren. Emissionsquellen sind der Bereich der Lagerung, der Vorrottebereich und der Nachrottebereich beim Umsetzen der Mieten.

5.8.2.2 Verminderung der Geruchsstoffe

Für die Behandlung der Geruchsemissionen kann man prinzipiell unterscheiden:

- ☒ teilweise oder ganz ohne Einhausung arbeitende Verfahren
- ☒ komplett eingehauste Kompostwerke

Prinzipiell können Geruchsemission durch gezielte Steuerung der Rottebedingungen (Rottetemperatur kleiner 60°C, Absenkung des pH-Wertes) minimiert werden.

Bei teilweise oder ganz ohne Einhausung arbeitenden Verfahren wie z.B. Kompostmieten, ist neben der oben genannten Prozessführung auch die Abdeckung der Mieten mit einer 5 cm dicken Schicht gesiebten Reifekompostes zur Geruchsemissionsreduzierung zielführend.

Die Abluftreinigung bei komplett eingehausten Kompostwerken kann mittels Saug- oder Druckbelüftung über einen Biofilter erfolgen, wobei die emittierten Gerüche nach dem Biofilter wesentlich verringert werden.

Biofilter

Im Biofilter werden aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe sowie Alkohole und Phenole, Aldehyde, schwefelhaltige und chlorierte Verbindungen abgebaut. Die Leistungsfähigkeit von Biofiltern wird durch das eingesetzte Material, der Nährstoffversorgung über die Inhaltsstoffe der Abluft, dem spezifischen pH-Wert und Temperaturbereich sowie einer ausreichenden Sauerstoffzuführung und Feuchte bestimmt. Der Wassergehalt sollte im Bereich von 20 bis 40 % liegen, die Kontaktzeit 0,5 bis 1 min. und die Filtergeschwindigkeit im Mittel 1 m/min betragen. Dafür geeignete Filtermaterialien sind Humus, Torf und Kompost. Aufgrund der Kreisführung eines Luftteilstromes ist bei der Druckbelüftung der Mieten, im Vergleich zu den saugbelüfteten Mieten, eine kleinere Luftmenge zu behandeln.

5.9 Qualitätskriterien an den Kompost

Kompost ist das Endprodukt aerober Behandlungsverfahren zum Abbau organischer Substanz.

Entscheidend für die Kompostqualität sind:

- ? Hygienische Unbedenklichkeit
- ? Weitgehende Freiheit von Verunreinigungen
- ? Niedriger Gehalt an potenziellen Schadstoffen
- ? Ausgewogene Gehalte an Nährstoffen (in Abhängigkeit vom Einsatzbereich im Pflanzenbau)
- ? Gleichbleibende Produktqualität
- ? Lagerfähigkeit

Die nachfolgende Tabelle 5-4 zeigt eine Übersicht der wichtigsten Kompostparameter.

Tabelle 5-4 Übersicht der Kompostparameter

| | |
|--------------------------------|---|
| Biologische Parameter | Seuchenhygienische Unbedenklichkeit |
| | Rottegrad |
| | Pflanzenverträglichkeit |
| | Keimfähige Samen und Pflanzenteile |
| Physikalische Parameter | Rohdichte |
| | Korngrößenverteilung |
| | Fremdstoff- und Steingehalt |
| | Wassergehalt |
| Chemische Parameter | pH - Wert |
| | Organische Substanz |
| | Salzgehalt |
| | Pflanzennährstoffe (N, P, K, Mg, Ca) |
| | Anorganische Schadstoffe (Schwermetalle) |
| | Organische Schadstoffe (AOX, PAK, PCDD/F) |

5.9.1 Biologische Parameter

Zu den biologischen Parametern gehören die seuchenhygienische Unbedenklichkeit, der Rottegrad, die Pflanzenverträglichkeit sowie der Anteil an keimfähigen Samen und austriebsfähigen Pflanzenteilen

5.9.1.1 Seuchenhygienische Unbedenklichkeit

Die seuchenhygienische Unbedenklichkeit (durch die Dauer und Höhe der Maximaltemperatur definiert) muss gegeben sein. Dieses Abtöten der Keime erfordert eine Temperatur von 55° C, die drei Wochen anhält, oder eine Temperatur von 65° C für zwei Wochen. Bei normaler Rotte kann davon ausgegangen werden, dass diese Umstände gewährleistet sind. Durch die Temperaturdokumentation des Rotteverlaufes wird diese Unbedenklichkeit bestätigt.

5.9.1.2 Rottegrad

Der Rottegrad sagt aus, inwieweit die vorhandene leicht abbaubare Substanz im Verlauf der Rotte umgesetzt worden ist und welchen Reifegrad der Kompost damit erreicht hat. Er wird mittels Selbsterhitzungstest bestimmt. Dabei wird bei der maximal auf 40° C getrockneten Trockensubstanz ein Wassergehalt von 35% eingestellt und nach der bei 72h erreichten Maximaltemperatur nach Tabelle 5-5 in Rottegraden eingeteilt.

Tabelle 5-5 Rottegradstufen zur Ermittlung nach dem Selbsterhitzungsversuch [27]

| Maximaltemperatur [° C] | Rottegrad | Produktbezeichnung |
|-------------------------|-----------|--------------------|
| > 60 | I | Kompostrohstoff |
| 50 – 60 | II | Frischkompost |
| 40 – 50 | III | |
| 30 – 40 | IV | Fertigkompost |
| < 30 | V | |

5.9.1.3 Pflanzenverträglichkeit

Mit der Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit soll geprüft werden, ob in der Kompostprobe Substanzen enthalten sind, deren Konzentrationen das Pflanzenwachstum behindern. Kompost muss im vorgesehenen Anwendungsbereich pflanzenverträglich sein. Die Überprüfung der Pflanzenverträglichkeit erfolgt im Keimpflanzenversuch mit Kresse oder Sommergerste. Die Ergebnisse sind bei den Anwendungsempfehlungen zu berücksichtigen.

5.9.1.4 Keimfähige Samen oder austriebsfähige Pflanzenteile

Der Kompost muss frei von keimfähigen Samen und austriebsfähigen Pflanzenteilen sein, wenn er als Mischkomponente für Kultursubstrate verwendet wird. Bei der Verwendung als Mulch- und Bodenverbesserungsmittel muss er hingegen weitgehend frei von keimfähigen Samen und austriebsfähigen Pflanzenteilen sein.

Für diese Bestimmung wird das Kultivierungsverfahren angewendet. Hierbei wird beobachtet, ob innerhalb von 15 Tagen bei einer definierten Beleuchtungsstärke, Temperatur und regelmäßiger Befeuchtung eventuell in der Probe enthaltene Samen die der Hygienisierung entgangen sind, austreiben. Es ist darauf zu achten, dass der Salzgehalt der Probe unter 2 g KCl/l FS beträgt. Notfalls muss mit einem geeigneten Mischsubstrat, welches selbstverständlich keine keimfähigen Samen enthalten darf, verdünnt werden.

5.9.2 Physikalische Parameter

Zu den physikalischen Parametern zählen die Rohdichte, die Korngrößenverteilung, der Fremdstoff- und Steingehalt sowie der Wassergehalt.

5.9.2.1 Rohdichte (Volumengewicht)

Parameter wie Salzgehalt und lösliche Nährstoffe beziehen sich auf das Volumen des Kompostes. Die Rohdichte (Volumengewicht) ist zur Umrechnung von der einfach messbaren Masse auf das Volumen notwendig. Die Bestimmung erfolgt mittels eines Messzylinders.

5.9.2.2 Korngrößenverteilung

Der Grad der Körnung richtet sich nach den Anforderungen des Bodens. Grobkörnige Komposte verbessern die Durchlüftung und verbessern die Struktur schwerer, bindiger Böden (Lehm, Ton). Feinkörnige Komposte hingegen können die Bindigkeit und damit die Wasserhaltekapazität lockerer und durchlässiger Böden erhöhen. Die Bestimmung erfolgt durch eine Siebanalyse.

Die Einteilung erfolgt nach dem Maximalkorn:

- ? bis 10mm \approx feinkörnig
- ? bis 16mm \approx mittelkörnig
- ? bis 25mm \approx grobkörnig

5.9.2.3 Fremdstoff- und Steingehalt

Fremdstoffe sind unerwünschte Verunreinigungen. Diese können anorganisch (Glas, Keramik, Metalle, usw.) oder organisch (Kunststoffe, Gummi, usw.) sein. Kompost ist praktisch frei Fremdstoffen wenn der Gesamtgehalt an auslesbaren Partikeln (> 2 mm) 0,5 Gewichtsprozent in der Trockensubstanz nicht überschreitet. Steine sind ebenfalls unerwünschte Inhaltsstoffe, der Anteil an Steinen (> 5 mm) darf 5 Gew. % in der Trockensubstanz nicht überschreiten. Die Fremdstoffe können durch entsprechende Aufarbeitung des Kompostes oder auch des Rohmaterials durch Sichtung oder Siebung reduziert werden.

5.9.2.4 Wassergehalt

Der Wassergehalt von Kompost sollte bei loser Ware maximal 45 Gew. % und bei Sackware maximal 35 Gew. % betragen. Zur Bestimmung wird eine repräsentative Probe (min. 150 g) gewogen, danach bei 105 ° C bis zur Gewichtskonstanz (etwa 24 h) getrocknet und abermals gewogen. Der Wassergehalt kann aus der Gewichts­differenz berechnet werden.

5.9.3 Chemische Parameter

Zu den chemischen Parametern gehören der pH-Wert, die organische Substanz, der Salzgehalt, die Pflanzennährstoffe, die anorganischen und die organischen Schadstoffe.

5.9.3.1 Der pH - Wert

Der pH-Wert sollte im leicht basischen Bereich von etwa 7 – 8 liegen. Die Ermittlung erfolgt mittels eines pH – Messgerätes in einer Suspension des Kompostes in 0,01 molarer CaCl_2 – Lösung.

5.9.3.2 Gehalt an organischer Substanz

Dieser Anteil bestimmt wesentlich den Wert des Kompostes als Bodenverbesserungsmittel und wird über den Glühverlust (nur quantitative Aussage) angegeben. Der Gehalt an organischer Substanz sollte 25 Gew. % nicht unterschreiten, das Optimum liegt aber bei etwa 35 Gew. %

5.9.3.3 Gehalt löslicher Salze

Diese Salze, deren Gehalt normalerweise bei etwa 1 – 2% der Trockensubstanz liegt, sind vorwiegend Chloride und Sulfate der Alkali- und Erdalkalimetalle. Sie werden teilweise von den Pflanzen im Stoffwechsel umgesetzt oder aber auch ausgewaschen, wodurch eine Grundwasserbelastung entstehen kann. Zu hohe Salzkonzentrationen können empfindliche Pflanzen (zB.: Keimpflanzen aller Art, Äpfel, Birne) im Wachstum beeinträchtigen. Im Allgemeinen ist der Salzgehalt in Komposten aber kaum problematisch.

5.9.3.4 Pflanzennährstoffe

Zu den Hauptnährstoffen gehören Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium. Die Spurennährstoffe sind Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Bohr und Mangan.

Gesamtnährstoffgehalte sind von löslichen Anteilen zu unterscheiden. Die Grenzwerte zur Unterscheidung zwischen nährstoffreichen und nährstoffarmen Komposten sind in Tabelle 5-6 angegeben.

Tabelle 5-6 Unterscheidung zw. nährstoffreichen und nährstoffarmen Komposten [26]

| Pflanzennährstoff | Einheit | nährstoffreich | nährstoffarm |
|--------------------|-----------------------|----------------|--------------|
| Stickstoff gesamt | % Trockenmasse [TM] | >1,0 | <1,0 |
| Phosphat gesamt | % TM | >0,8 | <0,8 |
| Kalium gesamt | % TM | >1,0 | <1,0 |
| Stickstoff löslich | mg/l Frischmasse [FM] | >300 | <300 |
| Phosphat löslich | mg/l FM | >1800 | <1800 |
| Kalium löslich | mg/l FM | >3000 | <3000 |

5.9.3.5 Anorganische Schadstoffe (Schwermetalle)

Schwermetalle, wie Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink, werden durch die Rotte nicht abgebaut sondern im Gegenteil durch Masseverlust des Rottekörpers angereichert. Die nachfolgende Tabelle 5-7 zeigt einen Vergleich der Schwermetallgrenzwerte in verschiedenen Güterrichtlinien. Die Bestimmung der Schwermetalle im Kompost erfolgt im chemisch – analytischen Labor.

Tabelle 5-7 Schwermetallrichtwerte in verschiedenen Kompostgüterrichtlinien in mg/kg TS [27]

| Schwermetall | „Blauer Engel“ (RAL-UZ-45) | Gütegemeinschaft Kompost e.V. (RAL-GZ-251) * | Gütegemeinschaft Rinde für den Pflanzenbau e.V. (RAL-GZ-250) | Fachvereinigung Bayerischer Komposthersteller |
|--------------|----------------------------|--|--|---|
| Blei | 100 | 150 | 80 | 75 |
| Cadmium | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 0,75 |
| Chrom | 100 | 100 | 50 | 75 |
| Kupfer | 75 | 100 | 50 | 75 |
| Nickel | 50 | 50 | 30 | 25 |
| Quecksilber | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 0,75 |
| Zink | 300 | 400 | 300 | 200 |

* bezogen auf 30% organische Substanz im Kompost

5.9.3.6 Organische Schadstoffe (AOX, PAK, PCDD/F)

Grundsätzlich ist bei Komposten keine erhebliche organische Schadstoffbelastung zu erwarten und es gibt bislang keine gültigen Grenzwerte dafür.

6 Versuchsdurchführung – Kompostierung von Wet-White Falzspänen

6.1 Einleitung

Nach der Gerbung werden die Blößenstücke durch Falzen in ihrer Dicke reguliert. Untersuchungen in einer Gerberei haben gezeigt, dass bei der Verarbeitung von einer Tonne Rinderhäuten zwischen 112 und 184 kg Falzspäne anfallen [32]. Laut Angaben der UNIDO – United Nations Industrial Development Organization fallen etwa 99 kg so genannte Falzspäne pro Tonne verarbeiteter gesalzener Rohhäute an [7]. Dies entspricht in etwa auch den Angaben, die von der Lederfabrik Vogl, von welcher die Wet White Lederspäne für die Versuche bereitgestellt wurden, gemacht werden [33]. Wird anstatt der konventionellen Chromgerbung mit Glutarialdehyd gegerbt, sind diese Falzspäne chromfrei und dadurch vermutlich besser verwertbar. Die durchgeführten und im Folgenden beschriebenen Kompostierungsversuche sollen zeigen, ob und unter welchen Umständen eine Verringerung bzw. eine Verwertung dieser Abfälle möglich ist.

Die Falzspäne sind organischer Natur und können daher sowohl einer anaeroben als auch einer aeroben Behandlung unterzogen werden. Die Verfahren und Anlagen für die anaerobe Behandlung (Gewinnung von Biogas) sind im Vergleich zur aeroben Behandlung (Kompostierung) relativ kostenintensiv und prozesstechnisch aufwändig. Da sich das vorliegende Projekt an KMU's in Entwicklungsländern richtet, ist aus genannten Gründen eine aerobe Behandlung vermutlich vorteilhafter. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die durchgeführten Kompostierungsversuche zu interpretieren und damit ein kostengünstiges, unkompliziertes und umweltfreundliches Verfahren zur Reduktion der Lederspäne und deren Umwandlung in ein biologisch stabiles und möglichst auch verwertbares Produkt zu entwickeln. Der entstehende Kompost wird auf seine Qualität und Eignung als Düngemittel untersucht. Da in Entwicklungsländern meist kaum ein Absatzmarkt für Kompost als Bodenverbesserungsmittel besteht, wird der Reduktion der Abfallmengen und der Überführung in ein biologisch stabiles Produkt ein relativ hoher Stellenwert zugesprochen.

6.2 Versuchsbeschreibung

Die Pilotversuche zur aeroben Behandlung (Kompostierung) von chromfreien „Wet-White“ Lederfalzspänen wurden mit freundlicher Genehmigung am Gelände der Mechanisch –

Biologischen Abfallbehandlungsanlage (MBA) in Allerheiligen/Steiermark (Österreich) durchgeführt, weil dort die für die Versuche notwendigen Einsatzmaterialien größtenteils vor Ort zur Verfügung standen, der nötige Platz vorhanden war und eine geeignete Logistik besteht. Es wurden vier Dreiecksmieten mit jeweils unterschiedlicher Zusammensetzung angelegt. Die Mieten wurden zweimal pro Woche gewendet. Um den Temperaturverlauf zu verfolgen, wurden zwei bis dreimal pro der Woche Messungen durchgeführt. Nach Beendigung der Rotte wurden Proben genommen, diese aufbereitet und analysiert. Anhand der Ergebnisse wurde die Qualität und damit die Verwertbarkeit des erhaltenen Kompostes ermittelt. Desweiteren wurden die Gewichts- und Volumensreduktionen während der Rotte ermittelt.

6.2.1 Aufbau der Mieten

Um geeignete Bedingungen für den aeroben Prozess zu schaffen, müssen die Lederspäne mit verschiedenen Substraten vermischt werden. Für die Versuche wurden 16.280 kg, das entspricht etwa 37 m³, "Wet White" Lederspäne von der Lederfabrik Vogel/Oberösterreich zur Verfügung gestellt. Es sind vier Versuchsmieten mit jeweils unterschiedlichen Materialmischungen durchgeführt worden um zu sehen welche Substrate die besten Ergebnisse bringen.

- ? Miete 1 \approx Wet White Späne mit Stroh (Mischungsverhältnis 3:1)
- ? Miete 2 \approx Wet White Späne mit Pferdemist/Stallstreu (1,6:1)
- ? Miete 3 \approx Wet White Späne mit biogenen Abfällen (0,45:1)
- ? Miete 4 \approx Wet White Späne mit Klärschlamm und Strukturmaterial (0,65:0,22:1)

Die Dreiecksmieten wurden auf einem asphaltierten Untergrund am Gelände der MBA Allerheiligen aufgebaut. Zuerst wurden die einzelnen Kompartimente abgewogen, im vorgesehenen Verhältnis mit einem Kleinbagger zusammen aufgeschüttet und dann mittels eines Mietenwenders der Marke Backhus vermischt. Am Foto 6-1 sieht man, wie die Lederspäne mit Stroh/Mist für die zweite Versuchsmiete mit dem vor Ort vorhandenen Mietenwender vermischt wurden. Die fertigen Mieten hatten eine Basisfläche von etwa 4 x 3 Metern und eine Höhe von etwa 1,5 Metern.



Foto 6-1 Pferdemit/Stallstreu und Lederspäne werden mit dem Mietenwender vermisch

6.2.2 Die Einsatzmaterialien

Die vier durchgeführten Versuche wurden mit Lederspänen und jeweils verschiedenen Zusatzmaterialien (Substraten) durchgeführt. Durch den Vergleich der Ergebnisse kann abgeschätzt werden, welche Substrate sich am besten eignen, mit Lederspänen kompostiert zu werden. Die nachfolgende Tabelle 6-1 zeigt die für die vier Versuchsmieten verwendeten Materialien, deren Einsatzgewicht (feucht und trocken) sowie die Mischungsverhältnisse bezogen auf Volumen und Gewicht.

Definitionen der verwendeten Materialien:

| | |
|-------------------------------|---|
| Lederspäne: | chromfreie Wet White Lederspäne der Lederfabrik Vogl |
| Stroh: | handelsübliches Stroh |
| Pferdemist/Stallstreu: | eine Mischung aus Pferdeexkrementen und Stroh |
| Biogene Abfälle: | die verwendeten Bioabfälle stammten von der Gemeinde Allerheiligen und waren bereits zwei Wochen zur Vorrotte in einem Rottetunnel der MBA Allerheiligen. |
| Klärschlamm: | Klärschlamm der ortsansässigen Kläranlage |
| Strukturmaterial: | Überkorn der 12mm und 24mm Maschensiebe der fertigen Bioabfallrotte der MBA Allerheiligen |

Die Tabelle 6-2 zeigt die für die Kompostierung wichtigsten Parameter der verwendeten Substrate. Fotos und ausführliche chemischen Analysen von den Lederabfällen und den verwendeten Substraten sind im Anhang zu finden. Die ersten drei Mieten (mit Stroh, Pferdemist/Stallstreu und biogenen Abfällen) haben aufgrund der zu den Lederspänen zugemischten Substrate eine für die Kompostierung ausreichende Struktur. Da aber sowohl die Lederspäne als auch der Klärschlamm, wie auf den Fotos 8-1 und 8-5 im Anhang zu sehen ist, kaum eine ausreichende Struktur aufweisen, wird bei diesem Versuch noch Strukturmaterial zugegeben.

Tabelle 6-1 Gewichts- und Volumsverhältnisse der Versuchsmieten

| | Mittlere Dichte _{feucht} [kg/m ³] | Gewicht [kg] | Trockengewicht [kg TS] | Verhältnis in Volumens % | Verhältnis in Gewichts % | C/N _{ges} Verhältnis |
|-------------------------------------|--|--------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Miete 1 (C/N-Verhältnis 5) | | | | | | |
| Lederspäne | 440 | 4.560 | 1.988 | 60 | 75 | 5 |
| Stroh | 225 | 1.520 | 1.277 | 40 | 25 | |
| Miete 2 (C/N-Verhältnis 4,3) | | | | | | |
| Lederspäne | 440 | 4.480 | 1.953 | 54 | 62 | 4,3 |
| Pferdemist/ Stallstreu | 320 | 2.800 | 848 | 46 | 38 | |
| Miete 3 (C/N-Verhältnis 6,6) | | | | | | |
| Lederspäne | 440 | 3.420 | 1.491 | 42 | 31 | 6,4 |
| Biogene Abfälle | 700 | 7.560 | 3.198 | 58 | 69 | |
| Miete 4 (C/N-Verhältnis 6,2) | | | | | | |
| Lederspäne | 440 | 3.820 | 1.666 | 41 | 35 | 6,2* (3,4)** |
| Klärschlamm | 850 | 1.320 | 254 | 8 | 12 | |
| Strukturmaterial | 550 | 5.920 | 3.996 | 51 | 53 | |

*) mit Strukturmaterial **) ohne Strukturmaterial

Tabelle 6-2 Wichtige Parameter der Einsatzmaterialien

| Rohmaterial | C/N - Verhältnis | pH – Wert im Eluat | Wassergehalt [%] |
|-----------------------|------------------|--------------------|------------------|
| Lederspäne | 3,2 | 4,03 | 56,4 |
| Stroh | 47,3 | 6,92 | 47,3 |
| Pferdemist/Stallstreu | 27,8 | 6,79 | 27,8 |
| Biogene Abfälle | 18,8 | 7,03 | 57,7 |
| Klärschlamm | 7,6 | 7,07 | 73,24 |
| Strukturmaterial | 17 | 7,19 | 32,49 |

6.2.3 Betreuung der Mieten

Nachdem die Mieten aufgebaut waren, mussten sie kontrolliert und bearbeitet werden. Der wichtigste Parameter der Kompostierung ist die Temperatur, weil sie auf den Rottefortschritt und damit auf den Reifegrad des Kompostes hindeutet. Dadurch kann erkannt werden, wann die Rotte weitgehend abgeschlossen ist und die Versuche somit beendet werden können. Desweiteren ist aus der Temperaturkurve erkennbar, ob der Kompost seuchenhygienisch unbedenklich ist. Die Temperatur wurde zwei- bis dreimal pro Woche ermittelt. Dazu wurden an jeder Miete drei Messungen an unterschiedlichen Stellen mittels eines Stabthermometers vorgenommen und die Ergebnisse arithmetisch gemittelt. Desweiteren wurden die jeweiligen Außentemperaturen gemessen und aus den erhaltenen Werten die Temperaturkurven erstellt. (siehe auch Kapitel 6.3)

Damit in den Mieten aerobe Bedingungen herrschen, müssen diese aufgelockert und mit frischer Luft versorgt werden. Dazu wurden sie zweimal in der Woche mit dem betriebseigenen Mietenwender gewendet. Im nachfolgenden Foto 6-2 sieht man, dass bei diesem Umsetzen enorme Dampfmenngen und damit verbunden sehr unangenehme Gerüche entwichen sind.

In unregelmäßigen Abständen wurden Messungen der Ammoniakkonzentrationen und der Schwefelverbindungen (Merkaptane Schwefelwasserstoffe, usw.) in der Abluft der Mieten mittels Gasspürpumpe und DRÄGER Kurzzeit – Röhrrchen vorgenommen.

Ebenfalls in unregelmäßigen Abständen wurde die Feuchtigkeit überprüft. Diese soll sich zwischen 40% und 60% bewegen. Durch starke Regenfälle kann die Feuchtigkeit über diese Grenzen erhöht, durch die Tätigkeit der aeroben Bakterien zu stark vermindert werden. Die gemessene Feuchtigkeit bewegte sich in allen vier Mieten über die gesamte Rottezeit hindurch in diesem zulässigen Bereich.



Foto 6-2 Umsetzen der Miete nach einem Monat Rotte mit großer Dampf- und Geruchsentwicklung

6.2.4 Probennahme und Aufbereitung

Nach 120 Tagen haben alle Versuche außer dem Versuchsansatz mit Stroh eine Temperatur unter 30° C erreicht und die Versuche konnten abgebrochen werden. Die vier Mieten wurden mittels eines Baggers abgetragen und erneut gewogen, um den jeweiligen Gewichtsverlust durch die Rotte ermitteln zu können (siehe dazu auch Kapitel 6.3.1). Vorher sind von jeder Miete fünf möglichst repräsentative Einzelproben aus verschiedenen homogenen Bereichen mit einem Volumen von jeweils etwa 10 dm³ entnommen worden. Aus diesen fünf Einzelproben wurden durch Vereinigung und Vermischen so genannte Sammelproben hergestellt. Ein Teil der Sammelprobe wurde unverändert direkt von der Frischsubstanz für die Eluatherstellung im Labor abgetrennt. Ein weiterer Teil wurde gewogen, danach bei 105°C getrocknet und durch wiederholtes Wiegen wurde dann der Wassergehalt nach der Formel $WG = 100 * (m_f - m_{tr}) / m_f$ in % bestimmt. Diese getrocknete Probe wurde daraufhin noch auf Fremdstoffe hin untersucht. Ein dritter Teil der frischen Probe wurde eine Woche lang bei 55° C getrocknet und danach mit einer Maschenweite von 11,2mm abgesiebt. Die erhaltenen Fraktionen Kompost (Korngröße < 11,2 mm) und Überlauf (Korngröße > 11,2 mm) dieser Probe wurden dann für die weiteren Untersuchungen und Analysen im Labor aufbereitet. Dazu wurden sie zweistufig auf eine Korngröße von < 0,25mm gemahlen. Im Labor wurden diese aufbereiteten Proben auf mehrere Parameter hin analysiert (siehe Tabellen im Anhang). Der Großteil der frischen Sammelprobe wurde zwei Wochen lang bei einer Umgebungstemperatur von etwa 10°C flach aufgebracht und dadurch getrocknet. Dieser Teil der Probe wurde für die Siebanalyse verwendet. Die folgende Abbildung zeigt die schematische Darstellung der gesamten durchgeführten Probenaufbereitung.

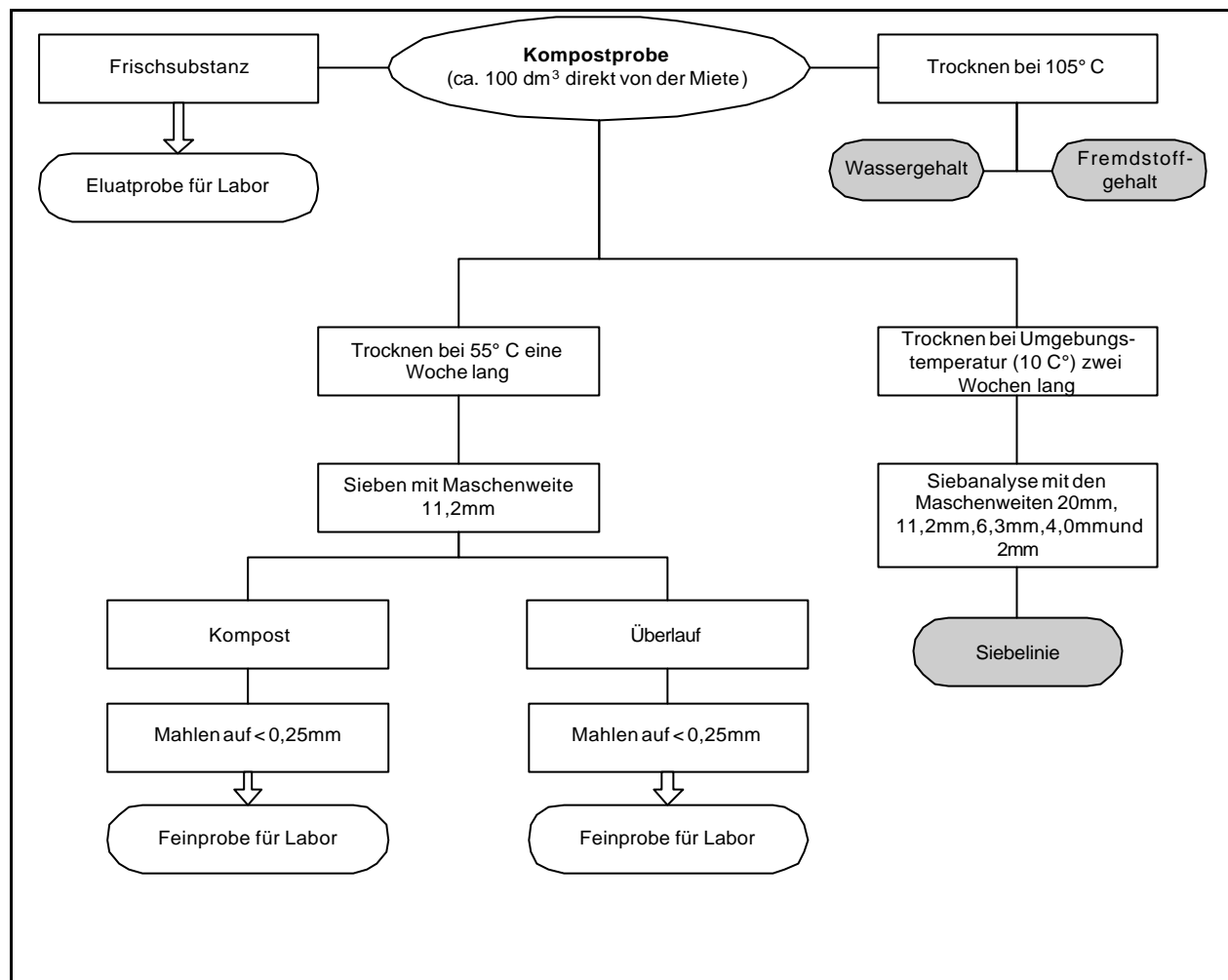


Abbildung 6-1 Schematische Darstellung der Probenaufbereitung

6.2.5 Beobachtete Probleme während der Rotte

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass bei den Kompostierungsversuchen teilweise gravierende verfahrenstechnische Probleme aufgetreten sind. Selbst nach 120 Tagen waren die Lederspäne nicht vollständig biologisch abgebaut. Desweiteren traten, vor allem nach dem Umsetzen der Mieten, teils erhebliche Temperaturschwankungen auf und es kam zu sehr unangenehmen Geruchsentwicklungen.

6.2.5.1 Biologischer Abbau

Wie in den Temperaturverläufen (siehe nächstes Kapitel) der Versuche ersichtlich ist, wurde selbst nach 120 Tagen (d. h. nach über 17 Wochen) noch kein vollständiger biologischer

Abbau der Einsatzmaterialien erreicht. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die C/N – Verhältnisse aller vier Mieten mit 4,3 – 6,6 um einiges zu gering waren. Dieses geringe Verhältnis ist auch für die im Folgenden beschriebenen Temperaturschwankungen hauptverantwortlich. Der ideale Bereich für den Beginn der Kompostierung liegt in etwa zwischen 20 und 30, da die beteiligten Mikroorganismen für ihren Bau und Betriebsstoffwechsel dieses Mischungsverhältnis bevorzugen und benötigen. Bei diesen zu geringen C/N – Verhältnissen (\approx C – Mangel) können die Mikroben nicht genügend körpereigene Substanz bilden. Dadurch verbrauchen und fixieren sie auch weniger Stickstoff, der dann in hohem Maße gasförmig verloren geht (siehe Geruchsproblem in Kapitel 6.2.5.3).

Weitere Kriterien sind der Gehalt an organischer Substanz und deren biologische Abbaubarkeit. Wie in der Tabelle 84 im Anhang zu sehen ist, haben alle verwendeten Einsatzstoffe einen ausreichenden Gehalt an organischer Substanz (durch Glühverlust repräsentiert). Die organische Substanz der Lederspäne ist durch die Gerbung gegen die Zersetzung durch Mikroorganismen widerstandsfähig geworden und daher nicht gut abbaubar. Die Abbaubarkeit der organischen Substanz bei den Substraten ist vor allem bei Stroh und Pferdemist/Stallstreu ebenfalls nicht so gut (vgl. Tabelle 8-2 im Anhang).

Bezüglich des pH – Wertes kann gesagt werden, dass die Mikroorganismen am besten in einem Bereich von 6 bis 9 wachsen können. Da die Lederspäne einen pH – Wert von nur 4,03 aufweisen und die pH – Werte der Substrate sich zwischen 6,79 und 7,19 bewegen, kann auch das ein Grund für den unregelmäßigen und unvollständigen biologischen Abbau sein.

6.2.5.2 Temperaturverläufe \approx Temperaturschwankungen

Generell kann gesagt werden, dass die Temperaturverläufe aller vier Versuche nicht gerade ideal waren. Vor allem bei den Versuchen mit Stroh und Pferdemist/Stallstreu sind relativ starke Temperaturschwankungen aufgetreten. Das mag auf die Eigenschaften der zugesetzten Substrate zurückzuführen sein, die sich nur sehr langsam zersetzen und somit keine guten C – Quellen darstellen. Die Temperaturverläufe der Versuche mit biogenen Abfällen und Klärschlamm sind deutlich besser ausgefallen, wobei der Versuch mit Klärschlamm noch den besten Verlauf aufwies. Dies kann vor allem von den geringeren Mischungsverhältnissen und der besseren C – Verfügbarkeit der Substrate bei diesen Versuchen herrühren.

Durch die Betrachtung der Temperaturverläufe können auch Aussagen über die Reife der Rotte sowie die Hygienisierung des erhaltenen Kompostes gemacht werden. Um diese seuchenhygienische Unbedenklichkeit zu gewährleisten, muss die Temperatur der Miete mindestens drei Wochen lang einen Wert von 55° C oder mindestens 14 Tage lang einen Wert von 65° C halten. Durch diese lang anhaltenden, hohen Temperaturen werden pathogene Keime und Parasiten abgetötet.

6.2.5.2.1 Miete 1 ✂ Falzspäne mit Stroh

Die Temperatur ist sehr schnell angestiegen und hat bereits nach 3 Tagen 45° C erreicht, um danach langsam weiter anzusteigen bis nach 24 Tagen eine Temperatur von 60° C erreicht wurde. Diese Temperatur hat sich dann, von Temperaturschwankungen abgesehen, etwa bis zum 55. Tag erhalten. Danach ist der Temperaturverlauf sehr unständig weiterverlaufen und wurde nach 120 Tagen bei einer Temperatur von 50° C zusammen mit den anderen drei Versuchen abgebrochen. Generell kann gesagt werden, dass bei diesem Versuch die thermophile Phase (Abbauphase) bis auf zwei Unterbrechungen bis zum Schluss der Rotte nach 120 Tagen nicht gänzlich abgeschlossen war. Die starken Schwankungen und die lange thermophile Phase sind wohl auf die Eigenschaften des zugesetzten Strohs zurückzuführen, das sich nur sehr langsam zersetzt und somit keine gute C – Quelle darstellt. Desweiteren war das C/N – Verhältnis mit 5 weit unterhalb des für eine Kompostierung günstigen Bereiches von 30 – 35.

6.2.5.2.2 Miete 2 ✂ Falzspäne mit Pferdemist/Stallstreu

Diese Temperaturkurve ist ähnlich der Vorhergehenden, zeigt aber einen etwas stetigeren Temperaturverlauf, was wohl auf das Vorhandensein der Pferdeexkreme zurückzuführen ist. Ansonst war das Stroh, das den Hauptanteil des Pferdemistes ausmacht in seiner Konsistenz ähnlich dem beim vorhergehenden Versuch und somit waren auch die Bedingungen vergleichbar. Nach 120 Tagen war die Temperatur der Miete auf 30° C abgesunken und der Versuch wurde abgebrochen, obwohl auch hier die Rotte noch nicht gänzlich abgeschlossen war.

6.2.5.2.3 Miete 3 ✂ Falzspäne mit biogenen Abfällen

Diese Temperaturkurve weist einen langsamen aber stetigen Anstieg auf 70° C innerhalb der ersten 55 Tage auf. Danach erfolgt ein von starken Schwankungen geprägter Temperaturabfall bis auch hier der Versuch nach 120 Tagen bei 30° C beendet wurde. Die

vorgerotteten biogenen Abfälle waren zwar eine bessere C – Quelle, aber das Mischungsverhältnis war auch hier zu gering, was sich in dem zu geringen C/N – Verhältnis von 6,6 widerspiegelt.

6.2.5.2.4 Miete 4 \approx Falzspäne mit Klärschlamm und Strukturmaterial

Die Temperaturkurve des vierten Versuches entspricht wohl am ehesten der Idealkurve einer Kompostierung. Nach etwa 100 Tagen war die Abbauphase (thermophile Phase) und im weiteren die Umbauphase (mesophile Phase) der Rotte bereits weitgehend abgeschlossen. Das widerspiegelt sich in der konstant niedrigen Temperatur von etwa 20°C in den letzten 20 Tagen des Versuches. Obwohl auch bei diesem Versuch das C/N – Verhältnis mit 6,22 zu gering war, erfolgte der beste Rotteverlauf mit Klärschlamm in Kombination mit dem Strukturmaterial. Wie in der Kurve ersichtlich kann nicht von einer Hygienisierung des Kompostes ausgegangen werden, weil die Temperatur von 55° C nicht über drei Wochen angehalten hat, sondern nur kurz erreicht wurde.

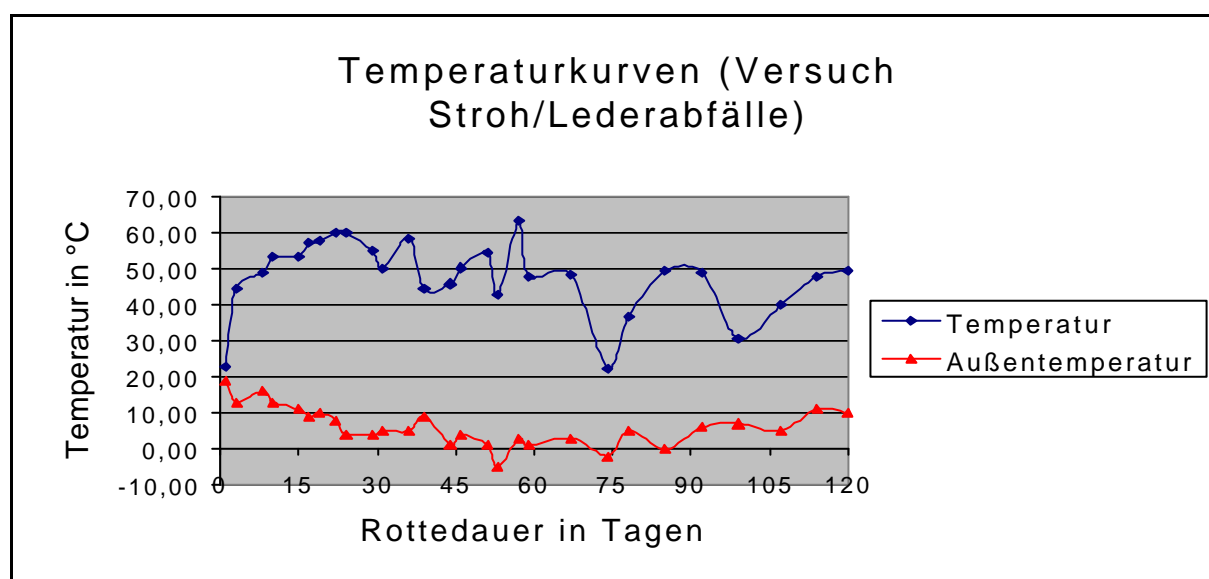


Diagramm 6-1 Temperaturkurven des Versuches Lederspäne mit Stroh

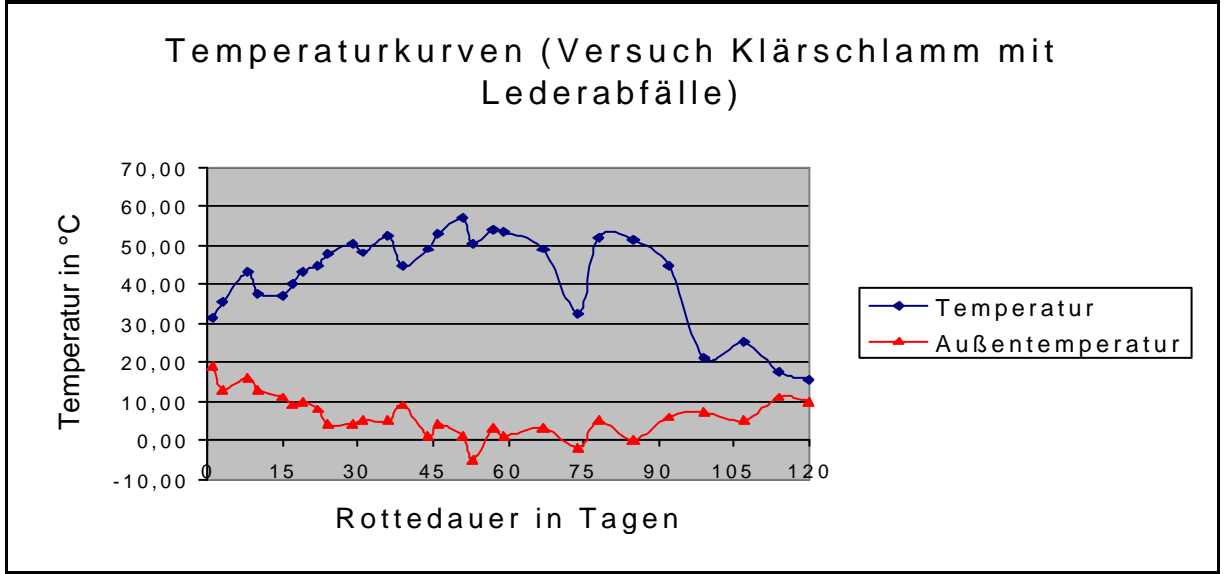
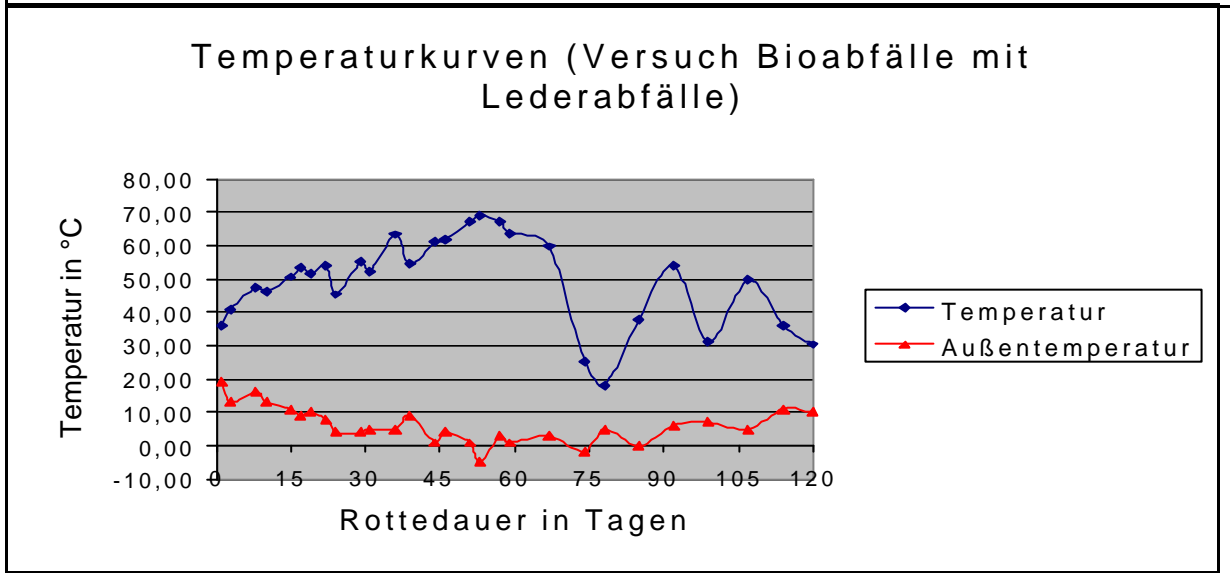
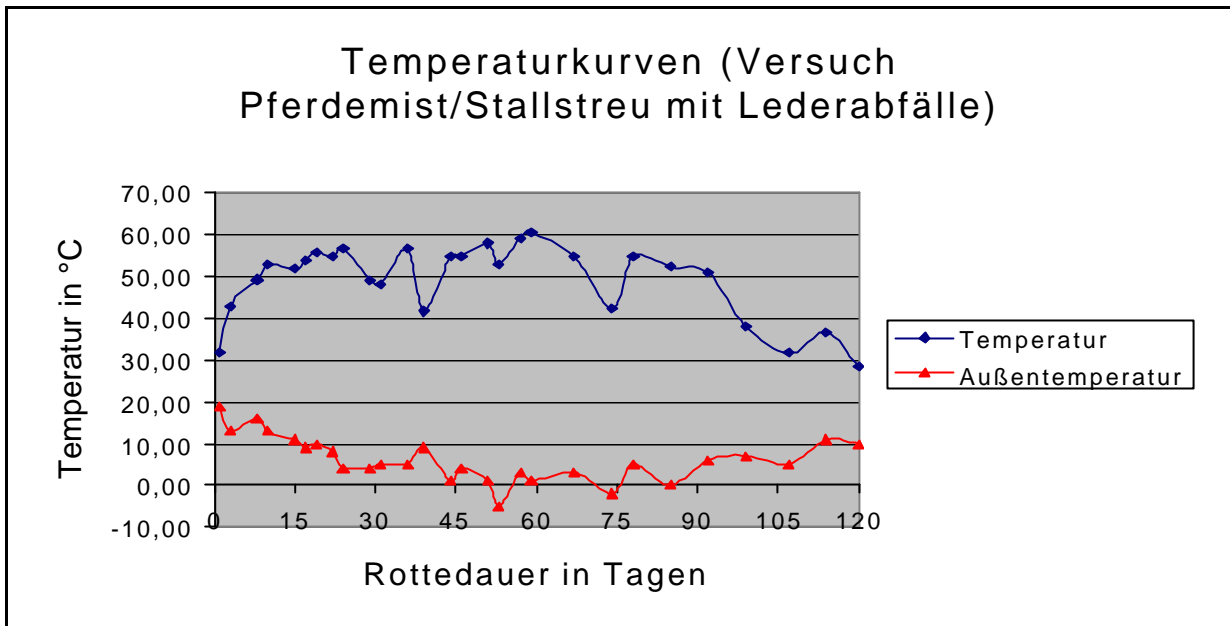


Diagramm 6-2 Temperaturkurven der Versuche Lederspäne mit Pferdemit/Stallstreu, mit biogenen Abfällen sowie mit Klärschlamm und Strukturmaterial

6.2.5.3 Geruchsentwicklung

Ein weiteres Problem war die erhebliche Geruchsentwicklung während der Kompostierung, die teilweise so stark war, dass die im Freien stattfindenden Versuche aufgrund von Anreinerbeschwerden fast abgebrochen werden mussten. Die Hauptursache für diese Geruchsemissionen sind der zu hohe Stickstoffanteil (14,5 % in TS) und der Schwefelanteil (0,7% in TS) in den Lederspänen. Für die Rotte wäre ein C/N – Verhältnis von etwa 25 : 1 ideal [27]. Bei den Versuchsmieten bewegte sich das C/N – Verhältnis aber zwischen 4,3 : 1 und 6,6 : 1. Durch das Stickstoffüberangebot (N) und desweiteren dem Mangel an biologisch leicht verfügbarem Kohlenstoff (C), produzieren die Mikroorganismen große Mengen von Ammoniak (NH_3), der in die Abluft abgegeben wird. Um das extrem niedrige C/N-Verhältnis von Lederabfälle bei der Kompostierung zu kompensieren und damit die unangenehmen Geruchsprobleme durch die NH_3 -Entwicklung zu vermeiden, sollte eine gut bioverfügbare C-Quelle als Substrat zugeführt werden. Durch den Schwefel entstehen ebenfalls geruchsintensive Schwefelverbindungen (Mercaptane, Schwefelwasserstoff, etc.).

Die Messungen der Ammoniakemissionen (NH_3) in der Abluft der Mieten ergaben, dass die Ammoniakkonzentrationen bereits nach drei Wochen über 30 ppm betragen. Ab der 5. Woche konnten Konzentrationen von weit über 100 ppm gemessen werden, die sich erst gegen Ende der Rotte (nach 120 Tagen) auf etwa 50 ppm verringert haben. Die Messungen wurden direkt über den Mieten mittels DRÄGER - Röhren durchgeführt.

6.3 Ergebnisse der Versuche

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Versuche dargestellt. Diese werden wie bereits vorher erwähnt durch die erzielte Abfallreduktion und die Qualität des fertigen Produktes Kompost repräsentiert. Die Qualität ist wichtig, um abschätzen zu können, ob der Kompost zum einen für eine weitere Verwendung als Bodenverbesserungsmittel eingesetzt werden kann, bzw. zum anderen ein biologisch stabiles Material darstellt.

6.3.1 Gewichts- bzw. Volumensreduktion

Wie bereits erwähnt, waren die Massen- bzw. Volumensreduktion durchaus ein wesentliches Ziel der Versuche. Die nachfolgende Tabelle 6-3 fasst die erzielten Reduktionen zusammen. Darin ist zu sehen, dass sich die Massenreduktion bei den ersten drei Versuchen etwa bei 45% bewegt. Nur beim vierten Versuch (mit Klärschlamm und Strukturmaterial) war die Reduktion nur 28%. Dieser geringe Massenverlust ist darauf

zurückzuführen, dass das Strukturmaterial naturgemäß nicht abgebaut wurde. Dieses kann aber nach der Abtrennung vom Kompost allerdings wiederverwendet und daher im Kreislauf geführt werden. Nimmt man bei diesem Versuch zur Berechnung des Masseverlustes nur die Lederabfälle und den Klärschlamm, dann hat sich die Masse während der Rotte um 40% der Einsatzmasse verringert.

Im Hinblick auf die Reduktion des Volumens bei den Versuchen kann man feststellen, dass diese zwischen 41% und 55%, bezogen auf das Ausgangsvolumen, beträgt (siehe Tabelle 6-3).

Tabelle 6-3 Massen- und Volumensreduktion im Verlauf der der Versuche

| Versuchsansatz | Rotteverlust in Massen % | Rotteverlust in Volumens % |
|---|--------------------------|----------------------------|
| Falzspäne & Stroh | 46 | 55 |
| Falzspäne & Pferdemist/Stallstreu | 42 | 51 |
| Falzspäne & Bioabfälle | 45 | 41 |
| Falzspäne & Klärschlamm, Strukturmaterial | 28* (40)** | 46* |

*) mit Strukturmaterial **) ohne Strukturmaterial

6.3.2 Qualitätskontrolle des Produktes (Kompost)

Die seuchenhygienische Unbedenklichkeit der Komposte konnte bereits, wie in Abschnitt 6.3.1 ersichtlich, bis auf den Versuch mit Klärschlamm, durch die Temperaturverläufe bestätigt werden. Die Verunreinigung durch Fremdstoffe war sehr gering und bei allen vier Versuchen innerhalb der Grenzwerte. Desweiteren wurden durch eine Elementaranalyse der fertigen Komposte die Schwermetallbelastungen und die C/N – Verhältnisse ermittelt. Zur weiteren Bestimmung der Qualität des Kompostes wurden noch die Korngrößenverteilung, der Wassergehalt, der pH – Wert, der Anteil an organischer Substanz sowie drei Pflanzenverträglichkeitstests durchgeführt.

6.3.2.1 Schwermetallbelastung

Als Bewertungsgrundlage für die Schwermetallbelastungen der Kompostproben der durchgeführten Versuche werden die Grenzwerte der Gütegemeinschaft Kompost e. V. (RAL-GZ-251) herangezogen. Die Bundesgütegemeinschaft Kompost schreibt die Normierung der Schwermetallgrenzwerte auf 30 Prozent organische Substanz vor.

Die Schwermetalle Blei (Pb), Cadmium (Cd), Quecksilber (Hg), und Zink (Zn) liegen bei allen vier Versuchen innerhalb der Grenzwerte. Der Grenzwert für Kupfer (Cu) wird nur beim

Versuch mit Klärschlamm überschritten. Dies ist auf die hohe Kupferbelastung von 155 mg/kg TS im verwendeten Klärschlamm zurückzuführen. Größere Schwermetallbelastungen liegen bei Kupfer und Nickel vor wie in Tabelle 6-5 ersichtlich ist. Auch hier stammen die Schwermetalle zum Großteil von den verwendeten Zusatzmaterialien.

Die chemischen Analysen der für die Versuche verwendeten Lederspäne zeigen grundsätzlich minimale Schwermetallbelastungen (siehe Tabelle 6-4). Allgemein kann gesagt werden, dass die Schwermetallbelastungen Großteils von den Substraten herrühren. Durch den Masseverlust während des Kompostierens werden diese Schwermetalle zusätzlich angereichert, da diese naturgemäß nicht abgebaut werden. Eine Verringerung der Belastungen ist also hauptsächlich durch die Wahl der verwendeten Zusatzmaterialien zu erreichen.

Tabelle 6-4 Schwermetallbelastungen der Einsatzmaterialien [in mg/kg TS]

| Schwermetall | Stroh | Pferdemist/ Stallstreu | Biogene Abfälle | Klärschlamm | Strukturmaterial | Lederspäne |
|-------------------|-------|---------------------------|--------------------|-------------|------------------|------------|
| Blei [Pb] | < 5 | < 5 | 21,5 | 28,85 | 36,11 | < 5 |
| Cadmium [Cd] | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | 1,68 | < 0,5 | < 0,5 |
| Chrom gesamt [Cr] | 22,32 | 19,87 | 88,97 | 184,1 | 156,2 | 22,14 |
| Kupfer [Cu] | 6,32 | 11,77 | 32,59 | 155 | 39,36 | 6,05 |
| Quecksilber [Hg] | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 |
| Zink [Zn] | < 125 | < 125 | 137,4 | 1019 | 400,2 | < 125 |

Tabelle 6-5 Vergleich der Schwermetallbelastungen in den Komposten [in mg/kg TS]

| Schwermetall | Grenzwert laut Gütegemeinschaft Kompost e. V. (RAL-GZ-251) * | Kompost der 1. Miete (Lederspäne-Stroh) | Kompost der 2. Miete (Lederspäne-Pferdemist/Stallstreu) | Kompost der 3. Miete (Lederspäne-Biogen) | Kompost der 4. Miete (Lederspäne-Klärschlamm) |
|--------------|--|---|---|--|---|
| Blei | 150 | 6,85 | 6,19 | 25,35 | 42,11 |
| Cadmium | 1,5 | <0,5 | <0,5 | 0,64 | 0,72 |
| Chrom | 100 | 82,2 | 434,9 | 258,8 | 300,6 |
| Kupfer | 100 | 16,74 | 30,45 | 65,79 | 177,7 |
| Nickel | 50 | 91,5 | 289 | 338 | 459 |
| Quecksilber | 1,0 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Zink | 400 | <125 | <125 | 202,4 | 373,3 |

* bezogen auf 30% organische Substanz im Kompost

6.3.2.2 Wassergehalt

Der Wassergehalt in der Frischprobe sollte sich zwischen 35 und 45% bewegen. Wie in Tabelle 6-6 zu sehen ist, wird das bei allen vier Versuchen erreicht.

6.3.2.3 pH – Wert

Der pH – Wert sollte im leicht basischen Bereich von etwa 7 – 8 liegen. Auch dieser Parameter ist bis auf den ersten Versuch (mit Stroh) im erforderlichen Bereich (siehe Tabelle 6-6).

6.3.2.4 Organische Substanz mittels Glühverlust

Dieser Anteil bestimmt wesentlich den Wert des Kompostes als Bodenverbesserungsmittel und wird über den Glühverlust (nur quantitative Aussage) angegeben. Der Gehalt an organischer Substanz sollte 25 Gewichts % nicht unterschreiten, das Optimum liegt aber bei etwa 35 Gewichts %. Wie in der nachfolgenden Tabelle 6-6 ersichtlich ist, sind die Anteile an organischer Substanz bei den Versuchskomposten relativ hoch.

Tabelle 6-6 Ausgewählte Versuchsergebnisse

| Parameter | Kompostfraktion der 1. Miete (Lederspäne-Stroh) | Kompostfraktion der 2. Miete (Lederspäne-Stroh/Mist) | Kompostfraktion der 3. Miete (Lederspäne-Biogen) | Kompostfraktion der 4. Miete (Lederspäne-Klärschlamm) |
|----------------------|---|--|--|---|
| Wassergehalt | 32,68 | 39,81 | 30,83 | 34,84 |
| pH - Wert | 6,79 | 7,07 | 7,38 | 8,05 |
| C/N – Verhältnis | 4,8 | 5,9 | 7,9 | 7,6 |
| Anteil org. Substanz | 91,42 | 85,08 | 61,4 | 53,12 |

6.3.2.5 C/N – Verhältnis

Das C/N – Verhältnis sollte nach Rotteabschluss entsprechend der Nährstoffzusammensetzung von Kulturböden bei 15 – 20 liegen [32]. Bei einem zu hohen Verhältnis (größer 20) wird dem Boden Stickstoff entzogen. Bei einem zu Geringen (kleiner 15) wird im Boden Stickstoff freigesetzt, was auf die Pflanzen toxisch wirken kann.

Die C/N – Verhältnisse bei den Versuchskomposten bewegten sich zwischen 4,8 und 7,9 (siehe Tabelle 6-6). Dadurch sind die erhaltenen Komposte kaum zur Bodenverbesserung geeignet, was sich auch bei den Pflanzenverträglichkeitstests in Kapitel 6.3.2.7 gezeigt hat.

6.3.2.6 Korngrößenverteilung

Der Grad der Körnung richtet sich nach den Anforderungen des Bodens, der mit dem Kompost verbessert werden soll. Die getrockneten Proben wurden mit Analysensieben (Maschenweiten: 20,0mm; 11,2mm; 6,3mm; 4,0mm; 2,0mm) abgeseibt und die jeweiligen Durchsätze abgewogen. Mit diesen Daten konnten die Sieblinien erstellt werden. Diese Siebanalysen zeigten, dass aus den Versuchen eher grobkörnige Komposte erhalten wurden, was vor allem auf die jeweiligen Substrate zurückzuführen ist. Nimmt man dazu eine Korngröße von 20mm als Grenze, so werden beim Versuch mit Pferdemit/Stallstreu 51% und beim Versuch mit biogenen Abfällen 84% grobkörniger Kompost erhalten. Das Überkorn kann daraufhin wieder zur Kompostierung verwendet werden. Beim Versuch mit Klärschlamm und Strukturmaterial würde man wohl nach Absieben des Strukturmaterials einen mittelkörnigen bis feinkörnigen Kompost erhalten.

Bei der Probe des ersten Versuches mit Lederspänen und Stroh konnte keine Siebanalyse durchgeführt werden, weil ein Sieben der Probe kaum möglich war. Der Durchgang dieser Probe war bereits beim ersten Sieb (20mm) bereits geringer als 10%. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass das kaum siebbare Stroh während der Rotte so gut wie nicht abgebaut wurde.

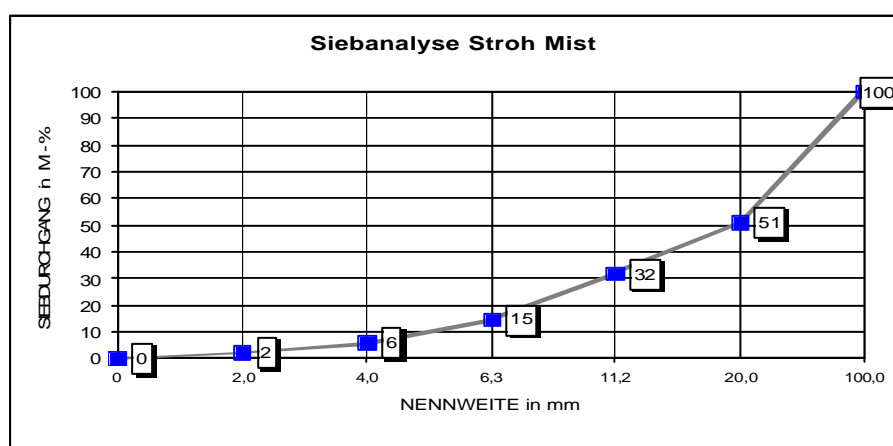


Diagramm 6-3 Sieblinie des Kompostes aus dem Versuch Lederspäne/Stroh-Mist

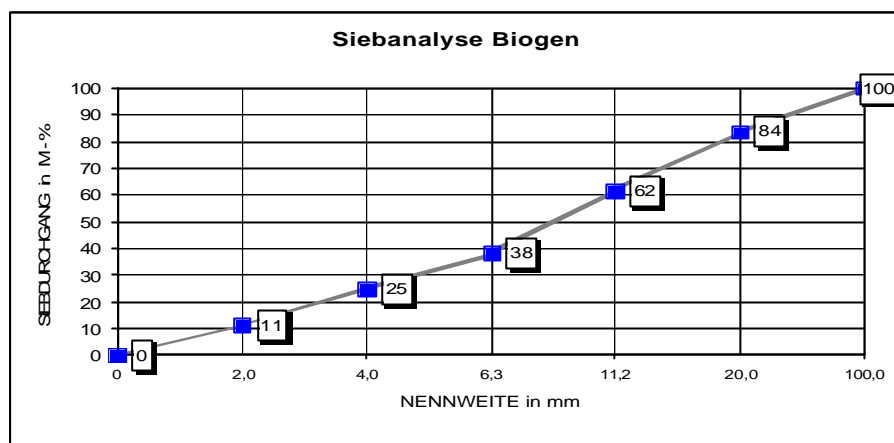


Diagramm 6-4 Sieblinie des Kompostes aus dem Versuch Lederspäne/Biogene Abfälle

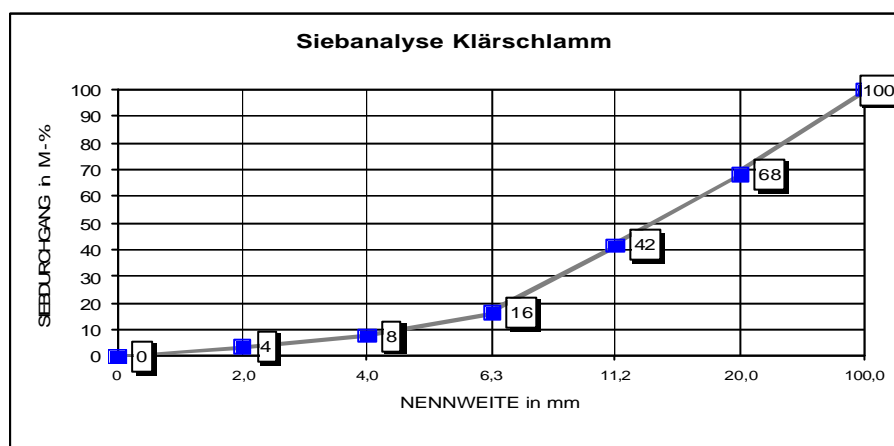


Diagramm 6-5 Sieblinie aus dem Versuch Lederspäne/Klärschlamm - Strukturmaterial

6.3.2.7 Pflanzenverträglichkeit

Um festzustellen, ob die gewonnenen Komposte als Düngemittel bzw. Bodenverbesserungsmittel eingesetzt werden können, wurden drei Pflanzenverträglichkeitstests mit Kresse und Gerste durchgeführt.

Dazu wurden die Kompostfraktionen (Korngröße < 11,2mm) der vier Versuche verwendet. Als Mischkomponente und Vergleichssubstrat wurde Blumenerde verwendet. Aus den Komposten und der Blumenerde wurden jeweils Prüfmischungen mit 20% und 50% Kompostanteil hergestellt und in kleine Blumentöpfe abgefüllt. In diesen Blumentöpfen wurden gleichmäßig Kresse- bzw. Gerstensamen gesät, diese danach angegossen und im

Gewächshaus aufgestellt. Gleichzeitig wurde ein Vergleichssubstrat (100% Blumenerde) besamt. Danach wurden die Prüfmischungen 10 Tage lang beobachtet. Der erste Test wurde mit der Frischsubstanz der Kompostproben direkt nach Ablauf der 120 Tage andauernden Rotte gemacht. Ein Teil der Proben wurde danach aufbewahrt und nach 3 Monaten bzw. nach 6 Monaten wurden zwei weitere Versuche durchgeführt.

Die ersten zwei Versuche zeigten bei den Prüfmischungen absolut kein Pflanzenwachstum. Erst beim dritten Versuch konnte sowohl die Kresse als auch die Gerste wachsen, jedoch mit etwas geringerer Ausbeute als beim Vergleichssubstrat. Die negativen Ergebnisse der Pflanzenverträglichkeitstests sind vor allem auf die gegebenen C/N Verhältnisse der Komposte (4,8; 5,9; 7,9 und 7,6) zurückzuführen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Komposte nicht ohne weitere Konditionierung als Düngemittel verwendet werden können, weil die zu hohe Konzentration an Nährstoffen (zu geringe C/N – Verhältnisse) den Samen die Feuchtigkeit entziehen und damit jegliche Keimung verhindern [30]. Ein weiterer Grund für die vollständige Keimhemmung kann die Ausgasung von z.B. NH_3 und H_2S aus den unreifen Kompostproben sein [27]. Bei Komposten mit einem so extrem niedrigen C/N-Verhältnis besteht auch die Gefahr einer Verseuchung des Bodens oder sogar des Grundwassers durch Nitrate und/oder Nitrite.

6.4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Zusammengefasst, lassen sich für die Pilotversuche zur Kompostierung von chromfreien Lederabfällen ("Wet White Shavings") folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Gegerbte Lederabfälle stellen ein relativ schwierig zu kompostierendes Material dar, da zum Einen das Leder durch die Gerbung gegen die Zersetzung durch Mikroorganismen widerstandsfähig gemacht wird, und zum Anderen ein sehr ungünstiges C/N-Verhältnis von 3 – 3,5 aufweist. Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass beim Kompostieren von Wet-White Lederspänen kein Glutaraldehyd freigesetzt wurde, zumal bereits ein paar ppm die Mikroorganismen der Rotte abgetötet hätten [31]. Dennoch ergeben sich relativ lange Rottezeiten mit über 15 bis 20 Wochen und sehr unangenehme Geruchsprobleme. Zusätzlich zeigt der hergestellte Kompost aufgrund seines extrem niedrigen C/N-Verhältnisses eine schlechte Pflanzenverträglichkeit bis hin zur Phytotoxizität.

Aufgrund der erzielten Erfahrungen aus den vier Versuchen können folgende Vorschläge zur Verbesserung und für ein erfolgreiches Kompostieren von chromfreien Lederabfällen geben werden:

- ? Das Mischungsverhältnis der Lederfalspäne mit Substrat und Strukturmaterial sollte nicht mehr als 1:20 bis maximal 1:15 betragen, d. h. der Anteil der Lederabfälle in der Miete sollte 5 bis 7 M % nicht überschreiten. Das heißt die Lederspäne sollten am besten in Form einer Mitkompostierung (d. h. Co – Kompostierung) z. B. zusammen mit der Kompostierfraktion aus der Hausmülltrennung als N-Quelle verwertet werden. Eine Monokompostierung der Lederspäne ist definitiv nicht möglich.
- ? Um das extrem niedrige C/N-Verhältnis von Lederabfälle bei der Kompostierung zu kompensieren und damit die unangenehmen Geruchsprobleme durch NH_3 -Entwicklung zu vermeiden, muss eine gut bioverfügbare C-Quelle als Substrat zugeführt werden. Nicht bewährt haben sich Stroh, Sägespäne oder Holz. Durch die ausreichende Zugabe dieser Materialien verbessert sich zwar rechnerisch das C/N-Verhältnis. Weil aber der zugeführte Kohlenstoff (Zellulose, Lignin), vor allem in der thermophilen Phase für den Abbau kaum zur Verfügung steht, ist er für die Rotte nahezu ohne Bedeutung. Ein Abbau dieser Materialien ist erst in der nachfolgenden mesophilen Phasen möglich [34].

Sehr vielversprechende Ergebnisse lieferten (in Vorversuchen) hingegen die Abfälle Biertreber (Rückstand aus der Brauereiindustrie) und Weintrester (Rückstand aus der Weinindustrie). Diese würden sich voraussichtlich auch auf die Temperaturverläufe und damit auf den Abbau der Lederspäne positiv auswirken. Laut einer Elementaranalyse, die am Institut für Verfahrenstechnik an der Montanuniversität Leoben/Österreich durchgeführt wurde, hat Biertreber ein C/N-Verhältnis von 15,5. Weintrester hat ein C/N-Verhältnis von etwa 20 – 22 [35]. Vor allem der in Trester und Treber vorkommende Kohlenstoff in Form von Pektinen (Polysacharide) ist in der thermophilen Kompostphase gut biologisch verfügbar. Um aber das Gesamt C/N-Verhältnis der Kompostmiete auf den idealen Wert von 30 zu bringen, müssen noch weitere Materialien, wie Stroh oder Sägespäne zugegeben werden.

Wichtig ist auch die ausreichende Beimengung von weitgehend inerten Strukturmaterialien, wie z. B. Häckselgut von Buschwerk, grober Rindenmulch oder MBA-Siebrückstände, das nach der Nachrotte abgesiebt und erneut zur Kompostierung eingesetzt werden können.

- ? Um die Pflanzenverträglichkeit des Fertigkompostes sicherzustellen, muss dieser ausreifen. Die Zusammensetzung des Kompostes ist aufgrund von Analysen zu bestimmen und durch Konditionierung (Verdünnen bzw. Zugabe von Mangelnährstoffen) auf handelsübliche Qualitäten einzustellen. Durch eine ideale Voreinstellung des C/N-Verhältnisses vor Rottebeginn auf etwa 30 ist davon auszugehen, dass der fertige Kompost pflanzenverträglich ist.
- ? Eine Verringerung der Schwermetallbelastungen ist vor allem durch die Wahl von gering belasteten Substraten zu erreichen.
- ? In Abbildung 8-2 im Anhang ist ersichtlich, dass aufgrund des Gesamt C/N-Verhältnisses nur die ersten drei Substrate (Stroh, Pferdemit/Stallstreu und biogener Abfall) bei einem geringeren Lederspäneanteil (5–7%) für eine Kompostierung infrage kommen. Klärschlamm kann nur in Verbindung mit einem kohlenstoffreichen weiteren Substrat zum Einsatz kommen.

Um Wet-White Lederspäne erfolgreich zu kompostieren, sollten noch weitere Versuche durchgeführt werden. Eine mögliche Empfehlung für einen Versuch ist 5% Lederspäne mit 25% Bier-Treber und 70% Stroh zu kompostieren. Das diesbezügliche C/N-Verhältnis hätte laut Berechnung (Formel im Anhang) einen Wert von etwa 28, welches die Idealbedingungen für die Rotte bedeuten würde.

Abschließend soll noch einmal erwähnt werden, dass die Lederfabrik Vogel derzeit die dort anfallenden chromfreien Wet White Falzspäne erfolgreich einem Spezialerden–Erzeuger und Entsorgungsbetrieb zur Mitkompostierung übergibt. Die Firma Kranzinger in Straßwalchen/Österreich kompostiert die Lederspäne zusammen mit Rinden und Grünabfällen. Dabei werden zur vorhandenen Kompostierung nur etwa 2–3 % an Lederspänen zugegeben. Durch diese geringe Beimengung läuft die Kompostierung auch ohne die Probleme, die bei den vier durchgeführten Versuchen aufgetreten sind, ab. Diese Vorgangsweise ist natürlich nur möglich, weil die Fa. Kranzinger sehr große Mengen an Kompost herstellt (die vorhandene Kompostieranlage nimmt eine Fläche von etwa 10.000 m² ein).

7 Zusammenfassung

Der Theorieteil dieser Arbeit beschäftigt sich zu Beginn mit der Lederherstellung im Allgemeinen und der Wet-White Gerbung mit Glutaraldehyd im Speziellen. Danach werden noch die festen Abfallstoffe einer Gerberei und deren derzeitige Behandlungsmöglichkeiten dargestellt. Im 4. Kapitel wird auf die Entwicklung der Lederindustrie, und im weiteren auch die dadurch anfallenden festen Abfälle, in den letzten 20 Jahren im weltweiten Vergleich eingegangen. Das letzte Kapitel des Theorieteils gibt einen guten Überblick über die aerobe Behandlung von Abfällen. Dabei werden allgemeine Kompostierungsgrundlagen, die Ausgangsmaterialien, die Verfahrenstechnik inklusive Berechnungen sowie die Qualitätsmerkmale des Produktes „Kompost“ angeführt.

Der zweite Teil dieser Arbeit beschäftigt sich mit der praktischen Durchführung der Kompostierungsversuche. Dazu sind vier Versuchsmieten mit verschiedenen Materialmischungen durchgeführt worden um zu sehen welche Zuschlagmaterialien die besten Ergebnisse bringen:

- ? Miete 1 \neq Wet White Späne mit Stroh (Mischungsverhältnis 3:1)
- ? Miete 2 \neq Wet White Späne mit Stroh/Mist (1,6:1)
- ? Miete 3 \neq Wet White Späne mit Biogenen Abfällen (0,45:1)
- ? Miete 4 \neq Wet White Späne mit Klärschlamm und Strukturmaterial (0,53:1)

Des weiteren werden die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus den Versuchen dargestellt.

Nach der Gerbung werden die Blößenstücke durch Falzen in ihrer Dicke reguliert. Dabei fallen etwa 99 kg/t_{gRH} sogenannte Falzspäne an. Wird anstatt der konventionellen Chromgerbung mit Glutaraldehyd gegerbt, sind diese Falzspäne chromfrei und dadurch vermutlich besser verwertbar als Chromgegerbte. Man spricht dann von sog. Wet-White Lederspänen.

Derzeit werden die Falzspäne (sowohl chromhaltige als auch chromfreie) in Entwicklungsländern vor allem „wild“ deponiert. Die Falzspäne sind organischer Natur und können sowohl einer anaeroben als auch einer aeroben Behandlung unterzogen werden. Die Verfahren und Anlagen für die anaerobe Behandlung (Gewinnung von Biogas) sind im Vergleich zur aeroben Behandlung (Kompostierung) relativ kostenintensiv und prozesstechnisch aufwendig. Da sich das vorliegende Projekt an KMU's in Entwicklungsländer richtet, ist aus genannten Gründen eine aerobe Behandlung möglicherweise vorteilhafter. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die durchgeführten

Kompostierungsversuche zu interpretieren und damit ein kostengünstiges, unkompliziertes und umweltfreundliches Verfahren zur Reduktion der Lederspäne und deren Umwandlung in ein biologisch stabiles Produkt zu entwickeln. Der entstehende Kompost wird auf seine Qualität und Eignung als Düngemittel untersucht. Da in Entwicklungsländern meist kaum ein Absatzmarkt für Kompost als Bodenverbesserungsmittel besteht wird der Reduktion der Abfallmengen und der Überführung in ein biologisch stabiles Produkt ein relativ hoher Stellenwert zugesprochen.

Zur Versuchsdurchführung kann grundsätzlich gesagt werden, dass bei den Kompostierungsversuchen teilweise gravierende Probleme aufgetreten sind. Die Temperaturverläufe zeigen, dass vor allem bei den Versuchen mit Stroh und Pferdemist/Stallstreu relativ starke Temperaturschwankungen aufgetreten sind und nach 120 Tagen noch kein ausreichender biologischer Abbau der Lederspäne erreicht wurde. Des Weiteren kam es zu einer erheblichen Geruchsentwicklung während der Kompostierung, wegen der die im Freien stattfindenden Versuche fast abgebrochen werden mussten. Die Produkte sind im Grossen und Ganzen seuchenhygienisch Unbedenklich und haben relativ geringe Schwermetallbelastungen, die vor allem von den Substraten herrühren.

Die erzielten Volumenreduktionen lagen bei etwa 50% und das Produkt war durchaus biologisch stabiler als die Lederspäne. Allerdings kann der erzeugte Kompost nicht zur Bodendüngung eingesetzt werden. Das ist vor allem auf das zu geringe C/N – Verhältnis (4,8–7,9) zurückzuführen.

Für die Mietenkompostierung von chromfreien Wet-White Lederspänen zu einem möglichst biologisch stabilen und wertvollen Produkt lassen sich anhand der durchgeführten Versuche nachstehende Schlussfolgerungen ziehen. Eine Monokompostierung der Lederspäne ist aufgrund des hohen N-Gehaltes (14,5%) und der geringen Struktur nicht möglich. Daher müssen die Lederspäne vor der Kompostierung mit einem C - reichen, biologisch leicht abbaubaren Substrat vermischt werden. Dabei sollte ein C/N – Verhältnis von etwa 30 eingestellt werden. Dies würde sich sowohl auf die Geruchsentwicklung, den Temperaturverlauf und vor allem auf das Endprodukt positiv auswirken. Die Wet-White Lederspäne sind nur sehr gering mit Schwermetallen belastet. Daher sind bei geeigneter Wahl der Substrate auch im fertigen Kompost keine großen Belastungen zu erwarten.

Um Wet-White Lederspäne erfolgreich zu kompostieren, sollten noch weitere Versuche durchgeführt werden. Eine mögliche Empfehlung für einen Versuch wären 5% Lederspäne mit 25% Bier-Treber und 70% Stroh zu kompostieren. Falls in der Nähe der Gerberei eine

MBA – Anlage vorhanden ist, könnten die Lederspäne auch bei geringen Anteilen (etwa 2-5%) zusammen mit den vorhandenen biogenen Abfällen kompostiert werden.

Abschließend kann noch gesagt werden, dass die aerobe Behandlung von Wet-White Lederspänen eine gute Möglichkeit der Abfallentsorgung in Gerbereien darstellen kann. Es müssen dazu aber noch weitere Versuche durchgeführt und das Verfahren optimiert werden. Vor allem in europäischen Ländern ist die derzeitige Praxis der Deponierung aus Umweltgründen nicht mehr erlaubt. Aber auch für Entwicklungsländer ist die aerobe Behandlung der Lederspäne ein anzustrebendes Verfahren, da die Abfälle verwertet werden und lokale Bauern mit günstigen Kompostdüngern versorgt werden können.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Kerry Timmins, "14th UNIDO leather panel". Dokument aus Internet, www.unido.org/doc/421615.htmls, Dezember 2000
- [2] Allen Blackman, Ph.D., "Informal Sector Pollution Control: What policy options do we have". Dokument aus Internet, Discussion paper 00-02-REV, www.rff.org, Dezember 1999
- [3] Hans Hegenauer, "Fachkunde für Ledererarbeitende Berufe". Verlag Ernst Heyer, ISBN 3-920454-23-5, 8. Auflage 2001
- [4] Reich G, „Ökologische Aspekte wichtiger Gerbverfahren“. Forschungsgemeinschaft Leder e. V., 2000
- [5] Döppert et al, „Wet White Verfahren aus heutiger Sicht“. Das Leder 45 (1994), Seiten 272 – 281
- [6] Dokument aus Internet, <http://www.leder-karsten.de/leder.htm>, 2002
- [7] J.LUDVÍK, "Chrome Balance in Leather Processing". UNIDO paper US/RAS/92/120/11-51, August 2000
- [8] Alois Püntener, „The ecological challenge of producing leather“. Jalca, vol. 90 (1995), Seite 206;
- [9] B.BICHLER, "Input/Output Analysis at GACEL S.A. Tannery". Diplomarbeit, INCO-DC project "EILT", 1999
- [10] Jakov Buljan, Solomon Sampathkumar, M. Viswanathan, „Desalting of raw hides/skins and reuse of dusted salt in pickling operation“. UNIDO paper US/RAS/92/120, 2001
- [11] Willy Fendrup, "Hair-save methods in Leather Processing". UNIDO paper US/RAS/92/120, September 2000
- [12] C.S. Cantera, J. Buljan, "Hair - a new raw material". World Leather 10, No. 7, (1997). Seite 51
- [13] S. Rydin, "Evaluation of job creation by LIFE projects in tanneries". Report to the European Commission, Dir. Gen. XI., May 1997
- [14] Z. Kořenek et al, "Hair saving liming in Koňeluňny Ltd". Otrokovice, Czech Republic. IULTCS XXIII. Congress, Friedrichshafen 15-20.5. 1995.
- [15] Dipl.-Ing. Christian Konrad, "Waste Management for the Tanning Industry". Dissertation, INCO-DC Projekt "EILT", 2001
- [16] Dr. H. Andres, „Brachenkonzept für die ledererzeugenden Betriebe Österreichs“. Umweltbundesamt Wien, ISBN 3-90127104-X, Dezember 1992
- [17] IUE 2, "Recommendations for tannery solid by-product management". Document aus Internet, www.valles.com/ageic/Solwas00.doc, 2001 updated

- [18] Jakov Buljan, "Biomethanation of fleshings and sludge". UNIDO paper, Dokument aus Internet, www.bataatha.com/technical.htm, September 2001
- [19] Dokument aus Internet, www.gelita.com/dgf-deutsch/herg.htm, 2002
- [20] Georg Schwedt, „Beiträge zur Frage der Umweltverträglichkeit von Chrom aus Leder“. 1992
- [21] Sagala J., „Herstellung und Verwertung von Eiweißhydrolysaten aus chromfreien Falzspänen“. Das Leder 45, Seiten 102 – 106, 1994
- [22] „The European Tanning Industry sustainability review“. Prepared by Contance, Dokument aus Internet, www.uneptie.org/outreach/wssd/docs/further_resources/related_initiatives/COTANCE/COTANCE.pdf, Mai 2002
- [23] "World statistical compendium for raw hides and skins, leather and leather footwear". FAO, ISBN 92-5-004574-3, 1982 – 2000
- [24] "Wastes generated in the Leather Products Industrie", UNIDO paper, prepared by C.T.C, Dokument aus Internet, www.unido.org/userfiles/timminsk/LeatherPanel14CTCwastes.pdf, 2002
- [25] Bionet, „Gegeüberstellung der Verfahren der biologischen Abfallbehandlung“. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Oktober 1993
- [26] Martin R. Pleil, „Aerobe biologische Behandlung von festen Abfällen aus Gerbereien“. Diplomarbeit, INCO-DC Projekt „EILT“, 2000
- [27] Dipl.-Ing. Matthias Bank, „Basiswissen Umwelttechnik“. Vogel Buchverlag, ISBN 3-8023-1550-2, 3. Auflage 1995
- [28] U. Krogmann, „Kompostierung: Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung“. Economica Verlag, 1994
- [29] K. Fricke, T. Turk, H. Vogtmann, „Grundlagen der Kompostierung“. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, ISBN 3-924511-45-4, 1990
- [30] James C. Forbes, Drennan Watson, „Plants in Agriculture“. Cambridge University press, ISBN 0521427916, 1992
- [31] A. Püntener, N. Gschwind „Composting of Wet White leather waste“. Jalca, vol. 90 (1995), Seite 220
- [32] Dipl. –Ing. Odorico Konrad, "Modellversuch Estrela zur Sammlung, Trennung und Behandlung von Hausmüll in Brasilien" Dissertation, 2002
- [33] Lederfabrik Vogl, „Umwelterklärung 2000“. Oberösterreich, 2000
- [34] Ralf Gottschall, „Kompostierung“. Verlag C.F. Müller Karlsruhe, ISBN 3-7880-9687-X, 1984
- [35] „Nährstoffbilanzen in Rebe und Boden“, Dokument aus Internet, www.compo-profi.de/kulturen/weinbau_naerstoff_wein.html, 2002

9 Anhang

9.1 Grundlagen der Kompostierung

Tabelle 9-1 Wertgebende Bestandteile von verschiedenen Ausgangsstoffen der Kompostierung (Mittelwerte i.d. Trockensubstanz) [25]

| Ausgangsstoff | Glühverlust [%] | C/N [-] | N [%] | P ₂ O ₅ [%] | K ₂ O [%] | CaO [%] | MgO [%] |
|-----------------------------|-----------------|---------|---------|-----------------------------------|----------------------|---------|----------|
| Küchenabfälle | 20-80 | 12-20 | 0,6-2,2 | 0,3-1,5 | 0,4-1,8 | 0,5-4,8 | 0,5-2,1 |
| Bioabfall (min./max. Werte) | 30-70 | 10-25 | 0,6-2,7 | 0,4-1,4 | 0,5-1,6 | 0,5-5,5 | 0,5-2 |
| Garten - und Grünabfälle | 15-75 | 20-60 | 0,3-2 | 0,1-2,3 | 0,4-3,4 | 0,4-12 | 0,2-1,5 |
| Hausmüll | 25-50 | 30-40 | 0,8-1,1 | 0,6-0,8 | 0,5-0,6 | 4,4-5,6 | >0,8 |
| Fäkalien menschl. | 15-25 | 6-10 | 2 | 1,8 | 0,4 | 5,4 | 2,1 |
| Abwasserschlamm (gefault) | 15-30 | 15 | 2,3 | 1,5 | 0,5 | 5,7 | 1,0 |
| Abwasserschlamm (roh) | 20-70 | 15 | 4,5 | 2,3 | 0,5 | 2,7 | 0,6 |
| Frischmist | | | | | | | |
| Rindvieh | 20,3 | 20 | 0,6 | 0,4 | 0,7 | 0,6 | 0,2 |
| Pferd | 25,4 | 25 | 0,7 | 0,3 | 0,8 | 0,4 | 0,2 |
| Schaf | 31,8 | 15-18 | 0,9 | 0,3 | 0,8 | 0,4 | 0,2 |
| Schwein | 18,0 | - | 0,8 | 0,9 | 0,5 | 0,8 | 0,3 |
| Flüssigmist | | | | | | | |
| Rind | 10-16 | 8-13 | 3,2 | 1,7 | 3,9 | 1,8 | 0,6 |
| Schwein | 10-20 | 5-7 | 5,7 | 3,9 | 3,3 | 3,7 | 1,2 |
| Huhn | 10-15 | - | 9,8 | 8,3 | 4,8 | 17,3 | 1,7 |
| Schaf, Ziege | 20-30 | - | - | - | - | - | - |
| Rübenblatt | 70 | 15 | 2,3 | 0,6 | 4,2 | 1,6 | 1,2 |
| Stroh | | 100 | 0,4 | 2,3 | 2,1 | 0,4 | 0,2 |
| Frische Rinde | 90-93 | 85-180 | 0,5-1,0 | 0,02-0,06 | 0,03-0,06 | 0,5-1 | 0,04-0,1 |
| Rindenmulch | 60-85 | 100-130 | 0,2-0,6 | 0,1-0,2 | 0,3-1,5 | 0,4-1,3 | 0,1-0,2 |
| Holzhäcksel | 65-85 | 400-500 | 0,1-0,4 | 0,1 | 0,3-0,5 | 0,5-1 | 0,1-0,15 |
| Laub | 80 | 20-60 | 0,2-0,5 | - | - | - | - |
| Schilf | 75 | 20-50 | 0,4 | - | - | - | - |
| Hochmoortorf | 95-99 | 30-100 | 0,6 | 0,1 | 0,03 | 0,25 | 0,1 |
| Pansendung | 18-40 | 20 | 1,5 | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 0,14 |
| Panseninhalte | 8,5-17 | 15-18 | 1,4 | 0,6 | 0,9 | 2,0 | 0,6 |
| Traubentrester | 80,8 | 50 | 1,5-2,5 | 1,0-1,7 | 3,4-5,3 | 1,4-2,4 | 0,21 |
| Obsttrester | 90-95 | 35 | 1,1 | 0,62 | 1,57 | 1,1 | 0,2 |
| Tabak | 85-88 | 50 | 2,0-2,4 | 0,5-6,6 | 5,1-6,0 | 5,0 | 0,45 |
| Papier | 75 | 170-800 | 0,2-1,5 | 0,2-0,6 | 0,02-0,1 | 0,5-1,5 | 0,1-0,4 |

Tabelle 9-2 Vorkommen, Aufbau und Abbaubarkeit der für die Rotte wichtigen Naturstoffe [25] (Die Abbaubarkeit nimmt von oben nach unten ab)

| Naturstoff | Vorkommen | Chem. Aufbau | Abbaubarkeit und beteiligte Organismen |
|-------------------------|--|--|--|
| Stärke | Vorherrschende Speichersubstanz in Samen, Knollen und Wurzeln | Poly-D- Glucoseketten mit sehr verschiedenen Polymerisationsgraden | Sehr schneller Abbau durch Pilze und Bakterien |
| Pektine | Mittellamelle zwischen den Zellwänden. In jungem Pflanzengewebe, besonders reichlich in Beeren, Kern- und Steinobst | Im wesentlichen aus Galakturonsäure aufgebautes Polysaccharid | Viele Pilze und Bakterien. Aktivste Zersetzer sind Sporenbildner wie Bacterium Macerane und Bacterium Polymyxa |
| Proteine | Bestandteile des Zellplasmas | Makromoleküle aus Aminosäuren | Relativ leicht abbaubar durch Pilze und Bakterien wie Baccilus, Pseudomonas, Serrativa, Flavobakt. |
| Hemizellulosen | Gerüststoffe der Zellwand (zusammen mit Zellulose und Lignin) | Polymerisate aus verschiedenen Aldosen | Abbaubarkeit variiert von relativ leicht (Arabane) bis relativ schwer (Galaktane). Der Abbau durch Aktinomyceten ist bedeutsamer als durch Pilze |
| Fette und Wachse | Pflanzen- und Tierreste | <i>Fette:</i> Glycerinester der höheren Fettsäuren <i>Wachse:</i> Fettsäuren mit primär einwertigen Alkoholen versetert | <i>Fette:</i> Viele Bakterien und Pilze wie z.B. Pseudomonas, Serratia, Aspergillus und auch Aktinomyceten <i>Wachse:</i> Bevorzugt von Bakterien |
| Chitine | Bildet das Exoskelett vieler wirbelloser Tiere und ist der Hauptbestandteil vieler Pilze | Ausgeprägte Stabilität aufgrund der von den N-Acetylseitengruppen ausgehenden N-Brückenbildungen | Viele Bakterien und Pilze |
| Cellulose | Wichtigstes Polysaccharid, Zellwandsubstanz vor allem höherer Pflanzen (z.B. Heu, Stroh, Holz; Baumwolle besteht fast zu 100% aus Cellulose) | Ketten von β -D-Glucose mit hohem Polymerisationsgrad. Hohe mechan. Festigkeit, in Wasser unlöslich | Schwer Abbaubar, vor allem durch Pilze (insbesondere bei niedrigem pH und wenn mit Lignin inkrustiert) - außerdem Aktinomyceten, Myxo- und Eubakterien |
| Lignin | Ist neben der Cellulose und den Hemizellulosen mengenmäßig bedeutendster Pflanzenbestandteil | Phenylpropanderivate mit unterschiedlichen Anteilen von p-Cumaryl- Coniferyl- und Sinapylresten | Sehr resistent und nur sehr langsam abbaubar. Vor allem höhere Pilze (Basidomyceten), aber auch Aktinomyceten und Streptomyceten |

9.2 Formeln für die Berechnung von Wassergehalt und C/N – Verhältnis [26]

Tabelle 9-3 Definitionen der verwendeten Abkürzungen in den Formeln

| Material | Masse | Wassergehalt | Kohlenstoffgehalt | Stickstoffgehalt | C/N - Verhältnis |
|----------------|-------|--------------|-------------------|------------------|------------------|
| A | m_A | g_A^W | g_A^{TOC} | g_A^N | - |
| B | m_B | g_B^W | g_B^{TOC} | g_B^N | - |
| C | m_C | g_C^W | g_C^{TOC} | g_C^N | - |
| AB (Mischung) | - | g_{AB}^W | - | - | C/N_{AB} |
| ABC (Mischung) | - | g_{ABC}^W | - | - | C/N_{ABC} |

9.2.1 Wassergehalt der Mischung bei bekannten Massen

Wassergehalt der Mischung mit zwei Materialien

$$g_{AB}^W = \frac{g_A^W \cdot m_A + g_B^W \cdot m_B}{m_A + m_B}$$

Wassergehalt der Mischung mit drei Materialien

$$g_{ABC}^W = \frac{g_A^W \cdot m_A + g_B^W \cdot m_B + g_C^W \cdot m_C}{m_A + m_B + m_C}$$

9.2.2 Masse der Materialien bei angenommenem Wassergehalt der Mischung

Masse m_B bei der Mischung von zwei Materialien

$$m_B = m_A \cdot \frac{g_A^W - g_{AB}^W}{g_{AB}^W - g_B^W}$$

Masse m_C bei der Mischung von drei Materialien

$$m_C = m_A \cdot \frac{g_A^W - g_{ABC}^W}{g_{ABC}^W - g_C^W} + m_B \cdot \frac{g_B^W - g_{ABC}^W}{g_{ABC}^W - g_C^W}$$

9.2.3 C/N – Verhältnis der Mischung bei bekannten Massen

C/N_{AB} – Verhältnis der Mischung mit zwei Materialien

$$\frac{C}{N_{AB}} = \frac{g_A^{TOC} \cdot m_A \cdot 100 \cdot g_A^W + g_B^{TOC} \cdot m_B \cdot 100 \cdot g_B^W}{g_A^N \cdot m_A \cdot 100 \cdot g_A^W + g_B^N \cdot m_B \cdot 100 \cdot g_B^W}$$

C/N_{ABC} – Verhältnis der Mischung mit drei Materialien

$$\frac{C}{N_{ABC}} = \frac{g_A^{TOC} \cdot m_A \cdot 100 \cdot g_A^W + g_B^{TOC} \cdot m_B \cdot 100 \cdot g_B^W + g_C^{TOC} \cdot m_C \cdot 100 \cdot g_C^W}{g_A^N \cdot m_A \cdot 100 \cdot g_A^W + g_B^N \cdot m_B \cdot 100 \cdot g_B^W + g_C^N \cdot m_C \cdot 100 \cdot g_C^W}$$

9.2.4 Masse der Materialien bei angenommenem C/N – Verhältnis der Mischung

Masse m_B bei der Mischung von zwei Materialien

$$m_B = m_A \cdot \frac{100 \cdot g_A^W}{100 \cdot g_B^W} \cdot \frac{C/N_{ABC} \cdot g_A^N \cdot g_A^{TOC}}{g_B^{TOC} \cdot C/N_{ABC} \cdot g_B^N}$$

Masse m_C bei der Mischung von drei Materialien

$$m_C = m_A \cdot \frac{100 \cdot g_A^W}{100 \cdot g_C^W} \cdot \frac{C/N_{ABC} \cdot g_A^N \cdot g_A^{TOC}}{g_C^{TOC} \cdot C/N_{ABC} \cdot g_C^N} = m_B \cdot \frac{100 \cdot g_B^W}{100 \cdot g_C^W} \cdot \frac{C/N_{ABC} \cdot g_B^N \cdot g_B^{TOC}}{g_C^{TOC} \cdot C/N_{ABC} \cdot g_C^N}$$

9.3 Analyse der Kompostrohstoffe

Tabelle 9-4 Chemische Analyse der Einsatzmaterialien

| Parameter | Messwerte | | | | | | Einheit |
|--|-------------|-------------|-----------------|-------------|------------------|-------------|----------|
| | Stroh | Stroh/Mist | Biogene Abfälle | Klärschlamm | Strukturmaterial | Leder-späne | |
| pH-Wert im Eluat [pH] | 6,92 | 6,79 | 7,03 | 7,07 | 7,19 | 4,03 | |
| Elektrische Leitfähigkeit im Eluat [el] | 2,27 | 3,78 | 4,64 | 2,36 | 3,36 | 3,37 | mS/m |
| Abdampfrückstand im Eluat [ADR] | 2.795 | 5.610 | 1.490 | 1.330 | 2.615 | 8.145 | mg/kg TS |
| | | | | | | | |
| Blei [Pb] | < 5 | < 5 | 21,5 | 28,85 | 36,11 | < 5 | mg/kg TS |
| Cadmium [Cd] | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | 1,68 | < 0,5 | < 0,5 | mg/kg TS |
| Chrom gesamt [Cr] | 22,32 | 19,87 | 88,97 | 184,1 | 156,2 | 22,14 | mg/kg TS |
| Kupfer [Cu] | 6,32 | 11,77 | 32,59 | 155 | 39,36 | 6,05 | mg/kg TS |
| Quecksilber [Hg] | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | mg/kg TS |
| Zink [Zn] | < 125 | < 125 | 137,4 | 1019 | 400,2 | < 125 | mg/kg TS |
| | | | | | | | |
| Gesamter org. gebundener Kohlenstoff [TOC] | 261.000 | 361.000 | 286.000 | 248.000 | 200.000 | 373.000 | mg/kg TS |
| Wassergehalt [WG] | 16,02 | 69,69 | 57,7 | 73,24 | 32,49 | 56,40 | % |
| Glühverlust [GV] | 95,72 | 88,35 | 70,95 | 56,35 | 49,50 | 97,26 | % |
| | | | | | | | |
| Kalium [K] | 3.898 | 10.407 | 9.122 | 8.763 | 10.833 | 1.437 | mg/kg TS |
| Chlor in Feststoffen [Cl] | 1.558 | 5.662 | 4.324 | 1.293 | 7.529 | 10.764 | mg/kg TS |
| Schwefel in Feststoffen [S] | 490 | 1.540 | 1.607 | 5.297 | 1.858 | 6.930 | mg/kg TS |
| Wasserstoff [H] | 5,83 | 5,17 | 4,31 | 3,95 | 3,07 | 6,10 | % |
| Phosphor gesamt [P] | 95,6 | 95,6 | 94,3 | 94,2 | 95,6 | 93,8 | % |
| Kohlenstoff [C] | 44,9 | 42,3 | 35,5 | 27,1 | 28,2 | 46,6 | % |
| Stickstoff [N] | 0,95 | 1,52 | 1,89 | 3,56 | 1,66 | 14,5 | % |

9.4 Chemische Analysen der erhaltenen Produkte

Tabelle 9-5 Chemische Analyse des Kompostes aus dem ersten Versuch

| Parameter | | Einheit | Stroh - Kompost | Stroh - Überlauf |
|--------------------------------------|----------------|----------|-----------------|------------------|
| | | | Meßwert | Meßwert |
| pH-Wert im Eluat | pH | | 6,79 | 6,86 |
| Elektrische Leitfähigkeit im Eluat | el | mS/m | 13,34 | 16,04 |
| Abdampfrückstand im Eluat | ADR | mg/kg TS | 177.000 | 496.100 |
| Blei | Pb | mg/kg TS | 6,85 | < 5 |
| Cadmium | Cd | mg/kg TS | < 0,5 | < 0,5 |
| Chrom gesamt | Cr | mg/kg TS | 82,2 | 82,6 |
| Kupfer | Cu | mg/kg TS | 16,74 | 9,50 |
| Nickel | Ni | mg/kg TS | 91,5 | 75,5 |
| Quecksilber | Hg | mg/kg TS | < 0,5 | < 0,5 |
| Zink | Zn | mg/kg TS | < 125 | < 125 |
| Gesamter org. gebundener Kohlenstoff | TOC | mg/kg TS | 272.301 | 284.227 |
| Wassergehalt | WG | % | 32,68 | 36,02 |
| Glühverlust | GV | % | 91,42 | 92,68 |
| Kalium | K | mg/kg TS | 4.927 | 4.192 |
| Chlor in Feststoffen | Cl | mg/kg TS | 9329 | 10.421 |
| Kohlenstoff | C | % | 42,1 | 42,4 |
| Stickstoff | N | % | 8,8 | 9,2 |
| Wasserstoff | H | % | 5,4 | 5,6 |
| Phosphor gesamt | P | mg/kg TS | 732 | 633 |
| Brennwert (oberer) | H _o | kJ/kg OS | 17.861 | 18.144 |
| Schwefel in Feststoffen | S | % TS | 0,89 | 0,89 |

Tabelle 9-6 Chemische Analyse des Kompostes aus dem zweiten Versuch

| Parameter | | Einheit | Stroh/Mist - Kompost | Stroh/Mist - Überlauf |
|--------------------------------------|----------------|----------|----------------------|-----------------------|
| | | | Meßwert | Meßwert |
| pH-Wert im Eluat | pH | | 7,07 | 7,21 |
| Elektrische Leitfähigkeit im Eluat | el | mS/m | 15,16 | 14,69 |
| Abdampfrückstand im Eluat | ADR | mg/kg TS | 392.600 | 379.050 |
| Blei | Pb | mg/kg TS | 6,19 | 6,78 |
| Cadmium | Cd | mg/kg TS | < 0,5 | < 0,5 |
| Chrom gesamt | Cr | mg/kg TS | 434,9 | 341,7 |
| Kupfer | Cu | mg/kg TS | 30,45 | 28,95 |
| Nickel | Ni | mg/kg TS | 289 | 290,5 |
| Quecksilber | Hg | mg/kg TS | < 0,5 | < 0,5 |
| Zink | Zn | mg/kg TS | < 125 | < 125 |
| Gesamter org. gebundener Kohlenstoff | TOC | mg/kg TS | 293.236 | 264.824 |
| Wassergehalt | WG | % | 39,81 | 42,81 |
| Glühverlust | GV | % | 85,08 | 85,24 |
| Kalium | K | mg/kg TS | 13.290 | 12.260 |
| Chlor in Feststoffen | Cl | mg/kg TS | 11.074 | 11.254 |
| Kohlenstoff | C | % | 39,5 | 39,7 |
| Stickstoff | N | % | 6,7 | 7,0 |
| Wasserstoff | H | % | 5,0 | 5,0 |
| Phosphor gesamt | P | mg/kg TS | 1944 | 2403 |
| Brennwert (oberer) | H _o | kJ/kg OS | 16.465 | 16.472 |
| Schwefel in Feststoffen | S | % TS | 1,04 | 0,91 |

Tabelle 9-7 Chemische Analyse des Kompostes aus dem dritten Versuch

| | | | Biogen - Kompost | Biogen - Überlauf |
|--------------------------------------|----------------|----------|------------------|-------------------|
| Parameter | | Einheit | Meßwert | Meßwert |
| pH-Wert im Eluat | pH | | 7,38 | 7,35 |
| Elektrische Leitfähigkeit im Eluat | el | mS/m | 7,37 | 5,66 |
| Abdampf rückstand im Eluat | ADR | mg/kg TS | 151800 | 79.000 |
| Blei | Pb | mg/kg TS | 25,35 | 24,72 |
| Cadmium | Cd | mg/kg TS | 0,64 | 0,67 |
| Chrom gesamt | Cr | mg/kg TS | 258,8 | 288 |
| Kupfer | Cu | mg/kg TS | 65,79 | 58,77 |
| Nickel | Ni | mg/kg TS | 338 | 300,5 |
| Quecksilber | Hg | mg/kg TS | < 0,5 | < 0,5 |
| Zink | Zn | mg/kg TS | 202,4 | 155,5 |
| Gesamter org. gebundener Kohlenstoff | TOC | mg/kg TS | 230.238 | 276.659 |
| Wassergehalt | WG | % | 30,83 | 34,05 |
| Glühverlust | GV | % | 61,40 | 68,08 |
| Kalium | K | mg/kg TS | 11.805 | 10.050 |
| Chlor in Feststoffen | Cl | mg/kg TS | 6765 | 8289 |
| Kohlenstoff | C | % | 30,0 | 33,7 |
| Stickstoff | N | % | 3,8 | 3,5 |
| Wasserstoff | H | % | 3,7 | 4,2 |
| Phosphor gesamt | P | mg/kg TS | 3.798 | 4.500 |
| Brennwert (oberer) | H _o | kJ/kg OS | 12.170 | 13.713 |
| Schwefel in Feststoffen | S | % TS | 0,66 | 0,63 |

Tabelle 9-8 Chemische Analyse des Kompostes aus dem vierten Versuch

| | | | Klärschlamm - Kompost | Klärschlamm - Überlauf |
|--------------------------------------|----------------|----------|-----------------------|------------------------|
| Parameter | | Einheit | Meßwert | Meßwert |
| pH-Wert im Eluat | pH | | 8,05 | 8,09 |
| Elektrische Leitfähigkeit im Eluat | el | mS/m | 7,60 | 7,41 |
| Abdampfrückstand im Eluat | ADR | mg/kg TS | 161980 | 123.100 |
| Blei | Pb | mg/kg TS | 42,11 | 30,54 |
| Cadmium | Cd | mg/kg TS | 0,72 | 0,67 |
| Chrom gesamt | Cr | mg/kg TS | 300,6 | 463,2 |
| Kupfer | Cu | mg/kg TS | 177,7 | 150,9 |
| Nickel | Ni | mg/kg TS | 459 | 810 |
| Quecksilber | Hg | mg/kg TS | < 0,5 | < 0,5 |
| Zink | Zn | mg/kg TS | 373,3 | 306 |
| Gesamter org. gebundener Kohlenstoff | TOC | mg/kg TS | 193.073 | 210.570 |
| Wassergehalt | WG | % | 34,84 | 37,68 |
| Glühverlust | GV | % | 53,12 | 55,14 |
| Kalium | K | mg/kg TS | 11.557 | 10.097 |
| Chlor in Feststoffen | Cl | mg/kg TS | 8.078 | 8.695 |
| Kohlenstoff | C | % | 26,0 | 27,5 |
| Stickstoff | N | % | 3,4 | 2,9 |
| Wasserstoff | H | % | 3,0 | 3,2 |
| Phosphor gesamt | P | mg/kg TS | 6.443 | 4.355 |
| Brennwert (oberer) | H _o | kJ/kg OS | 10.328 | 11.064 |
| Schwefel in Feststoffen | S | % TS | 0,54 | 0,57 |

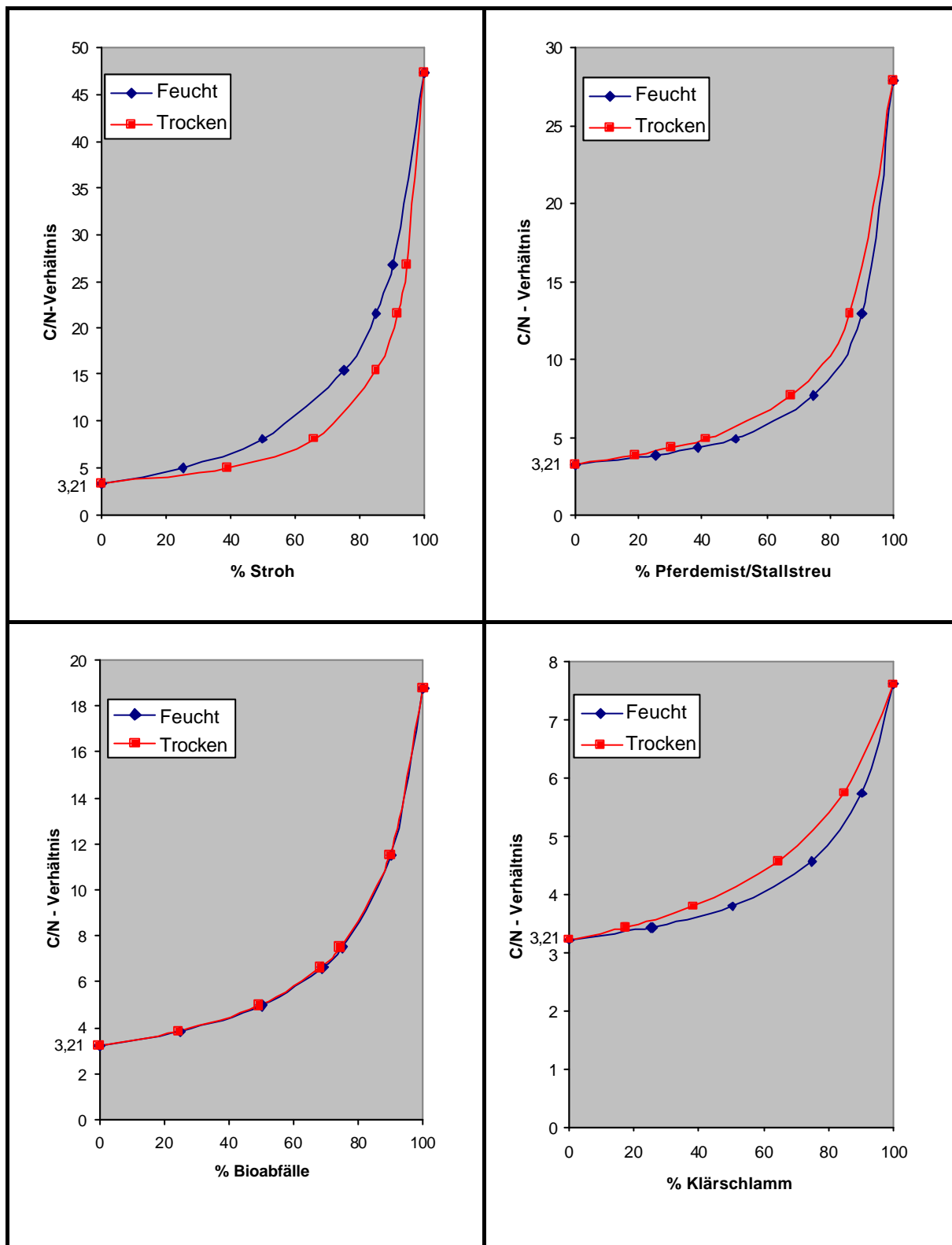


Abbildung 9-9-1
jeweiligen

C/N-Verhältnis der Versuchsansätze (Input) in Abhängigkeit vom
Massenanteil der zugesetzten Substrate

9.5 Fotos



Foto 9-1 Wet white Falzspäne der Fa. Vogel



Foto 9-2 Substrat Stroh



Foto 9-3 Substrat Stroh/Mist



Foto 9-4 Substrat Bioabfälle nach 2 Wochen Vorrotte



Foto 9-5 Substrat Klärschlamm