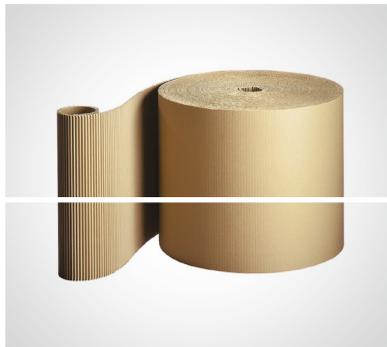
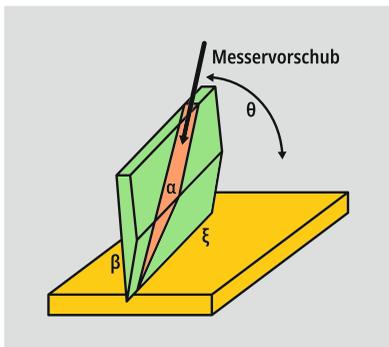


Jürgen Blechschmidt
Sabine Heinemann
Hans-Joachim Naujock

Papier- verarbeitungs- technik



2., überarbeitete und erweiterte Auflage

HANSER



Blleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Mitwirkenden

Die Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Blechschmidt, Dresden

Dr.-Ing. Sabine Heinemann, Dresden

Prof. Dr.-Ing. em. Hans-Joachim Naujock, Haag an der Amper

Die Autorinnen und Autoren

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Blechschmidt, Dresden

Dr. Ralph Derra, ISEGA Forschungs- und Untersuchungsgesellschaft mbH Aschaffenburg

Dr.-Ing. Stephan Eichhorn, Gernsheim (Rhein)

M. Sc. Marie Geißler, Papiertechnische Stiftung Heidenau

Dipl.-Kfr. (FH) Anja Groß, Papiertechnische Stiftung Heidenau

Dr.-Ing. Vera Großmann, Dresden

B. Eng. Paulina Hahn, Hochschule für Angewandte Wissenschaften München

Dr.-Ing. Sabine Heinemann, Dresden

Prof. Dr.-Ing. Inés Heinze, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Leipzig

Prof. Dr.-Ing. Eugen Herzau, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Leipzig

Nicolai Höfert, ISEGA Forschungs- und Untersuchungsgesellschaft mbH Aschaffenburg

Dipl.-Ing. Hermann Mensing, BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH
Weiherhammer

Prof. Dr.-Ing. em. Hans-Joachim Naujock, Haag an der Amper

Dipl.-Ing. Sabine Pensold, Dresden

Dipl.-Ing. Irene Pollex (†)

Dipl.-Ing. Wolfram Schinkoreit, Wald-Michelbach

Dipl.-Ing. (FH) Constanze Seidemann, Papiertechnische Stiftung Heidenau

Dr.-Ing. Alf-Mathias Strunz, Maxen

Dipl.-Ing. Lydia Tempel, Papiertechnische Stiftung Heidenau

Dr. rer. nat. Renke Wilken, Gröbenzell

Dipl.-Ing (FH) Joachim Würz, Schutterwald

Jürgen Blechschmidt (Hrsg.)
Sabine Heinemann (Hrsg.)
Hans-Joachim Naujock (Hrsg.)

Papierverarbeitungs- technik

2., überarbeitete und erweiterte Auflage

HANSER



Print-ISBN: 978-3-446-47481-9

E-Book-ISBN: 978-3-446-47844-2

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benützt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2024 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Titelmotiv: © shutterstock.com/Anatoly Vartanov; © gettyimages.de/Comezora

Satz: le-tex publishing services, Leipzig

Druck: CPI Books GmbH, Leck

Printed in Germany

Dem Nestor der Papierverarbeitungstechnik
Doz. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Tenzer gewidmet.

Inhalt

Vorwort	XIII
1 Einführung und historischer Abriss	1
2 Begriffe und Definitionen	6
3 Erzeugung von Papier, Karton und Pappe	17
3.1 Einleitung	17
3.2 Grundlagen	17
3.3 Stoffaufbereitung	23
3.4 Konstantteil	62
3.5 Papiermaschine	63
3.6 Ausrüstung von Papier und Karton	109
3.7 Zusammenfassung	113
4 Werkstoffe der Papierverarbeitungstechnik	118
4.1 Papier	118
4.2 Karton	130
4.3 Pappe	133
4.4 Folien	135
5 Verfahren der Papierverarbeitung	137
5.1 Einleitung	137
5.2 Verfahrensgruppe 1: Umformende Verfahren	140
5.3 Verfahrensgruppe 2: Trennende Verfahren	156
5.4 Verfahrensgruppe 3: Verbindende Verfahren	182
5.5 Verfahrensgruppe 4: Verfahren zur Kombination von Materialien	209

5.6	Verfahrensgruppe 5: Verfahren zur Übertragung von Informationen	219
5.7	Verfahrensgruppe 6: Verfahren zum Transport in Maschinen	243
5.8	Verfahren zum Trocknen (Trocknungstechnik)	254
5.9	Zusammenfassung und Ausblick	261
6	Prüfung von Werkstoffen und Erzeugnissen der Papierverarbeitung	265
6.1	Einführung	265
6.2	Material- und einsatzorientierte Prüfungen von Werkstoffen.	271
6.3	Prozessorientierte Prüfungen.	308
6.4	Erzeugnisorientierte Prüfungen.	314
6.5	Transportorientierte Prüfungen.	339
7	Wellpappe und Verpackungen aus Wellpappe	343
7.1	Einleitung	343
7.2	Papier, Hilfsmittel und Energie	344
7.3	Wellenarten, Wellenkombinationen und Sorten.	346
7.4	Herstellung von Wellpappe.	350
7.5	Weiterverarbeitung der Wellpappe	362
8	Erzeugung und Prüfung von Hygienepapieren	370
8.1	Einleitung	370
8.2	Begriffe und Definitionen	371
8.3	Tissue – Besonderheiten in Prozess und Eigenschaften	371
8.4	Verfahren in der Tissue-Verarbeitung.	376
8.5	Prüfung von Tissue-Produkten.	400
9	Herstellung von Faltschachteln	425
9.1	Einführung	425
9.2	Einsatzgebiete	427
9.3	Lieferformen und Bauarten.	427
9.4	Grundsätzliche Technologie bei der Herstellung von Faltschachteln.	433
9.5	Eingesetzte Packstoffe.	435
9.6	Qualitätsforderungen an Faltschachteln	441
9.7	Qualitätsforderungen an die eingesetzten Packstoffe	442

9.8	Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Faltschachtel und den Eigenschaften der eingesetzten Werkstoffe	443
9.9	Verarbeitungsprozesse bei der Herstellung von Faltschachteln	446
9.10	Gesetzliche Vorschriften und Empfehlungen	470
10	Etikettenherstellung	473
10.1	Einführung	473
10.2	Papiere zur Etikettenherstellung	475
10.3	Bogenverarbeitung zur Etikettenherstellung	476
10.4	Bahnverarbeitung zur Etikettenherstellung	481
11	Herstellung von Büchern und Broschuren	486
11.1	Einleitung	486
11.2	Grundlagen der Druckweiterverarbeitung	487
11.3	Teilprozess Bogen- und Bahnverarbeitung	490
11.4	Teilprozess Buchblock- und Broschurenherstellung	498
11.5	Teilprozess Deckenherstellung	522
11.6	Teilprozess Endverarbeitung	528
11.7	Verarbeitung nach dem Digitaldruck	531
12	Herstellung von Rundgefäßen und gewickelten Hülsen	536
12.1	Einleitung	536
12.2	Prägen von Schalen und Tellern	537
12.3	Ziehen von Stülpedeckeldosen	539
12.4	Becherherstellung	540
12.5	Herstellen von Wickelhülsen	542
12.6	Herstellung von Kombidosen	544
12.7	Herstellung von Trommeln	545
12.8	Herstellung von Eimern und Hobbocks	550
12.9	Herstellung von konischen Hülsen	551
13	Herstellung von Tüten, Beuteln und Säcken aus Papier	552
13.1	Einleitung	552
13.2	Herstellung von Tüten und Beuteln	553
13.3	Sackherstellung	559

14	Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel	567
14.1	Einführung	567
14.2	Marktentwicklung für Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel . .	570
14.3	Verpackungsmaterialien (Packstoffe) für Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel	571
14.4	Vorstufen der Packmittelherstellung für Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel	575
14.5	Abfülltechnik und Verpackungsendfertigung	577
14.6	Ökobilanz und neue Entwicklungen	580
15	Intelligente und aktive Verpackungen	584
15.1	Einleitung	584
15.2	Intelligente Verpackungen (Smart Packaging)	584
15.3	Aktive Komponenten in Verpackungen.	585
15.4	Anwendungen intelligenter und aktiver Verpackungslösungen.	586
15.5	Codierung von Verpackungen	586
15.6	Produkt- und Markenschutz (Originalität und Diebstahlschutz)	588
15.7	Relaunch und Re-Design von Verpackungen	589
15.8	Intelligente und aktive Funktionen durch Sonderlösungen	590
15.9	Das Pharmaetikett wird intelligent	595
15.10	Fazit und Ausblick	597
16	Recycling von faserbasierten Verbundmaterialien	601
16.1	Definition und Abgrenzung faserbasierter Verbundmaterialien	601
16.2	Juristische Rahmenbedingungen für das Recycling von faserbasierten Verbundmaterialien.	605
16.3	Recyclinginfrastruktur und Verwertungsoptionen für faserbasierte Verpackungen	608
16.4	Herausforderungen bei der Erfassung und Sortierung faserbasierter Verbundmaterialien.	611
16.5	Herausforderung bei der stofflichen Verwertung faserbasierter Verbundmaterialien.	616
16.6	Ausblick	624

17	Rechtliche Anforderungen an die Analytik von Papier und Karton	..628
17.1	Einleitung	..628
17.2	Rechtliche Grundlagen	..628
17.3	Migration	..641
17.4	Analysenparameter im Wasserextrakt	..648
17.5	Gehaltsanalytik	..653
17.6	Sensorik	..657
17.7	Zusammenfassung, Ausblick	..660
	Stichwortverzeichnis	..663

Vorwort

Vor Ihnen liegt die zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage des Fachbuchs **Papierverarbeitungstechnik**. Die erste Auflage ist im Jahr 2013 erschienen, 24 Jahre nach dem letzten umfassenden, deutschsprachigen Fachbuch zur Thematik aus dem Jahre 1989, das damals vom Nestor der Papierverarbeitungstechnik in Deutschland, Dozent *Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Tenzer* herausgegeben wurde. Die erste Auflage hat bereits eine gute Resonanz gefunden. Nun, zehn Jahre später, soll die neue Auflage sowohl das Bestandswissen weitergeben als auch neuen Entwicklungen Rechnung tragen.

Die **Papierverarbeitungstechnik** und die **Verpackungstechnik** sind Teildisziplinen des ingenieurwissenschaftlichen Gesamtgebietes der **Verarbeitungstechnik**, deren Aufgabe die Analyse, Synthese und industrielle Realisierung aller stoffformenden, form- und lageabhängigen Prozesse im Bereich der Stoffwirtschaft ist. Die Papierverarbeitungstechnik nutzt die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten und Arbeitsmethoden und wendet sie auf die Herstellung von Fertigprodukten aus Papier, Karton und Pappe an.

Die Anzahl der eingesetzten Werkstoffe, der genutzten Verfahren und erzeugten Produkte ist außerordentlich breit und vielgestaltig. Die wirtschaftliche Bedeutung ist groß, insbesondere durch die industriell angewandten Technologien der Wellpappenerzeugung, der Herstellung von Faltschachteln und Tissue-Produkten und anderen. In den letzten Jahren hat das Fachgebiet eine starke Entwicklung erfahren, angetrieben unter anderem durch die Weiterentwicklung der Verbundwerkstoffe zur Ablösung von Kunststoff sowie durch die Steigerung des Verbrauchs und der variablen Gestaltung von Verpackungen für den Versandhandel.

Im Gegensatz zur handwerklichen Papierverarbeitung mangelt es an wissenschaftlicher Durchdringung und publizistischer Darstellung der industriellen Papierverarbeitung, was sich teilweise durch die Vieldeutigkeit der Begriffe und die hohe Mannigfaltigkeit der Verfahren und Produkte erklären lässt.

Die zweite Auflage des Fachbuchs gibt als Nachschlagewerk den neuesten Stand der Technik unter Nutzung umfangreichen Bildmaterials und zahlreicher Tabellen wieder. Zur Bearbeitung der Breite des Fachgebiets und Gewährleistung der erforder-

derlichen Kompetenz konnten erneut ausgewiesene Fachexperten als Autorinnen und Autoren gewonnen werden, die teilweise bereits an der ersten Auflage mitgewirkt hatten. Durch die Vielfalt der Werkstoffe, Verfahren und Produkte der Papierverarbeitungstechnik spricht das Fachbuch – wie bereits die erste Auflage – einen breiten Leserkreis an.

Dresden, Januar 2024

Die Herausgeber

1

Einführung und historischer Abriss

Von Jürgen Blechschmidt

Die **Papierverarbeitungstechnik** ist als ein stoffbezogenes Teilgebiet der **Verarbeitungstechnik** anzusehen. Ausgehend von den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten und Arbeitsmethoden der Verarbeitungstechnik und gegebenenfalls auch der Verfahrenstechnik, befasst sie sich mit den speziellen Problemen der **Verarbeitung von Papier, Karton und Pappe**. Diese Prozesse laufen nicht nur innerhalb der papierverarbeitenden Betriebe ab, sondern auch bei der Papierherstellung und Papierveredelung (z. B. Längs- und Querschneiden, Beschichten) sowie beim Einsatz der vorgefertigten Erzeugnisse (z. B. maschinelles Verpacken von Gütern in Schachteln).

Die Papierverarbeitungstechnik liefert **wissenschaftliche Grundlagen** insbesondere für

- die Gestaltung der Erzeugnisse aus Papier, Karton und Pappe,
- die Gestaltung der Prozesse zur Herstellung von Erzeugnissen aus Papier, Karton und Pappe,
- die Konstruktion von Maschinen für die Verarbeitung von Papier, Karton, Pappe und daraus hergestellten Erzeugnissen [1.1].

Das **Sortiment** der Erzeugnisse weist eine außerordentliche Vielfalt auf und erfasst Bereiche der Industrie und des persönlichen Lebens. Es reicht von Druckerzeugnissen über Verpackungsmittel, technische Mittel, Haushalts- und Hygieneartikel, Tapeten bis zu Spielkarten und Geldscheinen.

Die Gemeinsamkeit aller Bereiche der Papierverarbeitung liegt einerseits im Sortiment der zur Verfügung stehenden Werk- und Hilfsstoffe, andererseits in den möglichen Verarbeitungsverfahren. Für die Herstellung der speziellen Erzeugnisse sind damit die notwendigen Verarbeitungsprozesse zu gestalten. Während dafür zunächst nur Maschinen für einzelne Verfahren zur Verfügung standen, wurden vor rund 75 Jahren bereits die ersten kombinierten Maschinen und Anlagen in Betrieb genommen, z. B. Druck und Stanzautomaten und Kappenschachtel-Fließanlagen [1.2].

Eine besonders enge Verknüpfung der Papierverarbeitungstechnik besteht zur grafischen Technik und Verpackungstechnik mit ihren vielseitigen Erzeugnissen aus Papier, Karton und Pappe. Die **grafische Technik** und die heutige **Druckindustrie** besitzen eine lange Tradition. Die Erzeugnisse dienen dem Informationsaustausch, indem sie optisch wahrnehmbare, zeitlich fixierte Informationsträger vervielfältigen. Sie sind damit gleichzeitig Bestandteil der Informationstechnik [1.3].

Die **Verpackungstechnik** und die heutige Verpackungsmittel herstellende und anwendende Industrie sind eng mit dem zunehmenden Warenangebot und Warenaustausch verbunden. **Aufgabe der Verpackung** ist es, zwischen Erzeuger und Nutzer der Waren

- das verpackte Gut und die Umgebung des Gutes vor Verlusten und schädlichen Einwirkungen zu schützen,
- die Prozesse vom Verpacken über Lagerung, Transport, Verkauf und Gebrauch des Gutes zu rationalisieren,
- als Informationsträger die Kommunikation zu unterstützen [1.4].

Das vorliegende Buch soll einerseits einen Überblick über das Gesamtgebiet ermöglichen, andererseits grundlegende Erkenntnisse über die wichtigsten Verarbeitungsverfahren vermitteln. Im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen dabei die **Wirkpaarung** als kleinstes Teilsystem bei der Verarbeitung eines Stoffes und die **Zustandsänderungen** des Verarbeitungsgutes. Die **Wirkpaarungstechnik** stellt die Verbindung zwischen geforderten stofflichen Veränderungen, für die Verarbeitung bedeutungsvollen Stoffeigenschaften und den anwendbaren technischen Mitteln her [1.5]. Die Wirkpaarung besteht aus dem **Arbeitsorgan** und dem **Verarbeitungsgut**, wobei durch gezielte Einwirkung des Arbeitsorgans auf das Verarbeitungsgut eine entsprechende Zustandsveränderung herbeigeführt wird [1.1].

Die **Hauptverfahren der Papierverarbeitung** sind [1.6]:

- umformende Verfahren (wie Prägen, Rillen und Wellenformen),
- trennende Verfahren (wie Schneiden und Stanzen),
- verbindende Verfahren (wie Kleben),
- Verfahren zur Kombination von Materialien (wie Beschichten, Imprägnieren, Laminieren),
- Verfahren zur Informationsübertragung (wie Drucken),
- Verfahren zum Transport in Maschinen (wie Zuführung des Verarbeitungsgutes zu den einzelnen Prozessschritten von der Rolle oder vom Bogen).

Die **industrielle Nutzung der Verfahren** ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung, vor allem bei folgenden Produkten [1.6] [1.7]:

- Wellpappe oder gewelltes Papier,
- Verpackungen aus Wellpappe oder gewelltem Papier,
- Verpackungen aus Karton und Vollpappe,
- Haushalts- und Hygieneartikel,
- buchbinderische Erzeugnisse,
- Papiersäcke,
- Beutel, Tüten, Tragetaschen,
- Rundgefäße und gewickelte Hülsen,
- flexible Verpackungen,
- Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel,
- Sicherheitspapierprodukte (z. B. Banknotenpapierprodukte),
- Hartpapierwaren für Verpackungszwecke,
- Etiketten,
- Bürohilfsmittel und weitere.

Historie

Die Geschichte der **Beschreibstoffe**, des Papiers und seiner Erzeugung ist eingehend erforscht und dokumentiert. Zahlreiche Publikationen liegen dazu vor [1.8] [1.9].

Bei der Geschichte der **Papierverarbeitung** sieht es anders aus. Die Vielzahl der unterschiedlichen Produkte, Verfahren und Prozesse ermöglichen kein einheitliches Geschichtsbild. Bei Recherchen in der Literatur finden sich bis Ende des 20. Jahrhunderts nur wenige Ansätze.

Mit den Arbeiten von *Heinz Schmidt-Bachem* entstehen erstmals zusammenfassende Darstellungen der Geschichte der Papierverarbeitung [1.10] [1.11] [1.12]. Die Zusammenfassung der Dissertation von *Schmidt-Bachem* ist ein ausgezeichnete historischer Abriss und deshalb hier wörtlich übernommen [1.10].

*„Die Papier, Pappe und Kunststoffe verarbeitende Industrie bildet zusammen mit der Papiererzeugung und der Druckindustrie einen der drei Teilbereiche der **Papierwirtschaft**. Der Anteil der Papierverarbeitung am Gesamtumsatz der Papierwirtschaft liegt seit vielen Jahrzehnten durchgehend an zweiter Stelle hinter der Druckindustrie und vor der Zellstoff und Papier erzeugenden Industrie. Seit Ende des 14. Jahrhunderts war die Papier- und Pappeverarbeitung in Deutschland ausschließlich eine Angelegenheit des zunftgebundenen Handwerks. Ende des 18. Jahrhunderts gingen Teilbereiche zur **manufakturrellen Produktionsform** über. Sie gehörten im Übergang zum Fabrikzeitalter des 19. Jahrhunderts zu den begründenden Sparten der Papier und Pappe verarbeitenden Industrie. Ab der zweiten Hälfte*

der 1850er Jahre entwickelte sich die **spartenübergreifende Papierwarenindustrie**. Damit verbunden war die Bildung einer definitorischen Mehrdeutigkeit, die vor allem eine übersichtliche, klar gegliederte Darstellung der Branche nachhaltig erschwerte. Einige Bereiche (u. a. Tapeten, Buntpapiere) blieben weiterhin **branchengebundene Wirtschaftszweige** und wurden – insbesondere mit ihrem kulturgeschichtlichen Hintergrund – in der Literatur ausgiebig gewürdigt. Andere Bereiche wurden neu begründet (u. a. Papiergarn, Zigarettenpapier, Tragetaschen). Sie wurden trotz (wegen?) ihres massenphänomenalen Auftritts öffentlich jedoch kaum zur Kenntnis genommen.

Die Anfänge der Ausweitung hin zur Papier, Pappe und Kunststoffe verarbeitenden Industrie reichen über den vielseitigen, halbsynthetischen Werkstoff Papiermasse/-maché bis ins 18. Jahrhundert zurück. Seit dem ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts bilden die Werkstoffe Papier und vollsynthetische Kunststoffe (Bakelit) u. a. über die Hartpapier-Produktion einen Verbund. Nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges setzten sich **Kunststoffe** (vor allem Polyethylen/-Folie) als gleichberechtigte Werkstoffe in der Papier und Pappe verarbeitenden Industrie durch. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts war die Papier und Pappe verarbeitende Industrie insbesondere über den Bereich **Verpackungsmittel** der größte Abnehmer der Kunststoffe herstellenden Industrie.

Die Papier, Pappe und Kunststoffe verarbeitende Industrie gehört zu den Ökonomiebereichen, in denen sich die wirtschafts- und sozialgeschichtlichen, aber auch die kultur-, alltags-, politik- und zeitgeschichtlichen Veränderungen des 19., 20. und 21. Jahrhunderts z. B. über die Themenkomplexe Konsum, Kommunikation, Verwaltung, Natur, Umwelt, Klimaschutz usw. in besonderer Weise widerspiegeln. Die Entstehung und Entwicklung der industriellen Papierverarbeitung ist als historische Fragestellung bislang weder umfassend erforscht noch in allgemeiner Form dargestellt worden. Sie ist selbst im Forschungsbereich Papiergeschichte ein weitgehend unbeachtetes Thema geblieben. Die wissenschaftliche und publizistische Gering-schätzung der industriellen Papierverarbeitung – im Gegensatz zur handwerklichen – erklärt sich weitgehend durch die Vieldeutigkeit des Begriffes, durch die Vielschichtigkeit ihres Angebotes und nicht zuletzt durch ihre mangelnde Nähe zur Hochkultur oder zum vordergründig Spektakulären der Schwerindustrie.“

Die zunehmende **Industrialisierung der Papierverarbeitungstechnik** und die daraus resultierenden Anforderungen an das Personal führten notwendigerweise zur Schaffung entsprechender Ausbildungsstätten. So wurden beispielsweise seit 1934 an der **Kartonagenfachschule Altenburg** in einem drei- bis viersemestri-gen Studium Kartonagentechner ausgebildet. In der daraus hervorgegangenen **Ingenieurschule** begann 1950 zunächst die Ausbildung von Technikern der Papierverarbeitung, bereits 1953 verließen die ersten sechs Studenten die Ausbildungsstätte als Ingenieure der Papierverarbeitung und Verpackungstechnik. In München wurden am **Oskar-von-Miller-Technikum** ab diesem Zeitpunkt ebenfalls Kartonagentechner und Ingenieure ausgebildet [1.13].

Heute ist die Papierverarbeitungstechnik, meist in Verbindung mit der Papiertechnik, grafischen Technik oder Verpackungstechnik, an Technischen Universitäten, Fachhochschulen (Universities of Applied Sciences), Dualen Hochschulen und berufsbildenden Ausbildungsstätten ein anerkanntes, wissenschaftlich fundiertes Lehrgebiet.

Literaturverzeichnis

- [1.1] *Tenzer, H.-J.*: Leitfaden der Papierverarbeitungstechnik. Leipzig: Fachbuchverlag 1989
- [1.2] *Isheim, R.; Rothe, M.*: Menschen - Leben - Maschinen. Gestanzte Geschichte: 111 Jahre mit KAMA. Dresden: KAMA GmbH (Hrsg.) 2005
- [1.3] *Rausendorff, D.*: Grafische Technik - leicht verständlich. Leipzig: Fachbuchverlag 1989
- [1.4] *Dietz, G.; Lippmann, R. (Hrsg.)*: Verpackungstechnik. Leipzig: Fachbuchverlag 1985
- [1.5] *Goldhahn, H.*: Zur Ausarbeitung allgemeingültiger Grundlagen der Verarbeitungstechnik. Wiss. Zeitschrift der Techn. Universität Dresden 29 (1980) 1, 149-155
- [1.6] *Wilken, R.*: Papierverarbeitungstechnik. In: *Blechschmidt, J.; Naujock, H.-J. (Hrsg.)*: Taschenbuch der Papiertechnik. Kapitel 14, S. 547-605, 3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, München: Carl Hanser Verlag 2021
- [1.7] *Wilken, R.*: Die Welt der Papierverarbeitung. Wochenblatt für Papierfabrikation 140 (2012):2, 90-94
- [1.8] *Weiß, W.*: Zeittafel der Papiergeschichte. Leipzig: Fachbuchverlag 1980
- [1.9] *Blechschmidt, J.*: Einführung - Historischer Abriss. In: *Blechschmidt, J.; Naujock, H.-J. (Hrsg.)*: Taschenbuch der Papiertechnik. Kapitel 1, S. 1-12, 3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, München: Carl Hanser Verlag 2021
- [1.10] *Schmidt-Bachem, H.*: Beiträge zur Industriegeschichte der Papier-, Pappe- und Folienverarbeitung in Deutschland. Dissertation Düren 2009
- [1.11] *Schmidt-Bachem, H.*: Tüten, Beutel, Tragtaschen - Zur Geschichte der Papierverarbeitungstechnik. Münster: Waxmann Verlag 2001
- [1.12] *Schmidt-Bachem, H.*: Aus Papier. Eine Kultur- und Wirtschaftsgeschichte der Papier verarbeitenden Industrie in Deutschland. Berlin, New York: De Gruyter Saur, 2011
- [1.13] Förderverein P2V-Zentrum Altenburg e. V.: 75 Jahre Kartonagenschule in Altenburg. Festschrift 2009

2

Begriffe und Definitionen

Von Jürgen Blechschmidt

Zur einheitlichen Anwendung sind unter Nutzung der aktuellen Normen DIN 6730 [2.1] und ISO 4046 [2.1] sowie verschiedener Literaturquellen [2.3] [2.4] [2.5] [2.6] [2.7] [2.8] [2.9] [2.10] [2.11] [2.12] [2.13] [2.14] [2.15] wichtige Begriffe zusammengefasst. Ausgewählte Begriffe zu Werkstoffen bzw. Papier-, Karton- und Pappesorten, die in der ersten Auflage auch in diesem Kapitel enthalten waren, sind jetzt ausschließlich in Kapitel 4 erläutert.

Abscheiden: mechanisches Trennverfahren mit dem Ziel der weitestgehenden Trennung von Phasen (z. B. fest-flüssig). Im Falle einer Stoffsuspension bedeutet Abscheiden die Entfernung eines oder mehrerer Bestandteile aus einem Stoffgemisch.

Altpapier: Oberbegriff für papierene Flächengebilde (Papier, Karton und Pappe) und Produkte daraus, die außerhalb ihres Produktionsprozesses nach Verarbeitung und Gebrauch anfallen und für eine Wiederverwendung (Recycling) geeignet sind. Altpapier ist mengenmäßig der wichtigste Rohstoff der Papierindustrie.

Altpapierstoff: Faserstoff aus Altpapier für die Erzeugung von Papier (siehe dort, Abschnitt 4.1), Karton (siehe dort, Abschnitt 4.2) und Pappe (siehe dort, Abschnitt 4.3), der vor seiner Verwendung intensiven Reinigungsprozessen in der Stoffaufbereitung unterworfen wird. Altpapierstoff aus bedrucktem Papier, dem die Druckfarbe durch Deinking (siehe dort) entzogen wurde, nennt man Deinkingstoff.

Bahn: im Vergleich zum Blatt (siehe dort) endloses papiernes Flächengebilde während der Herstellung oder Verarbeitung.

Bedruckbarkeit: Gesamtheit der Eigenschaften eines Bedruckstoffs (siehe dort), z. B. Papier, die ihn für das Bedrucken in einem bestimmten Druckverfahren geeignet machen.

Bedruckstoff (= Druckträger): geeignetes Material, z. B. Papier, das in verschiedenen Druckverfahren mithilfe von Druckform, Presskörper und Druckfarbe bedruckt werden kann.

Bedruckstoffverarbeitung (Bedruckstoffweiterverarbeitung): Prozessstufe der polygrafischen Industrie und verwandter Produktionszweige nach der Druckformenherstellung und dem Auflagedruck (Papierverarbeitung, Verpackungsmittelindustrie usw.), in der die Druckerzeugnisse in ihre endgültige Form gebracht werden oder in der spezielle Buchbindererzeugnisse und Papierwaren hergestellt werden.

Beschichten: Hauptgruppe von Fertigungsverfahren nach DIN 8580 zum Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff auf die Oberfläche eines Flächengebildes, sodass eine geschlossene Schicht entsteht. Für papierne Flächengebilde kommen besonders die Beschichtung aus dem flüssigen Zustand (z.B. Streichen, siehe dort) und aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand (z.B. Vakuumbedampfen) zur Anwendung (siehe auch beschichtetes Papier, Abschnitt 4.1).

Biegen (Biegeumformen): zur Hauptgruppe des Umformens gehörendes Fertigungsverfahren nach DIN 8580. Dabei wird das Verarbeitungsgut um eine Biegekante mit definiertem Radius bis zu einem vorgegebenen Biegewinkel verformt.

Blatt: im Vergleich zur Bahn (siehe dort) formatiertes papiernes Flächengebilde (siehe dort) im ungefalteten Zustand, kleiner als Format (siehe dort) DIN A3. Einzelblätter im Format DIN A3 und größer werden üblicherweise als Bogen (siehe dort) bezeichnet.

Blattbildung: Gesamtmechanismus der Vorgänge und Reaktionen, die von der Faserstoffsuspension zum feuchten Blatt führen, technologische Zustandsveränderung (im Zusammenhang mit kontinuierlichen Prozessen in der Papier- oder Kartonmaschine eigentlich richtiger Bahnbildung).

Blattformation: siehe Formation.

Blattstruktur: dreidimensionale Zuordnung der Fasern und Füllstoffe im Blatt zueinander.

Blisterpack-Verfahren: Bezeichnung für ein Verpackungsverfahren zum Herstellen von Schaupackungen für Stückgüter, indem diese Güter zwischen einer ebenen beschichteten und bedruckbaren Pappunterlage und einem meist aus Klarsichtfolie geformten Oberteil eingeschlossen werden.

Bogen: übliche Bezeichnung für ein einzelnes Blatt (siehe dort) im Format (siehe dort) DIN A3 und größer.

Curl: Rollneigung eines Formatpapiers (sheet curl) oder Faserkräuselung (fiber curl).

Deinking: Verfahren zur Entfernung von Druckfarben aus der Suspension zerfaserten Altpapiers. Deinking ist die wichtigste Verfahrensstufe bei der Aufbereitung bedruckter heller Altpapiere zur Weiterverarbeitung in grafischen Papieren (siehe dort, Abschnitt 4.1) und Hygienepapieren (siehe dort, Abschnitt 4.1).

Druckform: Informationsträger, der die partielle Beschichtung eines Bedruckstoffes mit Druckfarbe zur Vervielfältigung der materiellen Gestalt optisch wahrnehmbarer, zeitlich fixierter Informationen ermöglicht. Der Informationsträger besitzt diese Eigenschaft selbst oder steuert die partielle Beschichtung des Bedruckstoffes. Die Druckform repräsentiert das Charakteristische eines Druckverfahrens.

Druckmaschine: Verarbeitungsmaschine, die den Druckprozess realisiert. Sie besteht im Wesentlichen aus dem Druckwerk, dem Farbwerk und den Elementen zur Bedruckstoffförderung.

Druckprozess: Prozess innerhalb der Polygrafie, bei dem eine Informationsübertragung von der Druckmaschine mithilfe von Druckformen durch partielles Beschichten der Bedruckstoffbogen oder -bahnen mit meist flüssiger Druckfarbe ausgeführt wird.

Druckträger: siehe Bedruckstoff.

Druckverfahren: technologisches Verfahren für die mechanische Bild- oder Textvervielfältigung durch Übertragen von Farbe auf den Bedruckstoff.

einseitig glatt: Bezeichnung für den Zustand eines Papiers, das in der Papiermaschine u. a. auf einem Glättzylinder getrocknet wird und deshalb auf einer Seite eine deutlich glattere Oberfläche aufweist als auf der anderen.

Falzen: Biegen eines Verarbeitungsgutes an einer nicht vorbereiteten oder einer durch z. B. Rillen vorbereiteten Stelle bei gleichzeitiger Einwirkung von Druck, so dass an der Biegestelle eine irreversible Gefügeveränderung eintritt und damit die Rückfederung auf nahezu null herabgesetzt wird.

Farbwerk: Baugruppe in der Druckmaschine, welche die Druckform mit Druckfarbe versorgt.

Faserguss: Herstellung von dreidimensionalen Faserformteilen (z. B. Eierverpackungen) mit hohem Aufwand für die Herstellung der Formwerkzeuge.

Faserorientierung: Ausrichtung der Fasern im papierenen Flächengebilde.

Faserstoff: meist aus Pflanzenfasern gewonnene Stoffkomponenten der Papierherstellung.

flächenbezogene Masse: Masse eines Blatts, eines Bogens oder einer Bahn aus Papier, Karton oder Pappe, bezogen auf eine Fläche von einem Quadratmeter, angegeben in g/m^2 .

Format, Papierformat: Kennzahl für die Größe der Fläche eines Blattes oder Bogens. Nach DIN EN ISO 216 ist das Grundformat (DIN A0) mit einer Fläche von 1 m^2 festgelegt ($841 \text{ mm} \times 1189 \text{ mm}$). Mit aufsteigender Kennzahl (DIN A1 usw.) halbiert sich jeweils die Größe der Fläche bei gleichbleibendem Längenverhältnis der Seiten $1:\sqrt{2}$.

Formation (= Blattformation): nach ISO 4046 räumliche Verteilung der Fasern im Papier als Ergebnis des Prozesses der Blattbildung (siehe dort). Die resultierenden kleinflächigen, stochastischen Masseschwankungen mit Wellenlängen bis 100 mm sind messbar und werden zur Quantifizierung der Formation herangezogen.

Former: Bahnbildungsvorrichtung, bei der zumindest streckenweise keine freie Gegenfläche gegen Luft zum Faservlies existiert.

Fügen: Hauptgruppe der Fertigungsverfahren, bei der das Zusammenbringen von zwei oder mehreren Werkstücken oder von Werkstücken mit formlosem Stoff erfolgt. Beim Fügen wird ein örtlicher Zusammenhalt geschaffen, und es entstehen lösbare oder unlösbare Verbindungen, die Kräfte und Momente übertragen können. Der Verbindungsmechanismus kann formschlüssig, kraftschlüssig oder stoffschlüssig sein.

Füllstoff: meist weiße, feine, in Wasser unlösliche anorganische Stoffe mineralischer Herkunft oder als Ergebnis einer Fällungsreaktion entstandene Partikel zum Erzielen besonderer Eigenschaften, die dem Halbstoff während der Stoffaufbereitung zugegeben werden.

geleimt: Bezeichnung für ein papiernes Flächengebilde (siehe dort), dessen Wasseraufnahmevermögen durch Zusatz von Leim oder anderen Additiven verringert wurde (Gegensatz: ungeleimt (siehe dort)).

Grammatur: flächenbezogene Masse (siehe dort).

Heften: Fügen (siehe dort) des Verarbeitungsgutes mit Drahtklammern (Drahtheften) oder mit Faden (Fadenheften), sodass eine unlösbare Verbindung entsteht.

holzfrei: übliche Bezeichnung für Papier, Karton und Pappe mit einem maximalen Anteil an Holzstoff von 5%. Die richtigere Bezeichnung wäre „holzstofffrei“ (im vorliegenden Buch verwendet).

holzhaltig: Übliche Bezeichnung für Papier, Karton und Pappe, dessen Faserstoffanteil zu mehr als 5% aus Holzstoff besteht. Die richtigere Bezeichnung wäre „holzstoffhaltig“ (im vorliegenden Buch verwendet).

Holzstoff (mechanical pulp): Bezeichnung für durch mechanische Zerfaserung von Holz gewonnener Faserstoff, unabhängig vom Zerfaserungsverfahren.

- **Stein-Holzschliff (stone groundwood):** durch mechanische Zerfaserung von Rundholz auf einem Schleiferstein gewonnener Faserstoff.
- **Refiner-Holzstoff (refiner mechanical pulp):** durch mechanische Zerfaserung von Hackschnitzeln in einem Refiner (Scheibenmühle) gewonnener Faserstoff.

Imprägnieren: Ein- oder Aufbringen von Teilchen eines formlosen Stoffes auf bzw. in das Fasergefüge, ohne dass eine geschlossene Schicht entsteht (siehe auch imprägniertes Papier, Abschnitt 4.1).

intelligente Verpackung: Packmittel (siehe dort) mit bestimmten funktionalen Eigenschaften, die z. B. in Wechselwirkung mit bestimmten Eigenschaften des Packgutes (siehe dort) zur Verbesserung bzw. Optimierung der Nutzung des Packmittels und/oder des Packguts dienen. Es gibt derzeit keine exakte Definition für diese Art von Verpackungen, ihr wachsender Anteil und die laufende Weiterentwicklung und Erweiterung einbringbarer Funktionen in das Packgut lässt eine dynamische Entwicklung der Definition für intelligente Verpackungen erwarten (siehe auch Kapitel 15).

Kalandrieren: Satinieren (siehe dort).

Kartonage: Begriff aus der Verpackungstechnik und Oberbegriff für Packmittel (siehe dort) aus Karton (siehe dort, Abschnitt 4.2) oder Pappe (siehe dort, Abschnitt 4.3).

Kaschieren: Vereinigen vorgefertigter Flächengebilde mithilfe eines Kaschiermittels oder aufgrund des thermoplastischen Verhaltens des Verarbeitungsgutes, wobei Verbundwerkstoffe (siehe dort) entstehen.

Keilschneiden: Trennen (siehe dort) des Verarbeitungsgutes mithilfe eines keilförmigen, meist gegen eine Schneidunterlage arbeitenden Flach- oder Rundmessers.

Klassieren: in der Verfahrenstechnik Trennen (siehe dort) eines dispersen Feststoffgemischs (Faserstoffs) in mindestens zwei Fraktionen, vorzugsweise nach den Kriterien Teilchengröße oder -form, wobei bei einer idealen Trennung die Untergrenze der einen Fraktion zugleich die Obergrenze der anderen Fraktion ist.

klebende Bestandteile: bei der Verarbeitung von Primär- und Sekundärfaserstoffen auftretende, im Sinne des Recyclings in der Regel unerwünschte Bestandteile (Stickies und Störstoffe).

Kunststoffolie (Plastikfolie): dünne, flächige, flexible, aufwickelbare Bahn, hergestellt aus dafür geeigneten Kunststoffen, z. B. Polyethylen oder Polypropylen (siehe Abschnitt 4.4).

Lage, Faserstofflage: bei gegautschten oder gewickelten papiernen Flächengebilden Benennung für die einzelne Faserstoffbahn; die außen liegenden Lagen werden **Decklage** bzw. **Rückenlage** genannt.

Längsprofil: Verteilung einer Messgröße, vorzugsweise der flächenbezogenen Masse, in Längsrichtung (siehe dort) über die gesamte Länge der aufgerollten Bahn eines papiernen Flächengebildes; gilt als Indikator für die Gleichmäßigkeit der Stoffzuführung am Stoffauflauf, beeinflusst durch Stoffdichteschwankungen und/oder Druckpulsationen.

Längsrichtung: Richtung, in der die Bahnbildung auf der Papier- oder Kartonmaschine erfolgt, im Allgemeinen die bevorzugte Richtung der Faserorientierung im

papierenen Flächengebilde. Als Synonyme sind die Begriffe **Laufrichtung** und **Maschinenrichtung** bekannt.

Laufrichtung: siehe Längsrichtung.

lufttrocken (lutro): Bezeichnung für den Zustand eines Faserstoffs (siehe dort) nach der Trocknung, dessen Feuchtegehalt im thermodynamischen Gleichgewicht zum Feuchtegehalt der umgebenden Luft steht.

maschinenglatt: Bezeichnung für den Zustand eines Papiers nach Behandlung im Glättwerk am Ende der Papiermaschine, wobei beide Seiten des Papiers mit einer bestimmten Oberflächenstruktur (Glätte) versehen werden.

Maschinenrichtung: siehe Längsrichtung.

Mutterrolle: am Ende einer Papier-, Karton- oder Tissue-Maschine bis zum Durchmesser von 1 bis 3,5 m aufgerollte Bahn, deren Breite der unbeschnittenen Arbeitsbreite der betreffenden Maschine entspricht (zwischen 2 und 10 m). Sie ist Ausgangsmaterial für alle nachfolgenden Verarbeitungsprozesse und wird fälschlicherweise im allgemeinen Sprachgebrauch mit Tambour (siehe dort) bezeichnet.

naturfarbig: in der Papier-, Karton- und Pappenherstellung Bezeichnung für die Farbe des Erzeugnisses, die aus dem verwendeten Faserstoff ohne zusätzliche Verwendung von Farbstoffen oder optischen Aufhellern herrührt, also „naturbelassen“ ist.

Nuten: Verfahrensschritt zur Vorbereitung einer Biegestelle durch Ausheben eines Spans aus einer Pappe.

Oberseite: in einer Langsiebpapiermaschine die oben befindliche, der Siebseite (siehe dort) entgegengesetzte Seite des Papiers oder Kartons.

ofentrocken (otro): Bezeichnung für den Zustand eines Faserstoffs (siehe dort) oder papierenen Flächengebildes (siehe dort) direkt nach der Trocknung unter festgelegten Bedingungen.

Packgut: das zu verpackende Produkt.

Packmittel: Verpackungskomponente, die den Hauptbestandteil der Verpackung darstellt und zur Aufnahme des Packguts dient (Beispiel: Flasche, Schachtel).

Packstoff: alle Materialien, aus denen eine Verpackung (siehe dort) besteht.

Packstück: die beim Verpackungsvorgang zusammengefasste Einheit, als Einzelpackung oder Sammelpackung (engl. packing unit), im Transportwesen ein Kollo (engl. trading unit).

Packung: in der Verpackungstechnik Einheit von Gut, Verpackungsmittel und Verpackungshilfsmittel. Im Transportwesen steht dafür Gebinde, Paket, Tray (engl. package).

Paperback: in der Polygrafie Bezeichnung für eine Broschur, deren Falzbogen zusammengetragen wurden und deren am Blockrücken angeklebter gerillter Umschlag typografisch anspruchsvoll gestaltet worden ist.

papierene Flächengebilde: Oberbegriff für Papier, Karton, Pappe.

Papiermaschine: Maschine zur Herstellung einer endlosen Papierbahn aus Ganzstoff (Faserstoffsuspension pflanzlichen Ursprungs, vermischt mit Leim-, Füll- und Farbstoffen und gegebenenfalls weiteren Additiven) durch Wasserentzug.

Papierqualität: Beschaffenheit von Papier bezüglich seiner Eignung, die für bestimmte Verwendungszwecke notwendigen Qualitätsanforderungen zu erfüllen.

Papierverarbeitungstechnik: Teildisziplin des ingenieurwissenschaftlichen Gesamtgebietes der Verarbeitungstechnik mit dem Werkstoff Papier, deren Aufgabe die Analyse, Synthese und industrielle Realisierung aller stoffformenden, form- und lageabhängigen Prozesse im Bereich der Stoffwirtschaft ist.

Pigmentieren: Oberflächenauftrag von pigmenthaltigen Präparationen mit geringem Feststoffanteil ($< 10\%$), zur Verbesserung der Qualität oberflächengeleimter Papiere oder als Vorstrich zur Optimierung des Streichens (siehe dort).

Prägen: reliefartiges Umformen von Flächengebilden bzw. Formen von Hohlkörpern aus Flächengebilden ohne Faltenbildung unter Anwendung von Druck und gegebenenfalls Wärme.

Querprofil: kontinuierliche oder diskrete Verteilung einer Messgröße (z. B. einer physikalischen Eigenschaft) eines Papiers quer zur Längsrichtung (siehe dort) über die gesamte Bahnbreite.

Retention: Maß für die Zurückhaltung von Fasern und Feststoffen auf dem Sieb der Papiermaschine während des Entwässerungsprozesses. Der Wert beschreibt das Verhältnis der Masse der auf dem Sieb verbleibenden Faser- und Feststoffe (z. B. Füllstoffe) zur Masse der auf das Sieb aufgebrachten Faser- und Feststoffe und wird in der Regel in % ausgedrückt.

Riffeln: wellenförmiges Umformen von flächigem Verarbeitungsgut mithilfe beheizter Riffelwalzen, sodass ein Gebilde aus aneinandergereihten starren Biegestellen entsteht.

Rillen: plastischer Materialverformungsprozess, der dazu dient, i. d. R. bewegliche Biegestellen vorzubereiten, damit aus den Materialien im weiteren Verarbeitungsprozess dreidimensionale Gebilde hergestellt werden können.

Ritzen: Verfahrensschritt zur Vorbereitung einer Biegestelle in der Kartonverarbeitung durch partielles Einschneiden über die Materialdicke.

Rolle: aufgewickelte Bahn in Form eines Zylinders, mit oder ohne Wickelhülse oder Wickelkern (siehe auch Mutterrolle).

Rundsiebformer: Former (siehe dort) mit einem Rundsieb als Bahnbildungseinrichtung.

Satinieren (= Kalandrieren): innerhalb und/oder außerhalb der Papiermaschine durch Druck, Wärme und Feuchte vorgenommene Verdichtung des Papiergefüges zum Erzielen von Glätte und/oder Transparenz.

Satz, Satzsetz: vom Hand- oder Maschinensetzer hergestelltes Teilerzeugnis der polygrafischen Industrie, das zur Vervielfältigung von Text in allen Druckverfahren benötigt wird. In den letzten Jahrzehnten hat das 1985 eingeführte Desktop-Publishing (DTP), d.h. Satz und Umbruch am Computer, die bisherigen Satztechniken abgelöst und weitgehend verdrängt.

Sieb: Element der Blattbildung in der Papiermaschine bei der Papierherstellung.

Siebdurchfall: Verhältnis der Massen von durch das Sieb in das Siebwasser gelangten Faser- und Feststoffen zu den auf das Sieb aufgebrauchten Massen (siehe auch Retention).

Siebmarkierung: Markierung, die während der Papierherstellung durch Eindrücken der Maschen des Siebes in die nasse Bahn entsteht und durch das nachfolgende Pressen, Trocknen und ggf. Satinieren (siehe dort) wieder eingeebnet wird.

Siebseite: Seite eines Papiers oder Kartons, die während der Herstellung in der Siebpartie der Papier- oder Kartonmaschine mit dem Sieb in Berührung war (auch Unterseite genannt).

Sortieren: in der Verfahrenstechnik mechanisches Trennen (siehe dort) nach einem physikalischen Merkmal, z.B. Teilchendichte oder Benetzbarkeit (vergleiche auch Klassieren).

Stauhen: Formen einer Wulst durch seitliches Zusammenraffen des Verarbeitungsgutes mithilfe beweglicher, gegen ein Schwert arbeitender Stauchschielen, wobei eine oszillierende oder rotierende Hauptbewegung der Arbeitsorgane möglich ist.

Stickies: Bezeichnung für klebende Partikel, die aus dem Rohstoff Altpapier resultieren. Sie lassen sich nach Herkunft/Entstehung und physikalisch-chemisch klassifizieren.

■ **Klassifizierung nach Herkunft/Entstehung:**

- **Primärstickies** werden mit dem Rohstoff eingetragen und kleben unter Prüfbedingungen,
- **Sekundärstickies** entstehen durch chemisch-physikalische Einflüsse im Prozess und kleben unter Prüfbedingungen.

- **Klassifizierung physikalisch-chemisch** nach Abtrennbarkeit, Adhäsion/Klebrigkeit, Oberflächenenergiedichte und Größe. Trennkriterium ist in der Regel die Schlitzweite einer Laborsortierung. **Makrostickies** finden sich nach ihrer Abtrennung im Siebrückstand, **Mikrostickies** werden nach der Abtrennung im Durchlauf detektiert.

Störstoff: Oberbegriff in der Chemie der Papiererzeugung ohne einheitliche Definition. Nach *Auhorn* [2.16] sind Störstoffe die Summe aller anionischen Oligomere und Polymere sowie nicht ionischer Hydrokolloide, die nicht ausreichend an Fasern und Füllstoffen fixiert sind, deshalb in das Kreislaufwasser gelangen und sich ab einer bestimmten Konzentration negativ auf den Produktionsprozess auswirken. Im Sinne des Altpapiereintrags werden auch Teile von papiernen Flächengebilden als Störstoffe betrachtet (siehe auch Stickies).

Streichen: spezifische technologische Verfahren zum Auftragen einer Schicht aus mineralischer Dispersion, Stärkelösung oder synthetischer Dispersion auf die Oberfläche einer oder beider Papierseiten, um sie vollständig zu bedecken, mit dem Ziel, das Aussehen und die Bedruckbarkeit des Produkts zu verbessern oder zusätzliche Barriereeigenschaften bereitzustellen. Charakteristische Parameter für die Produktleistung nach der Beschichtung sind z. B. Helligkeit, Glanz und Opazität, Glätte, Oberflächenfestigkeit und Druckfarbenaufnahme.

Tambour: gezogenes, mit Hartgummi beschichtetes Stahlrohr als Wickelkern zum Aufrollen der Bahn am Ende der Papier- oder Kartonmaschine, oft fälschlicherweise als Bezeichnung für die Mutterrolle (siehe dort) verwendet.

Tiefziehen: Zugdruckumformen eines Blechzuschnitts (auch Ronde, Folie, Platte, Tafel oder Platine genannt) in einen einseitig offenen Hohlkörper oder eines vorgezogenen Hohlkörpers in einen solchen mit geringerem Querschnitt ohne gewollte Veränderung der Blechdicke. Wanddickenänderungen gibt es nur beim Abstrecktiefziehen, hier ist der Boden dicker als die Wand, da der zuerst tiefgezogene Napf anschließend durch Abstreckringe gezogen wird. Das Erzeugnis wird dünner und höher (Beispiel: Herstellung von Getränkedosen). Auch in der Papierverarbeitung benutzter Begriff, hier aber richtigerweise **Ziehen** genannt (siehe dort).

Thermoformen: Verfahren zur Umformung thermoplastischer Kunststoffe unter Temperatureinfluss sowie mithilfe von Druckluft oder Vakuum. Es wird umgangssprachlich oft Tiefziehen genannt, kann jedoch nicht mit dem Tiefziehen von Metallen verglichen werden.

Tonen: Mitdrucken von außerhalb des Druckbildes liegenden Stellen der Druckform.

Trennen: in der Verarbeitungstechnik teilweise oder vollständige Aufhebung des stofflichen Zusammenhalts des Verarbeitungsgutes an genau definierten Stellen (siehe im Vergleich dazu verfahrenstechnische Definitionen für Klassieren (siehe dort), Sortieren (siehe dort) und Abscheiden (siehe dort)).

Umformen: nach DIN 8580 bildsame Formgebung, d. h. Gestaltänderung des Verarbeitungsguts, wobei die Masse und der Stoffzusammenhalt beibehalten werden.

ungeleimt: Bezeichnung für ein papierenes Flächengebilde (siehe dort), dessen natürliches Wasseraufnahmevermögen nicht durch den Zusatz von Leim oder anderen Additiven verringert wurde (Gegensatz: geleimt (siehe dort)).

Unterseite: siehe Siebseite.

Verbundwerkstoff: Werkstoff aus zwei oder mehr verbundenen Materialien, wobei der Verbundwerkstoff andere Werkstoffeigenschaften besitzt als seine einzelnen Komponenten. Die Komponenten können dabei selbst wieder Verbundwerkstoffe sein. Beispiel für einen Verbundwerkstoff ist z. B. der Getränkekarton (siehe dort, Abschnitt 4.2).

Verdruckbarkeit: Gesamtheit der Eigenschaften des Bedruckstoffes und der Druckfarbe, die für die reibungslose Verarbeitung auf der Druckmaschine notwendig sind.

Verpackung: Umhüllung eines Produktes. Sie wird aus Packmitteln und Packhilfsmitteln während des Verpackungsvorganges gebildet (z. B. Transportverpackung, Umverpackung, Sichtverpackung). Es ist die Gesamtheit von Mitteln, die zum Schutze eines Gutes vor Gebrauchswertminderungen und Verlust, bei Transport, Umschlag und Lagerung, zur Erleichterung der Handhabung des Gutes, gegebenenfalls zum Schutz der Umwelt im Zirkulationsprozess, zur Information über und zur Werbung für das Gut dient.

Verpackungsmaschine: Maschine zum Vereinigen von zu verpackendem Gut mit den für das Verpacken vorgesehenen Verpackungsmitteln und -hilfsmitteln nach bestimmten Verpackungsverfahren zu einer Packung oder Ladeinheit.

Verpackungsmittel: siehe Packmittel.

Verpackungsprozess: realer Vorgang, durch den das Verpacken vorgenommen wird und dessen Ergebnis die Packung oder die Ladeinheit ist.

Verpackungstechnik: Gesamtheit der Verpackungsverfahren und Arbeitsmittel (Geräte, Maschinen und Ausrüstungen) zur Realisierung des Verpackungsprozesses.

Verpackungsverfahren: lückenlos festgelegte Folge von Verpackungsoperationen zum Zwecke des Herstellens einer Packung oder Ladeinheit.

Verpackungswerkstoff: siehe Packstoff.

Wasserzeichen: Markierung im Papier, die beim Betrachten im durchfallenden Licht sichtbar wird. Man unterscheidet echte Wasserzeichen (hergestellt durch Verdrängung und/oder Anreicherung von Stoff während der Herstellung der Papierbahn auf dem Sieb) und Molette-Wasserzeichen (sogenannte unechte Wasserzeichen, hergestellt durch Prägen eines Musters in die noch feuchte Papierbahn).

Wickeln: Formen von zylindrischen oder kegeligen Hülsen durch Übereinanderwickeln und Verkleben mehrerer Lagen eines Verarbeitungsgutes mithilfe eines Wickeldorns. Das Wickeln oder Aufwickeln einer Papier-, Karton oder Tissue-Bahn auf einen Wickelkern ohne Verklebung der einzelnen Lagen wird als Rollen oder Aufrollen bezeichnet.

Zellstoff: durch chemischen Aufschluss von Holz oder anderen pflanzlichen Rohstoffen gewonnener Faserstoff.

Ziehen: Umformen eines ebenen Zuschnitts in einen starren Hohlkörper mithilfe eines geheizten Ziehwerkzeuges, wobei der überschüssige Werkstoff in Falten gelegt und verpresst wird.

Zweiseitigkeit: unbeabsichtigte Verschiedenheit der Oberflächeneigenschaften auf den beiden Seiten von Papier, Karton und Pappe.

Literaturverzeichnis

- [2.1] DIN 6730:2017-09 Papier, Pappe und Faserstoff – Begriffe
- [2.2] ISO 4046:2016 Paper, board, pulp and related terms
- [2.3] *Blechschmidt, J. (Hrsg.): Altpapier. Leipzig: Fachbuchverlag 2011*
- [2.4] *Blechschmidt, J.; Naujock, H.-J. (Hrsg.): Taschenbuch der Papiertechnik. 3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, München: Carl Hanser Verlag 2021*
- [2.5] *Götttsching, L.; Katz, C. (Hrsg.): Papier-Lexikon. Gernsbach: Deutscher Betriebswirte-Verlag 1999*
- [2.6] *Horn, J.; Reball, S. (Hrsg.): Moderne Technik von A bis Z. Leipzig: Fachbuchverlag 1991*
- [2.7] *Lexikon der grafischen Technik. 7. Auflage, Leipzig: Fachbuchverlag 1986*
- [2.8] *Tenzer, H.-J.: Leitfaden der Papierverarbeitungstechnik. Leipzig: Fachbuchverlag 1989*
- [2.9] DIN 8580:2022-12 Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung
- [2.10] DIN EN ISO 216:2007-12 Schreibpapier und bestimmte Gruppen von Drucksachen – Endformate – A- und B-Reihen und Kennzeichnung der Maschinenlaufrichtung
- [2.11] *Lampke, T.; Steinhäuser, S.: Einführung in die Beschichtungstechnik. In: Zoch, H.-W.; Spur, G. (Hrsg.): Handbuch Wärmebehandeln und Beschichten. S. 5–11, München: Hanser Verlag 2015*
- [2.12] *Heinemann, S.; Arndt, T.; Miletzky, F., Zelm, R.: Pulp and Paper Technology. In: Niemz, P.; Teischinger, A.; Sandberg, D. (Hrsg.): Handbook of Wood Science and Technology, Kapitel 29, Springer Verlag, 2023*
- [2.13] *Naujock, H.-J.: Aufbereitung der Faserstoffe (Halbstoffe). In: Blechschmidt, J.; Naujock, H.-J. (Hrsg.): Taschenbuch der Papiertechnik, Kapitel 10, S. 291–338, 3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, München: Carl Hanser Verlag 2021*
- [2.14] *Holik, H.: Erzeugung von Papier. In: Blechschmidt, J.; Naujock, H.-J. (Hrsg.): Taschenbuch der Papiertechnik. Kapitel 11, S. 339–437, 3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, München: Carl Hanser Verlag 2021*
- [2.15] *Gliese, T.; Kleemann, S.: Additive der Papierzeugung. In: Blechschmidt, J.; Naujock, H.-J. (Hrsg.): Taschenbuch der Papiertechnik. Kapitel 9, S. 229–290, 3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, München: Carl Hanser Verlag 2021*
- [2.16] *Auhorn, W.: Das Störstoff-Problem bei der Verringerung der spezifischen Abwassermenge. Wochenblatt für Papierfabrikation 112 (1984) 2, 37–48*

3

Erzeugung von Papier, Karton und Pappe

■ 3.1 Einleitung

Von Hans-Joachim Naujock

Die beiden Wissensgebiete Papierherstellung und Papierverarbeitung sind eng miteinander verbunden. Zur Voraussetzung, auf dem Wege der Papierverarbeitung qualitativ hochwertige Produkte herzustellen, gehören auch elementare Kenntnisse der Papierherstellung, die in diesem Abschnitt vermittelt werden sollen. Es beginnt mit der Auswahl der Rohstoffe und einem Abriss der Verfahren, aus ihnen Halbstoffe herzustellen. Aus einem vorhandenen Portfolio derselben nimmt der Papiertechnologe eine Auswahl vor (Rezeptur), aus der er papierene Flächengebilde für die Weiterverarbeitung herstellt, die eine dem jeweiligen Anwendungsfall der Papierverarbeitung entsprechende Produktqualität garantieren und ökonomisch vertretbar sind. Dazu benötigt der Papiertechnologe seinerseits wiederum Kenntnisse über die Papierverarbeitung.

■ 3.2 Grundlagen

Von Jürgen Blechschmidt

3.2.1 Faserstoffe

Grundlage der Papiererzeugung sind die **Papierfaserstoffe**. Dabei wird zwischen Primär- und Sekundärfaserstoffen unterschieden. **Primärfaserstoffe** werden direkt aus pflanzlichen Rohstoffen gewonnen, und zwar vorwiegend aus Holz und Einjahrespflanzen. Industriell werden vor allem Durchforstungsholz und Sägewerksabfälle genutzt. Durch chemischen Aufschluss von Holz oder Einjahrespflanzen entsteht der **Zellstoff**, durch mechanische Zerfaserung von Holz der **Holzstoff**. **Sekundärfaserstoffe** werden aus **Altpapier** gewonnen. Durch Aufbereitung des Altpapiers in der Papierindustrie entsteht der **Altpapierstoff**.

Holz ist der wichtigste Rohstoff für die Erzeugung von Papierfaserstoffen. Es besitzt aufgrund seines Aufbaus und seiner Zusammensetzung eine einzigartige Zweckeignung. Für die Papiererzeugung sind beim Nadelholz die **Tracheiden** und beim Laubholz die **Libriformfasern** besonders geeignet, da sie dank ihrer Länge und ihres Längen-Durchmesser-Verhältnisses zu den Festigkeitseigenschaften des Papiers beitragen. Die Holzzellen bestehen aus Zellwand und Lumen. In chemischer Hinsicht ist die Zellwand ein **Bioverbundpolymer** [3.1]. Sie setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen (Bild 3.1):

- Cellulose,
- Hemicellulosen,
- Lignin,
- akzessorische Bestandteile
 - Extraktstoffe (Harze, Fette, Wachse),
 - mineralische Bestandteile.

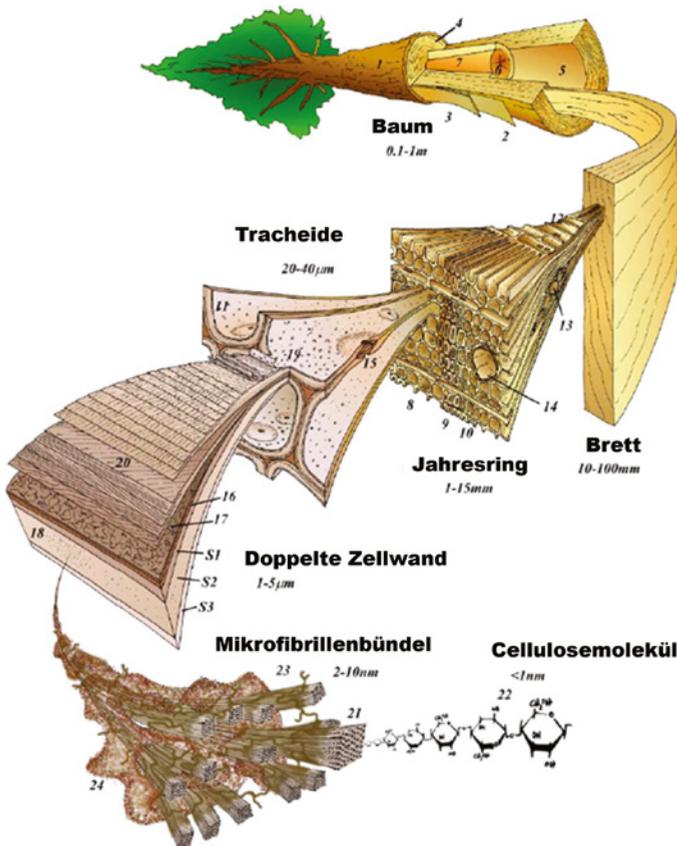


Bild 3.1 Holz als Mikroverbundwerkstoff (nach Harrington [3.2])

Ziel des chemischen Aufschlusses ist die Herauslösung der Faserzelle aus dem Faserverband. Nach den eingesetzten Chemikalien unterscheidet man **Sulfat-Verfahren** und **Sulfit-Verfahren**. Das Sulfat-Verfahren ist weltweit heute das wichtigste Verfahren. Der Anteil an der Welt-Zellstoffproduktion beträgt etwa 85% [3.3]. Die Holzstofferzeugung ist ein überwiegend thermomechanischer Prozess. Auch chemische Prozesse können dabei eine Rolle spielen. Die **mechanische Zerfaserung von Holz** erfolgt heute nach zwei Verfahren [3.1]:

- Stein-Verfahren,
- Refiner-Verfahren (Bild 3.2).

Die Produkte dieser Verfahren sind in Kapitel 2 definiert.

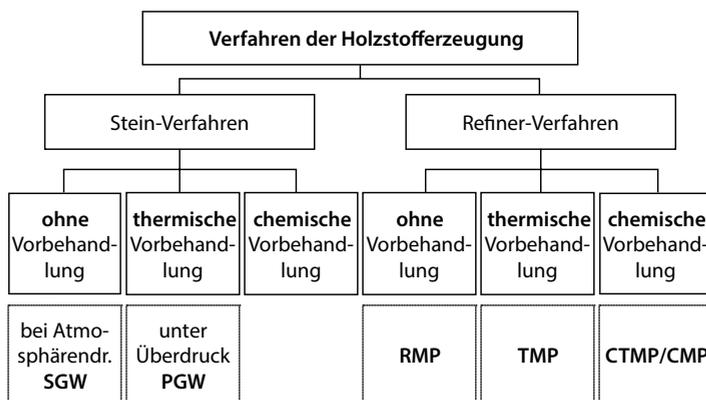


Bild 3.2 Übersicht über die Verfahren der Holzstofferzeugung

Altpapier ist weltweit zum wichtigsten Rohstoff geworden. Im Jahr 2021 wurden ca. 255 Mio. t verarbeitet. Die Papierindustrie in Deutschland nimmt mit einem Umsatz von 21,2 Mrd. € (2022) und einer Jahresproduktion von 21,6 Mio. t Papier, Karton und Pappe die führende Stelle in Europa ein. Das gilt auch für den Altpapierverbrauch (18,2 Mio. t im Jahr 2021) [3.3]. Die in unterschiedlicher Qualität anfallenden Altpapiere müssen möglichst sortenrein aufbereitet werden. Der Wert einer Altpapiersorte ist für den Papiererzeuger umso höher:

- je hochwertiger der Faserstoffanteil ist,
- je gleichmäßiger sie zusammengesetzt ist und
- je weniger unerwünschte Bestandteile in ihr enthalten sind.

In vielen Ländern bestehen daher Sortenlisten bzw. Standards für Altpapiersorten.

3.2.2 Additive

Papierene Flächengebilde bestehen zum Hauptteil aus den oben genannten Faserstoffen, die ohne weitere Zusätze jedoch nur teilweise nutzbar sind. Seit Jahrhunderten werden zur Erzielung bestimmter Eigenschaften Stoffe zugegeben, die im historischen Sprachgebrauch **Hilfsstoffe** genannt wurden und heute unter dem Begriff **Additive** zusammengefasst sind.

Dem Faserstoff werden **Füllstoffe**, **Leimstoffe** und **Farbstoffe** zugesetzt, heute außerdem eine Vielzahl weiterer chemischer, mineralischer und enzymatischer Stoffe. Der Zusatz der Produkte kann in der Masse oder an der Oberfläche erfolgen.

Aufgrund der wachsenden Anforderungen an Papier werden heute über 20% des Papiers mit einem Oberflächenauftrag versehen, gestrichen oder anderweitig veredelt. Im Durchschnitt enthalten Papiere heute quantitativ 11% Additive bei steigendem Anteil. Etwa 8% davon sind mineralischen Ursprungs. Chemische Additive machen quantitativ nur 3% aus, bei hoher qualitativer Wirkung. Auf dem Markt wird eine Vielzahl von Produkten mit einem Umsatz von jährlich über 50 Mrd. € angeboten. Man unterscheidet zwischen **funktionellen Additiven** und **Prozessadditiven**. Funktionelle Additive beeinflussen die Eigenschaften bzw. Qualität des fertigen Papiers, Prozessadditive gestalten den Papiererzeugungsprozess effizienter.

3.2.2.1 Füllstoffe [3.4]

Um das Papier in seinen Eigenschaften zu verändern oder um Faserstoff zu sparen, werden Füllstoffe zugegeben. Bei Füllstoffen handelt es sich um anorganische Stoffe entweder mineralischer oder chemisch gefällter Herkunft. Das Einbringen von Füllstoffen in das Fasergefüge dient folgenden Zwecken:

- die Freiräume zwischen den Fasern zu schließen, d. h. sie zu füllen,
- Erzielung bestimmter Papiereigenschaften: höherer Weißgrad, höhere Opazität, geschlossene Oberfläche und Glätte,
- Beeinflussung der Saugfähigkeit, Verbesserung der Bedruckbarkeit.

Dem steht die Verringerung der Festigkeitseigenschaften negativ gegenüber. **Füllstoffarten** sind Silikate, Sulfate, Karbonate, Oxide, Sulfide. Die Einsatzmenge beträgt bis zu 40%.

3.2.2.2 Leimstoffe [3.4]

Leimstoffe verzögern das Eindringen von Flüssigkeiten in das Blattgefüge. Sie dienen der Verbesserung der Druckqualität und der Beschreibbarkeit von papierenen Flächengebilden. Moderne Leimungsmittel erhöhen durch Hydrophobierung der Fasern des Papierblattes die Grenzflächenspannung zwischen der Flüssigkeit und der Papieroberfläche. Die Leimung kann als Masse- oder Oberflächenleimung er-

folgen. Als **Leimstoffe** kommen Harzleim, heute jedoch vornehmlich synthetische Leimungsmittel zum Einsatz.

3.2.2.3 Farbstoffe

Das Färben von Papierstoffen ist ein technologischer Vorgang, bei dem der Grundton eines Papiers durch Zugabe von Farbstoffen oder Pigmenten auf einen bestimmten Farbton gebracht wird. Farbstoffe und Pigmente sind farbgebende Substanzen, die Licht bestimmter Wellenlänge reflektieren, dagegen alle anderen im auffallenden Licht enthaltenen Wellenlängen absorbieren. Farbstoffe sind wasserlösliche, chemische Verbindungen. **Pigmente** sind wasserunlösliche, pulverförmige Verbindungen, die sich wie Füllstoffe verhalten. Das Färben kann in der Masse (Papierstoff) und an Oberfläche der papierenen Flächengebilde erfolgen. Als **Farbstoffgruppen** sind basische Farbstoffe, saure Farbstoffe, substantive Farbstoffe, Pigmente und optische Aufheller bekannt.

3.2.2.4 Spezielle chemische Additive

Spezielle chemische Additive, auch als synthetische chemische Additive oder Spezialchemikalien bezeichnet, werden sowohl als funktionelle als auch als Prozessadditive eingesetzt [3.5]. Zu ihnen gehören Retentionsmittel, Endwässerungsbeschleuniger, Nassfestmittel u. a.

3.2.3 Papiersorten

Je nach Qualität der Faserstoffe, ihrer Aufbereitung, Mischung und der eingesetzten Additive sind die verschiedensten **Papiersorten** herstellbar. Die Anzahl der Papiersorten ist – bedingt durch die unterschiedlichen stofflichen Zusammensetzungen und vielfältigen Einsatzzwecke – sehr groß (siehe auch Kapitel 4). Häufig sind im Handel für dieselben Papiersorten unterschiedliche Handelsnamen üblich. Eine grundsätzliche Ordnung kann in vier Hauptgruppen erfolgen [3.4] – grafische Papiere, Verpackungspapiere, Hygienepapiere und Spezialpapiere.

3.2.3.1 Grafische Papiere (Druck- und Schreibpapiere)

Aus der Sicht der stofflichen Zusammensetzung lassen sich die grafischen Papiere in folgende Gruppen unterteilen:

- ungestrichene holzstoffhaltige Papiere, z. B. Zeitungsdruck- und SC-Papiere,
- gestrichene holzstoffhaltige Papiere, z. B. LWC-Papiere,
- ungestrichene holzstofffreie Papiere, z. B. Büropapiere,
- gestrichene holzstofffreie Papiere, z. B. Kunstdruckpapiere.

Aus der Sicht des Einsatzes lassen sich die grafischen Papiere auch in folgende Gruppen unterteilen:

- Büro- und Administrationspapiere,
- Druck- und Pressepapiere.

3.2.3.2 Verpackungspapiere und -karton

Zu den für die Erzeugung von Packmitteln verwendeten Verpackungspapieren gehören vor allem Wellen- und Deckenpapiere zur Herstellung von Wellpappe. Verpackungskarton umfasst vor allem Faltschachtelkarton für die Herstellung von Verkaufsverpackungen zum Schutz von Lebensmitteln und Gebrauchsgütern.

3.2.3.3 Hygienepapiere

Folgende Einteilung ist üblich:

- Toilettenpapier,
- Küchenrollenpapier,
- Handtuchpapier,
- Taschentuchpapier,
- Serviettenpapier,
- Gesichtstuchpapier,
- Papiere für Krankenhaushygiene.

3.2.3.4 Spezialpapiere

Die größte Anzahl Papiersorten mit den unterschiedlichsten Charakteristika findet sich in der Gruppe der Spezialpapiere. An sie werden oftmals hohe und individuelle Anforderungen gestellt. Ausgewählte Beispiele sind (siehe auch Kapitel 4):

- Dekorpapiere (für die Möbelindustrie),
- Fotorohpapiere,
- Inkjetpapiere,
- Filtrierpapiere,
- Elektro-Isolierpapiere,
- Zigarettenpapiere,
- Banknotenpapier.

■ 3.3 Stoffaufbereitung

Von Hans-Joachim Naujock

3.3.1 Übersicht

Ziel der Stoffaufbereitung ist es, aus Halbstoffen (und ggf. Füllstoffen und Additiven) einen maschinenfertigen Ganzstoff herzustellen, der zur Bahnbildung auf der Papiermaschine geeignet ist. Halbstoff und Ganzstoff sind Begriffe aus der Papiertechnik. Da die Begriffe Halbstoff und Rohstoff oftmals unpräzise verwendet werden, soll Bild 3.3 die korrekte begriffliche Einordnung illustrieren.

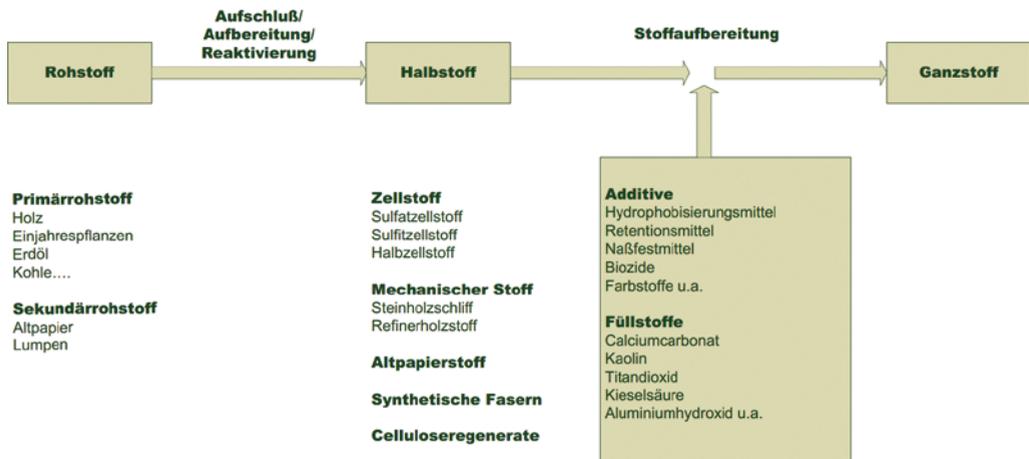


Bild 3.3 Begriffliche Einordnung von Stoffbezeichnungen

Im Einzelnen handelt es sich bei der Stoffaufbereitung um folgende verfahrenstechnische Grundprozesse:

- Zerfasern (Dispergieren, Suspendieren, Desintegrieren, „Auflösen“),
- Entstippen,
- Trennen
 - Sortieren, Fraktionieren, Klassieren, Abscheiden,
 - Flotieren,
 - Waschen, Entwässern,
- Mahlen,
- Mischen und Stapeln,
- Füllen (siehe auch Abschnitt 3.2.2.1),
- Leimen (siehe auch Abschnitt 3.2.2.2),
- Färben (siehe auch Abschnitt 3.2.2.2).

Die Art und Weise, unter der sich die Stoffaufbereitung vollzieht, hängt von der zu erzeugenden Papiersorte ab (siehe auch Abschnitt 3.2.3). Jede Papiersorte besitzt spezifische Eigenschaften, die zu einem hohen Anteil in der Stoffaufbereitung geprägt werden. Ein alter Papiermacher-Spruch lautet deshalb:

„Das Papier wird in der Stoffaufbereitung (früher: im Holländer) gemacht.“

Die gewünschten Eigenschaften können auf zwei Wegen erzielt werden (Tabelle 3.1):

- durch Auswahl der Faserstoffe und der Additive (auch als **Rezeptur** bezeichnet),
- durch Auswahl der Verfahren und der Zustandsveränderung der Faserstoffe und Additive.

Tabelle 3.1 Erzeugung von Papieren mit ausgewählten Eigenschaften

Eigenschaften	Verfahren/Zustandsveränderung/Rezeptur
Festigkeit Zug-, Durchreiß-, Berst-, Falzfestigkeit u. a.	durch Auswahl geeigneter Faserstoffe, durch Mahlbehandlung der Faserstoffe, durch Zusatz chemischer Additive
Oberflächengüte Glätte, Glanz, Rauheit	durch Auswahl geeigneter Faserstoffe, durch Einsatz von Füllstoffen, durch Mahlbehandlung der Faserstoffe, durch Einsatz chemischer Additive
Widerstand gegen das Eindringen wässriger Flüssigkeiten Prüfflüssigkeiten (Tinte)	Hydrophobierung durch Leimstoffe und chemische Additive, durch Mahlung der Faserstoffe
Widerstand gegen das Eindringen nicht wässriger Flüssigkeiten Öl, Fett	durch geeignete Faserstoffe, durch Leimstoffe, durch Mahlung der Faserstoffe, durch Imprägnierung, Beschichtung usw.
Aussehen Weißgrad, Färbung, Reinheit	durch Einsatz von Faserstoffen mit bestimmtem Weißgrad und Reinheitsgrad, durch Einsatz von Füllstoffen mit bestimmtem Weißgrad
spezielle Eigenschaften Nassfestigkeit, Fettdichtigkeit, Wasserdampfdurchlässigkeit u. a.	durch Zugabe spezieller Additive

Die Stoffaufbereitung benötigt mehr oder weniger frei bewegliche Einzelfasern. Außerdem sollen die Hydroxylgruppen der Faseroberfläche aktiviert werden, um nach der Trocknung der hergestellten Blattstruktur Festigkeiten zu generieren. Daher wird Wasser als Dispergiermittel und Quellmittel gebraucht, d. h. es muss eine Fasersuspension hergestellt werden.

Die wichtigste Kenngröße der Suspension, nach der sich die Auswahl von Maschinen und Anlagen richtet, ist die **Stoffdichte** SD (in der Verfahrenstechnik auch Feststoffgehalt oder Mengenanteil). Sie ist definiert als:

$$SD = \frac{m_{otro}}{m_{otro} + m_{H_2O}} \cdot 100 \%$$

Die Stoffdichte SD berechnet sich aus der Masse des ofentrockenen Faserstoffes m_{otro} im Verhältnis zur Gesamtmasse (Masse Faserstoffe m_{otro} plus Masse Wasser m_{H_2O}). Je nach der nutzbaren Fördertechnik unterscheidet man in der Regel drei Stoffdichtebereiche:

- den LC-Bereich (aus dem englischen für low consistency) mit bis zu 8 % Stoffdichte,
- den MC-Bereich (medium consistency) von 8 % bis 15 % Stoffdichte und
- den HC-Bereich (high consistency) mit >15 % Stoffdichte.

Im LC-Bereich kann man weit verbreitete, gut verfügbare und preisgünstige Kreiselpumpen verwenden. Der MC-Bereich erfordert eine spezielle Art von Kreiselpumpen, die über einen Fluidisator und einen Vakuumanschluss verfügen. Suspensionen mit mehr als 15 % Stoffdichte bezeichnet man als **Krümelfeststoff** (HC-Bereich). Dieser Krümelfeststoff enthält kaum noch frei tropfbares Wasser. Aus diesem Grunde ist die Förderung mit Pumpen nicht mehr möglich. Hier benötigt man Förderschnecken, Gurtbandförderer o. ä.

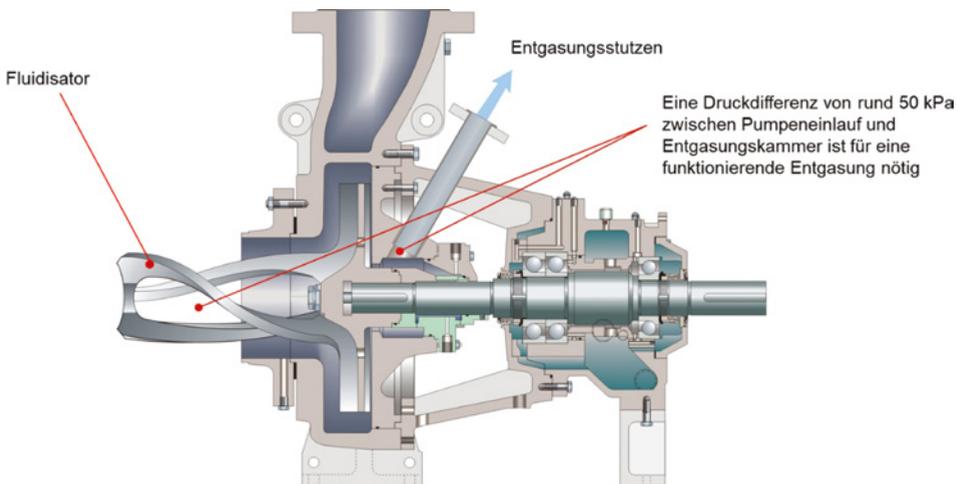


Bild 3.4 MC-Pumpe (mit freundlicher Genehmigung von Sulzer-Ahlström)

Da **MC-Pumpen** eine spezifische Lösung für die Zellstoff- und Papiertechnologie sind, soll ein Beispiel in Bild 3.4 vorgestellt werden. Weil für den MC-Bereich in grober Näherung gilt, dass ein Prozent Stoffdichte etwa einem Volumenprozent Luftgehalt in der Suspension entspricht, würden normale Kreiselpumpen hier versagen. Dies liegt daran, dass die Luft im Pumpenkörper aus Regionen hohen Drucks in Regionen niedrigen Drucks strömt, also vom Auslauf zurück zum Einlauf. In der Folge würde der Rotor in Luft umlaufen und die Pumpe könnte keinen Stoff mehr fördern. Aus diesem Grunde ist im Unterschied zu normalen Kreiselpumpen eine permanente Entgasung notwendig. Diese erfolgt durch ein extern angelegtes oder

ein im Inneren der Pumpe erzeugtes Vakuum. Die zweite Besonderheit ist der Fluidisator. Dieser erzeugt durch hohe Scherkräfte Turbulenzen, die die Suspension fließfähig erhalten.

3.3.2 Primäre Zerfaserung

Die Zerfaserung, auch als Dispergieren, Suspendieren, Desintegrieren oder unrichtig Auflösen (da es sich aus verfahrenstechnischer Sicht um keine Lösung, sondern ein grobdisperses Stoffsystem handelt) bezeichnet, ist das Zerlegen eines Faserverbandes in kleinere Einheiten mit dem unteren Grenzwert Einzelfaser. Zellstoff und Holzstoff – sofern die Papierfabriken keine eigene Erzeugung haben – werden mit Trockengehalten von 90...95 % als Bogenware, die zu Ballen verpresst ist, oder in Blockform angeliefert und müssen für die Weiterverarbeitung zerfasernt werden (auch Altpapier sowie Papierausschuss). Die Zerfaserung erfolgt hauptsächlich durch mechanische Behandlung in speziellen Maschinen nach völliger Durchfeuchtung in wässriger Suspension.

Verfahrenstechnisch handelt es sich bei der Zerfaserung um einen Dispergiervorgang.

Der Zerkleinerungsgrad wird über den Stippengehalt gemessen. Stippen sind das Ergebnis einer normgerechten Analyseprobe in Bezug auf die Teilchengröße. Im Wesentlichen werden dabei Faserverbunde bewertet. Energieökonomisch macht es wenig Sinn, den Stippengehalt in einem einzigen Prozessschritt, der primären Zerfaserung, auf null zu reduzieren. In der Regel wird nur soweit zerfasert, dass die Suspension pumpfähig ist (Reststippengehalt ca. 10 %, siehe Bild 3.5). Danach schließt sich ein sekundärer Zerfaserungsprozess an (siehe Abschnitt 3.3.3), der in Maschinen erfolgt, die eine relativ geringe Menge an Stippen energetisch effizient und gezielt in Einzelfasern zerlegen können.

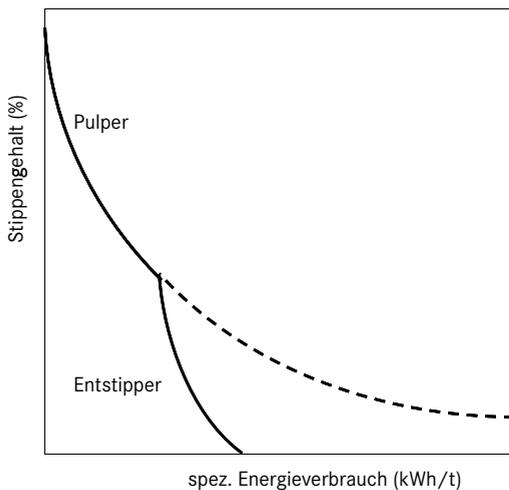


Bild 3.5 Reduzierung des Stippengehalts im Pulper und im Entstipper in Abhängigkeit vom spezifischen Energieverbrauch [3.6]

Je höher die Stoffdichte bei der Zerfaserung, desto geringer ist der massespezifische Energieverbrauch, da ein geringerer Wassergehalt dazu führt, dass Turbulenzverluste minimiert werden. Man kann jedem Substrat, das zerfasert werden soll, eine Kenngröße „Zerfaserungswiderstand“ zuordnen. Zellstoffe haben in der Regel niedrige Zerfaserungswiderstände. Das gilt insbesondere bei einem niedrigen Ligningehalt (intensive Bleiche). Hohe Zerfaserungswiderstände sind bei Altpapieren zu erwarten, insbesondere, wenn diese geleimt oder mit einer Nassfestimprägnierung versehen worden sind. Je höher der Zerfaserungswiderstand, desto höher ist der massespezifische Energiebedarf bei der Zerfaserung. Deshalb sind die nachfolgenden Kennwerte nur zur Orientierung gedacht. Für den LC-Bereich gilt etwa ein massespezifischer Energieverbrauch von 50...70 kWh/t, für den MC-Bereich von etwa 30...35 kWh/t und für den HC-Bereich von etwa 15...25 kWh/t. Eine gewisse Ausnahme ist der IntensaPulper (siehe Bild 3.6), für den bei leicht zerfaserbaren Altpapieren auch Werte unterhalb von 20 kWh/t ermittelt wurden.

3.3.2.1 Zerfasern im LC-Bereich

LC-Anwendungen eignen sich vorzugsweise für die Zerfaserung von Primärfaserstoffen. Sollen Altpapiere aufbereitet werden, erfolgen bereits im Pulper verschiedene Trennoperationen. Als Minimalforderung sollten Schwerschmutz und spinnde Bestandteile aus der Suspension entfernt werden. Dazu benötigt man Zusatzeinrichtungen, die am Pulper angebracht werden, in diesem Fall eine Schwerschmutzschleuse und eine Zopfwinde. Es ist der Aufbau relativ kompakter Anlagen möglich, die wenig Bauraum verbrauchen. Allerdings ist nicht zu unterschätzen, dass die Zuführungseinrichtungen für den Pulper (Bandanlagen, Ballentdrahtung u. Ä.) unter Umständen einen hohen Platzbedarf haben können.

Für die Maschinen zur Zerfaserung sind verschiedene Bezeichnungen üblich: Stofflöser, Pulper, Turbolöser, Zerfaserer u. a. Aus verfahrenstechnischer Sicht sind die Begriffe Stofflöser oder Turbolöser nicht korrekt, da es sich bei den Faserstoffsuspensionen um keine Lösungen, sondern um grobdisperse Stoffsysteme handelt. Die Verwendung des englischen Begriffs Pulper umgeht dieses Dilemma.

Der Zerfaserungsvorgang erfolgt bei einer Stoffdichte von 3...8% durch mechanische Einwirkung (Prallkantenwirkung, Scherwirkung und innere Reibung) als Folge der entstehenden Turbulenz.

Den betrachteten Maschinen ist gemeinsam, dass sie aus einem zylindrischen Behälter bestehen, der in der Regel im unteren Teil konisch ausläuft. Im konischen Teil befindet sich ein Rotor, der mit hohen Umfangsgeschwindigkeiten von bis zu 30 m/s umläuft und Turbulenzen generiert. Die Rotoren können unterschiedlich gestaltet sein. Am häufigsten anzutreffen sind Flügelrotoren, die ein Tragflächenprofil aufweisen. Bei der Zerfaserung von Altpapier kamen früher auch sogenannte Zerreißscheiben zum Einsatz, die hohe Turbulenzen erzeugen und so relativ viel Antriebsenergie verbrauchen. Gegenwärtig werden strömungstechnisch günsti-

gere Lösungen präferiert. Unterhalb des Rotors befindet sich in der Regel ein Lochblech, das unzerfasertes Material, sogenannte Stippen, zurückhalten soll. Der Lochdurchmesser orientiert sich an den nachgeschalteten Maschinen (sekundäre Zerfaserung). Sind diese sehr leistungsfähig in Bezug auf die Zerfaserungsleistung (Entstippung), so kann der Lochdurchmesser bis zu 20 mm betragen. Ansonsten muss er gegebenenfalls bis auf ca. 5 mm reduziert werden. Bei sehr kleinen Lochdurchmessern wird der Großteil der Zerfaserungsarbeit im Pulper geleistet. Dies verschlechtert die energetische Effizienz (vergleiche Bild 3.5).

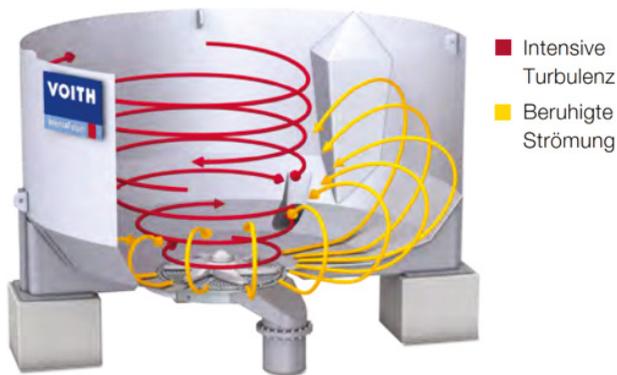


Bild 3.6 IntensaPulper der Firma Voith (Quelle: Voith [3.7])

Stellvertretend für andere technische Lösungen zeigt Bild 3.6 den IntensaPulper der Firma Voith. Bei dieser Maschine ist der Rotor exzentrisch im Gehäuse angeordnet. Im Gegensatz zu einem achsenzentrierten Rotor wird so vermieden, dass die Suspension auf stationären Kreisbahnen im Behälter rotiert und sich praktisch nicht durchmischt. Sollte mit achsenzentriertem Rotor dennoch eine Durchmischung erreicht werden, so müssen an der Behälterwand zusätzlich Prall- und Störleisten angebracht werden. Diese sorgen für Durchmischung und führen die Strömung zum Rotor zurück. Andererseits generieren diese Leisten Turbulenzen, die die energetische Effizienz der Maschine verschlechtern. Auf derartige Einbauten kann im gezeigten Beispiel verzichtet werden. Für eine möglichst vollständige Zerfaserung ist eine Rückströmung zum Rotor (gelbe Pfeile) notwendig. Ist die gewünschte Suspensionsgüte erreicht, kann die Suspension das Lochblech passieren und wird aus dem unteren Teil des Behälters abgezogen. Das gezeigte Beispiel ist insbesondere für die Zerfaserung von Primärfaserstoffen geeignet. Soll Altpapier zerfaserung werden, sind in der Regel weitere Trennvorrichtungen notwendig. Dazu gehören zum Beispiel eine Zopfwinde zur Entfernung spinnender Bestandteile und eine Schwerschmutzschleuse, die Steine, Metallteilchen, Glas und Ähnliches aus der Suspension entfernen kann.

Pulper können kontinuierlich oder diskontinuierlich arbeiten. Der in Bild 3.6 gezeigte Pulper gehört zu den kontinuierlichen Pulpern. Die Baugröße wird an die

Produktionsmenge angepasst. Im vorliegenden Fall kann sie bis zu 100 m^3 betragen, wobei die Antriebsleistung bei 400 kW liegt.

3.3.2.2 Zerfasern im MC-Bereich

MC-Anwendungen sind in den Fällen gut geeignet, bei denen zusätzlich zum Faserstoff Prozesschemikalien homogen eingemischt werden sollen. Die Chemikaliendosierung erfolgt in der Regel prozentual bezogen auf die othro-Masse Faserstoff. Bei höherer Stoffdichte bedeutet dies, dass die Chemikalien mit einer höheren Anfangskonzentration wirksam werden können. Diffusionsprozesse verlaufen so schneller und die Reaktionsdauer kann sich verkürzen. Da gilt insbesondere für die Bleiche, das Deinking oder auch die Nassentfestigung.

Beim Zerfasern im MC-Bereich können konventionelle Rotoren das zu zerfasernde Material nicht in vertikaler Richtung transportieren. Dazu benötigt man Wendelrotoren (Bild 3.7). Die Bauform des Behälters ist ähnlich wie bei den LC-Pulpern. Die Betriebsweise ist häufig diskontinuierlich. Es gibt aber auch kontinuierliche Anwendungen. Bild 3.8 zeigt die Systemeinbindung zweier MC-Pulper und einer Reinigungstrommel. Diese Kombination ist beispielsweise geeignet, um Flüssigverpackungen auf Kartonbasis zu zerfasern.



Bild 3.7 Der Heli Soft Rotor der Fa. Kadant als Beispiel für einen Wendelrotor [3.8]



Bild 3.8 Systemeinbindung zweier MC-Pulper [3.8]

3.3.2.3 Zerfasern im HC-Bereich

HC-Anwendungen sind besonders für hohe Produktionsmengen (hohen Durchsatz) geeignete Lösungen. Auch wenn es praktisch kein frei tropfbares Wasser mehr gibt, gelingt in modernen Anlagen die homogene Einmischung von Prozesschemikalien. Dadurch konnten sich bei Stoffdichten zwischen 18% und 20% Zerfaserungstrommeln quasi als die Standardlösung bei modernen Altpapieraufbereitungsanlagen etablieren und haben sich bestens bewährt. Die ersten Einsatzbeispiele reichen schon Jahrzehnte zurück und umfassten zunächst leicht zerfaserbare Altpapiere. In dem Maße, indem man die homogene Einmischung von Prozesschemikalien beherrschte, wurden die Zerfaserungstrommeln mehr und mehr zu einer Standardlösung für die Altpapieraufbereitung, insbesondere auch für das Deinking-Verfahren. Weit verbreitet sind Lösungen, die die Firma Voith anbietet. Die Trommelgrößen lassen sich an die Produktionskapazität adaptieren und reichen von einigen 100 t pro Tag bis hin zu großen Anlagen, die 3000 t täglich verarbeiten können. Bild 3.9 zeigt eine solche Lösung für sehr hohe Produktionskapazitäten. Der Stofftransport erfolgt von links nach rechts. Es beginnt links mit einer sehr langen Zerfaserungstrommel, die einen Durchmesser von 4,5 m hat. Aufgrund der dynamischen Stabilität ist der Zerfaserungsteil zweigeteilt. Die Länge der Zerfaserungstrommel beträgt 48 m. Diesem geschlossenen Teil schließt sich nach rechts ein Siebteil an. Der Lochdurchmesser der Siebtrommel beträgt 12 mm. Im gezeigten Beispiel hat die Siebtrommel eine Länge von 23 m. Der Vorteil aller Zerfaserungstrommeln besteht darin, dass das Altpapier einer schonenden Prallbeanspruchung, verbunden mit einer intensiven inneren Reibung ausgesetzt ist. So wird sichergestellt, dass das Altpapier gründlich zerfasert wird, während Stör- und Fremdstoffe im Wesentlichen nicht zerkleinert werden, sondern weitgehend in Originalgröße erhalten bleiben und so im Siebteil leicht abtrennbar sind. In der Siebtrommel werden die Fasern herausgewaschen und in der darunterliegenden Bütte bei einer Stoffdichte von etwa 4% aufgefangen.

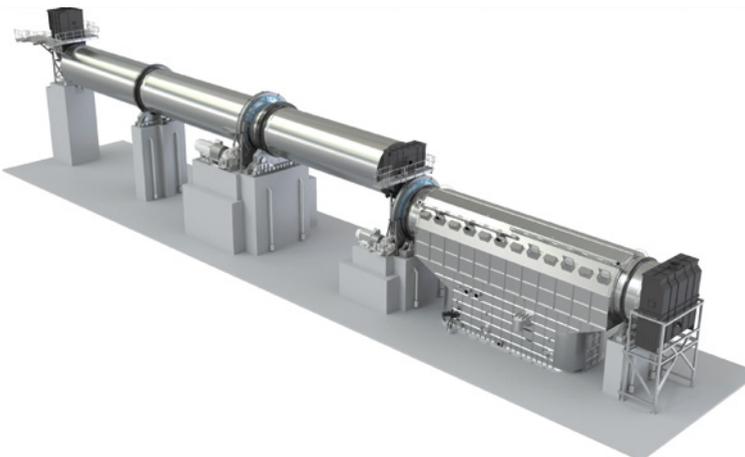


Bild 3.9 Trommelpulper IntensaDrum Duo für sehr hohe Produktionsmengen (Quelle: Voith [3.7])

3.3.2.4 Spezialfall Trockenzerfaserung

Theoretisch sind auch höhere Stoffdichten als 20% denkbar. Dann fehlt jedoch Wasser zunehmend als Gleit- und Schmiermittel sowie als Quellmittel im System. In der Folge steigt der massenbezogene Energiebedarf wieder an und die Festigkeiten des aus derartigen Substraten hergestellten Papiere sinken selbst dann dramatisch, wenn man das trocken zerfaserte Material vor der Bahnbildung Stunden bis Tage in Wasser einweicht [3.9].

Diesem Problem wurde mit dem sogenannten Dry Pulper (Bild 3.10) begegnet, mit dem Halbstoffe und sehr gründlich vorsortiertes Altpapier trocken oder mit einer sehr geringen Wasserzugabe zerfaserung werden kann. Der Dry Pulper eignet sich insbesondere für die Zerfaserung nassfester oder sonstiger schwer zerfaserbarer Altpapiere. Das so gewonnene Material kann dem Nassprozess zugeführt oder trocken zum Beispiel zu Dämmmaterial weiterverarbeitet werden.

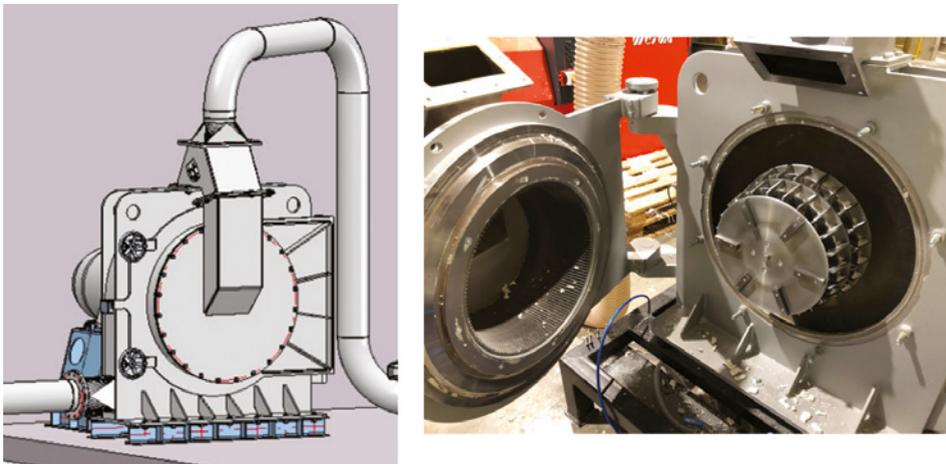


Bild 3.10 Links: Schema des Dry Pulpers. Rechts: geöffneter Dry Pulper mit Blick auf die Rotor-Stator-Garnitur (Quelle: TBP Future GmbH, Gotic GmbH)

Die Trockenzerfaserung im Dry Pulper funktioniert nach dem Rotor-Stator-Prinzip einer mechanischen Wirbelstrommühle, in der das zugeführte Papierprodukt mithilfe eines von einem Ventilator erzeugten Luftstroms im Spalt zwischen Rotor und Stator radial gefördert und durch verschiedenste Kräfte innerhalb kürzester Zeit (wenige Sekunden) in Einzelfasern zerlegt wird. Die schonende Zerlegung des Papiergefüges ohne schneidende oder faserschädigende Begleiteffekte wird hervorgerufen durch Druck-Scher-Beanspruchungen, intensive Beschleunigungs-, Stoß- und Pralleffekte, abwechselnde Kompressions- und Dekompressionsvorgänge sowie hochturbulente Luftverwirbelungen in Folge der hohen Rotorumfangsgeschwindigkeiten von bis zu 150 m/s. Der Dry Pulper kann je nach Einsatzfall innerhalb kürzester Zeit auf die produktspezifischen Eigenschaften und den ge-

wünschten Reststippengehalt durch Veränderung des Spalts zwischen Rotor und Stator sowie der Umfangsgeschwindigkeit angepasst werden. Dadurch eignet sich die Trockenaufbereitungstechnologie hervorragend als energiesparendes Instrument für die Rückgewinnung wertvoller Faserstoffe, die bisher kaum oder nur eingeschränkt für die Papierherstellung genutzt werden können. Bild 3.11 zeigt die schematische Darstellung einer mobilen Trockenzerfaserungsanlage [3.10] [3.11]. Die Chancen für dieses Verfahren werden vor allem bei Prozessen der Trockenblattbildung (Air Layed Technology, Nonwovens) gesehen, in denen konventionelle Krempelmaschinen ersetzt werden könnten.

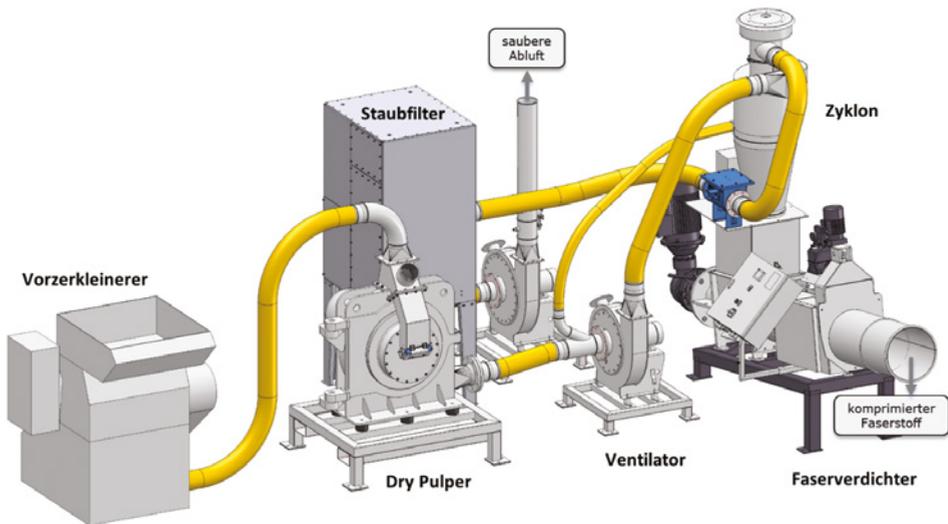


Bild 3.11 Schematische Darstellung der mobilen Trockenzerfaserungsanlage mTZA (Quelle: T. Schriener)

3.3.3 Sekundäre Zerkleinerung (Entstippung)

Entstippung ist das Zerlegen eines Faserstoffes bis in die Einzelfaser ohne wesentliche Fibrillierung (Formänderung) und ohne Veränderung der spezifischen Oberfläche. Die Behandlung der Faserbündel erfolgt durch Prallwirkung, hydrodynamische Druckimpulse, Scherwirkung und hohe Turbulenz bei hohen Drehzahlen. Damit ist ein Anstieg des Quellungsgrades und der Festigkeitseigenschaften des Faserstoffes verbunden.

Die ältesten bekannten Maschinen für diese Aufgabe sind Entstipper. Es gibt sie in unterschiedlichen Bauformen als Lochscheibenentstipper, Labyrinthentstipper oder in der am weitesten verbreiteten Form als Zahnscheibenentstipper (Bild 3.12).

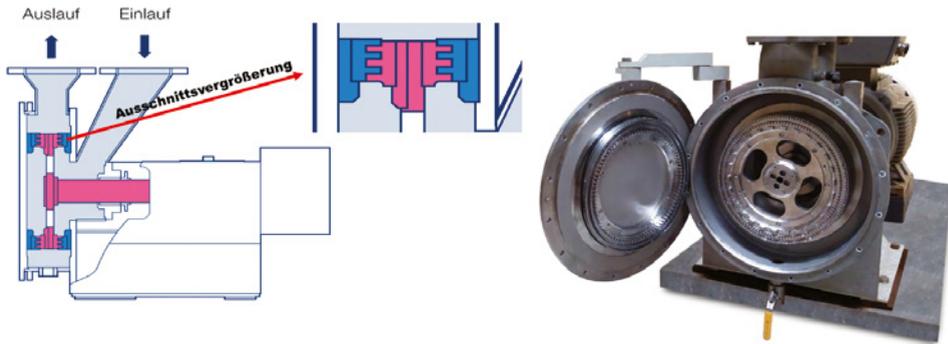


Bild 3.12 Zahnscheibenentstipper. Links: schematische Darstellung. Rechts: Blick in das geöffnete Gehäuse (Quelle: Voith [3.12])

Der Aufbau besteht aus einem Gehäuse, in dem sich ein beidseitig mit Zähnen bestückter Rotor mit hohen Geschwindigkeiten zwischen 40 m/s und 50 m/s dreht. Die Rotorscheibe (rot im linken Teil von Bild 3.12) hat vier Öffnungen. So wird sichergestellt, dass die Suspension mit ca. 4 % Stoffdichte gleichzeitig beide Oberflächen des Rotors umströmt. Vor und hinter dem Rotor befindet sich je eine Statorscheibe (blau im linken Teil von Bild 3.12), die ebenfalls mit einer Zahnstruktur versehen ist. Die Verzahnung ist so gestaltet, dass Rotor- und Statorverzahnung eine Art Labyrinth bilden, wie in der Ausschnittsvergrößerung im linken Teil von Bild 3.12 erkennbar. Die Spaltweite zwischen Rotor- und Statorelementen liegt unter Betriebsbedingungen bei etwa 0,1 mm.

Das Wirkprinzip der Zahnscheibenentstipper wird gelegentlich als mechanische Hochfrequenzbehandlung beschrieben. Das heißt, auf sehr kurzen Distanzen (0,1 mm) wird die Suspension auf Umfangsgeschwindigkeit beschleunigt und an den Statorelementen sofort wieder auf null abgebremst. Die auf diese Art generierten hohen Scher- und Prallkräfte sind in der Lage, die Stippen in Einzelfasern zu zerlegen, ohne die Letzteren selbst zu bearbeiten.

Entstipper eignen sich vor allem zur Aufbereitung von Primärfaserstoffen. Aufgrund der geringen Spaltweiten ist jegliche Art faserfremden Materials in der Suspension problematisch und kann zu erhöhtem Verschleiß und im schlimmsten Fall zur Zerstörung der Entstippergarnituren führen. In der Altpapierstoffaufbereitung sind diese Maschinen daher nicht geeignet, es sei denn, dass vorgeschaltete sehr effiziente Trennprozesse die kritischen Substrate bereits eliminiert haben.

In der Altpapierstoffaufbereitung eignen sich sogenannte Sekundärpulper besser zur Stippenbeseitigung (Bild 3.13 und Bild 3.14).



Bild 3.13 Sekundärpulper (Quelle: Voith)

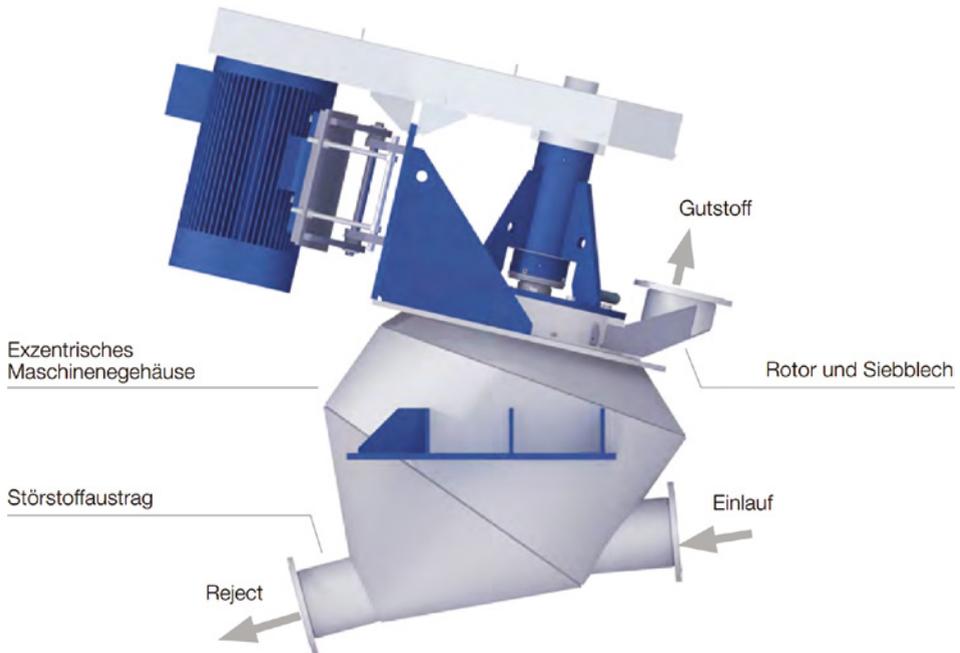


Bild 3.14 IntensaMaXX (Quelle: Voith [3.13])

Sie bestehen aus einem zylindrischen oder konischen Gehäuse, in dem ein Rotor über einem Lochblech bewegt wird. Die dabei entstehenden Druckpulsationen fördern den ausreichend zersetzten Stoff auf die Gutstoffseite und halten das Lochblech frei. Der Rotor hat eine weitergehende Zerkleinerungswirkung. Bei älteren Bauformen war die Lage der Rotorachse meist horizontal, bei neueren Typen ist sie

auch senkrecht oder schräg oben im Kopf der Maschine. Letzteres hat den Vorteil, dass der Verschleiß des Rotors und des Lochblechs durch abrasive Schwerteile minimiert wird. Die Maschinen arbeiten energetisch effizienter als Zahnscheibentstipper und können bei der Altpapieraufbereitung Verunreinigungen tolerieren und abtrennen.

Folgende Trennprozesse sind implementiert:

- Klassieren: Nur eine weitestgehend stippenfreie Suspension kann das Lochblech passieren.
- Sortieren: Schwerteilchen (Dichte $>1 \text{ g/cm}^3$) werden am Gehäuseboden angereichert und entfernt. Bei horizontaler Achslage des Rotors besteht zusätzlich die Möglichkeit, Leichtschmutz (Dichte $<1 \text{ g/cm}^3$) aus der Achse abzuziehen (siehe auch Bild 3.20).

Bild 3.15 zeigt die Systemeinbindung eines IntensaMaXX in eine LC-Zerfaserung und wird in dieser Weise vom Hersteller für Substrate mit geringer Störstofffracht empfohlen.

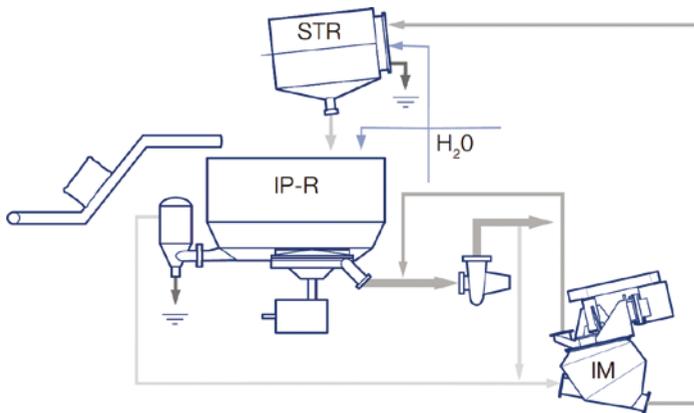


Bild 3.15 Systemeinbindung IntensaMaXX (Quelle: Voith)

IM IntensaMaXX, IP-R Intensa Pulper Recycled Fiber, STR Sortiertrommel

3.3.4 Trennen

3.3.4.1 Grundlagen des Trennens

In der Stoffaufbereitung werden unverwertbare Stoffe (faserfremde Stoffe und ungeeignete Fasern) mit Trennprozessen aus der Faserstoff-Suspension entfernt, und zwar Grobfasern, Stippen, Splitter, Batzen, Reste von Borke und Bast, Sand, Metallteilchen, Glas, Stickies.

Während beim Einsatz von Primärfaserstoffen nur geringe Mengen meist unproblematischer Verunreinigungen zu erwarten sind, ergibt sich für Altpapier ein anderes Bild. Generell sind zulässige Mengen papierfremder Bestandteile und unerwünschter Materialien zwischen Lieferanten und Abnehmern frei vereinbar, orientieren sich im Sinne der Rechtssicherheit aber häufig an der Norm DIN EN 643 [3.14]. Für Deinking-Ware (Sorte 1.11) beispielsweise lautet dort die Festlegung:

„Sortiertes graphisches Papier, mindestens 80 % Zeitungen und Illustrierte. Es müssen mindestens 30 % Zeitungen und 40 % Illustrierte enthalten sein. Druckprodukte, die für Deinking ungeeignet sind, sind auf 1,5 % begrenzt. Papierfremde Bestandteile: max. 0,5 %. Unerwünschte Materialien: max. 2,5 %.“

Effiziente Trennprozesse sind deshalb der Schlüssel für eine Altpapierstoffaufbereitung, die zu akzeptablen Produktqualitäten führen soll.

Die nachfolgende Tabelle 3.2 enthält Angaben zu häufig auftretenden faserfremden Bestandteilen im Altpapier. Einige davon gelangen schon während der Papierherstellung in den Kreislauf, andere während der Verarbeitung, die meisten aber beim Gebrauch des Papiers und beim Sammeln des Altpapiers.

Tabelle 3.2 Dichte und Größe von einigen faserfremden Bestandteilen im Altpapier [3.15]

Faserfremder Stoff	Dichte in g/cm ³	Partikelgröße in µm
Metall	2,7...9	> 1000
Sand	1,8...2,2	1...1000 +
Füllstoffe/Streichfarben	1,8...2,6	< 1...1000
Druckfarben	1,2...1,6	1...1000 +
Stickies	0,9...1,1	1...1000 +
Wachs	0,9...1,0	< 1...10
Styropor	0,3...0,5	100...1000 +
Plastik	0,9...1,1	100...1000 +

Im verfahrenstechnischen Sinn ist Trennen das Zerlegen eines Stoffgemischs oder Stoffgemenges in einzelne Komponenten oder in Phasen innerhalb des betreffenden Systems. Bei der Papiererzeugung werden folgende Trennprozesse genutzt (Tabelle 3.3), die auch in Kapitel 2 näher erläutert sind:

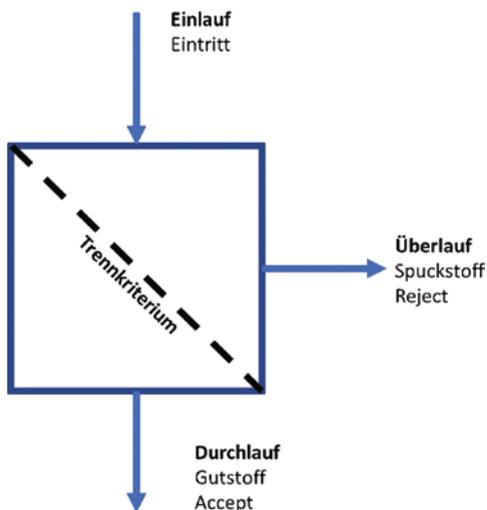
- Klassieren (Trennen nach geometrischer Form und Größe der Teilchen),
- Sortieren (Dichtesortieren),
- Abscheiden.

Umgangssprachlich wird das Klassieren fälschlicherweise als Sortieren bezeichnet.

Tabelle 3.3 Verfahrenstechnische Definitionen der Trennprozesse [3.16]

	Klassieren	Sortieren	Abscheiden
Definition	Trennen nach geometrischer Form und Größe	Trennen nach einem physikalischen Merkmal	Trennen nach Phasen
Beispiel	kubische, flächige oder zylindrische Teilchen	Dichte, Benetzbarkeit	fest-flüssig, fest-fest oder flüssig-gasförmig
Beispiele Papiertechnik	Splitter aus Holzstoff, Folienreste, Stickies aus Altpapierstoff	Entfernung von Metallteilchen, Glas, Sand, Styropor aus Altpapierstoff, Entfernung von Druckfarbe aus Altpapier (Deinking-Flotationsverfahren)	Entwässerung der Suspension, Waschprozesse, Entgasung von Suspensionen
Aggregate/Maschinen	Drucksortierer, Plansortierer (eigentlich besser Druckklassierer, Planklassierer)	Cleaner, Zentrifugen, Flotationszellen	Schneckenpressen, Wäscher, Eindicker, Deculatoren

Bild 3.16 zeigt eine in der mechanischen Verfahrenstechnik häufig verwendete Darstellung von Trennprozessen als Blackbox mit den üblichen Bezeichnungen.

**Bild 3.16** Trennmodell als Blackbox

Es existieren mindestens drei Wege, wobei die fett gedruckten Bezeichnungen Einlauf, Überlauf und Durchlauf wertneutral sind. In der Papiertechnik sind auch Qualifizierungen gebräuchlich, die aber vom Prozessziel beeinflusst sein können: Ist es z. B. das Ziel, aus Altpapierstoff lange Fasern durch Fraktionierung zu gewinnen, wäre der Überlauf Gutstoff oder Accept und der Durchlauf Spuckstoff oder Reject.

Das Trennkriterium kann man sich für Klassiervorgänge als Sieb vorstellen. In der Papiertechnik sind Loch- und Schlitzsiebe üblich. Lochsiebe eignen sich vorzugsweise zur Abtrennung von flächigen Bestandteilen wie Stippen oder Folienteilchen, Schlitzsiebe eher zur Abtrennung kubischer Bestandteile wie z. B. Heftklammern, Holzsplitter, Glasbruch. Im Rahmen der Altpapieraufbereitung wird man Maschinen mit je einer der beiden Siebarten im Prozess in geeigneter Form kombinieren, da sowohl kubische als auch flächige Verunreinigungen vorkommen (vgl. Tabelle 3.2).

Handelt es sich um einen Sortiervorgang, dann ist das Trennkriterium z. B. ein Kraftfeld, das Sedimentation oder Aufschwimmen beschleunigt, indem ein Vielfaches der Erdbeschleunigung auf die Partikelmasse einwirkt.

3.3.4.2 Trennen nach geometrischer Form und Größe – Klassieren

Zum Trennen nach Partikelgröße und -form existieren in der Papiertechnik Druckklassierer, Schwingsichter und Bogensiebe. Leider kommt es durch Bezeichnungen wie „Drucksortierer“, die der Maschinenbau vergibt, immer wieder zu Konflikten mit den Definitionen der Verfahrenstechnik. Der vorliegende Abschnitt wird sich an der Verfahrenstechnik orientieren.

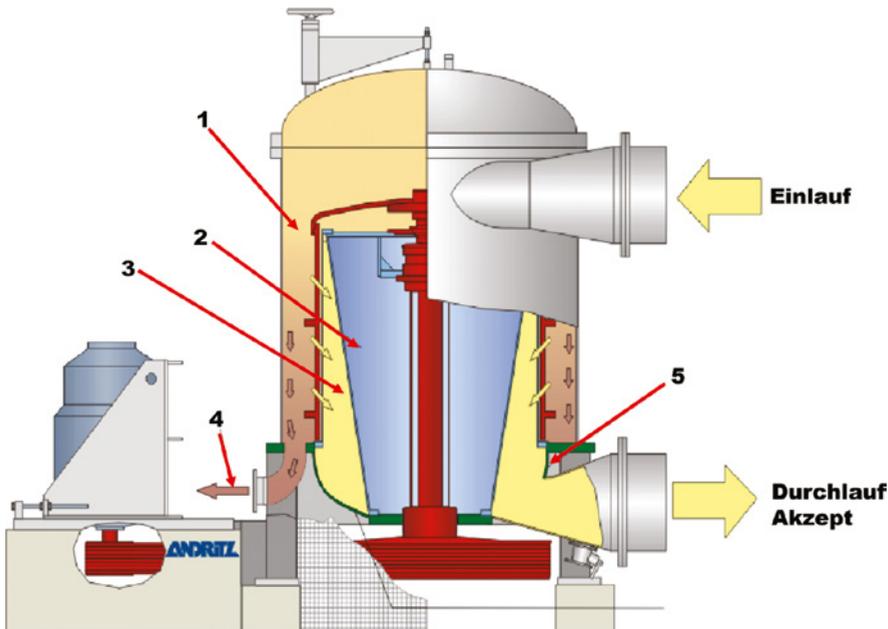


Bild 3.17 Druckklassierer der Fa. Andritz [3.17]

1 Rotor zulaufseitig, 2 konischer Einsatz, 3 konstruktiv bedingte konstante Strömungsgeschwindigkeit über den Siebkorb, 4 Rejektentnahme, 5 Pulsationsminderer

Bild 3.17 zeigt die Schnittdarstellung eines Klassierers. Der Motor befindet sich links. Der Rotor läuft im Einlaufbereich und arbeitet nach dem Zentripedalprinzip. Das kann dazu führen, dass Trennmengen zerkleinert werden. Der konische Einsatz sorgt dafür, dass über den gesamten Siebkorb annähernd konstante Strömungsgeschwindigkeiten herrschen, wichtig für die Vermeidung von Verstopfungen des Siebkorbs. Unterstützt wird dies durch den gewölbten Boden. Ein derartiger Aufbau ist für viele einstufige Typen charakteristisch. Der Arbeitsbereich liegt bei Stoffdichten zwischen 0,3% und 4,5%. Grundsätzlich gilt, je feiner das Trennkriterium (bei Stabsiebkörben werden Schlitzweiten bis herunter zu 0,1 mm erreicht), desto niedriger die Stoffdichte und desto höher die Trennschärfe. Der Einlauf erfolgt tangential von oben, der Durchlauf ist seitlich unten rechts. Der Überlauf befindet sich unten links. Die auf dem Rotor angebrachten Foils erzeugen Druckpulsationen, die den Siebkorb ständig freihalten und kleine Teilchen durch das Sieb hindurch in Durchlaufrichtung beschleunigen. Je nach Einsatzgebiet gibt es unterschiedliche Ausführungen von Rotoren (Bild 3.18).

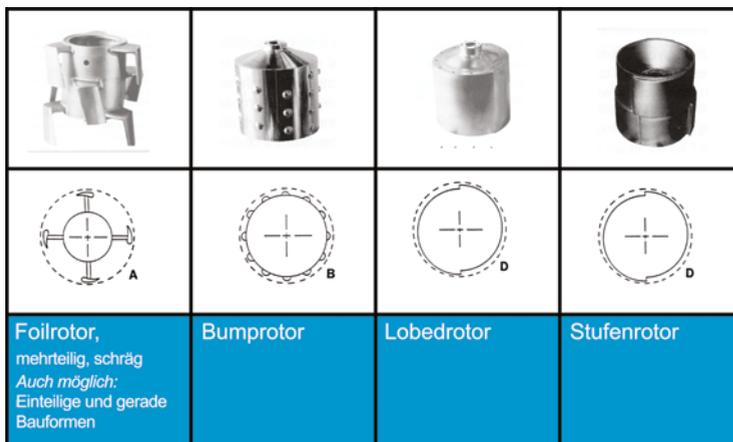


Bild 3.18 Bauformen von Rotoren in Klassierern (Quelle: Voith)

Der Foilrotor ist die häufigste Bauform. Er liefert einen klaren Druckpuls mit niedriger Frequenz und hohen Amplituden. Wird er im Konstantteil der Papiermaschine eingesetzt, kann dies zu Schwankungen der flächenbezogenen Masse in Maschinenlaufrichtung (MD) führen. Die Freihaltung des Trennkriteriums wird von dieser Bauform am effizientesten gesichert. Es besitzt ein gutes Reduzierungspotenzial gegenüber Stickies. Pulsationsprobleme werden häufig durch mehrteilige, schräg angeordnete Foils entschärft. Bumprotoren eignen sich eher zum Einsatz im Konstantteil der Papiermaschine. Sie liefern Druckpulse mit kleiner Amplitude und hoher Frequenz, die in der Regel das MD-Masseprofil nicht mehr stören. Das Potenzial der Stickie-Reduzierung ist geringer als beim Foilrotor. Die deutlichsten Druckpulse

liefert der Lobedrotor, bei dem im Bereich des Druckpuls-Peaks die Strömungsgeschwindigkeit durch das Trennkriterium bis zum 20-fachen der mittleren rechnerischen Strömungsgeschwindigkeit ansteigen kann. Dabei werden Stippen zerfasert (gewollte Zerkleinerung der Trennmenge) aber auch Stickies zerkleinert (nicht gewollte Zerkleinerung der Trennmenge). Die Gefahr der negativen Beeinflussung des MD-Masseprofils ist bei dieser Bauform am größten, wenn sie im Konstantteil installiert ist. Der Stufenrotor kann auch als mehrteiliger Lobedrotor verstanden werden.

Die Rotoren können zentrifugal oder zentripedal beschleunigen. Ihre Anordnung kann einlauf- oder durchlaufseitig erfolgen. Soll die Trennmenge nicht zerkleinert werden, sind Zentrifugalklassierer mit Rotoren im Gutstoffbereich am besten geeignet. Bei ihnen ist allerdings auch die Gefahr am größten, dass im Falle einer Verstopfung des Siebs dieses und der Rotor schwer beschädigt werden. Eine sehr interessante Lösung stellt der Moduscreen der Fa. Andritz dar [3.18]. Bei diesem rotiert der Siebkorb, und das Foil ist starr im Gutstoffbereich angeordnet. Seine Effizienz ist bezüglich der Abtrennung kleiner Metallteilchen (Heftklammern) sehr hoch bei äußerst geringem Verschleiß der Bauteile.

Siebkörbe werden nach der Form der Öffnungen in Loch- und Schlitzsiebkörbe unterteilt (Bild 3.19).

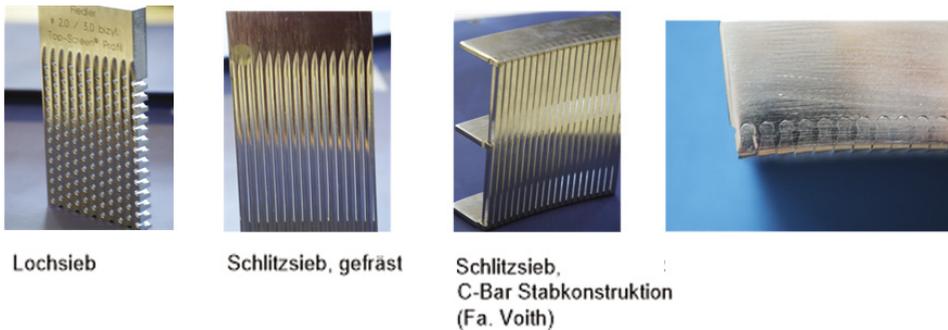


Bild 3.19 Konstruktionsformen von Siebkörben (Quelle: *H.-J. Naujock*)

Das Lochsieb und das gefräste Schlitzsieb in Bild 3.19 stammen von der Fa. Fiedler Perforiertechnik (Andritz), die rechten beiden Bilder zeigen eine Stabkonstruktion (C-Bar der Fa. Voith), wobei der äußerste rechte Bildteil die Art und Weise des Fügens erkennen lässt. Wie bereits erwähnt, eignen sich Lochsiebe besser zur Abtrennung flächiger Verunreinigungen (Stippen, Folie u. Ä.) und Schlitzsiebe besser zur Abtrennung kubischer Verunreinigungen (Holzstoffsplitter, Styropor, Glassplitter, Metallklammern u. Ä.). Das Lochsieb stellt ein Trennkriterium mit 2 mm Durchmesser dar, das in Durchflussrichtung auf 3 mm aufgeweitet wird, um Verstopfungen zu minimieren. Beide Schlitzsiebkörbe haben eine Schlitzweite von

0,2 mm. Wie Bild 3.19 zeigt, kann man Siebkörbe zerspanend, elektroerosiv oder durch Fügen herstellen. Gefügte Schlitzsiebe (Stabsiebkörbe) erlauben Schlitzweiten bis hinunter zu 0,1 mm, und die Toleranzen der Schlitzweite sind geringer. Fertigungstechnisch bedingt und aus Stabilitätsgründen liegt der offene Profillflächenanteil ε zwischen 0,05 und 0,1. Die benötigte Gesamtfläche A_{ges} des Siebkorbes ergibt sich aus dem Volumenstrom \dot{V} , der durch den Klassierer durchgesetzt werden soll unter Berücksichtigung einer mittleren rechnerischen Strömungsgeschwindigkeit v_{quer} von 1...2 m/s.

$$A_{ges} = \frac{\dot{V}}{\varepsilon \cdot v_{quer}}$$

Höhere Strömungsgeschwindigkeiten erhöhen die Gefahr von Verstopfungen und der Zerkleinerung weicher Trennmengen (z. B. Stickies) und sollten daher bereits durch die Auslegung des Prozesses vermieden werden.

3.3.4.3 Trennen nach einem physikalischen Merkmal – Sortieren

Für das Sortieren wird das durch unterschiedliche Dichte der Mischungskomponenten bedingte unterschiedliche Sedimentationsverhalten der Feststoffteilchen in einer Flüssigkeit genutzt. Es wird unterschieden zwischen einer **Sedimentation im Schwerkraftfeld** (z. B. beim Sandfang) und einer **Sedimentation im Zentrifugalkraftfeld** (Hydrozyklon oder Cleaner, Zentrifuge).

Sortieren im Zentrifugalkraftfeld

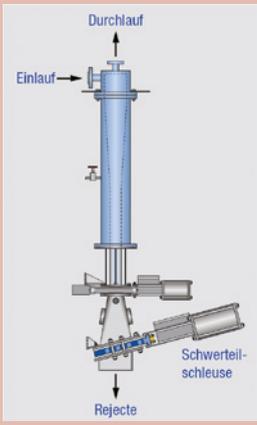
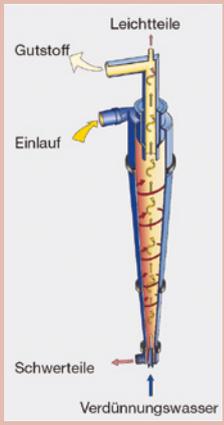
Die Triebkraft für den Trennprozess im Zentrifugalkraftfeld ist eine rotierende Strömung im Inneren eines sogenannten **Cleaners**. Cleanerbauarten unterscheiden sich in der Anzahl der Strömungswege. Die Grundform ist der Dreiwegetyp mit Einlauf, Durchlauf und Überlauf. Sollen neben Schwerschmutz auch noch Leichtschmutz und Luft abgetrennt werden, entstehen Vier- und Fünfwegetypen. Einige wichtige Beispiele sind in Tabelle 3.4 gezeigt.

Der Typ KS 200 ist ein klassischer Dreiwege-Cleaner, bei dem die Zentrifugalkraft genutzt wird, um Teilchen mit einer Dichte deutlich größer als 1 g/cm³ abzutrennen. Diese sedimentieren zunächst an der Cleanerwandung, werden durch die Strömung allmählich nach unten in die Schwerteilschleuse gefördert und dort abgetrennt.

Der Cleaner vom Typ KS 900 ist ein Vierwegetyp. Er trennt Schwerteile aus der Suspension. Gutstoff und Leichtschmutz sammeln sich an der Achse des Cleaners. Der Leichtschmutz wird zentral nach oben entfernt, der Gutstoff aus dem abgewinkelten Durchlauf. Damit Schwerschmutzpartikel die Cleanerunterseite nicht verstopfen, gibt es die Möglichkeit, mit Verdünnungswasser gegenzuspülen. Dies verbessert auch die Trennschärfe und senkt den Faseranteil im Rejekt. Gut erkennbar sind die Strömungswege im Inneren.

Der Leichtteil-Cleaner Typ LT 3 wird aufgrund der Strömungsführung, die den Gutstoff nach unten ausleitet, auch als Reverse-Cleaner bezeichnet. Seine Aufgabe ist die Abtrennung von Leichtschmutz. Ansonsten ist auch er ein Dreiweggetyp.

Tabelle 3.4 Cleaner-Bauarten und technische Daten laut Hersteller (Fa. Voith)

			
Technische Daten	Kegelschleuder KS 200	Kegelschleuder KS 900	Leichtteil-Cleaner LT 3
Maximal zulässiger Betriebsdruck in bar	4	4	4
Maximal zulässige Betriebstemperatur in °C	70	70	70
Einlaufdruck in bar	1,5...4	–	–
Δp Einlauf/Durchlauf in bar	1...2	1,5	1,5
Volumenstrom Einlauf in l/min	600...1400	900	160
Maximale Einlaufstoffdichte in %	1...2 (3,5)	≤ 2	1,5
Spülwasser in l/min	–	60...120	–

Wichtig für das Verständnis der Arbeitsweise von Cleanern ist die in Bild 3.20 dargestellte Trennschärfe. Abgetrennt werden können nur Teilchen, die entweder eine niedrigere oder aber eine höhere Dichte als Wasser haben.

Außer von der Dichte wird die Trennschärfe noch vom Betrag der Zentrifugalkraft und der Stoffdichte beeinflusst. Für die Zentrifugalkraft gilt:

$$F_Z = \frac{m_p \cdot v^2}{r}$$

Dabei sind F_z die Zentrifugalkraft, m_p die Masse des Partikels, v die Strömungsgeschwindigkeit und r der Radius des Cleaners.

Die Trennschärfe lässt sich durch die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit verbessern. Dabei wird allerdings mehr Pumpenenergie verbraucht. Cleaner im Bereich der Feinreinigung kommen so etwa auf eine Zentrifugalbeschleunigung von 200...300 g. Da im Cleaner die Strömungsgeschwindigkeit vom Einlauf zum Auslauf aufgrund innerer Reibung abnimmt, versucht man, die Zentrifugalkraft durch eine Verringerung des Radius etwa konstant zu halten. Deshalb haben die meisten Cleaner eine konische Bauform.

Da moderne Papiermaschinen Auflaufstoffdichten von ca. 0,8% haben und sehr produktiv sind, kann das bedeuten, dass Durchsatzmengen um 80 000 l/min durch eine Cleanieranlage zu realisieren sind. Dies würde für die KS-Typen aus Tabelle 3.4 bedeuten, dass ca. 80 Cleaner parallel zu schalten sind. Dafür benötigt man platzsparende Lösungen wie etwa den Kanisteraufbau (Bild 3.21).

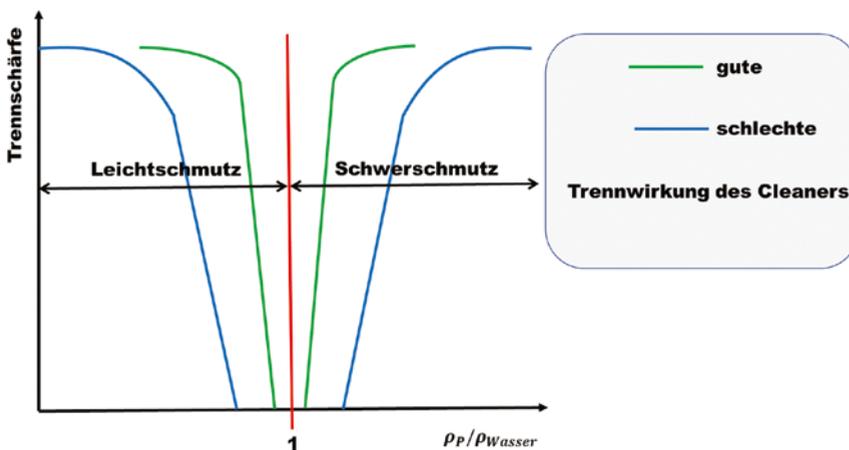


Bild 3.20 Prinzipdarstellung der Trennwirkung von Cleanern (ρ_p = Dichte des Partikels)



Bild 3.21 Kanisteraufbau einer Cleanieranlage für eine Papiermaschine für Wellpappenrohre (Quelle: H.-J. Naujock)

1 Sammelleitung für den Durchlauf (Gutstoff), 2 Sammelleitung für den Einlauf, 3 Sammelleitung für den Überlauf (Rejekt)

Flotation

Die Flotation ist aus verfahrenstechnischer Sicht ein Heterokoagulations-Trennprozess. Dabei kommen alle Phasen (fest, flüssig, gasförmig) vor, Teilchen lagern sich aufgrund von Benetzbarkeitsunterschieden zu größeren Aggregaten zusammen. Die abzutrennenden Partikel werden an Luftblasen angelagert und durch deren Auftriebskraft an die Flüssigkeitsoberfläche befördert. Es bildet sich ein Schwimmprodukt (Schaum), das in der Regel durch Dekantieren aus dem Prozessraum entfernt wird [3.19]. Der Flotationsprozess ist die Schlüsseltechnologie für die Aufbereitung von Altpapier zu einem Stoff hoher Qualität, der wieder zur Herstellung grafischer Papiere (z. B. Zeitungsdruckpapier, LWC-Papier) genutzt werden kann. Er kommt für die Entfernung der Druckfarbe (engl. ink) aus dem Altpapier zur Anwendung, weshalb man auch vom Deinking-Flotationsverfahren oder Flotations-Deinking spricht.

Dabei wird im Zerfaserungsprozess die Druckfarbe mithilfe mechanischer Energie unter Chemikalieneinwirkung von den Fasern abgelöst und sollte möglichst frei beweglich in der Suspension vorliegen. Zudosierte Tenside (in unserem Beispiel eine aliphatische Fettsäure) hydrophobieren die Druckfarbenpartikel nach folgendem vereinfachten Schema (Bild 3.22).

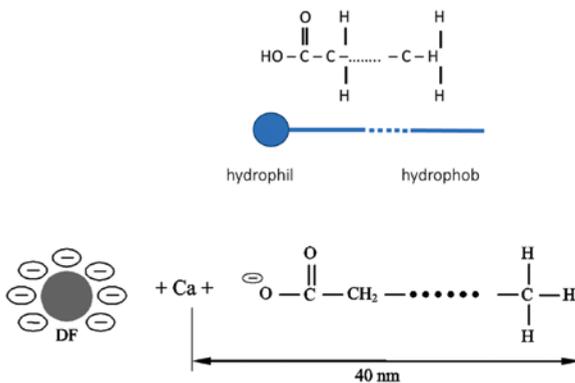


Bild 3.22 Anlagerung einer dissoziierten Fettsäure an die Druckfarbenoberfläche über eine Calciumbrücke

Calcium ist als temporärer Härtebildner in der Regel in Form von Calciumhydrogencarbonat im Prozesswasser vorhanden. Fettsäure ist umso wirksamer, je länger die Kette. Da das Tensid bei Prozesstemperatur (ca. 40 °C) noch flüssig sein muss, ist die Obergrenze in der Regel C18 (Stearinsäure). Andere möglichen Tenside sind Fettalkoholethoxylate.

Den hydrophobierten Druckfarbenpartikeln muss Luft als Grenzfläche angeboten werden, damit sie dem Wasser entweichen können. Dazu muss innerhalb der Flo-

tationszelle ein Spektrum von Luftblasen generiert werden, deren Durchmesser groß genug ist, eine derartige Auftriebskraft zu entwickeln, die die Druckfarben-Calciumseifenagglomerate (Blase-Teilchen-Aggregate, BTA) an die Oberfläche transportieren kann. Andererseits dürfen die Luftblasen nicht zu groß sein, da sonst ggf. Schirmlblasen entstehen, die Turbulenzen generieren und so bereits gebildete BTA wieder zerstören. Ein mögliches Spektrum liegt zwischen 1 mm und 10 mm Blasendurchmesser.

Eine in der Industrie häufig anzutreffende maschinelle Lösung für das Flotations-Deinking ist EcoCell™ der Firma Voith. Eine EcoCell™-Flotationszelle ist in Bild 3.23 gezeigt.

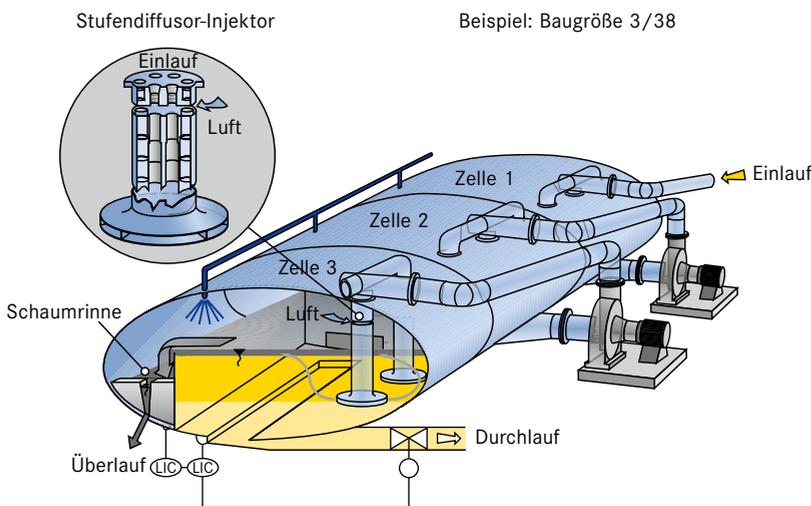


Bild 3.23 EcoCell™-Flotationszelle mit horizontal hintereinander angeordneten Zellen mit Injektoren (Quelle: Voith)

Über Pumpen (rechts in Bild 3.23, grau) wird die Suspension mit hoher Strömungsgeschwindigkeit in sogenannte Stufendiffusor-Injektoren gefördert (siehe vergrößerten Ausschnitt in Bild 3.23). In deren oberem Teil befindet sich eine Düsen-Blenden Anordnung mit seitlichen Lufteinlässen. An der Blende entsteht permanent ein Druckabfall, den die Anordnung durch das Einsaugen von Luft zu kompensieren versucht. Die Stufendiffusoren generieren Mikroturbulenzen, die in Verbindung mit der hohen Strömungsgeschwindigkeit dafür sorgen, dass Luftblasen des erforderlichen Teilchengrößenspektrums entstehen. Die Prallplatte im unteren Teil des Injektors fördert die BTA-Ausbildung und lenkt gleichzeitig die Strömung in eine für die Zelle geeignete Richtung. Die BTA steigen zur Oberfläche auf und bilden das Schwimmprodukt, den Schaum, der die abgetrennte Druckfarbe enthält. Dieser Schaum wird mechanisch über ein Wehr dekantiert. Spritzrohre hinter dem Wehr waschen den Schaum von der Kante und verkleinern sein Volu-

men. Der Schaum enthält noch relativ viele Fasern und Füllstoffe, sodass er in der Regel in einer Sekundärflotation nachbehandelt wird. Die gesamten Feststoffverluste einer Deinking-Anlage können beispielsweise rund 23% betragen [3.20]. Davon entfallen 12% auf die Primär- und 4% auf die Sekundärflotation.

Der Durchlauf (Gutstoff) einer Zelle wird in einer Reihenschaltung der nachfolgenden Zelle zugeführt. Die Gesamtanzahl der notwendigen Zellen einer Primärflotation hängt von der Durchsatzmenge ab. Es sollten Verweilzeiten von ca. 10 Minuten zustande kommen. Auf fünf Primärzellen entfällt in der Regel eine Sekundärzelle [3.21]. Der Durchlauf (Gutstoff) der Sekundärzelle(n) wird in den Einlauf der ersten Primärzelle rückgeführt.

Ein weiterer Anwendungsfall für den Flotationsprozess ist die **Abwasserreinigung**, bei der alle Feststoffe, insbesondere auch klebende Bestandteile (Stickies), möglichst vollständig vom Wasser abgetrennt werden sollen (Totalflotation). Die zugrunde liegende Technologie ist die Flotation mit in der Suspension gelöster Luft (Dissolved Air Flotation, DAF). Dabei wird der Suspension in der Regel ein Teilstrom entnommen und in einem Druckbehälter bei 5...10 bar Überdruck mit Luft gesättigt. Nach der Sättigung wird er dem Hauptstrom wieder zugeführt (siehe Bild 3.24). Unmittelbar im Einlauf der DAF-Zelle (Bild 3.25) befindet sich ein Druckentspannungsventil, das den Überdruck abbaut. Dabei gas die gelöste Luft in Form sehr kleiner Blasen wieder aus. Der Median des Luftblasendurchmessers liegt z. B. bei einer Aufgasung mit 10 bar und 23 °C bei 35 µm [3.22].

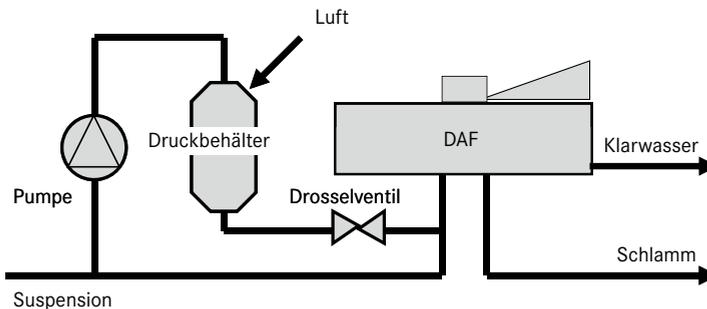


Bild 3.24 Schaltung einer DAF-Anlage (DAF = Dissolved Air Flotation) (Quelle: Voith)

Da in der Regel auch Flockungsmittel in Form von Polyelektrolyten (z. B. kationisches Polyacrylamid) zudosiert werden, agglomerieren die Faserfeinstoffe, lagern dabei die Blasen ein und schwimmen auf. Es bildet sich ein sehr stabiler Schaum mit schlagsahneähnlicher Konsistenz und einem Feststoffgehalt von etwa 4%. Der Schaumaustrag erfolgt über einen rotierenden Skimmer (rechts in Bild 3.25). In der Bildmitte befindet sich der Schaumabzug (braun), die Zuführung der zu reinigenden Suspension (orange) und die Zuführung der begasteten Suspension (blau), die mit einem rotierenden Element eingemischt wird. Da kleine Luftblasen nur sehr geringe

Aufstiegsgeschwindigkeiten haben, ist die Bauform der Zellen relativ niedrig, aber großflächig. Das gereinigte Abwasser wird am Zellenboden entnommen (grün).

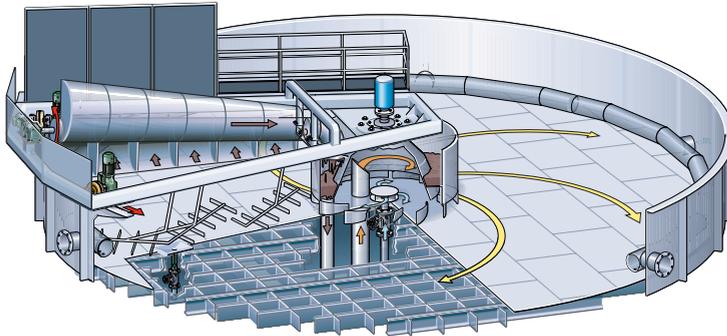


Bild 3.25 DAF-Zelle zur Abwasserreinigung (DAF = Dissolved Air Flotation) (Quelle: Voith)

3.3.4.4 Trennen nach Phasen

In der Papiertechnik relevante Phasentrennungen sind die Trennung der festen und der flüssigen Phase (Trennung fest/flüssig) und die Trennung der flüssigen und der gasförmigen Phase (Trennung flüssig/gasförmig).

Trennung fest/flüssig

Die **Trennung fest/flüssig** erfolgt mit Ausnahme der vorstehend behandelten Totalflotation durch Filtrationsprozesse. Man unterscheidet zwischen **Waschen** und **Eindicken** bzw. **Entwässern**.

Ziel des **Waschprozesses** ist ein gereinigter Faserstoff. Dabei gelangen unerwünschte Teilchen, die in der Regel kleiner als $50\mu\text{m}$ sein müssen, ins Filtrat und werden so aus der Faserstoffsuspension entfernt. Solche unerwünschten Partikel können z. B. Faserfeinstoff, Füllstoffe und Pigmente, Druckfarbenpartikel, Stickies und kolloidal gelöstes Material sein. Über die Abwasserreinigung werden diese Substanzen dann endgültig aus dem Kreislauf entfernt.

Eine besondere Stellung nimmt das **Wasch-Deinking** ein. Hier werden die Druckfarben durch Waschen aus der Suspension entfernt, natürlich aber auch die anderen vorgenannten kleinen Partikel [3.23].

Die Trennung fest/flüssig dient auch zur Rückgewinnung von in Waschprozessen gereinigten Fasern. Bei der Erhöhung der Stoffdichte bis auf 10 % wird oft der Begriff **Eindickung** benutzt. Sollen höhere Stoffdichten erreicht werden – mit Schneckenpressen sind z. B. bis zu 55 % erreichbar – dann verwendet der Technologe eher den Begriff **Entwässerung**.

Die Trennung fest/flüssig wird auch eingesetzt, um die Stoffdichte zu erhöhen, damit nachgeschaltete Prozesse energetisch effizienter zu betreiben oder auch die Wirksamkeit von Chemikalien durch höhere Konzentrationen, schneller ablaufende

Diffusion und Reaktion verbessert werden können. Das Prozesswasser kann im Kreislauf verbleiben. Demnach können alle technischen Einrichtungen, die waschen können, auch zum Eindicken/Entwässern verwendet werden und umgekehrt. Zur Eindickung eignen sich Bandfilter, Banddruckfilter, Rundsiebeindicker, Bogensiebe und Scheibenfilter. Exemplarisch sei hier zunächst eine häufig verwendete Maschine, der Scheibenfilter, beschrieben (Bild 3.26). Die Scheibe ist mit segmentierten Filterelementen bestückt und rotiert im Uhrzeigersinn. Sie taucht in einen niveaugeregelten Trog ein. Als Filterelement benutzt man Kunststoffsiebe oder zur Vermeidung von Verschleiß häufiger gelochte Edelstahlbleche, die aus Steifigkeitsgründen leicht gewellt sind. Wenn das Segment in die Suspension eintaucht, bildet sich auf seiner Oberfläche zunächst eine Filterhilfsschicht aus langen Fasern. Diese ist dann in der Lage, auch kleinere Teilchen und Feinstoff zu retendieren. Im Inneren des Segments sammelt sich das Klarwasser. Triebkraft für den Filtrationsprozess ist der hydrostatische Druck. Das Maximum der Stoffdichte wird erreicht, wenn das Segment vollständig aus der Suspension aufgetaucht ist. Das Abschlagspritzrohr löst die Filtermatte von der Segmentoberfläche. Sie fällt auf ein Abstreifblech und rutscht in eine Sammelrinne unterhalb des Troges, aus der sie mit einem Schneckenförderer aus der Maschine entfernt wird. Die im Uhrzeigersinn nachfolgenden Spritzrohre reinigen die Scheibensegmente und bereiten so den nächsten Filtrationsprozess vor. Das Klarfiltrat sammelt sich im axial installierten Zentralrohr und verlässt über eine stirnseitig der Maschine angebrachte Leitung die Maschine. Die Stauhöhe in dieser Leitung kann ggf. zum Aufbau eines Unterdrucks genutzt werden, der den Filtrationsprozess unterstützt.

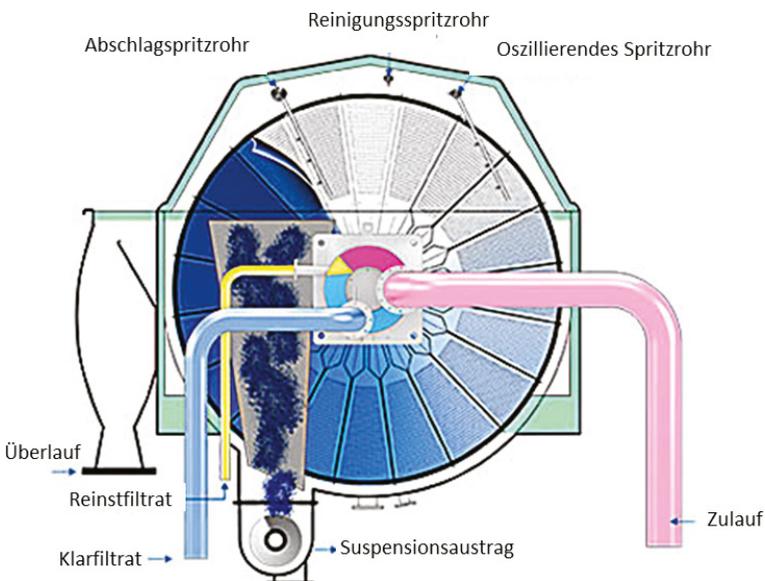


Bild 3.26 Prinzip eines Scheibenfilters [3.24]

Bild 3.27 und Bild 3.28 zeigen den Gesamtaufbau der Maschine und die erwähnten Scheibensegmente aus gewelltem Edelstahl.

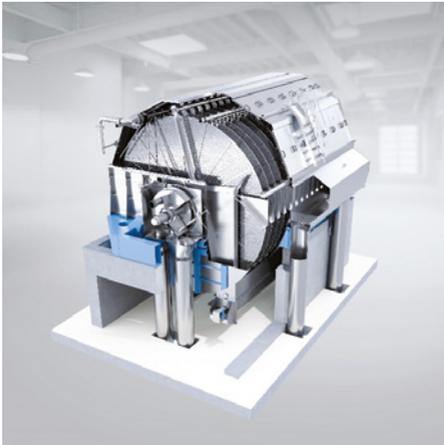


Bild 3.27 Andritz-Scheibenfilter [3.25]

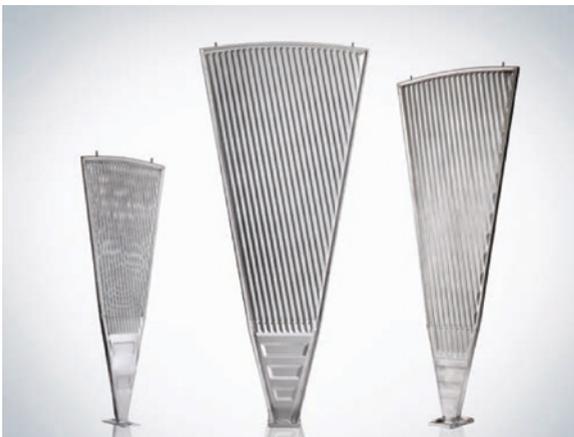


Bild 3.28 Segmente eines Scheibenfilters aus Edelstahl [3.26]

Die Auslaufstoffdichte liegt in der Regel bei 10...12%. Werden im Prozess noch höhere Stoffdichten benötigt, bietet sich die Verwendung einer Schneckenpresse an. Je nach Einstellung und Substrat sind diese Maschinen geeignet, auf bis zu 55% Stoffdichte zu entwässern (siehe Bild 3.29).

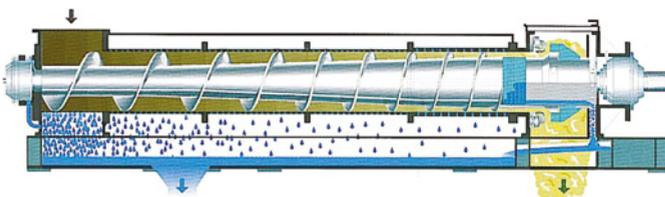


Bild 3.29 Schema einer Schneckenpresse (Thune Press) (Quelle: Voith)

In einem perforierten und teilweise verstärkten Metallzylinder rotiert eine Schnecke, die durch zunehmende Steigung und wachsenden Durchmesser des Innenkonus vom Einlauf zum Auslauf hin kontinuierlich wachsende Entwässerungskräfte erzeugt. Im Auslauf sorgt ein verstellbarer Gegenkonus für eine weitergehende Entwässerung. Der Antrieb befindet sich idealerweise dort, wo das höchste Drehmoment benötigt wird, auf der Auslaufseite.

Trennung flüssig/gasförmig

Luft in der Faserstoffsuspension kann eine Reihe von Problemen hervorrufen:

- Wachstum und Ablagerung aerober Mikroorganismen (Schleim),
- Anlagenkorrosion,
- Kavitation in Pumpen,
- Schaumprobleme bei der Bahnbildung,
- Flockenbildung bei der Entwässerung und schlechte Blattformation,
- Nadellöcher im Papier (pin holes).

Die letzteren beiden Probleme spielen vor allem bei Produkten mit niedrigen flächenbezogenen Massen (z.B. unterhalb 100 g/m²) eine Rolle, im Kartonbereich eher nicht. Die Luft sollte aus diesem Grund spätestens im Konstantteil der Papiermaschine so vollständig wie möglich aus der Suspension entfernt werden. Die am häufigsten anzutreffende Anlage für diesen Prozess ist der Deculator (Bild 3.30).

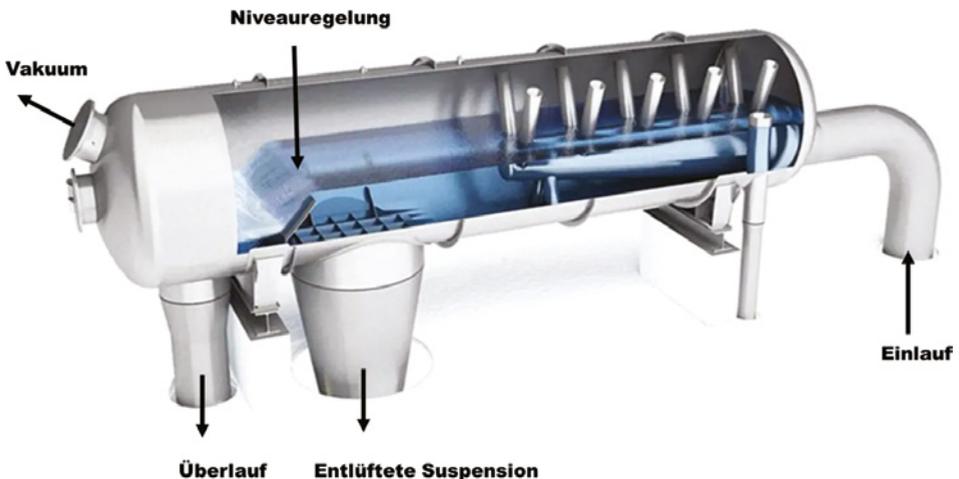


Bild 3.30 Deculator (Quelle: Valmet)

Er besteht aus einem zylindrischen Edelstahlkessel, in dem sich ein Wehr zur Niveauregulierung befindet. Der Einlauf ist in der Regel die Durchlaufsammelleitung

des Kanisteraufbaus einer Cleaneranlage (siehe Bild 3.21). Die Suspension spritzt mit hoher Geschwindigkeit auf die obere Behälterwand und wird dabei feinstverteilt. Aufgrund der großen Oberfläche kann das Aerosol schnell entlüften. Vor dem Wehr wird die entlüftete Suspension entnommen und dem Stoffauflauf der Papiermaschine zugeführt. Der Unterdruck beträgt etwa 0,6...0,8 bar. Korrespondierend muss die senkrechte Längenprojektion der Leitungen für den Überlauf und die entlüftete Suspension etwa 8...10 m betragen. Die Wirksamkeit der Entlüftung liegt bei modernen Installationen bei nahe 100 %.

3.3.5 Mahlung

In den Zerfaserungsprozessen (siehe Abschnitt 3.3.2 und Abschnitt 3.3.3) ist die Faserbearbeitung/Faserumformung in der Regel ein gelegentlich nicht zu vermeidender, aber eigentlich nicht beabsichtigter Nebeneffekt. Anders bei der Mahlung. Verfahrenstechnisch gesehen ist auch jede Mahlung ein Zerkleinerungsprozess, bei dem jedoch gezielt neue (reaktive) Oberflächen geschaffen werden sollen. Dieses Ziel gilt so uneingeschränkt auch für die Mahlung im Rahmen der Papiertechnik [3.16].

Der Zweck der Mahlung ist nach *Iwanow* [3.27] definiert als:

- Erhöhung der spezifischen Oberfläche der Faser durch Fibrillierung und damit Ausbildung fasereigener Bindungskräfte,
- Ausbildung eines bestimmten Quellungsgrades im Faserstoff,
- Ausbildung eines bestimmten Verhältnisses von Länge und Dicke der Fasern und in der Fraktionszusammensetzung.

Eine Verringerung der Teilchengröße ist dabei aber aufgrund der besonderen Struktur der Papierfasern nicht in jedem Falle notwendig. Die Mahlung der Fasern ist ein in mehrfacher Hinsicht stochastisch ablaufender Prozess. So ist es möglich, einzelne primäre Suspensions- oder Papiereigenschaften gezielt einzustellen, davon abhängige aber nicht. Die Bedeutung der Mahlung für den Gesamtprozess ergibt sich daraus, dass die Ergebnisse, die an der Faser erzielt werden, irreversibel sind. Fehler, die in diesem Prozess gemacht werden, sind in der Regel nicht oder nur sehr aufwendig zu korrigieren. Der Verbrauch an Elektroenergie ist sehr stark produktabhängig und kann in Einzelfällen (Spezialpapiere) bis zu 60 % des Gesamtverbrauches für diesen Energieträger in der Papierfabrik betragen. Dabei sind nur 1...10 % der eingesetzten Energiemenge für die beabsichtigte Faserumformung tatsächlich physikalisch notwendig. Der Rest wird im Wesentlichen über Turbulenzen und Reibung in Wärme umgewandelt, sodass sich hier ein großes Potenzial zur Energieeinsparung eröffnet.

Durch die Mahlung werden folgende Papiereigenschaften positiv beeinflusst:

- Die Blattformation verbessert sich.
- Die statische Festigkeit nimmt zu.
- Bei fibrillierender Mahlung kann auch die dynamische Festigkeit gesteigert werden.
- Die Haptik, insbesondere der Klang, verbessert sich.

Aspekte, die unter Umständen negativ zu werten sind:

- Die Opazität (das Deckvermögen) nimmt ab.
- Das Entwässerungsvermögen der Suspension verschlechtert sich. Das erfordert einen höheren Energiebedarf bei der Bahnbildung, der Pressenentwässerung und der thermischen Trocknung.
- Vermögen zu Sorption und Permeabilität nimmt ab.

Die Mahlung ist eines der ältesten Verfahren zur Aufbereitung der Faserstoffe für die Papiererzeugung. Bereits in sehr frühen Stadien der Papierherstellung hatte man erkannt, dass die Fasern einer Aktivierung der Oberfläche bedürfen, soll ein festes Papier entstehen.

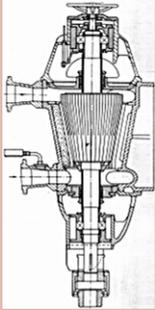
3.3.5.1 Mahlmaschinen

Eine im 17. Jahrhundert in Holland erfundene Zylindermühle, der sogenannte Holländer, löste im 18. Jahrhundert die bis dahin in Deutschland eingesetzten Stampfwerke ab und war für sehr lange Zeit die „Allzweckwaffe“ des Papiermachers, da er gleichzeitig folgende Prozesse der Stoffaufbereitung realisieren konnte: Suspendieren, Mahlen, Mischen und Lagern. Erst im 20. Jahrhundert wurde er nach und nach durch Maschinen ersetzt, die jeden dieser Teilprozesse produktiver und energetisch effizienter umsetzen konnten. Bei der Herstellung von Spezialpapieren, bei denen lange und resistente Fasern bearbeitet werden müssen (z. B. Teebeutelpapier, Banknotenpapier), ist der Holländer auch heute noch anzutreffen. Die technische Entwicklung brachte dann in der zeitlichen Abfolge Flachkegelmühlen, Steilkegelmühlen, Scheibenmühlen und auch neue Zylindermühlen hervor (siehe Tabelle 3.5).

Dominierend in der Anzahl der Anwendungen sind heute die Scheibenmühlen, in der Regel in der Ausführung als Doppelscheibenmühle (Bild 3.31). Sie verfügen über hohe Produktivität bei stabilem Betrieb.

Die Mahlgarnituren (Mahlscheiben) sind Verschleißmaterial und relativ kostengünstig herstellbar. Dabei können sehr unterschiedliche, an die jeweilige Aufgabe angepasste Messergeometrien realisiert werden. Die kleinste gießfähige Messerbreite und -höhe liegt bei etwa 2 mm. Es ist ebenso möglich, Mahlscheiben zu kleben (Durabond, Fa. Andritz). Dann ist auch die Implementierung sehr schmaler und gleichzeitig hoher Messer möglich (Bild 3.32). Die Mahlscheiben sind in der Regel segmentiert. Dies erleichtert die Montage und erlaubt unter Betriebsbedingungen eine gewisse thermische Ausdehnung, ohne Spannungen zu verursachen.

Tabelle 3.5 Bauarten von Mahlmaschinen

	Zylindermühlen		Kegelmühlen		Scheibenmühlen	
	Holländer	Papillon-Refiner	Flachkegelmühlen	Steilkegelmühlen		
						
Hersteller	unbekannt	Andritz	Jordan	Metso/Valmet	Andritz	
Leistung in kW	bis ca. 200	400...3600	bis ca. 400	90...2800	315...2500	
Durchsatz minimal		200... 1000l/min		5...800t/d, Stoffdichte 2...6 %	400...6500 l/min	
Durchsatz maximal	ca. 100t/d	2500... 11 000l/min	ca. 150t/d		2500... 23000l/min	
Stoffdichtebereich	LC	LC	LC	LC	LC bis HC	

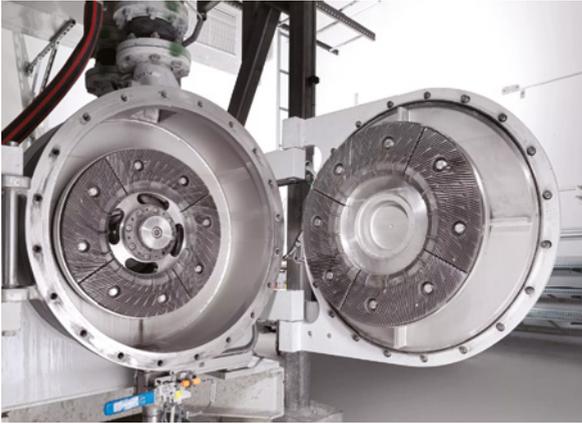


Bild 3.31 TwinFlo-Refiner mit Pluralis-Mahlgarnitur (Quelle: Voith [3.12])



Bild 3.32 Durabond-Mahlscheibe (Quelle: Andritz [3.28])

Die Auswahl der Mahlmaschine und der Mahlgarnituren sowie der Prozessbedingungen sollte der beabsichtigten Zustandsänderung des Faserstoffes und der angestrebten Produktqualität folgen. Die Mahlung kann überwiegend faserkürzend oder überwiegend fibrillierend erfolgen (Bild 3.33).

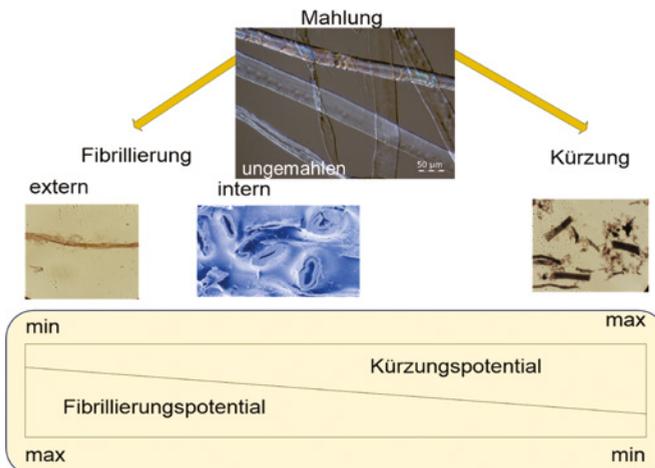


Bild 3.33 Axiom der Faserstoffmahlung (Quelle: H.-J. Naujock, S. Heinemann und [3.29])

Nach *Levlin* [3.30] gilt für die Einzeleffekte Fibrillierung und Faserkürzung, dass keiner dieser Effekte ausschließlich zu entwickeln und der andere dabei vollständig zu eliminieren ist. Das Ergebnis kann also sein, dass im Extremfall sehr überwiegend fibrilliert oder aber stark überwiegend gekürzt wurde. Man sollte vor allem auch aus Gründen der Erhaltung der morphologischen Reserven der Fasern für das wiederholte Recycling der überwiegend fibrillierenden Mahlung den Vorzug geben. Überwiegend faserkürzende Mahlung ist eigentlich nur aus Gründen der Blattformation (porzellanartige Durchsicht) oder beim Einsatz sehr langer Fasern (z.B. Baumwolle, Abaca) erforderlich, weil Fasern, die länger als 3,5 mm sind, wie Fremdkörper im Papier wirken und teilweise nicht komplett in die Struktur eingebunden sind. Das kann zu Problemen beim Bedrucken führen (Linting).

Ob überwiegend fibrillierend oder überwiegend kürzend gemahlen wird, steuert der Technologie über die Prozessbedingungen, die Auswahl des Messermaterials und der Messergeometrie sowie die Intensität des Energieeintrags.

Bei der Auswahl der Mahlmaschine stehen meist energetische Effizienz und Produktivität im Vordergrund. Leichte Vorteile hinsichtlich der Fibrillierung hat die Scheibenmühle (laterale Scherbeanspruchung), für die Kürzung eignet sich der Holländer besser (Kantenwirkung).

3.3.5.2 Disperger

Disperger sind Maschinen, die in der Lage sind, sehr hohe Scherkräfte im Verarbeitungsgut zu applizieren. Sie arbeiten dafür mit hohen Stoffdichten um 30%. Die geschlossene Bauweise erlaubt eine Hermetisierung und die Anwendung von Temperaturen auch oberhalb von 100 °C. Die technologische Aufgabenstellung für Disperger ist die Aufbereitung von Altpapier mit u. a. folgender Zielsetzung:

- Schwer zerfaserbares (z. B. nassfestes) Altpapier in Einzelfasern zerlegen.
- Ablösung von Druckfarbe von der Faseroberfläche mit dem Ziel verbesserter Flotierbarkeit.
- Zerkleinerung optisch störender Partikel (Schmutzpunkte) unter die Sichtbarkeitsgrenze (ca. 50 µm).
- Einmischung von Chemikalien (z. B. Nassentfestiger, Bleichmittel).
- Bei Temperaturen um 130 °C: Sterilisierung des Substrates und Zerstörung von Enzymen (Katalase macht die Peroxidbleiche ineffizient).
- Faserumformung, Faserkräuselung (engl. kink and curl) zur Erhöhung des massespezifischen Volumens (z. B. im Kartonbereich).
- Zerkleinerung klebender Bestandteile, sodass sie in unmittelbar nachgeschalteten Prozessen nicht mehr stören.