

Jürgen Blechschmidt
Hans-Joachim Naujock

Taschenbuch der Papiertechnik



3. Auflage

HANSER

Naujock (Hrsg.) / Blechschmidt (Hrsg.)
Taschenbuch der Papiertechnik



Blieben 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

Herausgeber:

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

Prof. Dr.-Ing. em. Hans-Joachim Naujock, Hochschule für Angewandte Wissenschaften München

Autoren:

Dr.-Ing. Christian Bäurich, Technische Universität Dresden, (Abschn. 6)

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Blechschmidt, Dresden, (Abschn. 1, 2, 3, 5)

Olav Dau, GE Energy Power Conversion GmbH Hamburg, (Abschn. 16)

Dr.-Ing. Eduard Davydenko, Andritz Küsters GmbH Krefeld, (Abschn. 12)

Dipl.-Ing. Eberhard Dobschall, Zellstoff Stendal GmbH, Arneburg, (Abschn. 4)

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Fischer, Technische Universität Dresden,
(Abschn. 6)

Prof. Dr.-Ing. Thoralf Gliese, Omya International AG Oftringen/Schweiz und
Hochschule für Angewandte Wissenschaften München, (Abschn. 8)

Dr.-Ing. Sabine Heinemann, Technische Universität Dresden, (Abschn. 5)

Dipl.-Ing. Kurt Hiller, Andritz Küsters GmbH Krefeld, (Abschn. 12)

Dipl.-Ing. Herbert Holik (†), Ravensburg, (Abschn. 11)

Dipl.-Ing. Holger Jung, TBP Upcon GmbH, Moosburg, (Abschn. 17)

Dr.-Ing. Johannes Kappen, M Consult GmbH, Gesellschaft für Papier-, Um-
welt- und Energietechnik, Eching/Haselfurt, (Abschn. 15)

Prof. Dr. Stephan Kleemann, Hochschule für Angewandte Wissenschaften
München, (Abschn. 8)

Prof. Dr.-Ing. em. Hans-Joachim Naujock, Hochschule für Angewandte Wis-
senschaften München, (Abschn. 7, 9)

Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Öller, Dr. Öller Umweltberatung, München,
(Abschn. 15)

Dipl.-Ing. Irene Pollex (†), Papiertechnische Stiftung Heidenau, (Abschn. 16)

Dipl.-Ing. (FH) Daniela Pracht, Stadtwerke München, (Abschn. 17)

Dipl.-Ing. (FH) Franka Rochner, Papiertechnische Stiftung (PTS), (Abschn. 16)

Dr.-Ing. Reinhard Sangl, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg,
(Abschn. 13)

Dr.-Ing. Peter Svenka, Andritz Küsters GmbH Krefeld, (Abschn. 12)

Dr. Renke Wilken, Gröbenzell, (Abschn. 14)

Prof. Dr. Helga Zollner-Croll, Hochschule München, (Abschn. 10)

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

Taschenbuch der Papiertechnik

3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Herausgeber:

Hans-Joachim Naujock (Hrsg.)

Jürgen Blechschmidt (Hrsg.)



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en, Herausgeber) 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(en, Herausgeber) 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 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 benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, sind vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2021 Carl Hanser Verlag München;

Internet: www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg

Herstellung: Anne Kurth

Satz: Eberl & Koesel Studio GmbH

Titelbild: © Valmet Technologies, Inc., Jyväskylä/Finnland

Covergestaltung: Max Kostopoulos

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

Druck und Binden: Friedrich Pustet GmbH & Co. KG, Regensburg

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-46285-4

E-Book-ISBN: 978-3-446-46562-6

Vorwort

Die Erfindung des Papiers wurde im Jahre 105 zuverlässig dokumentiert. Die wichtigste Funktion war lange Zeit die des Informationsträgers. Heute kommen weitere hinzu wie die der umweltfreundlichen Verpackung und des universellen Werkstoffs. In den vergangenen rund 1900 Jahren hat die Erzeugung von Papier eine rasante Entwicklung genommen. Weltweit werden jährlich 419 Millionen Tonnen Papier hergestellt. Wir empfinden es als selbstverständlich, dass gewünschte Papierqualitäten stets in ausreichender Menge zu erschwinglichen Preisen verfügbar sind. Papier fällt in der gesellschaftlichen Wahrnehmung also nicht durch sein Vorhandensein, sondern erst durch sein Fehlen auf.

Der Prokopfverbrauch pro Jahr beträgt derzeit 219 kg in Deutschland. Moderne Papiermaschinen produzieren mit Geschwindigkeiten von über 2000 m/min bei einer Arbeitsbreite von 10 m und darüber.

Holz ist der wichtigste Rohstoff zur Papiererzeugung. Der Prozess der Verarbeitung von Holz zu den Primärfaserstoffen Zellstoff und Holzstoff ist ein Ausgangspunkt der Halbstoffbereitstellung. Diese werden nach Gebrauch zu Sekundärrohstoff, zu Altpapier. Dieses ist mit 78 % der mengenmäßig wichtigste Faserstoff für die Herstellung von neuem Papier in Deutschland.

Die Faserstoffe werden für die Herstellung des Papiers auf der Papiermaschine zu Ganzstoff unter Zusatz von Additiven entsprechend der zu erzeugenden Papiersorte aufbereitet. Moderne Papiermaschinen führen über die Prozessstufen Blattbildung, Pressen und Trocknung zum fertigen Papier. Die Qualität der Papieroberfläche kann durch Streichvorgänge und Glättung beidseitig verbessert werden. In der Ausrüstung erfährt das Papier die endgültige Fertigstellung zur Auslieferung als Rollen- oder Formatware. Das Taschenbuch befasst sich mit diesen Vorgängen und behandelt abschließend die moderne Prozess- und Qualitätskontrolle. Die Papierverarbeitung ist als besonderer Abschnitt aufgenommen.

Das Taschenbuch versteht sich als Kompendium der komplexen Problematik der Papiertechnologie und versucht den neuesten Stand der Tech-

nik unter Nutzung von umfangreichem Bildmaterial und Tabellen wiederzugeben. Die erste Auflage erschien im Jahre 2010. Das Buch wurde vor allem an den Universitäten, Hochschulen und dem Papierzentrum im deutschsprachigen Raum als Standardwerk eingeführt. In der zweiten, aktualisierten Auflage wurde der Unterabschnitt „Energienutzung“ zu einem eigenständigen Abschnitt „Energieeinsatz bei der Papiererzeugung“ erweitert. Die dritte Auflage enthält den Abschnitt „Biogene Faserstoffe“ neu.

Zur Bearbeitung der Breite des Fachgebietes und der Gewährleistung der erforderlichen Kompetenz konnten ausgewiesene Fachexpertinnen und -Experten aus dem In- und Ausland als Autorinnen und Autoren gewonnen werden. Ihnen sei für ihr aktives Mitwirken recht herzlich gedankt.

Als Leser möchten wir alle am komplexen Prozess der Fertigung des Kulturgutes Papier Interessierten, vorwiegend natürlich das technisch-technologische Personal von Papierfabriken und Papierverarbeitungsbetrieben sowie Lehrende, Forschende und Lernende an Universitäten, Fachhochschulen, Ingenieurschulen, Papiermacher-Ausbildungszentren und an Forschungsinstituten gewinnen.

Dresden und Haag an der Amper
im August 2021

Jürgen Blechschmidt,
Hans-Joachim Naujock

Inhalt

Vorwort	V
1 Einführung – Historischer Abriss	1
1.1 Älteste Beschreibstoffe	1
1.2 Erfindung des Papiers	3
1.3 Steigender Papierbedarf durch folgende Erfindungen	7
1.4 Schnell steigende Produktivität	8
2 Begriffe und Papiersorten	13
2.1 Begriffsklärung	13
2.2 Papiersorten	21
2.3 Lexikon der Papiersorten	22
3 Rohstoffe der Papiererzeugung	37
3.1 Übersicht	37
3.2 Aufbau und Zusammensetzung des Holzes	39
3.3 Holzqualität	46
4 Holzvorbereitung für die Faserstoffherzeugung ...	49
4.1 Rundholzlagerung	50
4.2 Entrindung	51
4.3 Hacken	54
4.3.1 Einflussgrößen der Hackschnitzel auf die Qualität des Faserstoffes	55
4.3.2 Einflussfaktoren auf die Qualität der Hackschnitzel	56
4.3.3 Hacker	57

4.4	Lagerung der Hackschnitzel	58
4.5	Sortieren/Sichten des Hackgutes	60
4.6	Rindenverwertung	63
5	Mechanische Zerfaserung von Holz (Holzstoff) ..	65
5.1	Einführung - historischer Abriss	65
5.2	Rohstoff Holz	66
5.3	Verfahren	67
5.3.1	Stein-Verfahren	67
5.3.2	Refiner-Verfahren	81
5.4	Aufbereitung des Holzstoffes - Sortierung und Rejektbehandlung	91
5.4.1	Grundprinzipien und Parameter	91
5.4.2	Maschinen und Anlagen für Klassierung und Reinigung von Holzstoff	93
5.4.3	Rejektstoffbehandlung und Wärmerückgewinnung	98
5.5	Bleiche von Holzstoff	98
5.6	Latenz und Eigenschaften von Holzstoff	99
5.6.1	Latenz von Holzstoff	99
5.6.2	Eigenschaften von Holzstoff	100
6	Chemischer Aufschluss von Holz	107
6.1	Sulfitverfahren	107
6.1.1	Einführung und Überblick	107
6.1.2	Technologie der Sulfitzellstoffherstellung	109
6.1.3	Chemie des Sulfitaufschlusses	116
6.1.4	Verwertung der Sulfitablauge	120
6.1.5	Regenerierung der Kochchemikalien	122
6.2	Sulfatverfahren	132
6.2.1	Einführung und Überblick	132
6.2.2	Technologie der Sulfatzellstoffherstellung	132
6.2.3	Chemie des Sulfataufschlusses	141
6.2.4	Nebenprodukte beim Sulfataufschluss	146
6.2.5	Regenerierung der Kochchemikalien	146

6.3	Bleiche	153
	6.3.1 Einführung	153
	6.3.2 Chemie und Technologie der Bleiche	155
6.4	Eigenschaften von Sulfit- und Sulfatzellstoffen	163
7	Altpapieraufbereitung	173
7.1	Begriffe und Definitionen	173
	7.1.1 Kenngrößen	173
	7.1.2 Altpapiersortenliste	175
7.2	Vor- und Nachteile des Altpapiereinsatzes	177
7.3	Physikalisch-chemische Besonderheiten von Altpapierfasern	178
7.4	Reaktivierbarkeit der Eigenschaftskennwerte von Altpapierstoffen	181
7.5	Reaktivierung von Altpapierstoffen für Produkte mit geringen Anforderungen an Helligkeit und optische Homogenität („Braune Linie“)	184
	7.5.1 Lieferformen des Altpapiers	185
	7.5.2 Reaktivierung der Festigkeitskennwerte	185
	7.5.3 Probleme und Potenziale der Mahlung von recyclten Fasern	187
7.6	Reaktivierung von Altpapierstoffen für Produkte mit hohen Anforderungen an Helligkeit und optische Homogenität („Weiße Linie“)	190
	7.6.1 Wechselwirkung zwischen Druckfarbe und Papier	191
	7.6.2 Chemikalien des Deinking-Flotationsverfahrens und ihre Wirkung	193
	7.6.3 Überblick über die Verfahrenstechnik der Druckfarbenflotation	195
	7.6.4 Anlagentechnische Realisierung des Deinking-Flotationverfahrens	201
7.7	Klebende Bestandteile im Altpapier (Stickies)	203

8	Biogene Faserstoffe	207
8.1	Einführung und Überblick	207
8.2	Allgemeine Fasereigenschaften	208
8.3	Papiertechnologische Anforderungen	210
8.4	Agrarreststoffe	211
8.4.1	Zuckerrohr und Bagasse	211
8.4.2	Stroh	213
8.4.3	Hopfen	215
8.4.4	Spargel	216
8.5	Bastfasern (Hanf)	216
8.6	Blattfasern (Abaca)	219
8.7	Gräser	220
8.7.1	Bambus	220
8.7.2	Miscanthus	222
8.7.3	Gras	224
9	Additive der Papiererzeugung	229
9.1	Mineralische Additive	231
9.1.1	Charakterisierung von Füllstoffen und Pigmenten	233
9.1.2	Mineralische Füllstoffe und Pigmente	239
9.1.3	Dispergiermittel	253
9.1.4	Anwendungsbeispiele	256
9.2	Chemische Additive	259
9.2.1	Retentionsmittel und Entwässerungs- beschleuniger	261
9.2.2	Fixiermittel	272
9.2.3	Leimungsmittel	273
9.2.4	Trockenverfestiger	279
9.2.5	Nassfestmittel	280
9.2.6	Entschäumer/Entlüfter	284
9.2.7	Optische Aufheller	285
9.2.8	Farbstoffe	286
9.2.9	Biozide	289

10	Aufbereitung der Faserstoffe (Halbstoffe)	291
10.1	Dispergieren/Suspendieren	292
10.1.1	Kennzeichnung eines suspendierten Halbstoffsystems	293
10.1.2	Suspendieren von Halbstoffen im LC-Bereich	295
10.1.3	Suspendieren von Halbstoffen im MC-Bereich	297
10.1.4	Suspendieren von Halbstoffen im HC-Bereich	299
10.1.5	Vergleich der Konzepte	300
10.1.6	Kennzeichnung des Zerfaserungserfolges	301
10.1.7	Entstipper und Sekundärpulper	303
10.2	Trennprozesse	305
10.2.1	Ideale Trennung – Technische Trennung	306
10.2.2	Klassierprozesse	309
10.2.3	Sortieren	312
10.2.4	Schaltungsvarianten und Berechnungsgrundlagen für Trennprozesse	315
10.2.5	Abscheiden	317
10.3	Mischen, Stapeln, Lagern	319
10.4	Faserstoffmahlung	320
10.4.1	Physikalisch-chemische Aspekte der Mahlung	320
10.4.2	Mechanische Aspekte der Mahlung	322
10.4.3	Bauarten von Mahlmaschinen	324
10.4.4	Wirkpaarung in messergarnierten Mahlmaschinen	326
10.4.5	Einflussgrößen auf den Mahlprozess	328
11	Erzeugung von Papier	339
11.1	Überblick	339
11.1.1	Aufgabe der Papiermaschine und prinzipielle Lösung	339
11.1.2	Papiermaschinenarten	340
11.1.3	Beispiele für Einsparungen und Verbesserungen bei der Papiererzeugung	352
11.2	Stoffzufuhrsystem	353
11.2.1	Aufgabe und prinzipielle Lösung	353
11.2.2	Ausführung	354

11.3	Stoffauflauf	359
11.3.1	Aufgabe und prinzipielle Lösung	359
11.3.2	Bauformen und Betrieb	360
11.4	Siebpartie	367
11.4.1	Aufgabe und prinzipielle Lösung	367
11.4.2	Ausführungsformen	370
11.4.3	Siebe	374
11.5	Pressenpartie	376
11.5.1	Aufgabe und prinzipielle Lösung	376
11.5.2	Ausführungsformen	378
11.5.3	Presswalzen	379
11.5.4	Filze	382
11.6	Trockenpartie	383
11.6.1	Aufgabe und prinzipielle Lösungen	383
11.6.2	Ausführungsformen	389
11.7	Leimpresse	396
11.7.1	Aufgabe und prinzipielle Lösung	396
11.7.2	Ausführungsformen	396
11.8	Glätten	398
11.8.1	Aufgabe und prinzipielle Lösung	398
11.8.2	Ausführungsformen	398
11.9	Streichen	401
11.9.1	Aufgabe und prinzipielle Lösung	401
11.9.2	Ausführungsformen	402
11.10	Rollapparat	403
11.10.1	Aufgabe und prinzipielle Lösung	403
11.10.2	Ausführungsformen	405
11.11	Lauf der Bahn durch die Papiermaschine	406
11.11.1	Aufgabe und prinzipielle Lösung	406
11.11.2	Auf die Bahn wirkende Kräfte	406
11.11.3	Bahnverhalten und Veränderungen der Bahneigenschaften im Herstellprozess	408
11.11.4	Aufführen der Bahn durch die Papiermaschine	410
11.11.5	Ausführungsformen der Bahnführung in den Sektionen	411
11.12	Gleichförmigkeit der Papierbahn	412
11.12.1	Längs- und Querprofile von Papierbahnen	413
11.12.2	Längsprofile	413

11.12.3	Querprofile	416
11.12.4	Formation	430
11.12.5	Planlage, Ebenheit des Papiers	431
11.12.6	Symmetrie der Bahnstruktur in z-Richtung	434
12	Glätten und Ausrüsten von Papier	439
12.1	Einleitung zum Glätten von Papier	439
12.2	Grundlagen der Glättung	439
12.2.1	Glättungsparameter	440
12.2.2	Harter/Weicher Nip	441
12.3	Ausführungsformen der Glättungsanlagen	442
12.3.1	Glättwerke	442
12.3.2	Softnip-Kalander	443
12.3.3	Superkalander	445
12.3.4	Multinip-Kalander	447
12.3.5	Schuhkalander	449
12.3.6	Metallband-Kalander	452
12.3.7	Prägekalander	454
12.3.8	Friktionskalander	454
12.4	Walzen in Glättwerken und Kalandern	454
12.4.1	Durchbiegungseinstellwalzen	454
12.4.2	Beheizte Walzen	457
12.5	Externe induktive Zusatzheizung	462
12.6	Dampfblaskästen	462
12.7	Düsenfeuchter	464
12.8	Rollenschneider	465
12.8.1	Wirkprinzip	465
12.8.2	Aufbau einer Rollenschneidmaschine	468
12.8.3	Nebeneinrichtungen	471
12.9	Formatausrüstung	472
12.9.1	Prinzip	472
12.9.2	Aufbau und Arbeitsweise des Simplex- Querschneiders	474
12.9.3	Sonderbauarten von Querschneidern	476
12.10	Verpacken von Papier	476
12.10.1	Verpacken von Rollenpapieren	476
12.10.2	Verpacken von Formatpapier	478

13	Streichen von Papier und Karton	481
13.1	Einführung	481
13.1.1	Zweck und Bedeutung	481
13.1.2	Entwicklung	483
13.1.3	Anforderungen beim Streichen von Papier und Karton	485
13.2	Materialien	488
13.2.1	Streichrohpapier	488
13.2.2	Pigmente	489
13.2.3	Bindemittel	493
13.2.4	Strichadditive	503
13.2.5	Streichfarben und ihre Eigenschaften	509
13.3	Prozesse beim Streichen	516
13.3.1	Streichfarbenaufbereitung	516
13.3.2	Auftragen von Streichfarbe	520
13.3.3	Dosieren von Streichfarben	523
13.3.4	Übertragung einer vordosierten Streichfarbe	530
13.3.5	Direktauftrag	533
13.3.6	Abstimmung von Streichfarbe und Rohpapier	536
13.3.7	Trocknen des gestrichenen Papiers	538
13.3.8	Satinage gestrichener Papiere	541
13.4	Gestrichene Produkte	541
13.5	Beispiele für Streichfarben für spezielle Einsatzzwecke	542
13.5.1	Streichfarbe für Papiere für den Tiefdruck	542
13.5.2	Streichfarbe für Papiere für den Offsetdruck	543
13.5.3	Streichfarbe zum Streichen von Karton	544
13.6	Alternative Streichverfahren	545
14	Papierverarbeitungstechnik	547
14.1	Einleitung	547
14.2	Die Verfahren der Papierverarbeitung	550
14.2.1	Gruppe 1: Umformende Verfahren	550
14.2.2	Gruppe 2: Trennende Verfahren	556
14.2.3	Gruppe 3: Verbindende Verfahren (Fügen)	570
14.2.4	Gruppe 4: Verfahren zur Kombination von Materialien	580

14.2.5	Gruppe 5: Verfahren zum Übertragen von Informationen (Drucken)	585
14.2.6	Gruppe 6: Verfahren zum Transport in Maschinen	599
14.3	Zusammenfassung und Ausblick	604
15	Wasserhaushalt	607
15.1	Frischwasseraufbereitung	607
15.1.1	Frischwasserherkunft	607
15.1.2	Aufbereitungsverfahren	607
15.2	Wasserkreisläufe	608
15.2.1	Wassernutzung	608
15.2.2	Kreislaufwasserreinigung	617
15.2.3	Funktion und Dimensionierung von Bütten und Behältern	625
15.2.4	Aspekte eines gut gestalteten Wasserkreislaufs ...	628
15.2.5	Wasserkreislaufeinengung	628
15.3	Abwasser	635
15.3.1	Abwasserbelastung	636
15.3.2	Übersicht zu den Verfahrensstufen einer Abwasserreinigungsanlage	638
15.3.3	Vorklärung	638
15.3.4	Anaerobe Verfahren	639
15.3.5	Aerobe Verfahren	640
15.3.6	3. Reinigungsstufe bzw. weitergehende Verfahren	642
16	Prozesskontrolle und Prüftechnik	645
16.1	Qualität und Prüfungen	645
16.1.1	Allgemeine Begriffe zu Prüfungen	646
16.1.2	Grundsätze und allgemeine Abläufe bei Prüfungen	647
16.1.3	Grundlagen von Prüfungen – Normen und Regelwerke	648
16.1.4	Dokumentation von Prüfergebnissen	649
16.2	Prüfungen in der Papiertechnik	650
16.2.1	Übersicht zu Prüfungen	650

16.2.2	Häufig verwendete Prüfnormen	655
16.2.3	Häufig verwendete Gütenormen	656
16.3	Laborprüfungen	658
16.3.1	Prüfungen von Faserstoffen	658
16.3.2	Prüfungen von Papier, Karton und Pappe	669
16.4	Online-Messungen	685
16.4.1	Beispiele für Online-Messungen	686
16.4.2	Zielsetzung der Online-Messungen und Regelungen	688
16.4.3	Online-Messungen für verschiedene Sortenbereiche	689
16.4.4	Messverfahren Qualitätsleitsystem	689
16.4.5	Messverfahren Kamerasysteme	696
16.4.6	Bahninspektionssystem (WIS)	696
16.4.7	Abrissanalysesysteme (WBA)	697
16.4.8	Bahnüberwachungssysteme (WMS)	698
16.4.9	Maschinendiagnose	698
16.4.10	Prozessleitsystem mit Feldgeräten	700
16.4.11	Virtuelle Sensoren	700
16.4.12	Regelungen	701
17	Energieeinsatz bei der Papiererzeugung	705
17.1	Energiebedarf	705
17.2	Energieerzeugung	706
17.3	Energieeinsatz	707
17.3.1	Papiermaschine	709
17.3.2	Stoffaufbereitung	713
17.3.3	Nebenanlagen	715
17.4	Energieeinsatz bei der Wellpappenerzeugung	717
17.5	Reduzierung des Energiebedarfs	719
17.5.1	Optimierungspotenziale	719
17.5.2	Nutzung von Niedertemperaturabwärme	721
17.5.3	Ausblick – neue Wege beschreiten	723
Index		727

1

Einführung – Historischer Abriss

Von Prof. Dr.-Ing. habil.
Jürgen Blechschmidt

Die Geschichte der Zivilisation ist auch die Geschichte von Papier, die auf Papier festgehalten wurde. Die Papierherstellung hat eine lange Tradition.

Nach der Erfindung vor etwa 2000 Jahren diente Papier über viele Jahrhunderte ausschließlich zum Beschreiben und Bedrucken sowie als Kommunikationsmittel zur Verbreitung von Wissen und Nachrichten. Die Bedeutung des Papiers als Informationsträger ist auch heute noch vorhanden, wenn auch mengenmäßig rückläufig. Die Verbreitung von Informationen über elektronische Medien hat den Anteil an der Erzeugungsmenge auf 28 % schrumpfen lassen. Dafür ist – nicht zuletzt durch die Intensivierung des Internethandels – der Anteil von Verpackungspapieren auf fast 60 % gestiegen. Etwa 7 % entfallen auf Hygienepapiere [7.1]. Über 6 % des Verbrauchs beziehen sich auf Spezialpapiere. Der Zivilisationsgrad einer Kultur lässt sich auch am Papierverbrauch messen [1.1].

Die folgenden Ausführungen vermitteln in ausgewählten Zahlen einen Überblick über die geschichtliche Entwicklung und Bedeutung des Papiers.

■ 1.1 Älteste Beschreibstoffe

Mit der für die Menschheit entscheidenden Entwicklung der Schrift entstand der Bedarf nach Beschreibstoffen. Durch die anfängliche Verwendung von Stein, Holz, Wachstafeln, Rinde, Blättern usw. war die Verbreitung der Schrift nur in geringem Umfang möglich. Es musste ein Beschreibstoff gefunden werden, der leicht transportierbar und in beliebiger Menge zur Verfügung stand.

Zeittafel zur Papiergeschichte (vor unserer Zeitrechnung)	
20 000 bis 10 000	Älteste Felszeichnungen in Europa (Südschweden). Petroglyphen (eingemeißelt), Petrogramme (gemalt) sind Vorstufen der Schrift. Beschreibstoff: rohe unbearbeitete Felswand
12 000 bis 8000	Kieselsteine (kleiner 9 cm) sind mit buchstabenähnlichen Zeichen in roter und schwarzer Farbe bemalt (französische Grotte Mas d' Azil, nahe spanischer Grenze, auch in Nordspanien und England).
um 3000	Bildschrift (Hieroglyphen) in Ägypten, später Keilschrift
1300 bis 1100	Semitische Lautschrift in Syrien und Einzellautschrift bei Phöniziern Beschreibstoff: Tontafeln
um 11. Jh.	Die phönizische Schrift ist der Ausgangspunkt für die Entwicklung aller Buchstabenschriften, aus ihr ist das griechische Alphabet hervorgegangen, aus diesem das lateinische, aus beidem wiederum entstanden weitere Schriftarten.
etwa 3000	Pergament – Beschreibstoff aus Tierhaut (Häute von Kälbern, Ziegen, Eseln usw.). Herstellungsmenge begrenzt, bis ins 13. Jh. benutzt. Papyrus – Beschreibstoff aus der Papyrusstaude, gefertigt aus Stengeln der Papyrusstaude, indem die Stengel in dünne Streifen geschnitten, übereinander gelegt und durch Schlagen aneinander gefügt wurden bzw. indem die zweite Schicht rechtwinklig zur 1. Schicht angeordnet wurde. Der Saft der Pflanze dient als Bindemittel zur Herstellung. Papyrus war Monopol der ägyptischen Könige: Papurro – das dem König Gehörige, bis 936 für Urkunden in Ägypten genutzt.
310	Älteste, auf Papyrus geschriebene Urkunde (ein Ehevertrag, gefunden in Oberägypten)
253	Erste Normen für Papyrus
44	Julius Caesar ermordet: nicht mit dem Dolch, sondern mit spitzen Schreibgriffeln, die man zum Schreiben auf Wachstafeln benutzte.

■ 1.2 Erfindung des Papiers

Zeittafel zur Papiergeschichte (nach unserer Zeitrechnung)

105 Erfindung des Papieres in China
Beschreibstoff aus pflanzlichen Fasern
Offiziell wird die Erfindung dem Minister Tsai Lun zugesprochen, der 105 dem Kaiser Ho-ti der Han-Dynastie über das Aufschließen von Pflanzenfasern und Geweberesten durch Zerstampfen in Steinmörsern und über das Schöpfen und Verfilzen der Fasern mittels eines siebartigen Formrahmens aus Bambus berichtete (Bild 1.1). Im Jahr 114 wird Tsai Lun von der Kaiserin mit dem Titel „Marquis von tong-Tong“ geehrt.

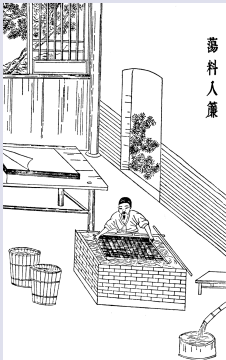


Bild 1.1
Papier schöpfen im alten China

Erfindung wahrscheinlich bereits 21 v. u. Z. bis 71 n. u. Z.
Nach Weiß [1.2] wurde zunächst die Eingießtechnik verwendet (auf ein bewegtes Sieb wurde der Stoff gegossen), erst zwischen 300 und 600 Anwendung der Schöpftechnik. Die Arbeiten Eingießen bzw. Schöpfen, Pressen und Trocknen bilden bis heute die verfahrenstechnischen Grundlagen der modernen Papiererzeugung.

150 v. u. Z. Älteste erhaltene Bibeltexthe in Qumran, nahe Jerusalem gefunden, und verfasst zwischen 150 v. u. Z. und 70 n. u. Z. (Rollen aus Papyrus und 70 n. u. Z. Pergament). Im Römisch-jüdischen Krieg 66 bis 73 n. u. Z. Auslagerung aus Jerusalem

um 125 Älteste Handschrift des Neuen Testaments auf Papyrus geschrieben

312 Zusatz von Leimstoffen (Stärke) im Papier in China

363 Erste Zeitung auf Papier: „Pekinger Zeitung“

Zeittafel zur Papiergeschichte (nach unserer Zeitrechnung)	
610	Papierherstellung in Japan Einwanderung von Koreanern und Chinesen als buddhistische Priester. Sie bringen auch die chinesische Schrift.
ab 618	König von Korea liefert als Tribut an den kaiserlichen Hof in China Papier, das sog. „Koreanische Papier“, hergestellt aus Seidenraupenkokons
7. Jhd.	Papierherstellung in Tibet Papiergeld in China
751	Papierherstellung in Samarkand Chinesen werden in der Schlacht von Samarkand (Turkmenien) von den Arabern vernichtend geschlagen. 20 000 Chinesen geraten in Gefangenschaft, die Papiermacherei wird auf die Araber übertragen. Von hier an bilden ausschließlich Hadern den Rohstoff für Papier (bis etwa 1880). Über Arabien kommt das Papier nach Europa.
nach 756	Nach der Zerstörung des Westgotenreiches (711) führen die Araber die Papierherstellung in Spanien ein.
969	Spielkarten sind in China im Gebrauch.
10. Jhd.	Papierherstellung in Ägypten
1102	Älteste europäische Papierurkunde, zugleich das erste Papiermacher- Privilegium in Europa König Roger von Sizilien verleiht einer alten Papiermacherfamilie ein Privileg zur Errichtung einer Papierwerkstatt. Die Urkunde ist noch auf arabisches Papier geschrieben.
1173	Luftpostpapier für die Brieftaubenpost zwischen Bagdad und Kairo
1144	Erste Papiermühle in Spanien
um 1200	Im Weltreich der Tartaren wird Papier als Beschreibstoff genutzt. Ein ägyptischer Arzt entrüstet sich, dass Beduinen die alten ägyptischen Gräber ausplündern, um die Leinwandbinden der Mumien an Papiermacher zur Herstellung von Papier zu verkaufen.
1218	Erster „Brief“ des Hl. Römischen Reiches Deutscher Nation, von Kaiser Friedrich II. in Süditalien geschrieben
1221	Kaiser Friedrich II., der Hohenstauffer, befiehlt, alle öffentlichen Urkunden auf Pergament umzuschreiben, da die Qualität des „Baumwollpapiers“ schlecht ist.
1246	Älteste erhaltene Papierhandschrift in Deutschland Ein Registerbuch des Passauer Domdechanten Beheim, geschrieben auf italienischem Papier
1260	Papiergeld in Japan Papierherstellung in Fabiano/Italien
(1271)	Papier mit einem Wasserzeichen „F“ in Cremona/Italien verwendet (Zweifel am Jahr, da erst 1954 gefunden)

Zeittafel zur Papiergeschichte (nach unserer Zeitrechnung)	
1282	Ältestes Wasserzeichen in Bologna verwendet (ein griechisches Kreuz). Das Wasserzeichen ist eine europäische Erfindung (Signierung). Es setzt ein starres Drahtsieb voraus (nur in Europa benutzt).
1302	Das älteste Papierdokument in Deutschland. Johann von Beuren schreibt seine Fehdebrief an die Stadt Aachen auf Papier.
1340	Papierherstellung in Troyes/Frankreich
1390	Papierherstellung in Nürnberg/Deutschland. Ulman Stromer errichtet die erste Papiermühle, die Gleismühl (Bild 1.2). 
1391	Erstes Toilettenpapier in China
1457	Erstmals ein in drei Farben gedrucktes Buch, das Psalterium Moguntinum (Mainzer Psalter) von Peter Schöffer und Johannes Fust in Mainz.
1470	Papierherstellung in St. Pölten/Österreich
1515	Nach Einführung des Buchdruckes erste Normierung des Papierformates, das sog. Folio-Format (von lat. Folia, das Blatt)
1573	Papierherstellung in Schweden
1575	Papierherstellung in Moskau

Bild 1.2
Gleismühl von Ulman Stromer
[1.7]

Zeittafel zur Papiergeschichte (nach unserer Zeitrechnung)

1590 Ende des 16. Jahrhunderts gibt es in Deutschland 190 Papiermühlen (Bild 1.3)

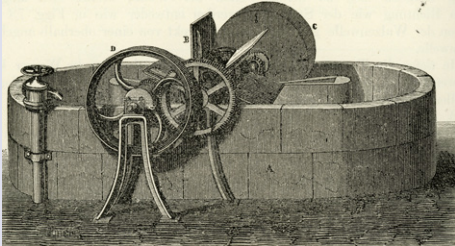


Bild 1.3
Mittelaalterliche
Papiermacherwerkstatt

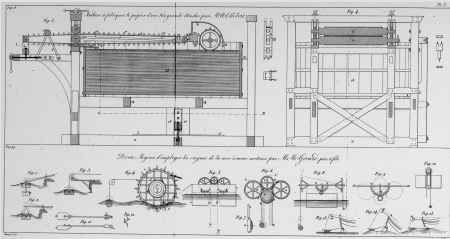
1690 Papierherstellung in Philadelphia/Nordamerika

1666 Um den Papiermachern den Rohstoff zu sichern, ergeht in England ein Dekret, nach welchem die Verwendung von Leinen und Baumwolle zur Totenbestattung verboten wurde, nur Wolle durfte verwendet werden. Damit wurden 200 000 Pfund Leinen und Baumwolle gewonnen.

■ 1.3 Steigender Papierbedarf durch folgende Erfindungen

1435 bis 1440	Johannes Gutenberg (Gensfleisch): Erfindung des Buchdruckes Gießeinrichtung für die Herstellung beweglicher Lettern Druckfarbe aus Leinölfirnis und Ruß - Tiegelpresse
1455	Gutenberg druckt 185 Bibeln in Erstauflage. 35 davon auf Pergament, 150 auf Papier. Für die 35 Bibeln auf Pergament wurden 8000 Kälber geschlachtet. Das Papier bestand aus Lumpen und einer Oberflächenleimung aus Knochen und Lederabfällen; die Druckfarbe bestand aus Leinölfirnis und Ruß. Eine Pergament-Bibel kostete 50 Gulden, eine Papier-Bibel 40 Gulden. Die Gulden waren aus Gold.
1670	Erfindung des Holländers, der statt des Stampfprinzips eine Walze bei der Stoffaufbereitung nutzt (Bild 1.4). 
Bild 1.4 Holländer [1.8]	
1765	Von Jacob Christian Schäffer erscheint die Schrift „Versuche und Muster, ohne alle Lumpen oder doch mit einem geringen Zusatz derselben Papier zu machen“.
1774	Erfindung des Deinking-Verfahrens durch Justus Claproth Druckschrift „Eine Erfindung, aus bedrucktem Papier wiederum ein neues Papier zu machen, und die Druckfarbe völlig heraus zuwaschen“ Entdeckung des Chlors als Bleichmittel durch Karl Wilhelm Scheele
1792	Erste Bleiche mit Chlorwasser durch die Gebr. Taylor

■ 1.4 Schnell steigende Produktivität

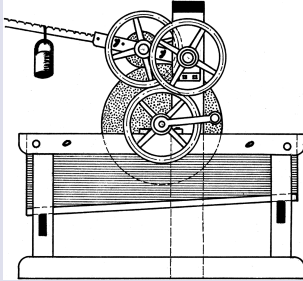
<p>1799</p>	<p>Erfindung und Patent der Langsieb-Papiermaschine von Nicholas-Louis Robert (Bild 1.5)</p>  <p>Bild 1.5 Papiermaschine von Robert [1.9]</p> <p>Die Gebrüder Fourdrinier waren Patentinhaber der Robert-Maschine, deshalb auch der Name „Fourdrinier-Papiermaschine“ für Langsieb-Papiermaschinen.</p>
<p>1803 bis 1823</p>	<p>Der Techniker Donkin baut 38 Papiermaschinen nach Patenten Roberts mit wesentlichen Weiterentwicklungen (mechanischer Antrieb anstelle Handantrieb; Siebschüttelung; Deckelriemen; Gaultsche und 2. Presse).</p>
<p>1805</p>	<p>Erfindung der Rundsieb-Papiermaschine von Bramah</p>
<p>1806</p>	<p>Erfindung der Papier-Harzleimung in der Masse durch Illig</p>
<p>1810</p>	<p>Erfindung der Buchdruck-Schnellpresse von König</p>
<p>1811</p>	<p>Erfindung der Zylinderdruckmaschine von König</p>
<p>1819</p>	<p>Erste Papiermaschine mit Trockenzylindern von Dickinson und Keferstein</p>
<p>1824</p>	<p>Bau der ersten Papiermaschine mit Glättzylinder und mit deutscher Presse durch Gustav Schäuffelen</p>
<p>1827</p>	<p>Erste Selbstabnahme-Papiermaschine von Oechelhäuser Erfindung des Egoutteurs durch Marshall</p>
<p>1829</p>	<p>Erfindung des Knotenfängers durch Frank</p>
<p>1830</p>	<p>Einführung der Registerwalzen in die Siebpartie</p>
<p>1831</p>	<p>Nutzung von Metallsieben durch Gustav Schäuffelen</p>
<p>1839</p>	<p>Entwicklung der Tapetendruckmaschine von Potter</p>

Als Rohstoff für die Papiererzeugung wurden bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts in Europa Lumpen und Hadern eingesetzt. Durch den steigen-

den Bedarf entstand eine Rohstoffknappheit, die zu bedeutenden Erfindungen und Entwicklungen der Faserstoff-Erzeugung führte.

1843

Erfindung des Holzschliffes durch Friedrich Gottlob Keller (Bild 1.6 und Bild 1.7)

**Bild 1.6**

Kellers zweiter Schleifapparat
(um 1844)

**Bild 1.7**

Friedrich Gottlob Keller (1816 – 1895)

1850	Erfindung der Kegelstoffmühle (Jordanmühle) durch den Amerikaner Jordan
1851	Erstmalige Herstellung von Natronzellstoff durch die Chemiker Hugh Burgess und Charles Watt
1859	Entwicklung des Raffineurs durch Johann Matthäus Voith, der die Produktion von Holzschliff mit einem Schleifer großtechnisch durchsetzt
1860	Erfindung des Mehrwalzenkalenders und der Rotationspresse
1863 bis 1876	Erfindung des Sulfit-Zellstoff-Verfahrens durch Tilghman, Ekman und Mitscherlich
1867	Erfindung des Braunschliffs durch Behrend
1871	Erfindung des Natron-Zellstoff-Verfahrens durch Dresel Gebrauch von Toilettenpapier von der Rolle in den USA

1873/74	Erfindung der Rollenschneidmaschine durch Bischof
1884	Erfindung des Sulfatzellstoffes durch Dahl
1889	Erfindung des Lochkartensystems durch Hermann Hollerith
1904	Erfindung des Offset-Druckverfahrens durch William Rubel
1906	Erste Milchtüte aus Papier in den USA
1908	Erfindung der Saugwalze durch Millspaugh Der Papiersack erscheint auf dem Markt. Errichtung eines Denkmals zu Ehren des Erfinders des Holzschliffs F.G.Keller in Hainichen/Sachsen
1910	Erfindung des Tiefdruckverfahrens Erste Steilkegelmühle und erster Magazinschleifer von Voith
1916	Patent auf einen automatischen Stoffdichte-Regler von Trimbey Erster Voith-Hochdruckstoffauflauf
1919	Erster Mehrmotorenantrieb für Papiermaschinen durch Westinghouse Electric
1919	Der Friedensvertrag von Versailles wird auf Pergament geschrieben
um 1920	Als Zellstoff-Bleichmittel werden Hypochlorit und zum Färben von Papierstoff künstliche organische Farbstoffe eingesetzt.
1921	Erster Stetigschleifer der Welt von Voith Beginn der Chlordioxid-Bleiche von Zellstoff
1923	Druckerei Giesecke & Devrient entwickelt ein besonderes Geldschein-Papier mit dünnen, schmalen Papierstreifen, die mit einem nur mit Lupe lesbaren Text versehen sind. Während der Inflation in Deutschland produzieren 12 Papiermaschinen Papier für Papiergeld.
1925	Altpapier-Einsatzquote in Deutschland 10% Erfindung der Holländer-Mahlwaage
1926	Erster Zwillingsschleifer von der Miag
1930	Europas breiteste Papiermaschine arbeitet in der russischen Fabrik Balachna (595 cm Breite)
1932	Entwicklung der Grewin-Ausschuss-Auflösung an der Papiermaschine Der Weltpostvertrag wird auf Gazellenleder geschrieben.
1935	Entwicklung eines Verfahrens zum Streichen von Papier in der Papiermaschine durch Massey
1937	Erster Pumpenhochdruck-Stoffauflauf von Voith Erfindung der Vakuum-Bahnabnahme (Pick-up) durch Millspaugh
1941	Erster Superkalander mit 20 Walzen von Eck-Haubold
1945	Im Potsdamer Abkommen wird der Pro-Kopf-Verbrauch an Papier für das deutsche Volk auf 7 kg festgelegt. Einsatz von gebogenen Breitstreckwalzen durch Mount Hope

1947	Erste Wegwerfwindel aus Zellstoffwatte in Schweden
1948	Erste Magnesiumbisulfid-Anlage mit Chemikalien-Rückgewinnung in den USA
1950	Erstes Glasfaserpapier in den USA Einsatz von Nadelfilzen anstelle konventioneller Webfilze
nach 1956	Entwicklung der Inverform- und Twinverform-Siebpartien an Papiermaschinen
1957	Entwicklung des Fabric-Siebes in Schweden Erste RMP-Holzstoffanlage in Schweden
1959	Erste Produktion von Papier aus 100% Synthese-Fasern in Deutschland Erste Sortierquerschneider, der von der Rolle arbeitet, in Kanada
1960	Erstmaliger Einsatz einer schwimmenden Walze (S-Walze) von Küsters/Krefeld in einer Papiermaschine, einer Durchbiegungsausgleichwalze
ab 1960	Ablösung des Holländers durch Kegelstoffmühlen (Refiner) Entwicklung der Refiner-Holzstoffe RMP, TMP, CTMP
1960	Entwicklungsbeginn von Prozessleitsystemen für die Zellstoff- und Papierindustrie Zweistufige Flotationsanlage zum Deinken von Voith
1964	Einsatz der ersten Entstipper Erste Versuche zum Schleifen unter Überdruck (PGW) durch Powell, Luhde und Logan
1965	Einsatz von schwimmenden Walzen (S-Walzen) in Glättwerken
ab 1966	Entwicklungsbeginn von Doppelsieb-Partien bei der Papiererzeugung
1968	Erster Duo-Former
1969	Historische Neumann-Mühle zur Holzschlifferzeugung in der Sächsischen Schweiz wird technisches Kultur-Denkmal
1972	Nutzung von Glättschaber-Streichenanlagen
1977	Pilotanlage zur Erzeugung von Druck-Holzstoff PGW in Schweden
ab 1980	Entwicklung der chlorfreien Bleiche
ab 1990	In Deutschland Bleiche von ECF-Zellstoff mit Chlordioxid und TCF-Zellstoff mit Sauerstoff bzw. Sauerstoff-Verbindungen
2007	In Deutschland: Pro-Kopf-Verbrauch an Papier 256 kg/Jahr; Papier-Verbrauch 21 Mio. t; Altpapier-Einsatzquote 61 %
2010	Laut einer Studie der Welternährungsorganisation FAO wird der weltweite Papierbedarf jährlich um 3 % steigen.

Literatur

- [1.1] Unser Papier. Broschüre Verband Deutscher Papierfabriken e. V., Bonn
- [1.2] *Weiß, W.*: Zeittafel zur Papiergeschichte. Leipzig: Fachbuchverlag, 1983
- [1.3] *Blechsmidt, J.*: Überblick zur Geschichte des Papiers in ausgewählten Zahlen. Wochenblatt für Papierfabrikation 10 (2006), S. 569 – 571
- [1.4] Papiergeschichte – Zeitleiste. www.vdp-online.de, 2008
- [1.5] Taschenbuch Papiertechnologie. Leinfelden-Echterdingen: Haefner-Verlag GmbH, 2007
- [1.6] *Blechsmidt, J.*: Überblick zur Geschichte des Papiers in ausgewählten Zahlen (Teil II). Wochenblatt für Papierfabrikation 12 (2008), S.1212 – 1213
- [1.7] *Schedel, H.*: Weltchronik 1493, Blatt C. Köln: Reprint im Taschen Verlag, 2001
- [1.8] *Hofmann, C.*: Praktisches Handbuch der Papierfabrikation, Bd.1. Berlin: Verlag der Papierzeitung, 1891, S.130
- [1.9] BASF Kalender 2002

2

Begriffe und Papiersorten

Von Prof. Dr.-Ing. habil.
Jürgen Blechschmidt

■ 2.1 Begriffsklärung

Zur einheitlichen Nutzung sind auf der Grundlage von DIN 6730 [2.1], DIN 6735 [2.2], DIN 19303 [2.3] und ISO 4046 [2.1] die wichtigsten Begriffe zusammengefasst.

Grundbegriffe: Papier, Karton, Pappe

Papier: Flächiger, im Wesentlichen aus Fasern meist pflanzlicher Herkunft bestehender Werkstoff, der durch Entwässerung einer Faserstoff-suspension auf einem Sieb gebildet wird. Dabei entsteht ein Filz, der anschließend verdichtet und getrocknet wird; flächenbezogene Masse $< 225 \text{ g/m}^2$.

Karton: Flächiger, im Wesentlichen aus Fasern meist pflanzlicher Herkunft bestehender Werkstoff, der hinsichtlich der flächenbezogenen Masse (150 bis 600 g/m^2) sowohl in das Gebiet der Papiere als auch das der Pappe hineinreicht. Er ist steifer als Papier und wird im Allgemeinen aus hochwertigeren Stoffen als Pappe hergestellt. Karton wird unter anderem in Druckereien als Druckuntergrund, in der Verpackungsindustrie zum Schutz von Packgut sowie im grafischen Gewerbe als Gestaltungsuntergrund eingesetzt. Nach [2.3] allgemeiner Begriff, angewendet für bestimmte Papierarten, die häufig durch ihre relativ hohe Festigkeit charakterisiert sind. Kartonsorten: siehe Abschnitt 2.2.

Primärfaserkarton [2.3]: Karton und Pappe, deren Faserstoffeintrag ausschließlich aus Primärfaserstoffen und eigenem Fertigungsausschuss aus Primärfaserstoff besteht. Anmerkung: Ober- und Rückseite können pigmentiert oder gestrichen sein.

Sekundärfaserkarton [2.3]: mehrlagiger Karton, der mindestens eine Mittellage aus überwiegend recycelten Faserstoffen enthält. Die Oberseite besteht aus gebleichten Primärfasern oder hellen und deinkten ausgewählten recycelten Fasern. Zwischen der Oberlage und der/den Mittellage(n) kann eine Lage aus Zellstoff, Holzstoff oder hellen und deinkten recycelten Faserstoffen liegen. Anmerkung: Die Rückseite kann

aus ausgewählten recycelten Faserstoffen oder gebleichten und/oder un-gebleichten Frischfasern hergestellt sein. Ober- und Rückseite können mit mineralischen oder synthetischen Pigmenten gestrichen sein.

Pappe: Oberbegriff für Vollpappe und Wellpappe.

Vollpappe: massive Pappe (im Gegensatz zu Wellpappe) mit einer flächenbezogenen Masse $> 225 \text{ g/m}^2$, einlagig und gegautscht, auch zusammengeklebt, beklebt, imprägniert oder beschichtet als Maschinenpappe oder Wickelpappe hergestellt.

Wellpappe: Konstruktives Erzeugnis der Papierverarbeitung, bei dem ein gewelltes Papier auf eine Lage oder zwischen mehreren Lagen eines anderen Papiers oder Pappe geklebt ist.

Wellpappenarten:

- einseitige Wellpappe,
- einwellige Wellpappe,
- zweiwellige Wellpappe,
- dreiwellige Wellpappe.

Abhängig von der Wellenhöhe unterscheidet man die Wellenarten.

Weitere oft genutzte Begriffe [2.1–2.9]

Altpapier: Oberbegriff für Papier, Karton und Pappe, die außerhalb ihres Produktionsprozesses nach Verarbeitung und Gebrauch anfallen. Mengemäßig der wichtigste Rohstoff der Papierindustrie.

Altpapierstoff: Faserstoff aus Altpapier.

absolut trocken (atro): theoretischer Wert: ersetzt durch ofentrocken (otro), siehe dort.

Bahn: ein kontinuierliches Band aus einem papiernen Flächengebilde.

Bahnbreite: Maß der Papierbahn am Ende der Fertigungsmaschine (beschnitten, unbeschnitten).

Blade-Roll-Former/Roll-Blade-Former: Unterbezeichnung von Doppelsieb-Blattbildungseinrichtungen; kennzeichnet die Reihenfolge der angeordneten Entwässerungselemente vom Stoffauflauf her, unterschieden in starre (Blade) und rotierende (Roll) Entwässerungselemente.

Blade: Sammelbegriff für alle starren Entwässerungselemente einer Papiermaschine

Roll: Sammelbegriff für alle rotierenden Entwässerungselemente einer Papiermaschine.

Blatt: Benennung für Papier und Karton im ungefalteten Zustand, kleiner als Format A3.

Blattbildung: Gesamtmechanismus der Vorgänge und Reaktionen, die von der Faserstoffsuspension zum feuchten Blatt führen = technologische Zustandsveränderung. Nach DIN 6730: Verfahren zum Bilden eines nas-sen Fasergefüges.

Blattstruktur: räumliche Anordnung der Fasern und Füllstoffe im Blatt.

Bleichen: Entfernung oder chemische Modifizierung färbender Bestand-teile im Faserstoff unter Einwirkung von Chemikalien, um eine höhere Weiße und Reinheit zu erzielen.

Chemie-Zellstoff: hochreiner, durch geeignete Behandlung reaktiver Zellstoff zur Herstellung von chemischen Derivaten.

Decklage: äußere (vorderseitige und rückseitige) Faserstoffbahn.

Deinking: Verfahren zur Entfernung von Druckfarben aus der Suspen-sion zerfaserten Altpapiers.

Doppelsiebmaschine: Papiermaschine mit einer Siebführung, bei der sich zwei Siebe gleichzeitig im Kontakt mit dem Faservlies über eine be-stimmte Entwässerungsstrecke befinden.

Durchsicht: Erscheinungsbild der Formation gegen diffuses, durchfal-lendes Licht betrachtet.

Einsiebmaschine: Papiermaschine mit nur einem Sieb.

einseitig glatt: beim Trocknen in der Papiermaschine auf einem Glätt-zylinder einseitig geglättet.

Faserorientierung: Lage der Fasern in der Papierebene.

Faserstoff: Fasermaterial, meist natürlichen Ursprungs, das aus Rohstof-fen so bereitet ist, dass es in verschiedenen Verfahren zu papiernen Flä-chengebilden verarbeitet werden kann.

Faserstoffzusammensetzung: Art und Anteil der das Papier bildenden Faserstoffe.

Filzseite: siehe Oberseite.

flächenbezogene Masse: auf eine Flächeneinheit bezogene Masse, ange-geben in g/m^2 .

Format: Größe eines Blattes oder Bogens, die in den Maßen Breite \times Länge angegeben wird, wobei die Breite stets das kleinere Maß ist.

Formation: räumliche Verteilung der Fasern im Papier; Blattformation ist das Ergebnis des Prozesses der Blattbildung.

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

Füllstoff: meist anorganische, wasserunlösliche feinteilige Substanz zum Erzielen besonderer Eigenschaften, die dem Ganzstoff vor der Blattbildung zugefügt wird.

Ganzstoff (Papierstoff): in Wasser suspendiertes Stoffgemisch vor der Blattbildung.

Gap-Former: Siebpartie einer Papiermaschine mit folgenden Kennzeichen:

- Doppelsiebordnung mit zweiseitiger Entwässerung,
- Faserstoffsuspension wird nach Verlassen des Stoffauflaufs als kompakter Strahl auf möglichst kurzem Weg direkt in den Spalt (Gap) zwischen Ober- und Untersieb (Siebzwickel) gespritzt.

gegautscht: aus zwei oder mehreren vorgebildeten Faserstofflagen bestehend, im feuchten Zustand ohne Verwendung von Klebstoff verbunden.

geleimt: durch Zusatz von Leim oder anderen Chemikalien verringertes natürliches Saugvermögen des Fasergefüges gegen Wasser.

Gutstoff: Teil eines in Wasser suspendierten Stoffgemisches, das beim Reinigen und/oder Sortieren akzeptiert wird.

Holzstoff: ein durch mechanische Zerfaserung von Holz gewonnener Faserstoff.

holzhaltige Papiere: Papiere, deren Faserstoffanteil zu mehr als 5% aus Holzstoff besteht; daher sinnvollere Bezeichnung holzstoffhaltige Papiere.

holzstoffhaltige Papiere: Papiere, deren Faserstoffanteil zu mehr als 5% aus Holzstoff besteht.

holzfreie Papiere: Papiere aus gebleichten Zellstoffen. Der Holzstoffanteil darf maximal 5% betragen, sinnvollere Bezeichnung holzstofffreie Papiere.

holzstofffreie Papiere: Papiere aus gebleichten Zellstoffen. Der Holzstoffanteil darf maximal 5% betragen.

Hybrid-Former: Siebpartie einer Papiermaschine mit folgenden Kennzeichen:

- Siebanordnung beginnt mit einer Einsiebzone und wird von einer Doppelsiebzone fortgesetzt,
- Faserstoffsuspension läuft konventionell (wie Langsieb) auf das Untersieb auf,
- initiale Entwässerung erfolgt nach einer Seite (gewöhnlich durch das Untersieb), dann beginnt eine zweiseitige Entwässerungstrecke.

imprägniert: mit einer Flüssigkeit behandelt.

Kalandrieren: unter Druck, Wärme und Feuchte vorgenommene Verdichtung des Blattgefüges zum Erzielen von Glätte und/oder Transparenz sowie zum Erlangen einer gleichmäßigen Dicke.

kalibriert: durch Kalandrieren verdichtetes Blattgefüge auf eine festgelegte (vereinbarte) Dicke.

klebende Bestandteile: bei der Verarbeitung von Primär- und Sekundärfaserstoffen auftretende Bestandteile (siehe Stickies und Störstoffe).

Lage (Faserstofflage): bei gegautschten oder gewickelten papiernen Flächengebilden Benennung für die einzelne Faserstoffbahn; die außenliegende Lage wird Decklage genannt.

Laufrichtung: Richtung, in der die Blattbildung auf der Papiermaschine vor sich geht (s. a. Maschineneinrichtung).

Liner: Sammelbegriff für papierne Flächengebilde bestimmter Festigkeitseigenschaften, die als glatte Bahnen bei der Herstellung von Wellpappe oder Vollpappe verwendet werden.

lufttrocken (lutro): Zustand eines Faserstoffes, der im Gleichgewicht zum Feuchtegehalt der umgebenden Luft steht (Feuchte, Temperatur, Druck).

maschinenglatt: Papier, durch ein Glättwerk am Ende der Papiermaschine auf beiden Seiten mit einer bestimmten Glätte versehen.

Maschinenrichtung: Arbeitsrichtung der Papiermaschine, die im Allgemeinen die bevorzugte Faserrichtung im Papier ist.

nassfest: Papier mit spezieller Behandlung, um die Festigkeitsabnahme im nassen Zustand zu verringern.

Obersieb: Gegensieb zum Untersieb.

Oberseite: die der Siebseite entgegengesetzte Seite des Papiers bei Einsiebmaschinen.

ofentrocken (otro): Verhältnis der Masse eines Werkstoffes nach Trocknung unter festgelegten Bedingungen zur Masse bei der Probenahme.

papierne Flächengebilde: Oberbegriff für Papier, Karton, Pappe.

Papierqualität: Beschaffenheit des Papiers bezüglich ihrer Eignung, die Qualitätsforderungen 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.

Querprofil: Kontinuierliche oder diskrete Verteilung einer Messgröße an einem Maschinenpapier quer zur Laufrichtung.

rörscher Stoff: Faserstoff, der schnell entwässert.

Roll-Blade-Former/Blade-Roll-Former: siehe Blade-Roll-Former.

Rolle: aufgewickelte Bahn in Form eines Zylinders, mit oder ohne Wickelhülse oder Wickelkern.

Rollenbreite: Maß einer Rolle in Querrichtung.

Rundsieb-Former: Former mit einem Rundsieb als Bahnbildungseinrichtung.

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

Saugformer: Rundsieb mit einer feststehenden, mit Vakuum beaufschlagten Entwässerungszone als Bahnbildungseinrichtung.

säurefrei: Eigenschaft eines Papiers, das keine freie Säure enthält.

Schicht (Faserschicht): bei geklebten Papieren oder Pappen Benennung für die einzelnen Faserstoffbahnen; die außenliegenden Faserstoffbahnen werden Dickschicht genannt.

Sieb-Former: Former mit zwei Sieben als Bahnbildungseinrichtung.

Siebmarkierung: Markierung, die während der Herstellung durch Eindrücken der Maschen des Siebes in die nasse Bahn entstanden ist.

Siebseite: Seite eines Papiers, die während der Herstellung mit dem Sieb in Berührung war.

schmieriger Stoff: Faserstoff, der langsam entwässert.

Spalt-Former: Siebpartie einer Papiermaschine mit folgenden Kennzeichen:

- Doppelsiebanordnung mit zweiseitiger Entwässerung,
- Faserstoffsuspension wird nach Verlassen des Stoffauflaufs als kompakter Strahl auf kurzem Weg direkt in den Spalt zwischen Ober- und Untersieb (Siebzwinkel) gespritzt.

Stickies: Bezeichnung für klebende Partikel, die aus dem Rohstoff Altpapier resultieren. Sie lassen sich nach folgenden Merkmalen klassifizieren:

- Klassifizierung nach Herkunft/Entstehung,
Klassifizierung physikalisch-chemisch: Abtrennbarkeit, Adhäsion/Klebrigkeit, Oberflächenenergiedichte, Größe
- Primär- und Sekundärstickies:

Primärstickies: werden mit dem Rohstoff eingetragen und kleben unter Prüfbedingungen.

Sekundärstickies: entstehen durch chemisch-physikalische Einflüsse im Prozess und kleben unter Prüfbedingungen.

Makro- und Mikrostickies unterscheiden sich nach ihrer Teilchengröße. Trennkriterium ist in der Regel die Schlitzweite einer Laborsortierung. Die im Siebrückstand detektierten Stickies stellen Makrostickies dar, während die im Durchlauf befindlichen Partikel als Mikrostickies bezeichnet werden.

Stoffeintrag: Art und Anteil der faserigen und nichtfaserigen Bestandteile des Ganzstoffes (abgesehen vom Wasser).

Stoffzusammensetzung: Arten und Anteile der faserigen und nichtfaserigen Bestandteile im Papier.

Störstoffe: ionische und/oder nichtionische Begleitstoffe der Faserstoffsuspension, die die Mechanismen der Blattbildung stören.

Streichen: Durchführung einer Ober- und Rückseitenbehandlung eines papiernen Flächengebildes aus Pigmenten, kombiniert mit Bindemitteln und anderen Zusatzstoffen.

Streichmasse: Suspension aus Pigmenten und Bindemitteln, die auch andere Bestandteile enthalten kann; auch Streichfarbe genannt.

Sulfatzellstoff: Zellstoff, der durch Aufschluss pflanzlicher Rohstoffe mit Natronlauge und Natriumsulfid erhalten wird.

Sulfitzellstoff: Zellstoff, der durch Aufschluss pflanzlicher Rohstoffe mit einer sauren Bisulfitlösung erhalten wird.

Trockengehalt: Verhältnis der Masse einer Probe, die bei einer Temperatur von $105 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ unter definierten Bedingungen bis zu einer konstanten Masse getrocknet wurde, zur Masse der Probe vor dem Trocknen.

ungeleimt: das natürliche Saugvermögen des Fasergefüges ist nicht durch den Zusatz von Leim verringert (Gegensatz: geleimt).

Unterseite: siehe Siebseite.

Untersieb: Sieb, das die Bahn zur Bahnabnahme führt.

verdrückt: Benennung für eine Papiereigenschaft im Blattgefüge, die fehlerhaft durch ungleichmäßiges Zusammenschieben des Stoffes in der noch feuchten Papierbahn entsteht; das Papier kann auch im Glättwerk oder Kalander verdrückt werden.

Verpackung: Umhüllung eines Produktes. Sie wird aus Packmitteln und Packhilfsmitteln während des Verpackungsvorganges gebildet (etwa Transportverpackung, Umverpackung, Sichtverpackung, usw.). Gesamtheit von Mitteln, die zum Schutz 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.

Wasserzeichen: Zeichnung im Papier, die beim Betrachten im durchfallenden Licht sichtbar wird. Man unterscheidet:

- echtes Wasserzeichen,
- Molette-Wasserzeichen (mit Pressen eingprägtes Wasserzeichen),
- imitiertes Wasserzeichen.

Wasserzeichen, echtes: hergestellt durch Verdrängung und/oder Anreicherung von Stoff während der Herstellung auf dem Sieb.

Zellstoff: aus pflanzlichen Rohstoffen durch chemischen Aufschluss gewonnener Faserstoff, bei dem die nichtzellulosischen Bestandteile zum großen Teil herausgelöst sind.

Zweiseitigkeit: unbeabsichtigte Verschiedenheit der Oberflächeneigenschaften auf den beiden Seiten von Papier.

■ 2.2 Papiersorten

Die Anzahl der Papiersorten ist bedingt durch die unterschiedlichen stofflichen Zusammensetzungen und vielfältigen Einsatzzwecke sehr groß. Etwa 3000 Sorten sind bekannt. Häufig sind für dieselben Papiere im Handel unterschiedliche Sortennamen üblich.

Eine grundsätzliche Ordnung kann in vier Hauptgruppen erfolgen [2.4]:

1. grafische Papiere (Druck- und Schreibpapiere),
2. Verpackungspapiere und -karton,
3. Hygienepapiere,
4. technische Papiere und Spezialpapiere.

Grafische Papiere (Druck- und Schreibpapiere)

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

- 1.1. Ungestrichene holzstoffhaltige Papiere, z. B. Zeitungsdruck- und SC-Papiere,
- 1.2. Gestrichene holzstoffhaltige Papiere, z. B. LWC-Papiere,
- 1.3. Ungestrichene holzstofffreie Papiere, z. B. Büropapiere,
- 1.4. Gestrichene holzstofffreie Papiere, z. B. Kunstdruckpapiere.

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

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

Verpackungspapiere und -karton

Verpackungspapiere sind vor allem Wellen- und Deckenpapiere zur Herstellung von Wellpappe und Einwickelpapier.

Karton umfasst vor allem Faltschachtelkarton für die Herstellung von Verkaufsverpackungen zum Schutz von Lebensmitteln und Gebrauchsgütern.

Hygienepapiere

Folgende Einteilung ist üblich:

- 3.1. Toilettenpapier,
- 3.2. Küchenrollenpapier,
- 3.3. Handtuchpapier,
- 3.4. Taschentuchpapier,
- 3.5. Serviettenpapier,
- 3.6. Gesichtstuchpapier.

Technische Papiere, Spezialpapiere

Am umfangreichsten und unterschiedlichsten ist die Gruppe der Spezialpapiere. An diese werden oftmals hohe und individuelle Anforderungen gestellt. Ausgewählte Beispiele sind:

- Dekorpapiere (für die Möbelindustrie),
- Fotorohpapiere,
- Inkjetpapiere,
- Filterpapiere,
- Elektro-Isolierpapiere,
- Zigarettenpapiere,
- Banknotenpapiere.

Die Gruppe umfasst alle Papiersorten, die keine Zuordnung zu den Hauptgruppen 1 bis 3 haben.

■ 2.3 Lexikon der Papiersorten

Aus der großen Anzahl von Einzelsorten sind wichtige exemplarisch herausgegriffen und in alphabetischer Reihenfolge zu einem kleinen Lexikon geordnet [2.1–2.8]:

Alterungsbeständiges Papier

Papier, dessen wichtigste Eigenschaften bei der Lagerung über längere Zeiträume erhalten bleiben (DIN 6730).

AP-Papier

Meist einseitig glattes Papier aus ganz oder überwiegend Altpapierstoff für Verpackungszwecke (AP = Abk. für Altpapier).

Aromadichtes Papier

Verpackungspapier für Kaffee, Tee, Gewürze usw., das sich durch Aromadichtigkeit auszeichnet. Zu Einsatz kommen Verbundmaterialien, die derartige Barriereigenschaften besitzen (siehe Verbundkarton).

Ausstattungspapier

Sammelbegriff für verschiedene Papiersorten, die für Ausstattungszwecke genutzt werden, (z. B. bei Briefmappen, Kassetten, Glückwunschkarten) oder zum Geschenke einwickeln. Die flächenbezogene Masse liegt zwischen 80 und 200 g/m². Das Papier ist vollgeleimt, meist einseitig gestrichen, je nach Verwendungszweck lackiert, bronziert, marmoriert, geprägt, weiß oder bunt. Als Ausstattungspapiere werden genutzt: Schreibpapier, Chromopapier, Glanzpapier, Dekorationspapier, Buntpapier, Einwickelseidenpapier, Pergamentpapier u. a.

Bakterizides Papier

Behandeltes Papier, das Bakterien abtötet.

Banknotenpapier

Dauerhaftes, griff- und falzfestes, für Mehrfarbendruck geeignetes, fälschungssicheres Papier mit echtem mehrstufigem Wasserzeichen. Als Sicherheitsmerkmale sind echte schattierte Wasserzeichen, bedruckte Sicherheitsfäden, verschiedenartig eingefärbt Fasern, unsichtbare Prägnungen und reagenzfähige Chemikalien in das Papier eingearbeitet. An das Papier werden höchste Anforderungen bezüglich der Reiß-, Falz- und Knitterfestigkeit gestellt sowie an die Lichtechtheit und Alterungsbeständigkeit. Als Faserstoff kommen überwiegend Baumwollkämmlinge zum Einsatz. Die flächenbezogene Masse beträgt 60... 80 g/m².

Bibeldruckpapier = Dünndruckpapier

Holzstofffreies, manchmal hadernhaltiges, meist stark füllstoffhaltiges dünnes Spezialdruckpapier mit niedriger flächenbezogener Masse und hoher Alterungsbeständigkeit.

Bierglasuntersetzerpappe

Saugfähige Maschinenholzpappe meist aus Holzstoff.

Braunpappe

Vollpappe, überwiegend aus Altpapierstoff, mit braun gefärbten Decklagen oder in der Masse braun durchgefärbt.

Buchbinderpappe

Maschinenpappe (mehrlagig, geklebt) und graue Wickelpappe, die zur Herstellung von Buchdeckeln verwendet werden. Sie ist flachliegend, ge-
glättet, zieh-, rill-, stanz- und prägbar.

Buchdruckpapier = Werkdruckpapier

Holzstofffreie oder holzstoffhaltige, meist auf Volumen gearbeitete Druckpapiere.

Buntpapier

Sammelbegriff für Papier, das auf einer Seite farbig gestrichen, bedruckt, lackiert oder andersartig gemustert ist.

Büttenpapier

Handgeschöpftes Büttenpapier – mit Schöpfform manuell hergestelltes oder aus einer Bütte geschöpftes Hadernpapier, hadernhaltiges oder holzstofffreies Papier mit faserigem Rand.

Rundsieb-Büttenpapier – aus der Bütte mit einem Rundsieb geschöpftes Hadernpapier, hadernhaltiges oder holzstofffreies Papier mit Büttenrand.

Chromoersatzkarton

Mehrlagiger Karton, der ein- oder beidseitig holzstofffrei gedeckt und einseitig glatt ist. Die Zwischenlagen und Einlagen bestehen aus Holzstoff oder Altpapierstoff.

Chromokarton

Mehrlagiger Karton, dessen Decklage aus Zellstoff oder Altpapierstoff besteht und gestrichen ist.

Dachpappe

Pappe, die mit Teer, Bitumen und/oder Naturasphalt getränkt ist.

Dekorpapier (Laminatpapier)

Holzstofffreies, weißes oder farbiges, saugfähiges Spezialpapier, das bis zu 40 % mit Titandioxid und anderen Metalloxiden gefüllt ist, mit flächenbezogenen Massen von 70 bis 120 g/m². Es wird bedruckt (z. B. mit Holzmaserungsmotiven) und danach mit Kunstharz getränkt. Es findet als Furnierersatz in der Möbelindustrie Anwendung.

Dokumentenpapier

Holzstofffreies, auch mit Hadernzusatz gefertigtes Papier mit hoher Alterungsbeständigkeit.

Druckpapier

Sammelbegriff für Papiere, die ungestrichen oder gestrichen zum Bedrucken geeignet sind und sich in verschiedenen Druckverfahren störungsfrei verarbeiten lassen.

Dünndruckpapier siehe Bibeldruckpapier

Duplexkarton

Multiplexkarton, einseitig glatt, aus zwei Lagen bestehend.

Durchschlagpapier

Meist holzstofffreies Papier mit einer flächenbezogenen Masse von 30 bis 40 g/m².

Echt-Pergamentpapier

Fettdichtes Papier, das in einem Spezialverfahren unter Verwendung von konzentrierter Schwefelsäure produziert wird, hergestellt aus einem saugfähigen, gebleichten Zellstoff.

Elektroisolierpapier

Ein meist mit Kunstharzen imprägniertes, porenfreies Papier, das weder Füllstoffe noch stromleitende Verunreinigungen, Salze oder Säuren enthalten darf. Zu dieser Gruppe gehören die Kondensator-, Kabelisolier- und Elektrolytpapiere.

Kondensatorpapier weist eine Dicke von 0,006...0,012 mm und eine flächenbezogene Masse von 6...7 g/m² auf.

Endlosdruckpapier

Für den Endlosdruck geeignetes Papier mit Randlochung für den exakten Papiertransport.

Etikettenpapier

Meist einseitig gestrichenes Papier, im Offset- und Tiefdruck mehrfarbig bedruckbar, lackierbar, bronzierbar und stanzbar, manchmal auch nass- und laugenfest.

Faltschachtelkarton

Meist mehrlagiger Karton aus Primär- oder Sekundärfasern, teilweise mit gestrichener Oberseite, der rill- und ritzfähig sein muss. Aufgrund

seiner Falz-, Ritz-, Rill-, Nut- und Bedruckbarkeit ist er besonders zum Herstellen von Faltschachteln geeignet. Die flächenbezogene Masse liegt zwischen 180 und 600 g/m². Faltschachtelkarton ist meist ein Multiplexkarton, d. h., er ist aus mehreren Lagen aufgebaut, und zwar aus einer Decklage (etwa 40 g/m²), einer Schonlage (etwa 30 g/m²), einer Einlage und einer Rücklage (etwa 30 g/m²). Er wird gestrichen und ungestrichen genutzt.

Feinpappe

Sammelbegriff für stark verdichtete steife Wickelpappe von besonders hoher Festigkeit, naturfarbig oder eingefärbt.

Feinpapier

Sammelbegriff für eine Vielzahl hochwertiger holzfreier, auch mit Hadernezusatz gefertigter Papiere.

Fettdichtes Papier siehe Echt Pergamentpapier, Pergament-Ersatzpapier und Pergamin.

Filtrierpapier

Holzfreier, ungeleimtes, zum Teil nassfest ausgerüstetes Papier.

Flammfestes Papier

Weitgehend flammfestes Papier mit nur geringem Anteil Zellstoff, aber hohen Anteilen an nichtbrennbaren Werkstoffen, wie Synthesefasern, Glasfasern- oder Mineralwollefasern, das u. U. zusätzlich oder anstelle dessen mit flamm sicherem Material beschichtet oder imprägniert sein kann.

Formatpapier

Papier, das ab Werk auf die vorgegebenen Formate zugeschnitten ist, im Gegensatz zu Rollenpapier.

Fotorohpapier

weitgehend nassfestes, dimensionsstabiles, chemisch, neutrales Zellstoffpapier, das als Rohpapier für die Fotopapierherstellung verwendet wird.

Geleimtes Papier

Papier, dessen natürliches Saugvermögen gegen Wasser durch Zusatz von Leim oder anderen Chemikalien verringert wurde.

Gestrichenes Papier

Druckpapier mit einer eingeebneten, geschlossenen Oberfläche, die für die Wiedergabe von fein gerasterten Bildvorlagen geeignet ist. Erzielt durch einen gleichmäßigen Auftrag von Streichmasse.

Getränkekarton

Karton, bei dem mehrere Deck- oder Zwischenschichten aus Polyethylen (PE) und Aluminium aufgetragen werden, um ein Durchweichen des Kartons bzw. den Kontakt des Füllgutes mit Licht und Luft zu verhindern. Gesundheitliche Unbedenklichkeit für den Karton und die Beschichtungen sowie gute Bedruckbarkeit sind erforderlich.

Grafische Papiere

Druck- und Schreibpapiere, einschließlich der Feinpapiere.

Graukarton

Karton aus Altpapier, rau oder einseitig glatt.

Graupappe

Vollpappe vorwiegend aus Altpapierstoff, als Maschinen- oder als Wickelpappe.

Gussgestrichene Papiere

Gestrichene Papiere, die ihren hohen Glanz nicht durch Satinieren, sondern durch Abformen der noch oder wieder feuchten Strichoberfläche am Mantel eines polierten, verchromten Trockenzyinders erhalten.

Hadernpapiere

Ausschließlich aus Hadern (früher Leinenlumpen, heute Baumwollabfälle der Textilindustrie) hergestelltes Papier.

Handgeschöpftes Papier siehe Büttenpapier.

Hartpappe

Sammelbegriff für Pappen mit ähnlichen Eigenschaften (Vollpappe), die durch Aufwickeln und Zusammengautschen mehrerer feuchter Faserstofflagen auf einer Formatwalze hergestellt werden und besonders biegefest und sehr zäh sind. Hartpappe ist geleimt, oft gefärbt und soll wasserabweisend sein. Sie findet Verwendung für die Herstellung von Kartonagen, Stanz- und Prägeartikeln und wird mit einer flächenbezogenen Masse zwischen 450 und 5000 g/m² hergestellt. Zu den Hartpappen gehören: *Karosseriepappe* (Verwendung zur Herstellung von Teilen der Autokarosserie), *Schuhpappe* (Verwendung für Brandsohlen als Ersatz für Leder usw. in der Schuhindustrie), *Kofferpappe* (Verwendung für Koffer usw.), *Jacquardpappe* (Verwendung in der Textilindustrie), *Stanzpappe* (Verwendung als Unterlage beim Stanzen), *Marmorpappe* (Verwendung für Briefordner, Mappen, Kästen usw.), *Brandpappe* (Verwendung in der Textilveredlung).

Hülsenkarton

Maschinenglattes, altpapierstoffhaltiges Papier, das in schmalen Bahnen in Hülsenwickelmaschinen zu Hülsen spiralig gewickelt wird, wobei die Papierbahnen mit Stärkelösungen verklebt werden.

Hygienepapier

Sammelbegriff für nass oder trocken gekreppte Papiere niedriger flächenbezogener Masse, die als Textilersatz hygienischen oder sanitären Zwecken dienen; gekennzeichnet durch einmaligen Gebrauch als Wegwerfartikel. Die Papiere bzw. die daraus gewonnenen Produkte müssen über eine hohe Weichheit und Saugfähigkeit verfügen. Als Rohstoff wird gebleichter Zellstoff oder Deinking-Stoff eingesetzt. Als Synonym wird zunehmend der Begriff Tissue oder Tissuepapier verwendet, auch wenn sich Tissue bisher auf Papiere bezieht, die ausschließlich aus Zellstoff hergestellt wurden. Nach DIN 6370: Allgemeiner Begriff für Tissue-Papiere, die für die Körperhygiene geeignet sind.

Illustrationsdruckpapier

Ungestrichenes, meist holzstoffhaltiges Papier mit Füllstoffen, das sich zur Wiedergabe von fein gerasteten Bildvorlagen eignet.

Inkjet-Papiere

Sammelname für Papiersorten, deren Eigenschaften speziell für die Aufnahme und Fixierung von im Inkjet-Verfahren aufgebrachtten festen oder flüssigen, farbgebenden Substanzen geeignet ist. Die Inkjet-Verfahren gehören zu den Non-Impact-Verfahren (kontaktlose Druckverfahren). In den Tintenstrahl Druckern werden Farbstoff enthaltende Tröpfchen auf die Papieroberfläche gespritzt. Die Anforderungen an die Inkjet-Papiere sind [2.1]:

- Fixierung der Farbstoffe an der Oberfläche,
- keine übermäßige Tropfenverbreiterung,
- hohe Wasseraufnahmekapazität,
- kein Durchschlagen auf die Rückseite.

Kabelpapier siehe Elektroisolierpapier

Kalenderwalzenpapier

Papier, das Baumwolle, Wolle und/oder Asbest enthält, zum Herstellen von Kalenderwalzen mit elastischer Oberfläche.

Karteikarton

Karton, mehrlagig gegautscht oder geklebt, meist satiniert, für Büro Zwecke.

Kartonsorten (nach [2.3])

Die Kartonsorten sind in die Faserarten unterteilt, die bei der Verarbeitung verwendet wurden. Zu ihrer Definition ist ein Schlüssel zu benutzen, der aus zwei Merkmalen und einer Kennziffer besteht:

Erstes Merkmal, das auf die Oberflächenbehandlung hinweist:

- A gussgestrichen (besondere Art von pigmentgestrichen),
- G pigmentgestrichen,
- U ungestrichen,

Zweites Merkmal, das auf den Stoffeintrag hinweist:

- Z gebleichte Primärfasern (Zellstoff),
- N ungebleichte Primärfasern,
- C Holzstoff,
- T Sekundärfaser, Karton mit weißer, gelber oder brauner Rückseite,
- D Sekundärfaser, Karton mit grauer Rückseite,

Für die Kennziffern gilt eine spezielle Tabelle, welche die Farbe der Rückseite und das spezifische Volumen berücksichtigt.

Ausgewählte Beispiele:

- AZ, gussgestrichener Primärfaserkarton (gebleichter Zellstoff),
- ZU, ungestrichener Primärfaserkarton,
- GD1, pigmentgestrichener, sekundärfaserhaltiger Karton mit grauer Rückseite mit einem spezifischen Volumen $> 1,45 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Kondensatorpapier siehe Elektroisolierpapier

Kraftliner

Papier in flächenbezogenen Massen von $50 \dots 120 \text{ g/m}^2$, überwiegend aus gebleichtem oder ungebleichtem Sulfatzellstoff, für Deckschichten von Wellpappe.

Kraftpapier

Verpackungspapier aus gebleichtem, meist aber aus ungebleichtem Sulfatzellstoff mit hohen statischen und dynamischen Festigkeiten. Kraftpapier findet Verwendung für Papiersäcke, Tragebeutel, Tüten und ähnliche Produkte.

Krepppapier

Papier, das durch Feinfaltelung (Kreppfalte) in sich gestaucht ist; dadurch werden erhöhte Dehnung und größeres Arbeitsvermögen erreicht, man unterscheidet: Trockenkrepp, Nasskrepp, Doppelkrepp.

Krepp-Hygienepapier

Meist einlagiges, im feuchten Zustand gekrepptes Papier, holzstoffhaltig oder aus Altpapierstoff. Durch anschließendes Trocknen wird die Krepung fixiert.

Kunstdruckpapier

hochwertiges, zweiseitig gestrichenes Druckpapier mit glatter, geschlossener Oberfläche zur Wiedergabe fein gerasterter und mehrfarbiger Bilder.

Laminatpapier siehe Dekorpapier

Laminat (engl.) = ein Material mit einer Deckschicht belegen.

Laserdruckpapier

Papier, das als Bedruckstoff in Laserdruckern benutzt wird. Es werden hohe Anforderungen gestellt: dimensionsstabil, opak abriebfest, glatt, staubfrei, biegesteif, gut verfestigte Oberfläche, hohe Wärmestabilität. Das Papier ist holzstofffrei oder holzhaltig, meist oberflächengeleimt mit flächenbezogener Masse von 50...80 g/m².

Lebensmittelverpackungspapier

Oberbegriff für ein Sortiment von Papieren und Kartonem, die zum Verpacken bzw. Einwickeln von Lebensmitteln verwendet werden und direkt mit dem Verpackungsgut in Berührung kommen. Papier mit flächenbezogenen Massen von 150...120 g/m² wird für flexible Verpackungen verwendet, mit flächenbezogener Masse bis 400 g/m² für Kartonverpackungen. Die gesundheitlichen Anforderungen sind in speziellen Empfehlungen und Richtlinien geregelt.

Lederpappe

Wickelpappe, die mindestens 50% Lederabfall enthält.

Lichtpauspapier

Spezialpapier, das ein- oder beidseitig mit einer lichtempfindlichen Schicht versehen und zur Vervielfältigung einer transparenten Vorlage im Nass- und Trockenverfahren geeignet ist.

Liner

Sammelname als Oberbegriff für Papier oder Pappe bestimmter Festigkeitseigenschaften, die als glatte Bahn bei der Herstellung von Wellpappe oder Vollpappe verwendet werden, flächenbezogene Masse > 115 g/m².

Löschpapier

Voluminöses, saugfähiges, füllstofffreies Papier, das aus gebleichtem Zellstoff und gebleichtem Linters hergestellt ist.

Luftpostpapier

Dünnes, holzstofffreies, auch hadernhaltiges Schreibpapier, weiß oder farbig, vollgeleimt, geglättet und möglichst opak mit einer flächenbezogenen Masse von 16...30 g/m² (DIN 6730).

LWC-Papier

Leichtes, zweiseitig gestrichenes holzstoffhaltiges Rollendruckpapier mit einer flächenbezogenen Masse unter 72 g/m². LWC, engl. für light weight coated.

Maschinenpappe

Vollpappe, die im Gegensatz zu Handpappe (Wickelpappe) auf Langsieb- oder Rundsiebmaschinen oder auf kombinierten Maschinen in endloser Bahn hergestellt ist.

Matrizenpappe

Gestrichene Vollpappe mit hochwertigem Stoffeintrag, knotenfrei und heiß prägbar, für die Herstellung von Matrizen für Stereografie.

Metallpapier

Papier, das ein- oder beidseitig mit einer Metallfolie kaschiert ist.

Multiplexkarton

Karton aus zwei und mehr Lagen, die sich entweder in der Stoffzusammensetzung, der flächenbezogenen Masse oder der Farbe voneinander unterscheiden und im feuchten Zustand ohne Verwendung von Klebstoffen durch Pressen miteinander verbunden sind.

Nassfestes Papier

Spezialpapier, das durch Zusatz meist spezieller Harze (Melamin-, Harnstoff-Formaldehyd-, Polyamidamin- oder Epichlorhydrinharze) auf eine bestimmte permanente oder temporäre Nassfestigkeit eingestellt wird, z. B. Sackpapier, Filterpapier oder Hygienepapier.

Naturpapier

Ungestrichenes Papier ohne oder mit Oberflächenbehandlung oder Pigmentierung bis 5 g/m².

NCR-Papier siehe Selbstdurchschreibpapier

Offset-Papier

Sammelbegriff für Druckpapiere, die in ihren Eigenschaften besonders auf den Offsetdruck eingestellt sind.

Packpapier

Sammelbegriff für Papiere unterschiedlicher Faserstoffzusammensetzung und Eigenschaften, deren Gemeinsamkeit nur der Verwendungszweck ist. Auswahl und Mischung der Faserstoffe richten sich nach den an das Papier gestellten Anforderungen.

Pergament

Beschreibstoff aus Tierhäuten, insbesondere von Ziegen, Schafen und Kälbern. Es wird heute noch für besonders wertvolle Dokumente und Urkunden verwendet. In Pergamon um 280...130 vor unserer Zeitrechnung erfunden, war es der wichtigste Beschreibstoff im Mittelalter, bevor Papier immer mehr zum Einsatz kam.

Pergamentpapier siehe Echt-Pergamentpapier

Pergamentersatzpapier

Holzfrees Papier, das durch feines und langes Mahlen bestimmter Zellstoffsorten und/oder den Zusatz von besonderen Hilfsmitteln hergestellt wird und besonders fettdicht ist.

Pergamin

Aus fein gemahlenem Zellstoff hergestelltes, weitgehend fettdichtes, aber nicht nassfestes Papier. Seine Transparenz erhält es durch sehr scharfes Satinieren.

Pressspan

Gefärbte Pappe mit großer Dichte, hoher mechanischer Festigkeit und Glätte, für Zwecke der Elektrotechnik auch mit hoher Dielektrizitätszahl. Pressspan weist eine hohe Härte, Zähigkeit, Steifigkeit und Dimensionsstabilität auf. Einsatz erfolgt vor allem in der Elektroindustrie als Elektro-, Kondensatoren- oder Transformatorenpressspan mit einer Dicke von 0,15...4 mm und einer Dichte zwischen 0,9 und 1,3 g/cm³. Nutzung früher auch in der Textilindustrie.

Recyclingpapier

Oberbegriff für papierne Flächengebilde mit 100% Altpapierstoff im Faserstoffeintrag.

Sackpapier siehe Kraftpapier

Satiniertes Papier

Zwischen den Walzen eines Kalenders geglättetes, verdichtetes Papier.

SC-Papier

Satiniertes, mit Füllstoffen versehenes holzhaltiges Papier. SC, engl. für supercalendered.

Schreibpapier

Beidseitig zum Schreiben mit Tinte geeignetes, ungestrichenes, vollgeleimtes Papier, die Schriftzüge dürfen weder auslaufen noch durchschlagen.

Schrenzpapier

Papier aus überwiegend unsortiertem Altpapier für Verpackungszwecke.

Seidenpapier

Sammelbegriff für dünne Papiere mit einer flächenbezogenen Masse unter 30 g/m^2 .

Selbstdurchschreibpapier

Papier, das Durchschriften ohne dazwischengelegtes farbabgebendes Papier ermöglicht. Das Papier ist so präpariert, dass durch Druck eine Farbreaktion oder Farbübertragung erfolgt.

Sicherheitspapier

Oberbegriff für fälschungssichere Papiere und verfälschungshemmende Papiere mit Sicherheitsmerkmalen.

Silikonpapier

Durch Beschichten mit Silikon erzeugtes adhäsives Papier, dessen Oberfläche sich gegen die meisten Stoffe abweisend verhält.

Spinnpapier

Papier mit besonders hoher Zugfestigkeit; es dient zur Herstellung von Papiergarnen und Papierbindfäden.

Synthesefaserpapier

Papier, das aus synthetischen Fasern, aus Zellwolle und zum Teil auch unter Zusatz von Füllstoffen hergestellt wird.

Tapetenrohpapier

Sammelname für Papiere, die zur Herstellung von Tapeten in verschiedener Ausführung geeignet sind, z. B. holzstoffhaltiges, vollgeleimtes, ma-

schinenglattes Papier, farblos oder getönt, dessen voluminöse, weiche Struktur eine raue Oberfläche ergibt; auch mit lichtbeständigem Grundierstrich.

Testliner

Papierne Flächengebilde, überwiegend aus Altpapierstoff, die als glatte Deckenbahn von Wellpappe oder als Deckschicht von Vollpappe eingesetzt werden.

Tiefdruckpapier

Meist holzstoffhaltiges, stark satiniertes Papier mit hohem Füllstoffanteil, das gestrichen und ungestrichen hergestellt wird.

Tissue

Erzeugnis mit feiner und weicher Kreppung und geschlossener Formation, in der Papiermaschine mit einem Trockengehalt von mehr als 90 % gekreppt, aus einer oder mehreren Lagen, besonders saugfähig, flächenbezogene Masse < 25 g/m² vor der Kreppung.

Toilettenpapier

Gekreptes Hygienepapier, bestehend aus mehreren Einzellagen. Es besteht aus Zellstoff, Altpapier oder Mischungen der beiden Komponenten.

Transparentpapier

Transparentes Papier, das durch langes und schonendes Mahlen von Spezialzellstoffen erzeugt wird.

Vulkanfiberroh papier

Spezialpapier, aus dem durch Imprägnieren mit Zinkchlorid Vulkanfiber entsteht. Das ungeleimte Rohpapier muss hohe Saugfähigkeit, Nassfestigkeit und Reinheit aufweisen. Es ist ungefüllt und meist rotbraun oder schwarz eingefärbt.

Wellpappenpapier (Wellpappenroh papier)

Sammelbegriff für Papiere zur Herstellung von Wellpappe. Einteilung der Papiere in Deckenpapiere (Kraftliner und Testliner – siehe dort) und Wellpapier. Wellpapier wird in Fluting und Wellenstoff unterteilt. Fluting ist ein Wellpapier mit mindestens 65 % Halbzellstoff. Wellpapier besteht aus 100 % Altpapierstoff. Sowohl Decken- als auch Wellpapier werden entweder einlagig oder zweilagig hergestellt. Flächenbezogene Masse: 90... 400 g/m².

Wellenpapier

Sammelname für Papiere, die als gewellte Bahn hauptsächlich bei der Herstellung von Wellpappe verwendet werden.

Werkdruckpapier

Holzhaltiges oder holzstofffreies, gefülltes Papier zur Herstellung von Büchern.

Wertzeichenpapier

Holzstofffreies, teilweise hadernhaltiges, hochwertiges Papier mit einem echten Wasserzeichen oder Molette-Wasserzeichen.

Wickelpappe (Handpappe)

Vollpappe, hergestellt durch Aufwickeln einer oder mehrerer nasser Faserstoffbahnen auf einer Formatwalze.

Zeichenpapier

Holzstofffreies oder holzhaltiges, in der Masse geleimtes, opakes, radierfestes, meist auch oberflächengeleimtes Papier, dessen Eigenschaften auf bestimmte Zeichen- oder Maltechniken abgestimmt sind, und Papiere für technische Zeichnungen.

Zeitschriftenpapier

Druckpapier für Zeitschriften, deren Auswahl sich im Wesentlichen nach der Auflagenhöhe und den Qualitätsansprüchen richtet.

Zeitungsdruckpapier

Ein stark holzhaltiges, oft aus deinktem Altpapierstoff hergestelltes, -maschinenglattes oder satiniertes Papier mit flächenbezogenen Massen zwischen 40...56 g/m². Das Papier muss eine gute Verdruckbarkeit aufweisen.

Zellstoffkarton, gebleicht (Solid Bleached Board, SBB)

Karton aus gebleichtem Zellstoff. Die Ober- und Rückseite kann mit mineralischen oder synthetischen Pigmenten gestrichen sein.

Zellstoffwatte

Erzeugnis überwiegend aus Zellstoff mit grober und weicher Kreppung und offener Formation, in der Papiermaschine trocken gekreppt, aus einer oder mehreren Lagen (flächenbezogene Masse der Lage vor der Kreppung < 25 g/m²), besonders saugfähig.

Zigarettenpapier

Ungeleimtes, holzfreies Papier, auch aus Leinen- oder Hanffasern hergestellt, mit Füllstoffanteilen von 30 %. Die Glimmfähigkeit wird durch eine spezielle Ausrüstung erzielt.

Zwischenträgerpapier

Sammelname für Handduschreibepapiere, Kohlepapiere und hektografische Karbonpapiere.

Literatur

- [2.1] DIN 6730: 2011-02 Papier und Pappe – Begriffe, ISO 4046: 2002 Paper, board, pulp and related terms – vocabulary
- [2.2] DIN 6735: 2010-02 Papier, Pappe und Faserstoffe – Übersicht von Begriffen
- [2.3] DIN 19303: 2011-03 Karton – Begriffe und Sorteneinteilung
- [2.4] *Göttsching, L.; Katz, C.* [Hrsg.]: Papier-Lexikon. Gernsbach: Deutscher Betriebswirte-Verlag, 1999
- [2.5] Papier-ABC. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken
- [2.6] *Blechsmidt, J.; Heckers, W.*: Begriffe der Blattbildung. Wochenblatt für Papierfabrikation 3 (1994), S.76–77
- [2.7] Taschenbuch Papiertechnologie. Leinfelden-Echterdingen: Haefner-Verlag GmbH, 2007
- [2.8] *Blechsmidt, J.* (Hrsg.): Papierverarbeitungstechnik. Leipzig: Fachbuchverlag, 2013

3

Rohstoffe der Papiererzeugung

Von Prof. Dr.-Ing. habil.
Jürgen Blechschmidt

■ 3.1 Übersicht

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 **Zellstoff**, durch mechanische Zerfaserung von Holz entsteht **Holzstoff**.

Holz ist weltweit zu 90 % Rohstoffquelle. Die Verwendung von **Einjahrespflanzen** ist geeignet für Gebiete mit geringen Holzressourcen, größeren Flächen ungenutzten Agrarlandes und größeren Reststoffüberschüssen (z. B. Stroh). Die Produktion ist teuer und belastet die Umwelt stärker als die Herstellung von Faserstoff aus Holz.

Zellstoffe aus Jute, Flachs, Hanf, Sisal und Bagasse sind für Spezialpapiere geeignet (z. B. Filterpapiere, Dünndruckpapiere). In den tropischen und subtropischen Ländern wird Faserholz vorwiegend in Plantagen gewonnen (z. B. Eukalyptusholz). Während bei dem auf chemischem Weg gewonnenen Zellstoffen mit Ausbeuten von 45...55 % gerechnet wird, liegen diese bei auf mechanischem Weg erzeugten **Holzstoff** bei 80...90 %. Aus der gleichen Masse Holz wird im Vergleich zu Zellstoff die doppelte Menge an Faserstoff gewonnen. Die gelösten Substanzen der Zellstofferzeugung belasten außerdem im weitaus stärkeren Maße die Abwässer und müssen unter hohem Investitionsaufwand aufbereitet werden.

Sekundärfaserstoffe werden aus Altpapier gewonnen. **Hadern** (Lumpen) kommen nur noch im geringen Maße zum Einsatz. Bis zur Erfindung der Verfahren zur Holzstoff- und Zellstofferzeugung im 19. Jahrhundert (siehe Kapitel 1) waren Lumpen (gebrauchte Textilien) die einzige Rohstoffquelle. Synthetische und mineralische Faserstoffe spielen eine untergeordnete Rolle.

Die Entwicklung des weltweiten Verbrauchs an Faserstoffen und Papier zeigt Tabelle 3.1. Danach wurden im Jahr 2010 52% Altpapier, 40% Zellstoff und 8% Holzstoff verbraucht. CEPI hat eine Roadmap 2050 erarbeitet, die im Einklang mit der Zielstellung steht, die industriellen Emissionen bis 2050 um 80% gegenüber 1990 zu verringern. Bild 3.1 zeigt die voraussichtliche Entwicklung des Verbrauchs an Papier bis 2050 in Abhängigkeit von den Regionen [3.1].

Tabelle 3.1 Entwicklung des weltweiten Verbrauchs an Faserstoffen und Papier (Quelle: Jaakko Poyry und VDP)

Faserstoffe	1980		1990		2000		2010	
	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%
Altpapier	60		100		160		221	
Altpapier aufbereitet (90%)	54	31	90	37	144	45	199	52
Zellstoff	93	54	120	50	145	46	152	40
Holzstoff	25	15	30	13	30	9	33	8
Faserstoffe (gesamt)	172	100	240	100	319	100	384	100
Papier + Karton (gesamt)	171		240		320		385	

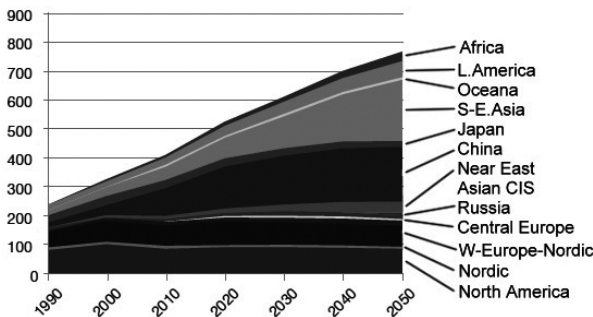


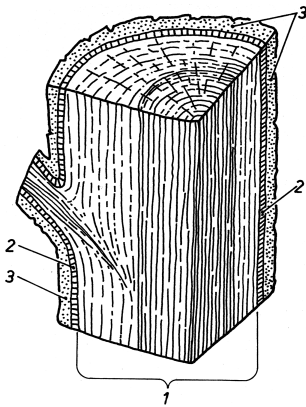
Bild 3.1 Entwicklung des Verbrauchs an Papier bis 2050 in Abhängigkeit von den Regionen [3.1]

■ 3.2 Aufbau und Zusammensetzung des Holzes

Holz ist der wichtigste Rohstoff für die Erzeugung von Papier-Faserstoffen. Es besitzt aufgrund seines Aufbaus und seiner Zusammensetzung eine einzigartige Zweckeignung [3.1] - [3.4].

Aufbau des Holzstammes (Bild 3.2):

1. Die **Borke** (äußere Rinde) schützt den Baum vor den Gefahren der Außenwelt. Sie erneuert sich ständig, hält Regenwasser ab, verhindert bei Sonnenschein eine zu hohe Verdunstung, schützt gegen Kälte, Hitze, Pilz- und Insektenbefall.
2. Der **Bast** (innere Rinde) ist die Versorgungsleitung des Baumes. Durch ihn wird die Nahrung in die übrigen Baumteile transportiert. Er lebt nur kurze Zeit, stirbt danach ab, verwandelt sich in Kork und wird schließlich Teil der Borke.
3. Das **Kambium** ist der eigentlich lebende Teil des Stammes. Von Hormonen gesteuert, die mit der Nahrung von den Blättern oder Nadeln im Bast herabwandern, erzeugt es jedes Jahr durch Zellteilung nach außen neuen Bast und nach innen neues Holz. Diese Hormone (Auxine) bewirken das Zellwachstum. Sie werden von den Blattknospen der Zweigspitzen erzeugt, sobald diese im Frühjahr zu treiben beginnen. Die Kambiumzellen sind spindelförmig, dünnwandig, weich und unverholzt. Dieser Zustand ist für die Entrindung des Holzes von Bedeutung.
4. Das **Splintholz** ist die Wasserleitung des Baumes, die den Kronenraum versorgt. Splintholz ist junges Holz. Gleichzeitig mit der Bildung neuer Splintholzringe verlieren die inneren Zellen an Lebenskraft und verwandeln sich in Kernholz.
5. Das **Kernholz** ist die zentrale und stützende Säule des Baumes. Obwohl es selbst tot ist, behält es seine tragende Kraft, solange die äußeren Schichten noch leben. Als System hohler, nadelartiger Fasern, das durch Lignin zusammengehalten wird, ist es fest wie Stahl.

**Bild 3.2**

Aufbau des Holzstammes.

1 Holz, 2 Kambium, 3 Rinde im Stamm

Der **Holzkörper** besteht aus Zellen unterschiedlicher Art, Größe, Form und Verteilung. Gleichartige Zellen treten gruppenweise als größere Verbände (Gewebe) auf. Entsprechend der drei Hauptfunktionen des Holzteils des Baumes, nämlich der mechanischen Festigung, Wasserleitung und Stoffspeicherung, können drei Gewebearten unterschieden werden:

- Festigungsgewebe,
- Leitgewebe und
- Speichergewebe.

Diese Funktionen übernehmen bei **Nadelhölzern** folgende Fasern:

- Spätholztracheiden: *Festigkeitsfunktion*,
- Frühholztracheiden: *Leitungsfunktion*,
- Holz- und Markstrahlparenchymzellen: *Speicherfunktion*,

bei **Laubhölzern**:

- Libriform-, Sklerenchym-, Hart- oder Holzzellen: *Festigkeitsfunktion*,
- Tracheen (Gefäße, Poren): *Leitungsfunktion*,
- Holz- und Markstrahlparenchymzellen: *Speicherfunktion*.

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 (Bild 3.3). Die Tracheiden machen bei den

Nadelhölzern etwa 90% der Holzsubstanz aus. Der Anteil der Libriformfasern ist bei den einzelnen Laubholzarten sehr unterschiedlich. Er beträgt im Durchschnitt nur 50% der Holzsubstanz. In diesem Umstand ist die unterschiedliche Eignung der Holzarten für die Faserstoffherzeugung begründet.

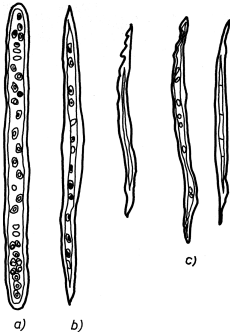


Bild 3.3
Tracheiden der Nadelhölzer und Libriformfasern der Laubhölzer
a) Frühjahrs-tracheide, b) Sommer-tracheide, c) Libriformfasern

Die Holzzellen bestehen aus der **Zellwand** und dem **Lumen** (Bild 3.4). Die Zellwand baut sich um das Lumen herum aus mehreren Wänden (Lamellen) auf, die ihrerseits aus Fibrillen bestehen (Bild 3.5). Für die einzelnen Elemente der Zellwand ergeben sich die Kennwerte nach Tabelle 3.2.

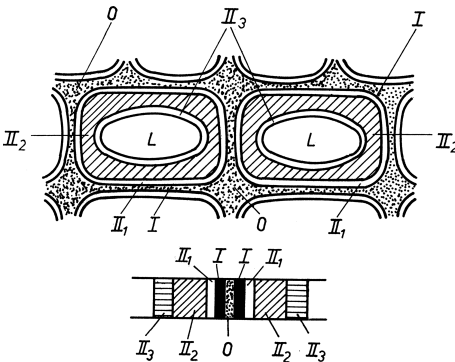


Bild 3.4
Aufbauschema der Zellwand einer Nadelholz-faser (nach Kerr und Bailey).
O Mittellamelle, I Primärlamelle, II Sekundärlamelle, II₁ Außenschicht, II₂ zentrale Schicht, II₃ Innenschicht, L Lumen

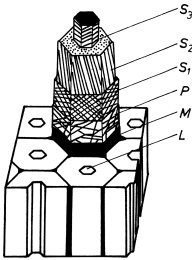


Bild 3.5

Struktur der Zellwand des Holzes (nach Blazej).
L Lumen, M Mittellamelle, P Primärwand, S₁, S₂, S₃ Innen-, Mittel und Außenschicht der Sekundärwand

Tabelle 3.2 Werte für die Elemente der Zellwand

	Dicke in μm	Faserwandanteil in %
Primärwand P	0,1...0,3	7...14
Sekundärwand S ₁	0,1...0,2	6...12
Sekundärwand S ₂	1,0...5,0	75...85
Tertiärwand S ₃	0,1	etwa 6
Wanddicke in μm	2,0...8,0	

Die Länge und Dicke der Holzzellen ist für die verschiedenen Holzarten unterschiedlich (Bild 3.3.). Wichtige morphologische Eigenschaften einiger Holzarten, die für die Faserstoffherzeugung genutzt werden, zeigt Tabelle 3.3.

Tabelle 3.3 Morphologische Eigenschaften ausgewählter Holzarten

Eigenschaften	Fichte	Kiefer	Lärche	Pappel, Aspe	Birke	Buche
Faserzellen (Tracheiden und Libriformfasern)						
Faserlänge in mm	2,6...5,0	2,6...4,4	3,5	0,7...1,8	0,8...1,6	0,6...1,3
Faserdurch- messer in μm	28...36	30...75	24...52	12...28	15...32	15...21
Verhältnis Faser- länge zu Faser- durchmesser	110 : 1 bis 65 : 1	90 : 1	92 : 1 bis 110 : 1	36 : 1 bis 65 : 1	45 : 1	50 : 1
Lumendurch- messer in μm	Tracheiden 4...80			Libriformfasern 5...50		
Faserwanddicke in μm	2...8			2...7		
Zellumfang in μm				63	60	54
Raumanteil der Zellarten am Holz in %	95...97		89...93	59...63	60...68	35...44
Wandanteil am Holzquerschnitt in %	25...93		47	33...46	45...67	82...87
	Früh-/Spätholz					

Das Verhältnis von Faserlänge zu Faserdurchmesser liegt je nach Faserart zwischen 1 : 10 bis 1 : 110.

In chemischer Hinsicht ist die Zellwand ein **Bioverbundpolymer**. Sie setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen (Bild 3.6):

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

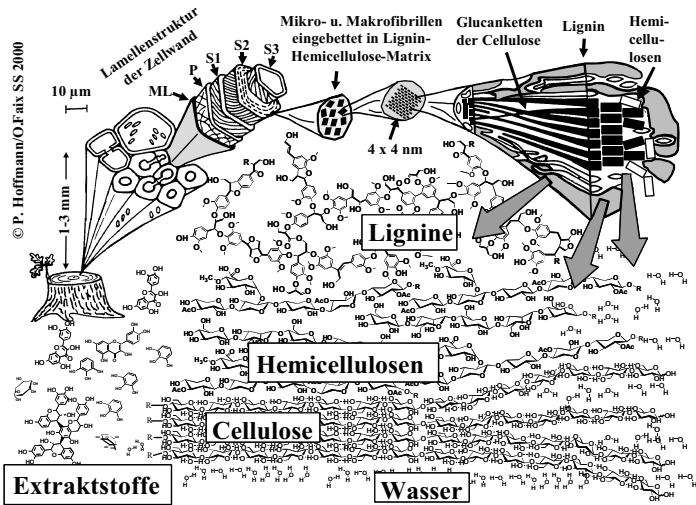


Bild 3.6 Holz als Mikroverbundwerkstoff und Bioverbundpolymer [3.3]

In Tabelle 3.4 ist die chemische Zusammensetzung für verschiedene Holzarten erfasst.

Tabelle 3.4 Chemische Zusammensetzung ausgewählter Holzarten

Anteil	Fichte	Kiefer	Lärche	Pappel, Aspe	Birke	Buche
Cellulose in %	42...47	48...55	46	44...52	38...51	38...53
Lignin in %	28...29	26...29	29...30	20...23	19...27	22...25
Hemicellulosen in %	19...24	17...22		18...26	27...28	22...35
Hexosane in %	13,3			3	4,8	4,4
Pentosane in %	9...11		9	15...24	22...27	18...25
Harze, Fette in %	2,3	3,0...6,0		3,2	1,8	1,8
Asche in %	0,23...0,77	0,2...0,5	0,17...1,0	0,7...1,0	0,2...0,6	0,4...1,2

Die chemischen Komponenten sind jedoch in der Zellwand sehr unterschiedlich verteilt (Bild 3.7). So befinden sich in der Mittellamelle 60...80% Lignin; in der Sekundärwand S_2 nur etwa 22%. Die Verteilung der Komponenten ist von Einfluss auf die Faserstoffherzeugung.

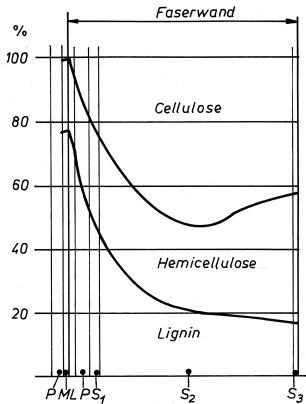


Bild 3.7 Verteilung von Cellulose, Lignin und Hemicellulosen in der Faserwand

Erheblich unterscheiden sich die Holzarten auch in den physikalischen Eigenschaften (Tabelle 3.5). Für die Faserstoffherzeugung ist vor allem die Rohdichte bzw. Darrdichte von Bedeutung. Aufgrund der unterschiedlichen morphologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften der Holzarten ergibt sich eine unterschiedliche Zweckeignung der Holzarten für die Faserstoffherzeugung.

Tabelle 3.5 Physikalische Eigenschaften ausgewählter Holzarten

Eigenschaft	Fichte	Kiefer	Lärche	Pappel, Aspe	Birke	Buche
Botanische Bezeichnung	picea	pinus	larix	populus	betula	fagus
Englische Bezeichnung	common spruce	scots pine	european larch	poplar	birch	common beach
Einheimische Arten	picea excelsa	pinus sylvestris	larix europea	populus nigra, tremula		fagus silvatica
Sonstige Bezeichnungen	Rottanne	Föhre	Arve, Lerke	Espe, Zitterpappel		Rotbuche, Echte Buche
Darrdichte in kg/m ³	0,42... 0,43	0,48... 0,49	0,55	0,37... 0,41	0,53... 0,61	0,68
Rohdichte (lufttrocken) in kg/m ³	0,47	0,49	0,59	0,45	0,65	0,72
Porenvolumen in %	80		72	81	68	63
Fasersättigungsfeuchtigkeit in %	34,8		26,1	40,4	28,9	35,6

■ 3.3 Holzqualität

Für die Faserstoffherzeugung ist die Qualität des vom Forst bereitgestellten Holzes (Rohholz) von Bedeutung. Rohholz, das für die Faserstoffherzeugung genutzt wird, wird oft als **Faserholz** oder **Industrieholz** bezeichnet. In den Ländern sind die Qualitätsanforderungen in den Sortimentsvorschriften von Hölzern festgelegt.

Sortimentsvorschriften für Industrieholz Bundesrepublik Deutschland [3.5]

1. Rohholz (Waldholz)

Industrieholz ist in folgende Güteklassen eingeteilt:

- IN: gesund, nicht grobastig, keine starken Krümmungen,
- IF: leicht anbrüchig, grobastig oder krumm,
- IK: stark anbrüchig, jedoch gewerblich verwendbar.

Die Stärke der normal in 2 m ausgehaltenen Stammstücke liegt zwischen mindestens 8 cm (am schwächeren Ende gemessen) und höchstens 30 cm (am stärkeren Ende gemessen). Es wird sowohl als **INS** = Schichtholz (Kurzholz 1 bis 2 m lang) als auch als **INL** = Langholz (baumfallende Längen und Kranlängen von 4 bis 6 m) gehandelt. Schichtholz wird nach **Raummeter** (= 0,75 m³ Holzmasse-Festmeter), Langholz nach **Gewicht** (**otro** = ofentrocken, als reines Substanzgewicht, und **lutro** = lufttrocken, mit Feuchtigkeitsanteilen) angeboten.

2. Restholz

Industrierestholz sind **Schwarten** und **Spreißel** (Säumlinge), die bei der Erzeugung von Schnittholz in den Sägewerken anfallen. Es wird meist in mit Bandeisen gebundenen **Großbunden** von 2,50...6,00 m Länge und bis 80 cm Durchmesser angeboten, zum Teil auch als **Hackschnitzel**. Hackschnitzel werden von den Sägewerken aus Schwarten und Spreißeln erzeugt. **Hackspäne** fallen in Profilerspanern bei der Erzeugung von Kantholz an. Der Verkauf dieser beiden Sortimente erfolgt nach **Schütt-kubikmetern** oder nach **Gewicht** (otro und lutro). Hackschnitzel müssen ohne Rinde sein.

Für Österreich und die Schweiz gelten ähnliche Sortimentsvorschriften [3.5].

Literatur

- [3.1] CEPI Roadmap 2050: The Forest Fibre Industry 2050 Roadmap to a low-carbon bio-economy
- [3.2] *Blechschmidt, J.* (Hrsg.): Taschenbuch der Papiertechnik. Leipzig: Fachbuchverlag, 2010
- [3.3] *Göttsching, L.; Katz, C.* (Hrsg.): Papier-Lexikon. Gernsbach: Deutscher Betriebswirte-Verlag, 2007

- [3.4] *Wagenführ, A.; Scholz, F.* (Hrsg.): Taschenbuch der Holztechnik. Leipzig: Fachbuchverlag, 2012
- [3.5] Die Mischbütte. Heidelberg: Haefner, 2001
- [3.6] *Blechsmidt, J., Opherden, A.*: Technologie der Holzstoff-Erzeugung. Leipzig: Fachbuchverlag, 1985
- [3.7] Taschenbuch Papiertechnologie. Leinfelden-Echterdingen: Haefner-Verlag GmbH, 2007

4

Holzvorbereitung für die Faserstoffherzeugung

Von Dipl.-Ing. Eberhard Dobschall

Für die Gewinnung von Primärfaserstoffen aus Holz, die in der Papierindustrie verwendet werden, kommen im deutschsprachigen Raum überwiegend **Sägewerksrestholz** (angeliefert in Form von Hackschnitzeln) und Material von Durchforstungen (als Rundholz) zum Einsatz. Damit wird ein wesentlicher Beitrag für die nachhaltige Bewirtschaftung und die Gesunderhaltung der Wälder geleistet.

Die **Aufgaben der Holzvorbereitung** (Bild 4.1) sind:

- die Annahme und Lagerung des Rundholzes oder der Hackschnitzel,
- das Entrinden und Hacken des Rundholzes sowie
- die Lagerung der eigen produzierten Hackschnitzel wie auch der Rinde.

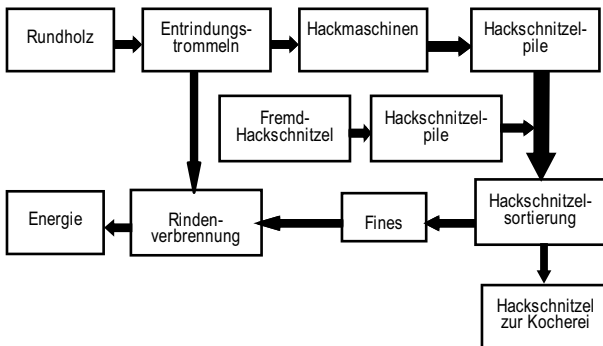


Bild 4.1 Schema der Holzvorbereitung einer Zellstoff-Fabrik

In Abhängigkeit vom herzustellenden Faserstoff kommen zum einen **Nadelhölzer** wie Fichte und Kiefer zum Einsatz, die für ihre ausgezeichneten morphologischen Eigenschaften in Hinblick auf ihre Eignung als Faserstoff bekannt sind, zum anderen **Laubhölzer** wie Birke, Buche und Pappel. Auf dem internationalen Markt setzt sich außerdem in immer

stärkerem Maße **Eukalyptus** als Faserrohstoff durch. Im gesamten Prozess der Lagerung und Verarbeitung ist auf eine strikte Trennung der einzelnen Arten zu achten.

Die Anlieferung sowohl des Rundholzes als auch der Hackschnitzel erfolgt per Lkw (Bild 4.2) oder mit der Bahn. Der Umschlag des Rundholzes wird mittels stationären Krananlagen, Mobilkränen oder mobilen Greiferfahrzeugen vorgenommen.



Bild 4.2 Entladung Rundholz von einem Lkw

■ 4.1 Rundholzlagerung

Die Abhängigkeit der Effektivität des Aufschlussprozesses und der Bleichreaktionen vom Feuchtegehalt des Holzes sind heute weitgehend ebenso bekannt wie die Verluste an Holzmasse und die Verminderung der Festigkeitseigenschaften durch eine zu lange Holzlagerung. Dem Wunsch der Faserstoffproduzenten nach einer konstanten Qualität des gelieferten Holzes steht die Praxis gegenüber, das geerntete Holz im Wald in Stapeln (Poltern) über einen Zeitraum von wenigen Wochen bis zu mehreren Monaten zu lagern. Der Abtransport erfolgt auf Abruf bzw. entsprechend der Marktsituation. Die **Dauer der Rundholzlagerung** in den Zellstoff- und Papierfabriken beträgt von wenigen Tagen bis hin zu mehreren Wochen.

Trotz der damit verbundenen Schwankungen besonders des Feuchtegehaltes des Holzes wird mehr und mehr auf eine Berieselung (Besprengen) des Holzes mit Wasser während der Lagerung verzichtet. Neben einer nicht unerheblichen Kosteneinsparung werden damit die Risiken einer Grundwasserverschmutzung minimiert. Das Berieseln des Holzes ist ohnehin nur zweckmäßig, wenn der Zeitraum zwischen der Ernte und dem Lagern des Rundholzes sehr kurz gehalten wird, was durch die gängige Praxis der Holzlagerung im Forst kaum gewährleistet werden kann.

Die **Rundholzstapel** werden auf gut befestigtem Untergrund errichtet, wobei neben einer sicheren Platzentwässerung eine ausreichende Belüftung (Luftzirkulation) gewährleistet werden muss, um Staunässe zu verhindern [4.1]. Von entscheidender Bedeutung ist die ausreichende Befestigung des Untergrundes und der Transportwege, da hier durch das Rangieren der mobilen Greifer erhebliche Belastungen entstehen.

■ 4.2 Entrindung

Die **Entrindung** stellt einen der wichtigsten Prozessschritte der Faserstoffherzeugung dar.

Bei der Herstellung der verschiedenen Faserstoffarten werden unterschiedliche Anforderungen an den Grad der Entrindung des Rundholzes gestellt. Der höchste Entrindungsgrad wird bei **Schleifholz** angestrebt.

Bei der Zellstoffherzeugung führt schlechte Entrindung generell zu

- einer niedrigeren Ausbeute,
- längerer Kochdauer,
- höheren Chemikalienverbräuchen bei der Bleiche und
- einem niedrigeren Weißgrad.

Außerdem werden über die Rinde Sand und andere Verunreinigungen in den Prozess eingebracht. Bei der Herstellung von Sulfitzellstoff kommt es zu Problemen durch Reaktionen von phenolischen Substanzen der äußeren Rinde. Niedrigere Anforderungen an den Entrindungsgrad werden beim **Sulfatverfahren** gestellt. Aber auch hier kommt es bei zu hohem Rindenanteil zu den oben aufgeführten negativen Auswirkungen auf das Kocheergebnis.

In der Holzvorbereitung der Zellstoff- und Papierindustrie hat sich die **Trommelentrindung** weitestgehend durchgesetzt. Weitere Entrindungs-

verfahren sollen deshalb hier nicht weiter ausgeführt werden. Die Entrindung wird heute überwiegend trocken vorgenommen, da die Kosten für eine Nassentrindung höher liegen. (Größere Trommeldurchmesser und -länge erforderlich, erheblich größerer Aufwand für die Wasseraufbereitung.)

Die Holzzuführung (Bild 4.3) zu modernen Entrindungstrommeln erfolgt kontinuierlich. Ein Beispiel dafür ist das GentleFeed™-System von Valmet, das auf dem Prinzip des **Schubbodens** basiert. Das Holz wird in Bündeln in das System eingebracht. Die Stahlplatten des Schubbodens werden hydraulisch gleichzeitig in Richtung der Entrindungstrommel bewegt und nehmen die Holzbündel mit. Die Rückführung der Bodenplatten erfolgt einzeln und versetzt, wodurch die Rundholzstämmen an ihrem Platz verbleiben und mit der nächsten Bewegung der Schubbodenplatten wiederum in Richtung Trommel transportiert werden. Dieses System sorgt neben geringeren Instandhaltungskosten für niedrigere Holzverluste, da die Schnittflächen der Stämme weniger beschädigt werden.

Da sich gefrorene Rinde nur schwer vom Holz lösen lässt, kann es erforderlich sein, vor dem Holzzuführungssystem eine Enteisung des Holzes vorzunehmen (mittels Heißwasser bzw. Dampf).

Die **Trommelwand** besteht aus soliden Stahlplatten. In die Wand sind Schlitzte eingearbeitet, durch die die Rinde auf ein unter der Trommel laufendes Transportband fällt. Die Trommellänge variiert meist zwischen 16..40 m, der Durchmesser zwischen 4..5,5 m.



Bild 4.3 Beschicken der Holzzuführung

Die **Entrindung** des Rundholzes erfolgt durch das Aneinanderschlagen und die Reibung der Stämme untereinander sowie an der Trommelwand, unterstützt von Mitnehmern, die an der Wand in Längsrichtung angebracht sind (Bild 4.4). Durch die leichte Neigung der Trommel bewegen sich die Stämme in Richtung Austragsöffnung. Mit einem dort vorhandenen verstellbaren Tor kann die Verweilzeit der Stämme in der Trommel verändert werden. Der Trommeldurchmesser, die -länge, die Verweilzeit, die Trommeldrehzahl und der gewünschte Entrindungsgrad stehen in direktem Zusammenhang.

Verarbeitet wird Rundholz üblicherweise mit einer Länge von 2...6 m, wobei die maximale Länge in Anhängigkeit von der Trommellänge und der Auslegung der folgenden Anlagen auch größer sein kann. Das Entrinden von Stämmen unterschiedlicher Länge kann zu Blockaden am Trommelausgang führen, deren Beseitigung arbeits- und zeitintensiv ist. Ebenso ungünstig ist das gleichzeitige Verarbeiten von Stämmen mit geringem und großem Durchmesser, da hierbei die dünneren Stämme in kurze Stücke gebrochen werden können, was zu höheren Holzverlusten und beim anschließenden Hacken zu ungleichmäßigeren Hackschnitzeln führt. Mit modernen **Entrindungstrommeln** ist das Erreichen eines Rindenanteils von < 1 % möglich [4.2].

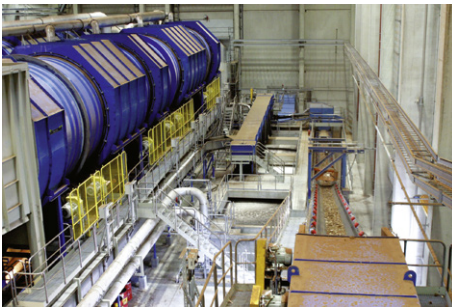


Bild 4.4 Entrindungstrommel und Washwasser-Aufbereitung

Nach Passieren der Entrindungstrommel werden die Stämme üblicherweise gewaschen. Das Washwasser wird in einer mechanischen Reinigungsanlage von Sand und anderen Verschmutzungen befreit und im Kreislauf geführt. Der Anlage fließt kontinuierlich eine geringe Menge

Frischwasser zu und der Überlauf wird zur betrieblichen Abwasserreinigung geleitet. Der Transport der Stämme durch den Waschdüsenrahmen erfolgt zweckmäßig mit **Stachelwalzen** (Bild 4.5).



Bild 4.5 Stachelwalzen

Vor dem Hacken passieren die Stämme einen **Metalldetektor** (Magnetspule). Bei Erkennen von Metall (Nägel, Schrauben, aber durchaus auch Splitter und Geschossteile, oder andere eingewachsene größere Metallteile) wird unmittelbar die Fördereinrichtung gestoppt. Auch die Entrindungsstrommel wird angehalten, um eine gleichmäßige Entrindung ohne Zunahme der Holzverluste zu erreichen. Die Metall-enthaltenden Stämme werden mittels Kran von der Fördereinrichtung entfernt und die Anlage wieder gestartet.

Außerdem wird vor dem Hacken der Durchmesser der Stämme erfasst. Bei Überschreiten des vorgegebenen Maximalwertes (der bei Nadelholz ca. 75 cm beträgt) wird die Anlage ebenfalls gestoppt, und die zu starken Stämme werden ausgesondert.

■ 4.3 Hacken

Besonders bei der Herstellung von **Hackschnitzeln** für die Zellstoffherzeugung wird eine möglichst gleichmäßige Hackschnitzelform und -größe angestrebt. Nicht nur die Länge der Schnitzel beeinflusst die Imprägnierung mit Kochflüssigkeit bei der Kochung. Besonders beim Sulfatverfahren kommt der gleichmäßigen Dicke eine entscheidende Bedeu-

tung zu. Ungleichmäßige Hackschnitzel führen zu ungleichmäßigem Aufschluss und letzten Endes zu niedrigerer Ausbeute.

Von enormer Wichtigkeit ist die Gleichmäßigkeit der Hackschnitzel aber auch für das gleichmäßige Füllen (Packen) der Hackschnitzel in diskontinuierlichen Kochern. Zum einen ist es zwingend erforderlich, eine Kanalbildung beim Füllen mit Kochflüssigkeit zu vermeiden, zum anderen soll die gewünschte Pfropfenströmung erreicht werden, die für eine gute Imprägnierung und damit für einen gleichmäßigen Aufschluss unerlässliche Voraussetzung ist.

Die Länge der Hackschnitzel muss der Faserlänge der jeweiligen Holzart angepasst werden, da die ansonsten auftretende Faserschädigung zu Festigkeitseinbußen beim Endprodukt führt. Vom Hersteller bzw. Lieferanten der Hackmaschinen müssen diese Verhältnisse dementsprechend bei der Auslegung der Anlagen berücksichtigt werden, da operative Änderungen kaum möglich sind.

4.3.1 Einflussgrößen der Hackschnitzel auf die Qualität des Faserstoffes

Für die Qualität des zu produzierenden Faserstoffes ist die Einhaltung der erforderlichen Qualitätsparameter der Hackschnitzel von ausschlaggebender Bedeutung. Die wichtigsten Einflussgrößen sind:

- Dicke und Dickenverteilung,
- Länge und Längenverteilung,
- Trockengehalt,
- Rohdichte,
- Schüttdichte,
- Rindenanteil.

Die Anforderungen an diese Eigenschaften sind vom Verfahren der Faserstoffherzeugung abhängig. Um die Qualität der Hackschnitzel bewerten zu können, werden nach den Hackern Proben entnommen. Außerdem werden auch von den angelieferten Hackschnitzeln Proben gezogen. Diese Proben werden in **Laborsichtern** auf ihre Fraktionszusammensetzung untersucht.

Eine andere Möglichkeit dieser Untersuchungen ist die Nutzung optischer Messverfahren. Vorteil dieser Verfahren ist, dass damit Online-

Messungen möglich sind und durch die wesentlich größere erfasste Probenmenge die Ergebnisse aussagefähiger sind.

Tabelle 4.1 Beispiel für die Bewertung der Hackschnitzelfractionen

Siebmehl	bis 3 mm	Sieblochung
Feinanteil	3...7 mm	Sieblochung
Gutkorn II	7...13 mm	Sieblochung
Gutkorn I	13...45 mm	Sieblochung
Dickanteil	> 8 mm	Stab
Grobanteil	> 45 mm	Sieblochung

4.3.2 Einflussfaktoren auf die Qualität der Hackschnitzel

Die Qualität der Hackschnitzel wird neben dem ausgewählten Faserrohstoff durch die vorherrschenden Bedingungen beim Hackvorgang beeinflusst.

Rohstoffbedingte Einflüsse:

- Sorten- bzw. Arten-getrennte Verarbeitung,
- Verarbeitung möglichst langer Stämme,
- möglichst geringer Trockengehalt, d. h. möglichst frisches Holz,
- kein gefrorenes Holz.

Anlagenbedingte Einflüsse:

- geeigneter Hackertyp (optimale Winkel, seitlicher, da schonender Ausstrag der Hackschnitzel),
- Einhaltung der Messerwechselintervalle, festgelegt nach Hackschnitzelqualität,
- möglichst geringe Rotationsgeschwindigkeit der Messerscheibe,
- spezielle variable Einstellungen (z. B. Abstand zum Gegenmesser),
- gleichmäßige Geschwindigkeit der Holzzuführung zum Hacker,
- gleichmäßiger Mengenstrom zum Hacker,
- optimale Ausrichtung der Stämme zur Messerscheibe (keine quer liegenden Holzstücke).

4.3.3 Hacker

Für das Hacken von Rundholz werden im deutschsprachigen Raum in der Zellstoff- und Papierindustrie meist **Scheibenhacker** verwendet.

Das Rundholz wird dem Hacker über eine Schurre zugeführt, die entsprechend des erforderlichen Einlaufwinkels geneigt ist. Die Messer sind in der Messerscheibe radial angeordnet. Die Hackschnitzel passieren die Scheibe durch Schlitze und werden in modernen Hackern meist seitlich oder am Boden ausgetragen. Die Masse der Messerscheibe erfordert ein entsprechend dimensioniertes Antriebsaggregat. Die erforderliche Antriebsleistung für einen Scheibenhacker beträgt 1,5...2 MW [4.3].

In modernen Hackern werden überwiegend **Wendemesser** eingesetzt. Die Häufigkeit des Messerwechsels ist von der Holzart und den vorherrschenden Bedingungen beim Hacken abhängig und liegt beim Hacken von Nadelholz bei ca. zwei Wechseln pro Woche.

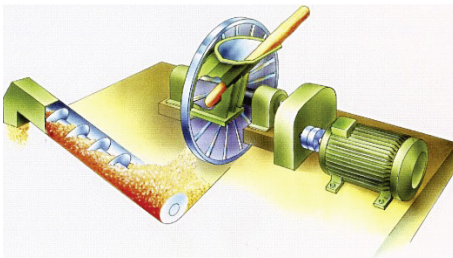
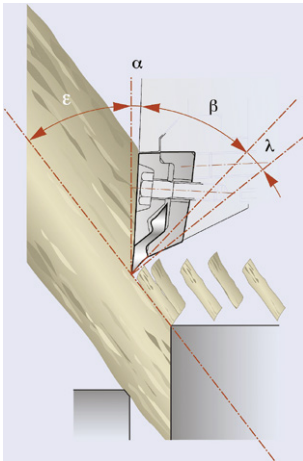


Bild 4.6 Sturzhacker (Camura GSTM Chipper, Valmet)

Neben den genannten Sturzhackern (Bild 4.6) kommen **Hackmaschinen** mit geneigter Messerscheibe zum Einsatz, z. B. der Andritz HHQ™ Chipper. Die Zuführung des Holzes erfolgt bei Hackern dieser Bauart waagrecht mithilfe von Band- und/oder Kettenförderern, was zu einer exakten Ausrichtung der Stämme bis unmittelbar vor die Messer führt [4.4].

Von besonderer Bedeutung für die Qualität der Hackschnitzel ist die exakte Einhaltung der **Zulauf- und Schnittgeometrie** (Bild 4.7) [4.5].

**Bild 4.7**

Winkel beim Hackvorgang (Iggesund Tools). ε Einlaufwinkel, $32 \dots 35^\circ$; kleinere Winkel resultieren in dünneren Hackschnitzeln. Der Einlaufwinkel wird durch die Neigung der Schurre festgelegt. α Anstellwinkel, $3 \dots 4^\circ$; β Schneidwinkel, ca. 35° ; λ Komplementärwinkel zu 90° ; $L = T / \sin \varepsilon$; L: Hackschnitzellänge; T: Messerhöhe

■ 4.4 Lagerung der Hackschnitzel

Die Hackschnitzel werden entweder in **geschlossenen Silos** (Bild 4.8) oder auf **offenen Piles** (Bild 4.9, Bild 4.10), zu denen sie mittels Transportbändern gefördert werden, gelagert. Die Entnahme erfolgt in beiden Fällen nach dem Prinzip „First in – first out“ am Boden mittels umlaufender bzw. traversierender Förderschnecken. Bei offenen Piles ist dringend darauf zu achten, dass durch eine entsprechende Fahrweise die Fallhöhe der Hackschnitzel möglichst gering gehalten wird, da es ansonsten zu starken Verwehungen insbesondere des Feinanteils kommen kann.

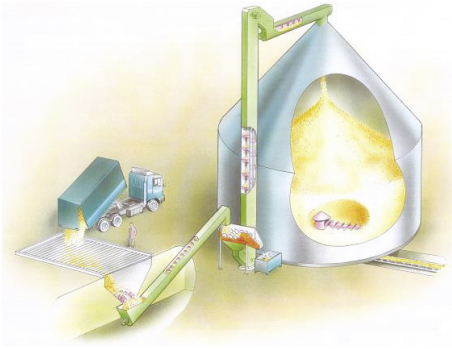


Bild 4.8
Hackschnitzel-Silo (Valmet)



Bild 4.9
Offener Rundpile (Valmet)

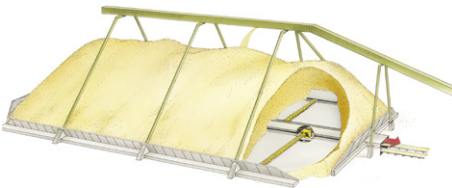


Bild 4.10
Offener Längspile (Valmet)