

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-, Umwelt- 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 Wissenschaften 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 Sulfite- 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 Papierses 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.

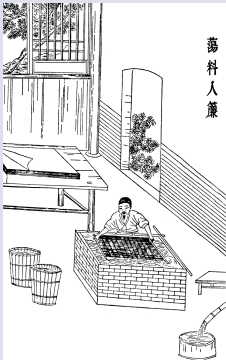


Bild 1.1
Papier schöpfen im alten China

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).
	
<p>Bild 1.2 Gleismühl von Ulman Stromer [1.7]</p>	
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

Zeittafel zur Papiergeschichte (nach unserer Zeitrechnung)

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



Bild 1.3
Mittelalterliche
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

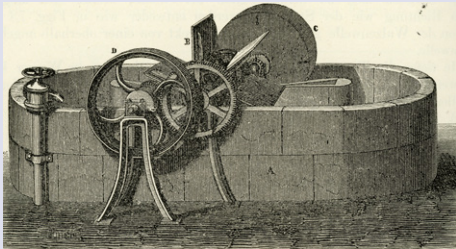
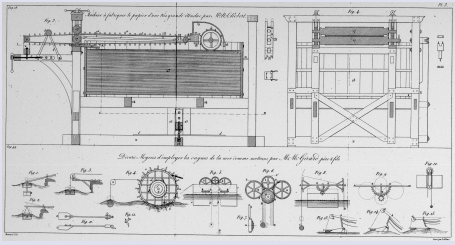
1435 bis 1440	Johannes Gutenberg (Gensfleisch): Erfindung des Buchdruckes Gießeinrichtung für die Herstellung beweglicher Lettern Druckfarbe aus Leinölfirnis und Ruß - Tiegelpresse
1455	Gutenberg druckt 185 Bibeln in Erstauflage. 35 davon auf Pergament, 150 auf Papier. Für die 35 Bibeln auf Pergament 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). 
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

Bild 1.4 Holländer [1.8]

■ 1.4 Schnell steigende Produktivität

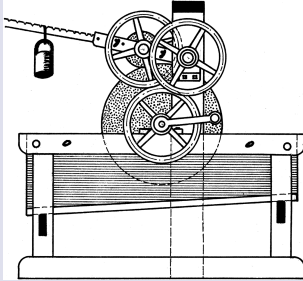
<p>1799</p>	<p>Erfindung und Patent der Langsieb-Papiermaschine von Nicholas-Louis Robert (Bild 1.5)</p>  <p>Bild 1.5 Papiermaschine von Robert [1.9]</p> <p>Die Gebrüder Fourdrinier waren Patentinhaber der Robert-Maschine, deshalb auch der Name „Fourdrinier-Papiermaschine“ für Langsieb-Papiermaschinen.</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 Trockenzyklindern 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 Magnesumbisulfit-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