

Kuratorium für Forschung und Technik
der Zellstoff- und Papierindustrie im
Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP)



INFOR-Projekt Nr. 7

Charakterisierung und Optimierung der Qualität von Holzstoffen

Juni 2000

Institut für Papierfabrikation
Technische Universität Darmstadt

Leiter der Forschungsstelle:
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. L. Götsching

Projektleiter:
Dr.- Ing. H.-J. Putz

INFOR-Projekt Nr. 7

Charakterisierung und Optimierung der Qualität von Holzstoffen

Projektbegleiter aus der Papierindustrie:

J. Aregger
Perlen Papier AG
Perlen

Dr. H. A. Burkhart
Stora Enso Magazine Paper
Hagen

Dr.-Ing. P. Engert
Haindl Papier GmbH & Co. KG
Augsburg

Dipl.-Ing. M. Holler
MD Papier GmbH & Co. KG
Plattling

P. Lemmens
Sappi Lanaken
Lanaken

Dr. M. Lesiak
Steyrermühl AG
Steyrermühl

W. Müller
Stora Enso Maxau GmbH & Co. KG
Karlsruhe

Dipl.-Ing. S. Wankmüller
Papierfabrik Utzenstorf AG
Utzenstorf

**Charakterisierung und Optimierung
der Qualität von Holzstoffen**

Abschlussbericht

Dipl.-Ing. Martin Hücke

Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz

Institut für Papierfabrikation
Technische Universität Darmstadt

Juni 2000

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	6
2 Papier- und Suspensionsprüfungen	8
2.1 Probenahme	8
2.2 Prüfung der Suspensionseigenschaften	8
2.3 Feinstoffanalyse	9
2.3.1 Größenverteilung	9
2.3.2 Sedimentation	10
2.3.3 Strömungspotenzial	11
2.4 Blattbildung	11
2.5 Schrumpfung	11
2.6 Papierprüfung	12
2.7 Druckversuch	13
2.8 Wasserabsorptionstest	13
2.9 Kontaktwinkel	14
3 Ergebnisse und Auswertung	15
3.1 Rohstoffe	15
3.2 Suspensions- und Struktureigenschaften	15
3.3 Optische Eigenschaften	26
3.4 Bleiche	31
3.5 Feinstoff	34
3.6 SC-Papiere	50
4 Schluss und Ausblick	60
5 Literaturverzeichnis	62

Zusammenfassung

Trotz steigender Produktionsmengen von Druck- und Pressepapieren ist der Einsatz von Holzstoff ständig zurückgegangen. Dessen ungeachtet erfüllt der Holzstoff auf Grund seiner guten optischen Eigenschaften sowie seiner Kompressibilität wichtige Aufgaben in SC- und LWC-Papieren. Refinerstoffe sind wegen ihrer langen Fasern und damit verbundener Steifigkeit für den Einsatz in Zeitungsdruckpapieren prädestiniert, um gezielt die dynamischen Festigkeitseigenschaften dieser ansonsten aus Deinkingstoff produzierten Papierqualität zu verbessern.

Holzstoff wird von den Papierfabriken in der Regel integriert erzeugt und in der eigenen Produktion eingesetzt. Die Qualitätskontrolle beschränkt sich daher meist auf eine wenige messtechnisch erfassbare Parameter, die einen Rückschluss auf die für den jeweiligen Einsatzzweck wichtigen Eigenschaften des Holzstoffs zulassen. Die Halbstoffaufbereitung wird dann auf eine Optimierung dieser Eigenschaften ausgerichtet und gesteuert. In den verschiedenen Fabriken liegt der Schwerpunkt jedoch auf unterschiedlichen Messgrößen, die u. U. mit abweichenden Methoden oder Geräten erfasst werden, so dass eine Vergleichbarkeit dieser Werte nur sehr eingeschränkt möglich ist. Sollen nun verschiedene Holzstoffe hinsichtlich ihrer Eignung für bestimmte Einsatzzwecke oder Papierqualitäten bewertet werden, scheitert dies am Fehlen geeigneter Bewertungskriterien. Daher sollte im Rahmen dieser Arbeit nach einer Möglichkeit gesucht werden, Holzstoffe unterschiedlicher Herstellungsverfahren bewertend miteinander vergleichen zu können und damit einen Weg zur Optimierung aufzuzeigen. Zu diesem Zweck erfolgte neben der Untersuchung der Holzstoffe mit herkömmlichen Prüfverfahren auch eine Analyse mit modernen Geräten auf bildanalytischer Basis.

In die Untersuchungen einbezogen wurden 14 Holzstoffe, die nach unterschiedlichen Herstellungsverfahren (SGW, TGW, TMP, CTMP) produziert und in verschiedenen Papierqualitäten (Zeitungsdruck, SC-, LWC-Papier) eingesetzt wurden. Neben einer umfassenden Prüfung der Suspensions- und Papiereigenschaften stand eine genauere Betrachtung der Feinstofffraktion im Vordergrund. Ferner erfolgte im Labor eine Verarbeitung der Holzstoffe mit anderen, konstant gehaltenen Primärfaserstoffen zu SC-Papieren, die satiniert und bedruckt wurden, um auf diese Weise auch Anhaltspunkte über die Bedruckbarkeit von SC-Papieren zu erhalten.

Um den Fibrillierungszustand der einzelnen Fasern zu beschreiben, sind solche Verfahren, die in erster Linie auf dem Filtrationswiderstand basieren (SR-, CSF-Wert), kaum geeignet, da

der Gehalt an kleinen Partikel einen nicht quantifizierbaren Einfluss ausübt. Hier scheinen die Methoden zur Messung der Schrumpfung sowie der Wasserabsorption zuverlässigere Werte zu liefern. Für stärker fibrillierte Stoffe lässt sich ein gewisser Zusammenhang zwischen Schrumpfung und Reißlänge erkennen, was als Bestätigung der Vermutung aufgefasst werden kann. Mit Hilfe der Schrumpfung gelingt auch die Charakterisierung des alkalisch vorbehandelten CTMP, dessen SR- und CSF-Werte völlig aus dem Rahmen fallen.

Die Weiterreißarbeit kann auf die mittlere Faserlänge zurückgeführt werden, die sich, ebenso wie die Coarseness, durch eine Nachmahlung verringern lässt.

Eine Betrachtung der optischen Eigenschaften macht die Vorteile der Holzschliffe gegenüber den Refinerstoffen deutlich. Der höhere Streukoeffizient von Schliff steht dabei mit dem bei den Refinerstoffen naturgemäß geringeren Feinstoffanteil in Zusammenhang. Das mit Abstand geringste Streuvermögen wies der alkalisch vorbehandelte CTMP auf, was auf eine partielle Delignifizierung dieses Stoffs im Verlauf seiner Aufbereitung schließen lässt. Für diese Annahme sprechen im Übrigen auch die hohe Reißlänge und die relativ geringe Biegesteifigkeit.

Der Feinstoff scheint die bestimmende Größe für den Charakter eines Holzstoffs zu sein. Nahezu alle Papiereigenschaften sind direkt oder indirekt auf den Feinstoff zurückzuführen, wobei entweder der Feinstoffanteil oder dessen Zusammensetzung von entscheidender Bedeutung ist. Der Feinstoff ist eine Mischung verschiedener Bestandteile unterschiedlicher physikalischer und chemischer Eigenschaften, die sich vereinfacht in die Klassen Mehlstoff und Schleimstoff einteilen lassen. Während der Mehlstoff, der seinen Ursprung in den äußeren Schichten der Faserwand hat (Mittellamelle, P-, S₁-Wand), wegen seiner geringen Quell- und Bindungsfähigkeit eher als organischer Füllstoff anzusehen ist, stellt der Schleimstoff, der zum überwiegenden Teil aus der cellulosereichen S₂-Wand stammt, ein beachtliches Festigkeitspotenzial zur Verfügung. Das ist eine Folge der starken Fibrillierung, was in Kombination mit der guten Quellfähigkeit eine große potenzielle Bindungsfläche ergibt.

Die Teilchengrößenverteilung der Feinstoffe sowie das Sedimentationsverhalten legen den Schluss nahe, dass bei Holzschliff und Refinerstoff unterschiedliche Feinstoffqualitäten produziert werden. Beim Schleifprozess überwiegt anscheinend der Mehlstoff, im Refiner wird dagegen bevorzugt Schleimstoff erzeugt. Durch eine angepasste Nachmahlung sollte es je-

doch möglich sein, das Verhältnis von Schleim- zu Mehlstoff zu Gunsten des Schleimstoffs zu verschieben.

Die Auswertung der Versuche im Rahmen der SC-Blattbildung und des Tiefdrucks bewies ebenfalls den überaus großen Einfluss des Feinstoffs. Ist der Feinstoffgehalt zu gering, ist nach der Satinage keine ausreichende Glätte zu erzielen. Ferner ist darauf zu achten, dass der vorhandene Fein- und Füllstoff möglichst gleichmäßig verteilt wird. Lokale Dichteschwankungen im Papier, die ihre Ursache in einer ungleichförmigen Fein- und Füllstoffverteilung, aber auch in der Präsenz vieler langer oder grober Fasern haben können, ziehen nämlich eine Ungleichmäßigkeit des Druckbilds (Mottling) nach sich. Daher ist hier die Forderung nach schlanken, flexiblen Fasern sowie einem hohen Feinstoffgehalt mit Schleimstoffcharakter zu erheben.

Auch die Zahl der Missing Dots ist im Tiefdruck von Bedeutung. Die Ursachen für diesen Effekt sind in einer mangelnden Benetzbarkeit, einer nicht ausreichender Elastizität der Papiere in Dickenrichtung sowie ungenügender Glätte zu suchen. Stellt man die Kompressibilität der Holzstoffblätter derjenigen der SC-Mischungen gegenüber, ergibt sich ein direkter Zusammenhang, d. h., das Verhalten des Holzstoffs findet sich auch in der Stoffmischung wieder. Die große Zahl an Missing Dots des SC-Papiers, das mit dem alkalisch vorbehandelten CTMP hergestellt wurde, könnte daher die Folge einer zu geringen Kompressibilität dieses Stoffs sein, die die Paperoberfläche nicht ausreichend in die Rasternäpfchen eintauchen lässt.

Die Resultate der Satinier- und Druckversuche sind jedoch nicht ohne Weiteres auf die industrielle Praxis zu übertragen. Zu groß scheinen die Unterschiede in den Bedingungen zu sein, wie sie im Laborkalander bzw. auf der Probedruckmaschine einerseits und im Superkalander bzw. in der Druckmaschine andererseits herrschen. Darauf weisen zumindest die Ergebnisse der Probedrucke hin, die wesentlich günstiger ausfallen als man das von industriellen Drucken erwarten würde.

Trotz aller Einschränkungen hat sich gezeigt, dass dem Feinstoff eine zentrale Rolle bei der Charakterisierung eines Holzstoffs zukommt. Neben der Entwicklung der Fasern sollte im Aufbereitungsprozess daher dem Feinstoff besonderes Augenmerk gelten, um das Potenzial des Stoffs optimal nutzen zu können.

1 Einleitung

Im Verlauf der letzten Jahre hat der Faserstoffverbrauch der deutschen Papierindustrie stark zugenommen. Wie Abb. 1 verdeutlicht, ist das fast ausschließlich auf den vermehrten Einsatz von Altpapier zurückzuführen, denn der Verbrauch an Primärfaserstoffen stagnierte währenddessen.^{1,2}

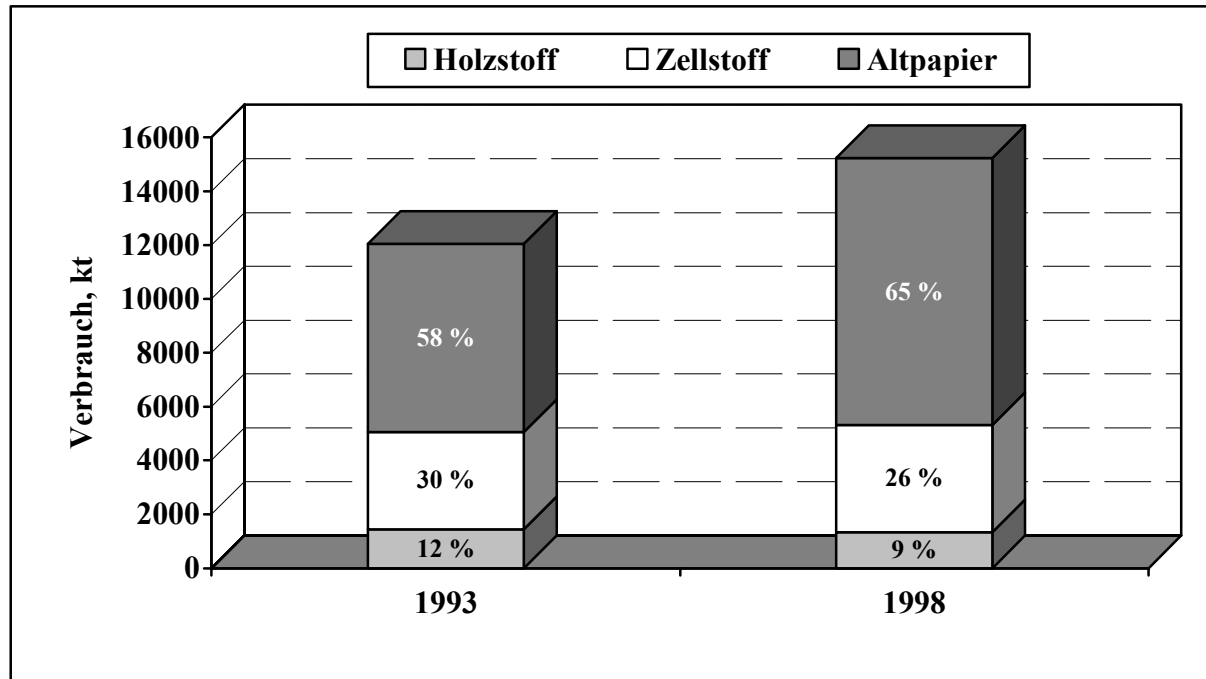


Abb. 1: Faserstoffverbrauch der deutschen Papierindustrie in den Jahren 1993 und 1998

Im gleichen Zeitraum nahm die Produktion von gestrichenen und ungestrichenen holzhaltigen Druck- und Pressepapieren (SC-, LWC-Papiere sowie sonstige holzhaltige Papiere) um nahezu 50 % zu (Abb. 2).

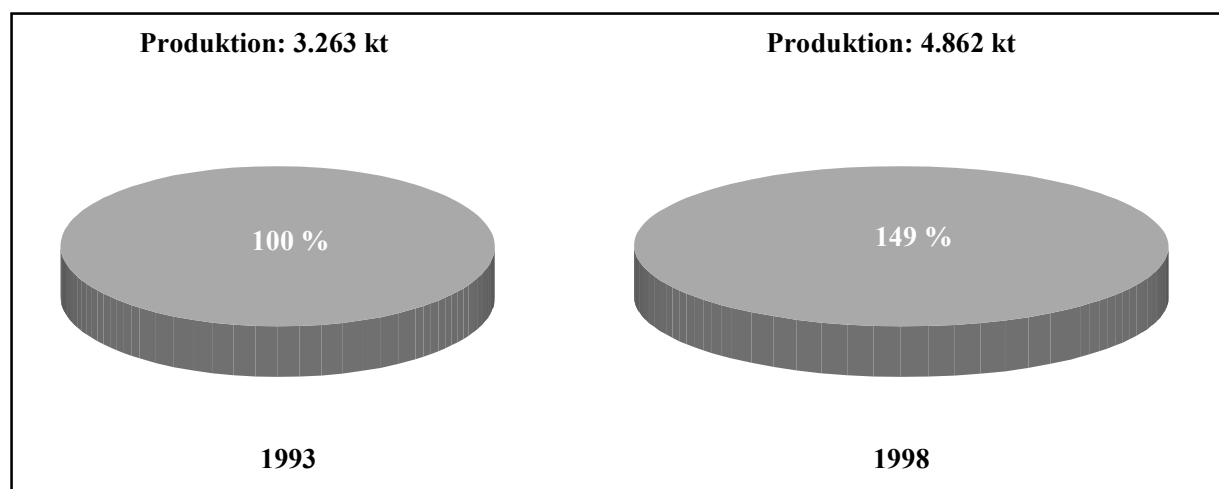


Abb. 2: Erzeugung holzhaltiger Druckpapiere in Deutschland in den Jahren 1993 und 1998

Unter Berücksichtigung der zunehmenden Substitution des Holzstoffs durch Deinkingstoff gewinnt daher die Charakterisierung der Qualität von Holzstoffen zunehmend an Bedeutung, damit sie sowohl technologisch als auch ökonomisch in holzhaltigen Massendruckpapieren zweckentsprechend eingesetzt werden können. Dies gilt um so mehr, als der Trend zu immer niedrigeren Flächenmassen auch im Bereich der holzhaltigen Massendruckpapiere anhält und der Qualität der als Frischfaserkomponente eingesetzten Holzstoffe bei bestenfalls gleichbleibender Deinkingstoffqualität immer größere Bedeutung zukommt.

Neben relativ einfach zu bestimmenden optischen Parametern, wie z. B. Weißgrad oder Helligkeit, Opazität bzw. spez. Lichtstreuungskoeffizient, müssen vor allem Kenngrößen, die den Faserzustand ausreichend beschreiben und Einfluss auf die technologischen Eigenschaften der daraus hergestellten Papiere haben, ermittelt werden. Dabei ist zu erwarten, dass die althergebrachten Kenngrößen, wie beispielsweise Schopper-Riegler-Wert, Entwässerungszeit, Faserlängenverteilung oder Splittergehalt, den Faserzustand der Holzstoffe, die nach modernen Herstellungsverfahren produziert wurden (TMP, APTMP, CTMP, PGW, TGW), nicht mehr ausreichend differenzieren können. Aber selbst bei einfachen Eigenschaften, wie z. B. dem Splittergehalt oder der Faserlängenverteilung, besteht heutzutage Uneinigkeit darüber, welche Prüfverfahren bzw. Prüfgeräte eingesetzt werden sollen, um bestmöglich differenzierende Werte zu erhalten. Darüber hinaus wird die Beurteilung von Holzstoff in verschiedenen Werken der deutschen Papierindustrie an unterschiedlichen Produktionsstufen innerhalb einer Holzstofferzeugungslinie vorgenommen, z. B. nach der ersten Sortierstufe des Refiners oder Schleifers (ohne Rejektnachmahlung) oder auch des Gesamtstoffs nach der Rejektnachmahlung. Dadurch sind Qualitätsvergleiche von Holzstoffen zwischen einzelnen Werken praktisch unmöglich. Aber erst in Kenntnis der Bandbreite der Qualitätseigenschaften von Holzstoffen identischer Holzarten, hergestellt nach verschiedenen Verfahren (z. B. SGW, TGW, TMP) und unter unterschiedlichen Prozessbedingungen (z. B. spez. Energieaufwand, Temperatur) sowie verschiedenartigen Varianten der Holzstoffsartierung und –nachmahlung, kann das Potenzial von Optimierungsmöglichkeiten der Holzstoffqualität abgeschätzt werden.

Im Rahmen dieses Projekts sollte daher nach einer Möglichkeit gesucht werden, diese verschiedenen Holzstoffe durch geeignete Messgrößen qualitativ miteinander zu vergleichen. Dazu wurden neben den klassischen auch moderne Prüfverfahren und –methoden eingesetzt, um ein möglichst breites Spektrum an Parametern zu erfassen, auf dessen Grundlage eine Bewertung vorgenommen werden kann.

2 Papier- und Suspensionsprüfungen

2.1 Probenahme

Die zu untersuchenden Holzstoffe sollten maschinenfertig aufbereitete Halbstoffe sein. Daher wurde als Probenahmestelle der Zulauf der jeweiligen Mischbütte ausgewählt. Die Proben wiesen Stoffdichten zwischen 3,5 und 4,9 % auf und wurden umgehend verarbeitet, um mögliche Einflüsse einer längeren Lagerung des feuchten Stoffs auszuschließen.

2.2 Prüfung der Suspensionseigenschaften

Im Einzelnen wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

- | | |
|--|---------------------------|
| • Schopper-Riegler-Wert | ZM ¹ V/7 |
| • Canadian Standard Freeness | ISO 5267/2 |
| • Entwässerungszeit nach Schopper | ZM V/7 |
| • Entwässerungszeit nach Rapid-Köthen | DIN 54 358 |
| • Fraktionierung nach Bauer-McNett | ZM V/1.4 |
| • Glührückstand (575 °C) | DIN 53 136 |
| • Wasserrückhaltevermögen | ZM IV/33 |
| • Faserlängenverteilung und Coarseness | TAPPI T 271 pm |
| • Feinstoffbestimmung | TAPPI T 261 cm |
| • Feinstoff-Größenverteilung (Coulter) | IfP-Methode |
| • Qualitative Feinstoffbewertung | PTS-Sedimentationsmethode |
| • Strömungspotenzial | IfP-Methode |
| • Schrumpfung | IfP-Methode |

Alle Suspensionsprüfungen sowie die Blattbildung der Holzstoff-Blätter erfolgten aus einem Verteileransatz von 0,5 % Stoffdichte, an dem mit Schwefelsäure ein pH-Wert von 4,5 eingestellt wurde.

Die aus der Maschinenbüten entnommenen Stoffproben sollten keine Latenz mehr aufweisen, weshalb eine Prüfung auf Latenz lediglich an einer Probe erfolgte. Dazu wurden 50 g otro Stoff bei 2 % Stoffdichte und einer Temperatur von 70 – 75 °C aufgeschlagen. Anschließend wurde der Stoff auf eine Stoffdichte von 0,5 % bei einer Temperatur von 20 °C verdünnt. Von dieser Stoffprobe wurde der Schopper-Riegler-Wert bestimmt und mit dem des kalt aufge-

¹ Zellcheming Merkblatt

schlagenen Stoffs verglichen. Beide Werte waren identisch, was darauf schließen ließ, dass keine Latenz im Stoff mehr vorhanden war. Bei allen weiteren Holzstoffproben wurde auf die Prüfung auf Latenz verzichtet.

2.3 Feinstoffanalyse

2.3.1 Größenverteilung

Bei der Bestimmung des Feinstoffgehalts kamen zwei unterschiedliche Siebe zum Einsatz, die Lochöffnungen von 76 bzw. 100 μm , dabei jedoch die gleiche offene Fläche von 14,5 % aufwiesen. Das bei dieser Prüfung anfallende Filtrat wurde aufgefangen und für die Ermittlung der Feinstoff-Größenverteilung sowie die Messung des Strömungspotenzials weiterverwendet. Die Ermittlung der Feinstoff-Größenverteilung erfolgte mit einem Coulter-Gerät, dessen Funktionsweise in Abb. 3 skizziert ist.

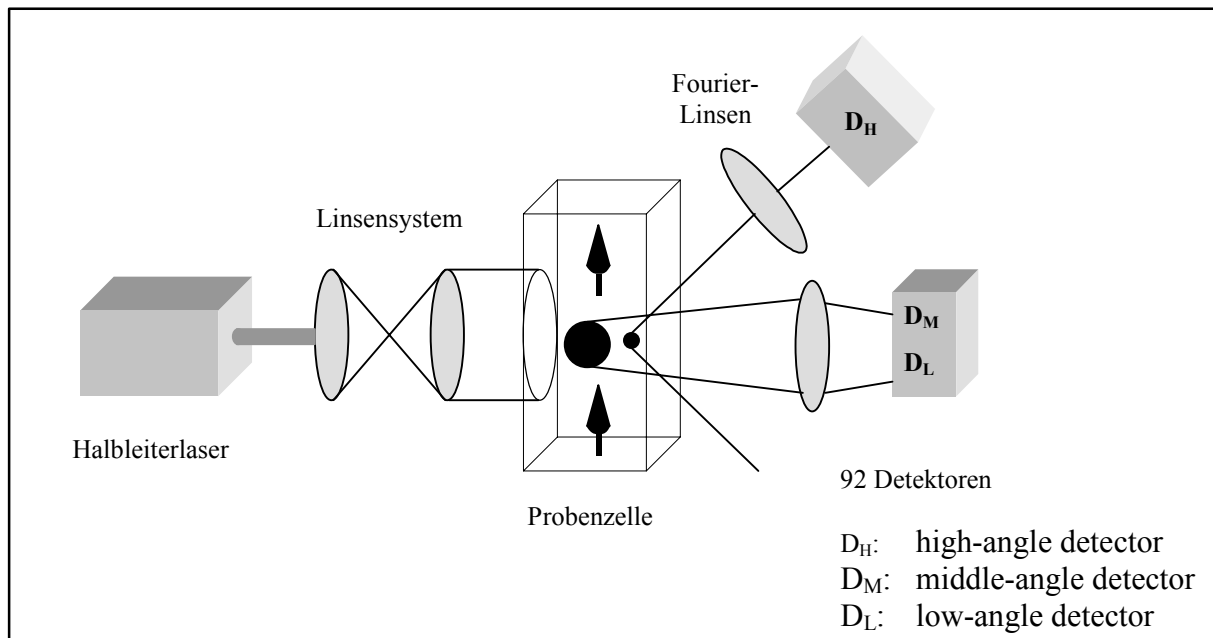


Abb. 3: Funktionsprinzip des Coulter-Geräts

Ein Laserstrahl (Wellenlänge 750 nm) wird über ein Linsensystem auf die Probenzelle gerichtet, die von der zu untersuchenden suspendierten Feinstoffprobe durchströmt wird. Je nach der Größe des Partikels, das der Laserstrahl trifft, wird der Strahl mehr oder weniger stark gebeugt. Kleinere Partikel haben eine stärkere Beugung zur Folge als größere. Auf der dem Laser gegenüber liegenden Seite der Probenzelle befinden sich Detektoren, die das in verschiedenen Richtungen gebeugte Laserlicht auffangen und in Abhängigkeit vom Winkel einer Größenklasse zuordnen. Mit den im Gerät verwendeten Detektoren kann ein Partikel-Größenbereich von 0,4 bis 2000 μm , aufgeteilt in 92 Klassen, erfasst werden.

2.3.2 Sedimentation

Von 6 Holzstoffproben wurden die Feinstoffe qualitativ auf ihre Wertigkeit, d. h. auf den Anteil an Schleim- bzw. Mehlstoff, untersucht. Um den benötigten Feinstoff zu separieren, erfolgten pro Holzstoffsorte 3 bis 4 Fraktionierungen mit dem McNett-Gerät (Siebbestückung 30/50/100/200 Maschen/inch). Der Durchgang durch das letzte Sieb (D200) wurde in ausreichend großen Behältern gesammelt. Nach ein- bis zweitägiger Sedimentationszeit wurden der klare Überstand abgeschöpft und die Rückstände in ein kleineres Gefäß zusammengeschüttet. Nach abermaliger Sedimentation und anschließender Dekantierung wurde der Rückstand schließlich über feinporige Membranfilter (Porengröße $0,45\ \mu\text{m}$) abfiltriert. Die darauf folgende Untersuchung des Feinstoffs erfolgte mit der in Abb. 4 skizzierten Spezialzentrifuge mit optischer Sedimentmessung der PTS.³

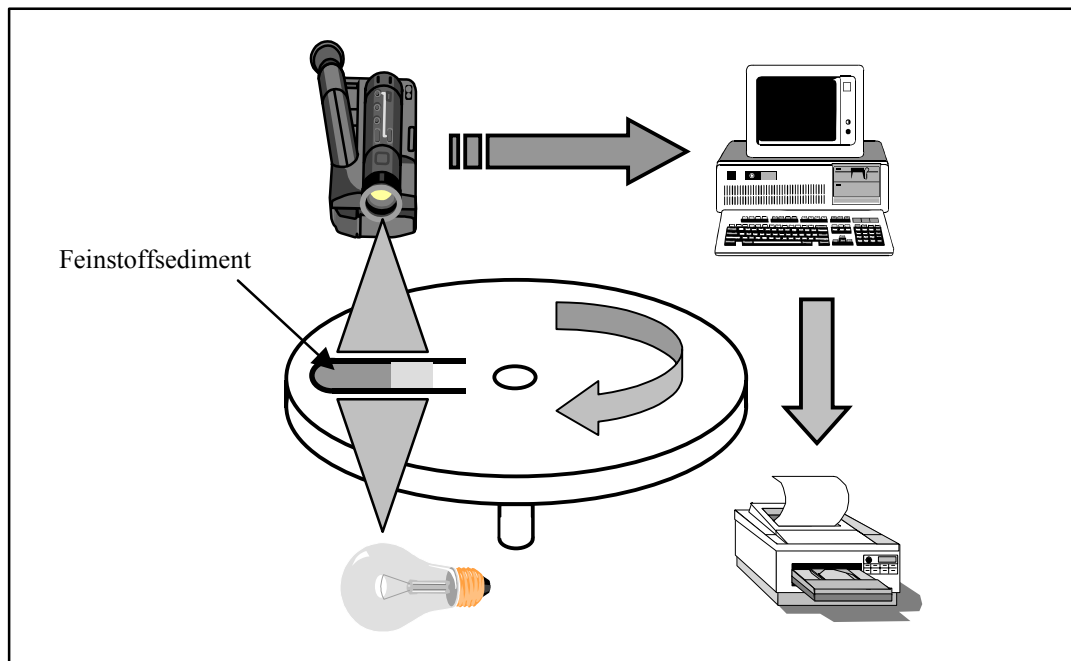


Abb. 4: Funktionsprinzip der PTS-Spezialzentrifuge mit optischer Sedimentmessung

Der Feinstoff wurde auf eine Konzentration von $2,5\ \text{g/l}$ eingestellt und bei $600\ \text{min}^{-1}$ ($= 87\ \text{g}$) 10 min zentrifugiert. Mit Hilfe einer CCD-Hochgeschwindigkeitskamera wurde die aktuelle Sedimenthöhe in den Zentrifugiergläsern während der Zentrifugation erfasst und an den angeschlossenen PC zur Weiterverarbeitung gegeben. Für die Auswertung erfolgte die Darstellung der Sedimenthöhe über der Sedimentationszeit.

2.3.3 Strömungspotenzial

Die Ermittlung des Strömungspotenzials erfolgte am Filtrat, das bei der Bestimmung des Feinstoffgehalts anfiel. Zum Einsatz kam ein Partikelladungsdetektor, titriert wurde mit einer Poly-DADMAC-Lösung.

2.4 Blattbildung

Die Holzstoff-Laborblätter wurden auf einem Rapid-Köthen-Blattbildner nach DIN 54 358 hergestellt. Es wurden Blätter mit flächenbezogenen Massen von 80 g/m² sowie 45 g/m² gebildet. Die Herstellung der 80 g/m²-Blätter erfolgte ausschließlich mit Frischwasser, während von den 45 g/m²-Blättern pro Holzstoff zwei Reihen (Frischwasser sowie Rückwasser) erzeugt wurden.

Für die Bedruckbarkeitsuntersuchungen wurden 60 g/m²-Blätter aus einer SC-Mischung hergestellt. Neben einem Anteil an gebleichtem Langfaser-Sulfatzellstoff von 15 % enthielt diese Mischung 30 % Füllstoff in Form einer Kaolin-Slurry. Die größte Komponente mit 55 % bildete der Holzstoff. Die Blattbildung erfolgte nach DIN 54 358 auf einem Rapid-Köthen-Blattbildner im Rückwasserbetrieb, wobei keine chemischen Hilfsmittel zugegeben wurden.

Die Nutschenblattbildung erfolgte nach ISO 3688.

2.5 Schrumpfung

Zur Bestimmung der Schrumpfung wurde die Methode eines der projektbegleitenden Unternehmen an die gerätetechnischen Bedingungen des IfP angepasst. Auf das Blattbildungssieb eines Rapid-Köthen-Blattbildners wurde ein Metallrahmen gelegt, der seine Grundfläche in drei gleiche Flächen von jeweils 90 mm × 30 mm unterteilt. Der Blattbildungsprozess wurde unter Frischwasserzugabe gestartet und eine Stoffmenge von 3,17 g otro (entsprechend einer flächenbezogenen Masse des Laborblatts von 100 g/m²) zugegeben. Nach Ablauf des Wassers wurden die drei Streifen zwischen zwei Zellstoffbögen in der Presse eines Tappi-Blattbildners 30 s bei einem Druck von 345 kPa gepresst und anschließend Länge und Breite der feuchten Streifen gemessen. Die Trocknung erfolgte in einem Trockenschrank bei 105 °C über einen Zeitraum von 3 Stunden, wobei darauf zu achten war, dass die Streifen frei schrumpfen konnten. Die getrockneten Streifen wurden glattgestrichen und wiederum Länge und Breite gemessen. Aus der Differenz zwischen feuchtem und getrocknetem Streifen, bezogen auf die feuchte Länge, ergab sich der Wert für die Schrumpfung.

2.6 Papierprüfung

An den Labor- und Nutschenblättern wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

Nutschenblätter

- Spektraler Reflexionsfaktor DIN 53145, Teil 2
- Farbart DIN 6174

1. Holzstoff-Laborblätter 45 g/m² (Frischwasser und Rückwasser)

- Flächenbezogene Masse DIN 53104
- Opazität DIN 53146
- Dichtebezogener Streu- und Absorptionskoeffizient DIN 54500

2. Holzstoff-Laborblätter 80 g/m²

- Flächenbezogene Masse DIN 53104
- Dicke DIN EN 20534
- Luftdurchlässigkeit nach Bendtsen DIN 53120
- Bruchkraft DIN EN ISO 1924-2
- Weiterreißarbeit (Brecht-Imset) DIN 53115
- Durchreißwiderstand (Elmendorf) ISO 1974
- Biegesteifigkeit (Balkenmethode) DIN 53121
- Kontaktwinkel SCAN – P18
- Wasserabsorptionstest IfP-Methode.

3. SC-Laborblätter 60 g/m²

Die SC-Laborblätter wurden mit einem 2-Walzen-Tischkalandar unter folgenden Bedingungen satiniert:

- Oberwalze: Chrom
- Unterwalze: Kunststoff, Härte 85 ShD
- Walzendurchmesser: 200 mm
- Geschwindigkeit: 16,7 m/min
- Walzentemperatur: 80 °C
- Streckenlast: ca. 110 N/mm
- Anzahl der Nipdurchgänge: 2 (jede Papierseite einmal gegen Chromwalze)

Folgende Prüfungen wurden an den SC-Papieren durchgeführt:

- | | |
|---|-------------|
| • Flächenbezogene Masse | DIN 53104 |
| • Rohdichte | DIN 53105 |
| • Glätte nach Bekk | DIN 53107 |
| • Oberflächenrauigkeit nach Parker-Print-Surf | ISO 8791-4 |
| • Luftdurchlässigkeit nach Bendtsen | DIN 53120 |
| • Glührückstand (575 °C) | DIN 53 136 |
| • Schwarzsatinage-Index | IfP-Methode |

2.7 Druckversuch

Die SC-Papiere wurden mit einer Prüfbau-Probedruckmaschine unter folgenden Bedingungen bedruckt:

- Farbviskosität: 23 s mit DIN-Becher (Ausflussöffnung: 3 mm)
- Druckgeschwindigkeit: 2,5 m/s
- Rakelwinkel: 75 °
- Rakeldruck: 0,6 kN/m
- Presseurdruck: 15 kN/m

Die bedruckten Papiere wurden hinsichtlich folgender Parameter untersucht:

- Missing Dots
- Kontrast
- Mottling-Index

2.8 Wasserabsorptionstest

Die Prüfung des Wasserabsorptionsvermögens erfolgte mit dem in Abb. 5 dargestellten Wasserabsorptionstester. Basierend auf Leitfähigkeitsmessungen, wird mit diesem Gerät die Zeit bestimmt, die destilliertes Wasser benötigt, um sich in der Papierprobe auszubreiten. Die Zeitmessung startet in dem Moment, wenn das Wasser in das Papier zu penetrieren beginnt. Durch das eindringende Wasser ändert sich die Leitfähigkeit des Papiers. Wird ein gewisser Wert überschritten, d. h. ist das Papier völlig von Wasser durchdrungen, wird die Zeitmessung gestoppt. Durch die besondere Anordnung der Elektroden kann die Messung für alle drei Raumrichtungen gleichzeitig erfolgen.

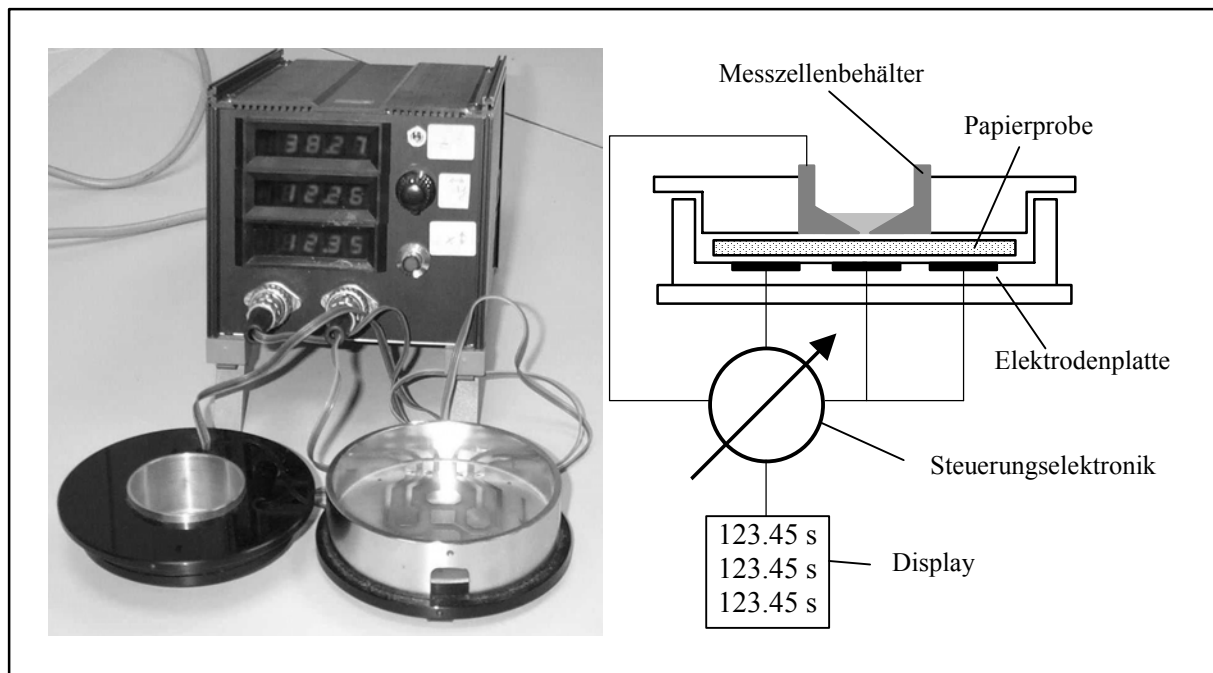


Abb. 5: Wasserabsorptionstester

2.9 Kontaktwinkel

Der Kontaktwinkel sollte an 80 g/m²-Laborblättern gemäß SCAN-P18 ermittelt werden. Dazu ist ein auf das Papier gebrachter Tropfen nach Ablauf von 10 s in Breite und Höhe zu vermessen. Es zeigte sich jedoch, dass bei allen Holzstoff-Proben der Tropfen nach längstens 2 s vollständig in das Papier weggeschlagen war, so dass eine Bestimmung des Kontaktwinkels nicht möglich war.

3 Ergebnisse und Auswertung

3.1 Rohstoffe

Die untersuchten Holzstoffe waren Rohstoffe, die für verschiedene Papiersorten eingesetzt werden. Neben 4 TMP- und 2 CTMP-Stoffen wurden 5 SGW- sowie 3 TGW-Stoffe in die Untersuchungen einbezogen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Verwendungszweck der geprüften Holzstoffe.

Tabelle 1: Verwendungszweck der untersuchten Holzstoffe

Bezeichnung	eingesetzt für
TMP 1	Zeitungsdruckpapier (ZDP)
TMP 2	Zeitungsdruckpapier (ZDP)
TMP 3	Zeitungsdruckpapier (ZDP)
TMP 4	LWC-Papier
CTMP 1	LWC-Papier
CTMP 2	LWC-Papier
SGW 1	SC-Papier
SGW 2	SC-Papier
SGW 3	LWC-Papier
SGW 4	LWC-Papier
SGW 5	LWC-/HWC-Papier
TGW 1	Zeitungsdruckpapier (ZDP)
TGW 2	SC-/LWC-Papier
TGW 3	LWC-Papier

Beim CTMP 2 handelte es sich um einen Markt-CTMP, der alkalisch vorbehandelt worden war. SGW 2 war eine Mischung aus SGW und PGW. Mit Ausnahme des CTMP 2 wurden alle Holzstoffstoffe integriert erzeugt und waren bis zu den Untersuchungen noch initial feucht.

In den folgenden Darstellungen sind die verschiedenen Holzstoffe jeweils in Gruppen zusammengefasst, die gleiche Papierprodukte repräsentieren.

3.2 Suspensions- und Struktureigenschaften

In Abb. 6 und Abb. 7 sind die Schopper-Riegler-Werte der Holzstoffe sowie die Entwässerungszeiten nach Schopper dargestellt. Diese Größen geben einen Hinweis auf den Fibrillierungsgrad der Fasern und spiegeln den Verwendungszweck der Stoffe wider.

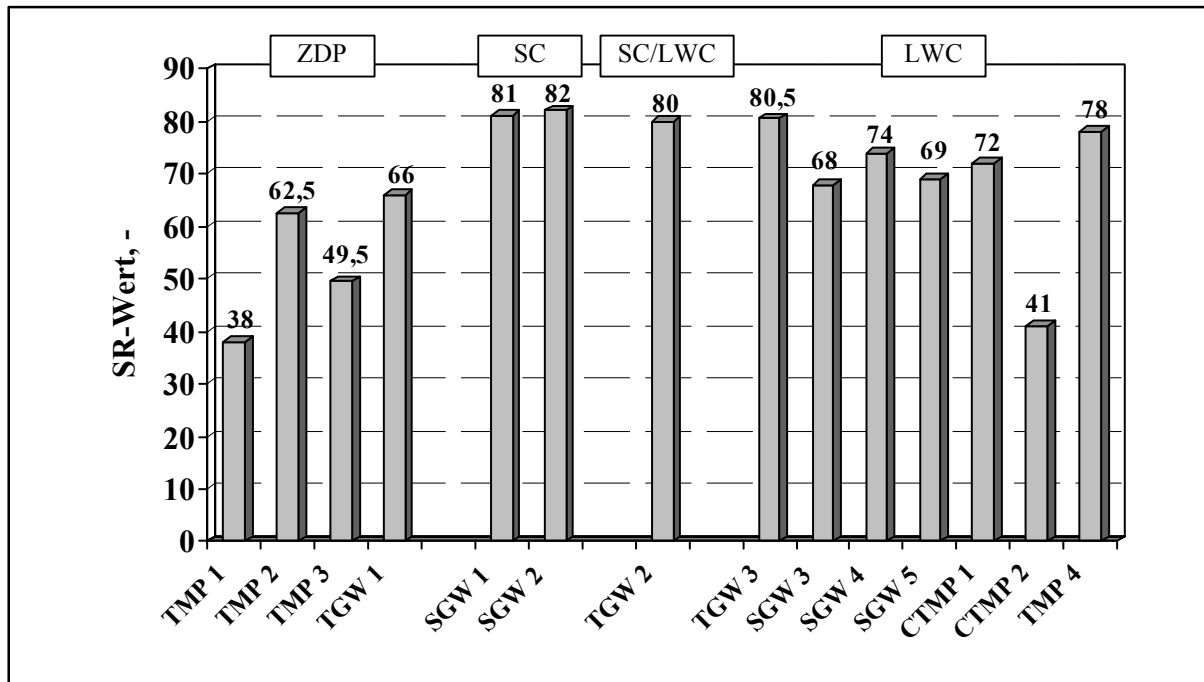


Abb. 6: Schopper-Riegler-Werte der Holzstoffe

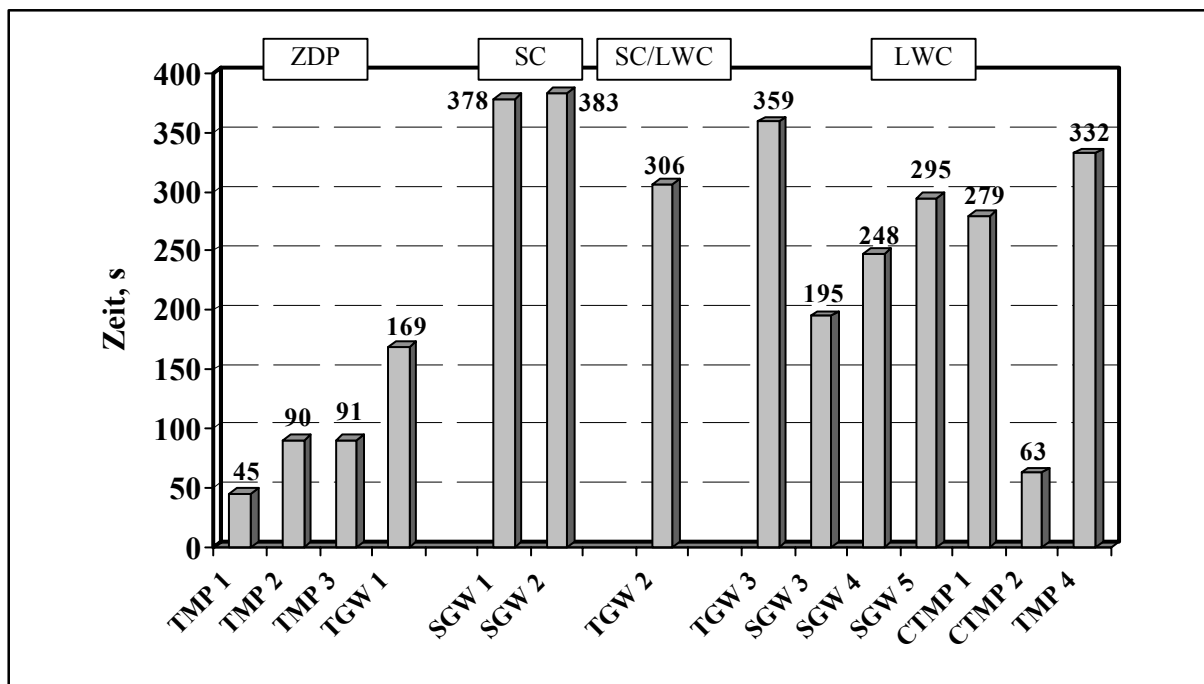


Abb. 7: Entwässerungszeit nach Schopper der Holzstoffe

Während die bei der Produktion von Zeitungsdruckpapier eingesetzten Holzstoffe relativ niedrige SR-Werte und Entwässerungszeiten aufweisen, zeigen die SC- und LWC-Rohstoffe ihrem Verwendungszweck gemäß deutlich höhere Werte. Auffällig ist jedoch der CTMP 2, der vermutlich auf Grund seiner alkalischen Vorbehandlung Entwässerungseigenschaften hat, die denen eines Zellstoffs nahe kommen. Hier wird deutlich, dass der Fibrillierungszustand der einzelnen Fasern durch die beiden genannten Größen nur unzureichend beschrieben wer-

den kann. Neben dem Fibrillierungsgrad der Fasern spielt bei diesen Prüfverfahren auch der Feinstoffgehalt eine große Rolle. Der Feinstoff füllt die Poren des sich bildenden Faservlieses und verzögert so die Entwässerung. Auf diese Weise überlagern sich die Effekte der Fibrillierung und des Feinstoffs, so dass eine klare Trennung daher nicht möglich ist. Ein etwas differenzierteres Bild ergibt sich dagegen, wenn man das Wasserrückhaltevermögen (Abb. 8) sowie die Schrumpfung (Abb. 9) betrachtet.

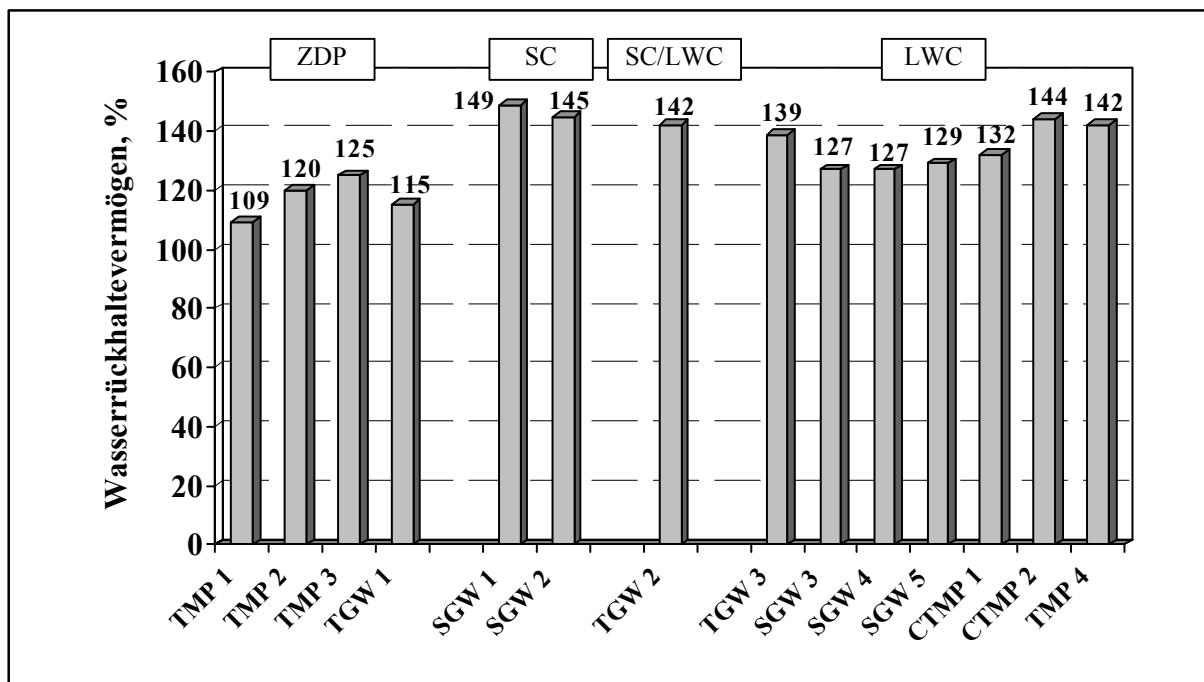


Abb. 8: Wasserrückhaltevermögen der Holzstoffe

Bei diesen beiden Messgrößen spielt die dem Wasser zugängliche Faseroberfläche die entscheidende Rolle, der Einfluss des Feinstoffs fällt bei diesen Prüfungen deutlich geringer aus als im Fall der zuerst erwähnten Parameter. Eine Fibrillierung wirkt sich damit unmittelbar auf die Messgrößen aus und nicht über sekundäre Eigenschaften wie z. B. den Filtrationswiderstand beim SR-Wert. Der Grad der Fibrillierung lässt sich aus dem Maß der Schrumpfung ableiten. Im Verlauf der Trocknung zieht sich die Wasserfront innerhalb des Fasernetzwerks immer weiter zurück. Je stärker die Fasern fibrilliert sind, um so größer sind die durch das zurückweichende Wasser aufgebrachten Kapillarkräfte und damit auch die auftretenden Schrumpfungen. Somit wird der relativ große Unterschied im Schrumpfungsverhalten der Zeitungsdruck-Holzstoffe einerseits sowie der SC-/LWC-Holzstoffe andererseits nachvollziehbar. Im Gegensatz zu den Holzstoffen für den Zeitungsdruck dürfen die SC-/LWC-Holzstoffe keine groben Fasern oder Faserbündel mehr enthalten, da diese die Qualität der Papieroberfläche negativ beeinflussen. Deshalb erfahren die SC-/LWC-Holzstoffe eine intensivere mechanische Behandlung als die Zeitungsdruck-Holzstoffe, was eine stärkere Fibrillie-

run und damit eine verstärkte Schrumpfung zur Folge hat. Diesem Trend folgt auch der CTMP 2, der, im Gegensatz zu SR-Wert und Entwässerungszeit, für Wasserrückhaltevermögen und Schrumpfung vergleichbare Werte zu den übrigen SC-/LWC-Holzstoffen aufweist.

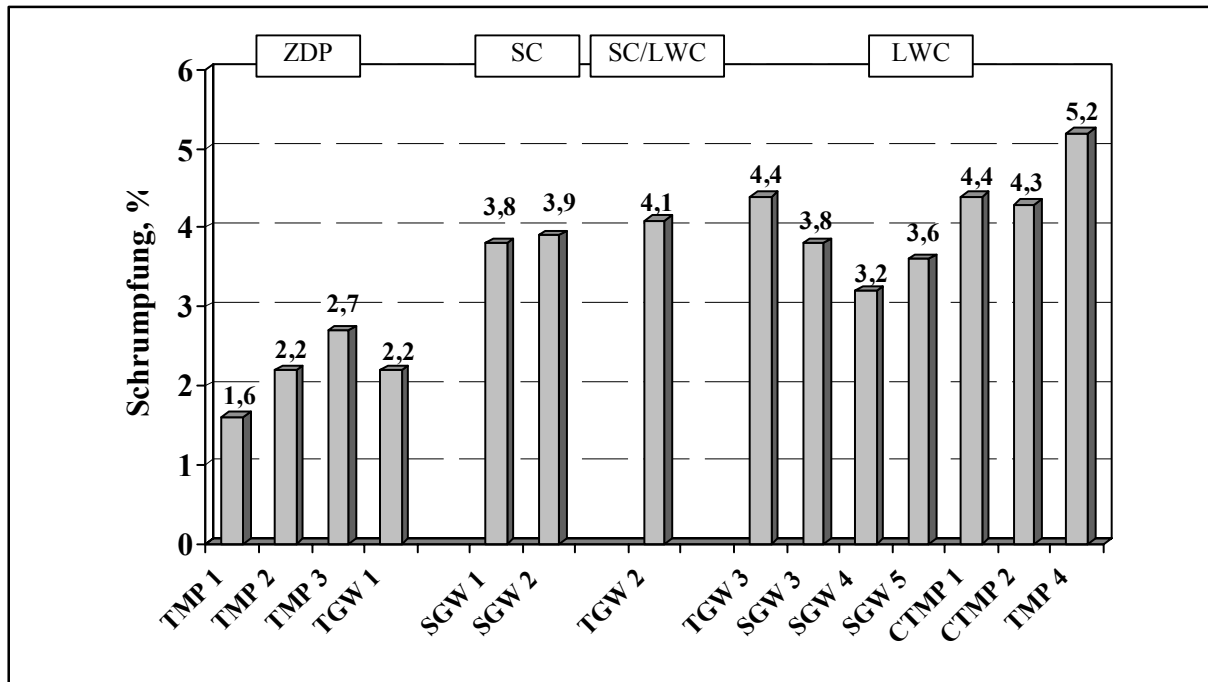


Abb. 9: Schrumpfung der Holzstoffe

Beim Wasserabsorptionstest erfolgt eine Wiederbefeuchtung des Papiers. Somit stellt dieser Vorgang im Grunde eine Umkehrung der bei der Trocknung ablaufenden Ereignisse dar. Daher sollten die Holzstoffe ein ähnliches Verhalten zeigen wie bei der Schrumpfung. Trägt man die Ergebnisse des Wasserabsorptionstests, angegeben als die Zeit, die das Wasser benötigt, um in der Papierebene eine Strecke von ca. 20 mm zurückzulegen, über der Schrumpfung auf, ergibt sich demnach auch ein enger Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,86 (Abb. 10). Wie bei der Schrumpfung spielt die Kapillarität des Papiers auch beim Wasserabsorptionstest eine Rolle. Eine starke Fibrillierung führt zu einer großen Anzahl von Kapillaren, wodurch die Penetrationsgeschwindigkeit des Wassers gemindert und die Penetrationszeit verlängert werden.

Obwohl also mit Hilfe der Parameter Schrumpfung und Wasserabsorption Hinweise auf den Fibrillierungsgrad gewonnen werden können, sind auch diese Verfahren nur indirekter Natur. Eine weitere, ebenfalls indirekte Methode wurde von Forgacs⁴ beschrieben, die zur Charakterisierung der äußeren Fibrillierung auf dem Strömungswiderstand der Kurzfasernfraktion (D_{48}/R_{100}) basiert. Soll die Fibrillierung direkt ermittelt werden, müssen bildanalytische Methoden angewandt werden (z. B. Eklund⁵).

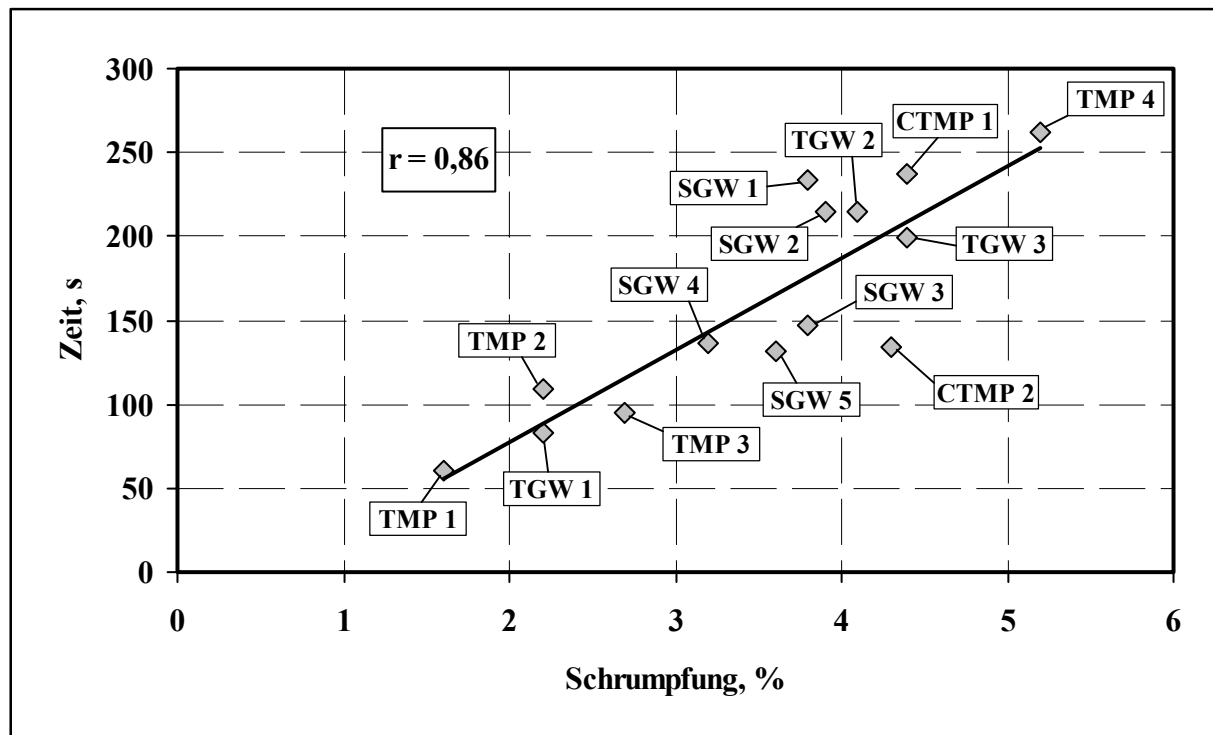


Abb. 10: Zusammenhang zwischen Wasserabsorption und Schrumpfung

Der Grad der Fibrillierung findet sich auch in der Porosität der Holzstoffblätter (Abb. 11) wieder. Die schwach fibrillierten Zeitungsdruck-Holzstoffe bilden ein relativ grobes Fasernetzwerk mit hohen Porositätswerten, während die übrigen Stoffe dichtere Strukturen ausbilden können, verbunden mit einer entsprechend geringeren Porosität. Die starke Fibrillierung des TMP 4 spiegelt sich in Übereinstimmung mit der starken Schrumpfung in einer sehr geringen Porosität wider.

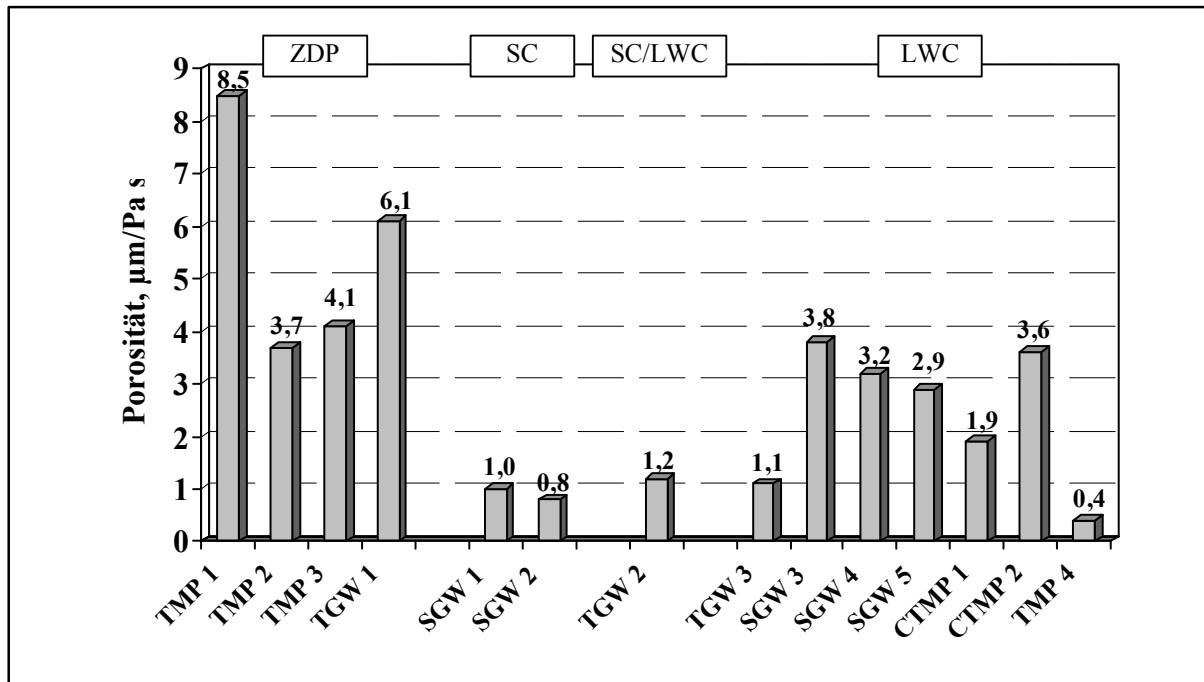


Abb. 11: Porosität der Holzstoff-Laborblätter

Abb. 12 zeigt die massengewichtete mittlere Faserlänge, die ebenso wie die in Abb. 13 dargestellte Coarseness mit einem Kajaani-Faseranalysator ermittelt wurde. Erwartungsgemäß weisen die TMP-Stoffe für Zeitungsdruck sowohl bei der mittleren Faserlänge als auch hinsichtlich der Coarseness deutlich höhere Werte auf als die Holzstoffe für die höherwertigen SC- und LWC-Papiere. Bei diesen Papiersorten wird eine gleichmäßigere, glattere Oberfläche gefordert, um eine gute Bedruckbarkeit zu gewährleisten. Daher dürfen die eingesetzten Halbstoffe nicht zu viele lange oder unflexible Fasern mitbringen, die sich bei einer Wiederbefeuchtung aufrichten und die Oberflächengüte beeinträchtigen könnten.⁶ Um diesen Effekt zu minimieren, ist eine gute Verankerung der Fasern im Papiergefüge erforderlich. Da vor allem lange und dickwandige Fasern hierfür jedoch eine zu geringe Bindungsfähigkeit aufweisen, gilt es, deren Anteil zu reduzieren.⁷ Der wichtigste Verfahrensschritt ist dafür das Post-Refining, bei dem u. a. eine Verringerung der Coarseness durch das Abschälen äußerer Faserwandschichten angestrebt wird. Gleichzeitig erfolgt in gewissem Umfang eine Faserkürzung sowie die weitere Entwicklung der Fasern durch eine fortschreitende Fibrillierung. Auf diese Weise lassen sich Flexibilität und Bindungsvermögen der Fasern verbessern, damit auch beim Einsatz größerer Füllstoffmengen, die den Zusammenhalt der Fasern verringern, ein ausreichend festes Blatt mit guten Oberflächeneigenschaften gewährleistet werden kann.⁷ Durch die Wahl des Refinertyps sowie die Intensität der Mahlung lässt sich das Ausmaß der Auswirkungen auf die verschiedenen Fasereigenschaften beeinflussen.^{8,9} Da im Fall der Holzschliffe bereits relativ kurze Fasern vorliegen, ist hier eine Nachbehandlung lediglich zur Re-

duzierung der Coarseness erforderlich.¹⁰ Bei den Refinerstoffen muss darüber hinaus auch der Faserlangstoffgehalt gesenkt werden. Daher unterscheiden sich diese (TMP 4, CTMP 1 und 2) hinsichtlich Coarseness und mittlerer Faserlänge auch nicht nennenswert von den Schliffen.

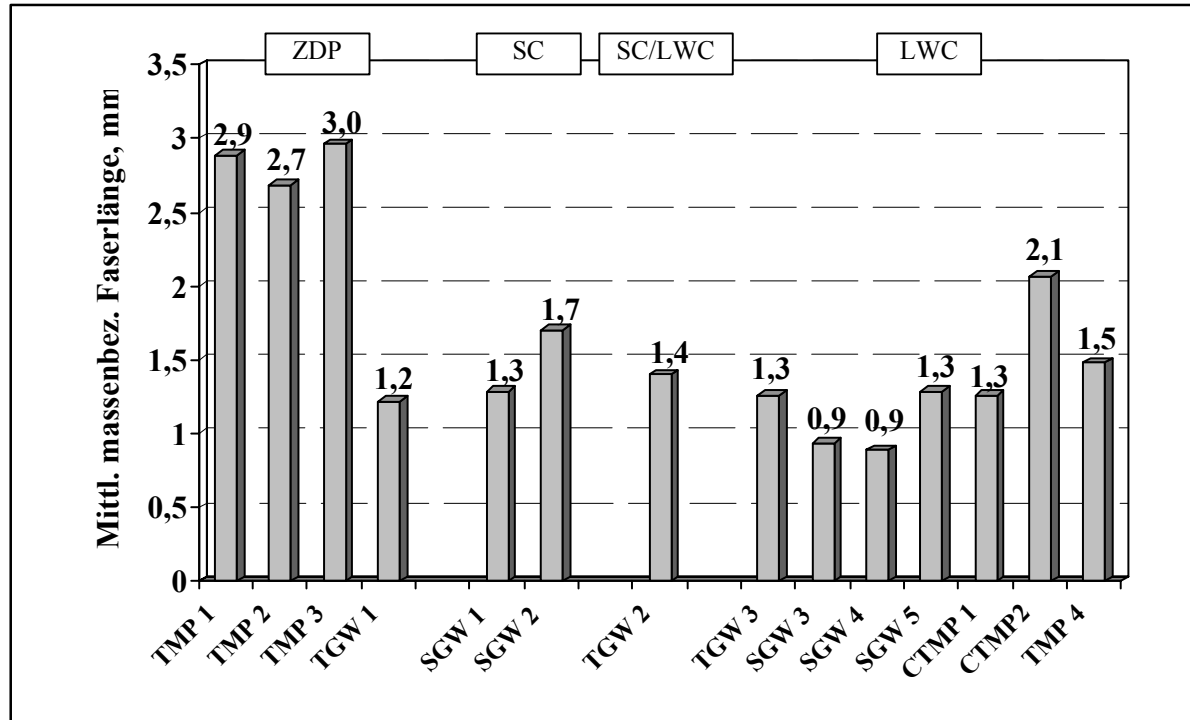


Abb. 12: Mittlere Faserlänge (massengewichtet) der untersuchten Holzstoffe

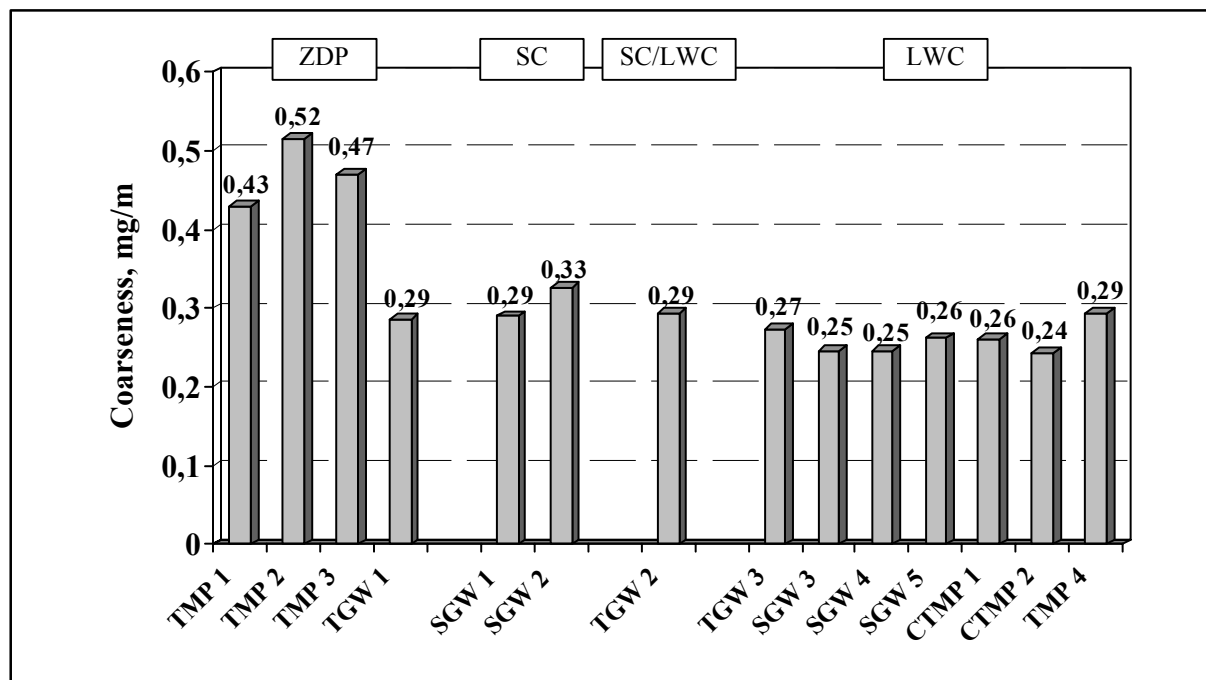


Abb. 13: Coarseness der untersuchten Holzstoffe

Auch bezüglich des Gehalts an langen Fasern zeigen CTMP 1 und TMP 4 die für SC-/LWC-Holzstoffe charakteristischen, verhältnismäßig niedrigen Werte (Abb. 14). Während bei den Zeitungsdruck-TMPs die R₃₀-Fraktion den größten Massenanteil mit über 40 Gew.-% darstellt, konnte dieser Anteil bei CTMP 1 und TMP 4 effektiv reduziert werden und liegt bei unter 15 Gew.-%.

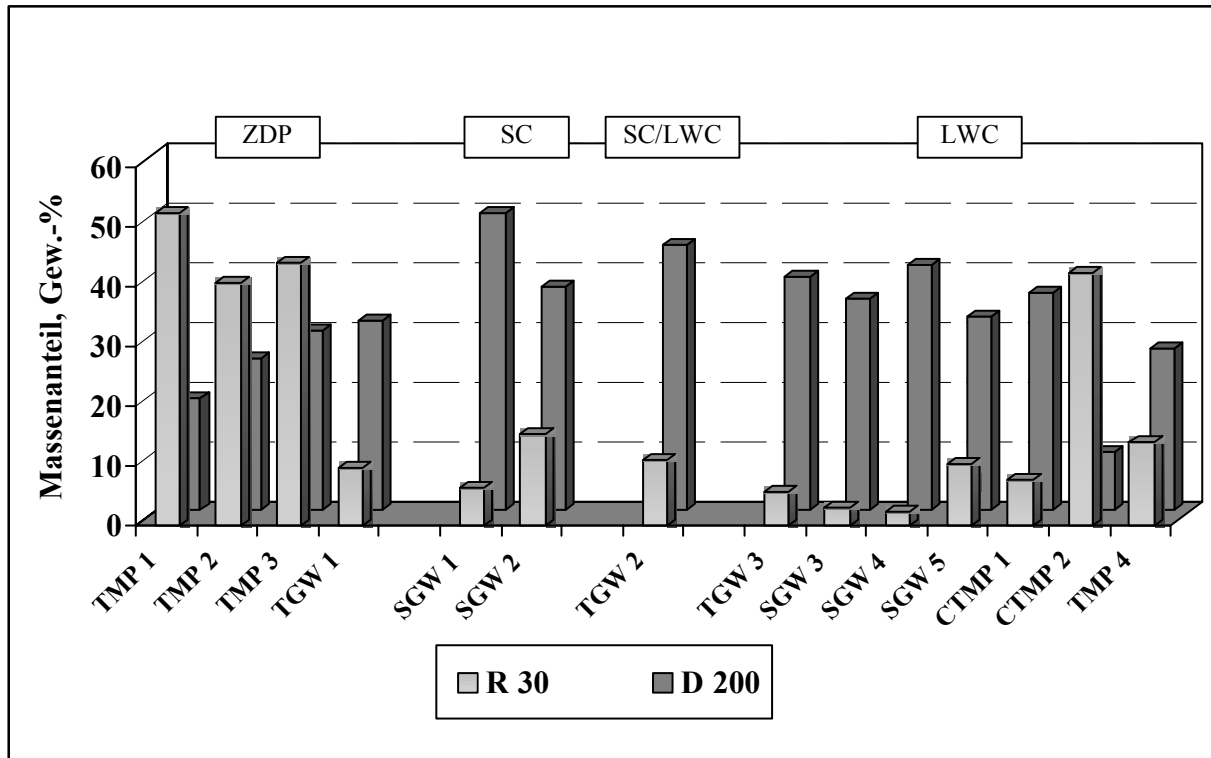


Abb. 14: Ausgewählte Ergebnisse der Fraktionierung

Betrachtet man hingegen CTMP 2, so fällt der hohe Anteil der R₃₀-Fraktion von über 40 Gew.-% auf, woraus sich auch der im Vergleich mit den übrigen SC-/LWC-Holzstoffen höhere Wert der mittleren Faserlänge bei vergleichbarer Coarseness ableiten lässt. Darüber hinaus zeigt dieser Stoff bei Opazität und spezifischem Volumen signifikant geringere Werte als alle anderen Holzstoffe. Da diese die für den Einsatz von Holzstoff ausschlaggebenden Parameter sind, liegt die Vermutung nahe, dass CTMP 2 nicht in erster Linie die eigentlichen Funktionen eines Holzstoffs (Steigerung von Opazität und Kompressibilität) erfüllt, sondern als Armierungskomponente verwendet wird, um einen Teil des Zellstoffs zu substituieren. Dass dieses möglich sein sollte, belegt die große Reißlänge von nahezu 5.500 m (Abb. 15). Von gleicher Größenordnung ist auch die Reißlänge des TMP 4. Hier zeigt sich, dass die starke Fibrillierung im Vergleich zu den übrigen TMP-Stoffen, die mit einer Zunahme der spezifischen Oberfläche und damit der potentiellen Bindungsfläche verbunden ist, einen erheblichen Anstieg der Festigkeit mit sich bringt.¹¹ Die relativ geringen Reißlängen eines Teils der

Holzstoffe von weniger als 3.000 m sind vermutlich auf den geringen Entwicklungsgrad der Fasern zurückzuführen. Auffällig ist besonders TMP 1, der keine separate Nachmahlung erfahren hat und auch einen sehr geringen Feinstoffgehalt aufweist. In Verbindung mit einer hohen Coarseness wird nur eine mäßige Reißlänge erzielt. Auch beim TGW 1 ist wohl ein geringer Fibrillierungsgrad für die niedrige Reißlänge verantwortlich. Der große Unterschied, der zwischen SGW 1 und 2 einerseits sowie SGW 3 und 4 andererseits sichtbar wird, ist nicht ohne Weiteres zu erklären. Neben den Eigenschaften der Fasern spielt hier jedoch sicher auch der Feinstoff eine zentrale Rolle. Nachfolgend wird der Einfluss dieses Parameters noch näher beleuchtet.

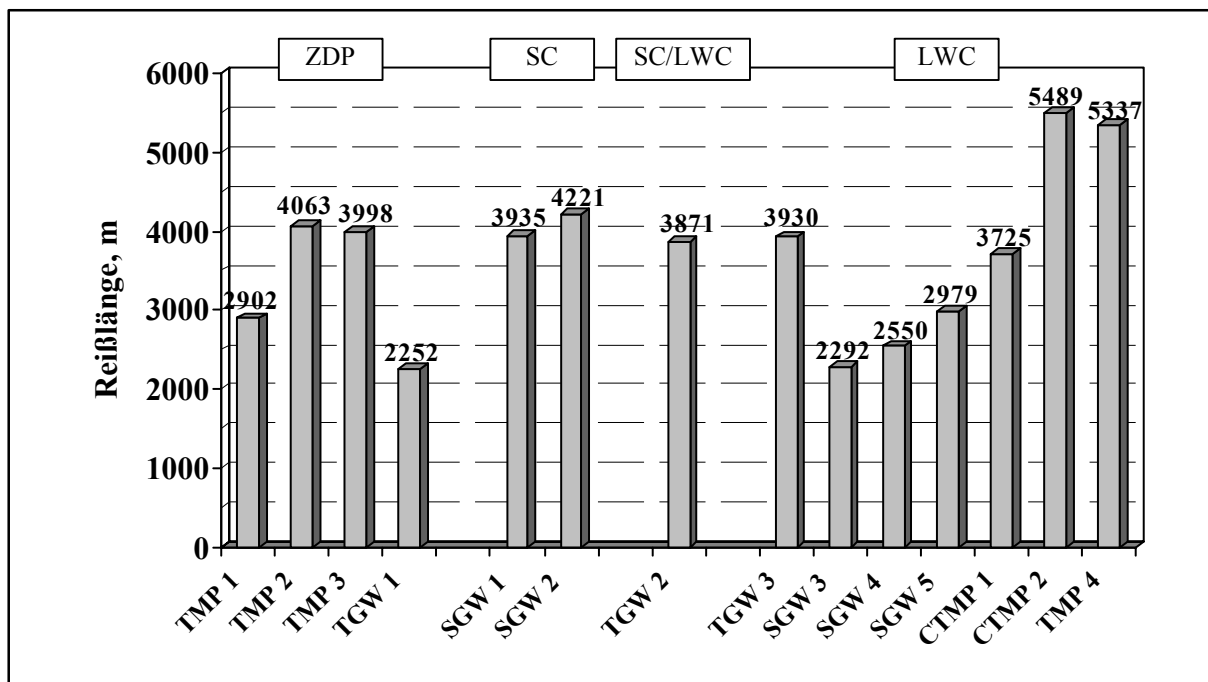


Abb. 15: Reißlänge der untersuchten Holzstoffe

Eine Darstellung der Weiterreißarbeit findet sich in Abb. 16. Zu erkennen ist die deutliche Überlegenheit der langfaserigen Refinerstoffe gegenüber den Schliffen. Der dominierende Einfluss der Faserlänge auf die Weiterreißarbeit wird deutlich, wenn beide Parameter gegeneinander aufgetragen werden (Abb. 17). Es ergibt sich ein linearer Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,95$.

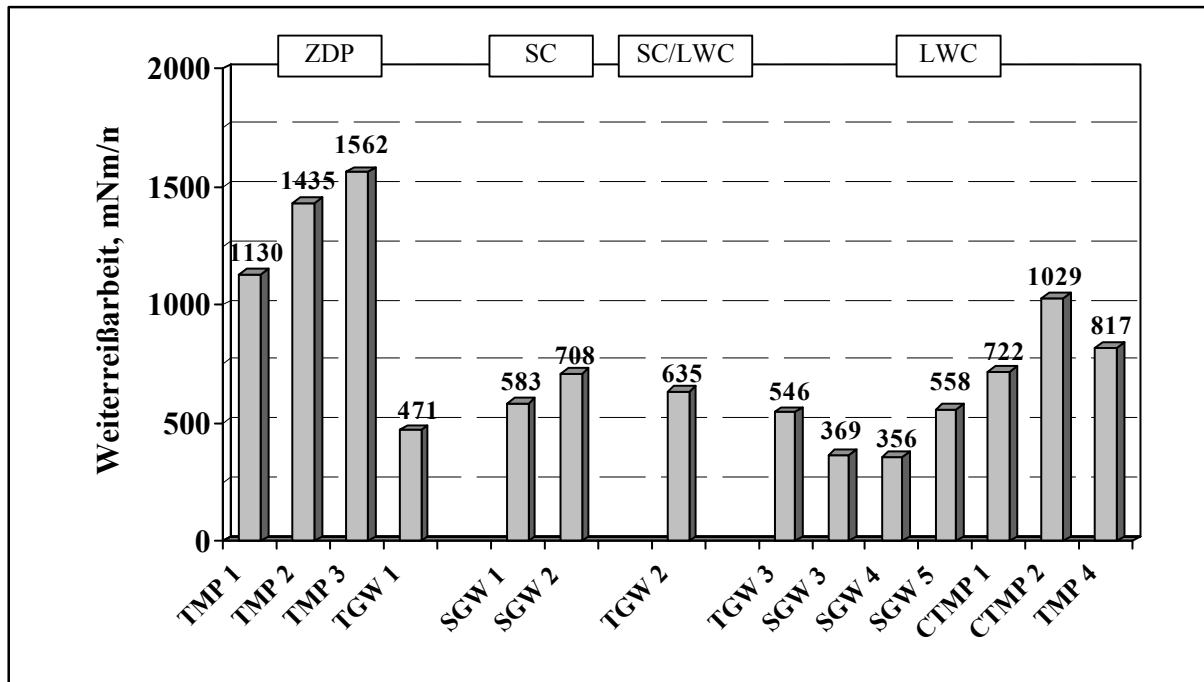


Abb. 16: Weiterreißarbeit (Brecht-Imset) der untersuchten Holzstoffe

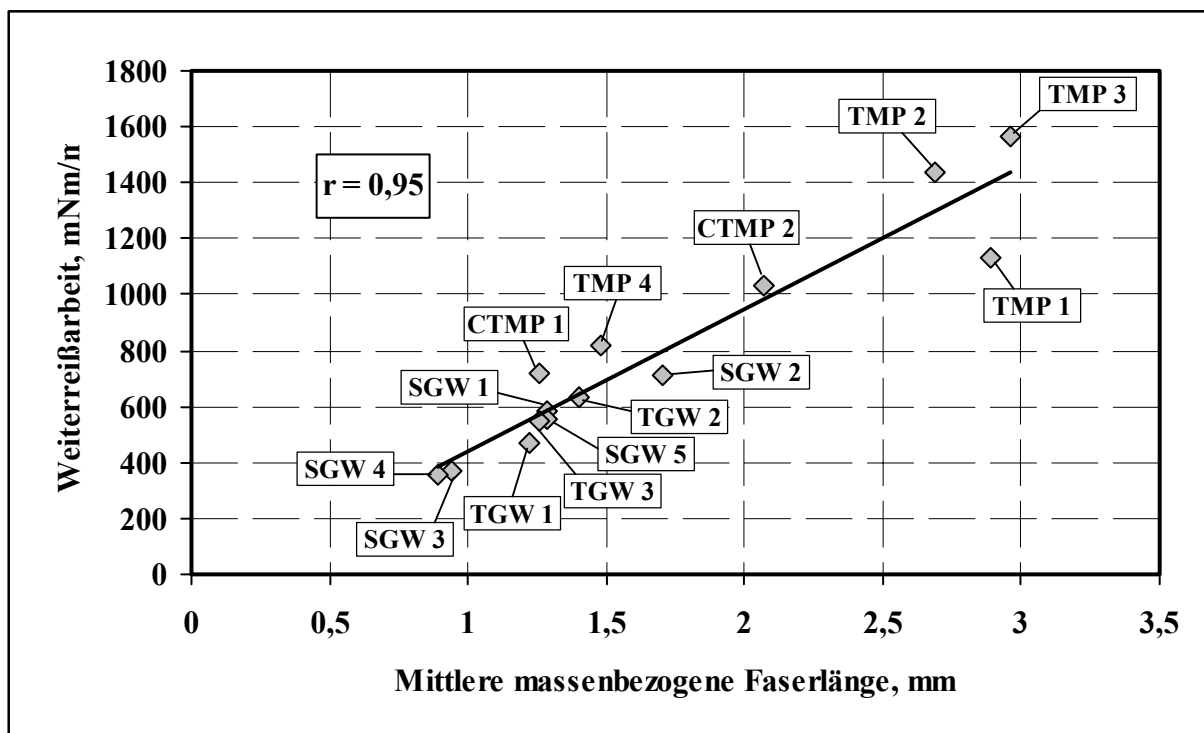


Abb. 17: Zusammenhang zwischen Weiterreißarbeit (Brecht-Imset) und mittlerer massenbezogener Faserlänge

Der Feinstoff ist nicht nur bei statischen Festigkeitseigenschaften wie der Reißlänge, sondern auch bei dynamischen wie der Weiterreißarbeit von Bedeutung,¹² was besonders am Beispiel des TMP 1 sichtbar wird. Ausgehend von der mittleren Faserlänge von 2,9 mm, wäre eine hö-

here Weiterreißarbeit als die ermittelte zu vermuten. Der geringe Feinstoffgehalt führt jedoch dazu, dass sich zwischen den langen, unflexiblen Fasern keine optimalen Bindungsverhältnisse einstellen können, was den beobachteten niedrigeren Wert der Weiterreißarbeit zur Folge hat.

Abb. 18 zeigt die Ergebnisse der Biegesteifigkeitsmessung. Den geringsten Wert lässt CTMP 2 erkennen, alle übrigen Stoffe liegen relativ dicht beieinander, ohne dass ein eindeutiger Trend zu erkennen wäre. Die Einflussgrößen, die die Biegesteifigkeit bestimmen, dürften eher chemischer Natur sein. So sollte z. B. ein höherer Ligningehalt die Biegesteifigkeit erhöhen, da das Lignin im Holz zur Aufnahme von Druckspannungen dient und dem entsprechend eine höhere Druckfestigkeit aufweist als Cellulose. Neben dem Gehalt ist auch die Verteilung des Lignins sowie anderer Bestandteile über den Blattquerschnitt von Bedeutung. Je nach dem, wie stark die Bindungen in z-Richtung ausgebildet sind, kann das Fasernetzwerk einer senkrecht zur Blattebene wirkenden Kraft mehr oder weniger Widerstand entgegen setzen. Da im Rahmen dieser Arbeit weder eine chemische Analyse noch eine Prüfung der Faserbindungskräfte erfolgte, kann eine weiterführende Interpretation der Biegesteifigkeit nicht erfolgen. Der niedrige Wert des CTMP 2 resultiert jedoch vermutlich aus einer partiellen Delignifizierung im Verlauf des Aufbereitungsprozesses.

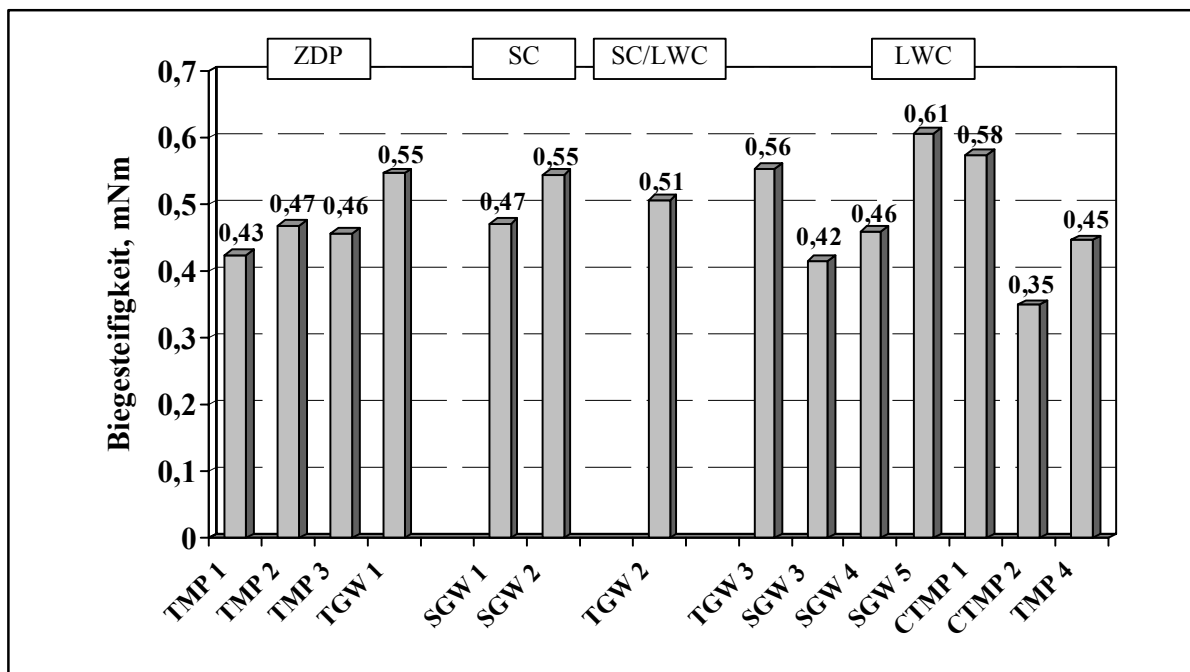


Abb. 18: Biegesteifigkeit (Balkenmethode) der untersuchten Holzstoffe

3.3 Optische Eigenschaften

In Faserstoffmischungen führt der hohe Feinstoffgehalt zu einer optischen Dominanz des Holzstoffs gegenüber dem Zellstoff. Im Gesamtpapier werden Opazität, Weiße und Farbort entscheidend vom Holzstoff bestimmt.¹³ Besonders bei leichtgewichtigen Papieren wie z. B. LWC-Papieren, deren Rohpapiere nur einen geringen Füllstoffgehalt aufweisen dürfen, kann eine ausreichende Opazität nur durch den Einsatz von Holzstoff gewährleistet werden. Daher kommt der Aufbereitung des Holzstoffs im Hinblick auf eine Optimierung der optischen Eigenschaften besondere Bedeutung bei.

In Abb. 19 sind die Opazitäten der Frischwasser- und Rückwasser-Laborblätter aufgetragen. Mit Ausnahme des CTMP 2 zeigen alle Stoffe bereits bei den Frischwasserblättern Werte von mehr als 80 %. Eine Kreislaufführung der Feinstoffe bewirkt eine Steigerung der Opazitätswerte um weitere 2 bis 4 % und führt beim SGW 1 zum Spitzenwert von 93,4 %. Daran lässt sich die hohe Bedeutung des Holzstoffs an den optischen Eigenschaften des Gesamtfaserstoffs erkennen.

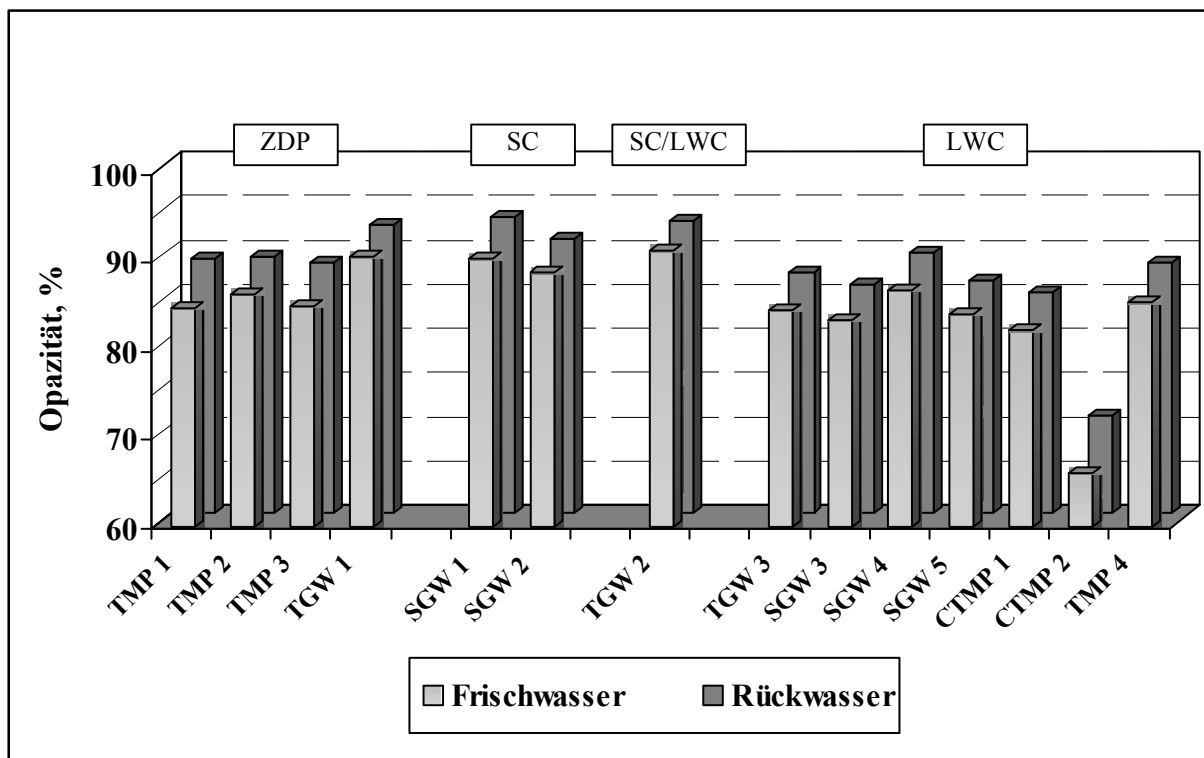


Abb. 19: Opazität der untersuchten Holzstoffe (45 g/m²-Blätter)

Die Opazität wird maßgeblich vom Streukoeffizienten bestimmt. Abb. 20 zeigt die Messwerte des dichtebezogenen Streukoeffizienten der 45 g/m²-Rückwasserblätter. Gut zu erkennen ist der grundsätzliche Unterschied zwischen den Schliffen und den Refinerstoffen. Während alle

Schliffe Werte über 70 m²/kg aufweisen, liegen die Refinerstoffe bei maximal 60 m²/kg. Auch hier repräsentiert CTMP 2 wieder die untere Grenze aller untersuchten Stoffe.

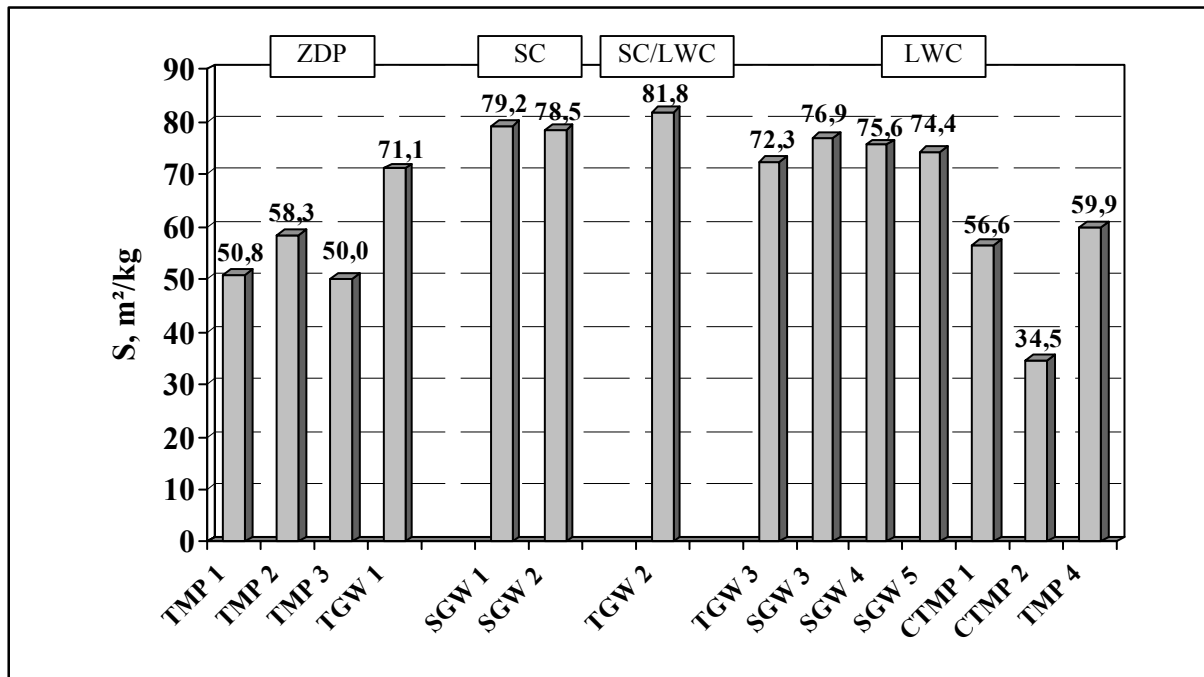


Abb. 20: Dichtebezogener Streukoeffizient der untersuchten Holzstoffe (45 g/m² Rückwasserblätter)

Die Lichtstreuung im Papierblatt und somit auch der Streukoeffizient hängt von der Anzahl der Faser-Luft-Grenzflächen ab. Wird diese Zahl erhöht, steigt auch das Streuvermögen. Bei Holzstoffen lässt sich dieser Effekt durch eine mechanische Behandlung erzielen. Hierbei werden die Fasern zunehmend fibrilliert und gleichzeitig Feinstoff generiert. Beide Vorgänge führen zu einer Erhöhung der spezifischen Oberfläche und damit zu einer Steigerung der Grenzflächenanzahl und des Streuvermögens. Zu beachten ist, dass dieser Zusammenhang nur für Holzstoffe gilt, nicht aber für Zellstoffe und nur eingeschränkt für chemothermomechanische Stoffe.¹⁴ Die Zunahme der spezifischen Oberfläche geht bei allen Stoffen mit einer Verbesserung der Bindungsfähigkeit durch zusätzliche potenzielle Bindungsfläche einher. Im Fall des Zellstoffs resultiert das auf Grund der Flexibilität der Fasern in einer dichteren Blattstruktur. Die neu gewonnenen Oberflächen können dazu beitragen, zusätzliche Bindungen auszubilden, wodurch zwar die Festigkeiten deutlich zunehmen, das Streuvermögen jedoch abnimmt. Beim Holzstoff hingegen können die unflexiblen Fasern das größere Angebot potenzieller Bindungsfläche, das darüber hinaus durch den höheren Ligningehalt eine Einschränkung erfährt, nicht in dem Maß nutzen wie die Zellstofffasern. Die Folge ist die zu beobachtende Zunahme des Streuvermögens mit intensiverer mechanischer Behandlung.

Auch die Faserwanddicke hat einen Einfluss auf den Streukoeffizienten.¹⁵ Das erklärt sich aus der Überlegung, dass eine dickwandige Faser bei gleichem Umfang, also gleicher Faseroberfläche, im Vergleich zu einer dünnwandigen Faser eine höhere Masse besitzt. Eine vorgegebene Masse umfasst daher weniger dickwandige als dünnwandige Fasern. Daher können Fasern mit größerer Wandstärke, bezogen auf die Masse, weniger Oberfläche zur Verfügung stellen. Die Faserwanddicke wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht gemessen, so dass mögliche Auswirkungen nicht quantifiziert werden können. Es ist aber zu vermuten, dass der Einfluss von Feinstoff und Fibrillierung überwiegt. Unter Zugrundelegung dieser Annahme lassen sich die niedrigen Werte des CTMP 2 hinsichtlich Streuvermögen und Opazität erklären. Die mutmaßliche partielle Delignifizierung des CTMP 2 hat dazu geführt, dass sich der Charakter dieses Stoffs in Richtung eines Zellstoffs gewandelt hat. In Folge dessen führte die anschließende intensive mechanische Behandlung der Fasern zu einer deutlichen Festigkeitssteigerung bei gleichzeitiger Abnahme des Streuvermögens. Die beobachteten hohen Werte für die Reißlänge (Abb. 15) sowie Schrumpfung (Abb. 9) als Maß für den Fibrillierungsgrad legen diesen Schluss nahe.

Abb. 21 gibt in komprimierter Form einen Überblick über die wichtigsten optischen Kenngrößen. Diese als optische Zustandsebene bezeichnete Grafik ermöglicht die gleichzeitige Darstellung der voneinander unabhängigen Variablen Streu- und Absorptionskoeffizient sowie der daraus abgeleiteten Größen Opazität und spektraler Reflexionsfaktor R_{∞} . Aufgetragen ist der Streu- über dem Absorptionskoeffizient in dimensionsloser Darstellung. Zusätzlich sind Linien gleicher Helligkeit, erkennbar als Geraden durch den Ursprung, sowie Linien gleicher Opazität eingezeichnet. Zu erkennen ist die bereits erwähnte Zweiteilung der Holzstoffe hinsichtlich des Streuvermögens. Während alle Holzschliffe Streukoeffizienten zwischen 3 und 4 aufweisen, liegen die Werte sämtlicher Refinerstoffe unter 3. Sehr viel größer ist die Streubreite des Absorptionskoeffizienten. Dieser wird im Wesentlichen von der Art und Effektivität der Bleiche bestimmt. Die Bleicheffizienz wiederum wird von weiteren Faktoren wie Holzart und -zustand, Ligningehalt, Bleichmittelart und -menge, Eingangsweiße, spezifischen Bleichbedingungen (z. B. Temperatur, pH-Wert, Bleichdauer) beeinflusst. Daher lässt sich auch kein einheitlicher Trend des Absorptionskoeffizienten ableiten. Zu erwarten und tendenziell erkennbar ist jedoch eine Abnahme des Absorptionskoeffizienten mit zunehmendem Bleichmitteleinsatz (vgl. Abb. 24).

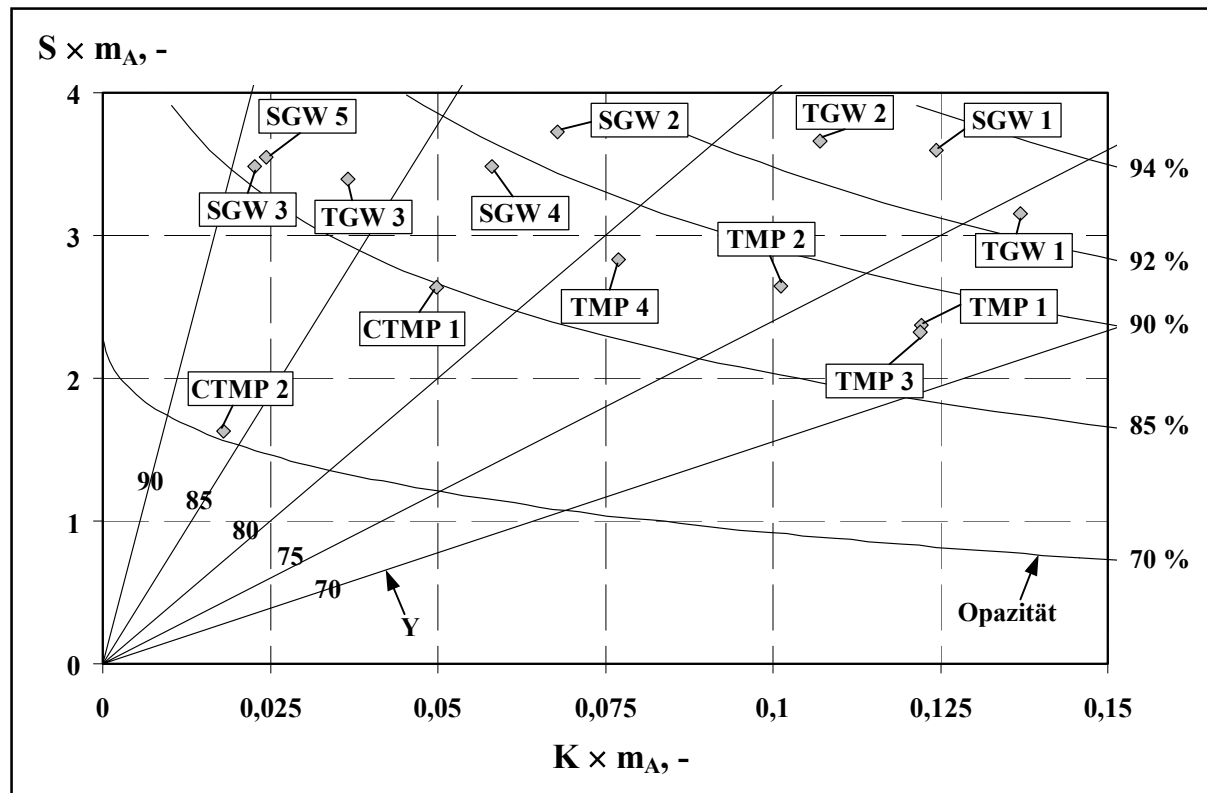


Abb. 21: Optische Zustandsebene

Ein deutlicher Zusammenhang besteht dagegen zwischen dem Absorptionskoeffizienten und der Helligkeit, wie Abb. 22 erkennen lässt. Die Helligkeit nimmt mit fallendem Absorptionskoeffizienten zu. Gleiches gilt mit einer geringfügig größeren Streuung auch für den Weißgrad (R_{457}). Werden also hohe Ansprüche an die Helligkeit des Holzstoffs gestellt, muss das Absorptionsvermögen entsprechend reduziert werden. Dabei gilt es aber zu beachten, dass gleichzeitig auch die Opazität sinkt, so dass bei der Steuerung der Bleiche ein Kompromiss zwischen hoher Helligkeit und guter Opazität gefunden werden muss.

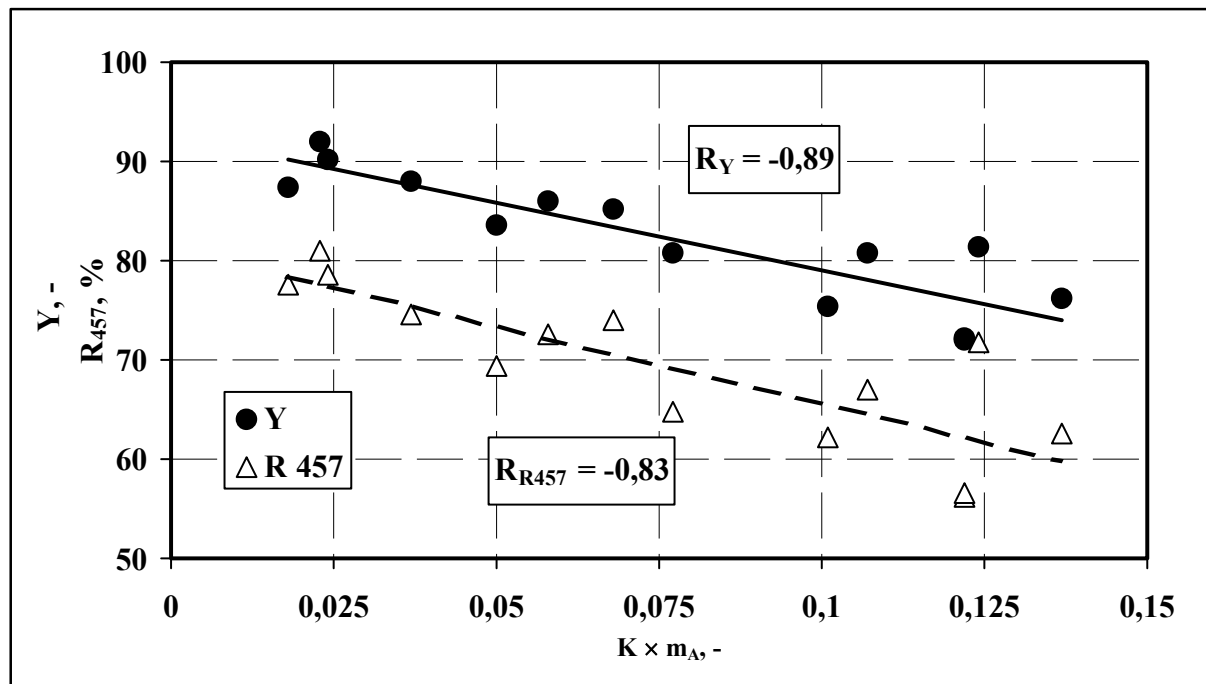


Abb. 22: Korrelation zwischen Absorptionskoeffizient und Helligkeit/Weißgrad

Die Lage der Holzstoffe im Lab-Farbraum ist Abb. 23 zu entnehmen. Typisch ist der für Holzstoffe charakteristische hohe b^* -Wert. Es zeigt sich, dass sich die thermisch behandelten Stoffe (TGW, TMP, CTMP) mit Ausnahme des CTMP 2 hinsichtlich des Gelbwerts erkennbar von den Steinschliffen abheben. Das ist in erster Linie auf die bei höheren Temperaturen vermehrt stattfindende Bildung chromophorer Gruppen zurückzuführen.¹⁶ Auch die Bleiche kann sich, unter alkalischen Bedingungen durchgeführt, bei ungünstiger Prozessführung negativ auswirken, da ein höherer pH-Wert die Gefahr einer Alkalivergilbung, also eines Anstiegs vor allem des b^* -Werts, mit sich bringt.¹⁷ Dass der CTMP 2 den niedrigsten b^* -Wert aufweist, liegt vermutlich wiederum in der speziellen Aufbereitung begründet. Durch die partielle Entfernung des Lignins ist auch ein Teil der gelb färbenden Substanzen entfernt und die Zahl tatsächlicher wie auch potentieller chromophorer Systeme reduziert worden. Der Holzstoffcharakter lässt sich angesichts des immer noch hohen b^* -Werts von 8,2 dennoch nicht verkennen.

Wie weiter oben bereits erwähnt wurde, ist in einer Faserstoffmischung der Holzstoff die die optischen Eigenschaften dominierende Komponente. Es ist daher bedeutsam, auch den Farbort des Holzstoffs zu berücksichtigen, damit der für die jeweilige Papiersorte angestrebte Endwert nicht nur hinsichtlich der Helligkeit, sondern auch bezüglich des Farborts erreicht

werden kann. Je nach Papierqualität sind deshalb unterschiedliche Zielgrößen für den Holzstoff zu fordern.

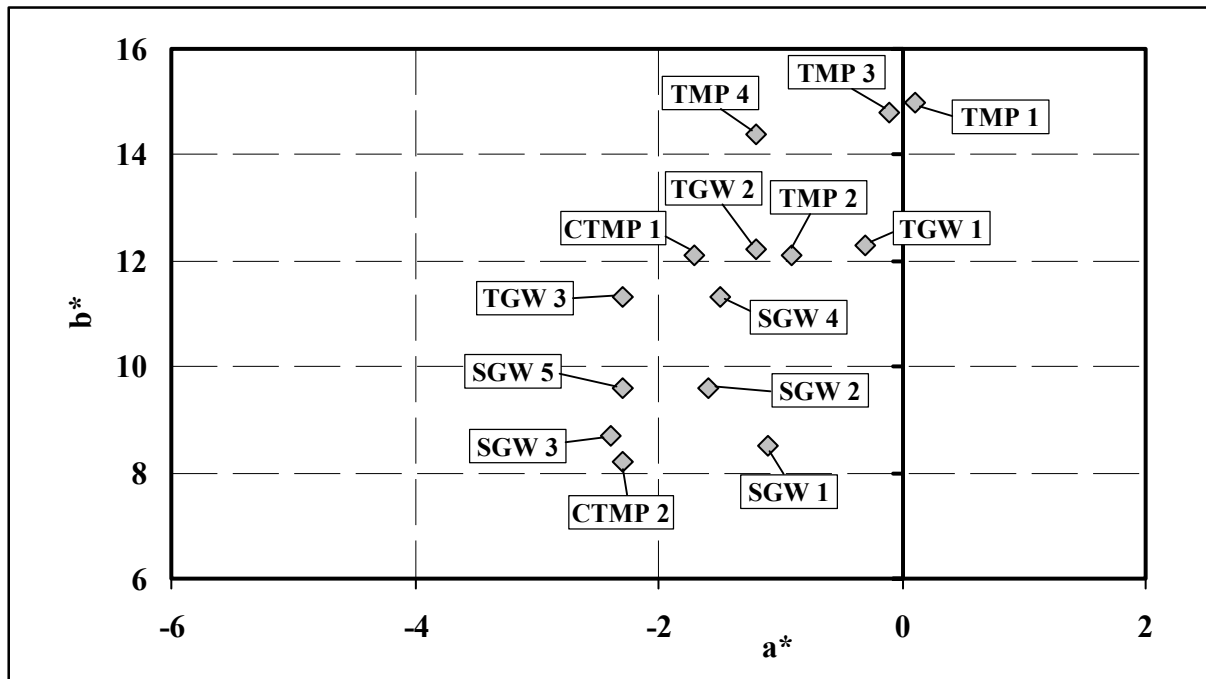


Abb. 23: Farborte der untersuchten Holzstoffe

3.4 Bleiche

Für den Einsatz in höherwertigen Druckpapieren entsprechen fertig aufbereitete ungebleichte Holzstoffe im Allgemeinen nicht den Ansprüchen, die an Helligkeit oder Farbort gestellt werden. Deshalb schließt sich in der Regel ein ein- oder zweistufiger Bleichprozess an, in dessen Verlauf die eingesetzten Chemikalien die optischen Eigenschaften in die gewünschte Richtung verändern. Abb. 24 gibt einen Überblick über die bei den untersuchten Holzstoffen eingesetzten Bleichmittelmengen. Erwartungsgemäß liegen die Einsatzmengen bei den für SC- und LWC-Papiere verwendeten Holzstoffen höher als bei den Zeitungsdruck-Holzstoffen, da jene Papierqualitäten höhere Anforderungen an die optischen Eigenschaften stellen.

Der erzielbare Helligkeitsgewinn stieg mit zunehmender Chemikaliendosierung. Allerdings verläuft der Anstieg nicht linear, sondern nähert sich asymptotisch einem Grenzwert (Abb. 25). Der Einsatz von Peroxid hat dabei eine stärkere Aufhellung zur Folge als der von Dithionit. Zur Erzielung hoher Helligkeiten wird bevorzugt eine kombinierte oxidierende und reduzierende Bleiche gewählt. Das Problem, mit dem man beim Versuch konfrontiert wird, große Helligkeitszuwächse zu erreichen, wird an Hand von Abb. 26 sichtbar. Je mehr Bleichmittel

zum Einsatz kommt, um so geringer fällt der spezifische Helligkeitsgewinn aus, also der pro Masseneinheit zugegebener Chemikalien erzielbare Anstieg der Helligkeit. Es ist daher betriebswirtschaftlich wenig sinnvoll, einen dunklen Holzstoff durch eine Bleichbehandlung auf hohe Helligkeiten bleichen zu wollen, da die damit verbundenen Kosten für die Chemikalien entsprechend hoch ausfallen.

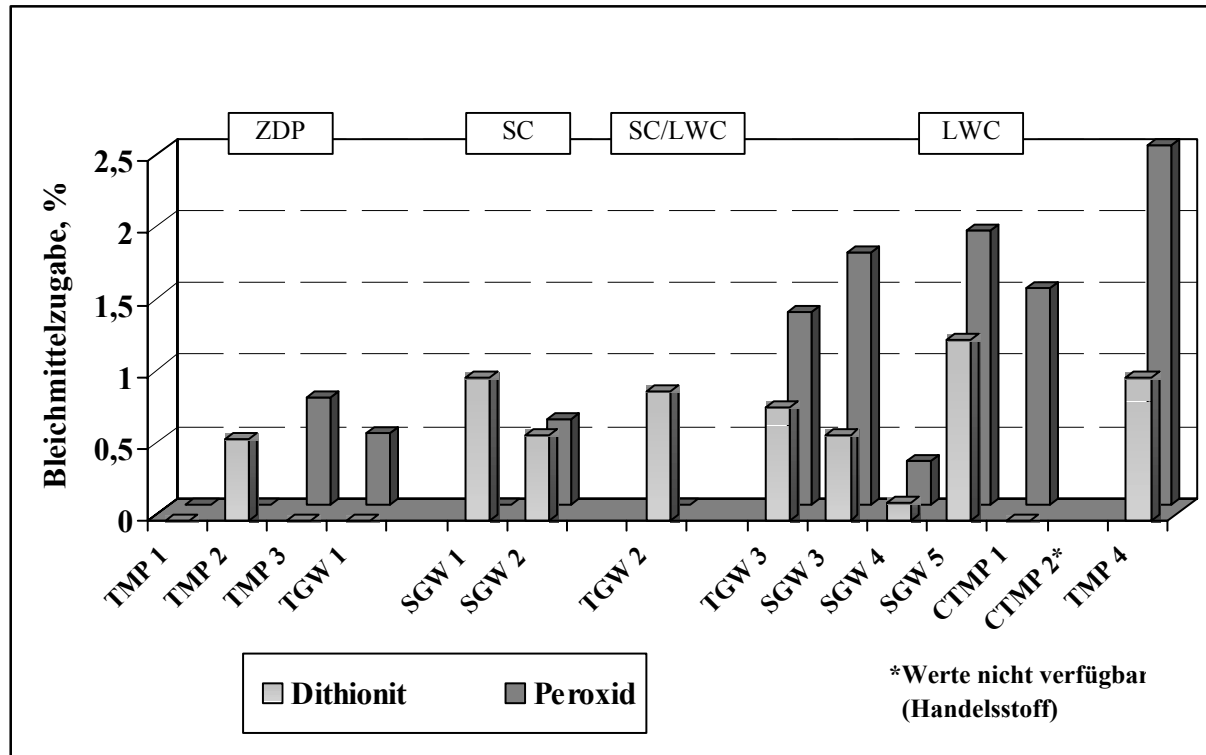


Abb. 24: Eingesetzte Bleichmittelmengen

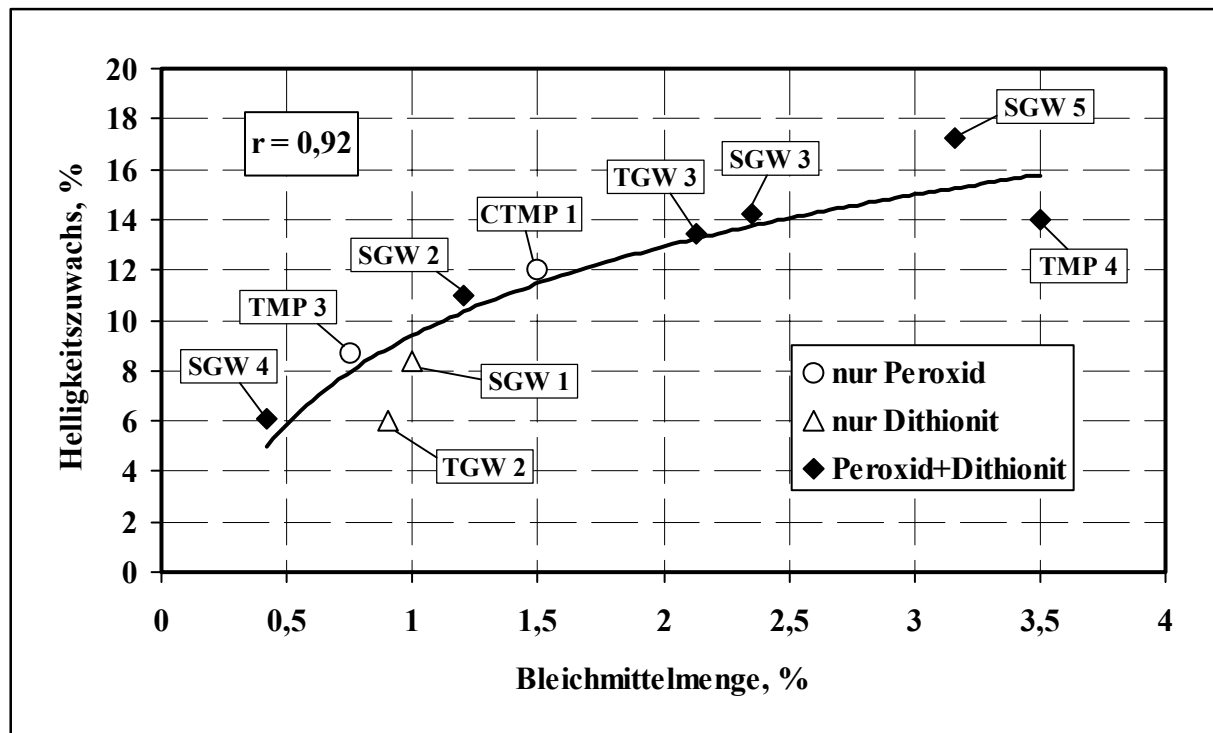


Abb. 25: Zusammenhang zwischen Helligkeitszuwachs und Bleichmitteldosierung

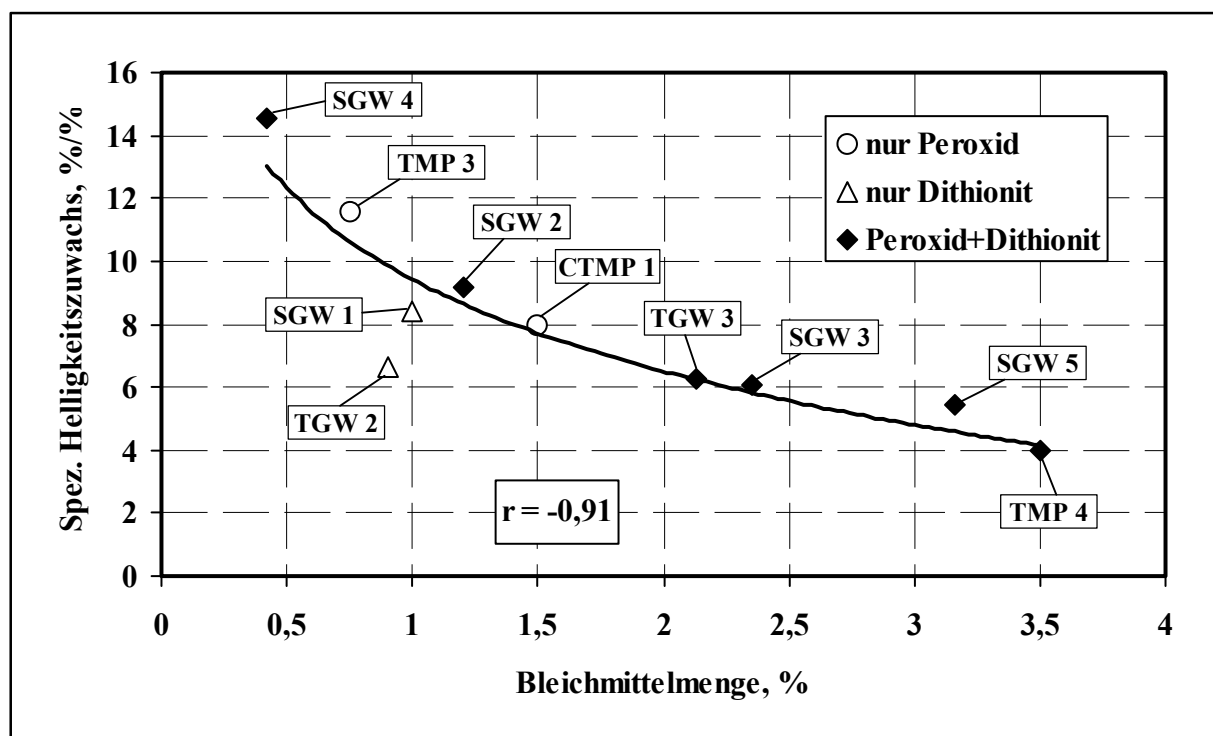


Abb. 26: Zusammenhang zwischen spezifischem Helligkeitszuwachs und Bleichmitteldosierung

3.5 Feinstoff

Den Feinstoffen im Holzstoff ist aus papiermacherischer Sicht eine besondere Bedeutung zuzumessen, da sie die einzigartige Möglichkeit bieten, so unterschiedliche physikalische Eigenschaften des Papiers wie optische und Festigkeitseigenschaften gleichzeitig zu verbessern.¹⁸ Das zeichnet die Feinstoffe von Holzstoffen im Gegensatz zu den Zellstoff-Feinstoffen aus, da diese nur die Festigkeiten positiv beeinflussen, während die optischen Eigenschaften hingegen beeinträchtigt werden.¹⁹ Der Grund für dieses interessante Verhalten der Holzstoff-Feinstoffe liegt in der sehr heterogenen Zusammensetzung dieser Stofffraktion, wie bereits früh erkannt wurde.²⁰

Nach Brecht et al.^{12,20} setzt sich ein Holzstoff aus drei Formbestandteilen zusammen, nämlich Splitter, Faserstoff und Feinstoff. Die Splitter sind in jeder Hinsicht unerwünscht. Die Trennung von Faser- und Feinstoff erfolgt durch ein Fraktioniersieb mit 50 Maschen/cm. Obwohl also der Feinstoff eine Vielzahl von Formelementen beinhaltet, heben sich nach Brecht, an den technologischen Effekten gemessen, zwei Gruppen voneinander ab, die er mit Schleimstoff und Mehlstoff bezeichnete. Der Schleimstoff besteht demnach aus stark gequollenen, feinsten Fibrillen und ist ein Produkt der beim Schleifen auftretenden Quetschwirkungen, die wiederum aus einer gleitenden Reibung resultieren. Der Mehlstoff hingegen ist das Ergebnis schneidender Reibung und umfasst daher körnige, flocken- oder plättchenförmige Faserbruchstücke ohne fibrillöse Struktur. Diese verschiedenen Bestandteile unterscheiden sich nun nicht nur in ihrer Phänomenologie stark, sondern auch im Hinblick auf ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften. Während der Schleimstoff auf Grund seiner hohen spezifischen Oberfläche und des großen Quellvermögens ein hohes Bindungspotenzial bereit stellen kann (Abb. 27), ist der Mehlstoff kaum zur Ausbildung von Bindungen fähig, da er einen hohen Ligningehalt sowie eine vergleichsweise geringe spezifische Oberfläche aufweist.^{18,21}

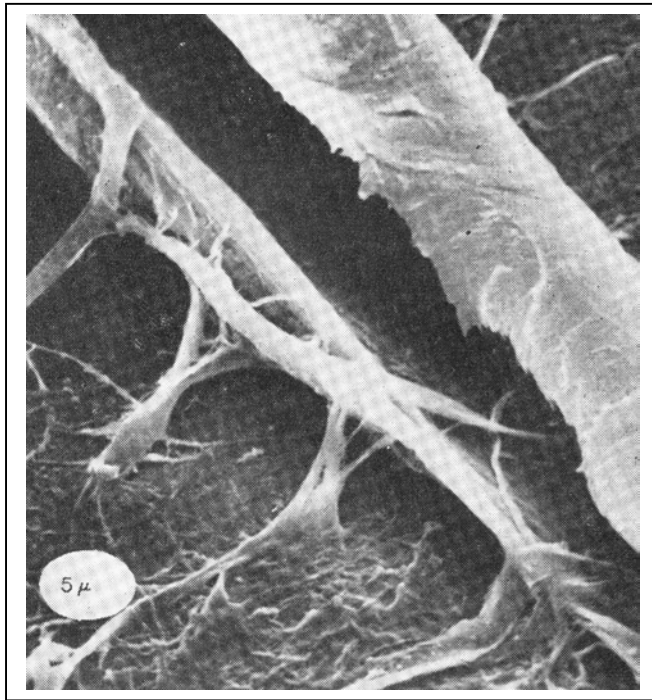


Abb. 27: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer mittels fibrillösen Materials an die Unterlage gebundenen Holzschliffasser⁴

Die Art und Weise, wie Feinstoffe innerhalb der Papierstruktur wirken, kann durch verschiedenen Modelle beschrieben werden. In Abb. 28 ist ein solches Modell dargestellt, das die Wirkung der Feinstoffe auf die Mechanismen „bridging“, „blocking“ und „filling“ zurückführt. Im Fall des „bridging“ kann durch die vermittelnde Wirkung des Feinstoffs eine Bindung zwischen zwei Fasern 1 und 2 ausgebildet werden, die ohne den Feinstoff wegen des zu großen Abstands der Fasern zueinander nicht hätte geknüpft werden können. Die Dichte des Papiers sowie die Festigkeitseigenschaften werden also zunehmen.

Schiebt sich ein Feinstoffpartikel zwischen zwei Fasern, die in direktem Kontakt miteinander stehen, spricht man vom „blocking“. Eine direkte Verbindung der Fasern wurde ersetzt durch eine indirekte Bindung über den Feinstoff. Die Dicke an der Bindungsstelle erhöht sich um den Betrag des Feinstoffpartikels, was zu einer Reduzierung der Blattdichte führt. Die Festigkeiten sollten sich dadurch nicht wesentlich ändern.

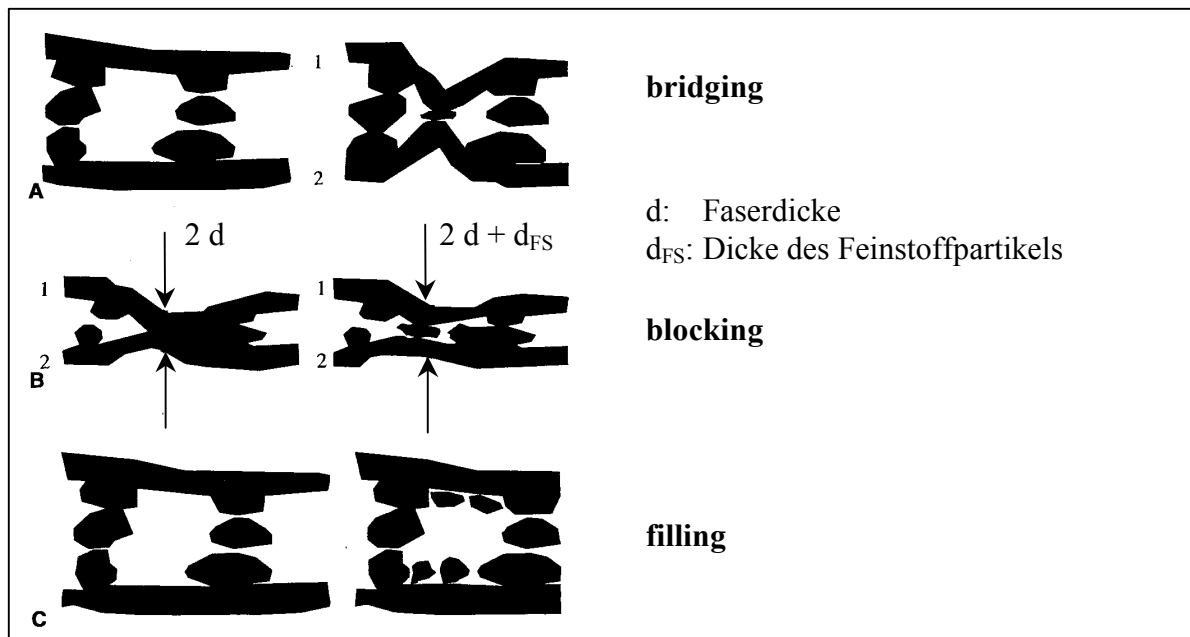


Abb. 28: Schematische Darstellung der Wirkungsweise von Feinstoffen im Papier (nach Görres et al.²¹⁾)

Im dritten Fall („filling“) bleibt die Dicke der Gesamtstruktur unverändert. Der Feinstoff füllt lediglich Lücken im Papiergefüge und bildet keine zusätzlichen Bindungen aus, wirkt also wie ein organischer Füllstoff. Die so erzielte Steigerung der flächenbezogenen Masse wird einen leichten Rückgang der Festigkeiten zur Folge haben.

Welcher der Mechanismen überwiegt, hängt im Wesentlichen vom Feinstoffanteil sowie der Zusammensetzung des Feinstoffs, also dem Verhältnis zwischen Schleim- und Mehlstoff, ab.

Eine mechanische Behandlung von Holzstoffen geht immer mit der Erzeugung von Feinstoffen einher. Von entscheidender Bedeutung für den Charakter des Feinstoffs ist dabei aber der Zeitpunkt der Generierung. Zu Beginn des Aufbereitungsprozesses liegen die Fasern noch nahezu in ihrer ursprünglichen Form und Zusammensetzung vor. Greifen in dieser Zeit äußere Kräfte an, werden zunächst in erster Linie die äußeren Schichten der Faserwand abgetrennt. Das bedeutet, dass der in dieser Phase erzeugte Feinstoff primär aus demselben Material besteht wie die Mittellamelle sowie die Primär- und die S_1 -Wand. Da diese Schichten keine fibrillöse Struktur, aber einen hohen Ligningehalt besitzen, hat der hier produzierte Feinstoff ausgeprägten Mehlstoffcharakter. Das Bindungspotentials dieses Feinstoffs ist damit als äußerst gering einzuschätzen.^{4,6,19} Sind die äußeren Faserwandschichten dagegen erst einmal abgelöst, kann auf die nunmehr freigelegte, stark cellulosehaltige und fibrillöse S_2 -Wand zur

Feinstofferzeugung zugegriffen werden. Durch die ausgeprägte Orientierung der Fibrillen in der S₂-Wand lassen sich, ausgehend von kleinen Rissen oder Brüchen, bandförmige, stark fibrillierte Strukturen von den Fasern abschälen (Abb. 29). Die dabei entstehenden Partikel haben dank ihrer großen spezifischen Oberfläche und ihres hohen Cellulosegehalts ausgezeichnete Quelleigenschaften und ein hohes Bindungspotenzial, repräsentieren also den Schleimstoff. Für den Holzstoff-Aufbereitungsprozess bedeutet das also, dass am Schleifstein bzw. in der ersten Refinerstufe bevorzugt Feinstoff mit Mehlstoffcharakter entsteht, während die Erzeugung des bindungsfähigen Schleimstoffs eine mechanische Vorbehandlung der Fasern voraussetzt. Der höchste Schleimstoffanteil im Feinstoff ist folglich nach dem Post-Refining zu erwarten.²²

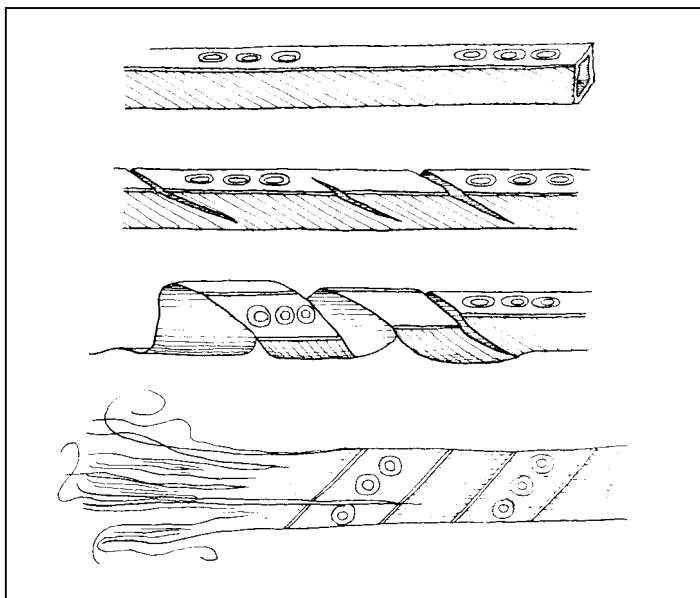


Abb. 29: Schematische Darstellung des Aufbrechens und Ablösens der S₂-Wand und der Zerlegung in Fibrillen⁴

Wegen der Bedeutsamkeit des Feinstoffs wurde im Rahmen dieser Arbeit besonderes Augenmerk auf eine genauere Betrachtung dieser Komponente gelegt. Neben der rein quantitativen Bestimmung des Feinstoffgehalts mit zwei verschiedenen Methoden erfolgten weitere qualitative Analysen. Es wurde die Größenverteilung der Feinstoffpartikel erfasst und das Strömungspotenzial des suspendierten Feinstoffs ermittelt. Schließlich wurde an einigen ausgewählten Proben das Sedimentationsverhalten geprüft, um Hinweise auf den Anteil an Schleim- bzw. Mehlstoff zu erhalten. Die Beschränkung auf lediglich 6 Proben erwies sich als notwendig, da wegen des hohen zeitlichen und gerätetechnischen Aufwands nicht alle Holzstoffe in diesen Teil der Untersuchungen mit einbezogen werden konnten.

Um den Feinstoffgehalt zu ermitteln, wurden zwei unterschiedliche Verfahren angewandt. Zum einen wurde die Differenz zwischen der Gesamtmasse aller Siebrückstände der Haindl-McNett-Fraktionierung einschließlich der Schlitzplatte und der eingesetzten Faserstoffmasse berechnet. Zum anderen erfolgte die Abtrennung des Feinstoffs mit einem Britt Dynamic Drainage Jar. Ausgangspunkt war hier ein Verteileransatz von 0,1 % Stoffdichte, dem eine 0,5 g otro Fasermaterial entsprechende Suspensionsmenge entnommen und diese mit $3 \times 0,5$ l Wasser im Britt-Gerät gewaschen wurde. Der Siebrückstand wurde anschließend getrocknet, gewogen und aus der Differenz zu den ursprünglichen 0,5 g Faserstoff der Feinstoffanteil berechnet. Das Ergebnis der beiden Feinstoffbestimmungen zeigt Abb. 30.

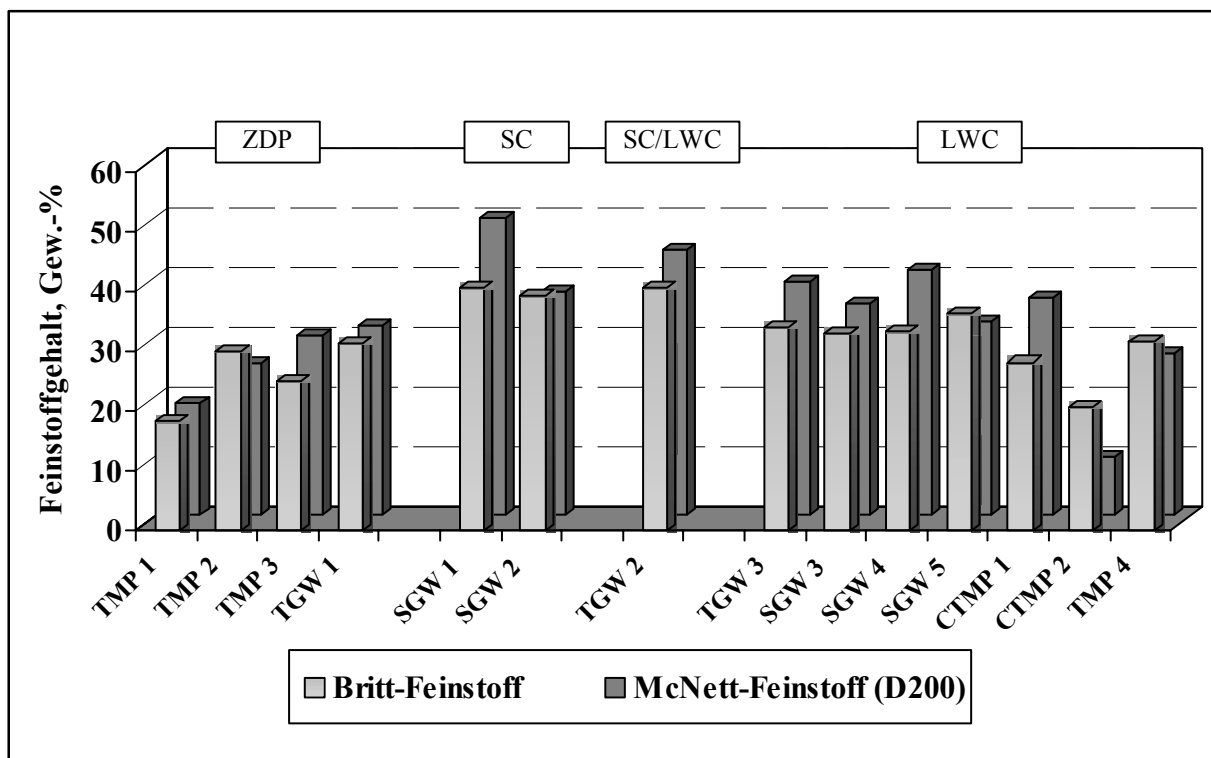


Abb. 30: Feinstoffgehalt der untersuchten Holzstoffe

Die Bedingungen, die während der Feinstoffabtrennung herrschten, waren für die beiden Verfahren unterschiedlich. Bei der Fraktionierung wurde über 20 min ein konstanter Volumenstrom von 10 l/min durchgesetzt. Gleichzeitig waren die Scherkräfte, die in den Zwischenbehältern des Fraktionators wirkten, relativ klein. Als Trennelemente kamen Siebe zum Einsatz, deren Maschen eine nahezu quadratische Geometrie aufwiesen. Das Sieb, das in der letzten Stufe den Fein- vom Faserstoff separierte, hatte eine lichte Maschenweite von ca. 78 µm.

Die Feinstoffabtrennung im Brittwäscher erfolgte im Gegensatz zum Fraktionator diskontinuierlich. Die Faser-/Feinstoffmischung wurde in jeweils 0,5 l Suspensionsvolumen vorgelegt und unter hoher Scherkrafteinwirkung über ein gelochtes Siebblech getrennt. Diese Löcher wiesen Durchmesser von ca. 76 µm auf. Der Waschvorgang wurde insgesamt viermal durchgeführt. Das Filtrat mit dem darin befindlichen Feinstoff wurde aufgefangen und diente als Ausgangsmaterial für die Untersuchungen der Partikelgrößenverteilung und des Strömungspotenzials. Das nicht durch das Sieb getretene Fasermaterial wurde getrocknet und gewogen. Aus der Differenz zu den eingewogenen 0,5 g ergab sich der Feinstoffanteil.

Wie Abb. 30 erkennen lässt, ergeben sich auf Grund der unterschiedlichen Trennverfahren Abweichungen für den berechneten Feinstoffgehalt, die Datensätze korrelieren jedoch mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,85$. Die höchsten Feinstoffgehalte zeigen erwartungsgemäß die Schliffr, während die TMP-Stoffe niedrigere Anteile aufweisen. Der sehr kleine Wert des CTMP 2 ist vermutlich zum Teil darauf zurückzuführen, dass dieser Stoff bereits einmal getrocknet und dabei ein Teil des Feinstoffs ausgewaschen wurde.

Der Feinstoffgehalt hat einen bedeutenden Einfluss auf die optischen Eigenschaften der Papiere.^{6,23} Das geht aus der Abb. 31 hervor, in der der Feinstoffanteil über dem dichtebezogenen Streukoeffizienten aufgetragen ist.

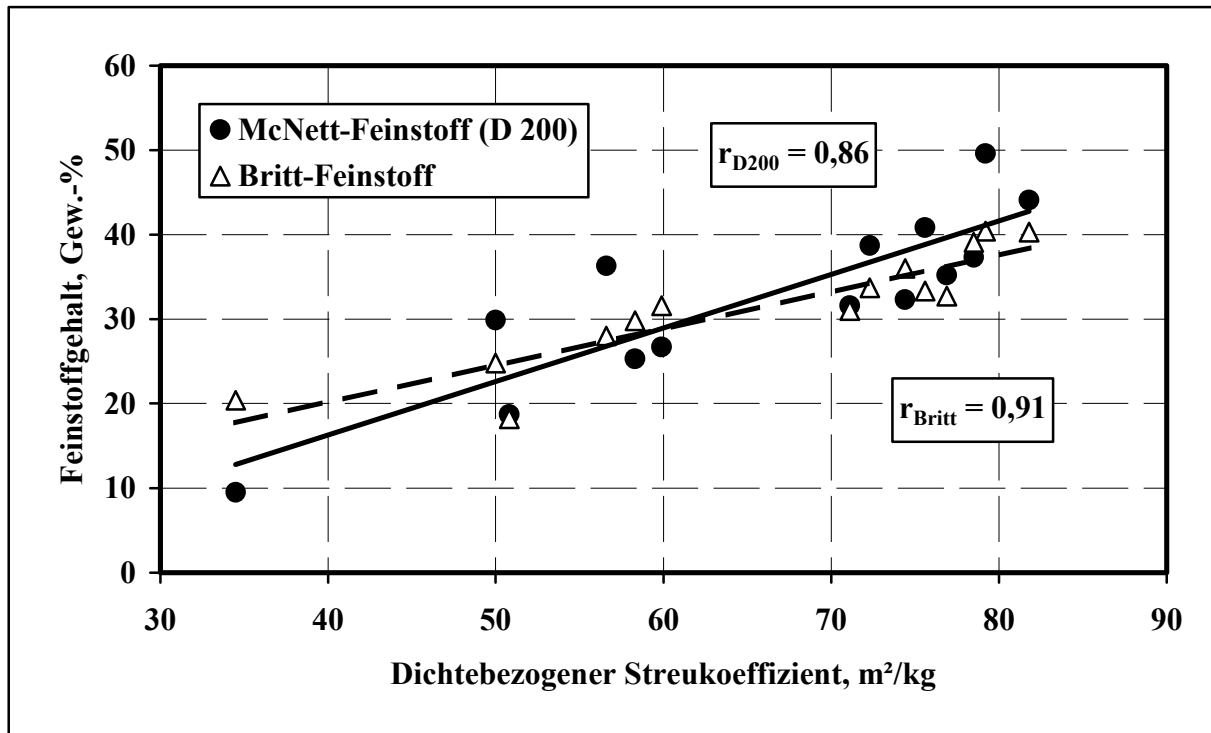


Abb. 31: Zusammenhang zwischen Feinstoffgehalt und Streukoeffizient (45 g/m²-Rückwasserblatt)

Je höher also der Feinstoffanteil ist, um so größer ist auch Streuvermögen des Papiers. Auch die Zusammensetzung des Feinstoffs sollte hier eine Rolle spielen, denn der Mehlstoff zeigt auf Grund seiner Struktur ein sehr viel größeres Streuvermögen als der Schleimstoff.²² Vermutlich unterscheidet sich jedoch bei den untersuchten Holzstoffen das Verhältnis zwischen Mehl- und Schleimstoff nicht allzu sehr voneinander, so dass dieser Effekt kaum zum Tragen kommt.

Umgekehrt wirkt sich die Feinstoff-Zusammensetzung auf die Festigkeitseigenschaften aus. Bei vorgegebenem Feinstoffgehalt führt ein höherer Anteil an Mehlstoff zu einer Reduzierung der Bruchkraft. Ursache ist der geringe Gehalt an flexiblen Fibrillen hoher Bindungsfähigkeit, welche dem Schleimstoff das große Festigkeitspotenzial verleihen.^{6,18,23,24} In Abb. 32 ist die Reißlänge als Funktion des Feinstoffgehalts aufgetragen.

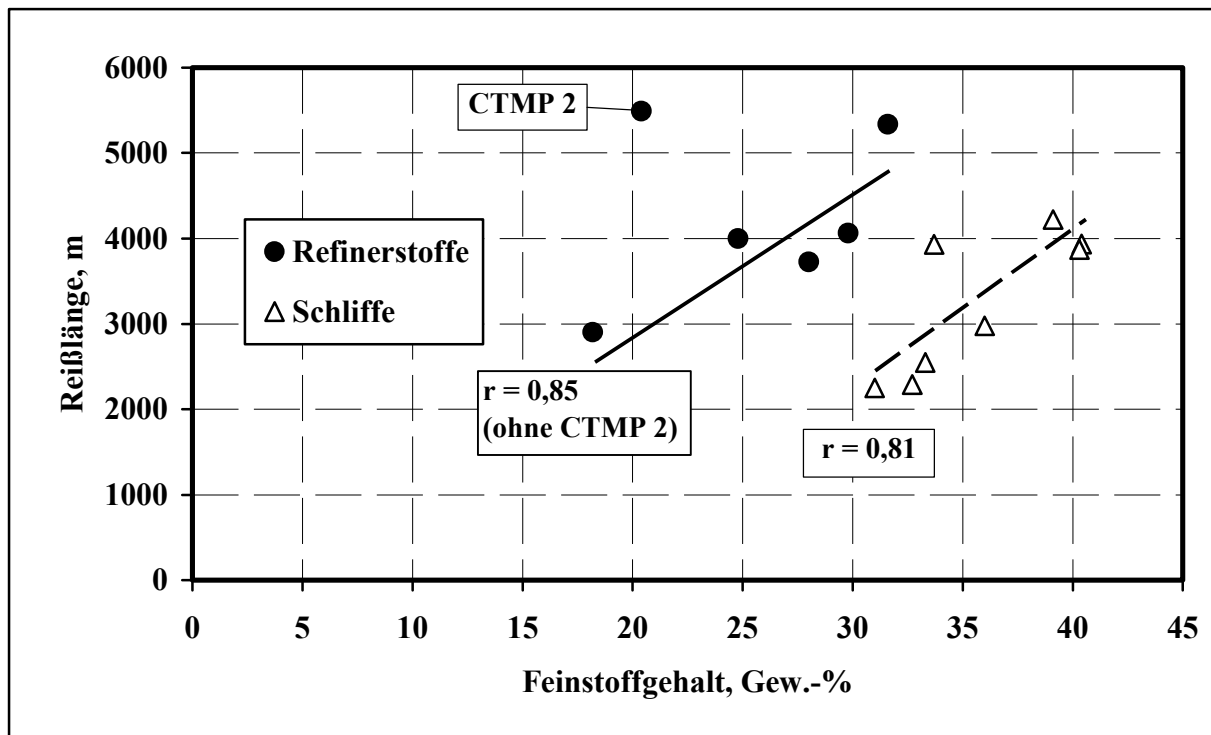


Abb. 32: Zusammenhang zwischen Reißlänge und Britt-Feinstoffgehalt

Es fällt auf, dass die Refinerstoffe bei gleichem Feinstoffgehalt eine höhere Reißlänge aufweisen, was aus den unterschiedlichen Bedingungen während der Defibrierung im Refiner, verglichen mit dem Schleifstein, resultiert. Die Schliffe zeigen einen recht engen Zusammenhang zwischen Reißlänge und Feinstoffgehalt, während bei den Refinerstoffen zunächst keine so klare Beziehung zu erkennen ist. Lässt man jedoch den CTMP 2 außer acht, ergibt sich auch für die Refinerstoffe eine deutliche Abhängigkeit. Dabei ist allerdings nicht eindeutig zu klären, inwieweit die Ergebnisse vom nicht bekannten Verhältnis von Mehl- zu Schleimstoff überlagert werden. Zu vermuten ist aber, dass sich dieses Verhältnis bei den untersuchten Holzstoffen, wie bereits ausgeführt, nicht so stark unterscheidet, so dass sich daraus gravierende Auswirkungen auf die entsprechenden Eigenschaften ergeben.

Das Verhalten des CTMP 2 ist wiederum ein Hinweis darauf, dass dieser Stoff seinen Holzstoffcharakter teilweise verloren hat. In Folge dessen liegt der Wert der Reißlänge sichtbar über denen der anderen Holzstoffe.

Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit der von Brecht und Klemm entwickelten Theorie des Grenzzustands.¹² Diese Theorie geht von der Annahme aus, dass es ein optimales Verhältnis zwischen Faser- und Feinstoff gibt, den so genannten Grenzzustand. Dieser Zustand ist

dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlräume zwischen den Formanteilen des Faserstoffs gerade mit Feinstoff ausgefüllt sind. Darüber hinaus gibt es aber keinen weiteren überschüssigen Feinstoff. Die Lage des Grenzzustands hängt von der Art sowohl des Faserstoffs wie auch des Feinstoffs ab. So benötigen schlanke, flexible Fasern weniger Feinstoff als grobe, starre Fasern. Ebenso ist eine Mischung aus langen und kurzen Fasern eher mit Feinstoff gesättigt als eine Fraktion allein. Da der Mehlstoff ein größeres spezifisches Volumen hat als der Schleimstoff, ist der Grenzzustand für einen bestimmten Faserstoff bei einem geringeren Feinstoffgehalt erreicht, wenn im Feinstoff der Mehlstoff überwiegt. Als wichtigster Parameter für seine Untersuchungen diente Brecht die initiale Nassfestigkeit, für die er ein optimales Verhältnis zwischen Faser- und Feinstoff, abgetrennt durch ein Sieb mit 50 Maschen/cm, von jeweils 50 % bestimmte. Auch für andere Messgrößen wie Reißlänge, Falzzahl und Weiterreißarbeit lässt sich ein solcher Grenzzustand bestimmen. Allerdings wird für diese Prüfungen auf Grund der unterschiedlichen physikalischen Vorgänge, die dabei wirken, das Optimum unter Umständen bei ganz anderen Verhältnissen erreicht. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch der Formcharakter der Fasern. So sollten schlanke, flexible Fasern mit Schleimstoff kombiniert werden, während grobe, starre Fasern wegen der größeren Hohlräume eher mit Mehlstoff in Verbindung zu bringen sind.⁴

Unter Zugrundelegung der Theorie des Grenzzustands lassen sich aus dem Verlauf der Reißlänge über dem Feinstoffgehalt (Abb. 32) einige Schlussfolgerungen ziehen. Geht man von der Annahme aus, dass die Schliche einen Feinstoff von ähnlicher Zusammensetzung haben, weist diese Darstellung auf einen optimalen Feinstoffgehalt hin, der noch über dem hier zu sehenden Höchstwert (ca. 40 %) liegt. Gleiches lässt sich auf die Refinerstoffe übertragen, bei denen jedoch wegen der abweichenden Faserlängenverteilung ein anderer optimaler Feinstoffgehalt zu erwarten ist. Die hohe Reißlänge des CTMP 2 schließlich erklärt sich neben der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung des Faserstoffs aus seinem Feinstoff, der vermutlich einen deutlich größeren Schleimstoffanteil besitzt und so zu höherer Festigkeit führt. Eine weiterer Faktor könnte die alkalische Vorbehandlung dieses Stoffs sein. Wahrscheinlich werden die bei der Holzstofferzeugung freigesetzten Extraktstoffe während verschiedener Prozessstufen aus dem Prozesswasser wieder auf den Holzstoff zurückgefällt, und zwar bevorzugt auf die Feinstoffe. Ein steigender Gehalt an Extraktstoffen an der Oberfläche der Faser- und Feinstoffe senkt die Bruchkraft annähernd linear.²⁵ Gelingt es nun, diese Zurückfällung zu unterdrücken oder die gefällten Extraktstoffe zu neutralisieren, wie es durch ein alkalisches Milieu möglich sein sollte, könnte ein Abfall der Festigkeit vermieden werden.

Die Feinstoffe der untersuchten Holzstoffe unterscheiden sich auch in der Teilchengröße. Abb. 33 zeigt die mit dem Coulter-Gerät für die mittlere Partikelgröße ermittelten Werte.

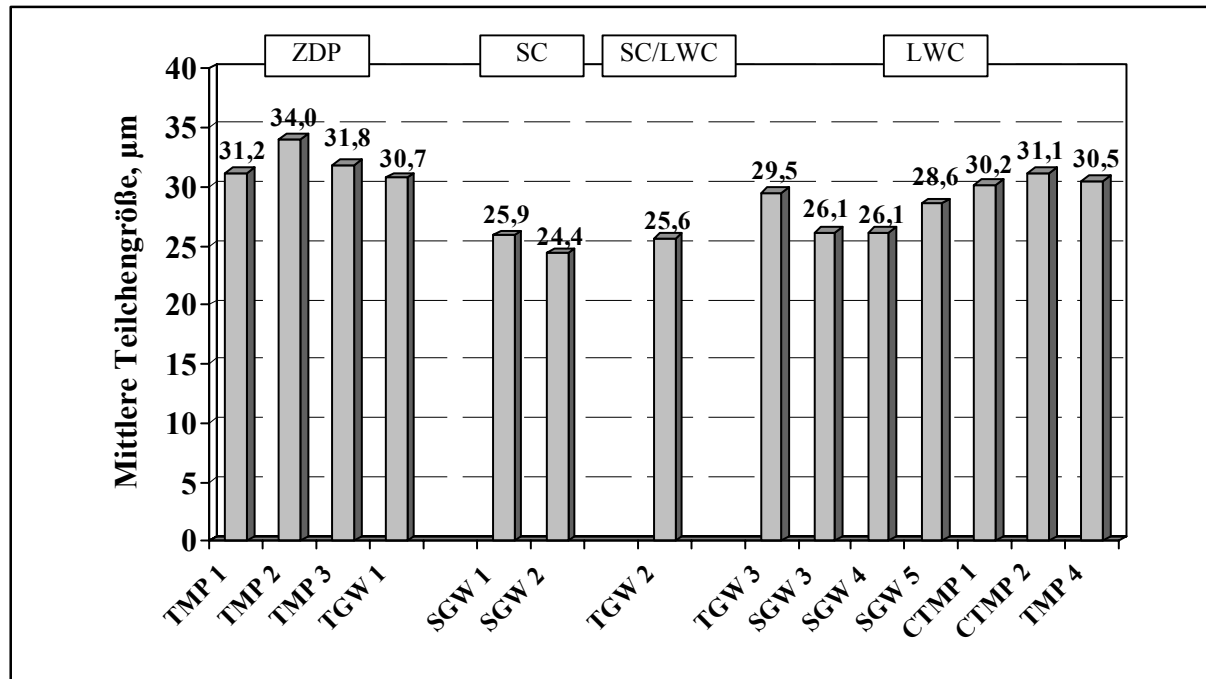


Abb. 33: Mittlere Teilchengröße (Medianwert) des Britt-Feinstoffs

Obwohl also die Feinstoffe mit demselben Trennelement vom Faserstoff separiert wurden, nämlich einem Blech mit Löchern von 76 µm Durchmesser, ergeben sich für die mittlere Teilchengröße erheblich voneinander abweichende Werte. Zur Verdeutlichung sind in Abb. 34 und Abb. 35 die Partikelgrößenverteilungen jeweils eines Refinerstoffs und eines Schliffs, die etwa die gleiche Freeness aufweisen, dargestellt.

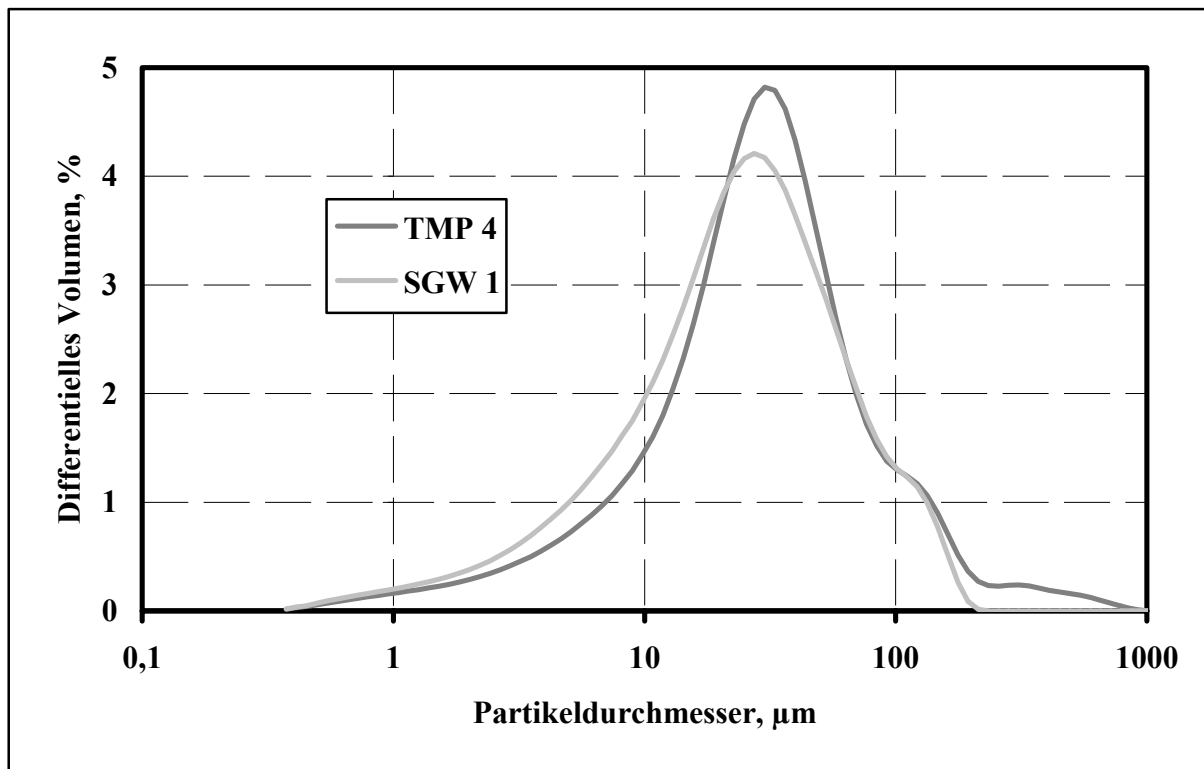


Abb. 34: Partikelgrößenverteilung des Britt-Feinstoffs von TMP 4 und SGW 1

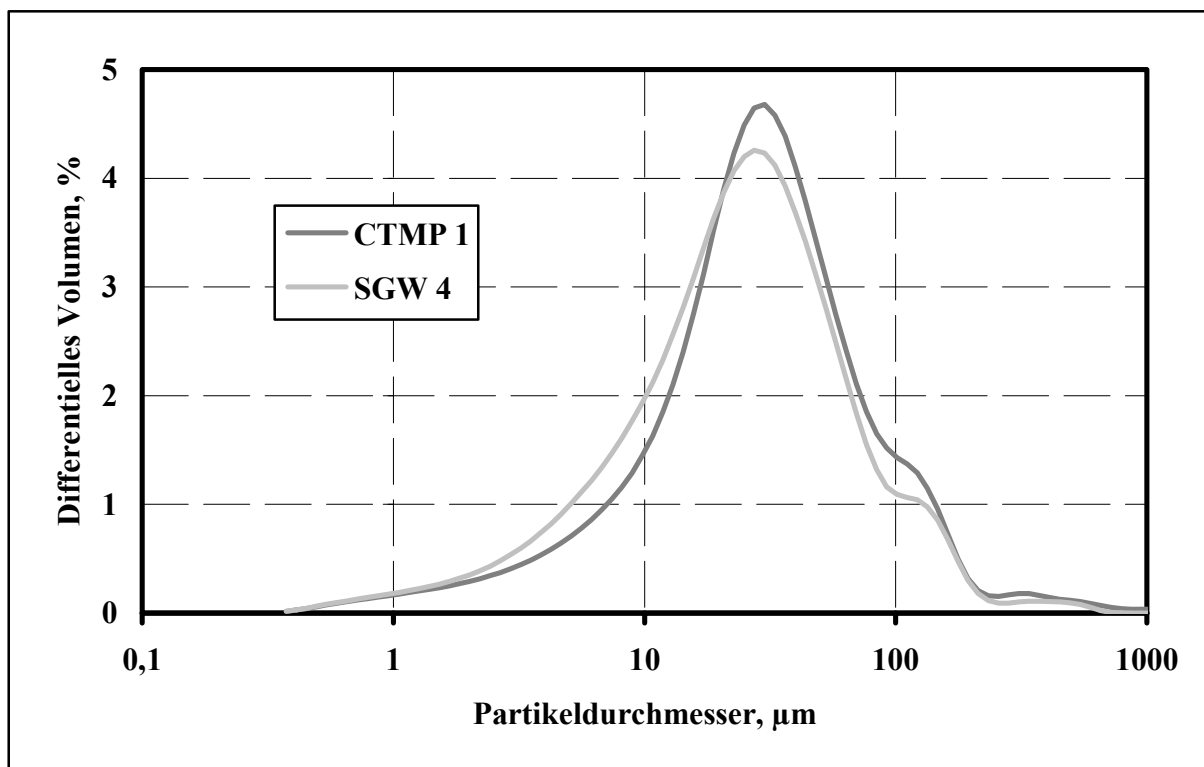


Abb. 35: Partikelgrößenverteilung des Britt-Feinstoffs von CTMP 1 und SGW 4

Gut zu erkennen ist der steilere Anstieg der Kurven der Refinerstoffe aus dem Bereich kleinerer Teilchengrößen sowie das ausgeprägtere und zu größeren Abmessungen verschobene Ma-

ximum der Kurvenzüge. Die grundsätzlichen Unterschiede im Herstellungsverfahren bedingen demnach ein abweichendes Partikelgrößenspektrum des Feinstoffs. Im Schleifprozess wirken die Kräfte senkrecht zur Faserachse, während die Fasern zwischen den Mahlscheiben im Refiner eher in Richtung der Längsachse belastet werden.²³ Dieser Unterschied führt dazu, dass sich im Holzschliff mehr feine und feinste Teilchen finden als im TMP-Stoff und der Kurvenzug der Partikelgrößenverteilung eine flachere und breitere Form annimmt.

Für die Bindungsfähigkeit spielt auch der Ladungszustand der Partikel eine Rolle. Ein höherer Gesamt-Ionengehalt führt zu einer verstärkten Quellung und Flexibilisierung der Fasern. Eine höhere Oberflächenladung steigert hingegen die spezifische Bindungskraft, da hierbei pro Längen- oder Flächeneinheit mehr Bindungen ausgebildet werden können.¹¹ Im Gegensatz zum Zellstoff, der während des Aufschlusses gravierende chemische Änderungen erfährt, wird der Gesamt-Ionengehalt des Holzstoffs im Verlauf des Aufbereitungsprozesses nicht wesentlich geändert. In Folge dessen wird eine Zellstoffsuspension andere Ladungsverhältnisse aufweisen als eine Holzstoffsuspension. Mit Hilfe eines Partikelladungsdetektors können diese Unterschiede an Hand des bis zum Ladungsneutralpunkt verbrauchten Titrimittels verdeutlicht werden. Wegen der niedrigeren Ladung weist Zellstoff einen erheblich geringeren Titrimittelverbrauch auf als Holzstoff.²⁶ Die untersuchten Holzstoffe der verschiedenen Herstellungsverfahren lassen dagegen keine so ausgeprägten Unterschiede erkennen, wie die Titrationskurven in Abb. 36 belegen.

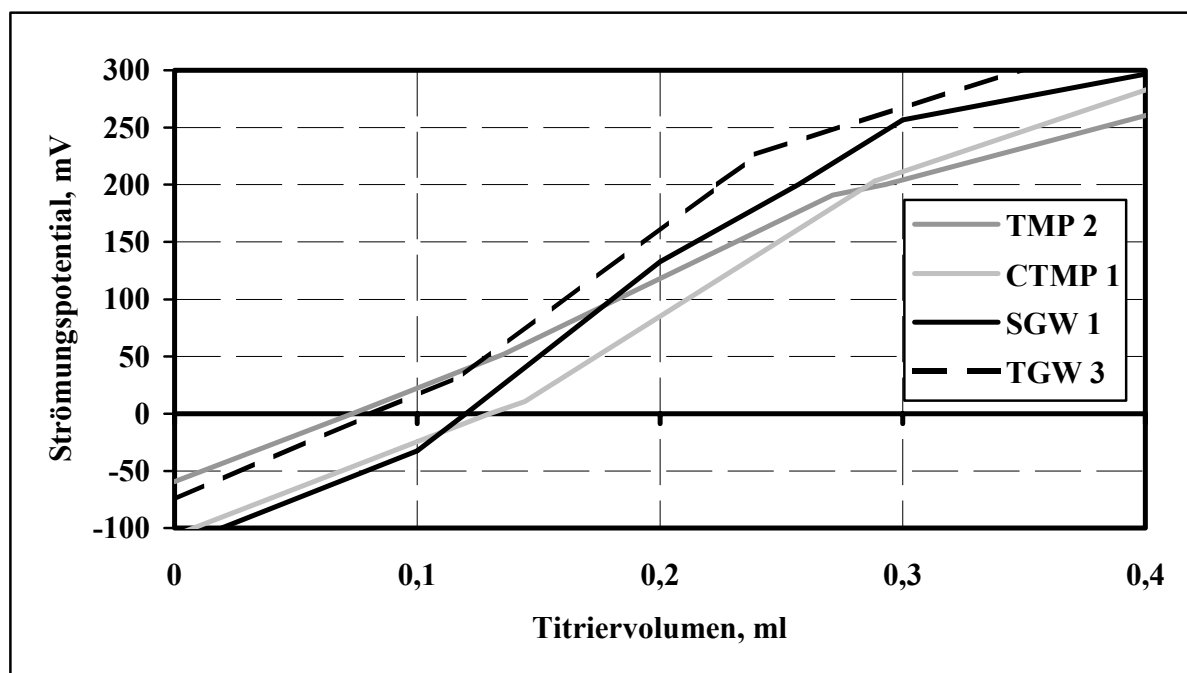


Abb. 36: Titrationskurven ausgewählter Holzstoffe

Analysiert wurde die bei der Britt-Wäsche anfallende Feinstofffraktion. Wie zu erwarten, wiesen alle Proben ein mehr oder weniger deutlich ausgeprägtes negatives Strömungspotenzial auf. Entscheidend ist der Verbrauch an kationischem Titriermittel, das bis zum Erreichen des Ladungsneutralpunkts (Strömungspotenzial = 0 mV) zugegeben werden muss. Hier lassen sich unter den verschiedenen Holzstoffen keine signifikanten Unterschiede erkennen. Auch der weitere Verlauf der Kurven im Bereich positiver Strömungspotenziale hat für alle Proben eine vergleichbare Form. Das legt den Schluss nahe, dass die Feinstoffe sich hinsichtlich ihres Ladungszustands bzw. ihrer Oberflächenladung trotz der unterschiedlichen Herstellungsverfahren kaum voneinander unterscheiden.

Um eine qualitative Aussage über das Verhältnis von Schleim- zu Mehlstoff im Feinstoff machen zu können, wird ein Verfahren benötigt, das auf den unterschiedlichen physikalischen oder chemischen Eigenschaften der verschiedenen Fraktionen basiert. Hier bietet sich die Möglichkeit, die großen Unterschiede im Filtrationswiderstand auszunutzen, die sich aus der stark fibrillösen Struktur des Schleimstoffs ergeben. Mit Hilfe einer Sedimentation lässt sich daher ein Hinweis auf den Anteil fibrillösen Materials im Feinstoff finden.^{4,18,27}

Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedene Feinstoffproben bei der PTS in Heidenau mit Hilfe einer Spezialzentrifuge mit optischer Sedimentmessung hinsichtlich ihrer Wertigkeit untersucht. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

Zunächst zeigt Abb. 37 die Sedimentationsverläufe, wie sie von der CCD-Kamera der Zentrifuge aufgenommen wurden. Aus diesen Kurven wurden Kennwerte abgeleitet, die in Abb. 38 und Abb. 39 dargestellt sind. Diese Kennwerte sind wie folgt definiert:

$t_{\max}$: Zeitpunkt, an dem sich die Trennschicht zwischen sedimentierendem, lichtundurchlässigem Feinstoff und lichtdurchlässigem Suspensionsmittel (Wasser) messbar ausbildet

t_{75} : Zeitpunkt, an dem die aktuelle Sedimenthöhe während der Zentrifugation 75 % beträgt

t_{50} : Zeitpunkt, an dem die aktuelle Sedimenthöhe während der Zentrifugation 50 % beträgt

t_{25} : Zeitpunkt, an dem die aktuelle Sedimenthöhe während der Zentrifugation 25 % beträgt

Sediment A: Fläche unter der Sedimentationskurve, die wie folgt berechnet wird:

$$A = \sum_{t_n = t_{\max}}^{t_{\text{end}}-1} h_{t_n} \times (t_{n+1} - t_n)$$

mit A: Sediment A in s×mm

t_{end} : zeitlich letzter Messwert

t_n : Messwert zum Zeitpunkt n in s

h_{t_n} : Sedimenthöhe zum Zeitpunkt t_n in mm

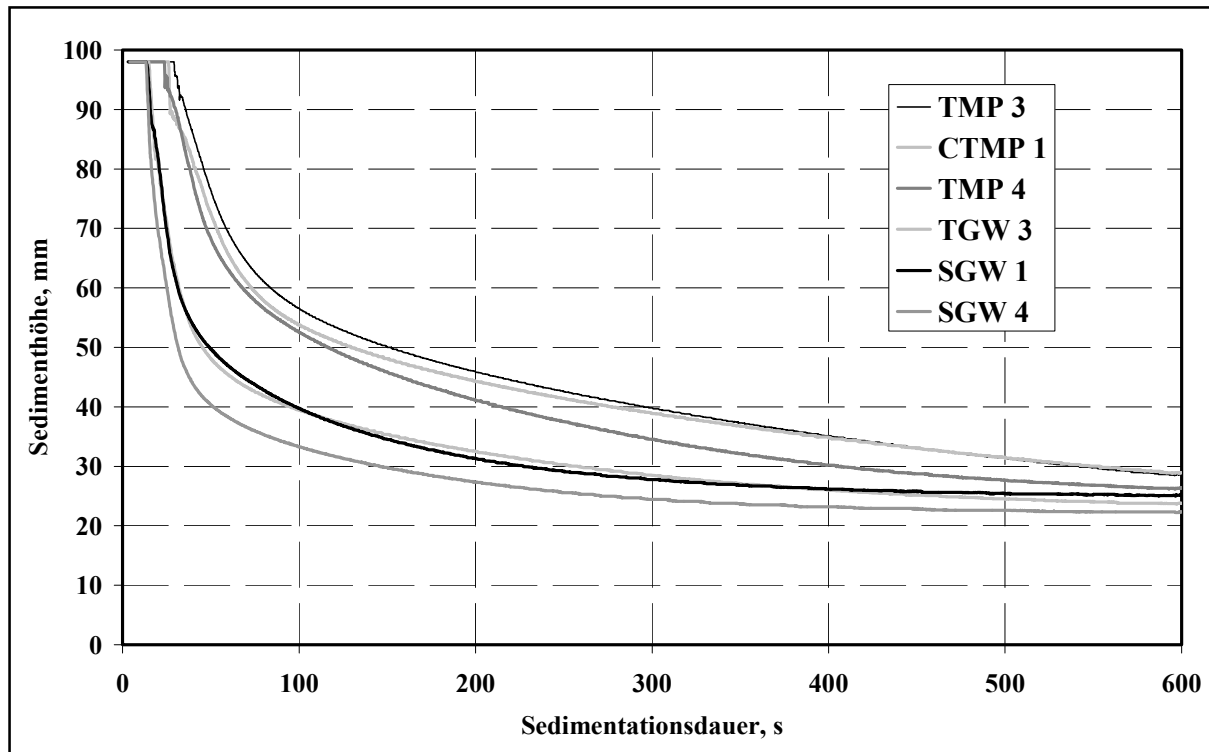


Abb. 37: Sedimentationsverläufe der Feinstoffproben

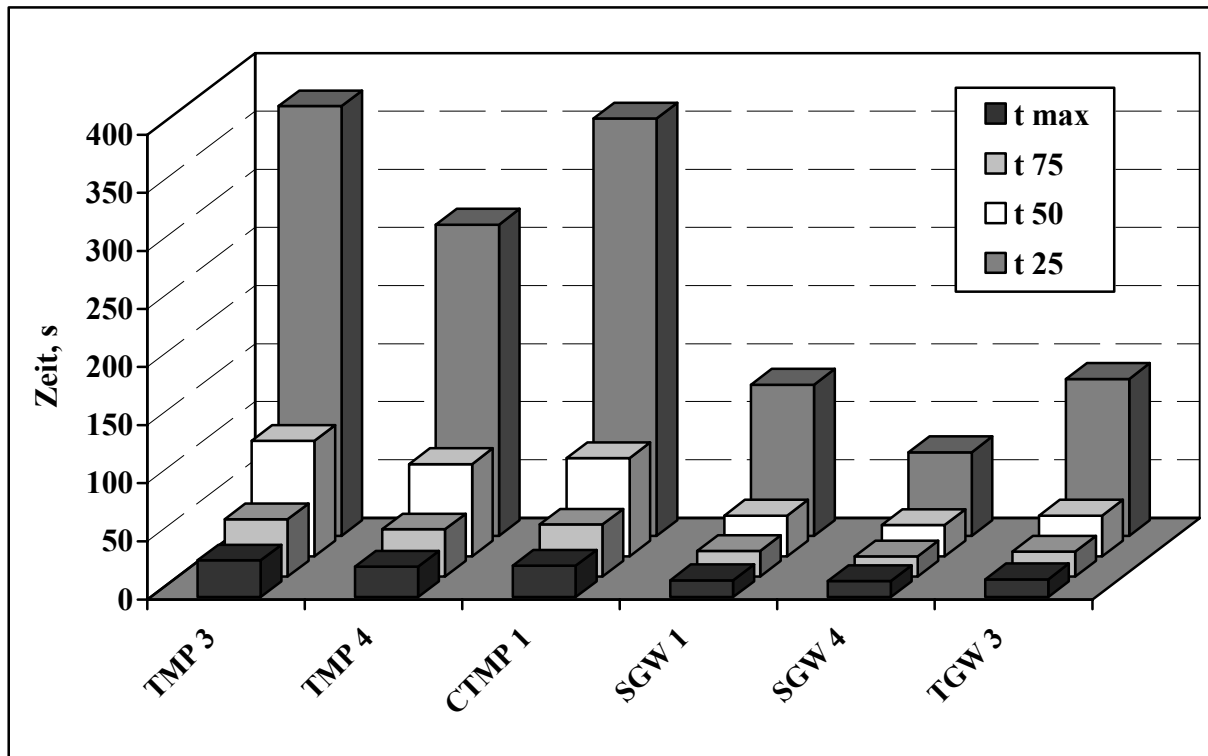


Abb. 38: Zeit-Kennwerte der Sedimentationskurven

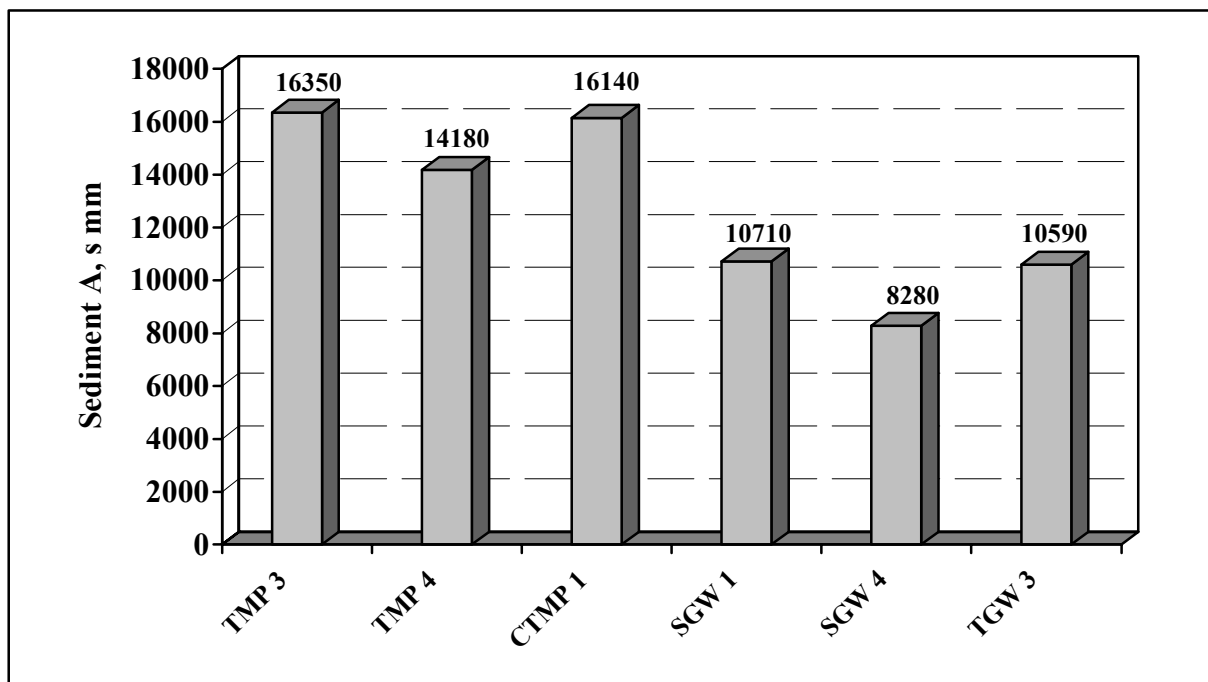


Abb. 39: Kenngröße Sediment A der Feinstoffproben

Die Abbildungen lassen einen klaren Unterschied zwischen Refinerstoff und Holzschliff erkennen. Der Feinstoff der Schliffe sedimentiert im Vergleich zu den Refinerstoffen deutlich schneller und führt daher zu signifikant geringeren Werten der Kenngröße Sediment A. Die

Wertigkeit der Schliff-Feinstoffe ist somit als erheblich geringer einzustufen als die der Refiner-Feinstoffe. Die Schlussfolgerung lautet, dass in den Refiner-Feinstoffen ein höherer Anteil an Schleimstoff vorzufinden ist als in den Feinstoffen der Schläffe. Eine Betrachtung des Energieeintrags (Abb. 40) gibt auch keinen eindeutigen Hinweis, worauf dies letztendlich zurückzuführen ist.

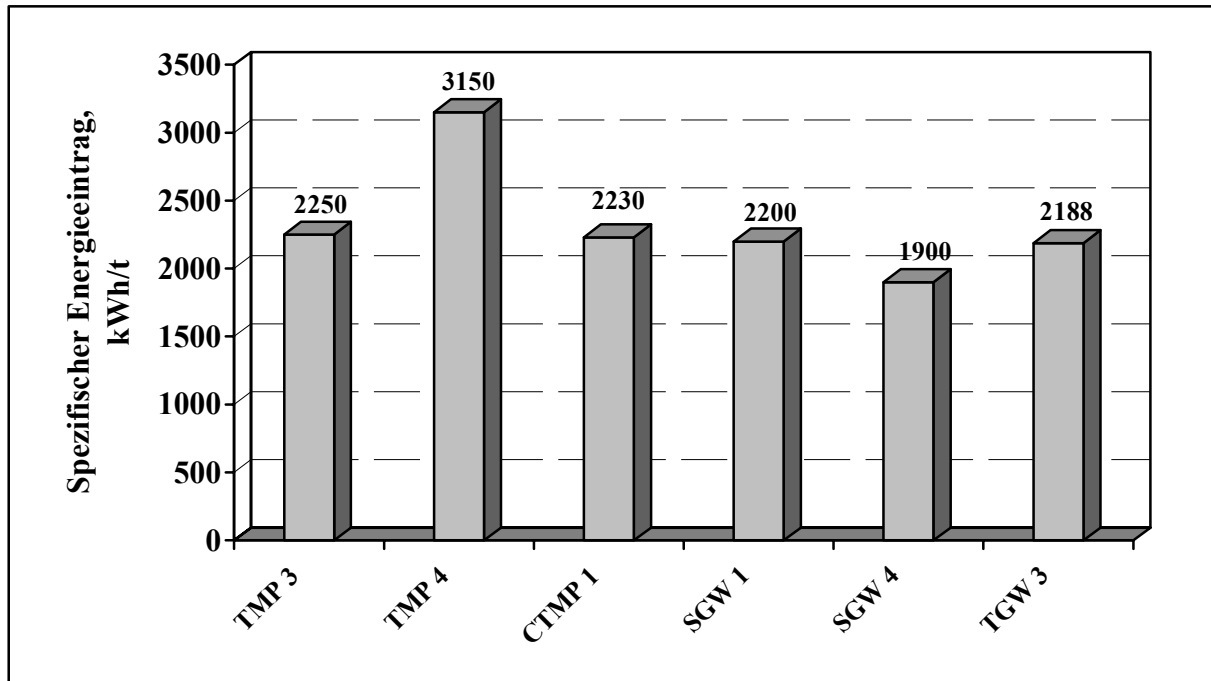


Abb. 40: Spezifischer Energieeintrag während der Holzstoffaufbereitung

Mit Ausnahme des TMP 4 liegen die Energieeinträge auf annähernd gleichem Niveau. Die intensive Nachmahlbehandlung des TMP 4 schlägt sich in einer deutlich höheren Energiezufuhr nieder. Gerade dieser Stoff zeigt aber unter den Refinerstoffen die geringste Wertigkeit des Feinstoffs. Ob daraus gefolgert werden kann, dass die Nachmahlung der Qualität des Feinstoffs abträglich ist, darf allerdings bezweifelt werden. Vielmehr führte die Nachmahlung im Fall des TMP 4 zu einer effektiven Reduzierung des Langfasergehalts und der Coarseness, verbunden mit einer starken Fibrillierung und einem hohen Festigkeitspotential der Fasern. Da außerdem auch die Schläffe einen Rejektrefiner passiert haben, ist eher zu vermuten, dass das entscheidende Kriterium für die Art des Feinstoffs das Verfahren der Faservereinzellung ist. Geschieht das an einem Schleifstein, ergibt sich ein Feinstoff mit einem höheren Mehlstoffanteil, im Refiner wird hingegen anscheinend bevorzugt Schleimstoff erzeugt. Ob und wie das Verhältnis zwischen Mehl- und Schleimstoff durch eine Nachmahlung gerade bei den Schläffen beeinflusst werden kann, lässt sich aus dem vorliegenden Datenmaterial nicht ablei-

ten. Grundsätzlich sollte es aber durch das Post-Refining möglich sein, das Verhältnis zu Gunsten des Schleimstoffs zu verschieben.^{22,24}

3.6 SC-Papiere

Um Hinweise auf die Auswirkungen der unterschiedlichen Holzstoffe in einer Faserstoffmischung zu erhalten, wurden mit ausgewählten Stoffen Laborblätter in einer Zusammensetzung hergestellt, die einer typischen SC-Mischung entspricht. Der Holzstoff stellte mit 55 % den größten Anteil, hinzu kamen 15 % gebleichter Langfaser-Sulfatzellstoff sowie 30 % Kaolin als Füllstoff. Auf eine Zugabe von Deinkingstoff wurde verzichtet, um die Einflüsse der Holzstoffe nicht durch andere Effekte zu überdecken. Obwohl die meisten der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Holzstoffe für den Einsatz in LWC-Papieren gedacht waren, fiel die Entscheidung, welche Papierqualität im Labormaßstab produziert und geprüft werden soll, auf SC-Mischungen. Diese Wahl ist aus verschiedenen Gründen gerechtfertigt. Zunächst brächte ein Strichauftrag weitere Variablen in das System ein, so dass sich im fertigen Papier u. U. mehrere Einflussfaktoren überlagern und die Ursachen der Veränderungen sich nicht mehr eindeutig einem Parameter zuordnen lassen. Ferner wären die Papiere durch den Strich mehr oder weniger nivelliert, was ebenfalls nicht im Sinne der Untersuchung wäre. Schließlich hat sich gezeigt, dass die Holzstoffe für SC- und LWC-Papiere in nahezu jeder Hinsicht sehr ähnliche Eigenschaften aufweisen. Einer der Stoffe (TGW 2) kommt sogar bei der Produktion beider Papiersorten zum Einsatz.

Für diesen Teil der Untersuchungen wurden die Zeitungsdruck-TMP-Stoffe nicht berücksichtigt, da die langen, steifen Fasern dieser Stoffe keine konkurrenzfähigen SC-Blätter ergeben hätten. In die Prüfungen mit einbezogen wurde hingegen TGW 1, der zwar auch für Zeitungsdruckpapier eingesetzt wird, dessen Zusammensetzung aber durchaus verwertbare Laborblätter erwarten ließ. Alle anderen Holzstoffe bildeten die Basis dieses Untersuchungsabschnitts.

Die wichtigsten Kriterien eines Druckpapiers sind die Erzielung guter Be- und Verdruckbarkeit. Letztere ist in erster Linie durch die statischen und dynamischen Festigkeiten des Papiers bestimmt und stellt für alle Druckverfahren und Papiersorten an diese Eigenschaften vergleichbare Anforderungen. Welche Charakteristika ein Papier hingegen zur Bereitstellung einer guten Bedruckbarkeit aufweisen sollte, hängt stark vom jeweiligen Druckverfahren ab. Da SC-Papiere im Wesentlichen im Tiefdruckverfahren bedruckt werden, ist an diese Papiere die Forderung nach hoher Glätte, guter Benetzbarkeit sowie guter Kompressibilität zu stellen. Um

zu einem guten Druckbild zu gelangen, sollte das Motiv gleichmäßig und ohne Fehlstellen auf dem Papier erscheinen. Zur Beurteilung dieser Faktoren dienen die Parameter Mottling sowie Missing Dots, die von den angefertigten Probedrucken gemessen wurden.

Die im Labor angefertigten SC-Blätter wurden vor dem Druck mittels eines Tischkalenders geglättet. Das Ziel dieses Verfahrensschritts bestand nicht in der Erzielung einer möglichst hohen Glätte, sondern in einer hohen Gleichmäßigkeit der Glättewerte aller Proben, um für den anschließenden Druck vergleichbare Ausgangsbedingungen zu schaffen. Das Ergebnis der Glättemessung ist in Abb. 41 zu sehen.

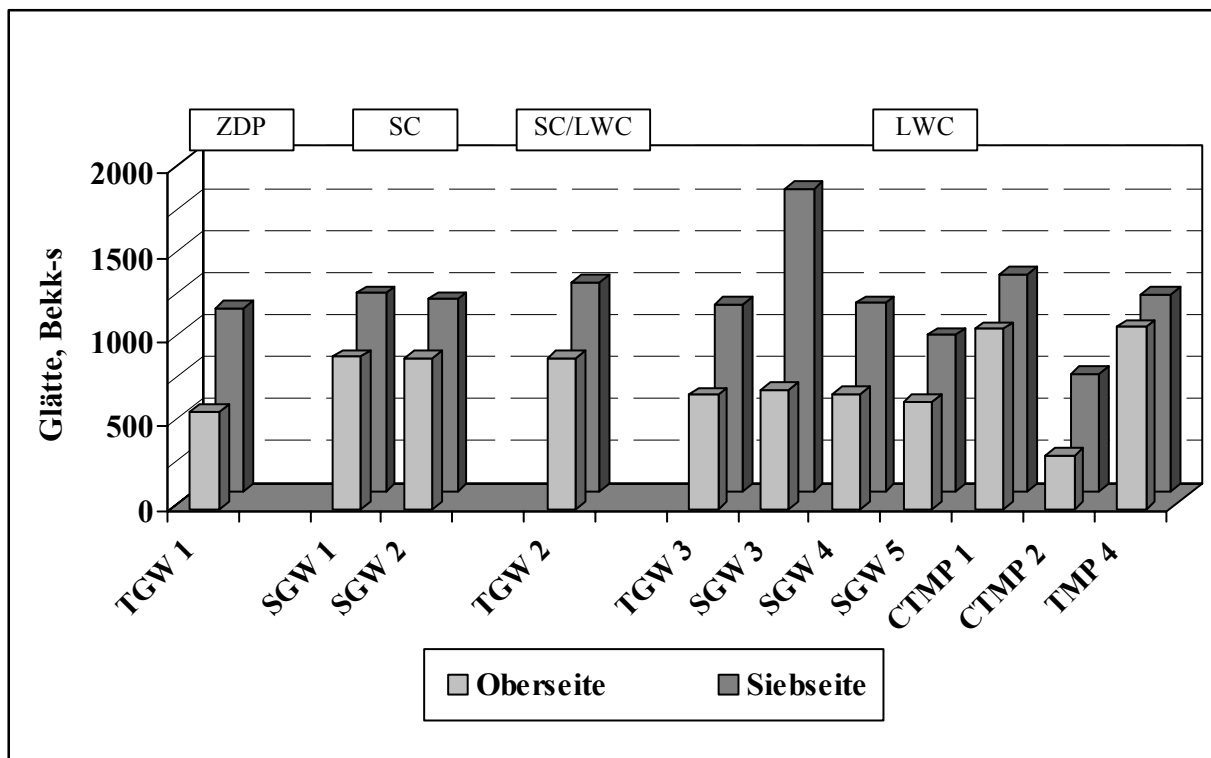


Abb. 41: Glätte der kalandrierten SC-Laborblätter

Die Unterschiede zwischen Ober- und Siebseite sind auf die ungleichmäßige Verteilung des Fein- und Füllstoffs über den Querschnitt zurückzuführen. Während des Blattbildungsvorgangs, der im Wesentlichen einer Filtration entspricht, reichern sich die kleinsten Partikel an der Siebseite an. Im Verdichtungsprozess der Satinage kann so auf dieser Seite eine homogenere Oberflächenstruktur erreicht werden, was sich in höheren Glättewerten niederschlägt.

Die geringen Werte des CTMP 2 sind vermutlich die Folge des geringen Feinstoff- sowie hohen Langfaseranteils dieses Stoffs, wodurch im Vergleich zu den übrigen Stoffen eine weniger geschlossene Oberfläche entsteht. Ähnliches dürfte auch für die Oberseite der TGW 1-

Blätter gelten. Die relativ groben, wenig fibrillierten Fasern haben eine rauere Struktur zur Folge. Die Glätte der Siebseite zeigt dagegen, bedingt durch den Einfluss der Fein- und Füllstoffe, keine Auffälligkeit.

Interessant ist das Verhalten der Blätter, die CTMP 1 bzw. TMP 4 beinhalten. Auf der Oberseite lassen diese Papiere deutlich höhere Glättewerte erkennen als alle anderen Proben. Das ist als Folge des hohen Fibrillierungsgrads dieser Stoffe aufzufassen. Durch die starke Fibrillierung können die Fasern untereinander ein sehr dichtes Geflecht ausbilden, das die einzelne Faser stark an die Matrix bindet.⁶ Daher sind kaum ungebundene Faserenden vorhanden, die über die Oberfläche hinausragen und die Glätte beeinträchtigen könnten. Auf der vom Fein- und Füllstoff dominierten Siebseite kommt dieser Effekt dagegen nicht zum Tragen.

Die außerordentlich hohe Glätte des SGW 3-haltigen Papiers auf der Siebseite mit nahezu 1.800 Bekk-s ist angesichts der Unauffälligkeit der Oberseite nicht erklärbar und kann nicht weiter kommentiert werden.

Im Vergleich zu reinen Holzstoffblättern wird durch die Zugabe von Zellstoff und Füllstoff, aber natürlich vor allem nach der Satinage die Dichte des Papiers ganz erheblich erhöht. Das kommt auch durch eine drastische Reduzierung der Porosität zum Ausdruck, die in Abb. 42 dargestellt ist (vgl. Abb. 11: Porosität der Holzstoff-Laborblätter).

Der relativ geringe Fibrillierungsgrad von TGW 1 sowie SGW 3 und 4 resultiert in einem Blattgefüge, das im Vergleich zu den stärker fibrillierten Stoffen mehr Hohlräume und Kanäle enthält, die die Luft durchströmen kann. Wie wichtig ein ausreichend hoher Feinstoffanteil ist, beweist das Beispiel des CTMP 2, bei dem anscheinend nicht genügend kleine Partikel präsent sind, um die Lücken im Papiergefüge hinreichend aufzufüllen. Als Folge ergibt sich die höhere Luftdurchlässigkeit.

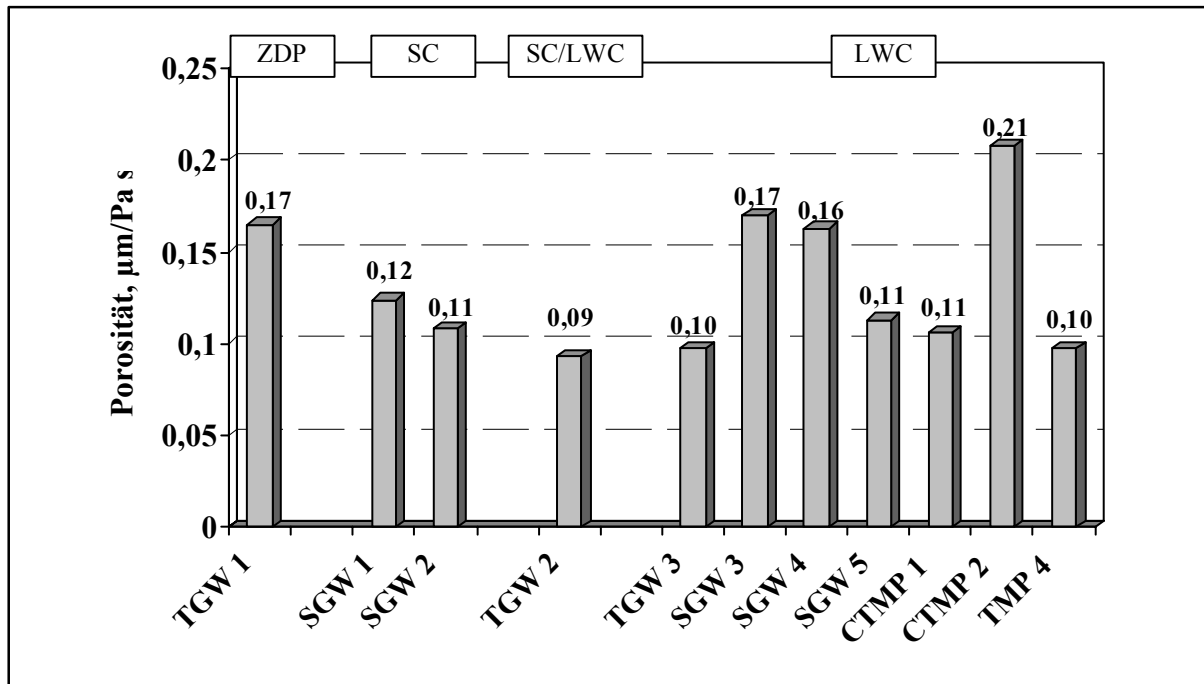


Abb. 42: Porosität der kalandrierten SC-Laborblätter

Die Komprimierbarkeit eines SC-Papiers, also die Verformbarkeit in Dickenrichtung, ist die Voraussetzung dafür, dass die Tiefdruckfarbe von der Druckform auf das Papier übertragen werden kann. Um diesen Parameter näher zu beleuchten, wurden die unsatinierten Papiere mit Hilfe einer hydraulischen Handpresse punktuell belastet. Der im Pressspalt herrschende Druck wurde so gewählt, dass er annähernd dem in einem Superkalender auftretenden entsprach. Aus der Dickendifferenz vor und nach der Belastung wurde dann der Dickeverlust berechnet. Ferner wurde an diesen Proben auf bildanalytischem Weg der Schwarzsatinage-Index ermittelt.

Der relative Dickenverlust, den die SC-Papiere durch die Pressung erlitten haben, ist in Abb. 43 dargestellt. Man erkennt, dass alle Papiere durch die Pressung etwa die Hälfte ihrer Dicke einbüßen. Die Ausnahme stellt auch hier CTMP 2 dar. Zwar lag die Dicke dieses Papiers bereits im unbelasteten Zustand geringfügig niedriger als die der übrigen, der Unterschied der Komprimierbarkeit ist aber offensichtlich. Hier dürfte die chemische Zusammensetzung eine große Rolle spielen, denn der partielle Verlust des Lignins, den der CTMP 2 zweifellos erfahren hat, hat eine größere Flexibilität sowie ein besseres Kollapsvermögen der Fasern zur Folge. Daraus wiederum resultiert ein dichteres Blatt unmittelbar nach der Erzeugung, das kaum noch weiter verdichtet werden kann, da die Fasern zum größten Teil bereits kollabiert sind.

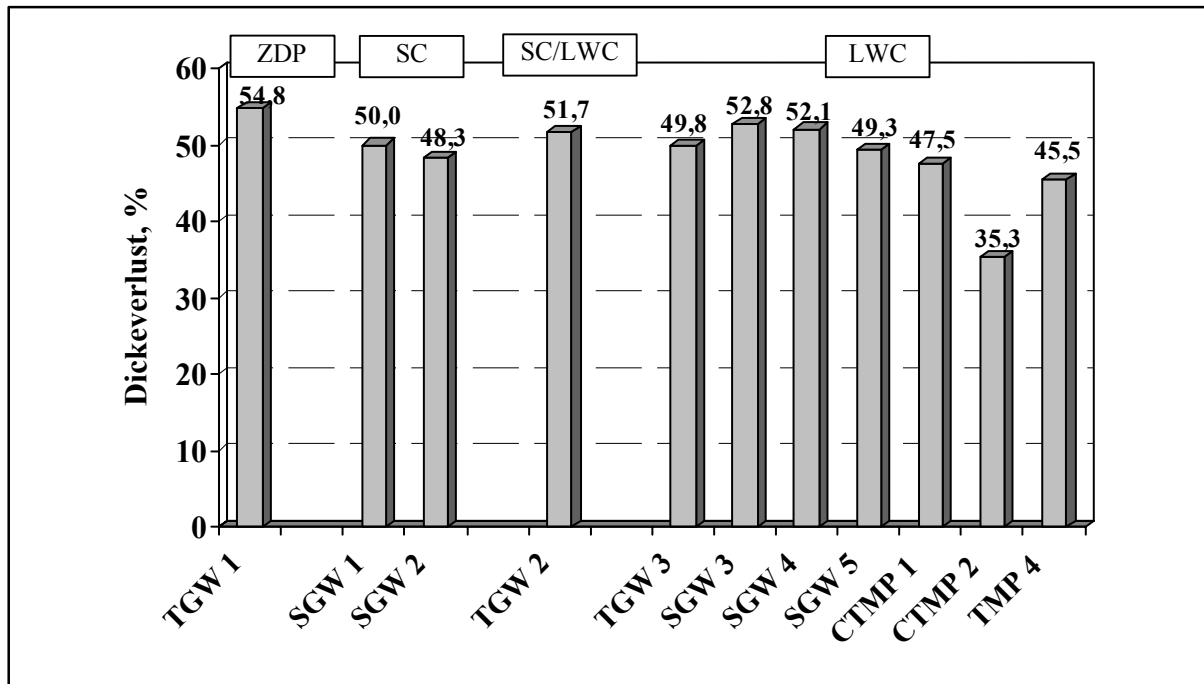


Abb. 43: Relativer Dickenverlust der unkalandrierten SC-Papiere nach statischer Pressung

Dass die Holzstoffkomponente für die Komprimierbarkeit der dominierende Faktor ist, demonstriert Abb. 44. Hier ist der Dickenverlust der SC-Blätter über dem der reinen Holzstoffblätter dargestellt, die in der gleichen Weise gepresst wurden.

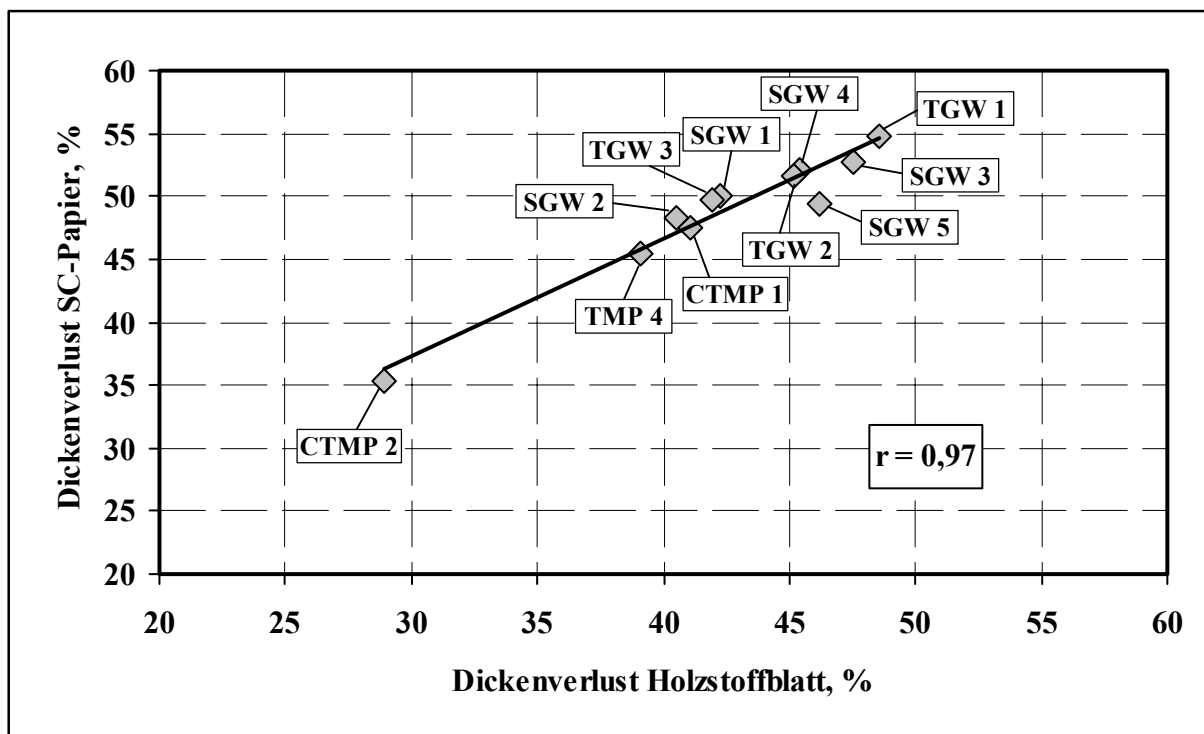


Abb. 44: Zusammenhang zwischen relativem Dickenverlust der SC- und der Holzstoffblätter

Wie die Grafik erkennen lässt, besteht eine klare Abhängigkeit der Dickenverluste in den verschiedenen Papierqualitäten. Der Unterschied liegt einzig darin, dass die Werte der SC-Papiere um etwa 7 % höher liegen. Auch das CTMP 2-haltige SC-Papier macht hier keine Ausnahme, da die Dickenverluste lediglich auf niedrigerem Niveau liegen. Die Beobachtung, dass die SC-Papiere allgemein eine stärkere Dickenreduzierung erfahren, erklärt sich aus der geringeren Elastizität, die diese Papiere aufgrund der partiellen Substitution des Holzstoffs durch Zellstoff und Füllstoff aufweisen. Unter gleicher Belastung kann das SC-Papier daher intensiver komprimiert werden.

Ein Phänomen, das mit der Komprimierung im Kalandrieren einhergehen kann, ist die Schwarzsatinage. Darunter ist der weitgehende (lokale) Opazitätsverlust zu verstehen, der das Papier dunkel erscheinen lässt. Dieser Effekt tritt bevorzugt an Faserkreuzungspunkten auf, wo in Folge hoher lokaler Verdichtung die Zahl lichtstreuender Grenzflächen rapide abnimmt. Das Maß für die Ausprägung einer Schwarzsatinage ist quantitativ mit Hilfe des Schwarzsatinage-Index beschreibbar. Dieser wurde für alle SC-Papiere mit dem am IfP vorhandenen Bildanalysator ermittelt (Abb. 45) (Einzelheiten zum Messverfahren finden sich in der Publikation von Praast und Götsching²⁸).

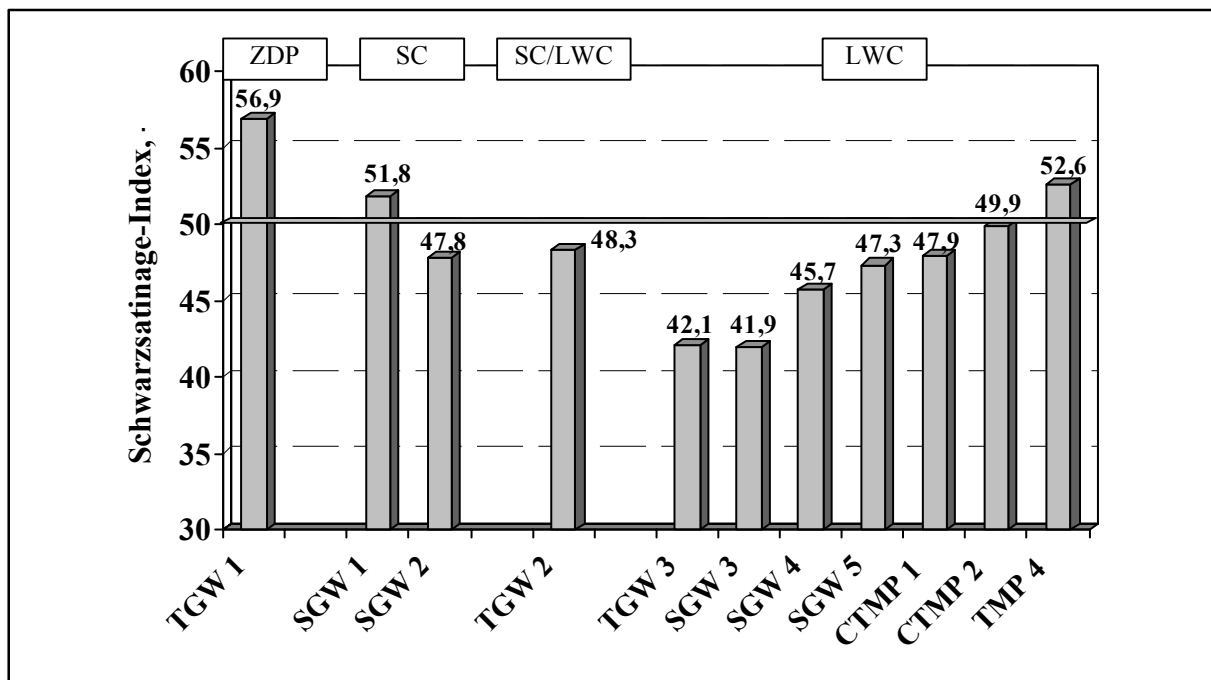


Abb. 45: Schwarzsatinage-Index der SC-Papiere

Bei einem Wert des Schwarzsatinage-Index von mehr als 50 spricht man von einer Schwarzsatinage des Papiers. Diese Grenze ist in der Abbildung durch eine halbtransparente Fläche

markiert. Immerhin drei der SC-Papiere lassen einen derartigen Wert erkennen, darunter auch der speziell für den industriellen Einsatz in SC-Papieren erzeugte SGW 1. Alle übrigen Papiere liegen mehr oder weniger deutlich unter dem kritischen Wert. Die stärkste Schwarzsatinage tritt beim TGW 1 in Erscheinung, was vermutlich auf die wenig entwickelten Fasern zurückgeht. Bedenkt man jedoch, dass dieser Stoff für die Produktion von Zeitungsdruckpapier verwendet wird und dass die Holzstoffkomponente in solchem Papier zur Erhöhung der Steifigkeit beitragen soll, ist der ermittelte Wert nicht weiter verwunderlich. Warum jedoch gerade der SGW 1 ebenfalls verstärkt schwarzsatiniert wird, bleibt unklar.

Versucht man, einen Zusammenhang zwischen dem Schwarzsatinage-Index sowie einer weiteren messtechnisch erfassten Größe herzustellen, finden sich keine Korrelationen, die auf eine echte Abhängigkeit hindeuten. Industriell gefertigte SC-Papiere korrelierten hinsichtlich des Schwarzsatinage-Index vor allem mit der Rohdichte, in geringerem Ausmaß auch mit dem Glanz und der Glätte.²⁹ Für die SC-Laborblätter dieser Arbeit konnten jedoch keine solchen Zusammenhänge gefunden werden. Möglicherweise weichen die Bedingungen, unter denen die Verdichtungen jeweils stattfanden, zu sehr voneinander ab, so dass die Resultate nicht direkt übertragbar sind. Insbesondere die Temperatur nimmt wesentlich auf die Umformungsprozesse Einfluss, aber auch die Verweilzeit im Nip wirkt sich aus. Beide Parameter unterscheiden sich für Superkalander und Handpresse erheblich, so dass die Annahme einer nur sehr eingeschränkten Übertragbarkeit der Resultate gerechtfertigt erscheint.

Die Qualität eines Drucks wird durch ein ungleichmäßiges Druckbild und Fehlflächen, an denen keine Farbe auf das Papier übertragen wurde, beeinträchtigt. Zur Beschreibung dieser Größen werden die Parameter Mottling sowie Missing Dots verwendet, die Erfassung erfolgte mit dem auch für die Schwarzsatinage-Messung verwendeten Bedruckbarkeitsanalysator.

Abb. 46 zeigt den Mottling-Index der bedruckten SC-Laborblätter, der an der Volltonfläche gemessen wurde. Der Mottling-Index ist ein Maß für die Unregelmäßigkeit des Drucks. Daher bedeutet ein hoher Wert ein schlechteres Druckbild. Die Absolutwerte, die sich zwischen 1,3 und 3,5 bewegen, lassen sich nicht direkt mit denen industrieller Drucke vergleichen, denn diese liegen wegen der völlig anderen Bedingungen in der Druckmaschine um einige Punkte höher. Daher ist in dieser Betrachtung das Verhalten der verschiedenen Holzstoffe nur relativ zueinander von Bedeutung. Der Mottling-Index wird in erster Linie von lokalen Dichteschwankungen beeinflusst. An Punkten höherer Verdichtung kann die Druckfarbe vom Papier

nicht optimal aufgenommen werden, woraus eine Störung im Druckbild resultiert. An der fein- und füllstoffreicheren Siebseite ist die Wahrscheinlichkeit einer ungleichmäßigen Dichteverteilung geringer, was sich in einem höheren Mottling-Index der Oberseite gegenüber der Siebseite niederschlägt.

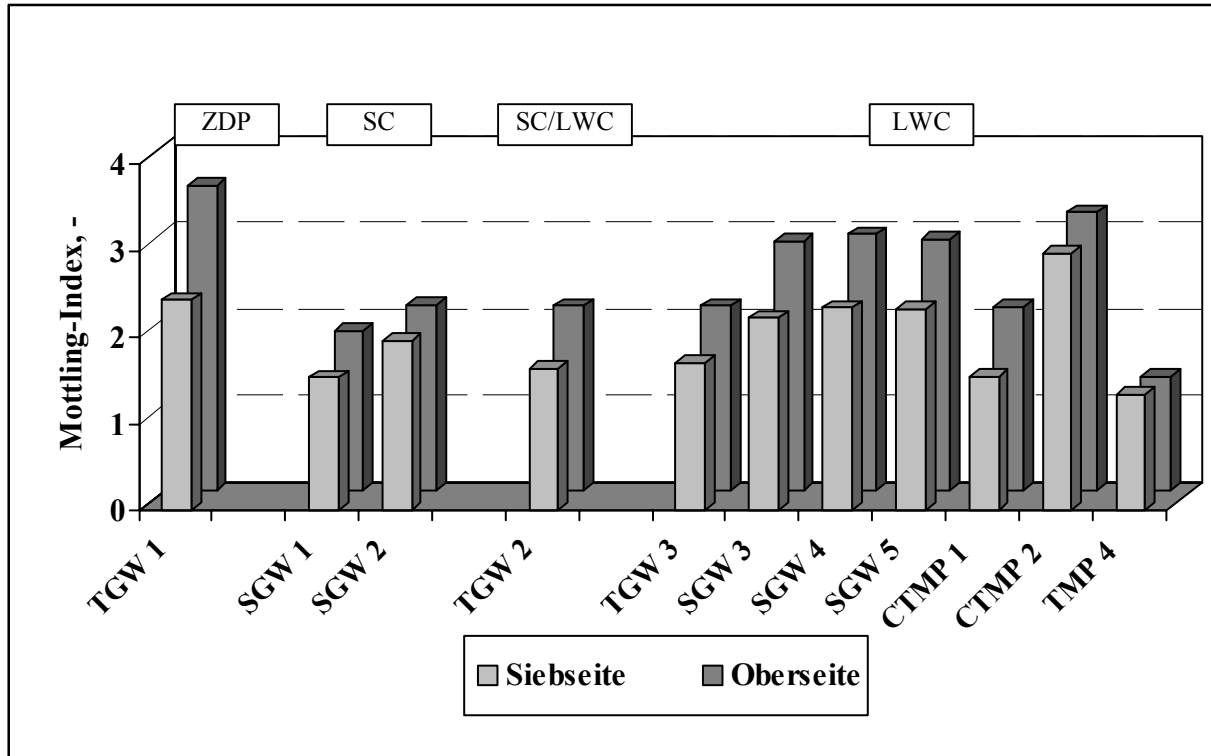


Abb. 46: Mottling-Index der SC-Papiere, ermittelt an der Volltonfläche

Der Zusammenhang zwischen Mottling-Index und Glätte ist in Abb. 47 dargestellt. Sieht man einmal vom Glättewert des SGW 3 auf der Siebseite ab, ergibt sich sowohl auf der Ober- als auch auf der Siebseite eine gute Korrelation der beiden Parameter. Dieser Zusammenhang ist jedoch so zu verstehen, dass beide Messgrößen von einem weiteren Parameter bestimmt werden, der in diesem Fall im weitesten Sinn in der Massenverteilung zu suchen ist. Ein hoher Feinstoffgehalt kann z. B. zu einer hohen Glätte führen, muss aber sehr gleichmäßig verteilt sein, um das Mottling zu minimieren. Umgekehrt könnte ein geringer Feinstoffanteil in Verbindung mit einer Vielzahl langer Fasern, wie das beim CTMP 2 der Fall ist, in einer ungleichmäßigen Masseverteilung mit verstärktem Mottling resultieren. Der TMP 4 zeigt, dass eine starke Fibrillierung der Fasern sich anscheinend positiv auswirkt. Durch die Fibrillierung ergibt sich eine sehr ausgeglichene Verteilung der Fasermasse auch an der Paperoberfläche und damit ein gleichmäßiges Druckbild.

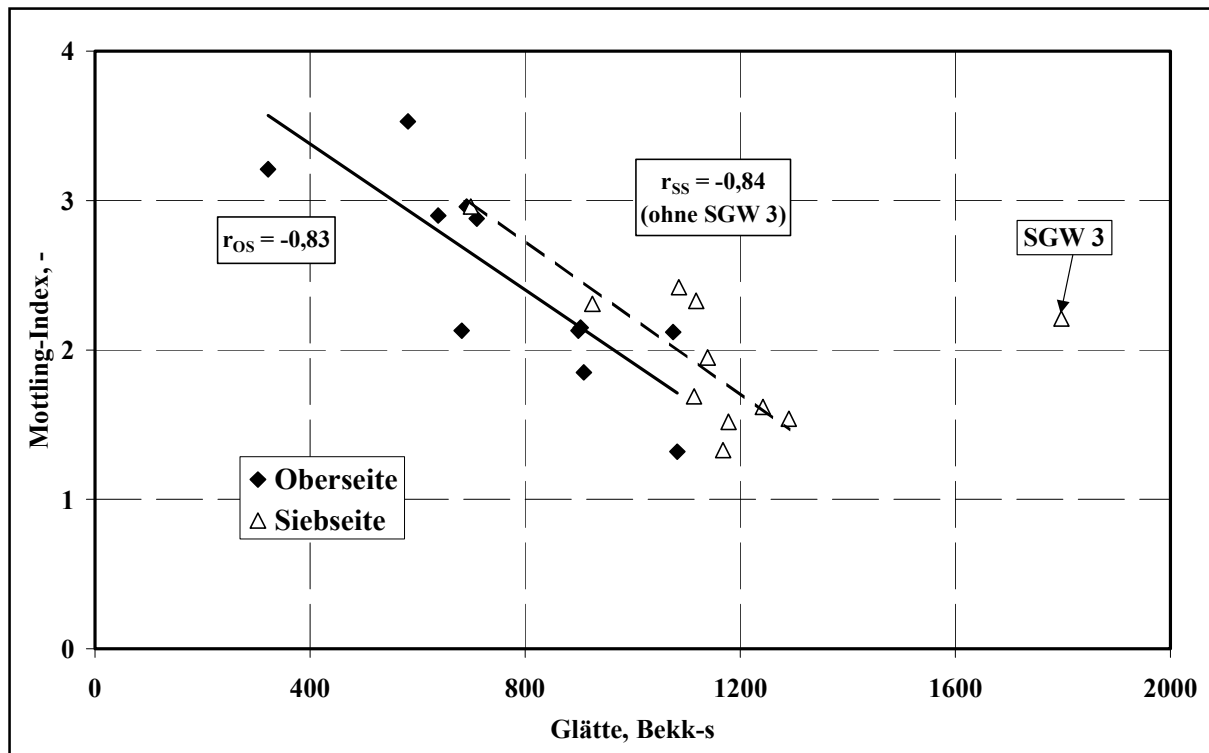


Abb. 47: Zusammenhang zwischen Mottling-Index und Glätte

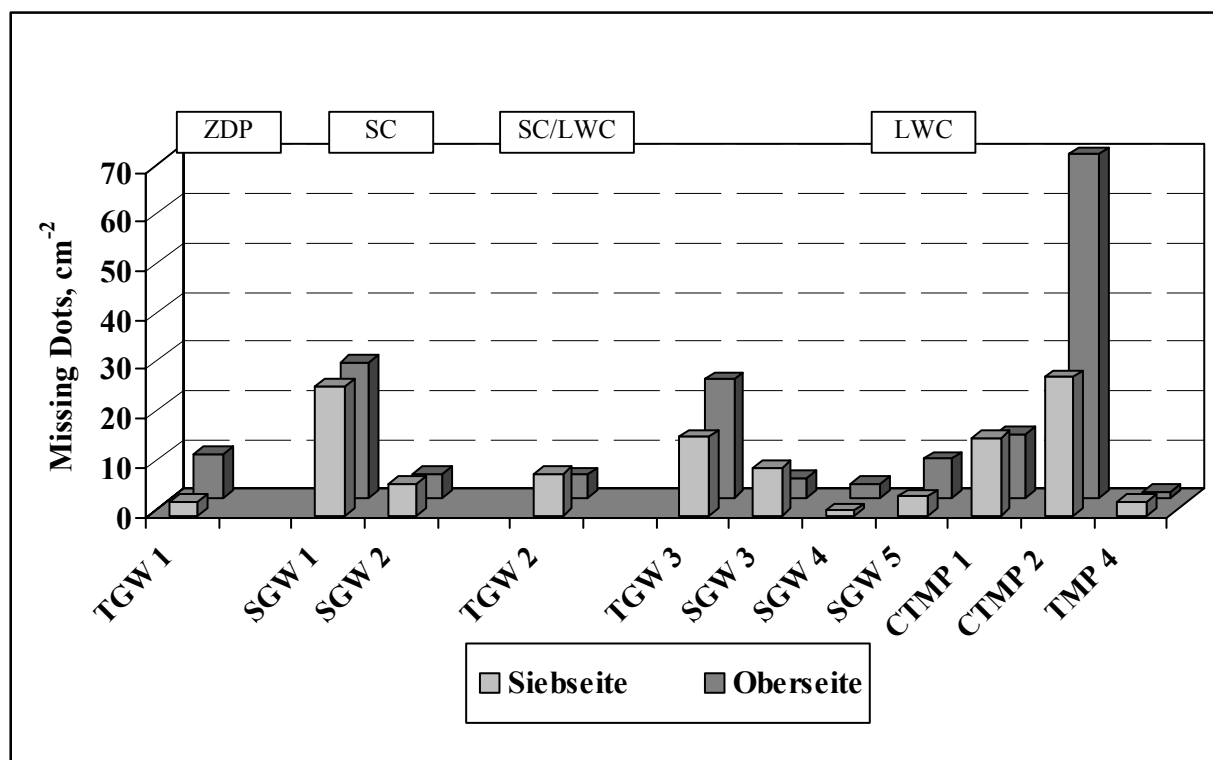


Abb. 48: Missing Dots der SC-Papiere, ermittelt an der 15 %-Fläche

Eine weitere wichtige Größe bei der Beurteilung eines Drucks ist die Anzahl der Missing Dots, also der nicht übertragenen Rasterpunkte. Abb. 48 gibt einen Überblick über die an den bedruckten SC-Papieren ermittelten Werte. Auch diese liegen weit von den in der Praxis übli-

chen Werten entfernt, nämlich etwa eine Größenordnung tiefer. Die meisten im Labor produzierten SC-Papiere zeigen weniger als 10 Missing Dots/cm², wodurch es schwierig wird, überhaupt Unterschiede zu erkennen. Nur CTMP 2 ragt deutlich aus der Masse hervor, vor allem auf der Oberseite ergibt sich eine große Anzahl Missing Dots. Die geringe Glätte in Kombination mit dem kleinen Feinstoffanteil sind hierfür die maßgeblichen Einflussfaktoren. Darüber hinaus gehende Aussagen über Abhängigkeiten von anderen Messgrößen lassen sich nicht machen.

Die Auswertung der Probedrucke hat gezeigt, dass die Feinstoffe auch für die Bedruckbarkeit von entscheidender Bedeutung sind. Neben einer Verbesserung der Glätte können sie, richtig verteilt, die Gleichmäßigkeit des Drucks erhöhen und die Zahl der Fehlstellen im Druckbild reduzieren helfen. Konkrete Aussagen hinsichtlich eventueller Abhängigkeiten der wesentlichen drucktechnischen Parameter zu sonstigen im Rahmen dieser Arbeit erfassten Papiereigenschaften konnten nicht gefunden werden, was möglicherweise auch als Folge der erheblich voneinander abweichenden Druckbedingungen des Labordruckgeräts, verglichen mit einer Druckmaschine, anzusehen ist.

4 Schluss und Ausblick

Um Holzstoff zu charakterisieren, sind grundsätzlich zwei verschiedene Komponenten zu betrachten, nämlich Faserstoff und Feinstoff. Der Faserstoff zeichnet durch einige wenige Grundeigenschaften aus, von denen sich viele sekundäre Eigenschaften ableiten lassen. Zu den wichtigsten Grundeigenschaften zählen Faserlänge, Fibrillierungsgrad sowie Faserwanddicke. Zu diesen physikalischen treten noch einige chemische Eigenschaften wie Gesamt- und Oberflächenligningehalt oder Ladungszustand. Die zweite Komponente, der Feinstoff, ist erheblich schwerer zu fassen als der Faserstoff, da er eine Mischung aus einer Vielzahl verschieden großer Partikel mit unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften darstellt. Abgeleitet aus einem vereinfachenden Ordnungsschema, das den Feinstoff in Schleim- und Mehlstoff einteilt, sind jedoch qualitative Aussagen darüber möglich, welche Komponente im Feinstoff dominiert. Der Unterschied im Verhalten von Schleim- und Mehlstoff ist auf die Herkunft zurückzuführen. Während der Mehlstoff den äußeren, ligninreichen Faserwandschichten entstammt, liegt der Ursprungsort des Schleimstoffs in der cellulosereichen S₂-Wand.

Dem Anschein nach wird im Refinerprozess ein schleimstoffreicherer Feinstoff erzeugt als am Schleifstein. Das lässt sich aus der Größenverteilung und dem unterschiedlichen Sedimentationsverhalten der Feinstofffraktionen verschiedener Holzstoffe ableiten. Die quer zur Faserachse wirkenden Kräfte am Schleifstein führen eher zu einer Zerkleinerung, während im Refiner bevorzugt eine Delaminierung vonstatten geht. Durch eine Nachmahlung im Rejektrefiner sollte daher eine gewisse Erhöhung des Schleimstoffanteils möglich sein. Ein hoher Schleimstoffanteil ist wünschenswert, weil dadurch viele Papiereigenschaften positiv beeinflusst werden, allerdings auf Kosten einer schwierigeren Entwässerung.

Ein SC-Papier sollte im Idealfall aus schlanken, flexiblen, gut fibrillierten und komprimierbaren Fasern mit einem hohen Anteil schleimstoffhaltigen, gleichmäßig verteilten Feinstoffs bestehen. In dieser Zusammensetzung ist eine minimale Störung des Druckbilds durch Ungleichmäßigkeiten oder nicht übertragene Rasterpunkte zu erwarten. Auch die Gefahr einer Schwarzsatinage sollte auf diese Weise auf ein Minimum reduziert werden.

Führt man sich die besonderen Eigenschaften der Holzstoffe vor Augen, wird klar, dass bei der Herstellung von Massendruckpapieren Holzstoffe nach wie vor eine unerlässliche Rohstoffquelle sind, wenn ausreichende Opazität und gute Bedruckbarkeit der Papiere sicherge-

stellt sein sollen. Das hohe Lichtstreuvermögen sowie die optische Dominanz des Holzstoffs in einer Faserstoffmischung schaffen hierfür die Voraussetzungen. Ferner lässt sich nur durch einen gewissen Holzstoffanteil ein SC-Papier genügend komprimieren, um im Tiefdruckprozess eine gute Farbübertragung vom Druckzylinder auf das Papier zu gewährleisten. Trotz immer weiter zurückgehender Einsatzmengen von Holzstoff in Druckpapieren, bedingt durch die fortschreitende Substitution durch Deinkingstoff, kann daher auch in Zukunft nicht vollständig auf den Einsatz von Holzstoff verzichtet werden. Um das Potenzial des Holzstoffs voll ausschöpfen zu können, ist dabei in besonderem Maß der Feinstoff im Auge zu behalten, der wesentlich den Charakter des Holzstoffs bestimmt.

Abschließend ist zu erwähnen, dass die im Projektantrag formulierten Themen „Bewertung der Holzstoffsartierung“ und „Optimierung von Holzstoffeigenschaften“ mangels Zeit und Finanzmittel nicht abgearbeitet werden konnten. Um das Thema Holzstoffqualität konsequent weiter zu behandeln, sollten diese Themenbereiche in einem Folgeprojekt in Angriff genommen werden.

5 Literaturverzeichnis

- ¹ N.N.: Papier '93 – Ein Leistungsbericht der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie. Hrsg. vom Verband deutscher Papierfabriken, Bonn, 1993
- ² N.N.: Papier '99 – Ein Leistungsbericht der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie. Hrsg. vom Verband deutscher Papierfabriken, Bonn, 1999
- ³ Mallon, U.; Strunz, A.-M.; Blechschmidt, J.: Die heutige Rolle des Feinstoffs im Papier. PTS-Symposium Papierfaserstofftechnik, München, 1997, 33-1 – 33-16
- ⁴ Forgacs, O.L.: The Characterization of Mechanical Pulp. Pulp Pap. Mag. Can. **64** (1963), Conv. Issue, T89-T118
- ⁵ Eklund, H.: Measuring external fibrillation in mechanical pulp. Image analysis for pulp and paper production. Europ. Res. Symp. Grenoble, 1991
- ⁶ Mohlin, U.-B.: Fibre development during mechanical pulp refining. J. Pulp Pap. Sc. **23** (1997), Nr. 1, J28-J33
- ⁷ Mohlin, U.-B.: Fibre bonding ability – a key pulp quality parameter for mechanical pulps to be used in printing papers. Int. Mech. Pulp Conf., Helsinki, 1989, Bd. 1, 49-57
- ⁸ Karnis, A.: The mechanism of fibre development in mechanical pulping. J. Pulp Pap. Sc. **20** (1994), Nr. 10, J280-J288
- ⁹ Sundström, L.; Brolin, A.; Hartler, N.: Fibrillation and its importance for the properties of mechanical pulp fiber sheets. Nordic Pulp Pap. Res. J. **8** (1996), Nr. 4, 379-383
- ¹⁰ Luukko, K.: On the characterization of mechanical pulp fines. Paperi ja Puu **80** (1998), Nr. 6, 441-448
- ¹¹ Peng, F.; Johansson, L.: Characterization of mechanical pulp fibres. J. Pulp Pap. Sc. **22** (1996), Nr. 7, J252-J257
- ¹² Brecht, W.; Klemm, K.: Das Strukturgemisch eines Holzschliffes als Schlüssel für die Kenntnis seiner technologischen Eigenschaften (2 Teile). Teil 1. Wochenbl. f. Papierfabr. **80** (1952), Nr. 11, 364-370; Teil 2. Wochenbl. f. Papierfabr. **80** (1952), Nr. 12, 451-454
- ¹³ Burkhart, H.; Daub, E.; Kessler, H.: Der Einsatz von Holzstoff im Papier – gespiegelt an den Anforderungen der Umwelt. Wochenbl. f. Papierfabr. **122** (1994), Nr. 9/10, 368-380
- ¹⁴ Ölander, K.; Htun, M.; Grén, U.: Specific surface area – an important property of mechanical pulps. J. Pulp Pap. Sc. **20** (1994), Nr. 11, J338-J342
- ¹⁵ Braaten, K.R.: Fibre and fibril properties versus light scattering and surface smoothness for mechanical pulps. CPPA 84th Meeting Montreal, 1998, Bd. 2, B225-B229
- ¹⁶ Wu, Z.-H.; Sumimoto, M.; Tanaka, H.: Mechanochemistry of lignin. Holzforschung **48** (1994), Nr. 5, 400-404
- ¹⁷ Pan, X.; Lachenal, D.; Lapierre, C.; Monties, B.; Neirinck, V.; Robert, D.: On the behaviour of spruce thermomechanical pulp lignin during hydrogen peroxide bleaching. Holzforschung **48** (1994), Nr. 5, 429-435
- ¹⁸ Luukko, K.: Fines quantity and quality in controlling pulp and paper quality. Int. Mech. Pulp Conf., Houston, 1999, Bd. 1, 67-75
- ¹⁹ Luukko, K.; Paulapuro, H.: Mechanical pulp fines: effect of particle size and shape. Tappi J. **82** (1999), Nr. 2, 95-101
- ²⁰ Brecht, W.; Süttinger, R.: Über die technologische Bedeutung des Formcharakters von Holzschliffen. Wochenbl. f. Papierfabr. **71** (1943), Nr. 1, 3-27

- ²¹ Görres, J.; Amiri, R.; Wood, J.R.; Karnis, A.: Mechanical pulp fines and sheet structure. *J. Pulp Pap. Sc.* **22** (1996), Nr. 12, J491-J496
- ²² Luukko, K.; Paulapuro, H.: Development of fines quality in the TMP process. *J. Pulp Pap. Sc.* **25** (1999), Nr. 8, 273-277
- ²³ Heikkurinen, A.: Mechanical pulp fines – characterization and implications for defibration mechanism. *Int. Mech. Pulp Conf.*, Oslo, 1993, Bd. 1, 294-308
- ²⁴ Luukko, K.: Characterization and properties of mechanical pulp fibres. Dissertation TU Helsinki, Espoo 1999
- ²⁵ Luukko, K.; Laine, J.; Pere, J.: Chemical characterization of different mechanical pulp fines. *Appita* **52** (1999), Nr. 2, 126-131
- ²⁶ unveröffentlichte Forschungsergebnisse des IfP
- ²⁷ Marton, R.; Robie, J.D.: Characterization of mechanical pulp by a settling technique. *Tappi J.* **52** (1969), Nr. 12, 2400-2406
- ²⁸ Praast, H.; Götsching, L.: Ein neues bildanalytisches Messgerät zur Bewertung von Druckqualität und Schwarzsatinage. *Papier* **49** (1995), Nr. 6, 348-354
- ²⁹ Elbert, U.; Høydahl, H.-E.; Martens, G.; Praast, H.; Weidenmüller, J.: Bildanalytische Bewertung der Schwarzsatinage. *Papier* **50** (1996), Nr. 2, 53-59