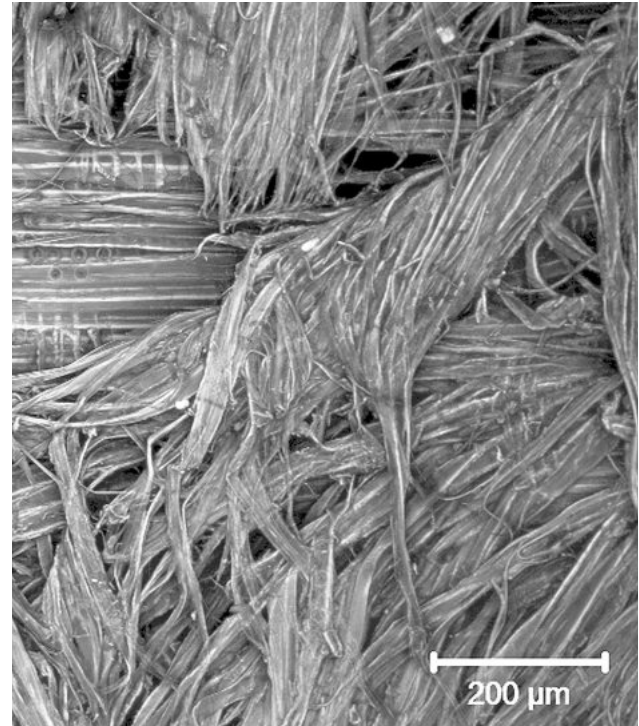




Holzschliff Fasern nach Anfärbung mit Phloroglucin.



Beim Schleifen aus der Holzoberfläche herausgekämmte Fasern.

Holzstoffprüfung vom 19. Jahrhundert bis zur Gegenwart

Auswirkung der Erfindung des Holzschliffs auf Prüfmittel und Prüfmethoden

„Bei der großen Bedeutung, welche die Holzzeugfabrikation bereits für die Papierfabrikation gewonnen hat, muss es den vorurteilsfreien Techniker Wunder nehmen, dass nicht bereits mehr geistige Arbeit auf diesen neuen Industriezweig verwendet wird, zumal wohl ziemlich unbestreitbar feststeht, dass unter den Hadern-Surrogaten die Holzfaser schließlich oben bleiben wird,“ schrieb ein sich mit J.C. bezeichnender Einsender am 23.7.1870 im Heft 30 des ersten Jahrgangs vom Wochenblatt für Papierfabrikation.

Geistige Arbeit war jedoch sehr wohl schon in früheren Jahren der Beurteilung des Fasermaterials gewidmet worden, aus dem man bis Mitte des 19. Jahrhunderts das Papier herstellte. Für die ersten Qualitätsprüfungen benutzte man seine Sinne – man blickte durch das Mikroskop auf die Fasern und beurteilte die Papiergüte nach dem Aussehen und der gefühlten Oberflächenbeschaffenheit. Aber schon bald wurde auch „gemessen“. Von diesen Arbeiten verdienen die „Beobachtungen beim Schleifen verschiedener Hölzer“ besondere Beachtung, die Gustav Rostosky, Leiter der Holzstoff- und Papierfabrik Niederschlema, bereits 1870 sowohl in der Industrie-Zeitung als auch im Wochenblatt für Papierfabrikation publizierte¹. An „primitiven“ Papieren aus zehn verschiedenen Hölzern, deren Fabrikationstechnik er nicht näher beschrieb, untersuchte er die massebezogene Zugfestigkeit und die Oberflächenbeschaffenheit mit Methoden, die den heute standardisierten Prüfungen von Reißlänge und Haftreibung nicht unähnlich sind.

Aus diesen Untersuchungen, die G. Rostosky sowohl aus dem Blickwinkel des Holzschleifers als auch dem des Papierherstellers auswerte, blieb letztendlich die Fichte als am besten geeignetes Schleifholz zurück, eine Erkenntnis, die bis in die Gegenwart wirkt.

Autorin: Dr. Sabine Heinemann, Technische Universität Dresden, Fakultät für Maschinenwesen, Institut für Naturstofftechnik, Professur für Holztechnik und Faserwerkstofftechnik, Arbeitsgruppe Papiertechnik, 01062 Dresden

„Ich spannte nun die Streifchen in zwei, stets gleichweit von einander entfernte Kloben und belastete die am niedern hängende kleine Waagschale bis zum Zerreißen des Papiers mit Schrotkörnern. Es stellte[n] sich dabei ... [Resultate] heraus, [die] ... besonders in Bezug auf Fichte im höchsten Grade überraschen mussten, besonders durch den Umstand, dass Fichtenholzpapier ohne Leim oder sonstige Zuthat noch mehr Halt zeigte als zwei mit Hadernzeug vermischte Papiere.“

„Ich habe mich bei diesen Versuchen folgender Vorrichtung bedient. Ein Brettchen war durch ein Scharnier mit einem darunterliegenden Brett verbunden, also um eine Achse drehbar, das andere Ende des Brettchens war durch eine Schnur in Verbindung mit dem einen Schenkel einer Briefwaage gesetzt; wurde nun die an dem andern Schenkel der Waage hängende Schale belastet, so zog die Schnur das Brettchen in die Höhe und dieses bildete eine schiefe Ebene, deren Neigungswinkel an einem seitlich angebrachten Gradbogen abzulesen war. Auf das Brettchen wurde nun von jeder Holzpapersorte, welche ... alle auf gleiche Weise dargestellt und geglättet waren, ein Streifchen glatt aufgezogen, in gewisser Höhe ein feinpoliertes Holzwürfchen aufgesetzt und durch gesteigertes Belasten der Waagschale das Brettchen so lange in die Höhe gezogen, bis das Würfelchen herabrutschte.“

Auszug aus der Arbeit Rostokys.¹

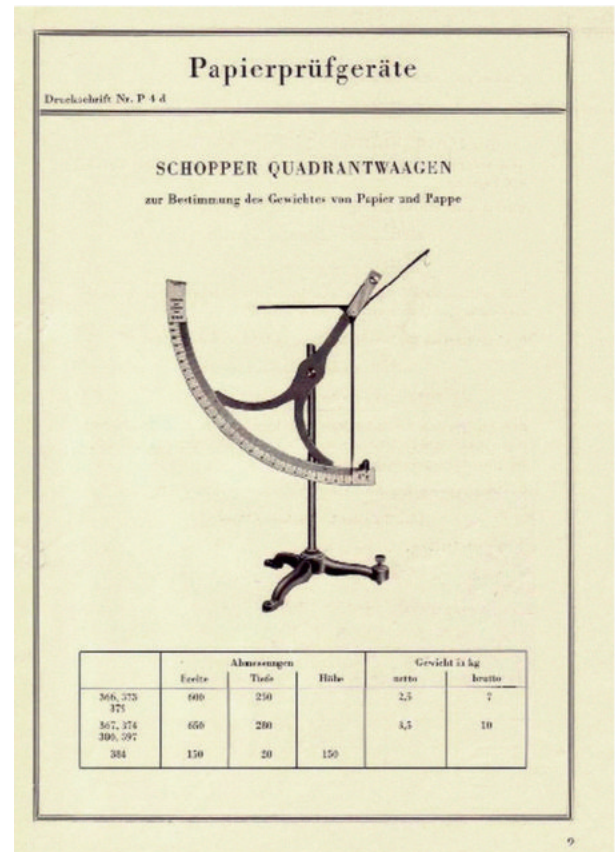


Abb. 1: Prospekt einer Quadrant-Waage der Fa. Louis Schopper.²

Den Arbeiten von G. Rostokys folgten bald andere, wie die in Tab. 1 zusammengestellte Übersicht über rund hundert Jahre Entwicklungsgeschichte zur Faserstoffprüfung zeigt. Ging es anfangs noch häufig darum, Fasermaterialien auf ihre Eignung als Ersatz für die immer knapper werdenden Lumpen zu bewerten, rief man schon bald nach reproduzierbaren Geräten und Methoden, um die Qualität der Papiere und Pappen aus dem neuen Material Holzschliff, damals oft noch als „Holzzeug“ bezeichnet, für den Abnehmer nachvollziehbar zu beschreiben. Die Übersicht in Tab. 1 ist zwangsläufig unvollständig, denn viele Prüftechniker der ersten Stunde haben ihre Ergebnisse keiner breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Das änderte sich erst mit dem ausgehenden 19. Jahrhundert nach der Erfindung der Zellstoffprozesse und dem Siegeszug der Langsiebpapiermaschine mit integrierter Bahntrocknung.

Neben den unbestrittenen Großen in der Entwicklung der Faserstoff- und Papierprüftechnik **Ernst Kirchner**, **Paul Klemm**, **Bruno Possanner von Ehrenthal**, **Ernst Unger** und **Walter Brecht** sind auch die Namen **Wilhelm Herzberg**, **Gustav Dalén**, **Bruno Schulze**, **Rudolf Korn** und **Friedrich Burgstaller**, ehemalige Leiter und wissenschaftliche Mitarbeiter in der Königlich-Technischen Versuchsanstalt Berlin,

untrennbar mit dem Fortschritt der Materialprüfung und -forschung auf diesem Werkstoffbereich verbunden. Die Ergebnisse ihrer zahlreichen richtungsweisenden und grundlegenden Arbeiten wurden u. a. in Werkstoffhandbüchern veröffentlicht, auf die bis heute zurückgegriffen wird.

Ein Handwerksbetrieb in Leipzig stellte sich rechtzeitig auf den Bedarf nach Maschinen zur Qualitätsprüfung ein.² **1881** begann der Mechanikermeister **Louis Schopper** mit der Herstellung von **Quadrantwaagen** in seinem Betrieb (Abb. 1), **1890** fertigte er bereits seine erste **Zugdruckfestigkeitsprüfmaschine**. Weil die Industrialisierung unaufhaltsam voranschritt und Schopper den zukünftigen Bedarf an Prüfmaschinen erkannte, spezialisierte er sich mit seinem Unternehmen auf die Fertigung von Prüfmaschinen. Ob **Papier oder Pappe**, **Faserstoffe**, Textilien, Metalle oder sogar Getreide – für jedes Material boten er und seine Nachfolger die entsprechende Maschine an. Härteprüfer, Pendelschlagwerke, Zerreißmaschinen, Ketten- und Seilprüfmaschinen, Baustoffpressen, Mikroskope, Waagen, Dehnungsmesser, Dauerstandprüfmaschinen, Kälte- und Wärmekammern, Probenstabteilmaschinen und **Papierfestigkeitsprüfgeräte** gehörten bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges zum Angebot der Schopper-Werke.

Tab. 1: Abriss über die Entwicklung der physikalischen Faserstoffanalyse im Zeitraum von ca. hundert Jahren seit der Erfindung des Holzschliffs.

Jahr	Ereignis
1853	H. Schacht und S. Reissek befassen sich nachweislich mit mikroskopischen Untersuchungen verschiedener Papierfasern ^{54, 55}
1864	W. F. Echsner baut das erste Gerät zur Prüfung der Papierfestigkeit ⁵⁴
1870	G. Rostosky veröffentlicht seine „Beobachtungen zum Schleifen verschiedener Hölzer“
1878	J. Wiesner wendet in der Papierprüfung erstmals Phloroglucin zum Nachweis von Holzschliff im Papier an ⁵⁴
1880	E. Kirchner entwickelt den Universal-Trockenprüfer
1887	J. W. Mullen entwickelt ein Papierprüfgerät zum Testen des Berstdruckes
1888	P. Klemm entwickelt in der Winkler'schen Papierprüfungsanstalt in Leipzig eine Methode zur Bestimmung der Saughöhe von Löschpapier
1913	Der von M. Riegler entwickelte Entwässerungsprüfer wird öffentlich vorgestellt
1937	B. v. Possanner und E. Unger stellen die Deutsche Einheitsmethode für die Festigkeitsprüfung von Zellstoffen vor
1939	W. Brecht und M. Holl schlagen ein Normalverfahren zur Gütebestimmung von Holzschliff vor
1944	Erste Publikation des Zellcheming-Merkblatts 201 „Prüfung von Holzstoffen“
1951	K. Klemm schlägt „Begriffe und Bezeichnungen für den Formcharakter von weißem Holzschliff“ als einheitliche Bezeichnung in der Holzstoffprüfung vor (Zellcheming-Merkblatt VI/3)
1956	E. Unger stellt den BRK-Blattbildner und das Aufschlag-Verteilgerät vor
1957	E. Giese und D. Link charakterisieren Feinstoff über das Absetzverhalten im Zentrifugalfeld
1966	W. Brecht und Mitarbeiter überarbeiten das Zellcheming-Merkblatt 201 zum heute noch gültigen Merkblatt VI/1/66

Die Schopper-Werke waren bis zur Wiedervereinigung als VEB Werkstoffprüfmaschinen Leipzig u. a. der Hauptlieferant aller Faserstoff- und Papierprüfgeräte für die Labors des damaligen RGW-Wirtschaftsraums.

Erste Qualitätsbeschreibungen von Holzstoff mittels Lichtmikroskopie

Sehr bald nach der Einführung der Holzschliff Fasern in Papiere wurden chemische Reagenzien entwickelt, mit deren Hilfe man die Anwesenheit von Holzschliff durch Farbreaktionen entweder mit bloßem Auge oder im Mikroskop erkennen konnte. Wiesner stellte **1871** fest³, dass das von Schapring zur Erkennung von Holzfasern in Papier empfohlene schwefelsaure Anilin nicht zuverlässig arbeite: „Unter solchen Umständen bleibt für den Nachweis der Holzfaser im Papiere kein anderes Erkennungsmittel als das Mikroskop übrig, welches ausser der Sicherheit im Nachweise auch noch den Vortheil darbietet, nicht nur auf jene Art des Holzes, welche zur Bereitung des Papiers diente,

zu führen, sondern auch den mechanischen Zustand, in welchem die Faser im Papiere sich befindet, anzuzeigen.“ Er schlug stattdessen Phloroglucin und Salzsäure vor⁴, eine Methode, die in leichter Modifikation bis heute Anwendung findet.

1887 führte Wurster das leicht oxidierbare Dimethylparaphenyldiamin als Redox-Indikator für die Anwendung an Papier ein, das von ihm selbst als Di-Lösung oder Di-Papier bezeichnet wurde (je nachdem, ob die Reaktion durch Auftragen der Lösung oder durch Kontakt mit einem mit der Lösung getränkten Filtrierpapier hervorgerufen wurde). Wegen seines in Gegenwart von ligninreichen Holzschliff Fasern intensiven Farbumschlags nach Rot wird diese Reagenz heute allgemein *Wursters Rot* genannt, allerdings nur noch selten angewendet⁵. Die mikroskopische Analyse suspendierter Faserstoffe durch Anfärbung mit verschiedenen Chemikalien zur Unterscheidung der stofflichen Zusammensetzung, des Aufschlussverfahrens oder des Aufschlussgrades ist heute gängige Laborpraxis. Die von Wiesner und Gottstein erstmalig angewandte und heute als Herzberg-Lösung in die internationale Literatur eingegangene Chlor-Zink-Jod-Lösung gehört zu den am häufigsten angewandten Färbechemikalien.

Normalverfahren zur Gütebestimmung von Holzschliff

„Die deutsche holzstofferzeugende und -verbrauchende Industrie verfügt bis jetzt noch über keine einheitliche, in ihren Zusammenhängen geprüfte Bewertungsgrundlage für Holzschliffe“, schrieben Brecht und Holl **1939** in der Zeitschrift „Der Papierfabrikant“ und fuhrten fort: „Hinzu kommt, dass sich die herrschende Gepflogenheit, einen Holzstoff lediglich als sehr fein, mittelfein oder grob bzw. als sehr gut, gut oder schlecht zu bezeichnen, als ernstes Hindernis für die weitere fachtechnische Entwicklung erweist, da sie über die für die Güte eines Stoffes allein entscheidende Zweckeignung nicht nur nichts aussagt, sondern unter Umständen sogar grundsätzlich zu Fehlurteilen führt.“ Bei der Prüfung von Holzschliff stünden die physikalischen und mechanischen Eigenschaften im Vordergrund des Interesses, während chemische Kriterien wie der Harzgehalt für eine technische Beurteilung nur in vereinzelt Fällen in Betracht kämen.

Auf der Grundlage systematischer Untersuchungen mit dem Ziel, eine einheitliche Bewertungsgrundlage für Prozesse und Produkte des Holzschliffens zu schaffen, haben Brecht und Holl **1939** ein Verfahren ausgearbeitet⁶, das vom Verein der Zellstoff- und Papier-Chemiker und -Ingenieure als **Standardmethode** vorgeschlagen wurde⁷. Das „Normalverfahren zur Gütebestimmung von Holzschliff“, **1944** erstmals als Zellcheming-Merkblatt 201 „Prüfung von Holzstoffen“ veröffentlicht, richtete sein Augenmerk sowohl auf die Festigkeitseigenschaften als auch auf die von der Art des Schleifens herrührende Beschaffenheit des Holzstoffs und definierte vier Hauptmerkmale, zu deren Prüfung Geräte verwendet wurden, die bereits in der Deutschen Einheitsmethode zur Festigkeitsprüfung von Zellstoffen⁸ festgelegt waren. Mit dem **Aussehen** wurden die morphologische Erscheinung, der Weißgrad und die Farbe beschrieben, die **Formbeschaffenheit** sagte mittels Siebfractionierung etwas über den Splittergehalt und den Anteil von Langfaser-, Kurzfaser- und Feinstoff aus. Der **Schopper-Riegler-Wert** und die Entwässerungsdauer dienten zur Charakterisierung des Entwässerungsverhaltens, der sogenannten „Schmierigkeit“. Aus **Laborblättern** nach dem **Rapid-Köthen-Verfahren** bestimmte man die scheinbare Dichte (damals „Raumgewicht“ genannt), die Reißlänge, den Berstdruck und die Dauerbiegezahl. Diese Schwerpunkte zur Holzstoffcharakterisierung gelten mit einigen Erweiterungen noch immer.

Zusammensetzung des Holzschliffs nach Formbestandteilen

Die Zusammensetzung des Holzstoffs nach seinen Formbestandteilen gehört bis heute zu seinen wesentlichsten Eigenschaftsmerkmalen. Brecht und Süttinger⁹ unterschieden Feinschliff, faserigen Normal-schliff und Grobschliff. Ursprünglich machte man Holzstoffausstriche auf Blauglas¹⁰, die im Trockenschrank angetrocknet wurden, später benutzte man fotografische Technik, indem die Holzstoffausstriche auf Klarglas aufgebracht und mit Lichtprojektion auf Bromsilberpapier abgebildet wurden⁷. Eine einheitliche Beschreibung der einzelnen Formbestandteile wurde im Zellcheming-Merkblatt 202 vorgeschlagen und von K. Klemm **1951** im Zellcheming-Merkblatt VI/3 fortgesetzt¹¹. Zur quantitativen Bestimmung dieser Formbestandteile fanden verschiedene Methoden der Siebanalyse Verwendung, allen voran die Siebanalyse nach Brecht und Holl^{12, 13}. Ausschließlich für die Bestimmung des Splittergehalts waren bzw. sind bis heute der Ringspalt-Fraktionator nach v. Alfthan¹⁴, der PFI-Minishive Fraktionator¹⁵ und der Haindl-Fraktionator als Zusatzgerät für die Kaskadenfraktionierung nach Bauer-McNett¹⁶ im Einsatz.

Dass auch der Feinstoff als Formbestandteil des Holzschliffs eine nicht unerhebliche Rolle spielt, wurde schon früh erkannt. P. Klem, der den gesamten Feinstoff noch als „Mehlstoß“ bezeichnete, berichtete **1929** vom Einfluss dieses Formbestandteils auf das Entwässerungsverhalten auf der Papiermaschine¹⁷ und hat mit dem Klem-Hurum-Tester den ersten Apparat zum Abtrennen von Feinstoff aus dem Holzschliff vorgestellt¹⁸.

Brecht und Süttinger⁹ unterschieden innerhalb des Feinstoffs „Schleimstoff“ und „Mehlstoß“, schrieben jedoch **1943**: „Im Augenblick bleibt ... nichts anderes übrig, als mit großem Nachdruck darauf aufmerksam zu machen, daß nicht nur für die Beurteilung von Holzschliffen ... ein sehr viel zuverlässigerer Standpunkt gewonnen würde, gelänge es, für die quantitative Trennung und Erfassung von Schleimstoff und Mehlstoß die bis jetzt fehlende experimentelle Möglichkeit zu schaffen.“ Eine wirklich funktionierende Prozedur zum weitgehend sauberen Abtrennen von „Mehlstoß“ und „Schleimstoff“ und dessen Charakterisierung wurde erst **1999** von Luukko beschrieben¹⁹.

Messung der Faserlänge

Das älteste Verfahren zur Messung der Faserlänge beruhte auf einer rein mikroskopischen Untersuchung und bestand darin, dass Präparate des zu prüfenden Stoffes angefertigt und die einzelnen Fasern dieser Präparate im Mikroskop mit Hilfe eines Okularmikrometers ausgemessen wurden²⁰. Das Projektionsverfahren nach Bergman und Backman²¹ hat alle Nachteile dieses mikroskopischen Verfahrens berücksichtigt und wurde von Brecht und Mory²⁰ und Jayme und Harders-Steinhäuser²² weiter verbessert. Letztere haben auch den heute wichtigsten Faserlängenkenwert eingeführt, die längenbezogene mittlere Faserlänge.

Entwässerungsprüfung

Die mikroskopische Charakterisierung des Holzstoffs war und ist eine zeitaufwändige Prozedur und liefert keine eindeutig reproduzierbaren Parameter für die Holzstoffeigenschaften. Man hatte bereits beim Präpapieren unterschiedliches Verhalten des Faserstoffs in Abhängigkeit seiner stofflichen Beschaffenheit bemerkt, und so entwickelten Paul Klemm und Louis Schopper **1907** einen Apparat auf der Grundlage, dass das Volumen eines feuchten Papierfaserstoffs, das sich ein-

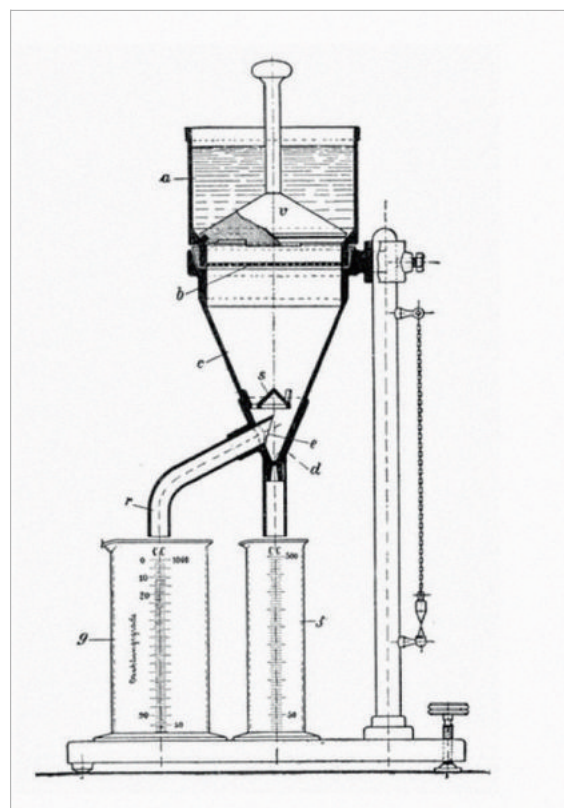


Abb. 2: Manueller Entwässerungsprüfer Bauart Schopper-Riegler von 1915.²⁶

stellt, nachdem alles freie Wasser aus der Ausgangssuspension über ein Sieb nach unten im Freifall abgefließen ist, mit der „Feinheit des Stoffes und seinem Charakter“ direkt korreliert²³.

Dieser Apparat lieferte schnell gute Ergebnisse für rösche, also grobfasrige Stoffe, war jedoch auf Grund der langen Entwässerungsdauer von bis zu mehreren Stunden ungeeignet für die Prüfung der sogenannten schmierigen Stoffe. Leopold Skark²⁴ erkannte **1910**: „Die Geschwindigkeit, mit der das Wasser aus einem Stoff-Wassergemisch abläuft, ist am meisten geeignet, als Maßstab für die Feinheit des Stoffes zu dienen“. Er entwickelte den sogenannten Stoff-Feinheitsprüfer, einen Vorläufer der heutigen Entwässerungsapparate. Michael Riegler gebührt das Verdienst, die durch das Sieb tretende Flüssigkeitsmenge in einen durch schnelle Entwässerung und einen durch langsame Entwässerung entstehenden Teil getrennt und dadurch eine zeitunabhängige Entwässerungskennzahl geschaffen zu haben. Den **1916** patentierten „Mahlgrad“-Prüfer nach Riegler²⁵ baute Louis Schopper zunächst als manuelles Gerät²⁶ (Abb. 2); 1930 wurde die noch heute vertriebene Bauart mit gleichförmiger Hebe-Geschwindigkeit des Dichtungskegels durch Gewichte und Seilzug patentiert²⁷. Einmal eingeführt, diente schon das manuelle Prüfgerät umfassenden Studien über stoffliche und prüfmethodische Zusammenhänge.

1927 untersuchten Brecht und Schaun die Einflüsse von Temperatur, Stoffmasse und Stoffkonzentration zu Beginn der Prüfung auf das Messergebnis²⁸, **1929** wurden von Gustav Dalén die Masse-Korrekturkurven publiziert²⁹. Bereits zu diesem Zeitpunkt bemerkte Brecht²⁸, dass der Einfluss der Faserbeschaffenheit und des Quellverhaltens auf

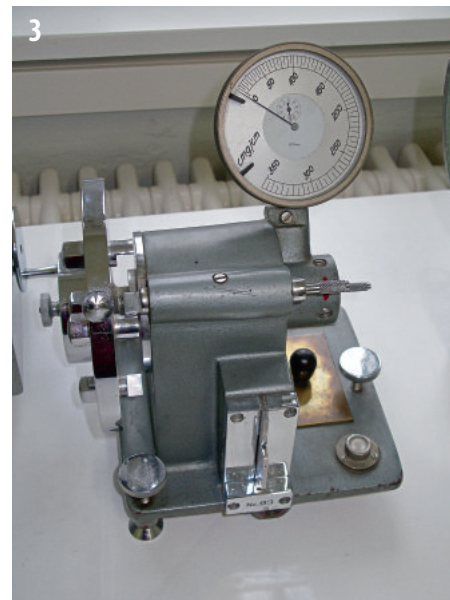
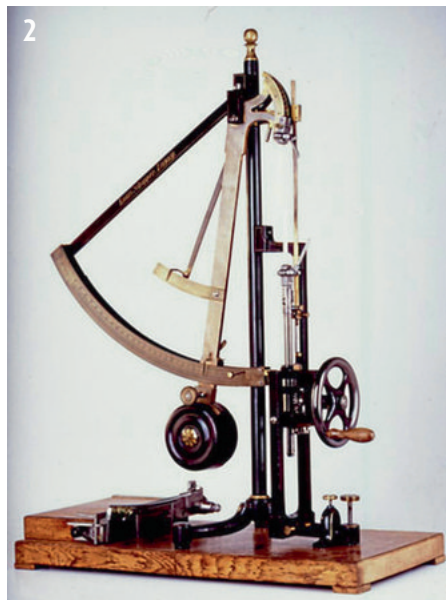


Abb. 3: Prüfgeräte für die Festigkeitsbewertung

- (1) Berstdruckprüfer nach Schopper-Dalén
- (2) Zugfestigkeitsprüfer²
- (3) Durchreißprüfer Brecht-Imset
- (4) INZ-Prüfer
- (5) Dickenmesser.²

den heute SR-Wert genannten Parameter nicht voneinander getrennt werden könnten, und der Begriff „Mahlungsgrad“ stehe „überall dort ganz zu unrecht, wo die untersuchten Stoffe keiner eigentlichen Mahlung ausgesetzt waren“.

Obwohl schon 1938 in einer kritischen Betrachtung zur SR-Wert-Prüfung die Unempfindlichkeit der Messung im Bereich sehr hoher Messwerte besonders betont wurde³⁰, erfreut sich die Entwässerungsprüfung nach Schopper-Riegler wegen ihrer Einfachheit in Bedienung und Wartung nach wie vor großer Beliebtheit.

Laborblattbildung

Bei der Erarbeitung des Normalverfahrens zur Gütebestimmung von Holzschliff betonten Brecht und Holl⁶ die Bedeutung eines einheitlichen Verfahrens zur Herstellung von Laborblättern und schlugen dafür den schon in der Einheitsmethode für die Festigkeitsprüfung von Zellstoffen⁸ beschriebenen Rapid-Köthen-Blattbildner von v. Possanner und Unger vor³¹, dessen Wirkprinzipien bis heute gültig sind und angewandt werden.

Festigkeitsprüfung

Für die Festigkeitsprüfung haben sich verschiedene Prüfgeräte, namentlich Entwicklungen der Fa. Louis Schopper, einen festen Platz in den Papierlabors erobert und sind – natürlich mit der Zeit modernisiert und den Entwicklungen der computergestützten Datenauswertung angepasst – bis heute Bestandteil der Standard-Papierprüfung. Eine Auswahl dieser Geräte älterer Bauart ist in Abb. 3 zusammengestellt. Einheitliche Versuchsbedingungen hinsichtlich Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit für die Prüfräume wurden wenige Jahre nach ihrer Gründung im Jahre 1871 von der damaligen Kgl. Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg mit 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchtigkeit festgelegt. Diese Angaben stammten aus dem Bereich der Textilprüfung und wurden zunächst weltweit angewandt (Übernahme durch die TAPPI im Jahre 1926). 1941 aber hat die TAPPI nach längerer Diskussion mit Druckereien die für Papiere günstigeren Bedingungen von 50 % rel. Luftfeuchtigkeit und 73 °F (entspricht etwa 23 °C) eingeführt. 1977 wurden diese Bedingungen von der ISO übernommen und seitdem in immer mehr Ländern angewandt³².

Weiterentwicklung der Holzstoffprüfung nach 1945

Durch die Teilung Deutschlands im Ergebnis des Zweiten Weltkriegs bestand zwischen 1949 und 1989 auch eine parallele Forschungslandschaft. Fortan gab es zwei deutsche Technische Hochschulen (später Technische Universitäten), die sich maßgeblich mit Entwicklungen auf dem Gebiet der Faserstoffprüftechnik, insbesondere für die Holzstoffprüfung befassten. In der damaligen DDR nahm **1953** das Institut für Papiertechnik unter Leitung von E. Unger, der sich bereits in der „Festigkeitskommission“ mit B. Possanner von Ehrenthal einen Namen gemacht hatte, seine Tätigkeit an der damaligen Technischen Hochschule Dresden auf, in der Bundesrepublik setzte das Institut für Papierfabrikation an der damaligen Technischen Hochschule Darmstadt seine Arbeit unter der bewährten Leitung von W. Brecht fort.

Die Forschung zur Holzschliffprüfung wurde nun an beiden Einrichtungen mit dem Ziel durchgeführt, die bekannten Prüfverfahren und -apparate zu vereinfachen und neue Verfahren zu entwickeln, die für eine Betriebskontrolle in unmittelbarer Nähe von Produktionsstätten geeignet sein mussten, schnell und zuverlässig Ergebnisse liefern und dazu noch kostengünstig sein sollten. Konnte jedoch im westlichen Wirtschaftsraum zunehmend auf kommerziell zur Verfügung stehende Prüfapparate zurückgegriffen werden, blieb man „hinter der Mauer“ auf Eigenentwicklungen und Eigenbau angewiesen.

E. Unger³³ veröffentlichte **1956** die Ergebnisse seiner bisherigen Arbeiten zur „Weiterentwicklung der Prüfung und Bewertung insbesondere von Holzschliff“. Sein „Prüfstand für Papierstoffe“ war eine Kombination zusammengehöriger Prüfeinrichtungen und bestand aus dem *Aufschlag-Verteiler-Gerät*, dem *Laborblattbildungsgerät Betriebs-Rapid-Köthen (BRK)* mit einem *Fraktioniereinsatz* (Abb. 4) und einem Prüftisch mit *Schnellklimatisierkanal*, Quadrantenwaage und neu entwickeltem *Berstdruckprüfer*. Das Aufschlag-Verteiler-Gerät ist eine Kombination des runden Aufschlaggeräts und des viereckigen Verteilergeräts aus der Einheitsmethode⁸ und erfüllt beide Funktionen in einem Gerät.

Der BRK-Blattbildungsapparat folgte in seinen Grundzügen dem bekannten Rapid-Köthen-Gerät, jedoch wurde die gleichmäßige Verteilung der Faserstoffsuspension in der Füllkammer nicht durch Druckluft, sondern mechanisch durch einen Stirrer erzielt, wodurch zusätzliche Verunreinigungen des Stoffs durch Betriebswasser und Geräteablagerungen vermieden werden sollten. Weiterhin zeichnete sich das Gerät durch eine kürzere Trocknungsdauer für die Blätter aus. Als wesentliche Bereicherung der Blattbildungsanlage galt der Fraktionierapparat, der als Zusatzgerät in der Füllkammer des Blattbildners angewandt wurde. Mit denselben Siebgeweben wie beim Brecht-Holl-Fraktionator und einer Schlitzplatte mit zirkular angeordneten Schlitzten von 0,2 mm Schlitzweite wurden Fraktionen wie Faserlangstoff, Faserkurzstoff, Feinstoff und Splitter ermittelt. Im Schnellklimatisierkanal konnten die Prüfblätter innerhalb von 10 min soweit an das Normklima angeglichen werden, dass vergleichbare statische und dynamische Festigkeitsprüfungen möglich waren. Der Berstfestigkeitsprüfer schließlich wurde so konstruiert, dass reproduzierbare Messwerte auch in nichtklimatisierten Räumen möglich waren, weshalb er in unmittelbarer Nähe des Schnellklimatisierkanals platziert war.

Die Arbeiten von Brecht und Klemm³⁴ setzten bei der Weiterentwicklung des im Zellcheming-Merkblatt 201 beschriebenen Normalverfahrens zur Gütebestimmung von Holzstoff an und erarbeiteten das derzeit noch immer gültige Zellcheming-Merkblatt VI/1. Gegenüber dem früheren Merkblatt 201 wird darin ausführlicher auf die Proben-

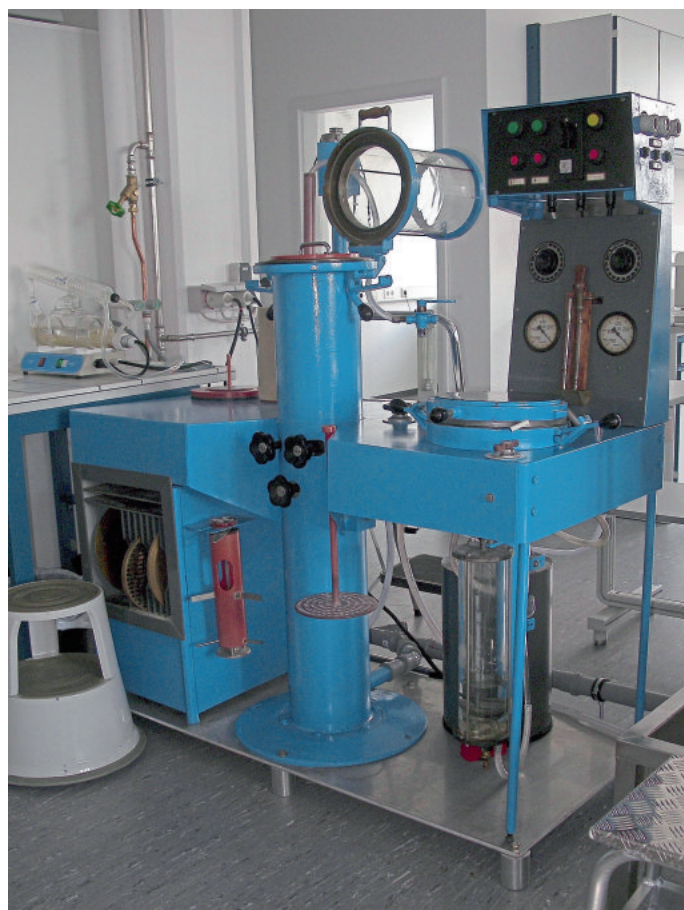


Abb. 4: Blattbildungsapparat Betriebs-Rapid-Köthen (BRK) nach E. Unger.

vorbereitung eingegangen mit der Unterscheidung, ob es sich um bereits suspendierten, feuchten oder trockenen Holzstoff handelt. Für das Aussehen werden auch Unreinheiten und die Opazität herangezogen. Die Festigkeitsbewertung wurde um die Weiterreißarbeit erweitert, die initiale Nasszugfestigkeit und die Luftdurchlässigkeit wurden neu eingeführt. Besonders die initiale Nasszugfestigkeit sollte den Zeitraum von der Probenahme bis zur Aussage über das Festigkeitsverhalten beträchtlich verkürzen, da diese Messung am direkt aus dem Prozess entnommenen Faserstoff durchgeführt wurde, ohne den Weg über die traditionelle Laborblattbildung, -trocknung und -klimatisierung zu gehen³⁵.

Auch die Messtechnik für die Faserlänge wurde weiterentwickelt. Zur Beschleunigung der Projektionsanalyse projizierte Kilpper in Darmstadt das Faserpräparat auf eine mit fünf konzentrischen Kreisen versehene weiße Ebene und zählte alle Fasern, die innerhalb des Ring-systems überhaupt lagen, und alle Fasern, die vom äußersten der fünf Ringe geschnitten wurden. Aus den beiden Zählergebnissen ließ sich mit einer Formel die mittlere Faserlänge errechnen, zu der zur Berücksichtigung der Faserkrümmung ein Zuschlag von 10 % gemacht werden musste³⁶. Aus diesem Schnellverfahren war jedoch kein anderer Parameter als die mittlere Faserlänge ableitbar. Am Institut für Papierfabrikation in Darmstadt wurde deshalb **1956** mit dem Bau eines Faserlängenmessgeräts begonnen, dass zur manuellen Längenabtastung der einzelnen Fasern ein Messrad mit Impulsgeber und nachgeschalteter elektronischer Impulzzählung benutzte³⁷. Die Entwicklungen aus Dresden werden im nachfolgenden Abschnitt erläutert. In den **1970er** Jahren, nach der Einführung des von Arne Asplund

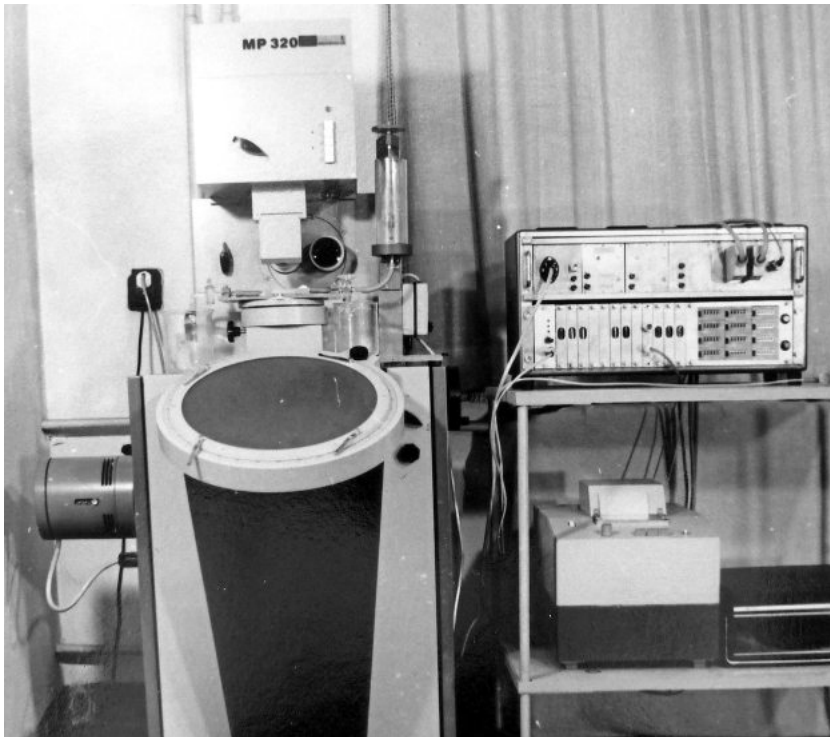


Abb. 5: Arbeitsplatz zur Projektionsbildanalyse an der TU Dresden (1979).⁴²

entwickelten und im Vergleich zum Schleifen wesentlich energieintensiveren TMP-Verfahrens³⁸ begann man sich aus gegebenen wirtschaftlichen Gründen intensiver mit den spezifischen Energieverbräuchen der verschiedenen Holzstoffprozesse und ihrer Wechselwirkung mit den entsprechenden Faserstoffeigenschaften zu beschäftigen. Als ein Beispiel dafür sei hier die „Festigkeitskennzahl F“ nach Süttinger genannt, die den Zusammenhang der Holzstoff-Festigkeitsentwicklung mit dem spezifischen Energieverbrauch bei der Holzstoffherzeugung an einer Kennzahl darstellt, die aus der Reißlänge und der Durchreißfestigkeit, gemessen mit dem Elmendorf-Apparat, berechnet wird³⁹.

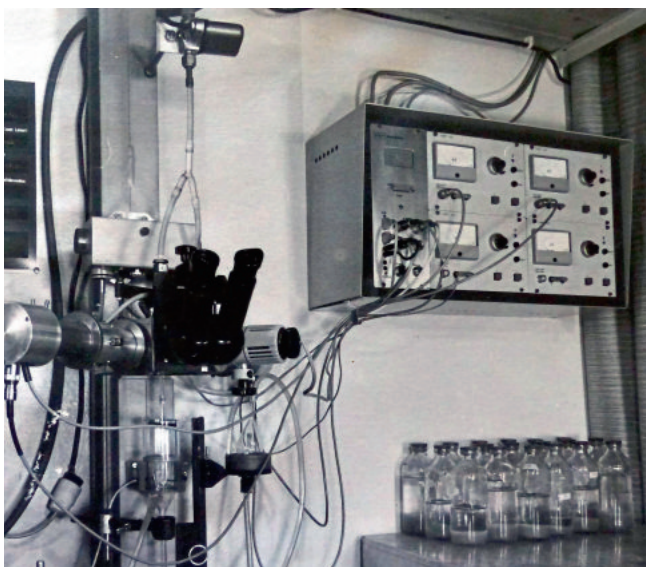


Abb. 7: Durchlaufmikrofotometer DMF an der TU Dresden (1984).⁴⁴

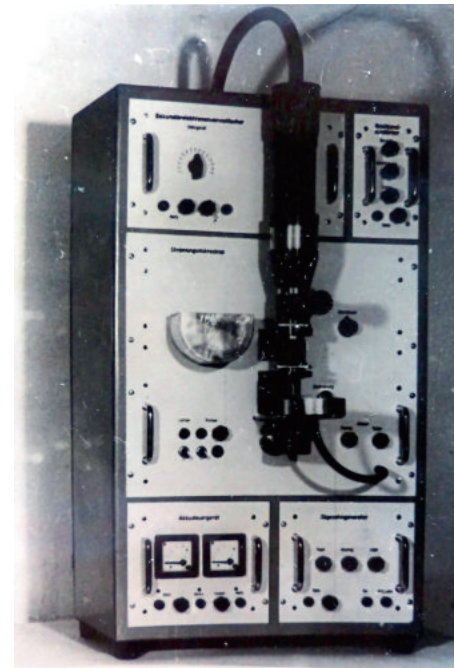


Abb. 6: Strömungs-Mikroskop-Messplatz an der TU Dresden (1964).⁴³

Spezielle Prüfungen, (weiter)entwickelt in Sachsen, der Herkunftsregion des Holzschliffs

Die in diesem Abschnitt erwähnten Arbeiten sind untrennbar mit den Namen Ernst Unger, Ernst Giese, Ernst-Wieland Unger und Jürgen Blechschmidt verbunden.

Zeitgleich mit E. Ungers Arbeiten zur Weiterentwicklung der betriebsnahen Holzschliffprüfung haben sich E. Giese und D. Link mit der Feinstoffcharakterisierung beschäftigt und das zeitaufwändige Sedimentationsverfahren zur Feinstoffkennzeichnung mit ihrer Arbeit zur „Trennung von Schleimstoff und Mehlstoff durch Zentrifugalkräfte“ wesentlich beschleunigt⁴⁰.

Seit Mitte der **1950er** Jahre⁴¹ wurde in Dresden die Entwicklung verschiedener Geräte und Verfahren zur Bestimmung der Faserlänge und deren Verteilung, ausgehend von den bis dahin vorliegenden Arbeiten zum Projektionsverfahren, intensiviert (Abb. 5). Neben Verbesserungen an der Abtast- und Auswerttechnik eines Messrads für die Projektionsanalyse⁴² wurden erste Messungen am in einer Kapillare strömenden Faserstoffstrom vorgenommen⁴³.

Diese Arbeiten waren Voraussetzung und Ausgangspunkt für die Entwicklung des bis 1990 in Betrieb gewesenen Durchlaufmikrofotometers DMF zur gleichzeitigen Bestimmung von Faserlänge, Fibrillierung und Splittercharakter⁴⁴, dem Kernstück der online-Qualitätskontrolle, die von **1982** bis 1989 durch Prof. Dr. sc. techn. E.-W. Unger und seine Mitarbeiter⁴⁵ in der Schleiferei der Papierfabrik Kriebstein eingerichtet wurde, aber nicht vollendet werden konnte. Ziel dieser Prozesskontrolle an Stetigschleifern war die Optimierung der Durchreißfestigkeit des erzeugten Holzstoffs bei vorgegebenen Randbedingungen wie Energie-Zeit-Profil, Steinverschleiß und Holzqualität sowie mit einstellbaren Prozessparametern wie Temperatur, Holzvorschub, optimaler Zeitpunkt der Steinbehandlung. Grundlage war ein empirisch ermitteltes, aber physikalisch begründetes mathematisches Modell, mit dem



Abb. 8: Messgerät zur Bestimmung der Permeabilität von komprimierten Faserstoffkuchen an der TU Dresden (1985).

die Qualität des Holzstoffs aus den Faserabmessungen und den Prozessparametern vorausberechnet werden sollte (Abb. 6, 7).

An der damaligen Sektion Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik der TU Dresden begannen in den **1980er** Jahren Bestrebungen, die Teilchenmesstechnik aus unterschiedlichsten Bereichen an verfahrenstechnische Gesetzmäßigkeiten anzupassen. Ernst-Wieland Unger nahm die Herausforderung an, die von der verfahrenstechnisch gängigen Kugelform der Teilchen vollkommenden abweichenden Papierfasern in diese Gesetzmäßigkeiten einzubeziehen. Bis 1989 war die mit dem Durchlaufmikrofotometer gemessene „mengenart-unabhängige mittlere Faserlänge“ das Hauptergebnis einer Faserlängenanalyse⁴⁶. Durch Ersatz der für die Faserlängengruppierung üblichen Fraktioniersiebe mit einer logarithmisch gestuften Prüfsiebreihe konnte über die diagonale Siebmaschenweite eine mittlere massebezogene Faserlänge bestimmt werden, was es einfachen Betriebslabors mit einem BRK-Blattbildner ermöglichte, mit geringem Aufwand Faserlängenkenwerte zu ermitteln⁴⁷.

Genau wie in Darmstadt⁴⁸ war man auch in Dresden bestrebt, den Ende der **1940er** Jahre als für die Beschreibung der Holzstofffestigkeit bedeutsam gefundenen Parameter „massespezifische Oberfläche“ zu bestimmen⁴⁹. Das für diese Messungen konstruierte Gerät, mit dem im Gegensatz zu handelsüblich verfügbaren Apparaten wie dem Pulmac Permeability Tester auch sehr feinstoffreiche Faserstoffe reproduzierbar geprüft werden können, ist seit seiner Installation **1983** noch immer in Betrieb und liefert neben seiner ursprünglichen Bestimmung sehr interessante Daten über das Permeationsverhalten verschiedenster Faserstoffnetzwerke (Abb. 8).

J. Blechschmidt und U. Paris definierten eine Qualitätskennzahl zur Charakterisierung der Holzstoffgüte als das Verhältnis von spezifischer Oberfläche und Langfaserfraktion bzw. mittlerer Faserlänge (ohne Feinstoff), mit dem grobe und feine Holzstoffe voneinander unterschieden werden können⁵⁰.

Fibers in Process

Nachhaltige Papierwirtschaft

Das Informationsportal für die
Papierbranche



Meldungen,
Trends und mehr ...



umfassendes
Hersteller- und
Lieferanten-
verzeichnis



aktuell und
branchenspezifisch

www.fibers-in-process.de



Abb. 9: Splitteranalysator BSS nach Blechschmidt und Steinert an der TU Dresden (1982).⁵¹

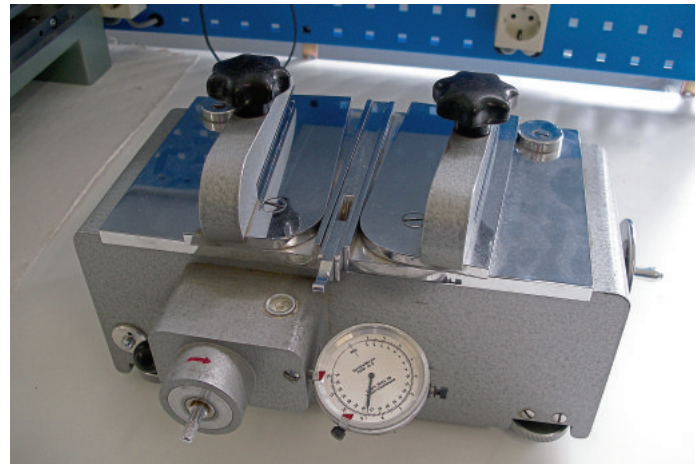


Abb. 10: Durchreißfestigkeitsprüfer nach Unger.

Angeregt durch die Splittergehaltsbestimmung nach v. Alfthan¹⁴ entwickelten J. Blechschmidt und T. Steinert⁵¹ den Splitteranalysator BSS mit variabel einstellbarem Ringspalt (Abb. 9), mit dem eine Häufigkeitsverteilung nach Splitterbreite ermittelt werden konnte.

Für die Bestimmung der Durchreißfestigkeit kam in den Betriebs- und Institutslabors der Durchreißfestigkeitsprüfer nach E. Unger^{52, 53} zum Einsatz (Abb. 10), der – im Gegensatz zu den bis dahin eingeführten Prüfverfahren nach Brecht-Imset und nach Elmendorf – nicht das Durch- bzw. Weiterreißen von Papier mit der Hand nachstellt, sondern die in Papiererzeugungs- und -verarbeitungsprozessen wesentlich häufiger auftretenden Belastungen in der Ebene der Papierbahn.

Zusammenfassung

Wenn man diese zwangsläufig unvollständige und mit besonderem Schwerpunkt auf die Heimat des Holzschliffs Sachsen orientierte Zusammenstellung betrachtet, fallen zumindest zwei Punkte ins Auge: Die wesentlichen Erkenntnisse darüber, welche die bedeutendsten Eigenschaften des Holzschliffs oder Holzstoffs zur Beschreibung seiner Qualität sind, wurden bereits vor über hundert Jahren gewonnen. Lediglich der technische Fortschritt beim Gerätebau und in der Messdaten-Verarbeitung hat eine stetig, aber jedes Mal auf höherem technischen Niveau, wiederkehrende Zuwendung zu den Prüfverfahren bedingt, allerdings auch jedesmal unter aktualisierten technologischen Aufgabenstellungen.

Zu jeder Zeit hat es engagierte Wissenschaftler und Techniker gegeben, die ihre ganze Kraft und Fähigkeit der Erweiterung des Kenntnisstands zur Faserstoffanalyse gewidmet haben und unseren höchsten Respekt verdienen. Solche herausragenden Fachleute sind auch in der Zukunft gefragt, wenn fasrige Rohstoffe wie der Holzstoff für andere als die traditionellen Papier- und Kartonprodukte eingesetzt werden sollen.

Literaturhinweise

- 1 Rostosky G. (1870) **Beobachtungen beim Schleifen verschiedener Hölzer**. Wochenblatt für Papierfabrikation. 1. Jahrgang, Hefte 27, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 37, 38, 39
- 2 **Werkzeugprüfmaschinen** Leipzig, <http://www.werkstoffpruefmaschinen-leipzig.de/4507.html>, download 5.8.2016 und <http://www.technoseum-blog.de/?s=schopper>, download 27.1.2016
- 3 Wiesner J. (1871) **Über die Nachweisung der Holzfaser im Papier**. Wochenblatt für Papierfabrikation 2(42):353-355 und 2(43):361-362

- 4 Wiesner J. (1878) **Nachweis von Holzstoff in Papier mit Phloroglucin**, Wochenblatt für Papierfabrikation 9(1878) Heft 27, S. 877
- 5 Wurster C. (1887) **Quantitative Bestimmung des Holzschliffes im Papier**. Ber. Dtsch. Chem. Ges., 20: 808-810. doi:10.1002/cber.188702001183
- 6 Brecht W., Holl M. (1939) **Schaffung eines Normalverfahrens zur Gütebewertung von Holzschliffen**. Der Papierfabrikant 37(10):74-86
- 7 Korn R. und Burgstaller F. (1953) **Mechanische Prüfung von Holzschliff**. S. 414-423 Korn & Burgstaller (1953), Handbuch für die Werkstoffprüfung, Bd. IV, Papier- und Zellstoffprüfung
- 8 N.N. (1937) **Einheitsmethode für die Festigkeitsprüfung von Zellstoffen (Merkblatt 101)**. Der Papierfabrikant 35(14):109-115, 35(15):121-124 und 35(16):129-132
- 9 Brecht W. und Süttinger R. (1943) **Über die Bedeutung des Formcharakters von Holzschliffen**. Wochenblatt für Papierfabrikation 71(1):3-9 und 71(2):21-27
- 10 Teicher J. (1924) **Prüfung des Holzschliffs**. Zellstoff und Papier 4(10):253-258
- 11 Klemm K.H. (1951) **Begriffe und Bezeichnungen für den Formcharakter von weißem Holzschliff**. Verein der Zellstoff- und Papierchemiker und -ingenieure, Fachausschuss für Holzstoff-Erzeugung, Merkblatt VI/3, vorgeschlagen am 1. Januar 1951, (Fortsetzung von Merkblatt 202)
- 12 Brecht W., Trenschele R. (1938) **Die Eignung der Siebanalyse als Untersuchungsmethode für Holzschliff**. Der Papierfabrikant 36(46):462-471
- 13 Brecht W., Holl M. (1948) **Splittergehaltsbestimmung und Faserfraktionierung in einem Gerät**. Das Papier 2(5/6):85-92 und 2(7/8):138-142
- 14 Alfthan G. von (1965) **A new shives analyzer**. Pulp and Paper Magazine of Canada 66(4):1229
- 15 Hauan S., Gaure K. (1968) **The PFI-Micro shive fractionator**. Norsk Skogindustri 22(5):155
- 16 Breunig A. (1981) **Der Haindl-Fraktionator**. Der Papiermacher -(6):84-85
- 17 Klem P. (1929) **Etwas vom Holzschliff**. Der Papierfabrikant 27(30):467-469
- 18 Klem P. (1932) **Der neue "Research Flour-Tester" und einige Ergebnisse mit derselben**. Der Papierfabrikant 30(10):109-112
- 19 Luukko K. (1999) **Characterization and properties of mechanical pulp fines**. Acta Polytechnica Scandinavica, Ch 267, Dissertation, Espoo, 139 pp. + ref.
- 20 Brecht W., Mory H. (1934) **Beitrag zur Kenntnis der Faserlängen-Messverfahren**. Zellstoff und Papier 14(12):492-495, 15(4):150-153 und 15(6):237-238
- 21 Bergman S.K., Backman F.K. (1929) **Faserlänge von Zellstoff**. Der Papierfabrikant 27(29):449-456
- 22 Jayme G. und Harders-Steinhäuser M. (1952) **Bestimmung der Faserlänge von Zellstoffen**. In: Freund H. (Hrsg.) Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Band V, S. 546-572, Umschau-Verlag Frankfurt/M.
- 23 Klemm P. (1907) **Sedimentierungsprüfer zur Beschaffenheitsprüfung von Papierfaserstoffen**. Wochenblatt für Papierfabrikation 38(49):3986-3987
- 24 Skark L. (1910) **Ein neuer Stoff-Feinheitsprüfer**. Der Papierfabrikant, Jg. 8, Fest- und Auslandsheft, S. 49-61
- 25 Riegler M. (1913) **Method and means for testing paper-pulp**. US Patent 1 193 613, eingereicht am 8.9.1913, erteilt am 8.8.1916
- 26 Herzberg W. (1915) **Papierprüfung – Eine Anleitung zum Untersuchen von Papier**. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage, Verlag Julius Springer Berlin

- 27 Schopper A. (1930) **Vorrichtung zum Prüfen von Papierstoff**. D.R.P. 494459, erteilt am 21.6.1929
- 28 Brecht W. und Schaun E. (1927) **Die Messung des Schmierigkeitsgrades von Holzstoff mit dem Schopper-Riegler-Apparat**. Der Papierfabrikant, Festheft S. 45-60.
- 29 Korn R. (1929) **Korrektionskurven für die Bestimmung des Mahlungsgrades mit dem Schopper-Riegler-Apparat**. Wochenblatt für Papierfabrikation 60(7):199-200
- 30 Steinschneider M., Grund E. (1938) **Über den Einfluß von Faserlänge und Faserschleim auf den Mahlgrad und die Festigkeitseigenschaften gemahlener Zellstoffe**. Der Papierfabrikant 36(1):1-12 und 36(2):13-21
- 31 Possanner B. von (1934) **Die deutsche Standardmethode zur Bestimmung der Festigkeit von Zellstoffen**. Der Papierfabrikant (4):37-45
- 32 Clark J. d'A. (1985) **Pulp technology and treatment for paper**. Second revised and enlarged edition, Miller Freeman Publications, Inc. San Francisco. S. 828
- 33 Unger E. (1956) **Neue Gesichtspunkte für die Prüfung und Bewertung von Papierstoffen, insbesondere von Holzschliff**. Zellstoff & Papier 5(5):104-110 und 5(6):124-129
- 34 **Prüfung von Holzstoffen**. Verein der Zellstoff- und Papierchemiker und -ingenieure, Fachausschuss für Holzstoff-Erzeugung, Merkblatt VI/1/66, ausgegeben am 3. Februar 1966, (Neubearbeitung von Merkblatt 201)
- 35 Brecht W. und Klemm K. (1951) **Über ein Verfahren zur raschen Gütebeurteilung von Holzschliffen im Schleifereibetrieb**. Das Papier 5(23/24):489-503
- 36 Kilpper W. (1949) **Entwicklung einer Schnellmethode zur Bestimmung der Faserlängen von Fasergemischen für betriebliche Zwecke**. Wochenblatt für Papierfabrikation 77(6):160-164
- 37 Brecht W., Volk W. (1958) **Apparative Verfahren der Faserlängen-Messtechnik**. Das Papier 12(9/10):196-200
- 38 Asplund A. (1973) **Development of the thermo-mechanical pulping method**. International Mechanical Pulping Conference, Stockholm, Sweden, p. 15:1
- 39 Süttinger K. (1979) **Analyse des Energieverbrauchs in der Holzstoffherzeugung**. Wochenblatt für Papierfabrikation 107(2):40-43
- 40 Giese E. und Link D. (1957) **Neue Erkenntnisse bei der Erforschung des Feinstoffs im Holzschliff**. Zellstoff & Papier 6(9):269-279
- 41 Unger E. und Unger E.-W. (1963) **Ein Beitrag zur schnellen Bestimmung der mittleren Faserlänge und der Faserlängenverteilung von Papierstoffen**. Zellstoff & Papier 12(1):4-10
- 42 Freund F. (1979) **Ein Beitrag zur Faserlängenbewertung von Papier-Faserstoffen unter Berücksichtigung einer automatischen Prozeßkontrolle**. Dissertation Technische Universität Dresden, Fakultät für Maschinenwesen
- 43 Unger E. W. (1965) **Ein Beitrag zur Bestimmung der Faserlänge von Papierfaserstoffen**. Dissertation TU Dresden, Fakultät für Technologie
- 44 Unger E.-W. (1984) **Kennzeichnung grobdisperser Stoffsysteme der Zellstoff- und Papierindustrie**. Habilitationsschrift (Dissertation B), Technische Universität Dresden
- 45 Unger E.-W., Tränkner U., Heinemann S. und Weißbach D. (1986) **Mikrorechnereinsatz bei der Prozeßkontrolle an Stetigschleifern**. Zellstoff & Papier 35(1):20-24
- 46 Unger E.-W. (1983) **Methodik zur online-Bewertung des granulometrischen Zustandes von Faserstoffsuspensionen (Teil II)**. Zellstoff & Papier 32(6):226-231
- 47 Unger E.-W., Heinemann S., Blechschmidt J., Steinert T. (1982) **Bewertung des granulometrischen Zustandes von Holzstoffen über Siebanalyse mit logarithmisch gestufter Prüfsiebreihe**. Zellstoff & Papier 31(2):67-70
- 48 Brecht W. und Schanz D. (1957) **Versuch zur Kennzeichnung von Holzschliff-Feinstoffen durch Ermittlung ihrer spezifischen Oberfläche**. Wochenblatt für Papierfabrikation 85(23):891-898
- 49 Unger E.-W. und Heinemann S. (1983) **Vergleichende Untersuchungen verschiedener Methoden zur Bewertung der spezifischen Oberfläche von Faserstoffen aus der Suspension**. Zellstoff & Papier 32(4):154-157
- 50 Blechschmidt J., Paris U. (1974) **Zur Gütekontrolle von Holzschliffen**. Zellstoff & Papier 23(5):143-145
- 51 Blechschmidt J., Steinert T., Löser U. (1982) **Vergleichende Untersuchungen an einem Fraktioniergerät mit variabler Schlitzweite zur Beurteilung des Splittergehalts von Holzstoffen**. Diplomarbeit Nr. 424, Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenbau, Wissenschaftsbereich Papiertechnik
- 52 Unger E. (1958) **Ein neues Prüfverfahren für die Bewertung der Papierfestigkeit**. Zellstoff & Papier 7(4):108-116
- 53 Unger E. (1960) **Die Durchreiß- und Einreißfestigkeit und damit zusammenhängende Fragen der Festigkeitsbewertung von Papier und Papierstoffen**. Zellstoff & Papier 9(3):99-110
- 54 Tröger H. (1987) **Zur Geschichte der Papierprüfung**. Zellstoff & Papier 36(4):155-157
- 55 Schmidt F. (2014) **Siegfried Reissek und seine Untersuchungen der Fasergewebe**. Paper History 18(2):21-29

Fibers in Process

Nachhaltige Papierwirtschaft

Das **Hersteller- und Lieferantenverzeichnis** für die Papierbranche

informieren

präsentieren

vernetzen

Mehr **Reichweite** für Ihr **Online-Marketing**

• Kunden erreichen und auf dem Laufenden halten

• Angebote ausführlich präsentieren

• Unternehmen detailliert darstellen



www.fibers-in-process.de