

## ÜBERSICHT VON PRÜFMETHODEN AN PAPIER, KARTON UND PAPPE

[EIN FACHBEITRAG DER PAPIERTECHNISCHEN STIFTUNG PTS, HEIDENAU | AUTOREN: N. BRANDT, J. GEBAUER, S. GENEST, B. HILLER, K. KÜHNÖL, F. ROCHNER]

### EINLEITUNG

Chemische Analytik und physikalische Messverfahren erfordern neben fachlicher Kompetenz vor allem das Verständnis für die Belange des Kunden. Über 60 Jahre papiertechnische Erfahrung, modernste Analytik und erfahrene Wissenschaftler machen die Papiertechnische Stiftung (PTS) zum unabhängigen Experten für die Ursachenanalyse komplexer Fragestellungen und das Aufzeigen von möglichen Lösungswegen. Um Unterschiede in der Performance von Produkten auszumachen oder Ursachen für eine Qualitätsabweichung aufzuklären, müssen verschiedene Eigenschaften und Einflüsse systematisch untersucht werden. Ein Fundus von über 500 Methoden liefert Messwerte, die von den erfahrenen PTS-Mitarbeitern schnell und zuverlässig zu einem Gesamtbild zusammengesetzt werden können. Die Abbildung (rechts) zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Prüfmöglichkeiten der PTS, auf welche im folgenden Fachbeitrag punktuell näher eingegangen wird (dunkelblau gekennzeichnet).



### Normklima

Cellulosebasierte Faserstoffe, die bei der Produktion von Papieren eingesetzt werden, sind hygroskopisch. Sie nehmen Feuchtigkeit aus der Umgebung auf oder geben diese ab, abhängig von der vorliegenden Klimasituation. Das Klima beeinflusst dabei direkt die Papiereigenschaften. Um eine Vergleichbarkeit der geprüften Messwerte zu garantieren, wird das sogenannte Normklima genutzt, welches für Papier, Pappe und Zellstoff definiert ist als  $23 \pm 1 \text{ °C}$  und  $50 \pm 2 \text{ %}$  relativer Luftfeuchtigkeit (ISO 187 / DIN EN 20187).

### GRUNDEIGENSCHAFTEN

#### Flächenbezogene Masse

Die flächenbezogene Masse gibt an, welche Masse ein Quadratmeter Papier, Karton oder Pappe besitzt. Die flächenbezogene Masse wird ermittelt nach DIN EN ISO 536 mittels Analysenwaage. Aus 20 Einzelwerten wird ein Mittelwert gebildet. Durch die flächenbezogene Masse wird ein papierbasiertes Erzeugnis grundlegend charakterisiert, da viele Eigenschaften in direkter Abhängigkeit zu dieser Größe stehen.

### Dicke

Die Dicke von Papiermaterialien ist definiert als der senkrechte Abstand zwischen den parallelen Oberflächen Ober- und Unterseite in Z-Richtung. Die Ermittlung der Dicke erfolgt mittels mechanischen oder teilautomatisierten Dickenmessgeräten, sogenannten Mikrometern. Die Bestimmung der Dicke erfolgt nach DIN EN ISO 534. Es wird aus 20 Einzelwerten ein Mittelwert gebildet. Die Dicke wird bei der Papiererzeugung u.a. direkt durch die Auswahl der Faserstoffe und deren Mahlzustand, den Mineralstoffgehalt durch Füllstoffdosierung oder die Oberflächenveredelung durch Strichauftrag und mechanische Behandlung bei der Papierherstellung, wie Verdichtung in der Pressenpartie, Satinage durch Glättwerk oder Kalandrierung, beeinflusst. Bei dieser Betrachtung wird von einer konstanten flächenbezogenen Masse ausgegangen.

### Feuchtigkeits- & Trockengehalt

Der Feuchtigkeitsgehalt von Papier ist definiert als Wasseranteil in der feuchten Probe und wird in Massen-Prozent angegeben. Der Trockengehalt ist das Verhältnis der Masse einer Probe nach Trocknung bis zur Massekonstanz zur Masse bei

der Probenahme und wird ebenfalls in Massen-Prozent angegeben. Die Bestimmung des Feuchtegehaltes erfolgt nach DIN EN ISO 287 nach dem Wärmeschränkverfahren. Die Bestimmung des Feuchtegehalts ist methodisch eine Trockengehaltsbestimmung. Die Muster werden bei  $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  bis zu ihrer Massekonstanz getrocknet und gewogen. Die Massekonstanz ist erreicht, wenn der Unterschied zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wägungen  $\leq 0,1\%$  der Ausgangsmasse des Musters beträgt.

### Rohdichte, Spezifisches Volumen

Wird Papier unter stofflichen Gesichtspunkten betrachtet, ist es ein heterogenes Gemisch aus Faserstoffen, Hilfsstoffen, Wasser und mit Luft gefüllten Hohlräumen. Da die im Papiergefüge befindlichen Stoffe unterschiedliche Dichten aufweisen, wird für ein Papier jeweils die durchschnittliche Dichte bestimmt und als Rohdichte bezeichnet. Sie wird definiert als Quotient aus Masse in g und dem Volumen in  $\text{cm}^3$ . Das spezifische Volumen ist der Kehrwert der Rohdichte. Die Rohdichte bzw. das spezifische Volumen von papierbasierten Materialien wird durch Faserstoffauswahl, Mineralstoffgehalt und mechanische Behandlung, wie Satinage, während der Erzeugung beeinflusst.

## FESTIGKEITSEIGENSCHAFTEN

### Zugversuch Papier

Unter Zugfestigkeit versteht man den Widerstand einer Probe, welche diese dem Zerreißen durch Zugkräfte in der Probenebene entgegensetzt. Dies kann nach der DIN EN ISO 1924-2 mit einer konstanten Dehngeschwindigkeit von 20 mm/min erfolgen oder wie in Teil 3 dieser Norm mit 100 mm/min an einer Universalprüfmaschine mit entsprechenden Klemmen zum Einspannen der Proben. Die dafür notwendigen Probestreifen werden jeweils in Längs- und Querrichtung getrennt geschnitten und geprüft und haben in der Regel eine Breite von 15 mm. Die üblichen Kennwerte, welche aus dem Zugversuch ermittelt werden, sind die Bruchkraft, -dehnung, das Arbeitsaufnahmevermögen und der E-Modul. Die Bruchkraft ist dabei die maximale Zugkraft in N, welche normalerweise als breitenbezogene Bruchkraft bezogen auf die Probenbreite berechnet und in  $\text{kN/m}$  angegeben wird. Die Bruchdehnung bezeichnet das Verhältnis aus der Längenänderung beim Bruch der Probe zur freien Einspannlänge bei Beginn des Versuchs und wird in Prozent angegeben. Der Elastizitätsmodul ist das Verhältnis der Zugkraftänderung je Anfangsquerschnittsfläche zur Längenänderung je freier Einspannlänge und wird in MPa angegeben.

Das Arbeitsaufnahmevermögen einer Probe entspricht der Fläche unterhalb der Kraft-Dehnungskurve bis zur der maximalen Zugkraft. Diese Fläche kann entweder durch ein Planimetriergerät oder per Integration im Prüfgerät bestimmt werden und wird in  $\text{J/m}^2$  angegeben. Der Zugversuch kann auch an gewässerten Proben erfolgen, um die Nassbruchkraft bzw. das Nassfestigkeitsverhalten (trocken zu nass) auszudrücken.

### Durchreißfestigkeit Elmendorf

Der Durchreißwiderstand ist ein Maß für den Widerstand, welchen eine eingeschnittene Papierprobe dem Durchreißen entgegensetzt. In der Norm DIN EN ISO 1974 wird das Verfahren und die Probenvorbereitung beschrieben. Für die Prüfung werden Prüflinge mit den Abmessungen von 76 x 43 mm hergestellt. Die Prüfrichtung verläuft entlang der kürzeren Seite. Üblicherweise werden bei Papieren Probenpakete aus 4 Einzelblättern hergestellt und gleichzeitig geprüft. Dies kann aber je nach Material und Festigkeit variiert werden. Die Probe wird eingespannt und mit dem im Prüfgerät integrierten Messer ein definierter Einschnitt erzeugt. Danach wird das Pendel, welches für den Messbereich des Materials geeignet ist, ausgelöst und erzeugt ein Durchreißen im weiteren Verlauf des Einschnittes. Dieser erzeugte Riss sollte nicht mehr als 10 mm von der idealen Risslinie abweichen. Bei der Prüfung mit Durchreißen in Maschinenlaufrichtung (MD) ergeben sich niedrigere Werte als in Querrichtung (CD), da hierbei mit dem überwiegenden Faserlauf gerissen wird. Der Durchreißwiderstand wird je Prüfrichtung in mN angegeben.

### Streifenstauchwiderstand (SCT)

Der Streifenstauchwiderstand (SSW/SCT) entspricht der auf die Probenbreite bezogenen maximalen Stauchbruchkraft, welche die Probe einer festgelegten Stauchung in der Probenebene entgegensetzt. Eine mögliche anzuwendende Norm ist die DIN 54518 in welcher die Prüfbedingungen festgeschrieben sind. Für die Prüfung werden Probestreifen mit einer Breite von 15 mm in Längs- und Querrichtung zugeschnitten und geprüft. Die freie Einspannlänge beträgt bei dieser Prüfung 0,7 mm und die Prüfgeschwindigkeit 3 mm/min. Um die Stauchung herbeizuführen gibt es ein feststehendes und ein bewegliches Klemmenpaar. Die Ergebnisse sind als Mittelwert je Prüfrichtung in  $\text{kN/m}$  anzugeben.

### Berstfestigkeit Pappe / Papier

Die Berstfestigkeit entspricht dem größten, gleichmäßig verteilten, senkrecht auf die Papieroberfläche aufgewandten Druck

in kPa, welcher zum Einreißen der Papierfläche führt. Das zu prüfende Material wird durch die aufgewölbte Membran zu einer Blase verformt, welche schließlich zum Bersten dessen führt. Für diese Prüfung gibt es zwei Verfahren für Papier und Pappe mit unterschiedlichen Parametern und Messbereichen. Die Berstfestigkeit für Papier wird zum Beispiel in der DIN EN ISO 2758 beschrieben und die für Pappe in der DIN EN ISO 2759. Die wichtigsten Unterschiede bestehen in der Prüffläche, der Membraneigenschaften, der Versuchsgeschwindigkeit und des Messbereiches. Das Gerät für Papier kann Werte bis 1100 kPa messen und das Gerät für Pappe bis zu 5500 kPa. Die Messwerte der beiden Verfahren können nicht direkt miteinander verglichen werden. Üblicherweise werden beide Seiten der Materialien geprüft, da gerade bei Wellpappe hierbei große Unterschiede auftreten können. Wellpappe wird ausschließlich mit dem Messgerät für Pappe gemessen und es ist möglich die entsprechenden Wellpappenrohapiere hinsichtlich der Vergleichbarkeit ebenfalls damit zu messen.

#### **Spaltfestigkeit Scott Bond**

Diese Methode nach Tappi T569 testet den Widerstand einer Probe, welche diese der Spaltung zwischen ihren Fasern oder ihren Lagen entgegengesetzt. Dafür gibt es ein Messgerät mit einer speziellen Probenvorbereitung. Da dieses Verfahren aus dem amerikanischen Raum stammt, beträgt die Prüffläche eines einzelnen Prüflings einen Inch (2,54 x 2,54 cm). Die Proben werden als Streifen für je 5 Einzelwerte in Längs- und Querrichtung geschnitten. Ein Streifen wird in der Probenvorrichtung auf mit doppelseitigem Klebeband beklebten Grundplatten geklebt. Darauf kommen wiederum ein doppelseitiges Klebeband und die Aluminiumwinkel. Mit einem definierten Anpressdruck wird der Verbund für 2-3 s verpresst. Danach werden die 5 Einzelproben mithilfe eines Messers getrennt, in die Prüfposition gebracht und mittels eines Pendels abgeschlagen. Die Arbeit die für die Spaltung des Papiers notwendig ist, wird in kJ/m<sup>2</sup> angegeben. Bei diesem Verfahren findet eine Kombination zwischen einer Spaltung in Z-Richtung und einer Schälung statt. Wichtig für die Vergleichbarkeit von Messwerten ist das verwendete Klebeband, die Anpresskraft und Anpressdauer.

#### **Ringstauchwiderstand (RCT)**

Der Ringstauchwiderstand (RCT - Ring Crush Test) ist der maximale Widerstand, den ein nach Norm zu einem Ring geformter Papier- oder Kartonstreifen einer axial auf diesen Ring wirkenden Kraft bis zum Zusammenbruch entgegengesetzt. Für die Prüfung werden Probestreifen mit einer Breite von 12,7 mm in

Längs- und Querrichtung zugeschnitten. Um den geeigneten Scheibendurchmesser für die Probenhalterung auswählen zu können, muss die Dicke des Materials ermittelt werden. Danach wird der Streifen in den Probenhalter eingebracht, sodass er einen kompletten Ring bildet. In einer Universalprüfmaschine wird mittels Druckplatten und einer Prüfgeschwindigkeit von 12,5 mm/min der RCT getrennt für Längs- und Querrichtung in kN/m ermittelt.

### **KRAFT-VERFORMUNGS-VERHALTEN**

#### **Biegesteifigkeit**

Mit dem Begriff der Biegesteifigkeit wird ein Material bezüglich seiner Steifigkeit und damit hinsichtlich seiner Eignung zur Weiterverarbeitung (Herstellung von Verpackungen, Weiterverarbeitung in Druckmaschinen usw.) beschrieben. Die Biegesteifigkeit einer Werkstoffprobe lässt sich nach der Balkenmethode mittels des Elastizitätsmoduls, des Trägheitsmoments und der Balkenbreite beschreiben. Die Messungen dürfen nur im elastischen Bereich erfolgen, es dürfen keine plastischen Verformungen erfasst werden. Die folgenden Methoden können je nach Materialien angewandt werden. In der DIN 53121 werden das Zweipunkt-, Dreipunkt- und Vierpunktverfahren beschrieben. Für Papier und Karton wird oftmals das Zweipunktverfahren verwendet. Hierbei wird die Biegesteifigkeit aus der Kraft errechnet, die zur Auslenkung einer einseitig fest eingespannten Probe unter genau festgelegten Bedingungen erforderlich ist. Das Vierpunktverfahren kann nur für Vollpappe und Wellpappe verwendet werden. Angegeben wird die Biegesteifigkeit in Nmm bzw. mNm.

Das Prinzip des Resonanzlängenverfahrens nach DIN 53123-1 besteht darin, dass die Eigenfrequenz eines frei schwingenden Materials abhängig ist von seiner Biegesteifigkeit, der freien Einspannlänge und dem Gewicht des Materials.

#### **Rillbarkeit und Qualität von Rillungen an Faltschachtelkarton**

Um ein Material entlang einer definierten Linie biegen zu können, muss an dieser Stelle eine Reduktion der Biegesteifigkeit erzeugt werden. Dies erfolgt zum Beispiel über die Reduzierung der Materialdicke mittels Rillen. Um ein Material hinsichtlich seiner Rillbarkeit zu bewerten, wird in der DIN 55437-1 eine labormäßige Herstellung von Proberillungen beschrieben. Diese Rillungen werden mit einem entsprechenden Laborgerät in Längs- und Querrichtung hergestellt. Dafür werden

die Rillnutbreite und die Eintauchtiefe variiert. Das Rillwerkzeug wird nach der Dicke des Materials ausgewählt. Die Rillungen an den Proben werden entsprechend der Vorgaben im Teil 2 der Norm bewertet. Dafür werden die Rillungen um 180° umgelegt und hinsichtlich vorhandener Risse bzw. ggf. Aufplatzen der gestrichenen Oberseite des Materials beurteilt. Damit wird der Rillbarkeitsbereich definiert, in welchem das Material unter den entsprechenden Rillbedingungen eine gute Qualität der Rillung nach dem Umlegen aufzeigt. Die Beurteilung der technischen Qualität von Rillungen erfolgt über die Bestimmung des Biege- widerstandsverhältnisses nach dem Teil 3 der Norm. Der Biege- widerstand ist der Widerstand, den eine Probe der Biegung an der Rillung entgegensetzt. Er wird auf die Probenbreite bezo- gen und in mN/m angegeben. Der Quotient des Biege- widerstands einer gerillten Probe zu dem einer ungerillten Probe bei einer Umbiegung um 90° wird als Biege- widerstandsverhältnis bezeichnet. Der Faltfaktor dagegen beschreibt die Schwächung des Kartons in der Rillzone. Bei der Berechnung ist der maxi- male Biege- widerstand im Biege- winkelbereich zu ermitteln. Die Schwächung des Materials an der Rillung sollte 50-60 % betra- gen, damit das Aufrichten der flachliegenden Faltschachteln für die Verarbeitung bzw. Verwendung ohne Probleme ablaufen kann.

#### **Messung der Zugsteifigkeit (TSO/TSI)**

Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Ultraschallimpuls in der Papierblattebene ausbreitet, ist ein Maß für die Elastizität des Blattes, die durch den Zugsteifigkeitsindex TSI (Tensile Stiffness Index) angegeben wird. Die Zugsteifigkeitsausrichtung wird durch den TSO (Tensile Stiffness Orientation) beschrieben und ist das Maß der Abweichung des maximalen TSI des Materi- als von der Maschinenlaufrichtung. Mit speziell entwickelten Messgeräten werden diese Werte ermittelt und man kann damit Rückschlüsse auf die Faserorientierung ziehen. Oftmals wird das Verfahren genutzt um ein Papiermaschinen-Querprofil zu messen und bei Abweichungen Korrekturen am Stoffauflauf vorzunehmen.

### **OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN**

#### **Rauheit Parker Print Surf (PPS)**

Die Bestimmung der Rauheit Parker Print Surf (PPS) nach DIN ISO 8791-4 ist ein indirektes Verfahren zur Kennzeichnung der Oberflächengeometrie. Das Messergebnis ist der Luftvo- lumendurchfluss, der zwischen dem Messring des Messkopfes des PPS-Gerätes und der Probenoberfläche hindurchgeht und

der bei einem festgelegten Überdruck entsteht. Die effektive Länge des Messringes beträgt 98 mm und die Breite 51 µm. Die Druckdifferenz beträgt 6,2 oder 19,6 kPa und je nach Material kann die Probenunterlage aus einer weichen oder harten Gum- miplatte bestehen.

#### **Rauheit Bendtsen**

Die Bestimmung der Rauheit nach Bendtsen (ISO 8791-2) ist ein indirektes Verfahren zur Kennzeichnung der Oberflächengeo- metrie. Das Messergebnis ist der Luftvolumendurchfluss, der zwischen dem Messring des Messkopfes des Bendtsen-Gerätes und der Probenoberfläche hindurchgeht und der bei einem festgelegten Überdruck entsteht. Die Länge des Messringes beträgt 100 mm und die Breite 0,15 mm. Der Druck auf die Probe beträgt 98 kPa und die Probenunterlage ist eine Glas- platte. Der Messbereich dieses Verfahrens liegt bei 10 - 3000 ml/min.

#### **Glätte Bekk**

Die Bestimmung der Glätte Bekk nach DIN 53107 ist ein indi- rektes Verfahren zur Kennzeichnung der Oberflächengeo- metrie. Dabei wird die Zeitdauer in Sekunden bestimmt, die benötigt wird, um eine bestimmte Luftmenge bei definierter Druckdifferenz zwischen der Papieroberfläche und einer ring- förmigen Glasplatte radial nach innen in die Unterdruckkam- mer hindurch zu saugen. Die Kontaktfläche beträgt dabei 10 cm<sup>2</sup> und der Druck auf die Probe 100 kPa. Der Messbereich dieses Verfahrens liegt bei 2 – 12.000 s. Es können je nach Messbereich der Materialien drei verschiedene Verfahren A, B und C verwendet werden. Dabei werden zum Beispiel unter- schiedlich große Vakuumbehälter benutzt.

#### **Wasserabsorptionsvermögen nach Cobb**

Das Wasserabsorptionsvermögen kennzeichnet die Menge Wasser, die von einer Papierfläche von üblicherweise 100 cm<sup>2</sup> bei einseitigem Kontakt mit entionisiertem Wasser und einer festgelegten Kontaktzeit aufgenommen wird. Definiert ist diese Methode zum Beispiel in der DIN EN ISO 535. Die Kontaktzeit kann zwischen 30 und 1800 Sekunden variiert werden. Dies wird als Index bei der Ergebnisangabe zum Beispiel als Cobb30 vermerkt. Üblicherweise wird bei einem normal oberflächenge- leimten Papier ein Cobb60 ermittelt, bei stark geleimten Papiere- n in der Masse aber auch der Cobb1800. Die Probe wird vor der Prüfung gewogen, mit Wasser benetzt, das überschüssige Wasser abgegautscht und wiederum gewogen. Die aufgenom- mene Menge an Wasser berechnet auf 1 m<sup>2</sup> wird in g/m<sup>2</sup> als

Cobb-Wert angegeben. Zu beachten ist, dass jegliches Durchschlagen von Wasser auf die gegenüberliegende Prüfseite zur Ungültigkeit der Prüfung führt. In diesem Fall muss die Kontaktzeit verringert werden. Sollte dies nicht mehr möglich sein, ist das Verfahren für das zu prüfende Material nicht geeignet.

### **Dynamische Penetrationsmessung**

Der zeitliche Verlauf der Benetzung und des Eindringens einer Prüfflüssigkeit in Papier kann mit dem dynamischen Penetrationsmessgerät ermittelt werden. Die Prüfung beruht auf der Messung einer Ultraschalltransmission. Hierbei wird eine Probe in die Benetzungsflüssigkeit getaucht und die sich zeitabhängig verändernde Ultraschallintensität am Empfänger gemessen. Durch Benetzungs-, Penetrations- und Quellungsvorgänge im Papiergefüge verändert sich das Ultraschallsignal. Üblicherweise wird der Kurvenverlauf oder die Zeit in Sekunden ausgewertet, bei der das Signal 95 % beträgt. Dieses Verfahren kann unter anderem dafür verwendet werden, um bei Wellpappenrohropapieren gezielt den Verklebungsvorgang während der Wellpappenherstellung einzustellen, um die Runability der Maschine und die Qualität der Wellpappen sicherzustellen.

### **Optische Topographiemessung**

Die Berührungslose 3D-Messung von Oberflächen ist an der PTS anhand zweier Methoden möglich: **(1)** Die Anwendung der phasenmessenden Lichtstreifenprojektion erlaubt 3D-Profilmessungen großflächiger Proben sowie Rauheitsmessung (Linien- und Oberflächenrauheit). Zur dreidimensionalen Erfassung von Oberflächen werden Bildsequenzen verwendet. Dabei wird durch das zeitlich sequentiell mit Mustern erfolgte Beleuchten der Oberfläche von parallelen hellen und dunklen Streifen unterschiedlicher Breite definierte Streifenmuster erzeugt und von einer Kamera unter einem bekannten Blickwinkel registriert. Für jedes Projektionsmuster wird ein Bild aufgenommen und für jeden Bildpunkt entsteht so eine zeitliche Folge von unterschiedlichen Helligkeitswerten. Anschließend erfolgt die Berechnung der Oberflächenkoordinaten. Diese Methode ermöglicht u.a. die Quantifizierung von Planlageabweichungen flächiger Materialien, die Bewertung von Prägungen oder die Quantifizierung feuchteabhängiger Dimensionsänderungen von Halbzeugen. **(2)** Das Messprinzip der Fokusvariation besteht in der Aufnahme eines Bilderstapels durch Synchronisation des z-Triebes und der Kamera. Es erfolgt eine Extraktion scharfer Bildelemente und die Berechnung eines tiefscharfen Bildes mit der enthaltenen Höheninformationen für jeden Bildpunkt. Aus dem Kamerabild kann so bei beiden Methoden ein farbco-

dierter 3D-Datensatz generiert werden, aus welchen wiederum Rauheitskenngrößen ermittelt werden können.

### **Rupffestigkeit**

Mit diesem Test kann die Oberflächenfestigkeit von Druckpapieren und Kartons in z-Richtung geprüft werden. Bei unzureichender Festigkeit des Bedruckstoffs kommt es zum Herauslösen von Strichpartikeln und/oder Fasern bzw. zum Delaminieren. Der Test wird nach ISO 3783 an einem Probedruckgerät mit beschleunigter Geschwindigkeit unter Verwendung eines so genannten Rupföls durchgeführt, was eine sehr zügige Druckfarbe simulieren soll. Je höher die ermittelte Rupfgeschwindigkeit, desto fester die Oberfläche.

### **Bedruckbarkeit**

Die Auswahl der Prüfung von Bedruckbarkeitseigenschaften richtet sich größtenteils danach, mit welchem Druckverfahren das Material bedruckt werden soll, da jedes Druckverfahren verschiedene Anforderungen an den Bedruckstoff stellt. Es stehen insbesondere für den Offsetdruck diverse Probedruckgeräte und Methoden zur Verfügung, um das Verhalten bei Bedruckung zu simulieren, beispielsweise Mottling- und Wegschlagtests. Für die Verwendung im Tiefdruck wird häufig ein so genannter Heliotest verwendet, bei dem die Anzahl von Fehlstellen („Missing Dots“) bewertet wird.

### **OPTISCHE EIGENSCHAFTEN**

Die optischen Eigenschaften eines Papiers sind abhängig von der Fähigkeit der Fasern und Pigmente, Lichtstrahlen in unterschiedlichem Maße zu reflektieren, zu brechen, zu absorbieren, zu streuen oder durch die Papierschicht hindurchzuleiten. Beeinflussen kann man dies durch die Art, die Menge und die Beschaffenheit der eingesetzten Faserstoffe, Pigmente, Farb- und Nuancierstoffe sowie optischen Aufheller, wie auch durch die Prozessführung, die Papierdicke und -verdichtung. Nicht nur die Papiereigenschaften beeinflussen die optischen Eigenschaften. Die optischen Messwerte sind sehr stark von der zur Messung eingesetzten Lichtart sowie der Messanordnung (Belichtungs-/ Messgeometrie, eingesetzte Filter, Einzelblattmessung, Messung über Papierstapel) abhängig. Vergleichsmessungen sollten stets unter gleichen Belichtungs- und Beobachtungsbedingungen durchgeführt werden, was eine Kalibrierung der Messgeräte mittels ISO- IR3-Standards einschließen muss.

Optische Eigenschaften werden in der Papierindustrie bevorzugt mittels Spektrofotometer mit eingebauter Ulbricht'scher Kugel (Messgeometrie d/0 oder 8 -> Belichtung diffus, Mes-

sung unter  $0^\circ$  bzw.  $8^\circ$ ) gemessen. In der grafischen Industrie finden meist kleinere Handgeräte Einsatz, die jedoch eine andere Messgeometrie besitzen (45/0 oder 0/45). In den Geräten werden Reflexionskurven in einem Wellenlängenbereich von ca. 380 nm bis 700 nm (kann je nach Geräteausführung variieren) aufgenommen, welche die Grundlage für alle optischen Eigenschaftswerte des Papiers bilden.

Übliche Lichtarten in der Papierindustrie sind das D65-Licht und das C-Licht (D50-Licht in der grafischen Industrie), welche sich hauptsächlich hinsichtlich ihres UV-Anteils voneinander unterscheiden. Messergebnisse, welche mittels unterschiedlicher Messgeometrien und/oder Lichtarten erhalten wurden, sind nicht vergleichbar und nicht ineinander umrechenbar!

### Weiße / Brightness

Der Weißgrad (häufig als Brightness bezeichnet) wird in einem Spektralfotometer mit Ulbricht'scher Kugel unter Verwendung eines speziellen Filters, dessen Durchgangmaximum bei 457 nm liegt, gemessen. Zur Bestimmung der D65- Brightness nach ISO 2470-Teil 2 wird die Lichtart D65 verwendet. Bei der Bestimmung der ISO-Brightness nach ISO 2470- Teil 1 wird die Lichtart C eingesetzt. Hierdurch entstehen bei optisch aufgehellten Mustern, welche mit beiden Prüfmethode gemessen werden, deutliche Unterschiede bei den Messergebnissen. Da D65-Licht einen höheren UV-Anteil als C-Licht aufweist, wird bei optisch aufgehellten Proben die D65-Brightness immer einen höheren Wert ergeben als die ISO-Brightness (C-Licht). Sofern die UV-Anregung des zu untersuchenden Materials ausgeschlossen werden soll, wird ein 420 nm Kantenfilter (UV-Filter) bei der Messung verwendet.

### Opazität

Unter Opazität (ISO 2471) versteht man die Lichtundurchlässigkeit eines Materials. Bei der Prüfung wird hierbei der Reflexionsfaktor eines einzelnen Probeblattes über einer vollkommen schwarzen Unterlage (welche auftreffende Lichtstrahlen zu 100 % absorbiert) – meist über dem Schwarzstandard bzw. Hohlkörper – ins Verhältnis zum Reflexionsfaktor des gleichen Probeblattes über einem opaken/lichtundurchlässigen Stapel des zu prüfenden Materials gesetzt. Die entsprechend entgegengesetzte Größe hierzu ist die Transparenz, das Maß für die Lichtdurchlässigkeit eines Papiers.

### Farbmessung

Die Beschreibung einer Farbe beruht auf Remissionsmessungen der Normfarbwerte X, Y und Z mittels Rot-, Grün- und

Blau-Filtern in einem Spektralfotometer. In älteren Messgeräten erfolgt dies tatsächlich als Dreifach-Messung, in neueren Geräten sind diese Filter lediglich mathematisch hinterlegt. Am geläufigsten ist die Charakterisierung einer Farbe mittels des CIE- $L^*a^*b^*$ -Farbraumes. Die Farbmaßzahlen  $L^*$  -Helligkeit,  $a^*$  -Rot-Grün-Anteil und  $b^*$ -Blau-Gelb-Anteil ergeben den Farbort und werden aus den Normfarbwerten rechnerisch ermittelt. Auch hierbei sind die erhaltenen Messergebnisse abhängig von verwendeter Lichtart, Beleuchtungsgeometrie und zusätzlich vom sogenannten „Normalbeobachter“, also der Größe der beobachteten Farbfläche ( $2^\circ$  oder  $10^\circ$  Blickwinkel auf das Farbmuster). Zur Farbmessung gibt es je nach Anwendungsbereich eine Vielzahl von Prüfnormen. Auch hier gilt, Messwerte, welche unter verschiedenen Licht-/Beobachtungsbedingungen erhalten wurden, sind nicht vergleichbar bzw. nicht ineinander umrechenbar.

Farbunterschiede zwischen einem Muster und einer Vorlage werden mittels berechnetem Farbabstand  $\Delta E$  über die Farbabstandsformel aus den Farbmaßzahlen  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  bewertet (siehe auch DIN 6176).

### CIE-Whiteness

Die CIE –Whiteness nach ISO 11475 und ISO 11476 beschreibt die Weiße eines Papiers oder Kartons, welche sich aus den Normfarbwerten X, Y und Z unter den in der entsprechenden Norm angegebenen Bedingungen errechnet. Die CIE-Whiteness wird in „Weiße-Einheiten“ (whiteness units) angegeben. Die Messung erfolgt wiederum in einem Spektralfotometer. Nach ISO 11475 wird D65-Licht und ein Normalbeobachter von  $10^\circ$ , nach ISO 11476 C-Licht und eine  $2^\circ$ -Beobachter angewendet. Um die UV-Anregung gegebenenfalls auszuschließen, kommt auch hier der 420 nm-Kantenfilter zum Einsatz.

### Glanz

Unter dem Begriff Glanz versteht man diejenige Menge Licht, welche von der Papieroberfläche unter dem gleichen Winkel wie dem Winkel der auftreffenden Lichtstrahlen reflektiert wird. Mittlerweile ist die TAPPI  $75^\circ$ -Glanzmessung das am häufigsten angewendete Messverfahren. In DIN EN ISO 8254-1 wird das mit einem divergierenden Lichtstrahl arbeitende Messprinzip dargestellt. Hier wird die zu bewertende Oberfläche unter einem  $75^\circ$  Winkel zur Normalen beleuchtet und die Menge des reflektierten Lichtes unter gleichem Abstrahlwinkel gemessen. DIN EN 14086 und DIN EN ISO 8254-2 beschreiben das sogenannte DIN-Messprinzip mit einem parallelen Lichtstrahl bei unterschiedlichen Einfall-/Messwinkeln. Der  $45^\circ$ -Winkel (DIN

EN 14086) soll dabei für glänzende, der 75° Winkel (DIN EN ISO 8254-2) für matte Oberflächen eingesetzt werden. Es empfiehlt sich auch bei der Glanzbewertung nur Messergebnisse, die unter gleichen Bedingungen erhalten wurden, zu vergleichen.

### Lichtechtheit

Lichtechtheit ist die Eigenschaft des Papiers bzw. seiner Komponenten auf Lichtstrahlungen aus der Umgebung mit Eigenschaftsänderungen zu reagieren. Da eine reale Bestrahlung mit Tageslicht oder anderen Lichtarten zu aufwändig bzw. zu langwierig ist, werden zum Test Geräte mit gefiltertem Xenonbogenlicht eingesetzt. Dabei ist es möglich die Bestrahlung den Bedingungen im Freien oder hinter Fensterglas anzupassen. Das Klima im Prüfraum sowie die Bestrahlungsstärke sind dabei einstellbar. Für Außenanwendungen ist auch eine simulierte Berechnung der Muster möglich. Für die Prüfung von Papier findet derzeit noch immer die Norm DIN EN ISO 105-B02 aus dem Textilbereich Anwendung. Hier wird die Lichtechtheit in Zahlen von 1 bis 8 ausgedrückt, welche acht typischen Verfärbungen von Blauwollstreifen entsprechen, die hinsichtlich ihrer Lichtechtheit genormt sind. Dabei bedeutet die Stufe 1 eine sehr geringe, die Stufe 8 eine ausgezeichnete Lichtechtheit. Üblicherweise wird für Dokumente eine Lichtechtheit der Stufe 5 erwartet.

### DER BLICK ÜBER DEN TELLERRAND

#### Neue Universalprüfmaschine

Anfang 2019 wurde das Spektrum an Universalprüfmaschinen an der PTS um eine „inspekt 20“ (Fa. Hegewald & Peschke MPT GmbH, Nossen) mit integriertem Klimaprüfschrank „KPK 100 LN2“ (Fa. Mytron Bio- und Solartechnik GmbH, Heiligenstadt) erweitert. Die Anschaffung der beiden Geräte konnte im Rahmen des durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten INNO-KOM Investitionszuschusses „IK-IZ 180004“ realisiert werden.

Die neu angeschaffte Universalprüfmaschine bietet insbesondere zwei Vorteile: Erstens, sehr schnelle Prüfungsgeschwindigkeiten bis 3.000 mm/min sowie zweitens, Prüfungen unter definierten Klimabelastungen (Temperaturen bis 250°C, relative Luftfeuchte von 15% bis 95% bei Raumtemperatur). Durch die neu geschaffenen Messmöglichkeiten kann sich die PTS somit neue Forschungsgebiete erschließen. Viele reale Prozesse laufen

unter hohen Geschwindigkeiten ab (z.B. das Rillen von Faltschachtelkarton oder Wellpappe, Beschleunigungsvorgänge auf Wellpappenverpackungen beim Transport, Tiefziehen), weshalb eine Charakterisierung der Materialien hin zu kurzzeitigen, schnellen Impuls- und Stoßbelastungen unabdingbar ist. Zudem kann die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Materialparameter Steifigkeit und Festigkeit in einem wesentlich größeren Umfang untersucht werden. Eine Materialbeschreibung für extrem niedrige bzw. hohe Temperaturen (Transport von Kühl- und Tiefkühlwaren in naturfaserbasierten Materialien, Backanwendungen) sowie angepassten Umgebungsfeuchten (tropisches Klima, Seetransport, Auftauvorgänge/Materialverhalten beim feuchten Erhitzen) wird zudem ein besseres Verständnis des hygroskopischen Werkstoffs Papier ermöglichen und so zielgerichtete Materialverbesserungen im Herstellungsprozess zulassen. Aufgetretene Fehlerbilder und Materialversagen können darüber hinaus besser erkannt, interpretiert und dadurch Produkte optimiert werden. Die Universalprüfmaschine bietet somit umfangreiche neue Möglichkeiten für die PTS ihre Forschungsaktivitäten zu erweitern und somit faserbasierten Materialien noch größere Anwendungsgebiete zu eröffnen.

#### Optische Dehnfeldanalyse / Digitale Bildkorrelation

Herkömmliche physikalische Prüfverfahren geben gemittelte Kennwerte über den Probenquerschnitt wieder, z.B. die Bruchdehnung beim Zugversuch in %. Untersuchungen hinsichtlich lokaler Eigenschaftsschwankungen können hiermit jedoch nicht durchgeführt werden - sind aber für viele Weiterverarbeitungsprozesse, wie z.B. dem Rillen von Faltschachtelkarton, von besonderem Interesse. Um einen Einfluss des mechanischen Messsystems auf die Materialkennwerte auszuschließen, wird die sogenannte Optische Dehnfeldanalyse (Digitale Bildkorrelation) angewendet.

Hierbei wird ein beliebiger zweidimensionaler Versuch in einer Universalprüfmaschine durchgeführt und während des Versuchsablaufs durch eine Bildaufnahme begleitet. Dafür ist ein Kamerasystem hinter der Prüfmaschine (optional auch mit integrierter Klimakammer) aufgebaut, welches die exakte Ausrichtung der Kamera zur Probe sicherstellt und über eine implementierte Triggerung

die Verbindung von aufgenommenen Messbildern der Kamera und aufgenommenen Messdaten der Universalprüfmaschine herstellt. Die entstandene Bildsequenz wird digital mit Messpunkten versehen und deren Verschiebung über den Versuch mittels Korrelationsanalysen berechnet. Die Ergebnisse dieser Technik reichen von allgemeinen Verschiebungen bis zur Darstellung als hochaufgelöste lokale Dehnungen. Die Kameratechnik erlaubt es, auf einer Breite von 3,6 mm 1.628 px darzustellen. Aber auch Aufnahmen von makroskopischen Versuchen sind durch eine geeignete Wahl von Kamera und Objektiv möglich. Aufnahmegeschwindigkeiten von 60 Bildern pro Sekunde erlauben es auch, die Auswertung schnellerer Versuche durchzuführen.

Neben den Vorteilen der hochaufgelösten lokalen Auswertung von Materialeigenschaften bietet das berührungslose System noch einen weiteren Vorteil: Die Messungen finden direkt am Material statt, d.h. alle störenden Einflüsse – wie Verschiebung der Prüfeinrichtung oder eines verwendeten Klebstoffes – gehen nicht in die Berechnung ein. Dies ermöglicht es, auch bereits bestehende Messverfahren auf ihre Genauigkeit hin zu untersuchen und ggf. zu optimieren.

#### **Out-of-Plane-Schubversuch**

Der Out-of-Plane-Schubversuch ist ein Beispiel für eigenständige Entwicklungen von neuen Prüfmethode an der PTS. Er untersucht das Materialverhalten bei einer über die Dicke aufgebrachten Schubbeanspruchung, was u. a. dem Delaminationsverhalten von Karton beim Rillvorgang entspricht. Es handelt sich hierbei um eine Erstentwicklung, die vom Entwurf, über den Bau, der Inbetriebnahme, einer Testphase bis zur Anwendung reicht. Der Schubversuchsstand ist als säulengeführtes Gestell ausgeführt, das ein präzises geradliniges Verfahren der gegenüberliegenden Probenhalter ermöglicht. Es können 5 Proben der Geometrie 15 x 43 mm<sup>2</sup> zwischen jeweils zwei Probenhalter geklebt werden (Probendicke 0,2 bis 2,2 mm). Für die Befestigung der Kartonproben an den Probenaufnehmern des Versuchsstands wurden mehrere unterschiedliche Klebstoffe getestet. Die besten Eigenschaften hinsichtlich Festigkeit, Verarbeitbarkeit und Beeinflussung der Probe wurden mit 2-Komponenten-Epoxidharzklebstoffen erzielt.

Eine Kraft- und Wegaufzeichnung erfolgt zeitabhängig durch die Steuereinheit der Universalprüfmaschine. Zusätzlich ist ein mechanischer Wegaufnehmer unmittelbar an den Probenhaltern installiert. Die tatsächlich an der Probe auftretende Deformation wird durch eine Optische Deformationsanalyse bestimmt. Durch die Verwendung des optischen Messsystems ist mit Hilfe zugehöriger Software auf der Grundlage von Grauwertkorrelationsalgorithmen eine Deformationsanalyse möglich. Die tatsächlich in der Probe verursachte Schubverformung wird bei dünnsten Proben, ab etwa 0,2 mm Dicke, mit einer Präzision des Gleitwinkels von 0,2° ermittelt und der maschinenseitig aufgezeichneten Kraft zugeordnet.

#### **ZUSAMMENFASSUNG**

Der Fundus an Prüfmöglichkeiten für faserbasierte Werkstoffe wie Papier, Karton und Pappe ist umfangreich, und für jede Fragestellung muss die richtige Messmethode gewählt werden. Die hier dargestellten Methoden geben jedoch nur einen Einblick in die gängigsten Prüfungen an Papier. Eine Übersicht bzgl. der **Messmethoden für Wellpappe** wird im nächsten Fachbeitrag (WPN 4/2019) erläutert.

Kontakt zum Autorenteam:  
*Benjamin.Hiller@ptspaper.de*

#### **ÜBER DIE PAPIERTECHNISCHE STIFTUNG (PTS)**

Als Forschungs- und Dienstleistungsinstitut mit Sitz in Heidenau (bei Dresden) unterstützt die PTS alle Branchen bei der Entwicklung und Anwendung von modernen faserbasierten Lösungen. Sie entwickelt, optimiert und prüft Produkte und Verfahren in den Bereichen: Papiererzeugung/Papierverarbeitung inkl. Wellpappe | Fasern & Composite | Funktionale Oberflächen | Materialprüfung & Analytik | Innovative Messtechnik | Pilotanlagen Papier/Nassvlies/Beschichtung.

Weitere Infos: [www.ptspaper.de](http://www.ptspaper.de)