

Papiertechnische Stiftung (PTS)

Objektive Prüfung der Klebnahtfestigkeit von Wellpappenverpackungen

Ein Fachbeitrag von Christian Bienert und Robert Metz, beide PTS München; Kontakt: Christian.Bienert@ptspaper.de

Einleitung

Bei der Herstellung von Transportverpackungen spielt neben der Wellpappenproduktion selbst, auch die Verarbeitung zur Verpackung eine wichtige Rolle. Hier wird das Material gestanzt, gefalzt und zu Wellpappenkisten verklebt. Die Verklebung ist dabei von immenser Bedeutung, da sie zur Stabilität der Verpackung beiträgt. Allerdings ist die Verklebung der Verpackung oftmals auch Ursache für Bruch oder Beschädigung des Packguts im Handel oder in der Konsumgüterindustrie. Zur Sicherung und Verbesserung des Qualitätsstandards muss die Verklebung deswegen überprüft und evaluiert werden, um mögliche Reklamationen vorzeitig zu verhindern.

Die bisherigen Bestimmungsmethoden sind entweder für Wellpappenverpackungen nicht anwendbar bzw. berücksichtigen nur scherende Krafteinwirkungen und einen zu großen Einfluss der Wellpappenart auf den Messwert.

Ziel des PTS-Projekts »Objektive Prüfung der Klebnahtfestigkeit von Wellpappenverpackungen« war die Entwicklung eines neuen objektiven und physikalisch korrekten Prüfverfahrens zur Bewertung und Qualitätsprüfung der Klebnahtfestigkeit von Wellpappenverpackungen. Im Rahmen des Projekts wurde eine Prüfvorrichtung entwickelt und getestet, die eine Differenzierung der Klebnahtfestigkeiten durch objektive Messgrößen bei unterschiedlichen Wellpappen erlaubt. Schälende und scherende Krafteinwirkung auf die Klebnaht werden berücksichtigt.

Die Validierung der Prüfvorrichtung zeigt grundsätzlich keine signifikanten Einflüsse des Messverfahrens auf das Messergebnis. Um dennoch eine optimale Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird ein standardisiertes Vorgehen bei der Bestimmung der Klebnahtfestigkeit empfohlen.

Mit der Messvorrichtung lässt sich die Klebnahtfestigkeit einfach, schnell und objektiv bestimmen. Für die Qualitätsbeurteilung ist neben der gemessenen Klebnahtfestigkeit die

Dokumentation des Schadbildes bzw. des Bruchverhaltens von entscheidender Bedeutung.

Die Hauptursache für die Stabilität des Wellpappenmaterials basiert auf ihrer wellförmigen Zwischenschicht, die mit einer Außen- und Innenschicht beklebt ist. Durch gezielten strukturellen Aufbau kann die mechanische Stabilität wesentlich beeinflusst werden, beispielsweise wenn mehrere Wellenlagen, getrennt durch Zwischenlagen, miteinander verklebt werden. Bei der Verwendung von Wellpappe als Verpackungsmaterial zum Schutz des Packguts vor hohen mechanischen Belastungen ist dies ein wichtiges Kriterium. Dabei werden oft verschiedene Wellenformen miteinander kombiniert, die sich in ihrer Wellenteilung (1,80 – 8,80 mm) und Wellenhöhe (0,55 – 4,75 mm) unterscheiden. Dadurch ergibt sich eine Vielzahl von Wellpappenarten.

Um den Verpackungskarton mit einer ausreichend hohen Festigkeit und Stabilität auszurüsten, spielt neben den Wellenparametern auch die Wellpappenverarbeitungstechnik eine große Rolle. Im Speziellen sind die unterschiedlichen Verschlussarten für die Herstellung von Wellpappenschachteln und Kisten wichtige Verfahren, um eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten. Je nach späterer Anwendung, unterscheidet man zwischen drei prinzipiellen Verschlussarten für Wellpappenkisten.

Die am häufigsten eingesetzte Verschlussart ist die sog. Laschenklebung (»Gluen«). Hier wird Dispersions- oder Hotmeltklebstoff mit einem Leimrad oder mit Düsen auf die Verschlusslasche aufgetragen. Nach dem Verdunsten des wasserbasierten Lösemittels ist eine gewisse Wasserfestigkeit gewährleistet. Durch Anpassung der Klebstoffrezeptur können Abbindezeit des Dispersionsklebstoffes reduziert und Maschinengeschwindigkeiten bis zu 300 m/min gefahren werden [4].

Die zweithäufigste Verschlussart für Wellpappenkisten ist die Band- oder Streifenverklebung (»Tapen«). Hier wird die Wellpappe nach dem Zuschnitt im gefalteten Zustand der Verschlussstation zugeführt. Die Verklebung erfolgt durch einen Klebestreifen, der von einer Rolle läuft und, im Falle von Nassklebestreifen, befeuchtet oder bei Einsatz eines Hotmelt-Klebebands erhitzt wird. In beiden Fällen erfolgt die Verklebung unter Pressdruck außen über beide Kanten. Bei dieser Verschlussart wird der Zuschnitt ohne Lasche hergestellt, da beide Schnittkanten stumpf aneinander stoßen müssen. Abhängig von Einsatzgebiet und Beanspruchung der Verpackung können verschiedene Klebestreifen verwendet werden, die sich in Breite, Festigkeit der Papierbasis, Verstärkung durch Glas- oder Kunststofffasern und Farbe unterscheiden.

Eine weitere Verschlussart für Verpackungen aus Wellpappe ist die Drahtklammer-Heftung. Hier wird die Lasche der Wellkiste mit dem äußersten Rand des Zuschnitts durch Klammern verbunden. Hinsichtlich Festigkeit und Belastung auf die Fabrikante besteht zwischen Heftklammerung und Bandklebung nur ein sehr geringer Unterschied. Allerdings kann bei der Klammerungsprozedur der Verpackungsinhalt beschädigt werden. Eine Beschädigung ist bei einer Streifenklebung hingegen sehr unwahrscheinlich, weil die Innenfläche der Verpackung vollkommen glatt ist.

Aufgrund der hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit und der im Vergleich geringeren Materialkosten wird die Längsnahtverklebung am häufigsten verwendet. Lediglich für Transportverpackungen mit hohen Materialfestigkeitsanforderungen wird als Füge-technik der Heftverschluss oder die Streifenklebung eingesetzt [4].

Klebenhaftfestigkeiten von Wellpappe

Laut Definition nach DIN 16930 bedeutet Kleben ein Fügen mit der Hilfe eines Klebstoffes. Ein Klebstoff ist dabei ein nichtmetallischer Werkstoff, der Füge-teile (beispielsweise zwei Wellpappen) durch Flächenhaftung (Adhäsion) und innerer Festigkeit (Kohäsion) miteinander verbinden kann. Das Kleben ist also ein stoffschlüssiges verbindendes Verfahren [5]. Durch die oben genannte Definition kann man den Klebevorgang stark von anderen, fügenden Verfahren wie Schweißen oder Löten abgrenzen. Die Klebenhaftfestigkeit ist im Allgemeinen der unter definierten Prüfbedingungen bestimmte Widerstand gegen Zugbelastungen, die senkrecht zur Längsrichtung der Klebenhaft wirken.

Generell ist der Klebevorgang durch Adhäsions- und Kohäsionskräfte gekennzeichnet. Kohäsion findet in der bulk-Phase

des Klebstofffilms statt. Hier liegt ein homogenes Gemisch von gleichartigen Klebstoffmolekülen vor, die stets für anziehende Wechselwirkungen untereinander sorgen. Die Kohäsionskraft selbst ist allerdings von verschiedenen Größen abhängig, hauptsächlich aber von der mittleren Molmasse und der Molmassenverteilung der polymeren Klebstoffmoleküle.

Adhäsion beschreibt die Wechselwirkungskräfte der polymeren Klebstoffmoleküle an der Grenzfläche zwischen Füge-teil und Klebeschicht. Adhäsion entsteht durch intermolekulare Wechselwirkung zwischen Klebstoff und Klebefläche (in diesem Fall Wellpappe). Die Bindung erfolgt nicht wie im Falle der Kohäsion durch chemische Bindungen, sondern vielmehr durch sog. Nebenvalenzkräfte, wie Wasserstoffbrückenbindungen oder Van-der-Waals-Wechselwirkungen. Derartige Kräfte sind allerdings stark vom Abstand der beteiligten Partner abhängig (vgl. DLVO-Theorie [6]) und weisen sehr geringe Reichweiten auf. Dies bedeutet, dass eine ausreichende Haftung des Klebers gegeben ist, wenn sich Klebstoff und Klebefläche ausreichend annähern können.

Dadurch ergeben sich aber prinzipielle Randbedingungen für den Klebstoff. Erstens muss er flüssig sein, damit sich der Kleber an die Füge-teiloberfläche ausreichend annähern kann, und zweitens muss der Klebstoff die Oberfläche ausreichend benetzen. Eine Kenngröße, um die Benetzbarkeit zu quantifizieren, ist die Oberflächenspannung. Ein Klebstoff kann nur benetzen, wenn seine Oberflächenspannung kleiner ist als die der Füge-teiloberfläche (Dupré-Young-Gleichung [7]). Papier- und Kartonmaterialien sind in der Regel sehr polar wirkende Werkstoffe mit vergleichsweise hoher Oberflächenspannung. Um eine ausreichende Adhäsion des Klebstoffes an der Papieroberfläche zu gewährleisten, muss die Klebstoffformulierung so angepasst werden, dass die Klebstoffpolymere funktionelle Gruppen mit einem hohen Dipolmoment aufweisen [8].

In Abbildung 1 sind die Begriffe Adhäsion und Kohäsion nochmals schematisch dargestellt. Kohäsion entsteht als Konsequenz von anziehenden Kräften zwischen gleichnamigen Klebstoffmolekülen. Adhäsion hingegen entsteht durch kurzreichweitige Kräfte wie Wasserstoffbrückenbindungen, Van-der-Waals-Wechselwirkungen und Dipol-Dipol-Wechselwirkungen zwischen Papieroberfläche und Klebstoff. In Abbildung 1 ist dies schematisch durch rote Punkte gekennzeichnet. Die Gesamtheadhäsionskraft ergibt sich aus der Anzahl der Punkte auf einer Einheitsfläche.

Zugbeanspruchung der Klebeverbindungen

Verklebte Füge-teile sind dafür ausgerichtet Zug- und Scherkräften Stand zu halten. Zum Bruch bzw. Versagen der Verklebung

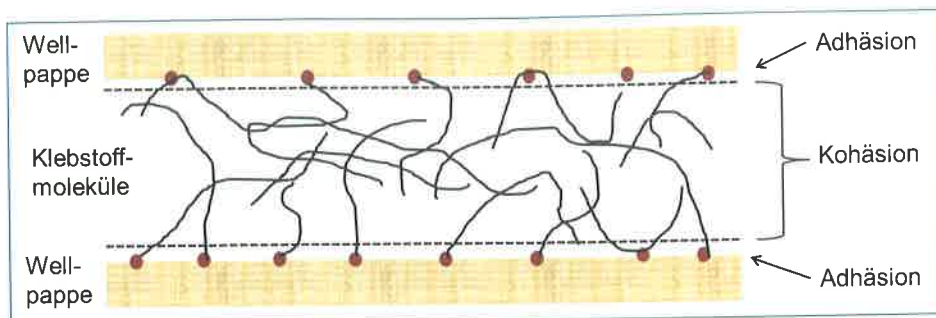


Abbildung 1: Schematische Darstellung von Adhäsion und Kohäsion bei der Verklebung von zwei Füge-teilen [5]

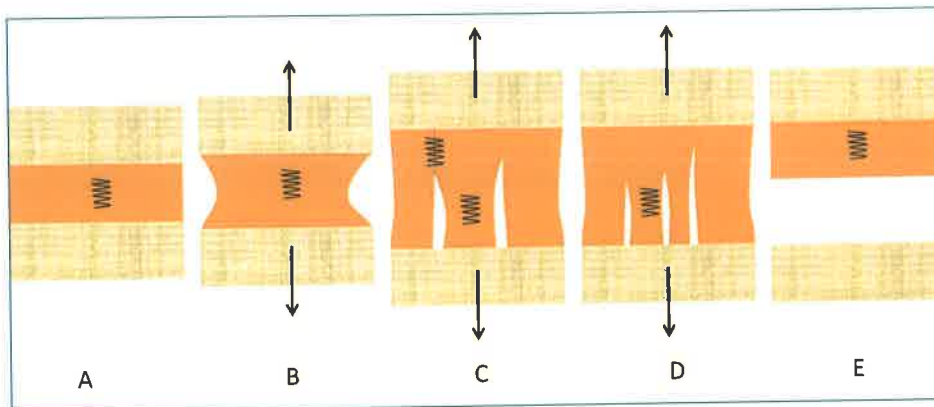


Abbildung 2: Adhäsionsbruch einer Klebeverbindung bei Zugbeanspruchung [5]

kommt es meist, wenn abweichende Belastungsformen, vor allem schälende Beanspruchungen auf Klebeverbindungen einwirken. Dieser Vorgang ist in Abbildung 2 schematisch abgebildet und wird allgemein als Adhäsionsbruch bezeichnet. Ausgehend von Situation A, bei der sich eine Klebschicht bestehend aus einem elastisch verformbaren polymeren Klebewerkstoff (orange) zwischen zwei Füge-teilen befindet. Eine Dehnung mit einer gewissen Zugspannung entlang der Wirkrichtung (gekennzeichnet durch die beiden Pfeile) ruft eine elastische Verformung der Klebschicht hervor (Situation B), wobei die Adhäsionskräfte der wirkenden Zugbeanspruchung noch standhalten. Bei weiterer Erhöhung der Zugbeanspruchung beobachtet man zunächst makroskopische Kavitäten, da lokal die Adhäsionskräfte der Zugbeanspruchung nicht mehr standhalten können. An einzelnen Fußpunkten bilden sich die elastischen Verformungen zurück (Situation C). Die initial gebildeten Kavitäten vergrößern sich bei weiterer Erhöhung der Zugbeanspruchung. Die Klebschicht löst sich in einzelne stark gedehnte Polymerfilamente auf. Letztlich reißen die noch verbliebenen Adhäsionspunkte ab und die Klebschicht formt sich vollständig elastisch zurück (Situation E). Es kommt zu einem sogenannten Adhäsionsbruch der Klebnaht.

Ist die Adhäsionskraft der Klebschicht stärker als die Kohäsionskräfte der Klebeverbindung, tritt die oben genannte Kavitationsbildung nicht an der Grenzfläche Kleber/Füge-teil auf, sondern in der bulk-Phase des Klebers. Der Bruch der Klebnaht tritt somit in der Klebschicht selbst auf und es kommt zum Kohäsionsbruch.

Die beiden beschriebenen Fälle weisen darauf hin, dass eine Analyse der Bruchform eine wichtige Voraussetzung für die Interpretation von Ursachen für den Bruch der Klebnaht liefert und entsprechende Maßnahmen zur Vermeidung solcher Schadensfälle getroffen werden können.

Da bisherige Prüfverfahren entweder für Wellpappenverpackungen nicht anwendbar sind bzw. nur scherende Krafteinwirkungen [9,10,11] berücksichtigen, war das Ziel des Projekts die Entwicklung eines neuen objektiven und physikalisch korrekten Prüfverfahrens zur Bewertung und Qualitätsprüfung der Klebnahtfestigkeit von Wellpappenverpackungen.

Messvorrichtung

Von einem Messgerätehersteller wurde eine entsprechende Messvorrichtung als Prototyp aufgebaut (Abbildung 3). Nach mehreren Optimierungen während der Konstruktions-, Auf-

bau- und Projektphase wurde zur DRUPA 2016 auch eine verkaufsfähige Version (»prüfbau XT 3«) vorgestellt [12]. Die neue Messmethode zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass damit sowohl scherende als auch schälende Belastungen auf die Klebnaht ausgeübt werden. Außerdem ist das Verfahren sehr einfach zu bedienen. Die folgende Abbildung zeigt einen Probestreifen vor und nach einem Test.

Einfluss der Konstruktionsgeometrie auf das Prüfergebnis

In Abbildung 5 ist die Situation an der Umlenkrolle unmittelbar vor dem Bruch dargestellt. Die Abbildung verdeutlicht, dass bei einer Zugbeanspruchung sowohl eine scherende als auch eine schälende Kraft auf die Klebnaht einwirkt. Insbesondere die Umlenkung des Prüfstreifens um die Umlenkrolle bewirkt eine überlagernde schälende Kraft auf die Klebung, während die Zugbelastung für die scherende Kraft verantwortlich ist. Außerdem sind in dieser Abbildung die im Projekt untersuchten Klebnahtpositionen bei der Probeneinspannung dargestellt. Dabei wird jeweils die Mitte der Klebnaht berücksichtigt. Die Kraftübertragung von der Zargenfläche zur Klebelasche ist insbesondere anhängig von folgenden Faktoren:

- Probenbreite des Prüfstreifens,
- Durchmesser (Radius) der Umlenkrolle,
- Positionierung der Klebnaht (Winkel) und
- Prüfgeschwindigkeit (viskoelastische Eigenschaften von Klebstoff und Wellpapier).

Grundsätzlich zeigt die Validierung keine signifikanten Einflüsse der Messvorrichtung auf das Messergebnis. Um dennoch eine optimale Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird ein standardisiertes Vorgehen bei der Bestimmung der Klebnahtfestigkeit empfohlen.

Mit der Messvorrichtung lässt sich die Klebnahtfestigkeit einfach, schnell und sicher bestimmen. Neben der gemessenen Klebnahtfestigkeit ist die Dokumentation des Schadbildes von entscheidender Bedeutung. Nur wenn der Bruch in der Klebung selbst stattfindet, können die gemessenen Klebnahtfestigkeiten eine Aussage über die Klebung bzw. über den Klebstoff machen. In allen anderen Fällen wird mit der Klebnahtfestigkeit das Gesamtsystem Klebelasche (verklebte Wellpappe + Klebstoff) bewertet. Zur Beurteilung der Gebrauchseigenschaften der Wellpappenverpackung ist genau diese Bewertung ausschlaggebend, denn das Gesamtsystem definiert die Belastbarkeit bzw. Festigkeit der Verpackung.

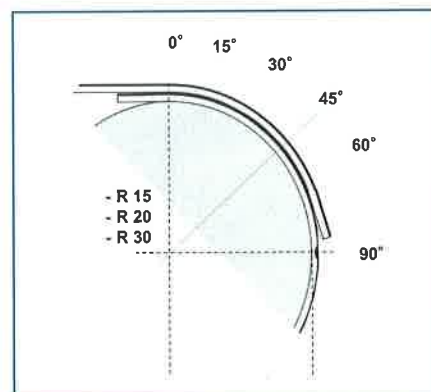


Abbildung 3 (oben): Prototyp der Messvorrichtung »prüfbau XT 3«

Abbildung 4 (Mitte): Probestreifen vor (links) und nach (rechts) einem Test

Abbildung 5 (links): Prüfling auf der Umlenkrolle

Praxisversuche

Im Rahmen mehrerer Praxisversuche wurde die Leistungsfähigkeit der neuen Prüfmethode untersucht. Damit lassen sich beispielsweise folgende Einflüsse bei Wellpappenverpackungen und -verklebungen bewerten:

- Art des Faserstoffs
- Faserlaufrichtung / Maschinenrichtung
- Hotmelt versus Hotmelt/Dispersion-Verklebung
- Klebstoffmenge

- Alterung der Verklebung
- Unterschiedliche Klebstoffe

Die folgenden Diagramme zeigen einen Teil der mit der neuen Messvorrichtung »prüfbau XT 3« erzielten Ergebnisse:

Faserstoffart

Faltschachtelkarton (UD2) hat deutlich höhere Klebnahtfestigkeiten als Graukarton, da er eine höhere Spaltfestigkeit aufweist und dadurch eine höhere Festigkeit als Träger- bzw. Haftgrundmaterial bietet. Testliner-Kraftliner-Kombinationen mit E-Welle zeigen die höchsten Werte, reine Kraftliner-Kombinationen etwas geringere Werte. Reine Testliner-Kombinationen lieferten die niedrigsten Klebnahtfestigkeiten. Dabei ist die Materialfestigkeit des Deckenpapiers die bestimmende Größe für die Klebnahtfestigkeit. Bei allen Kombinationen schneidet die E-Welle besser als die B-Welle ab (Abbildung 6).

Faserlaufrichtung / Maschinenrichtung

Messungen an Bodenlaschen, bei denen die Kraft während der Messung parallel zur Maschinenrichtung wirkt, ergaben aufgrund der kovalenten Bindungen höhere Klebnahtfestigkeiten. Die Messungen an Mittelnähten, bei denen die Krafteinwirkung senkrecht zur Maschinenrichtung ist und dadurch nur die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Papierfasern aufzubrechen sind, zeigen geringere Klebnahtfestigkeiten (Abbildung 7).

Hotmelt und Hotmelt/Dispersions-Verklebung

Bei den unterschiedlichen Vollkarton- bzw. Wellpappen-Kombinationen erhöht eine zweite Klebstoffspur D (Dispersion) die Klebnahtfestigkeit um maximal 12,4 % gegenüber einer reinen Hotmelt-Verklebung HM (Abbildung 8).

Klebstoffmenge Dispersion

Geringe und konventionelle Auftragsmengen an Dispersionsklebstoff ergaben keine signifikanten Unterschiede. Erst bei einem sehr hohen Leimdruck (+ 50 %) wird die Klebnahtfestigkeit deutlich erhöht (Abbildung 9).

Alterung Hotmelt-Verklebung

Das Alter der Hotmelt-Verklebung zeigte im untersuchten Zeitrahmen der Lagerung keinen erkennbaren Einfluss auf die Klebnahtfestigkeit (Abbildung 10, Seite 15).

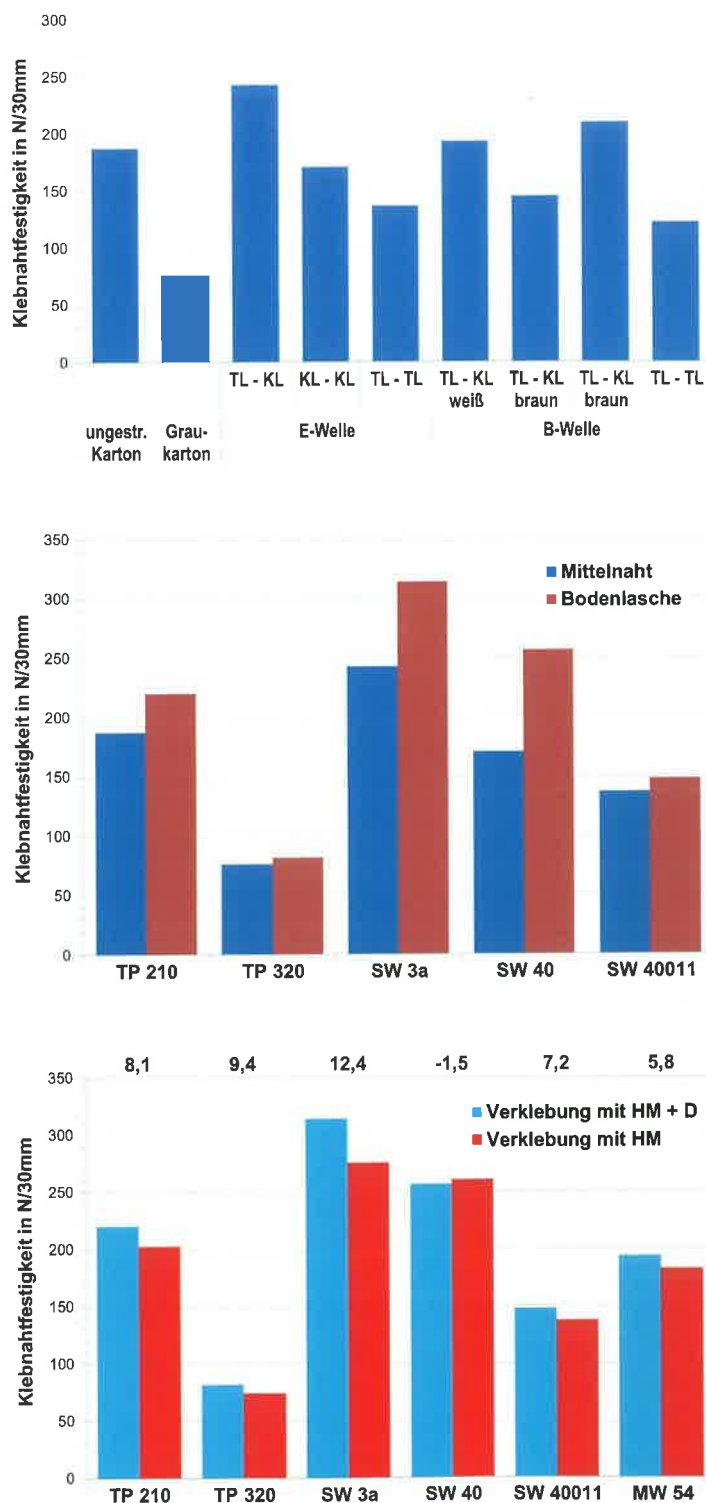


Abbildung 6 (oben): Einfluss der Faserstoffart

Abbildung 7 (Mitte): Einfluss der Maschinenrichtung der Wellpappe bzw. des Deckenpapiers (Mittelnahrt: senkrecht, Bodenlasche: parallel zur Krafteinwirkung)

Abbildung 8 (unten): Hotmelt- und Hotmelt/Dispersions-Verklebungen

Literaturverzeichnis

- [1] N.N., Verband der Wellpappen-Industrie e. V. (Hrsg.), Zahlen und Fakten, Die wichtigsten Zahlen für die Wellpappenindustrie, Darmstadt, 2014
- [2] RÖMER D., JUNG H., KAPPEN J., Branchenenergiekonzept Wellpappe, Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung bei der Herstellung von Wellpappe, München: Papiertechnische Stiftung 2012
- [3] BERGMANN H., Anforderungen des Handels an Wellpappe Verpackungen, Wellpappensymposium am 06.11.2012 in München
- [4] N.N., <http://www.wellpappe-wissen.de/wissen/wellpappenverpackung/verpackungsherstellung/verschlussarten.html>
- [5] BLECHSCHMITT J., Papierverarbeitungstechnik, Carl Hanser Verlag München, 2013
- [6] RUSSEL W. B., SAVILLE D. A., SCHOWALTER W. R., Colloidal Dispersions. Cambridge University Press, New York 1989
- [7] HOLMBERG K., Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry, Wiley Interscience, Chichester (2001)
- [8] WILKEN R., Kleben in der Papierverarbeitung, Vortrag auf der Veranstaltung „Sicheres Kleben bei der Verarbeitung von Papier und Karton“, 03.07.2012 an der PTS in München
- [9] N.N., <http://www.finat.com/Knowledge/FINAT-publications/Technical-Handbook.aspx>
- [10] N.N., PTS-Methode PTS-PR 301/2008 Bestimmung der Klebnahtfestigkeit von Faltschachteln
- [11] WILKEN R., Der Faserriss, oder wie bewertet man die Güte von Klebeverbindungen richtig, Vortrag auf der Veranstaltung „Sicheres Kleben bei der Verarbeitung von Papier und Karton“ am 11.06.2014 an der PTS in München
- [12] N.N., <http://pruefbau.com/klebenhaftfestigkeit/>

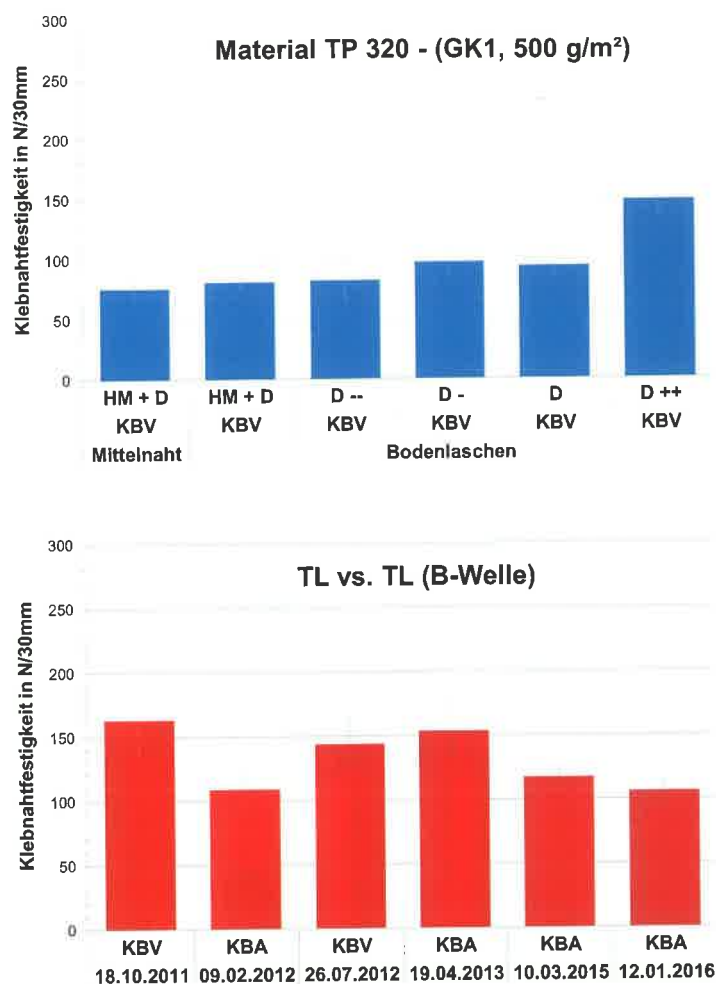


Abbildung 9 (oben): Variation der Dispersionsklebstoffmenge

Abbildung 10 (unten): Unterschiedlich lang gelagerte Hotmelt-Verklebungen

Seminar/Symposium der PTS München für die Wellpappenindustrie

„Verpackungen aus Papier und Karton im Lebensmittelkontakt – aktuelle Entwicklungen“

Die neuesten Erkenntnisse zur Migration unerwünschter Stoffe, die lebensmittlerechtlichen Anforderungen an Verpackungen aus Papier, Karton und Wellpappe, die Analytik und praktische Umsetzungen sind Themenschwerpunkte des zweitägigen Fachseminars Verpackungen aus Papier und Karton im Lebensmittelkontakt“, welches am 14. und 15. Februar 2017 an der Papiertechnischen Stiftung in München stattfinden wird. Weitere Infos: www.ptspaper.de

Wellpappensymposium 2017

Am 4./5. April 2017 findet an der PTS München wieder das »Wellpappensymposium« statt. Als Plattform für den Wissens- und Erfahrungsaustausch rund um die Verpackung aus Wellpappe gilt das Symposium als einer der wichtigen Treffpunkte der gesamten Branche. In einem anspruchsvollen Programm werden von Referenten aus Industrie und Wirtschaft interessante, und vor allem zukunftsorientierte Themen erörtert. Themenschwerpunkte werden u.a. sein: Innovative Verklebungstechnologien, Verbesserung der Planlage, Wellpappenindustrie 4.0 und Digitaldruck.