

**Titel****Spezifizierung von Karton- und Klebstoffeigenschaften für eine optimale Verklebbarkeit von Faltschachteln auf Faltschachtelklebemaschinen**

R. Metz

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>1 Zusammenfassung.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Abstract .....</b>	<b>4</b>
<b>3 Einleitung.....</b>	<b>6</b>
3.1 Ausgangssituation .....	6
3.2 Verklebung von Faltschachteln .....	7
3.3 Dispersionsklebstoffe .....	12
3.4 Veredelung von Kartonoberflächen.....	13
<b>4 Forschungsziel .....</b>	<b>14</b>
<b>5 Materialien und Methoden .....</b>	<b>14</b>
5.1 Mustermaterialien .....	14
5.2 Herstellung der Faltschachtelzuschnitte .....	16
<b>6 Ergebnisse .....</b>	<b>17</b>
6.1 Ermittlung von Einflussgrößen .....	17
6.1.1 Kartoneigenschaften.....	17
6.1.2 Klebstoffeigenschaften .....	28
6.2 Herstellung geklebter Faltschachteln .....	33
6.3 Klebenahtprüfung .....	36
6.3.1 Klebenahtfestigkeiten von Produktionsmaschine 1 .....	37
6.3.2 Klebenahtfestigkeiten von Produktionsmaschinen 2 und 3.....	40
6.3.3 Klebenahtfestigkeiten von folienkaschierten Kartonsorten.....	43
6.3.4 Klebenahtfestigkeiten von lackierten Kartonsorten.....	46
6.4 Einfluss von Lagerung und Alterung geklebter Faltschachteln .....	49
6.5 Auswertung und Diskussion der Ergebnisse .....	51
6.5.1 Faktorenanalyse .....	51
6.5.2 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	57
6.5.3 Erarbeitung eines Verbesserungskonzeptes .....	60
<b>7 Abschließende Bewertung und Zusammenfassung der Ergebnisse .....</b>	<b>61</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>65</b>

## 1 Zusammenfassung

Ausgangssituation	<p>Bayerische Faltschachtelhersteller stehen im ständigen Wettbewerb mit anderen deutschen und europäischen Unternehmen. Eng verknüpft damit sind Planungen zur Sicherung der Qualität sowie Maßnahmen, die in Zukunft helfen, Kosten zu senken und die Kundenzufriedenheit zu erhöhen. Ein wesentliches Qualitätskriterium ist dabei die Güte der Längsnahtverklebung von Faltschachteln. Da das Verkleben der Nähte den letzten Schritt in der Produktionskette darstellt, kann, wie Erfahrungen der Forschungsstelle immer wieder zeigen, eine mangelhafte Verklebung zu einem Schaden führen, der den Materialwert um ein Vielfaches übersteigt. Besonders kritisch verhalten sich in dieser Hinsicht veredelte Faltschachteln, wie z.B. folienkaschierte oder auch lackierte Faltschachtelkartons, bei denen die Klebelasche nicht ausgespart werden konnte.</p>
Einflüsse auf die Verklebung	<p>Die Qualität der Faltschachtelverklebung wird im Wesentlichen durch die Eigenschaften des verwendeten Klebstoffs, die Beschaffenheit der Kartonvorder- und -rückseite und die verfahrenstechnischen Bedingungen in der Faltschachtelklebemaschine bestimmt. Zur Ermittlung der Einflussfaktoren ist eine nähere Analyse des Verklebungsprozesses in Faltschachtelklebemaschinen und die Betrachtung des wechselseitigen Zusammenspiels der oben genannten Faktoren sehr aufschlussreich.</p>
Vorbehandlung der Klebeflächen	<p>Bei schwierig zu verklebenden Kartonoberflächen, dazu zählen insbesondere lackierte und folienkaschierte Oberflächen, können heute eine Reihe von Vorbehandlungsverfahren angewendet werden. Dazu zählen im Einzelnen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aussparen der Lackierung an der Klebelasche</li><li>• Perforieren oder Abfräsen der Klebelasche</li><li>• Vorbehandeln der Oberfläche mit Corona-Verfahren</li><li>• Aufbringen eines Primers</li></ul>
Ermittlung der Klebenahtfestigkeit	<p>Seit kurzer Zeit steht ein neues Messverfahren zur Verfügung, welches in einem Industriearbeitskreis unter Leitung der PTS entwickelt wurde. Das Verfahren beruht darauf, mit Hilfe einer Prüfanordnung die in der Praxis auftretende Kombination einer ziehenden und schälenden Beanspruchung der Klebnaht nachzubilden und die dabei zum Aufziehen der Klebnaht erforderliche Kraft mit einer Zugprüfmaschine zu quantifizieren.</p>
Ziel	<p>Ziel des Projektes ist die Ermittlung der karton- und klebstoffspezifischen Einflussfaktoren auf die Klebenahtfestigkeit von Faltschachteln bei ihrer Herstellung. Die ermittelten Einflussfaktoren sollen anschließend dazu benutzt werden, die optimalen Karton- und Klebstoffeigenschaften zu spezifizieren. Einen Schwerpunkt der Untersuchungen sollen mit Lacken und Folien veredelte</p>

---

Kartonoberflächen bilden.

---

#### Ergebnisse

Zusammenfassend lässt sich eine Vorgehensweise beschreiben, mit der die Spezifizierung einer optimalen Verklebung von Faltschachteln auf Faltschachtelklebemaschinen möglich ist. Die Herstellung der Faltschachteln erfolgte ausschließlich an Faltschachtelklebemaschinen unter praxisrelevanten Bedingungen bei den Industriepartnern. Damit der mögliche Einfluss der Faltschachtelklebemaschine ermittelt werden konnte, wurden jeweils die gleichen Faltschachtelnutzen auf den unterschiedlichen Maschinen geklebt.

Zur Identifizierung der Klebenahtfestigkeit wurden die geklebten Faltschachteln entsprechend der PTS-Methode PTS-PR 301/2008 geprüft und das Bruchverhalten in Trennfläche bewertet. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde ein genaues Zeitintervall zwischen dem Verkleben der Schachteln und der Klebenahtprüfung eingehalten. Die Auswertung der Messergebnisse erfolgte u.a. mit Hilfe statistischer Korrelationsanalysen, insbesondere wurden die Einflussstärken der einzelnen Einflussfaktoren auf die Klebenahtfestigkeit durch die Berechnung mittels Faktorenanalyse ermittelt und quantifiziert. Diese waren im Einzelnen:

- Einfluss der Faltschachtelkartonsorte
- Einfluss der Faltschachtelklebemaschine
- Einfluss der Klebenahtvorbehandlung
- Einfluss des Klebstoffs
- Einfluss der Abbindezeit
- Einfluss der Lackaussparung der Klebelasche
- Einfluss der Lagerung bzw. Lagerzeit
- Einfluss des Klebelaschenbereichs (Codierungseindruck in der Lasche)

Je nach Art der Einflussfaktoren wurden für die einzelnen Bereiche Optimierungsvorschläge erarbeitet.

---

#### Nutzen

Die Wettbewerbsfähigkeit der überwiegend kleinen und mittelständischen bayerischen Faltschachtelbetriebe hängt wesentlich davon ab, ob Produkte mit hoher Qualität kostengünstig hergestellt werden können. Ein wichtiges Kriterium stellt hierbei die Güte der Klebenahte dar. Die vorbeugende Qualitätssicherung durch die sichere Beurteilung der zur Verklebung eingesetzten Materialien vermeidet die Produktion von Makulatur, spätere Reklamationen oder Produktivitätsverluste durch Maschinenstillstandszeiten bzw. Reduktion der Maschinengeschwindigkeiten.

Das Vorhaben liefert deshalb einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung der Produktion und verbessert somit die Wettbewerbsfähigkeit der bayerischen Faltschachtelindustrie.

---

---

Danksagung

Das Forschungsvorhaben PTS-BAY 0911 - 0003 wurde mit finanziellen Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gefördert. Für diese Förderung sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

---

## 2 Abstract

Background

Bavaria's folding carton producers are in permanent competition with other German and European manufacturers. This requires careful planning to assure the product quality, as well as measures helping to save costs and increase the customer satisfaction in future. A key quality criterion of folding cartons is the strength of their longitudinal adhesive joints. Because gluing is the final step in folding carton production, experience has shown time and time again that defective adhesive joints can lead to quality losses exceeding the value of the raw materials used many times over. Upgraded products like film-laminated or varnished folding cartons are particularly critical in this respect if the adhesive flap cannot be omitted when applying the film or varnish.

---

Influences on the quality of adhesive joints

Key influences on the quality of adhesive joints are the properties of the adhesive used, quality characteristics of the front and reverse sides of the cartonboard, and process-technological conditions prevailing in the folding carton gluing machine. A closer look at the gluing process in the folding carton gluing machine and at the interactions between the above mentioned factors will provide valuable insights helping to clarify these influences.

---

Pre-treatment of adhesive surfaces

A number of pre-treatment methods are available today for cartonboard surfaces that cannot be glued together easily – in particular varnished and film-laminated surfaces. These methods include:

- Omitting the adhesive flap during varnishing
- Perforating or milling off the material applied on the adhesive flap
- Pre-treating the surface by means of a corona process
- Applying a primer

---

Determining the strength of the adhesive joint

A new method has recently been introduced for measuring the strength of an adhesive joint. Developed by an industrial working group led by PTS, the method uses a test setup that simulates the combined effects of tensile and peel forces acting on adhesive joints in practice, quantifying the force required to tear open the adhesive joint by means of a tensile tester.

---

---

Objective	<p>Objective of this research project was the determination of cartonboard- and adhesive specific influences on the adhesive joint strength of folding cartons during their production. The influences found were to be used to specify optimum cartonboard and adhesive characteristics, focusing on cartonboard surfaces upgraded by varnishing and film lamination.</p>
Results	<p>Summarising the project results, a procedure may be described which makes it possible to specify optimum gluing parameters for folding cartons in a folding carton gluing machine. Folding cartons were produced exclusively on the folding carton gluing machines of the industrial project partners involved, using practically relevant conditions. To identify possible machine parameter influences, all tests were performed with identical blanks.</p> <p>The glued folding cartons were tested in accordance with PTS Method PTS-PR 301/2008 to identify the strength of their adhesive joints, evaluating the tensile properties in the breaking zone. For reasons of comparability, the time interval between gluing and testing was the exactly same throughout all tests. Measurements were evaluated by means of statistical correlation analyses, among other, determining and quantifying especially the magnitude of the influences exerted by the various factors on adhesive joint strength through factor-analytical calculations. More specifically, the analyses covered the influences of:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• cartonboard type,</li><li>• folding carton gluing machines,</li><li>• adhesive joint pre-treatments,</li><li>• adhesives,</li><li>• setting times,</li><li>• omitting the adhesive flap during varnishing,</li><li>• storage conditions or storage times,</li><li>• adhesive flap properties (code imprinted on the flap)</li></ul> <p>Optimisation measures were proposed for each category, depending on the type of influence.</p>
Benefit	<p>The competitiveness of Bavarian folding carton producers, most of which are small and medium size enterprises, depends mainly on their ability to manufacture high-quality products at low cost. The quality of adhesive joints is an important criterion in this context. Preventive quality assurance based on reliable assessments of the materials used for gluing prevents off-spec production leading to complaints as well as productivity losses due to machine standstills or reduced machine speeds.</p> <p>The project results contribute significantly to achieving the desired production results, thus improving the competitiveness of Bavarian folding carton producers.</p>

---

---

Acknowledgement      The research project PTS-BAY 0911 - 0003 was funded by the Bavarian State Ministry of Economic Affairs, Infrastructure, Transport and Technology. We would like to express our sincere gratitude for this support.

---

### 3 Einleitung

#### 3.1 Ausgangssituation

Einsatz und Eigenschaften von Faltschachteln      Die Faltschachtel aus Karton ist ein unverzichtbares Packmittel [1], deren wesentliche Vorteile für den Verbraucher die Formstabilität, Stapelbarkeit und die Kombination von gutem Packgutschutz mit aufgedruckter Information sind. Der Packstoff Karton wird aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz bzw. aus Altpapier hergestellt, ist nahezu vollständig rezyklierbar und erfüllt damit höchste ökologische Anforderungen. Moderne Faltschachteln weisen eine beträchtliche Konstruktionsvielfalt auf und werden in sehr unterschiedlichen Formaten hergestellt [2]. Kleinformatige Faltschachteln mit einem Füllvolumen von weniger als 1000 ml werden bevorzugt in der Pharma- und Kosmetikindustrie sowie als Zigarettenverpackungen eingesetzt, mittlere und großformatige Faltschachteln finden sich vor allem bei Verpackungen im Lebensmittelbereich wieder.

---

Daten zur Faltschachtelproduktion      Die Faltschachtelindustrie hat in Deutschland im Jahr 2008 insgesamt 890.000 Tonnen Faltschachteln hergestellt und dabei einen Umsatzwert von 1,9 Milliarden Euro erwirtschaftet [3]. Deutschland ist damit in Europa führend. Verglichen mit anderen Bundesländern stellt der Freistaat Bayern einen bedeutenden Standort für diese Industrie dar, wobei wie im übrigen Bundesgebiet kleine und mittlere Unternehmen dominieren.

---

---

Anlass für den Forschungsantrag	<p>Bayerische Faltschachtelhersteller stehen im ständigen Wettbewerb mit anderen deutschen und europäischen Unternehmen. Eng verknüpft damit sind Planungen zur Sicherung der Qualität sowie Maßnahmen, die in Zukunft helfen, Kosten zu senken und die Kundenzufriedenheit zu erhöhen.</p> <p>Ein wesentliches Qualitätskriterium ist dabei die Güte der Längsnahtverklebung von Faltschachteln [4]. Da das Verkleben der Nähte den letzten Schritt in der Produktionskette darstellt, kann, wie Erfahrungen der Forschungsstelle immer wieder zeigen, eine mangelhafte Verklebung zu einem Schaden führen, der den Materialwert um ein Vielfaches übersteigt. Besonders kritisch verhalten sich in dieser Hinsicht veredelte Faltschachteln, wie z.B. folienkaschierte oder auch lackierte Faltschachtelkartons, bei denen die Klebelasche nicht ausgespart werden konnte.</p> <p>Ein seit kurzem von einem Industriearbeitskreis unter Leitung der PTS entwickeltes Prüfverfahren ermöglicht erstmals die Quantifizierung der Klebenahtfestigkeit unter praxismässigen Belastungen [5, 6]. Mit Hilfe dieser Testmethode ist es nun im Zuge weiterführender Forschungsarbeiten möglich, die Einflussfaktoren auf die Klebenahtfestigkeit zu ermitteln und optimale Eigenschaftsprofile und Prozessparameter zu spezifizieren. Darauf aufbauend kann ein Konzept zur Verbesserung der Qualität von Längsnahtverklebungen in der Faltschachtelherstellung erarbeitet werden, das zukünftig zur Erhöhung der Kundenzufriedenheit beiträgt. Insbesondere können damit Reklamationsquoten gesenkt und kostspielige Regressansprüche vermieden werden.</p>
---------------------------------	--

---

### 3.2 Verklebung von Faltschachteln

Einflüsse auf die Verklebung	<p>Die Qualität der Faltschachtelverklebung wird im Wesentlichen durch die Eigenschaften des verwendeten Klebstoffs, die Beschaffenheit der Kartonvorder- und -rückseite und die verfahrenstechnischen Bedingungen in der Faltschachtelklebemaschine bestimmt. Zur Ermittlung der Einflussfaktoren ist eine nähere Analyse des Verklebungsprozesses in Faltschachtelklebemaschinen und die Betrachtung des wechselseitigen Zusammenspiels der oben genannten Faktoren sehr aufschlussreich. Dies soll in den folgenden Abschnitten zusammen mit einer Darstellung des momentanen technischen Entwicklungsstandes erfolgen.</p>
Verklebungsprozesse auf der Faltschachtelklebemaschine	<p>Der schematische Aufbau einer Faltschachtelklebemaschine ist in Abbildung 1 dargestellt [7]. In der Einlegestation befinden sich die zu verklebenden Faltschachtelnutzen. Nach dem Einzug und Vorbrechen der Rillnähte durchlaufen die Nutzen die Leimstation. Bei einfachen Schachteltypen (z. B. normale Standardfaltschachteln) muss nur die Längsnaht verklebt werden. Dazu wird in einem Unterleimwerk meist mit Hilfe eines Leimrades der flüssige Klebstoff auf die Klebelaschen aufgetragen. Die Beleimung erfolgt dabei auf der Vorderseite des Kartons. Anschließend wird der Nutzen gefaltet, wobei die beleimte Klebelasche gegen die entsprechende Stelle an der Längsseite des</p>

---

Nutzens (Kartonrückseite) geführt wird. In der Pressstation werden die Klebelaschen durch Pressen so lange fixiert, bis sich der Klebstoff soweit verfestigt hat, dass ein Öffnen der Verklebung unterbleibt. Das vollständige Abbinden des Klebstoffs wird nach dem Verlassen der Faltschachtelklebemaschine durch Verdampfen des Restwassers erreicht (vgl. Abbildung 2).

Bei komplexer aufgebauten Schachteln kommen zusätzlich zu den unteren Leimwerken Oberleimwerke zum Einsatz, die häufig den Klebstoff über Düsen auf die entsprechenden Stellen auftragen.

Die Faltschachtel-Klebmaschine

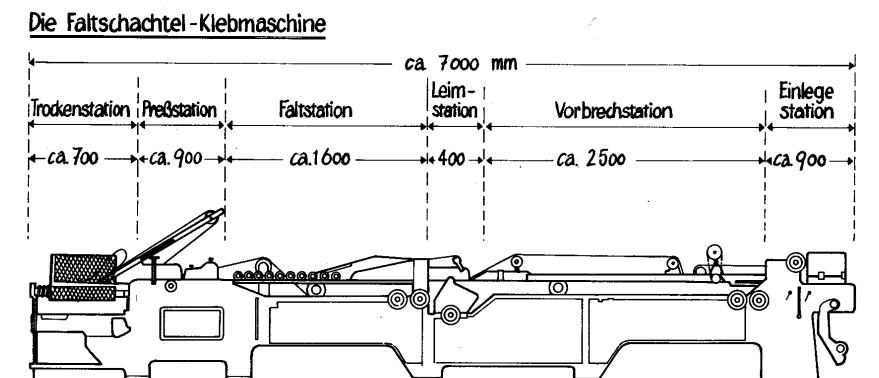


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbaus einer Faltschachtelklebmaschine (Erläuterungen siehe Text).

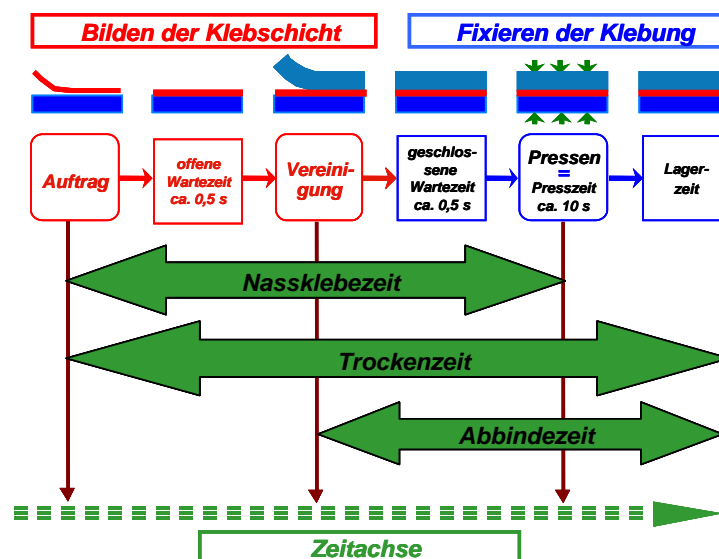


Abbildung 2: Verfahrensschritte in der Faltschachtelklebmaschine und zur Verfügung stehende Prozesszeiten bei Produktionsgeschwindigkeit (beispielhaft)



---

Es kann davon ausgegangen werden, dass bei den meisten Faltschachtelherstellern die Verfahrenstechnik in der oben beschriebenen Form vorgegeben ist und als Stellglied zur Qualitätsoptimierung nicht oder nur in äußerst engen Grenzen verwendet werden kann, bleiben als Freiheitsgrade zur Optimierung der Klebenahtfestigkeit der verwendete Klebstoff und der Karton bzw. die Kartonoberflächen.

---

Einflussfaktoren auf die Klebenahtfestigkeit

Werden die einzelnen Vorgänge, die zwischen dem Auftrag des Klebstoffs im Leimwerk und der Ausbildung einer qualitativ hochwertigen Faltschachtelklebenaht ablaufen, näher analysiert, wird ein guter Überblick bezüglich der in Betracht zu ziehenden Einflussfaktoren geschaffen:

- Für das Auftragen des Klebstoffs kommt der Klebstoffrheologie eine wichtige Funktion zu. Zu niedrige Viskositäten können zum Verspritzen von Klebstoff durch das sich drehende Leimrad führen, zu hohe Viskositäten können u.a. Rupfen verursachen. Im Zusammenwirken mit dem Leimrad und der Auftragsgeschwindigkeit beeinflusst die Viskosität zudem die Klebstoffauftragsmenge. Übliche Viskositäten liegen zwischen 1.000 und 5.000 mPas.
  - Während des Auftragens muss die Oberfläche der Klebelasche vom Klebstoff gut benetzt werden. Dies ist nicht nur eine Voraussetzung für eine homogen aufgetragene Klebeschicht, sondern auch für die Ausbildung von ausreichend hohen Adhäsionskräften [8]. Maßgebliche Größen hierfür sind die Oberflächenspannungen des Klebstoffs und der Kartonoberfläche. Für eine ausreichende bis gute Benetzung sollte die Oberflächenspannung des Klebstoffs deutlich kleiner sein als die Oberflächenspannung des Kartons. In der Praxis wird für die Oberflächenspannung des Kartons häufig einen Mindestwert von 35 mN/m angegeben, der nicht unterschritten werden sollte, da viele Klebstoffe durch Netzmittel auf eine Oberflächenspannung von 30-35 mN/m eingestellt werden [9].
  - Die Grenzen für offene und geschlossene Wartezeiten werden durch die Abbindeggeschwindigkeit des Klebstoffs bestimmt, die ihrerseits wiederum von der Geschwindigkeit des Wasserentzugs abhängt [10]. Der Wasserentzug geschieht häufig durch eine Kombination von Wegschlagen, Aufsaugen und Verdampfen. So schlägt ein Teil des Wassers an der Oberfläche der Klebelasche weg, ein weiterer Teil wird von der Kartorrückseite beim Pressen aufgesaugt und schließlich verdampft das eingebrachte Wasser in der Trockenstation (vgl. dazu Abbildung 1). Problematisch verhalten sich bisweilen Kartons, deren Klebelaschen lackiert oder folienkaschiert sind, u.a. deshalb weil das Wegschlagen von Wasser dann nur mehr über die Verklebungsstelle an der Kartorrückseite erfolgen kann. Zur Erfassung der ablaufenden Vorgänge müssen mehrere materialspezifische Größen herangezogen werden: Neben der Wasseraufnahmefähigkeit von Kartons vorder- und -rückseite trägt auch die Entwässerungsgeschwindigkeit des Klebstoffs dazu bei.
  - Nach dem Abbinden des Klebstoffs müssen die Kohäsion der
-

---

Klebeschicht und deren Adhäsion an den Kartonoberflächen hinreichend hohe Werte aufweisen. Diese werden maßgeblich durch chemische Bindungen und zwischenmolekulare Kräfte bestimmt, die sich während des Abbindeprozesses ausgebildet haben. Die Adhäsion wird jedoch zusätzlich durch die Struktur der Kartonoberflächen beeinflusst, zu deren Beschreibung vielfach die Rauheiten herangezogen werden. Kriterium für hinreichend hohe Werte ist in der Praxis für gewöhnlich der Faserriss [11], d. h. Kohäsion und Adhäsion der Klebschicht sind größer als die Spaltfestigkeit des Kartons. Wie bereits besprochen, ist eine gute Benetzbarkeit der Kartonoberflächen durch den Klebstoff eine wichtige Voraussetzung für eine hinreichend hohe Adhäsion. Neben der Kohäsion können auch viskoelastische Eigenschaften des Klebstofffilms insbesondere bei schälenden Belastungen einen Einfluss auf die Klebenahtfestigkeit ausüben [12]. Diesem in der Klebetechnik schon lange bekannten Einfluss wurde in der Papierverarbeitung bislang nur wenig Beachtung geschenkt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass als Einflussfaktoren die Rheologie, Oberflächenspannung und Entwässerungsgeschwindigkeit des flüssigen Klebstoffs, die viskoelastischen Eigenschaften des Klebstofffilms, das zeitliche Wasseraufnahmevermögen, die Oberflächenstruktur und -spannung der beiden Kartonseiten betrachtet werden müssen. Zur Bestimmung können standardisierte Messverfahren direkt oder nach kleineren Modifikationen verwendet werden. Auf die zur Bestimmung der einzelnen Größen eingesetzten Verfahren wird bei der Beschreibung der Arbeitspakete näher eingegangen.

---

Vorbehandlung der Klebeflächen

Bei schwierig zu verklebenden Kartonoberflächen, und dazu zählen insbesondere lackierte und folienkaschierte Oberflächen, können heute eine Reihe von Vorbehandlungsverfahren angewendet werden. Dies sind zum Beispiel:

- Aussparen der Lackierung an der Klebelasche
- Perforieren oder Abfräsen der Klebelasche
- Vorbehandeln der Oberfläche mit Corona-Verfahren
- Aufbringen eines Primers

In allen Fällen müssen dazu aber zusätzliche Arbeitsschritte durchgeführt werden, die Zeit kosten und Investitionen erfordern. Deshalb sollen im Rahmen des Projekts die materialspezifischen Randbedingungen ermittelt werden, die zu guten Klebenahtfestigkeiten ohne spezielle Vorbehandlungen führen.

---

Ermittlung der Klebenahtfestigkeit

Für die Bestimmung der Zielgröße, der Klebenahtfestigkeit von Faltschachtellängsnähten, wurden in der Vergangenheit mehrere Verfahren vorgeschlagen bzw. durchgeführt, wie z. B. die Festigkeitsmessung des initialen Schälwiderstandes (ISW) mit der modifizierten Brecht-Knittweis-Klemme (MBK-Klemme) oder Schältests mit Hilfe von Schälrollen [11]. Als nachteilig wirkte sich dabei stets aus, dass diese Prüfungen nur jeweils einen Teilaspekt der tatsächlich in der Praxis auftretenden Belastungen auf die Klebenaht berücksichtigen konnten und zudem einen hohen Prüfaufwand

---

erforderten. Deshalb fanden sie auch kaum Verwendung in der betrieblichen Praxis.

Seit kurzer Zeit steht ein neues Messverfahren zur Verfügung, welches in einem Industriearbeitskreis unter Leitung der PTS entwickelt wurde [5]. Das Verfahren beruht darauf, mit Hilfe der in Abbildung 3 gezeigten Anordnung die in der Praxis auftretende Kombination einer ziehenden und schälenden Beanspruchung der Klebnaht nachzubilden und die dabei zum Aufziehen der Klebnaht erforderliche Kraft mit einer Zugprüfmaschine zu quantifizieren.

Aus den zu prüfenden Faltschachteln werden die Proben in der in Abbildung 3 gezeigten Weise geschnitten und gekennzeichnet. Die Proben werden einzeln in die Prüfvorrichtung eingehängt und zwar so, dass die Klebnaht an der Zugrolle positioniert ist. Die Zugprüfmaschine wird auf eine Klemmgeschwindigkeit von 300 mm/min eingestellt und gestartet. Der Zugversuch ist dann beendet, wenn der Bruch der Probe eingetreten ist. Neben der Maximalkraft wird als Ergebnis der Prüfung auch das Aussehen der Trennflächen dokumentiert und bewertet.

Die Methode hat in der Faltschachtelindustrie großen Anklang gefunden. Umfangreichere Untersuchungen zum Verhalten verschiedener Klebstoff- und Kartonsorten stehen noch aus und sollen u.a. im Rahmen des beantragten Projektes durchgeführt werden.

Probennahme und  
Prüfvorrichtung zur  
Klebnahtfestigkeit

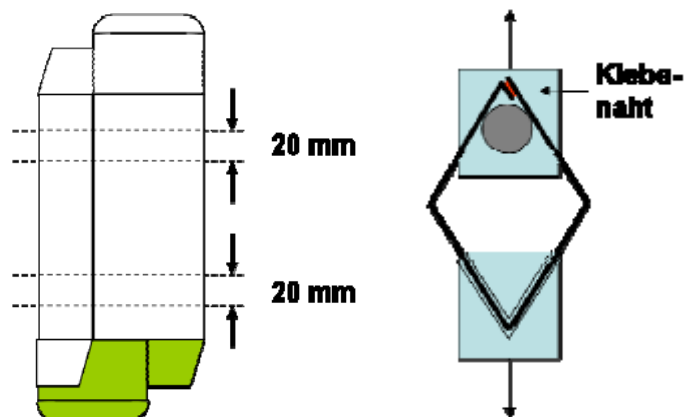


Abbildung 3: Probenentnahme und Prüfvorrichtung zur Bestimmung der Klebnahtfestigkeit von Faltschachteln.

### 3.3 Dispersionsklebstoffe

Aktueller Stand der Klebstoffentwicklung

Zum Verkleben von Faltschachteln kommen fast ausschließlich Dispersionsklebstoffe zum Einsatz. Sie bestehen aus einer wässrigen Phase und der darin verteilten dispersen Phase des Klebstoffpolymers. Als Klebstoffpolymere werden hauptsächlich Polyvinylacetate und deren Copolymere eingesetzt.

Für einfachere Anwendungen kommen Klebstoffe auf Basis von Polyvinylacetat in Betracht. Diese Dispersionen sind aus nur einem Monomer aufgebaut und die daraus entstehenden Filme sind in der Regel relativ hart und spröde. Die Klebkraft ist begrenzt und die Maschinenlaufeigenschaften sind als befriedigend bis gut zu bezeichnen. Sollen veredelte Materialien wie zum Beispiel dispersionlackierte, folienkaschierte und bedruckte Faltschachtelkartons verklebt werden, so werden sehr häufig Klebstoffe auf Basis von Vinylacetat-Copolymeren insbesondere Vinylacetat-Ethylen (VAE) verwendet. Diese werden auch für die Verklebung von Kunststofffolien, wie z.B. Polyester (PET), Polyethylen, Polystyrol oder Celluloseacetat eingesetzt.

Filmbildung bei Dispersionsklebstoffen

Nachdem in der Faltschachtelindustrie vorwiegend Dispersionsklebstoffe eingesetzt werden und zu deren Verfestigung der Entzug des Dispersionsmittels (Wasser) notwendig ist, muss zumindest eine der Kartonoberflächen saugfähig sein. Zur Erläuterung der Bedeutung der Filmbildung von Dispersionen wird noch einmal kurz der Mechanismus der Filmbildung von Dispersionen beschrieben (vgl. Abbildung 4).

Unter einer Dispersion versteht man ein 2-Phasen-System, bestehend aus dem Dispersionsmittel (Wasser) und der dispergierten Phase (Klebstoffpolymer), die im Dispergiermittel unlöslich ist und in Form kleiner, kugelförmiger Partikel vorliegt. Die Filmbildung ist der Übergang von der flüssigen in die feste Form. Sie ist Voraussetzung für das Entstehen von Kohäsion und damit fester Verklebung. Die Verfestigung erfolgt durch den Entzug des Dispersionsmittels und dem Zusammenlagern und schließlich dem Zusammenfließen der Polymerpartikel zu einem geschlossenen, mehr oder weniger klar transparenten Film.

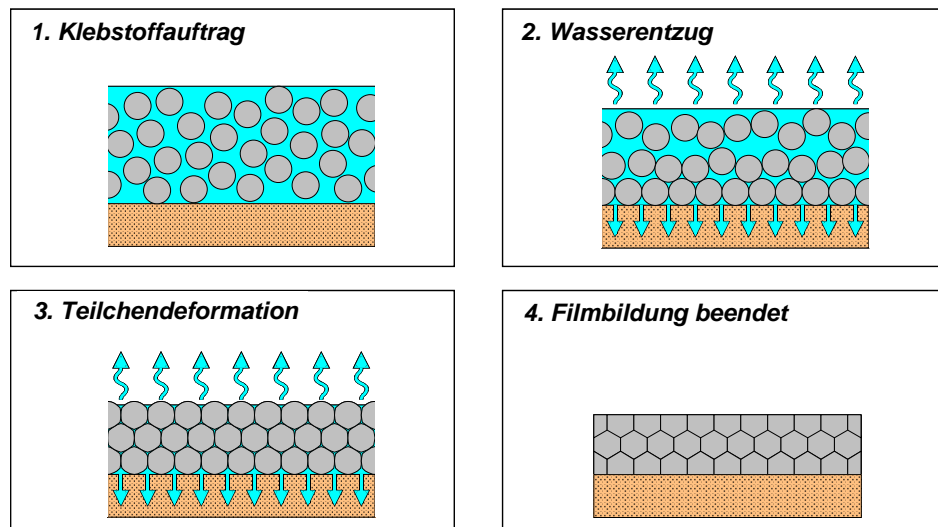


Abbildung 4: Filmbildungsmechanismen bei Dispersionsklebstoffen

Optimierungspotenziale

Eine Klebstoffrezeptur für die Faltschachtelindustrie kann sehr komplex aufgebaut sein und 10 oder mehr Bestandteile in einem Produkt enthalten. Das Klebstoffpolymer bildet dabei in Form der Grunddispersion den Hauptanteil, dessen klebtechnische Eigenschaften durch Nebenbestandteile und Additive an die Erfordernisse angepasst werden. Neben guten Lauf- und Klebeeigenschaften ist für Faltschachtelhersteller der Preis ein wichtiges Auswahlkriterium. Insbesondere Klebstoffe für schwierig zu verklebende Oberflächen enthalten bislang relativ teure Additive, die diese Klebstoffe insgesamt für Anwendungen im Faltschachtelbereich zu teuer machen. Im Rahmen des Projektes sollen Formulierungen mit kostengünstigeren Additiven erprobt werden.

### 3.4 Veredelung von Kartonoberflächen

Kartonoberflächen

Um mit einem möglichst ökonomischen Einsatz an Ressourcen den Anforderungen gerecht zu werden, besitzt ein Faltschachtelkarton einen mehrlagigen Aufbau. In den äußeren Schichten konzentrieren sich die Lagen mit den höchsten Zugfestigkeiten und den besten optischen Eigenschaften. Zusätzlich muss auf der Vorderseite auf die benötigten Bedruckbarkeitseigenschaften geachtet werden. Die meisten Faltschachtelkartons besitzen auf der Vorderseite zur Erzielung eines hochwertigen Drucks einen Strich. Die Kartonrückseite kann unterschiedlich geleimt sein. Pigmentierte oder gestrichene Rückseiten sind verfügbar, doch in der Anwendung nicht so häufig.

Optimierungspotenziale

Erfahrungen der Faltschachtelhersteller zeigen, dass es in der Verklebbarkeit verschiedener Kartonsorten Unterschiede gibt, die sich auf die Produktivität auswirken. Einen relativ starken Einfluss haben lackierte und kaschierte

---

Kartonoberflächen. Wie bereits erwähnt existieren verschiedene Methoden, um auch in diesen Fällen zu einer guten Verklebung zu kommen. Die Untersuchungen im Rahmen des Projekts zielen darauf ab, schwieriger zu verklebende Kartonsorten anhand von relativ einfach zu prüfenden Materialeigenschaften zu erkennen und bei veredelten Kartonoberflächen ohne Vorbehandlung eine ausreichende bis gute Verklebung zu erreichen.

---

#### 4 Forschungsziel

**Ziel** Ziel des Projektes ist die Ermittlung der karton- und klebstoffspezifischen Einflussfaktoren auf die Klebenahtfestigkeit von Faltschachteln bei ihrer Herstellung. Die ermittelten Einflussfaktoren sollen anschließend dazu benutzt werden, die optimalen Karton- und Klebstoffeigenschaften zu spezifizieren. Einen Schwerpunkt der Untersuchungen sollen mit Lacken und Folien veredelte Kartonoberflächen bilden.

**Vorgehensweise** Anhand von systematischen Betriebsversuchen und der materialtechnischen Bewertung von Faltschachtelkartons in unterschiedlichen Veredelungen sowie von Klebstoffeigenschaften wird eine methodische Vorgehensweise zur Herstellung von kleinformatigen Faltschachteln erarbeitet und durchgeführt. Die Klebenahtfestigkeiten der hergestellten Faltschachteln werden mit Hilfe des neuartigen Prüfverfahrens ermittelt. Anhand von geeigneten Materialkenngrößen und mittels mathematischer Einflussgrößenrechnung werden die Ergebnisse beurteilt und miteinander verglichen. Dabei soll die Stärke der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Zielgröße Klebenahtfestigkeit gewichtet und quantifiziert werden. Daraus werden Spezifikationen für Kartonoberflächen und Klebstoffe abgeleitet und ein Verbesserungskonzept soll angestrebt werden.

---

#### 5 Materialien und Methoden

##### 5.1 Mustermaterialien

**Schachteltyp nach ECMA-Code** Durch die Eingrenzung der zu untersuchenden Faltschachteln auf kleinformatige Standardtypen nach Kapitel A des ECMA-Codes - Faltschachteln, rechteckig, mit Längsnahtklebung - ist der Spielraum für unterschiedliche Faltschachtelkonzepte eingeschränkt. Die Erfahrungen der Industriepartner zeigten, dass keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Klebenahtfestigkeit auf Grund der Variationen der Schachtelabmessungen bei kleinformatigen Faltschachteln zu erwarten sind. Nachdem in diesem Projekt die Einflüsse auf die Festigkeit der Längsnahtklebung untersucht werden, ist eine Variation der Verschlusslaschen auch nicht weiter zielführend.

In enger Abstimmung mit den Industriepartnern wurde deshalb aus dem ECMA-Code die Schachteltype A2120 mit den Abmessungen A=59mm; B=32mm und

---

H=95mm für die Versuchsläufe auf den Faltschachtelklebemaschinen ausgewählt. Die Beschaffung der entsprechenden Stanzwerkzeuge wurde von den Industriepartnern übernommen.

#### Kartonsorten

Die Definitionen für Kartonsorten ist in der DIN 19303 [13] festgelegt. Für kleinformatige Faltschachteln werden häufig gestrichene Kartonsorten mit unterschiedlicher flächenbezogenen Masse von ca. 250 g/m<sup>2</sup> bis ca. 350 g/m<sup>2</sup> eingesetzt, wie z.B.:

- GZ: pigmentgestrichener Primärfaserkarton (gebleichter Zellstoff)
- GC: pigmentgestrichener Primärfaserkarton mit weißer (GC1) oder heller (gelber) Rückseite (GC2)
- GD: pigmentgestrichener, sekundärfaserhaltiger Karton, graue Rückseite mit einem spezifischen Volumen von 1,3 cm<sup>3</sup>/g bis 1,45 cm<sup>3</sup>/g (GD2) oder größer 1,45 cm<sup>3</sup>/g (GD1).

Für die Untersuchungen wurden aus den verfügbaren Kartonsorten typische Sorten - die u.a. auch bei den Industriepartnern eingesetzt werden - von verschiedenen Kartonherstellern ausgewählt (vgl. Tabelle 1).

#### Kartonveredelung

Veredelungen von Faltschachtelkartons erfolgen überwiegend durch Lackierungen mit Dispersions- und UV-Lacken. Es werden aber auch häufig Folienkaschierungen mit OPP- und PET-Folien durchgeführt. Für die Untersuchungen wurden sowohl lackierte als auch folienkaschierte Varianten mit einbezogen.

Tabelle 1: eingesetzte Kartonsorten und deren Veredelungsvarianten:

Codierung	Sorte	flächenbezogene Masse	Veredelung
Karton 1	GZ	300 g/m <sup>2</sup>	- unlackiert - lackiert (D) - lackiert (UV)
Karton 2	GD2	300 g/m <sup>2</sup>	- unlackiert - lackiert (D)
Karton 3	GZ	290 g/m <sup>2</sup>	- unlackiert - lackiert (D)
Karton 4	GZ	290 g/m <sup>2</sup>	+ PET-Folie (silber), unlackiert + PET-Folie (silber), lackiert (D)
Karton 5	GD2	350 g/m <sup>2</sup>	- unlackiert - lackiert (D)
Karton 6	GC2	275 g/m <sup>2</sup>	- unlackiert - lackiert (D)
Karton 7	GC2	300 g/m <sup>2</sup>	+ PET-Folie, (silber)
Karton 8	GC2	350 g/m <sup>2</sup>	+ OPP-Folie

Dabei bedeutet:

- unlackiert: Klebelasche ist nicht lackiert
- lackiert (D): Klebelasche ist mit Dispersionslack lackiert

---

- lackiert (UV): Klebelasche ist mit UV-Lack lackiert

---

#### Klebstoffe

Für die Klebung von Längsklebenähten werden in der Faltschachtelindustrie fast ausschließlich Dispersionsklebstoffe eingesetzt. Dafür steht eine umfangreiche Produktpalette der verschiedenen Klebstoffhersteller dem Anwender zur Verfügung. Für die Auswahl von Dispersionsklebstoffen steht in der Regel die Maschineneignung (Runability / Viskosität) sowie die Klebeeigenschaften im Vordergrund.

Für das Projekt wurden im Vergleich Dispersionsklebstoffe, die einen harten Klebstofffilm bilden, mit Klebstoffen, die einen weichen Film bilden, betrachtet. Zur Vorauswahl wurden zunächst im Labor mit den unterschiedlichen Kartonsorten manuelle Klebeversuche durchgeführt. Nachdem mit allen Musterklebstoffen weitgehend gleiche Klebergebnisse auf den verschiedenen Kartonsorten erzielt wurden, waren für die Auswahl der Klebstoffe für die Maschinenversuche überwiegend verarbeitungstechnische Gesichtspunkte relevant.

Deshalb fiel die letztendliche Auswahl der Musterklebstoffe für die nachfolgenden Verklebungsversuche auf den Faltschachtelklebemaschinen auf zwei Musterklebstoffe, im Folgenden mit K1 und K2 bezeichnet.

---

## 5.2 Herstellung der Faltschachtelzuschnitte

#### Nutzenherstellung

Die Nutzenherstellung der Faltschachtelzuschnitte erfolgte bei den Industriepartnern (Faltschachtelhersteller). Mit den ausgewählten Kartonsorten wurden bedruckte Musterbogen hergestellt. Damit eine einheitliche Gestaltung der Faltschachtelzuschnitte gewährleistet werden konnte, wurde ein einheitliches Datenformat (C2-Format) zur Auslegung des Druck- und Stanzsujet verwendet. Auf der Klebelasche wurde, analog zu industriell gefertigten Faltschachteln, eine Strichcodierung mit eingedruckt. Dabei sollte untersucht werden, inwieweit sich diese Bedruckung auf die Verklebbarkeit der Klebelasche - Klebenahtfestigkeit - auswirken kann. Folgende Varianten wurden bei den Faltschachtelzuschnitten hergestellt (vgl. Tabelle 1):

- Karton bedruckt mit Strichcode und ausgesparter (unlackierter) Klebelasche
- Karton bedruckt mit Strichcode und nicht ausgesparter (lackierter) Klebelasche
- Karton folienkaschiert (PET-Folie, silbern) unbedruckt und mit ausgesparter (unlackierter) Klebelasche
- Karton folienkaschiert (PET-Folie, silbern) unbedruckt und mit nicht ausgesparter (lackierter) Klebelasche
- Karton bedruckt und folienkaschiert (OPP-Folie)

Von jeder Faltschachtelvariation wurden jeweils zwischen 2500 bis 3000 Faltschachtelzuschnitte produziert. Die Zuschnitte wurden anschließend zwischen den Industriepartnern aufgeteilt, so dass jeweils genügend Faltschachtelzuschnitte für die Klebeversuche auf den verschiedenen

---



Faltschachtelklebemaschinen zur Verfügung standen.

---

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Ermittlung von Einflussgrößen

Einführung	<p>An den ausgewählten Kartonsorten wurden folgende Materialeigenschaften ermittelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenspannung der Kartonvorder- und –rückseiten (Anwendung der Randwinkelmethode nach PTS-PP: 103/85),</li> <li>• Zeitliches Wasseraufnahmevermögen (Cobb-Werte nach DIN EN 20535, Penetrationsdynamik mittels Ultraschall mit EMTEC-Gerät),</li> <li>• Rauheit der Kartonrückseiten nach Bendtsen (DIN 53198); ergänzend dazu bildanalytische Bestimmung des Rauheitsprofils,</li> <li>• Abbindegeschwindigkeit von Dispersionsklebstoffen mit dem PTS-Schälwiderstandsmessgerät.</li> </ul> <p>An den ausgewählten Musterklebstoffen wurden die nachfolgenden Eigenschaften bestimmt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenspannung der Klebstoffe (Bestimmung mit Tensiometer gemäß DIN 53914),</li> <li>• Feststoffgehalt der Klebstoffe in Anlehnung an DIN ISO 1625,</li> <li>• Fließverhalten der Klebstoffe (Bestimmung mit Rotationsviskosimeter in Anlehnung an DIN 53214),</li> <li>• Charakterisierung der viskoelastischen Eigenschaften in der Klebenaht durch Ermittlung des E-Moduls an freien Klebstofffilmen.</li> </ul>
------------	---

---

#### 6.1.1 Kartoneigenschaften

Oberflächenspannung der Kartonvorder- und –rückseiten	<p>Wie bereits erläutert, stellt die Oberflächenspannung eine messbare Kartoneigenschaft dar, die die Verklebbarkeit von Karton signifikant beeinflusst. Als Messmethode hat sich die sogenannte Randwinkelmethode bewährt, bei der auf die zu prüfende Oberfläche Tropfen unterschiedlicher Flüssigkeiten mit bekannter Oberflächenspannung appliziert werden und der sich einstellende Randwinkel an der Fußlinie des Tropfens gemessen wird. Für die Berechnung der Oberflächenspannung aus den gemessenen Randwinkeln stehen eine Reihe verschiedener theoretischer Ansätze zur Verfügung. Für Karton haben sich die Algorithmen nach Wu [14] und Fowkes [15] auf der Basis von zwei unterschiedlichen Prüflüssigkeiten (z.B. Wasser und Formamid) bewährt.</p> <p>In Abbildung 5 sind die Oberflächenspannungen (SFE = Surface Energy) der unlackierten Kartonvorderseiten und Kartonrückseiten gegenübergestellt. Es ist festzustellen, dass bei den meisten Kartonsorten keine nennenswerten</p>
---	---

---

Unterschiede in der Oberflächenspannung zwischen Vorder- und Rückseiten besteht. Im Gegensatz dazu weisen aber die Kartonsorten 4 und 6 durchaus signifikante Unterschiede auf. Bei Karton 4 hat die gestrichene Vorderseite die höhere SFE, wohingegen bei Karton 6 die Rückseite die höhere SFE aufweist. Erklärt werden können diese Unterschiede evtl. mit unterschiedlicher Leimung bzw. Präparation der Rückseiten sowie unterschiedlicher Striche.

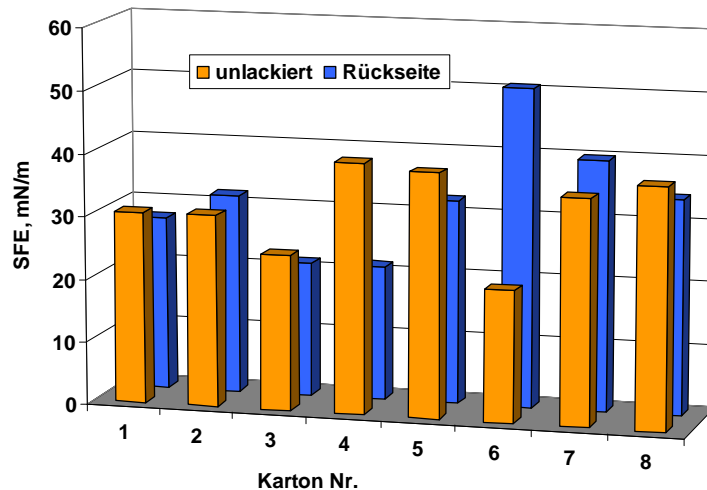


Abbildung 5: Oberflächenspannungen der unlackierten Kartonvorder- und -rückseiten.

Die geringsten Rückseitenwerte mit etwa 21 mN/m zeigen die Kartons 3 und 4. Bei so geringen Oberflächenspannungen sind möglicherweise Störungen in der Verklebbarkeit zu erwarten. Das gleiche gilt für die gestrichene Vorderseite von Karton 6 mit einer SFE von ebenfalls etwa 21 mN/m.

Oberflächenspannung der veredelten Kartonvorderseiten

Neben den unlackierten Kartonsorten wurden auch die lackierten Kartonvarianten hinsichtlich ihrer Oberflächenspannungen betrachtet. Wie in Tabelle 1 aufgeführt, wurde für Karton 1 neben dem Dispersionslack zum Vergleich ein UV-Lack eingesetzt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6 dargestellt.

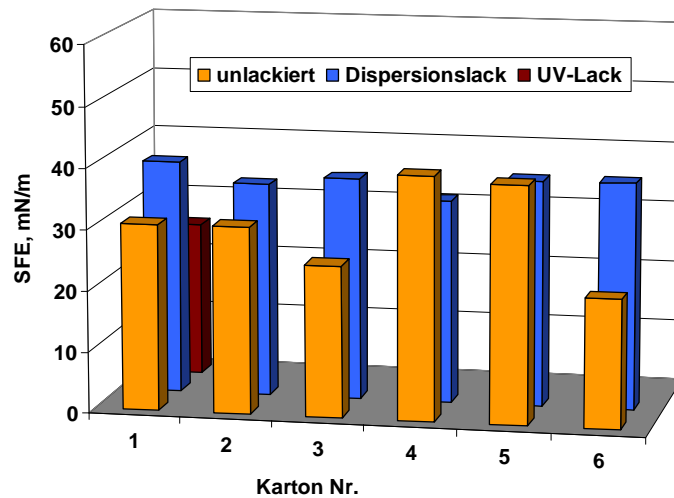


Abbildung 6: Oberflächenspannungen von unlackierten und lackierten Kartonmustern.

Bemerkenswert ist, dass die gestrichenen Kartonvorderseiten mit ihren unterschiedlichen Oberflächenspannungen durch die Lackierung eine Vereinheitlichung erfahren. Die mit Dispersionslack lackierten Kartonoberflächen weisen Oberflächenspannungen zwischen 35 mN/m und 40 mN/m auf. Einen entsprechenden Oberflächenspannungswert hatten bei den unlackierten Kartonvarianten nur die Kartons 4 und 5, wobei angemerkt werden muss, dass Karton 4 mit einer PET-Folienkaschierung ausgerüstet war.

Der mit UV-Lack lackierte Karton 1 hatte eine Oberflächenspannung von ca. 25 mN/m. Das zeigt, dass die SFE bei einer UV-Lackierung deutlich niedriger liegen kann als bei einer Dispersionslackierung. Diese niedrige Oberflächenspannung kann wiederum zu Störungen in der Verklebbarkeit führen.

Zeitliches  
Wasseraufnahmever-  
mögen - Cobb-Wert

Das Wasseraufnahmevermögen erfolgt in der klassischen Papier- und Kartonprüfung durch die Bestimmung nach DIN EN 20535 [16]. Dieses Verfahren kennzeichnet die Menge Wasser, die von einer Kartonoberfläche von 100 cm<sup>2</sup> bei einseitigem Kontakt mit Wasser und einer definierten Kontaktzeit aufgenommen wird. Die Kontaktzeit wird dabei so gewählt, dass eine messbare Wassermenge in das Kartenvolumen des Kartons eindringt, jedoch kein Wasser bis zur gegenüberliegenden Kartenseite vordringt oder gar durchschlagen kann. Nach entsprechenden Vorversuchen wurde als Kontaktzeit 60 Sekunden (Cobb<sub>60</sub>) gewählt, da die meisten Kartonsorten ein recht geringes Wasseraufnahmevermögen hatten, jedoch eine Kartonrückseite sehr saugfähig war. Die Kontaktzeit von 60 s war ein Kompromiss von nicht Durchschlagen des Wassers bei hoher Saugfähigkeit des Kartons und noch für die Messung ausreichender Wasseraufnahme bei geringer Saugfähigkeit des Kartons.

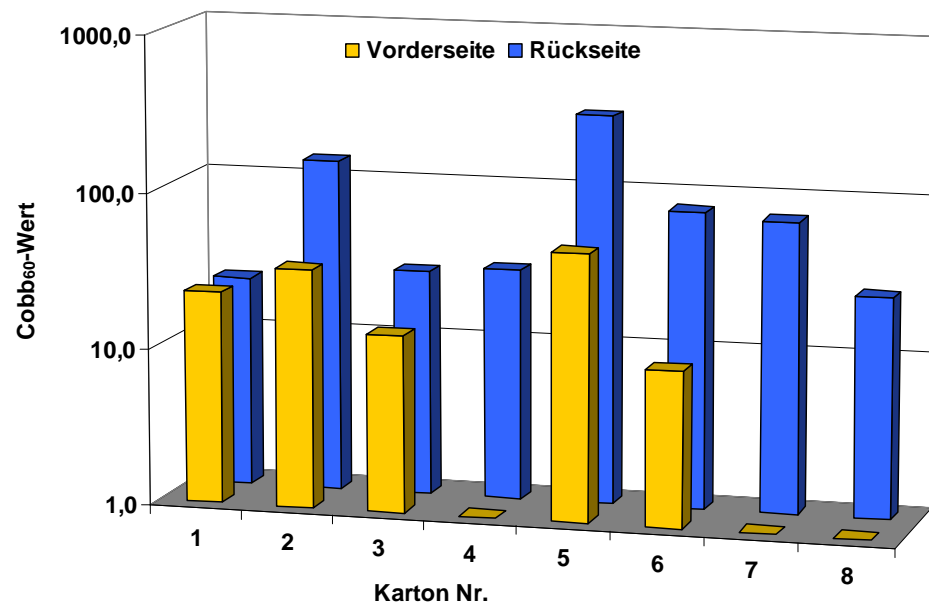


Abbildung 7: Wasseradsorptionsvermögen (Cobb<sub>60</sub>-Werte) von Kartonvorder- und -rückseiten.

Das Wasseraufnahmevermögen der unlackierten Kartonsorten (Abbildung 7) zeigt ein sehr uneinheitliches Ergebnis sowohl für die Kartonvorderseiten als auch für deren Rückseiten. Die gestrichenen Kartonvorderseiten weisen - mit Ausnahme von Karton 5 - ein sehr geringes Wasserabsorptionsvermögen auf. Bei den Kartonvarianten 4, 7 und 8 wird durch die Folienkaschierung eine Wasseraufnahme vollständig blockiert.

Bemerkenswert ist die extrem geringe Saugfähigkeit der Rückseite von Karton 1, was auf eine starke Hydrophobierung hindeutet. Eine extrem hohe Wasseraufnahmefähigkeit zeigt die Rückseite von Karton 5. Auch die Rückseiten der Kartons 2, 6 und 7 haben noch eine recht hohe Saugfähigkeit.

Zeitliches  
Wasseraufnahmever-  
mögen -  
Penetrationsdynamik

Neben der Bestimmung des Wasserabsorptionsvermögens mit dem Cobb-Verfahren, das die gesamte aufgenommene Wassermenge in einem definierten Zeitraum erfasst, steht ein weiteres Messverfahren zur Ermittlung der Penetrationsdynamik zur Verfügung. Mit diesem Messverfahren (Absorptionsmessung mittels Ultraschall) wird das Wasseraufnahmevermögen des Kartons in Abhängigkeit von der Kontaktzeit untersucht.

Die vom Messgerät gelieferten Resultate sind Diagramme, in denen die Veränderung der Ultraschalltransmission (%) gegen die Zeit (s) dargestellt wird. Einen typischen Verlauf der Messkurve zeigt beispielhaft Abbildung 8.

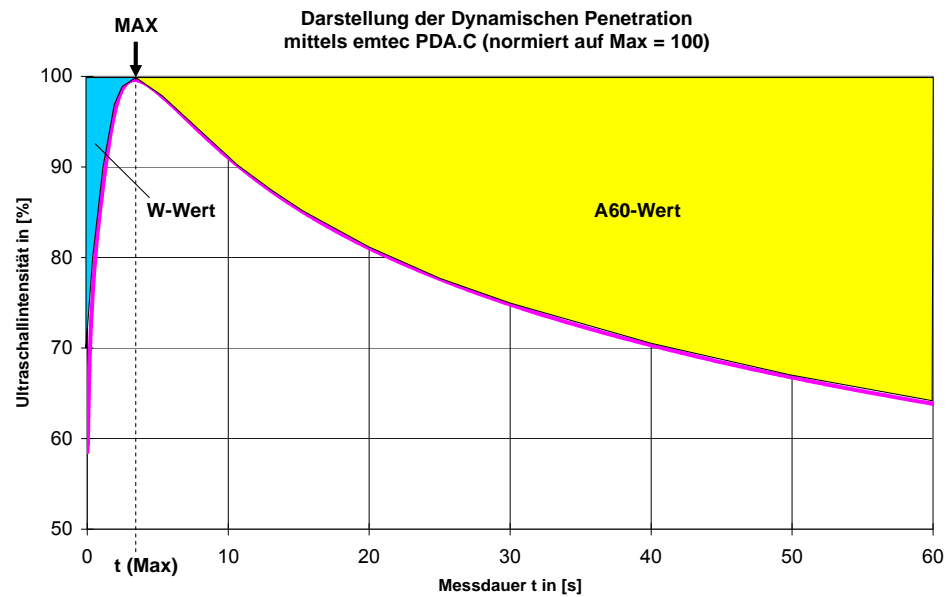


Abbildung 8: Typischer Kurvenverlauf bei der Bestimmung der Penetrationsdynamik mit dem Penetrations-Dynamik-Analysator (PDA)

Mit der zur Verfügung stehenden Software wurden die Messkurven für alle nicht lackierten Kartonsorten (Vorder- und Rückseiten, bei folienkaschierten Kartonsorten nur Rückseiten) aufgenommen und die drei Kenngrößen W, MAX und  $A_{60}$  errechnet. Die Definition dieser Kenngrößen ist wie folgt:

**W-Wert** ergibt sich aus dem Integral der Fläche über der Kurve vor dem Maximum. Erfahrungsgemäß wird dieser Wert durch Porosität, Oberflächenleimung, Stärkegehalt und Rauigkeit des Kartons beeinflusst.

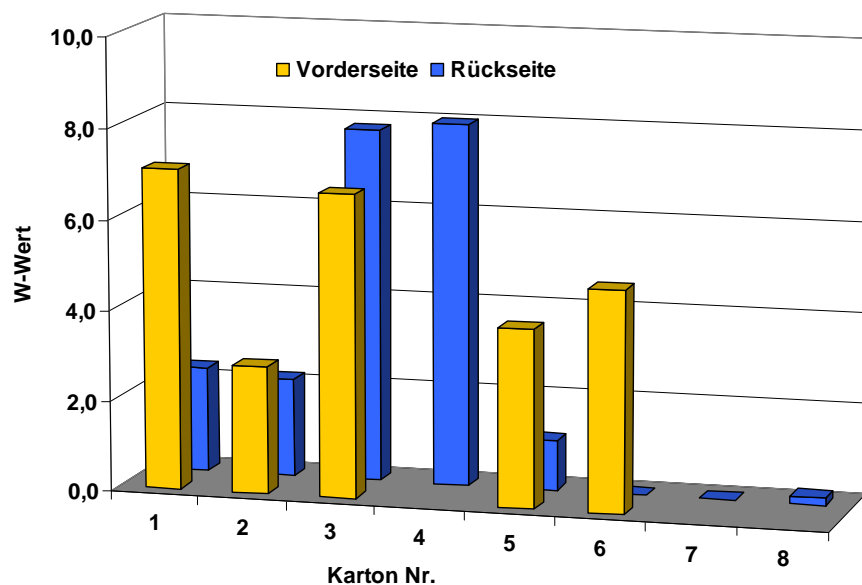


Abbildung 9: W-Werte (Kartonvorder- bzw. -rückseiten).

**MAX-Wert** gibt eine Aussage über die Dauer der Benetzungsphase, die am Kurvenmaximum abgeschlossen ist. Anschließend beginnt die Penetration der Flüssigkeit in den Karton.

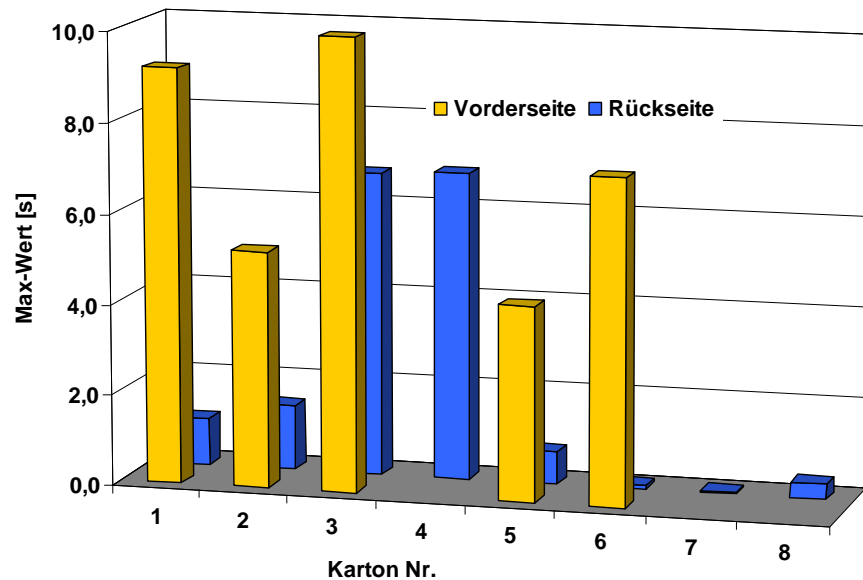


Abbildung 10: MAX-Werte (Kartonvorder- bzw. -rückseiten).

**A-Wert** gibt Auskunft über das Wasserabsorptionsvermögen des Kartons, ähnlich dem Cobb-Wert. Der A-Wert ist bestimmt durch das Integral über der Kurve nach dem Maximum bis zu einer vorgegebenen Zeit. Für die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens wurde die Zeit mit 60 Sekunden vorgegeben, damit der A60-Wert mit dem Cobb60-Wert verglichen werden kann.

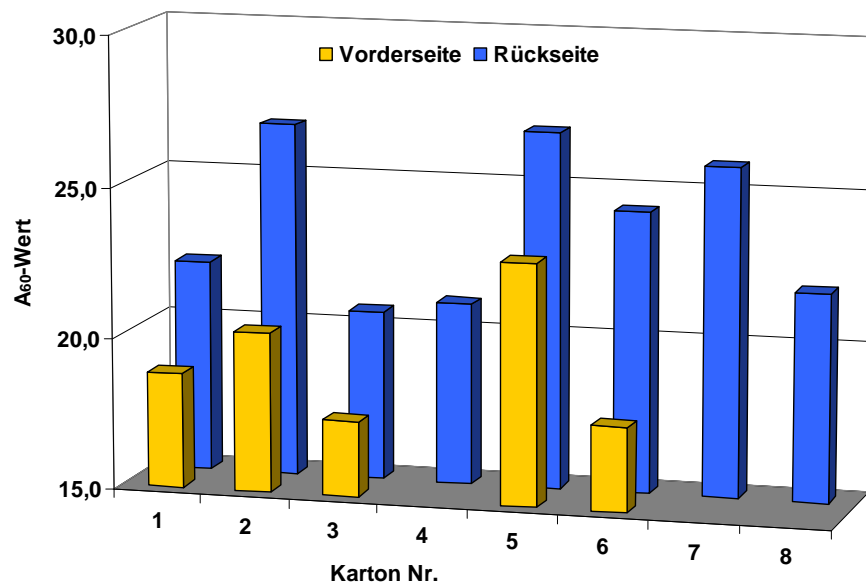


Abbildung 11:  $A_{60}$ -Werte (Kartonvorder- bzw. -rückseiten).

W- und MAX-Werte der Kartons korrespondieren miteinander. Ein hoher MAX-Wert steht für eine lange Benetzungsphase, also für eine langsame Benetzung der Wasserfront auf der Kartonoberfläche. Diese spiegelt sich auch in einem hohen W-Wert wieder. Ebenso korrespondieren geringe MAX-Werte bei einer schnellen Benetzung mit geringen W-Werten.

Es ist eine weitgehende Übereinstimmung im Trend zwischen den  $A_{60}$ -Werten aus den PDA-Messungen und den  $Cobb_{60}$ -Werten aus der Bestimmung des Wasserabsorptionsvermögens zu erkennen. Auch hier ist bei den Kartonvarianten 4, 7 und 8 durch die Folienkaschierung eine Wasseraufnahme vollständig blockiert.

Ermittlung der Rauheit der Kartonrückseiten (Verfahren nach Bendtsen)

Neben der Kohäsion des verfestigten Klebstoffs - wie in Abschnitt 3.2 erläutert - ist eine ausreichende Adhäsion zur Kartonoberfläche eine Voraussetzung für eine optimale Verklebung. Die für die Adhäsion erforderlichen Anziehungskräfte zwischen Kartonoberfläche und Klebstoff können nur wirksam werden, wenn zwischen ihnen ein intensiver Kontakt aufgebaut werden kann. Wenn die Voraussetzungen dafür geschaffen sind, spielt für die Stärke der sich einstellenden Adhäsion die tatsächlich wirksame Kontaktfläche eine wichtige Rolle. Diese wird umso größer sein, je rauer die Kartonoberfläche ist. Der Rauigkeitseinfluss wird durch den Begriff der spezifischen Adhäsion ausgedrückt.

Um die Einflussgröße „Rauigkeit“ validieren zu können, wurden die Rauigkeiten der Kartonrückseiten ermittelt. Die Messung wurde durch ein indirektes Luftstrommessverfahren nach Bendtsen gemäß DIN 53108 [17] durchgeführt.

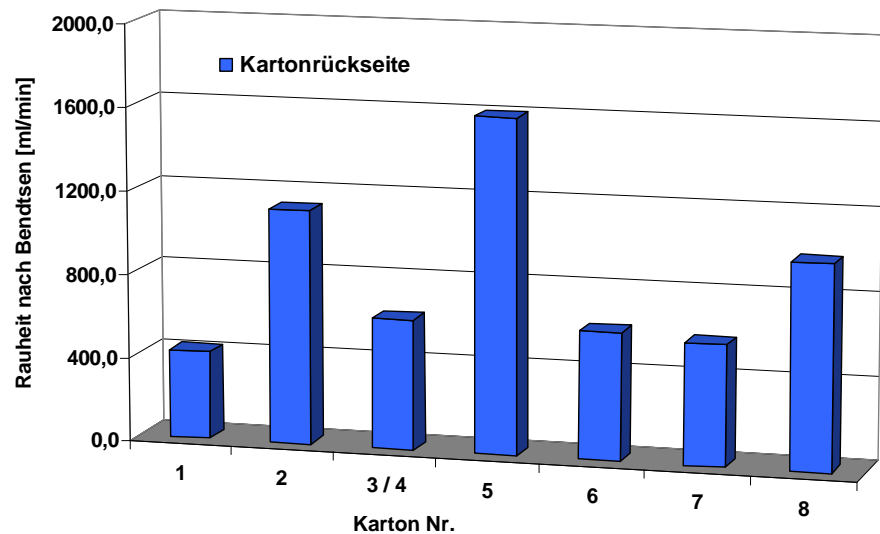


Abbildung 12: Rauheit nach Bendtsen.

Da es sich bei dem Messverfahren nach Bendtsen um ein indirektes Luftstromverfahren mit all seinen Fehlerquellen handelt, wurden diese Messungen durch die Ermittlung der Rauheit der Kartonrückseiten durch ein berührungsloses, bildanalytisches Messverfahren ergänzt.

#### Verklebbarkeit und Abbindegeschwindigkeit

Die Prüfung der Verklebbarkeit und der Abbindegeschwindigkeit erfolgte mit dem Schälwiderstandsmessgerät (SWM-Gerät) gemäß PTS-Methode PTS-PP 102/84 [18]. Bei dieser Methode wird der Schälwiderstand von Klebungen in Abhängigkeit von der Lagerzeit bis zum Eintreten eines Faserrisses bestimmt.

Mit dem SWM-Gerät (Abbildung 13) lassen sich vollständige Verfestigungskurven von Klebstoffen (vorzugsweise Dispersionsklebstoffe) auf Faltschachtelkarton darstellen. Umfangreiche Erfahrungen in der Forschungsstelle zu diesem Messverfahren besagen, dass zwar keine Absolutaussagen über die Klebstoffverfestigung möglich sind, aber sehr wohl und sehr verlässlich vergleichende Aussagen. Mit diesem Gerät kann eine Eignungsrangfolge von Klebstoffen bei gegebenem Karton bzw. eine Eignungsprüfung eines Kartons bei gegebenem Klebstoff durchgeführt werden. Aus der Verfestigungskurve (Abbildung 14), in der der Schälwiderstand in Abhängigkeit von der Verfestigungszeit aufgenommen wird, werden zur Charakterisierung des Abbindeverhaltens zwei Kennwerte ermittelt:

- Steigung  $S = a/b$
- Verfestigungszeit  $P$ , bei der ein Schälwiderstand von 100 N/m erreicht wird.



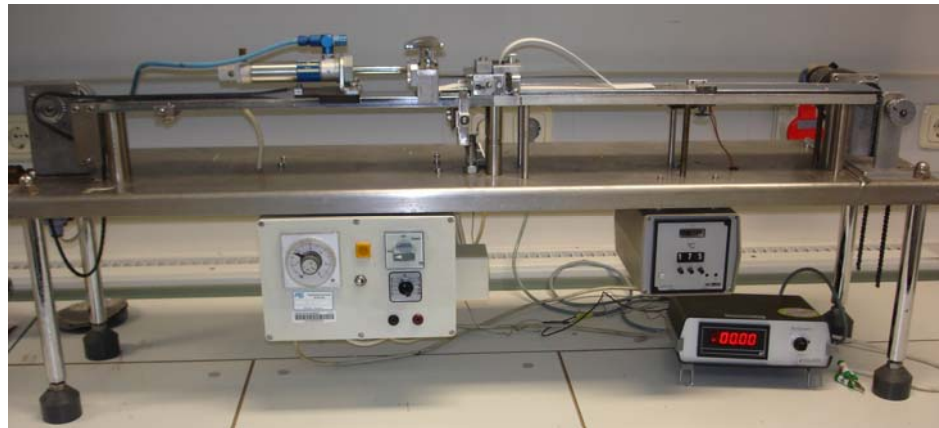


Abbildung 13: Ansicht des Schälwiderstandsmessgerätes (SWM-Gerät).

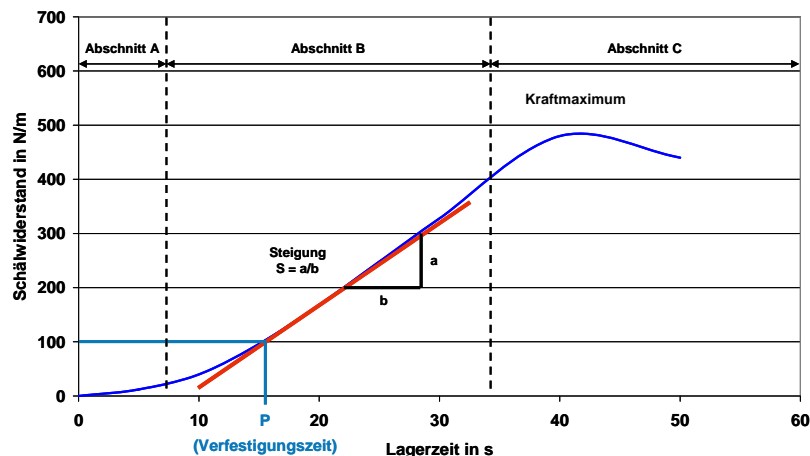


Abbildung 14: Beispiel einer Verfestigungskurve mit dem SWM-Gerät

Dargestellt wird die zeitabhängige Verfestigung des Klebstoffs, ausgedrückt durch den Widerstand, der zum Aufschälen der Klebung in Abhängigkeit von der Zeit notwendig ist. Der Verfestigungsverlauf kann in 3 charakteristische Abschnitte - A, B und C - unterteilt werden.

Der Abschnitt A beschreibt die Phase, in der der Klebstoff noch nicht verfestigt, noch viskos ist. Ein Schälwiderstand ist kaum messbar. Mit fortschreitender Entwässerung verliert der Klebstoff an viskosem Charakter und verfestigt zunehmend. Infolgedessen steigt der Widerstand, der zum Aufschälen der Klebung überwunden werden muss, stark an. Dies ist Abschnitt B der Verfestigungskurve. Im Abschnitt C wird ein Kraftmaximum für den Schälwiderstand erreicht, wobei es in aller Regel auch zum Faserriss in einem der Füge-teile kommt. Der weitere Verlauf der Verfestigungskurve nach erfolgtem Faserriss ist bedeutungslos. Der in Abbildung 14 beispielhaft beschriebene Kurvenverlauf ist für alle untersuchten Kartonsorten repräsentativ. Es ändern sich je nach Karton die Dauer des Abschnittes A, die Steigung  $S$  und

der Zeitpunkt des Auftretens des Faserrisses. Die Messungen zeigten, dass speziell in der Anfangsphase (Abschnitt A), in der der Klebstoff noch nicht verfestigt ist, die Messergebnisse so stark schwanken, dass eine sichere Identifizierung des Übergangs von Abschnitt A nach Abschnitt B nicht möglich war. Auf die Auswertung der Messkurven hinsichtlich des Parameters A wurde deshalb verzichtet.

Die Ergebnisse aus den Schälwiderstandsmessungen sind in den folgenden Diagrammen (Abbildung 15 bis Abbildung 18) dargestellt.

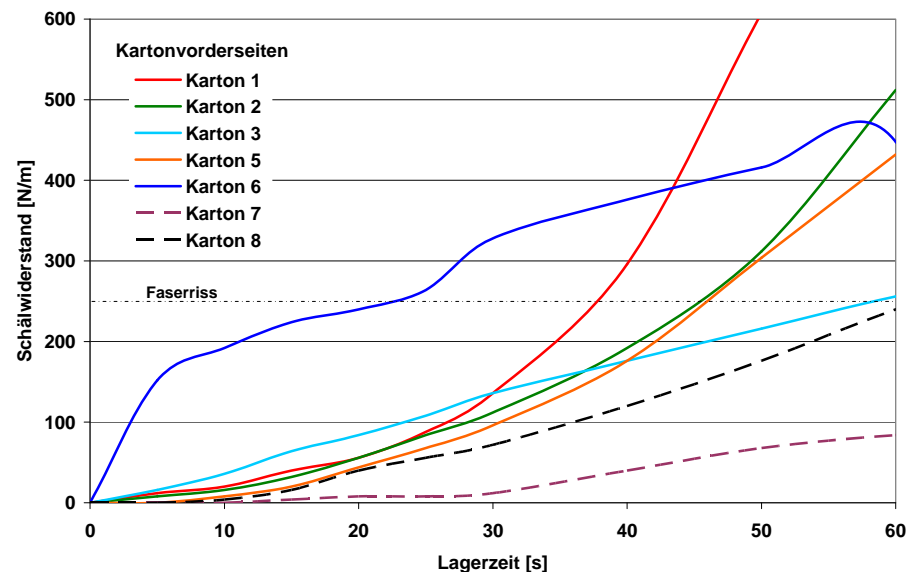


Abbildung 15: Verfestigungskurven eines Dispersionsklebstoffs bis 60s Lagerzeit - Kartonvorderseiten gegen Referenzpapier. (Ab einem Schälwiderstand von ca. 250 N/m ist Faserriss in einem der Füge­teile eingetreten).

Es sind signifikante Unterschiede in der Verfestigung des Dispersionsklebstoffs in Abhängigkeit der Kartonoberfläche zu erkennen. Insbesondere bei den folienkaschierten Kartonsorten (Karton 7 und Karton 8 - gestrichelte Kurven) ist das Abbinden erheblich verzögert und ein Faserriss tritt erst nach sehr langer Lagerzeit ein.

Eine sehr lange Abbindezeit ist aber in der Praxis mit der Gefahr verbunden, dass in der Übergabestation oder sogar nach der Presstation der Faltschachtelklebemaschine durch die Rückstellkräfte die Klebnaht wieder geöffnet wird, solange der Klebstoff noch viskos ist. Dies hat möglicherweise zur Folge, dass der Klebstoff bei geöffneter Klebnaht weiter verfestigt und beim schlussendlichen Abbinden und Trocknen in der Umverpackung keine optimale Verklebung der Füge­teile mehr erzielen kann. Aber auch gestrichelte Kartonoberflächen zeigen zum Teil eine recht langsame Verfestigung des Klebstoffs.

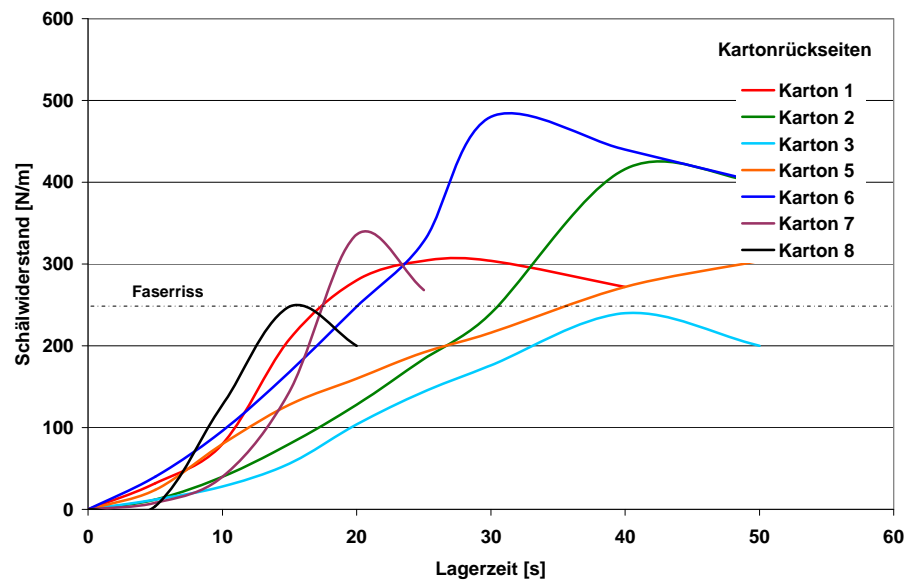


Abbildung 16: Verfestigungskurven eines Dispersionsklebstoffs bis 60s Lagerzeit - Kartonrückseiten gegen Referenzpapier. (Ab einem Schälwiderstand von ca. 250 N/m ist Faserriss in einem der Fügeiteile eingetreten).

Die Verfestigungskurven der Kartonrückseiten zeigen ebenfalls Unterschiede im Abbindeverhalten des Klebstoffs. Diese sind auf unterschiedliche Rückseitenleimungen bzw. -präparationen der Kartonsorten zurückzuführen.

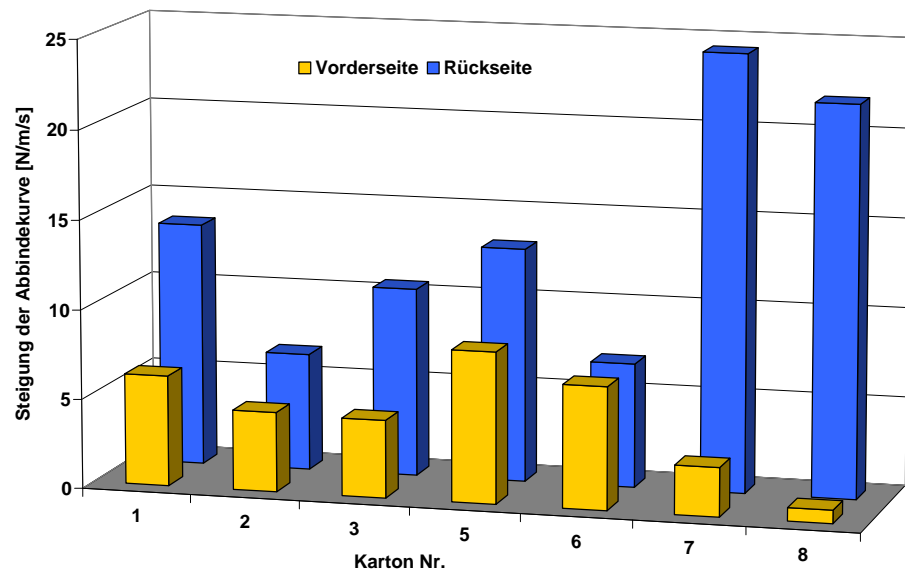


Abbildung 17: Anstieg der Verfestigungskurven im Abschnitt B (Kartonvorder- bzw. -rückseiten mit Dispersionsklebstoff).

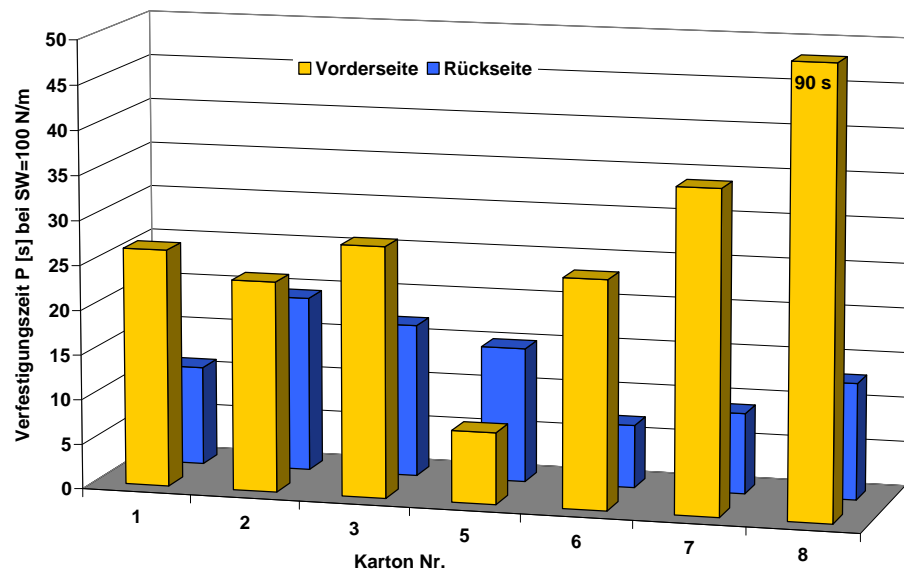


Abbildung 18: Verfestigungszeit (P) bei einem Schälwiderstand von 100 N/m (Kartonvorder- bzw. -rückseiten mit Dispersionsklebstoff).

Es liegt die Vermutung nahe, dass die Verfestigungsgeschwindigkeit des Dispersionsklebstoffs in erster Linie von der Saugfähigkeit (Wasseradsorptionsvermögen) und Penetrationsdynamik bestimmt wird. Allerdings konnten keine direkte Trends bzw. Korrelationen zwischen der Verfestigungszeit P und dem  $Cobb_{60}$ -Wert bzw. den Kennwerten der PDA-Messungen festgestellt werden. Es waren auch keine Zusammenhänge zwischen der Steigung der Verfestigungskurven mit diesen Kartoneigenschaften festzustellen.

Höchstwahrscheinlich sind mehrere Einflussgrößen gleichzeitig (multiple Korrelationen) für die Verfestigungscharakteristik verantwortlich. Dies wird in der statistischen Auswertung der Messergebnisse noch geklärt werden. Die Rauigkeit der Kartonoberfläche könnte verantwortlich sein, weil bei einer hohen Rauigkeit die wirksame Oberfläche, die zur Entwässerung des Klebstoffs zur Verfügung steht, größer ist, als bei einer glatten Oberfläche. Porosität des Kartons und Kapillardruck in den Poren sind ebenfalls als Einflussgrößen zu sehen. Jedoch werden diese Einflüsse mit den gegebenen Messmethoden nur mangelhaft beschrieben, so dass eine Korrelation der Materialeigenschaften mit dem Abbindeverhalten nur schwer möglich ist. Weiterhin wird auch die nur begrenzte Wassermenge im Klebstoffilm eine andere Charakteristik der Kartonoberfläche ergeben als die weitgehend unbegrenzten Wasserreservoirs bei den klassischen Kartonprüfungen.

### 6.1.2 Klebstoffeigenschaften

Oberflächenspannung von Wie bereits früher aufgeführt, ist für eine optimale Ausbildung einer Klebnaht die Benetzung des Klebstoffs auf der Kartonoberfläche eine entscheidende

Dispersionsklebstoff Eigenschaft. Hierfür sind bestimmte Voraussetzungen an die oberflächenenergetischen Eigenschaften der beteiligten Materialien zu erfüllen. Dazu zählt auch die Oberflächenspannung der viskosen Klebstoffe.

Die Bestimmung der Oberflächenspannung der flüssigen Klebstoffe erfolgte tensiometrisch in Anlehnung an die DIN ISO 1409 [19].

Tabelle 2: Oberflächenspannung der Dispersionsklebstoffe

Oberflächenspannung	Klebstoff K1	Klebstoff K2
tensiometrisch (DIN ISO 1409)	37,5 mN/m	37,9 mN/m

Feststoffgehalt von Dispersionsklebstoff Eine wichtige Klebstoffeigenschaft ist der Feststoffgehalt bei Dispersionsklebstoffen. Der Feststoffgehalt gibt das Verhältnis von disperser zu dispergierter Phase in einer Dispersion an.

Die Bestimmung des Feststoffgehaltes bei 105°C der flüssigen Klebstoffe erfolgte in Anlehnung an die DIN EN 827 [20].

Tabelle 3: Feststoffgehalte der Dispersionsklebstoffe

Feststoffgehalt	Klebstoff K1	Klebstoff K2
bei 105 °C (DIN EN 827)	61,6 %	56,1 %

Viskosität und Fließverhalten von Dispersionsklebstoff

Die Verarbeitungseigenschaften eines Dispersionsklebstoffs auf der Faltschachtelklebemaschine werden zu einem großen Teil von dessen Fließeigenschaften und der Viskosität bestimmt. Diese Eigenschaften beeinflussen mitunter die Auftragsmenge, die Präzision des Auftrags und seine Eignung für das eingesetzte Auftragswerk.

Die Bestimmung des Feststoffgehaltes der flüssigen Klebstoffe erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 3219 [21] mit einem Rotationsviskosimeter.

Tabelle 4: Viskositäten der Dispersionsklebstoffe bei einem Schergefälle von 50 s<sup>-1</sup>, 100 s<sup>-1</sup> und 200 s<sup>-1</sup>

Viskosität (DIN EN ISO 3219)	Klebstoff K1	Klebstoff K2
bei D=50 s <sup>-1</sup>	ca. 1700 mPas	ca. 1800 mPas
bei D=100 s <sup>-1</sup>	ca. 1500 mPas	ca. 1800 mPas
bei D=200 s <sup>-1</sup>	ca. 1300 mPas	ca. 2100 mPas

Die erhaltenen Viskositätskurven sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 dargestellt.

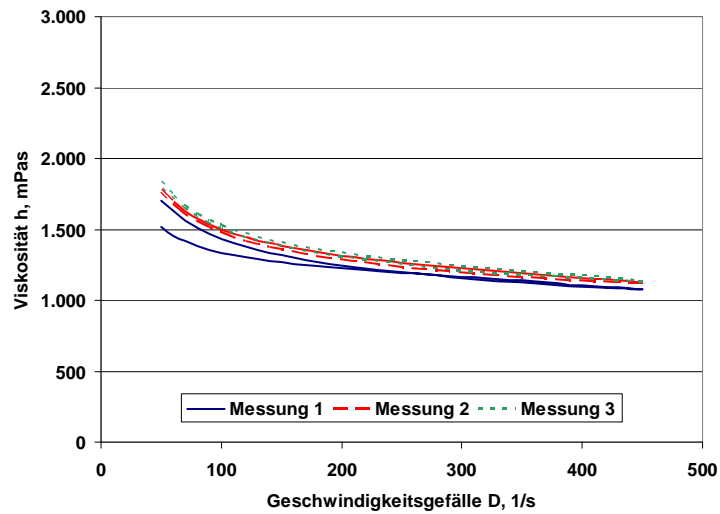


Abbildung 19: Viskositätskurven für den Klebstoff K1.

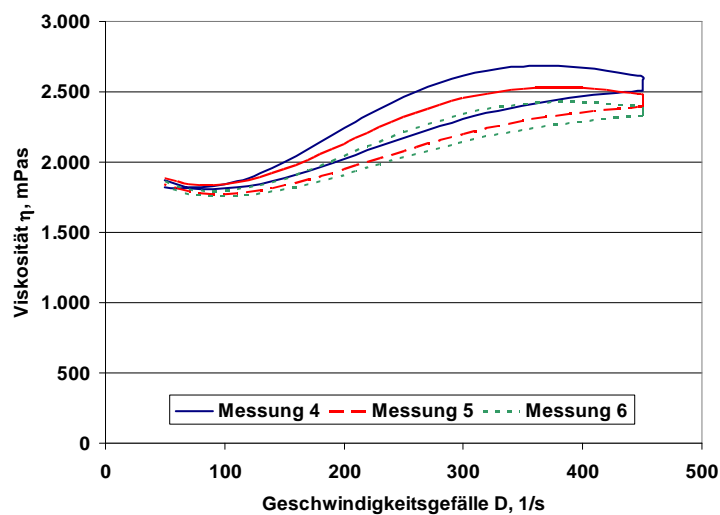


Abbildung 20: Viskositätskurven für den Klebstoff K2.

Für die Messungen wurde jeweils an der selben Klebstoffprobe folgende Prüfabfolge mit drei Abschnitten durchgeführt:

1. Aufwärtsmessung: das Geschwindigkeitsgefälle wurde kontinuierlich von  $50 \text{ s}^{-1}$  auf  $450 \text{ s}^{-1}$  erhöht
2. Haltezeit: das Geschwindigkeitsgefälle von  $450 \text{ s}^{-1}$  wurde 60 s lang konstant gehalten
3. Abwärtsmessung: das Geschwindigkeitsgefälle wurde kontinuierlich von  $450 \text{ s}^{-1}$  auf  $50 \text{ s}^{-1}$  verringert

Der Prüfzyklus wurde dreimal hintereinander an der gleichen Klebstoffprobe durchgeführt.

Aus den Viskositätskurven der Klebstoffe ist sehr gut erkennbar, dass diese ganz unterschiedliches Fließverhalten aufweisen. Der Klebstoff K1 zeigt im Großen und Ganzen eine Strukturviskosität auf mit pseudoplastischem Fließverhalten. Die Viskosität wird mit steigendem Geschwindigkeitsgefälle geringer. Er zeigt aber weder ein rheopexes noch ein thixotropes Verhalten. Die Viskosität ändert sich bei konstantem Geschwindigkeitsgefälle nicht und die Viskositätskurven sind bei Aufwärts- und Abwärtsmessung weitgehend gleichlaufend. Ebenso sind diese weitgehend gleich von der ersten bis zur dritten Messung.

Im Gegensatz dazu zeigt der Klebstoff K2 sowohl Dilatanz (steigende Viskosität bei steigendem Geschwindigkeitsgefälle) als auch thixotropes Fließverhalten (sinkende Viskosität bei konstantem Geschwindigkeitsgefälle).

Auf Grund ihres viskosen Verhaltens ist zu erwarten, dass im Scheibenauftragswerk der Faltschachtelklebemaschine sich die Klebstoffe hinsichtlich ihrer Verarbeitbarkeit, wenn auch nicht signifikant, unterscheiden.

E-Modul der  
trockenen  
Klebstofffilme

Eine wichtige Klassifizierung ist bei den Klebstoffen in Hinblick auf ihre elastischen und visko-elastischen Eigenschaften der trockenen Klebstofffilme. Hierbei wird in aller Regel lediglich in weiche, elastische bzw. harte, spröde Klebefilme unterschieden. Diese Eigenschaft der Klebstofffilme wird von der Rezeptur, sprich vom eingesetzten Basispolymer und von weiteren Additiven, bestimmt.

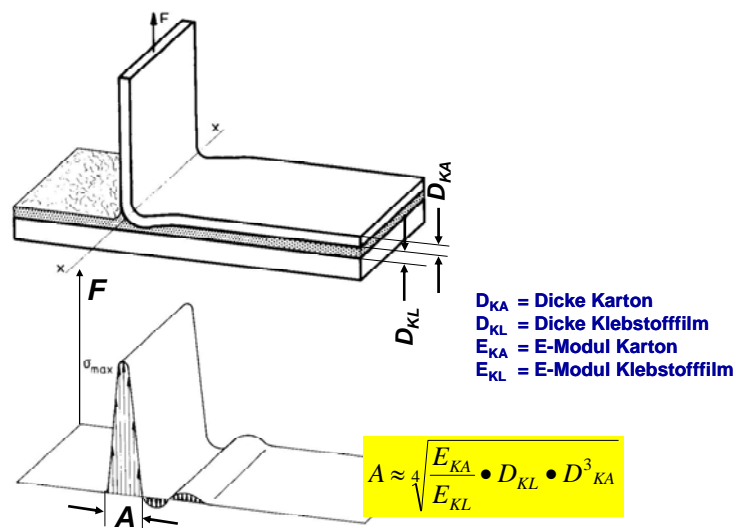


Abbildung 21: Spannungsverteilung in der Klebstoffschicht beim Schälversuch nach Bikerman [22]

Der E-Modul ist für die Flexibilität der Klebstoffschicht in der Klebnaht ausschlaggebend und damit auf die Spannungsverteilung bei einer Kräfteinwirkung in die Klebezone (vgl. Abbildung 21). Dadurch kann im Zusammenspiel mit den Festigkeitseigenschaften der beiden Kartonseiten (Vorder- und Rückseiten) das Bruchverhalten bzw. die Bruchzone mit

beeinflusst werden.

Die Bestimmung des E-Moduls von Klebstoffschichten erfolgte an freien Klebstofffilmen im Zugversuch nach DIN EN ISO 527-1 [23].

Tabelle 5: E-Module von Klebstoffschichten

E-Modul Zugversuch	Klebstoff K1	Klebstoff K2
(DIN EN ISO 527-1)	1,6 N/mm <sup>2</sup>	19,3 N/mm <sup>2</sup>

Das E-Modul des Klebstofffilms von K2 ist um Faktor 10 größer als der von Klebstoff K1. Er wird somit auch in der Klebenaht eine härtere, sprödere Klebeschicht bilden als der weichere Klebstoff K1.

#### Abbindeverhalten des Klebstoffs

Das Abbindeverhalten und die Verfestigungsgeschwindigkeit von Dispersionsklebstoffen ist nicht ausschließlich von den Eigenschaften der Fügeiteile, sprich der Kartonvorder- und -rückseite, abhängig, sondern wird auch entscheidend vom Wasserretentionsverhalten des Klebstoffs beeinflusst. Durch das Wasserretentionsverhalten der Klebstoffdispersion wird die offene und geschlossene Zeit des Klebstoffs definiert.

Das Prüfverfahren nach der Schälstabmethode mit dem PTS-Schälwiderstandsmessgerät (SWM) wurde bereits ausführlich beschrieben.

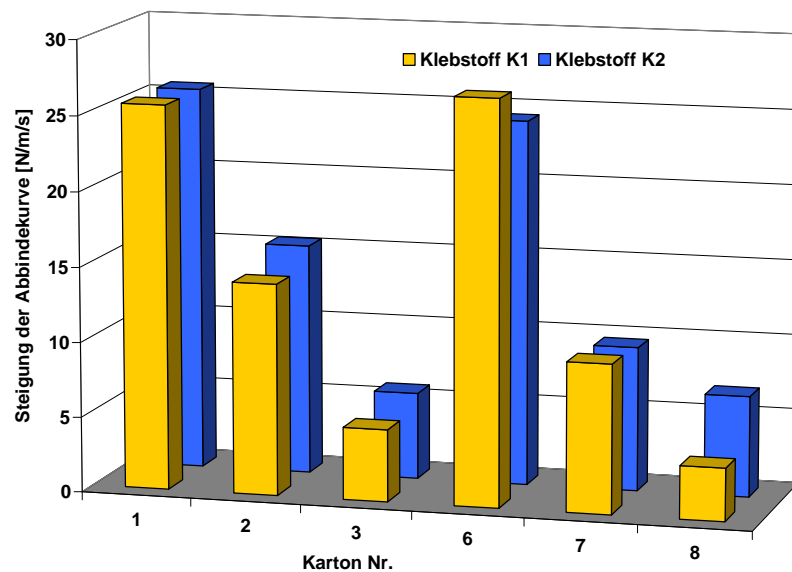


Abbildung 22: Anstieg der Verfestigungskurven im Abschnitt B mit Dispersionsklebstoff K1 und K2.



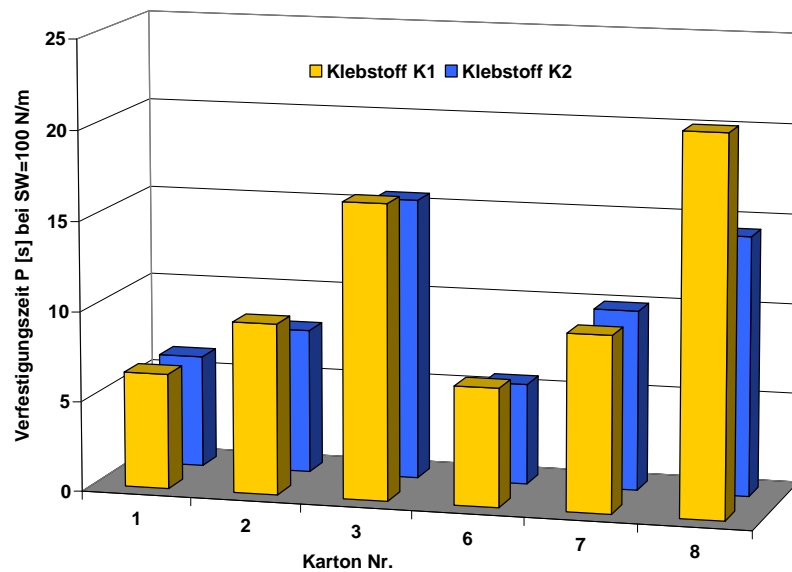


Abbildung 23: Verfestigungszeit (P) bei einem Schälwiderstand von 100 N/m mit Dispersionsklebstoff K1 und K2.

Aus Abbildung 22 (Steigung der Verfestigungskurve) und Abbildung 23 (Verfestigungszeit P) ist eindeutig zu entnehmen, dass die Verfestigung der Klebeschichten im Wesentlichen vom Karton abhängig ist. Das Wasserretentionsverhalten der Klebstoffe scheint weitestgehend gleich zu sein. Lediglich bei Karton 8 scheinen geringfügige Unterschiede zu sein. Diese Unterschiede dürften jedoch auf andere Einflussgrößen des Kartons zurückzuführen sein, weniger auf das Entwässerungsverhalten der Klebstoffe.

## 6.2 Herstellung geklebter Faltschachteln

Prinzip einer Faltschachtelklebemaschine

In einer Faltschachtelklebemaschine werden Faltschachtelzuschnitte gefaltet und an der Klebelasche verklebt. Die häufigste Bauform ist die Längsnaht-Klebemaschine (oder Geradeaus-Klebemaschine), auf der die meisten Faltschachteltypen verarbeitet werden. Anhand der nachfolgenden Abbildung 24 wird der prinzipielle Arbeitsablauf einer Längsnaht-Klebemaschine erläutert.

Die Zuschnitte werden im Stapelanleger eingelegt und durch umlaufende Einzugsriemen vereinzelt. Anschließend werden die Rilllinien 1 und 3 um ca. 150° vorgebrochen, um in der Abpackmaschine ein leichteres Aufrichten zu ermöglichen. In der darauffolgenden Leimstation wird mittels Auftragscheibe (evtl. Leimdüsen) der Klebstoff auf die Klebelasche aufgetragen und der Auftrag kontrolliert. In der Faltstation werden die Zuschnitte mit angetriebenem Faltriemen oder Faltungen entlang der Rilllinien 2 und 4 gefaltet und kurz angepresst. In der Übergabestation werden die frisch geklebten, flachliegenden Faltschachteln in die Pressstation übergeben, geschuppt und weiter gepresst. In der Auslagestation werden die Faltschachteln abgenommen und in Versandkartons verpackt. Moderne Längs-Klebmaschinen erreichen

Produktionsgeschwindigkeiten bis zu 450 m/min.



Abbildung 24: Stationen in einer Faltschachtelklebemaschine: Anleger mit Einzug (links oben), Vorbrechstation (rechts oben); Leimauftragswerk - Scheibe (links unten); Falystation (rechts unten) [24]

#### Faltschachtel- variationen

Die Längklebungen der Faltschachteln wurden an drei Faltschachtelklebemaschinen unter praxisrelevanten Bedingungen bei den Industriepartnern durchgeführt. Um einen möglichen Einfluss der Klebemaschinen zu ermitteln, wurden bei allen Industriepartnern die gleichen Faltschachtelmuster auf den unterschiedlichen Maschinen geklebt. Neben den unterschiedlichen Kartonsorten und Oberflächenveredelungen wurden teilweise zwei verschiedene Klebstoffe (K1 und K2) eingesetzt.

Tabelle 6: Faltschachtelvariationen hergestellt mit Produktionsmaschine 1

Sorte	Codierung	Veredelung	Klebstoff	Vorbehandlung
GZ	Karton 1	- ausgespart - lackiert - lackiert (UV)	K1 / K2 K1 / K2 K1	keine keine keine / Plasma
GD2	Karton 2	- ausgespart - lackiert	K1 / K2 K1	keine keine
GZ	Karton 3	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine
GZ	Karton 4	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine
GD2	Karton 5	- ausgespart - lackiert	K1 / K2 K1 / K2	keine keine
GC2	Karton 6	- ausgespart - lackiert	K1 / K2 K1 / K2	keine keine
GC2	Karton 7	- PET-Folie	K1 / K2	keine / Plasma
GC2	Karton 8	- OPP-Folie	K1 / K2	keine / Plasma

In den Tabellen (Tabelle 6 bis Tabelle 8) sind die geklebten Schachtelvariationen aufgeführt, die aus den unterschiedlichen Faltschachtelzuschnitten (siehe Abschnitt 5.2) hergestellt wurden. Dabei wurden u.a. auch die an den Produktionsmaschinen verfügbaren Vorbehandlungen (Plasma- und Coronavorbehandlung, sowie mechanische Aufrauung) an den Klebelaschen durchgeführt. Bei ausgewählten Zuschnitten wurden die Längsklebung mit beiden Dispersionsklebstoffen durchgeführt, um den Einfluss des Klebstoffs bzw. seiner relevanten Eigenschaften ermitteln zu können.

Tabelle 7: Faltschachtelvariationen hergestellt mit Produktionsmaschine 2

Sorte	Codierung	Veredelung	Klebstoff	Vorbehandlung
GZ	Karton 1	- ausgespart	K1 / K2	keine
		- lackiert	K1 / K2	keine
		- lackiert (UV)	K1 / K2	keine
GD2	Karton 2	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine
GZ	Karton 3	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine
GZ	Karton 4	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine / Corona keine / Corona
GD2	Karton 5	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine
GC2	Karton 6	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine
GC2	Karton 7	- PET-Folie	K1	keine / Corona / Aufrauung
GC2	Karton 8	- OPP-Folie	K1	keine / Corona / Aufrauung

Tabelle 8: Faltschachtelvariationen hergestellt mit Produktionsmaschine 3

Sorte	Codierung	Veredelung	Klebstoff	Vorbehandlung
GZ	Karton 1	- ausgespart	K1	keine
		- lackiert	K1	keine
		- lackiert (UV)	K1	keine / Aufrauung
GD2	Karton 2	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine
GZ	Karton 3	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine / Aufrauung
GZ	Karton 4	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine / Aufrauung
GD2	Karton 5	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine
GC2	Karton 6	- ausgespart - lackiert	K1 K1	keine keine
GC2	Karton 7	- PET-Folie	K1	keine / Aufrauung
GC2	Karton 8	- OPP-Folie	K1	keine / Aufrauung

Die Charakterisierung der Materialeigenschaften wurde bereits in Abschnitt 6 vorgenommen.

Maschinenparameter  
Faltschachtelkleb-  
maschinen

#### Produktionsmaschine 1:

- Maschine (Typ/Model): Bobst Domino 50-A1 (Baujahr 1996)
- Maschinengeschwindigkeit: ca. 240 m/min

- 
- offene Zeit: ca. 0,6 s
  - geschlossene Zeit: ca. 0,6 s
  - Presstation (Länge): ca. 2,8 m
  - Vorbehandlungseinheit: Plasma

#### **Produktionsmaschine 2:**

- Maschine (Typ/Model): Jagenberg Diana 45 (Baujahr 2004)
- Maschinengeschwindigkeit: ca. 150 m/min
- offene Zeit: ca. 0,8 s
- geschlossene Zeit: ca. 0,45 s
- Presstation (Länge): ca. 2 m
- Vorbehandlungseinheit: Corona und mechanische Aufrauung

#### **Produktionsmaschine 3:**

- Maschine (Typ/Model): Kohmann K 450 (Baujahr 1991)
- Maschinengeschwindigkeit: ca. 100 m/min
- offene Zeit: ca. 1,1 s
- geschlossene Zeit: ca. 0,8 s
- Presstation (Länge): ca. 2,3 m
- Vorbehandlungseinheit: mechanische Aufrauung

Die Maschineneinstellungen wurden für die einzelnen Produktionsmaschinen jeweils optimiert. Teilweise wurden die Einstellungen für den Anpressdruck in der Presstation angepasst. Die Einstellungsparameter wurden protokolliert, soweit diese messtechnisch erfassbar waren.

---

### **6.3 Klebnahtprüfung**

#### **Messverfahren**

Die Festigkeit der Klebnahte der Faltschachteln wurde entsprechend der PTS-Methode PTS-PR 301/2008 quantifiziert und bewertet. Erfahrungsgemäß hat auch der Prüfzeitpunkt auf das Messergebnis einen Einfluss. Deshalb wurden die Prüfungen nach einem festgelegten Zeitplan durchgeführt. Wegen der Vergleichbarkeit der Messergebnisse wurde dabei zwischen dem Verkleben der Muster auf der Faltschachtelklebemaschine und der Klebnahtprüfung ein einheitliches Zeitintervall eingehalten. Dies erfolgte, indem ein Teil der Prüfungen vor Ort unmittelbar nach dem Verkleben mit der Faltschachtelklebemaschine durchgeführt wurde. Die restlichen Prüfungen erfolgten aber nach Erreichen der Endfestigkeit der Klebungen (nach mehreren Tagen Lagerzeit) im Labor der Forschungsstelle.

Um den Einfluss von Lagerung und Alterung zu untersuchen, wurden ausgewählte Muster unter definierten klimatischen Bedingungen gelagert und

---

anschließend hinsichtlich ihrer Klebnahtfestigkeit erneut untersucht. Die Ergebnisse wurden dann mit den bereits vorliegenden Messungen verglichen. Entsprechende Veränderungen sollten dadurch quantifiziert und mögliche Ursachen diskutiert werden.

Die Ergebnistabellen mit der Zusammenstellung aller Messdaten sind im Anhang des Abschlussberichts aufgeführt.

### 6.3.1 Klebnahtfestigkeiten von Produktionsmaschine 1

Auswertung der Klebeversuche an Produktionsmaschine 1

Die nachfolgenden Diagramme (Abbildung 25 und Abbildung 26) zeigen die Klebnahtfestigkeiten in Abhängigkeit von der Lagerzeit zwischen Klebung und Prüfung.

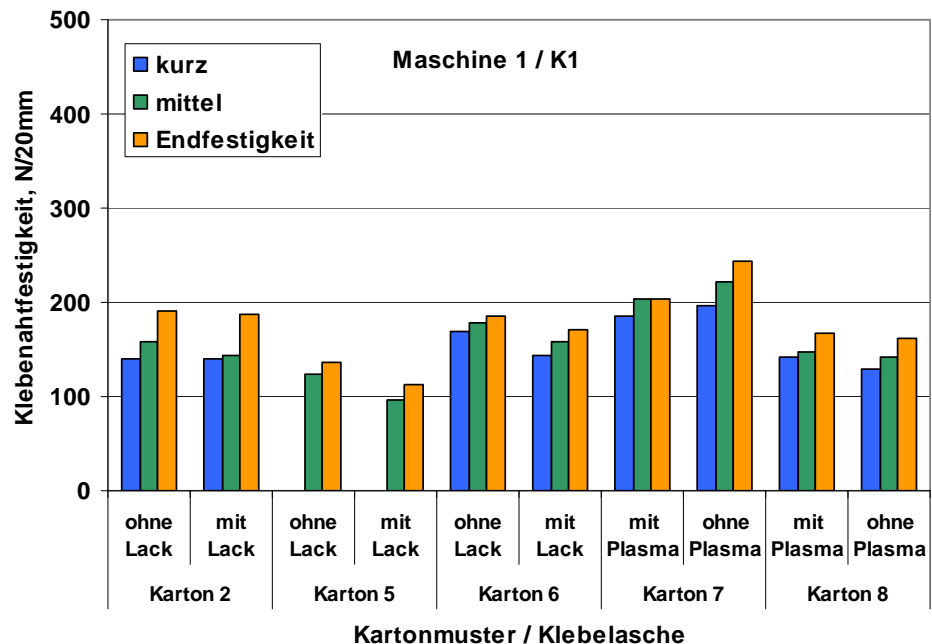


Abbildung 25: Klebnahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachtelmustern geklebt mit Produktionsmaschine 1 und Klebstoff K1.

Dabei wurden die Schachteln ca. 15 min (kurz) nach dem Verlassen der Klebmaschine geprüft, weitere nach einer Wartezeit von einer Stunde (mittel) und letztendlich nach einer Wartezeit von mehreren Tagen (Endfestigkeit) und die Festigkeit in N/20mm ermittelt. Außerdem wurde stets auch das Bruchverhalten (Aussehen der Bruchzone) bewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Klebstoff K1 mit zunehmendem Zeitintervall zwischen der Klebung und der Prüfung der Klebnaht noch ein geringfügiger Festigkeitsanstieg zu erkennen ist. Diese Festigkeitssteigerung ist aber nur noch marginal und liegt auch im Bereich der Streuung der Einzelmesswerte.

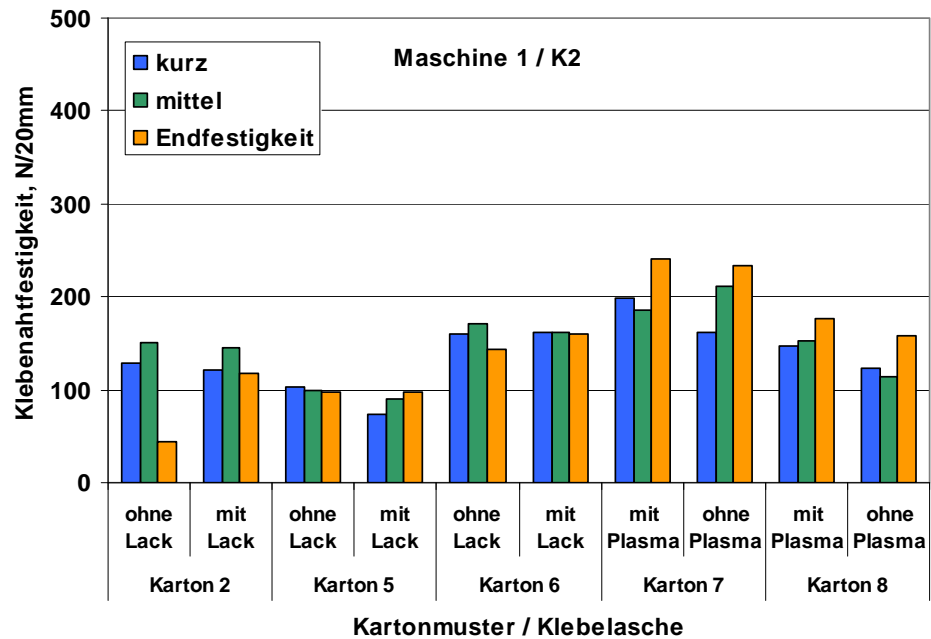


Abbildung 26: Klebnahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachtelmustern geklebt mit Produktionsmaschine 1 und Klebstoff K2.

Bei Klebstoff K2 ist dieser Festigkeitsanstieg nicht eindeutig erkennbar. Nur bei zwei Varianten ist diese Erhöhung festzustellen, die restlichen Varianten zeigen keinen erkennbaren Trend. Bemerkenswert ist der extreme Festigkeitsrückgang bei Karton 2 mit unlackierter Klebelasche. Die nähere Analyse der Ergebnisse zeigte, dass hier ein Bruch in der Kartenvorderseite vorlag, im Gegensatz zu dem kurzen und mittleren Zeitintervall, wo der Bruch stets in der Kartorrückseite eintrat. Vermutlich ist bereits hier ein Einfluss der elastischen Eigenschaften der Klebstoffe (vgl. E-Modul Abschnitt 6) als Ursache zu sehen.

Aus der Abbildung 27, in der die Klebnahtfestigkeiten ausgewählter Faltschachteln mit beiden Klebstoffen dargestellt sind, ist zu entnehmen, dass mit dem Klebstoff K1 (E-Modul niedrig) in der Regel höhere Festigkeiten erzielt werden können als mit dem Klebstoff K2 (E-Modul höher). Natürlich hat hier auch das Bruchverhalten (Lage der Bruchzone) einen wesentlichen Einfluss.

So war mit Klebstoff K1 bei den Kartons 2, 5 und 6 stets Kohäsionsbruch in der Rückseite festzustellen. Bei dem Karton 1 war das Bruchverhalten unterschiedlich, von Adhäsionsbruch auf der Vorderseite, Kohäsionsbruch im Klebstoff, sowie Kohäsionsbruch in der Kartorrückseite.

Dagegen lag bei dem Klebstoff K2 bei den Kartons 1, 5 und 6 stets Kohäsionsbruch in der Rückseite vor. Lediglich bei Karton 2 trat - bei allen Proben - Kohäsionsbruch in der gestrichenen Kartenvorderseite ein. Ganz offensichtlich wird bei diesem Karton durch den höheren E-Modul des Klebstoffs die Bruchzone im Karton beeinflusst. Mit dem weicheren Klebstoff K1 kam es zum Kohäsionsbruch in der Kartorrückseite, wohingegen mit dem härteren Klebstoff K2 ein Kohäsionsbruch in der Kartenvorderseite ausgelöst wurde.

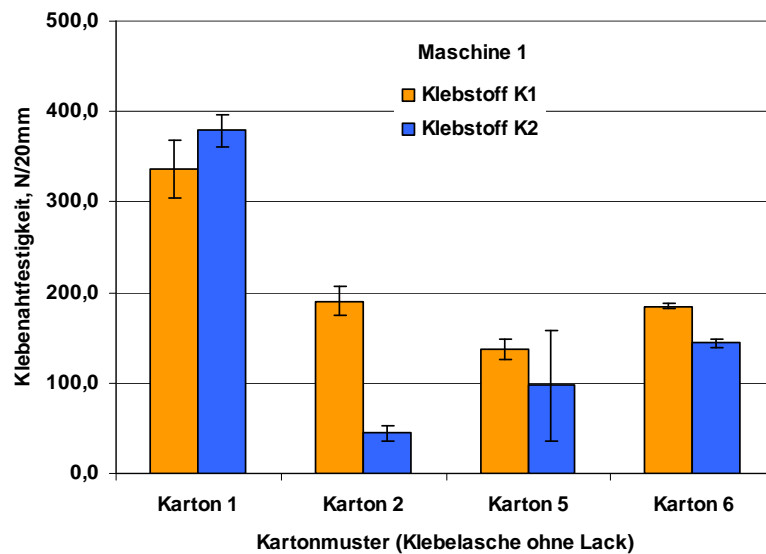


Abbildung 27: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachteln geklebt mit Produktionsmaschine 1. Vergleich von Klebstoff K1 und K2.

Zur Überprüfung der optimalen Einstellung der Faltschachtelklebemaschine kann im Allgemeinen ein Vergleich der Klebenahtfestigkeiten am Kopf, in der Mitte und am Fuß der Faltschachtel vorgenommen werden. Ist die Maschineneinstellung hinsichtlich ungleichmäßigem Klebstoffauftrag bzw. schwankendem Anpressdruck in der Pressstation nicht optimal, so werden sich die Festigkeitswerte in den drei Bereichen der Faltschachtel deutlich unterscheiden. In den nachfolgenden Diagrammen (Abbildung 28 und Abbildung 29) sind hierzu die Ergebnisse für die Produktionsmaschine 1 dargestellt.

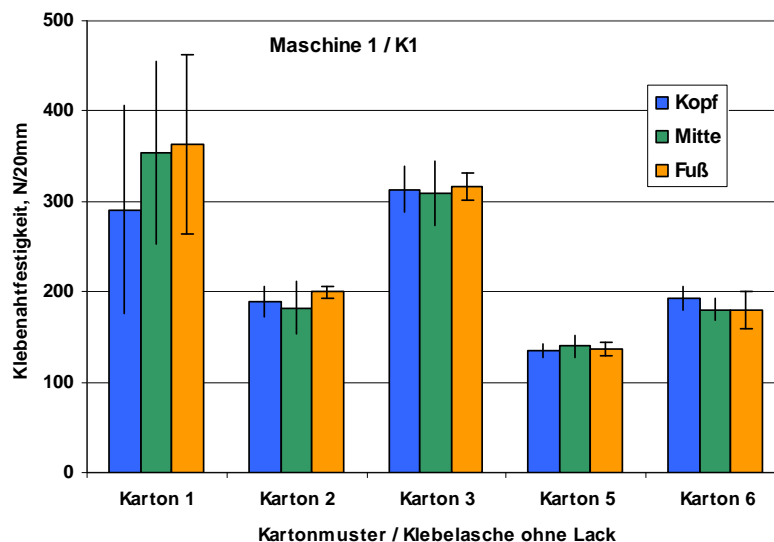


Abbildung 28: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachteln aus Produktionsmaschine 1 mit Klebstoff K1. Vergleich von Kopf-,

Mittel- und Fußbereich der Klebnaht.

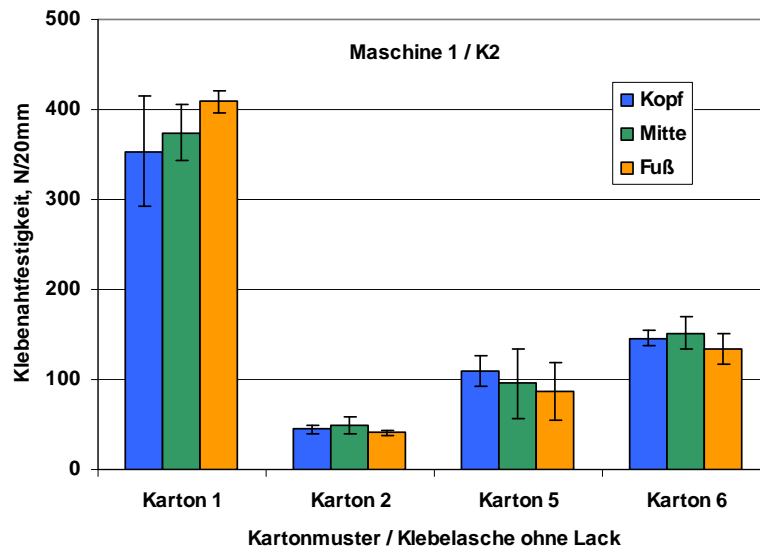


Abbildung 29: Klebnahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachteln aus Produktionsmaschine 1 mit Klebstoff K2. Vergleich von Kopf-, Mittel- und Fußbereich der Klebnaht.

Aus den Abbildungen ist zu erkennen, dass die Klebnahtfestigkeiten in Kopf-, Mittel- und Fußbereich der geklebten Faltschachteln weitestgehend übereinstimmen. Die vorliegende Streuung der Messergebnisse ist erfahrungsgemäß durchaus im üblichen Rahmen von etwa 15% und die Abweichungen zwischen den Bereichen liegen ebenfalls in dieser Größenordnung. Daraus kann gefolgert werden, dass die Maschineneinstellung für die Klebeversuche weitgehend optimal vorgenommen wurde.

### 6.3.2 Klebnahtfestigkeiten von Produktionsmaschinen 2 und 3

Auswertung der Klebeversuche an den Produktionsmaschinen 2 und 3

Die Ergebnisse der Klebeversuche an den Produktionsmaschinen 2 und 3 wurden im Wesentlichen analog zur Auswertung der Klebeversuche an Produktionsmaschine 1 vorgenommen. In Abbildung 30 und Abbildung 31 sind ausgewählte Ergebnisse zusammengestellt.

Die Ergebnisse der Auswertung von Produktionsmaschine 2 sind im Großen und Ganzen mit den Ergebnissen von Produktionsmaschine 1 vergleichbar. Der Klebstoff K1 erzielt geringfügig höhere Klebnahtfestigkeiten als Klebstoff K2. Die Schwankungen der Einzelmesswerte der Festigkeiten zwischen Kopf-, Mittel- und Fußbereich sind ebenfalls im üblichen Rahmen (Streuweite ca. 15%). Offenbar lag hier ebenfalls eine optimale Maschineneinstellung für die Klebeversuche vor.

Die Festigkeitsentwicklung nach bestimmten Zeitintervallen nach dem Verlassen der Klebmaschine konnte hier aus technischen Gründen nicht



ermittelt werden. Es darf jedoch mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die gleichen Trends vorliegen wie bei Produktionsmaschine 1.

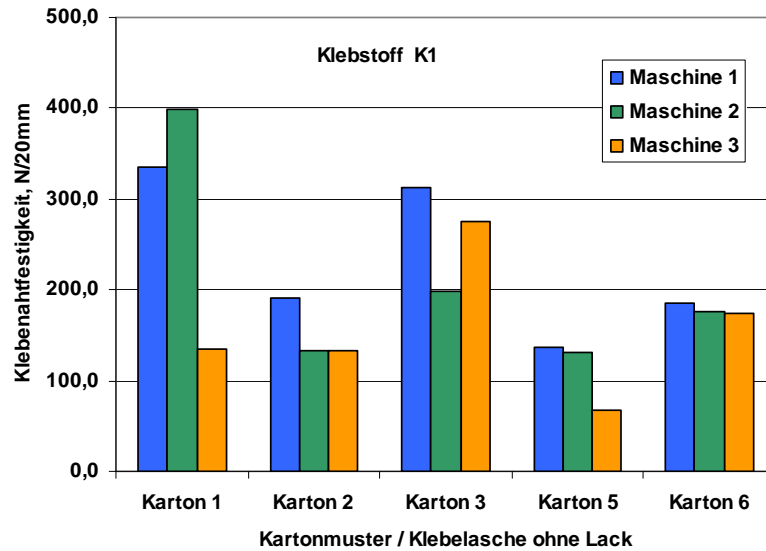


Abbildung 30: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachteln (Klebstoff K1; Klebelasche nicht lackiert). Vergleich der Produktionsmaschinen 1, 2 und 3.

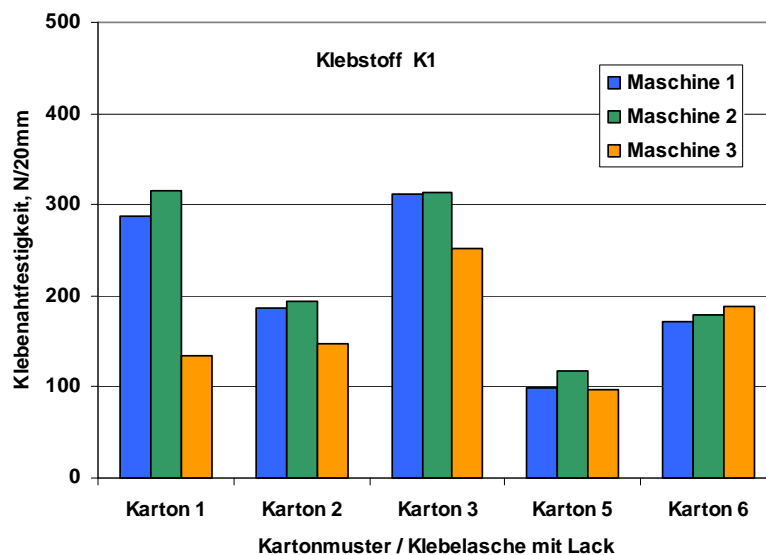


Abbildung 31: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachteln (Klebstoff K1; Klebelasche lackiert). Vergleich der Produktionsmaschinen 1, 2 und 3.

Bei Produktionsmaschine 3 sind die Klebenahtfestigkeiten im Vergleich zu den beiden anderen Klebemaschinen bei einigen Faltschachtelvariationen deutlich verschieden. Die Vergleiche der Bruchzonen ergaben ebenfalls bei einigen

Mustern ein deutlich differenziertes Bild.

Waren die Klebnahtfestigkeiten bei Maschine 3 deutlich geringer als bei den Maschinen 1 und 2 - vgl. Karton 1 (unlackiert und lackiert), sowie Karton 5 (unlackiert) - dann war in der Regel ein Kohäsionsbruch in der Klebstoffschicht festzustellen. Die verbliebenen Klebstoffreste auf den beiden Kartonseiten weisen jedoch Merkmale auf, die auf folgende Ursache für die geringere Festigkeiten schließen lassen: Die Klebelasche wurde in der Klebmaschine zunächst einwandfrei verklebt. Aber auf Grund hoher Rückstellkräfte und zu gering eingestelltem Pressdruck in der Pressstation konnte sich die Klebnaht wieder öffnen solange der Klebstoff noch viskos war. Das typische Aussehen für eine Klebnaht, bei der dies geschehen ist, zeigt Abbildung 32. Bei endgültigem Wiederverschließen und Anpressen der Klebnaht war aber der Klebstoff soweit abgebunden, dass keine ausreichende Verklebung mehr erzielt werden konnte. Die Klebnaht hatte einen Festigkeitsmangel. Dieser Festigkeitsmangel, verbunden mit dem beschriebenen Bruchbild, war bei den mit Produktionsmaschine 3 geklebten Faltschachtelmustern häufiger - im Vergleich zu den beiden anderen Maschinen - festzustellen.

Die Schwankung der Einzelmesswerte der Klebnahtfestigkeiten zwischen Kopf-, Mittel- und Fußbereich ist ebenfalls etwas höher als bei den beiden anderen Produktionsmaschinen (Streubreite ca. 30%). Hier hätten die Maschineneinstellungen offenbar noch weiter optimiert werden können, insbesondere hinsichtlich Klebstoffauftrag und Anpressdruck in der Pressstation.

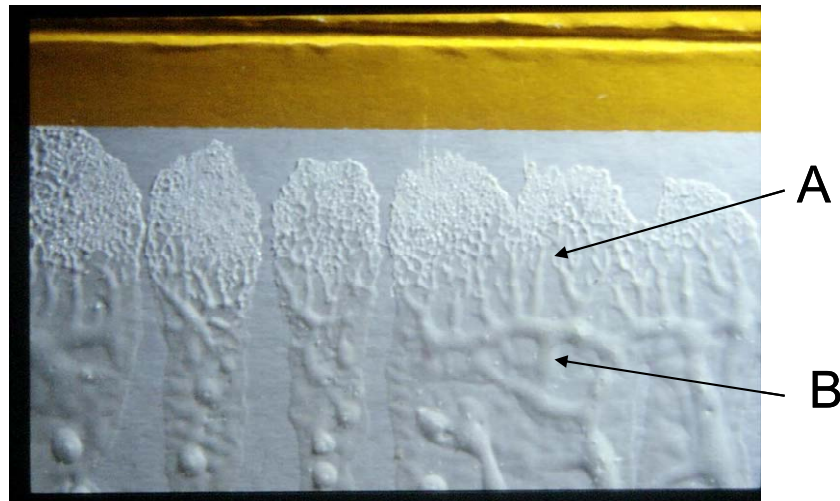


Abbildung 32: Typisches Aussehen einer Klebnaht, die durch die Rückstellkräfte geöffnet wurde, als der Klebstoff noch viskos war. (Bereich A: Typische Struktur, wenn der noch zu weiche Klebstofffilm infolge zu hoher Rückstellkräfte spaltet; Bereich B: Hier hat nur kurzzeitiger Kontakt mit der anderen Klebefläche stattgefunden)

Eine Ermittlung der Festigkeitsentwicklung nach bestimmten Zeitintervallen nach dem Verlassen der Klebmaschine war aus technischen Gründen an

Maschine 3 ebenfalls nicht möglich.

### 6.3.3 Klebenahtfestigkeiten von folienkaschierten Kartonsorten

Auswertung der  
Klebeversuche  
folienkaschierten  
Faltschachtelkartons

Zunächst soll betrachtet werden, wie sich eine Vorbehandlung der folienkaschierten Kartonmuster (Karton 7 und Karton 8) bei den eingesetzten Klebstoffen auswirkt. Dazu wurden die Klebenahtfestigkeiten der Faltschachteln aus Klebmaschine 1 in den nachfolgenden Diagrammen gegenübergestellt (vgl. Abbildung 33 und Abbildung 34).

Die Klebstoffe K1 und K2 erzielen bei den unbehandelten Klebelaschen jeweils in etwa die gleiche Klebenahtfestigkeit, wobei bei dem Karton mit PET-Folie die höhere Festigkeit ist als bei dem Karton mit OPP-Folie. Es zeigt sich aber bei den mit Plasma vorbehandelten Klebelaschen, dass bei Klebstoff K2 keine signifikante Veränderung der Festigkeit eintritt. Dagegen geht die Festigkeit bei den mit Klebstoff K1 geklebten Schachteln mit Vorbehandlung tendenziell sogar geringfügig zurück.

Das Bruchbild in der Trennzone war allerdings bei allen Mustern stets Kohäsionsbruch in der Kartonrückseite. Es stellte sich also die Frage, warum bei gleicher Kartonfestigkeit und bei gleichem Bruchbild bei Karton 7 höhere Festigkeiten erzielt wurden als bei Karton 8. Deshalb wurden in diesem Fall nochmals die Kartoneigenschaften in Tabelle 9 gegenübergestellt.

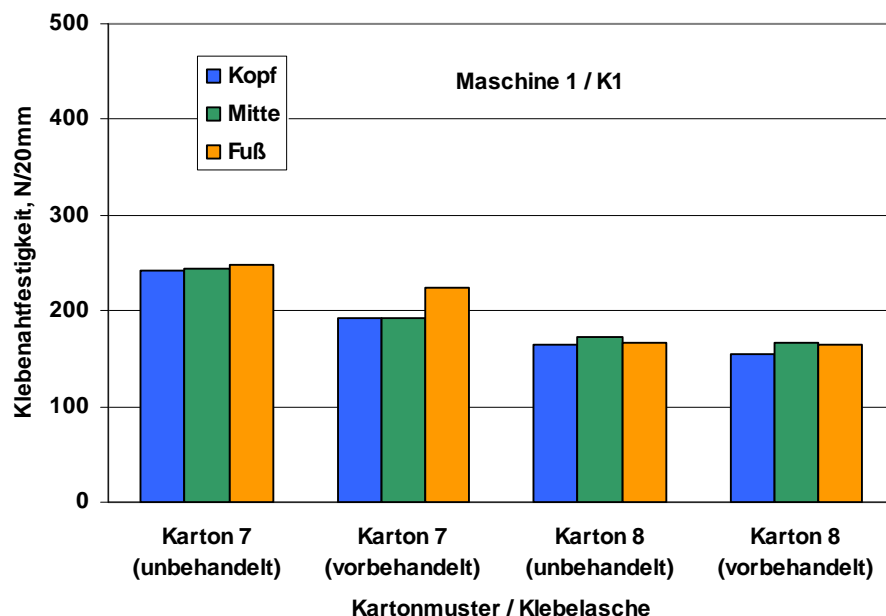


Abbildung 33: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten folienkaschierten Faltschachteln aus Produktionsmaschine 1 mit Klebstoff K1. Vergleich von Kopf-, Mittel- und Fußbereich der Klebenaht.

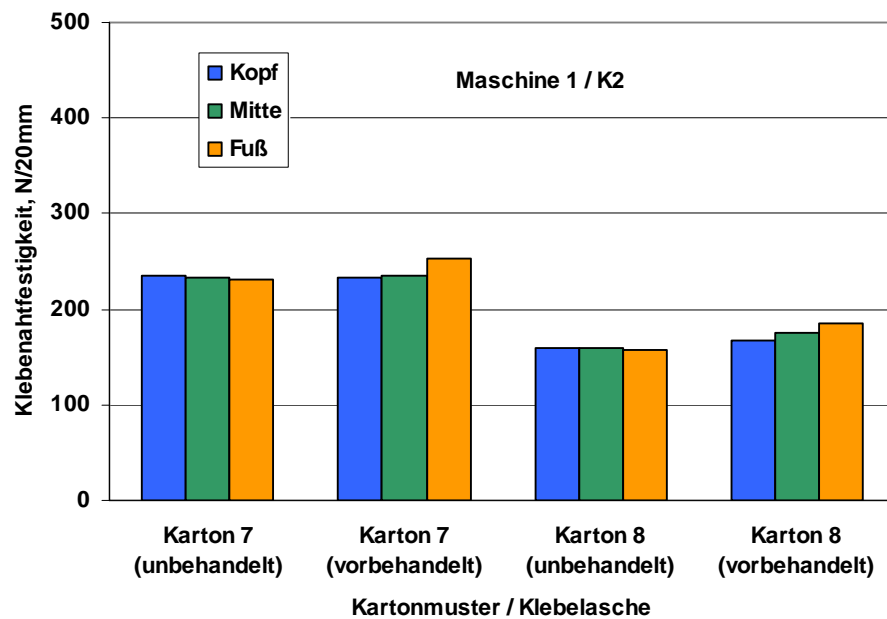


Abbildung 34: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten folienkaschierten Faltschachteln aus Produktionsmaschine 1 mit Klebstoff K2. Vergleich von Kopf-, Mittel- und Fußbereich der Klebenaht.

Tabelle 9: Ausgewählte Kartoneigenschaften von Karton 7 und Karton 8 (VS = Kartonvorderseite, RS = Kartorrückseite; vgl. Abschnitt 6)

Eigenschaft	Karton 7	Karton 8
Spaltwiderstand, J/m <sup>2</sup>	155	155
Rauheit (Bendtsen) RS, ml/min	580	990
Cobb <sub>60</sub> RS, g/m <sup>2</sup>	73	26
Oberflächenspannung		
VS, mN/m	36	39
RS, mN/m	40	34
Verfestigungszeit P		
Klebstoff K1, s	10	21
Klebstoff K2, s	10	14

Es ist allgemein bekannt, dass PET-Folien - wie bei Karton 7 - materialbedingt bereits eine hohe Oberflächenspannung (< 35 mN/m) haben. Bemerkenswert ist jedoch die hohe Oberflächenspannung der folienkaschierten Vorderseite von Karton 8. Erfahrungsgemäß weisen nur bereits werkseitig vorbehandelte OPP-Folien eine Oberflächenspannung größer 28 mN/m auf. Auf Grund dessen ist davon auszugehen, dass eine zusätzliche Vorbehandlung in der Faltschachtelklebemaschine keinen weiteren positiven Effekt auf die

Klebnahtfestigkeit bewirkt. Nachdem auch stets Kohäsionsbruch in der Kartonstrückseite eingetreten ist, zeigt dies, dass eine ausreichende Adhäsion sowohl zur folienkaschierten Vorderseite als auch zur Kartonstrückseite ausgebildet wurde.

Die offensichtlichen Unterschiede im Wasserabsorptions- und Abbindeverhalten zwischen den beiden Kartons erscheint aber für die Klebnahtfestigkeit im abgetrockneten Zustand nicht wirklich relevant. Somit bleibt letztendlich der Schluss, dass die Rauigkeitsunterschiede der Kartonstrückseiten offenbar für die Festigkeitsunterschiede der Klebnahte verantwortlich sein müssen. Möglicherweise ist eine spezifische Oberflächenfestigkeit, die nicht mit den eingesetzten Prüfmethode zu erfassen ist, hierfür ursächlich.

Der Vergleich der unterschiedlichen Vorbehandlungsmethoden, die bei den verschiedenen Faltschachtelklebemaschinen zum Einsatz kamen, ist in Abbildung 35 gezeigt. Auch hier ist festzustellen, dass bei dem Karton 7 - mit PET-Folienkaschierung - eine Klebelaschenvorbehandlung keine nennenswerte Festigkeitssteigerung bewirkt.

Auch bei dem mit OPP-Folie kaschierten Karton 8 ist grundsätzlich keine signifikante Steigerung der Klebnahtfestigkeit durch eine zusätzliche Vorbehandlung in der Faltschachtelklebemaschine zu erkennen. Die extrem geringen Festigkeitswerte der Faltschachteln von Karton 8 mit Produktionsmaschine 2 sind, wie die Analyse der Bruchzonen ergab, erneut vermutlich auf eine zu geringe Pressung in der Presstation der Maschine zurückzuführen (vgl. Abbildung 32), somit auf einen Einstellungsfehler und nicht auf Materialeigenschaften.

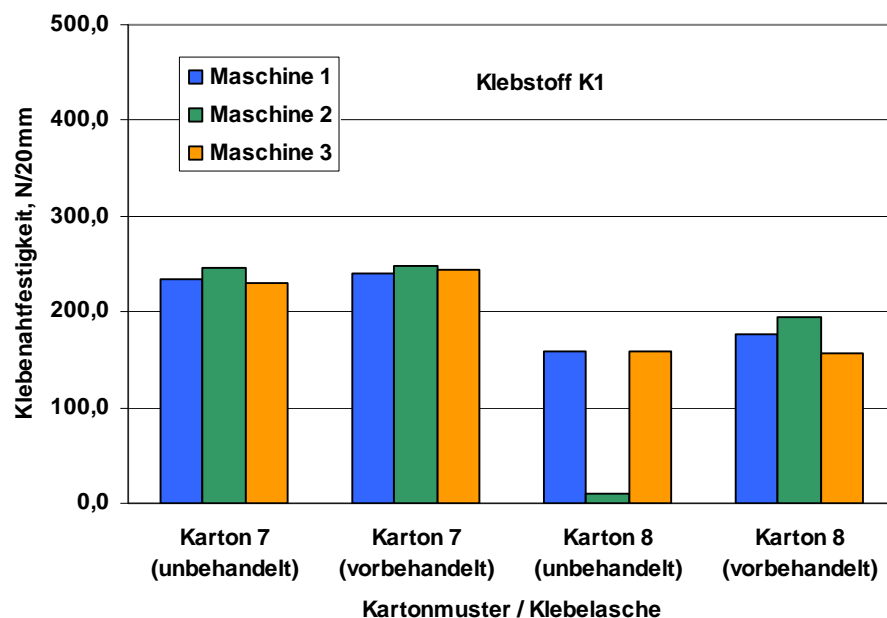


Abbildung 35: Klebnahtfestigkeiten von ausgewählten folienkaschierten Faltschachteln mit Klebstoff K1.

### 6.3.4 Klebenahtfestigkeiten von lackierten Kartonsorten

Auswertung der  
Klebeversuche  
lackierter  
Faltschachtelkartons

Hierbei wurde betrachtet, wie sich eine unterschiedliche Lackierung der Kartonmuster bzw. die Aussparung der Klebelasche auswirken. Dazu wurden die Klebenahtfestigkeiten der Faltschachteln aus Klebmaschine 2 in den nachfolgenden Diagrammen gegenübergestellt (vgl. Abbildung 36 und Abbildung 37).

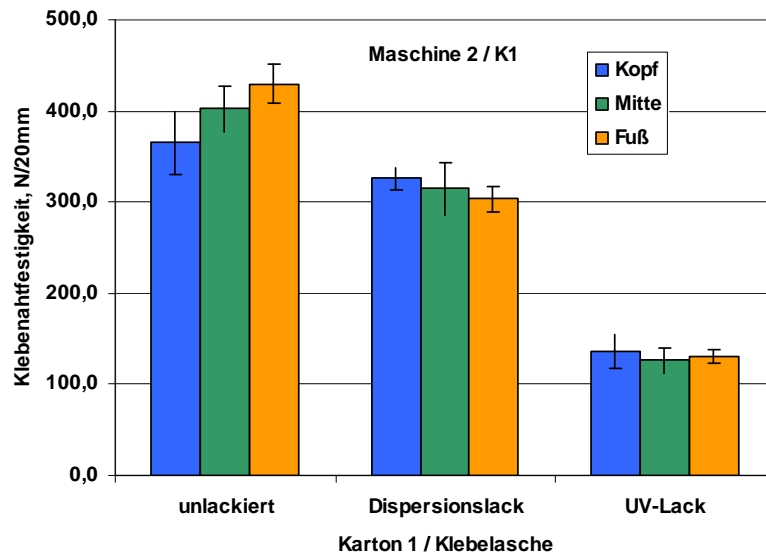


Abbildung 36: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten lackierten Faltschachteln aus Produktionsmaschine 2 mit Klebstoff K1. Vergleich von Kopf-, Mittel- und Fußbereich der Klebenaht.

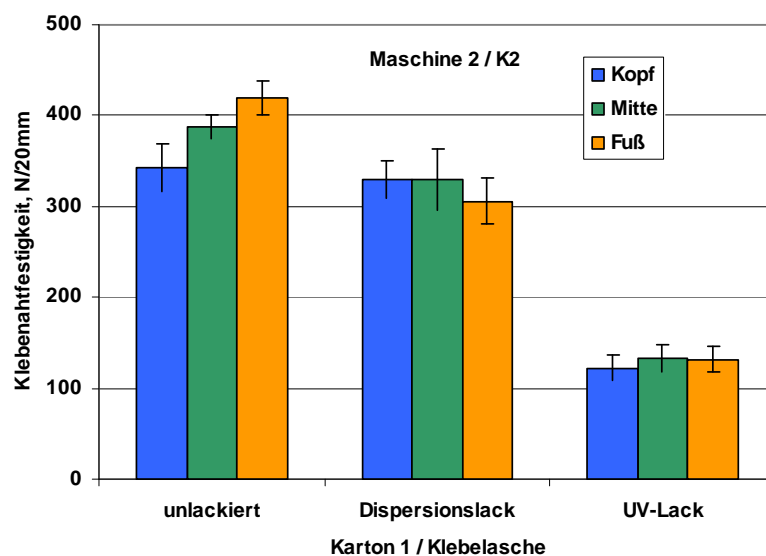


Abbildung 37: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten lackierten Faltschachteln aus Produktionsmaschine 2 mit Klebstoff K2.

## Vergleich von Kopf-, Mittel- und Fußbereich der Klebenaht.

Die Ergebnisse zeigen hier einen erheblichen Einfluss des verwendeten Lackart bzw. Lacksorte auf die Klebenahtfestigkeit der Faltschachteln. Es ist hierbei ein geringfügiger Festigkeitsverlust zwischen dem unlackierten Karton (ausgesparte Klebelasche) und der mit Dispersionslack lackierten Klebelasche, der allerdings signifikant erscheint. Eine deutliche Verminderung der Klebenahtfestigkeit ist bei den Faltschachteln mit UV-Lack festzustellen. Hier ist ganz offensichtlich die Lackierung ursächlich. Da bei dem UV-lackierten Kartonmustern eine deutlich niedrigere Oberflächenspannung der Lackoberfläche gemessen wurde - unlackierter Karton  $\approx 47\text{mN/m}$ , Dispersionslackierung:  $\approx 38\text{mN/m}$ , UV-Lackierung:  $\approx 25\text{mN/m}$  (vgl. Abschnitt 6) - dürfte die Ursache hierin liegen.

Der Vergleich der Klebenahtfestigkeiten in Abhängigkeit von der Faltschachtelklebemaschine zeigte hinsichtlich der Lackierung ein sehr eindeutiges Ergebnis. Während bei den Faltschachteln mit ausgesparten Klebelaschen und den mit Dispersionslack lackierten Klebelaschen bei den Maschinen 1 und 2 in etwa vergleichbare Festigkeiten ermittelt wurden, war die Festigkeit bei Maschine 3 signifikant niedriger (vgl. Abbildung 38). Die Untersuchung der Bruchzonen ergab, dass hier bei Maschine 3 durchweg wieder ein Kohäsionsbruch im Klebstoff erfolgt ist. Das Aussehen der Klebenahte war analog zu dem in Abbildung 32 gezeigten Beispiel. Es wird auch hier die gleiche Ursache des zu geringen Anpressdrucks in der Presstation bzw. die hohen Rückstellkräfte des Kartons vorliegen.

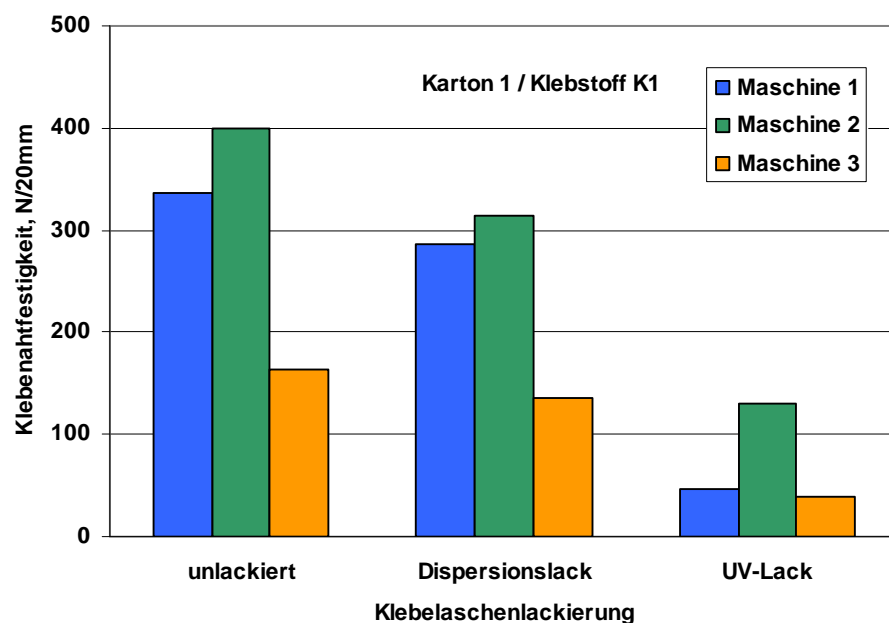


Abbildung 38: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten lackierten Faltschachteln von Karton 1, geklebt mit Klebstoff K1. Vergleich der drei Produktionsmaschinen.

Dagegen war bei den Maschinen 1 und 2 innerhalb der geprüften Klebenahte mit ausgesparten Klebelaschen kein einheitliches Bruchbild festzustellen. Es war teilweise Adhäsionsbruch an der Kartonvorderseite, aber auch Kohäsionsbruch in der Klebschicht, als auch Kohäsionsbruch in der Kartonrückseite festzustellen. Bei den Faltschachteln mit Dispersionslack lackierten Klebelaschen war das Bruchbild wieder einheitlich mit überwiegend Kohäsionsbruch im Karton, obwohl die Klebenahtfestigkeit etwas geringer war.

Die Klebenahtfestigkeiten der Faltschachteln mit UV-lackierten Klebelaschen war bei allen Maschinen durchweg erheblich niedriger und es war auch stets ein Adhäsionsbruch zwischen Klebschicht und UV-Lackierung festzustellen. Ursache ist - wie oben bereits beschrieben - die geringe Oberflächenspannung des Lackfilms ( $\approx 25 \text{ mN/m}$ ).

Deshalb wurden bei diesen Faltschachteln an den Produktionsmaschinen 1 und 3 die Klebelaschen mit den verfügbaren Einrichtungen die UV-lackierten Klebelaschen vorbehandelt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 39 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass obwohl in den Bruchzonen wiederum stets Adhäsionsbruch zwischen Klebstoffschicht und Lackoberfläche auftrat, doch eine deutliche Steigerung der Klebenahtfestigkeit erreicht werden konnte. Hierbei erwies sich die Plasmavorbehandlung bei Maschine 1 als reine Oberflächenbehandlung erheblich effektiver als die mechanische Aufrauung von Maschine 3.

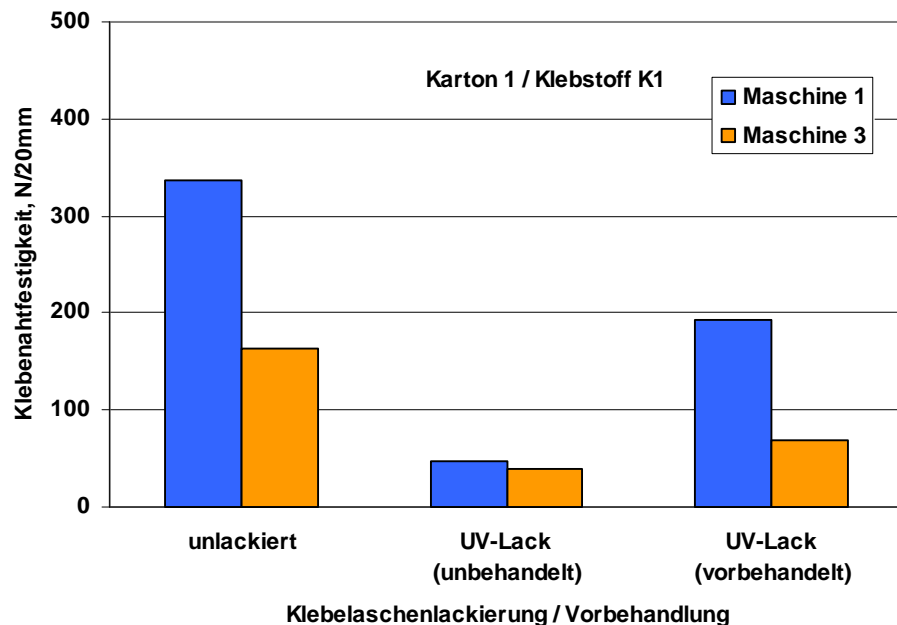


Abbildung 39: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten UV-lackierten Faltschachteln von Karton 1, geklebt mit Klebstoff K1. Vergleich eingesetzter Vorbehandlungen.



## 6.4 Einfluss von Lagerung und Alterung geklebter Faltschachteln

Lagerbedingungen Zur Feststellung der Abhängigkeit von Klebenahtfestigkeit und Lagerung bzw. Alterung wurden Lagerversuche mit den Faltschachteln unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

- Lagerung bei Raumklima; Lagerzeit 50 Tage (wird im Folgenden mit **gelagert** bezeichnet)
- Lagerung im Wärmeschrank bei 50°C; Lagerzeit 50 Tage (wird im Folgenden mit **gealtert** bezeichnet)

Nach Rückkonditionierung der gelagerten Faltschachteln auf Normklima - 23°C / 50% relative Luftfeuchtigkeit - wurden die Klebenahtfestigkeiten der gelagerten Faltschachteln erneut geprüft.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ermittelten Klebenahtfestigkeiten im Vergleich von gelagerten und gealterten zu nicht gealterten Faltschachteln zusammengestellt und diskutiert.

Vergleich der Lagerbedingungen

Beispielhaft werden in den folgenden Diagrammen (Abbildung 40 und Abbildung 41) die Klebenahtfestigkeiten von Faltschachteln gegenübergestellt die mit der Produktionsmaschine 1 hergestellt wurden.

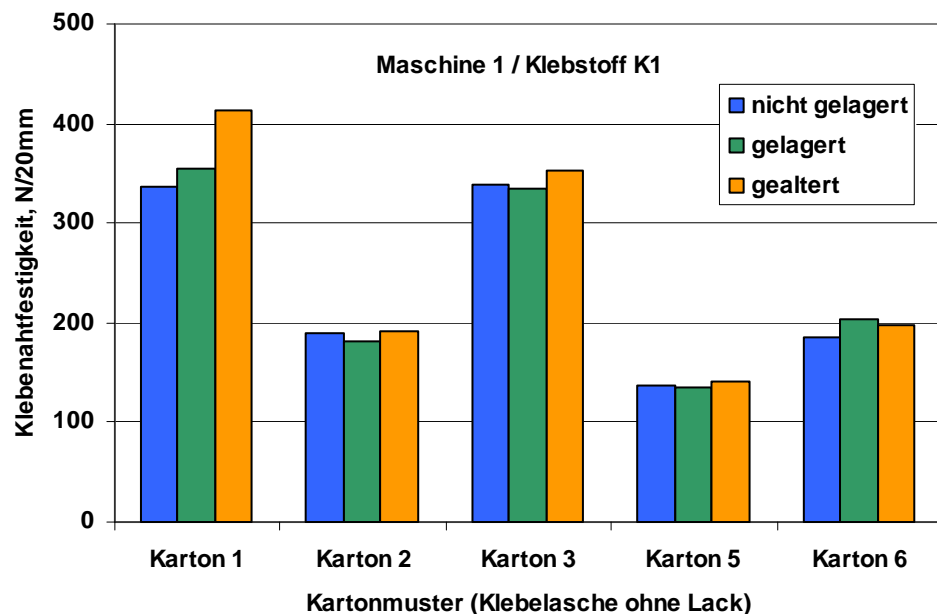


Abbildung 40: Klebenahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachteln aus Produktionsmaschine 1 mit Klebstoff K1.

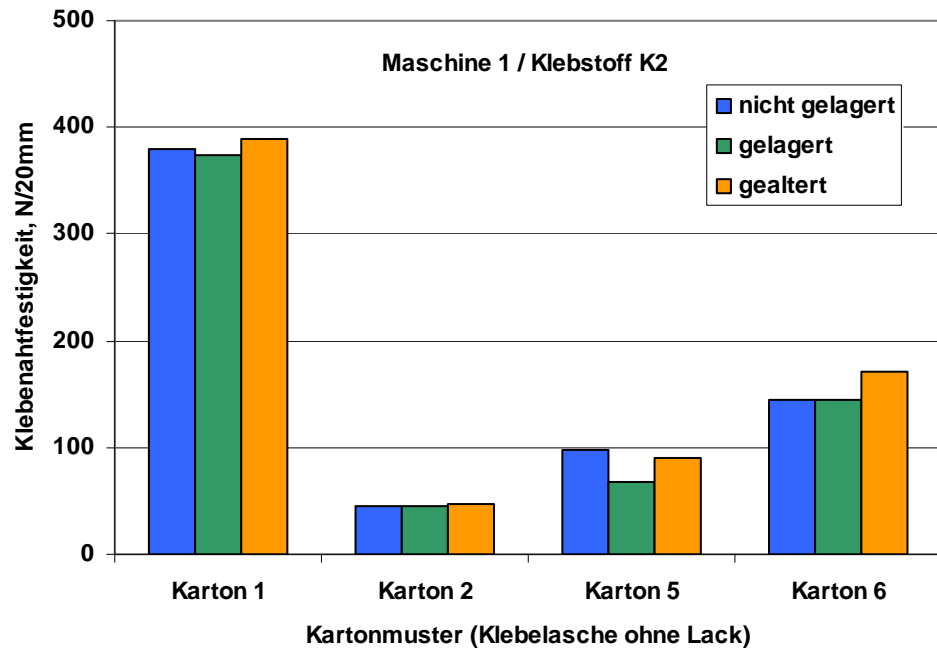


Abbildung 41: Klebnahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachteln aus Produktionsmaschine 1 mit Klebstoff K2.

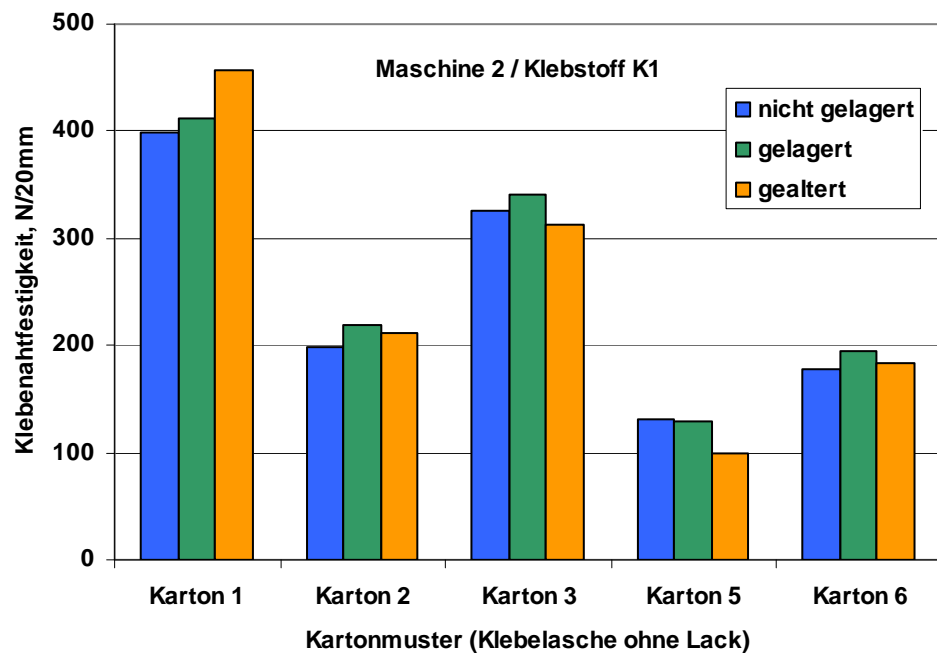


Abbildung 42: Klebnahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachteln aus Produktionsmaschine 2 mit Klebstoff K1.

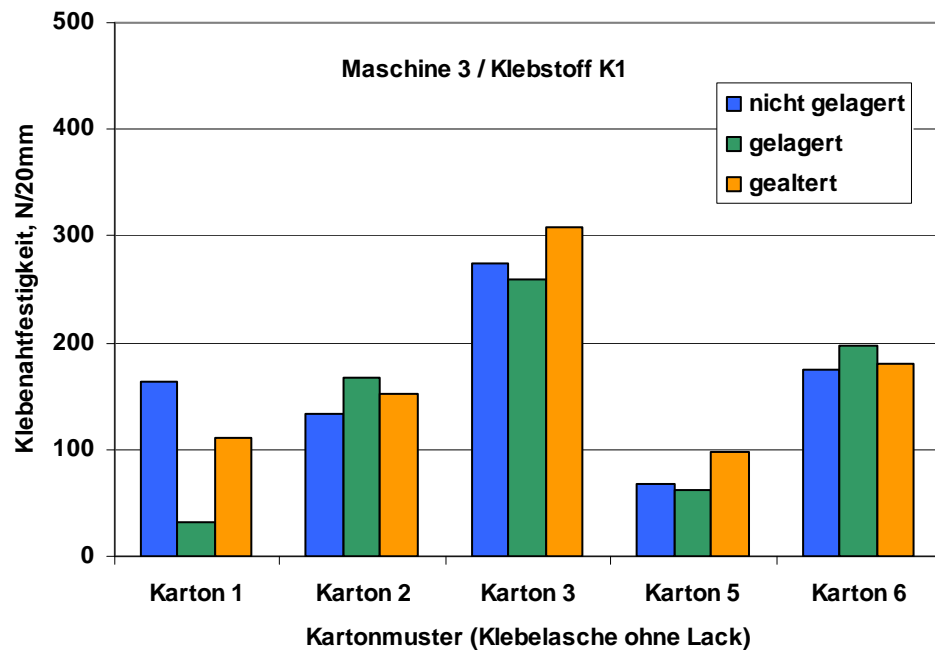


Abbildung 43: Klebnahtfestigkeiten von ausgewählten Faltschachteln aus Produktionsmaschine 3 mit Klebstoff K1.

Weiterhin zeigen Abbildung 42 und Abbildung 43 die Klebnahtfestigkeiten von nicht gelagerten, gelagerten und gealterten Faltschachteln, die mit den Produktionsmaschinen 2 und 3 hergestellt wurden. Auch hier sind die Ergebnisse der gelagerten und gealterten Faltschachteln durchweg mit den Klebnahtfestigkeiten der nicht gelagerten Faltschachteln übereinstimmend. Weitere Ergebnisse aus den Untersuchungen von Faltschachteln mit lackierten Klebelaschen sind im Anhang zum Abschlussbericht zusammengestellt.

## 6.5 Auswertung und Diskussion der Ergebnisse

### Einleitung

Die vorliegenden material- und verfahrensspezifischen Ergebnisse aus den Messungen der Klebnahtfestigkeiten wurden mit Hilfe von Korrelationsanalysen ausgewertet. Dabei sollte die Stärke der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Zielgröße (Klebnahtfestigkeit) ermittelt und quantifiziert werden. Als statistisches Hilfsmittel für die entsprechende Auswertung wurde die Faktorenanalyse gewählt.

Die erhaltenen Ergebnisse werden in Hinblick auf den Verklebungsprozess diskutiert und Schlussfolgerungen zur Optimierung gezogen.

### 6.5.1 Faktorenanalyse

#### Theorie der

Die Faktorenanalyse stellt die Weiterführung der doppelten Varianzanalyse mit

Faktorenanalyse      mehrfacher Zellenbelegung dar.

Die Varianzanalyse wird angewendet, wenn maximal zwei Einflussfaktoren untersucht werden sollen, wobei die Messwerte Zahlenwerte sein müssen, aber die Einflussgrößen auch attributive Messgrößen sein können. Die Faktorenanalyse versucht, aus einer Korrelationsmatrix mehrerer voneinander unabhängiger Variablen gemeinsame Nenner, sogenannte „Faktoren“, herauszufiltern, die einen Einfluss auf die Zielgröße haben können [25].

So entsteht zum Beispiel durch die vier Einflussfaktoren (Dimensionen) Kartonsorte, Klebstoff, Lagerung (Alterung) und Lackausparung eine vierdimensionale Matrix mit mehrfacher Zellenbesetzung. Es erfolgt die Untersuchung der Einflüsse jeder einzelnen Dimension mit ihren Merkmalsausprägungen auf den Messwert (hier Klebenahtfestigkeit), sowie die Wechselwirkungen der verschiedenen Dimensionen bezüglich der Zielgröße.

Über die Varianzverhältnisse werden die Werte der F-Verteilung („F er“) ermittelt, die mit entsprechenden Tabellenwerten verglichen werden. Diese Werte sind für Wahrscheinlichkeiten von 95% und 99% tabelliert. Ist der errechnete „F er“-Wert größer als der Tabellen-F-Wert, so wirkt sich der Einflussfaktor mit der entsprechenden statistischen Sicherheit (95% bzw. 99%) aus, d.h. die Messwertreihen unterscheiden sich signifikant (mit Signifikanzniveau 95% bzw. 99%) voneinander.

		Dimension 1 (2 Merkmalsausprägungen)					
		Dimension 2-1 (3 Merkmalsausprägungen)			Dimension 2-2 (3 Merkmalsausprägungen)		
Dimension 3 (2 Merkmalsausprägungen)	Dimension 4-1 (2 Merkmalsausprägungen)	Wert 1.1.1.1	Wert 1.2.1.1	Wert 1.3.1.1	Wert 2.1.1.1 ⇕	Wert 2.2.1.1 ⇕	Wert 2.3.1.1 ⇕
		Wert 1.1.1.2	Wert 1.2.1.2	Wert 1.3.1.2			
		Wert 1.1.1.3	Wert 1.2.1.3	⇕			
		Wert 1.1.1.4	⇕				
		Wert 1.1.1.5	⇕				
		⇕					
	Dimension 4-2 (2 Merkmalsausprägungen)	Wert 1.1.2.1	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕
		Wert 1.1.2.2					
		Wert 1.1.2.3					
		⇕					
	Dimension 4-2 (2 Merkmalsausprägungen)	Wert 1.2.1.1	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕
		Wert 1.2.1.2					
		⇕					
		Wert 1.2.2.1	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕
		⇕					

Abbildung 44: Schematische Korrelationsmatrix zur Faktorenanalyse [25]. Die Anzahl der Merkmalsausprägungen je Dimension kann bei der eingesetzten Software von 1 bis 4 variieren

Eine Faktorenanalyse nach gezeigtem Schema kann nur durchgeführt werden,

wenn die erforderliche Korrelationsmatrix vollständig ausgefüllt werden kann.

Die Berechnung der „Faktorenanalyse“ erfolgte mit Hilfe einer kleinen Hilfssoftware, wobei die Ergebnisse wie folgt interpretiert werden können (vgl. Abbildung 45):

- bei Sicherheit < 95% erscheint „—“, d.h. kein nachweisbarer Einfluss
- bei Sicherheit > 95% erscheint „\*“, d.h. wesentlicher Einfluss
- bei Sicherheit > 99% erscheint „\*\*“, d.h. sehr wesentlicher Einfluss

Weiterhin wird zur Information über die statistische Sicherheit noch der errechnete F-Wert angegeben sowie der Tabellenwert der F-Verteilung mit der nächst höheren Sicherheit:

- bei Sicherheit < 95% der Tabellenwert für 95%-ige Sicherheit
- bei Sicherheit > 95% sowie > 99% der Wert für 99%-ige Sicherheit

```

A:\analyse.com
Die 1. Dimension hat die Bezeichnung: Karton
Die 2. Dimension hat die Bezeichnung: Klebstoff
Die 3. Dimension hat die Bezeichnung: Lagerung
Die 4. Dimension hat die Bezeichnung: Lackaussparung

gesamt      F er =    62.54  fg1 = 47  fg2 = 96  Bewertung: **  1.38
zw Dim1     F er =   855.45  fg1 =  3  fg2 = 96  Bewertung: **  3.95
zw Dim2     F er =    72.67  fg1 =  1  fg2 = 96  Bewertung: **  6.85
zw Dim3     F er =     5.21  fg1 =  2  fg2 = 96  Bewertung: **  4.79
zw Dim4     F er =     0.03  fg1 =  1  fg2 = 96  Bewertung: —   3.92
We 1/2      F er =    48.56  fg1 =  3  fg2 = 96  Bewertung: **  3.95
We 1/3      F er =     2.39  fg1 =  6  fg2 = 96  Bewertung: *   2.96
We 1/4      F er =    17.10  fg1 =  3  fg2 = 96  Bewertung: **  3.95
We 2/3      F er =     1.42  fg1 =  2  fg2 = 96  Bewertung: —   3.07
We 2/4      F er =    37.87  fg1 =  1  fg2 = 96  Bewertung: **  6.85
We 3/4      F er =     3.19  fg1 =  2  fg2 = 96  Bewertung: *   4.79
We 1/2/3    F er =     1.78  fg1 =  6  fg2 = 96  Bewertung: —   2.18
We 1/2/4    F er =     3.19  fg1 =  3  fg2 = 96  Bewertung: *   3.95
We 1/3/4    F er =     0.67  fg1 =  6  fg2 = 96  Bewertung: —   2.18
We 2/3/4    F er =     1.07  fg1 =  2  fg2 = 96  Bewertung: —   3.07
We 1/2/3/4  F er =     0.83  fg1 =  6  fg2 = 96  Bewertung: —   2.18

Bitte <W> und <ENTER> für "WEITER" drücken! Vorsicht!! Ergebnis ist dann weg!

```

Abbildung 45: Beispielhafte Ergebnisdarstellung der Software zur Berechnung der Faktorenanalyse

#### Einflussfaktoren

Als Einflussfaktoren wurden aus den durchgeführten Untersuchungen wie folgt identifiziert:

- Kartonsorte: hierbei wurden die unterschiedlichen Kartonsorten GZ, GC1, GD2, aber auch die veredelten (folienkaschierten) Kartons betrachtet; (maximal 8 Merkmalsausprägungen)
- Klebmaschine: hier wurde die Produktionsmaschine als Gesamteinheit betrachtet ohne individuelle Maschineneinstellungen zu berücksichtigen; (3 Merkmalsausprägungen)
- Klebstoff: hier wurden die beiden eingesetzten Dispersionsklebstoffe unterschieden; (2 Merkmalsausprägungen)
- Lackaussparung: hier wurde unterschieden, ob die Klebelasche lackiert oder unlackiert war; (2 Merkmalsausprägungen)
- Abbindezeit: hierbei wurde die Wartezeit zwischen dem Kleben der

---

Faltschachteln und der Klebnahtprüfung betrachtet; (3 Merkmalsausprägungen)

- Lagerung: hier war der Einfluss der Lagerbedingungen (bzw. beschleunigte Alterung) untersucht worden; (3 Merkmalsausprägungen)
- Nahtbereich: hier wurde untersucht, welcher Einfluss die Probennahme vom Kopf-, Mitten- bzw. Fußbereich der Längsklebnaht hat; (3 Merkmalsausprägungen)
- Vorbehandlung: hierbei wurde ermittelt, welchen Einfluss eine Vorbehandlung der Klebelasche bei veredelten (folienkaschierten) Faltschachtelkartons hat; (2 Merkmalsausprägungen).

Hinsichtlich der relevanten Kartoneigenschaften (vgl. 6) wurden folgende Einflussfaktoren untersucht:

- Abbindeverhalten des Kartons: wurde charakterisiert durch die Verfestigungsgeschwindigkeit der Klebnaht in den Laborverklebungen (3 Merkmalsausprägungen; Verfestigungsgeschwindigkeit hoch, mittel und niedrig)
- Wasserabsorptionsverhalten der Kartonrückseite ( $Cobb_{60}$ ): die  $Cobb_{60}$ -Werte der Kartonrückseiten wurden in drei Klassen - hoch, mittel und niedrig - eingeteilt (3 Merkmalsausprägungen)
- Rauheit der Kartonrückseite: die Rauheit der Kartonrückseite wurde mit dem Verfahren nach Bendtsen in ml/min in drei Kategorien unterteilt (3 Merkmalsausprägungen)
- Oberflächenspannung der unlackierten Kartonvorderseite: sie wurde mit Hilfe der Randwinkelmethode ermittelt und in drei Klassen - hoch, mittel und niedrig - aufgeteilt (3 Merkmalsausprägungen)
- Kartonestigkeit: da häufig in den Ergebnissen der Klebnahtfestigkeiten Kohäsionsbruch im Karton festzustellen war, wurde auch die Kartonestigkeit - ermittelt als Spaltwiderstand nach dem Scott-Bond-Verfahren - als Einflussgröße untersucht (3 Merkmalsausprägungen).

Für die Ermittlung der Einflussstärke der Kartoneigenschaften wurde die Matrix mit folgenden Dimensionen aufgestellt:

- Dimension 1: Kartoneigenschaft (variabel)
  - Dimension 2: Klebemaschine
  - Dimension 3: Karton (Sorte)
  - Dimension 4: Nahtbereich
-

Ergebnisse der  
Faktorenanalyse

In den nachfolgenden Tabellen Tabelle 10 und Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Faktorenanalyse tabellarisch dargestellt, wobei die Einflussfaktoren gemäß ihrer Einflussstärke aufgelistet wurden.

Tabelle 10: Ergebnisse aus der Faktorenanalyse (1)

<b>Einflussfaktor (Dimension)</b>	<b>Wert der F- Verteilung</b>	<b>F-Tabellen- Wert</b>	<b>Bewertung der Einflussstärke</b>
Karton (Sorte)	F <sub>er</sub> = 508	4,11	„* *“
Klebemaschine	F <sub>er</sub> = 211	4,60	„* *“
Vorbehandlung	F <sub>er</sub> = 445	6,64	„* *“
Klebstoff	F <sub>er</sub> = 62,8	6,70	„* *“
Abbindezeit	F <sub>er</sub> = 30,2	4,60	„* *“
Lackaussparung	F <sub>er</sub> = 15,4	6,20	„* *“
Lagerung	F <sub>er</sub> = 6,2	4,7	„*“
Nahtbereich	F <sub>er</sub> = 2,1	3,0	„—“

Die Ergebnisse zeigen, dass fast alle überprüften Einflussfaktoren einen sehr wesentlichen Einfluss auf die Zielgröße, der Klebenahtfestigkeit, haben. Lediglich die Dimension „Nahtbereich“, also aus welchem Bereich der Längsklebenaht die geprüfte Probe entnommen wurde, zeigt keinen nachweisbaren Einfluss. Auch die Lagerung der Proben über einen längeren Zeitraum (Alterung) weist eine geringere Einflussstärke auf.

Bei den Einflussfaktoren, die mit einem sehr wesentlichen Einfluss bewertet werden, kann aber auch nach dem „F<sub>er</sub>“-Wert eine gewisse Rangfolge abgeleitet werden. Demnach zeigen sowohl die Kartonsorte als auch die Klebemaschinen einen sehr starken Einfluss auf die Klebenahtfestigkeit. Bei den veredelten Kartonsorten, wie folienkaschierte und UV-lackierte Varianten, zeigt auch die Vorbehandlung der Klebelaschen einen erheblichen Einfluss. Auch der eingesetzte Klebstoff hat noch einen sehr wesentlichen Einfluss, wobei jedoch der „F<sub>er</sub>“-Wert bereits erheblich kleiner ist. Hier sind in erster Linie die elastischen Eigenschaften (E-Modul) der Kleberschicht ausschlaggebend. Die Dimensionen „Lackaussparung“ und „Abbindezeit“ sind zwar noch mit sehr wesentlichen Einfluss bewertet, wobei aber auch hier der „F<sub>er</sub>“-Wert deutlich niedriger liegt als z.B. bei den Dimensionen „Karton“ und „Maschine“. Dadurch ist auch die Einflussstärke entsprechend geringer einzustufen.

Ergebnisse der  
Faktorenanalyse  
(Forts.)

Tabelle 11: Ergebnisse aus der Faktorenanalyse (2)

Einflussfaktor (Dimension)	Wert der F- Verteilung	F-Tabellen- Wert	Bewertung der Einflussstärke
Abbindeverhalten	F <sub>er</sub> = 19,6	4,60	„* *“
Wasserabsorption RS	F <sub>er</sub> = 228	4,60	„* *“
Rauheit RS	F <sub>er</sub> = 124	4,60	„* *“
Oberflächenspannung VS	F <sub>er</sub> = 71,8	4,60	„* *“
Kartonfestigkeit	F <sub>er</sub> = 11,5	4,60	„* *“

Außerdem stellten sich auch wieder die Kartonsorte und die Klebemaschine als starke Einflussgrößen heraus. Keinen Einfluss hatte nach den Berechnungen der Faktorenanalyse erneut der Faktor „Nahtbereich“.

Nach den Ergebnissen der Faktorenanalyse wäre der Faktor „Wasserabsorptionsvermögen“ (Cobb<sub>60</sub>-Wert) als starker Einfluss zu sehen, was jedoch bei näherer Betrachtung der Zusammenhänge als nicht nachvollziehbar erscheint. Die grafische Darstellung der Eingangswerte für die Faktorenanalyse (vgl. Abbildung 46) zeigt zwar den Trend, dass bei höherem Wasseraufnahmevermögen (Cobb<sub>60</sub>-Wert hoch) die Klebenahtfestigkeit der Faltschachtel kleiner wird.

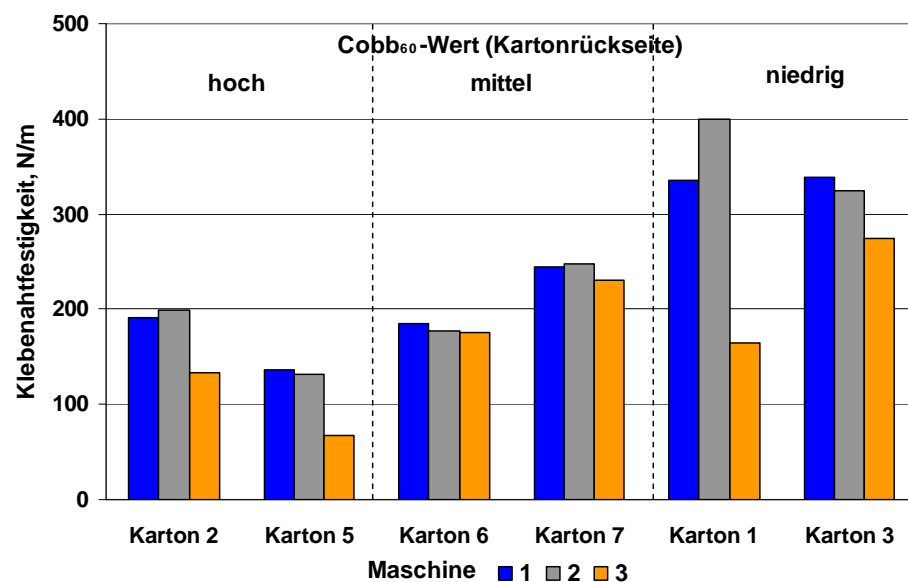


Abbildung 46: Grafische Darstellung der Eingangsdaten zur Berechnung der Faktorenanalyse, Kartoneigenschaft „Wasserabsorptionsvermögen“



Ergebnisse der  
Faktorenanalyse  
(Forts.)

Offenbar wird hier die Dimension „Kartoneigenschaft“ aber durch die Dimension „Kartonsorte“ beeinflusst und definiert. Es ist zu erkennen, dass die Kartons mit hohem Cobb-Wert GD2-Kartons sind, die mit mittlerem Cobb-Wert GC2-Kartons sind und jene mit niedrigem Cobb-Wert sind GZ-Kartonsorten. Es ist anzunehmen, dass hierin doch die stärkere Einflussgröße zu sehen ist als in der Dimension „Kartoneigenschaft: Wasserabsorptionsvermögen“. Ähnliches zeigt sich auch bei den anderen mit Hilfe der Faktorenanalyse untersuchten Kartoneigenschaften. Direkte Trends bzw. Zusammenhänge zwischen Kartoneigenschaft und der Zielgröße „Klebenahtfestigkeit“ konnten nicht festgestellt werden.

### 6.5.2 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Einfluss des Kartons  
bzw.  
Kartonveredelung

Wie sich in den Ergebnissen der Klebenahtfestigkeiten gezeigt hatte, war bei vielen Faltschachtelvariationen während der Prüfung der Klebenahtfestigkeit Kohäsionsbruch im Karton festzustellen. Dabei wurde auch noch berücksichtigt, ob die Bruchzone in der Kartenvorder- oder in der Kartorrückseite lag. Aber in beiden Fällen hat die Kartonfestigkeit bzw. die Kartoneinreißfestigkeit hierbei einen erheblichen Einfluss. Daraus resultiert, dass bei der Einflussgrößenrechnung mit der Faktorenanalyse der Karton bzw. die Kartonsorte als maßgebliche Einflussgröße identifiziert wurde.

Dabei spielt sicher auch die Kartonveredelung, also die Folienkaschierung, aber auch die Lackierung eine wichtige Rolle. Dieser Einflussfaktor hat nicht in erster Linie für die tatsächliche Klebenahtfestigkeit bei der Endfestigkeit Auswirkungen, sondern vielmehr auf die Entwässerung und dadurch das Abbindeverhalten des Dispersionsklebstoffs. Es wurde festgestellt, dass bei den folienkaschierten Kartons das Abbinden des Klebstoffs verzögert wird. Dadurch ist es möglich, dass die frisch geklebte Längsnaht bei noch viskoser Klebstoffschicht durch die Rückstellkräfte wieder aufgezo- gen wird, sobald der Pressdruck ausgesetzt bzw. verringert wird. In Folge bindet die Klebschicht in diesem Stadium weiter ab, wobei danach bei erneutem Einsetzen der Pressung der Klebstoff bereits so weit verfestigt ist, dass dann die offene Wartezeit eventuell überschritten ist und keine ausreichende Verklebung mehr erfolgen kann. Eine derartig gestörte Klebschicht liefert letztendlich auch eine verminderte Klebenahtfestigkeit. Das Bruchbild stellt sich im Wesentlichen als Kohäsionsbruch in der Klebschicht dar.

Einfluss der  
Klebemaschine bzw.  
der  
Maschineneinstellung

Ein analoges Bruchbild wird sich ebenfalls ergeben, wenn die Maschineneinstellungen nicht dahingehend optimiert worden sind, dass der Pressdruck konstant während der gesamten Abbindephase des Klebstoffs aufrecht erhalten wird. Auch dann kann die beschriebene Störung der Klebschicht entstehen und eine Verringerung der Klebenahtfestigkeit zur Folge haben. Hierbei ist das Zusammenspiel zwischen aufgetragener Klebstoffmenge, Abbindeverhalten des Klebstoffs auf dem Karton, Anpressdruck in der Pressstation und der Maschinengeschwindigkeit wichtig.

Die Optimierung dieser Einstellparameter an der Klebemaschine hat

---

wesentlichen Einfluss auf das Klebeergebnis der Faltschachtel. Diese Einflussgröße hat sich auch ganz deutlich aus den Ergebnissen der Untersuchungen herausgestellt und wurde auch in der Einflussgrößenrechnung entsprechend als Einflussfaktor identifiziert.

---

Einfluss der  
Klebenahtvorbehandlung

Die Vorbehandlung der Klebenaht bei den folienkaschierten und UV-lackierten Faltschachtelvarianten wird durch die Einflussgrößenrechnung als sehr wesentlicher Einflussfaktor angegeben. Dabei ist aber durchaus zu berücksichtigen, dass in den verwendeten Klebemaschinen ganz unterschiedliche Vorbehandlungsmethoden zum Einsatz gekommen sind. Auch ist der Einflussfaktor „Klebmaschine“ mit zu berücksichtigen. Werden die Ergebnisse der verschiedenen Klebemaschinen einzeln betrachtet, ist der Einflussfaktor „Vorbehandlung“, zumindest bei den folienkaschierten Kartonvarianten, nicht mehr klar und eindeutig herausgestellt.

Einen eindeutig positiven Effekt zeigen die Vorbehandlungen bei der UV-Lackierung, deren Lackoberfläche eine vergleichsweise geringe Oberflächenenergie - mit ca. 21 mN/m - aufweist. Durch die Vorbehandlung der Klebelasche wird der oberflächenenergetische Zustand der Lackoberfläche wesentlich erhöht und für die Verklebung geeignet gemacht.

Bei den folienkaschierten Kartonvarianten sind die Oberflächenspannungen der Folienoberflächen - mit > 35 mN/m - bereits für die Verklebung ausreichend geeignet. Eine weitere Vorbehandlung der Klebelasche konnte somit keine weitere Verbesserung erreichen.

Einfluss des  
Klebstoffs

Der Einflussfaktor „Klebstoff“ zeigte sich nach der Einflussgrößenrechnung auch als sehr wesentlich, wobei jedoch die Gewichtung durch den „F<sub>er</sub>“-Wert niedriger liegt als die vorher beschriebenen Einflussgrößen. In den Ergebnissen der Klebenahtprüfungen hat sich gezeigt, dass Klebstoff K2 meist etwas geringere Festigkeitswerte hatte, obwohl meistens wie bei Klebstoff K1 Kohäsionsbruch im Karton eingetreten war.

Ein ganz erheblicher Unterschied zeigte sich bei dem unlackierten Karton 2, wo mit Klebstoff K1 Kohäsionsbruch in der Kartorrückseite festgestellt wurde, hingegen mit dem Klebstoff K2 die Bruchzone in der Kartenvorderseite lag. Offensichtlich war hier eine Wechselwirkung zwischen den elastischen Klebstoffeigenschaften und den Festigkeitseigenschaften der Kartonseiten wirksam geworden. Eine Bestätigung hierfür ist, dass bei den lackierten Varianten von Karton 2 dieses Verhalten nicht mehr festgestellt wurde.

Diese Beobachtungen werden auch weitgehend von der Theorie des Verhaltens von elastischen Klebschichten [22] gestützt. Der E-Modul des Klebstoffs kann das Bruchverhalten (Lage der Bruchzone) im Karton mitbestimmen und die Festigkeitswerte beeinflussen.

Einfluss der  
Abbindezeit

Bereits kurz nach dem Verklebungsprozess der Faltschachteln (etwa nach 15 min) hat die Klebenahtfestigkeit weitgehend die Endfestigkeit erreicht. Eine Festigkeitssteigerung, die bei Klebstoff 1 danach noch festgestellt werden

---

---

konnte, war nur noch marginal. Bemerkenswert war aber bei Klebstoff 2, dass bei manchen Kartonsorten in der Endfestigkeit ein leichter Rückgang der Klebenahtfestigkeit zu erkennen war. Ganz augenscheinlich war dies bei Karton 2. Vermutlich kann diese Erscheinung auf den höheren E-Modul des Klebstoffs 2 zurückgeführt werden. Der E-Modul nimmt, wie bereits beschrieben, Einfluss auf das Bruchverhalten und somit auch auf die messbare Klebenahtfestigkeit. Nachdem aber das E-Modul auch mit dem Feuchtigkeitsgehalt in der Kleberschicht zusammenhängt, wird sich dieser mit fortschreitender Trocknung des Klebstoffs auch verändern (erhöhen), so dass die Auswirkungen durch den höheren E-Modul erst bei einer vollständig getrockneten Klebschicht zu erkennen sind.

Aus diesem Grund wird vermutlich auch die Abbindezeit durch die Einflussgrößenrechnung als „sehr wesentlicher“ Einflussfaktor ausgegeben. Dies wird jedoch durch den relativ kleinen „F<sub>er</sub>“-Wert - Stärke des Einflusses - einigermaßen relativiert.

---

Einfluss der  
Lackaussparung an  
der Klebelasche

Der Einfluss der Lackaussparung an den Klebelaschen wurde durch die Einflussgrößenrechnung ebenfalls als „sehr wesentlicher“ Einflussfaktor identifiziert, wobei auch hier - wie bei der Abbindezeit - der „F<sub>er</sub>“-Wert relativ klein war.

Ein deutlicher Einfluss ist bei den Klebenahtfestigkeiten zu erkennen, wenn die Veredelung mit UV-Lack erfolgt war. Hier zeigt die nicht lackierte Klebelasche erheblich höhere Klebenahtfestigkeiten als die lackierte Klebelasche, was auf die geringere Oberflächenspannung des Lackfilms zurückzuführen ist. Bei der Lackierung mit Dispersionslack war der Unterschied in der Klebenahtfestigkeit zwischen lackierter und ausgesparter Klebelasche nicht so stark ausgeprägt. Mit lackierter Klebelasche waren die Festigkeiten zwar auch etwas geringer als bei den ausgesparten, aber es ist bei den Festigkeitsprüfungen stets Kohäsionsbruch im Karton eingetreten. Die Unterschiede in den Festigkeiten könnten somit auch in diesem Fall auf die unterschiedlichen elastischen Eigenschaften der Kartonoberflächen - mit Lack und ohne Lack - zurückzuführen sein.

---

Einfluss der  
Lagerung

Ein Einfluss der Lagerung bzw. der beschleunigten Alterung der geklebten Faltschachteln war aus den Ergebnissen der Klebenahtfestigkeitsprüfung nicht zu erkennen, obwohl die Einflussgrößenrechnung hier einen scheinbaren Einflussfaktor angibt. Offenbar findet hier eine Überlagerung eines weiteren Einflussfaktors, z.B. Klebemaschine oder Karton, bei der Berechnung mit der Faktorenanalyse statt.

---

Einfluss des  
Klebenahnbereichs

Der Einflussfaktor „Klebenahnbereich“, also ob die geprüfte Probe aus dem Kopf-, Mitten- oder Fußbereich der Klebelasche entnommen wurde, wird durch die Einflussgrößenrechnung als nicht signifikant angegeben. Dies wird durch die Beobachtungen der Klebenahtfestigkeiten bestätigt. Daraus lässt sich somit die Schlussfolgerung ziehen, dass der Codierungseindruck in der Klebelasche keinen signifikanten Einfluss auf die Klebenahtfestigkeit hat.

---

---

Einfluss von Kartoneigenschaften

Die verschiedenen untersuchten Kartoneigenschaften sind zwar in den Ergebnissen der Faktorenanalysen fast durchweg als „sehr wesentlich“ bewertet worden, aber es hat sich auch gezeigt das auch hier eine Überlagerung der der Einflussgröße „Kartoneigenschaft“ durch die Einflussgröße „Kartonsorte“ stattgefunden hat. Es konnte keine wirklichen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Kartoneigenschaften und den Klebenahtfestigkeiten der Faltschachteln herausgestellt werden, obwohl natürlich die Verklebbarkeit der Kartonoberfläche durch das Wasserabsorptionsvermögen der Klebeflächen, die Oberflächenspannung des Strichs und der Rauheit der Klebeflächen, aber sicherlich auch durch die Festigkeitseigenschaften des Kartons definiert werden. Dabei werden in aller Regel auch Wechselwirkungen der einzelnen Kartoneigenschaften auf die Klebenahtfestigkeiten der Faltschachteln ausschlaggebend sein.

---

### 6.5.3 Erarbeitung eines Verbesserungskonzeptes

---

Kartoneigenschaften

Bei den Kartoneigenschaften haben sich das Abbindeverhalten, also die Entwässerungsgeschwindigkeit des Klebstoffs in der Klebenaht, sowie die Verklebbarkeit der Kartonoberfläche, gekennzeichnet durch die Oberflächenspannung, als Einflussgrößen herauskristallisiert. Weiterhin ist natürlich auch die Kartonestigkeit eine wichtige Einflussgröße für die Klebenahtfestigkeit. Bei einer optimalen Verklebung in der Klebelasche wird deren Festigkeit durch die Materialfestigkeit (Kohäsionsbruch im Karton) definiert.

Andere Kartoneigenschaften wie z.B. Oberflächenrauheit bzw. Glätte konnten nicht als direkte Einflussgrößen auf die Klebenahtfestigkeit ermittelt werden.

In aller Regel lassen sich die relevanten Eigenschaften durch den Faltschachtelhersteller kaum beeinflussen. Lediglich die Möglichkeit der Vorbehandlung in der Klebefläche durch Corona-, Plasma- oder mechanische Vorbehandlung stehen hier zur Verfügung. Die Adhäsion des Klebstoffs auf der Oberfläche muss durch eine entsprechend hohe Oberflächenspannung der Kartonoberfläche sichergestellt sein. Zu geringe Oberflächenspannungen führen in den meisten Fällen zu einem Abschälen bzw. Abplatzen der Klebschicht von der Klebefläche und zu einer Verminderten Klebenahtfestigkeit.

Das Entwässerungsverhalten des Kartons wird bereits in der Herstellung bzw. danach bei der Kartonveredelung durch Streichen, Lackieren oder Folienkaschierung bestimmt. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, ist es für eine optimale Verklebung der Klebelasche unbedingt notwendig, dass die Klebeschicht bereits in der Faltschachtelklebemaschine soweit verfestigen kann, dass die Rückstellkräfte die Klebenaht nach dem Verlassen der Presszone nicht mehr aufziehen und damit schwächen können. Dies ist nur dann ausreichend gewährleistet, wenn zumindest eine Kartonseite eine ausreichende Penetrationsfähigkeit aufweist, so dass die Klebeschicht entsprechend schnell verfestigen kann.

---

---

Klebstoff-  
eigenschaften

Klebstoffeigenschaften wie Feststoffgehalt und Viskosität (rheologische Eigenschaften) sind - wie sich aus den Ergebnissen gezeigt hatte - weit mehr für die Verarbeitung der Klebstoffe wichtig als für die Klebeeigenschaften. Hierfür ist vielmehr die Oberflächenspannung des Klebstoffs, insbesondere der trockenen Klebeschicht, aber auch die elastischen Eigenschaften der Klebeschicht, gekennzeichnet durch deren E-Modul, entscheidend.

Die Optimierung des Klebstoffs hinsichtlich seiner verarbeitungstechnischen sowie der klebetechnischen Eigenschaften liegt in erster Linie beim Klebstoffhersteller. Die verarbeitungstechnischen Anforderungen an einen Klebstoff werden durch die Randbedingungen und die Maschinenparameter der Klebemaschine vorgegeben.

Die klebetechnischen Eigenschaften zur Ausbildung von Adhäsion gegenüber der Klebefläche und für die Kohäsion der Klebschicht sind bei den heute üblichen Dispersionsklebstoffen bereits weitestgehend optimiert. Für den richtigen Einsatz der verfügbaren Klebstoffe, abhängig von der eingesetzten Klebemaschine und den zu verklebenden Materialien, ist eine entsprechende Abstimmung zwischen dem Faltschachtelhersteller und dem Klebstoffhersteller unabdingbar. Der preisliche Anteil des Klebstoffs an den Herstellkosten einer Faltschachtel ist in einem vernachlässigbaren Rahmen und sollte nicht das primäre Auswahlkriterium für den Klebstoff sein. Eine Reklamation, die durch den Einsatz eines etwas teureren Klebstoffs vermieden werden kann, wiegt in der Regel den Mehrpreis für den Klebstoff weitestgehend wieder auf.

---

Faltschachtelkleb-  
maschine

In der optimierten Einstellung der Faltschachtelklebemaschine liegt - wie die Untersuchungsergebnisse gezeigt haben - im Wesentlichen das größte Potential, auf das der Faltschachtelhersteller zurückgreifen kann. Die Anpassung der Maschinengeschwindigkeit (Verweilzeit der Faltschachtel in der Presszone), des Anpressdrucks und der Klebstoffauftragsmenge auf das Abbindeverhalten des Klebstoffs und des Faltschachtelkartons bietet die effektivste Stellschraube für ein optimales Klebeergebnis.

Die Ergebnisse der Maschinenversuche haben eindeutig gezeigt, dass die häufigste Ursache für eine verringerte Klebenahtfestigkeit eine Störung in der Klebeschicht war, die durch ein vorzeitiges Aufziehen des Klebstofffilms durch die Rückstellkräfte war. Für eine optimale Klebenahtfestigkeit muss gewährleistet sein, dass der Klebstofffilm ausreichend verfestigt ist, bevor die Belastung auf die Klebung wieder einwirkt. Deshalb ist dafür Sorge zu tragen, dass die Rückstellkräfte, die nach der Klebung auf die Naht einwirken können, möglichst gering ausfallen, was in erster Linie durch entsprechend optimierte Rillungen, aber auch durch ausreichend hohe Pressung in der Faltschachtelklebemaschine erreicht werden kann.

---

## 7 Abschließende Bewertung und Zusammenfassung der Ergebnisse

Einleitung

Zusammenfassend lässt sich eine Vorgehensweise beschreiben, mit der die

---

Spezifizierung einer optimalen Verklebung von Faltschachteln auf Faltschachtelklebemaschinen möglich ist. Diese Vorgehensweise gliedert sich in:

- Herstellung veredelter Kartonmuster und Faltschachtelnutzen
- Laborprüfung von materialspezifischen Einflussgrößen
- Herstellung von geklebten Faltschachteln
- Prüfung der Klebenahtfestigkeiten
- Optimierungsvorschläge

Herstellung  
veredelter  
Kartonmuster und  
Faltschachtelnutzen

Die Herstellung veredelter Kartonmuster und Faltschachtelnutzen gliedert sich in folgende Schritte:

1. Auswahl der Muster
  - Festlegung des Schachteltyps; Beschaffung entsprechender Stanzformen
  - Festlegung des zu verwendenden Mustermaterials (Faltschachtelkarton, Veredelungsvarianten)
2. Herstellung veredelter Kartonmuster
  - Lackieren von Faltschachtelkarton mit Dispersions- und UV-Lacken, wobei einmal die Klebelasche vom Lack ausgespart wurde und zum anderen vollflächig lackiert wurde
  - Folienkaschieren von Faltschachtelkarton mit unterschiedlichen Kaschierfolien
  - Stanzen und Rillen von Faltschachtelnutzen

Laborprüfung von  
materialspezifischen  
Einflussgrößen

1. Prüfmethode zur Ermittlung relevanter Kartoneigenschaften
  - Oberflächenspannung der Kartonvorder- und -rückseiten (Randwinkelmethode nach PTS-PP 103/85)
  - Zeitliches Wasseraufnahmevermögen (Cobb-Werte, Penetrationsdynamik mittels Ultraschall)
  - Rauheit der Kartonrückseiten nach Bendtsen (ergänzende bildanalytische Bestimmung des Rauheitsprofils)
  - Abbindegeschwindigkeit von Dispersionsklebstoffen in Abhängigkeit von den Kartonvarianten aus Vorder- und Rückseiten (Schälstabmethode nach PTS-PP 102/84)
2. Prüfmethode zur Ermittlung relevanter Klebstoffeigenschaften
  - Oberflächenspannung (tensiometrisch nach der Ringmethode)
  - Feststoffgehalt der Klebstoffe (nach dem Wärmeschränkverfahren bei 105°C)

---

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Viskosität und Fließverhalten (mit Rotationsviskosimeter)</li><li>• Charakterisierung der viskoelastischen Eigenschaften der Klebschicht durch Ermittlung des E-Moduls an freien Klebstofffilmen</li></ul>
Herstellung von geklebten Faltschachteln	<p>Die Herstellung der Faltschachteln erfolgte ausschließlich an Faltschachtelklebemaschinen unter praxisrelevanten Bedingungen bei den Industriepartnern. Damit der mögliche Einfluss der Faltschachtelklebemaschine ermittelt werden konnte, wurden jeweils die gleichen Faltschachtelnutzen auf den unterschiedlichen Maschinen geklebt. Folgende Variationen der Einflussgrößen wurden berücksichtigt:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 3 Faltschachtelklebemaschinen</li><li>• 8 Kartonsorten; davon waren 3 Sorten folienkaschiert und 6 Kartonsorten mit lackierter bzw. unlackierter Klebelasche</li><li>• 2 Dispersionsklebstoffe</li><li>• 3 Vorbehandlungsvarianten der Klebelaschen</li></ul>
Prüfung der Klebenahtfestigkeiten und Auswertung der Messergebnisse	<p>Zur Identifizierung der Klebenahtfestigkeit wurden die geklebten Faltschachteln entsprechend der PTS-Methode PTS-PR 301/2008 geprüft und das Bruchverhalten in Trennfläche bewertet. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde ein genaues Zeitintervall zwischen dem Verkleben der Schachteln und der Klebenahtprüfung eingehalten. Dies wurde erreicht durch die Prüfung der Klebenähte</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• direkt vor Ort, unmittelbar nach dem Verkleben in der Faltschachtelklebemaschine</li><li>• im Labor, nach Erreichen der Endfestigkeit nach mehreren Tagen</li><li>• nach Langzeitlagerung und beschleunigter Alterung</li></ul> <p>Die Auswertung der Messergebnisse erfolgte u.a. mit Hilfe statistischer Korrelationsanalysen, insbesondere wurden die Einflussstärken der einzelnen Einflussfaktoren auf die Klebenahtfestigkeit durch die Berechnung mittels Faktorenanalyse ermittelt und quantifiziert. Diese waren im Einzelnen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Einfluss der Faltschachtelkartonsorte</li><li>• Einfluss der Faltschachtelklebemaschine</li><li>• Einfluss der Klebenahtvorbehandlung</li><li>• Einfluss des Klebstoffs</li><li>• Einfluss der Abbindezeit</li><li>• Einfluss der Lackaussparung der Klebelasche</li><li>• Einfluss der Lagerung bzw. Lagerzeit</li><li>• Einfluss des Klebelaschenbereichs (Codierungseindruck in der Lasche)</li></ul>
Optimierungsvorschläge	<p>Je nach Art der Einflussfaktoren wurden für die einzelnen Bereiche Optimierungsvorschläge erarbeitet. Diese waren für die</p>

---

---

### 1. Kartoneigenschaften

- die Oberflächenspannung der Klebeflächen; Vorbehandlung bei Folienkaschierung bzw. UV-Lacken
- Abbindegeschwindigkeit des Klebstoffs in der Klebenaht; ausreichende Penetrationsfähigkeit von Wasser in den Karton

### 2. Klebstoffeigenschaften

- viskoelastisches Verhalten der trockenen Klebeschicht - charakterisiert durch das E-Modul - kann bei einigen Kartonsorten das Bruchverhalten entscheidend mit beeinflussen; weiche Klebstoffe - mit kleinerem E-Modul - erzielen offenbar die höheren Klebenahtfestigkeitswerte
- Viskosität und Fließverhalten müssen auf die Verarbeitungsbedingungen der Faltschachtelklebemaschinen angepasst sein

### 3. Faltschachtelklebemaschine

- optimierte Einstellungen im Bereich des Klebstoffauftrags - z.B. ausreichende Klebstoffmenge - werden bei schwierig zu verklebenden Oberflächen eine Verbesserung der Klebenahtfestigkeit erzielen
  - optimierte Anpassung der Presszeit und des Pressdrucks in der Faltschachtelklebemaschine erreichen eine intensivere Kontaktnahme der Klebeflächen zum Klebstoffilm, so dass keine Störungen in der Klebschicht entstehen können; hierzu zählt auch die Anpassung der Maschinengeschwindigkeit an die Abbindegeschwindigkeit der Klebschicht (Verweilzeit in der Presszone)
- 

#### **Ansprechpartner für weitere Informationen:**

Dipl.-Ing. (FH) Robert Metz

Tel. 089/12146-385

[robert.metz@ptspaper.de](mailto:robert.metz@ptspaper.de)

Papiertechnische Stiftung PTS

Papiertechnisches Institut PTI

Heißstraße 134

80797 München

Tel. (089) 1 21 46-0

Fax (089) 1 21 46-36

e-Mail: [info@ptspaper.de](mailto:info@ptspaper.de)

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



**Literaturverzeichnis**

- 1 Die neue Macht am POS – Das Image und die Leistungsfähigkeit von Verpackungen im Vergleich zu anderen Medien aus Sicht der Konsumenten und Experten  
Studienreihe von PRO CARTON Deutschland, Heinrich-von-Brentano-Str. 45, 64625 Bensheim  
Zugänglich über: [www.procarton.de](http://www.procarton.de)
- 2 The ECMA codes of folding carton styles  
Herausgegeben von der European Cartons Makers Association,  
P.O. Box 85612, NL-2508 The Hague, Mai 2004.
- 3 Fachverband Faltschachtelindustrie (FFI) e.V.  
Lyoner Str. 14, 60528 Frankfurt am Main  
[www.ffi.de](http://www.ffi.de)
- 4 M. Kresse  
Risikobasierte Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen bei Faltschachteln  
Vortrag: FFPI-Symposium – Sichere Prozesse vom Karton zum Verbraucher, München,  
24./25.11.2005; auf Anfrage verfügbar bei PTS, Heßstr. 134, 80797 München.
- 5 PTS-Methode 01/2008  
Bestimmung der Klebenahtfestigkeit von Faltschachteln (Looptest nach Edelman)  
Auf Anfrage verfügbar bei PTS, Heßstr. 134, 80797 München.
- 6 R. Wilken  
Projekt Klebenahtfestigkeit  
Vortrag anlässlich der Sitzung der Technischen Kommission des FFI, Dortmund, 06.10.2009
- 7 N. N.  
Handbuch der Faltschachtelherstellung (3. Auflage)  
Fachverband Faltschachtelindustrie e. V., Grazer Str. 29, Offenbach 1992
- 8 R. Wilken  
Benetzung und Haftfestigkeit in Theorie und Praxis  
Deutscher Drucker 35, w54-58, 1999
- 9 R. Wilken  
Die Oberflächenspannung - Begriff und Messverfahren für Labor und Feld  
Vortrag: PTS-Seminar – Sicheres Kleben bei der Verarbeitung von Papier und Karton, München,  
17./18.06.2008; auf Anfrage verfügbar bei PTS, Heßstr. 134, 80797 München.
- 10 U. Richter  
Dispersionsklebstoffe: Wie werden sie hergestellt und welche Entwicklungstrends gibt es, wie  
findet man das richtige Produkt für die Klebeaufgabe, was ist bei der Anwendung zu beachten?  
Vortrag: PTS-Seminar – Sicheres Kleben bei der Verarbeitung von Papier und Karton, München,  
17./18.06.2008; auf Anfrage verfügbar bei PTS, Heßstr. 134, 80797 München.
- 11 R. Wilken  
Der Faserriss oder wie bewertet man die Güte von Klebeverbindungen richtig  
Vortrag: PTS-Seminar – Sicheres Kleben bei der Verarbeitung von Papier und Karton, München,  
17./18.06.2008; auf Anfrage verfügbar bei PTS, Heßstr. 134, 80797 München.
- 12 G. Habenich  
Kleben – Grundlagen, Technologien, Anwendungen  
VDI-Buch, Springer Verlag GmbH, 2008

- 13 N.N.  
Karton - Begriffe und Sorteneinteilungen  
Deutsches Institut für Normung, Berlin (Hrsg.)  
Berlin: Beuth Verlag GmbH 2005. 8 S.  
DIN 19303
- 14 S. Wu  
Polar and Nonpolar Interactions in Adhesion  
Journal of Adhesion -, 39-55 (1993) Nr. 5
- 15 F.M. Fowkes  
Attractive Forces at Interfaces  
Industrial and Engineering Chemistry 64, 40-52 (1964) Nr. 12
- 16 N.N.  
Papier und Pappe - Bestimmung des Wasserabsorptionsvermögens - Cobb-Verfahren.  
Deutsches Institut für Normung, Berlin (Hrsg.)  
Berlin: Beuth Verlag GmbH 1994. 6 S.  
DIN EN 20535
- 17 N.N.  
Prüfung von Papier und Pappe - Bestimmung der Rauheit nach Bendtsen. Deutsches Institut für  
Normung, Berlin (Hrsg.)  
Berlin: Beuth Verlag GmbH 1995. 5 S.  
DIN 53108
- 18 N.N.  
Prüfung von Papier, Pappe und Folien - Prüfung der Verklebbarkeit durch den Schälwiderstand  
als Funktion der Lagerzeit. Papiertechnische Stiftung (Hrsg.)  
München: Papiertechnische Stiftung 1984. 2S.  
PTS-Methode PTS-PP 102/84
- 19 N.N.  
Kunststoffe/Kautschuk - Polymerdispersionen und Kautschuklatices (natürliche und synthetische)  
- Bestimmung der Oberflächenspannung mit dem Ringverfahren. Deutsches Institut für Normung,  
Berlin (Hrsg.)  
Berlin: Beuth Verlag GmbH 2008. 11 S.  
DIN ISO 1409
- 20 N.N.  
Klebstoffe - Bestimmung des Feststoffgehaltes nach Vereinbarung und bis zur Massekonstanz.  
Deutsches Institut für Normung, Berlin (Hrsg.)  
Berlin: Beuth Verlag GmbH 2006. 6 S.  
DIN EN 827
- 21 N.N.  
Kunststoffe - Polymere/Harze in flüssigem, emulgiertem oder dispergiertem Zustand -  
Bestimmung der Viskosität mit einem Rotationsviskosimeter bei definiertem  
Geschwindigkeitsgefälle. Deutsches Institut für Normung, Berlin (Hrsg.)  
Berlin: Beuth Verlag GmbH 1994. 8 S.  
DIN EN ISO 3219
- 22 J.J. Bikerman  
The Science of Adhesive Joints  
Academic Press, New York, London, 2<sup>nd</sup> Ed. (1968)

- 23 N.N.  
Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften. Teil 1: Allgemeine Grundsätze. Deutsches Institut für Normung, Berlin (Hrsg.)  
Berlin: Beuth Verlag GmbH 1996. 8 S.  
DIN EN ISO 527-1
- 24 persönliche Informationen der Heidelberger Druckmaschinen AG
- 25 E. Haller-Wedel  
Die Einflussgrößenrechnung in Theorie und Praxis  
Carl Hansa Verlag, München (1973)