



Leitner Christina, BSc

**Einfluss von plastischer Verformung auf die Rillbarkeit von
Faltschachtelkarton
Beurteilung durch optische Vermessung**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Masterstudium Verfahrenstechnik

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Bauer Wolfgang

Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik

Dipl.-Ing. Dr.techn. Lechthaler Markus
Mayr-Melnhof Karton GmbH

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

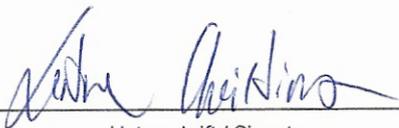
AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

2. Nov. 2014

Datum / Date



Unterschrift / Signature

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die mein Studium und diese Arbeit ermöglicht haben.

Als erstes wäre hier mein Betreuer seitens der TU Graz Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Bauer Wolfgang zu erwähnen. Ohne ihn wäre es mir nicht möglich gewesen an der TU Graz zu studieren und diese Arbeit in dieser Form zu erstellen.

Außerdem möchte ich mich bei zwei Mitarbeitern des Konzerns Mayr-Melnhof Karton GmbH speziell bedanken.

Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Lechthaler ermöglichte mir, diese Arbeit in Zusammenarbeit mit dem Konzern Mayr-Melnhof Karton GmbH zu erstellen und stand mir während der Auswertung der Daten rund um die Uhr zur Seite.

Weiters gilt ganz besonderer Dank Marcus Spanier. Er unterstützte mich im Zuge der Arbeit ununterbrochen und trug aufgrund seines umfangreichen Fachwissens enorm zum Gelingen der Arbeit bei. Marcus machte meine ersten beiden Dienstreisen zu einem ganz besonderen Erlebnis, fachlich wie auch menschlich.

Ich möchte mich auch bei meinen Kolleginnen Karin Hofer und Angela Wolfbauer bedanken. Beide standen mir in zahlreichen schwierigen Situationen bei, waren eine tolle Motivationshilfe und brachten mich auch zum Lachen, wenn mir gar nicht danach war.

Natürlich gilt der größte Dank meinen Eltern Christian und Elisabeth. Sie haben sowohl meine beruflichen wie auch meine privaten Entscheidungen jederzeit unterstützt und taten alles, damit ich meine Träume leben kann.

Kurzfassung

Die Auswirkungen von plastischer Verformung auf die Rillbarkeit von Faltschachtelkarton wurden untersucht. Dazu wurden Rillen mittels IFM optisch Vermessen und anschließend einer Biegemessung unterzogen. Es wurden Faltschachtelkartons verschiedenster Spezifikationen, Grammaturen und Festigkeiten untersucht. Diese wurden mit verschiedenen Rillgeometrien gerillt.

Die Grundlage für die Beurteilung der Messungen war der Geometriefaktor γ . Dieser berücksichtigt die Kartondicke und die Breite der Rillnut. Um plastische Verformung beurteilen zu können wurde γ durch Tausch der Rillnutbreite mit der tatsächlichen Rillbreite zu $\gamma_{\text{tats.}}$ weiterentwickelt. Die Differenz $\Delta\gamma$ des neuen Geometriefaktors $\gamma_{\text{tats.}}$ und des ursprünglichen Geometriefaktors γ stellte die Grundlage für die Untersuchung dar.

Für optimale Rillen nach Mayr-Melnhof konnte als Bereich für $\Delta\gamma$ 0,3 bis 0,4 ausgemacht werden.

Stichwörter: Faltschachtelkarton, Rillbarkeit, plastische Verformung, optische Vermessung, Geometriefaktor γ

Abstract

The effects of plastic deformation on Creasability of folding box board were investigated. Creases were measured optically and afterwards measured mechanically using a bending device. Folding box boards with different specifications, grammages and strengths were investigated. The creases had variances in depth and width.

The basis of investigation was the factor of geometry γ which includes the thickness of the boards and the width of crease groove. To evaluate plastic deformation the factor γ was modified by exchanging the width of crease groove with the actual width of crease ($\gamma_{\text{tats.}}$). The difference $\Delta\gamma$ of the new factor $\gamma_{\text{tats.}}$ and the original factor γ has been the basis for evaluation. A value for $\Delta\gamma$ of 0.3 to 0.4 was identified for good Creasability.

Keywords: folding box board, Creasability, plastic deformation, optical measurement, factor of geometry γ

Abkürzungsverzeichnis

BB	Werk Baiersbronn
BP	Belpak
ET	Excellent Top
FBB	Folding Boxboard
FL	Werk Frohnleiten
FR	Faserrichtung
GC1	pigmentgestrichener Primärfaserkarton aus Holzstoff, weiße Rückseite
GC2	pigmentgestrichener Primärfaserkarton aus Holzstoff, weiße Rückseite
GD2	...
	... pigmentgestrichener Sekundärfaserkarton, Duplex, spez. Volumen 1,3-1,45
GD3	pigmentgestrichener Sekundärfaserkarton, Duplex, spez. Volumen < 1,3
GE	Werk Gernsbach
GT2	pigmentgestrichener Sekundärfaserkarton, Triplex, gelbe Rückseite
HW	Werk Hirschwang
IFM	Infinite Focus Measurement Device
KK	Werk Kolicovo
KM	Kartonmaschine
MCM	Multicolor Mirabell
MCS	Multicolor Spezial
MD	Machine Direction, in Maschinenrichtung
MM	Mayr-Melnhof Karton GmbH
NE	Werk Neuss
OT	Optimus Top
PF	Primärfasern
-S	jener gerillter Nutzen unter dem, der nach der Rillempfehlung gerillt wurde
+S	jener gerillter Nutzen über dem, der nach der Rillempfehlung gerillt wurde
SBS	Solid Bleached Sulfate Board
SF	Sekundärfasern
SUS	Solid Unbleached Sulfate Board
SW	Silvawhite
WLC	White Lined Chipboard
γ bzw. γ theor.	Geometriefaktor nach Nagasawa et al. (2003)

γ tats. Geometriefaktor (weiterentwickelt nach Nagasawa et al. (2003))

$\Delta\gamma$ Differenz von γ theor. und γ tats.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Bandstahl-Schnittwerkzeug einer Flachbettstanze (nach Großmann, 2013).....	10
Abbildung 2-2: (a) Prägeverfahren, (b) Rillverfahren.....	12
Abbildung 2-3: Wirkende Kräfte und Deformation in der Rillzone (a)	12
Abbildung 2-4: Querschnitt von Rillungen nach dem Biegen (90°) (Großmann, 1985).....	13
Abbildung 2-5: Darstellung der Rillrichtungen	14
Abbildung 2-6: Rillbarkeitsbereich (nach Tenzer & Großmann, 1985)	18
Abbildung 2-7: Diagramm einer Biegemessung nach DIN 55437-3 (FL MCM 250).....	22
Abbildung 2-8: Biegeversuche von Kartonen mit verschiedenen Scherbelastungen	24
Abbildung 2-9: Gebogene Rillen mit verschiedenen initialen Scherbelastungen	25
Abbildung 3-1: Beispielsnutzen	32
Abbildung 3-2: (a) Matrize; (b) Patrize; (c) Zurichtebogen; (d) bedruckte, gerillte und gestanzte Nutzen	33
Abbildung 3-3: Beispielbild der IFM-Messung (FL MCS 450_Nutzen1_in FR1)36	
Abbildung 3-4: Darstellung der berechneten Rilltiefe und Rillbreite	37
Abbildung 3-5: Darstellung von gerillten/ungerillten Proben und Rillen quer zur Faserrichtung und in Faserrichtung (FL MCM 450)	40
Abbildung 4-1: Zusammenhang der gemessenen Rillbreite (in FR und quer zur FR) und der Rillnutbreite für die unterschiedlichen Kartonsorten und Nutzen.....	42
Abbildung 4-2: Zusammenhang der gemessenen Rillbreite (in FR und quer zur FR) und der Rillnutbreiten für die unterschiedlichen Grammaturen und Lagenanzahlen	43

Abbildung 4-3: Zusammenhang der gemessenen Rillbreite (in FR und quer zur FR) und der gemessenen Rilltiefe für die unterschiedlichen Kartonsorten und Nutzen	45
Abbildung 4-4: Zusammenhang der gemessenen Rillbreite (in FR und quer zur FR) und der gemessenen Rilltiefe für die unterschiedlichen Grammaturen und Lagenanzahlen	46
Abbildung 4-5: Zusammenhang der gemessenen Rillbreite (in FR und quer zur FR) und der gemessenen Rilltiefe für 450 [g/m ²]-Sorten.....	47
Abbildung 4-6: Vergleich der Biegekurven von BB ET 450, FL MCS 450	49
Abbildung 4-7: Auswirkung der tatsächlichen Rillgeometrie auf das Biegemomentverhältnis-Kartonsorten.....	51
Abbildung 4-8: Auswirkung der tatsächlichen Rillgeometrie auf das Biegemomentverhältnis-Grammatur	52
Abbildung 4-9: Auswirkung der tatsächlichen Rillgeometrie auf das Biegemomentverhältnis-Lagenzahl.....	53
Abbildung 4-10: Zusammenhänge der Geometriefaktoren unterschiedlicher Kartonsorten mit dem Biegemomentverhältnis	54
Abbildung 4-11: Zusammenhang von $\Delta\gamma$ und B für unterschiedliche Kartonsorten	55
Abbildung 4-12: Zusammenhang von $\Delta\gamma$ und B für unterschiedliche Bereiche von γ_{theor}	56
Abbildung 4-13: Zusammenhang von $\Delta\gamma$ und B für unterschiedliche Grammaturen und.....	57
Abbildung 4-14: Zusammenhang des Biegemomentverhältnisses und der Ausbildungsfaktoren-Kartonsorte.....	60
Abbildung 4-15:Zusammenhang des Biegemomentverhältnisses und der Ausbildungsfaktoren- Grammatur	60

Formelverzeichnis

Formel 2-1: breitenbezogene Biegesteifigkeit (Wilken, 2013)	11
Formel 2-2: Rillempfehlungen nach FEPI-Merkblatt (FEPI, 2011)	19
Formel 2-3: Rillempfehlungen nach Grossmann (1985).....	19
Formel 2-4: Definition des Faltfaktors nach DIN 55437-3	21
Formel 2-5: Definition des Biege­widerstand­verhältnisses	21
Formel 2-6: nominale Initialscherbelastung (Nagasawa, et al., 2003).....	23
Formel 2-7: nominale Initialscherbelastung, erweitert um die plastische Verformung im Rillbereich (nach Nagasawa et al., 2003)	26
Formel 3-1: Umrechnung des Biege­widerstandes in das Biegemoment.....	38
Formel 4-1: Biegemomentverhältnis nach DIN 55437-3	50
Formel 4-2: Maß um plastische Verformung zu beurteilen.....	55
Formel 4-3: additiver Ausbildungsfaktor:	59
Formel 4-4: multiplikativer Ausbildungsfaktor	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Eingesetzte Altpapiersorten	5
Tabelle 2-2: Spezifikation von Kartonsorten nach DIN 19303.....	6
Tabelle 2-3: Einteilung der Kartonsorten im englischen Sprachraum (Kiviranta, 2000).....	7
Tabelle 2-4: Einflüsse auf die Rillbarkeit von Karton (Joukio & Mansikkamäki, 1998).....	15
Tabelle 2-5: empfohlene Rillparameter des Konzerns MM Karton GmbH.....	20
Tabelle 3-1: Produktionsprinzipien der Werke des Konzerns Mayr-Melnhof GmbH.....	27
Tabelle 3-2: getestete Sorten im Rahmen der Diplomarbeit	28
Tabelle 3-3: Parameter der Stanzformen	33
Tabelle 4-1: General Linear Model der Rillbreite quer zur FR gegen die Kartonsorte, Rillnutbreite quer zur FR und Lagenanzahl	43
Tabelle 4-2: General Linear Model der Rillbreite in FR gegen die Kartonsorte, Rillnutbreite in FR und Lagenanzahl	44
Tabelle 4-3: General Linear Model: Biegemomentverhältnis gegen Grammatur, Lagenzahl und Kartonsorte	51
Tabelle 4-4: General Linear Model: Δy gegen Größenordnung $y_{\text{theor.}}$ in FR, Kartonsorte, Lagenzahl und Grammatur	58
Tabelle 4-5: General Linear Model: Δy gegen Größenordnung $y_{\text{theor.}}$ Quer zur FR, Kartonsorte, Lagenzahl und Grammatur	58
Tabelle 4-6: General Linear Model: Ausbildungsfaktor quer zur FR multiplikativ gegen Karton-sorter, Grammatur und Lagenanzahl	61
Tabelle 4-7: General Linear Model: Ausbildungsfaktor quer zur FR additiv gegen Kartonsorte, Grammatur und Lagenanzahl	61
Tabelle 4-8: General Linear Model: Ausbildungsfaktor in FR multiplikativ gegen Kartonsorte, Grammatur und Lagenanzahl	61

Tabelle 4-9: General Linear Model: Ausbildungsfaktor in FR additiv gegen Kartonsorte, Grammatur und Lagenanzahl	62
Anhang Tabelle 1: für den Verarbeitungsversuch verwendete Primärfaserkartonsorten und deren Spezifikation nach DIN 19303	82
Anhang Tabelle 2: für den Verarbeitungsversuch verwendete Sekundärfaserkartonsorten und deren Spezifikation nach DIN 19303	82
Anhang Tabelle 3: Errechnete Geometriefaktoren und gemessene Rilltiefen und Rillbreiten	83

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Kurzfassung	ii
Abstract	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
Abbildungsverzeichnis	vi
Formelverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	ix
1. Einleitung	1
2. Theoretische Grundlagen.....	3
2.1 Karton	3
2.1.1 Kartonmaschinen	3
2.1.2 Rohstoff.....	4
2.1.3 Kartonsorten	6
2.2 Rillen.....	9
2.2.1 Maschinen und Werkzeuge für Rillverfahren	9
2.2.2 Wirkungsprinzipien und auftretende Kräfte.....	11
2.2.3 Rillbarkeit von Karton	13
2.2.4 Beurteilung von Rillen	21
3. Untersuchungen.....	27
3.1 Material.....	27
3.1.1 Gewählte Grammaturen	28
3.1.2 Primärfaserkartons	29
3.1.3 Sekundärfaserkartons	29
3.2 Methoden für die Probenherstellung	31
3.2.1 Dickenmessung.....	31
3.2.2 Bedrucken - Offsetdruck.....	31

3.2.3	Stanzen und Rillen	32
3.3	Methoden für die Rillenbeurteilung.....	35
3.3.1	Optische Vermessung von Rillen – Alicona IFM.....	35
3.3.2	Mechanische Beurteilung von Rillen.....	38
4.	Ergebnisse und Diskussion.....	41
4.1	Zusammenhang von gemessener Rillbreite und Rillnutbreite.....	41
4.2	Zusammenhang von gemessener Rillbreite und gemessener Rilltiefe	45
4.3	Zusammenhang der gemessenen Rillbreiten und gemessenen Rilltiefen mit dem Biegemomentverhältnis	50
4.4	Beurteilung der Auswirkungen der plastischen Verformung über $\Delta\gamma$	54
4.5	Beurteilung der Auswirkungen der plastischen Verformung über Ausbildungsfaktoren.....	59
5.	Schlussfolgerungen und Ausblick	63
	Literaturverzeichnis	66
	Anhang 1 – Spezifikationen der Primärfaserkartons	69
	Anhang 2 - Spezifikationen der Sekundärfaserkartons	74
	Anhang 3.....	82
	Anhang 4.....	83

1. Einleitung

Karton wird als Verpackungsmittel vielseitig eingesetzt. Möbel, Kosmetik- und Elektronikartikel, Lebensmittel und Getränke stellen dabei Einsatzmöglichkeiten dar. Alle diese Produkte haben ähnliche Grundanforderungen an deren Verpackungen: Sie müssen optisch ansprechend, stabil und stapelbar sein.

Insbesondere zur Herstellung von Faltschachteln ist eine häufige Verarbeitungstechnik das Rillen (Kiviranta, 2000). Dabei wird an der späteren Biegestelle die Biegesteifigkeit erheblich vermindert, um eine exakte Kante zu erhalten. Die gewählte Rillgeometrie hat großen Einfluss auf das Rillergebnis (Wilken, 2013). Berechnungen für die ideale Rillgeometrie sind aufgrund der Vielfältigkeit der Einflussfaktoren aufwendig und unpräzise, deshalb wurden verschiedene Rillempfehlungen entwickelt. Eine dieser Empfehlungen stammt vom Konzern Mayr-Melnhof Karton AG (siehe Tabelle 2-5). Da sich Sorten und Materialeinsatz seit dem Erstellen dieser Empfehlung teilweise veränderten, führte die Mayr-Melnhof Karton AG im Jahr 2014 eine konzernweite Untersuchung durch, um diese Empfehlung zu überprüfen. Es wurden 170 Sorten bedruckt, gerillt und gestanzt und anschließend das Rillergebnis untersucht.

Im Zuge dieser Untersuchung entstand in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Graz (Institut für Papier-, Zellstoff- und Fasertechnik) und dem Konzern Mayr-Melnhof Karton GmbH diese Diplomarbeit.

Als Grundlage dafür dienten Publikationen einiger Forschungsgruppen, die sich mit Kartonverarbeitung und speziell mit dem Rillen beschäftigen.

Nagasawa et al. (2003) führten einen Geometriefaktor (γ) ein, um Rillen beurteilen zu können (Formel 2-6). Sie untersuchten damit die Einflüsse verschiedener Rillgeometrien auf das Rillergebnis und auf verschiedene Festigkeitseigenschaften. Giampieri et al. (2011) legten darauf aufbauend einen Bereich dieses Geometriefaktors fest, der optimale Rillergebnisse gewährleisten soll.

Weitere Untersuchungen (Beex & Peerlings, 2009) ergaben, dass nicht nur der Grad der Delaminierung, sondern auch der Grad plastischer Verformung ausschlaggebend für das Rillergebnis ist.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung des Einflusses der plastischen Verformung auf die Rillbarkeit von Karton. Zur Feststellung des Einflusses wurde der Geometriefaktor von Nagasawa et al. (2003) weiterentwickelt. Die Rillen wurden zur Erfassung der tatsächlichen Rillenform (plastische Deformation) optisch vermessen (Alicona IFM) und anschließend einem Biegeversuch unterzogen (L&W Bending Tester). Es wurde untersucht, ob die Ergebnisse der erweiterten Form des Geometriefaktors im Zusammenhang mit dem ursprünglichen Geometriefaktor eine Beurteilung von Rillen zulässt.

2. Theoretische Grundlagen

Im Folgenden werden Grundlagen erläutert, die für das Verständnis der vorgelegten Arbeit vorauszusetzen sind.

2.1 Karton

„Karton ist ein flächiger Werkstoff, meistens aus mehreren Lagen, seltener aus einer Lage bestehend, im Flächengewichtsbereich zwischen 180 und etwa 600 g/m², wobei die Grenzen gegenüber Papier und Pappe fließend sind“ (Göttsching & Katz, 1999a).

Die einzelnen Lagen werden getrennt voneinander produziert und in der Siebpartie miteinander vergautscht. Die Eigenschaften und Stoffzusammensetzung der Lagen werden auf die speziellen Anforderungen eingestellt. Die äußersten Lagen werden hinsichtlich Festigkeiten und Bedruckbarkeit optimiert, die inneren Lagen sollen Volumen garantieren. Primärfaserkarton wird auf der Oberseite meist zweifach, Sekundärfaserkarton meist dreifach gestrichen. Die Unterseiten beider Arten werden entweder einfach oder nicht gestrichen (Holik, 2013).

2.1.1 Kartonmaschinen

Kartonmaschinen bestehen aus Formiersystem, Pressen- und Trockenpartie, Einheiten zur Glätteherzeugung und Aufrollung.

Das Formiersystem von Kartonmaschinen wird heutzutage oftmals mit Langsieben für die äußeren Schichten und mit Hybridformern für die Produktion der inneren Schichten ausgestattet. Die Pressenpartie wird hinsichtlich des Erhalts von spezifischem Volumen ausgelegt. Üblicherweise verfügt sie über drei Nips. Die Trockenpartie wird teilweise zweireihig ausgeführt und beinhaltet bis zu 100 Trockenzylinder. Ist eine Leimpresse integriert, folgt danach noch eine Nachtrockenpartie. Die Einheit zur Glätteherzeugung wird an das geforderte spezifische Volumen angepasst und kann Hart- und Softnip-Kalender, Glättzylinder oder Schuhkalender enthalten. Aufgerollt wird mittels Zentralroller oder Poperoller (Holik, 2013).

2.1.2 Rohstoff

Karton wird aus Primärfasern chemischen oder mechanischen Ursprungs, und aus Sekundärfasern hergestellt (Göttsching & Katz, 1999a), welche meist aus Holz gewonnen werden (Brännvall, 2009) ¹. Die Mayr-Melnhof Karton GmbH setzt Primärfasern und Sekundärfasern zur Kartonherstellung ein.

2.1.2.1 Karton aus Primärfasern

Drei Werke der Mayr-Melnhof Karton GmbH setzen Primärfasern ein (Anhang 1). In der Regel wird für die Decklagen aus optischen Gründen gebleichter, chemisch gewonnener Zellstoff verwendet. Die Einlagen haben geringere optische Anforderungen zu erfüllen, müssen aber hohe Festigkeiten und hohes Volumen aufweisen. Deshalb wird Holzschliff und Holzstoff eingesetzt.

2.1.2.2 Karton aus Sekundärfasern

Bei Sekundärfasern handelt es sich um Fasern jeglicher Herkunft und Beschaffenheit, die den Herstellungs- und Verbraucherzyklus schon mindestens einmal durchlaufen haben (Göttsching & Katz, 1999b). Laut Austropapier (Austropapier, 2012) liegt die weltweite Altpapiereinsatzquote bei 50,1%. Somit sind Sekundärfasern mittlerweile der wichtigste Rohstoff für papierne Flächengebilde.

„Recycling ist nicht nur ein zunehmend wichtiger Schritt im Prozess der Papiererzeugung, sondern inzwischen zu einem eigenständigen Wirtschaftszweig geworden, der direkt oder indirekt mit zahlreichen anderen Wirtschaftszweigen in Europa verbunden ist“ (European Recovered Paper Council, 2006 - 2010)

¹ Näheres zur Herstellung von Zellstoff, Holzstoff und Holzschliff: Sixta et al., 2006. Handbook of Pulp

Näheres zur Verarbeitung von Altpapier: Blechschmidt, 2011. Altpapier: Regularien – Erfassung – Aufbereitung- Maschinen und Anlagen.

Auch die Mayr-Melnhof Karton GmbH setzt Sekundärfasern in großer Menge ein.

Diese werden nach DIN EN 643 in fünf Gruppen eingeteilt.

1. Untere Sorten
2. Mittlere Sorten
3. Bessere Sorten
4. Krafthaltige Sorten
5. Sondersorten

Der Konzern Mayr-Melnhof verwendet für die Einlage untere Sorten. Die Decklagen müssen höheren (optischen) Anforderungen entsprechen. Deshalb werden auch mittlere und bessere Sorten eingesetzt (Tabelle 2-1). Um Festigkeiten zu erhöhen können der Einlage zusätzlich mechanische Primärfasern, den Decklagen mechanische Primärfasern und Zellstoff beigegeben werden.

Tabelle 2-1: Eingesetzte Altpapiersorten

Für die Einlage		Für Decke und Rückseite	
1.02	Sortiertes, gemischtes Altpapier	2.03	Weißer Späne mit leichtem Andruck
1.03	Graukarton	2.06	Bunte Akten
1.04	Kaufhausaltpapier	2.07	Weißer Bücher, holzfrei
1.05	Alte Wellpappe Verpackungen	2.12	Endlosformulare, holzhaltig
		3.04	Weißer Späne mit leichtem Andruck, holzfrei
		3.05	Weißer Akten, holzfrei
		3.07	Weißer Endlosformulare, holzfrei
		3.14	Weißes Zeitungspapier
		3.18.01	Weißer, ungestrichener Späne, holzfrei

2.1.3 Kartonsorten

Im Konzern Mayr-Melnhof Karton GmbH wird Karton nach der Norm DIN 19303 spezifiziert. Im englischen Sprachraum und auch im Norden Europas hat sich jedoch auch eine ungenormte Sorteneinteilung durchgesetzt, die zur Vollständigkeit auch erläutert wird.

2.1.3.1 Sorteneinteilung nach DIN 19303

Tabelle 2-2 zeigt die nach DIN 19303 festgelegte dreiteilige Nomenklatur für Kartonsorten. An erster Stelle steht ein Buchstabe (1.) bezogen auf die Oberflächenbehandlung, danach folgt ein Buchstabe (2.) bezogen auf den eingesetzten Faserstoff. Hier wird bei Sekundärfaserkarton in zwei Grundkategorien eingeteilt. Zum einen in Duplexkarton (D) und zum anderen in Triplexkarton (T). Beide Sorten sind einseitig glatte Kartonsorten mit heller holzfreier Oberseite aus Zellstoff oder sekundärem Faserstoff. Die Mittellage besteht aus sekundärem Faserstoff. Der Unterschied liegt in der Rückseite. Bei Duplexkarton ist diese immer aus sekundärem Faserstoff und grau. Bei Triplexkarton kann sie auch aus Zellstoff bestehen und ist weiß, gelb oder braun. An letzter Stelle folgt eine Ziffer (3.). Diese steht entweder für die Farbe der Rückseite oder für das spezifische Volumen des Kartons.

Tabelle 2-2: Spezifikation von Kartonsorten nach DIN 19303

Buchstabe	Bedeutung	Ziffer	Bedeutung	
1.		3.	<i>Allgemein</i>	<i>Für GD/UD: spez. Volumen</i>
A	Gussgestrichen	1	weiße Rückseite	>1,45 cm ³ /g
G	Pigmentgestrichen	2	gelbe Rückseite	1,3 - 1,45 cm ³ /g
U	Ungestrichen	3		<1,3 cm ³ /g
2.		4	braune Rückseite	
Z	Gebleichter Primärfaserstoff			
N	Ungebleichter Primärfaserstoff			
C	Holzstoff			
T	Sekundärfaserstoff			
D	Sekundärfaserstoff			

Eine mögliche Kombination ist also *GC1*. Dies ist ein pigmentgestrichener Primärfaserkarton aus Holzstoff mit weißer Rückseite. Eine weitere Kombinationsmöglichkeit ist *UD3*. Dieser Karton ist ein ungestrichener Duplex-Sekundärfaserkarton mit einem spezifischen Volumen kleiner $1,3 \text{ cm}^3/\text{g}$.

2.1.3.2 Sorteneinteilung im englischen Sprachraum

Karton kann in drei Hauptgruppen eingeteilt werden (Tabelle 2-3). Während Faltschachtelkartone und Wellpappe für Verpackungen verwendet werden, stellt die Rubrik *Sondersorten* Kartone dar, deren Endverwendung nicht im Verpackungsbereich liegen (Kiviranta, 2000).

Tabelle 2-3: Einteilung der Kartonsorten im englischen Sprachraum (Kiviranta, 2000)

Gruppe	Sorteneinteilung
Faltschachtelkarton	FBB
	WLC
	SBS
	SUS
	LPB
Wellpappe	Deckschicht
	Wellenstoff
Sondersorten	Tapeten
	Gipskarton
	Buchbinderpappe
	etc.

Für den Verarbeitungsversuch wurden die Sorten *FBB*, *WLC*, *SBS* und *SUS* aus der Rubrik „Faltschachtelkarton“ verwendet.

2.1.3.2.1 *FBB - Folding Boxboard*

FBB besteht im Normalfall aus Primärfasern und wird meist zumindest dreilagig ausgeführt. Um gute Abdeckung der mittleren Schicht zu garantieren werden die Deckschicht und die Rückseite aus gebleichtem, chemischem Zellstoff hergestellt. Die mittlere Lage kann gebleicht oder ungebleicht sein und wird aus Holzstoff hergestellt (Kiviranta, 2000).

2.1.3.2.2 *WLC – White Lined Chipboard*

WLC wird mehrlagig ausgeführt und üblicherweise aus Sekundärfasern hergestellt. Die Deckschicht kann jedoch auch aus chemischem Zellstoff bestehen. Um teure Deckschicht einzusparen, wird unter diese zur Abdeckung der dunkleren Mittelschicht eine Zwischenschicht aus Sekundärfasern eingelegt (Kiviranta, 2000).

2.1.3.2.3 *SBS – Solid Bleached Sulfate Board*

SBS besteht aus gebleichtem Sulfatzellstoff und kann ein- oder mehrlagig ausgeführt werden (Kiviranta, 2000).

2.1.3.2.4 *SUS – Solid Unbleached Sulfate Board*

SUS wird zwei- oder dreilagig hergestellt. Die einzelnen Lagen bestehen aus ungebleichtem Sulfatzellstoff, die mittlere Schicht kann auch Anteile von Ausschuss aufweisen (Kiviranta, 2000).

2.2 Rillen

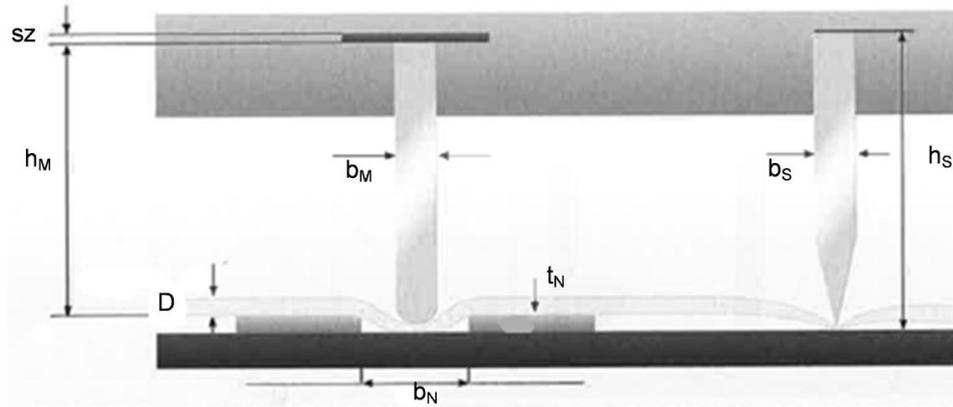
DIN 8580 teilt Fertigungsverfahren in sieben Kategorien ein. Nach dieser Norm gehört Rillen zu den *Umformenden Verfahren* und dient somit dazu, eine Gestaltänderung herbeizuführen. Es ist eine Materialumformung, bei der bewegliche Biegestellen zur Herstellung von dreidimensionalen Gebilden produziert werden (Göttsching & Katz, 1999b). Im Folgenden werden Maschinen und Werkzeuge, Wirkungsprinzipien, Einflüsse auf die Rillbarkeit, Rillempfehlungen und Beurteilungen von Rillen erläutert.

2.2.1 *Maschinen und Werkzeuge für Rillverfahren*

Die Herstellung von Rillen wird in einem Arbeitsschritt mit Stanzen durchgeführt und kann mittels Flachbettstanzen oder Rotationsstanzen erfolgen (Großmann, 2013).

2.2.1.1 *Flachbettstanze*

Diese Form von Stanzen wird oft zur Weiterverarbeitung von Bögen von Wellpappe und Faltschachteln verwendet. Das Ergebnis weist hohe Genauigkeiten auf, da die gesamte Fläche der Bögen durch Hubbewegungen in einem Schritt gerillt und gestanzt wird (Göttsching & Katz, 1999b). Die Werkzeuge einer Flachbettstanze werden als Bandstahl-Schnittwerkzeug ausgebildet (Abbildung 2-1). Dieses besteht aus einer Stanzplatte (in der Abbildung der obere Teil des Werkzeugs) und einer Gegenstanzplatte (in der Abbildung der untere Teil des Werkzeugs).



- b_M = Breite des Rillmesseres
 b_N = Breite der Rillnut
 b_S = Breite des Schneidmessers
 h_M = Höhe des Rillmessers
 h_S = Höhe des Schneidmessers
 t_N = Tiefe der Rillnut
 D = Kartondicke
 sz = Höhe der Zurichtung

Abbildung 2-1: Bandstahl-Schnittwerkzeug einer Flachbettstanze (nach Großmann, 2013)

Die Stanzplatte wird auch *Patrize* genannt. Es werden Rill- und Schneidmesser und Auswerfergummis eingesetzt. Rillmesser können in unterschiedlicher Breite ausgeführt werden, Schneidmesser unterscheiden sich bezüglich Härte, Winkel und Schneidspitze (Großmann, 2013). Auch Auswerfergummis weisen unterschiedliche Härten auf. Während härtere Gummis dafür sorgen, dass der Karton beim Rückzug des Werkzeugs nicht beschädigt wird, sorgen weichere Gummis dafür, dass die Haltepunkte des gestanzten Kartons nicht abreißen. Im Normalfall ist die Patrize der bewegliche Teil des Werkzeugs (Spanier, 2014). Die Gegenstanzplatte wird auch *Matrize* genannt. Auf ihr befinden sich die Rillnuten. Diese können mittels Kanalnuten, Rillmatrizen und Stanz-Rillplatten geformt werden. (Großmann, 2013). Die Rillnuten liegen exakt an der Stelle, an der die Rillmesser der Patrize auftreffen. Das Werkzeug ist vor der Verwendung zuzurichten, um Abweichungen der Rill- und Stanzlinien auszuschließen. Dies kann zum Beispiel durch Unterlegen der Messer mit Papier durchgeführt werden (Göttsching & Katz, 1999b). Die Eintauchtiefe der Patrize beträgt in dieser Arbeit immer null. Das bedeutet, dass die Unterkante der Rillmesser bei geschlossenem Werkzeug genau auf der Oberkante der Rillnuten abschließen.

2.2.1.2 Rotationsstanze

In Rotationsstanzen werden Bahnen – in Form von Papier, Karton oder Wellpappe - verarbeitet. Im Normalfall drücken ein Stanzzylinder und ein Gegenzylinder aufeinander, dazwischen befindet sich die Bahn. Der Stanzzylinder kann mit Bandstahl-Schnittwerkzeugen ausgestattet oder als Stanzwalze ausgebildet sein. Das Ergebnis kann Ungenauigkeiten aufweisen, da Nutzen durch die rotierende Bewegung nicht in einem Schritt, sondern laufend gerillt und gestanzt werden. Aufgrund fehlender Leerbewegungen können jedoch hohe Geschwindigkeiten erreicht werden. (Göttsching & Katz, 1999b).

2.2.2 Wirkungsprinzipien und auftretende Kräfte

Um das Umformen entlang einer definierten Linie bruchfrei garantieren zu können, muss die Biegesteifigkeit des Materials an dieser Stelle reduziert werden (Wilken, 2013). Formel 2-1 zeigt, dass diese Reduzierung der Biegesteifigkeit durch Verminderung der Zugsteifigkeit oder der Materialdicke möglich ist.

$$S^b = \frac{T_s^b * D^2}{12}$$

S^b = breitenbezogene Biegesteifigkeit,
 T_s^b = breitenbezogene Zugsteifigkeit,
 D^2 = Probendicke

Formel 2-1: breitenbezogene Biegesteifigkeit (Wilken, 2013)

Um die Materialdicke zu verringern, können *Prägeverfahren* angewandt werden (Abbildung 2-2 (a)). Dabei wird Druck auf die spätere Biegestelle aufgebracht und so eine plastische Dickenverringern verursacht. Diese Verfahren können beim Biegen jedoch zu unkontrollierten Verformungen und Aufreißen der Deckschicht führen. Sie werden deshalb hauptsächlich für einfache Verpackungskonstruktionen aus Wellpappe verwendet.

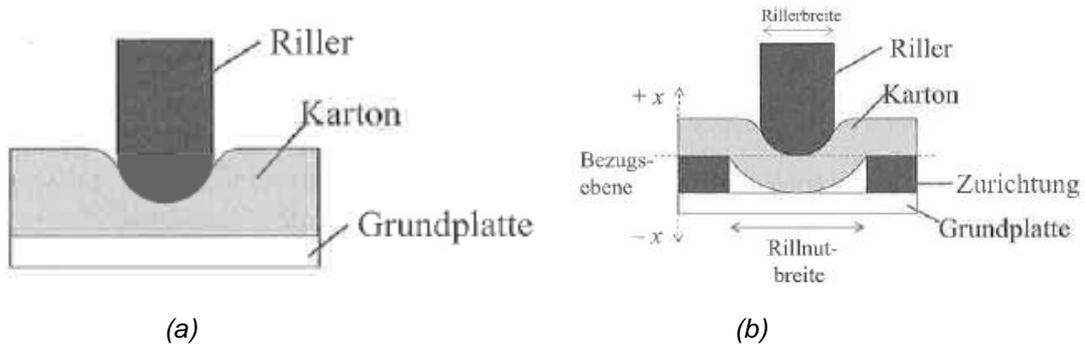
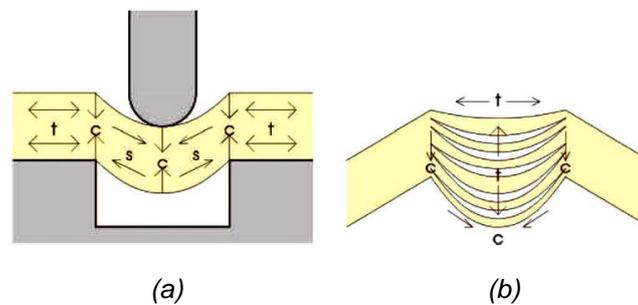


Abbildung 2-2: (a) Prägeverfahren, (b) Rillverfahren

Um komplexere Verpackungen (wie Faltschachteln) herstellen zu können werden *Rillverfahren* (Abbildung 2-2 (b)) angewandt. Dabei wird die Zugsteifigkeit durch Delaminierungseffekte verringert. Das Eindrücken des Verarbeitungsmaterials in die Rillnuten verursacht Zug-, Druck- und Scherkräfte. Die maximalen Kräfte treten beim Rillen und Biegen an den Rändern der Rille und in deren Mitte auf, die Art der Belastung ändert sich jedoch (Abbildung 2-3). Die Scherkräfte führen zur Lagentrennung und zu einer Aufspaltung dickerer Lagen. Je mehr und je dünnere Lagen gebildet werden, desto besser sind die Eigenschaften der späteren Rille (Beex & Peerlings, 2009).



t: Zugkräfte
c: Druckkräfte
s: Scherkräfte

Abbildung 2-3: Wirkende Kräfte und Deformation in der Rillzone (a) (Joukio & Mansikkamäki, 1998) und beim Biegen (b) (Beex & Peerlings, 2009)

Wird das gerillte Material anschließend gebogen, weichen die inneren Lagen aufgrund der Druckkräfte aus und formen einen Wulst. Die äußeren Lagen sind hingegen zugbelastet und neigen deshalb zum Rillbruch. (Beex & Peerlings, 2009). Rillen sollten weder Decken- noch Innenrisse aufweisen und der Wulst muss trapezförmig ausgebildet sein (Großmann, 2013).

Abbildung 2-4 (a) zeigt eine fehlerfreie Rille. Es wurden ausreichend dünne Lagen gebildet und die Wulst ist trapezförmig ausgebildet. (b) hingegen zeigt eine Rille mit Deckenrissen, und (c) zeigt eine Rille mit deformierter Wulst.

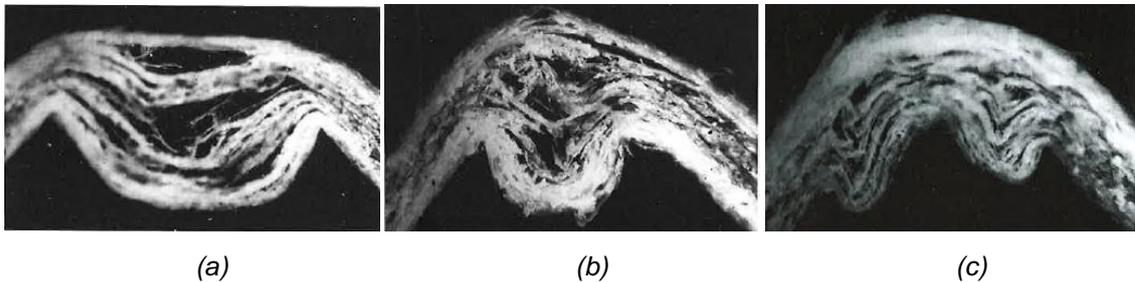


Abbildung 2-4: Querschnitt von Rillungen nach dem Biegen (90°) (Großmann, 1985)

2.2.3 Rillbarkeit von Karton

Unter Rillbarkeit versteht man die Fähigkeit von Karton, Rillungen zuzulassen. Falsch ausgeführte Rillungen führen zu Fehlern beim Falten des Kartons. (Großmann, 1985). Um eine gute Rille – zum Beispiel nach DIN 55437 ohne Risse und mit symmetrischem Wulst – herzustellen, wird die Rillgeometrie dem verwendeten Karton angepasst. Dafür kann die Breite und Tiefe der Rillnut, die Breite, Eindringtiefe und Form des Rillmessers und der Rilldruck angepasst werden (Joukio & Mansikkamäki, 1998).

2.2.3.1 Einflüsse auf die Rillbarkeit

Die Wahl der Rillgeometrie wird hauptsächlich aufgrund der Dicke des verwendeten Kartons getroffen. Der Grund dafür ist die Biegesteifigkeit. Diese wird, wie oben erwähnt, beim Rillen durch Verringerung der Zugsteifigkeit durch Delaminierungseffekte abgesenkt (Formel 2-1). In diese Formel fließt die Kartondicke in der zweiten Potenz ein. Demnach müssen für eine ausreichende Delaminierung, bei dickerem Karton höhere Scherkräfte eingebracht werden. Da bei breiteren Werkzeugen breitere Scherzonen auftreten, steigt die Werkzeugbreite mit der Dicke des Kartons (Beex & Peerlings, 2009).

Die Rillbarkeit ist abgesehen von der Kartondicke noch von weiteren Eigenschaften abhängig. Nach Beex und Peerlings (2009) ist für gute Rillen nicht nur Delaminierung, sondern auch ausreichend plastische Verformung nötig. Zu geringe Delaminierung ist im Biege widerstand-Biege winkel-Diagramm erkennbar.

In diesen Fällen steigt die Biegekurve im ersten Bereich steil an. Es ist möglich, dass der Grund dafür zu geringe plastische Verformung im gerillten Bereich ist. Untersuchungen des Biegeverhaltens von Rillen unterschiedlicher Tiefe zeigen weiters, dass die Verminderung der Steifigkeit nicht ausschließlich vom Grad der Delaminierung abhängt, sondern auch vom Ausmaß der plastischen Verformung. Ist die Verformung zu gering, können nicht alle Lagen nach innen ausweichen. Dies führt zu erhöhten Zugkräften in der Deckschicht, die Wahrscheinlichkeit von Rissen in dieser Lage steigt somit.

Tabelle 2-4 zeigt weitere Faktoren, welche Einflüsse auf die Rillbarkeit von Karton haben. Da Karton ein anisotroper Werkstoff ist, sind einige davon abhängig, ob die Rille quer zur Faserrichtung oder in Faserrichtung (*FR*) verläuft. Es gilt, dass bei einer Rille in Faserrichtung die Rillmesser parallel zur Faserrichtung verlaufen, bei einer Rille quer zur Faserrichtung normal auf Faserrichtung (Abbildung 2-5).

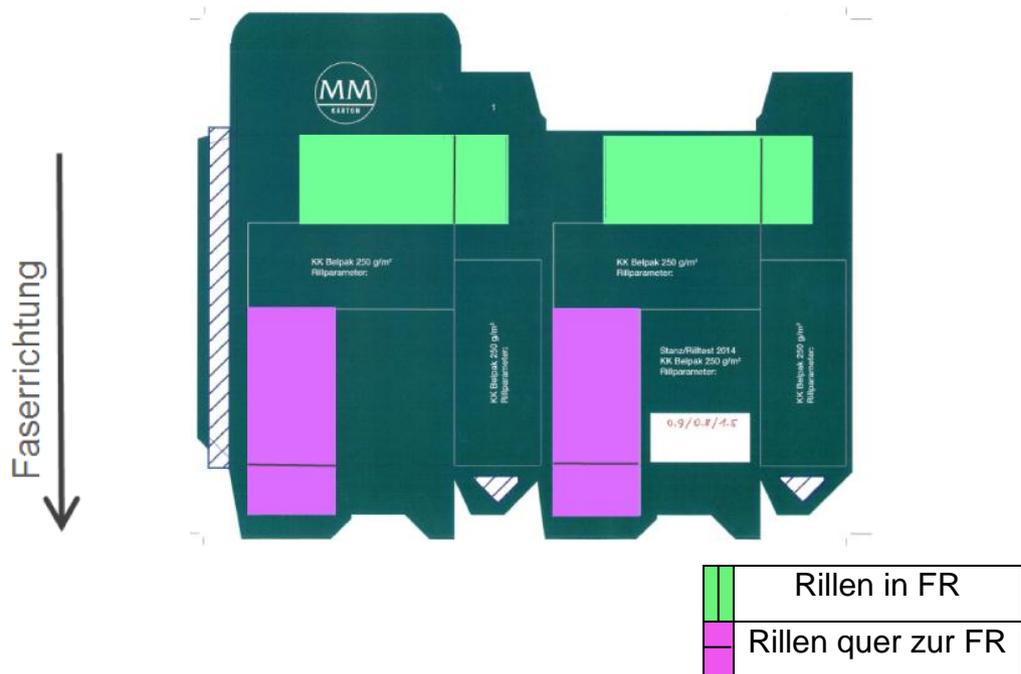


Abbildung 2-5: Darstellung der Rillrichtungen

Tabelle 2-4: Einflüsse auf die Rillbarkeit von Karton (Joukio & Mansikkamäki, 1998)

physikalische Eigenschaften	Kartoneigenschaften	weitere Einflüsse
Elastizität und Dehnung	Faserart	Feuchte
Z-Festigkeit	Kartonaufbau	Planlage
Kompressibilität		Rilleinstellungen
		Rillwerkzeug

Elastizität und Dehnung

Nach Großmann (2013) steigt die Rillbarkeit auch mit steigender Dehnbarkeit und Elastizität. Hohe Dehnbarkeit und Elastizität ist vor allem in der Deckschicht und im Strich gefordert. Ist diese zu gering, wird im Rillbarkeitsbereich die Grenze für Deckenrisse überschritten und es kommt zu optischen Beeinträchtigungen der Rille. Bei Rillen quer zur Faserrichtung kommt es zu längeren (Chang-Keun, et al., 2010) und mehr Rissen (Barbier, et al., 2003) in der Deckschicht als bei Rillen in Faserrichtung. Das ist auf die höhere Steifigkeit des Kartons in Faserrichtung zurückzuführen. Diese Effekte verstärken sich, wenn der Karton bedruckt wird, da die Druckfarbe die Elastizität der Deckschicht weiter vermindert (Barbier, et al., 2003).

Z-Festigkeit

Je höher die Z-Festigkeit ist, desto höher ist der Biegegewiderstand. Dieser sinkt mit steigender Rilltiefe. Jedoch ist dieses Sinken abhängig von der Richtung der Rille. Bei Rillen quer zur Faserrichtung sinkt der Widerstand bei geringen Rilltiefen in einem großen Ausmaß. Bei Rillen in Faserrichtung hingegen sinkt er erst bei höheren Rilltiefen nennenswert ab. Das bedeutet, um sicherzustellen, dass der Biegegewiderstand für Rillen in und quer zur Faserrichtung niedrig genug ist um eine gute Rille auszuführen, sollte die Z-Festigkeit niedrig sein (Huang, et al., 2014). Handelt es sich beim Endprodukt um bedruckte Faltschachteln, ist bei der Auswahl des Kartons darauf zu achten, dass die Z-Festigkeit für das jeweilige Druckverfahren ausreicht (Großmann, 2013).

Kompressibilität

Voluminösere und somit kompressiblere Kartons sind auch leichter zu Rillen (Großmann, 2013), da für dickere Kartons breitere Rillgeometrien angewandt werden. Sowohl der kompressible Karton, als auch die breiteren Werkzeuge reagieren weniger empfindlich auf Werkzeugabweichungen während der Verarbeitung (Joukio & Mansikkamäki, 1998).

Auch mit steigender Kompressibilität steigt somit die Rillbarkeit.

Faserart

Grundlegend gilt, dass Primärfasern bessere Eigenschaften (zum Beispiel Biegefestigkeit und Z-Festigkeit, Kompressibilität) aufweisen als Sekundärfasern. Das liegt daran, dass Sekundärfasern den Verarbeitungszyklus schon mindestens einmal durchlaufen haben. Die Fasern werden dabei gekürzt und deren Oberfläche angegriffen (Blehschmidt, 2011). Weiters muss in Lang- (Nadelholz) und in Kurzfasern (Laubholz) unterschieden werden. Kartons aus Langfasern weisen höhere Festigkeiten auf, jene aus Kurzfasern hingegen bilden bessere optische Eigenschaften aus. Außerdem sind die Form und Länge der Fasern, und somit deren Eigenschaften, klimaabhängig. Holz wächst in wärmeren Klima schneller und bildet deshalb Fasern mit größerem Durchmesser und mit geringeren Festigkeiten als in kälterem Klima (Hanlo, et al., 1998). Daraus lässt sich schließen, dass die höheren Festigkeiten von Fasern aus kälteren Gebieten den Rillbarkeitsbereich vergrößern. Der Vorteil von Fasern aus klimatisch wärmeren Gegenden liegt jedoch in der höheren Kompressibilität. Auch diese vergrößert den Rillbarkeitsbereich.

Kartonaufbau

Der Grad und die Symmetrie der Delaminierung sind auch abhängig vom Aufbau des Kartons. Dabei spielt die Anzahl der Kartonlagen eine große Rolle. Wird gerillter Karton gebogen, trennen sich zuerst die einzelnen Kartonlagen voneinander. Ist das nicht möglich, wird die Struktur der Lagen aufgebrochen und somit geschädigt (Joukio & Mansikkamäki, 1998). Mit sinkender Lagenanzahl sinkt somit der Grad der Delaminierung und die Wahrscheinlichkeit von Deckenrissen und asymmetrischen Wülsten steigt. Nach Fellers et al. (1983) ist nicht nur die Lagenzahl für gute Rillen verantwortlich, sondern auch die eingesetzten Rohstoffe in den einzelnen Lagen. Je flexibler die äußeren Lagen sind,

desto höher ist die Rillbarkeit des Kartons. Die Auswirkungen sinken jedoch mit steigender Lagenzahl. Weiters steigt die Rillbarkeit, wenn bei mehrlagiger Ausführung die mittleren Lagen aus Rohstoffen mit steiferen Fasern produziert werden. Dadurch steigt das Volumen. Das Material ist kompressibler und die Rillbarkeit steigt.

Wird Strich aufgetragen, wird die Flexibilität vermindert. Die Rillbarkeit wird geringer (*Elastizität und Dehnung*).

Außerdem verändern chemische Additive wie Binder (Chang-Keun, et al., 2010) und Stärke (Panek, 2014) die Rillbarkeit.

Feuchte

Die Feuchte des Kartons beeinflusst dessen Verformbarkeit. Mit sinkender Feuchte sinkt die Ausprägung der Rillen und der Biege widerstand steigt an (Panek, 2014). Zu trockener Karton neigt aufgrund verminderter Elastizität auch vermehrt zu Deckenrissen. Mit steigender Feuchte sinkt jedoch die Steifigkeit und Delaminierung wird erschwert (Joukio & Mansikkamäki, 1998).

Planlage

Liegt der Karton während der Rillung nicht plan, wird die Maschinengängigkeit negativ beeinflusst. Das Rillergebnis kann durch schlechte Planlage außerdem verschlechtert werden (Joukio & Mansikkamäki, 1998).

Rilleinstellungen

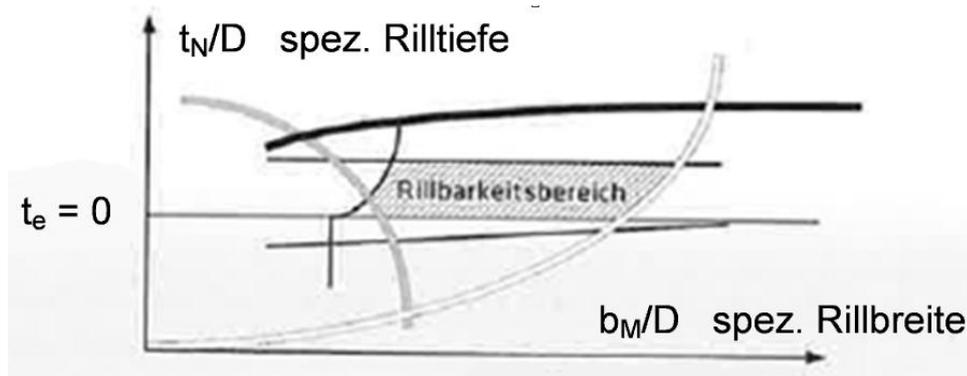
Ist der Rilldruck zu hoch, wird der Karton verformt, ist er zu niedrig, wird nicht ausreichend gerillt (Spanier, 2014). Nach Panek (2014) steigt die Wahrscheinlichkeit von Rissen mit steigender Rillgeschwindigkeit und steigendem Rillzug (bei Rotationsstanzen), die Festigkeitseigenschaften der Rille werden jedoch nicht beeinflusst.

Rillwerkzeug

Nicht nur die Wahl der Werkzeuge (2.2.1 *Maschinen und Werkzeuge für Rillverfahren*) beeinflusst das Rillergebnis, sondern auch deren Einsatzdauer. Mit fortschreitender Dauer werden die Werkzeuge naturgemäß abgenutzt und das Rillergebnis verschlechtert sich (Bobst GmbH, 2014).

2.2.3.2 Rillbarkeitsbereich

Grafisch kann die Rillbarkeit als Rillbarkeitsbereich dargestellt werden. Auf der x-Achse wird die spezifische Rillbreite (b_M/D), auf der y-Achse die spezifische Rilltiefe (t_N/D) aufgetragen. Die Achsen stellen also dimensionslose Kennzahlen dar, die auf die Kartondicke bezogen werden. Das bedeutet, dass der Rillbarkeitsbereich, und somit die Rillgeometrie in jedem Fall abhängig von der Kartondicke ist.



t_N = Tiefe der Rillnut
 b_M = Breite des Rillmesseres
 D = Kartondicke
 t_e = Eintauchtiefe

Abbildung 2-6: Rillbarkeitsbereich (nach Tenzer & Großmann, 1985)

Die schmalen schwarzen Linien in Abbildung 2-6 stellen technische Grenzen dar, also maximal und minimal mögliche Rillnuttiefe beziehungsweise Rillmesserbreite. Die schmale graue Linie verläuft waagrecht und ist die Grenze die durch die Eintauchtiefe definiert wird.

Wird die weiße Linie überschritten, kommt es aufgrund von mangelhafter Delaminierung zu verformten Wülsten (2.2.3.1 *Einflüsse auf die Rillbarkeit*). Die Grenze steigt parabolisch mit steigendem b_M/D und t_N/D . Das bedeutet, dass der Rillbarkeitsbereich mit steigender Rillnuttiefe beziehungsweise Rillmesserbreite eingeschränkt wird.

Die dicke schwarze Linie stellt die Grenze für Innenrisse dar. Sie verläuft eher flach, was bedeutet, dass die Breite des Rillmessers weniger Einfluss auf diese Grenze hat, als die Tiefe der Rillnut. Ist die spezifische Rilltiefe zu groß, kommt es daher vermehrt zu Innenrissen.

Wird die graue Linie unterschritten ist es wahrscheinlich, dass Deckenrisse auftreten. Dies geschieht durch zu geringe Delaminierung bei zu niedrigen Kennzahlen.

Es sollte darauf geachtet werden, nicht an den Grenzen des Rillbarkeitsbereichs zu arbeiten, sondern innerhalb dieser Grenzen. Ansonsten steigt die Gefahr von fehlerhaften Rillungen (Großmann, 1985).

2.2.3.3 Rillempfehlungen - Rillgeometrie

Die Berechnung des Rillbarkeitsbereichs ist aufwendig und ungenau. Daher wurden verschiedenste Rillempfehlungen ausgearbeitet. Meist werden diese von Rillwerkzeugherstellern oder Kartonproduzenten zur Verfügung gestellt, aber es gibt auch wissenschaftlich erarbeitete Empfehlungen.

Exemplarisch seien hier die Formeln der Rillempfehlungen nach einem FEPI-Merkblatt (FEPI, 2011) und Großmann (1985) dargestellt.

FEPI-Merkblatt

$$\text{Minimale Rillnutbreite quer zur FR} = b_m + 1,5 * D - 0,2 \text{ mm}$$

$$\text{Maximale Rillnutbreite quer zur FR} = b_m + 1,5 * D + 0,2 \text{ mm}$$

$$\text{Minimale Rillnutbreite in FR} = b_m + 1,5 * D - 0,3 \text{ mm}$$

$$\text{Maximale Rillnutbreite in FR} = b_m + 1,5 * D + 0,1 \text{ mm}$$

$$b_m = \text{Breite Rillmesser}$$

$$D = \text{Kartondicke}$$

Formel 2-2: Rillempfehlungen nach FEPI-Merkblatt (FEPI, 2011)

Großmann

$$\text{Rillnutbreite quer zur FR} = 2D + b_m$$

$$\text{Rillnutbreite in FR} = 0,9 * (2D + b_m)$$

$$\text{Rillnuttiefe} = D$$

$$b_m = 0,7 \text{ mm, wenn } D \leq 0,6 \text{ mm}$$

$$b_m = 1,05 \text{ mm, wenn } D \geq 0,6 \text{ mm}$$

$$b_m = \text{Stärke Rillmesser}$$

$$D = \text{Kartondicke}$$

Formel 2-3: Rillempfehlungen nach Grossmann (1985)

Beide Rillempfehlungen beziehen sich stark auf die Dicke des Kartons und wählen die Breite der Rillnut danach aus. Großmann bezieht auch die Rillnuttiefe und die Breite des Rillmessers auf die Dicke. Außerdem weisen beide Empfehlungen Unterschiede in der Breite der Rillnut bei Rillen in und quer zur Faserrichtung auf. Der Rillbarkeitsbereich für Rillungen in Faserrichtung ist immer kleiner als der für Rillungen quer zur Faserrichtung (Großmann, 2013). Das liegt an der höheren Biegesteifigkeit von Karton in Faserrichtung (Spanier, 2014). Die Breite der Rillnut für Rillen in Faserrichtung ist also kleiner zu wählen als jene für Rillen quer zur Faserrichtung um eine definierte Biegelinie zu produzieren.

Tabelle 2-5 zeigt die Rillempfehlungen der Mayr-Melnhof Karton GmbH.

Tabelle 2-5: empfohlene Rillparameter des Konzerns MM Karton GmbH

Kartondicke D	Breite Rillmesser b _M	Höhe des Rillmessers h _M	Breite Rillnut b _N		Tiefe der Rillnut t _N
			quer zur FR	in FR	
0,28 - 0,35	0,5	23,4	0,9 - 1,0	0,8 - 0,9	0,3
0,36 - 0,39	0,7	23,3	1,1 - 1,2	1,0 - 1,1	0,4
0,40 - 0,45	0,7	23,3	1,2 - 1,3	1,1 - 1,2	0,4
0,46 - 0,49	0,7	23,2	1,3 - 1,4	1,2 - 1,3	0,5
0,50 - 0,55	0,7	23,2	1,4 - 1,5	1,3 - 1,4	0,5
0,56 - 0,59	0,7	23,1	1,5 - 1,7	1,4 - 1,6	0,6
	1	23,1	1,7 - 1,9	1,6 - 1,8	0,6
0,60 - 0,65	1	23,1	1,9 - 2,1	1,7 - 1,9	0,7
0,66 - 0,69	1	23	2,1 - 2,3	1,9 - 2,1	0,7
0,70 - 0,75	1	23	2,3 - 2,5	2,1 - 2,3	0,8
0,76 - 0,79	1	22,9	2,5 - 2,7	2,3 - 2,5	0,8
0,80 - 0,85	1,5	22,9	2,7 - 2,9	2,5 - 2,7	0,9
0,86 - 0,89	1,5	22,8	2,7 - 3,0	2,5 - 2,7	0,9
0,90 - 0,95	1,5	22,8	3,1 - 3,3	2,8 - 3,0	1
0,96 - 1,00	1,5	22,7	3,4 - 3,5	3,0 - 3,2	1

alle [mm]

Auch die Werte dieser Tabelle zeigen, dass die empfohlenen Rillparameter abhängig von der Dicke des Kartons sind. Die Breite des Rillstahls und die Breite und die Tiefe der Rillnut steigen mit zunehmender Kartondicke. Die Höhe des

Rillmessers nimmt ab. Die Werte dieser Tabelle stammen aus dem letzten konzerninternen Rill- und Stanzwerkversuch aus dem Jahr 2005.

2.2.4 Beurteilung von Rillen

Rillen können visuell oder mechanisch beurteilt werden. Im deutschsprachigen Raum liefern die Normen DIN 55437-2 und DIN 55437-3 dafür die Grundlage.

2.2.4.1 Normative Grundlagen

DIN 55437-2 regelt die visuelle Beurteilung von Rillen. Eine Rille gilt darin als fehlerhaft, wenn an der Rillenaußenseite nach Biegen um 180° Risse sichtbar sind. Die DIN 55437-3 hingegen formuliert Richtlinien zur mechanischen Beurteilung von Rillen. Es kann der Faltfaktor (f , Formel 2-4) oder das Biegeverhältnis (B , Formel 2-5) bestimmt werden.

$$f = \frac{\text{Biegeverhältnis der gerillten Probe} * \text{Einspannlänge}}{\text{Biegesteifigkeit des Kartons}}$$

Formel 2-4: Definition des Faltfaktors nach DIN 55437-3

$$B = \frac{\text{max. Biegeverhältnis der gerillten Probe}}{\text{max. Biegeverhältnis der ungerillten Probe}}$$

Formel 2-5: Definition des Biegeverhältnisses

Beide Werte geben die Schwächung des Kartons im gerillten Bereich an und können als Diagramm dargestellt werden. Dabei wird auf der x-Achse der Biegewinkel [°] und auf der y-Achse der Biegemomentwiderstand [mNm/m] aufgetragen (Abbildung 2-7). Der Konzern Mayr-Melnhof bewertet die Rillen nach dem Biegeverhältnis. Als optimal gelten Rillen mit einem B von 0,5.

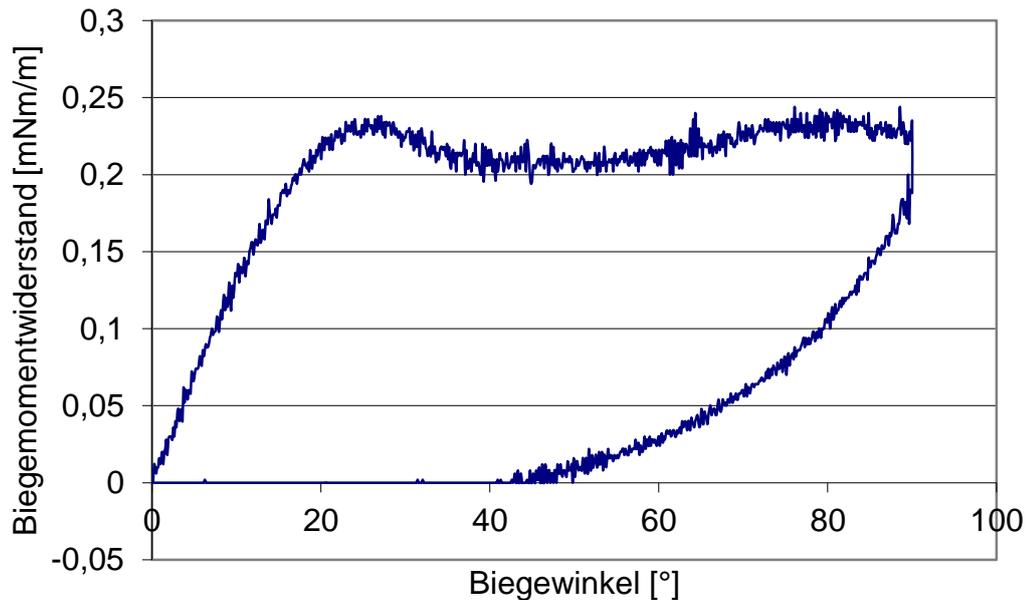


Abbildung 2-7: Diagramm einer Biegemessung nach DIN 55437-3 (FL MCM 250)

Bei guten Rillen ist die Anfangsverformung der Kurve annähernd linear, bis der elastische Bereich verlassen wird und die plastische Verformung einsetzt (Mentrasti, et al., 2013). Die Kurve steigt weiter, bis der maximale Biegemomentwiderstand des Kartons erreicht wird. Nach DIN 55437-3 sollte die Steigung in diesem Bereich nicht zu steil sein, das würde auf zu geringe Änderung des Gefüges im Rillbereich hinweisen.

Für den Bereich nach dem maximalen Biegemomentwiderstand steht in der Norm:

„Zwischen Biegewinkeln von etwa 20° bis 30°, findet die Lagentrennung in der Kartonebene statt. Zeichen einer guten Lagentrennung ist die Verminderung der Kurvensteigung in diesem Bereich auf mindestens einen konstanten Wert des Biege widerstandes. Er ist charakteristisch für die Schädigung in der Rillzone“ (DIN, 2008).

Ab der Stelle des maximalen Widerstandes kommt es bei guten Rillen also aufgrund von Delaminierungseffekten (2.2.3.1 *Einflüsse auf die Rillbarkeit*) zum Erweichen des Materials. Die Steigung der Kurve nimmt ab.

Nach diesem Bereich wird die Steigung der Kurve wieder steiler. Das liegt daran, dass mit steigendem Biegewinkel die Spannungen an der Außenseite steigen. Diese addieren sich zu den bestehenden Spannungen in der Rille. Außerdem stützt sich der entstehende Wulst gegen die Kartoninnenseiten, was auch zu steigenden Spannungen führt (DIN, 2008).

Wird der gewünschte Biegewinkel erreicht, im Fall dieser Arbeit 90° (3.3.2 *Mechanische Beurteilung von Rillen*), wird die Probe wieder entlastet. Nach Mentrasti et al (2013) ist der Verlauf der Kurve bei Entlastung sehr monoton, bis der Widerstand den Wert null einnimmt.

2.2.4.2 Geometriefaktor γ

Aktuelle Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die mechanische Beurteilung von Rillen. Nagasawa et al. (2003) führten einen Geometriefaktor ein, der die Kartondicke abzüglich der Eintauchtiefe des Rillmessers ins Verhältnis mit der Rillnutbreite setzt und nannten diesen „*nominale Initialscherbelastung*“ (Formel 2-6).

$$\gamma = \frac{2 * (D - t_e)}{b_N}$$

γ = *nominale Initialscherbelastung*

D = *Kartondicke*

t_e = *Eintauchtiefe des Rillmessers*

b_N = *Breite der Rillnut*

Formel 2-6: nominale Initialscherbelastung (Nagasawa, et al., 2003)

Stellt man nun Biegekurven wie oben erwähnt nach DIN 55437-3 für verschiedenen Geometriefaktoren γ dar, wird der Einfluss der Rillgeometrie nochmals deutlich (Abbildung 2-8). Die rote Kurve ($\gamma = 0,0$) ist die Kurve einer ungerillten Probe. Die darunter liegenden Kurven sind Kurven gerillter Proben. Die grüne Kurve ($\gamma = 0,21$) stellt die Probe mit breitester Rille dar, die gelbe die mit schmälerer Rille. Es ist eindeutig, dass der Biegemomentwiderstand nach dem Rillen, wie beabsichtigt, absinkt. Es verändert sich jedoch nicht nur der Wert des Widerstandes, sondern auch die Form der Kurven.

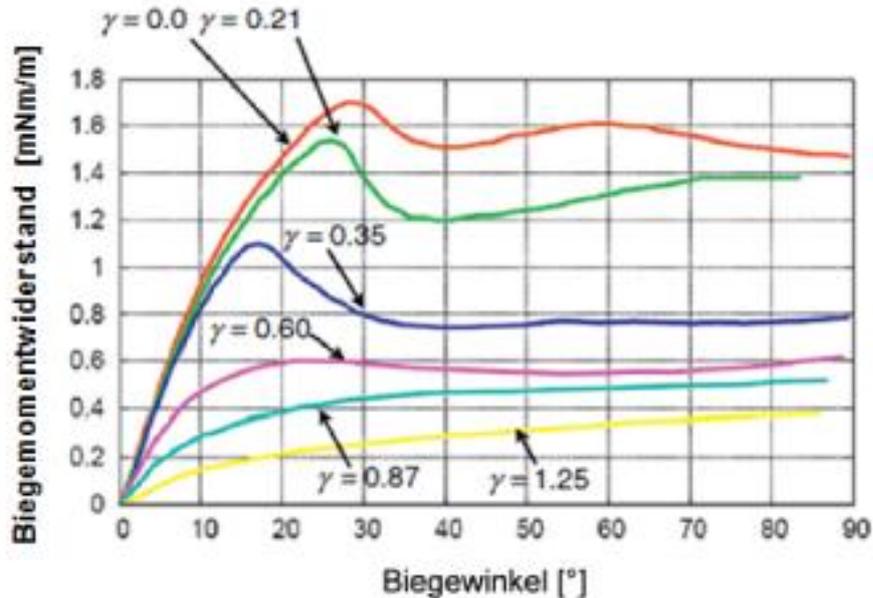


Abbildung 2-8: Biegeversuche von Kartonen mit verschiedenen Scherbelastungen
(nach Nagasawa, et al., 2003)

Bei $\gamma < 0,6$ treten nach der Anfangsverformung lokale Biegegewiderstandsmaxima auf. Diese Maxima treten für kleinere γ bei größeren Biegewinkeln auf. Der Grund dafür ist die höhere Biegesteifigkeit durch geringere Gefügeänderung durch die Rillen. Nach diesen Maxima wird elastische Energie abrupt frei und es kommt zur Verminderung des Biegemomentwiderstandes (Carlsson, et al., 1983). Wie oben beschrieben erweicht das Material. Danach kommt es zu einem Plateau. Das Gefüge in diesen Fällen (in der Abbildung $\gamma = 0,21$ und $\gamma = 0,35$) wurde in einem zu geringen Maß geändert um eine gute Rille zu bilden. Die Biegesteifigkeit wurde aufgrund falscher Rilleinstellungen nicht ausreichend gesenkt. Wird γ jedoch zu groß gewählt (in der Abbildung $\gamma = 1,25$), treten Delaminierungseffekte auch über die Grenzen des Rillbereichs auf und an der Biegestelle kann keine exakte Kante gebildet werden (Nagasawa, et al., 2003). Nach Giampieri et al. (2011) weist die ideale Rille einen Wert zwischen 0,61 und 0,88 auf. Bei diesen Kurven tritt kein extremes Maximum auf. Das bedeutet, die Gefügeänderung hat weitestgehend bereits in der Anfangsphase stattgefunden und endet vor dem Eintreten der plastischen Verformung. Jedoch ist die Änderung auf den zu rillenden Bereich beschränkt.

Auch Abbildung 2-9 zeigt anhand von gebogene Kartons mit unterschiedlichem γ den Geometrieinfluss. (a) zeigt eine ungerillte Probe. Der Wulst ist deformiert, die Decke aufgerissen und Delaminierungseffekte traten kaum auf. Auch (b) zeigt eine ungenügend ausgeführte Rille. Sie wurde zu breit gewählt, γ ist klein, was nur zu minimaler Delaminierung und Deckenrissen führte. (e) und (f) zeigen schmale Rillungen (großes γ). Die Delaminierung erstreckt sich nicht nur über den gewünschten Bereich sondern auch darüber hinaus. Das Material außerhalb des Rillbereichs wird somit auch geschädigt. In beiden Fällen kommt es zu undefinierten und asymmetrischen Rillen (Nagasawa, et al., 2003). (c) und (d) zeigen gute Rillen. Es sind weder Risse an der Innen- noch an der Außenseite erkennbar, die Wülste sind symmetrisch und trapezförmig. Delaminierung fand in passendem Maß und innerhalb des Rillbereichs statt.

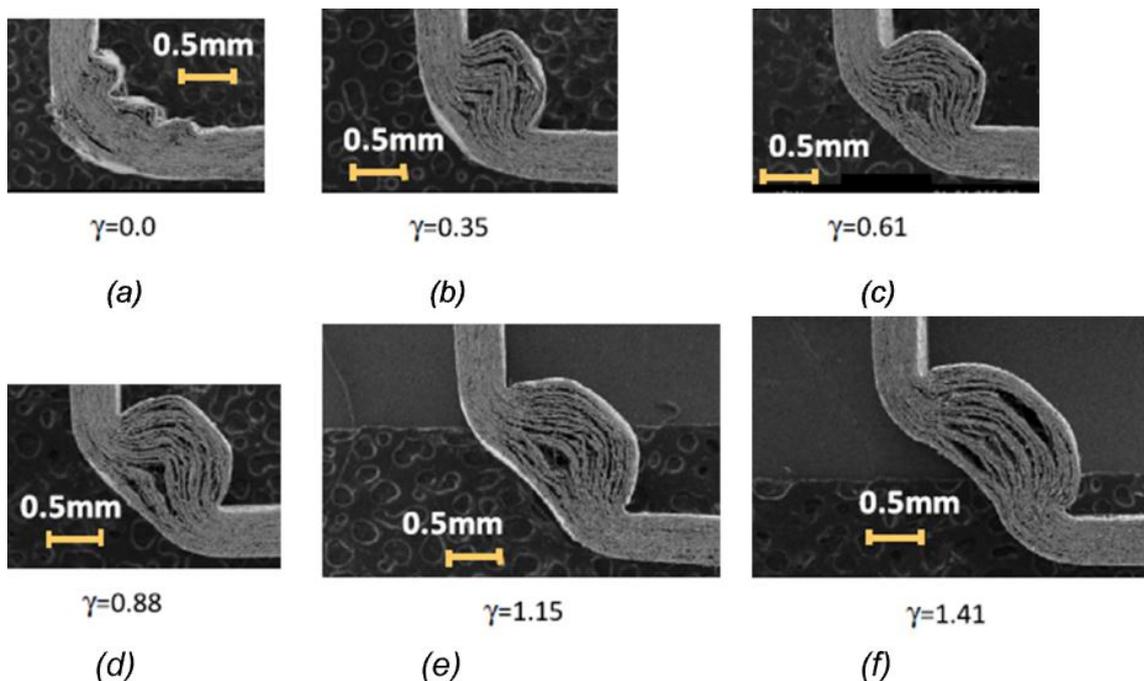


Abbildung 2-9: Gebogene Rillen mit verschiedenen initialen Scherbelastungen
(Nagasawa, et al., 2003)

Trotz des offensichtlichen Einflusses von γ , beschreibt dieser Faktor letztendlich nicht, wie die tatsächliche Ausbildung der Rille das Rillergebnis beeinflusst. Um die Auswirkung der oben erwähnten plastische Verformung auf das Rillergebnis beurteilen zu können, wurde der Geometriefaktor γ (Formel 2-6)

deshalb im Zuge dieser Arbeit adaptiert. Statt der Breite der Rillnut wurde in den Divisor die tatsächliche Breite der Rille eingesetzt (Formel 2-7).

$$\gamma_{tats.} = \frac{2 * (D - t_e)}{b_R}$$

$\gamma_{tats.}$ = nominale Initialscherbelastung

D = Kartondicke

t_e = Eintauchtiefe des Rillmessers

b_R = tatsächliche Breite der Rille

Formel 2-7: nominale Initialscherbelastung, erweitert um die plastische Verformung im Rillbereich (nach Nagasawa et al., 2003)

Dadurch ist es möglich Ergebnisse des theoretischen Geometriefaktors mit jenen des tatsächlich wirksamen Geometriefaktors zu vergleichen. Man kann demnach untersuchen, welchen Einfluss Faktoren wie zum Beispiel Grammaturnummer oder Lagenzahl auf die plastische Verformung und somit auf die Rillbarkeit von Karton haben.

3. Untersuchungen

Im Folgenden werden das verwendete Material und die eingesetzten Methoden beschrieben.

3.1 Material²

Die Mayr-Melnhof Karton GmbH stellt Kartons verschiedenster Spezifikationen her. Für den Verarbeitungsversuch des Konzerns wurden Primärfaserkartons und Sekundärfaserkartons unterschiedlichster Spezifikation, Grammatur, Zusammensetzung mit unterschiedlichstem Aufbau getestet (Anhang 3) und verglichen.

Die Bezeichnung der einzelnen Sorten setzt sich aus der Abkürzung des produzierenden Werks, des Sortennamens und der Grammatur zusammen.

Die folgende Tabelle zeigt die Produktionstechnologie der Werke des Konzerns. Neben dem eingesetzten Rohstoff ist vor allem die Anzahl der Lagen des Kartons für die Rillbarkeit wichtig (2.2.3.1 *Einflüsse auf die Rillbarkeit*).

Tabelle 3-1: Produktionsprinzipien der Werke des Konzerns Mayr-Melnhof GmbH

Werk	KM	Rohstoff	Former	Kartonlagen	Strichlagen (DS)
BB	KM 1	PF	Langsieb	3	2
EB	KM 3	PF	Langsieb	3	2
FL	KM 2	SF	Saugformer	10	3
	KM 3	SF	Langsieb	4	2
GE	KM 2	SF	Langsieb	4	2
HW	KM 4	SF	Rundsieb	10	2
KK	KM 2	SF	Hybridformer	8	3
	KM 3	SF und PF	Langsieb	3	3
NE	KM 5	SF	Langsieb	3	3

Der Hybridformer der KM 2 in KK ist eine Kombination aus Langsieben und Rundsieben. Die Decklagen werden mittels Langsieb, die Einlage mit 6 Rundsieben geformt.

² Alle Informationen zu den Materialien und Werken stammen direkt vom Konzern Mayr-Melnhof GmbH

Die Rückseite der Kartons aller Werke ist einlagig gestrichen.

Da es im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht möglich war, alle Sorten zu testen, wurde aus den zur Verfügung stehenden Sorten eine Auswahl getroffen. Diese Auswahl wurde – wie von der Mayr-Melnhof Karton GmbH gewünscht - so gewählt, dass neben den Rohstoffeinflüssen das Spektrum der testbaren Grammaturn- und Aufbaueinflüsse größtmöglich ist, und die Werke miteinander vergleichbar werden (Tabelle 3-2).

Tabelle 3-2: getestete Sorten im Rahmen der Diplomarbeit

Spezifikation	Werk	Sorte	[g/m ²]			
GC1	EB	Silvawhite	250	350	-	-
	BB	Optimus Top	-	350	-	-
GC2	BB	Excellent Top	250	350	450	-
	KK	Excellent Top	250	350	400	-
GT2	KK	Bepak	250	350	450	-
GD2	FL	Multicolor Mirabell	250	350	450	-
	HW	Multicolor Mirabell	-	-	450	650
	NE	Multicolor Mirabell	250	350	-	-
	GE	Multicolor Mirabell	280	350	450	-
GD3	KK	Multicolor Spezial	250	-	450	-
	FL	Multicolor Spezial	250	350	450	-
	HW	Multicolor Spezial	-	-	450	650

3.1.1 Gewählte Grammaturnen

In einem ersten Schritt wurde festgelegt, dass jeweils eine niedrige, eine mittlere und eine hohe Grammaturn gemessen werden (250, 350 und 450 [g/m²]). Bei der Sorte *GE Multicolor Mirabell* stand keine Grammaturn 250 [g/m²] zur Verfügung, deshalb wurde die Sorte mit 280 [g/m²] gemessen. Bei der Sorte *KK Excellent Top* verhielt es sich gleich mit der 450 [g/m²]-Sorte und es wurde jene mit 400 [g/m²] getestet. Das Werk Hirschwang (*HW*) stellt sehr hohe Grammaturnen her. 250 und 350 [g/m²] entfielen deshalb, es wurden jedoch zusätzlich 650 [g/m²] gemessen. Die Sorten *EB Silvawhite* und *BB Optimus Top* werden nur bis 350 [g/m²] produziert. Von *BB Optimus Top* stand nur die 350 [g/m²]-Sorte für Messungen zur Verfügung.

3.1.2 Primärfaserkartons

Bei der Auswahl der zu testenden Primärfaserkartons wurde aus beiden zur Verfügung stehenden Spezifikationen (GC1 und GC2) Sorten gewählt.

3.1.2.1 GC1

Im Fall von GC1 wurden alle drei Sorten gemessen. Die Sorten *BB Optimus Top* und *EB Silvawhite* wurden gewählt, um die beiden Werke miteinander vergleichen zu können. Diese Sorten sind im Aufbau (Tabelle 3-1) und der Zusammensetzung sehr ähnlich. Beide Werke produzieren mit Langsieben dreilagigen Karton mit zweilagigem Außenstrich. Für *BB Optimus Top* werden in der Mittellage jedoch mechanische gewonnene Primärfasern, für *EB Silvawhite* gebleichte chemisch-thermisch-mechanisch gewonnene Primärfasern (CTMP) eingesetzt (Anhang 1).

3.1.2.2 GC2

Für GC2 wurden die Sorten *BB Excellent Top* und *KK Excellent Top* gewählt. *KK Excellent Top* wurde auf der KM3 produziert. Die beiden Sorten also haben die gleiche Zusammensetzung und bis auf die Anzahl der Strichlagen gleichen Aufbau. (Tabelle 3-1, Anhang 1).

3.1.3 Sekundärfaserkartons

Bei der Auswahl der Sekundärfaserkartons wurde darauf geachtet, dass Sorten gewählt werden, die miteinander vergleichbar sind. Deshalb wurden Sorten gleicher Spezifikation und Grammatur gewählt, die in mehreren Werken produziert werden (Anhang 2).

3.1.3.1 GD2

Die gewählte Sorte *Multicolor Mirabell* wird in den Werken Frohnleiten, Gernsbach, Neuss und Hirschwang hergestellt. Durch die gleiche Kartonspezifikation ist es möglich eventuelle Unterschiede explizit dem Produktionsprinzip (Tabelle 3-1) oder den werksinternen technischen Spezifikationen zuzuweisen.

3.1.3.2 GD3

Hier wurde die Sorte *Multicolor Spezial* der Werke KK, FL und HW getestet. Es gilt das gleiche wie für die gemessenen GD2-Sorten. Die 250 [g/m²]-Sorte aus Frohnleiten wurde auf der KM3 (4 Lagen), die 350- und 450 [g/m²]-Sorten auf KM2 (10 Lagen) produziert. Die 250- und 350-[g/m²] Sorten aus Kolicveo wurden auf der KM3 (3 Lagen) und auf die 450-[g/m²]-Sorte auf der KM2 (8 Lagen) produziert. Somit können eventuelle Unterschiede der einzelnen Grammaturen auf die unterschiedliche Lagenzahl bezogen werden.

3.1.3.3 GT2

KK Belpak wird Sorte wird auf der KM3 produziert, ist also dreilagig (Tabelle 3-1). Kolicveo produziert Karton aus Primärfasern und Sekundärfasern. Für das Werk stehen damit breitgefächerte Daten zur Verfügung, die Primärfaser- und Sekundärfaserkartons mit unterschiedlichem Aufbau für die einzelnen Grammaturen beinhalten. Es ist unter anderem möglich die Primärfasersorte (*KK Excellent top*) mit der GT2 Sorte *KK Belpak* unter Ausschluss von Maschineneinflüssen zu untersuchen.

3.2 Methoden für die Probenherstellung

Im Folgenden werden die Methoden beschrieben, welche angewandt wurden, um die Untersuchungen der Mayr-Melnhof Karton GmbH durchzuführen. Die entstandenen Nutzen wurden mit den unter 3.3 *Methoden für die Rillenbeurteilung* beschriebenen Methoden zur Beurteilung von Rillen untersucht.

3.2.1 Dickenmessung

Wie oben beschrieben ist die Dicke des Materials ausschlaggebend für die Wahl der Rillparameter. Trotz Spezifikation wurden alle Kartone vor dem Rillversuch nochmals getestet, um sicherzugehen, dass die richtigen Rillparameter gewählt werden.

Die Dickenmessungen wurden mit Hilfe eines L&W Micrometers gemäß EN ISO 534 durchgeführt.

3.2.2 Bedrucken - Offsetdruck

Da Faltschachtelkarton häufig mittels Bogenoffsetdruckverfahren bedruckt wird (Blechschmidt, 2010), wurde dieses Verfahren auch für die Untersuchungen des Konzerns angewandt.

Bedruckt wurden die Proben bei der Firma Schachnerpack in Pinkafeld, Österreich. Gedruckt wurde auf einer *KBA Rapida 106*, einer Bogenoffsetmaschine mit sechs Farb- und vier Lackwerken. Es wurde die Farbe *Sun Chemical: FSP Pantone 3425 (grün)* verwendet. Zusätzlich zur Farbe wurde das gesamte Sujet mit dem Dispersionslack *Vegra 1200/50* und eine Hälfte des Sujets zusätzlich mit dem UV-Lack *Vegra VP 10169/50 Hochglanz* bedruckt. Das Sujet wurde entsprechend der geforderten Faltschachteln gewählt (Abbildung 3-1). Pro Bogen wurden neun Nutzen aufgedruckt und mit der genauen Bezeichnung der jeweiligen Sorte versehen. Teilungen für die Biege- und Widerstandsmessungen wurden auch aufgedruckt. Deren Abmessungen entsprechen der Norm DIN 55437-3 und die Teilungen wurden so gewählt, dass für die spätere Biege- und Widerstandsmessung gerillte und ungerillte Proben, jeweils in Ma-

schinenrichtung und quer zur Maschinenrichtung zur Verfügung standen. Außerdem wurde ein Platzhalter in Form eines weißen Rechtecks für das Einprägen der jeweiligen Rillparameter geschaffen.



Abbildung 3-1: Beispielsnutzen

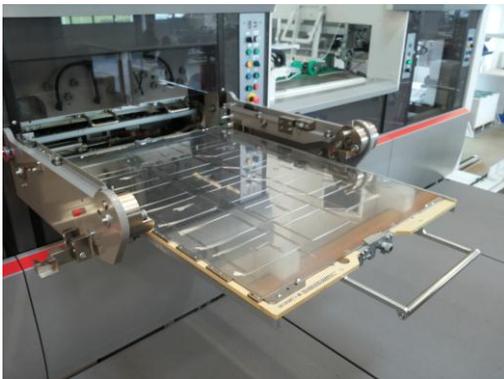
3.2.3 Stanzen und Rillen

Gerillt und gestanzt wurde in Meerbusch, Deutschland, im Kompetenzzentrum der Firma Bobst GmbH. Verwendet wurde die Flachbettstanze *ExpertCut 106 PER*. Die Rillwerkzeuge wurden entsprechend dem Sujet von der R&S Stanzformen GmbH (An der Rosenhelle 10, D-61138 Niederdorfelden) gefertigt. Sie wurden als Bandstahlschnittwerkzeuge ausgeführt. Deren Rillnuten und Rillmesser entsprechen der aktuellen Rillempfehlung der MM Karton GmbH. Für die einzelnen Kartondicken wurden 18 verschiedene Rillparameter benötigt. Dafür wurden zwei Gegenstanzplatten mit jeweils 9 Parametern in Form von Stanz-Rillplatten gefertigt (Tabelle 3-3). Da das Zurichten beim Stanzen viel Zeit in Anspruch nimmt, wurden die Sorten davor nach Dicke sortiert und jeweils mit der Gegenstanzplatte gerillt, auf der der passende Nutzen saß. Das bedeutet, dass jede Sorte mit 9 Parametern gerillt wurde.

Tabelle 3-3: Parameter der Stanzformen

Stanzform 1	Breite Rillnut		Breite Rillmesser b_M	Tiefe der Rillnut t_N	Stanzform 2	Breite Rillnut		Breite Rillmesser b_M	Tiefe der Rillnut t_N
	Nutzen	b_N				b_N	Nutzen		
	quer zur FR	in FR			quer zur FR	zur in FR			
1	0,9	0,8	0,5	0,3	2	1,9	1,05	0,5	
2	1	0,9	0,5	0,3	2,1	2	1,05	0,5	
3	1,1	1	0,71	0,4	2,2	2,1	1,05	0,5	
4	1,2	1,1	0,71	0,4	2,3	2,2	1,42	0,5	
5	1,3	1,2	0,71	0,4	2,4	2,3	1,05	0,5	
6	1,4	1,3	0,71	0,4	2,8	2,7	1,05	0,6	
7	1,5	1,4	0,71	0,4	2,9	2,8	1,42	0,6	
8	1,6	1,5	0,71	0,4	3,1	3	1,42	0,6	
9	1,9	1,8	1,05	0,5	3,3	3,2	1,42	0,6	

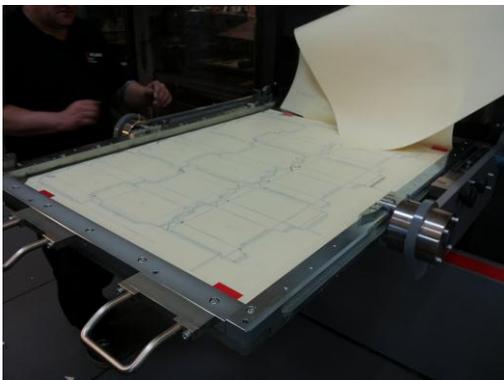
alle [mm]



(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 3-2: (a) Matrize; (b) Patrize; (c) Zurichtebogen; (d) bedruckte, gerillte und gestanzte Nutzen

Abbildung 3-2 (a) zeigt die eingesetzte Matrize, ausgeführt als Stanz- Rillplatte und (b) zeigt die Patrize. Zum Ausgleich von Werkzeugunebenheiten und somit Druckunterschieden wurde ein Zurichtebogen (c) verwendet. Dieser wird partiell mit Klebebändern hinterlegt, um Ungleichheiten auszugleichen. (d) zeigt bedruckte, gerillte und gestanzte Nutzen.

3.3 Methoden für die Rillenbeurteilung

Zur Beurteilung der Rillen wird eine optische und mechanische Messung herangezogen. Die Ergebnisse werden dann mit der visuellen Beurteilung des Konzerns verglichen.

Die optische Messung dient dazu, die Verformung der Rillen zu erfassen. Zur mechanischen Beurteilung wurden die Proben einer Biegemessung unterzogen. Für beide Messungen wurden jene Nutzen herangezogen, welche der Rillempfehlung der Mayr-Melnhof Karton AG entsprechen. Weiters wurden jeweils die Nutzen mit der darüber und darunter liegenden Rillung gemessen, um zu überprüfen, ob leichte Abweichungen von der Rillempfehlung das Ergebnis verbessern oder verschlechtern.

Pro Nutzen wurden jeweils drei Messungen in und quer zur Faserrichtung durchgeführt.

3.3.1 *Optische Vermessung von Rillen – Alicona IFM*

Zur Erfassung der tatsächlichen Rillengeometrie wurden die Rillen – vor dem Biegen – optisch vermessen. Dazu wurde ein Infinite Focus Optical 3D Measurement Device (IFM) der Firma Alicona Imaging GmbH verwendet³. Das Gerät vermisst die Oberfläche von Proben mittels Fokussierung eines Mikroskops und gibt die Werte als 3D Bild wieder (Abbildung 3-3). Die Rasterpunkte dieses Bildes werden ausgelesen und mit Hilfe von Verarbeitungsprogrammen ausgewertet. Die zu vermessende Fläche wurde so groß gewählt (6x1 mm), dass eventuelle Abdrücke der Rillmesser das Ergebnis nicht mehr beeinträchtigen.

Es wurde das 5-fach-Objektiv und eine vertikale Auflösung von 816 Nanometern gewählt. Diese Einstellungen garantieren eine genaue Aufzeichnung der Rille, ohne die Messung durch zu starke Topographieaufzeichnung (Rauigkeitsmessung) des Kartons in die Länge zu ziehen. Die Dauer einer Messung betrug etwa 14 Minuten.

³ Näheres zu diesem Gerät in: <http://www.alicon.at/home/>

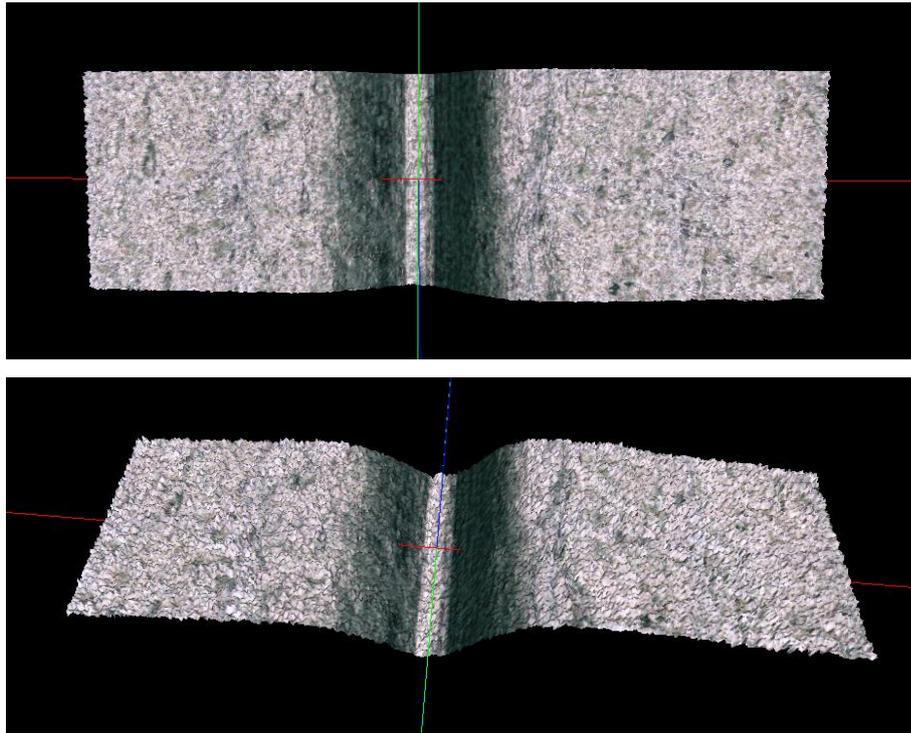


Abbildung 3-3: Beispielbild der IFM-Messung (FL MCS 450_Nutzen1_in FR1)

3.3.1.1 IFM-Auswertung – MatLab

Für die Auswertung der IFM-Messdaten wurde das Verarbeitungsprogramm MatLab⁴ gewählt. Mit Hilfe von MatLab wurde ein Programm geschrieben, das die ausgelesene Textdatei in eine MatLab-Datei umwandelt, die Form der Rillen berechnet und die Werte zur weiteren Verwendung speichert.

Abbildung 3-4 zeigt die Rillbreite und Rilltiefe wie mit Hilfe von MatLab berechnet. Das Bild wird aus den einzelnen Messpunkten des Mikroskops generiert. Es besteht demnach aus Zeilen und Spalten. Um die durchschnittlichen Werte der Rillgeometrie zu ermitteln, wurde für jede Zeile das Minimum und das Maximum berechnet. Um falsche Berechnungen auszuschließen, wurde vom Programm jeweils eine Eingabe gefordert, welche den Bereich bestimmt in dem das Programm ausgeführt wird. In der Abbildung sind diese als Rechtecke eingezeichnet. Im violetten Bereich wird das durchschnittliche Zeilenminimum berechnet, das zur Berechnung der Rillentiefe herangezogen wird. Die grünen Bereiche dienen auch zur Berechnung der

⁴ Näheres zu diesem Programm in: <http://www.mathworks.de/products/matlab>

Rillentiefe. Hier führt das Programm bei symmetrischer Rille beidseitig eine Berechnung des Durchschnittswerts durch und errechnet aus den beiden Werten wiederum ein Mittel. Ist die Probe nicht symmetrisch, ist es möglich nur eine Seite zu wählen. Die Differenz aus dem violetten Bereich und den grünen Bereichen ergibt die Rillentiefe.

Für die Berechnung der Rillbreite wurde in den braunen Bereichen jeweils der durchschnittliche maximale Wert berechnet. Der Abstand dieser Werte ergibt die Rillbreite.

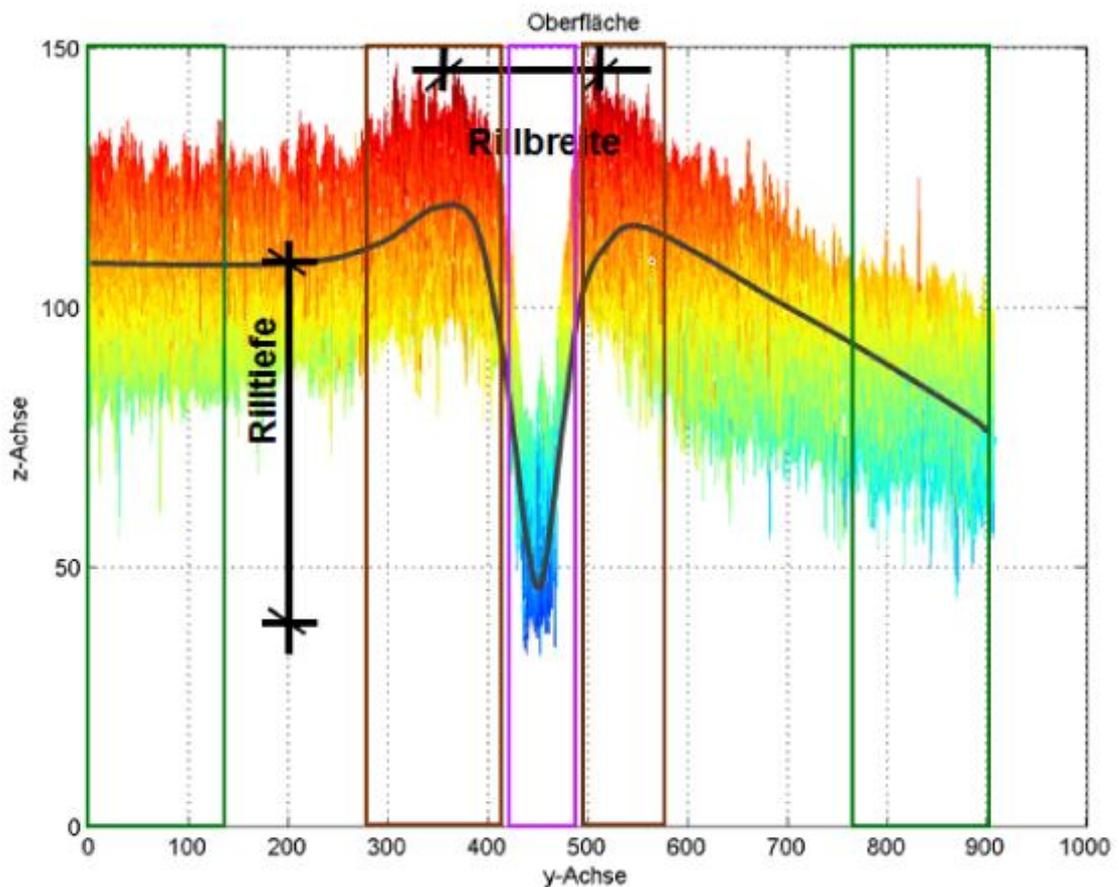


Abbildung 3-4: Darstellung der berechneten Rilltiefe und Rillbreite
(Beispiel: FL MCM 450_N2_quer zur FR 2)

3.3.2 Mechanische Beurteilung von Rillen

Für die mechanische Beurteilung der Rillen, wurde das in DIN 55437-3 erwähnte Verfahren mittels Biegemomentwiderstandsverhältnis herangezogen. Dafür wurden jeweils ungerillte und gerillte Proben gemessen und das Ergebnis zusätzlich in Form eines Diagramms dargestellt.

Es ein L&W Bending Tester (Code 160) verwendet⁵. Für den durchgeführten Test wurde die Einstellung „Auto touch“ gewählt. Das bedeutet, die Messung wird nicht manuell sondern voll automatisch durchgeführt. Diese Vorgehensweise garantiert eine reproduzierbare Messung. Weiters wurde die Einstellung „Creasability“ (=Rillbarkeit) verwendet. Dabei wird die Probe bis zu einem Winkel von 90°C gebogen und das Biegemoment gemessen. Zusätzlich wird auch die Entlastungsphase gemessen. Nach DIN 55437-3 wird auf die Abszisse des Diagramms der Biegewinkel [°] und auf die Ordinate der Biegemomentwiderstand [mNm/m] aufgetragen. Innerhalb des Konzerns wird auf die Ordinate jedoch das Biegemoment [mNm] aufgetragen, wodurch das Diagramm nicht mehr exakt der Norm entspricht. Die Umrechnung erfolgt über die Einspannlänge, diese beträgt im Falle dieser Arbeit immer 50 [mm].

$$\text{Biegemoment [mNm]} = \text{Biegemomentwiderstand} \left[\frac{\text{mNm}}{\text{m}} \right] * \text{Einspannlänge [m]}$$

Formel 3-1: Umrechnung des Biegewiderstandes in das Biegemoment

Abbildung 3-4 zeigt, dass die Kurven sich durch die Umrechnung nur quantitativ, nicht qualitativ ändern. Es wurde deshalb entschieden in dieser Diplomarbeit das Diagramm in der Form des Konzerns zu verwenden, so können die Ergebnisse wie in dieser Arbeit dargestellt vom Konzern übernommen werden. Das zur Beurteilung herangezogene Verhältnis ist somit auch kein Biegemomentwiderstandsverhältnis, sondern ein Biegemomentverhältnis.

⁵ Näheres zu diesem Gerät in: <http://l-w.com/produkt/lw-bending-tester/>

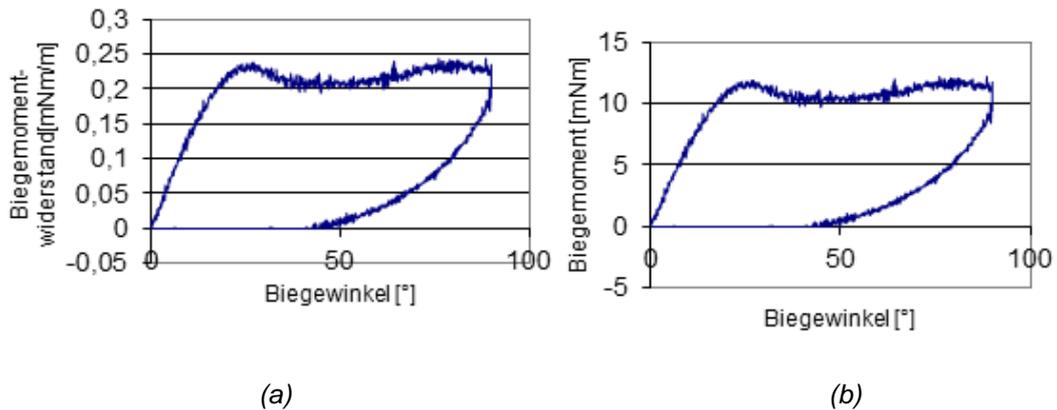


Abbildung 3-4: Diagramme einer Biegemessung, nach Norm (a) und wie vom Konzern Mayr-Melnhof Karton GmbH dargestellt (b) (FL MCM 450_N2_quer zur Faserrichtung 2)

Die blauen Pfeile in Abbildung 3-5 zeigen Werte an, die der L&W Bending Tester zusätzlich zu den Kurven ausgibt. Für die Untersuchungen dieser Arbeit stellt das maximale Biegemoment dabei den wichtigsten Wert dar. Auch die Steifigkeit [N] wird vom L&W Bending Tester ausgegeben (nicht in der Abbildung). Diese ist wie oben erwähnt auch ein wichtiger Wert für die Beurteilung der Rillbarkeit.

Die Abbildung stellt auch den Unterschied der Biegekurven von Rillen in Faserrichtung und Rillen quer zur Faserrichtung dar. Die Messkurven von Rillen quer zur Faserrichtung verlaufen wie die in 2.2.4.1 *Normative Grundlagen* beschriebene Kurve. Die gerillte und ungerillte Probe zeigt eine lineare Anfangsverformung, die in plastische Verformung übergeht. Die Verformung wird größer bis das maximale Biegemoment erreicht ist. Die gerillte Probe erreicht diesen bei einem kleineren Winkel. Das liegt an der Absenkung der Steifigkeit des Kartons durch die Rille.

Danach kommt es zum Erweichen des Materials. Bei der ungerillten Probe erfolgt dies in einem engeren Biegewinkelspektrum als bei der gerillten Probe, da sich der verformte Wulst an die Kartoninnenseite stützt und so die Spannungen wie oben beschrieben steigen (2.2.4.1).

Beim Rillen in Faserrichtung entfallen die lokalen Biegemaxima oftmals. Doch auch hier sinken die Werte nach der Rillung durch verminderte Steifigkeit.

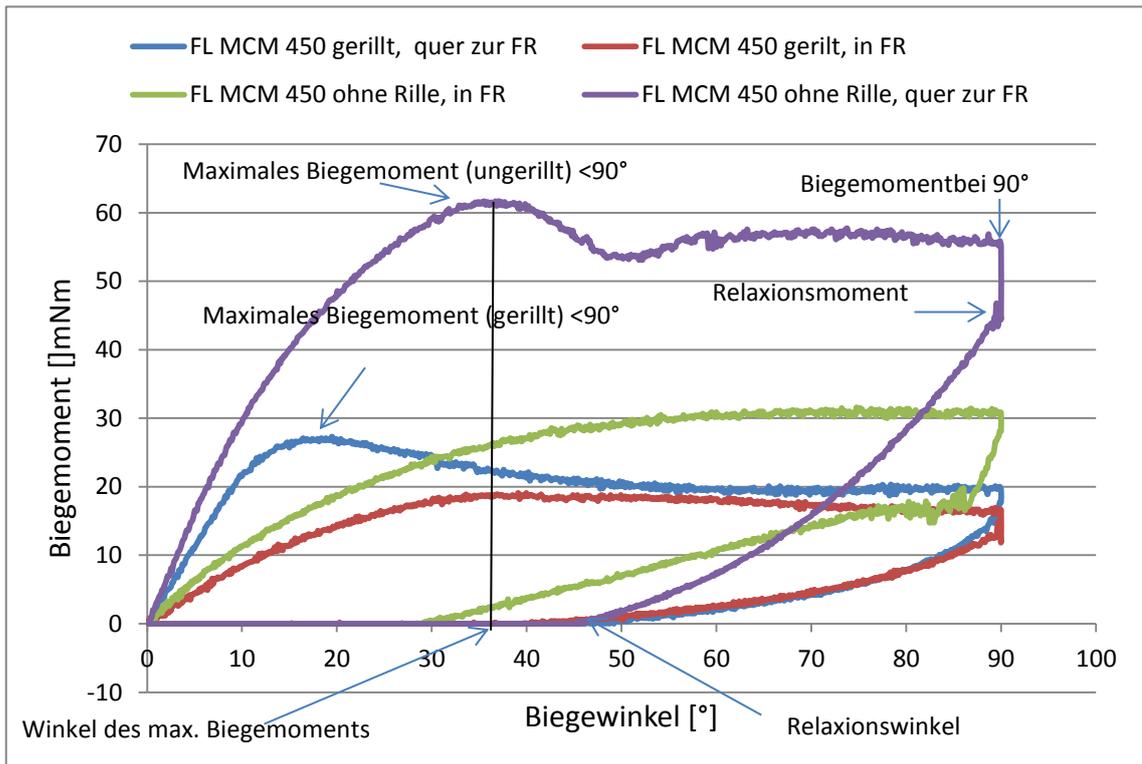


Abbildung 3-5: Darstellung von gerillten/ungerillten Proben und Rillen quer zur Faserrichtung und in Faserrichtung (FL MCM 450)

4. Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die nach 3.3 *Methoden für die Rillenbeurteilung* durchgeführten Messungen ausgewertet. Anhang 4 zeigt in einer Tabelle alle gemessenen Rillbreiten, Rilltiefen und Kartondicken. Außerdem sind jeweils γ und $\gamma_{\text{tats.}}$ in Faserrichtung und quer zur Faserrichtung eingetragen. Die Auswertung wurde mit Hilfe des Statistikprogramms MiniTab⁶ durchgeführt. Wie oben erwähnt wurden alle optischen und mechanischen Messungen für drei verschiedene Rillgeometrien durchgeführt. Jeweils für jene Geometrie die der Rillempfehlung entspricht (*Standard*), jener darunter (-S) und jener darüber (+S). Es werden Zusammenhänge erläutert, die Aufschlüsse über den Einfluss von plastischer Verformung auf die Rillbarkeit von Faltschachtelkarton geben können.

4.1 Zusammenhang von gemessener Rillbreite und Rillnutbreite

Eine Möglichkeit um festzustellen wie sich unterschiedliche Kartonsorten während der Rillung verhalten ist es, den Zusammenhang der gemessenen Rillbreite und der Rillnutbreite zu untersuchen. Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2 zeigen, dass mit steigender Rillnutbreite erwartungsgemäß die tatsächliche (gemessene) Rillbreite steigt. Auch hier steigen die Regressionsgeraden für Rillen in Faserrichtung wieder weniger stark als jene für Rillen quer zur Faserrichtung. Rillen in Faserrichtung weisen demnach geringere plastische Deformation auf als Rillen quer zur Faserrichtung. Die durchgeführten Messungen der verschiedenen Rillgeometrien (Nutzen Standard, -S, +S) weisen keine großen Unterschiede auf, was darauf hinweist, dass die Rillgeometrien zu geringen Unterschieden hatten, um Variationen im Rillergebnis zu erkennen.

⁶ Näheres zu diesem Programm in: <http://www.minitab.com/en-us/>

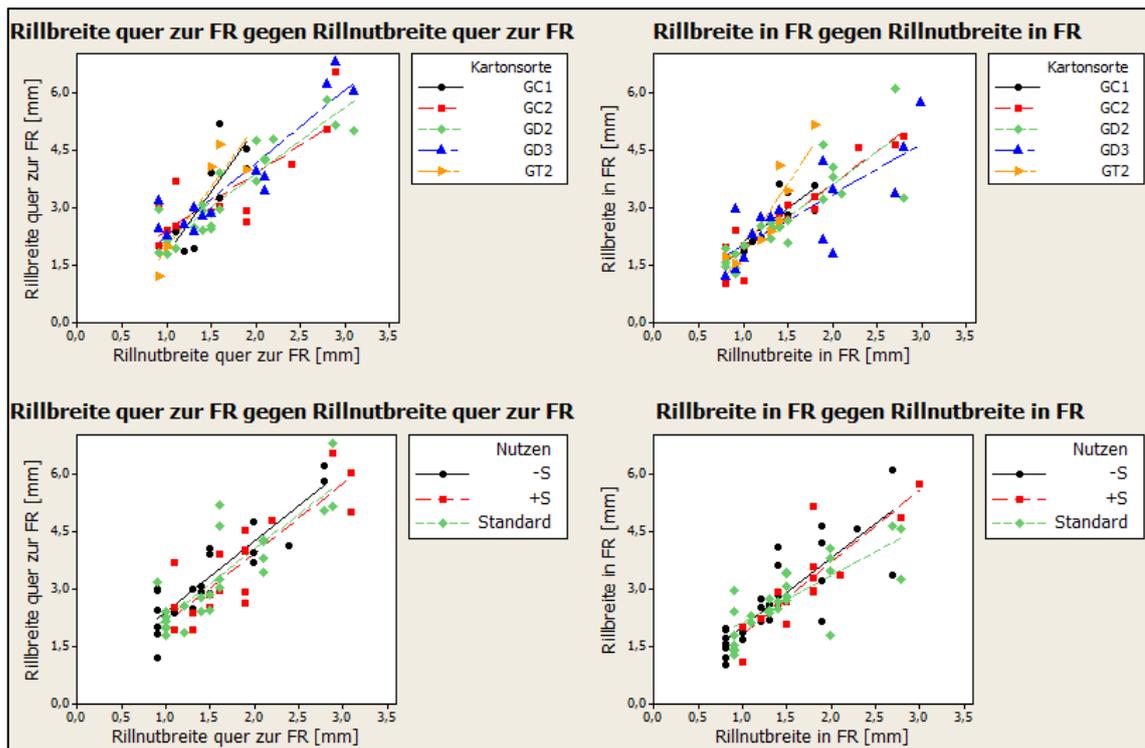


Abbildung 4-1: Zusammenhang der gemessenen Rillbreite (in FR und quer zur FR) und der Rillnutbreite für die unterschiedlichen Kartonsorten und Nutzen

Abbildung 4-2 zeigt, dass die plastische Verformung mit steigender Grammatur und Lagenanzahl zunimmt. Auch die Varianz der Rillbreite für gleiche Rillnutbreiten nimmt mit steigender Grammatur bzw. Lagenanzahl zu. Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2 zeigen Varianzanalysen der Rillbreite quer zur FR beziehungsweise der Rillbreite in Faserrichtung. Dabei wurde untersucht, welche der Stellgrößen Einfluss auf die Rillbreite haben. Es wurden die Kartonsorte, Lagenanzahl und Rillnutbreite untersucht. Die Rillnutbreite wird hauptsächlich aufgrund der Kartondicke ausgewählt. Diese steigt in der Regel mit der Grammatur. Die Varianzanalyse würde deshalb zwingend eine Korrelation dieser Werte ergeben, weshalb davon abgesehen wurde die Kartondicke und die Grammatur zusätzlich zu untersuchen.

Aus Tabelle 4-1 und aus Tabelle 4-2 wird ersichtlich, dass die Rillbreite ausschließlich von der Rillnutbreite abhängt. Weder Kartonsorte noch Lagenanzahl weisen statistisch signifikante Einflüsse auf die Rillbreite auf. Das bedeutet, dass die Rillnutbreite für dieses Modell die einzige Größe darstellt, die die Rillbreite signifikant beeinflusst. Da die Rillnutbreite beinahe ausschließlich aufgrund der Kartondicke gewählt wurde, kann man daraus schließen, dass den

Haupteinfluss auf die Rillbreite die tatsächliche Kartondicke darstellt. Es muss hier jedoch erwähnt werden, dass einige Einflussfaktoren, wie Feuchtigkeit des Kartons und Rilldruck nicht untersucht wurden.

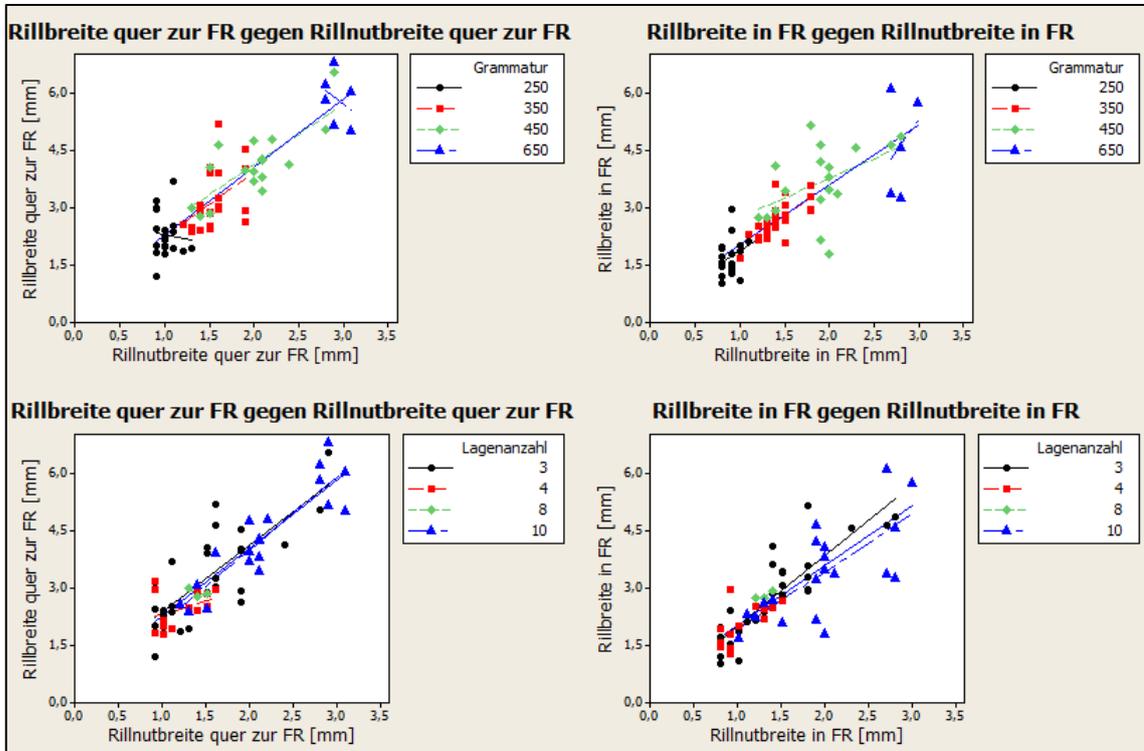


Abbildung 4-2: Zusammenhang der gemessenen Rillbreite (in FR und quer zur FR) und der Rillnutbreiten für die unterschiedlichen Grammaturen und Lagenanzahlen

Tabelle 4-1: General Linear Model der Rillbreite quer zur FR gegen die Kartonsorte, Rillnutbreite quer zur FR und Lagenanzahl

Analysis of Variance for Rillbreite quer zur FR [mm], using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kartonsorte	4	2,9487	2,0806	0,5201	1,26	0,301
Rillnutbreite quer zur FR [mm]	15	83,1302	53,5840	3,5723	8,64	0,000
Lagenanzahl	3	0,1706	0,1706	0,0569	0,14	0,937
Error	43	17,7785	17,7785	0,4135		
Total	65	104,0281				

S = 0,643004 R-Sq = 82,91% R-Sq(adj) = 74,17%

Tabelle 4-2: General Linear Model der Rillbreite in FR gegen die Kartonsorte, Rillnutbreite in FR und Lagenanzahl

Analysis of Variance for Rillbreite in FR [mm], using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kartonsorte	4	0,4065	1,5438	0,3859	0,85	0,502
Rillnutbreite in FR [mm]	15	61,4303	44,3067	2,9538	6,49	0,000
Lagenanzahl	3	0,8468	0,8468	0,2823	0,62	0,606
Error	46	20,9452	20,9452	0,4553		
Total	68	83,6289				

S = 0,674782 R-Sq = 74,95% R-Sq(adj) = 62,98%

4.2 Zusammenhang von gemessener Rillbreite und gemessener Rilltiefe

Abbildung 4-3 zeigt den Zusammenhang der mittels IFM gemessenen Rillbreiten und Rilltiefen für die einzelnen Kartonsorten und Nutzen. Es ist klar erkennbar, dass für beide Rillrichtungen (in und quer zur Faserrichtung) ein linearer Zusammenhang der Rillbreite und Rilltiefe besteht. Mit steigender Rilltiefe steigt die Rillbreite. Bei Rillen in Faserrichtung ist die Steigung der Regressionsgeraden jedoch geringer als jene für Rillen quer zur Faserrichtung. Das bedeutet für Rillen in Faserrichtung ist bei gleicher Rillbreite die Tiefe höher als bei Rillen quer zur Faserrichtung.

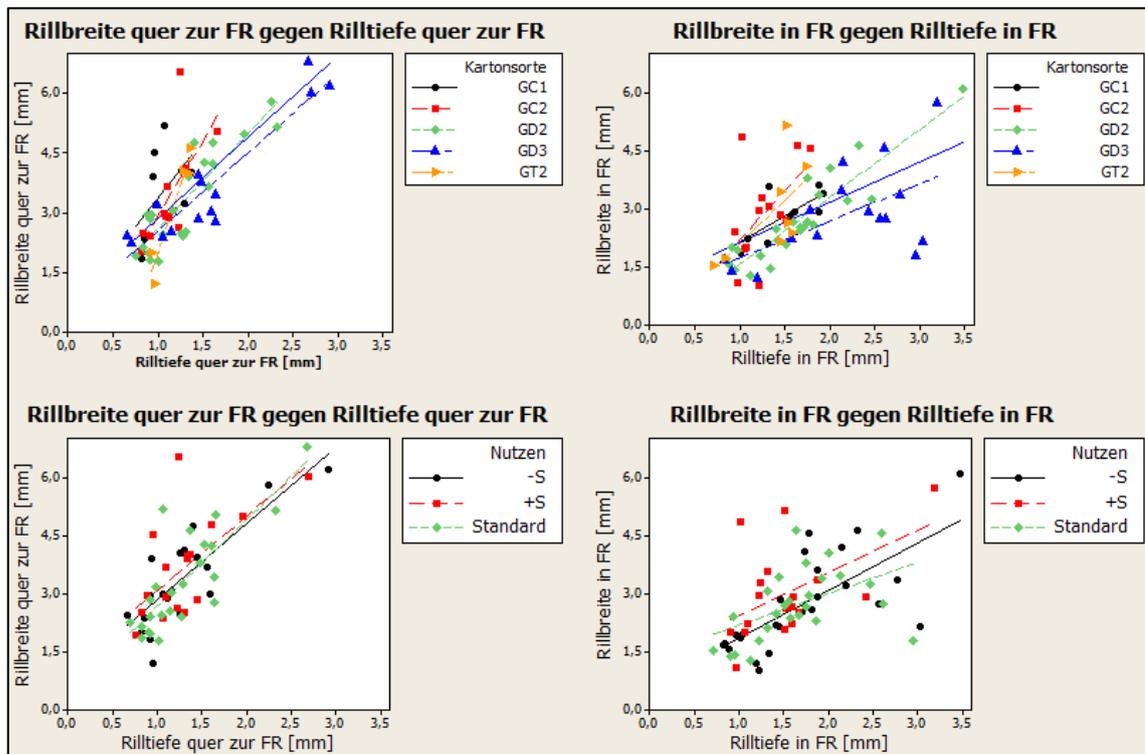


Abbildung 4-3: Zusammenhang der gemessenen Rillbreite (in FR und quer zur FR) und der gemessenen Rilltiefe für die unterschiedlichen Kartonsorten und Nutzen

Messungen verschiedener Rillgeometrien (Nutzen= Standard, +S, -S) ergaben nur geringe Abweichungen. Das weist darauf hin, dass die Unterschiede der einzelnen Rillgeometrien nicht groß genug waren, um den Einfluss auf das Rillergebnis untersuchen zu können.

Bei den Messungen in FR ist eine sehr große Streuung erkennbar. Abbildung 4-4 zeigt, dass diese Streuung ausschließlich durch Kartons mit 450 [g/m²] hervorgerufen wird. Nur für diese Sorten weist die Regressionslinie eine negative Steigung auf. Das bedeutet, mit steigender Rillbreite sinkt die Rilltiefe. Trotz geringer Streuung bei Rillen quer zur Faserrichtung, weisen auch diese eine negative Steigung auf.

Abbildung 4-5 zeigt den Zusammenhang der gemessenen Rillbreiten und der gemessenen Rilltiefen nur für Sorten mit 450 [g/m²]. Die Abbildung zeigt nochmals, dass die Steigungen der Regressionslinien großteils negativ sind. Eine Ausnahme ist hier nur die Sorte GD2 für Rillen in Faserrichtung und GT2. Im Falle der Daten für die Lagenanzahl gilt, dass für 450 [g/m²]-Sorten alle Lagenanzahlen eine negative Steigung des Rillbreite-Rilltiefe-Zusammenhangs ergeben. Die verwendeten Daten machen es schwierig, eine genauere Aussage über die Gründe für diese Abweichung zu treffen, da Kartons mit höherer Grammaturn tendenziell auch mehr Lagen aufweisen. Das bedeutet, dass diese beiden Einflussfaktoren voneinander nicht unabhängig sind.

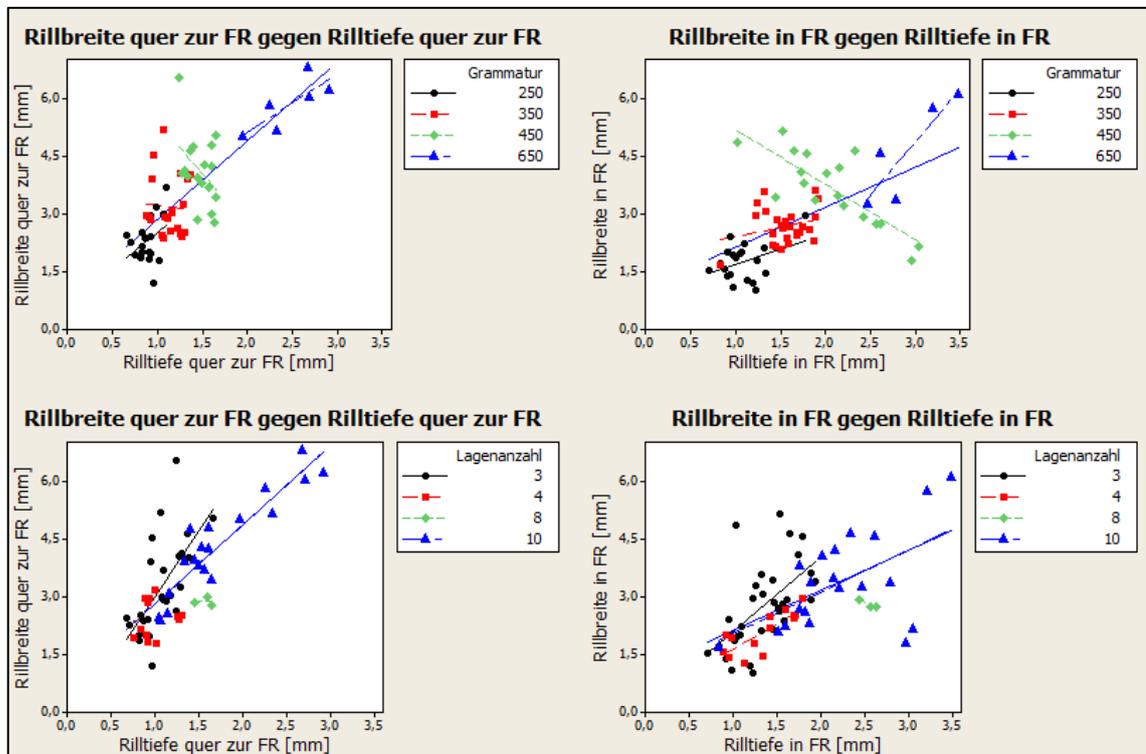


Abbildung 4-4: Zusammenhang der gemessenen Rillbreite (in FR und quer zur FR) und der gemessenen Rilltiefe für die unterschiedlichen Grammaturen und Lagenanzahlen

Unabhängig davon, was die Gründe für die Abweichungen der 450 [g/m²]-Sorten sind, ist jedoch anzunehmen, dass die getesteten Kartonsorten bei einer Grammaturn von 450 [g/m²] am ehesten Rillprobleme verursachen. Es ist zu erwarten, dass jene Rillen mit großer Rillbreite und kleiner Rilltiefe aufgrund von zu geringem Steifigkeitsverlust durch zu geringe plastische Verformung in Z-Richtung keine exakte Kante bilden. Bei jenen Rillen mit kleiner Rillbreite und großer Rilltiefe ist die Verformung in Z-Richtung tendenziell zu groß. Das Gefüge wird zu stark verändert und die Steifigkeit sinkt zu stark ab (Beex & Peerlings, 2009).

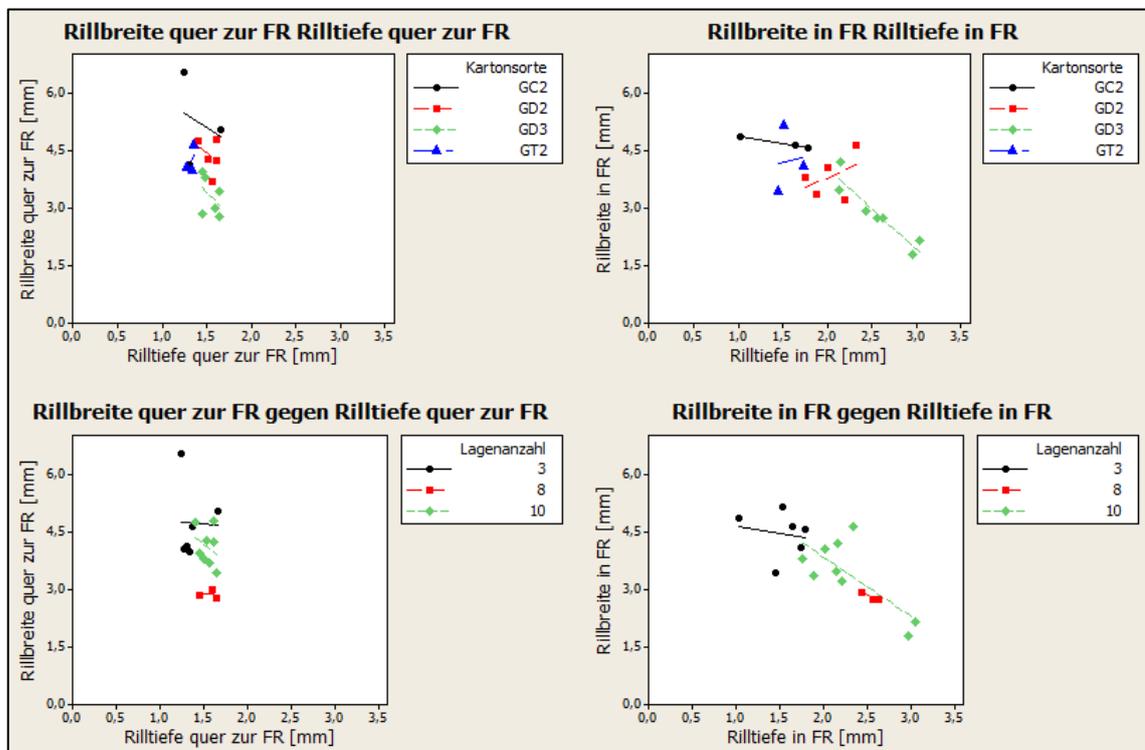


Abbildung 4-5: Zusammenhang der gemessenen Rillbreite (in FR und quer zur FR) und der gemessenen Rilltiefe für 450 [g/m²]-Sorten

Abbildung 4-6 zeigt die Biegekurven für 450 [g/m²]-Sorten. BB ET 450 stellt dabei eine Rille mit geringer Rilltiefe bei hoher Rillbreite dar, FL MCS 450 eine Rille mit großer Rilltiefe bei geringer Rillbreite und KK MCS 450 stellt einen Karton dar, der der Linearität folgt. Die Biegekurve von BB ET 450 zeigt bei Rillen quer zur FR und in FR einen ungewöhnlichen Verlauf. Der γ -Faktor liegt unter dem empfohlenen Bereich (quer zur FR $\gamma = 0,564$, in FR $\gamma = 0,584$), die

Breite ist demnach nach Giampieri et al. für die Kartondicke zu groß. Die Kurven steigen im Anfangsbereich steil an, was auf geringe Gefügeänderung hinweist und sinkt nach dem Erreichen des maximalen Biegemoments rasant ab. Nun sollte nach einem leichten Anstieg der Kurve ein Plateau eintreten. Im Fall des Kartons aus BB steigt die Kurve jedoch nochmals stark an und fällt erst danach auf ein Plateau. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass Delaminierungseffekte aufgrund der geringen Gefügeänderung durch das große Rilltiefe-Rillbreite-Verhältnis nur sehr begrenzt auftreten (Beex & Peerlings, 2009). Es bauen sich zusätzliche Spannungen auf, da sich die Lagen nicht richtig voneinander lösen können. In so einem Fall ist es wahrscheinlich, dass deformierte Wülste auftreten (Giampieri, et al., 2011).

Die Kurve von FL MCS 450 und KK MCS 450 folgen eher der in Kapitel 2.2.4.2 *Geometriefaktor* γ empfohlenen Kurven. FL MCS 450 weist jedoch bei Rillen quer zur FR auch ein kleines lokales Maximalmoment auf. Die Geometriefaktoren liegen an der unteren Grenze des empfohlenen Bereichs (quer zur FR $\gamma = 0,577$, in FR $\gamma = 0,606$). Der Geometriefaktor der KK-Sorte ist mit 0,794 (quer zur FR) beziehungsweise 0,855 (in FR) etwas höher als jener der Sorten aus BB und FL, was nach Giampieri et al. (2011) auch erklärt, warum es nicht zu einem so starken lokalen Biegemomentmaximum und somit zu einer besser ausgeführten Rille kommt.

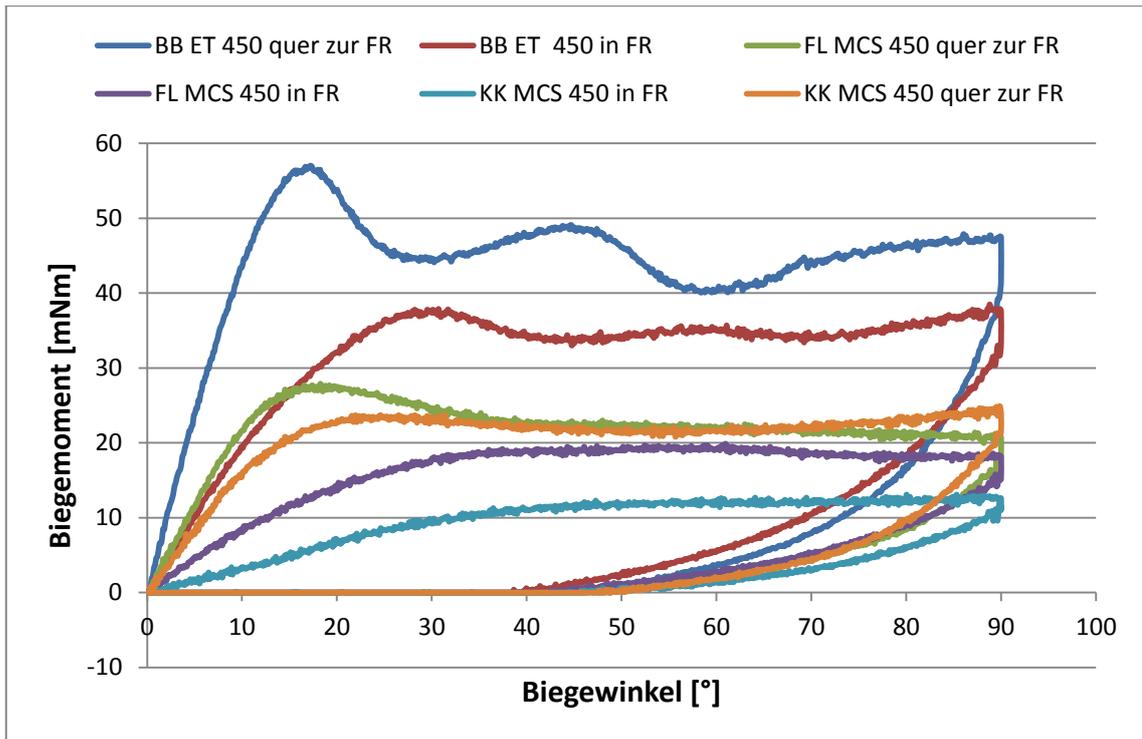


Abbildung 4-6: Vergleich der Biegekurven von BB ET 450, FL MCS 450 und KK MCS 450

4.3 Zusammenhang der gemessenen Rillbreiten und gemessenen Rilltiefen mit dem Biegemomentverhältnis

Zur Beurteilung des Rillergebnisses dient neben der visuellen Beurteilung im Konzern Mayr-Melnhof auch das Biegemomentverhältnis (Formel 4-1). Durch den Vergleich der Rillen über diesen Faktor ist es möglich, Kartons mit unterschiedlichen Grundeigenschaften miteinander zu vergleichen. B ist wie oben erwähnt ein Wert für die Schwächung des Kartons im gerillten Bereich. Er sollte laut der Mayr-Melnhof Karton GmbH bei 0,5 liegen um eine gute Rille zu bilden. Liegt das Verhältnis darüber, ist anzunehmen, dass das Gefüge im Rillbereich nicht stark genug verändert wurde. Liegt B darunter, könnte der Karton durch die Rillung zu stark geschwächt sein.

$$\text{Biegemomentverhältnis } B = \frac{\text{max. Biegemoment der gerillten Probe}}{\text{max. Biegemoment der ungerillten Probe}}$$

Formel 4-1: Biegemomentverhältnis nach DIN 55437-3

Abbildung 4-7 zeigt, dass die Werte sehr vieler Messungen weit entfernt von $B=0,5$ liegen. Die Primärfaserkartonsorten GC1 und GC2 und die Sekundärfasersorte GT2 weisen am ehesten bei einem breiten Rillbreitenspektrum für Rillen quer zur Faserrichtung ein B um 0,5 auf. Mit steigender Rillbreite weichen jedoch auch die Werte dieser Sorten zunehmend von $B=0,5$ ab. Auffällig ist auch, dass der Verlauf der Regressionslinien sehr unterschiedlich ist. In Tabelle 4-1 wurde mittels Varianzanalyse untersucht, welche Parameter Einfluss auf das Biegemomentverhältnis haben. Es wird endgültig ersichtlich, dass die Kartonsorte keinen signifikanten Einfluss auf das Biegemomentverhältnis hat. Die Grammatur und die Lagenanzahl hingegen sind statistisch signifikant. Jedoch sind bei diesem Modell lediglich 24,01% der gesamten Varianz auf Grammatur, Lagenzahl und Kartonsorte zurückzuführen.

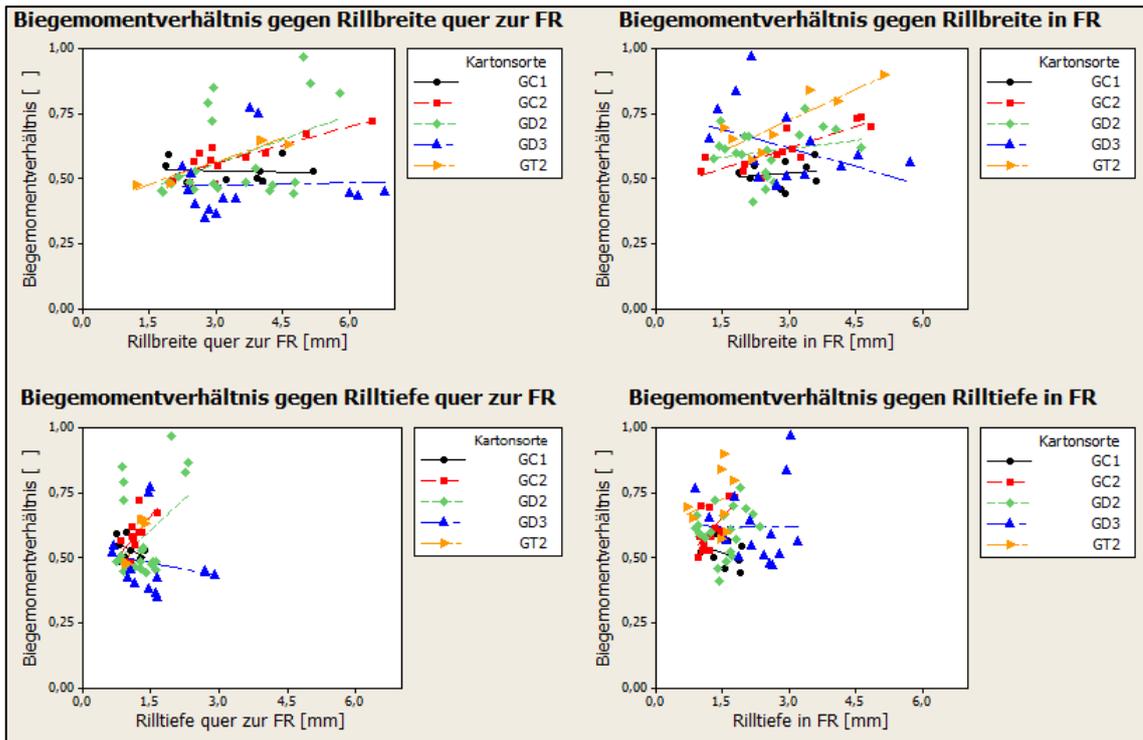


Abbildung 4-7: Auswirkung der tatsächlichen Rillgeometrie auf das Biegemomentverhältnis-Kartonsorten

Tabelle 4-3: General Linear Model: Biegemomentverhältnis gegen Grammatuur, Lagenzahl und Kartonsorte

Analysis of Variance for Biegemomentverhältnis [], using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Grammatuur	3	0,11347	0,24520	0,08173	6,39	0,000
Lagenanzahl	3	0,35541	0,27339	0,09113	7,13	0,000
Kartonsorte	4	0,05627	0,05627	0,01407	1,10	0,359
Error	130	1,66196	1,66196	0,01278		
Total	140	2,18711				

S = 0,113068 R-Sq = 24,01% R-Sq(adj) = 18,17%

Wird das Biegemomentverhältnis für die unterschiedlichen Grammaturen betrachtet zeigt sich, dass sich B bezogen auf die Rillbreite anders verhält als auf die Rilltiefe bezogen (Abbildung 4-8). Mit steigender Rilltiefe sinkt das Verhältnis. Mit steigender Rillbreite steigt das Biegemomentverhältnis jedoch. Das bedeutet, dass für eine gute Rille ($B=0,5$) die Rilltiefe tendenziell gering und die Rillbreite tendenziell größer sein sollte.

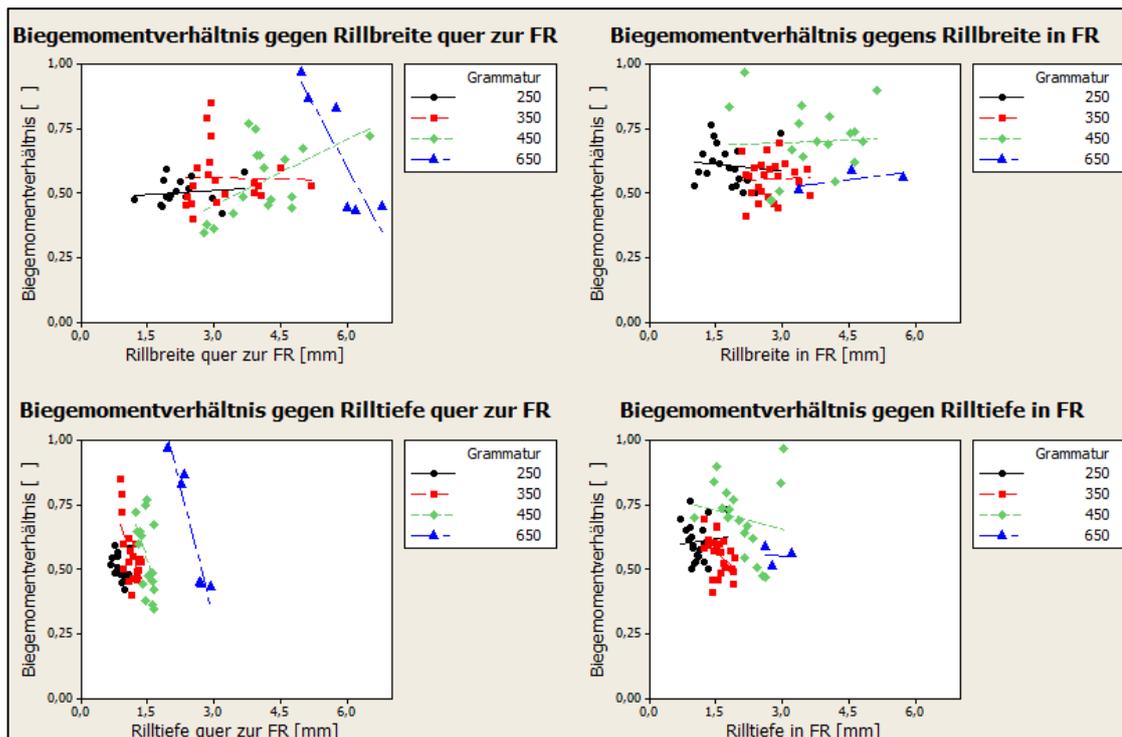


Abbildung 4-8: Auswirkung der tatsächlichen Rillgeometrie auf das Biegemomentverhältnis-Grammatur

Eine Ausnahme stellen hier die Messungen für 650 [g/m²] dar. Aufgrund der niedrigen Anzahl von Messungen ist es hier jedoch wiederum schwierig, eine genaue Aussage dazu zu treffen. Es wäre möglich, dass die erhöhte plastische Deformation hier für das umgekehrte Verhalten der Grund ist (Abbildung 4-2). Speziell Sorten mit der Grammatur 450 [g/m²] bei Rillen in Faserrichtung weisen große Streuung auf (Abbildung 4-8). Teilweise haben diese Sorten auch ein sehr hohes B, was nochmals auf ungenügend ausgeführte Rillen hinweist. Die erhöhte Streuung kann jedoch darauf zurückzuführen sein, dass manche 450 [g/m²]-Sorten weit außerhalb der spezifizierten Dicke lagen (Anhang Tabelle 3). Die Rillgeometrie musste laut Rillempfehlung also angepasst werden und variierte innerhalb der 450 [g/m²]-Sorten stärker als bei andere Sorten.

Die Rilltiefe innerhalb der Sorten mit gleicher Grammatur für Rillen quer zur FR variierte kaum und für Rillen in FR variiert nur geringfügig, es ist jedoch ein breites Spektrum des Biegemomentverhältnisses möglich. Das heißt, B ist offensichtlich für Rillen quer zur FR nicht von der tatsächlichen Rilltiefe abhängig, für Rillen in FR nur in geringem Maß. Für die Rillbreite sind jedoch

Tendenzen erkennbar. Für Sorten mit 250 [g/m²] und 350 [g/m²] scheint es, dass niedrige und höhere Rillbreiten zum optimalen $B=0,5$ tendieren. Das bedeutet, ein breites Spektrum von Rillbreiten ergibt annähernd $B=0,5$.

Wie oben schon kurz erwähnt ist es bei den zur Verfügung stehenden Sorten jedoch auch möglich, dass dieser Effekt durch die Lagenzahl hervorgerufen wird. Abbildung 4-9 zeigt, dass Sorten mit 10 Lagen – mit wenigen Ausnahmen - für die Rillbreite von Rillen quer zur Faserrichtung ein sehr lineares Verhältnis aufweisen und nahe an $B=0,5$ liegen. Sorten mit 3 Lagen liegen auch nahe an diesem Maß, weisen jedoch eine weit größere Streuung auf. Unabhängig davon, ob der Grund dafür die Grammaturo oder die Lagenzahl ist lässt sich jedoch sagen, dass die Rillbreite Einfluss auf das Biegemomentverhältnis hat. Mit steigender Rillbreite weicht B zunehmend vom Idealwert ab.

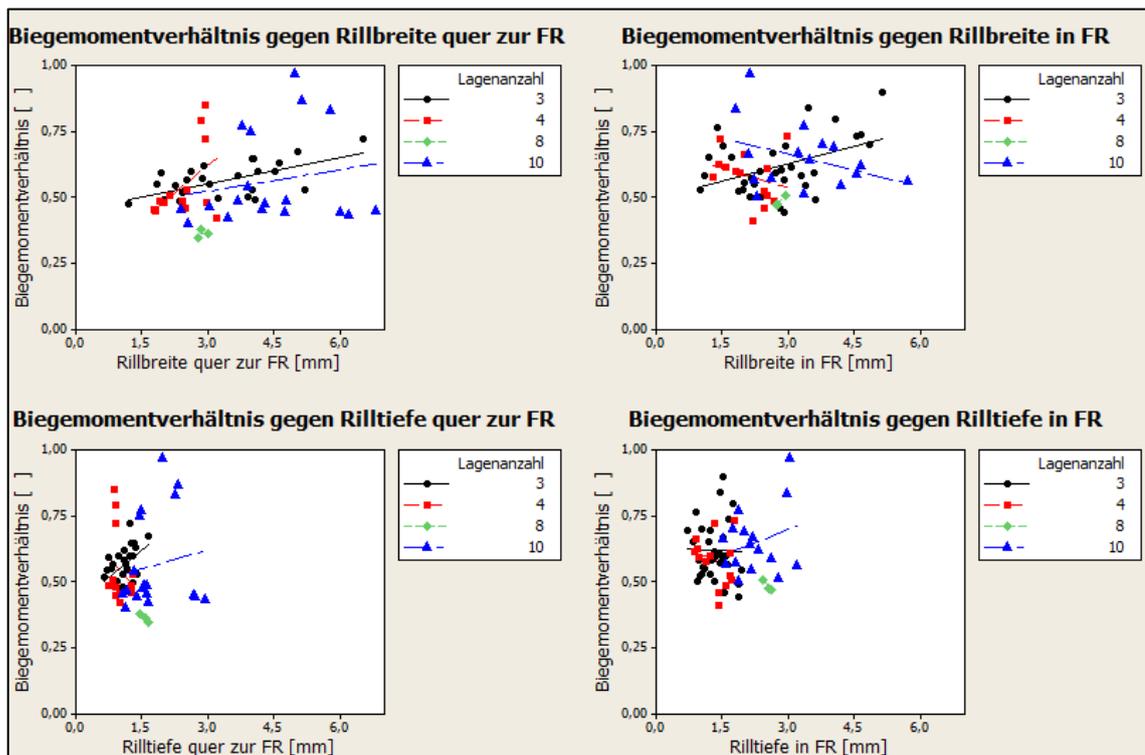


Abbildung 4-9: Auswirkung der tatsächlichen Rillgeometrie auf das Biegemomentverhältnis-Lagenzahl

Dies spiegelt in etwa die Aussage von Beex und Peerlings (2009) wider, die besagt, dass eine gute Rille nicht nur abhängig von Delaminierungseffekten, sondern auch von ausreichend plastischer Verformung ist. Es sollte demnach ein Maß zur Beurteilung der plastischen Verformung gefunden werden.

4.4 Beurteilung der Auswirkungen der plastischen Verformung über $\Delta\gamma$

Eine Möglichkeit plastische Verformung zu beurteilen ist der Geometriefaktor, in den nur die Kartondicke und die Rillnutbreite bzw. tatsächliche Rillbreite einfließen. Es wurde auch festgestellt, dass die gemessenen Rillbreiten weitestgehend linear mit den Rillnutbreiten steigen (4.1 *Zusammenhang von gemessener Rillbreite und Rillnutbreite*). Zur Vermeidung von Missverständnissen wird der Geometriefaktor nach Nagasawa et al. (2003) von nun an als theoretischer Geometriefaktor $\gamma_{\text{theor.}}$ bezeichnet.

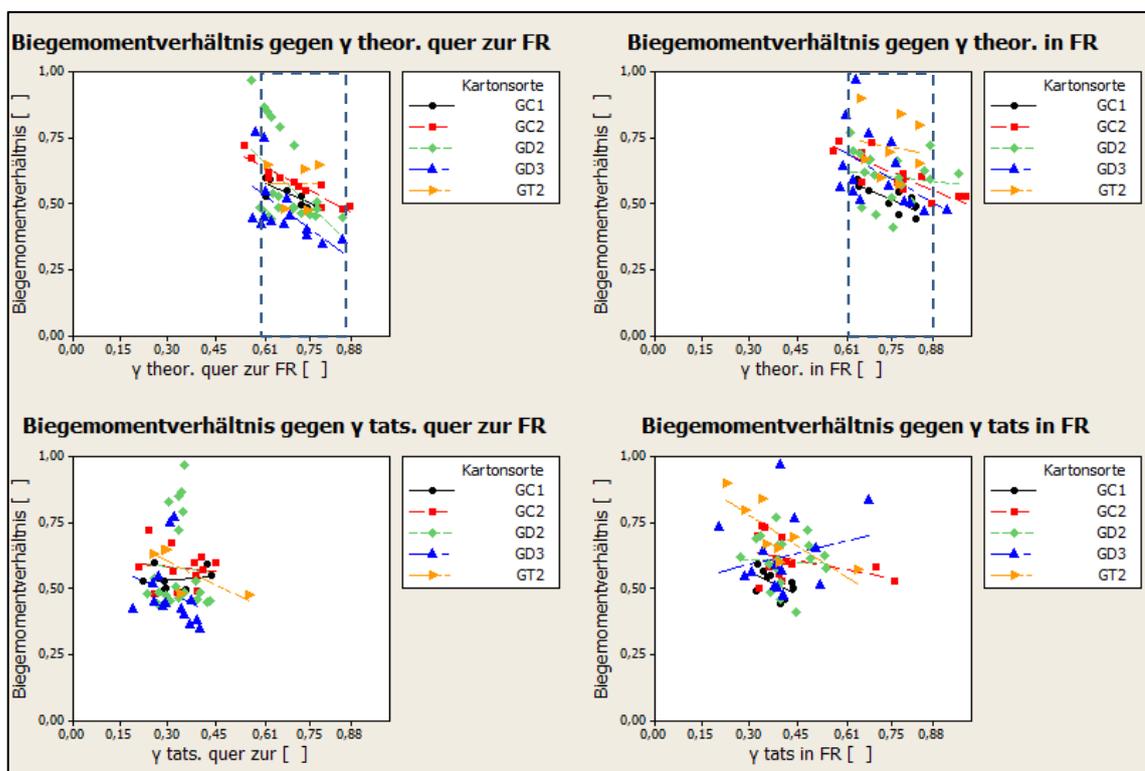


Abbildung 4-10: Zusammenhänge der Geometriefaktoren unterschiedlicher Kartonsorten mit dem Biegemomentverhältnis

Abbildung 4-10 zeigt den Zusammenhang von $\gamma_{\text{theor.}}$ beziehungsweise $\gamma_{\text{tats.}}$ und B für die getesteten Kartonsorten. Da die tatsächliche Rille aufgrund der plastischen Verformung immer breiter ist als die Rillnut, sind die Werte von $\gamma_{\text{tats.}}$ niedriger als jene von $\gamma_{\text{theor.}}$. Mit steigendem $\gamma_{\text{theor.}}$ sinkt das Biegemomentverhältnis. Im Fall von $\gamma_{\text{tats.}}$ ist diese Abhängigkeit nicht erkennbar. Dies zeigt auf, dass die plastische Verformung der einzelnen Kartonsorten unterschiedlich ausgeprägt ist. Je größer die Differenz $\Delta\gamma$ (Formel 4-2) dieser beiden Geometriefaktoren ist,

desto größer ist die plastische Verformung des Kartons. $\Delta\gamma$ kann somit als Maß für die plastische Verformung herangezogen werden, welches den Einfluss der Kartondicke berücksichtigt.

$$\Delta\gamma = \gamma_{theor.} - \gamma_{tats.}$$

Formel 4-2: Maß um plastische Verformung zu beurteilen

Mit steigendem $\Delta\gamma$ sinkt das Biegemomentverhältnis (Abbildung 4-11). Wie schon in 4.3 *Zusammenhang der gemessenen Rillbreiten und gemessenen Rilltiefen mit dem Biegemomentverhältnis* weisen Primärfaserkartons tendenziell eher $B=0,5$ auf als Sekundärfaserkartons. Auffällig ist die Sorte GT2, bei dieser steigt das Biegemomentverhältnis mit steigendem $\Delta\gamma$. Für diese Sorte gilt demnach, dass plastische Deformation während der Rillung geringer ist, als bei anderen Sorten. Dies könnte am etwas geringeren Bulkvolumen liegen. Dadurch wird die Rillbarkeit durch geringere Kompressibilität eingeschränkt (Kiviranta, 2000).

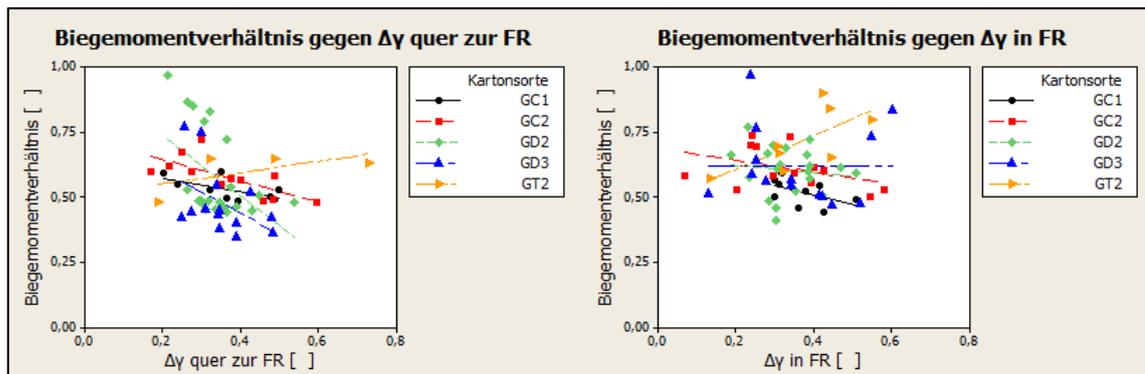


Abbildung 4-11: Zusammenhang von $\Delta\gamma$ und B für unterschiedliche Kartonsorten

Der blau begrenzte Bereich in Abbildung 4-10 stellt den nach Gampieri et al. (2011) idealen Bereich von $\gamma_{theor.}$ dar.

Obwohl eine höhere Anzahl von Messungen innerhalb des empfohlenen Bereichs durchgeführt wurde als außerhalb des Bereichs, lässt sich sagen, dass Rillen mit kleinem $\gamma_{theor.}$ ($\gamma_{theor.} < 0,61$) speziell für Rillen quer zur FR auch ein kleines $\Delta\gamma$ aufweisen (Abbildung 4-12). Rillen $> 0,88$ (= Obergrenze des empfohlenen Bereichs nach Gampieri et al. (2011)) kommen in diesem Datensatz

nur bei Rillen in FR. Es scheint jedoch, als ob diese tendenziell ein großes $\Delta\gamma$ aufweisen und dennoch um $B=0,5$ liegen. Dies bedeutet, dass zu breite Rillen tendenziell bessere Rillergebnisse bringen als zu schmale Rillen. Liegen Rillen zwischen $\gamma=0,61$ und $0,88$ und um $B=0,5$, liegt $\Delta\gamma$ häufig zwischen $0,3$ und $0,4$. Wiederum zeigt sich jedoch, dass die Rillgeometrie stärker variiert werden hätte müssen, um genauere Einflüsse auf das Rillergebnis zu untersuchen.

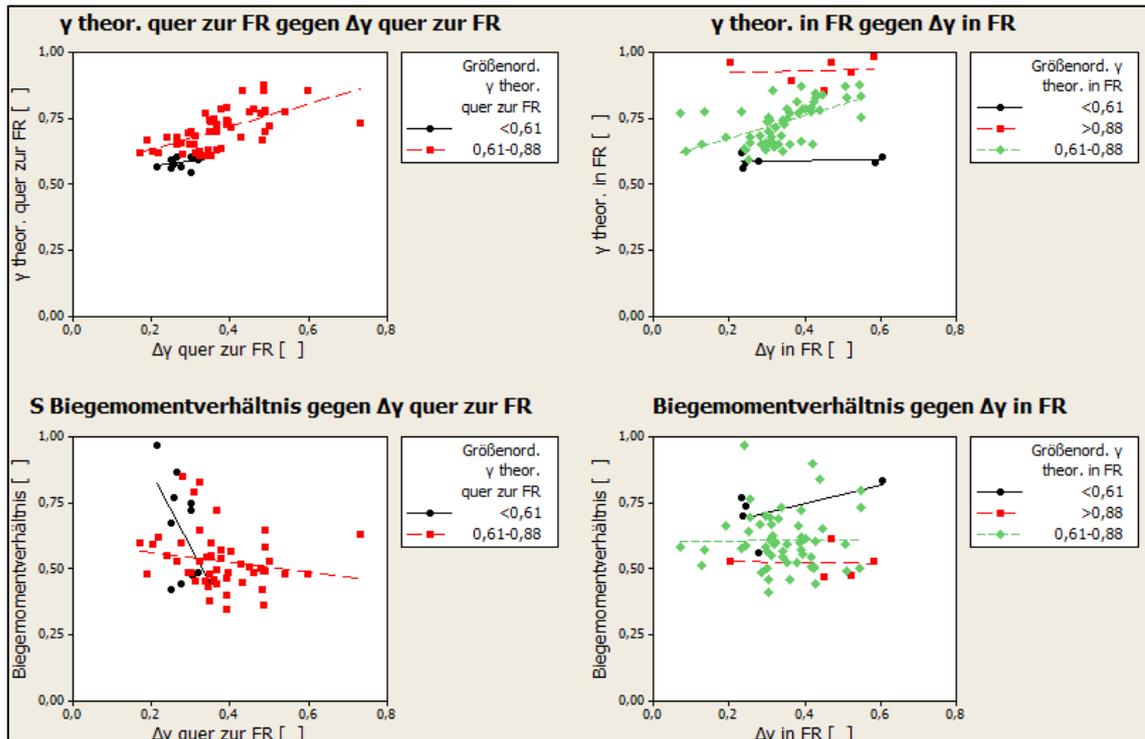


Abbildung 4-12: Zusammenhang von $\Delta\gamma$ und B für unterschiedliche Bereiche von $\gamma_{theor.}$

Weitere Tendenzen lassen sich sehr vage erkennen. Sorten mit $350 \text{ [g/m}^2\text{]}$ und $250 \text{ [g/m}^2\text{]}$ weisen am ehesten ein Biegemomentverhältnis von $0,5$ auf (Abbildung 4-13). $\Delta\gamma$ dieser Sorten weist zwar größere Streuung auf, eine große Anzahl von Messungen befinden sich jedoch auch hier im Bereich $\Delta\gamma$ $0,3$ bis $0,4$. Die Sorten mit $450 \text{ [g/m}^2\text{]}$ weisen auch hier wieder große Abweichungen auf. Sehr interessant ist, dass $\Delta\gamma$ für Karton mit hoher Lagenzahl (speziell 10-lagiger Karton) mit $B=0,5$ offenbar auch $\Delta\gamma$ -Werte von $0,3$ bis $0,4$ einnehmen. Dies muss jedoch nicht zwingend an der plastischen Verformung liegen, da Kartone mit hohen Lagenzahlen hohe Delaminierung aufweisen und somit prinzipiell leichter rillbar sind (Beex & Peerlings, 2009).

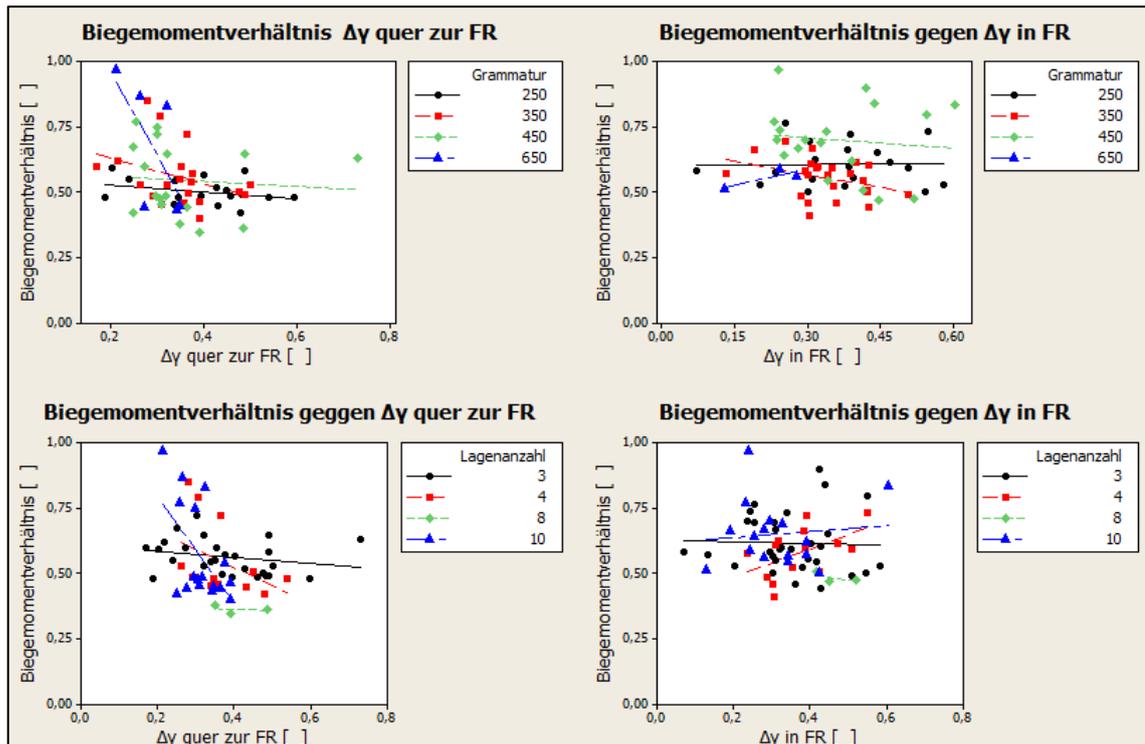


Abbildung 4-13: Zusammenhang von $\Delta\gamma$ und B für unterschiedliche Grammaturen und Lagenanzahlen

Auffällig ist außerdem, dass in den vorgehenden Kapiteln die Streuung für Rillen in Faserrichtung oftmals weit größer ist als jene für Rillen quer zur FR. Bei den Untersuchungen der $\Delta\gamma$ -Werte sind die Streuungen jedoch annähernd gleich. Das weist darauf hin, dass nicht nur die Steifigkeit der Rillen in FR prinzipiell niedriger ist (Blechschildt, 2010), sondern auch plastische Deformation stärker ausgeprägt wird. Das untermauert die Annahme, dass Rillen in Maschinenrichtung leichter auszuführen sind als Rillen quer zur Maschinenrichtung (Nagasawa, et al., 2003).

Tabelle 4-4 und Tabelle 4-5 zeigen Varianzanalysen, welche den Einfluss der Parameter Kartonsorte, Lagenzahl, Grammatur und Größenordnung von $\gamma_{\text{theor.}}$ in FR bzw. quer zur FR auf $\Delta\gamma$ untersucht. Trotz der oben erkennbaren Tendenzen zeigen beide Tabellen, dass die untersuchten Parameter keinen statistisch signifikanten Einfluss auf $\Delta\gamma$ haben.

Tabelle 4-4: General Linear Model: $\Delta\gamma$ gegen Größenordnung $\gamma_{\text{theor.}}$ in FR, Kartonsorte, Lagenzahl und Grammatik

Analysis of Variance for $\Delta\gamma$ in FR [], using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Größenord. γ theor. in FR	2	0,04659	0,03324	0,01662	1,24	0,298
Kartonsorte	4	0,02268	0,03626	0,00906	0,67	0,612
Lagenanzahl	3	0,05409	0,03635	0,01212	0,90	0,446
Grammatik	3	0,02154	0,02154	0,00718	0,53	0,661
Error	56	0,75240	0,75240	0,01344		
Total	68	0,89730				

S = 0,115912 R-Sq = 16,15% R-Sq(adj) = 0,00%

Tabelle 4-5: General Linear Model: $\Delta\gamma$ gegen Größenordnung $\gamma_{\text{theor.}}$ Quer zur FR, Kartonsorte, Lagenzahl und Grammatik

Analysis of Variance for $\Delta\gamma$ quer zur FR [], using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Größenord. γ theor. quer zur FR	1	0,07658	0,03917	0,03917	3,76	0,058
Kartonsorte	4	0,02231	0,00873	0,00218	0,21	0,932
Lagenanzahl	3	0,00759	0,00481	0,00160	0,15	0,927
Grammatik	3	0,01940	0,01940	0,00647	0,62	0,605
Error	51	0,53189	0,53189	0,01043		
Total	62	0,65777				

S = 0,102124 R-Sq = 19,14% R-Sq(adj) = 1,70%

4.5 Beurteilung der Auswirkungen der plastischen Verformung über Ausbildungsfaktoren

Eine andere Möglichkeit die plastische Verformung durch die Rillung zu beurteilen ist es Ausbildungsfaktoren zu benutzen. Formel 4-3 und Formel 4-4 zeigen additive beziehungsweise multiplikative Ausbildungsfaktoren, welche beide die Rillbreite und die Rilltiefe berücksichtigen.

additiver Ausbildungsfaktor

$$= (\text{Rillbreite} - \text{Rillnutbreite}) + (\text{Rilltiefe} - \text{Rillnuttiefe})$$

Formel 4-3: additiver Ausbildungsfaktor:

multiplikativer Ausbildungsfaktor

$$= (\text{Rillbreite} - \text{Rillnutbreite}) * (\text{Rilltiefe} - \text{Rillnuttiefe})$$

Formel 4-4: multiplikativer Ausbildungsfaktor

Abbildung 4-14 und Abbildung 4-15 zeigen die Zusammenhänge der Ausbildungsfaktoren in und quer zur Faserrichtung mit der Rillnutbreite. Abbildung 4-14 zeigt, dass die Ausbildungsfaktoren mit steigender Rillnutbreite für die unterschiedlichen Kartonsorten steigen. Abbildung 4-15 zeigt jedoch, dass dieser Effekt ausschließlich durch die verschiedenen Grammaturen hervorgerufen wird.

Tabelle 4-6 bis

Tabelle 4-9 bestätigen diesen Eindruck. Die Varianzanalysen untersuchten Einflüsse auf die Ausbildungsfaktoren quer zur und in Faserrichtung. Es ist erkennbar, dass nur die Grammatur statistisch signifikanten Einfluss auf die Ausbildungsfaktoren hat. Da die Rillgeometrie aufgrund der Dicke ausgewählt wird, und die Dicke und die Grammatur zusammenhängen, scheinen die Ausbildungsfaktoren kein passendes Maß zur Beurteilung der plastischen Verformung zu sein.

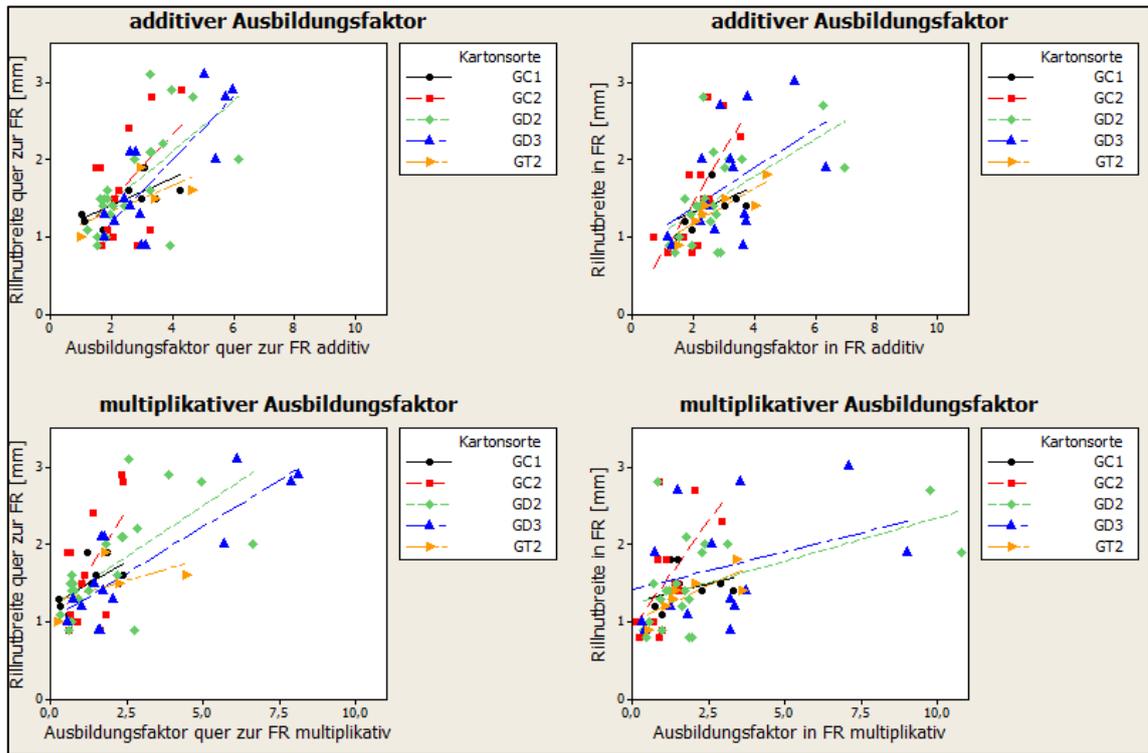


Abbildung 4-14: Zusammenhang des Biegemomentverhältnisses und der Ausbildungsfaktoren-Kartonsorte

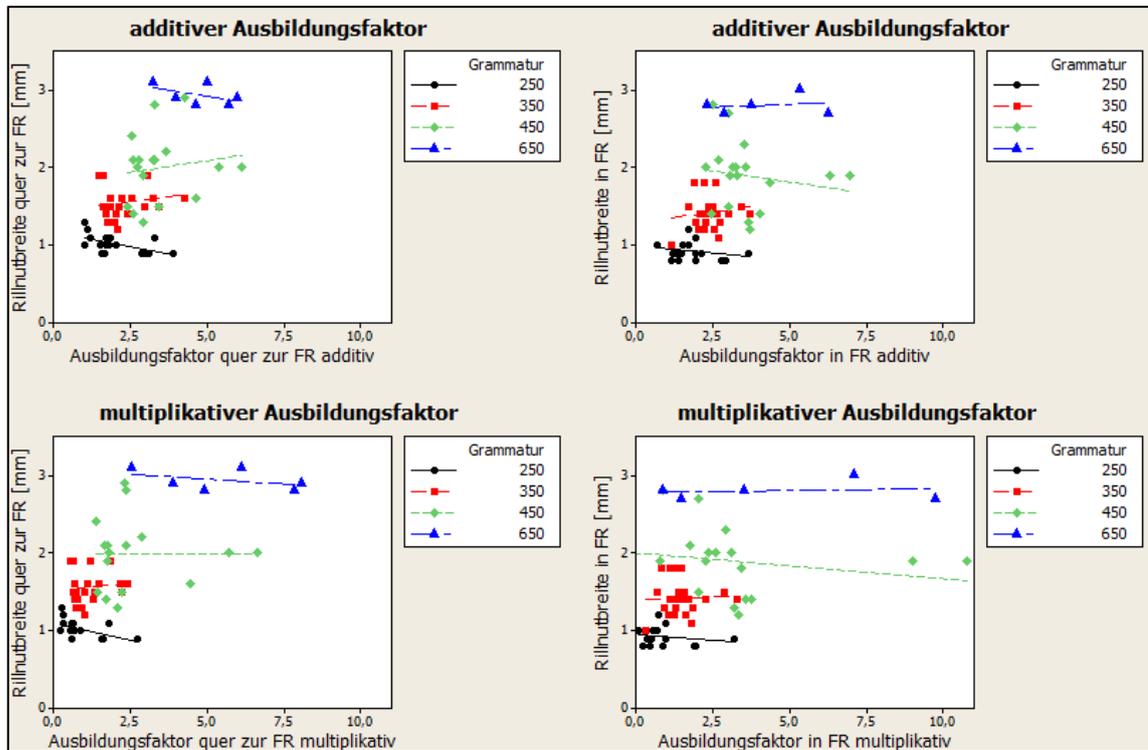


Abbildung 4-15: Zusammenhang des Biegemomentverhältnisses und der Ausbildungsfaktoren-Grammatur

Tabelle 4-6: General Linear Model: Ausbildungsfaktor quer zur FR multiplikativ gegen Kartonsorte, Grammatur und Lagenanzahl

Analysis of Variance for Ausbildungsfaktor quer zur FR m, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kartonsorte	4	27,186	6,315	1,579	1,32	0,275
Grammatur	3	102,177	61,565	20,522	17,13	0,000
Lagenanzahl	3	7,269	7,269	2,423	2,02	0,121
Error	55	65,878	65,878	1,198		
Total	65	202,511				

S = 1,09443 R-Sq = 67,47% R-Sq(adj) = 61,55%

Tabelle 4-7: General Linear Model: Ausbildungsfaktor quer zur FR additiv gegen Kartonsorte, Grammatur und Lagenanzahl

Analysis of Variance for Ausbildungsfaktor quer zur FR a, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kartonsorte	4	8,0631	3,7772	0,9443	1,26	0,299
Grammatur	3	44,6521	28,6555	9,5518	12,70	0,000
Lagenanzahl	3	4,1473	4,1473	1,3824	1,84	0,151
Error	55	41,3663	41,3663	0,7521		
Total	65	98,2288				

S = 0,867245 R-Sq = 57,89% R-Sq(adj) = 50,23%

Tabelle 4-8: General Linear Model: Ausbildungsfaktor in FR multiplikativ gegen Kartonsorte, Grammatur und Lagenanzahl

Analysis of Variance for Ausbildungsfaktor in FR multipl, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kartonsorte	4	17,147	5,331	1,333	0,39	0,812
Grammatur	3	83,071	43,944	14,648	4,34	0,008
Lagenanzahl	3	0,811	0,811	0,270	0,08	0,971
Error	58	195,966	195,966	3,379		
Total	68	296,994				

S = 1,83813 R-Sq = 34,02% R-Sq(adj) = 22,64%

Tabelle 4-9: General Linear Model: Ausbildungsfaktor in FR additiv gegen Kartonsorte, Grammatik und Lagenanzahl

Analysis of Variance for Ausbildungsfaktor in FR additiv, using Adjusted SS for

Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kartonsorte	4	6,1512	2,7310	0,6827	0,79	0,539
Grammatik	3	42,4638	25,8766	8,6255	9,93	0,000
Lagenanzahl	3	1,2731	1,2731	0,4244	0,49	0,691
Error	58	50,3598	50,3598	0,8683		
Total	68	100,2478				

S = 0,931811 R-Sq = 49,76% R-Sq(adj) = 41,10%

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Diese Arbeit untersucht Auswirkungen von plastischer Verformung von Faltschachtelkarton auf dessen Rillbarkeit. Dazu wurde verschiedener Faltschachtelkarton des Konzerns Mayr-Melnhof Karton GmbH bedruckt und gerillt. Die Kartons wurden mittels IFM optisch vermessen und anschließend einer Biegemessung unterzogen.

Einflüsse auf die Rillbarkeit sind vielfältig und umfassen Kartoneigenschaften, physikalische Eigenschaften und Maschineneigenschaften. All diese Eigenschaften bestimmen das Verhalten des Kartons während der Rillung und weiterführend während der Biegung.

Als überaus wichtig für gute Rillausführung gilt Delaminierung im gerillten Bereich (Beex & Peerlings, 2009). Ist diese zu gering oder überschreitet die Grenzen der Rille, können beim Biegen Fehler auftreten. Um das zu verhindern muss die passende Rillgeometrie gefunden werden.

Zwei Ansätze zur Feststellung der optimalen Rillgeometrie sind möglich:

1. Berechnung des Rillbarkeitsbereichs. Dies ist ausgesprochen zeitaufwendig und ungenau (Großmann, 2013), wird deshalb in der Industrie praktisch nie durchgeführt.
2. Anlehnung an Rillempfehlungen. Diese werden durch Forschungsgruppen (unter anderem (Großmann, 1985)) oder Kartonproduzenten und verarbeitende Betriebe (zum Beispiel Mayr-Melnhof Karton GmbH) durch umfassende Versuche erstellt.

Für diese Arbeit wurden die Faltschachtelkartons nach der aktuellen Rillempfehlung des Konzerns Mayr-Melnhof Karton GmbH gerillt.

Die Norm DIN 55437 regelt, wie Rillen visuell beurteilt werden. Auch die mechanische Prüfung der Rillen über Faltfaktor oder Biegemomentwiderstandsverhältnis (B) wird beschrieben. Beide Werte stellen die Schwächung des Kartons im gerillten Bereich dar und können grafisch durch Biegekurven dargestellt werden. Es gibt jedoch keinen genormten Richtwert, der eine Rille für gut oder

schlecht befindet. Der Konzern MM beurteilt Rillen als gut, wenn das Biegemomentwiderstandsverhältnis etwa bei 0,5 liegt.

Nagasawa et al. (2003) führten zur Beurteilung der Rillbarkeit außerdem den Geometriefaktor $\gamma_{\text{theor.}}$ ein, der die Kartondicke und die Rillnutbreite berücksichtigt. Gampieri et al. (2011) stellten durch Überprüfung des Verlaufs von Biegekurven fest, dass der optimale Bereich dieses Geometriefaktors zwischen 0,61 und 0,88 liegt.

Weitere Untersuchungen zeigen, dass für gute Ausbildung von Rillen nicht nur Delaminierung wichtig ist, sondern auch plastische Deformation (Beex & Peerlings, 2009). Dafür ist jedoch bis dato keine Beurteilung vorhanden.

Deshalb wurde im Zuge dieser Arbeit der Geometriefaktor nach Nagasawa et al. (2003) weiterentwickelt ($\gamma_{\text{tats.}}$), um eine Beurteilung hinsichtlich der plastischen Deformation zu ermöglichen. Dieser angepasste Faktor beinhaltet nicht mehr die Rillnutbreite, sondern die tatsächliche Breite der Rille.

Es wird gezeigt, dass die tatsächliche Breite der Rille ausschließlich von der Rillnutbreite abhängig ist. Mit steigender Rillnutbreite steigt die tatsächliche Rillbreite. Weiters ergaben die Untersuchungen dieser Arbeit, dass die tatsächliche Rilltiefe offensichtlich keinen direkten Einfluss auf das Rillergebnis hat, die Rillbreite jedoch schon. Das bedeutet, dass die γ -Faktoren für eine Beurteilung der plastischen Verformung geeignet sind. $\gamma_{\text{tats.}}$ weist jeweils kleinere Werte auf als $\gamma_{\text{theor.}}$. Zur Beurteilung wurde die Differenz der beiden Geometriefaktoren herangezogen. Für eine optimale Rille nach Mayr-Melnhof Karton GmbH ($B=0,5$) scheint es, dass die Differenz unabhängig von der Kartonsorte und somit Faserart bei 0,3 bis 0,4 liegen sollte.

Es konnte jedoch nicht zweifelsfrei festgestellt werden woran das liegt. Klar ist jedoch, dass Rillen außerhalb des empfohlenen $\gamma_{\text{theor.}}$ -Bereichs nach Gampieri et al. (2011) diese Werte nicht erreichen. Es scheint, dass hohe Lagenzahlen eher gute Rillen erzeugen als niedrige Lagenzahl. Es gibt jedoch auch Hinweise, dass niedrige Grammaturen – die tendenziell niedrige Lagenzahlen aufweisen - auch auf $\Delta\gamma = 0,3$ bis 0,4 kommen. Weiters fiel auf, dass speziell Sorten mit 450 [g/m²] von den optimalen Werten abweichen und prinzipiell große Streuungen aufweisen.

$\Delta\gamma$ könnte in Zukunft eine Grundlage für Rillenbeurteilungen sein. Mit Hilfe des Faktors könnte es möglich sein, das Verhalten von verschiedenen Faltschachtelkartons beim Rillen vorherzusagen und die Rillgeometrie darauf abzustimmen.

Um diese Ergebnisse zu untermauern, sollten jedoch weiterführende Untersuchungen angestellt werden. Es wäre interessant, Kartonsorten zu wählen, die für die einzelnen Grammatoren jeweils verschiedene Lagenzahlen aufweisen. Weiters könnte ein breiteres Spektrum von Rillgeometrien zusätzliche Information hinsichtlich eines idealen $\Delta\gamma$ liefern.

Außerdem sollten weitere Einflüsse berücksichtigt werden. Es muss ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass im Zuge dieser Arbeit der Rilldruck nicht untersucht wurde. Dieser hat jedoch gravierenden Einfluss auf das Rillergebnis (Bobst GmbH, 2014) und bestimmt somit zu einem großen Maß das Rillergebnis. Weiters wurde die Feuchte während der Rillung nicht verfolgt. Panek (2014) zeigte jedoch, dass auch diese das Ergebnis mitbestimmen.

Literaturverzeichnis

- Austropapier, 2012. www.austropapier.at. [Online]
Available at:
http://www.austropapier.at/uploads/media/InternationaleZahlen_01.pdf
[Zugriff am 15 Juli 2014].
- Barbier, C., Lennart, P.-L., Östlund, S. & Eklund, J., 2003. *Tappi Preprints 2003 International Paper Physics Conference*. Victoria, Tappi.
- Beex, L. & Peerlings, R., 2009. An experimental and computational study of laminated paperboard creasing and folding. *International Journal of Solids and Structures*, pp. 4192-4207.
- Blechschildt, J., 2010. *Taschenbuch der Papiertechnik*. München: Carl Hanser Verlag.
- Blechschildt, J., 2011. *Altpapier. Regularien - Erfassung - Aufbereitung - Maschinen und Anlagen - Umweltschutz*. München: Carl Hanser Verlag.
- Blechschildt, J., 2013. Kapitel 2: Begriffe und Definitionen. In: J. Blechschildt, Hrsg. *Papierverarbeitungstechnik*. München: Carl Hanser Verlag.
- Bobst GmbH, 2014. *Stanzautomat Autoplatine*. Mex: Bobst Group SA.
- Brännvall, E., 2009. Book 2: Pulping Chemistry and Technology. Chapter 1: Overview of Pulp and Paper Processes. In: M. Ek, G. Gellerstedt & G. Henriksson, Hrsg. *Pulp and Paper Chemistry and Technology*. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG.
- Carlsson, I., De Ruvo, A. & Fellers, C., 1983. Bending properties of creased zones of paperboard related to interlaminas defects. *Journal of Materials Science* 18 (5), pp. 1365-1373.
- Chang-Keun, K., Won-Seok, L. & Yong Kyu, L., 2010. Studies on the fold-ability of coated paperboard (1). Influence of latex on fold-ability during creasing/folding coated paperboard. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 16, pp. 842-847.
- DIN, 2008. *DIN 55437-3: Prüfung von Papp-Rillungen Teil 3: Bestimmung der technischen Qualität*. Berlin: Normenausschuss NMP und NPa.

- European Recovered Paper Council, 2006 - 2010. *European Declaration on Paper Recycling*. Brüssel: s.n.
- Fellers, C. et al., 1983. *Carton Board. Profitable use of pulps and processes*. s.l.:Swedish Forest Products Research Laboratory.
- FEPI, 2011. *Spezifikation Pharmakarton*. s.l.:s.n.
- Giampieri, A., Perego, U. & Borsari, R., 2011. A constitutive model for the mechanical response of the folding of creased paperboard. *International Journal of Solids and Structures* 48, pp. 2275-2287.
- Göttsching, L. & Katz, C., 1999a. *Papier Lexikon, Band 2 G-Q*. Gernsbach: Deutscher Betriebswirte-Verlag GmbH.
- Göttsching, L. & Katz, C., 1999b. *Papier Lexikon, Band 3 R-Z*. Gernsbach: Deutscher Betriebswirte-Verlag GmbH.
- Großmann, V., 1985. *Dissertation: Untersuchungen zum Verarbeitungsverhalten von Karton beim Rillen mit Bandstahlschnittwerkzeug*. Dresden: TU Dresden.
- Großmann, V., 2013. Kapitel 9: Herstellung von Faltschachteln. In: J. Blechschmidt, Hrsg. *Papierverarbeitungstechnik*. München: Carl Hanser Verlag.
- Gullichsen, J., 1999. Book 6A: Chemical Pulping. Chapter 2: Fiber Line Operations. In: J. Gullichsen & H. Paulapuro, Hrsg. *Papermaking Science and Technology*. Helsinki: Fapet Oy.
- Hanlo, J. F., Kelsey, R. J. & Forcinio, H. E., 1998. *Handbook of Package Engineer*. 3. Hrsg. Boca Raton: CRC Press.
- Holik, H., 2013. Kapitel 3.2: Maschinen und Anlagen zur Papiererzeugung. In: J. Blechschmidt, Hrsg. *Papierverarbeitungstechnik*. München: Carl Hanser Verlag.
- Huang, H., Hagman, A. & Nygard, M., 2014. Quasi static analysis of creasing and folding for three paperboards. *Mechanics of Materials* 69, pp. 11-34.
- Joukio, R. & Mansikkamäki, S., 1998. Book 12: Paper and Paperboard Converting. Chapter 8: Cartonboard package manufacturing and applications. In: J. Gullichsen & H. Paulapuro, Hrsg. *Papermaking Science and Technology*. Helsinki: Fapet Oy.

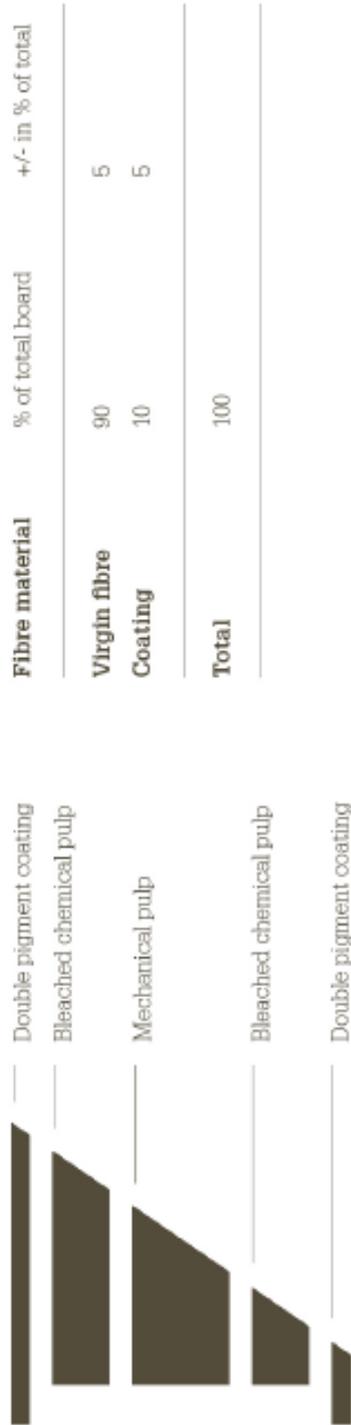
- Kiviranta, A., 2000. Book 18: Paper and Board Grades. Chapter 2: Paperboard Grades. In: J. Gullichsen & H. Paulapuro, Hrsg. *Papermaking Science and Technology*. Helsinki: Fapet Oy.
- Mentrasti, L., Cannella, F., Pupilli, M. & Dai, J., 2013. Large bending behavior of creased paperboard. 1. Experimental investigation. *International Journal of Solids and Structures* 50, pp. 3089-3096.
- Nagasawa, S. et al., 2003. Effect of crease depth and crease deviation on folding deformation characteristics of coated paperboard. *Journal of Materials Processing Technology* 140, pp. 157-162.
- Panek, J., 2014. *Creasing. Effects of tool geometrie, web tension, and board moisture*. Raleigh, Progress in Paper Physics Seminar.
- Spanier, M., 2014. *Weiterverarbeitung von Karton* [Interview] (3 Juli 2014). Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2007. *T 1200 sp-07*. s.l.:s.n.
- Tenzer, J. & Großmann, V., 1985. Teil 1: Allgemeine Grundlagen, Zellstoff und Papier 2. In: J. G. V. Tenzer, Hrsg. *Untersuchungen zum Verarbeitungsverhalten von Karton beim Rillen mit Bandstahlschnittwerkzeugen*. Dresden: TU Dresden.
- Wilken, R., 2013. Kapitel 5: Verfahren der Papierverarbeitung. In: J. Blechschmidt, Hrsg. *Papierverarbeitungstechnik*. München: Carl Hanser Verlag.

Anhang 1 – Spezifikationen der Primärfaserkartons

Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
BB Optimus Top (GC1)

1 Kartonaufbau / Board structure / Structure de carton

Baiersbrunn Frischfaser Karton GmbH, Germany



2 Technische Werte / Technical specification / Spécifications techniques

Gewicht Grammage Grammage	Dicke Caliper Epaisseur	Volumen Bulk Main	L&W 5°		Steifigkeit/ Stiffness/ Rigidity		
			längs/md /cm mNm	quer/od/et mNm	L&W $\sqrt{(\text{md} \times \text{od})}$	längs/md/cm mNm	quer/od/et mNm
230	345	1.50	20.9	8.7	13.5	12.6	4.9
250	385	1.54	26.8	11.4	17.5	15.6	6.3
275	440	1.60	34.9	15.2	23.0	18.2	7.9
300	480	1.63	44.7	19.5	29.5	23.7	9.9
325	540	1.66	55.5	24.7	37.0	28.3	11.7
350	590	1.69	65.3	29.7	44.0	33.7	14.2
375	640	1.71	77.1	35.1	52.0	39.7	16.8
400	690	1.73	90.9	42.3	62.0	44.9	19.1
425	740	1.74	107.2	51.1	74.0	51.7	23.1
450	790	1.76	124.6	59.3	86.0	59.8	26.2

Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
EB Albaplex (GC1)



2

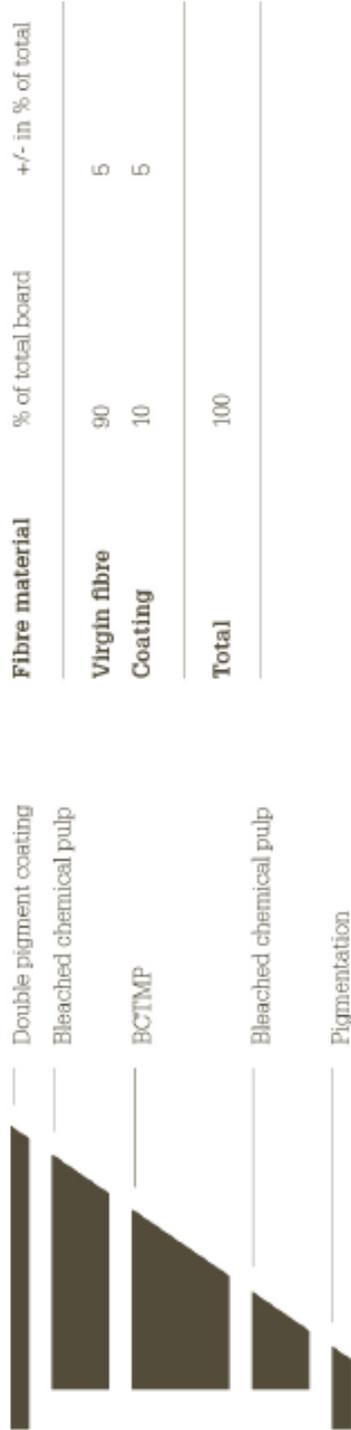
Technische Werte / Technical specification / Spécifications techniques

Gewicht Grammage Grammage g/m ²	Dicke Caliper Epaisseur µm	Volumen Bulk Main cm ³ /g	L&W 5*		Steifigkeit/ Stiffness/ Rigidité		Taber 15*	
			länge/md /am mNm	quer/cd/st mNm	länge/md/am mNm	quer/cd/st mNm	länge/md/am mNm	quer/cd/st mNm
215	320	1.49	14.2	7.2	10.1	7.7	4.0	
230	370	1.61	17.5	9.0	12.5	9.3	4.7	
250	410	1.64	22.0	11.5	15.9	12.0	6.1	
275	460	1.67	28.5	15.0	20.7	15.9	8.1	
300	510	1.70	37.0	18.5	26.9	20.6	10.5	
305	520	1.70	38.8	20.4	28.1	21.7	11.1	
325	570	1.75	46.0	24.0	33.2	26.1	13.4	
350	620	1.77	57.0	30.0	41.4	32.5	16.7	
375	670	1.78	69.5	37.0	50.7	38.9	20.6	
400	730	1.83	84.0	44.5	61.1	48.4	25.0	
425	780	1.86	100.5	53.0	73.0	57.9	28.9	
450	850	1.89	119.0	62.0	85.9	68.4	35.3	

Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
EB Silvawhite (GC1)

Mayr-Melnhof Eerbeek B.V., Netherlands

1 Kartonaufbau / Board structure / Structure de carton



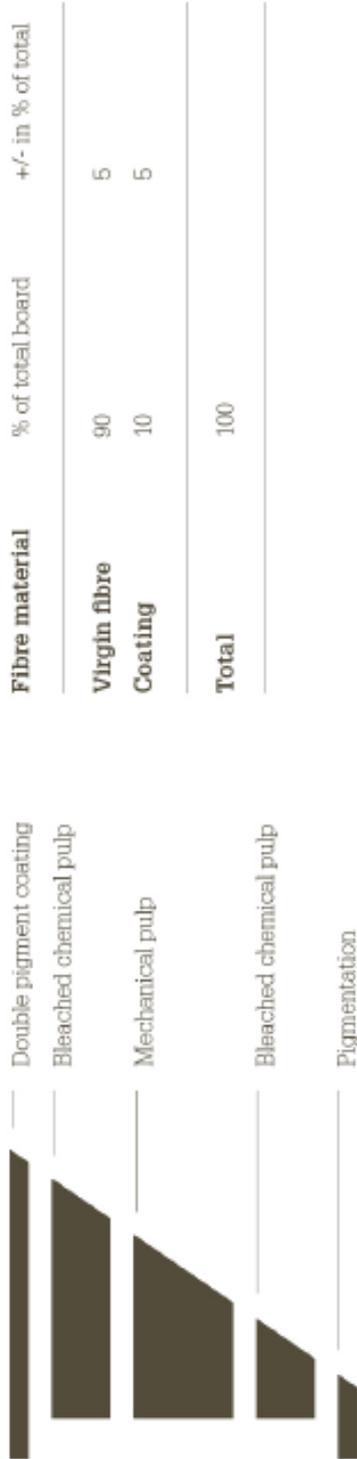
2 Technische Werte / Technical specification / Spécifications techniques

Gewicht Grammage Grammage g/m ²	Dicke Caliper Epaisseur µm	Volumen Bulk Main cm ³ /g	Steifigkeit/ Stiffness/ Rigidité				Feuchte Moisture Humidité (absolut) %	
			L&W 5°		Taber 15°			
			länge/md /sm mNm	quer/od/et mNm	länge/md/sm mNm	quer/od/et mNm		
215	330	1.53	16.0	8.3	11.5	8.8	4.6	7.5
230	370	1.61	19.5	10.1	14.0	10.7	5.4	7.5
250	410	1.64	25.0	12.9	18.0	13.8	7.0	7.5
275	470	1.71	33.0	17.4	24.0	18.8	9.5	7.5
300	530	1.77	43.7	22.7	31.5	24.0	12.2	7.5
325	560	1.72	51.4	27.9	37.9	29.8	15.2	8.8
350	610	1.74	63.6	34.5	46.8	37.0	18.8	9.3

Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
BB Excellent Top (GC2)

Baiersbronn Frischfaser Karton GmbH, Germany

1 Kartonaufbau / Board structure / Structure de carton



2 Technische Werte / Technical specification / Spécifications techniques

Gewicht Grammage g/m ²	Dicke Caliper Epaisseur µm	Volumen Bulk Main cm ³ /g	Steifigkeit/ Stiffness/ Rigidity				
			L&W 5°		Taber 15°		
		L&W		Taber 15°			
		längs/md /sm mNm	quer/od/et mNm	längs/md /sm mNm	quer/od/et mNm		
230	350	1.52	21.7	9.0	14.0	12.6	5.0
250	380	1.56	27.6	11.7	18.0	16.1	6.7
275	450	1.63	36.4	15.8	24.0	19.0	8.3
300	500	1.66	47.0	20.4	31.0	24.9	10.4
325	550	1.69	57.0	25.3	38.0	29.4	12.4
350	600	1.71	69.7	31.7	47.0	36.4	15.4
375	650	1.73	84.5	38.4	57.0	42.1	17.5
400	700	1.75	99.7	46.4	68.0	48.8	21.5
425	750	1.77	115.9	55.2	80.0	56.9	25.8
450	800	1.78	134.8	64.2	93.0	65.6	29.0

Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
KK Excellent Top (GC2)



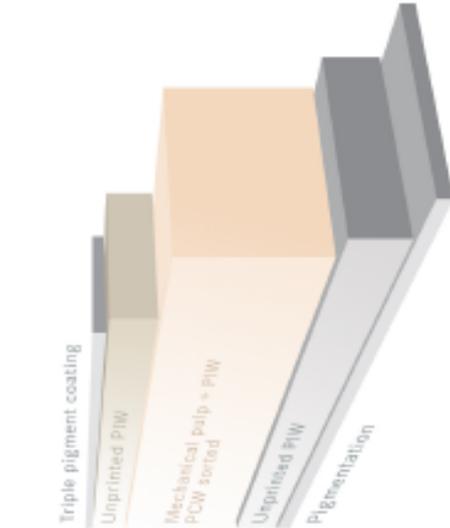
2 Technische Werte / Technical specification / Spécifications techniques

Gewicht Grammage g/m ²	Dicke Caliper Epaisseur µm	Volumen Bulk Main cm ³ /g	Steifigkeit/ Stiffness/ Rigidité					
			L&W 5°		L&W		Taber 15°	
			länge/md /sm mNm	quer/od/st mNm	länge/md /sm mNm	quer/od/st mNm	länge/md /sm mNm	quer/od/st mNm
215	340	1.58	17.1	7.2	11.1	9.5	4.0	
230	350	1.52	21.7	9.0	14.0	12.6	5.0	
250	390	1.56	27.6	11.7	18.0	16.1	6.7	
275	450	1.64	36.4	15.8	24.0	19.0	8.3	
300	500	1.67	47.0	20.4	31.0	24.9	10.4	
325	550	1.69	57.0	25.3	38.0	29.4	12.4	
350	600	1.71	69.7	31.7	47.0	36.4	15.4	
375	650	1.73	84.5	38.4	57.0	42.1	17.5	
400	700	1.75	99.7	46.4	68.0	48.8	21.5	

Anhang 2 - Spezifikationen der Sekundärfaserkartons

Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
KK Belpak (GT2)

Gewicht Grammage		Dicke Caliper Epaisseur	Volumen		Steifigkeit / Stiffness / Rigidity		
			Bulk	Main	L + W 5°		Taber 15°
g / m ²	µm	cm ³ / g	längs/md / sm mNm	quer/cd / st mNm	$\sqrt{\text{md} \times \text{cd}}$	längs/md / sm mNm	quer/cd / st mNm
230	305	1.33	13.2	5.5	8.5	7.3	3.0
250	330	1.32	16.7	6.7	10.6	9.3	3.7
280	370	1.32	22.0	8.8	13.9	11.9	4.7
300	400	1.33	28.0	11.2	17.7	14.7	5.9
320	430	1.34	34.0	13.6	21.5	17.9	7.2
350	465	1.33	43.8	17.5	27.7	22.4	8.9
400	530	1.33	62.2	23.8	38.5	31.1	11.9
450	605	1.34	82.6	31.2	50.8	39.3	14.9
Weißgrad / Brightness / Degré de Blancheur:				80	-1	Elrepho (VS / top / recto)	
				72	-2/+2	Elrepho (RS / reverse / verso)	



Belpak - BEL / GT2 05/2014

Code No. **32173**

Werk / mill / usine: Kolicevo Karton d.o.o., SLOVENIA

Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
FL Multicolor Mirabell (GD2)

Gewicht Grammage		Dicke Caliper Epaisseur	Volumen		Steifigkeit/ Stiffness/ Rigidité							
			Bulk	Main	L + W 5°		L + W		Taber 15°			
g / m ²	µm	µm	cm ³ / g	cm ³ / g	längs/md /sm	quer/cd /st	$\sqrt{(md \times cd)}$	längs/md /sm	quer/cd /st	längs/md /sm	quer/cd /st	
230	290	290	1.26	1.26	10.1	4.6	6.8	5.4	2.5	5.4	2.5	
250	340	340	1.36	1.36	15.4	7.0	10.4	7.5	3.4	7.5	3.4	
280	380	380	1.36	1.36	20.9	9.5	14.1	10.7	4.9	10.7	4.9	
300	410	410	1.37	1.37	24.7	11.2	16.6	12.6	5.8	12.6	5.8	
320	435	435	1.36	1.36	31.8	13.3	20.6	16.2	6.4	16.2	6.4	
350	490	490	1.40	1.40	42.0	17.0	26.7	20.6	7.8	20.6	7.8	
380	540	540	1.42	1.42	53.0	21.2	33.5	25.2	10.1	25.2	10.1	
400	565	565	1.41	1.41	60.9	24.4	38.5	28.0	11.3	28.0	11.3	
420	590	590	1.40	1.40	68.7	27.5	43.5	32.4	12.9	32.4	12.9	
450	625	625	1.39	1.39	77.9	31.2	49.3	37.5	15.0	37.5	15.0	
Weißgrad / Brightness / Degré de Blancheur:					82	-1	Elrepho (VS / top / recto) Elrepho (RS / reverse / verso)					

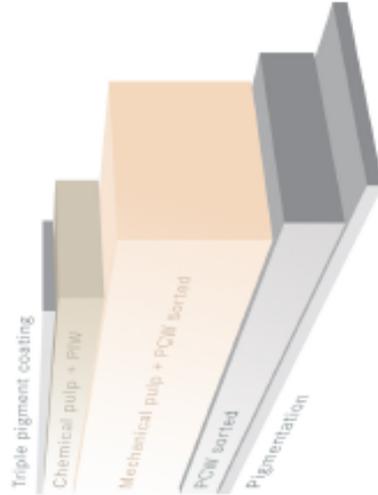
Multicolor Mirabell - MCM / GD2

Code No.

42127

05/2014

Werk / mill / usine: Mayr-Melnhof Kart. Frohnleiten, AUSTRIA



Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
GE Multicolor Mirabell (GD2)

Gewicht Grammage		Dicke Caliper Epaisseur	Volumen		Steifigkeit/ Stiffness/ Rigidité							
			Bulk	Main	L + W 5°		L + W		Taber 15°			
g / m ²		µm	cm ³ / g	cm ³ / g	längs/md / sm	mNm	quer/cd / st	mNm	längs/md / sm	mNm	quer/cd / st	mNm
280		380	1.36	1.36	20.9	9.5	14.1	10.7	10.7	4.9	4.9	
300		410	1.37	1.37	24.7	11.2	16.6	12.6	12.6	5.8	5.8	
320		435	1.36	1.36	31.8	13.3	20.6	16.2	16.2	6.4	6.4	
350		490	1.40	1.40	42.0	17.0	26.7	20.6	20.6	7.8	7.8	
380		540	1.42	1.42	53.0	21.2	33.5	25.2	25.2	10.1	10.1	
400		565	1.41	1.41	60.9	24.4	38.5	28.0	28.0	11.3	11.3	
420		590	1.40	1.40	68.7	27.5	43.5	32.4	32.4	12.9	12.9	
450		625	1.39	1.39	77.9	31.2	49.3	37.5	37.5	15.0	15.0	
Weißgrad / Brightness / Degré de Blancheur:			82 -1				Elrepho (VS / top / recto) Elrepho (RS / reverse / verso)					

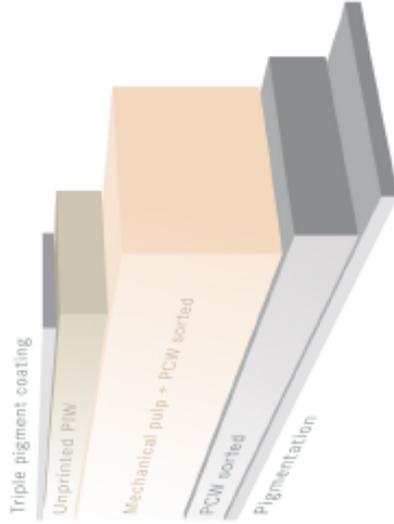
Multicolor Mirabell - MCM / GD2

Code No.

42127

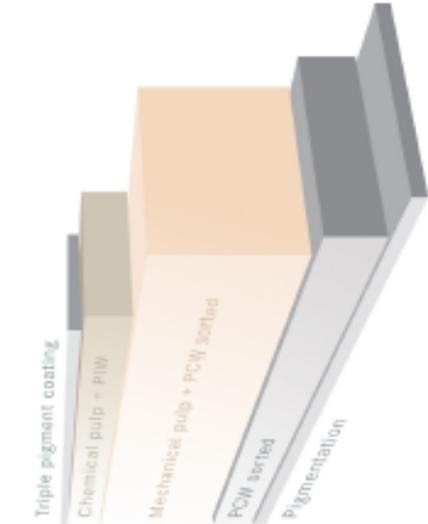
05/2014

Werk / mill / usine: Mayr-Melnhof Gernsbach, GERMANY



Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
HW Multicolor Mirabell (GD)

Gewicht Grammage		Dicke Caliper Epaisseur µm	Volumen		Steifigkeit / Stiffness / Rigidité				
			Bulk	Main	L + W 5°		L + W		Taber 15°
g / m ²		µm	cm ³ / g	cm ³ / g	längs / md / sm mNm	quer / cd / st mNm	$\sqrt{(md \times cd)}$	längs / md / sm mNm	quer / cd / st mNm
400	545	545	1.36	1.36	62.0	24.0	38.6	28.9	10.9
420	570	570	1.36	1.36	69.6	26.4	39.3	32.4	12.5
450	625	625	1.39	1.39	81.0	30.0	49.3	38.2	14.7
500	690	690	1.38	1.38	100.0	37.0	60.8	49.0	18.0
550	760	760	1.38	1.38	128.0	46.0	76.7	63.0	23.0
575	795	795	1.38	1.38	142.0	51.0	85.1	69.5	25.0
600	830	830	1.38	1.38	158.0	56.0	94.1	76.0	27.0
650	900	900	1.38	1.38	185.0	70.0	113.8	86.0	35.0
Weißgrad / Brightness / Degré de Blancheur:					82	-1	Elrepho (VS / top / recto) Elrepho (RS / reverse / verso)		



Auswählen und zoomen **Mirabell -**
MCM / GD2

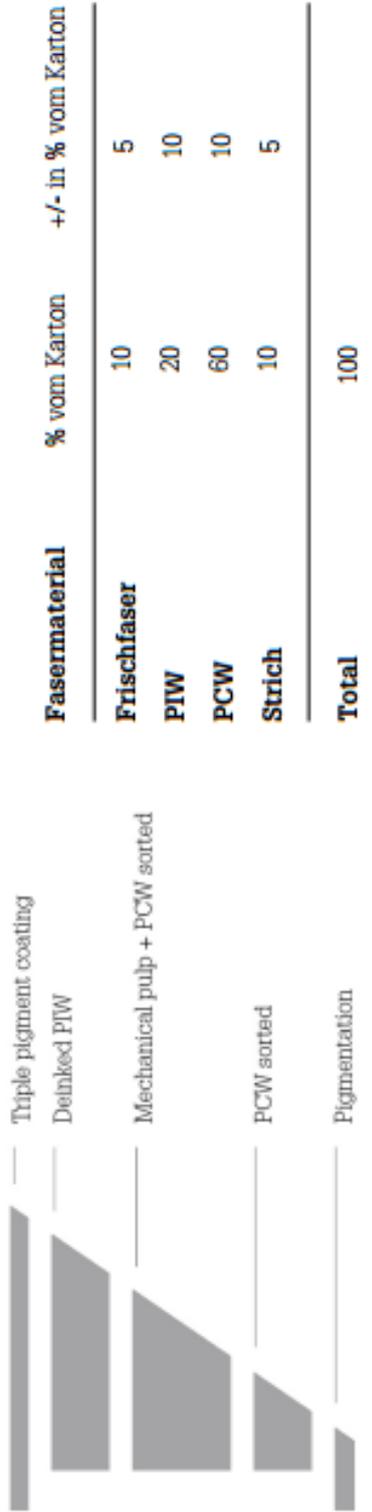
Code No. **42127** **05/2014**

Werk / mill / usine: Mayr-Melnhof Karton Hirschwang, AUSTRIA

Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
NE Multicolor Mirabell (GD2)

FS-Karton GmbH, Deutschland

1 Kartonaufbau



PIW = Post Industrial White Recycled Fibres
PCW = Post Consumer White and Grey Recycled Fibres

2 Technische Werte

Gewicht	Dicke	Volumen	Steifigkeit		
			L&W 5° längs	L&W 5° quer	Taber 15° längs
g/m ²	µm	cm ³ /g	mNm	mNm	Taber 15° quer
			$\sqrt{(fmd \times ccd)}$		mNm
250	340	1.36	15.4	7.0	7.5
280	380	1.36	20.9	9.5	10.7
300	410	1.37	24.7	11.2	12.6
320	435	1.36	31.8	13.3	16.2
350	475	1.36	42.0	17.0	22.1
380	520	1.37	53.0	21.2	25.7

Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
FL Multicolor Spezial (GD3)

Gewicht Grammage		Dicke Caliper Epaisseur		Volumen Bulk Main		Steifigkeit/ Stiffness/ Rigidité			
						L + W 5°		L + W	
g / m ²	µm	µm	cm ³ / g	längs/md / sm	quer/cd/st	$\sqrt{(md \times cd)}$	längs/md/sm	quer/cd/st	quer/cd/st
230	280	280	1.22	8.0	3.6	5.4	3.6	3.6	1.7
250	300	300	1.20	10.7	4.9	7.2	5.8	5.8	2.6
280	345	345	1.23	16.6	7.6	11.2	8.1	8.1	3.7
300	370	370	1.23	20.5	9.3	13.8	10.7	10.7	4.9
320	400	400	1.25	27.2	10.9	17.2	13.6	13.6	5.5
350	450	450	1.29	33.0	13.2	20.9	17.8	17.8	7.2
380	500	500	1.32	42.7	17.1	27.0	21.7	21.7	8.6
400	530	530	1.33	49.7	19.9	31.4	25.0	25.0	10.0
420	560	560	1.33	55.1	22.1	34.9	27.6	27.6	11.1
450	600	600	1.33	67.6	27.1	42.8	34.4	34.4	13.7
Weißgrad / Brightness / Degré de Blancheur:				78	-1	Eirepho (VS / top / recto) Eirepho (RS / reverse / verso)			

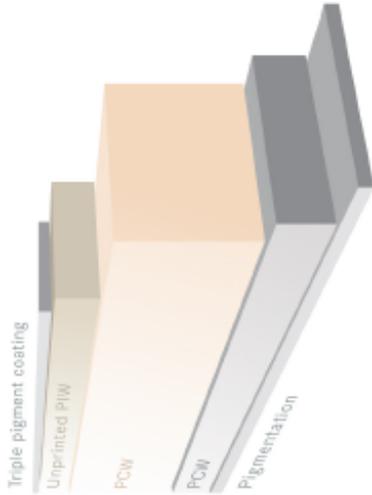
Multicolor Spezial - MCS / GD3

Code No.

43131

05/2014

Werk / mill / usine: Mayr-Melnhof Kart. Frohnleiten, AUSTRIA



Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
HW Multicolor Spezial (GD3)

Gewicht		Dicke	Volumen		Steifigkeit/ Stiffness/ Rigidity					
					L + W 5°		L + W		Taber 15°	
Grammage	Caliper	Epaisseur	Bulk	Main	längs/md / sm	quer/cd / st	$\sqrt{(\text{md} \times \text{cd})}$	längs/md / sm	quer/cd / st	quer/cd / st
g / m ²	µm	µm	cm ³ / g	cm ³ / g	mNm	mNm	mNm	mNm	mNm	mNm
400	530	530	1.33	1.33	52.0	19.0	31.4	25.5	9.8	9.8
420	560	560	1.33	1.33	59.8	21.6		30.4	11.1	11.1
450	620	620	1.38	1.38	71.3	25.7	42.8	35.8	13.2	13.2
480	660	660	1.38	1.38	88.4	32.8	53.8	45.0	16.5	16.5
500	685	685	1.37	1.37	98.0	36.0	59.4	49.0	17.5	17.5
550	755	755	1.37	1.37	124.0	45.0	74.7	62.0	22.0	22.0
600	820	820	1.37	1.37	150.0	56.0	91.7	75.0	27.0	27.0
650	890	890	1.37	1.37	182.0	68.0	111.2	82.0	32.0	32.0
700	960	960	1.37	1.37	220.0	84.0	135.9	104.0	39.0	39.0
Weißgrad / Brightness / Degré de Blancheur:					78	-1	Elrepho (VS / top / recto) Elrepho (RS / reverse / verso)			

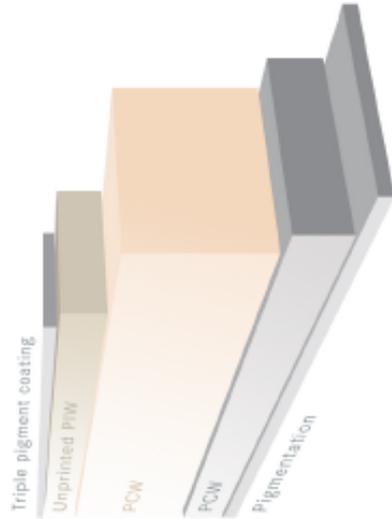
Multicolor Spezial - MCS / GD3

Code No.

43131

05/2014

Werk / mill / usine: Mayr-Melnhof Karton Hirschwang, AUSTRIA



Technische Spezifikationen der Mayr-Melnhof GmbH für
KK Multicolor Spezial (GD3)

Gewicht Grammage Grammage g / m ²		Dicke Caliper Epaisseur µm		Volumen Bulk Main cm ³ / g		Steifigkeit/ Stiffness/ Rigidité					
						L + W 5°		L + W		Taber 15°	
						längs/md / sm	quer / cd / st	längs/md / sm	quer / cd / st	längs/md / sm	quer / cd / st
						mNm	mNm	mNm	mNm	mNm	mNm
230		280		1.22		8.0	3.6	5.4	3.6	1.7	
250		300		1.20		10.7	4.9	7.2	5.8	2.6	
280		345		1.23		16.6	7.6	11.2	8.1	3.7	
300		370		1.23		20.5	9.3	13.8	10.7	4.9	
320		400		1.25		27.2	10.9	17.2	13.6	5.5	
350		450		1.29		33.0	13.2	20.9	17.8	7.2	
400		530		1.33		49.7	19.9	31.4	25.0	10.0	
450		600		1.33		67.6	27.1	42.8	34.4	13.7	
Weißgrad / Brightness / Degré de Blancheur:						78		-1		Eirepho (VS / top / recto) Eirepho (RS / reverse / verso)	

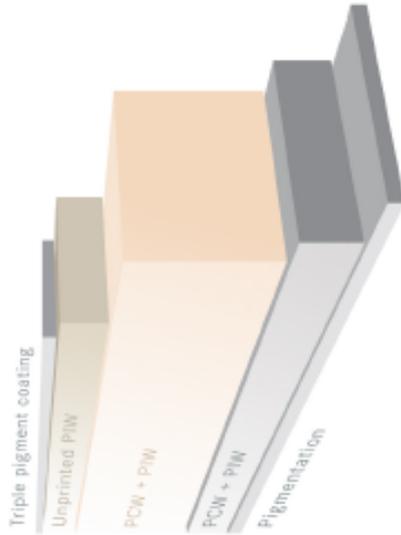
Multicolor Spezial - MCS / GD3

Code No.

43131

05/2014

Werk / mill / usine: Kolicvevo Karton d.o.o., SLOVENIA



Anhang 3

Anhang Tabelle 1: für den Verarbeitungsversuch verwendete Primärfaserkartonsorten und deren Spezifikation nach DIN 19303

	Sorte	[g/m ²]									
GC1	EB Albaplex	230	250	275	300	350	400				
	EB Silvawhite	215	230	250	275	300	350				
	BB Optimus Top	250	275	300	325	350	375	400	425		
GC2	EB Lino Freeze	230	250	275	300	325	350	375	400	425	450
	EB Silvaboard Freeze	215	250	275	300	325	350	375			
	BB Excellent Top	230	250	300	325	350	375	400	425		
	BB MM Digikarton	250	300								
	KK Excellent Top	230	250	300	325	350	375	400			
	KK Kromopak	200	230	245	300	325	350	400			

Anhang Tabelle 2: für den Verarbeitungsversuch verwendete Sekundärfaserkartonsorten und deren Spezifikation nach DIN 19303

	Sorte	[g/m ²]									
GT1	FL Top Color	250	300	320							
GT2	KK Belpak	250	280	300	350	400	450				
	FL Multicolor Belvedere	250	300	350	380	400	450				
	HW Multicolor Belvedere	400	450	500	600	650					
	GE Supra	250	280	300	350	400	450	500			
GT3	FL Ecoprint	250	280	300	350	400	450				
	HW Ecoprint	400	500	550	600	650					
GT4	KK Grafopak Kraft	300	350	400	450	500					
GD2	KK Grafopak	250	300	320	350	400	450				
	FL Multicolor Mirabell	250	300	350	380	400	450				
	HW Venoplex	400	425	450							
	HW Multicolor Mirabell	400	420	450	500	650					
	HW Venofreeze	400	425	450							
	NE Multicolor Mirabell	250	350	380							
	NE Astracolor Mirabell	300	350								
	NE Venoplex	300	325	350							
	GE Multicolor Mirabell	280	300	350	400	450					
	GE Printa	250	280	300	350	400	450	500			
GD3	KK Multicolor Spezial	250	300	320	350	400	450				
	FL Multicolor Spezial	250	300	320	350	400	450				
	HW Multicolor Spezial	400	450	500	550	600	650	700			
GK	HW Graukarton	400	450	500	700						

Anhang 4

Anhang Tabelle 3: Errechnete Geometriefaktoren und gemessene Rilltiefen und Rillbreiten

Sorte	Nutzen	Gem. Dicke [µm]	Rillbreite q. z.FR [mm]	Rillbreite In FR [mm]	Rilltiefe q.z. FR [mm]	Rilltiefe Fin FR [mm]	γ q.z. FR []	γ in FR []	γ tats. q.z.FR []	γ tats. in FR []
EB SW 250	-S	407	2,356	1,872	0,852	1,006	0,740	0,814	0,346	0,435
	Standard	407	1,855	2,120	0,813	1,313	0,678	0,740	0,439	0,439
	+S	407	1,923	2,210	0,753	1,090	0,626	0,678	0,423	0,368
EB SW 350	-S	581	4,065	3,619	1,258	1,884	0,775	0,830	0,286	0,321
	Standard	581	3,234	3,375	1,283	1,926	0,726	0,775	0,359	0,359
	+S	581	4,001	2,900	1,371	1,611	0,612	0,646	0,290	0,344
BB OT 350	-S	579	3,915	2,904	0,937	1,887	0,772	0,827	0,296	0,399
	Standard	579	5,187	2,814	1,060	1,559	0,724	0,772	0,223	0,411
	+S	579	4,506	3,572	0,953	1,320	0,609	0,643	0,257	0,324
BB ET 250	-S	394	2,013	1,961	0,817	1,045	0,876	0,985	0,391	0,402
	Standard	394	2,399	2,390	0,914	0,938	0,788	0,876	0,329	0,330
	+S	394	2,500	2,004	0,826	1,062	0,716	0,788	0,315	0,393
BB ET 350	-S	590		3,071		1,325	0,787	0,787		0,384
	Standard	590		3,277		1,243	0,738	0,656		0,360
	+S	590	2,913		1,085		0,621		0,405	
BB ET 450	-S	789	4,116	4,545	1,301	1,789	0,558	0,686	0,383	0,347
	Standard	789	5,029	4,630	1,655	1,643	0,564	0,584	0,314	0,341
	+S	789	6,521	4,838	1,235	1,020	0,544	0,564	0,242	0,326
KK ET 250	-S	385	2,973	1,014	1,067	1,216	0,856	0,963	0,259	0,759
	Standard	385					0,770	0,856		
	+S	385	3,675	1,101	1,091	0,969	0,700	0,770	0,210	0,699
KK ET 350	-S	591	2,874	2,840	1,114	1,455	0,788	0,844	0,411	0,416
	Standard	591	3,039	2,711	1,159	1,508	0,739	0,788	0,389	0,436
	+S	591	2,617	2,936	1,226	1,217	0,622	0,657	0,452	0,403
KK BP 250	-S	335								
	Standard	335	1,208	1,713	0,954	0,832	0,744	0,838	0,555	0,391
	+S	335	1,975	1,529	0,920	0,705	0,670	0,744	0,339	0,438
KK BP 350	-S	465	2,394	2,163	1,093	1,450	0,715	0,775	0,388	0,642
	Standard	465	2,686	2,369	1,002	1,572	0,664	0,715	0,430	0,393
	+S	465	2,741	2,634	1,048	1,522	0,620	0,664	0,339	0,353
KK BP 450	-S	585	4,035	4,073	1,268	1,731	0,780	0,836	0,290	0,287
	Standard	585	4,613	3,444	1,359	1,447	0,731	0,780	0,000	0,340
	+S	585	3,988	5,140	1,337	1,517	0,616	0,650	0,293	0,228
FL MCM 250	-S	349								
	Standard	349	2,142	1,795	0,824	1,229	0,776	0,873	0,326	0,389
	+S	349								

Sorte	Nutzen	Gem. Dicke [µm]	Rillbreite q. z.FR [mm]	Rillbreite In FR [mm]	Rilltiefe q.z. FR [mm]	Rilltiefe Fin FR [mm]	γ q.z. FR []	γ in FR []	γ tats. q.z.FR []	γ tats. in FR []
FL MCM 350	-S	508	3,045	2,600	1,155	1,816	0,726	0,782	0,334	0,391
	Standard	508	2,450	2,669	1,046	1,746	0,677	0,726	0,415	0,381
	+S	508	3,911	2,085	1,336	1,509	0,635	0,677	0,260	0,487
FL MCM 450	-S	651	3,671	3,225	1,564	2,199	0,651	0,685	0,355	0,404
	Standard	651	4,215	4,048	1,609	2,014	0,620	0,651	0,309	0,322
	+S	651	4,767	3,367	1,604	1,885	0,592	0,620	0,273	0,387
HW MCM 450	-S	630	4,755	4,639	1,397	2,331	0,630	0,663	0,265	0,272
	Standard	630	4,279	3,778	1,520	1,754	0,600	0,630	0,294	0,334
	+S	630								
HW MCM 650	-S	878	5,783	6,087	2,255	3,483	0,627	0,650	0,304	0,289
	Standard	878	5,136	3,238	2,331	2,471	0,606	0,627	0,342	0,542
	+S	878	4,977		1,957		0,566	0,585	0,353	
NE MCM 250	-S	349	2,960	1,919	0,919	0,967	0,776	0,873	0,236	0,364
	Standard	349	1,992	1,289	0,898	1,121	0,698	0,776	0,350	0,541
	+S	349								
NE MCM 350	-S	488	2,489	2,510	1,256	1,709	0,751	0,813	0,392	0,389
	Standard	488	2,410	2,456	1,268	1,679	0,697	0,751	0,405	0,397
	+S	488	2,520	2,510	1,300	1,679	0,651	0,697	0,387	0,389
GE MCM 280	-S	385	1,818	1,568	0,909	0,878	0,856	0,963	0,423	0,491
	Standard	385	1,782	1,426	1,008	0,942	0,770	0,856	0,432	0,540
	+S	385	1,919	1,987	0,750	0,904	0,700	0,770	0,401	0,387
GE MCM 350	-S	491	2,926	2,185	0,903	1,412	0,701	0,755	0,336	0,450
	Standard	491	2,827	2,463	0,913	1,407	0,655	0,701	0,347	0,399
	+S	491	2,936	2,669	0,878	1,596	0,614	0,655	0,335	0,368
FL MCS 250	-S	301								
	Standard	301	3,183	2,960	0,984	1,780	0,669	0,753	0,189	0,203
	+S	301					0,602			
FL MCS 350	-S	446		1,688		0,822	0,811	0,892		0,528
	Standard	446	2,536	2,304	1,141	1,866	0,743	0,811	0,352	0,387
	+S	446	2,377	2,227	1,057	1,583	0,686	0,743	0,375	0,400
FL MCS 450	-S	606	3,954	2,139	1,442	3,041	0,606	0,638	0,307	0,399
	Standard	606	3,778	1,791	1,485	2,960	0,577	0,606	0,321	0,677
	+S	606								
HW MCS 450	-S	596		4,189		2,151	0,596	0,627		0,285
	Standard	596	3,444	3,474	1,645	2,134	0,568	0,596	0,346	0,343
	+S	596								
HW MCS 650	-S	880	6,198	3,367	2,920	2,788	0,629	0,652	0,284	0,523
	Standard	880	6,798	4,557	2,682	2,610	0,607	0,629	0,259	0,386
	+S	880	6,010	5,725	2,700	3,206	0,568	0,587	0,293	0,307

Sorte	Nutzen	Gem. Dicke [μm]	Rillbreite q. z.FR [mm]	Rillbreite In FR [mm]	Rilltiefe q.z. FR [mm]	Rilltiefe Fin FR [mm]	γ q.z. FR []	γ in FR []	γ tats. q.z.FR []	γ tats. in FR []
KK MCS 250	-S	306	2,433		0,658				0,252	
	Standard	306	2,244	1,199	0,696	1,189	0,680	0,765	0,273	0,510
	+S	306		1,384		0,902	0,612	0,680		0,442
KK MCS 450	-S	600	3,007	2,737	1,597	2,564	0,855	0,927	0,370	0,406
	Standard	600	2,763	2,737	1,635	2,623	0,794	0,855	0,402	0,406
	+S	600	2,836	2,934	1,448	2,432	0,741	0,794	0,392	0,379