



Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 14836 N

***Entwicklung eines Qualitäts-Standards für Schwerwellpappe
unter Berücksichtigung mechanisch/klimatischer Belastun-
gen in internationalen Logistikketten.***

Forschungsvereinigung

*Deutscher Forschungsverbund Verpackungs-, Entsorgungs- und Umwelttechnik e.V.,
Hamburg,*

Forschungsstelle

*Institut für BFSV an der HAW Hamburg,
Dipl.-Ing. Wolfgang Reimers*

Hamburg im Oktober 2009



Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse

Die erzielten Ergebnisse zeigen die Problematik bei der Qualitäts-Bestimmung von Schwerwellpappe nach bisherigem Standard und der tatsächlichen Leistungsfähigkeit von Verpackungen aus diesen Wellpappen.

Durch die Korrelation der im Forschungsvorhaben ermittelten mechanischen Kennwerte mit den Kennwerten der Transportverpackung lässt sich ein eindeutiger Zusammenhang zu der Leistungsfähigkeit der Verpackungen herstellen. Die allgemeine Gültigkeit der gefundenen Zusammenhänge wurde ergänzend verifiziert.

Das Ziel des Vorhabens eine Vorhersage der Leistungsfähigkeit der Verpackungen unter Zugrundelegung von geeigneten Festigkeitsmerkmalen der Wellpappe ist damit möglich.

Durch eine verbesserte Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Schwerwellpappe-Verpackungen wird es den Anwendern und Herstellern möglich sein, eine kosten- und nutzenoptimierte Auswahl von Wellpappe-Qualitäten unter Berücksichtigung unterschiedlichen TUL-Belastungen zu treffen (TUL = Transport, Umschlag, Lagerung).

Eine Erweiterung des Standards für den weltweiten Versand muss durch eine ergänzende Bewertung der Zeitstandfestigkeit erreicht werden. Wesentliche Ansätze hierfür sind mit den erzielten Ergebnissen vorhanden. Weitere Untersuchungen und Verifizierungen sind aber nötig.

Im Gegensatz zum ursprünglichen Ziel einen eigenen Standard für Schwerwellpappen zu kreieren wurde in Zusammenarbeit mit dem Forschungsbegleitenden Ausschuss entschieden einen Antrag bei DIN zu stellen, die bestehende DIN 55468-1 bei derzeit anstehenden Revision zu verändern und die in diesem Vorhaben entwickelten Anforderungen an die Schwerwellpappen entsprechend zu implementieren. Vorteilhaft hierbei sind die schnelle Umsetzung der Ergebnisse in die Normung und die Beibehaltung der generellen Systematik in der DIN, die nach wie vor in allen Industriebereichen angewendet wird.

Das Ziel des Vorhabens wurde deswegen nur teilweise erreicht.

Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen

Zielsetzungen	Ergebnisse
Erarbeitung von Grundlagen und Vorschlägen für eine Standardisierung der Schwerwellpappe auf der Basis prüfbarer Werkstoffeigenschaften durch Einführung von Kennwerten (Festigkeitseigenschaften), die Verwendern und Herstellern eine bessere Vorhersagbarkeit der Leistungsfähigkeit von Transportverpackungen ermöglichen.	Durch die Korrelation der im Forschungsvorhaben ermittelten mechanischen Kennwerte mit den Kennwerten der Transportverpackung lässt sich ein eindeutiger Zusammenhang zu der Leistungsfähigkeit der Verpackungen herstellen. Die allgemeine Gültigkeit der gefundenen Zusammenhänge wurde ergänzend verifiziert.
Die Hintergründe und Beziehungen zwischen Werkstoffeigenschaften und Leistungsfähigkeit von Konstruktionen aus Schwerwellpappe müssen in einem Standard auf eine wissenschaftliche Basis gestellt werden. Damit soll auch ein Beitrag für eine zukünftige europäische Standardisierung geleistet werden.	Durch die vorgesehene Aufnahme des Qualitätsstandards in die Norm DIN 55468-1 wird für alle Beteiligten die Auswahl einer belastungsgerechten Wellpappe dem Stand der Technik angepasst und somit auf eine in allen Industriebereichen akzeptierte Grundlage gestellt.
Untersuchung der Langzeittragfähigkeit von Verpackungen aus Schwerwellpappe. Kenntnisse hierüber ermöglichen es dem Nutzer der Verpackungen Wellpappen-Qualität auszuwählen, die den spezifischen Anforderungen an die Tragfähigkeit und den Schutz der Produkte im weltweiten Versand genügen und damit die Gebrauchseignung eindeutig definieren.	Die Ergebnisse der hier durchgeführten zeitaufwendigen Prüfungen haben noch nicht zu einer abschließenden Beurteilung führen können, zeigen aber entsprechende Tendenzen auf. Eine Erweiterung des Standards für den weltweiten Versand muss durch eine ergänzende Bewertung der Zeitstandfestigkeit erreicht werden. Viel versprechende Ansätze hierfür sind mit den erzielten Ergebnissen vorhanden. Weitere Untersuchungen und Verifizierungen sind nötig.

Die im Forschungsantrag vorgegeben Ziele sind in den Arbeitsschritten 1, 2, 3 erfüllt worden. Alle geplanten Langzeitprüfungen aus dem Arbeitsschritt 3 konnten bis zum Abschluss des Forschungsvorhabens nicht vollständig beendet werden. Die Zeitdauer der einzelnen Langzeitprüfungen ist gegenüber den geschätzten Zeiten im Forschungsantrag deutlich höher. Statistisch abgesicherte Ergebnisse wurden nur mit einer Belastungsstufe und einer Verpackungsgröße vollständig durchgeführt.

Für die durchgeführten Recherchen und Untersuchungen war ein wissenschaftlicher Mitarbeiter 21 Monate in Vollzeit beschäftigt.

Leistungen Dritter wurden nicht erbracht, Geräte mit einem Wert von über € 2500,- wurden aus Stiftungsmitteln und Mitteln der Forschungsstelle während der Durchführung beschafft.

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

Innovativer Beitrag, wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten

Mit der Erarbeitung von Grundlagen für die beanspruchungsgerechte Konstruktion von Schwerwellpappe-Verpackungen und deren Anwendung auf europäische und weltweite Versandprozesse wird innovatives Rationalisierungspotenzial geschaffen, das sich besonders der KMU-Industrie, den Gewerbebetrieben und dem Handel erschließen wird. Spezifikationen der Verwender, die auf dem Qualitätsstandard für Schwerwellpappe basieren, werden besser vergleichbar sein, so dass sich der Wettbewerb (z. B. Internetauktionen) nicht mehr nur über die Materialkosten abspielt. Durch die bessere Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Schwerwellpappe-Verpackungen wird es den Anwendern und Herstellern möglich sein, eine kosten- und nutzenoptimierte Auswahl von Wellpappe-Qualitäten unter Berücksichtigung der unterschiedlichen TUL-Belastungen zu treffen (TUL = Transport, Umschlag, Lagerung).

Die Prozesskostenrechnung spielt bei der Umsetzung der Ergebnisse dieses Vorhabens eine wesentliche Rolle. Die verbesserte Entwicklung und Konstruktion von Schwerwellpappe auf der Basis dieses Standards, der Verwendern und Herstellern eine bessere Vorhersagbarkeit der Leistungsfähigkeit von Transportverpackungen ermöglicht, ist ein signifikanter Beitrag zur Kostenreduktion und auch zur Minimierung der zu entsorgenden Packstoffe.

Nicht nur die im Forschungsbegleitenden Ausschuss mitarbeitenden Hersteller und Anwender werden die Umsetzung der Ergebnisse im Rahmen ihrer nationalen und europäischen Aktivitäten vorantreiben.

Die nun vorgesehene Aufnahme des Qualitätsstandards in die Norm DIN 55468-1 ist ein wichtiger Schritt für alle Hersteller und Nutzer von Transportverpackungen aus Schwerwellpappe. Durch die Normierung wird für alle Beteiligten die Auswahl einer belastungsgerechten Wellpappe dem Stand der Technik angepasst werden können und somit auf eine in allen Industriebereichen akzeptierte Grundlage gestellt.

Die Ergebnisse bilden auch die Grundlage für eine Revision des BFSV-Gütesiegels für die Eignung von Wellpappe im Überseeversand, das in Deutschland und Europa nahezu alle Schwerwellpappenhersteller für ihre Wellpappen seit mehr als 30 Jahren verwenden.

Veröffentlichungen

Arbeiten aus dem Forschungsvorhaben und die entsprechenden Ergebnisse bzw. Teile davon wurden bereits wie folgt veröffentlicht:

- Sitzungen des Projekt begleitenden Ausschuss in Hamburg am 27.04.2006, 23.11.2006, 26.04.2007, 29.11.2007, 15.05.2008, 25.11.2008, 12.02.2009, 05.11.2009.
- Posterpräsentation auf dem von der AiF im Auftrag des BMWi durchgeführten 15. Innovationstag Mittelstand in Berlin am 25.06.2008
- Vortrag auf der Messe „easyFairs Verpackung Nord“ in Hamburg am 29.01.2009
- Vortrag auf dem wissenschaftlichen Symposium „1. Hamburger Verpackungsgespräche“ in Hamburg am 13.02.2009
- Schriftliche Abhandlung im Tagungsband zum wissenschaftlichen Symposium „1. Hamburger Verpackungsgespräche“ in Hamburg vom 13.02.2009
- Vortrag bei SUW Group am 28.05.2009, Stockholm

Darüber hinaus sind folgende Veröffentlichungen für die Zukunft geplant:

- Einstellen des detaillierten Forschungsberichtes auf die Homepage des Instituts für BFSV
- Fachartikel in der Fachzeitschrift „Wellpappe Nachrichten“
- Vortrag auf der Messe „easyFairs Verpackung Nord“ in Hamburg am 10.02.2010
- Vortrag auf dem 7. International Symposium Moisture and creep effects on paper, board and containers
- Die Ergebnisse des Vorhabens werden allen interessierten Kreisen bei den Wellpappe-Herstellern und den –Verwendern durch das Institut für BFSV bei entsprechenden Vorträgen und Seminaren bekannt gemacht.
- Normung:
Der neue Qualitätsstandard für Schwerwellpappe soll bei der anstehenden Revision der Norm DIN 55468-1 mit eingearbeitet werden. Der Antrag hierfür ist gestellt und wird bei der nächsten Sitzung des Arbeitsausschusses NA 074-00-14 AA beraten. Der Projektleiter ist Mitarbeiter in diesem Normenausschuss.

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 14836N der Forschungsvereinigung „Deutscher Forschungsverbund Verpackungs-, Entsorgungs- und Umwelttechnik e.V. (DVEU) Hamburg“ wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir bedanken uns für die gewährte Unterstützung.

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis	I
II	Abbildungsverzeichnis	III
III	Tabellenverzeichnis	V
IV	Abkürzungsverzeichnis	V
1	Einleitung	1
2	Problemstellung	2
2.1	Transportverpackungen	2
2.2	Anforderungen an den Werkstoff Wellpappe	2
2.3	Spezifikationen, Anforderungsnormen	4
3	Zielstellung	9
4	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	10
4.1	Packstoff- und Packmittelauswahl	10
4.1.1	Auswahlkriterien für die Wellpappen	10
4.1.2	Ausgewählte Wellpappen	11
4.1.3	Konstruktion der Packmittel	11
4.2	Prüftechnische Bewertung der Wellpappen – Erste Prüfserie	12
4.2.1	Beschreibende Merkmale	12
4.2.2	Festigkeitsprüfungen (zerstörende Prüfungen)	13
4.2.3	Festigkeitsprüfungen (nicht zerstörende Prüfung)	15
4.3	Leistungsfähigkeitsprüfungen der Packmittel	15
4.3.1	Kurzzeitprüfungen	15
4.3.2	Langzeitprüfungen	16
4.4	Zweite Prüfserie mit ausgewählten Wellpappen und Packmitteln	18
5	Prüfergebnisse und deren Bewertung	19
5.1	Prüftechnische Bewertung der Wellpappen	19
5.2	Leistungsfähigkeitsprüfungen der Packmittel	20

5.2.1	Kurzzeitprüfungen (BCT)	20
5.2.2	Langzeitprüfungen	22
5.3	Zweite Prüfserie	24
6	Vorschlag für den Qualitätsstandard	26
6.1	Vorschlag	26
6.1.1	Auswirkung auf die Sorteneinteilung nach neuer Klassifizierung	27
6.2	Erweiterung des Standards für den weltweiten Versand	28
V	Anhang Prüfergebnisse, Abbildungen und Tabellen.....	29

II Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Faltschachtel gemäß FEFCO 0201	11
Abb. 2:	Konstruktion gemäß FEFCO 0301	12
Abb. 3:	BCT Prüfung (Beispiel).....	16
Abb. 4:	Langzeitprüfung (Druckgestelle in der Klimakammer).....	17
Abb. 5:	Simulierte Klimabedingungen mit wechselnder rel. LF.....	17
Abb. 6:	Zusammenhang zwischen Kantenstauchwiderstand (ECT) und flächenbezogener Masse (FG) der Wellpappen.....	29
Abb. 7:	Zusammenhang zwischen Biegesteifigkeit (BS) und flächenbezogener Masse (FG) der Wellpappen.....	30
Abb. 8:	Kantenstauchwiderstand (ECT) als Funktion von v (2-wellige Wellpappen) Klima: 23 °C / 50 % rel. LF.	30
Abb. 9:	Biegesteifigkeit (geometrisches Mittel GM) aller Wellpappen bei 50 % und 90 % rel. LF. Zuordnung zu den DIN-Sorten. 1-9=2-wellige, 10-16= 3-wellige Wellpappen	31
Abb. 10:	BCT-Werte am Beispiel des Packmittels FEFCO 00201 bei 50 % rel. LF. Prüfgeschwindigkeiten $v=1$, $v=10$, $v=100$ mm/min.	31
Abb. 11:	Bestimmung der Parameter β und K gemäß dem Vorhersagemodell von McKee (Beispiel für Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF.).....	32
Abb. 12:	Gegenüberstellung BCT berechnet zu BCT gemessen. Vergleich Original Parameter / neue Parameter. Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF.	33
Abb. 13:	Prozentuale Abweichungen zwischen BCT berechnet und BCT gemessen (alt/neu), Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF.	33
Abb. 14:	Langzeitbelastbarkeit (Zeit bis zum Bruch). Übersicht aller Wellpappen am Beispiel der Packmittel FEFCO 0201 mit der Zuordnung zu den Wellpappe-Qualitäten gemäß DIN 55468-1.....	34
Abb. 15:	Gegenüberstellung der Standzeiten (Zeit bis zum Bruch) der Packmittel FEFCO 02021 zu den gemessenen BCT-Werten.....	34
Abb. 16:	Korrelation der Nass-Berstfestigkeit der Wellpappen zur Standzeit der Verpackungen am Beispiel des Packmittels FEFCO0201.....	35

Abb. 17:	Korrelation der Nass-Berstfestigkeit der Wellpappen zur Standzeit der Verpackungen am Beispiel des Packmittels FEFCO0310.....	35
Abb. 18:	Korrelation der aus den ECT-Werten mit unterschiedlichen Prüfgeschwindigkeiten ($v=1$, $v=10$, $v=100$ mm/min) ermittelten Steigung zu den Standzeiten der Packmittel FEFCO 0201	36
Abb. 19:	Korrelation der aus den ECT-Werten mit unterschiedlichen Prüfgeschwindigkeiten ($v=1$, $v=10$, $v=100$ mm/min) ermittelten Steigung zu den Standzeiten der Packmittel FEFCO 0310.....	36
Abb. 20:	Ermittlung der mittleren Kriechrate (Steigung_1) am Beispiel eines Packmittels FEFCO 0201 mit kurzer Standzeit	37
Abb. 21:	Ermittlung der mittleren Kriechrate (Steigung_1) am Beispiel eines Packmittels FEFCO 0201 mit langer Standzeit	37
Abb. 22:	Kriechraten der Packmittel FEFCO 0201 für alle Wellpappen in Korrelation zur Standzeiten der Verpackungen.....	38
Abb. 23:	Prüfserie 2: Gegenüberstellung BCT berechnet zu BCT gemessen. Vergleich Original Parameter / neue Parameter. Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF.	39
Abb. 24:	Prüfserie 2: Prozentuale Abweichungen zwischen BCT berechnet und BCT gemessen (alt/neu), Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF.....	39
Abb. 25:	Wellpappe-Sorten nach bisher bestehender DIN 55468-1 in Bezug zu den gemessenen BCT-Werten der Packmittel aus diesen Wellpappen	40
Abb. 26:	Einteilung der Wellpappe-Sorten nach neuer Klassifizierung mit der Sortenbezeichnung nach DIN basierend auf dem ECT-Wert und dem Zusatz der jeweiligen Biegesteifigkeitsklasse.....	40

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Standardisierte Prüfverfahren.....	3
Tabelle 2:	DIN 55468-1, Wellpappensorten mit Anforderungen (Sollwerte).....	5
Tabelle 3:	Neufassung der Anforderungen in der DIN 55468-1	26
Tabelle 4:	Übersicht aller Ergebnisse der Standardprüfungen an den Wellpappen und den Packmitteln (BCT)	29
Tabelle 5:	Parameter für die Verpackungen FEFCO 0201 und FEFCO 0310 bei dem Klima 23 °C / 50 % rel. LF. Gegenüberstellung original / neu.	32
Tabelle 6:	Prüfserie 2: Übersicht aller Ergebnisse der Standardprüfungen an den Wellpappen und den Packmitteln (BCT).....	38

IV Abkürzungsverzeichnis

BCT	Box Compression Test
CKD	Completely knocked down – vollständig zerlegt (Export von ganzen Fahrzeugen in Einzelteile zerlegt)
DIN	Deutsches Institut für Normung
ECT	Edge Compression Test (Kantenstauchwiderstand)
FEFCO	fedération européenne des fabricants de carton ondulé
ISO	International Organization for Standardization
rel. LF	Relative Luftfeuchte
TAPPI	Technical Association of The Pulp and Paper Industry
TUL	Transport, Umschlag, Lagerung

1 Einleitung

Das IGF-Vorhaben 14368 N der Forschungsvereinigung „Deutscher Forschungsverbund Verpackungs-, Entsorgungs- und Umwelttechnik e.V. (DVEU) Hamburg“ wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir bedanken uns für die gewährte Unterstützung.

Dieses Forschungsvorhaben wurde von der Forschungsstelle Institut für BFSV an der HAW Hamburg und dem Verein BFSV mit umfangreicher Unterstützung der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fakultät Life Sciences und der Industrie bearbeitet.

Der ausführliche Abschlussbericht liegt in der Forschungsstelle vor:

Institut für BFSV an der HAW Hamburg, Lohbrügger Kirchstraße 65, 21033 Hamburg

2 Problemstellung

2.1 Transportverpackungen

Transportverpackungen aus Wellpappe sind vielseitig einsetzbare, leichtgewichtige und dennoch sehr belastbare Packmittel, die in nahezu allen Bereichen der Warendistribution Verwendung finden.

Der Werkstoff Wellpappe wird in erster Linie für Transportverpackungen aller Art verwendet, er ist für Industrie, Handel und Gewerbe mit Abstand der Packstoff Nummer Eins. Nahezu 75 % aller Transportverpackungen bestehen aus Wellpappe – Tendenz steigend. Transportverpackungen aus Wellpappe müssen dabei folgende Funktionen erfüllen

- optimaler Schutz des Füllgutes
- Verbesserung der Warendistribution
- Information der Verbraucher und Marketing

wobei Leistungsfähigkeit (Festigkeit) und Produktschutz die höchste Priorität haben.

Voraussetzung für die Erfüllung dieser Funktionen ist eine ausreichende Festigkeit der Wellpappe bzw. der daraus hergestellten Verpackungen gegenüber den auftretenden Transport-, Umschlag- und Lagerbelastungen, die über geeignete Prüfverfahren kontrollierbar sein sollte. Hierzu wird ein Qualitäts-Standard für die Festigkeit von Wellpappe benötigt, mit dem es möglich ist, die Leistungsfähigkeit der daraus hergestellten Verpackung zu bestimmen, d.h. die Funktion der Verpackung aus den Kennwerten der Wellpappe (Festigkeitseigenschaften) abzuleiten. *Dies wird bei den bisher existierenden Standards nicht berücksichtigt.*

2.2 Anforderungen an den Werkstoff Wellpappe

Wellpappe wird definiert als „Pappe aus einer oder mehreren Lagen eines gewellten Papiers, das auf eine Lage oder zwischen mehreren Lagern eines anderen Papiers oder Pappe geklebt ist“ [DIN 6735:2000]. Unterschieden werden einwellige und mehrwellige Wellpappen

Für die Festigkeit von Wellpappe-Verpackungen sind die Werkstoffeigenschaften der Wellpappe von entscheidender Bedeutung. In Abhängigkeit von z. B. Papierzusammensetzung, Papierqualität, Verklebung, Wellenaufbau etc. ergeben sich sehr unterschiedliche Festigkeitseigenschaften der Wellpappe. Um für die vielfältigen Anforderungen der unterschiedlichen Versandprozesse die optimale Wellpappe für die Verpackungen auszuwählen, ist es notwendig den Packstoff Wellpappe – wie auch andere Werkstoffe – hinsichtlich seiner Qualität (Festigkeit) zu klassifizieren. Im Wesentlichen stehen für die Qualitätsbestimmung von Wellpappe folgende Festigkeitsmerkmale zur

Verfügung, die mit standardisierten Prüfverfahren bei dem Normalklima 23 °C / 50 % rel. LF. ermittelt werden.

Tabelle 1: Standardisierte Prüfverfahren

<i>Berstfestigkeit nach DIN EN ISO 2759:</i>
Die Berstfestigkeit, gemessen als Berstdruck, ist der Widerstand, den eine kreisförmig eingespannte Probe einem gleichmäßig ansteigenden Druck bis zum Bersten entgegensetzt. Einheit: kPa.
<i>Kantenstauchwiderstand (ECT) nach DIN EN ISO 3037:</i>
Der Kantenstauchwiderstand ist der maximale Widerstand, den eine Probe (Länge 100 mm, Höhe 25 mm) mit stehenden Wellen einer in dieser Richtung wirkenden Kraft entgegensetzt. Einheit: kN/m.
<i>Durchstoßarbeit nach DIN 53142:</i>
Bei der Messung der Durchstoßarbeit wird mittels eines Pendelschlagwerkes oder mittels einer Druckprüfmaschine mit linearem Vorschub die Arbeit ermittelt, die zum Einstoßen, Weiterreißen und Aufbiegen der Probe durch einen pyramidenförmigen Körper verbraucht wird. Einheit: J.
<i>Biegesteifigkeit nach DIN 53121 / TAPPI T 836:</i>
Die Biegesteifigkeit ist der Widerstand, den eine Probe einem Biegen im elastischen Verformungsbereich entgegensetzt. Die Prüfung erfolgt nach dem Vierpunkt-Verfahren, bei dem die beidseitig an Auflagern anliegende Probe durch zwei symmetrisch an den Enden wirkende Einzelkräfte beansprucht wird. Die Wellpappe wird in Maschinenrichtung und in Querrichtung geprüft und daraus das geometrische Mittel gebildet. Die Biegesteifigkeit wird auf die Probenbreite bezogen und als breitenbezogene Biegesteifigkeit angegeben. Einheit: Nm oder Nmm.
<i>Flachstauchwiderstand nach DIN EN 23035:</i>
Der Flachstauchwiderstand ist der maximale Druck senkrecht zur Wellpappenoberfläche, den eine Wellpappe bis zum Zusammenbruch der Wellen standhält. Einheit: kPa.
<i>Nass-Berstfestigkeit nach DIN ISO 3689:</i>
Die Nass-Berstfestigkeit wird als Berstwiderstand nach einer 24stündigen Wässerung der Probe ermittelt. Einheit: kPa.

Nassfeste Verklebung der Wellpappe:

Die nassfeste Verklebung der einzelnen Lagen der Wellpappe wird nach 24stündiger Wässerung ermittelt. Hierbei dürfen keine Lagenablösungen auftreten.

Die Prüfung erfolgt entweder an unbelasteten Proben (nach TAPPI T 812) oder an Proben die mit Gewichten während der Wasserlagerung belastet werden (nach DIN 53133).

2.3 Spezifikationen, Anforderungsnormen

Auf der Grundlage der o. g. Festigkeitswerte erfolgt die Festlegung von Wellpappenqualitäten oder -sorten. Hierbei werden die Wellpappen durch einen oder mehrere Festigkeitswerte spezifiziert. Die am häufigsten angewendete Norm ist die DIN 55468-1. Hier werden 26 Sorten von Wellpappen mit den Anforderungen an Berstfestigkeit, Durchstoßarbeit und Kantenstauchwiderstand definiert (Tabelle 2). Eine direkte Zuordnung dieser Wellpappen-Qualitäten zu einer Gebrauchseignung (Leistungsfähigkeit) der Packmittel hinsichtlich der Funktionen, die die Verpackungen bei der Waren-distribution zu erfüllen haben – z. B. Schutzfunktion für das Füllgut – ist nicht möglich. Hier spielen die Erfahrungen der Hersteller von Wellpappen und Verpackungen eine große Rolle bei der Auswahl der belastungsgerechten Wellpappe.

Wellpappe ist aufgrund seiner zellen- und wabenartigen Struktur ein sehr komplexer Werkstoff dessen Eigenschaften von den eingesetzten Papieren und von der Konstruktion des Wellenaufbaus abhängen. Viele Festigkeitseigenschaften wie z. B. dynamische Festigkeiten, Zeitstandfestigkeiten und elastisches Verformungsverhalten sind noch nicht ausreichend bekannt, um ihn bei Verpackungskonstruktionen sachgerecht einzusetzen, wie es bei anderen Werkstoffen – wie z. B. Metallen und Kunststoffen – üblich ist. Der Basiswerkstoff Papier ist sehr unterschiedlich und die daraus gefertigten Wellpappen können in ihren Eigenschaften stark schwanken. Hinzu kommt die Abhängigkeit aller Festigkeitseigenschaften vom Klima, von Klimawechseln, von den verwendeten Klebstoffen bei der Papier- und Wellpappeherstellung und von den Recyclingpapieranteilen.

Die DIN 55468-1 ist in erster Linie eine Liefernorm um Qualitäten von Wellpappen miteinander vergleichbar zu machen. Die Wellpappensorten werden unterschieden in

- überwiegend für Lagerbeanspruchung vorgesehen (1.01 bis 1.05 und 2.02 bis 2.06)
- zusätzlich für Transportbeanspruchung vorgesehen (1.10 bis 1.50 und 2.20 bis 2.70)
- Schwerwellpappen (2.90 bis 2.96)

Tabelle 2: DIN 55468-1, Wellpappensorten mit Anforderungen (Sollwerte)

	Sorte	Berstfestigkeit kPa	Durchstoßarbeit ^{a)} J	Kantenstauch- widerstand kN/m
einwellig	1.01		2,5	3,5
	1.02		3	4
	1.03		3,5	4,5
	1.04		4	5,5
	1.05		4,5	6,5
	1.10	600	3	3,5
	1.20	850	3,5	4
	1.30	1.100	4	4,5
	1.40	1.350	4,5	5,5
	1.50	1.600	5	6,5
mehrwellig	2.02		5,5	6,5
	2.03		6	7,0
	2.04		6,5	7,5
	2.05		7	8,5
	2.06		7,5	9,0
	2.20	850	6,0	6,5
	2.30	1.100	6,5	7,0
	2.40	1.350	7,5	8
	2.50	1.600	8,5	8,5
	2.60	1.900	9,5	9
	2.70	2.200	10,5	9,5
	2.90		15	14
	2.91		18	16
	2.92		22	18
	2.95		27	21
2.96		30	24	
ANMERKUNG Festigkeitswerte gelten nicht für Wellpappen nur aus Wellen D, E, F und G.				
^{a)} Für einwellige Wellpappe in Wellenart B reduzieren sich die angegebenen Werte der Sorten um 10 %.				

Eine europaweit anerkannte Spezifikationsnorm für die Auswahl von Wellpappe nach bestimmter Gebrauchseignung bzw. vom Kunden gewünschter Leistungsfähigkeit gibt es zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht. Die bisherige Normung von Wellpappe ist nicht darauf abgestellt, die Gebrauchseignung / Leistungsfähigkeit von Wellpappe-Verpackungen für Spezifikationen nutzen zu können. Die Normung, so fern überhaupt vorhanden, ist in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlich. Eine internationale Vergleichbarkeit ist Praktisch nicht möglich. Gerade dies ist aber durch den globalen Handel für die Verwender nötig, um sowohl Schäden als auch Überverpackungen und unnötigen Aufwand bei der Verpackungsentwicklung und -konstruktion zu vermeiden.

Unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten kommt einem verbesserten Standard für die Leistungsfähigkeit von Wellpappe eine wichtige Bedeutung zu. Ein derartiger Standard muss die Basis sein für eine zielgerichtete Dimensionierung der Verpackungen und die Ausnutzung des Festigkeitspotenzials der eingesetzten Rohpapiere. Aufgrund der Tatsache, dass die Materialkosten für die eingesetzten Papiere ca. 50% der Herstellungskosten betragen, ergibt sich ein hohes Potenzial für die Optimierung des Materialeinsatzes (Kombination der einzelnen Papiere), der Konstruktion (Geometrie) der Wellpappe und der konstruktiven Gestaltung der Verpackung im Hinblick auf die Gewährleistung der Schutzfunktion bei den zu erwartenden Versandbelastungen. Nach Schätzungen der Industrie ergeben sich z. B. bei Reduzierung der Wellpappenfestigkeit um eine Sorte ca. 10 % geringere Materialkosten. Das Einsparungspotenzial im Entwicklungsprozess, bezogen auf das gegenwärtige Vorgehen bei der Verpa-

ckungsentwicklung durch mehrstufige Verfahren, wird bei Reduzierung um eine Stufe/ Sorte auf ca. 5-10 % geschätzt.

Erste Ansätze für einen Wellpappe-Standard, der auf den Anforderungen an die Verpackungen in der Distributionskette basiert, sind von der Forschungsstelle für den Bereich der „Nicht-Schwerwellpappen“ erarbeitet worden. Hierbei wurden den unterschiedlichen Funktionen der Verpackung innerhalb der gesamten Distributionskette verschiedene Wellpappeneigenschaften zugeordnet. Dieser Standard ist entwickelt worden für Wellpappen-Verpackungen im Konsumgüter-Bereich, bei denen neben der Transportfunktion die Funktionen als Um- und Verkaufsverpackung im Vordergrund stehen. Bei den hierfür eingesetzten Wellpappen handelt es sich im Wesentlichen um einwellige und teilweise zweiwellige Qualitäten mit geringeren Festigkeitseigenschaften als Schwerwellpappen. Für Schwerwellpappe ist dieser Standard nicht geeignet. Andere Anforderungen an Verpackungen aus diesen Wellpappen resultierend aus langen Transportwegen und -dauern, langen Lagerzeiten, hohen statischen und dynamischen Versandbelastungen, häufig wechselnden Klimabedingungen sowie die komplexere Struktur der Wellpappen (zwei- drei- und vierwellige Ausführungen) mit anderem Beanspruchungsverhalten machen eine direkte Übertragbarkeit nicht möglich.

Schwerwellpappen werden überwiegend zum Verpacken von Industriegütern aus allen Bereichen (auch Schüttgüter) mit größerem Volumen eingesetzt. Dabei überwiegt der weltweite Containerversand, der noch verstärkt zunehmen wird.

Beim Versand von Gütern sind prinzipiell zwei Transportarten zu unterscheiden:

- Kontinentaler Transport innerhalb einer begrenzten Region (z.B. Europa)
- Weltweiter Überseeversand

Hauptmerkmal für die Leistungsfähigkeit einer Transportverpackung ist die Tragfähigkeit und Stapelbarkeit der Wellpappe-Verpackungen, um das Packgut (Füllgut) bei den auftretenden Transport- und Lagerbelastungen zu schützen. Folgende Einflussgrößen sind hierbei zu berücksichtigen:

- Herstellungsseitige Einflüsse: Werkstoff, Konstruktion, Verarbeitung
- Anwendungsseitige Einflüsse: Klima (relative Luftfeuchte), Belastungen, Packgut (Füllgut)

Die Bestimmung des Stauchmaximums (BCT - Wert, BCT = Box Compression Test) nach DIN 55440-1 und DIN EN ISO 12048 beim Normalklima 23 °C / 50 % rel. LF. ist das in der Industrie am häufigsten verwendete Prüfverfahren zur Beurteilung und Überprüfung der maximalen Tragfähigkeit von Wellpappe-Verpackungen. Bei dieser Kurzzeitprüfung wird auf die leere verschlossene Verpackung eine gleichmäßig über den Schachtelumfang verteilte Last unter quasistatischen Bedingungen bis zum Bruch der Verpackung aufgebracht. Mit Sicherheitsbeiwerten werden ausgehend von der

maximalen Belastbarkeit Tragfähigkeiten für die Praxis festgelegt. Unterschiedliche Auswertungen erschweren dabei eine eindeutige Beurteilung. Mit dieser Prüfung werden die in der Praxis tatsächlich auftretenden Beanspruchungen von Verpackungen während Transport und Lagerung durch statische Lasten über einen langen Zeitraum bei wechselnden Klimabedingungen und teilweise dynamischen Zusatzbelastungen nicht erfasst. Daten über die Langzeitbelastbarkeit von Wellpappe-Verpackungen sind kaum vorhanden. Für die beanspruchungsgerechte Prüfung und Bewertung der Leistungsfähigkeit von Transportverpackungen aus Schwerwellpappe ist die Kenntnis über das Zeitstandverhalten von Verpackungen (Dauerbelastung im linearen Verformungsbereich der Wellpappen) aber zwingend notwendig. Die bisherige Standardisierung von Schwerwellpappe berücksichtigt diese Zusammenhänge in keiner Weise.

Voruntersuchungen der Forschungsstelle bezüglich der Qualität von Wellpappe und der Leistungsfähigkeit von Verpackungen haben zu folgendem Ergebnis geführt:

- Nach bisherigem Standard gleiche Wellpappenqualitäten (Sorten) führen zu deutlich unterschiedlichen BCT - Werten der Verpackungen.
- Verpackungen mit gleichen BCT - Werten ergaben beim Zeitstandverhalten unterschiedliche Langzeitbelastungen.

Daraus ergeben sich folgende Probleme und Fragestellungen:

Probleme:

Eine eindeutige Definition der Qualität von Schwerwellpappe ist bisher nicht möglich.

- Je nach Betrachtungsweise und zugrunde gelegter Eigenschaften kommt man zu unterschiedlichen Qualitätsaussagen sowohl für die Wellpappe als auch für die daraus gefertigten Verpackungen
- Die bisher verwendeten Kennwerte für die Wellpappen beziehen sich auf zerstörende Prüfungen mit maximalen Bruchfestigkeiten. Kenntnisse über das Verhalten im *elastischen* Verformungsbereich, der für die Erfüllung der Schutzfunktion von Transportverpackungen und damit für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit für die Praxis von entscheidender Bedeutung ist, sind kaum vorhanden.
- Es ist keine direkte Vorhersage der Leistungsfähigkeit von Verpackungen, abgeleitet aus den Festigkeitswerten der Wellpappe, möglich.

Kernfragen:

- Nach welchen Kriterien soll ein Nutzer / Verwender von Transportverpackungen aus Schwerwellpappe bestellen?
- Welche Festigkeitseigenschaften beschreiben die Qualität der Schwerwellpappe hinsichtlich der vom Verwender gewünschten Leistungsfähigkeit der daraus hergestellten Verpackungen praxisgerechter?

Notwendig ist die Einführung von Kennwerten die den Werkstoff Schwerwellpappe hinsichtlich seiner physikalisch-technischen Eigenschaften bei den realen Versandbelastungen eindeutiger definieren und damit für den Verwender eine Vorhersagbarkeit

der notwendigen Leistungsfähigkeit seiner Verpackungen gewährleistet wird – wie in anderen technischen Bereichen üblich.

Die Standardisierung der Schwerwellpappe muss eine eindeutige Qualitätsbestimmung der Wellpappen gewährleisten und auf der Funktion der Verpackung basieren.

3 Zielstellung

Forschungsziel ist die Erarbeitung von Grundlagen und Vorschlägen für eine Standardisierung der Schwerwellpappe auf der Basis prüfbarer Werkstoffeigenschaften durch Einführung von neuen Kennwerten (Festigkeitseigenschaften) bzw. Modifizierung von Standardprüfverfahren, die Verwendern und Herstellern eine bessere Vorhersagbarkeit der Leistungsfähigkeit von Transportverpackungen ermöglichen. Dazu wurden die Festigkeitseigenschaften repräsentativ ausgewählter Schwerwellpappen unterschiedlicher Hersteller, Konstruktion und Zusammensetzung untersucht sowie verschiedene Prüfverfahren hinsichtlich ihrer Eignung als Kennwerte validiert. Verpackungen aus diesen Wellpappen wurden bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit bei den auftretenden mechanischen und klimatischen Versandbelastungen untersucht.

Die Hintergründe und Beziehungen zwischen Werkstoffeigenschaften und Leistungsfähigkeit von Konstruktionen aus Schwerwellpappe sind noch völlig unterentwickelt. Es wurden die Beziehungen zwischen Beiden untersucht und in einem Standard auf eine wissenschaftliche Basis gestellt. Dies auch vor dem Hintergrund, dass sich Schwerwellpappe schwerer recyceln lässt als normale Wellpappe. Damit soll auch ein Beitrag für eine zukünftige europäische Standardisierung geleistet werden.

Wirtschaftliche Ergebnisse werden sein, dass die Qualität von Schwerwellpappe und daraus hergestellter Verpackungen hinsichtlich der benötigten Leistungsfähigkeit bei unterschiedlichen Transportarten exakter definiert werden kann und damit auch anwenderseitig wirtschaftlicher eingesetzt werden kann. Die Nutzer von Schwerwellpappeverpackungen können exakter spezifizieren und die erzeugende Industrie kann anwendungsorientierter fertigen. Auch die Zahl der Wellpappequalitäten soll reduziert werden und an den Bedarf besser angepasst werden können, was wiederum Rationalisierungseffekte in der erzeugenden Industrie bedingt. Dies bedeutet sowohl betriebswirtschaftliche Rationalisierungseffekte und volkswirtschaftlich auch ein verbesserten Absatz deutscher Produkte.

4 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Mit Hilfe von Leistungsfähigkeitsprüfungen an verschiedenen Wellpappen und daraus gefertigten Verpackungen unterschiedlicher Abmessungen sollen Ergebnisse erarbeitet werden, die es ermöglichen eine Standardisierung vorzunehmen, die die Belastungen von europäischen und weltweiten TUL-Prozessen berücksichtigt, so dass es Anwendern in ihren Bestellspezifikationen möglich sein wird, die für ihre Produkte erforderliche Leistungsfähigkeit der Verpackungen anzugeben und den Wellpappen-Herstellern ermöglicht rationeller zu fertigen.

4.1 Packstoff- und Packmittelauswahl

In Zusammenarbeit mit dem Projekt begleitenden Ausschuss wurde aus dem gesamten Sortiment der Standardwellpappen (ca. 60 unterschiedliche Qualitäten) der im Ausschuss u. A. vertretenden 6 Wellpappenhersteller 16 Wellpappen ausgewählt, die das gesamte Spektrum von Qualitäten im Rahmen des Vorhabens abdecken. Damit soll die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf alle am Markt angebotenen Schwerwellpappen sichergestellt werden. Die im Projektausschuss mitarbeitenden Hersteller produzieren insgesamt ca. 70 % der in Deutschland vertriebenen Schwerwellpappequalitäten. Von den Herstellern wurden von jeder Wellpappe Zuschnitte für die prüftechnische Bewertung der Wellpappen sowie daraus hergestellte Packmittel zur Verfügung gestellt, sowie Daten über die jeweilige Papierzusammensetzung. Alle Wellpappen sind bei der Darstellung der Ergebnisse aus Vertraulichkeitsgründen nicht mit dem Produktnamen bezeichnet sondern mit Zahlen von 1-16 kodiert.

4.1.1 Auswahlkriterien für die Wellpappen

Die Wellpappen wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

Festigkeitseigenschaften

- Kantenstauchwiderstand (ECT)
- Durchstoßarbeit
- Berstfestigkeit / Nass-Berstfestigkeit
- Biegesteifigkeit

DIN-Sorte gemäß DIN 55468-1

Papierzusammensetzung

- Papierart, Primär- Sekundärfaser, Papierfestigkeit, Einsatz von nassfesten Deckenpapieren

Flächenbezogene Masse der Wellpappen

Wellenkonstruktion, Dicke, nassfeste Verklebung der Papiere

Zusätzlich wurde eine „Sonderwellpappe“ eines Herstellers in Form einer 4-welligen Wellpappe (zwei ganzflächig verklebte 2-wellige Wellpappen), die für besondere Einsatzzwecke in vielen Industriebereichen verwendet wird, in die Untersuchungen mit einbezogen.

4.1.2 Ausgewählte Wellpappen

Anzahl gesamt: 16

- zweiwellig: 9

- dreiwellig: 6

- „Sonderwellpappe“ (vierwellig) 1

DIN-Sorten: 2.90 bis 2.96 (alle Schwerwellpappesorten gemäß DIN 55468-1)

Gleiche Wellpappe-Sorte (gleiche Qualität gemäß DIN):

- zweiwellig: 3 x 2.92

- dreiwellig: 1 x 2.92

Verklebung: Alle nassfest (Sollforderung)

4.1.3 Konstruktion der Packmittel

Aus der Vielzahl der Packmittelkonstruktionen gemäß FEFCO - Klassifikation wurden zwei unterschiedliche Konstruktionen ausgewählt. Abmessungen für beide Konstruktionen: 800 x 600 x 600 mm (L x B x H).

1. FEFCO 0201 (Faltschachtel mit Boden und Deckelklappen). Diese Art der Konstruktion ist das am häufigsten verwendete Packmittel für Transportverpackungen

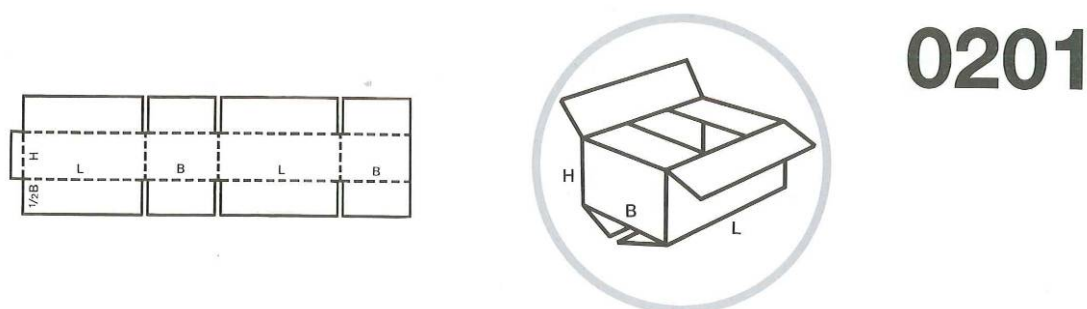


Abb. 1: Faltschachtel gemäß FEFCO 0201

2. FEFCO 0310 (Wellpappe-Ring mit separatem Boden- und Deckelteil). Diese Konstruktion wird für Systemverpackungen z.B. auch im CKD-Versand auch der Automobilindustrie verwendet.

0310

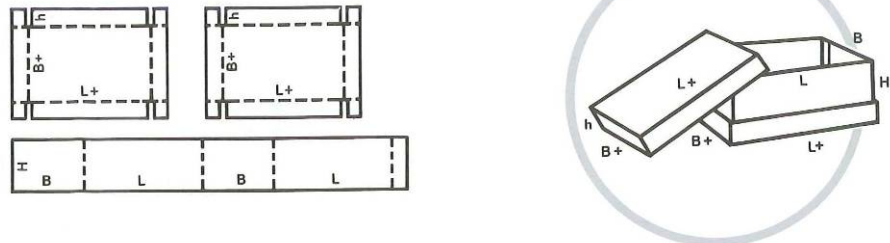


Abb. 2: Konstruktion gemäß FEFCO 0301

Für die Stauchprüfungen der Packmittel FEFCO 0310 wurde auf das Boden und Deckelteil verzichtet, da diese keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit bei vertikaler Belastung haben.

4.2 Prüftechnische Bewertung der Wellpappen – Erste Prüferie

Die ausgewählten Wellpappen wurden mit den unter Punkt 2.2 beschriebenen Prüfungen, die als Standard in der Wellpappenindustrie verwendet werden, geprüft und hinsichtlich ihrer Eigenschaften charakterisiert. Gemäß dem bisher existierenden Standard DIN 55468-1 bestimmen die Durchstoßarbeit und der Kantenstauchwiderstand die Qualität der Wellpappen. Die Qualität (Sorte) gemäß DIN ist das bestimmende Merkmal bei den meisten Spezifikationen der Verwender dieser Wellpappen. Andere Merkmale werden je nach Anforderung nur selten geprüft. Für die Entwicklung des Leistungsstandards sind aber alle prüfbaren Eigenschaften zu untersuchen, um Beziehungen zwischen Werkstoffeigenschaften und Leistungsfähigkeit von daraus hergestellten Verpackungen zu ermitteln.

4.2.1 Beschreibende Merkmale

- Papierzusammensetzung

Die Papierzusammensetzung der einzelnen Wellpappen wurde hinsichtlich Primärfaser- und Sekundärfaserpapieren untersucht und die Ergebnisse mit den Angaben der Hersteller verglichen

- Flächengewichte der Papiere

Die Flächengewichte der einzelnen Papiere (glatte Bahnen und Wellenpapiere) bestimmen neben der Papierart maßgeblich die Kosten der fertigen Wellpappe und sind daher ein wichtiges Kriterium für eine optimale Zusammensetzung der Wellpappen

(möglichst hohe Festigkeit bei geringem Gewicht). Die Prüfung erfolgte gemäß DIN ISO 3039.

- Papierarten

Im Wesentlichen wird zwischen Sekundärfaserpapieren SF (Basis Altpapier) und Primärfaserpapieren PF (Basis langfaseriger Zellstoff) unterschieden.

- glatte Bahnen: PF: Kraftliner, SF: Testliner

- Wellenpapiere: PF: Halbzellstoff, SF: Wellenstoff

Die ausgewählten Wellpappen wurden nach Primär- und Sekundärfaseranteil untersucht.

- flächenbezogene Masse der Wellpappe

Ausgehend von den Flächengewichten der eingesetzten Papiere ergibt sich die flächenbezogene Masse der gesamten Wellpappe und ist damit ein bestimmender Faktor für das o. g. Preis/Leistungsverhältnis. Die Prüfung erfolgte gemäß DIN EN ISO 536.

- Dicke, Wellenkonstruktionen

Dies sind zusätzliche Merkmale zur Beschreibung von Wellpappen. Insbesondere die Wellenkonstruktion (herstellerspezifisch) wird hierzu verwendet. Die Wellen werden nach Höhe und Teilung unterschieden und sind in DIN 55468-1 entsprechend beschrieben und mit Buchstaben gekennzeichnet.

4.2.2 Festigkeitsprüfungen (zerstörende Prüfungen)

- Berstfestigkeit

Diese Prüfung erfolgte gemäß DIN EN ISO 2759 bei Normalklima 23 °C / 50 % rel. LF.. Mit dieser Prüfung wird der Faserzusammenhalt der einzelnen Papiere ermittelt.

- Kantenstauchwiderstand (ECT)

Bei dieser Prüfung wird eine Wellpappenprobe mit stehenden Wellen einer kontinuierlichen vertikalen Krafteinwirkung bis zum Versagen ausgesetzt. Die maximale Kraft wird in kN/m angegeben. Dieses Festigkeitsmerkmal wird bisher in der Wellpappenindustrie als bestimmendes Maß für die Tragfähigkeit einer Verpackung verwendet. Die Prüfung erfolgte gemäß DIN EN ISO 3037. Um den Einfluss verschiedener Wassergehalte (rel. LF.) und verschiedener Geschwindigkeiten auf die Papierstrukturfestigkeit zu untersuchen, wurde die Prüfung wie folgt variiert.

- Prüfung bei 4 verschiedenen Geschwindigkeiten v ($v = 12,5$ (Standard), $v = 1$, $v = 10$, $v = 100$ mm/min).

- Prüfung bei 3 unterschiedl. Klimaten (23 °C / 50 %, 23 °C / 90 %, 23 °C / 95 % rel. LF.)

Neben der Standardauswertung bei der nur das Kraftmaximum ermittelt wird, wurden aus den Kraft-Verformungskurven andere Eigenschaften ermittelt und auf ihre Eignung für den Standard analysiert.

Beziehungen zwischen Materialeigenschaften der Wellpappen und BCT - Wert sowie der Langzeittragfähigkeit der Packmittel wurden untersucht.

- Durchstoßarbeit

Bei der Durchstoßarbeit wird eine Überlagerung verschiedener Eigenschaften der Wellpappe geprüft. Die vom Pendelschlagwerk gemessene Arbeit wird durch verschiedene Verformungen der Wellpappe bzw. der Papiere (Einstechen, Aufreißen, Aufbiegen) ermittelt. Die Prüfung erfolgte gemäß DIN 53142-1.

- Nass-Berstfestigkeit

Analog zur Berstfestigkeit im trockenen Zustand wird hier die Prüfung im nassen Zustand nach 24 h Wasserlagerung durchgeführt, um die Papierfestigkeit (Faserzusammenhalt) bei extremen Klimabedingungen zu untersuchen. Aufgrund der klimatischer Versandbelastungen durch hohe rel. Luftfeuchte, sowie wechselnde Klimabedingungen und lange Transport- und Lagerdauern wird eine hohe Nass-Berstfestigkeit für Wellpappen, die im Überseeversand eingesetzt werden, gefordert. Die Prüfung erfolgte gemäß DIN ISO 3689.

- Nassfeste Verklebung

Hierfür werden üblicherweise zwei unterschiedliche Prüfungen angewendet.

Prüfung gemäß TAPPI T 812: Ein Zuschnitt der Wellpappe wird 24 h in Wasser gelagert und anschließend ohne mechanische Einwirkung auf Lagentrennung untersucht.

Prüfung gemäß FEFCO 9: Hier werden 25 mm breite Proben mit Einschnitten hergestellt, mit Gewichten (250 g) belastet und 24 h in Wasser gelagert. Die Einschnitte werden so gestaltet, dass jeweils 5 Verklebungen zwischen Welle und glatter Bahn das Gewicht über die gesamte Prüfdauer tragen müssen. Als Ergebnis werden die abgefallenen Proben in Beziehung zu der gesamten Probenanzahl gesetzt und die Nassfestigkeit der Verklebung in Prozent angegeben (100 % = vollständige Nassfeste Verklebung).

Beide Prüfungen wurden durchgeführt. Als Kennzeichnung für die nassfeste Verklebung wurde der Prozentsatz der Prüfung gemäß FEFCO 9 angegeben.

4.2.3 Festigkeitsprüfungen (nicht zerstörende Prüfung)

○ Biegesteifigkeit

Einzig genormte Standardprüfung im elastischen Verformungsbereich.

Hierbei werden Wellpappestreifen in Maschinenrichtung (MD) und Querrichtung (CD) auf Biegung beansprucht und aus beiden Werten das geometrische Mittel als „breitenbezogene Biegesteifigkeit“ angegeben. Die Messung der Steifigkeit einer Wellpappe ist ein entscheidendes Merkmal für die Qualität. Nur aufgrund der wabenartigen Struktur und der damit verbundenen Steifigkeit ist die Wellpappe als tragende Transportverpackung geeignet. In der Praxis werden die Verpackungen normalerweise nicht zerstört sondern werden in einem Belastungsbereich weit unterhalb der Bruchgrenze durch äußere Kräfte beansprucht und dies über teilweise lange Zeiträume.

Die Prüfung erfolgte gemäß DIN 53121 mit dem 4-Punkt-Verfahren. Um den Einfluss verschiedener Wassergehalte (rel. LF.) auf die Biegesteifigkeit zu untersuchen, wurde die Prüfung wie folgt variiert.

- Prüfung bei 2 unterschiedlichen Klimaten (23 °C / 50 % und 23 °C / 90 % rel. LF.)

4.3 Leistungsfähigkeitsprüfungen der Packmittel

Die Bestimmung des Stauchmaximums (BCT-Wert) ist das in der Industrie am häufigsten verwendete Prüfverfahren zur Beurteilung und Überprüfung der maximalen Tragfähigkeit von Wellpappe-Verpackungen. Die Tragfähigkeit (Leistungsfähigkeit) von Transportverpackungen ist für die Nutzer das entscheidende Kriterium für den Schutz ihrer Produkte während der gesamten Versandzeit. Um in Spezifikationen, bei Ausschreibungen und Bestellungen die Qualität von Wellpappen im Hinblick auf die Versandeignung der Verpackungen sachgerechter zu definieren ist eine entsprechende Standardisierung notwendig. Um dies für den zu entwickelnden Leistungsstandard zu ermitteln wurden die folgenden Prüfungen durchgeführt und die Ergebnisse in Beziehung zu den Materialeigenschaften der Wellpappen gesetzt.

4.3.1 Kurzzeitprüfungen

Bei dieser Prüfung wird eine Last unter quasistatischen Bedingungen bis zum Bruch der Verpackung aufgebracht und daraus die maximale Belastbarkeit der Schachtel ermittelt und üblicherweise mit Sicherheitsbeiwerten von 3-5 die Tragfähigkeit für die Praxis festgelegt.

Es wurden mit beiden Packmittelkonstruktionen Stauchprüfungen (BCT) gemäß DIN 55440-1 bis zur Bruchgrenze in folgender Weise durchgeführt:

- Prüfung bei 2 unterschiedlichen Klimaten (23 °C / 50 % und 23 °C / 90 % rel. LF.)
- Prüfung bei 3 verschiedenen Geschwindigkeiten v ($v=1$, $v=10$ (Standard), $v=100$ mm/min).



4.3.2 Langzeitprüfungen

Ermittlung der Zeitstandfestigkeit bei statischer Last und definierten Klimabedingungen.

Bei dieser Prüfung werden die Verpackungen in speziellen Druckgestellen mit einer konstanten statischen Last – in Abhängigkeit der Ergebnisse der Kurzzeitprüfung – in einer Klimakammer bei wechselnden Klimabedingungen belastet. Hiermit werden im Gegensatz zu den Kurzzeitprüfungen reale Versandbelastungen simuliert (Belastung weit unterhalb der Bruchgrenze – Dauerbelastung im linearen Verformungsbereich der Wellpappen - über einen langen Zeitraum bei wechselnden Klimabedingungen).

Die Ergebnisse dienen der Beurteilung der Langzeittragfähigkeit von Transportverpackungen aus Schwerwellpappe für den Einsatz im weltweiten Überseeversand und ermöglichen dem Nutzer der Verpackungen eine Aussage über die tatsächliche Gebrauchseignung der Verpackungen

Die Prüfungen wurden in folgender Weise durchgeführt:

Serie 1: Statische Last von 33 % des BCT - Wertes bei 23 °C / 50 % rel. LF. (Sicherheitsbeiwert = 3).

Die Prüfungen wurden mit jeweils einem Muster je Wellpappe und Packmittelkonstruktion durchgeführt. Aufgrund der geringen Standzeiten wurden die weiteren Prüfungen mit einem höheren Sicherheitsbeiwert durchgeführt.

Serie 2: Statische Last von 25 % des BCT-Wertes bei 23 °C / 50 % rel. LF. (Sicherheitsbeiwert = 4). Dieser Wert wird üblicherweise in der Wellpappenindustrie als Sicherheitsbeiwert für Transportverpackungen zugrunde gelegt.

Diese Prüfungen wurden mit jeweils 3-4 Mustern je Wellpappe und Packmittelkonstruktion durchgeführt. Ausgewertet wurden die jeweiligen Standzeiten (Zeit bis zum Zusammenbrechen) sowie der maximale Stauchweg und die mittlere Kriechrate (mm/h) bei der vertikalen Verformung der Verpackungen.



Abb. 4: Langzeitprüfung (Druckgestelle in der Klimakammer)

Die Klimabedingungen während der Langzeitprüfung wurden in folgender Weise simuliert:

23 °C / 50 % rel. LF:	Dauer 10 h
Wechsel auf 23 °C / 90 % rel. LF:	Dauer: 2 h
23 °C / 90 % rel LF:	Dauer 10 h
Wechsel auf 23 °C / 50 % rel. LF:	Dauer: 2 h
Dauer eines Zyklus:	24 h

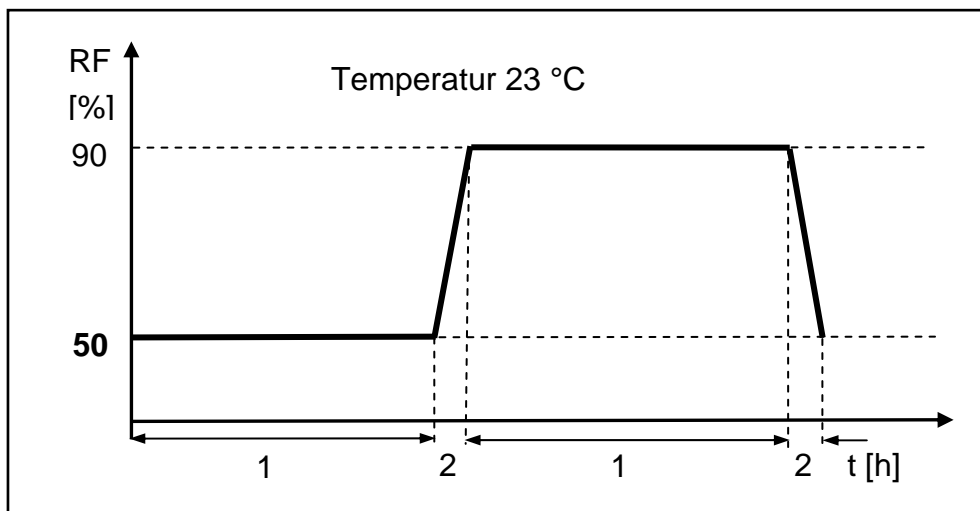


Abb. 5: Simulierte Klimabedingungen mit wechselnder rel. LF.

4.4 Zweite Prüferie mit ausgewählten Wellpappen und Packmitteln

Um die Ergebnisse der Prüfungen aus der ersten Prüferie zu verifizieren wurden mit ausgewählten Wellpappen und Packmitteln mit anderen Abmessungen Prüfungen gemäß Kapitel 4.2 und 4.3 durchgeführt (mit Ausnahme der Langzeitprüfungen 4.3.2)

Die Wellpappenauswahl wurde so getroffen, dass möglichst das gesamte Spektrum der hier gewählten DIN Sorten abgedeckt wird. Da die Wellpappen-Hersteller im Laufe der Zeit des Vorhabens größtenteils ihre Standardqualitäten in der Papierzusammensetzung geändert hatten, wurden die Wellpappen als neue Sorten behandelt und entsprechend geprüft und bewertet.

Wellpappen:

- Anzahl gesamt: 9
- zweiwellig: 4
 - dreiwellig: 4
 - „Sonderwellpappe“ (vierwellig) 1

DIN-Sorten: 2.90 bis 2.96 (mit Ausnahme der Sorte 2.91)

Verklebung: alle nassfest (Sollforderung)

Packmittel:

Wie in der ersten Prüferie wurden zwei Konstruktionen ausgewählt.

- FEFCO 0201 (Faltschachtel mit Boden und Deckelklappen)
- FEFCO 0310 (Wellpappe-Ring mit separatem Boden- und Deckelteil)

Abmessungen: 1000 x 800 x 1000 mm (L x B x H).

5 Prüfergebnisse und deren Bewertung

Alle Ergebnisse der Prüfungen sind im Kapitel V Anhang Prüfergebnisse, Abbildungen und Tabellen dargestellt. Aus der Vielzahl der Prüfergebnisse wurden die Darstellungen ausgewählt, die für die Bewertung der Beziehungen zwischen Werkstoffeigenschaften und Leistungsfähigkeit der Packmittel und der daraus folgenden Erarbeitung von Grundlagen für den Qualitätsstandard wichtig sind. Es wurden hierbei im Wesentlichen die Ergebnisse des am häufigsten verwendeten Packmittels FEFCO 0201 sowie die Ergebnisse bei Normalklima 23 °C / 50 % rel. LF. betrachtet.

5.1 Prüftechnische Bewertung der Wellpappen

In Tabelle 4 sind alle Ergebnisse der Standardprüfungen gemäß Kapitel 4.2.1 bis 4.3 sowie die Sorteneinteilung nach bisherigem Standard DIN 55468-1 dargestellt. Es wurden 4 Flächengewichtsklassen eingeführt, die dem Gesamtspektrum der am Markt angebotenen Wellpappen entsprechen (1200-1500 g/m², 1500-1800 g/m², 1800-2100 g/m² und >2100 g/m²).

Die Zusammenhänge zwischen den Kennwerten Kantenstauchwiderstand (ECT) bzw. Biegesteifigkeit und dem Flächengewicht der Wellpappen zeigen Abb. 6 und Abb. 7. Die Prüfung des Kantenstauchwiderstandes (ECT) wurde neben der Standardgeschwindigkeit auch mit den Prüfgeschwindigkeiten $v = 1, 10, 100$ mm/min durchgeführt und die Ergebnisse in einem Diagramm mit logarithmischer x-Achse aufgetragen und daraus die Steigung der Geraden ermittelt. Abb. 8 zeigt dies am Beispiel der 2-welligen Wellpappen. Aus den Steigungen soll unterschiedliches Materialverhalten der Wellpappen bei Druckbelastung ermittelt werden und Beziehungen zur Leistungsfähigkeit der Verpackungen hergestellt werden.

Andere Eigenschaften aus den Kraft-Verformungskurven der ECT - Prüfungen wurden hinsichtlich ihrer Eignung für den Standard analysiert. Geeignete Korrelationen zu gemessenen BCT - Werten konnten nicht ermittelt werden.

Die Biegesteifigkeit als Kennwert für das elastische Verformungsverhalten ist in Abb. 9 dargestellt. Es wurden die Ergebnisse bei 50 % und 90 % rel. LF. gegenübergestellt sowie die jeweilige Zuordnung zu den DIN-Sorten.

Die Biegesteifigkeit ist abhängig von Dicke der Wellpappe und Zugsteifigkeit der äußeren Deckenpapiere, wobei die Dicke der dominierende Faktor ist. In der Abb. 9 ist dieser Zusammenhang durch die Aufteilung in 2-wellige und 3-wellige Wellpappen herausgestellt.

5.2 Leistungsfähigkeitsprüfungen der Packmittel

5.2.1 Kurzzeitprüfungen (BCT)

Die Ergebnisse der Standard – BCT - Prüfungen sind in der Tabelle 4 jeweils für die beiden Packmittelkonstruktionen und die rel. LF. von 50 % und 90 % aufgelistet.

Die BCT - Prüfung wurde analog zur ECT - Prüfung neben der Standardgeschwindigkeit $v = 10$ mm/min auch mit den Prüfgeschwindigkeiten $v=1$ mm/min und $v=100$ mm/min durchgeführt und die Ergebnisse in einem Diagramm mit logarithmischer x-Achse aufgetragen und daraus die Steigung der Geraden ermittelt. Abb. 10 zeigt dies am Beispiel des Packmittels FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF. Aus den Steigungen soll unterschiedliches Materialverhalten der Wellpappen bei vertikaler Druckbelastung der Verpackungen während der Stapelung ermittelt werden und Beziehungen zur Leistungsfähigkeit der Verpackungen hergestellt werden.

Beziehung zwischen ECT/Biegesteifigkeit und BCT:

Zur Untersuchung ob die Materialeigenschaften Biegesteifigkeit und Kantenstauchwiderstand geeignete Kennwerte für die Vorhersage der Leistungsfähigkeit der Verpackungen – ausgedrückt als BCT - Wert – sind, wurden diese Werte gemäß der empirischen Formel von McKee in Beziehung gesetzt. Das von McKee entwickelte Modell ist das in der in der Industrie am weitesten verbreitete Modell für die Vorhersage des Stauchwiderstandes von Verpackungen basierend auf den Wellpappe-Kennwerten ECT und Biegesteifigkeit. Diese empirische Formel wurde aber nur mit einwelligen Wellpappen geringer Festigkeit ermittelt und verifiziert und ist daher auf Schwerwellpappe in 2- und 3-welliger Ausführung aufgrund der komplexeren Belastungsvorgänge in der Materialstruktur, nicht ohne weiteres anzuwenden. Die Parameter β und K wurde für die hier verwendeten Wellpappen und Packmittel neu bestimmt (Beispiel für Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF. siehe Abb. 11 und auf ihre Eignung untersucht.

Vorhersagemodell von McKee für den BCT - Wert:

$$\mathbf{BCT = K \times ECT^\beta \times BS^{1-\beta} \times U^{2\beta-1}}$$

BCT= Stauchwiderstand (BCT - Wert) der Verpackung in N

ECT = Kantenstauchwiderstand (ECT) in kN/m

BS = Biegesteifigkeit (geometrisches Mittel aus MD und CD) in Nmm

U = Umfang des Packmittels in mm

Für die hier untersuchten Wellpappen und Packmittel wurden andere Parameter ermittelt die in Tabelle 5 für die Verpackungen FEFCO 0201 und 0310 den originalen Parametern gegenübergestellt sind (inklusive der Werte aus der 2. Prüferie).

Um zu ermitteln, in wie weit diese Parameter zu einer besseren Vorhersage der Leistungsfähigkeit von Verpackungen aus Schwerwellpappe geeignet sind, wurden die damit berechneten BCT - Werte den gemessenen Werten gegenübergestellt. Abb. 12 zeigt den Vergleich zwischen alt und neu am Beispiel der Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF. Die gefundene Korrelation ist bei dem hier verwendeten Spektrum an unterschiedlichen Wellpappen ausreichend für den vorgesehenen Zweck zur Klassifizierung von Wellpappe-Qualitäten. Die Beziehung zwischen BCT berechnet und BCT gemessen ergibt mit den neuen Parametern eine gute Übereinstimmung, so dass die Kennwerte ECT und Biegesteifigkeit für eine belastungsgerechte Qualitätsdefinition von Schwerwellpappen gemäß dem zu entwickelnden Qualitätsstandard prinzipiell geeignet sind.

In einem weiteren Schritt wurde für jede Wellpappe die prozentuale Abweichung zwischen BCT –gemessen- und BCT –berechnet- ermittelt und grafisch dargestellt. Abb. 13 zeigt diese Abweichungen in vergleichender Weise zwischen Berechnung alt und neu am Beispiel der Packmittel FEFCO 0201. Die mittlere Abweichung nach alter Berechnung ergibt einen Wert von +25 %, nach neuer Berechnung von +1 %. Für die Packmittelkonstruktion FEFCO 0310 sowie für die ermittelten BCT - Werte beider Konstruktionen bei höherer Luftfeuchte (90 % rel. LF.) liegen die Abweichungswerte in einem vergleichbaren Bereich.

Damit ist ein eindeutiger Nachweis erbracht, dass eine Berechnung des BCT - Wertes mit modifizierten Parametern nach dem Modell von McKee eine hinreichend genaue Vorhersage ermöglicht. Vereinzelt ergeben sich bei einigen Wellpappen größere Abweichungen, die aus dem komplexen Verformungsverhalten bei Schwerwellpappe-Verpackungen resultieren. Hierbei spielen die unterschiedlichen Papierzusammensetzungen, Wellenkombinationen sowie Fertigungseinflüsse bei der Herstellung der Verpackungen eine entscheidende Rolle. Für das untersuchte Spektrum an (Schwer)-Wellpappen ist dies aber im Hinblick auf einen allgemeinen Leistungsstandard, der die gesamte Bandbreite der am Markt angebotenen Qualitäten abdecken soll, zu vernachlässigen.

Die erzielten Ergebnisse zeigen den bestimmenden Einfluss der beiden Materialkennwerte auf die Leistungsfähigkeit der daraus hergestellten Verpackungen. Unabhängig von den unterschiedlichen Parametern der einzelnen Verpackungskonstruktionen ist der Faktor – bestehend aus ECT und Biegesteifigkeit - die bestimmende Größe für die Leistungsfähigkeit von Verpackungen aus Schwerwellpappe (ausgedrückt als BCT-

Wert). Lediglich die Gewichtungen von ECT und Biegesteifigkeit verschieben sich je nach Verpackungskonstruktion und Größe.

Nur wenn mit Hilfe von geeigneten Wellpappe-Eigenschaften Wellpappe-Qualitäten definiert und klassifiziert werden, mit denen eine direkte Beziehung zu der von den Verwendern geforderten Leistungsfähigkeit der Verpackungen eindeutiger als bisher hergestellt werden kann, ist eine sachgerechte Vergleichbarkeit möglich. Dies ist mit der gewählten Kombination aus ECT und Biegesteifigkeit zu erreichen.

5.2.2 Langzeitprüfungen

Die Langzeitprüfungen dienen zur Ermittlung der Zeitstandfestigkeit bei statischer Last und wechselnden Klimabedingungen. Hiermit werden im Gegensatz zu den Kurzzeitprüfungen reale Versandbelastungen simuliert (Belastung weit unterhalb der Bruchgrenze – Dauerbelastung im linearen Verformungsbereich der Wellpappen) und das Kriechverhalten der Wellpappen untersucht. Die Bestimmung der Langzeittragfähigkeit von Transportverpackungen aus Schwerwellpappe ermöglicht dem Nutzer der Verpackungen eine Aussage über die tatsächliche Gebrauchseignung der Verpackungen für den Einsatz im weltweiten Überseeversand. Mit diesen Daten ist es möglich die Wellpappen-Qualität auszuwählen, die den spezifischen Anforderungen an die Tragfähigkeit und den Schutz der Produkte für einen vorgegebenen Zeitraum unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Versandbelastungen standhält. Die Kenntnisse hierüber führen in Verbindung mit den oben beschriebenen Möglichkeiten der Auswahl von Wellpappe-Qualitäten zu einer belastungsgerechten und damit optimierten Konstruktion von Transportverpackungen für den weltweiten Versand.

Da diese Prüfungen sehr zeit- und kostenaufwendig und nur mit entsprechenden Prüfeinrichtungen zu realisieren sind, soll versucht werden, Kennwerte von Materialeigenschaften zu ermitteln, die in einfacherer Weise eine hinreichend genaue Beurteilung ermöglichen.

Die Ergebnisse der hier durchgeführten Prüfungen haben noch nicht zu einer endgültig abschließenden Beurteilung führen können, weisen aber sehr gute Tendenzen auf.

Im Folgenden werden die bisher erzielten Ergebnisse zusammenfassend dargestellt.

Ausgehend von den BCT - Werten, die die maximale Tragfähigkeit von Verpackungen darstellen, wurden die ausgewählten Packmittel mit einer definierten statischen Last beaufschlagt und den oben beschriebenen wechselnden Klimabedingungen ausgesetzt.

Die 1. Serie mit einer statischen Last von 33 % des BCT - Wertes bei 23 °C / 50 % rel. LF. (Sicherheitsbeiwert = 3) ergab nur geringe Standzeiten und ließ keine sachgerech-

te Auswertung zu, so dass die Prüfung nur mit jeweils einem Muster je Wellpappe und Packmittelkonstruktion durchgeführt wurde.

Die Prüfungen wurden daraufhin in der 2. Serie mit einer statischen Last von 25 % des BCT - Wertes bei 23 °C / 50 % rel. LF. (Sicherheitsbeiwert = 4) weitergeführt. Dieser Wert wird üblicherweise in der Wellpappenindustrie als Sicherheitsbeiwert für Transportverpackungen zugrunde gelegt. Zur statistischen Absicherung wurden je Wellpappe und Packmittelkonstruktion 3-4 Muster geprüft.

Abb. 14 zeigt eine Übersicht aller Wellpappen am Beispiel der Packmittel FEFCO 0201 mit der Zuordnung zu den Wellpappe-Qualitäten gemäß DIN 55468-1. Erkennbar sind bei gleichen DIN-Qualitäten 2.91, 2.92, 2.95 z. T. deutliche Unterschiede in der Standzeit (Zeit bis zum Bruch).

In Abb. 15 werden die Standzeiten der Packmittel FEFCO 0201 für alle Wellpappen den gemessenen BCT - Werten bei 50 % rel. LF. gegenübergestellt. Hier ist zu erkennen, dass sich z. B. bei gleichen BCT - Werten signifikant unterschiedliche Zeiten bis zum Bruch ergaben (Beispiel: Wellpappen 8-11). Daraus folgt, dass vergleichbare Wellpappen-Qualitäten gemäß der o. g. Definition zu gleichen BCT - Werten der Packmittel führen, dass sich aber bei Simulation von realen Versandbelastungen unterschiedliche Standzeiten ergeben und damit auch für den Verwender unterschiedliche Gebrauchseignungen.

Die Gründe für die gefundenen Unterschiede sind in der unterschiedlichen Materialstruktur der Wellpappen bzw. der eingesetzten Papiere und Verklebungen begründet. Eine eindeutige Zuordnung lässt sich aus den bisherigen Ergebnissen noch nicht ableiten. Hierzu müssen weitergehende papieranalytische Untersuchungen durchgeführt werden, die aber nicht Gegenstand des Vorhabens waren. Für einen entsprechenden Leistungsstandard sollen mit Standardverfahren prüfbare Eigenschaften zugrunde gelegt werden. Alle geprüften Merkmale wurden untersucht auf Eignung für eine Korrelation zur Langzeittragfähigkeit. Brauchbare Tendenzen dafür sind aus den ermittelten Ergebnissen erkennbar und werden in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Abb. 16 zeigt die Korrelation der Nass-Berstfestigkeit der Wellpappen zur Standzeit der Verpackungen am Beispiel des Packmittels FEFCO 0201 mit einem geringen Korrelationskoeffizienten.

Die Abb. 17 zeigt eine deutlich bessere Korrelation der Nass-Berstfestigkeit der Wellpappen zur Standzeit der Verpackungen am Beispiel des Packmittels FEFCO 0310.

Die weitere Auswertung bezog sich auf die Korrelation der aus den ECT-Werten mit unterschiedlichen Prüfgeschwindigkeiten ($v=1, 10, 100$ mm/min) ermittelten Steigung zu den Standzeiten der Packmittel.

Abb. 18 zeigt diese Korrelation am Beispiel des Packmittels FEFCO 0201 mit einem Korrelationskoeffizienten, aus dem ein Zusammenhang zwischen den beiden Merkmalen nicht abzuleiten ist.

Die Abb. 19 zeigt eine deutlich bessere Korrelation zur Standzeit der Verpackungen am Beispiel des Packmittels FEFCO 0310.

Eine weitere Analyse der Daten bezog sich auf die mittlere Kriechrate (mm/h) der Packmittel bei den Langzeitprüfungen.

Die Abb. 20 und Abb. 21 zeigen beispielhaft die Ermittlung von Kriechraten bei unterschiedlichen Standzeiten der Packmitte FEFCO 0201.

In Abb. 22 werden die Kriechraten der Packmittel FEFCO 0201 für alle Wellpappen in Beziehung zu den Standzeiten gesetzt. Eine hinreichende Korrelation ist zu erkennen. Ziel weiterer Untersuchungen muss es sein, Wellpappe-Kennwerte auf Korrelationen zu den ermittelten Kriechraten unterschiedlicher Packmittel-Konstruktionen und – Größen zu analysieren.

5.3 Zweite Prüferie

In Tabelle 6 sind alle Ergebnisse der Standardprüfungen gemäß Kapitel 4.2.1 bis 4.3 sowie die Sorteneinteilung nach bisherigem Standard DIN 55468-1 dargestellt. Es wurden wieder 4 Gewichtsklassen unterschieden, die dem Gesamtspektrum der am Markt angebotenen Wellpappen entsprechen (1200-1500 g/m², 1500-1800 g/m², 1800-2100 g/m² und >2100 g/m²).

Alle Prüfungen wurden in gleicher Weise wie in der ersten Prüferie durchgeführt analysiert und ausgewertet sowie die bestehenden Korrelationen bewertet.

Die ermittelten Zusammenhänge sind prinzipiell identisch mit denen der ersten Prüferie. Aufgrund der größeren Abmessungen der Packmittel wurden deutlich höhere BCT -Werte erreicht. Die ermittelten Parameter für die BCT - Vorhersage gemäß dem Ansatz von „McKee“ ergaben – wie erwartet - andere Werte als in der ersten Prüferie. Es konnte aber auch hier eine deutliche Verbesserung der Vorhersagbarkeit erreicht werden.

Abb. 23 zeigt den Vergleich zwischen BCT- gemessen- und BCT-berechnet- mit alten und neu bestimmten Parametern am Beispiel der Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF. mit vergleichbaren Korrelationen wie in der ersten Prüferie.

Abb. 24 zeigt die prozentualen Abweichungen zwischen BCT –gemessen- und BCT – berechnet- in vergleichender Weise zwischen Berechnung alt und neu am Beispiel der Packmittel FEFCO 0201. Die mittlere Abweichung nach alter Berechnung ergibt einen Wert von +19 %, nach neuer Berechnung von +1 %. Für die Packmittelkonstruktion FEFCO 0310 sowie für die ermittelten BCT - Werte beider Konstruktionen bei höherer Luftfeuchte (90 % rel. LF.) liegen die Abweichungswerte in einem vergleichbaren Bereich.

6 Vorschlag für den Qualitätsstandard

Unter Zugrundelegung der erzielten Ergebnisse sowie der daraus resultierenden Beziehungen zwischen Materialeigenschaften und Leistungsfähigkeit der Packmittel wurde in Zusammenarbeit mit den Wellpappe-Herstellern im Forschungsbegleitenden Ausschuss ein Vorschlag für den Qualitätsstandard erarbeitet. Im Gegensatz zum ursprünglichen Ziel einen eigenen Standard zu kreieren wurde entschieden, die bestehende DIN 55468-1 bei der anstehenden Revision auf Antrag zu verändern und die Anforderungen an die Schwerwellpappen entsprechend zu implementieren. Vorteilhaft hierbei sind die schnelle Umsetzung der Ergebnisse und die Beibehaltung der generellen Systematik in der DIN, die nach wie vor in allen Industriebereichen angewendet wird. Der Vorschlag für den Qualitätsstandard bezieht sich auf die Definition von Wellpappe-Qualitäten unter Zugrundelegung der Kombination aus ECT und Biegesteifigkeit wie oben ausgeführt und der daraus vorhersagbaren Leistungsfähigkeit von Verpackungen.

Der Vorschlag für den Qualitätsstandard bezieht sich auf die Definition von Wellpappe-Qualitäten unter Zugrundelegung der Kombination aus **ECT und Biegesteifigkeit** wie oben ausgeführt und der daraus vorhersagbaren Leistungsfähigkeit der Verpackungen.

6.1 Vorschlag

Ergänzung und Neufassung der DIN 55468-1 für den Bereich der Schwerwellpappen Sorte 2.90 bis 2.96.

ECT Sollwerte werden für alle Sorten gemäß den ermittelten Werten aus den Untersuchungen neu festgelegt. Die Durchstoßarbeit entfällt. Biegesteifigkeit wird aufgeteilt in 5 Klassen neu eingeführt. Die Zuordnung zu den Sorten wird individuell vorgenommen. Tabelle 3 zeigt die geplante Neufassung der DIN.

Tabelle 3: Neufassung der Anforderungen in der DIN 55468-1

DIN 55468-1	ECT kN/m		Klasse	Biegesteifigkeit Nm
	DIN alt	DIN neu		
290	14	15	1	50
291	16	18	2	80
292	18	22	3	110
295	21	26	4	150
296	24	29	5	200

Begründung:

Da die Biegesteifigkeit im Wesentlichen von der Dicke der Wellpappe und der Zug“steifigkeit“ der äußeren Deckenpapiere abhängt, ist ein definierter Sollwert für jede Sorte nicht möglich. Eine 2-wellige Wellpappe wird unabhängig vom ECT - Wert immer eine geringere Biegesteifigkeit als eine 3-wellige Wellpappe aufweisen. Die Kombination aus ECT und Biegesteifigkeit ist für den BCT - Wert der Verpackungen entscheidend und muss daher bei der Neufassung der DIN entsprechend berücksichtigt werden.

Die Sortenbestimmung erfolgt über den ECT - Wert und wird mit den bisher üblichen Bezeichnungen beschrieben und wird ergänzt und unterteilt durch die Biegesteifigkeitsklassen 1-5.

Beispiel:

Wellpappe der Sorte 2.92 mit einem ECT - Sollwert von 22 kN/m kann in maximal 5 Qualitätsklassen unterteilt werden und sollte als Klassifizierung durch die jeweilige Biegesteifigkeitsklasse ergänzt werden.

Bezeichnungsbeispiel: 2.92-1 bis 2.92-5

6.1.1 Auswirkung auf die Sorteneinteilung nach neuer Klassifizierung

Abb. 25 zeigt die Wellpappe-Sorten nach bisher bestehender DIN 55468-1 in Bezug zu den gemessenen BCT - Werten der Packmittel aus diesen Wellpappen. Innerhalb der einzelnen Sortenklassen sind zum Teil große Unterschiede zu erkennen. Geringere Qualitäten erreichen höhere BCT - Werte und umgekehrt. Die belastungsgerechte Zuordnung von Wellpappesorte zu BCT - Wert ist nur bedingt möglich.

Abb. 26 zeigt die Einteilung der Wellpappe-Sorten nach neuer Klassifizierung mit der Sortenbezeichnung nach DIN basierend auf dem ECT - Wert und dem Zusatz der jeweiligen Biegesteifigkeitsklasse. Innerhalb der Sortenklassen gibt es eine eindeutige Rangfolge durch die zugeordneten Biegesteifigkeitsklassen und dem gemessenen BCT - Wert.

Nicht alle Wellpappen passen in dieses Schema. Es gibt teilweise Überschneidungen bzw. gemäß dem Vorhersagemodell andere Sorteneinteilungen.

Bei einer Klasseneinteilung mit relativ großen Klassenbreiten werden sich bei einem allgemeinen Leistungsstandard, der das gesamte Spektrum der Schwerwellpappen abdecken soll, immer derartige Überschneidungen ergeben. Dies stellt aber die generelle Allgemeingültigkeit nicht in Frage.

Eine belastungsgerechte Zuordnung von Schwerwellpappesorten zur Leistungsfähigkeit von Verpackungen ist hiermit möglich.

6.2 Erweiterung des Standards für den weltweiten Versand

Auf der Grundlage des oben beschriebenen Standards wird die generelle Wellpappen-Qualität definiert und ergänzt durch Berücksichtigung der Anforderungen an die Langzeittragfähigkeit.

Die Korrelation zu Wellpappe-Kennwerten ist mit den bisher erzielten Ergebnissen noch nicht ausreichend belegt. Tendenzen sind aber zu erkennen und müssen noch weiter untersucht werden.

Ein Vorschlag für einen weltweiten Standard könnte aus dem neuen Leistungsstandard wie oben beschrieben bestehen sowie Ergänzungen von noch zu ermittelnden geeigneten zusätzlichen Kennwerten, die andere Klimabedingungen und die Tragfähigkeit unter realen Versandbedingungen beinhalten und damit die Gebrauchseignung für jeden Verwender derartiger eindeutiger definieren.

V Anhang Prüfergebnisse, Abbildungen und Tabellen

Tabelle 4: Übersicht aller Ergebnisse der Standardprüfungen an den Wellpappen und den Packmitteln (BCT)

Übersicht alle Ergebnisse																				
WP	W	DIN	FG	PF All	PF Lin	440 HK	Dk	BF	NB		mfVk	D	ECT 50	ECT 90	Biegest 50 GM	Biegest 90 GM	BCT 50		BCT 90	
			g/m ²	%	%		mm	kPa	kPa	%	%	J	kN/m	kN/m	Nm	Nm	0201	Ringe	0201	Ringe
1	2	290	1280	62	79	1	8,2	2870	798	28	40	15,5	17,38	9,54	69,4	43,6	14130	18940	6320	10620
2	2	290	1456	61	80	0	7,4	2976	566	19	0	16,1	22,24	11,16	59,8	37,2	15400	16780	6920	10010
3	2	291	1474	66	86	2	10,2	3636	1363	37	40	18,2	24	11,55	123,4	77,6	16650	22180	7160	10110
4	2	291	1508	53	70	1	9,6	3598	941	26	55	18,9	20,5	10,52	86,9	60,4	11000	20620	6740	10510
5	3	292	1584	35	58	0	14,4	2739	622	23	87	21,9	18,49	10,06	154,7	97,2	14710	18320	7830	10690
6	2	291	1585	55	72	0	9,6	3821	606	16	55	17,8	20,73	10,65	103,6	67,6	9930	17740	5960	10530
7	3	295	1654	68	100	0	14,4	3551	675	19	67	25,6	22,5	11,71	199,2	134,2	16770	25960	7570	11440
8	2	292	1658	60	86	2	8,5	3631	1506	41	45	21,3	24,86	13,21	86,6	55,0	18720	21670	9060	10840
9	2	292	1694	100	100	2	10,5	4099	1774	43	100	24,4	28,11	15,35	136,7	91,0	18930	27150	9130	18260
10	2	292	1722	79	100	0	10,7	4091	1058	26	100	21,8	25,53	13,9	124,9	80,1	18810	24980	8240	12860
11	3	295	1884	49	68	0	12,1	3582	565	16	0	26	24,72	12,59	159,2	98,0	18950	28150	10340	15590
12	2	295	1914	74	100	1	8,7	4261	1536	36	10	26,4	27,75	13,65	84,0	55,8	16870	21310	9040	11840
13	3	296	2042	76	100	0	13,4	4801	1660	35	80	29,4	27,66	17,78	231,3	157,4	26050	33360	13600	19780
14	3	296	2182	73	100	1	15,1	4943	1603	32	100	32,2	26,81	14,61	285,8	170,8	21380	25510	11490	16320
15	3	296	2596	100	100	4	15,3	7181	4184	58	73	44,2	46,16	24,43	384,2	242,1	32530	47610	17160	24180
16	4	296	2611	49	81	0	15	5981	1203	20	25	39,4	37,18	19,48	265,7	170,5	42400	58730	20840	29280

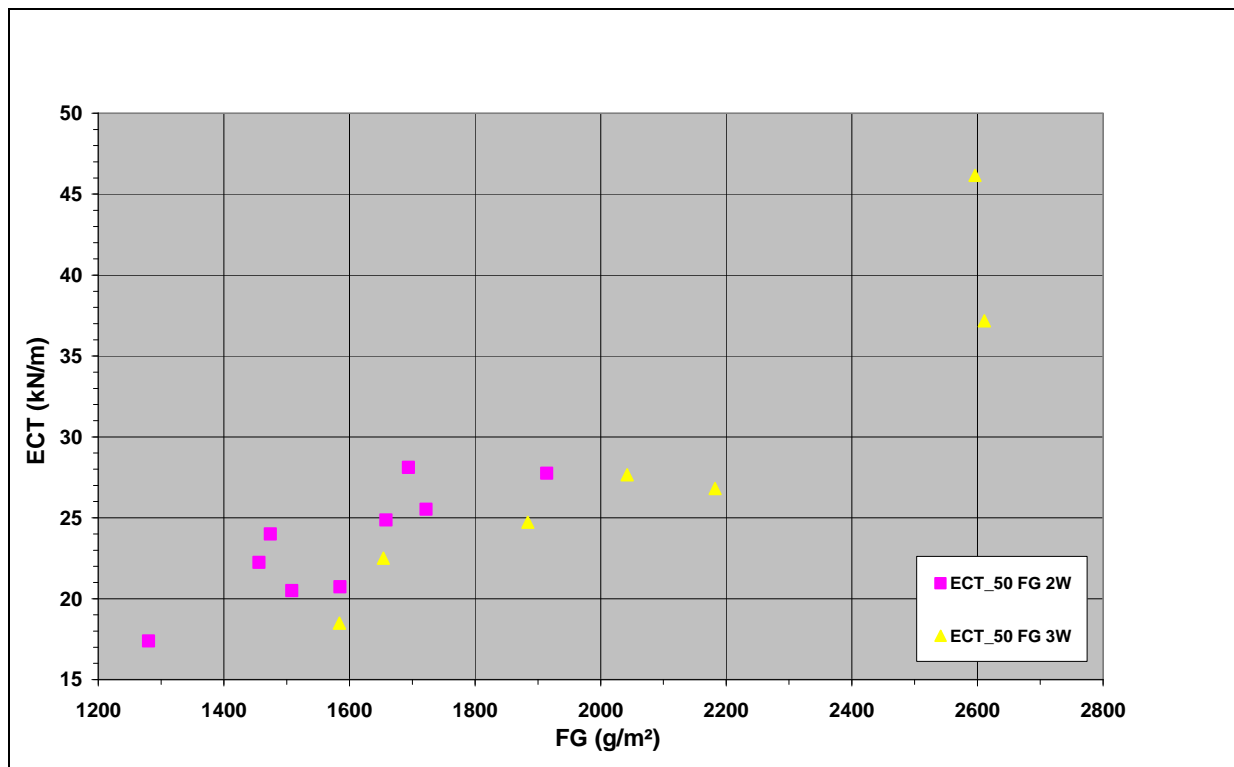


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Kantenstauchwiderstand (ECT) und flächenbezogener Masse (FG) der Wellpappen

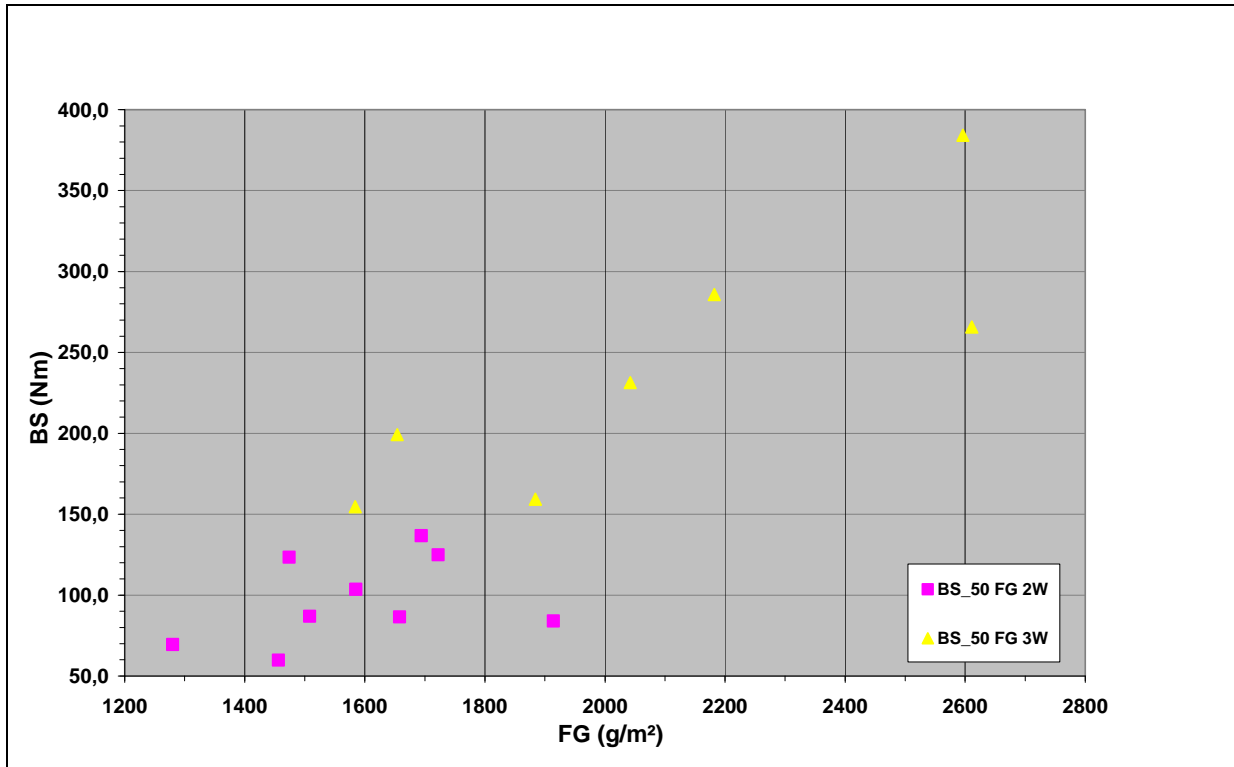


Abb. 7: Zusammenhang zwischen Biegesteifigkeit (BS) und flächenbezogener Masse (FG) der Wellpappen

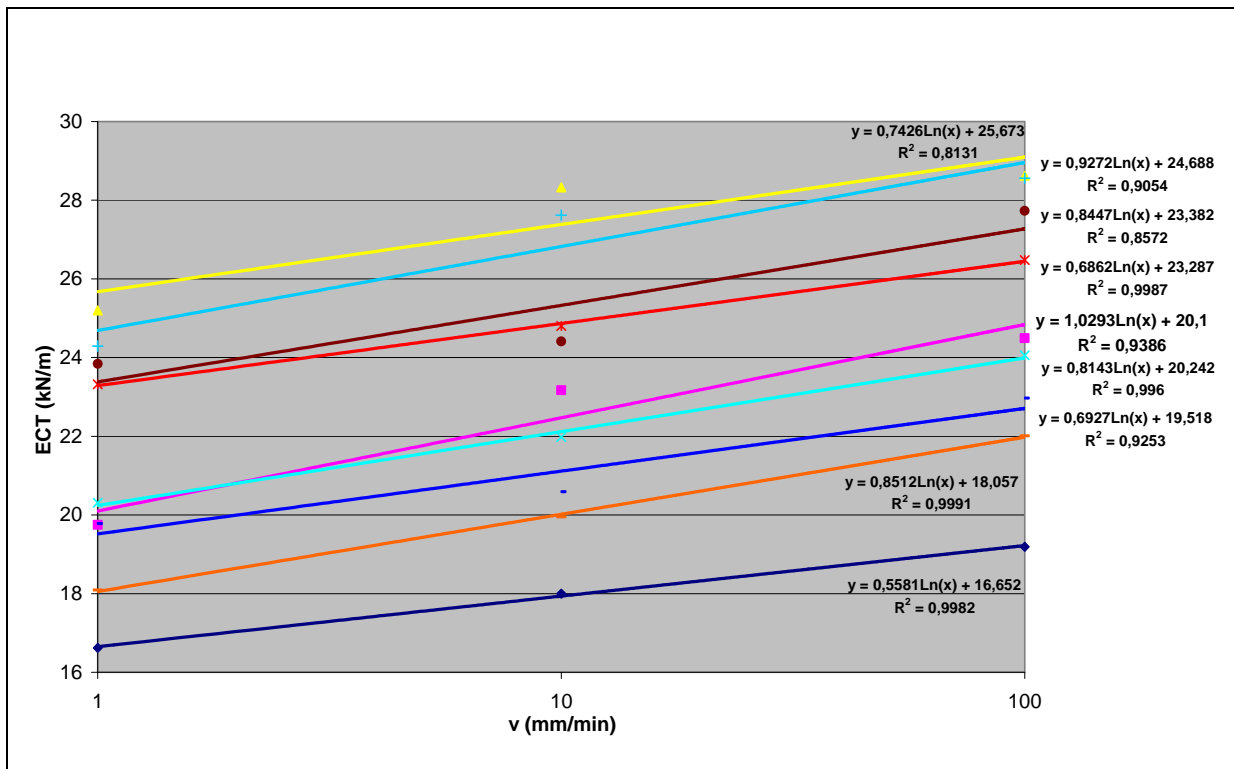


Abb. 8: Kantenstauchwiderstand (ECT) als Funktion von v (2-wellige Wellpappen) Klima: 23 °C / 50 % rel. LF.

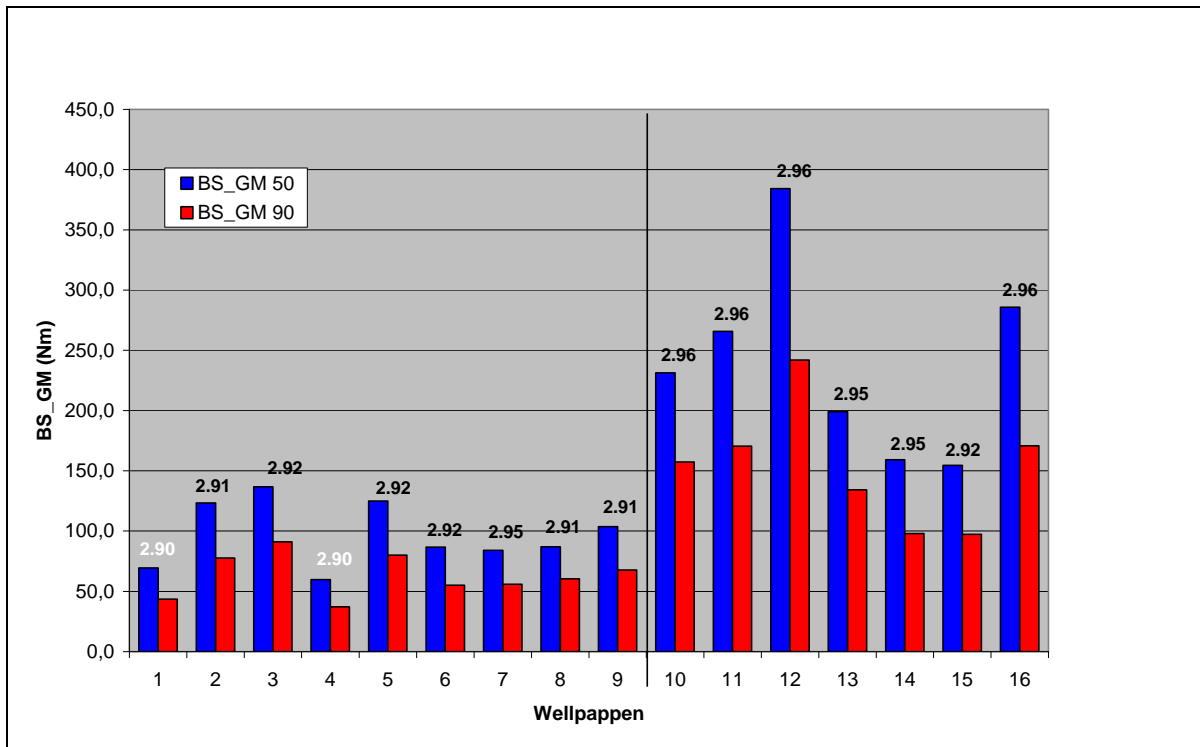


Abb. 9: Biegesteifigkeit (geometrisches Mittel GM) aller Wellpappen bei 50 % und 90 % rel. LF. Zuordnung zu den DIN-Sorten. 1-9=2-wellige, 10-16= 3-wellige Wellpappen

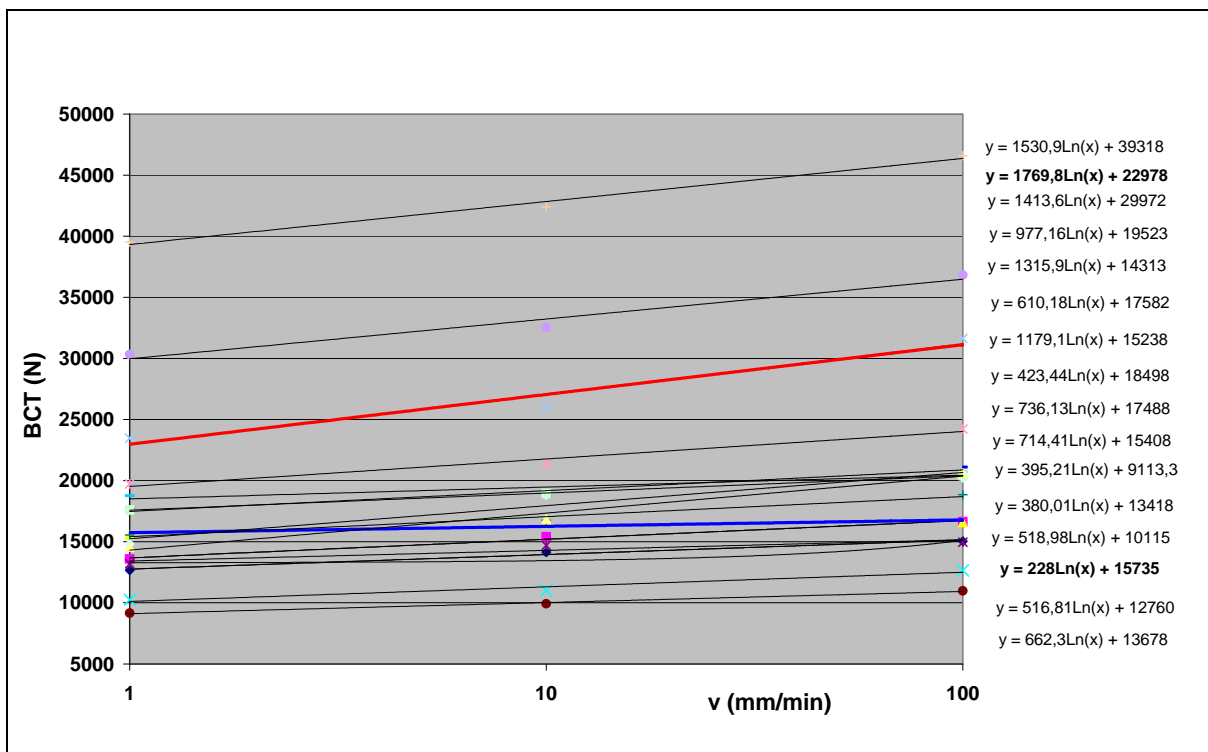


Abb. 10: BCT-Werte am Beispiel des Packmittels FEFCO 00201 bei 50 % rel. LF. Prüfgeschwindigkeiten $v=1$, $v=10$, $v=100$ mm/min.

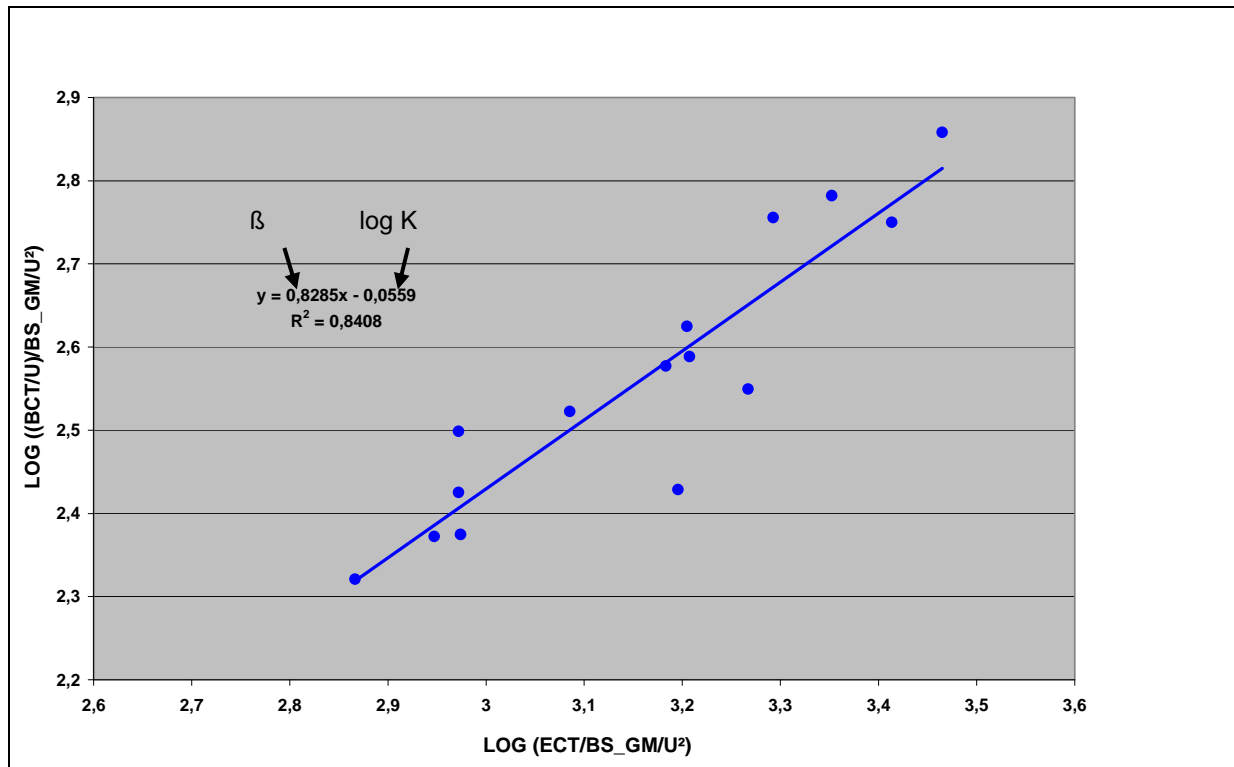


Abb. 11: Bestimmung der Parameter β und K gemäß dem Vorhersagemodell von McKee (Beispiel für Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF.)

Tabelle 5: Parameter für die Verpackungen FEFCO 0201 und FEFCO 0310 bei dem Klima 23 °C / 50 % rel. LF. Gegenüberstellung original / neu.

23/50	β	$1-\beta$	$2\beta-1$	K
Mc Kee orgi	0,746	0,254	0,492	2,028
0201 Teil 1	0,829	0,172	0,657	0,879
0201 Teil 2	1,099	-0,099	1,198	0,112
0310 Teil 1	0,777	0,223	0,554	2,456
0310 Teil 2	0,731	0,269	0,462	2,399

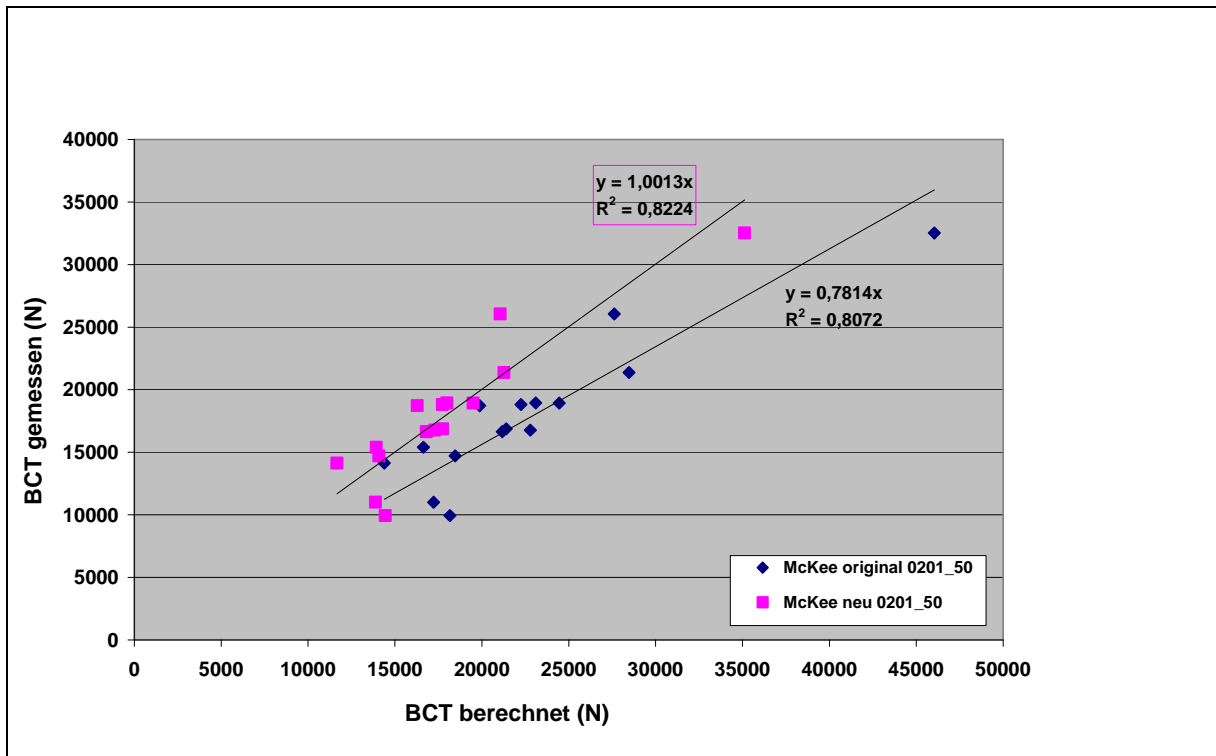


Abb. 12: Gegenüberstellung BCT berechnet zu BCT gemessen. Vergleich Original Parameter / neue Parameter. Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF.

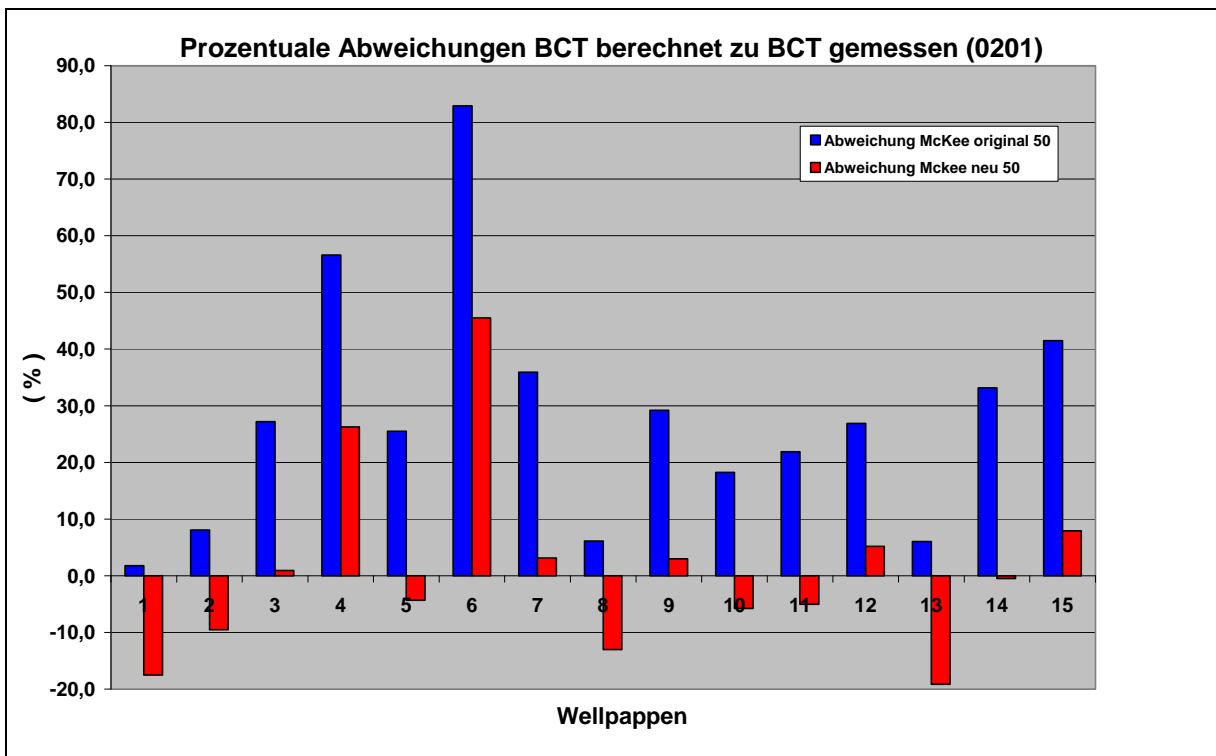


Abb. 13: Prozentuale Abweichungen zwischen BCT berechnet und BCT gemessen (alt/neu), Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF.

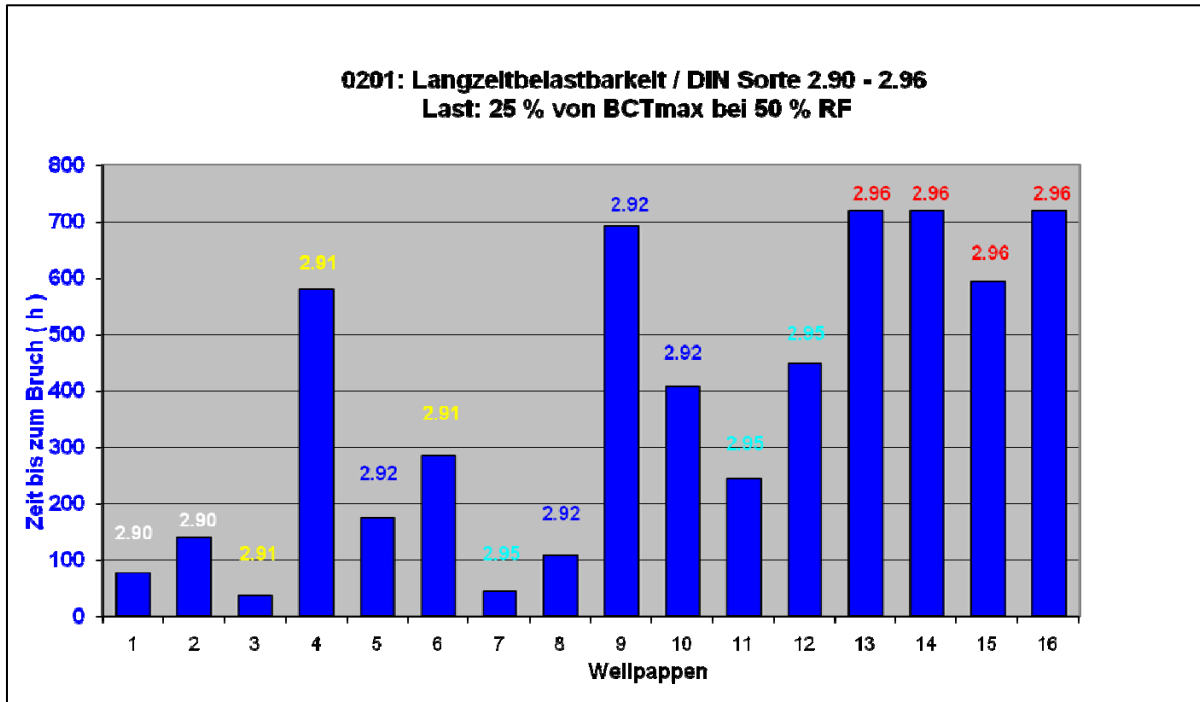


Abb. 14: Langzeitbelastbarkeit (Zeit bis zum Bruch). Übersicht aller Wellpappen am Beispiel der Packmittel FEFCO 0201 mit der Zuordnung zu den Wellpappe-Qualitäten gemäß DIN 55468-1

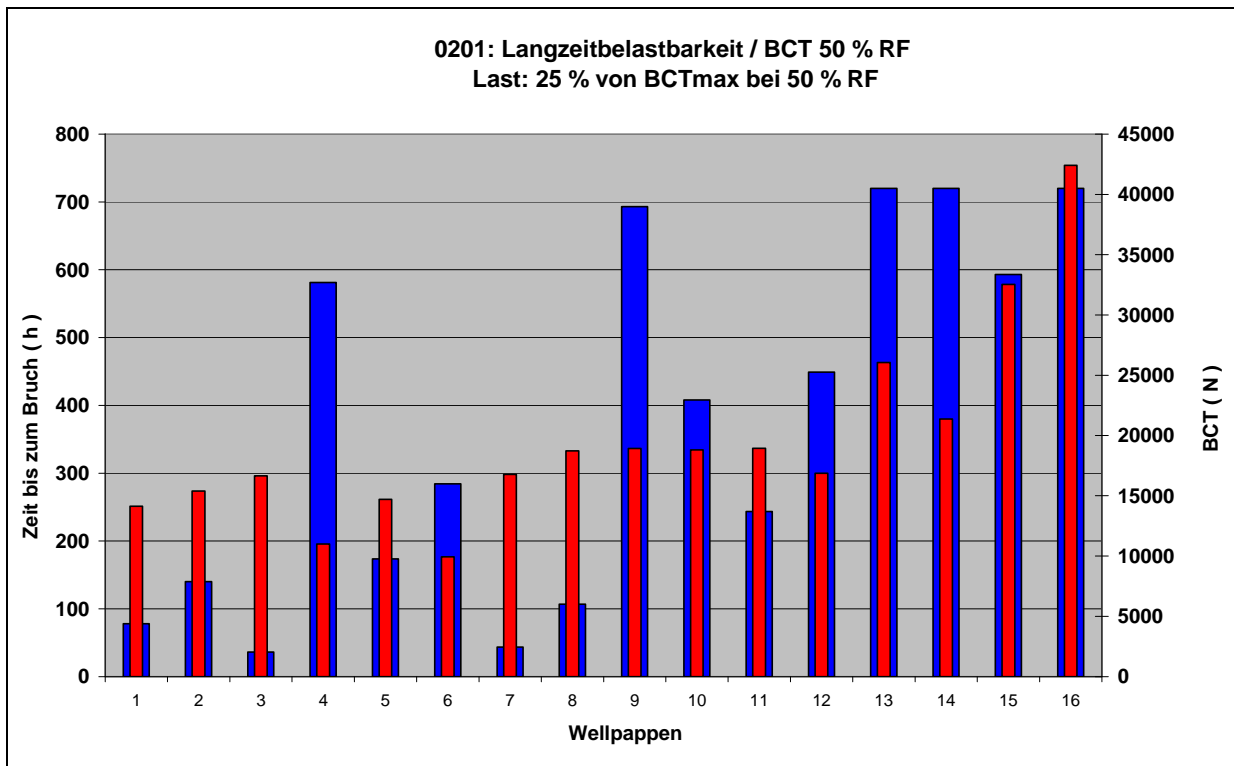


Abb. 15: Gegenüberstellung der Standzeiten (Zeit bis zum Bruch) der Packmittel FEFCO 02021 zu den gemessenen BCT-Werten

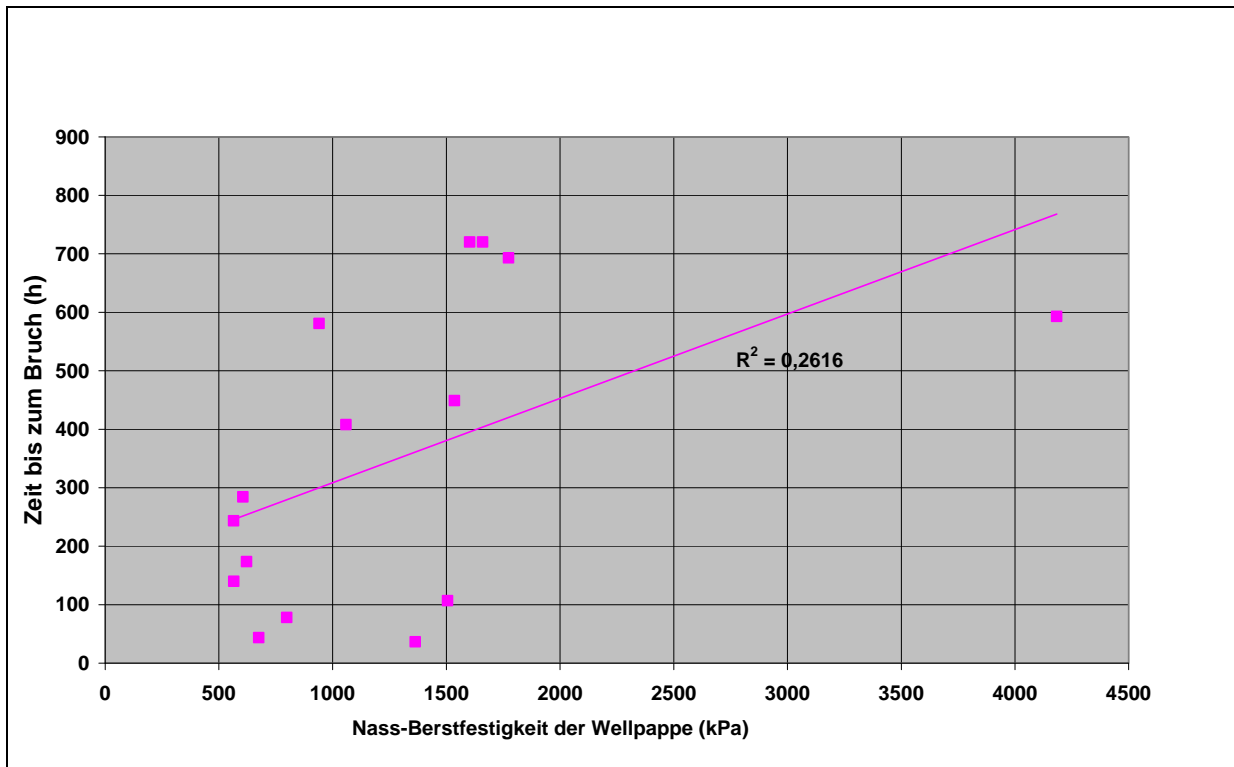


Abb. 16: Korrelation der Nass-Berstfestigkeit der Wellpappen zur Standzeit der Verpackungen am Beispiel des Packmittels FEFCO0201

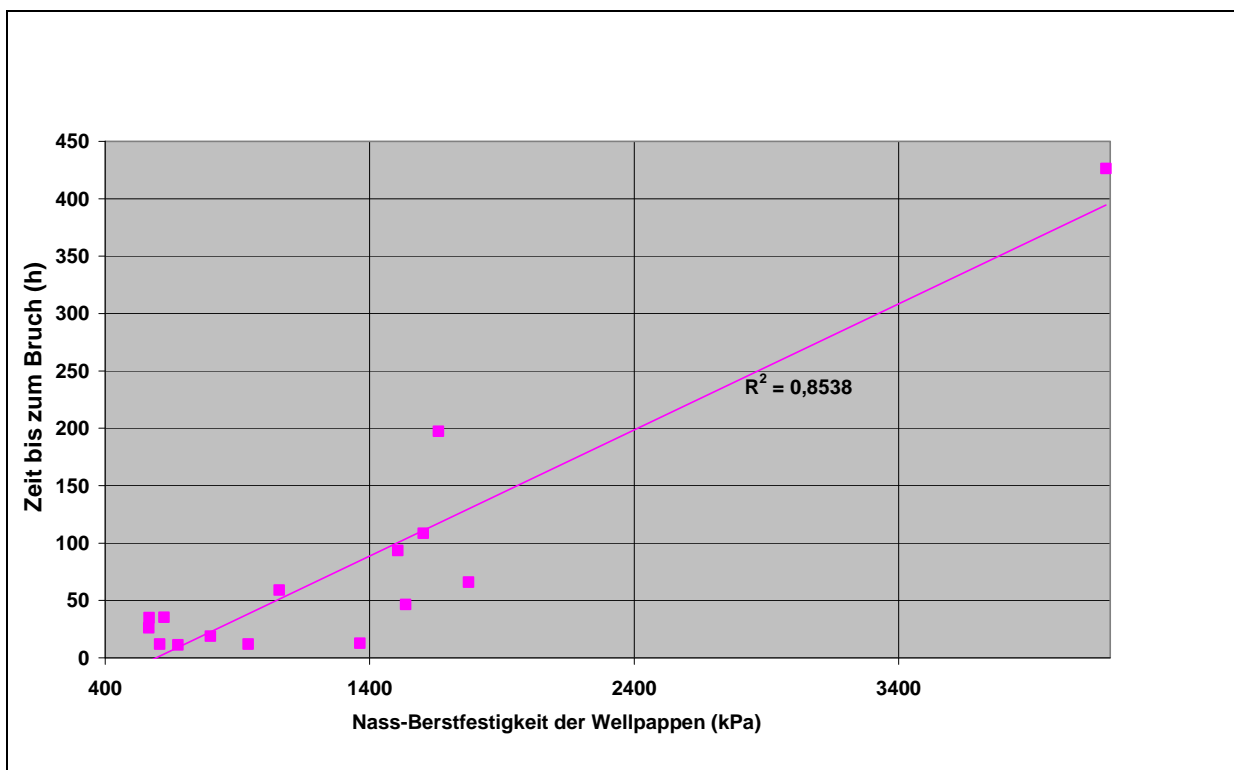


Abb. 17: Korrelation der Nass-Berstfestigkeit der Wellpappen zur Standzeit der Verpackungen am Beispiel des Packmittels FEFCO0310

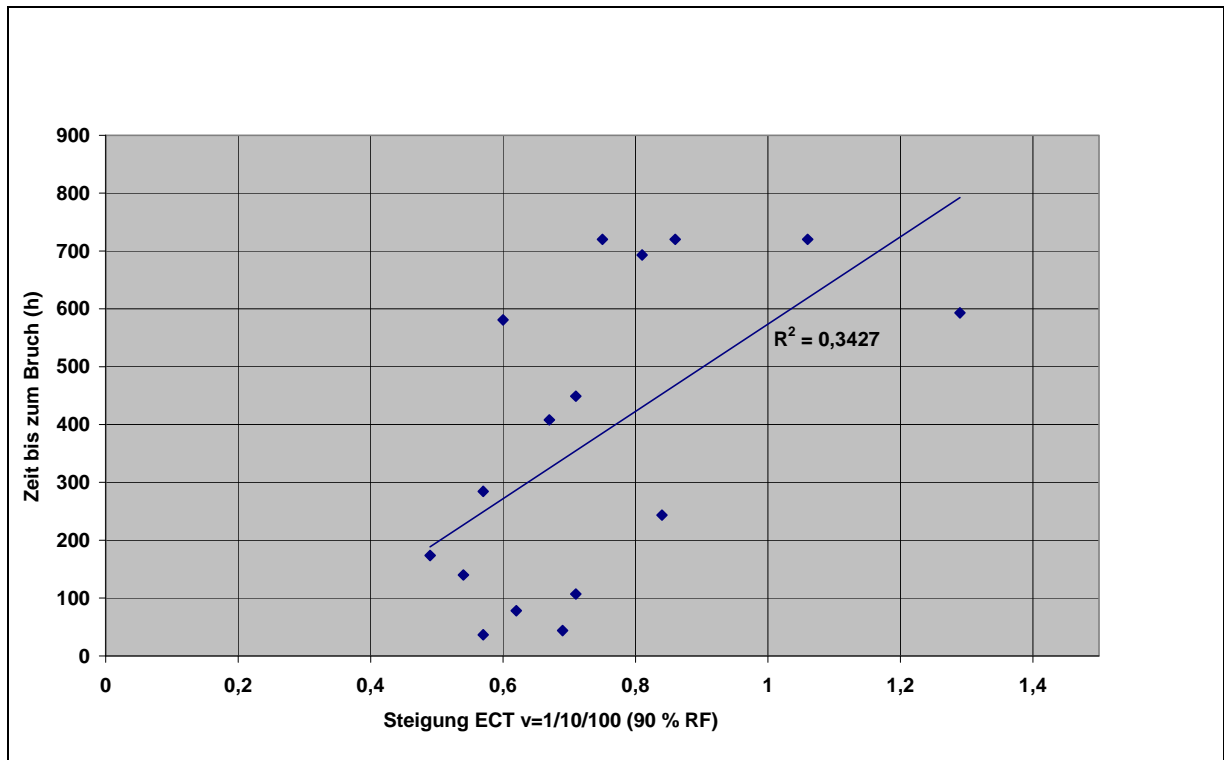


Abb. 18: Korrelation der aus den ECT-Werten mit unterschiedlichen Prüfgeschwindigkeiten ($v=1$, $v=10$, $v=100$ mm/min) ermittelten Steigung zu den Standzeiten der Packmittel FEFCO 0201

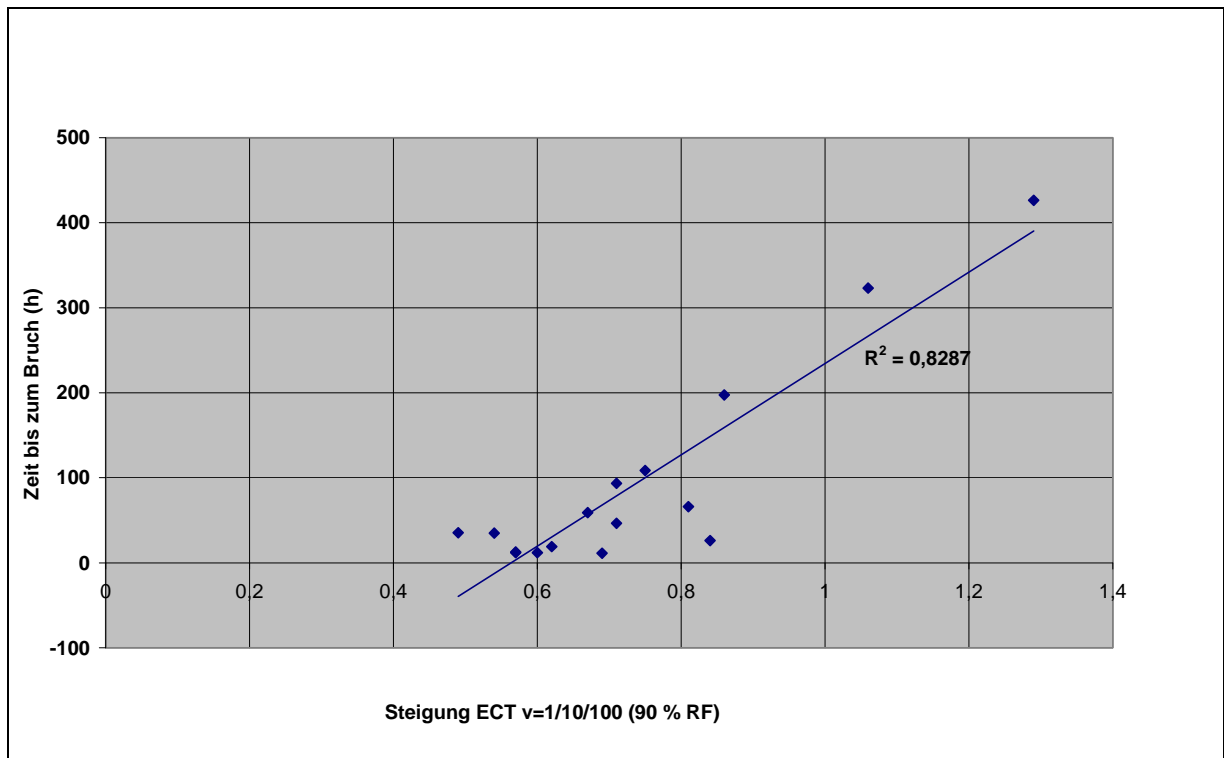


Abb. 19: Korrelation der aus den ECT-Werten mit unterschiedlichen Prüfgeschwindigkeiten ($v=1$, $v=10$, $v=100$ mm/min) ermittelten Steigung zu den Standzeiten der Packmittel FEFCO 0310

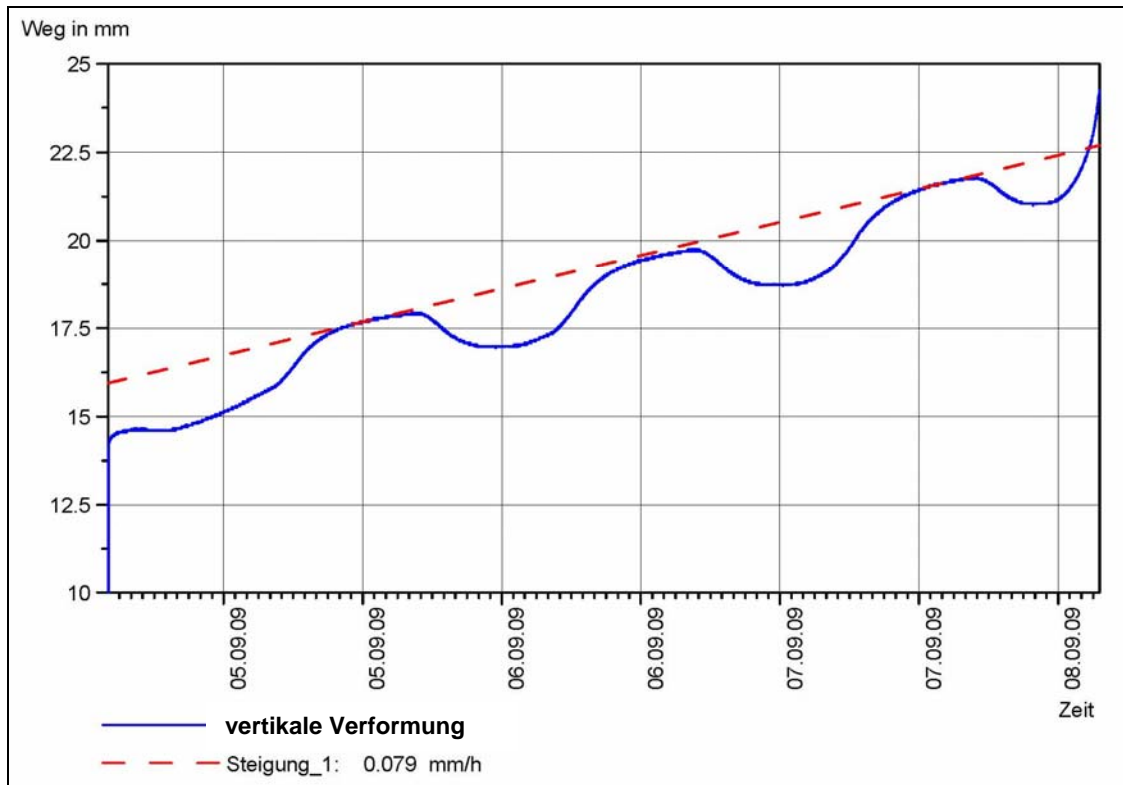


Abb. 20: Ermittlung der mittleren Kriechrate (Steigung_1) am Beispiel eines Packmittels FEFCO 0201 mit kurzer Standzeit

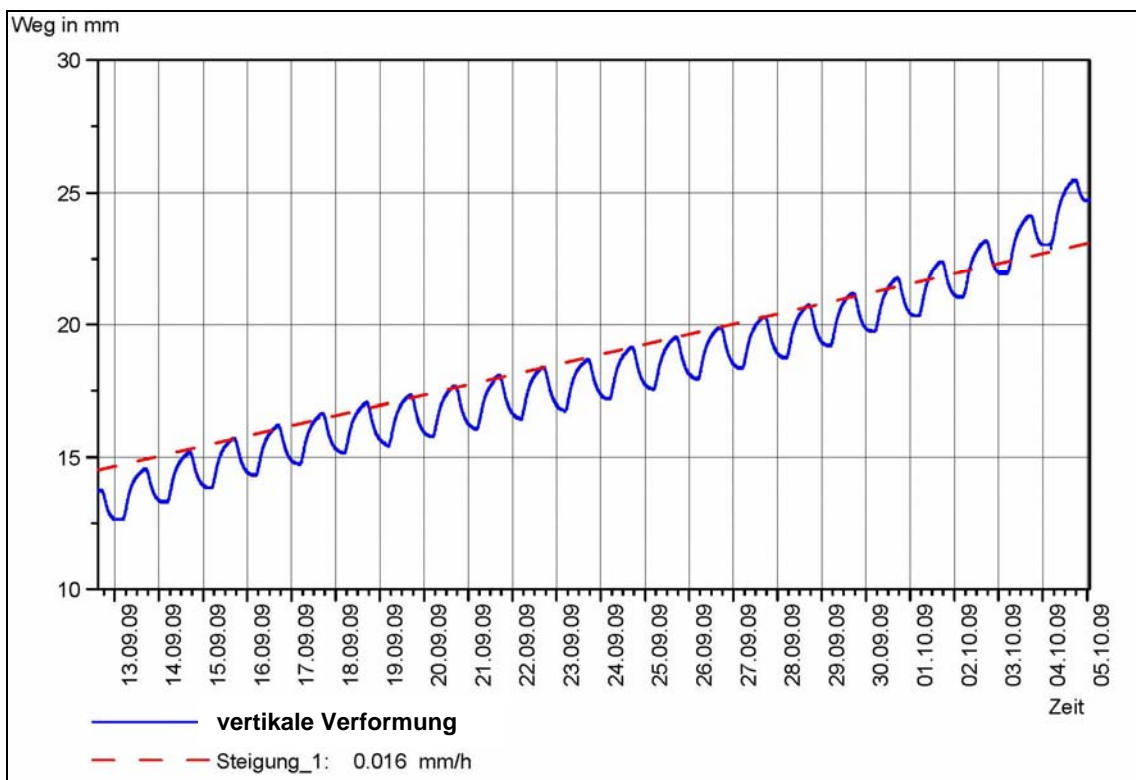


Abb. 21: Ermittlung der mittleren Kriechrate (Steigung_1) am Beispiel eines Packmittels FEFCO 0201 mit langer Standzeit

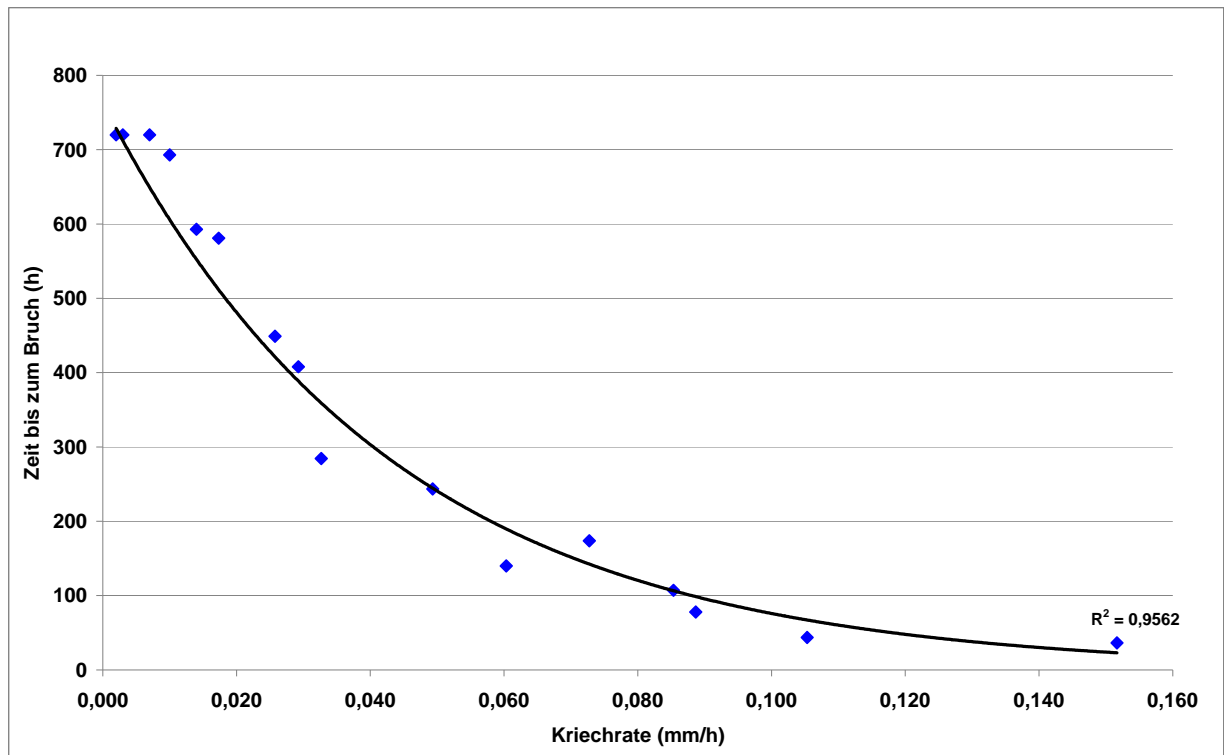


Abb. 22: Kriechraten der Packmittel FEFCO 0201 für alle Wellpappen in Korrelation zur Standzeiten der Verpackungen

Tabelle 6: Prüfserie 2: Übersicht aller Ergebnisse der Standardprüfungen an den Wellpappen und den Packmitteln (BCT)

WP	W	DIN	FG	D _k	BF	NB		nfV _k	D	ECT 50	ECT 90	Biegest 50 GM	Biegest 90 GM	BCT 50		BCT 90	
						kPa	%							%	J	kN/m	kN/m
1	2	290	1217	8,2	2725	449	16	0	14	15,49	8,6	58,7	35,1	16120	15800	7700	8000
2	3	292	1584	14	2878	901	31	100	20,8	17,41	8,47	155,0	102,0	15790	26120	8250	16120
3	2	292	1705	10,5	4208	1821	43	80	23,2	23,87	13,36	144,4	84,0	24940	29340	11540	16090
4	2	292	1715	9,9	4452	911	20	50	21,4	22,61	12,4	112,7	70,4	26620	26780	11680	12620
5	2	295	1757	10,5	4420	858	19	0	25,4	28,4	13,2	131,3	80,3	23280	25920	11480	17630
6	3	292	1839	14,6	4420	942	21	83	24	22,86	12,71	271,4	165,2	19850	26640	11020	13120
7	3	296	2168	14,8	5137	2755	54	83	30	26,48	13,04	254,4	170,5	26870	38370	15370	19540
8	3	296	2498	15,7	6771	3763	56	100	37,3	39,11	21,2	373,8	230,5	36630	49160	20870	25100
9	4	296	3190	17,8	6958	2674	38	100	38,1	35,62	17,57	564,0	323,0	44080	52000	21570	28400

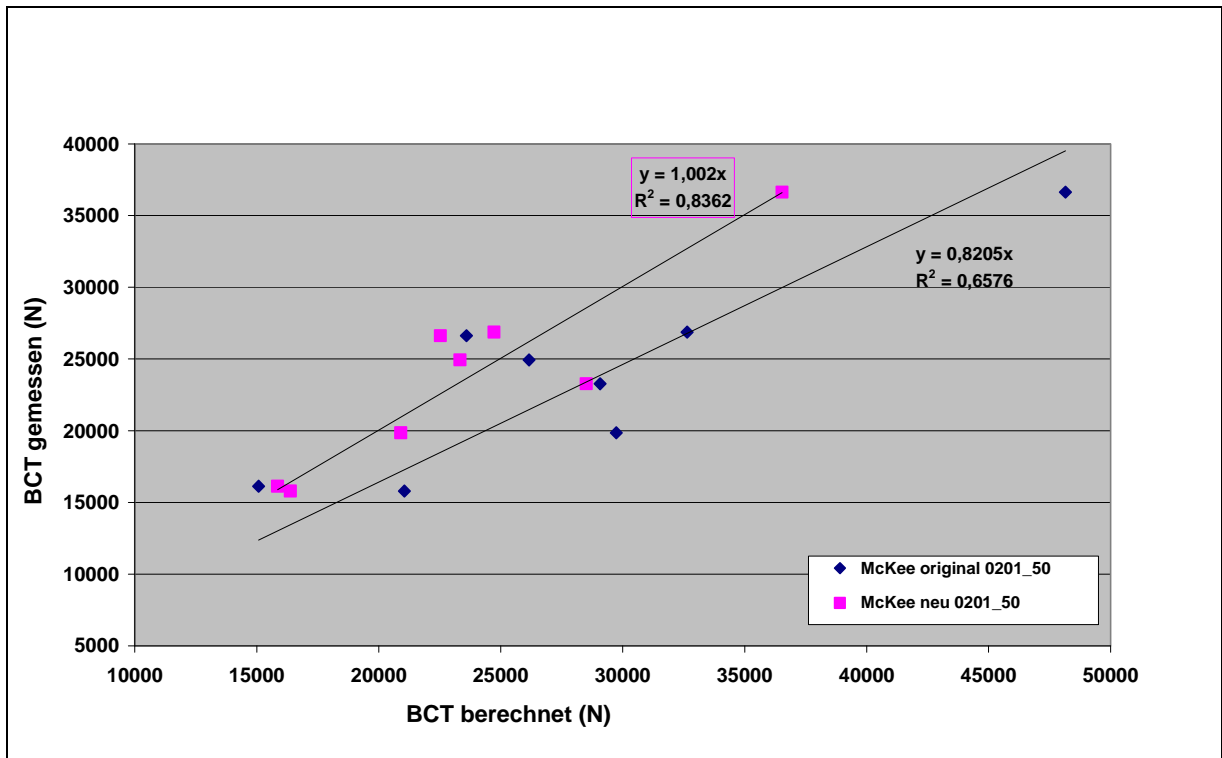


Abb. 23: Prüfsreihe 2: Gegenüberstellung BCT berechnet zu BCT gemessen. Vergleich Original Parameter / neue Parameter. Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF.

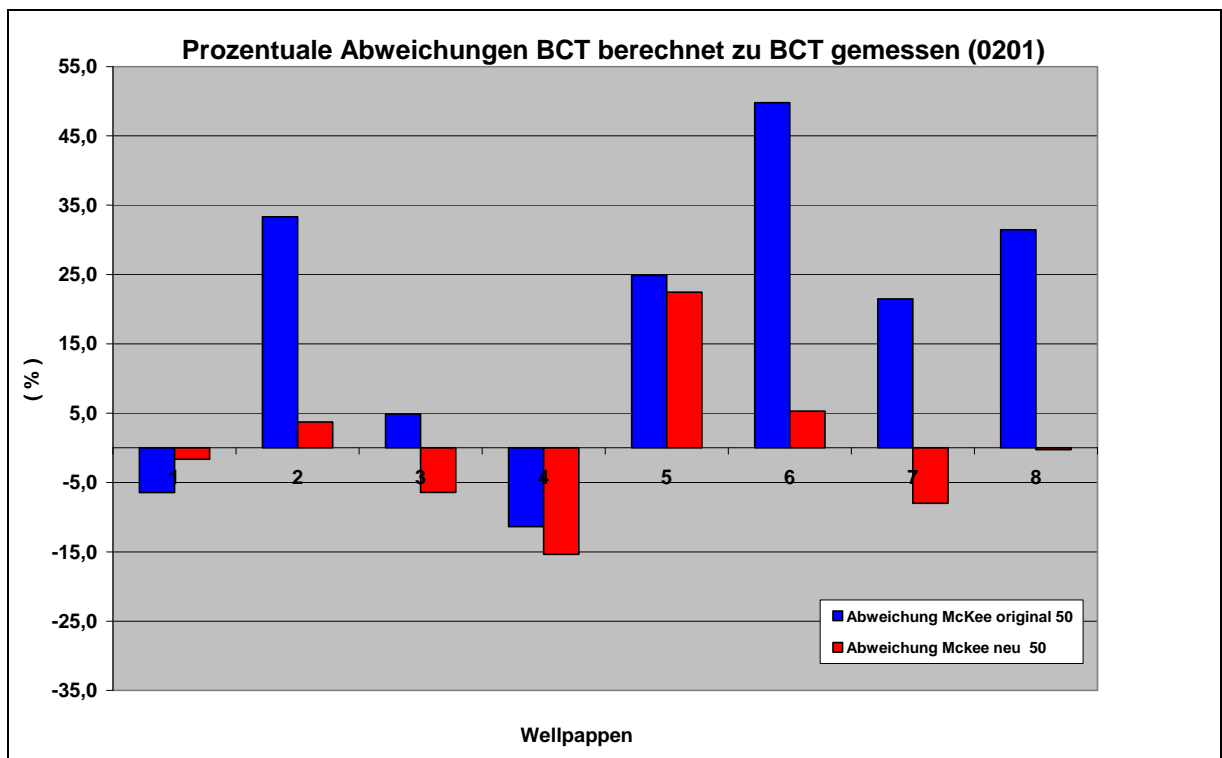


Abb. 24: Prüfsreihe 2: Prozentuale Abweichungen zwischen BCT berechnet und BCT gemessen (alt/neu), Packmittel FEFCO 0201 bei 50 % rel. LF.

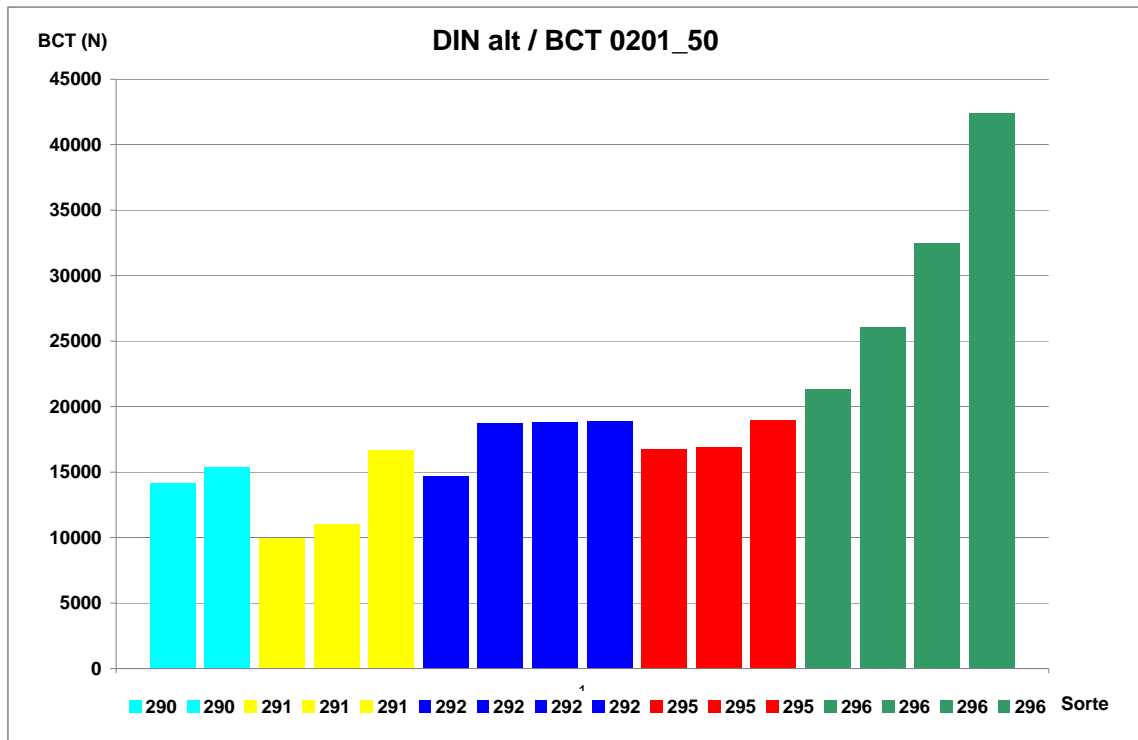


Abb. 25: Wellpappe-Sorten nach bisher bestehender DIN 55468-1 in Bezug zu den gemessenen BCT-Werten der Packmittel aus diesen Wellpappen

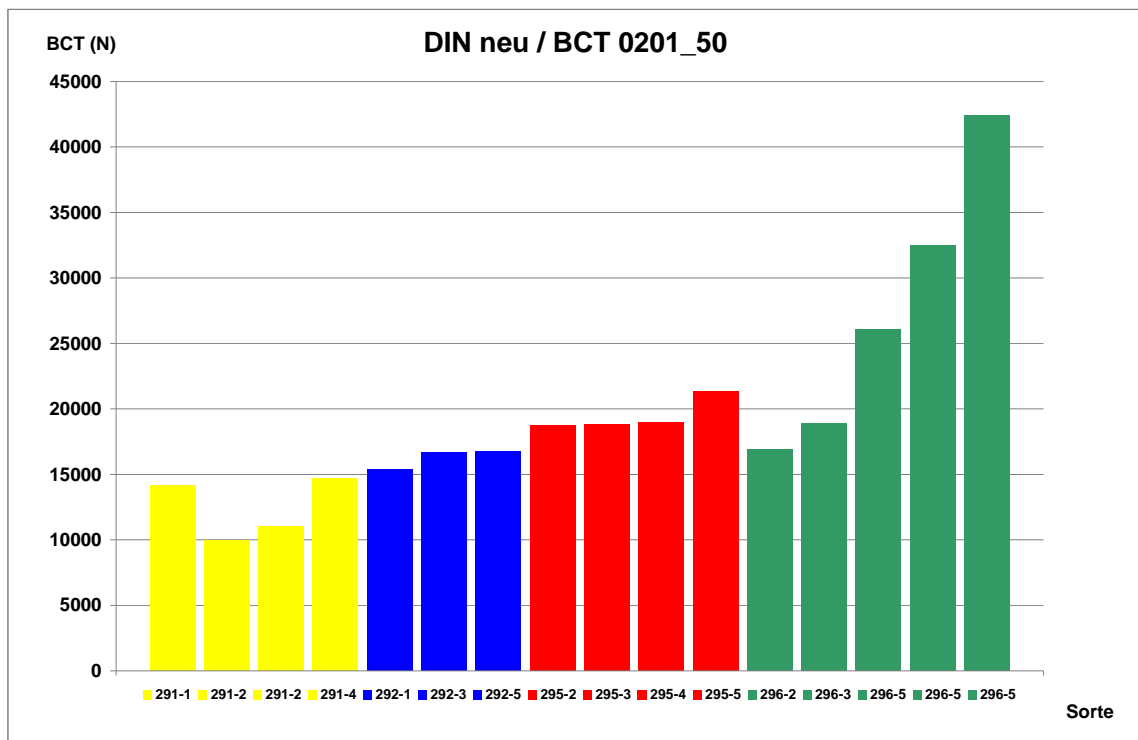


Abb. 26: Einteilung der Wellpappe-Sorten nach neuer Klassifizierung mit der Sortenbezeichnung nach DIN basierend auf dem ECT-Wert und dem Zusatz der jeweiligen Biegesteifigkeitsklasse