



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Erhebung des Potenzials für eine Materialeinsparung
am Beispiel von drei Verpackungstypen

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Verfasserin:

Verena Zach-Polt

Studienrichtung / Studienzweig (lt. Studienblatt):

A-474 Ernährungswissenschaften

Betreuer:

Univ. Doz. Dr. Manfred Tacker

Wien, im August 2010

Ich danke Herrn Univ. Doz. Dr. Manfred Tacker als Betreuer und für die Möglichkeit, zu diesem Thema meine Diplomarbeit zu verfassen.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Dr. Michael Washüttl für die Anleitung und hilfreiche Beratung während der Durchführung dieser Arbeit. Ein Dankeschön an die Mitarbeiter des *ofi* für die Unterstützung während der Versuchsdurchführungen.

Ein besonderes Dankeschön von ganzem Herzen an meine Eltern, die mir jeder Zeit emotional wie auch finanziell zur Seite standen und mich stets ermutigten.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Fragestellung	1
2 Literaturüberblick	5
2.1 Anforderungen an die Verpackung	5
2.2 Einfluss von soziodemographischen Faktoren auf die Verpackung	6
2.3 Packstofftypen	7
2.4 Für diese Arbeit relevante Packstofftypen	9
2.5 Bio-Kunststoffe.....	11
2.6 Verpackung als Abfall.....	12
2.7 Verpackungsminimierung	14
2.8 Wissenschaftliche Studien zum Thema Verpackungsminimierung.....	18
2.9 Vorstellung von derzeit am Markt erhältlichen Lightweight-Produkten	26
2.9.1 PET-Einweggebinde.....	26
2.9.2 Joghurtbecher, Aluminiumplatinen.....	30
3 Material und Methode	31
3.1 Marktrecherche und Probenauswahl.....	31
3.2.1 PET-Einweggebinde mit Füllvolumen 500 ml	32
3.2.2 PET-Einweggebinde mit Füllvolumen 1,5 L.....	37
3.2.3 Joghurtbecher mit Füllvolumen 150 g und zugehörige Platinen	42
3.2.4 Joghurtbecher mit Füllvolumen 200 g und zugehörige Platinen	47
3.3 Herstellerrecherche und angeforderte Lightweight-Prüfmuster	52
3.4 Einteilung der Prüfmuster.....	53
3.5 Vorbereitung und Lagerung der Prüfmuster.....	56
3.6 Optische Beurteilung und subjektive Bewertung der Prüfmuster	57
3.7 Allgemeine Eigenschaften der Prüfmuster.....	59
3.8 Mechanische Eigenschaften der Prüfmuster.....	62
4 Ergebnisse	69
4.1 PET-Einweggebinde mit Füllvolumen 500 ml	69
4.1.1 Optische Beurteilung und subjektive Bewertung der Prüfmuster.....	69
4.1.2 Allgemeine Eigenschaften	71
4.1.3 Mechanische Eigenschaften.....	76

4.1.4 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Parametern	79
4.2 PET-Einweggebinde mit Füllvolumen 1,5 L.....	86
4.2.1 Optische Beurteilung und subjektive Bewertung der Prüfmuster	86
4.2.2 Allgemeine Eigenschaften	88
4.2.3 Mechanische Eigenschaften	93
4.2.4 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Parametern	96
4.3 Joghurtbecher mit Füllvolumen 150 g.....	104
4.3.1 Allgemeine Eigenschaften	104
4.3.2 Mechanische Eigenschaften	109
4.3.3 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Parametern	112
4.4 Joghurtbecher mit Füllvolumen 200 g.....	118
4.4.1 Allgemeine Eigenschaften	118
4.4.2 Mechanische Eigenschaften	125
4.4.3 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Parametern	128
4.5 Platinen	134
4.5.1 Subjektive Bewertung der Prüfmuster.....	134
4.5.2 Allgemeine Eigenschaften	135
4.5.3 Mechanische Eigenschaften	137
4.5.4 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Parametern	139
5 Diskussion.....	144
6 Schlussbetrachtung	160
7 Zusammenfassung.....	164
8 Summary	165
Literaturverzeichnis	
Lebenslauf	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Pecology Bottle für Nama-cha, Kirin Beverage Co., Ltd. - vor bzw. nach der Materialreduktion (v. l. n. r.).....	20
Abbildung 2: Bottle Fly 500 ml, PET-Engineering.....	26
Abbildung 3: Eco-Fina Bottle, Aquafina.....	26
Abbildung 4: Eco-Air Bottle, Niagara.....	27
Abbildung 5: Eco-Shape Bottle, Nestlé.....	27
Abbildung 6: Lightweight E415-B-12.....	28
Abbildung 7: NoBottle, Sidel.....	28
Abbildung 8: PET lite 6.6, Krones.....	29
Abbildung 9: Bottle Fly 1,5 L, PET-Engineering.....	30
Abbildung 10: Prüfmuster 01 „BIONADE“.....	32
Abbildung 11: Prüfmuster 02 „BIONARA“.....	32
Abbildung 12: Prüfmuster 03 „CARPE DIEM“.....	32
Abbildung 13: Prüfmuster 04 „Coca Cola“.....	33
Abbildung 14: Prüfmuster 05 „DESPAR Natürliches Mineralwasser“.....	33
Abbildung 15: Prüfmuster 06 „evian“.....	33
Abbildung 16: Prüfmuster 07 „GUIZZA“.....	33
Abbildung 17: Prüfmuster 08 „JUVINA“.....	34
Abbildung 18: Prüfmuster 09 „MONTES“.....	34
Abbildung 19: Prüfmuster 10 „NESTEA“.....	34
Abbildung 20: Prüfmuster 11 „RADLBERGER“.....	34
Abbildung 21: Prüfmuster 12 „RAUCH bravo“.....	35
Abbildung 22: Prüfmuster 13 „RÖMERQUELLE“.....	35
Abbildung 23: Prüfmuster 14 „S. PELLEGRINO“.....	35
Abbildung 24: Prüfmuster 15 „SCHARTNER BOMBE“.....	35
Abbildung 25: Prüfmuster 16 „Schweppes“.....	36
Abbildung 26: Prüfmuster 17 „SPAR Multifrucht ACE“.....	36
Abbildung 27: Prüfmuster 18 „Sprite“.....	36
Abbildung 28: Prüfmuster 19 „VÖSLAUER biolimo“.....	36
Abbildung 29: Prüfmuster 20 „VÖSLAUER pocket“.....	37
Abbildung 30: Prüfmuster 21 „Almdudler“.....	37
Abbildung 31: Prüfmuster 22 „ASTORIA“.....	37
Abbildung 32: Prüfmuster 23 „clever“.....	38
Abbildung 33: Prüfmuster 24 „DESPAR Ice tea“.....	38
Abbildung 34: Prüfmuster 25 „Fanta“.....	38
Abbildung 35: Prüfmuster 26 „FRANKENMARKTER“.....	38
Abbildung 36: Prüfmuster 27 „Frucade Orangenfruchtsaft-Limonade“.....	39
Abbildung 37: Prüfmuster 28 „GASTEINER kristallklar“.....	39
Abbildung 38: Prüfmuster 29 „Goldana Limonade“.....	39
Abbildung 39: Prüfmuster 30 „Gröbi zuckerfrei“.....	39
Abbildung 40: Prüfmuster 31 „Linessa vital & active“.....	40
Abbildung 41: Prüfmuster 32 „Markus Quelle“.....	40
Abbildung 42: Prüfmuster 33 „PETERQUELLE NATURFRISCH“.....	40
Abbildung 43: Prüfmuster 34 „Pfanner plus Vitamine ACE“.....	40
Abbildung 44: Prüfmuster 35 „Radenska“.....	41

Abbildung 45: Prüfmuster 36 „RAUCH Ice Tea“	41
Abbildung 46: Prüfmuster 37 „SAN BENEDETTO“	41
Abbildung 47: Prüfmuster 38 „SBUDGET AQUA+“	41
Abbildung 48: Prüfmuster 39 „Vittel“	42
Abbildung 49: Prüfmuster 40 „Volvic naturell“	42
Abbildung 50: Prüfmuster 01 „BIOTREND Bio Joghurt“	42
Abbildung 51: Prüfmuster 02 „bissou 0,1 %“	43
Abbildung 52: Prüfmuster 03 „Emmi ALOE VERA“	43
Abbildung 53: Prüfmuster 04 „ja! Natürlich Pudding“	43
Abbildung 54: Prüfmuster 05 „Joya Sojagurt“	43
Abbildung 55: Prüfmuster 06 „LA LACTosefreier Fruchtjoghurt“	44
Abbildung 56: Prüfmuster 07 „Milbona Joghurt mild 3,5 %“	44
Abbildung 57: Prüfmuster 08 „milfina crème fraîche“	44
Abbildung 58: Prüfmuster 09 „milfina Rahmjoghurt“	44
Abbildung 59: Prüfmuster 10 „müller Froop Frucht auf Joghurt“	45
Abbildung 60: Prüfmuster 11 „SalzburgerLand DESSERTJOGHURT“	45
Abbildung 61: Prüfmuster 12 „Schärdinger Die schlanke Linie Frühstücks Joghurt“	45
Abbildung 62: Prüfmuster 13 „Schärdinger JOGHURT“	45
Abbildung 63: Prüfmuster 14 „SPAR Fruchtjoghurt“	46
Abbildung 64: Prüfmuster 15 „SPAR Natur pur Bio-Sahnepudding“	46
Abbildung 65: Prüfmuster 16 „Tiroler Rahmjoghurt“	46
Abbildung 66: Prüfmuster 17 „Zott Sahne Joghurt“	46
Abbildung 67: Prüfmuster 18 „clever“	47
Abbildung 68: Prüfmuster 19 „Dany Sahne“	47
Abbildung 69: Prüfmuster 20 „Desira PREMIUM-JOGHURT“	47
Abbildung 70: Prüfmuster 21 „Desserta frisch mix“	48
Abbildung 71: Prüfmuster 22 „Ehrmann Grand Dessert“	48
Abbildung 72: Prüfmuster 23 „Fri Fru“	48
Abbildung 73: Prüfmuster 24 „ja! Natürlich Joghurt“	48
Abbildung 74: Prüfmuster 25 „LA LACTosefreier Sauerrahm“	49
Abbildung 75: Prüfmuster 26 „Milbona Crème Fraîche“	49
Abbildung 76: Prüfmuster 27 „Milbona Schlagobers“	49
Abbildung 77: Prüfmuster 28 „milfina Sahne Dessert“	49
Abbildung 78: Prüfmuster 29 „Milki Mumm“	50
Abbildung 79: Prüfmuster 30 „Monte Ravy“	50
Abbildung 80: Prüfmuster 31 „NATUR aktiv Bio Joghurt“	50
Abbildung 81: Prüfmuster 32 „nöm fasten natur joghurt“	50
Abbildung 82: Prüfmuster 33 „nöm fru fru“	51
Abbildung 83: Prüfmuster 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“	51
Abbildung 84: Prüfmuster 35 „SPAR fru“	51
Abbildung 85: Prüfmuster 36 „SPAR Natur pur Joghurt“	51
Abbildung 86: Prüfmuster 37 „zurück zum Ursprung REICHENSTEINER BERGBAUERN JOGHURT“	52
Abbildung 87: Sichtbare Fehler – Deformation des Petaloidbodens	57
Abbildung 88: Ausschlenkverhalten – starkes, gleichmäßiges Zusammenziehen des Flaschenkörpers	58
Abbildung 89: Abziehen der Platine – Rückstand am Becherrand	59
Abbildung 90: Abziehen der Platine – Eingerissene Platinen	59

Abbildung 91: Masse – Probenkörper mit einer Fläche von 1.538,9 mm ²	60
Abbildung 92: Dicke – Verteilung der Messpunkte bei PET-Flasche	61
Abbildung 93: Dicke – Verteilung der Messpunkte bei Joghurtbecher.....	61
Abbildung 94: Axialdruckfestigkeit – Einknicken der Probe	62
Abbildung 95: Berstdruck - Schraubadapter (DIN 53758-1975), gefertigter Adapter ..	63
Abbildung 96: Berstdruck – Durchführung des Versuches	64
Abbildung 97: Berstdruck – PET-Flasche nach Versuch	64
Abbildung 98: Bruchfallhöhe – Bruch im Bereich der Seitenwand	66
Abbildung 99: Bruchfallhöhe – Bruch im Bereich des Becherbodens und der Seitenwand	66
Abbildung 100: Weiterreißfestigkeit – Probenkörper mit definiertem Einschnitt	67
Abbildung 101: Weiterreißfestigkeit - Einspannen der Probe in Zugprüfmaschine	67
Abbildung 102: Masse - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	72
Abbildung 103: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	73
Abbildung 104: Bestimmung der Bodendicke - PET-Flaschen Prüfmuster (01-20 und I- III)	74
Abbildung 105: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	75
Abbildung 106: Axialdruckfestigkeit - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III).....	77
Abbildung 107: Berstdruck - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20).....	78
Abbildung 108: Zusammenhang zwischen Masse und Handgefühl - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	79
Abbildung 109: Zusammenhang zwischen Masse und Ausschlenkverhalten - PET- Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	80
Abbildung 110: Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung - PET- Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	81
Abbildung 111: Zusammenhang zwischen Masse und Bodendicke - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	82
Abbildung 112: Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit - PET- Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	82
Abbildung 113: Zusammenhang zwischen Masse und Berstdruck - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20).....	83
Abbildung 114: Zusammenhang zwischen Masse und Flaschenform - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	84
Abbildung 115: Zusammenhang zwischen Masse und Bodenform - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	85
Abbildung 116: Ausschlenkverhalten - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	87
Abbildung 117: Masse - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV).....	89
Abbildung 118: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	90
Abbildung 119: Bestimmung der Bodendicke - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV).....	91
Abbildung 120: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV).....	92
Abbildung 121: Axialdruckfestigkeit - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV).....	94
Abbildung 122: Berstdruck - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40).....	95

Abbildung 123: Zusammenhang zwischen Masse und Handgefühl - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	96
Abbildung 124: Zusammenhang zwischen Masse und Ausschlenkverhalten - PET- Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	97
Abbildung 125: Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung - PET- Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	98
Abbildung 126: Zusammenhang zwischen Masse und Bodendicke - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	99
Abbildung 127: Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit - PET- Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	100
Abbildung 128: Zusammenhang zwischen Masse und Berstdruck - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40).....	101
Abbildung 129: Zusammenhang zwischen Masse und Flaschenform - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	102
Abbildung 130: Zusammenhang zwischen Masse und Bodenform - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	103
Abbildung 131: Masse; gesamter Becher - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	105
Abbildung 132: Masse; nach Fraktionen - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17).....	105
Abbildung 133: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	106
Abbildung 134: Bodendicke - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	107
Abbildung 135: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) gesamter Becher - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	108
Abbildung 136: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) getrennt nach Fraktionen - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	109
Abbildung 137: Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	110
Abbildung 138: Bruchfallhöhe - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17).....	111
Abbildung 139: Zusammenhang zwischen Material und Masse - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17).....	112
Abbildung 140: Zusammenhang zwischen Material und Wanddickenverteilung - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	113
Abbildung 141: Zusammenhang zwischen Material und Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	113
Abbildung 142: Zusammenhang zwischen Material und Bruchfallhöhe - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17).....	114
Abbildung 143: Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	115
Abbildung 144: Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	116
Abbildung 145: Zusammenhang zwischen Masse und Bruchfallhöhe – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17).....	117
Abbildung 146: Masse; gesamter Becher - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)	119
Abbildung 147: Masse; nach Fraktionen - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	119
Abbildung 148: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)	121
Abbildung 149: Bodendicke - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)	122
Abbildung 150: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) gesamter Becher - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)	123

Abbildung 151: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) getrennt nach Fraktionen - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	124
Abbildung 152: Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	126
Abbildung 153: Bruchfallhöhe - Joghurtbecher (Prüfmuster (18-37).....	127
Abbildung 154: Zusammenhang zwischen Material und Masse - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	128
Abbildung 155: Zusammenhang zwischen Material und Wanddickenverteilung - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	129
Abbildung 156: Zusammenhang zwischen Material und Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	129
Abbildung 157: Zusammenhang zwischen Material und Bruchfallhöhe - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	130
Abbildung 158: Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	131
Abbildung 159: Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	132
Abbildung 160: Zusammenhang zwischen Masse und Bruchfallhöhe – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	133
Abbildung 161: Flächengewicht - Platinen (Prüfmuster 01-37).....	135
Abbildung 162: Dickenbestimmung - Platinen (Prüfmuster 01-37).....	137
Abbildung 163: Weiterreißfestigkeit - Platinen (Prüfmuster 01-37).....	138
Abbildung 164: Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Rückstände der Platinen beim Abziehen vom Becher - Platinen (Prüfmuster 01-37).....	139
Abbildung 165: Zusammenhang zwischen Flächengewicht und der Anzahl von eingerissenen Platinen beim Abziehen vom Becher - Platinen (Prüfmuster 01-37).....	140
Abbildung 166: Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Dicke - Platinen (Prüfmuster 01-37).....	141
Abbildung 167: Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Weiterreißfestigkeit - Platinen (Prüfmuster 01-37).....	142
Abbildung 168: Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Durchmesser – Platinen (Prüfmuster 01-37).....	143

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Prüfmuster – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-40 und I-IV)	54
Tabelle 2: Einteilung der Prüfmuster – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-37).....	55
Tabelle 3: Einteilung der Prüfmuster – Platinen (Prüfmuster 01-37).....	56
Tabelle 4: Bruchfallhöhe – Bestimmung der kritischen Höhe durch Vorversuche.....	65
Tabelle 5: Optische Beurteilung und subjektive Bewertung der Prüfmuster – PET- Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III).....	69
Tabelle 6: Masse – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III).....	71
Tabelle 7: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III).....	72
Tabelle 8: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)	75
Tabelle 9: Axialdruckfestigkeit – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III).....	76
Tabelle 10: Berstdruck – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20).....	77
Tabelle 11: Optische Beurteilung und subjektive Bewertung der Prüfmuster – PET- Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	86
Tabelle 12: Masse – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	88
Tabelle 13: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	89
Tabelle 14: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV).....	91
Tabelle 15: Axialdruckfestigkeit – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)	93
Tabelle 16: Berstdruck – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40).....	94
Tabelle 17: Masse – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17).....	104
Tabelle 18: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) – Joghurtbecher (Prüfmuster 01- 17).....	106
Tabelle 19: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17).....	107
Tabelle 20: Axialdruckfestigkeit – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)	109
Tabelle 21: Bruchfallhöhe – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17).....	111
Tabelle 22: Masse – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	118
Tabelle 23: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) – Joghurtbecher (Prüfmuster 18- 37).....	120
Tabelle 24: Bestimmung der Bodendicke – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	121
Tabelle 25: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	123
Tabelle 26: Axialdruckfestigkeit – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)	125
Tabelle 27: Bruchfallhöhe – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37).....	126
Tabelle 28: Subjektive Bewertung – Platinen (Prüfmuster 01-37).....	134
Tabelle 29: Flächengewicht – Platinen (Prüfmuster 01-37).....	135
Tabelle 30: Dickenbestimmung – Platinen (Prüfmuster 01-37).....	136
Tabelle 31: Weiterreißfestigkeit – Platinen (Prüfmuster 01-37)	137

Abkürzungsverzeichnis

PET	Polyethylenterephthalat
PS	Polystyrol
PP	Polypropylen
NAWARO	nachwachsender Rohstoff
CAD	Computer Aided Design
CO ₂	Kohlendioxid
MW	Mittelwert
s	Standardabweichung
MIN	niedrigster ermittelter Wert
MAX	höchster ermittelter Wert
Fmax	Höchstaxialdruckkraft

1 Einleitung und Fragestellung

Die Verpackung ist ein Zivilisationsprodukt und spiegelt unseren Lebensstandard wider. Sie ist kein Selbstzweck, sondern die Bedingung für eine vorausschauende Vorratspolitik und Versorgung der Bevölkerung. Innerhalb der letzten Jahrzehnte hat die Verpackung wesentliche Veränderungen erfahren, eng verbunden mit geänderten Distributionsformen. Großgebilde werden nur noch in seltenen Fällen eingesetzt. Damit wurden die Probleme der Lebensmittelhygiene, der Kontamination und des hohen Anteils an verdorbenen Gütern größtenteils gelöst.

Eine Antwort auf diese geänderten Distributionsformen stellt die Portionspackung dar, welche einer Zunahme von Kleinhaushalten sowie einem höheren Anteil an Singles und älteren Menschen gerecht wird. Durch die Berufstätigkeit der Frauen und vermehrte Freizeitaktivitäten verkürzt sich die zur Verfügung stehende Zeit zum Einkaufen und Kochen. Kleine, variable Portionsgrößen sowie Fertig- und Halbfertigprodukte gewinnen immer mehr an Bedeutung, sind jedoch häufig mit einem höheren Packmittelaufwand verbunden.

Ein hoher Packmittelbedarf zeigt sich auch bei Überverpackungen. Hierbei handelt es sich v. a. um Produkte der Süßwarenbranche, die durch ihre besonders luxuriösen Verpackungen den Verbraucher zum Kauf anreizen sollen.

Ein Extrembeispiel der Abfallproblematik findet sich in Neapel, wo bestehende Mülldeponien überfüllt sind und thermische Verwertungsanlagen fehlen. Ausgelöst durch einen Streik der Entsorgungsbetriebe begannen die Einwohner ihre Abfälle auf der Straße zu verbrennen, wodurch es u. a. zu giftigen Rauchentwicklungen kam.

Daraufhin sind weite Teile der Bevölkerung, Produzenten wie Verbraucher, Industrie wie Handel, hellhörig und kritischer gegenüber ihren Verpackungen und deren Folgen geworden. Zunehmend gibt es Bewegungen zu Verpackungsvermeidung und -minimierung.

Einen möglichen Lösungsansatz für die Abfallproblematik liefern biologisch abbaubare Werkstoffe, welche aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Aufgrund ihrer Materialeigenschaften eignen sich Bio-Kunststoffe jedoch nicht für alle Füllgüter. Zudem ist die Herstellung kostenintensiver als bei herkömmlichen Standard-Kunst-

stoffen. Gegenwärtig besteht bei diesen Materialien noch ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Eine weitere Möglichkeit der sich ständig zuspitzenden Abfallproblematik zu begegnen bieten gewichtsreduzierte Verpackungen. Für Packstoffhersteller stellen Materialeinsparungen vielfältige Vorteile, sowohl auf ökonomischer als auch auf ökologischer Seite dar. Zu diesen zählen u. a. ein geringerer Rohstoffbedarf und damit verbunden niedrigere Beschaffungskosten sowie eine kostengünstigere und umweltfreundlichere Produktion und Logistik. Im Handel erleichtern gewichtsreduzierte Verpackungen die Distribution. Zudem wird der Wunsch des Konsumenten nach nachhaltigen, leichtgewichtigen Verpackungslösungen erfüllt. Doch gleichzeitig müssen alle Grundvoraussetzungen des Produktschutzes und der Verbraucherfreundlichkeit erfüllen werden.

Der Grund für die Durchführung dieser Arbeit sind bestehende Informationsdefizite im Bereich der Verpackungsminimierung. Ziel ist die Ermittlung von wissenschaftlichen Daten und Fakten, mit deren Hilfe ein vorhandenes Einsparpotenzial erkannt, abgeschätzt und in weiterer Folge realisiert werden kann.

Im Rahmen dieser Arbeit werden gegenwärtig am Markt erhältliche Verpackungen untersucht. Zudem sollen bereits optimierte Verpackungen ausfindig gemacht werden. Es wird eruiert, ob es sich bei der derzeitigen Dimensionierung der Packmittel um sinnvolle Lösungen handelt oder ob ein Potenzial für eine Materialeinsparung besteht. In weiterer Folge sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, um eine Verpackungsminimierung zu realisieren.

Aufgrund der Fülle von Verpackungen und der Komplexität des Themas wird bezüglich der Packmittel eine Auswahl von folgenden drei Schwerpunkten getroffen:

- PET-Flaschen
- Joghurtbecher
- Aluminiumplatinen

Um einen wissenschaftlichen Überblick über das Thema „Verpackungsminimierung“ zu erhalten, wird in der vorliegenden Arbeit eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt. Sowohl bisherige Veröffentlichungen als auch bereits realisierte Projekte

werden ermittelt, um eine ganzheitliche Darstellung des derzeitigen Standes der Technik zu gewährleisten.

Um das Angebot an gegenwärtig am Markt erhältlichen Verpackungen aufzuzeigen, wird das definierte Warensortiment von vier Supermarktketten systematisch durchleuchtet. Für die folgenden Untersuchungen wird darüber hinaus eine repräsentative Auswahl an möglichst unterschiedlichen Produkten, welche durch einen subjektiv besonders hohen bzw. besonders niedrigen Packstoffaufwand gekennzeichnet sind, eingekauft. Durch diese Bestandsaufnahme soll der derzeitige Entwicklungsstand im Verpackungssektor dieser Produktgruppen aufgezeigt werden.

In weiterer Folge werden Hersteller der drei zu untersuchenden Verpackungstypen ermittelt, kontaktiert und Muster von PET-Flaschen, Joghurtbechern und Aluminiumplatinen angefordert. Anhand dieser Muster soll festgestellt werden, ob bereits Packmittel hergestellt werden, durch welche eine Verringerung des Verpackungsaufwandes möglich wäre.

Für den Fall, dass die Hersteller keine passenden Produkte im Sortiment führen, werden eigene Ideen verfolgt, durch welche eine Verringerung des Materialeinsatzes erzielt werden kann.

Die Analyse der Verpackungen erfolgt hinsichtlich nachfolgender Kriterien:

- Optische Beurteilung und subjektive Bewertung
- Allgemeine Eigenschaften
 - Masse
 - Materialdicke
- Mechanische Eigenschaften (variieren je nach Verpackungstyp)
 - Axialdruckfestigkeit
 - Berstruck
 - Bruchfallhöhe
 - Weiterreißfestigkeit
- Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den einzelnen Parametern

Durch die Erhebung der angeführten Parameter soll ein möglicher Zusammenhang zwischen der Masse der einzelnen Prüfmuster und deren mechanischer bzw. subjektiver Stabilität ermittelt werden. So kann festgestellt werden, ob auch leichtgewichtige Verpackungslösungen eine ausreichende Stabilität liefern. Eine Verpackungsminimierung ist grundsätzlich mit einer Abnahme der mechanischen Festigkeit verbunden. Da die Verpackung auch nach der Verringerung des Materialeinsatzes allen an sie gestellten Anforderungen genügen muss, kann eine Materialeinsparung nur bei Packmitteln mit ausreichender mechanischer Stabilität durchgeführt werden.

Anhand der ermittelten Messwerte kann somit abgeschätzt werden, ob bei den untersuchten Warengruppen das Limit für eine Verringerung des Materialeinsatzes bereits erreicht ist oder ob noch ein Einsparpotenzial besteht. Für den letzteren Fall sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, um eine Verpackungsminimierung zu realisieren.

Ziel dieser Arbeit ist somit, den derzeitigen Stand im Bereich der Verpackungsminimierung durch Vergleich der erhobenen Parameter aufzuzeigen. Dadurch kann das mögliche Einsparpotenzial der definierten Warengruppen eruiert werden. Zudem soll ermittelt werden, ob bereits gewichtsreduzierte Verpackungslösungen mit ausreichender mechanischer Stabilität hergestellt werden. Schlussendlich sollen Methoden aufgezeigt werden, anhand derer weitere Verbesserungen erzielt werden können.

2 Literaturüberblick

2.1 Anforderungen an die Verpackung

Die Verpackung hat innerhalb der letzten Jahrzehnte grundlegende Veränderungen, eng verbunden mit geänderten Distributionsformen, erfahren. Eine Portionierung von Hand im Bedienungsgeschäft wird zunehmend durch Portionspackungen im Selbstbedienungsmarkt ersetzt. Trotz des höheren Packmittelbedarfes bieten Portionspackungen klare Vorteile für Verbraucher, Handel und Hersteller. Diese haben die mit Großgebinden verbundenen Probleme der Lebensmittelhygiene, der Kontamination und des hohen Anteiles an verdorbenen Gütern größtenteils gelöst. Die Verpackung ist somit kein Selbstzweck, sondern Voraussetzung für eine vorausschauende Vorratspolitik und Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln [STEHLE, 1997].

Eine Verpackung muss zahlreichen Anforderungen gerecht werden. Zu den wichtigsten Aufgaben der Verpackung zählen die Containmentfunktion – die Verpackung muss das Füllgut zusammenhalten – und der Produktschutz.

Die Verpackung muss das Füllgut vor Luftsauerstoff, Licht, Aufnahme oder Abgabe von Feuchtigkeit und Fremdgerüchen oder Aromaverlust schützen, um Verderbsreaktionen sowie eine nachteilige Veränderung der Geruchs- und Geschmacksmuster, des Aussehens und der Konsistenz zu vermeiden. Zudem muss das Füllgut hinreichend vor mechanischer Beschädigung wie Verformung bzw. Bruch sowie vor Verunreinigungen, unerwünschten Mikroorganismen und Schädlingen geschützt werden [BERGMAIR et al., 2004].

Für den Verbraucher spielen zudem Faktoren wie gute Erkennbarkeit des Produktes sowie Umwelt- und Verbraucherfreundlichkeit (Convenience) eine wichtige Rolle. Mogel- und Überverpackungen werden abgelehnt. Der Handel erwartet durch genormte Abmessungen die Ermöglichung einer optimalen Logistik und Distribution sowie eine ausreichende Lagerfähigkeit der Produkte und eine ideale Warenpräsentation. Die Verpackung als wichtigster Werbeträger muss durch ihr Äußeres Aufmerksamkeit erregen und auf die Qualität des Füllgutes hinweisen. Zu den Anforderungen der Hersteller und Abpacker zählen u. a. technische Aspekte wie Maschinengängigkeit und

Eignung für automatische Abpackmaschinen, Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften, Umweltverträglichkeit [STEHLE, 1997] sowie Minimierung der Kosten in der gesamten Lieferkette. Es soll nicht die billigste, sondern die am besten geeignete Verpackung für das Produkt zum günstigsten Preis eingesetzt werden [BERGMAIR et al., 2004].

2.2 Einfluss von soziodemographischen Faktoren auf die Verpackung

In den letzten Jahrzehnten kam es in Österreich zu wesentlichen Veränderungen der Bevölkerungsstruktur. Sinkende Geburtenraten, ein Anstieg der Lebenserwartung sowie des Heiratsalters und eine Zunahme von Scheidungen führten zu einer stetigen Verkleinerung der Haushalte. Im Jahr 1951 lag die durchschnittliche Haushaltsgröße bei 3,11 Personen und sank bis zum Jahr 2001 auf 2,38 Personen, wobei etwa zwei Drittel der Haushalte von einer oder zwei Personen bewohnt wurden. Somit verliert die klassische Großfamilie zunehmend an Bedeutung [STATISTIK AUSTRIA (1)].

Damit verbunden ist der Anteil erwerbstätiger Frauen in den letzten Jahrzehnten stark angestiegen. Viele Frauen möchten auf eine Familie dennoch nicht verzichten und so bleibt durch die Doppelbelastung „Arbeit-Haushalt“ weniger Zeit für die Nahrungszubereitung. Auch bei jüngeren Singles, welche ihre Freizeit aktiv gestalten und das Leben genießen wollen, lassen Kochhäufigkeit und für die Speisenzubereitung verwendete Zeit nach [EGGERT, 1996].

Mit einem weiteren Anstieg der Lebenserwartung ist, Prognosen zufolge, auch zukünftig zu rechnen, wodurch sich der Anteil der Senioren an der Gesamtbevölkerung von 22,8 % im Jahr 2009 auf über 34,2 % im Jahr 2050 erhöhen wird [STATISTIK AUSTRIA (2)]. Folglich werden Senioren zu einer bedeutenden Zielgruppe, welche jedoch keine speziellen Seniorenprodukte erwarten, sondern leicht handhabbare, bequeme und sichere Verpackungen [EGGERT, 1996].

Diese gesellschaftlichen Veränderungen führen zu neuen Konsumgewohnheiten und somit zu neuen Anforderungen an die Verpackungsgestaltung, wobei durch verbraucherfreundliche Verpackungen die soziodemografischen Entwicklungen berücksichtigt, und Kundenbedürfnisse erfüllt werden können. Aufgrund des ständig wachsenden

Anteils an Single-Haushalten und der zunehmenden Berufstätigkeit der Frauen gewinnen Convenience-Verpackungen immer mehr an Bedeutung, gerade weil sich der moderne Verbraucher immer weniger Zeit für das Vorbereiten und das Einnehmen der Mahlzeit nimmt. Für Senioren mit abnehmender Sinneswahrnehmung, deren Kraft und Feinmotorik häufig nachlässt, ist die leichte Handhabung von Verpackungen von besonderer Bedeutung.

Der Endverbraucher wünscht leicht verständliche und gut lesbare Produktinformationen, ein einfaches Handling der Verpackung durch leicht erkennbare, gut funktionierende Öffnungshilfen, Vorkehrungen welche das Wiederverschließen der Packung ermöglichen sowie Portionier- und Entnahmehilfen, um das Füllgut leicht und vollständig entnehmen zu können. Eine besondere Bedeutung kommt kleinen und variablen Portionsgrößen sowie Verpackungen mit Zweit- oder Zusatznutzen zu [ANONYM (1), 2008]. Insbesondere bei Fertig- und Halbfertigprodukten, welche das Kochen erleichtern und Zeit sparen, werden eine kurze Zubereitungszeit in der Mikrowelle und eine lange Lagerfähigkeit bei Raumtemperatur erwartet [LANDON, 2009].

Convenience-Verpackungen sind zwar durch einen höheren Packmittelbedarf gekennzeichnet, jedoch wirkt erst der Einsatz von auf Kundenbedürfnisse abgestimmte Portionspackungen einer Entstehung von Lebensmittelabfällen entgegen [WRAP (1), 2009].

2.3 Packstofftypen

Kunststoffe sind aus fossilen Rohstoffen hergestellte organische Polymere, die vorwiegend aus Kohlenstoff bestehen. Die Eigenschaft des Kohlenstoffes, sich zu stabilen Ketten, Ringen oder Netzen zu verbinden, stellt die Grundlage für die Kunststoffherstellung dar. Bei Kunststoffen handelt es sich um eine inhomogene Werkstoffgruppe. Allen gemeinsam ist eine hohe Verpackungsleistung pro Gewichtseinheit, eine kostengünstige Herstellung und ein gut steuerbares Eigenschaftsprofil. Negativ wirken sich insbesondere das schlechte Umweltimage und die teure stoffliche Verwertung aus, weil aufgrund der Sortenvielfalt eine Trennung der verschiedenen Kunststoffe vor dem Recycling unbedingt erforderlich ist.

Zu den Kunststoffen zählen die Zellulose-Derivate Zellglas und Zelluloseacetat, Polyolefine wie Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP), Lineare Polyester wie Polyethylenterephthalat (PET), Polyamid (PA), Styrol-Polymere wie Polystyrol (PS) sowie Vinyl-Polymere wie Polyvinylchlorid (PVC).

Der Verwendungsbereich für Kunststoffe ist äußerst vielseitig und erstreckt sich von Folien über Becher und Schalen bis hin zu Hohlkörpern und Verschlüssen [BERGMAIR et al., 2004].

Papiere und Kartone werden aus pflanzlichen Faserstoffen und aus Altpapier hergestellt. Als Hauptvorteil des Papiers gilt die ausgezeichnete maschinelle Verarbeitbarkeit, welche auf hoher Steifigkeit und Formtreue sowie guter Verklebbarkeit und Bedruckbarkeit beruht. Die geringe Nassfestigkeit, Dichtigkeit und nicht vorhandene Siegelbarkeit wirken sich nachteilig aus, können jedoch durch eine Oberflächenbehandlung behoben werden. Bei Kartonen hängen die mechanischen Eigenschaften vom Wassergehalt ab, der bei hoher Luftfeuchtigkeit ansteigt und die Festigkeit des Materials erniedrigt.

Das Anwendungsgebiet für Papiere liegt in der Herstellung von Einwicklern, Beuteln und Säcken, Kartone werden als Transportverpackung sowie in der Faltschachtel- und Kartonagenherzeugung verwendet [HEISS, 1980].

Zu den wichtigsten Metallen zählen Aluminium und Weißblech. Nähere Details zu Aluminium folgen im Kapitel 2.4.

Weißblech wird durch elektrolytisches Verzinnen aus Stahlblech gewonnen. Packmittel aus Weißblech zeichnen sich durch Unzerbrechlichkeit, Druckfestigkeit und Sterilisierbarkeit aus. Zudem zeigen sie eine absolute Dichtigkeit gegenüber Gasen, Flüssigkeiten und Licht und sind mit einer hohen Geschwindigkeit herstellbar. Dieses Material weist eine hohe Korrosionsempfindlichkeit auf, welcher jedoch durch eine Passivierung der Oberfläche entgegengewirkt werden kann.

Aus Weißblech werden in erster Linie Konservendosen und Kronkorken hergestellt [HEISS, 1980].

Glas wird durch Schmelzen von Quarzsand, Kalk, Soda und Glasscherben als Flussmittel hergestellt. Zu den Vorteilen von Glas zählen eine hohe Beständigkeit gegenüber

organischen Stoffen, die Transparenz und eine absolute Dichtigkeit gegenüber Wasserdampf, Gasen, Dämpfen und Riechstoffen [BOJKOW, 1993]. Gegen eine Verwendung von Glas sprechen eine geringe Dehnfähigkeit, eine hohe Bruchanfälligkeit und Sprödigkeit, ein hohes Taragewicht sowie hohe Herstellungskosten.

Glas wird insbesondere zu Konservengläsern und Getränkeflaschen verarbeitet, wobei eine allmähliche Verdrängung durch Kunststoffe zu beobachten ist [HEISS, 1980].

2.4 Für diese Arbeit relevante Packstofftypen

Bei Polyethylenterephthalat (PET) handelt es sich um einen linearen Polyester, der durch Veresterung von zweiwertigen Carbonsäuren mit zweiwertigen Alkoholen entsteht. Zu den Vorteilen von PET zählen eine hohe mechanische Festigkeit und eine gute chemische Beständigkeit. Weiters besitzt PET eine gute Dichtigkeit gegenüber Aromen und Fetten sowie eine hohe Durchlässigkeit für Sauerstoff und Wasserdampf. Nachteilig wirkt sich die hohe Hydrolyseempfindlichkeit von PET aus, wobei sich durch Schädigung des Kunststoffes das Abbauprodukt Acetaldehyd bilden kann, welches bei empfindlichen Füllgütern wie Mineralwasser bereits in geringen Mengen sensorisch wahrnehmbar, in den vorkommenden Mengen jedoch gesundheitlich unbedenklich ist.

Je nach Kristallisationsgrad kann zwischen amorphem PET und kristallinem PET unterschieden werden. Ersteres ist bei einer niedrigen Gebrauchstemperatur von 60 °C transparent und zäh, wodurch ein Einsatz in der Heißabfüllung ausgeschlossen werden muss. Kristallines PET ist nicht transparent, jedoch durch eine höhere Härte und Gebrauchstemperatur gekennzeichnet.

Die mechanischen Eigenschaften wie auch die Temperaturbeständigkeit können durch eine Orientierung (OPET) verbessert werden. Der hohen Sauerstoffdurchlässigkeit kann durch Kombination mit anderen Werkstoffen oder geeignete Beschichtungen begegnet werden.

Anwendung findet PET insbesondere bei der Herstellung von Getränkeflaschen, Folien und Schalen [BERGMAIR et al., 2004].

Polystyrol (PS) entsteht durch Polymerisation von Styrol und weist eine hohe Steifigkeit, eine ausgezeichnete Verarbeitbarkeit sowie ein sehr gutes Preis/Leistungs-

verhältnis auf. Zudem verfügt PS über eine glasklare Transparenz und einen schönen Oberflächenglanz. Demgegenüber stehen eine hohe Sprödigkeit, eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Chemikalien, eine geringe Temperaturbeständigkeit und die Neigung zu elektrostatischer Aufladung.

Durch Modifizierung und Copolymerisation können die mechanischen Eigenschaften verbessert werden, im Verpackungsbereich wird fast ausnahmslos modifiziertes PS verwendet.

PS wird überwiegend zu Bechern und Schalen sowie in nicht modifizierter Form zu geschäumten Dämmstoffen verarbeitet [BERGMAIR et al., 2004].

Polypropylen (PP) wird durch Polymerisation von Propylen hergestellt. Zu den Vorteilen von PP zählen eine hohe Festigkeit und Steifigkeit sowie eine hohe Beständigkeit gegenüber Fetten und Ölen. PP weist zudem eine hohe Formbeständigkeit in der Wärme auf, wodurch eine Heißabfüllung ermöglicht wird, versprödet jedoch bereits bei Temperaturen von ca. 0 °C.

Dieses Verspröden in der Kälte kann durch Modifikationen im chemischen Aufbau behoben werden, die mechanischen Eigenschaften und die Transparenz können durch Verstrecken (OPP) beeinflusst werden.

Verwendung findet PP im Bereich von Flachfolien, Hohlkörpern und Schraubverschlüssen [BERGMAIR et al., 2004].

Aluminium wird durch Schmelzflusselektrolyse von Bauxit mit Kryolith als Flussmittel gewonnen. Zu seinen Vorteilen zählen die absolute Dichtigkeit, auch gegenüber Ölen und Aromastoffen, die gute maschinelle Verarbeitbarkeit und Bedruckbarkeit, die geringe Ein- und Weiterreißfestigkeit und die hohe Temperaturbeständigkeit. Negativ sind die Korrosionsempfindlichkeit, die Abnahme der Dichtigkeitseigenschaften aufgrund offener Poren bei Folien mit einer Dicke kleiner als 20 µm und das hohe Reflexionsvermögen für Wärmestrahlen zu beurteilen, welches den Erhitzungsprozess in der Mikrowelle verzögert. Die erwähnten Nachteile können jedoch durch Beschichten und Kaschieren vermieden werden.

Anwendungsgebiete für Aluminium finden sich in der Herstellung von Haushaltsfolien, Dosen und Tuben, Aufreißdeckel für Dosen und Becher sowie Verbundpackstoffen [HEISS, 1980].

2.5 Bio-Kunststoffe

Der Begriff „Bio-Kunststoff“ ist nicht einheitlich definiert. Es handelt sich hierbei um Polymere, die vollständig biologisch abbaubar sind oder um Werkstoffe, die aus nachwachsenden Rohstoffen (NAWAROs) bestehen. Biologisch abbaubare Polymere können sowohl aus nachwachsenden als auch aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden. Werkstoffe aus NAWAROs können biologisch abbaubar sein, müssen jedoch nicht zwangsläufig diese Eigenschaft aufweisen [LUNDQUIST und WYSER, 2006].

Besondere Bedeutung ist aus NAWAROs hergestellten, biologisch abbaubaren Kunststoffen beizumessen. Diese schonen fossile Rohstoffe und helfen gleichzeitig, das Abfallvolumen zu verringern. Zu den wichtigsten Vertretern zählen thermoplastische Stärke (TPS) und Polymilchsäure (PLA, Polylactic Acid).

Generell verfügen Bio-Kunststoffe über gute mechanische Eigenschaften. Die Verarbeitbarkeit auf gängigen Produktionsanlagen ist möglich, häufig sind jedoch Adaptierungen an den Maschinen nötig. Das technische Hauptproblem stellen eine hohe Gas- und Wasserdampfdurchlässigkeit dar [PETERSEN et al., 1999]. Eine maßgeschneiderte Anpassung des Eigenschaftsprofils an die jeweiligen Anforderungen kann durch Zusatz von Additiven, Modifizierung der Polymerstruktur oder Blenden mit Standard-Kunststoffen erreicht werden.

Bio-Kunststoffe eignen sich nicht für alle Bereiche. Für bestimmte Anwendungen, wie den Einsatz für atmungsaktive Obst- und Gemüseverpackungen, sind ihre niedrigen Barriereigenschaften jedoch von Vorteil. Weitere Anwendungsmöglichkeiten finden sich im Fast-Food- und Catering-Bereich, wo das Recycling von Verpackungen, an denen Lebensmittelreste anhaften, zu Störungen im Recyclingprozess führen kann. Aufgrund der biologischen Abbaubarkeit des Packmittels kann in diesem Fall eine gemeinsame Entsorgung erfolgen.

Markthemmnisse stellen die hohen Herstellungskosten für Bio-Kunststoffe dar, die jedoch durch Aufbau einer industriellen Produktion zunehmend gesenkt werden können. Zudem bestehen Unklarheiten über mögliche Verwertungssysteme. Biologisch abbaubare Werkstoffe müssen aufgrund ihrer Ähnlichkeit mit Standard-Kunststoffen genau gekennzeichnet werden, um dem Konsumenten die Entsorgung zu erleichtern [SIRACUSA et al., 2008].

Zusammenfassend ist zu sagen, dass auf dem Gebiet der Bio-Kunststoffe nach wie vor ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht. Die Materialeigenschaften von Bio-Kunststoffen sind nicht für alle Füllgüter geeignet. Aus diesem Grund werden diese Materialien Standard-Werkstoffe nicht verdrängen, sie stellen jedoch in bestimmten Anwendungsbereichen ernstzunehmende Alternativen dar. Bei dem derzeitigen Stand der Technik kann von einem Potenzial von etwa 5 bis 10 % des gesamten Kunststoffmarktes ausgegangen werden [SIRACUSA et al., 2008].

2.6 Verpackung als Abfall

Das jährliche Abfallaufkommen in Österreich betrug im Jahr 2004 über 54 Millionen Tonnen. Davon lieferten Abfälle aus dem Bauwesen inklusive Aushubmaterialien mit 53 % den größten Anteil am Gesamtabfallaufkommen, gefolgt von Holzabfällen mit 9 %. Das Aufkommen von Sekundärabfällen, welche aus der Behandlung von primär angefallenen Abfällen resultieren, wie Klär- und Fäkalschlämmen sowie Aschen und Schlacken aus der thermischen Abfallbehandlung, betrug 5 %. Grünabfälle und Straßenkehricht lieferten 3 % des Abfallaufkommens und weitere 20 % konnten verschiedenen Abfällen zugeordnet werden. 4 % der Abfälle stammten aus Gewerbe und Industrie sowie 6 % aus Haushalten, wobei bei letzteren seit dem Jahr 1999 eine Steigerung von 10 % zu verzeichnen war. Ursachen hierfür sind u. a. der Trend zu Single-Haushalten, geänderte Essgewohnheiten der Verbraucher und ein vermehrtes Angebot an Einwegprodukten [BAWP, 2006].

Als Grundsätze der österreichischen Abfallwirtschaft sind laut Abfallwirtschaftsgesetz Abfallbeseitigung durch geeignete Behandlungsverfahren, Abfallverwertung unter der

Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Faktoren sowie qualitative und quantitative Abfallvermeidung zu betrachten [AWG, 2002].

Der Begriff der Abfallbehandlung umfasst sowohl Verwertungs- als auch Beseitigungsverfahren. Ziel ist, Abfälle so zu verwerten bzw. zu beseitigen, dass eine Gefährdung von Mensch und Umwelt verhindert wird und Ressourcen geschont werden [AWG, 2002].

Die Beseitigung von Abfällen ist durch die Deponieverordnung 2008 geregelt, welche ein Ablagerungsverbot von Abfällen vorschreibt, deren Anteil an organischem Kohlenstoff fünf Massenprozent übersteigt. Dies besagt, dass nur reaktionsarme Abfälle abgelagert werden dürfen [D-VO, 2008]. Vor der Deponierung organischer Abfälle ist somit eine Behandlung durch thermische oder mechanisch-biologische Verfahren erforderlich. Dadurch wird Deponieraum geschont, weil behandelbare und thermisch verwertbare Abfälle von der Deponie ferngehalten und nur die nach der Behandlung verbleibenden Rückstände abgelagert werden. Bei thermischer Verwertung kann zudem das Energiepotenzial des Abfalls genutzt werden [ABFALLVERBRENNUNG IN ÖSTERREICH STATUSBERICHT, 2006] und durch das geringere Abfallvolumen werden negative Auswirkungen durch Sickerwässer und Treibhausgasemissionen aus Deponien reduziert [BAWP, 2006].

Bei der stofflichen Verwertung werden Abfällen als sekundäre Rohstoffquelle genutzt, wobei einerseits zwischen Recycling im engeren Sinne, einer Verwertung auf gleichwertigem Niveau, und andererseits zwischen Downcycling, so genannten Verwertungskaskaden, zu unterscheiden ist. Eine stoffliche Verwertung von Abfällen ist nur solange sinnvoll, als Kosten und Umweltbelastungen niedriger sind als bei Einsatz von Primärrohstoffen [BAWP, 2006]. Verwertungsquoten bestimmter Packstoffe sowie die Einrichtung eines Sammel- und Verwertungssystems – in Österreich handelt es sich hierbei um das ARA-System – werden von der Verpackungsverordnung geregelt [VerpackV, 1998].

Im Jahr 2004 waren bundesweit 666 Deponien, neun Anlagen zur thermischen sowie 43 Anlagen zur stofflichen Verwertung in Betrieb. 12 % des Gesamtabfallaufkommens wurden thermisch sowie 65 % stofflich verwertet. Rund 9,7 Millionen Tonnen der Abfälle – um 8 % weniger als im Jahr 2003 – wurden deponiert, wobei die größte

Verringerung mit 39 % bei Restmüll zu verzeichnen war, was auf eine erfolgreiche Umsetzung der Deponieverordnung 2008 schließen lässt [BAWP, 2006].

Abfallvermeidung umfasst neben einer strikten Abfallverringerung durch Reduktion des Materialeinsatzes und einer Abfallverringerung an der Quelle mittels vermehrter Kreislaufwirtschaft auch Wieder- und Weiterverwendung. Zudem kann durch Ausnutzung des Wertstoff- und Energiepotenzials des Abfalls und Ansätze wie Ökodesign Abfallmasse vermieden werden. Die Zweckmäßigkeit der Abfallvermeidung endet dort, wo diese zu einer Verlagerung der Umweltbelastung führt oder wenn Verschlechterungen der Lebensqualität die Folge wären [BAWP, 2006].

2.7 Verpackungsminimierung

Eine Optimierung des Materialeinsatzes bei Verpackungen wird seitens der Gesetzgebung sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene gefordert. „Verpackungen sind so herzustellen ..., dass Verpackungsvolumen und –masse auf das Mindestmaß begrenzt werden“ [VerpackV, 1998].

Verpackungsminimierung ist jedoch keine neue Erscheinung – es liegt im Interesse der Hersteller, mit Rohstoffen sparsam umzugehen und so die Produktionskosten zu senken, ohne die mechanischen Eigenschaften, die Maschinengängigkeit, den Produktschutz und die Funktionalität des Packmittels sowie die Verbraucherfreundlichkeit negativ zu beeinflussen [NEXTEK, 2007].

Bei Verpackungen stellt das Material den bedeutsamsten Kostenfaktor dar. Durch die stark gestiegenen Rohstoffpreise 2008 gefolgt von der Wirtschaftskrise hat sich das ausgeprägte Kostenbewusstsein nochmals geschärft. Deshalb liegt der Schlüssel zu einer wirtschaftlicheren und zugleich ökologischeren Verpackung im Verbrauch von weniger Material [FORSTHÖVEL, 2009].

Technische Möglichkeiten für eine Verpackungsminimierung

Nach beachtenswerten Gewichtseinsparungen hat man heute einen Punkt erreicht, an dem für weitere Verbesserungen echte Verfahrensinnovationen erforderlich sind,

welche in kleineren, noch intelligenteren Schritten zu erfolgen haben [STEIGERWALD, 1999]. Sowohl durch eine Umgestaltung des Behälterdesigns von PET-Flaschen mithilfe moderner Softwareprogramme oder eine Kombination von Werkstoffen bei Joghurtbechern als auch durch Änderungen im Herstellungsprozess kann eine Materialreduktion erreicht werden.

Bei PET-Flaschen kann durch Anwendung von 3D-CAD (Computer Aided Design-System)-Programmen der Leichtbehälter entworfen, für einen ersten visuellen Eindruck dreidimensional dargestellt und auf die Einhaltung aller geforderten Eigenschaften analysiert werden. Zur Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse werden Prototypen auf Abfüll- und Verpackungsanlagen mit Originalfüllgut bei voller Produktionsgeschwindigkeit getestet. Durch Verwendung von Softwaretools können bereits vor Aufnahme der Serienfertigung genaue Aussagen über das Eigenschaftsprofil der Behälter getroffen und eventuell auftretende Probleme frühzeitig erkannt werden, wodurch Entwicklungszeiten und –kosten reduziert werden können. Um das volle Ausschöpfungspotenzial zu gewährleisten, gilt es, bereits zu Beginn des Designprozesses den gesamten Lebenszyklus der Verpackung von der Herstellung bis zur Entsorgung mit allen technisch limitierenden Faktoren sowie die Kundenakzeptanz für einen Leichtbehälter mit dem Verbraucherwunsch nach Convenience abzuklären und in Einklang zu bringen. Durch verringertes Gewicht im Bereich des Mundstückes und des Bodens, Veränderung der Halsgeometrie und dünnere Wände mit Strukturelementen zur Sicherung hoher Stabilität kann eine Gewichtsreduktion erreicht werden. Besonders wichtig für ein erfolgreiches Produktdesign ist eine gut abgestimmte Flaschen-Preform-Kombination, um eine ungleichmäßige Materialverteilung beim Blasvorgang zu vermeiden [FORSTHÖVEL, 2009].

Anders als bei PET-Flaschen ist bei Joghurtbechern ein sehr geringes Potential zur Optimierung des Gewichtes vorhanden, weil eine bestimmte Materialdicke notwendig ist, um eine marktgerechte Stabilität zu garantieren. Einen möglichen Ansatzpunkt für eine Materialeinsparung liefert die Verwendung von Kunststoff-Karton-Verbundbechern (K3-Verbundbechern). Dabei handelt es sich um einen dünnwandigen Kunststoff-Innenbecher, der von einer vollflächig bedruckten Kartonbanderole umgeben ist.

Dieser Kartonmantel besitzt eine Perforation in der Kartonschicht, welche eine einfache Trennung der verwendeten Materialien und in Folge eine gesonderte Zuführung für den jeweiligen Recyclingprozess ermöglicht. Der Kartonmantel kann beidseitig bedruckt und somit für Marketingzwecke genutzt werden, und verleiht dem K3-Becher hervorragende Lichtschutzeigenschaften sowie eine hohe Stabilität. Dadurch kann der Kunststoffanteil gesenkt werden, was jedoch mit einer etwas höheren Gas- und Aromadurchlässigkeit verbunden ist. Zudem sind sowohl das Gesamtgewicht als auch der Preis des K3-Bechers etwas höher als von vergleichbaren PS- oder PP-Bechern [STURM, 1998].

Eine Inline-Herstellung von Packmitteln im Abfüllbetrieb spart einerseits Prozessschritte und erweist sich andererseits für eine Materialeinsparung als vorteilhaft.

Im Falle von PET-Flaschen, welche in einem Blasmaschinen-Füller-Block hergestellt werden, entfallen die als limitierender Faktor für eine Gewichtsreduzierung bekannten Belastungen des LKW-Transportes vom Hersteller zum Abfüller [JACKSON, 2009]. Bei einer direkten Verblockung der Maschinen sind die Flaschen keinem Verschmutzungsrisiko ausgesetzt, wodurch auf das Rinnsystem verzichtet werden kann, was mit erheblichen Materialeinsparungen am Tragrings verbunden ist. Durch Entfall der Luftförderstrecken wird zudem eine schonendere Behandlung der Flaschen gewährleistet. Der Einsatz des Blockkonzeptes ermöglicht somit selbst an Lightweight-Flaschen zusätzliche Gewichtseinsparungen [ANONYM (2), 2009].

Bei Joghurtbechern sorgt das Tiefziehen der Behälter, welches in der Inline-Herstellung Anwendung findet, im Gegensatz zum Blasformen für eine gleichmäßigere Wandstärkenverteilung, wodurch eine ausreichende Stabilität bei einem verringerten Materialeinsatz erreicht werden kann [ANONYM (3), 2009].

Aufgrund der technischen Weiterentwicklung der Walztechnik ist bei Aluminiumplatinen theoretisch die Herstellung jeder Materialdicke vorstellbar. Limitiert wird eine Verpackungsminimierung auch hier durch die Anforderungen an die Stabilität, welche an dieses Packmittel gestellt werden sowie durch die Nachfrage der Abfüller, welche mehrheitlich nach 30 bzw. 40 μm dicken Platinen verlangen [ZÖGER, 2009].

Ökonomische und ökologische Vorteile einer Verpackungsminimierung

Eine Verpackungsminimierung bringt sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile. Diese erstrecken sich von der Beschaffung der Rohstoffe über die Herstellung der Verpackung bis hin zur Logistik und Entsorgung.

Durch einen geringeren Rohstoffeinsatz werden nicht erneuerbare Ressourcen geschont und Beschaffungskosten gesenkt. Besonders bei Massenprodukten, wie PET-Flaschen, Joghurtbechern und Platinen, ist dies mit signifikanten Kosteneinsparungen verbunden [ANONYM (4), 2009].

Für den Prozess der Umwandlung dieser Rohstoffe zu Verpackungen ist Energie erforderlich und es entstehen Abwässer sowie klimarelevante Treibhausgase. Durch eine Verpackungsoptimierung wird für die Produktion der gleichen Anzahl an Verpackungen weniger Energie benötigt, was mit niedrigeren Energiekosten für den Hersteller verbunden ist. Es entstehen geringere Mengen an Abwässern, wodurch Gewässer geschont und Kosteneinsparungen im Bereich des Abwassermanagements erreicht werden. Zudem wird durch eine Verringerung des Ausstoßes an CO₂ (Kohlendioxid) ein Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz geleistet [ANONYM (3), 2009].

Auch im Bereich der Logistik zeigt eine Materialeinsparung positive Auswirkungen. Bei Beförderung der gleichen Anzahl an Packmitteln wird weniger Kraftstoff verbraucht, wodurch weniger CO₂-Emissionen ausgestoßen werden. Zusätzlich sinken die Transportkosten und Stauraum kann gespart werden. Dadurch kann bei gegebener Maximalbeladung des LKWs und vorhandener Kapazität eine größere Anzahl an Packmitteln transportiert und so der vorhandene Transportraum optimal genutzt werden [ANONYM (4), 2009].

Die im Herstellungsprozess erzielten Kosteneinsparungen können direkt an den Endverbraucher weitergegeben werden. Die ökologischen Verbesserungen werden von dem Großteil der Konsumenten geschätzt und resultieren in einem Imagegewinn des Herstellers und damit des Produktes [ROSSER, 2009]. Verbraucher wollen umweltfreundliche Verpackungen, bei gleichzeitiger Kostengünstigkeit und Qualitätssicherung. Auch auf eine attraktive Produktgestaltung und Verbraucherfreundlichkeit muss Rücksicht genommen werden. Wenn diese Anforderungen nicht bereits in einer frühen Phase

des Designprozesses berücksichtigt worden sind, können diese Faktoren das technische Vermeidungspotential stark einschränken [ANONYM (4), 2009].

Schlussendlich bedeutet weniger Verpackungsmaterial auch weniger Abfall, der beseitigt werden muss. Durch eine Materialreduzierung verringert sich der Kostenaufwand für Recyclingprogramme und Entsorgung, zusätzlich wird Deponieraum geschont [WRAP (1), 2009].

Durch Verpackungsminimierung kann eine erhöhte ökonomische Effizienz erreicht werden. Die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens als Ergebnis dieser Kosteneinsparung wird deutlich erhöht und die Produkte können am Markt besser positioniert werden. Gleichzeitig wird ein nachhaltiger Beitrag zum aktiven Umwelt- und Klimaschutz geleistet. Verpackungsminimierung verbindet ökologische und ökonomische Belange zu einem starken Ansatz – und das über die gesamte Wertschöpfungskette [ESCHKE, 1995].

2.8 Wissenschaftliche Studien zum Thema Verpackungsminimierung

Trotz den unbestrittenen ökonomischen und ökologischen Vorteilen einer Materialeinsparung im Verpackungsbereich und der hohen Bedeutsamkeit dieser Thematik, insbesondere im Hinblick auf die Begrenztheit fossiler Rohstoffe und die sich ständig zuspitzende Abfallproblematik, liegen nur wenige wissenschaftlichen Forschungsarbeiten zu dieser Themenstellung vor.

Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Konzeptentwicklung üblicherweise direkt zwischen Abfüllern, Preform- und Maschinenherstellern, Designbüros sowie Forschungs- und Entwicklungsabteilungen verläuft und interne Daten nur in seltenen Fällen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Aus diesem Grund werden exemplarisch drei Konzepte, welche sich mit Materialeinsparungen beschäftigen, näher betrachtet. Zudem wird eine wissenschaftliche Arbeit, in welcher der Stellenwert der Verpackungsminimierung an der Abfallvermeidung dargestellt wird, erläutert.

Optimierung einer PET-Flasche für Teeprodukte mit Füllvolumen 2 Liter

Eine Veröffentlichung der Forschungsabteilung von KIRIN BEVERAGE CO., LTD. aus dem Jahr 2006 beschäftigt sich mit der Entwicklung der 2 L PET-Leichtflasche „Pecology Bottle“ für Teeprodukte, welche nach Gebrauch leicht zwischen den Händen zusammengedrückt werden kann.

Im Jahr 2006 wiesen typische 2 L PET-Flaschen für Teeprodukte am japanischen Markt ein Gewicht von über 60 g auf. In Österreich werden vergleichbare Produkte zum Zeitpunkt der Durchführung dieser Arbeit nicht angeboten. Die Flaschen waren durch eine rechteckige Form gekennzeichnet, welche im Gegensatz zu einer zylindrischen Flaschenform eine gleichmäßige Verteilung vertikaler Belastungen über den Flaschenkörper erschwert, jedoch Vorteile in der Ausnutzung von Transportkapazitäten bietet.

Das hohe Gewicht der Behälter ist auf die mit Teeprodukten verbundene Heißabfüllung zurückzuführen, welche durch Hitzeschrumpfen der Flaschen bei hohen Temperaturen einer Verringerung der Wandstärke Grenzen setzt. Dieses Problem wurde durch Adaptierung eines aseptischen Abfüllsystems mit Senkung der Abfülltemperatur von 85 auf 40 °C gelöst. Den nächsten Schritt stellte die Optimierung des Preform- und Flaschendesigns dar, mit dem Ziel, trotz verringerten Materialeinsatzes eine ausreichende mechanische Stabilität und Benutzerfreundlichkeit garantieren zu können. Zur Entwicklung des neuen Flaschendesigns wurde die Computer-Simulationstechnik eingesetzt. Es wurden einerseits der Einsatz von Strukturelementen und andererseits unterschiedliche Flaschen- und Bodenformen analysiert. Um ein glattes Erscheinungsbild im marketingtechnisch wichtigen Bereich der Etikettierung zu gewährleisten, wurden nach innen gerichtete Versteifungen eingesetzt, Funktionalität und Grifffestigkeit wurden durch eine Griffmulde gewährleistet.

Die Kombination von aseptischer Abfülltechnik mit einem optimierten Flaschendesign ermöglichte es, das Flaschengewicht von 62 auf 42 g zu senken, was einer Materialeinsparung von 30 % entspricht. Die rechteckige Flaschenform mit quadratischer Basis sorgte durch den gezielten Einsatz von Strukturelementen für eine gleichmäßige Verteilung der vertikalen Belastung über die gesamte Flasche. Zudem konnte die Stabilität,

verglichen mit dem Originalbehälter, von 300 auf 650 N (Newton) erhöht werden. Die modifizierte Flasche überzeugte die Konsumenten durch ihre Benutzerfreundlichkeit und Grifffestigkeit. Außerdem konnten die Flaschen nach der Entleerung durch den Endverbraucher auf ein Drittel des Ursprungsvolumens komprimiert werden. Dies stellt im Bereich von 2 L PET-Flaschen für Teegetränke eine echte Innovation dar und ist mit erheblichen Vorteilen beim Entsorgungsprozess verbunden. Der neue Behälter ist seit März 2005 am Markt [YOSHIMURA et al., 2006].



Abbildung 1: Pecology Bottle für Nama-cha, Kirin Beverage Co., Ltd. - vor bzw. nach der Materialreduktion (v. l. n. r.) [Quelle: KIRIN BEVERAGE CO., LTD.]

Im Folgenden wurde der Anwendungsbereich der Pecology Bottle auf andere Produktlinien mit einem Füllvolumen von 2 L ausgeweitet. Dadurch konnte eine jährliche Materialeinsparung von 4.500 Tonnen erzielt werden. Dies entspricht dem Gewicht von etwa 100 Millionen Pecology Bottles [MITSUBISHI MONITOR, 2007].

Technisches, ökonomisches und ökologisches Potenzial einer Materialeinsparung bei PET-Flaschen mit Füllvolumen 500 Milliliter bzw. 2 Liter

In einem Projekt, durchgeführt von WRAP und Esterform Packaging in den Jahren 2005 und 2006, wird das technische, ökonomische und ökologische Potenzial einer Gewichtsreduktion von zwei PET-Flaschen mit den Füllvolumina 500 ml bzw. 2 L untersucht, wobei sich beide Behälter vor Reduzierung des Materialaufwandes im mittleren Gewichtsbereich der in Großbritannien erhältlichen PET-Flaschen – das typische Gewicht betrug bei einem Füllvolumen von 2 L 41,5 bis 43 g und bei 500 ml 23 bis 25 g – befanden.

In beiden Fällen wurde eine Materialeinsparung unter Beibehalten der ursprünglichen Flaschenform durch Entwicklung eines neuen Preform-Designs mithilfe eines CAD-Systems erreicht. Da sowohl Flaschengröße und -form als auch der Einsatz von Strukturelementen die Dimensionierung des Preforms bestimmen, konnten nach dem Entwurf der gewichtsreduzierten Flasche die modifizierten Parameter direkt auf den Vorformling übertragen werden. Anschließend erfolgte eine Adaptierung an Streckblasanlagen und Abfüllmaschinen. Durch Zugabe von energieabsorbierenden Additiven zum PET-Granulat wurde eine effizientere Erwärmung der Preforms vor dem Einbringen in die Blasform gewährleistet und eine gleichmäßigere Materialverteilung im Streckblasverfahren erreicht. Die optimierten Preforms durchliefen Probeläufe zur Herstellung der Vorformlinge und der Flaschen. Abschließend folgte eine Beurteilung und Gegenüberstellung des Verhaltens beim Streckblasen und auf der Abfülllinie, der mechanischen Eigenschaften und der Kundenzufriedenheit bei Originalbehältern und optimierten Flaschen.

Im Falle der PET-Flasche mit einem Füllvolumen von 2 L handelte es sich um einen 42 g schweren Behälter eines bedeutenden Softdrink-Herstellers, dessen Gewicht vor Durchführung dieses Projektes bereits um 2 g reduziert worden war. Nach der oben beschriebenen Vorgangsweise wurden optimierte Vorformlinge mit einem Gewicht von 40 und 41 g hergestellt und den erwähnten Untersuchungen unterzogen.

Die Resultate zeigten, dass sowohl der Einsatz von Preforms mit einem Gewicht von 40 als auch von 41 g für 2 L Flaschen möglich war. Die gestellten Anforderungen bezüglich mechanischer Eigenschaften wurden von den optimierten Flaschen erfüllt und es konnte zwischen den gewichtsreduzierten Flaschen und den Originalbehältern kein signifikanter Unterschied in den Testergebnissen gefunden werden; auch die Versuche auf der Abfülllinie und das Kundenfeedback lieferten zufriedenstellende Ergebnisse. Die Gewichtsoptimierung von 42 auf 40 g, entsprechend einer Materialersparnis von 4,8 %, konnte ohne Einbußen in Erscheinungsbild, Kundenzufriedenheit und Stabilität erfolgreich erzielt werden.

Bei dem zweiten Behälter handelte es sich um eine 25 g schwere PET-Flasche mit einem Füllvolumen von 500 ml von Radnor Hills Waters. Durch Optimierung des

Preform-Designs wurden Vorformlinge mit einem Gewicht von 22 und 20 g mit einem vergrößerten Durchmesser und verkürzter Länge, verglichen mit Standard-Preforms für 25 g Behälter, entworfen. Aufgrund stilistischer Aspekte wurden Konzepte für unterschiedliche Bodenformen mit vier bzw. fünf Füßchen erarbeitet. Auch hier wurden die oben erwähnten Untersuchungen durchgeführt.

Sowohl die 20 als auch die 22 g schweren PET-Behälter mit Fünf-Fuß-Petaloidboden erfüllten die an sie gestellten mechanischen Anforderungen, jene mit vier Füßchen erzielten schlechtere Ergebnisse. Die höhere Stabilität ersterer war einer gleichmäßigeren Materialverteilung während des Blasvorganges zuzuschreiben und äußerte sich in Form eines stabileren Flaschenbodens und dementsprechend höheren Festigkeitseigenschaften des Behälters. Bei Radnor Hills Waters konnte trotz Beibehalten der ursprünglichen Flaschenform und Stabilität eine Gewichtsverringerung von 25 auf 20 g erreicht werden, was einer Materialeinsparung von 20 % entspricht.

Basierend auf 30 Millionen hergestellten PET-Flaschen zu 500 ml mit einer erreichten Materialeinsparung von 5 g und 50 Millionen PET-Flaschen zu 2 L mit einer Gewichteinsparung von 2 g, beliefen sich die jährlichen Einsparungen, welche durch dieses Projekt ermöglicht wurden auf:

- PET-Rohmaterial in t: 250 Äquivalent 8,3 Millionen Flaschen zu 30 g
- PET-Materialkosten in €: 170.800 Äquivalent 200.000 £
- Energieersparnis in kWh: 206.675
- CO₂-Einsparung in kg: 74.403

Bei einer Ausweitung auf alle in Großbritannien hergestellten 80 Millionen 500 ml und 1.500 Millionen 2 L PET-Behälter ergibt sich ein jährliches Einsparpotential von:

- PET-Rohmaterial in t: 3.400 Äquivalent 113 Millionen Flaschen zu 30 g
- PET-Materialkosten in €: 2.322.880 Äquivalent 2.720.000 £
- Energieersparnis in kWh: 2.810.780
- CO₂-Einsparung in kg: 1.011.881

[WRAP (2), 2007]

Optimierung einer PET-Flasche für karbonisierte Softdrinks mit Füllvolumen 500 Milliliter

Dieses Projekt, durchgeführt von WRAP und Coca-Cola Enterprises (CCE), untersucht das Potential für eine Gewichtseinsparung bei 500 ml Flaschen für karbonisierte Softdrinks, welche u. a. für Coca-Cola, Fanta und Sprite Verwendung finden.

Eine Veränderung der Flaschenform wurde durch die bekannten Flaschendesigns, die dem Endverbraucher einen bestimmten Lifestyle vermitteln, und durch das Premiumimage ausgeschlossen, außerdem durfte die Behälterstabilität nicht verringert werden. Zudem sollte die technische Möglichkeit zur Herstellung der gewichtsreduzierten Flaschen in allen vier in Großbritannien ansässigen Produktionsstätten von CCE gewährleistet werden.

Diese Anforderungen wurden durch ein innovatives, kürzeres Preformdesign mit dickeren Seitenwänden erfüllt, wodurch leichtere Flaschen mit optimaler Materialverteilung und den gleichen Flaschendimensionen hergestellt werden konnten. Es wurde eine Gewichtsreduktion von 26 auf 24 g erzielt, was einer Einsparung von 7,5 % des Ausgangsgewichtes entspricht.

An den vier Produktionsstandorten wurden Pilotversuche zum Streckblasen der Flaschen gestartet, wobei in zwei Werken die vorhandenen Streckblasanlagen für eine effiziente Produktion aufgrund veralteter Technik nicht geeignet waren. In den übrigen zwei Produktionsstätten wurden 4 Millionen Flaschen hergestellt und interne Testreihen zur Untersuchung der mechanischen Eigenschaften, des Handlings sowie der Kundenzufriedenheit durchgeführt. Das neue Konzept erfüllte alle qualitativen und technischen Anforderungen der CCE und auch das Feedback der Konsumenten war durchgehend positiv.

Seit dem Jahr 2007 werden die gewichtsreduzierten Flaschen in zwei Werken von CCE hergestellt, wobei sich die Einsparungen an Rohmaterial auf 700 Tonnen PET pro Jahr belaufen. Bei einer vollständigen Umsetzung des Projektes, was einer Herstellung von

700 Millionen Flaschen an allen vier Standorten der CCE in Großbritannien entspricht, ist mit Einsparungen von 1.400 Tonnen PET pro Jahr zu rechnen [WRAP (3), 2007].

Anteil von Materialsubstitution, Lightweighting und Recycling an einer Verringerung des Abfallaufkommens

Diese Studie der University of Toronto befasst sich mit der Zweckmäßigkeit, die Vermeidung und Verwertung von Abfall, welcher durch Softdrink-Behälter verursacht wird, durch politische Instrumente zu regeln. Hierfür wurden sowohl der Anteil der Getränkeverpackungen am Gesamtmüllaufkommen als auch die Entwicklung von Primärverpackungen aus Glas, Metall und Kunststoff in vier kanadischen Bundesstaaten in dem Zeitraum von 1972 bis 1995 analysiert.

Der Bundesstaat Ontario wurde genauer beschrieben. Während des betrachteten Zeitraumes fiel der Anteil an Getränkeverpackungen am gesamten Hausmüllaufkommen von 3,3 auf 1,6 %. Das Gewicht der Verpackungen pro Liter konsumierter Softdrink sank von 218 g im Jahr 1972 auf 19 g im Jahr 1995, was einer Reduktion von 91 % entspricht. Durch Substitution von Einweg- und Mehrweg-Glasflaschen sowie Bimetall-dosen durch PET-Flaschen und Aluminiumdosen wurde eine Gewichtseinsparung von 126 g pro Liter erreicht, durch Lightweighting konnte das Behältergewicht pro Liter um 50 g gesenkt werden, durch Recyclingmaßnahmen wurde eine Einsparung von 23 g erreicht.

In den vier untersuchten Bundesstaaten konnte während des beobachteten Zeitraumes eine Verringerung des Abfallaufkommens im Softdrink-Sektor zu drei Viertel auf Ressourceneinsparung – was sowohl Werkstoffsubstitution als auch Lightweighting beinhaltet – zurückgeführt werden, das restliche Viertel wurde durch Recyclingmaßnahmen erreicht.

Nach Dewees und Hare sind sowohl Materialsubstitution als auch Verringerung des Behältergewichtes vorrangig auf die ständigen Bemühungen der Hersteller nach einer Verringerung der Rohstoff- und Produktionskosten zurückzuführen. Zusätzlich gewinnt der Behälter durch reduziertes Gewicht beim Endverbraucher an Attraktivität; auch das

Abfallaufkommen und folglich die Kosten für das Abfallmanagement werden gesenkt. Die Autoren folgern, dass es aufgrund der vielen Vorteile, welche eine Ressourcenschonung mit sich bringt, nicht notwendig ist, der Industrie durch gesetzliche Regulierungen konkrete Ziele für Abfallvermeidung und –verwertung vorzuschreiben und dass auch in Zukunft für diesen Bereich ein großes Einsparpotenzial besteht [DEWEES und HARE, 1998].

2.9 Vorstellung von derzeit am Markt erhältlichen Lightweight-Produkten

2.9.1 PET-Einweggebinde

Bottle Fly 500 ml

Bei Bottle Fly 500 ml von P.E.T. Engineering handelt es sich um eine 500 ml Stillwasserflasche mit einem Gewicht von 8,2 g. Die Leichtflasche mit Stillwasserboden weist eine Griffmulde sowie horizontale Versteifungen im unteren Flaschenbereich und schräg verlaufende Versteifungen im oberen Drittel der Seitenwand auf.



Die Formgebung entspricht einer konventionellen Stillwasserflasche, aus diesem Grund ist eine Herstellung und Abfüllung der Flaschen auf Standardanlagen möglich. Aufgrund des Flaschendesigns kann auf eine zusätzliche Stabilisierung mit Stickstoff während des Abfüllvorganges verzichtet werden. Die Bottle Fly 500 ml wird noch nicht am Markt eingesetzt, es laufen Gespräche mit internationalen Abfüllern [ANONYM (5), 2009].

Abbildung 2: Bottle Fly 500 ml, PET-Engineering [Quelle: PET ENGINEERING (1)]

Eco-Fina Bottle



Die 500 ml Stillwasserflasche Eco-Fina Bottle wird von Aquafina hergestellt und verfügt über ein Gewicht von 10,9 g. Charakteristisch für die Leichtflasche sind die auffälligen, welligen Versteifungen im unteren Drittel der Seitenwand und der Stillwasserboden. Die Eco-Fina Bottle wird seit 2009 am U.S. Markt vertrieben [ECO FINA BOTTLE].

Abbildung 3: Eco-Fina Bottle, Aquafina [Quelle: Aquafina]

Eco-Air Bottle

Die Eco-Air Bottle von Niagara ist eine 500 ml Stillwasserflasche mit einem Gewicht von 9,9 g. Charakteristisch sind der Stillwasserboden sowie die wellenförmigen Versteifungen und die leichte Einbuchtung im unteren Flaschenbereich.



Die Eco-Air Bottle wurde unter der Zusammenarbeit von Niagara und Krones entwickelt, mit dem Ziel, das Gewicht des Vorgängermodells von 12,5 g zu reduzieren. Durch Optimierung des Preform- und Flaschendesigns sowie des Einsatzes von Strukturelementen an den Seitenwänden wird eine hohe Stabilität und Grifffestigkeit für den Endverbraucher garantiert. Die Eco-Air Bottle wird seit 2008 in den USA vertrieben [KRONES (1)].

Abbildung 4: Eco-Air Bottle, Niagara [Quelle: NIAGARA BOTTLING]

Eco-Shape bottle

Bei der Eco-Shape bottle von Nestlé handelt es sich um eine 500 ml Stillwasserflasche mit einem Gewicht von 12,4 g. Die PET-Flasche mit Stillwasserboden weist eine Griffmulde und wellenförmige Versteifungen im unteren Bereich der Seitenwand auf.

Das Lightweight-Konzept für die Eco-Shape bottle wurde von Nestlé und Sidel unter Anwendung der Flex-Technologie erarbeitet. Die Flex-Technologie nutzt die Flexibilität und das Formgedächtnis des Kunststoffes, um flexible, belastbare und weniger spröde Behälter herzustellen. Die Eco-Shape bottle wird für die Nestlé Waters North America Marken Arrowhead, Deer Park, Ice Mountain, Nestlé Pure Life, Poland Spring und Zephyrhills seit dem Jahr 2007 eingesetzt [NESTLÉ WATERS].



Abbildung 5: Eco-Shape Bottle, Nestlé [Quelle: NESTLÉ WATERS]

Lightweight E415-B-12



Die Flasche Lightweight E415-B-12 von Esterform ist eine 500 ml PET-Flasche für Wasser und karbonisierte Softdrinks mit einem Gewicht von 17 g.

Die Flasche besitzt einen Stillwasserboden und weist horizontale sowie wellenförmige Versteifungen an der gesamten Seitenwand auf [ESTERFORM PACKAGING].

Abbildung 6: Lightweight E415-B-12 [Quelle: ESTERFORM PACKAGING]

NoBottle

Bei der NoBottle von Sidel handelt es sich um eine 500 ml Stillwasserflasche mit einem Gewicht von 9,9 g. Die Leichtflasche mit Petaloidboden weist eine glatte Seitenwand ohne Versteifungen und eine Griffmulde im oberen Drittel der Flasche auf.



Die Herstellung erfolgt durch die Kombination von der Flex-Technologie als Designkonzept und FlexLine im Abfüllbereich. In der Flex-Technologie werden Flexibilität und Formgedächtnis des Kunststoffes genutzt, wodurch auf Versteifungen verzichtet werden kann. Aufgrund der hohen Flexibilität hält die Flasche den Belastungen beim Verpacken und Transport stand und nimmt nach einem Zusammendrücken ihre ursprüngliche Form wieder an [SIDEL].

Abbildung 7: NoBottle, Sidel [Quelle: SIDEL]

PET lite 6.6

Krones PET lite 6.6 ist eine 500 ml Stillwasserflasche mit einem Gewicht von 6,6 g. Charakteristisch für die Leichtflasche sind die Einteilung in zwei Funktionsbereiche und der Petaloidboden mit sechs Füßchen.

PET lite 6.6 wird nach dem NitroPouch Verfahren hergestellt. Basierend auf dem von Krones entwickelten „Two Zone“-Konzept besitzt der obere Bereich der Flasche einen geringeren Durchmesser und ist mit Strukturelementen verstärkt, um dem Endverbraucher eine gute Griffestigkeit zu gewährleisten. Im unteren sehr dünnwandigen



Teil, in dem sich der Großteil des Füllgutes befindet, ist der Durchmesser merklich erhöht. Aufgrund der Anwendung eines Blasmaschinen-Füller-Blocks kann der Tragring weggelassen werden, was eine zusätzliche Materialeinsparung bedeutet. Zum Erhalt der Stabilität bei Transport und Handling wird die Flasche mit Stickstoff beaufschlagt. PET lite 6.6 hat die ersten Praxistests erfolgreich absolviert, es laufen Gespräche mit potentiellen Abnehmern [MONTAGUE-JONES, 2009], [KRONES].

Abbildung 8: PET lite 6.6, Krones [Quelle: KRONES (2)]

Bottle Fly 1,5 L



Bei der Bottle Fly von P.E.T. Engineering handelt es sich um eine 1,5 L Stillwasserflasche mit einem Gewicht von 20 g. Ebenso wie der Behälter Bottle Fly 500 ml besitzt diese einen Stillwasserboden und weist horizontale Verstärkungen und eine Griffmulde in der unteren Flaschenhälfte sowie schräg verlaufende Verstärkungen im oberen Drittel der Seitenwand auf. Die Bottle Fly wird noch nicht am Markt eingesetzt, es laufen Gespräche mit internationalen Abfüllern [PET ENGINEERING (2)].

Abbildung 9: Bottle Fly 1,5 L, PET-Engineering [Quelle: PET ENGINEERING (2)]

2.9.2 Joghurtbecher, Aluminiumplatinen

Im Bereich der Joghurtbecher und der Aluminiumplatinen konnten trotz intensiver Rechercharbeit und Nachfrage bei zahlreichen Herstellern keine gewichtsreduzierten Produktideen ermittelt werden. Aus diesem Grund erklärten sich die Firmen Greiner Packaging und Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H. bereit, ihre leichtesten Verpackungslösungen zur Verfügung zu stellen.

Es handelte sich um folgende Packmittel:

- Fa. Greiner: Joghurtbecher aus PS, Füllvolumen 150 g
- Fa. Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H.: Aluminium-Platine mit Druckvorlack und Siegellack, geprägt, Durchmesser 75,5 mm
- Fa. Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H.: Aluminium-Platine ohne Druckvorlack und Farben, glatt mit Punktellack, Durchmesser 75,5 mm
- Fa. Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H.: Aluminium-Platine mit Druckvorlack und Siegellack, glatt, Durchmesser 95,5 mm
- Fa. Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H.: Verbund-Platine aus PET-Alu-PET, Durchmesser 70 mm

3 Material und Methode

Durch Markt- und Herstellerrecherche wurden sowohl das gegenwärtig im Handel erhältliche Angebot an PET-Flaschen, Joghurtbechern und Platinen als auch das Angebot an innovativen, leichtgewichtigen Verpackungslösungen ermittelt. Das Ziel bestand darin, den derzeitigen Entwicklungsstand im Bereich „Lightweighting“ bei aus dem Einzelhandel gezogenen sowie bei bereits optimierten Packmitteln darzustellen.

Unter Einbeziehung der Ergebnisse aller durchgeführten Prüfungen wurde durch den Vergleich der erhobenen Werte untereinander und die Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den verschiedenen Parametern eruiert, ob es sich bei der derzeitigen Dimensionierung von Verpackungen um sinnvolle Lösungen handelt. Zudem wurde untersucht, ob noch Verbesserungspotentiale bestehen und inwieweit diese durchführbar sind.

3.1 Marktrecherche und Probenauswahl

Um einen allgemeinen Überblick über das derzeitige Angebot an PET-Einwegbinden, Joghurtbechern und Platinen zu erhalten, wurde im Zuge der Marktrecherche der Bestand an besagten Verpackungen der Supermarktketten Interspar, Merkur, Lidl und Hofer genau aufgelistet. Anschließend erfolgte die Auswahl der zu untersuchenden Prüfmuster, wobei darauf geachtet wurde, möglichst verschiedenartige Produkte auszuwählen. Eine erste Einteilung erfolgte nach dem Füllvolumen. Sowohl für die Produktgruppe der PET-Flaschen als auch für diejenige der Joghurtbecher wurden jene zwei Füllvolumina ausgewählt, welche den größten Anteil am Sortiment der zu untersuchenden Verpackungen innehatten. Um repräsentative Untersuchungen zu gewährleisten, wurden aus diesen zwei Füllvolumina jeweils 20 subjektiv möglichst unterschiedliche Prüfmuster gezogen. Als schwierig gestaltete sich diese Vorgehensweise bei den Joghurtbechern, weil diese Produktgruppe viele verschiedene Füllvolumina bei gleichzeitig geringer Anzahl an Produktvertretern aufwies. Aus diesem Grund beschränkte sich die Anzahl der Prüfmuster in dieser Gruppe mit einem Füllvolumen von 150 g auf 17 Vertreter.

3.2 Vorstellung der Prüfmuster aus dem Handel

3.2.1 PET-Einweggebinde mit Füllvolumen 500 ml



Das Prüfmuster 01 mit der Bezeichnung „BIONADE Holunder“ mit Originalitätsverschluss, beschichteter Papierbanderole und Petaloidboden besitzt einen überdurchschnittlich langen Halsbereich bei einer gerade Flaschenform. Im unteren Drittel der Seitenwand befindet sich eine durchgehende, horizontale Versteifung, im Halsbereich die Logoprägung „BIONADE“.

Abbildung 10: Prüfmuster 01 „BIONADE“



Charakteristisch für das Prüfmuster 02 mit der Bezeichnung „BIONARA Limette & Grapefruit“ mit Originalitätsverschluss, Papierbanderole und Petaloidboden sind die Griffmulde mit schräg verlaufenden Versteifungen im oberen Flaschenbereich sowie die durchgehenden, horizontalen Versteifungen im unteren Drittel der Seitenwand.

Abbildung 11: Prüfmuster 02 „BIONARA“



Das Prüfmuster 03 mit der Bezeichnung „CARPE DIEM KOMBUCHA CLASSIC“ mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbanderole ist gekennzeichnet durch eine gerade Flaschenform, einen Petaloidboden und eine durchgehende, horizontale Versteifung im mittleren Bereich der Seitenwand.

Abbildung 12: Prüfmuster 03 „CARPE DIEM“



Das Prüfmuster 04 mit der Bezeichnung „Coca Cola light“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbanderole und Petaloidboden besitzt im oberen und im unteren Drittel der Seitenwand vertikale Versteifungen.

Abbildung 13: Prüfmuster 04 „Coca Cola“



Charakteristisch für das Prüfmuster 05 mit der Bezeichnung „DESPAR Natürliches Mineralwasser FONTE LINDA“ mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbanderole sind durchgehende, horizontale Versteifungen in der unteren Hälfte der Seitenwand, eine Griffmulde im oberen Flaschenbereich und ein Petaloidboden.

Abbildung 14: Prüfmuster 05 „DESPAR Natürliches Mineralwasser“



Das Prüfmuster 06 mit der Bezeichnung „evian Acqua Minerale Naturale“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbanderole und Stillwasserboden besitzt wellenförmige und ovale Versteifungen im unteren sowie horizontale Versteifungen im mittleren Bereich und Versteifungen in Form einer Gebirgskette an der Schulter bei einer geraden Flaschenform und einem Shorty-Mundstück.

Abbildung 15: Prüfmuster 06 „evian“



Das Prüfmuster 07 mit der Bezeichnung „GUIZZA FRIZZANTE“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbanderole und Petaloidboden ist gekennzeichnet durch eine gerade Flaschenform und ein Shorty-Mundstück sowie durchgehende, horizontale Versteifungen in den unteren zwei Drittel der Seitenwand und unterbrochene, schräge Versteifungen im Schulterbereich.

Abbildung 16: Prüfmuster 07 „GUIZZA“



Das Prüfmuster 08 mit der Bezeichnung „JUVINA prickelnd“ mit Originalitätsverschluss und Papierbanderole wird charakterisiert durch horizontale Versteifungen mit Rippenstruktur im oberen und unteren Drittel der Seitenwand, die Logoprägung „J“ im Schulterbereich und einen Petaloidboden bei einer geraden Flaschenform.

Abbildung 17: Prüfmuster 08 „JUVINA“



Das Prüfmuster 09 mit der Bezeichnung „MONTES OHNE“ mit Originalitätsverschluss, Papieretikette und Petaloidboden ist gekennzeichnet durch eine gerade Flaschenform mit einem konisch zulaufenden Halsbereich und eine Seitenwand ohne Versteifungen.

Abbildung 18: Prüfmuster 09 „MONTES“



Bei dem Prüfmuster 10 mit der Bezeichnung „NESTEA Lemon“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbanderole und Stillwasserboden handelt es sich um eine Weithalsflasche mit durchgehenden, horizontalen Versteifungen in der unteren Hälfte der Seitenwand sowie eine Griffmulde und Versteifungen in Blattform im oberen Flaschendrittel.

Abbildung 19: Prüfmuster 10 „NESTEA“



Das Prüfmuster 11 mit der Bezeichnung „RADLBERGER Orange zuckerfrei“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbanderole und Petaloidboden besitzt eine Griffmulde mit schräg verlaufenden Versteifungen im oberen Bereich des Flaschenkörpers sowie eine durchgehende, horizontale Versteifung im unteren Drittel der Seitenwand.

Abbildung 20: Prüfmuster 11 „RADLBERGER“



Das Prüfmuster 12 mit der Bezeichnung „RAUCH bravo kiwi“ mit Originalitätsverschluss, Papierbanderole und Petaloidboden ist gekennzeichnet durch eine gerade Flaschenform. In den unteren zwei Drittel der Seitenwand befinden sich zum Teil durchgehende, zum Teil unterbrochene, wellenförmige Versteifungen und im Schulterbereich die Logoprägung „RAUCH“.

Abbildung 21: Prüfmuster 12 „RAUCH bravo“



Das Prüfmuster 13 mit der Bezeichnung „RÖMERQUELLE prickelnd“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbanderole und Petaloidboden besitzt im unteren Drittel der Seitenwand unterbrochene horizontale Versteifungen und im oberen Drittel eine Griffmulde mit durchgehenden, wellenförmigen Versteifungen.

Abbildung 22: Prüfmuster 13 „RÖMERQUELLE“



Das Prüfmuster 14 mit der Bezeichnung „S. PELLEGRINO“ mit Originalitätsverschluss, Papierbanderole und -etikette ist gekennzeichnet durch eine gerade Flaschenform mit einem konisch zulaufenden Halsbereich und einen Petaloidboden. In der unteren Hälfte der Seitenwand befinden sich durchgehende, horizontale Versteifungen.

Abbildung 23: Prüfmuster 14 „S. PELLEGRINO“



Das Prüfmuster 15 mit der Bezeichnung „SCHARTNER BOMBE Orange“ mit Originalitätsverschluss und Papierbanderole besitzt im unteren Drittel der Seitenwand eine durchgehende, horizontale Versteifung, im oberen Drittel eine Griffmulde mit durchgehenden, horizontalen Versteifungen und einen Petaloidboden.

Abbildung 24: Prüfmuster 15 „SCHARTNER BOMBE“



Das Prüfmuster 16 mit der Bezeichnung „Schweppes GINGER ALE“ mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbänderole besitzt eine gerade Flaschenform und einen Petaloidboden. Im oberen Drittel der Seitenwand befinden sich eine durchgehende, horizontale, im unteren Drittel eine durchgehende, geschwungene Versteifung, im Schulterbereich die Logoprägung „Schweppes“.

Abbildung 25: Prüfmuster 16 „Schweppes“



Das Prüfmuster 17 mit der Bezeichnung „SPAR Multifrukt ACE“, mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbänderole ist gekennzeichnet durch eine gerade Flaschenform mit glatter Seitenwand ohne Versteifungen sowie einen Petaloidboden.

Abbildung 26: Prüfmuster 17 „SPAR Multifrukt ACE“



Charakteristisch für das Prüfmuster 18 mit der Bezeichnung „Sprite“ mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbänderole sind der Petaloidboden, die gerade Flaschenform mit einem konisch zulaufenden Halsbereich und die noppenförmigen Versteifungen in der unteren Hälfte der Seitenwand.

Abbildung 27: Prüfmuster 18 „Sprite“



Das Prüfmuster 19 mit der Bezeichnung „VÖSLAUER biolimo zitrone“ mit Originalitätsverschluss und Papierbänderole besitzt in der unteren Hälfte der Seitenwand durchgehende, wellenförmige und im oberen Flaschenbereich unterbrochene, horizontale Versteifungen, im Schulterbereich die Logoprägung „VÖSLAUER“ sowie einen Petaloidboden.

Abbildung 28: Prüfmuster 19 „VÖSLAUER biolimo“



Das Prüfmuster 20 mit der Bezeichnung „VÖSLAUER pocket ohne“ mit Originalitätsverschluss, Papierbanderole und Petaloidboden besitzt durchgehende, wellenförmige Versteifungen im unteren und unterbrochene, horizontale Versteifungen im oberen Drittel der Seitenwand sowie die Logoprägung „VÖSLAUER“ im Schulterbereich.

Abbildung 29: Prüfmuster 20 „VÖSLAUER pocket“

3.2.2 PET-Einweggebinde mit Füllvolumen 1,5 L



Das Prüfmuster 21 mit der Bezeichnung „Almdudler zuckerfrei“ mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbanderole besitzt im oberen und unteren Drittel der Seitenwand eine durchgehende, horizontale Versteifung mit Punktmuster, im Mittelbereich eine durchgehende, horizontale Versteifung sowie einen Petaloidboden.

Abbildung 30: Prüfmuster 21 „Almdudler“



Das Prüfmuster 29 mit der Bezeichnung „ASTORIA PRICKELND“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbanderole und Petaloidboden ist gekennzeichnet durch durchgehende, wellenförmige Versteifungen im oberen und unteren Bereich der Flaschenwand und eine Griffmulde mit durchgehenden, horizontalen Versteifungen im oberen Drittel der Seitenwand.

Abbildung 31: Prüfmuster 22 „ASTORIA“



Charakteristisch für das Prüfmuster 23 mit der Bezeichnung „clever Orange“ mit Originalitätsverschluss und Papierbänderole sind eine durchgehende, horizontale Versteifung im unteren Drittel der Seitenwand und eine Griffmulde mit durchgehenden horizontalen Versteifungen im oberen Bereich des Flaschenkörpers sowie ein Petaloidboden.

Abbildung 32: Prüfmuster 23 „clever“



Bei dem Prüfmuster 24 mit der Bezeichnung „DESPAR Ice tea Limone“ mit Originalitätsverschluss, beschichteter Papierbänderole und Stillwasserboden handelt es sich um eine Weithalsflasche mit Griffmulde sowie durchgehenden, horizontalen Versteifungen im unteren sowie schräg angeordnete Versteifungen im oberen Flaschenbereich.

Abbildung 33: Prüfmuster 24 „DESPAR Ice tea“



Das Prüfmuster 25 mit der Bezeichnung „Fanta“ mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbänderole weist eine Griffmulde mit noppenförmigen Versteifungen im oberen Drittel der Seitenwand und horizontale Versteifungen in Noppenform im unteren Drittel des Flaschenkörpers sowie einen Petaloidboden auf.

Abbildung 34: Prüfmuster 25 „Fanta“



Das Prüfmuster 26 mit der Bezeichnung „FRANKENMARKTER Kräuter Kalorienarm & Zuckerfrei“ mit Originalitätsverschluss, Papierbänderole und Petaloidboden besitzt im oberen sowie unteren Drittel der Seitenwand durchgehende, horizontale Versteifungen und im oberen Drittel eine Griffmulde ebenfalls mit durchgehenden, horizontalen Versteifungen.

Abbildung 35: Prüfmuster 26 „FRANKENMARKTER“



Charakteristisch für das Prüfmuster 27 mit der Bezeichnung „Frucade Orangenfruchtsaft-Limonade“ mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbänderole sind die schräg angeordneten Versteifungen im oberen sowie unteren Drittel der Seitenwand, die unterbrochenen, horizontalen Versteifungen im Mittelbereich des Flaschenkörpers und der Petaloidboden.

Abbildung 36: Prüfmuster 27 „Frucade Orangenfruchtsaft-Limonade“



Das Prüfmuster 28 mit der Bezeichnung „GASTEINER kristallklar NATUR“ mit Originalitätsverschluss, Papierbänderole und Petaloidboden besitzt im unteren Drittel der Seitenwand durchgehende, horizontale und im Schulterbereich vertikale sowie karoförmige Versteifungen sowie im Mittelbereich der Flasche eine Griffmulde mit schräg angeordneten Versteifungen.

Abbildung 37: Prüfmuster 28 „GASTEINER kristallklar“



Das Prüfmuster 29 mit der Bezeichnung „Goldana Kräuter Limonade light“ mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbänderole ist gekennzeichnet durch durchgehende, wellenförmige Versteifungen im unteren Drittel der Seitenwand, eine Griffmulde mit durchgehenden horizontalen Versteifungen im oberen Drittel des Flaschenkörpers sowie einen Petaloidboden.

Abbildung 38: Prüfmuster 29 „Goldana Limonade“



Das Prüfmuster 30 mit der Bezeichnung „Gröbi zuckerfrei Mango“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbänderole und Petaloidboden weist im oberen sowie unteren Drittel der Seitenwand durchgehende, noppenförmige und im Mittelbereich unterbrochene, horizontale Versteifungen auf.

Abbildung 39: Prüfmuster 30 „Gröbi zuckerfrei“



Bei dem Prüfmuster 31 mit der Bezeichnung „Linessa vital & active Apfel-Rote Früchte-Rhabarber“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbänderole und Stillwasserboden handelt es sich um eine Weithalsflasche mit der Logoprägung „SOLEVITA“ im Schulterbereich und horizontaler bzw. wellenförmiger Rippenstruktur sowie Dickstellen auf der kompletten Seitenwand.

Abbildung 40: Prüfmuster 31 „Linessa vital & active“



Das Prüfmuster 32 mit der Bezeichnung „Markus Quelle PRICKELND“ mit Originalitätsverschluss, Papierbänderole und Petaloidboden ist gekennzeichnet durch eine gerade Flaschenform und eine durchgehende, horizontale Rippenstruktur im unteren Bereich der Seitenwand sowie eine horizontale und mehrere vertikale Versteifungen an der Schulter.

Abbildung 41: Prüfmuster 32 „Markus Quelle“



Das Prüfmuster 33 mit der Bezeichnung „PETERQUELLE NATURFRISCH“ mit Originalitätsverschluss und Papierbänderole weist im unteren Drittel der Seitenwand eine durchgehende, horizontale Versteifung und im oberen Drittel eine Griffmulde mit durchgehenden, wellenförmigen Versteifungen auf und besitzt einen Petaloidboden.

Abbildung 42: Prüfmuster 33 „PETERQUELLE NATURFRISCH“



Das Prüfmuster 34 mit der Bezeichnung „Pfanner plus Vitamine ACE Red Orange“ mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbänderole wird charakterisiert durch eine gerade Flaschenform, durchgehende, horizontale Versteifungen mit Rippenstruktur auf der kompletten Seitenwand sowie einen Petaloidboden.

Abbildung 43: Prüfmuster 34 „Pfanner plus Vitamine ACE“



Das Prüfmuster 35 mit der Bezeichnung „Radenska LIGHT“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbanderole und Petaloidboden besitzt im oberen und unteren Drittel der Seitenwand eine durchgehende, horizontale bzw. wellenförmige Rippenstruktur und im Mittelbereich eine Griffmulde mit schräg angeordneter Versteifung.

Abbildung 44: Prüfmuster 35 „Radenska“



Charakteristisch für das Prüfmuster 36 mit der Bezeichnung „RAUCH Ice Tea mango“ mit Originalitätsverschluss und Papierbanderole sind eine Griffmulde im oberen Drittel der Seitenwand und ein Petaloidboden.

Abbildung 45: Prüfmuster 36 „RAUCH Ice Tea“



Das Prüfmuster 37 mit der Bezeichnung „SAN BENEDETTO Frizzante“ mit Originalitätsverschluss, Papierbanderole und -etikette ist gekennzeichnet durch eine durchgehende, horizontale Versteifung in der unteren Hälfte der Seitenwand, eine Griffmulde mit horizontaler Versteifung im oberen Flaschenbereich, einen Petaloidboden und ein Shorty-Mundstück.

Abbildung 46: Prüfmuster 37 „SAN BENEDETTO“



Das Prüfmuster 38 mit der Bezeichnung „SBUDGET AQUA+ Jostabeere“ mit Originalitätsverschluss und Papierbanderole besitzt im unteren Drittel der Seitenwand eine durchgehende, horizontale Versteifung, im oberen Drittel eine Griffmulde mit horizontalen Versteifungen sowie einen Petaloidboden.

Abbildung 47: Prüfmuster 38 „SBUDGET AQUA+“



Das Prüfmuster 39 mit der Bezeichnung „Vittel“ mit Originalitätsverschluss, Kunststoffbanderole und Stillwasserboden ist gekennzeichnet durch eine gerade Flaschenform, ein Shorty-Mundstück, eine durchgehende, wellenförmige Rippenstruktur an der unteren Hälfte der Seitenwand sowie isoliert angeordnete, wellenförmige Versteifungen in der oberen Flaschenhälfte.

Abbildung 48: Prüfmuster 39 „Vittel“



Das Prüfmuster 40 mit der Bezeichnung „Volvic naturell“ mit Originalitätsverschluss und Kunststoffbanderole besitzt eine gerade Flaschenform mit quadratischer Basis sowie einen Stillwasserboden und weist auf der kompletten Seitenwand eine durchgehende, teils horizontale, teils wellenförmige Rippenstruktur auf.

Abbildung 49: Prüfmuster 40 „Volvic naturell“

3.2.3 Joghurtbecher mit Füllvolumen 150 g und zugehörige Platinen



Bei dem Prüfmuster 01 mit der Bezeichnung „BIOTREND Bio Joghurt pur“ handelt es sich um einen K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus dem Werkstoff PS. Als Deckel dient eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatine mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 50: Prüfmuster 01 „BIOTREND Bio Joghurt“



Das Prüfmuster 02 mit der Bezeichnung „bissou 0,1 % Pfirsich“ besteht aus einem konisch geformten, vollflächig bedruckten Kunststoffbecher aus PS. Als Deckel fungiert eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 51: Prüfmuster 02 „bissou 0,1 %“



Bei dem Prüfmuster 03 mit der Bezeichnung „Emmi ALOE VERA“ handelt es sich um einen vollflächig bedruckten K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PS. Eine peelfähige, bedruckte und glatte Platine aus Aluminium-Kunststoff-Verbund mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm findet als Deckel Verwendung.

Abbildung 52: Prüfmuster 03 „Emmi ALOE VERA“



Das Prüfmuster 04 mit der Bezeichnung „ja! Natürlich Pudding mit Vollmilchschokolade“ besteht aus einem vollflächig bedruckten K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PP. Als Deckel dient eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 53: Prüfmuster 04 „ja! Natürlich Pudding“



Bei dem Prüfmuster 05 mit der Bezeichnung „Joya Sojagurt Waldbeere“ findet ein vollflächig bedruckter K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PS Verwendung. Als Deckel fungiert eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 54: Prüfmuster 05 „Joya Sojagurt“



Das Prüfmuster 06 mit der Bezeichnung „LA LACTosefreier Fruchtojoghurt Vanille“ besteht aus einem konisch geformten, vollflächig bedruckten Kunststoffbecher aus PS. Als Deckel dient eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 55: Prüfmuster 06 „LA LACTosefreier Fruchtojoghurt“



Bei dem Prüfmuster 07 mit der Bezeichnung „Milbona Joghurt mild 3,5 %“ handelt es sich um einen zylindrisch geformten Kunststoffbecher aus PS mit Kunststoffbanderole, welcher ein Bestandteil einer Vierer-Multipack-Einheit ist. Eine peelfähige, bedruckte Verbundfolie mit einer Seitenlänge von 65 mm wird als Deckel verwendet.

Abbildung 56: Prüfmuster 07 „Milbona Joghurt mild 3,5 %“



Das Prüfmuster 08 mit der Bezeichnung „milfina crème fraîche Kräuter 32 % Fett“ besteht aus einem zylindrisch geformten, vollflächig bedruckten Kunststoffbecher aus PP. Als Deckel wird eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 70 mm eingesetzt.

Abbildung 57: Prüfmuster 08 „milfina crème fraîche“



Bei dem Prüfmuster 09 mit der Bezeichnung „milfina Rahmjoghurt Stracciatella“ handelt es sich um einen vollflächig bedruckten K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PS. Als Deckel fungiert eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 58: Prüfmuster 09 „milfina Rahmjoghurt“



Das Prüfmuster 10 mit der Bezeichnung „müller Froop Frucht auf Joghurt Kirsch“ besteht aus einem konisch geformten Kunststoffbecher aus PP mit Kunststoffetikette. Eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm wird als Deckel verwendet.

Abbildung 59: Prüfmuster 10 „müller Froop Frucht auf Joghurt“



Bei dem Prüfmuster 11 mit der Bezeichnung „SalzburgerLand DESSERTJOGHURT KOKOS-MANDEL“ findet ein vollflächig bedruckter K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PS Verwendung. Als Deckel dient eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 60: Prüfmuster 11 „SalzburgerLand DESSERTJOGHURT“



Das Prüfmuster 12 mit der Bezeichnung „Schäringer Die schlanke Linie Frühstück Joghurt Pfirsich & Cerealien“ besteht aus einem vollflächig bedruckten K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PS. Als Deckel fungiert eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 61: Prüfmuster 12 „Schäringer Die schlanke Linie Frühstück Joghurt“



Bei dem Prüfmuster 13 mit der Bezeichnung „Schäringer JOGHURT NATUR 3,2 %“ handelt es sich um einen bedruckten K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PS. Eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm wird als Deckel verwendet.

Abbildung 62: Prüfmuster 13 „Schäringer JOGHURT“



Das Prüfmuster 14 mit der Bezeichnung „SPAR Fruchtojoghurt Heidelbeer“ besteht aus einem konisch geformten, vollflächig bedruckten Kunststoffbecher aus PS. Als Deckel dient eine peelfähige, bedruckte und geprägte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 63: Prüfmuster 14 „SPAR Fruchtojoghurt“



Bei dem Prüfmuster 15 mit der Bezeichnung „SPAR Natur pur Bio-Sahnepudding Schoko“ findet ein vollflächig bedruckter K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PP Verwendung. Als Deckel fungiert eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 64: Prüfmuster 15 „SPAR Natur pur Bio-Sahnepudding“



Das Prüfmuster 16 mit der Bezeichnung „Tiroler Rahmjoghurt Vanille“ besteht aus einem konisch geformten, vollflächig bedruckten Kunststoffbecher aus PP. Eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm dient als Deckel.

Abbildung 65: Prüfmuster 16 „Tiroler Rahmjoghurt“



Bei dem Prüfmuster 17 mit der Bezeichnung „Zott Sahne Joghurt Blutorange“ handelt es sich um einen konisch geformten Kunststoffbecher aus PP mit Bodensockel und Kunststoffetikette. Als Deckel wird eine peelfähige, bedruckte und geprägte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm verwendet.

Abbildung 66: Prüfmuster 17 „Zott Sahne Joghurt“

3.2.4 Joghurtbecher mit Füllvolumen 200 g und zugehörige Platinen



Das Prüfmuster 18 mit der Bezeichnung „clever Schoko“ besteht aus einem konisch geformten, transparenten und zum Teil bedruckten Kunststoffbecher aus PP. Eine peelfähige, bedruckte und geprägte Aluminiumplatte mit Öffnungsglasche und einem Durchmesser von 70 mm wird als Deckel verwendet.

Abbildung 67: Prüfmuster 18 „clever“



Bei dem Prüfmuster 19 mit der Bezeichnung „Dany Sahne VANILLA“ handelt es sich um einen konisch geformten, transparenten und zum Teil bedruckten Kunststoffbecher aus PP. Als Deckel fungiert eine peelfähige, bedruckte und geprägte Aluminiumplatte mit Öffnungsglasche und einem Durchmesser von 70 mm.

Abbildung 68: Prüfmuster 19 „Dany Sahne“



Das Prüfmuster 20 mit der Bezeichnung „Desira PREMIUM-JOGHURT ANANAS“ besteht aus einem konisch geformten, vollflächig bedruckten Kunststoffbecher aus PP. Als Deckel findet eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungsglasche und einem Durchmesser von 75,5 mm Anwendung.

Abbildung 69: Prüfmuster 20 „Desira PREMIUM-JOGHURT“



Bei dem Prüfmuster 21 mit der Bezeichnung „Desserta frisch mix KAFFEE“ handelt es sich um einen konisch geformten, vollflächig bedruckten Kunststoffbecher aus PS. Als Deckel dient eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 70: Prüfmuster 21 „Desserta frisch mix“



Das Prüfmuster 22 mit der Bezeichnung „Ehrmann Grand Dessert Double Choc“ besteht aus einem konisch geformten, transparenten Kunststoffbecher aus PP mit Papieretikette. Eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 95 mm wird als Deckel verwendet.

Abbildung 71: Prüfmuster 22 „Ehrmann Grand Dessert“



Bei dem Prüfmuster 23 mit der Bezeichnung „Fri Fru Sauermilch mit Waldbeeren“ handelt es sich um einen konisch geformten Kunststoffbecher aus PS, der von einem Sleeve umgeben ist. Als Deckel findet eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm Anwendung.

Abbildung 72: Prüfmuster 23 „Fri Fru“



Bei dem Prüfmuster 24 mit der Bezeichnung „ja! Natürlich Joghurt Sommerfrisch 0,1 % Fett Limette-Zitrone-Holunderblüte“ findet ein vollflächig bedruckter K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PS Verwendung. Eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm fungiert als Deckel.

Abbildung 73: Prüfmuster 24 „ja! Natürlich Joghurt“



Das Prüfmuster 25 mit der Bezeichnung „LA LACTosefreier Sauerrahm 15 % Fett“ besteht aus einem konisch geformten, vollständig bedruckten Kunststoffbecher aus PS. Als Deckel wird eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm verwendet.

Abbildung 74: Prüfmuster 25 „LA LACTosefreier Sauerrahm“



Bei dem Prüfmuster 26 mit der Bezeichnung „Milbona Crème Fraîche 30 %“ handelt es sich um einen konisch geformten, vollständig bedruckten Kunststoffbecher aus PS. Als Deckel dient eine peelfähige, bedruckte und geprägte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 75: Prüfmuster 26 „Milbona Crème Fraîche“



Das Prüfmuster 27 mit der Bezeichnung „Milbona Schlagobers“ besteht aus einem konisch geformten Kunststoffbecher aus PS, welcher von einem Sleeve umgeben ist. Als Deckel wird eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm eingesetzt.

Abbildung 76: Prüfmuster 27 „Milbona Schlagobers“



Bei dem Prüfmuster 28 mit der Bezeichnung „milfina Sahne Dessert Vanille“ handelt es sich um einen konisch geformten, transparenten und zum Teil bedruckten Kunststoffbecher aus PP. Eine peelfähige, bedruckte und geprägte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 70 mm dient als Deckel.

Abbildung 77: Prüfmuster 28 „milfina Sahne Dessert“



Das Prüfmuster 29 mit der Bezeichnung „Milki Mumm Schoko“ besteht aus einem konisch geformten, transparenten und zum Teil bedruckten Kunststoffbecher aus PP. Als Deckel findet eine peelfähige, bedruckte und geprägte Aluminiumplatte mit Öffnungs- lasche und einem Durchmesser von 70 mm Anwendung.

Abbildung 78: Prüfmuster 29 „Milki Mumm“



Bei dem Prüfmuster 30 mit der Bezeichnung „Monte Ravy Schoko“ handelt es sich um einen konisch geformten, transparenten und zum Teil bedruckten Kunststoffbecher aus PP. Eine peelfähige, bedruckte und geprägte Aluminiumplatte mit Öffnungs- lasche und einem Durchmesser von 75,5 mm fungiert als Deckel.

Abbildung 79: Prüfmuster 30 „Monte Ravy“



Bei dem Prüfmuster 31 mit der Bezeichnung „NATUR aktiv Bio Joghurt Apfel-Birne mit Müsli“ handelt es sich um einen voll- flächig bedruckten K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PS. Als Deckel dient eine peelfähige, bedruckte und glatte Alu- miniumplatte mit Öffnungs- lasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.

Abbildung 80: Prüfmuster 31 „NATUR aktiv Bio Joghurt“



Bei dem Prüfmuster 32 mit der Bezeichnung „nöm fasten natur joghurt 0,1 %“ findet ein vollflächig bedruckter K3-Verbund- becher mit einem Innenbecher aus PS Verwendung. Als Deckel wird eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungs- lasche und einem Durchmesser von 75,5 mm eingesetzt.

Abbildung 81: Prüfmuster 32 „nöm fasten natur joghurt“



Abbildung 82: Prüfmuster 33 „nöm fru fru“



Abbildung 83: Prüfmuster 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“



Abbildung 84: Prüfmuster 35 „SPAR fru“



Abbildung 85: Prüfmuster 36 „SPAR Natur pur Joghurt“

Das Prüfmuster 33 mit der Bezeichnung „nöm fru fru Erdbeer-Vanille“ besteht aus einem konisch geformten Kunststoffbecher aus PS, welcher von einem Sleeve umgeben ist. Eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungsglasche und einem Durchmesser von 75,5 mm wird als Deckel verwendet.

Bei dem Prüfmuster 34 mit der Bezeichnung „PRÉSIDENT Crème Fraîche“ handelt es sich um einen leicht konisch geformten, vollflächig bedruckten Kunststoffbecher aus PP. Als Deckel dienen eine peelfähige, unbedruckte und geprägte Aluminiumplatte mit einem Durchmesser von 95 mm und ein bedruckter, wiederverschließbarer Kunststoffdeckel.

Das Prüfmuster 35 mit der Bezeichnung „SPAR fru Stichfeste Sauer Milch Heidelbeer“ besteht aus einem konisch geformten, vollflächig bedruckten Kunststoffbecher aus PS. Eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungsglasche und einem Durchmesser von 75,5 mm wird als Deckel verwendet.

Bei dem Prüfmuster 36 mit der Bezeichnung „SPAR Natur pur Bio-Vanille-Joghurt“ findet ein vollflächig bedruckter K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PS Verwendung. Als Deckel fungiert eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungsglasche und einem Durchmesser von 75,5 mm.



Bei dem Prüfmuster 37 mit der Bezeichnung „zurück zum Ursprung REICHENSTEINER BERGBAUERN JOGHURT Apfe-Birne“ handelt es sich um einen vollflächig bedruckten K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PS. Eine peelfähige, bedruckte und glatte Aluminiumplatte mit Öffnungslasche und einem Durchmesser von 75,5 mm dient als Deckel.

Abbildung 86: Prüfmuster 37 „zurück zum Ursprung REICHENSTEINER BERGBAUERN JOGHURT“

3.3 Herstellerrecherche und angeforderte Lightweight-Prüfmuster

Im Rahmen der Herstellerrecherche wurden Produzenten von PET-Flaschen, Joghurtbechern und Platinen ermittelt und kontaktiert, um deren Angebot an gewichtsreduzierten Verpackungslösungen abzuklären. Bei Vorhandensein geeigneter Packmittel wurden diese angefordert.

Im Falle von PET-Flaschen erklärten sich drei Firmen bereit, ihre innovativen Produktideen für weiterführende Untersuchungen zur Verfügung zu stellen. Eine Beschreibung der Packmittel findet sich im Kapitel 2.9. Bei den angeforderten PET-Flaschen handelte es sich um:

- Prüfmuster I: „Bottle Fly 500 ml“ von P.E.T. Engineering
- Prüfmuster II: „Lightweight E415-B-12“ von Esterform Packaging
- Prüfmuster III: „PET lite 6.6“ von Krones
- Prüfmuster IV: „Bottle Fly 1,5 L“ von P.E.T. Engineering

An diesen Prüfmustern wurden die anschließend beschriebenen Untersuchungen für PET-Einweggebinde durchgeführt. Da es sich überwiegend um Flaschen für stille Getränke handelte, wurde auf eine Bestimmung des Berstdruckes verzichtet.

Wie bereits im Kapitel 2.9 erwähnt, konnten im Bereich von Joghurtbechern und Aluminiumplatinen keine gewichtsreduzierten Packmittel ermittelt werden. Die Firmen

Greiner Packaging und Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H. stellten ihre leichtesten Verpackungslösungen für weiterführende Untersuchungen zur Verfügung.

Nach Bestimmung der Werte für die allgemeinen Eigenschaften musste festgestellt werden, dass diese Verpackungen im jeweils unteren Bereich der ermittelten Dicken und Massen lagen, jedoch keine innovativen, leichtgewichtigen Verpackungslösungen darstellten. Aus diesem Grund wurden diese Packmittel nicht in die Untersuchungsreihe aufgenommen. Bei den untersuchten Bechern und Platinen handelte es sich um:

- Fa. Greiner: Joghurtbecher aus PS, Füllvolumen 150 g
Ermittelte Werte: durchschnittliche Wanddicke: 270 μm , Masse: 5,132 g
- Fa. Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H.: Aluminium-Platine mit Druckvorlack und Siegellack, geprägt, Durchmesser 75,5 mm
Ermittelte Werte: durchschnittliche Dicke: 114 μm , Flächengewicht: 269 mg
- Fa. Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H.: Aluminium-Platine ohne Lacke und Farben, glatt mit Punktellack, Durchmesser 75,5 mm
Ermittelte Werte: durchschnittliche Dicke: 56 μm , Flächengewicht: 290 mg
- Fa. Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H.: Aluminium-Platine mit Druckvorlack und Siegellack, glatt, Durchmesser 95,5 mm
Ermittelte Werte: durchschnittliche Dicke: 66 μm , Flächengewicht: 336 mg
- Fa. Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H.: Verbund-Platine aus PET-Alu-PET, Durchmesser 70 mm
Ermittelte Werte: durchschnittliche Dicke: 106 μm , Flächengewicht: 455 mg

3.4 Einteilung der Prüfmuster

Um gruppeninterne Vergleiche innerhalb der Produktauswahl eines Füllvolumens zu ermöglichen, wurden die Prüfmuster definierten Gruppen zugeteilt.

Die PET-Flaschen wurden einerseits anhand der Bodenform und des Anteiles an Versteifungen folgendermaßen eingeteilt:

- Gruppe 1: Petaloidboden, Versteifungen auf max. 50 % der Wandhöhe
- Gruppe 2: Petaloidboden, Versteifungen auf über 50 % der Wandhöhe
- Gruppe 3: Stillwasserboden, Versteifungen auf über 50 % der Wandhöhe

Andererseits erfolgte bei den PET-Flaschen die Einteilung anhand der Flaschenform und des Anteiles an Versteifungen in folgende Gruppen:

- Gruppe 1: gerade Flaschenform, Versteifungen auf max. 50 % der Wandhöhe
- Gruppe 2: gerade Flaschenform, Versteifungen auf über 50 % der Wandhöhe
- Gruppe 3: Griffmulde, Versteifungen auf max. 30 % der Wandhöhe
- Gruppe 4: Griffmulde, Versteifungen auf über 30 % der Wandhöhe

Tabelle 1: Einteilung der Prüfmuster – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-40 und I-IV)

Prüfmuster	Flaschenform Gruppe	Bodenform Gruppe	Prüfmuster	Flaschenform Gruppe	Bodenform Gruppe
01	1	1	21	1	1
02	3	1	22	4	2
03	1	1	23	3	1
04	2	2	24	4	3
05	4	2	25	3	1
06	2	3	26	4	2
07	2	2	27	2	2
08	2	2	28	4	2
09	1	1	29	4	2
10	4	3	30	2	2
11	3	1	31	2	3
12	4	2	32	2	2
13	4	2	33	4	2
14	1	1	34	2	2
15	3	1	35	4	2
16	2	2	36	3	1
17	1	1	37	4	2
18	1	1	38	3	1
19	2	2	39	2	3
20	2	2	40	2	3
I	4	3	IV	4	3
II	2	3			
III	3*	1			

* Das Prüfmuster III „PET lite 6.6“ wies weder eine gerade Flaschenform noch eine Griffmulde auf, sondern war in zwei Funktionsbereiche gegliedert, wobei der obere Bereich durch einen geringen, mit Strukturelementen verstärkten Durchmesser gekennzeichnet war und der untere Bereich eine bauchige Form aufwies. Da das Handling jedoch eher einer Flasche mit Griffmulde gleichgesetzt werden konnte, wurde „PET lite 6.6“ der Gruppe 3 zugeordnet.

Die Joghurtbechern wurden anhand des verwendeten Materials folgendermaßen eingeteilt:

- Gruppe 1: Kunststoffbecher aus PS
- Gruppe 2: Kunststoffbecher aus PP
- Gruppe 3: K3-Verbundbecher

Tabelle 2: Einteilung der Prüfmuster – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-37)

Prüfmuster	Gruppe	Prüfmuster	Gruppe
01	3	20	2
02	1	21	1
03	3	22	2
04	3	23	1
05	3	24	3
06	1	25	1
07	1	26	1
08	2	27	1
09	3	28	2
10	2	29	2
11	3	30	2
12	3	31	3
13	3	32	3
14	1	33	1
15	3	34	2
16	2	35	1
17	2	36	3
18	2	37	3
19	2		

Die Platinen wurden anhand des ermittelten Durchmessers wie folgt eingeteilt:

- Gruppe 1: Durchmesser < 75,5 mm
- Gruppe 2: Durchmesser = 75,5 mm
- Gruppe 3: Durchmesser > 75,5 mm

Tabelle 3: Einteilung der Prüfmuster – Platinen (Prüfmuster 01-37)

Prüfmuster	Gruppe	Prüfmuster	Gruppe
01	2	20	2
02	2	21	2
03	2	22	3
04	2	23	2
05	2	24	2
06	2	25	2
07	1	26	2
08	1	27	2
09	2	28	1
10	2	29	1
11	2	30	2
12	2	31	2
13	2	32	2
14	2	33	2
15	2	34	3
16	2	35	2
17	2	36	2
18	1	37	2
19	1		

3.5 Vorbereitung und Lagerung der Prüfmuster

Sämtliche PET-Flaschen und Becher wurden entleert, mit Ausnahme jener Joghurtbecher, welche für die Fallversuche bestimmt waren. Diese wurden laut Verpackungsanweisung bei Kühlbedingungen gelagert, weil die anschließende Ermittlung der Bruchfallhöhe mit Originalfüllgut durchgeführt wurde.

Die PET-Flaschen wurden mit Leitungswasser ausgespült und leicht geschüttelt, um Reste des Füllgutes von der Innenwandung abzuschwemmen. Die Reinigung der Becher und Platinen erfolgte unter Zuhilfenahme eines Schwämmchens und wenig Spülmittel. Anschließend wurden diese unter Leitungswasser gründlich abgespült.

Die Lagerung der entleerten, trockenen Prüfmuster erfolgte bei Zimmertemperatur. 24 Stunden vor Beginn der Untersuchungen wurden diese nach DIN EN ISO 291 bei Normklima 23 °C und 50 % relativer Luftfeuchte konditioniert.

Bei den Untersuchungen wurde auf die Einhaltung der Prüfklimata geachtet, für jedes Prüfmuster wurden unmittelbar vor Prüfungsbeginn die festgelegten drei Einzelproben pro Messserie in das Labor überstellt, um die Änderung der Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen möglichst gering zu halten.

3.6 Optische Beurteilung und subjektive Bewertung der Prüfmuster

PET-Flaschen

Die Prüfmuster wurden auf sichtbare Fehler wie Verschmutzungen, Oberflächenfehler und Kratzer, Fremdkörpereinschlüsse und Blasen sowie Dellen und Verformungen untersucht.



Abbildung 87: Sichtbare Fehler – Deformation des Petaloidbodens

Das Handling von PET-Einweggebinden wurde durch Interpretation des Ausschensverhaltens beurteilt. Hierfür wurden die mit Leitungswasser befüllten, geöffneten Flaschen im oberen Drittel der Seitenwand – jene Prüfmuster mit einer Griffmulde genau in dieser Vertiefung – locker mit der Hand umfasst. Um das Füllgut zu entleeren, wurde die Flasche in einem Zug umgedreht, wobei darauf geachtet wurde, dass sich die Mittelachse der Flasche in der Senkrechten befand.

Durch eine Ratingskala wurden die Stabilität und die Fähigkeit der Flasche, die ursprüngliche Form beizubehalten, folgendermaßen beurteilt:

- Gruppe 0: gutes Ausschenkverhalten – stabil
- Gruppe 1: mittleres Ausschenkverhalten – leichtes Zusammenziehen, Nachgeben der Flasche im unteren Drittel des Flaschenkörpers
- Gruppe 2: mittleres Ausschenkverhalten – leichtes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers
- Gruppe 3: schlechtes Ausschenkverhalten – starkes Zusammenziehen im unteren Drittel des Flaschenkörpers
- Gruppe 4: schlechtes Ausschenkverhalten – starkes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers



Abbildung 88: Ausschenkverhalten – starkes, gleichmäßiges Zusammenziehen des Flaschenkörpers

An den entleerten Flaschen wurde zudem das Handgefühl eruiert. Es wurden die Dünnwandigkeit sowie die Stabilität, welche die Flasche der Hand entgegenbrachte, mit jenen eines Referenzproduktes verglichen. Als Referenzprodukte wurden Flaschen verwendet, welche sich sowohl bei der Masse als auch bei der durchschnittlichen Wanddickenverteilung im mittleren Bereich aller getesteten Prüfmuster befanden – bei PET-Flaschen mit Füllvolumen 500 ml wurde das Prüfmuster 13 „RÖMERQUELLE“, bei jenen mit Füllvolumen 1,5 L das Prüfmuster 23 „clever“ ausgewählt. Flaschen, welche eine ausreichende Stabilität aufwiesen, wurden als „gut“ und Prüfmuster, welche bereits bei einem leichten Druck nachgaben, wurden als „schlecht“ bewertet.

Joghurtbecher und Platinen

Die Prüfmuster wurden auf sichtbare Fehler wie Verschmutzungen und auf Feuchtigkeitsflecken sowie auf Wellenbildung der Karton-Komponente bei K3-Verbundbechern optisch geprüft.

Auch das Handling der Prüfmuster wurde untersucht. Zum Abziehen der Deckelmembran wurde der Becher auf eine ebene Fläche gestellt, mit der linken Hand locker umfasst und die Platine mit der rechten Hand langsam und gleichmäßig abgezogen. Es wurde verglichen, wie leicht bzw. wie schwer sich die Platine entfernen ließ. Zudem wurde ermittelt, ob eventuell Rückstände der Deckelmembran auf dem Joghurtbecher verblieben oder ob beim Abziehen ein Einreißen der Platine erfolgte



Abbildung 89: Abziehen der Platine – Rückstand am Becherrand (links)

Abbildung 90: Abziehen der Platine – Eingerissene Platinen (rechts)

3.7 Allgemeine Eigenschaften der Prüfmuster

Da keine Norm zur Bestimmung der Masse und der Abmessungen von PET-Flaschen, Joghurtbechern oder Platinen existiert, wurden die Messungen in Anlehnung an die Norm EN ISO 2286 (Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien – Bestimmung der Rollencharakteristik, Teil 1-3) durchgeführt.

Bestimmung der Masse

Als vorbereitende Schritte wurden bei den PET-Flaschen die Bänderolen bzw. Etiketten und Originalitätsverschlüsse entfernt. Bei den Joghurtbechern wurde – sofern es sich bei diesen um Kunststoff-Karton-Verbunde handelte – zusätzlich zur Gesamtmasse das Gewicht der einzelnen Fraktionen ermittelt. Aus den Platinen wurden für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse Probenkörper mit einer Fläche von 1.538,9 mm² gestanzt.



Abbildung 91: Masse – Ausgestanzter Probenkörper mit einer Fläche von 1.538,9 mm²

Die Masse wurde mit einer Analysenwaage, Modell Sartorius 320, bestimmt. Hierfür wurde die Waage austariert, das Prüfmuster abgewogen und der ermittelte Wert auf einem vorbereiteten Protokollzettel eingetragen. Das Austarieren der Waage erfolgte jeweils nach Abwiegen von drei Einzelproben eines Prüfmusters. In den Ergebnissen wurden der jeweilige Mittelwert (MW) und die Standardabweichung (s) sowie der niedrigste ermittelte Wert (MIN) und der höchste ermittelte Wert (MAX) in Gramm bzw. im Falle von Platinen in Milligramm angegeben.

Bestimmung der Dicke

Als vorbereitende Schritte wurden die PET-Flaschen mithilfe einer Bandsäge und die Joghurtbecher unter Zuhilfenahme einer Schere an der vertikalen Seitenachse halbiert.

Die Bestimmung der Wanddicke von PET-Einweggebinden und Joghurtbechern erfolgte anhand von drei Messpunkten, auf einer Höhe von 25 %, 50 % und 75 % der Seitenwand. Der Bodenbereich wurde anhand eines Messpunktes vermessen, welcher bei den PET-Flaschen mit einem Füllvolumen von 500 ml auf eine Entfernung von

1,5 cm, bei jenen mit einem Füllvolumen von 1,5 L auf eine Entfernung von 2,5 cm und bei den Joghurtbechern auf eine Entfernung von 0,5 cm vom Mittelpunkt festgelegt wurde.



Abbildung 92: Dicke – Verteilung der Messpunkte bei PET-Flasche (links)

Abbildung 93: Dicke – Verteilung der Messpunkte bei Joghurtbecher (rechts)

Diese Messpunkte wurden mithilfe eines kalibrierten Rollmaßbandes ermittelt und auf dem Probenkörper mit einem wasserfesten Stift markiert. Bei den PET-Flaschen war aufgrund vorhandener Versteifungen gelegentlich eine Abweichung von besagten Messpunkten erforderlich, die in den Ergebnissen durch einen Verweis festgehalten wurden.

Die Bestimmung der Wanddicke von PET-Einweggebinden, der Wanddicke sowie der Bodendicke von Joghurtbechern und der Dicke von Platinen wurde mit einer elektronischen Mikrometerschraube, Modell Mitutoyo IP 54 vorgenommen. Die Messung der Bodendicke von PET-Flaschen erfolgte durch einen elektronischen Messschieber, Modell Mitutoyo CD-15DC. Hierfür wurde das Messgerät austariert und an den markierten Messpunkt angesetzt. Durch Drehen des Schiebers bis zum Anschlag wurde der jeweilige Wert ermittelt und auf einen vorbereiteten Protokollzettel übertragen. Auch hier erfolgte das Austarieren der Messgeräte nach Abmessung von drei Einzelproben eines Prüfmusters. In den Ergebnissen wurden der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der niedrigste bzw. der höchste ermittelte Wert in Mikrometer angegeben.

3.8 Mechanische Eigenschaften der Prüfmuster

Axialdruckfestigkeit bei PET-Einweggebinden und Joghurtbechern

Die Ermittlung der Axialdruckfestigkeit bei PET-Einweggebinden und Joghurtbechern erfolgte nach der *ofi*-Methode V6 (Axialdruckfestigkeit – Stapelbarkeit) und diente der Bestimmung der Widerstandsfestigkeit von Behältnissen, welche einer kurzzeitigen, vertikal von oben in Achsrichtung vorliegenden Druckbelastung ausgesetzt sind.

Als Prüfgerät wurde eine Zugprüfmaschine, Modell UPM Zwick 1474, mit Spindelpresse verwendet. Die Prüfmaschine bestand aus einer feststehenden Druckplatte und einem Kraftaufnehmer, welcher mittels einer Traverse bewegt wurde. Das Starten der Versuche, die Messwerterfassung und –verarbeitung erfolgte softwaregesteuert. Auch hier wurden drei Einzelproben pro Prüfmuster untersucht.

Das Prüfmuster wurde zwischen Druckplatte und Kraftaufnehmer so ausgerichtet, dass es in der Achse des Kraftaufnehmers verlief und mit einer Vorlast von 1 Newton belastet. Über die Software wurde die Prüfung gestartet, wobei sich die Traverse mit einer Prüfgeschwindigkeit von 10 mm/min unter ansteigender Druckbelastung an die Probe annäherte. Dieser Vorgang wurde fortgesetzt, bis ein Einknicken der Prüfmuster festzustellen war.



Abbildung 94: Axialdruckfestigkeit – Einknicken der Probe

Mittels Auswertesoftware wurden für jede Einzelprobe die Höchstaxialdruckkraft (F_{max}) in Newton, der zurückgelegte Weg bei F_{max} in Millimeter und eine grafische Darstellung protokolliert. In den Ergebnissen wurden der Mittelwert und die Standard-

abweichung für F_{max} jedes Prüfmusters sowie der niedrigste bzw. der höchste ermittelte Wert von F_{max} angegeben.

Berstdruck bei PET-Einweggebinden

Die Ermittlung des Berstdruckes bei PET-Einweggebinden erfolgte nach DIN 53758-1975 (Prüfung von Kunststoff-Fertigteilen – Kurzzeit-Innendruckversuch an Hohlkörpern) und diente der Bestimmung des Innendrucks, der ein Versagen der geprüften Probe hervorruft.

Als Prüfgerät wurde ein Rohrprüfstand, Modell IPT Airless, verwendet. Für jedes Prüfmuster wurden drei Einzelproben untersucht, welche 24 Stunden vor Prüfungsbeginn mit Leitungswasser befüllt und bei Normklima konditioniert wurden. Unmittelbar vor Prüfungsbeginn wurde die Flasche mit einem Schraubadapter nach DIN 53758-1975 verschlossen.

Bei Weithalsflaschen und Prüfmustern mit Shorty-Mundstück war eine Anwendung des genormten Schraubadapters aufgrund der Dimensionierung des Mundstückes nicht möglich. Es handelte sich hierbei um die Prüfmuster 05 „DESPAR Natürliches Mineralwasser“, 06 „evian“, 07 „GUIZZA“, 10 „NESTEA“, 24 „DESPAR Ice tea“, 31 „Linessa vital & active“, 37 „SAN BENEDETTO“, 39 „Vittel“ und 40 „Volvic naturell“. Für diese Flaschen wurden eigene Adapter gefertigt.



Abbildung 95: Berstdruck - Schraubadapter nach DIN 53758-1975, gefertigter Adapter (v. l. n. r.)

Für die Herstellung der selbst gefertigten Adapter wurde eine Kunststoffscheibe so zugeschnitten, dass diese die Dimensionierung der Einlassöffnung des Mundstückes aufwies. Im Anschluss wurde in die Mitte der Kunststoffscheibe ein Loch gebohrt, in welches ein ¼ Zoll Gewinde gedreht wurde. An diesem Gewinde wurde ein Adapter

befestigt. Die Kunststoffscheibe wurde auf die Einlassöffnung geklebt und auf der Außenseite durch ein PE-Rohr verstärkt, welches durch ein Klebeband abgedichtet wurde. Im Anschluss wurde der verbleibende Raum zwischen dem PE-Rohr und dem Mundstück mit Gießharz ausgegossen, um eine fehlerfreie Verwendung des gefertigten Adapters auch unter einem hohen Druck zu gewährleisten.

Durch einen Druckschlauch wurde der Adapter mit dem Druckaufbringer verbunden. Im Anschluss wurde die Flasche in einen Kunststoffbehälter überführt. Die Prüfung erfolgte derart, dass das Prüfmuster mit einem kontinuierlich ansteigenden Druck von 0,4 bar pro Sekunde bis zum Bruch beaufschlagt wurde.



Abbildung 96: Berstdruck – Durchführung des Versuches (links)

Abbildung 97: Berstdruck – PET-Flasche nach Versuch (rechts)

Für jede Einzelprobe wurde der im Augenblick des Berstens erhaltene Druck in bar protokolliert. In den Ergebnissen wurden der Mittelwert und die Standardabweichung für jedes Prüfmuster sowie der niedrigste und der höchste ermittelte Wert angegeben.

Bruchfallhöhe bei Joghurtbechern

Die Ermittlung der Bruchfallhöhe bei Joghurtbechern erfolgte nach der *ofi*-Methode V11 (Prüfung der Bruchfallhöhe) und diente der Beurteilung der Stossfestigkeit gefüllter, verschlossener Behältnisse beim Stoss nach freiem Fall.

Da die zu untersuchenden Becher sowohl Unterschiede im Bereich des eingesetzten Werkstoffes als auch des Füllvolumens aufwiesen, wurden vor Beginn der eigentlichen Prüfungen Vorversuche durchgeführt, um die kritische Höhe zu bestimmen, bei welcher

zwei von vier Bechern eine Beschädigung erlitten. Für diese Vorversuche wurden Referenzbecher, welche sich sowohl bei der Masse als auch bei der Wanddickenverteilung im mittleren Bereich aller getesteten Proben befanden, verwendet und diese getrennt nach Füllvolumen – 150 g und 200 g – und Material – PS, PP und Kunststoff-Karton-Verbund – der Prüfung unterzogen.

Als Prüfgerät diente ein Falltisch, bestehend aus einer horizontal angebrachten Fallvorrichtung, deren Wegklappen händisch ausgelöst wurde, und einem Aufprallboden mit einer Schräglage von 5 °. Die Ermittlung der Bruchfallhöhe erfolgte mit Originalfüllgut, wobei die Proben bis zum Prüfungsbeginn laut Verpackungsanweisung bei Kühltemperatur gelagert wurden. Daher wurden, um die Einhaltung des Prüfklimas zu gewährleisten, jeweils vier Einzelproben eines Durchganges der Vorversuche in das Labor überstellt.

Das Einstellen der Fallhöhe erfolgte durch Verschieben der Fallvorrichtung auf einem vertikalen Ständer unter Zuhilfenahme eines kalibrierten Rollmaßbandes. Der Becher wurde auf die Fallvorrichtung gestellt und der Fallvorgang durch Wegklappen der Fallvorrichtung ausgelöst, wobei darauf geachtet wurde, dass die Probe während des freien Falles ihre Lage nicht änderte. Aus jeder Fallhöhe, beginnend bei einer Höhe von 30 cm wurden jeweils vier Becher fallen gelassen. Falls ein Becher eine Beschädigung erlitt, wurde eventuell verspritztes Füllgut entfernt, um die Aufprallfläche sauber und trocken zu halten. Die Erhöhung der Fallhöhe in Schritten von 5 cm wurde solange fortgesetzt, bis zwei von vier Bechern eine Beschädigung erlitten. Hier wurden die Vorversuche abgebrochen und der ermittelte Wert wurde als kritische Höhe für die eigentlichen Versuche übernommen.

Tabelle 4: Bruchfallhöhe – Bestimmung der kritischen Höhe durch Vorversuche

Füllvolumen 150 g			Füllvolumen 200 g		
Material	Referenz-Prüfmuster	Kritische Höhe in cm	Material	Referenz-Prüfmuster	Kritische Höhe in cm
PS	14	95	PS	33	140
PP	10	55	PP	19	40
Verbund	04	90	Verbund	32	75

Für die eigentlichen Versuche wurde die in den Vorversuchen ermittelte kritische Höhe übernommen und mithilfe eines kalibrierten Rollmaßbandes eingestellt. Da für jedes

Prüfmuster drei Einzelproben getestet wurden, wurden jeweils drei Joghurtbecher vom Kühlraum in das Labor überstellt und durch die oben beschriebene Vorgehensweise der Fallvorgang ausgelöst. Für jedes Prüfmuster wurden die Anzahl der beschädigten Becher und die Art der Schäden protokolliert, wobei diese unterteilt wurden in

- Beschädigungen des Bodenbereiches
- Beschädigungen der Seitenwand
- Beschädigungen des Bodenbereiches und der Seitenwand
- Beschädigungen des Sockels.

Dellen und ein undichter Siegelverschluss wurden als zulässige Beschädigung nicht beurteilt.



Abbildung 98: Bruchfallhöhe – Bruch im Bereich der Seitenwand (links)



Abbildung 99: Bruchfallhöhe – Bruch im Bereich des Becherbodens und der Seitenwand (rechts)

Weiterreißfestigkeit bei Platinen

Die Bestimmung der Weiterreißfestigkeit erfolgte in Anlehnung an die Norm DIN 53363:2003 (Prüfung von Kunststofffolien – Weiterreißversuch an trapezförmigen Proben mit Einschnitt) und diente der Ermittlung des Widerstandes, welche eine Platine unter festgesetzten Bedingungen dem Weiterreißen entgegengesetzt.

Als vorbereitender Schritt wurden aus den Platinen Probenkörper geschnitten. Für das Ausschneiden der Probe und das Einschneiden des Einschnittes wurde eine Schablone mit Normabmessungen laut DIN 53363:2003 benutzt. Aufgrund des geringen Durchmessers der Platinen konnte die erforderliche Größe der Probenkörper nicht erreicht werden.

Als Prüfgerät dienten eine Zugprüfmaschine, Modell UPM Zwick 1474, und ein Messtaster, Modell Mitutoyo ID-C112B, mit einer Messgenauigkeit von 0,001 mm zur Bestimmung der Probendicke. Die Prüfmaschine bestand aus zwei parallel zueinander stehenden Einspannklemmen zur Befestigung der Proben, welche mittels einer Traverse bewegt wurden. Das Starten der Versuche, die Messwerterfassung und –verarbeitung erfolgte softwaregesteuert.

Die Dicke des Probenkörpers wurde mithilfe des Messtasters an drei Stellen gemessen. Im Anschluss wurde die Probe in die Einspannklemmen eingespannt, wobei darauf geachtet wurde, dass sich der Einschnitt des Probenkörpers genau in der Mitte der Einspannklemmen befand.



Abbildung 100: Weiterreißfestigkeit – Probenkörper mit definiertem Einschnitt (links)

Abbildung 101: Weiterreißfestigkeit - Einspannen der Probe in Zugprüfmaschine (rechts)

Um die Spannung der Probe zu gewährleisten, wurde eine Vorkraft von 0,5 Newton angelegt. Mithilfe der Software wurde die Prüfung gestartet, wobei sich die Traversen mit einer Prüfgeschwindigkeit von 100 mm/min voneinander wegbewegten. Die Belastung wurde bis zur Erreichung der Dehnung bei Höchstlast erhöht.

Der Weiterreißwiderstand wird normalerweise über einen definierten Messweg bis zur Bruchdehnung berechnet. Aufgrund der geringen Materialmenge der Probenkörper konnte dieser Messweg nicht erreicht werden und es erfolgte ein vorzeitiges Einreißen der Probe. Aus diesem Grund wurde die Dehnung bei Höchstlast als Endpunkt der Messung definiert.

Mittels Auswertesoftware wurden für jede Einzelprobe der Weiterreißwiderstand in Newton je Millimeter Probendicke, die ermittelte Höchstkraft in Newton, die Probendicke in Millimeter und eine grafische Darstellung protokolliert. In den Ergebnissen wurden für jedes Prüfmuster der Mittelwert und die Standardabweichung des Weiter-

reißwiderstandes, welcher als Quotient der ermittelten Höchstkraft und der Probendicke berechnet wird, angegeben. Zudem wurden der niedrigste und der höchste ermittelte Wert protokolliert.

4 Ergebnisse

Die Darstellung der durch direkte Messung erhaltenen Mittelwerte erfolgt tabellarisch und – sofern es die Übersichtlichkeit erfordert – graphisch. Im Anschluss wird eine graphische Gegenüberstellung der Masse mit den übrigen ermittelten Parametern vorgenommen, um eventuell vorhandene Zusammenhänge zwischen den Messergebnissen erkennen zu können.

4.1 PET-Einweggebinde mit Füllvolumen 500 ml

4.1.1 Optische Beurteilung und subjektive Bewertung der Prüfmuster

Ausschenkverhalten – Einteilung der Prüfmuster in Gruppen:

- Gruppe 0: gutes Ausschenkverhalten – stabil
- Gruppe 1: mittleres Ausschenkverhalten – leichtes Zusammenziehen, Nachgeben der Flasche im unteren Drittel des Flaschenkörpers
- Gruppe 2: mittleres Ausschenkverhalten – leichtes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers
- Gruppe 3: schlechtes Ausschenkverhalten – starkes Zusammenziehen im unteren Drittel des Flaschenkörpers
- Gruppe 4: schlechtes Ausschenkverhalten – starkes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers

Tabelle 5: Optische Beurteilung und subjektive Bewertung der Prüfmuster – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Prüfmuster	Optische Beurteilung	Subjektive Bewertung	
	Sichtbare Fehler	Handgefühl	Verhalten beim Ausschenken
01	keine Dellen	gut	Gruppe 0
02	keine Dellen	gut	Gruppe 0
03	leichte Dellen	gut	Gruppe 0
04	keine Dellen	gut	Gruppe 0
05	leichte Dellen	gut	Gruppe 0
06	keine Dellen	gut	Gruppe 0

Prüfmuster	Optische Beurteilung	Subjektive Bewertung	
	Sichtbare Fehler	Handgefühl	Verhalten beim Ausschanken
07	leichte Dellen	gut	Gruppe 2
08	keine Dellen	gut	Gruppe 0
09	keine Dellen	gut	Gruppe 0
10	keine Dellen	gut	Gruppe 0
11	keine Dellen	gut	Gruppe 0
12	keine Dellen	gut	Gruppe 0
13	keine Dellen	gut	Gruppe 0
14	leichte Dellen	gut	Gruppe 0
15	keine Dellen	gut	Gruppe 0
16	keine Dellen	gut	Gruppe 0
17	leichte Dellen	gut	Gruppe 0
18	keine Dellen	gut	Gruppe 0
19	keine Dellen	gut	Gruppe 0
20	keine Dellen	gut	Gruppe 0
I	keine Dellen	gut	Gruppe 0
II	keine Dellen	gut	Gruppe 0
III	leichte Dellen	schlecht	Gruppe 4

Bei der optischen Beurteilung der Prüfmuster 01-20 konnten an fünf Flaschen sichtbare Fehler festgestellt werden. Dabei handelte es sich um leichte Verformungen oder Dellen im Bodenbereich bei den folgenden Prüfmustern: 03 „CARPE DIEM“, 05 „DESPAR Natürliches Mineralwasser“, 07 „GUIZZA“, 14 „S. PELLEGRINO“ sowie 17 „SPAR Multifrukt ACE“.

Das Handgefühl wurde bei sämtlichen Flaschen der Prüfmuster 01-20 als gut beurteilt. Als Referenz diente das Prüfmuster 13 „RÖMERQUELLE“.

Das Ausschankverhalten konnte bei einem Großteil der Flaschen als stabil bezeichnet werden. Lediglich das Prüfmuster 07 „GUIZZA“ zeigte während des Ausschankens ein leichtes, gleichmäßiges Zusammenziehen des Flaschenkörpers.

An den Prüfmustern I „Bottle Fly 500 ml“ und II „Lightweight E415-B-12“ konnten keine sichtbaren Fehler festgestellt werden. Ferner wurden das subjektive Handgefühl und das Verhalten beim Ausschanken als gut beurteilt. Das Prüfmuster III „PET lite 6.6“ fiel hingegen durch ein schlechtes Handgefühl sowie ein starkes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers beim Ausschanken auf. Zudem wurden leichte Verformungen des Petaloidbodens festgestellt.

4.1.2 Allgemeine Eigenschaften

Bestimmung der Masse

Tabelle 6: Masse – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Bestimmung der Masse in g		
Prüfmuster	MW	s
01	24,271	0,715
02	21,068	0,020
03	21,091	0,439
04	26,211	0,738
05	15,873	0,648
06	15,928	0,503
07	13,174	0,100
08	24,408	0,432
09	24,211	0,594
10	21,585	0,966
11	20,643	0,854
12	19,596	0,803
13	21,039	0,539
14	24,404	0,339
15	26,203	0,843
16	28,214	0,493
17	20,437	0,438
18	24,185	0,398
19	23,532	0,201
20	20,572	0,392
MW	21,832	
MIN	13,174	
MAX	28,214	
I	8,170	0,027
II	17,286	0,007
III	6,659	0,007

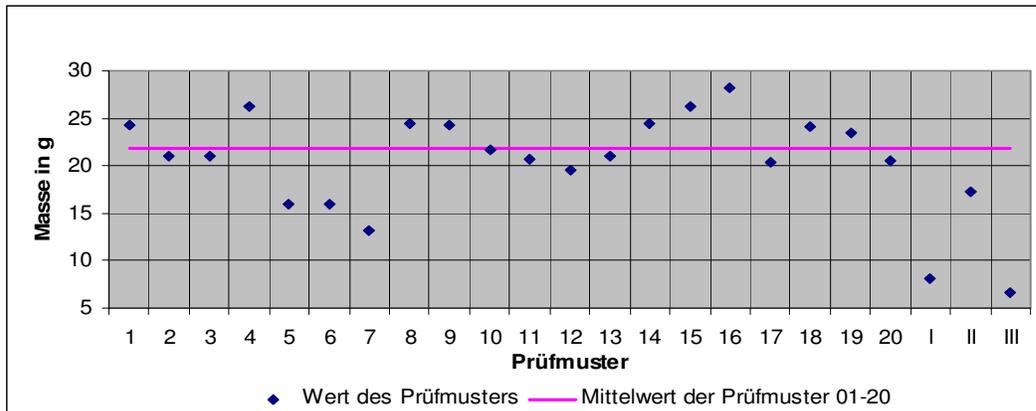


Abbildung 102: Masse - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

12 der 20 PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20) befanden sich innerhalb eines Toleranzbereiches von 2,5 g vom berechneten Mittelwert mit 21,832 g. Eine besonders niedrige Masse zeigten die Prüfmuster 05 „DESPAR Natürliches Mineralwasser“, 06 „evian“ und 07 „GUIZZA“ mit Werten unter 16 g, während die Prüfmuster 04 „Coca Cola“, 15 „SCHARTNER BOMBE“ und 16 „Schweppes“ ein besonders hohes Gewicht aufwiesen. Besonders zu erwähnen ist der hohe Schwankungsbereich der Werte, welcher zwischen 13,174 g bei dem Prüfmuster 07 „GUIZZA“ und 28,214 g bei dem Prüfmuster 16 „Schweppes“ lag. Somit besaß die schwerste Flasche eine mehr als doppelt so hohe Masse wie die leichteste Flasche.

Die Prüfmuster I-III lagen deutlich unter dem Mittelwert der Prüfmuster 01-20, wobei die Prüfmuster I „Bottle Fly 500 ml“ und III „PET lite 6.6“ Werte unter 10 g aufwiesen.

Bestimmung der Dicke

Tabelle 7: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Bestimmung der Wanddicke in μm								
Prüf- muster	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		Boden	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
01	545	12	234	6	235	6	1.552	69
02	256*	24	263	8	215	11	738	61
03	241	11	263	14	276	5	556	71
04	476	17	307	13	426	7	1.417	118
05	229	15	155	7	298	4	1.354	47

Bestimmung der Wanddicke in μm								
Prüf- muster	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		Boden	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
06	183	13	169	16	210	6	471	47
07	162	18	180	14	195	15	521	5
08	424	13	343	11	257	6	1.425	4
09	676	23	294	15	263	9	1.464	163
10	291	15	283	8	297	8	664	22
11	168	26	195	7	184	14	601	80
12	180	24	214	16	235	8	714	103
13	364	24	259	9	234	8	1.260	260
14	395	16	262	7	373	13	1.164	446
15	301*	14	303	14	323	11	1.960	11
16	575	17	305	13	576	7	1.574	123
17	218	26	197	13	196	10	934	645
18	338	13	329	9	416	9	1.234	594
19	258	12	279	15	310**	7	1.080	149
20	226	18	268	7	828**	6	831	57
MW	325		255		317		1.076	
MIN	162		155		184		471	
MAX	676		343		828		1.960	
I	195***	44	199***	24	313***	88	189	8
II	197	20	164	4	235	16	447	30
III	599***	124	79	1	67	1	202	51

- * Durchführung der Messung oberhalb des ermittelten Messpunktes
 ** Durchführung der Messung unterhalb des ermittelten Messpunktes
 *** Durchführung der Messung zwischen den Versteifungen

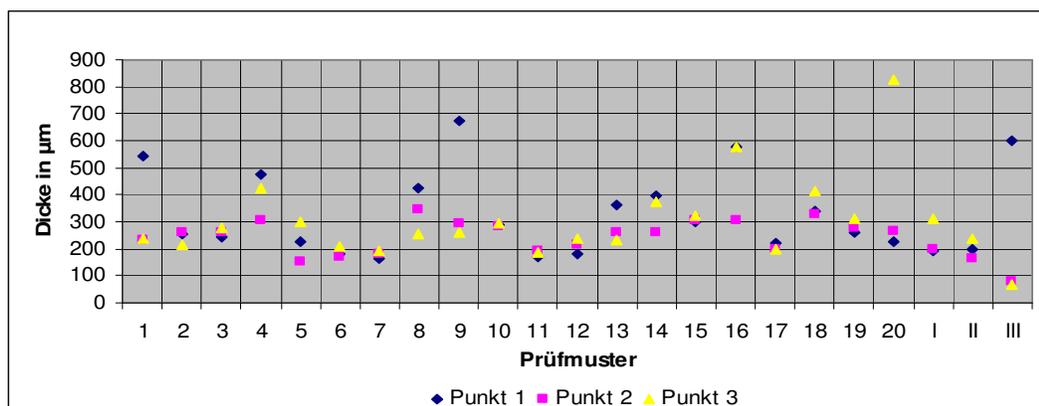


Abbildung 103: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) - PET-Flaschen
(Prüfmuster 01-20 und I-III)

Bei der Wanddickenbestimmung lagen die ermittelten Einzelpunkte bei 16 von 20 Prüfmustern der PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20) in einem Schwankungsbereich unter 200 μm , bei den Prüfmustern 10 „NESTEA“, 11 „RADLBERGER“ und 15 „SCHARTNER BOMBE“ betrug diese Differenz weniger als 30 μm . Ein unregelmäßiger Wanddickenverlauf mit einem Schwankungsbereich von über 200 μm zwischen den Einzelpunkten zeigte sich bei den Prüfmustern 01 „BIONADE“, 09 „MONTES“, 16 „Schweppes“ und 20 „VÖSLAUER pocket“.

Die ermittelten Werte für die Prüfmuster I „Bottle Fly 500 ml“ und II „Lightweight E415-B-12“ lagen in einem Schwankungsbereich unter 200 μm , während das Prüfmuster III „PET lite 6.6“ eine Differenz von über 500 μm zwischen den Einzelpunkten aufwies.

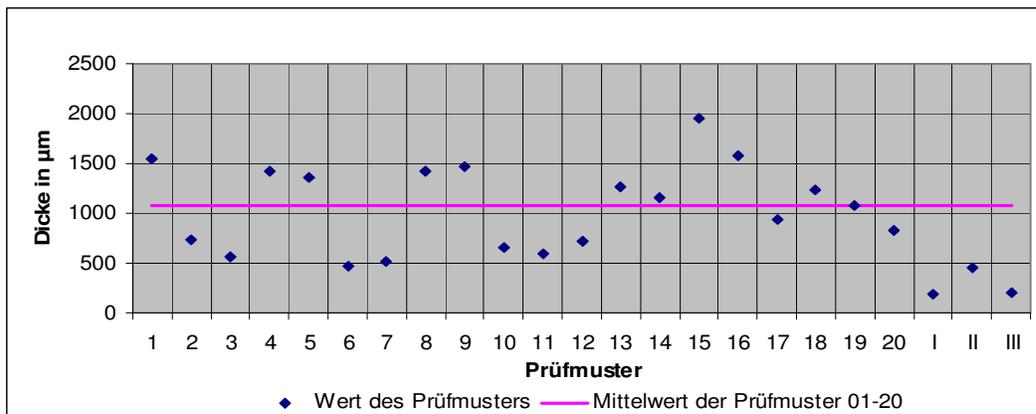


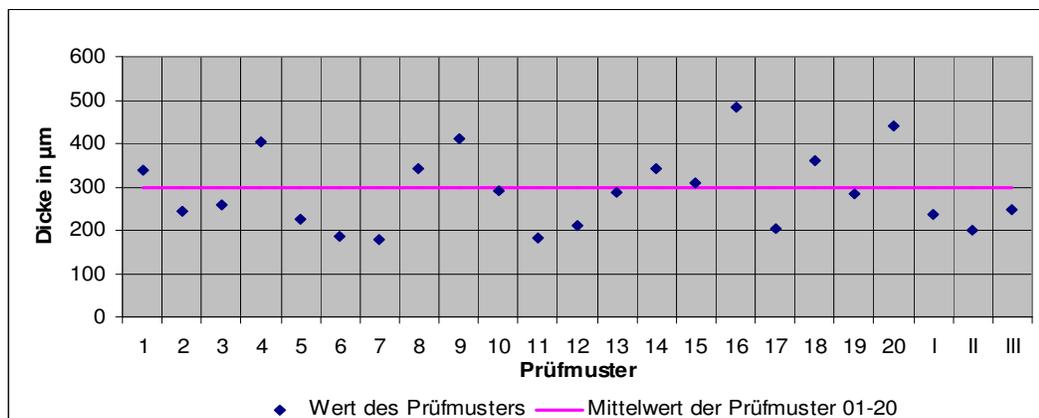
Abbildung 104: Bestimmung der Bodendicke - PET-Flaschen Prüfmuster (01-20 und I-III)

Bei der Bestimmung der Bodendicke der PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20) fiel das Prüfmuster 15 „SCHARTNER BOMBE“ durch eine hohe Dicke von 1.960 μm auf. Die Prüfmuster 06 „evian“ und 07 „GUIZZA“ zeigten Werte von ca. 500 μm . Eine besonders unregelmäßige Verteilung der durchschnittlichen Bodendicke konnte bei den Prüfmustern 17 „SPAR Multifrucht ACE“ und 18 „Sprite“ festgestellt werden. Diese lag zwar nahe am berechneten Mittelwert, wies jedoch eine Standardabweichung von über 590 μm auf.

Die Prüfmuster I-III zeigten die niedrigsten Bodendicken mit Werten unter 450 μm . Besonders die Prüfmuster I „Bottle Fly 500 ml“ und III „PET lite 6.6“ fielen durch Dicken von ca. 200 μm auf.

**Tabelle 8: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) – PET-Flaschen
(Prüfmuster 01-20 und I-III)**

Bestimmung der Wanddicke in μm		
Prüfmuster	Punkt 1-3	
	MW	s
01	338	179
02	245	26
03	260	18
04	403	87
05	227	72
06	187	21
07	179	17
08	341	84
09	411	230
10	290	7
11	182	14
12	210	28
13	286	69
14	343	71
15	309	12
16	485	156
17	204	12
18	361	47
19	282	26
20	441	336
MW	299	
MIN	179	
MAX	485	
I	236	67
II	199	36
III	248	304



**Abbildung 105: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) - PET-Flaschen
(Prüfmuster 01-20 und I-III)**

Bei der Bestimmung der durchschnittlichen Wanddicke zeigten 13 von 20 Prüfmuster der PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20) Werte zwischen 200 und 400 μm . Die Prüfmuster 06 „evian“, 07 „GUIZZA“ und 11 „RADLBERGER“ fielen durch Werte unter 200 μm auf, während die Prüfmuster 04 „Coca Cola“, 09 „MONTES“, 16 „Schweppes“ und 20 „VÖSLAUER pocket“ eine durchschnittliche Wanddickenverteilung von über 400 μm zeigten.

Die ermittelten Werte für die Prüfmuster I-III lagen in einem Bereich von 200 bis 250 μm , wobei das Prüfmuster II „Lightweight E415-B-12“ die niedrigste und das Prüfmuster III „PET lite 6.6“ die höchste durchschnittliche Wanddicke aufwies.

4.1.3 Mechanische Eigenschaften

Bestimmung der Axialdruckfestigkeit

Tabelle 9: Axialdruckfestigkeit – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Bestimmung der Höchstaxialdruckkraft (F-max) in N		
Prüfmuster	MW	s
01	175,1	30,4
02	132,6	7,9
03	224,1	0,9
04	305,5	21,0
05	52,8	0,8
06	81,1	5,2
07	102,5	13,2
08	258,6	7,9
09	466,6	205,6
10	143,5	7,5
11	96,0	7,8
12	138,7	18,6
13	117,3	7,6
14	312,3	30,4
15	269,2	13,0
16	381,3	54,8
17	168,5	26,5
18	332,1	18,9
19	221,8	4,4
20	179,9	4,2
MW	208,0	
MIN	52,8	

Bestimmung der Höchstaxialdruckkraft (F-max) in N		
Prüfmuster	MW	s
MAX	466,6	
I	29,5	2,0
II	66,8	5,7
III	25,0	5,6

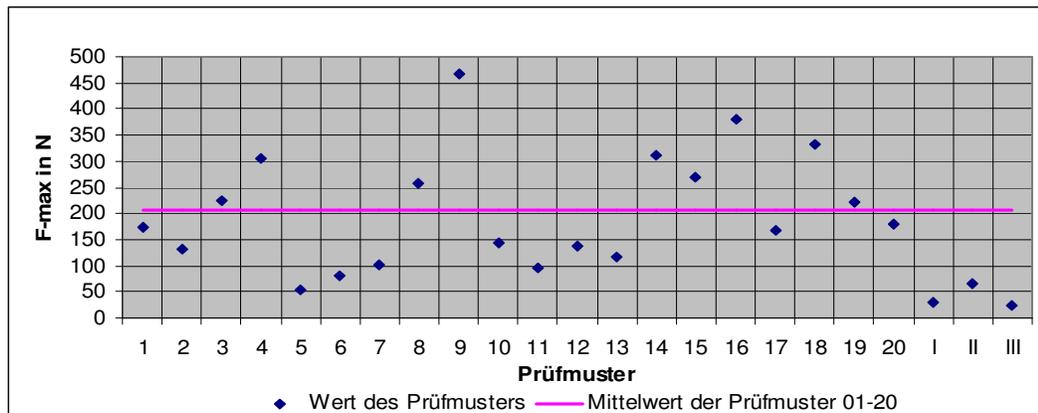


Abbildung 106: Axialdruckfestigkeit - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

15 der 20 Prüfmuster der PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20) wiesen eine Höchstaxialdruckkraft zwischen 100 und 350 N auf. Werte unter 100 N zeigten die Prüfmuster 05 „DESPAR Natürliches Mineralwasser“, 06 „evian“ und 11 „RADLBERGER“. Durch eine Höchstaxialdruckkraft von über 350 N fielen die Prüfmuster 09 „MONTES“ und 16 „Schweppes“ auf.

Die Prüfmuster I-III lieferten Werte unter 100 N, wobei das Prüfmuster III „PET lite 6.6“ mit einer Höchstaxialdruckkraft von 25 N den niedrigsten Wert stellte.

Bestimmung des Berstdruckes

Tabelle 10: Berstdruck – PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20)

Bestimmung des Berstdruckes in bar		
Prüfmuster	MW	s
01	11,13	0,27
02	11,46	0,33
03	12,49	0,74
04	16,23	0,99
05	8,93	0,13

Bestimmung des Berstdruckes in bar		
Prüfmuster	MW	s
06	10,03	2,07
07	11,04	0,40
08	15,60	0,69
09	10,77	4,14
10	13,77	6,79
11	10,05	1,49
12	10,65	0,11
13	11,23	0,42
14	14,92	2,13
15	17,25	0,69
16	16,59	0,43
17	11,04	0,06
18	17,15	1,96
19	12,29	0,08
20	15,12	0,41
MW	12,89	
MIN	8,93	
MAX	17,25	

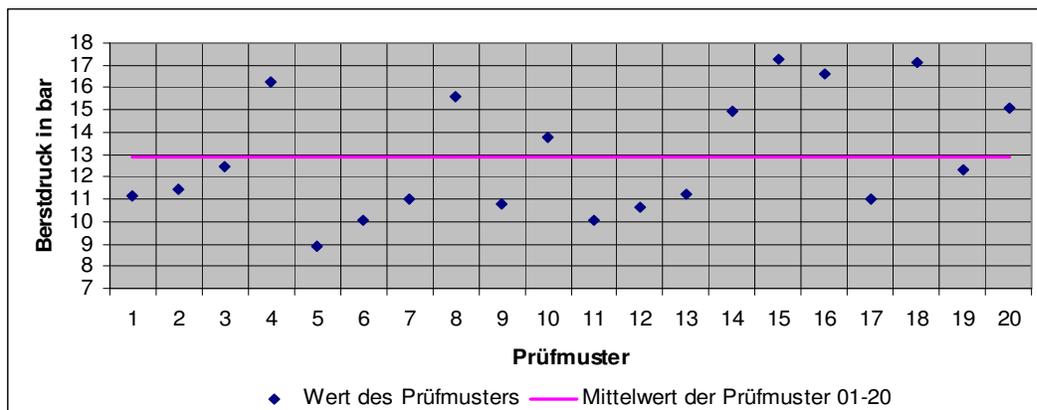


Abbildung 107: Berstdruck - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20)

Bei 15 von 20 Vertretern der PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20) wurde ein Berstdruck von 10 bis 16 bar ermittelt. Hohe Werte über 16 bar besaßen die Prüfmuster 04 „Coca Cola“, 15 „SCHARTNER BOMBE“, 16 „Schweppes“ und 18 „Sprite“. Durch einen Berstdruck unter 10 bar fiel das Prüfmuster 05 „DESPAR Natürliches Mineralwasser“ auf.

4.1.4 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Parametern

Zusammenhang zwischen Masse und Handgefühl

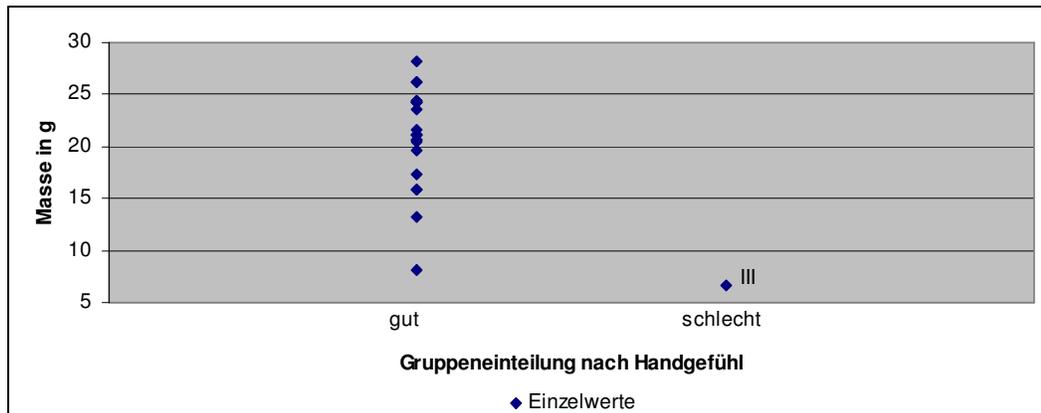


Abbildung 108: Zusammenhang zwischen Masse und Handgefühl - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Mit Ausnahme eines Prüfmusters zeigten alle PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III) eine ausreichend hohe subjektive Stabilität bei der Ermittlung des Handgefühls. Bei dem Prüfmuster III „PET lite 6.6“ mit der niedrigsten gemessenen Masse musste das Handgefühl als unzureichend beurteilt werden. Daraus konnte geschlossen werden, dass das Unterschreiten eines bestimmten Materialeinsatzes mit einer ungenügenden subjektiven Stabilität einhergeht.

Zusammenhang zwischen Masse und Ausschlenkverhalten

Ausschenkverhalten – Einteilung der Prüfmuster in Gruppen:

- Gruppe 0: gutes Ausschlenkverhalten – stabil
- Gruppe 1: mittleres Ausschlenkverhalten – leichtes Zusammenziehen, Nachgeben der Flasche im unteren Drittel des Flaschenkörpers
- Gruppe 2: mittleres Ausschlenkverhalten – leichtes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers
- Gruppe 3: schlechtes Ausschlenkverhalten – starkes Zusammenziehen im unteren Drittel des Flaschenkörpers
- Gruppe 4: schlechtes Ausschlenkverhalten – starkes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers

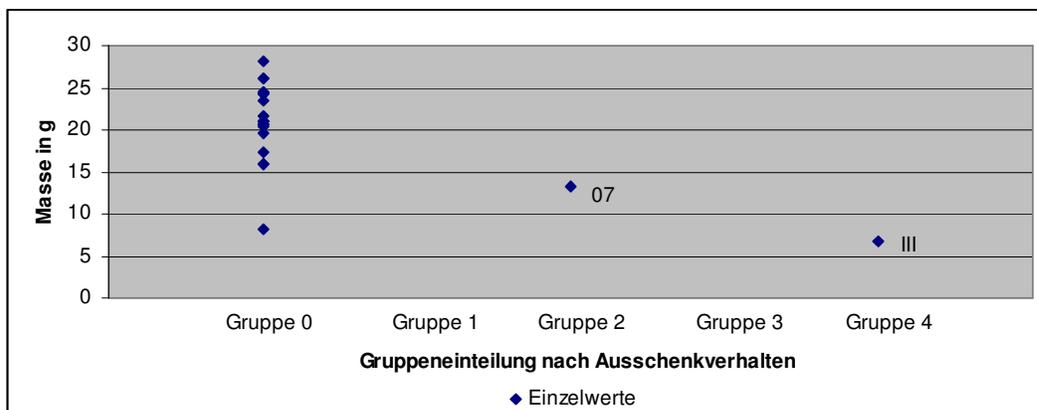


Abbildung 109: Zusammenhang zwischen Masse und Ausschlenkverhalten - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Mit Ausnahme von zwei Vertretern lieferten alle PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III) ein gutes Ausschlenkverhalten. Ein mittleres Ausschlenkverhalten mit einem leichten, gleichmäßigen Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers zeigte das Prüfmuster 07 „GUIZZA“. Das Prüfmuster III „PET lite 6.6“ fiel durch ein starkes Zusammenziehen beim Ausschlenken auf. Da, ausgenommen dem Prüfmuster I „Bottle Fly 500 ml“, Vertreter mit einer Masse unter 15 g ein mangelhaftes Ausschlenkverhalten lieferten, war ein Zusammenhang mit der Masse nachweisbar.

Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung

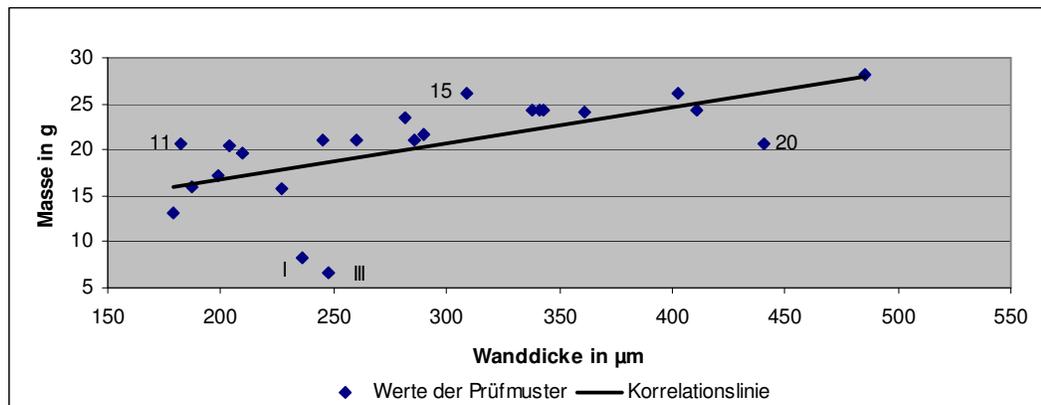


Abbildung 110: Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Bei den PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III) wiesen Vertreter mit einer Masse unter 20 g Wanddicken unter 250 µm auf, Flaschen mit einer Masse über 20 g waren hauptsächlich in einem höheren Dickenbereich anzutreffen. Bei einer niedrigen Masse unter 10 g besaßen die Prüfmuster I „Bottle Fly 500 ml“ und III „PET lite 6.6“ überdurchschnittlich hohe Werte für die Wanddicke. Auch das Prüfmuster 20 „VÖSLAUER pocket“ fiel durch eine vergleichsweise hohe Wanddicke auf. Die Prüfmuster 11 „RADLBERGER“ und 15 „SCHARTNER BOMBE“ besaßen eine im Bezug auf die Wanddicke hohe Masse. Aufgrund der Korrelation der Ergebnisse für die Wanddicke mit jenen für die Masse konnte ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern erkannt werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Bodendicke

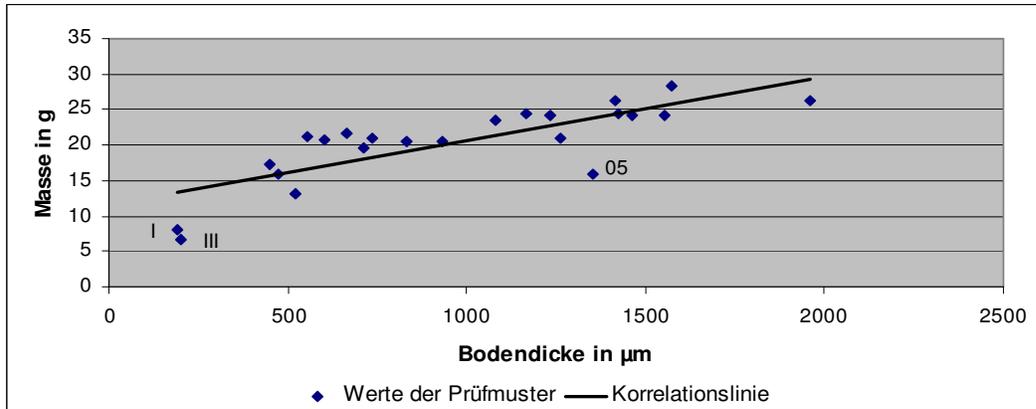


Abbildung 111: Zusammenhang zwischen Masse und Bodendicke - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Die PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III) mit niedriger Bodendicke waren durch eine geringere Masse gekennzeichnet. Flaschen mit einem dickeren Boden wiesen eine tendenziell höhere Masse auf. Eine im Hinblick auf die Bodendicke verhältnismäßig niedrige Masse besaßen die Prüfmuster I „Bottle Fly 500 ml“, III „PET lite 6.6“ und 05 „DESPAR Natürliches Mineralwasser“. Ein Zusammenhang zwischen der Bodendicke und der Masse konnte bestätigt werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit

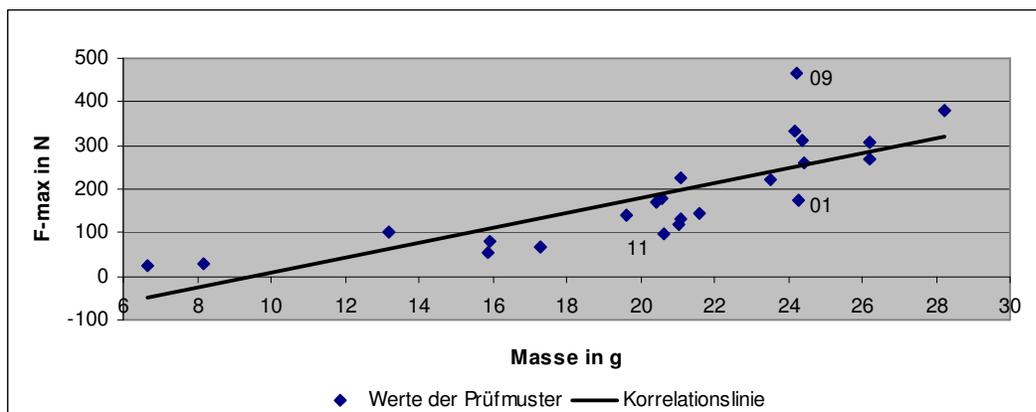


Abbildung 112: Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Leichtgewichtige Vertreter der Prüfmuster 01-20 und I-III wiesen niedrigere Werte für die Höchstaxialdruckkraft auf, Flaschen mit einer Masse über 20 g waren durch eine höhere Axialdruckfestigkeit gekennzeichnet. Durch eine für ihre Masse vergleichsweise hohe Höchstaxialdruckkraft fiel das Prüfmuster 09 „MONTES“ auf. Im Hinblick auf die Masse waren bei den Prüfmustern 01 „BIONADE“ und 11 „RADLBERGER“ unterdurchschnittliche Ergebnisse für die Axialdruckfestigkeit anzutreffen. Auch zwischen der Masse und der Axialdruckfestigkeit war ein Zusammenhang erkennbar.

Zusammenhang zwischen Masse und Berstdruck

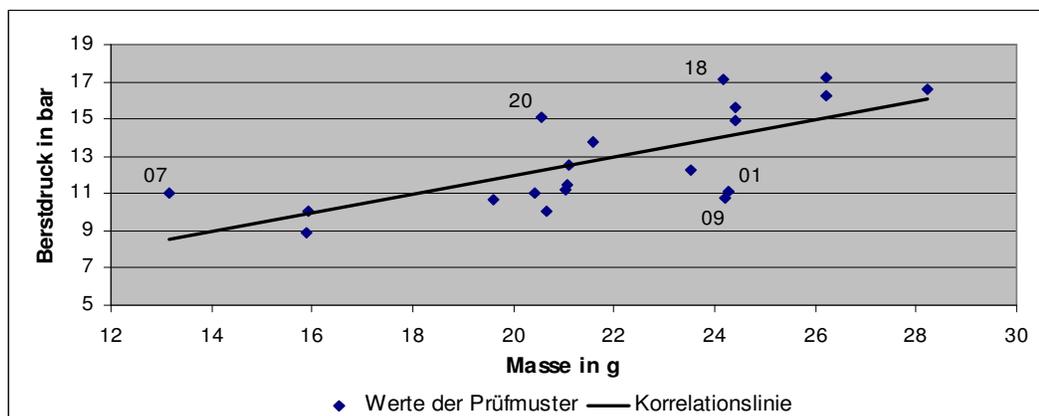


Abbildung 113: Zusammenhang zwischen Masse und Berstdruck - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20)

Bei den PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20) wiesen leichtgewichtige Vertreter niedrigere Werte für den Berstdruck auf, während Flaschen mit höherer Masse einem großteils höheren Berstdruck standhielten. Die Prüfmuster 07 „GUIZZA“, 18 „Sprite“ und 20 „VÖSLAUER pocket“ besaßen einen für ihre Masse vergleichsweise hohen Berstdruck. Dem gegenüber standen die Prüfmuster 01 „BIONADE“ und 09 „MONTES“, welche einen hinsichtlich ihrer Masse niedrigen Berstdruck aufwiesen. Insgesamt war zwischen den beiden Parametern ein Zusammenhang zu erkennen.

Zusammenhang zwischen Masse und Flaschenform

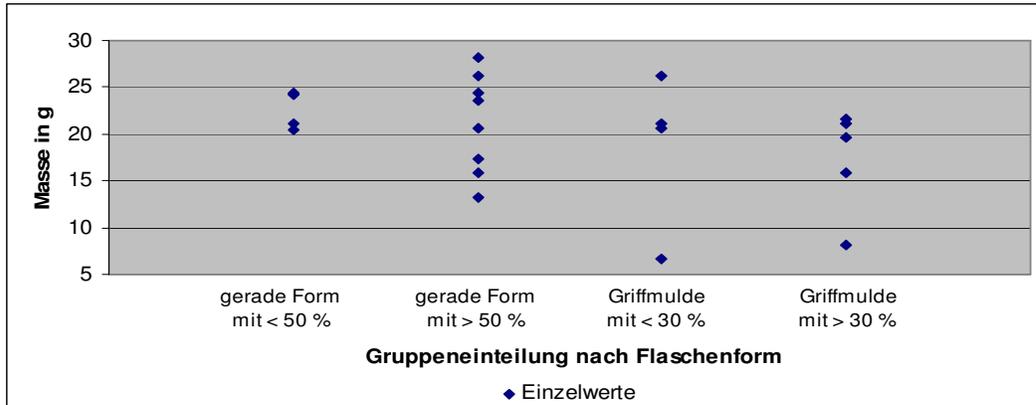


Abbildung 114: Zusammenhang zwischen Masse und Flaschenform - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Etwa zwei Drittel der PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III) wiesen eine Masse über 20 g auf. Werte unter 20 g fanden sich sowohl bei Flaschen mit gerader Flaschenform als auch bei jenen mit Griffmulde, jeweils mit einem hohen Anteil an Versteifungen. Besonders niedrige Werte wiesen die direkt beim Hersteller bezogenen Flaschen mit Griffmulde auf, wobei das Prüfmuster III „PET lite 6.6“, welches die niedrigste Masse aufwies, aufgrund seiner speziellen Form gesondert betrachtet werden muss. Eine Masse über 25 g war bei Flaschen mit gerader Form und Versteifungen auf über 50 % der Wandhöhe sowie bei Flaschen mit Griffmulde und Versteifungen auf weniger als 30 % der Seitenwand anzutreffen. Ein Zusammenhang zwischen Flaschenform und Masse war nicht feststellbar. Mit Ausnahme des Prüfmusters III „PET lite 6.6“ konnten jedoch bei Vertretern mit einem hohen Anteil an Versteifungen, unabhängig von der Form der Flasche, die leichtesten Prüfmuster vorgefunden werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Bodenform

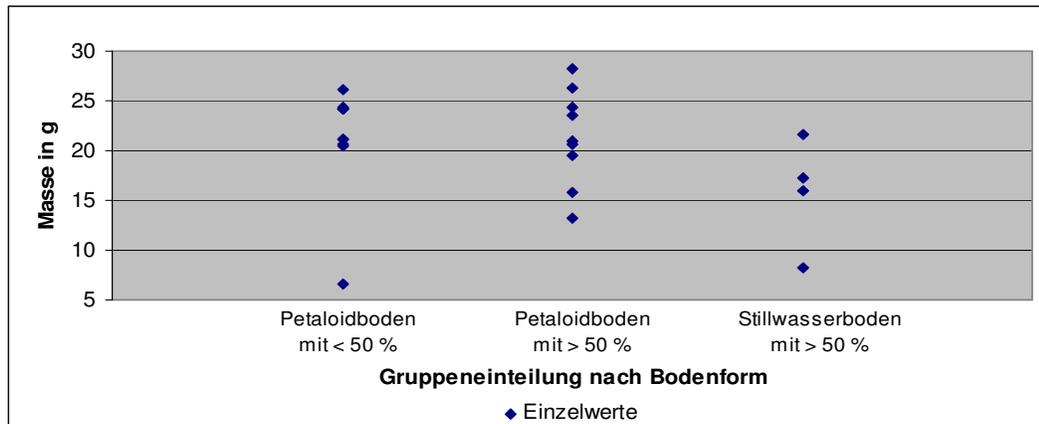


Abbildung 115: Zusammenhang zwischen Masse und Bodenform - PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III)

Die Vertreter mit Petaloidboden der PET-Flaschen (Prüfmuster 01-20 und I-III) wiesen großteils eine Masse über 20 g auf. Zudem waren sowohl die niedrigsten als auch die höchsten Werte bei Flaschen mit Petaloidboden anzutreffen. Die Masse der Flaschen mit Stillwasserboden lag mit Werten unter 22 g in einem niedrigeren Bereich. Aufgrund der breiten Ergebnisstreuung bei beiden Flaschenformen konnte kein Zusammenhang zwischen Bodenform und Masse festgestellt werden.

4.2 PET-Einweggebinde mit Füllvolumen 1,5 L

4.2.1 Optische Beurteilung und subjektive Bewertung der Prüfmuster

Ausschenkverhalten – Einteilung der Prüfmuster in Gruppen:

- Gruppe 0: gutes Ausschenkverhalten – stabil
- Gruppe 1: mittleres Ausschenkverhalten – leichtes Zusammenziehen, Nachgeben der Flasche im unteren Drittel des Flaschenkörpers
- Gruppe 2: mittleres Ausschenkverhalten – leichtes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers
- Gruppe 3: schlechtes Ausschenkverhalten – starkes Zusammenziehen im unteren Drittel des Flaschenkörpers
- Gruppe 4: schlechtes Ausschenkverhalten – starkes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers

Tabelle 11: Optische Beurteilung und subjektive Bewertung der Prüfmuster – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Prüfmuster	Optische Beurteilung	Subjektive Bewertung	
	Sichtbare Fehler	Handgefühl	Verhalten beim Ausschenken
21	keine Dellen	gut	Gruppe 1
22	keine Dellen	gut	Gruppe 3
23	keine Dellen	schlecht	Gruppe 4
24	keine Dellen	gut	Gruppe 0
25	keine Dellen	gut	Gruppe 0
26	keine Dellen	gut	Gruppe 3
27	leichte Dellen	schlecht	Gruppe 4
28	starke Dellen	gut	Gruppe 0
29	keine Dellen	schlecht	Gruppe 4
30	keine Dellen	schlecht	Gruppe 4
31	keine Dellen	gut	Gruppe 0
32	keine Dellen	gut	Gruppe 2
33	keine Dellen	gut	Gruppe 1
34	keine Dellen	schlecht	Gruppe 4
35	keine Dellen	gut	Gruppe 0
36	keine Dellen	gut	Gruppe 1
37	leichte Dellen	gut	Gruppe 3
38	keine Dellen	gut	Gruppe 3

Prüfmuster	Optische Beurteilung	Subjektive Bewertung	
	Sichtbare Fehler	Handgefühl	Verhalten beim Ausschanken
39	keine Dellen	gut	Gruppe 0
40	keine Dellen	gut	Gruppe 0
IV	keine Dellen	gut	Gruppe 0

Bei der optischen Beurteilung der Prüfmuster 21-40 waren an drei Proben sichtbare Fehler feststellbar. Dabei handelte es sich um leichte Verformungen/Dellen im Bodenbereich bei den Prüfmustern 27 „Frucade Orangenfruchtsaft-Limonade“ und 37 „SAN BENEDETTO“ sowie um stark ausgeprägte Deformationen bei dem Prüfmuster 28 „GASTEINER kristallklar“.

Das Handgefühl musste bei den Prüfmustern 23 „clever“, 27 „Frucade Orangenfruchtsaft-Limonade“, 29 „Goldana Limonade“, 30 „Gröbi zuckerfrei“ und 34 „Pfanner plus Vitamine ACE“ aufgrund mangelnder Stabilität als unzureichend beurteilt werden. Als Referenz diente das Prüfmuster 23 „clever“.

Bei der optischen Beurteilung des Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ konnten keine Verformungen festgestellt werden. Gleichzeitig wurde das Handgefühl als gut beurteilt.

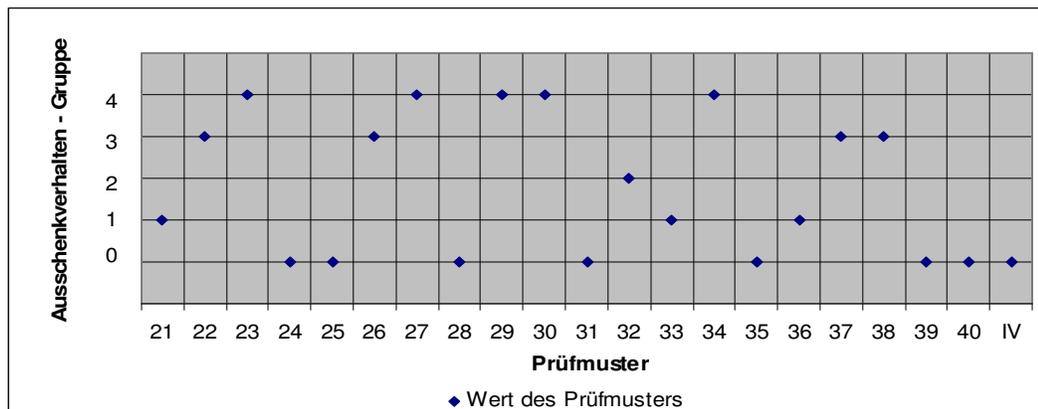


Abbildung 116: Ausschankverhalten - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bei 9 von 20 Flaschen der Prüfmuster 21-40 musste das Ausschankverhalten als ungenügend beurteilt werden. Von diesen fielen die Prüfmuster 23 „clever“, 27 „Frucade Orangenfruchtsaft-Limonade“, 29 „Goldana Limonade“, 30 „Gröbi zuckerfrei“ und 34 „Pfanner plus Vitamine ACE“ durch ein gleichmäßig starkes, vollständiges Zusammen-

ziehen des Flaschenkörpers auf. Weitere vier Flaschen, hierbei handelte es sich um die Prüfmuster 22 „ASTORIA“, 26 „FRANKENMARKTER“, 37 „SAN BENEDETTO“ und 38 „SBUDGET AQUA+“, waren durch starkes Zusammenziehen im unteren Drittel des Flaschenkörpers gekennzeichnet.

Vier Flaschen (Prüfmuster 21 „Almdudler“, 32 „Markus Quelle“, 33 „PETERQUELLE NATURFRISCH“, 36 „RAUCH Ice Tea“) zeigten ein Ausschenkverhalten im mittleren Bereich. Eine gute Stabilität war bei den restlichen sieben Prüfmustern 24 „DESPAR Ice tea“, 25 „Fanta“, 28 „GASTEINER kristallklar“, 31 „Linessa vital & active“, 35 „Radenska“, 39 „Vittel“ und 40 „Volvic naturell“ erkennbar.

Auch das Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ wies ein gutes Ausschenkverhalten auf.

4.2.2 Allgemeine Eigenschaften

Bestimmung der Masse

Tabelle 12: Masse – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bestimmung der Masse in g		
Prüfmuster	MW	s
21	42,223	0,518
22	33,384	0,655
23	32,130	0,418
24	33,114	0,602
25	42,281	0,610
26	34,267	0,085
27	33,434	0,761
28	34,209	0,648
29	33,696	0,698
30	33,982	0,703
31	40,037	0,455
32	33,519	0,165
33	34,048	0,403
34	33,390	0,935
35	40,907	0,759
36	37,755	0,923
37	30,873	0,925
38	33,500	0,276
39	31,385	0,790
40	33,960	0,835
MW	35,105	

Bestimmung der Masse in g		
Prüfmuster	MW	s
MIN	30,873	
MAX	42,281	
IV	20,770	0,130

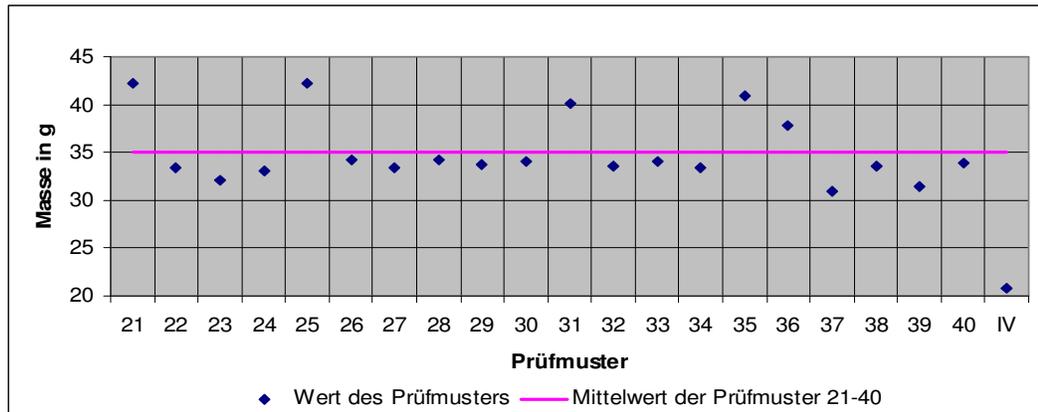


Abbildung 117: Masse - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Wie aus der Abbildung ersichtlich, besaß der Großteil der PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40) eine Masse zwischen 33 und 34 g. Diese Werte lagen somit leicht unter dem berechneten Mittelwert von 35,105 g. Im Bereich über 40 g fanden sich die Prüfmuster 21 „Almdudler“, 25 „Fanta“, 31 „Linessa vital & active“ und 35 „Radenska“. Niedrige Werte unter 32 g zeigten die Prüfmuster 37 „SAN BENEDETTO“ und 39 „Vittel“. Die mit Abstand niedrigste Masse besaß das Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“.

Bestimmung der Dicke

Tabelle 13: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bestimmung der Wanddicke in μm								
Prüf- muster	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		Boden	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
21	858*	34	265	15	326	22	931	138
22	208	38	222	28	247	14	500	25
23	198	35	194	23	239	18	1.191	83
24	216	19	263	23	256	17	373	103
25	264	36	256	7	297	20	967	118
26	190	21	282	18	224	23	1.245	162

Bestimmung der Wanddicke in μm								
Prüf- muster	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		Boden	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
27	259	28	222	15	254	28	888	62
28	213	26	192	14	208	12	1.117	217
29	224	35	226	28	227	12	891	127
30	236	39	249	16	247**	17	434	55
31	270	17	268	38	389	18	764	93
32	210	20	232	27	340	35	812	237
33	201	25	237	31	247	17	313	4
34	234	37	234	22	234	26	904	50
35	236	42	254	26	278	22	1.175	156
36	226	31	248	21	260	28	732	206
37	161	24	185	8	221	21	1.112	24
38	226	15	234	24	254	9	718	51
39	201	18	203	27	219	11	502	56
40	229	23	270	11	271	16	1.230	105
MW	253		237		262		840	
MIN	161		185		208		313	
MAX	858		282		389		1.245	
IV	307***	63	301***	10	602***	24	288	8

- * Durchführung der Messung oberhalb des ermittelten Messpunktes
 ** Durchführung der Messung unterhalb des ermittelten Messpunktes
 *** Durchführung der Messung zwischen den Versteifungen

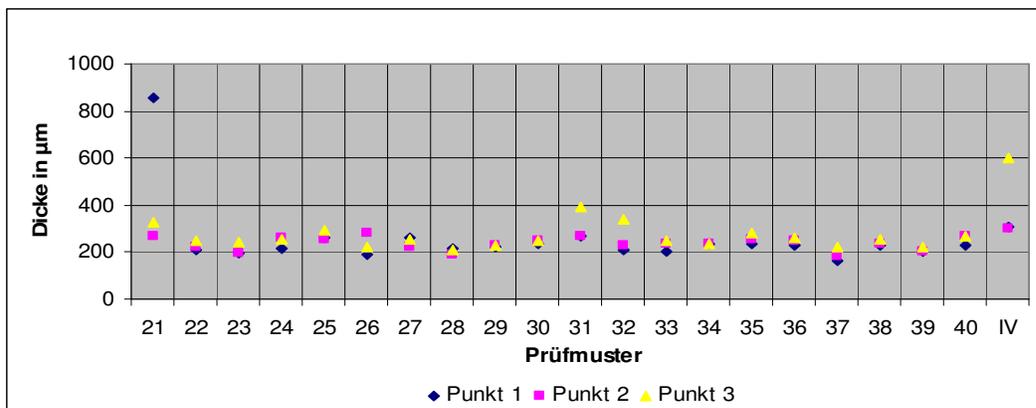


Abbildung 118: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) - PET-Flaschen
 (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bei 19 von 20 Prüfmustern der PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40) lagen die ermittelten Einzelpunkte bei der Wanddickenbestimmung in einem Schwankungsbereich unter

150 μm . Bei den Prüfmustern 29 „Goldana Limonade“ und 35 „Radenska“ betrug diese Differenz weniger als 5 μm . Das Prüfmuster 01 „Almdudler“ fiel durch einen hohen Wert des Punktes 1 auf, der jedoch auf die durch Versteifungen verursachte Messung oberhalb des definierten Messpunktes zurückgeführt werden konnte.

Auch das Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ wies einen Schwankungsbereich von über 300 μm auf, welcher durch die Messung zwischen den Versteifungen begründet werden konnte.

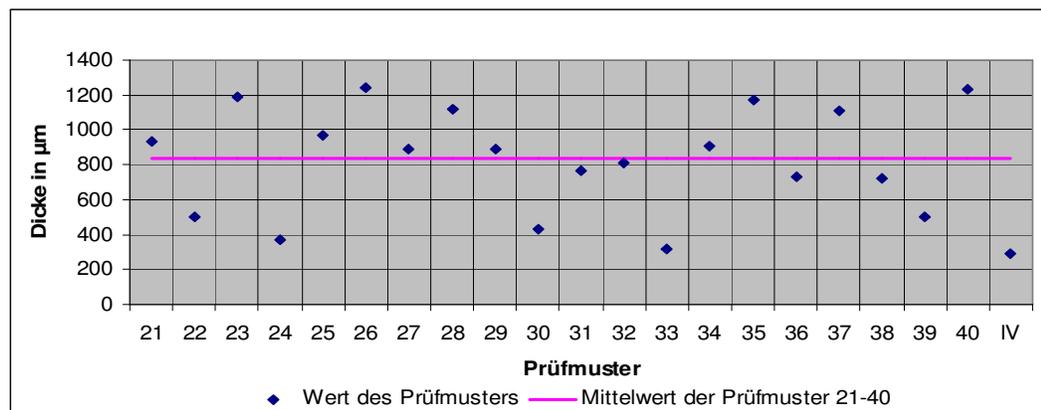


Abbildung 119: Bestimmung der Bodendicke - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bei den PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40) zeigten neun der 20 Flaschen eine Bodendicke zwischen 600 und 1.000 μm . Die Prüfmuster 23 „clever“, 26 „FRANKENMARKTER“, 28 „GASTEINER kristallklar“, 35 „Radenska“, 37 „SAN BENEDETTO“ und 40 „Volvic naturell“ fielen durch eine Dicke von über 1000 μm auf. Werte unter 600 μm zeigten die Prüfmuster 22 „ASTORIA“, 24 „DESPAR Ice tea“, 30 „Gröbi zuckerfrei“, 33 „PETERQUELLE NATURFRISCH“ und 39 „Vittel“.

Mit 288 μm besaß das Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ die niedrigste Bodendicke.

Tabelle 14: Wändickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bestimmung der Wanddicke in μm		
Prüfmuster	Punkt 1-3	
	MW	s
21	483	326
22	226	20
23	210	25

Bestimmung der Wanddicke in μm		
	Punkt 1-3	
Prüfmuster	MW	s
24	245	25
25	272	22
26	232	47
27	245	20
28	204	11
29	226	2
30	244	7
31	309	69
32	261	70
33	228	24
34	234	0
35	256	21
36	245	17
37	189	30
38	238	14
39	208	10
40	256	24
MW	251	
MIN	189	
MAX	483	
IV	403	172

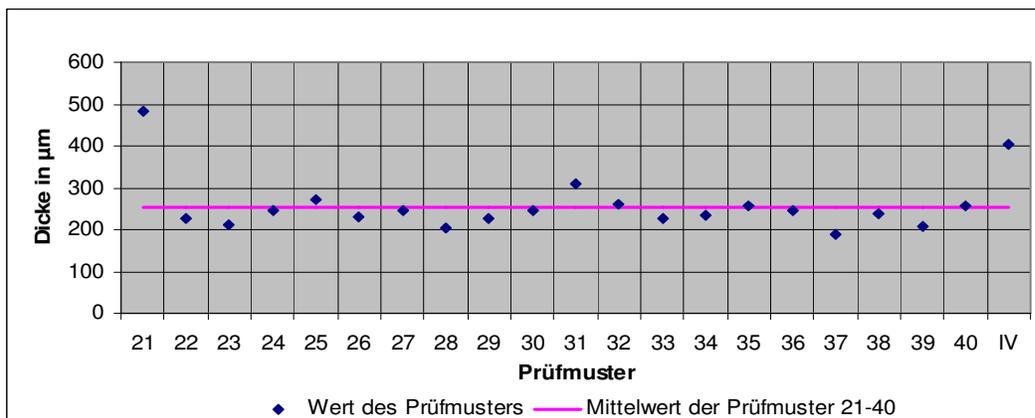


Abbildung 120: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bei der Bestimmung der durchschnittlichen Wanddickenverteilung der PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40) befanden sich 17 von 20 Prüfmuster in einem Dickenbereich von 200 bis 300 μm . Die Prüfmuster 23 „clever“, 28 „GASTEINER kristallklar“, 37 „SAN

BENEDETTO“ und 39 „Vittel“ zeigten eine durchschnittliche Wanddickenverteilung von unter 210 μm . Durch eine besonders hohe Dicke von beinahe 500 μm fiel das Prüfmuster 21 „Almdudler“ auf. Auch das Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ zeigte einen Wert über 400 μm .

4.2.3 Mechanische Eigenschaften

Bestimmung der Axialdruckfestigkeit

Tabelle 15: Axialdruckfestigkeit – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bestimmung der Höchstaxialdruckkraft (F-max) in N		
Prüfmuster	MW	s
21	172,7	23,7
22	97,5	6,2
23	64,9	5,3
24	124,4	1,4
25	218,8	2,4
26	90,4	13,9
27	190,7	18,4
28	127,9	13,2
29	89,5	18,0
30	155,4	13,3
31	185,2	13,0
32	152,7	10,9
33	115,4	4,4
34	157,5	6,6
35	105,2	1,1
36	130,9	13,9
37	166,7	18,1
38	124,4	2,8
39	101,1	7,0
40	94,0	9,5
MW	133,3	
MIN	64,9	
MAX	218,8	
IV	67,3	7,2

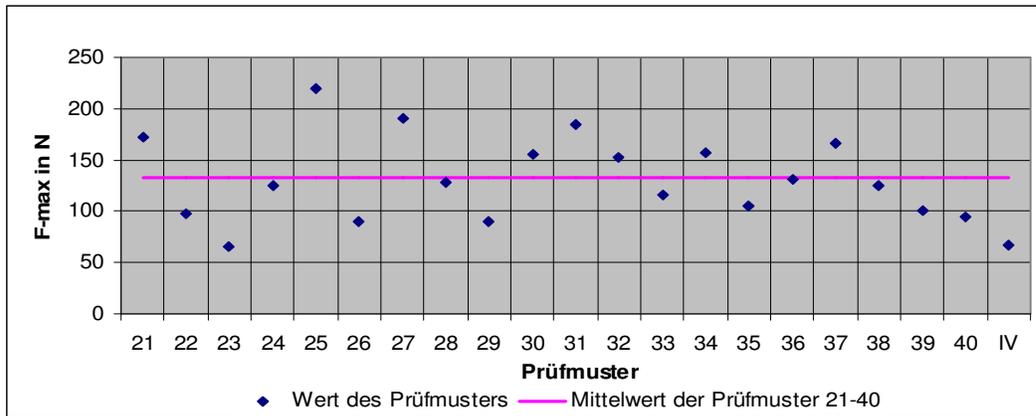


Abbildung 121: Axialdruckfestigkeit - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bei der Ermittlung der Axialdruckfestigkeit der PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40) lieferten 11 von 20 Flaschen Werte zwischen 100 und 175 N auf. Durch eine Höchstaxialdruckkraft von über 175 N fielen die Prüfmuster 25 „Fanta“, 27 „Frucafe Orangenfruchtsaft-Limonade“ und 31 „Linessa vital & active“ auf. Werte unter 100 N zeigten die Prüfmuster 22 „ASTORIA“, 23 „clever“, 26 „FRANKENMARKTER“, 29 „Goldana Limonade“ und 40 „Volvic naturell“.

Auch das Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ besaß mit einem Wert von 67,3 N eine niedrige Axialdruckfestigkeit.

Bestimmung des Berstdrucks

Tabelle 16: Berstdruck – PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40)

Bestimmung des Berstdruckes in bar		
Prüfmuster	MW	s
21	11,92	0,04
22	10,00	0,37
23	9,59	0,74
24	10,25	0,07
25	10,40	0,43
26	8,71	0,77
27	9,03	0,00
28	10,04	0,13
29	9,07	0,87
30	9,68	0,31
31	6,55	4,45
32	9,00	0,15

Bestimmung des Berstdruckes in bar		
Prüfmuster	MW	s
33	9,59	0,91
34	9,13	0,60
35	10,85	0,08
36	8,86	0,93
37	11,05	0,92
38	9,83	1,97
39	4,20	1,23
40	9,20	0,85
MW	9,35	
MIN	4,20	
MAX	11,92	

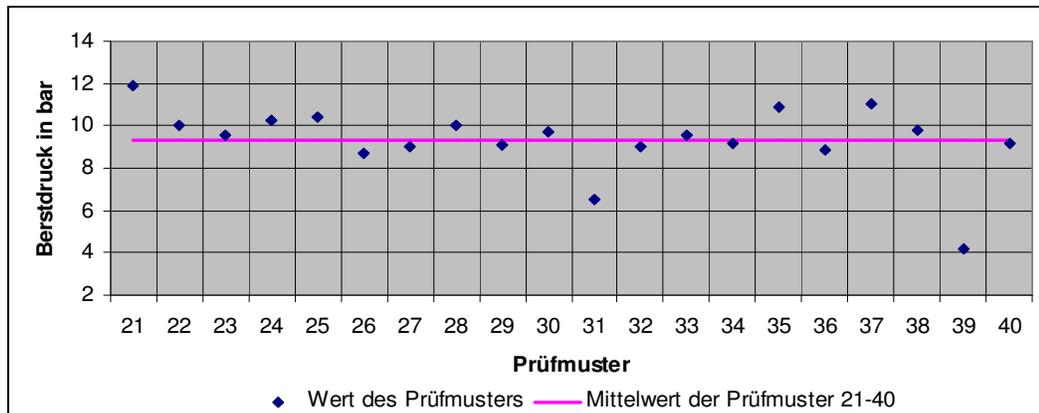


Abbildung 122: Berstdruck - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40)

14 von 20 PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40) befanden sich bei der Bestimmung des Berstdruckes in einem Toleranzbereich von ± 1 bar vom berechneten Mittelwert mit 9,35 bar. Einen höheren Berstdruck lieferten die Prüfmuster 21 „Almdudler“, 25 „Fanta“, 35 „Radenska“ und 37 „SAN BENEDETTO“. Durch unterdurchschnittliche Werte fielen die Prüfmuster 31 „Linessa vital & active“ und 39 „Vittel“ auf.

4.2.4 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Parametern

Zusammenhang zwischen Masse und Handgefühl

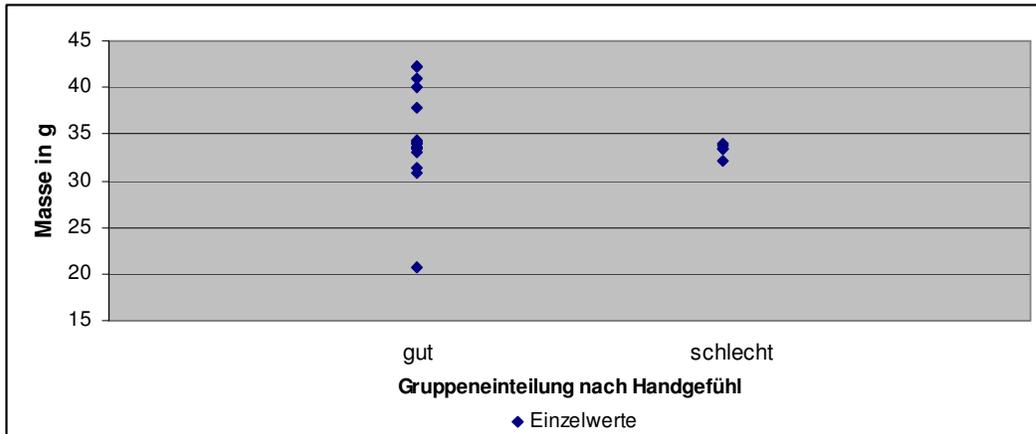


Abbildung 123: Zusammenhang zwischen Masse und Handgefühl - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bei der Ermittlung des Handgefühls lieferten fünf Vertreter der PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV) eine unzureichende subjektive Stabilität. Diese befanden sich in einem Massebereich von 30 bis 35 g. Das Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ mit dem niedrigsten ermittelten Wert von ca. 20 g zeigte ebenso wie sämtliche Vertreter mit einer Masse über 35 g ein gutes Handgefühl. Da nur Flaschen mit einer Masse unter 35 g ein schlechtes Handgefühl zeigten, konnte ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern festgestellt werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Ausschlenkverhalten

Ausschlenkverhalten – Einteilung der Prüfmuster in Gruppen:

- Gruppe 0: gutes Ausschlenkverhalten – stabil
- Gruppe 1: mittleres Ausschlenkverhalten – leichtes Zusammenziehen, Nachgeben der Flasche im unteren Drittel des Flaschenkörpers
- Gruppe 2: mittleres Ausschlenkverhalten – leichtes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers
- Gruppe 3: schlechtes Ausschlenkverhalten – starkes Zusammenziehen im unteren Drittel des Flaschenkörpers
- Gruppe 4: schlechtes Ausschlenkverhalten – starkes, gleichmäßiges Zusammenziehen des kompletten Flaschenkörpers

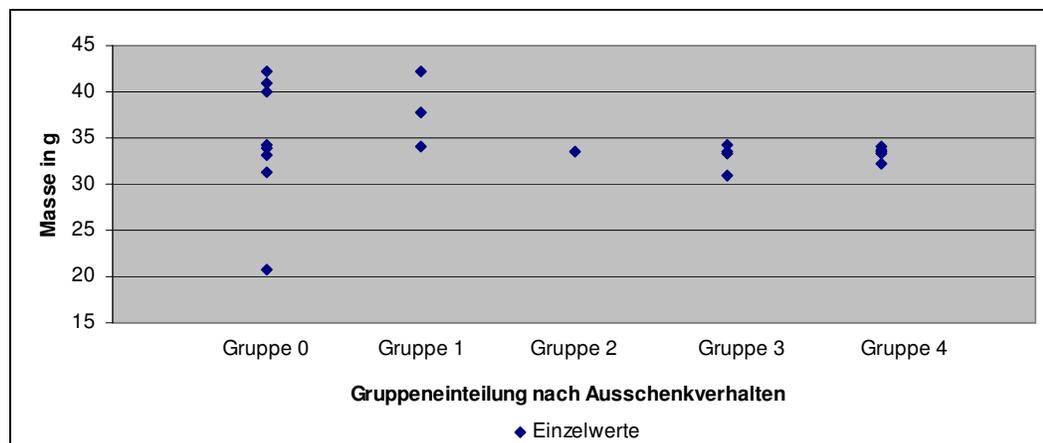


Abbildung 124: Zusammenhang zwischen Masse und Ausschlenkverhalten - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bei der Ermittlung des Ausschlenkverhaltens zeigten Prüfmuster mit einer Masse von 30 bis 35 g eine schlechte bzw. mittlere subjektive Stabilität. Eine gute Stabilität bzw. ein mittleres Ausschlenkverhalten mit einem leichten, gleichmäßigen Zusammenziehen im unteren Flaschenbereich lieferten Vertreter in dem Massenbereich von 30 bis 45 g sowie das gewichtsreduzierte Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“. Da ein mittleres bzw. schlechtes Ausschlenkverhalten gehäuft bei Vertretern mit geringerer Masse anzutreffen war, konnte ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern erkannt werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung

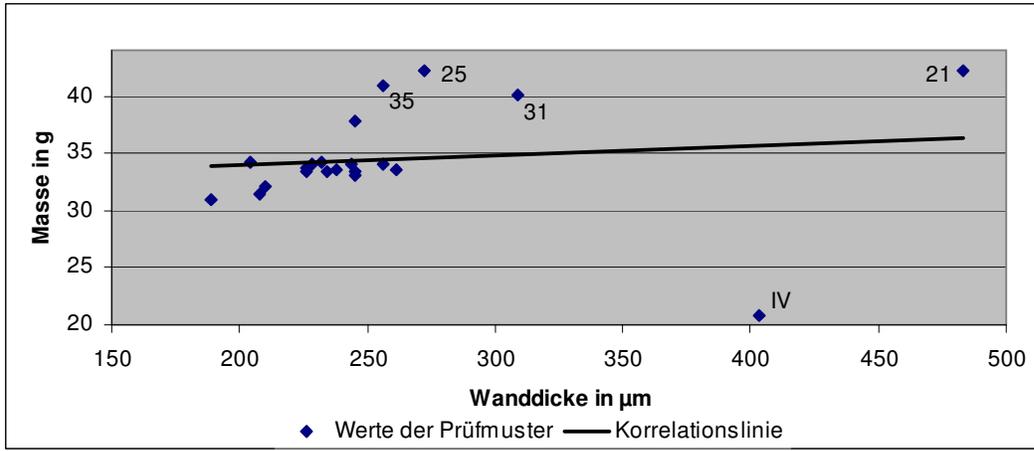


Abbildung 125: Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Flaschen mit einer geringen Wanddicke waren bei den PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV) durch eine niedrige Masse gekennzeichnet, während Prüfmuster mit hohen Werten für die durchschnittliche Wanddicke mehrheitlich in einem höheren Massenbereich anzutreffen waren. Eine im Hinblick auf die Wanddicke überdurchschnittlich hohe Masse wiesen die Prüfmuster 21 „Almdudler“, 25 „Fanta“, 31 „Linessa vital & active“ und 35 „Radenska“ auf. Die Masse des Prüfmusters IV „Bottle Fly 1,5 L“ war hingegen im Vergleich zur gemessenen Wanddicke sehr niedrig. Ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen für die Masse und jenen für die Wanddicke konnte festgestellt werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Bodendicke

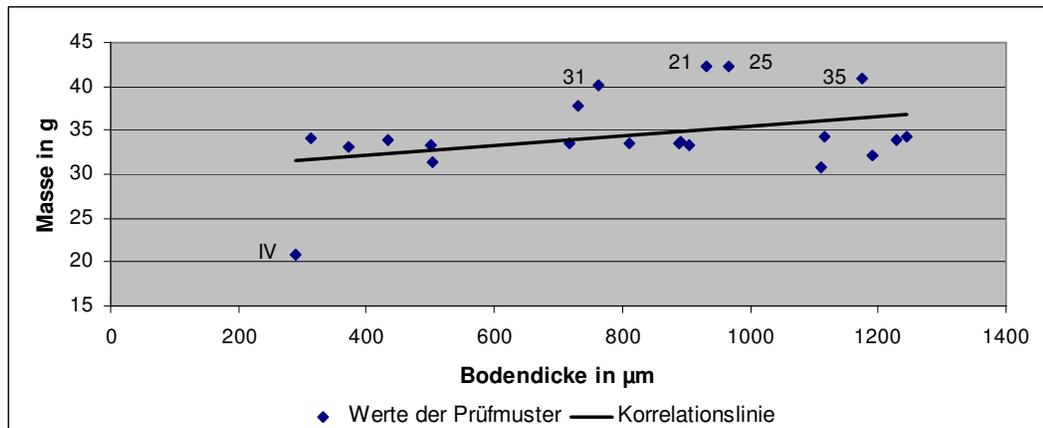


Abbildung 126: Zusammenhang zwischen Masse und Bodendicke - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bei den PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV) besaßen Vertreter mit einer niedrigen Bodendicke eine geringere Masse, während Flaschen mit einem dickeren Boden eine großteils höhere Masse aufwiesen. Durch eine im Verhältnis zur Bodendicke vergleichsweise hohe Masse fielen die Prüfmuster 21 „Almdudler“, 25 „Fanta“, 31 „Linessa vital & active“ und 35 „Radenska“ auf. Das Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ hingegen lieferte eine geringe Masse bei niedriger Bodendicke. Gesamt betrachtet war ein Zusammenhang zwischen Bodendicke und Masse feststellbar.

Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit

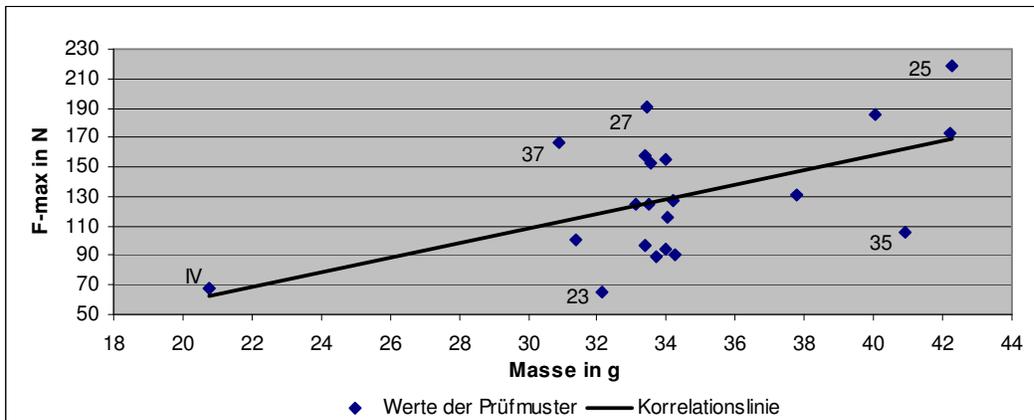


Abbildung 127: Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Der Großteil der PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV) besaß eine Masse zwischen 30 und 35 g und wies eine Höchstaxialdruckkraft zwischen 90 und 190 N auf. Eine im Vergleich zur Masse hohe Axialdruckfestigkeit lieferten die Prüfmuster 25 „Fanta“, 27 „Frucade Orangenfruchtsaft-Limonade“ und 37 „SAN BENEDETTO“. Die Prüfmuster 23 „clever“ und 35 „Radenska“ fielen durch unterdurchschnittliche Werte für die Höchstaxialdruckkraft auf. Das Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ besaß eine seiner niedrigen Masse entsprechende Axialdruckfestigkeit. Es konnte festgestellt werden, dass Vertreter mit höherer Masse eine Tendenz zu höherer Axialdruckfestigkeit aufwiesen.

Zusammenhang zwischen Masse und Berstdruck

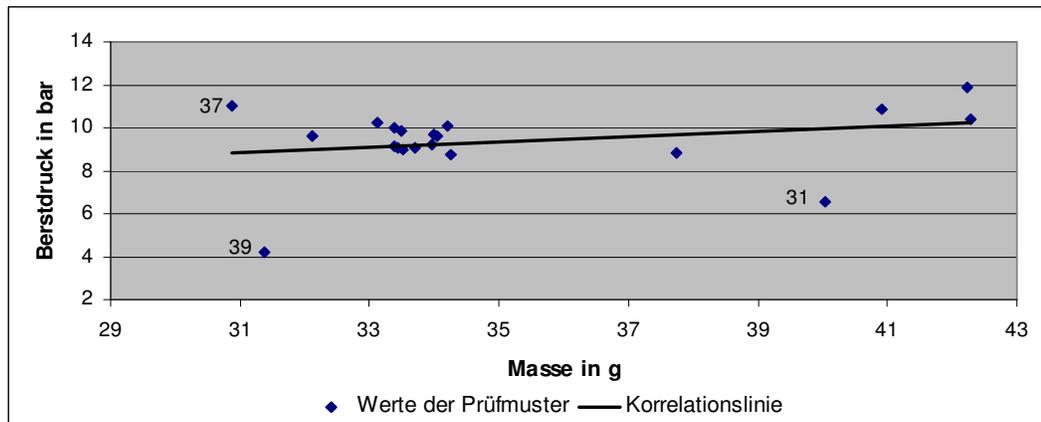


Abbildung 128: Zusammenhang zwischen Masse und Berstdruck - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40)

Die PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40) waren mehrheitlich durch eine Masse von 33 bis 35 g und einen Berstdruck zwischen 8 und 12 bar gekennzeichnet. Durch einen hohen Berstdruck bei einer niedrigen Masse fiel das Prüfmuster 37 „SAN BENEDETTO“ auf. Die Prüfmuster 31 „Linessa vital & active“ und 39 „Vittel“ besaßen einen für ihre Masse niedrigen Berstdruck. Flaschen über 41 g lieferten Berstdrücke im oberen Ergebnisbereich. Ein Zusammenhang zwischen Masse und Berstdruck konnte jedoch nicht eindeutig festgestellt werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Flaschenform

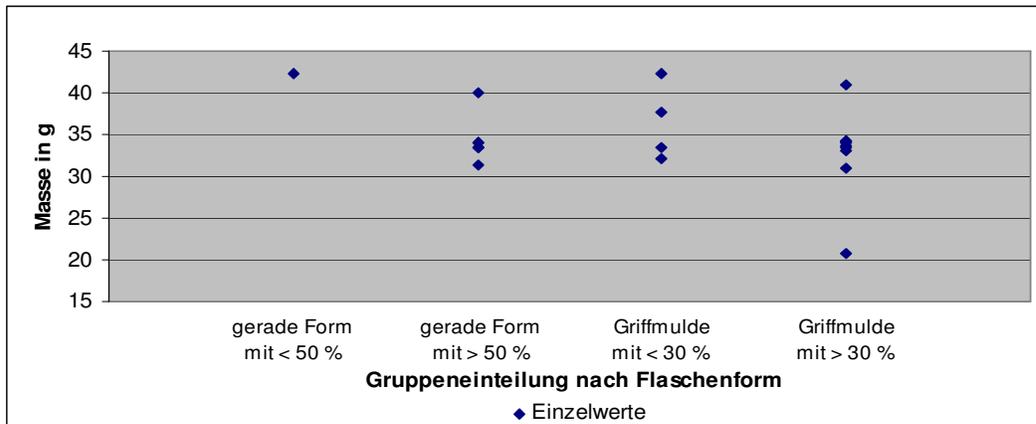


Abbildung 129: Zusammenhang zwischen Masse und Flaschenform - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Bei den PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV) waren bei Prüfmustern mit einem hohen Anteil an Versteifungen, gleich welcher Flaschenform, die Flaschen mit den niedrigsten Werten und gleichzeitig der Großteil an Vertretern mit einer Masse unter 35 g vorzufinden. Werte über 42 g fanden sich, unabhängig von der Flaschenform, bei Prüfmustern mit wenigen Versteifungen. Ein Zusammenhang zwischen Flaschenform und Masse konnte nicht festgestellt werden. Flaschen mit einem hohen Anteil an Versteifungen, gleich welcher Flaschenform, fielen jedoch durch eine großteils niedrigere Masse auf.

Zusammenhang zwischen Masse und Bodenform

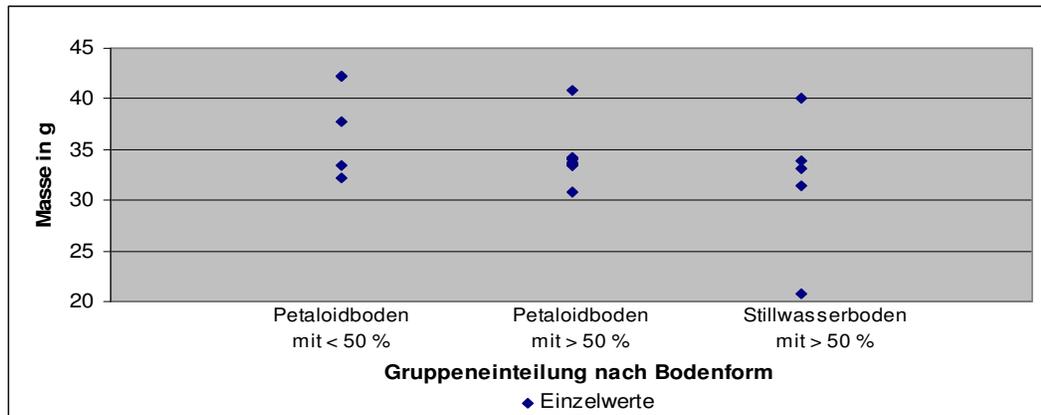


Abbildung 130: Zusammenhang zwischen Masse und Bodenform - PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV)

Sowohl Flaschen mit Petaloidboden als auch mit Stillwasserboden der PET-Flaschen (Prüfmuster 21-40 und IV) waren zum Großteil durch eine Masse unter 40 g gekennzeichnet. Zudem fand sich in jeder Gruppe ein Ausreißer mit einem Wert von über 40 g. Bei den Flaschen mit Stillwasserboden fiel ein Prüfmuster durch eine sehr niedrige Masse auf. Daraus folgend konnte bei den untersuchten Flaschen kein Zusammenhang zwischen Bodenform und Masse festgestellt werden.

4.3 Joghurtbecher mit Füllvolumen 150 g

4.3.1 Allgemeine Eigenschaften

Bestimmung der Masse

Tabelle 17: Masse – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Bestimmung der Masse in g						
Prüf- muster	gesamter Becher		Kunststoffbecher		Kartonbanderole	
	MW	s	MW	s	MW	s
01	6,868	0,192	3,504	0,074	3,423	0,123
02	5,099	0,144	-	-	-	-
03	6,627	0,162	3,351	0,042	3,278	0,182
04	7,641	0,228	4,762	0,099	2,892	0,075
05	7,121	0,271	3,647	0,132	3,470	0,092
06	5,630	0,102	-	-	-	-
07	5,656	0,163	-	-	-	-
08	5,071	0,108	-	-	-	-
09	6,892	0,132	3,512	0,053	3,395	0,128
10	5,061	0,094	-	-	-	-
11	7,337	0,024	3,876	0,036	3,498	0,092
12	7,777	0,182	3,929	0,062	3,907	0,051
13	7,464	0,125	3,912	0,061	3,548	0,121
14	5,349	0,074	-	-	-	-
15	7,523	0,121	4,602	0,037	2,918	0,092
16	5,080	0,033	-	-	-	-
17	6,352	0,102	-	-	-	-
MW	6,386		3,900		3,370	
MIN	5,061		3,351		2,892	
MAX	7,777		4,762		3,907	

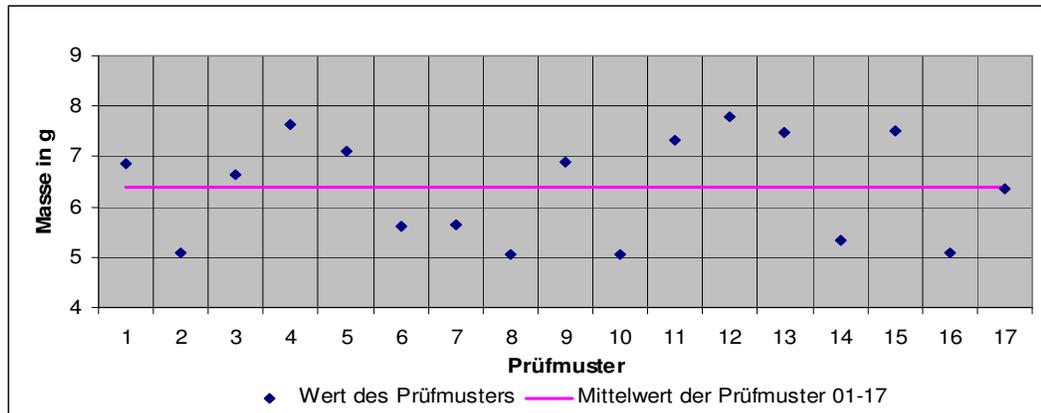


Abbildung 131: Masse; gesamter Becher - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Die Masse der Prüfmuster 01-17 lag zwischen 5,061 und 7,777 g. 11 Becher befanden sich in einem Bereich von ± 1 g vom berechneten Mittelwert mit 6,386 g. Besonders niedrige Werte von ca. 5 g zeigten die Prüfmuster 02 „bissou 0,1 %“, 08 „milfina crème fraîche“, 10 „müller Froop Frucht auf Joghurt“ und 16 „Tiroler Rahmjoghurt“. Die Prüfmuster 04 „ja! Natürlich Pudding“ und 12 „Schärdinger Die schlanke Linie Frühstücks Joghurt“ wiesen hingegen eine besonders hohe Masse auf.

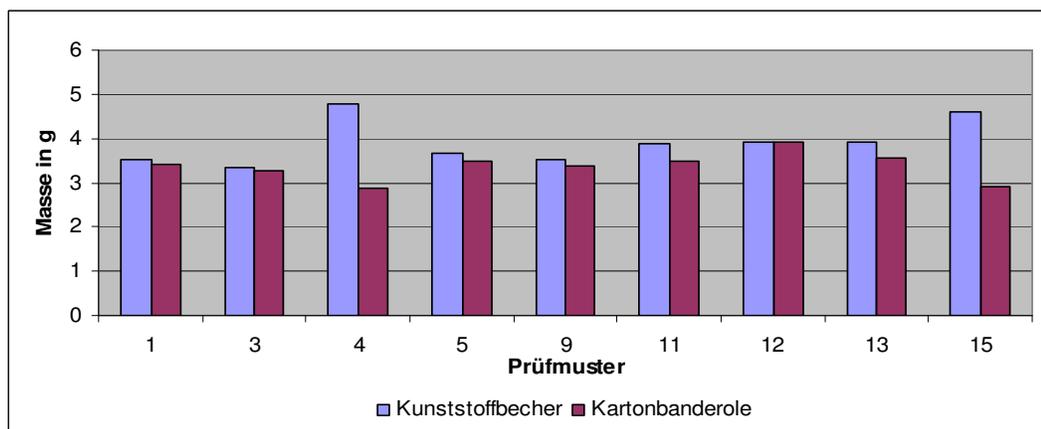


Abbildung 132: Masse; getrennt nach Fraktionen - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Bei sämtlichen K3-Verbundbecher mit Füllvolumen 150 g wurde eine etwas höhere Masse der Kunststoff-Fraktion festgestellt. Die Prüfmuster 04 „ja! Natürlich Pudding“ und 15 „SPAR Natur pur Bio-Sahnepudding“ fielen durch hohe Werte für den Kunststoff-Innenbecher bei einer niedrigen Masse der Kartonbänderole auf.

Bestimmung der Dicke

Tabelle 18: Waddickenbestimmung (Einzelpunkte) – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Bestimmung der Waddicke in μm								
Prüf- muster	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		Boden	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
01	504	14	472	1	447	6	435	12
02	254	7	216	1	319	8	521	18
03	511	8	468	5	460	4	581	14
04	594	6	527	9	536	4	990	19
05	502	9	447	11	450	9	407	12
06	326	7	253	4	272	2	618	15
07	209	2	204	8	276	3	482	16
08	266	4	228	4	195	4	717	23
09	451	11	422	7	407	8	458	17
10	299	7	298	5	292	6	602	19
11	502	1	449	3	432	3	469	12
12	451	7	429	3	429	5	474	14
13	473	5	459	8	448	1	613	17
14	258	5	291	3	244	8	655	12
15	509	7	578	8	603	3	728	21
16	273	12	221	3	383	5	411	11
17	345	5	364	9	386	4	411	14
MW	396		372		387		563	
MIN	209		204		195		407	
MAX	594		578		603		990	

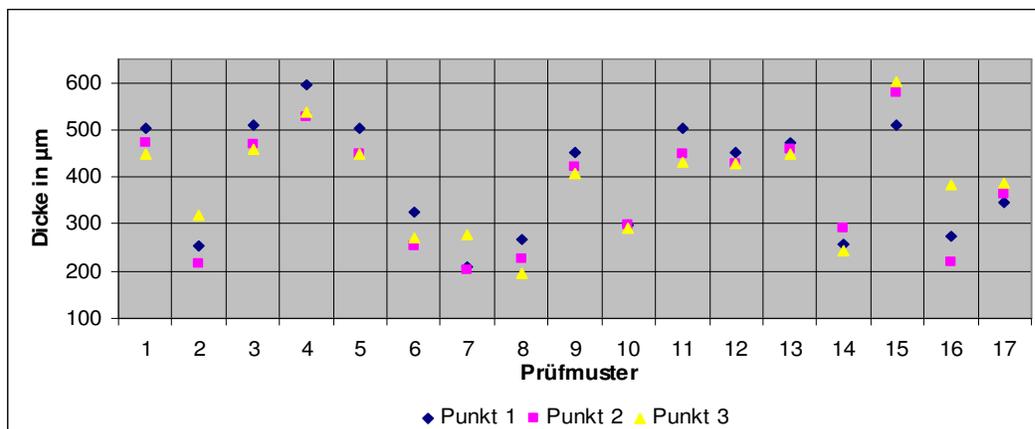


Abbildung 133: Waddickenbestimmung (Einzelpunkte) - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Bei 15 von 17 Vertretern der Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17) lagen die ermittelten Einzelpunkte bei der Wanddickenbestimmung in einem Schwankungsbereich unter 100 μm . Bei den Prüfmustern 10 „müller Froop Frucht auf Joghurt“, 12 „Schärdinger Die schlanke Linie Frühstück Joghurt“ und 13 „Schärdinger JOGHURT“ betrug diese Differenz weniger als 25 μm . Ein Wanddickenverlauf mit einem Schwankungsbereich von über 100 μm zwischen den Einzelpunkten zeigte sich bei den Prüfmustern 02 „bissou 0,1 %“ und 16 „Tiroler Rahmjoghurt“.

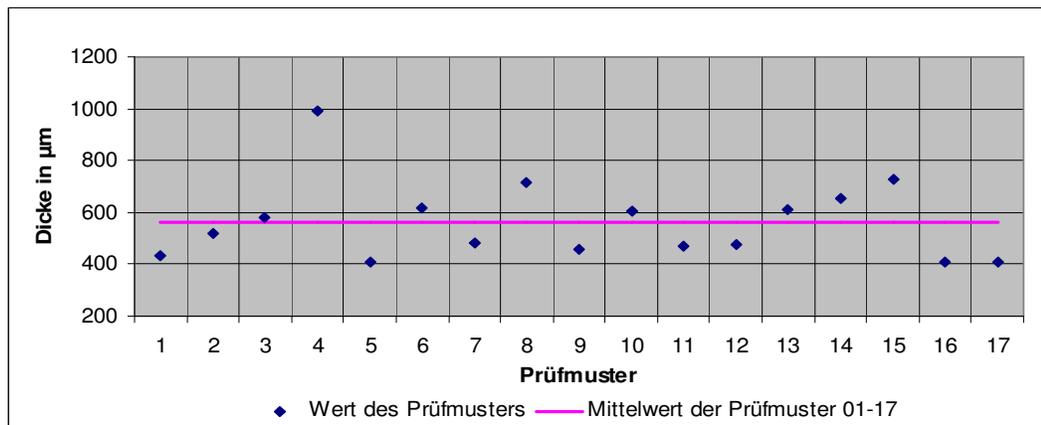


Abbildung 134: Bodendicke - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

16 von 17 Vertreter der Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17) zeigten eine Bodendicke von 400 bis 800 μm . Das Prüfmuster 04 „ja! Natürlich Pudding“ fiel durch einen Wert von annähernd 1.000 μm auf.

Tabelle 19: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Bestimmung der Wanddicke (Mittelwert aus Punkt 1-3) in μm						
Prüf- muster	gesamter Becher		Kunststoffbecher		Kartonbanderole	
	MW	s	MW	s	MW	s
01	474	29	174	29	294	3
02	263	52	-	-	-	-
03	480	27	143	28	330	3
04	552	36	207	29	339	7
05	466	31	182	36	290	10
06	284	38	-	-	-	-
07	230	40	-	-	-	-
08	230	36	-	-	-	-

Bestimmung der Wanddicke (Mittelwert aus Punkt 1-3) in μm						
Prüf- muster	gesamter Becher		Kunststoffbecher		Kartonbanderole	
	MW	s	MW	s	MW	s
09	427	22	138	20	292	6
10	296	4	-	-	-	-
11	461	37	166	38	289	4
12	436	13	142	10	292	1
13	460	13	164	12	295	4
14	264	24	-	-	-	-
15	563	49	219	52	337	5
16	292	83	-	-	-	-
17	365	21	-	-	-	-
MW	385		171		306	
MIN	230		138		289	
MAX	563		219		339	

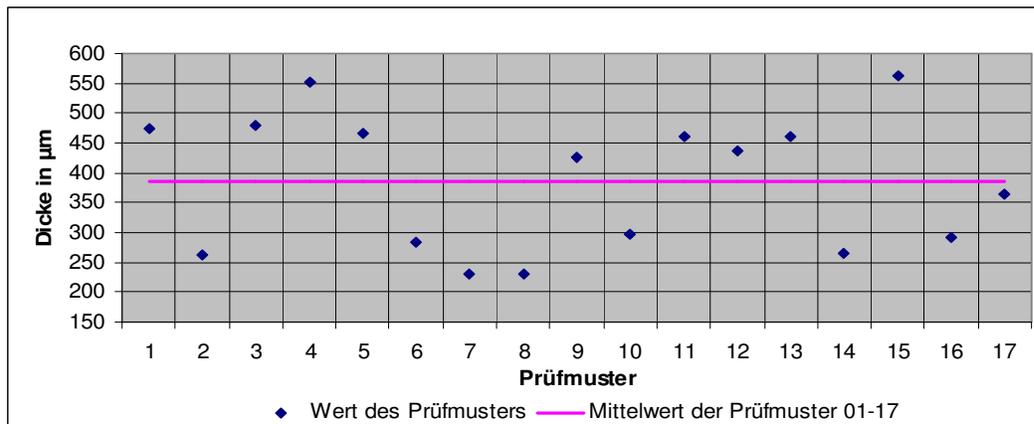


Abbildung 135: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) gesamter Becher - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Bei der Bestimmung der durchschnittlichen Wanddickenverteilung der Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17) befanden sich 10 von 17 Prüfmuster in einem Bereich von $\pm 100 \mu\text{m}$ vom berechneten Mittelwert mit $385 \mu\text{m}$. Durch eine besonders hohe Dicke von über $500 \mu\text{m}$ fielen die Prüfmuster 04 „ja! Natürlich Pudding“ und 15 „SPAR Natur pur Bio-Sahnepudding“ auf. Die Prüfmuster 07 „Milbona Joghurt mild 3,5 %“ und 08 „milfina crème fraîche“ zeigten Werte unter $250 \mu\text{m}$.

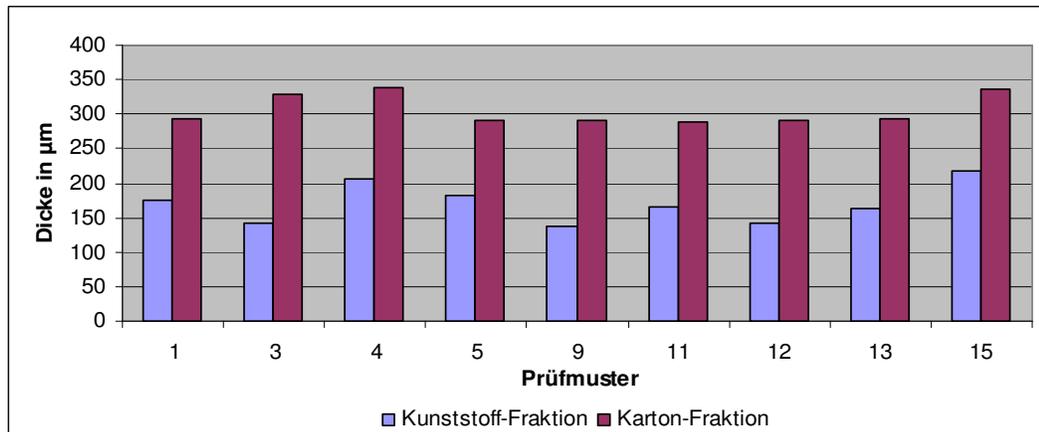


Abbildung 136: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) getrennt nach Fraktionen - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Bei der Bestimmung der durchschnittlichen Wanddickenverteilung, getrennt nach Fraktionen, konnte bei allen K3-Verbundbechern mit einem Füllvolumen von 150 g eine höhere Dicke der Karton-Fraktion festgestellt werden. Die Prüfmuster 03 „Emmi ALOE VERA“, 09 „milfina Rahmjoghurt“ und 12 „Schärdinger Die schlanke Linie Frühstücks Joghurt“ wiesen einen besonders dünnwandigen Kunststoffbecher bei einer gleichzeitig mehr als doppelt so dicken Kartonbanderole auf.

4.3.2 Mechanische Eigenschaften

Bestimmung der Axialdruckfestigkeit

Tabelle 20: Axialdruckfestigkeit – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Bestimmung der Höchstaxialdruckkraft (F-max) in N		
Prüfmuster	MW	s
01	142,4	6,5
02	332,8	16,1
03	129,1	7,3
04	204,5	6,0
05	143,5	10,9
06	258,9	25,5
07	76,5	8,3
08	132,8	5,6
09	140,3	5,2
10	112,3	5,4

Bestimmung der Höchstaxialdruckkraft (F-max) in N		
Prüfmuster	MW	s
11	100,5	2,8
12	177,6	1,6
13	141,1	33,9
14	174,4	43,4
15	244,5	30,8
16	103,7	15,3
17	214,9	3,6
MW	166,5	
MIN	76,5	
MAX	332,8	

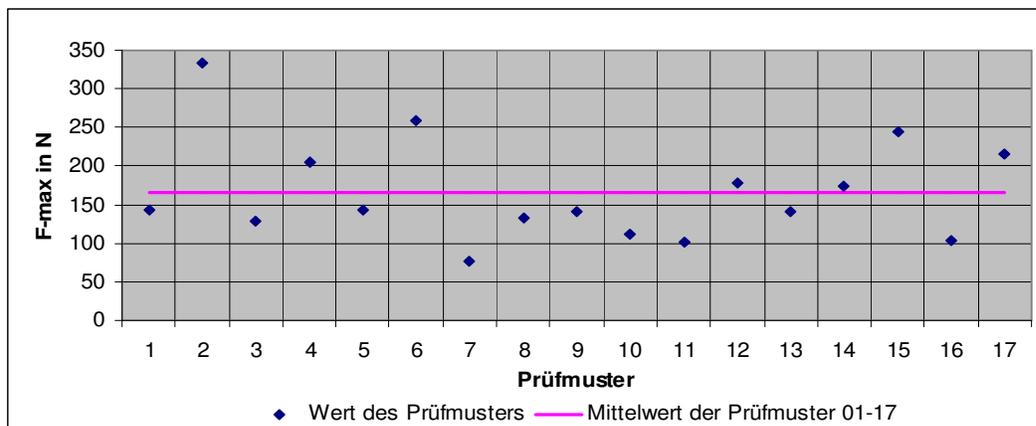


Abbildung 137: Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Die Höchstaxialdruckkraft der Prüfmuster 01-17 lag zwischen 76,5 und 332,8 N, wobei sich 10 Joghurtbecher in einem Bereich von ± 50 N vom berechneten Mittelwert mit 166,5 N befanden. Einen Wert unter 100 N zeigte das Prüfmuster 07 „Milbona Joghurt mild 3,5 %“, während die Prüfmuster 02 „bissou 0,1 %“ und 06 „LA LACTosefreier Fruchtjoghurt“ durch eine Höchstaxialdruckkraft von über 250 N auffielen.

Bestimmung der Bruchfallhöhe

Tabelle 21: Bruchfallhöhe – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Prüfmuster	Anzahl beschädigter Becher	Fehler			
		Seite	Boden	Seite & Boden	Sockel
01	0				
02	0				
03	1	x			
04	3		x	x x	
05	1		x		
06	0				
07	1	x			
08	3			x x x	
09	0				
10	2	x		x	
11	2			x x	
12	2	x x			
13	0				
14	0				
15	0				
16	2			x x	
17	1				x

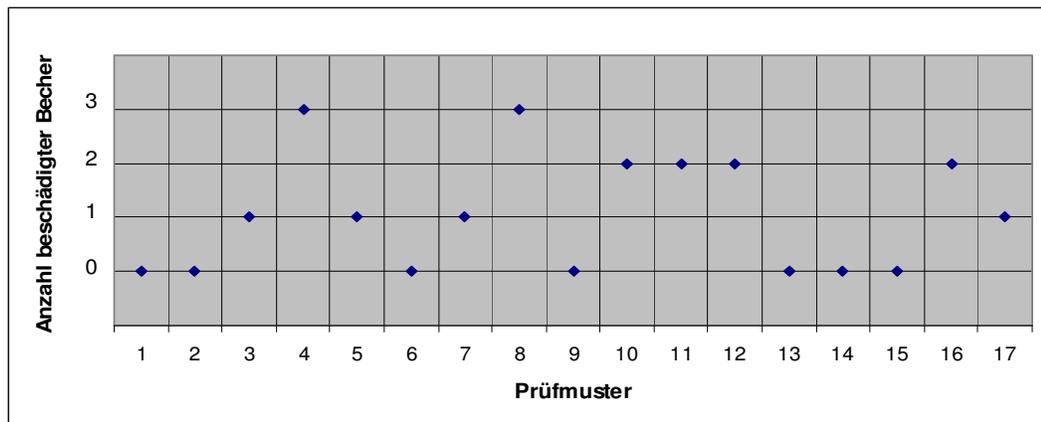


Abbildung 138: Bruchfallhöhe - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Die Durchführung der Fallversuche führte bei 11 von 17 Joghurtbechern zu keiner oder einer beschädigten Einzelprobe. Die Prüfmuster 10 „müller Froop Frucht auf Joghurt“, 11 „SalzburgerLand DESSERTJOGHURT“, 12 „Schärdinger Die schlanke Linie Frühstück's Joghurt“ und 16 „Tiroler Rahmjoghurt“ wiesen jeweils zwei beschädigte Einzel-

proben mit Fehlern in den Bereichen Seite bzw. Seite und Boden auf. Bei den Prüfmustern 04 „ja! Natürlich Pudding“ und 08 „milfina crème fraîche“ führte der Test zu Beschädigungen an allen drei Joghurtbechern, mit Deformationen am Boden bzw. an Seite und Boden.

4.3.3 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Parametern

Zusammenhang zwischen Material und Masse

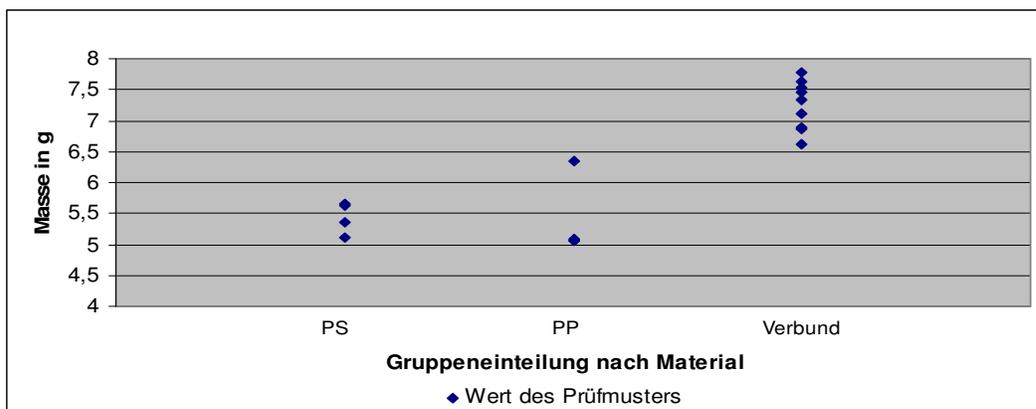


Abbildung 139: Zusammenhang zwischen Material und Masse - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Die Masse der Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17) aus den Werkstoffen PS und PP lag mit Werten von 5 bis annähernd 6,5 g deutlich unter jener der K3-Verbundbecher. Die Werte letzterer befanden sich in einem Bereich von ca. 6,5 bis 8 g. Aufgrund dessen konnte ein Zusammenhang zwischen Material und Masse festgestellt werden.

Zusammenhang zwischen Material und Wanddickenverteilung

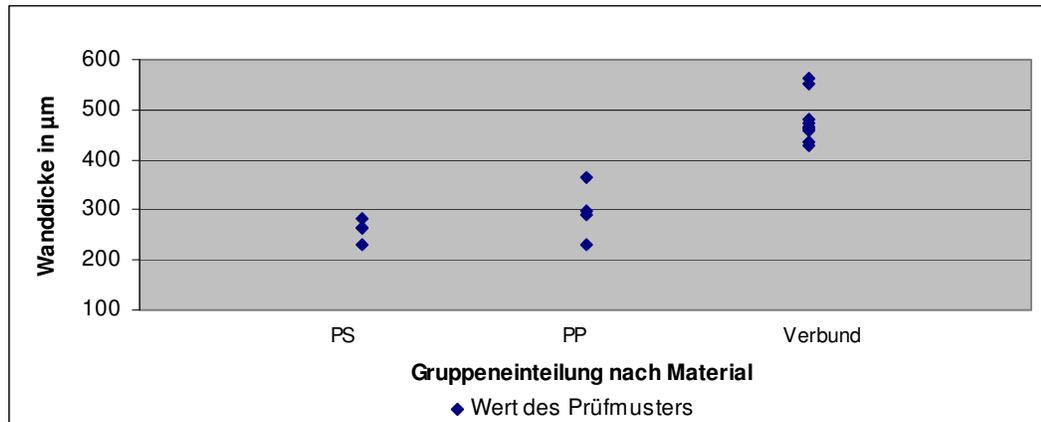


Abbildung 140: Zusammenhang zwischen Material und Wanddickenverteilung - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Bei den Joghurtbechern (Prüfmuster 01-17) wurde bei der Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Material und Wanddickenverteilung ersichtlich, dass Joghurtbecher aus PS und PP mit Werten zwischen 200 und 400 μm niedrigere Wanddicken als die K3-Verbundbecher aufwiesen. Hierbei besaßen die Vertreter aus PP etwas höhere Werte als jene aus PS. Daraus folgend konnte auf einen Zusammenhang zwischen dem eingesetzten Werkstoff und der ermittelten Wanddicke geschlossen werden.

Zusammenhang zwischen Material und Axialdruckfestigkeit

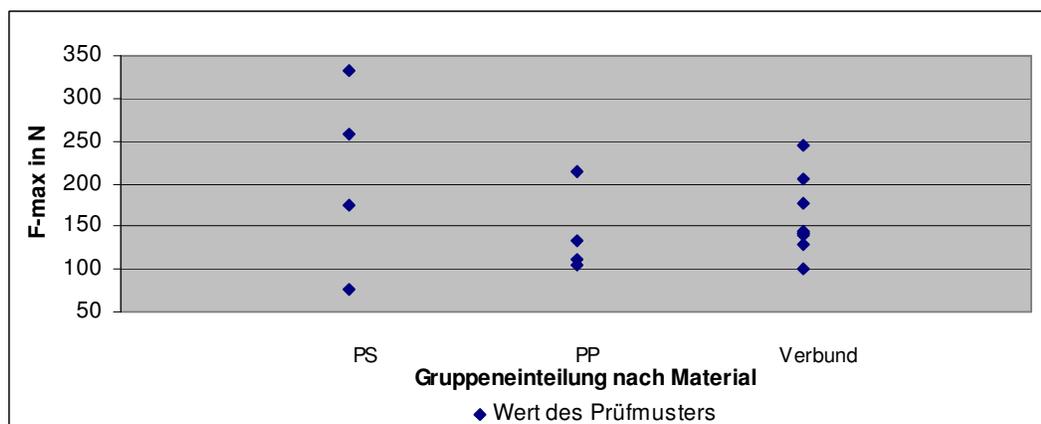


Abbildung 141: Zusammenhang zwischen Material und Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Der Werkstoff PS fiel durch eine sehr breite Streuung der Ergebnisse auf und stellte die Joghurtbecher mit den niedrigsten wie auch den höchsten Werten für die Höchstaxialdruckkraft. Auch die Ergebnisse der K3-Verbundbecher erstreckten sich über einen breiten Bereich. Becher aus PP wiesen mehrheitlich niedrige Werte für die Höchstaxialdruckkraft auf. Ein Zusammenhang zwischen Material und Axialdruckfestigkeit war, mit Ausnahme bei dem Werkstoff PP, nicht ersichtlich.

Zusammenhang zwischen Material und Bruchfallhöhe

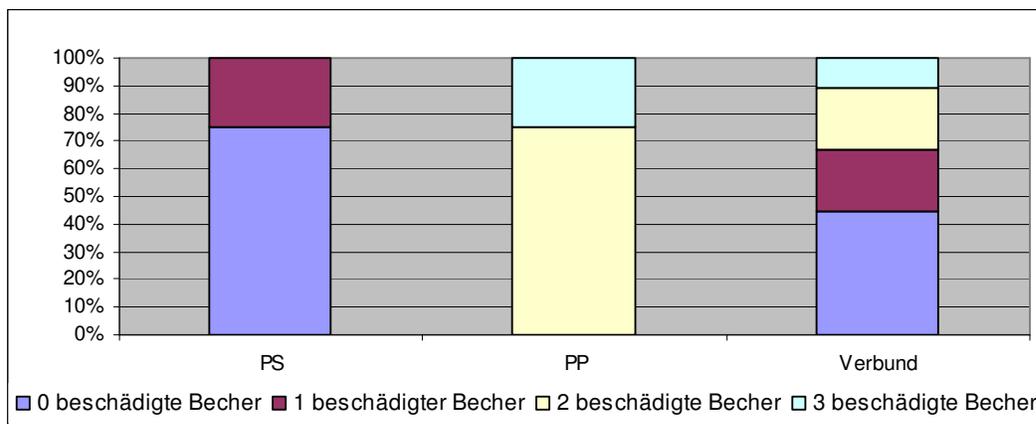


Abbildung 142: Zusammenhang zwischen Material und Bruchfallhöhe - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Die Durchführung der Fallversuche führte bei den Joghurtbechern (Prüfmuster 01-17) bei 75 % der Einzelproben aus PS zu keinerlei Beschädigungen, während bei 25 % die Beschädigung eines Bechers zu verzeichnen war. Beim Werkstoff PP wurden bei 75 % der Prüfmuster zwei und bei 25 % alle drei Einzelproben beschädigt. Bei den K3-Verbundbechern erlitten beinahe die Hälfte der Einzelproben keine Deformation. Die Ergebnisse der restlichen Prüfmuster verteilten sich beinahe gleichmäßig auf einen, zwei oder drei beschädigte Becher. Aufgrund dieser Ergebnisse konnte ein Zusammenhang zwischen Material und Bruchfallhöhe eindeutig festgestellt werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung

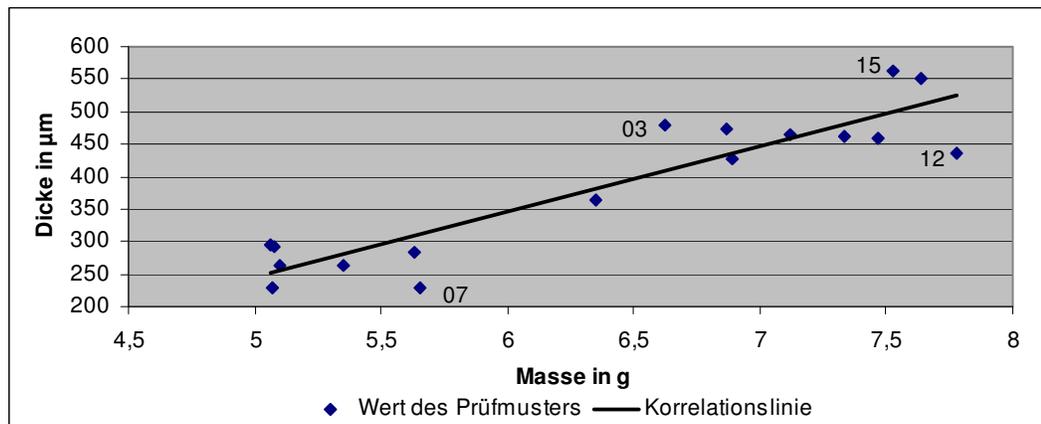


Abbildung 143: Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Bei den Joghurtbechern (Prüfmuster 01-17) wiesen leichtgewichtige Vertreter Wanddicken unter 300 µm auf, Becher mit einer höheren Masse waren in einem Dickenbereich ab 350 µm anzutreffen. Die Prüfmuster 07 „Milbona Joghurt mild 3,5 %“ und 12 „Schärdinger Die schlanke Linie Frühstück Joghurt“ besaßen eine im Bezug auf die Masse unterdurchschnittlich niedrige Wanddicke. Bei einer Masse über 6,5 g besaßen die Prüfmuster 03 „Emmi ALOE VERA“ und 15 „SPAR Natur pur Bio-Sahnepudding“ überdurchschnittlich hohe Werte für die Wanddicke. Aufgrund einer Korrelation der Ergebnisse für die Wanddicke mit jenen für die Masse konnte ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern erkannt werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit

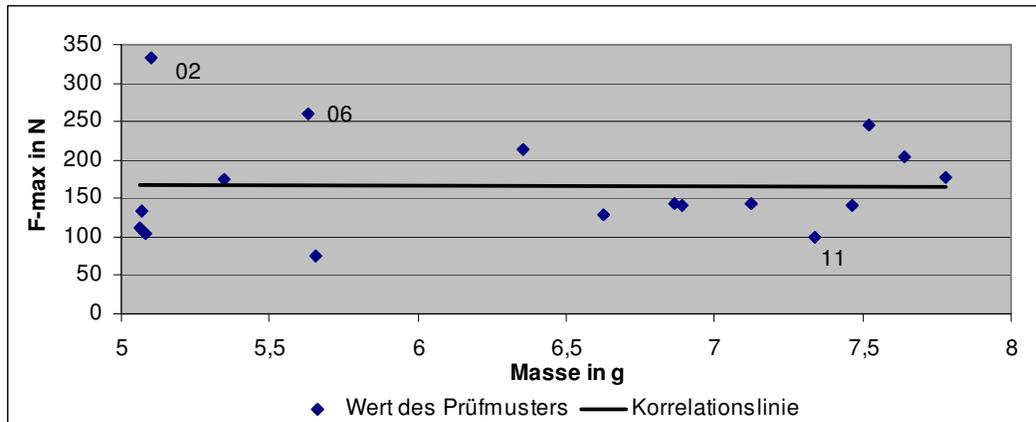


Abbildung 144: Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Unabhängig von der ermittelten Masse befanden sich die Werte für die Höchstaxialdruckkraft bei dem Großteil der untersuchten Prüfmuster 01-17 in einem Bereich von 50 bis 250 N. Sowohl den höchsten als auch den niedrigsten Wert der Axialdruckfestigkeit stellten Prüfmuster mit einer Masse unter 6 g. Durch eine niedrige Masse bei einer gleichzeitig hohen Axialdruckfestigkeit fielen die Prüfmuster 02 „bissou 0,1 %“ und 06 „LA LACTosefreier Fruchtojoghurt“ auf, während das Prüfmuster 11 „Salzburger Land DESSERTJOGHURT“ eine für seine Masse unterdurchschnittlich niedrige Höchstaxialdruckkraft besaß. Insgesamt war aufgrund der gleichmäßigen Verteilung der Ergebnisse für die Axialdruckfestigkeit über den gesamten Massebereich keine Korrelation der Werte erkennbar.

Zusammenhang zwischen Masse und Bruchfallhöhe

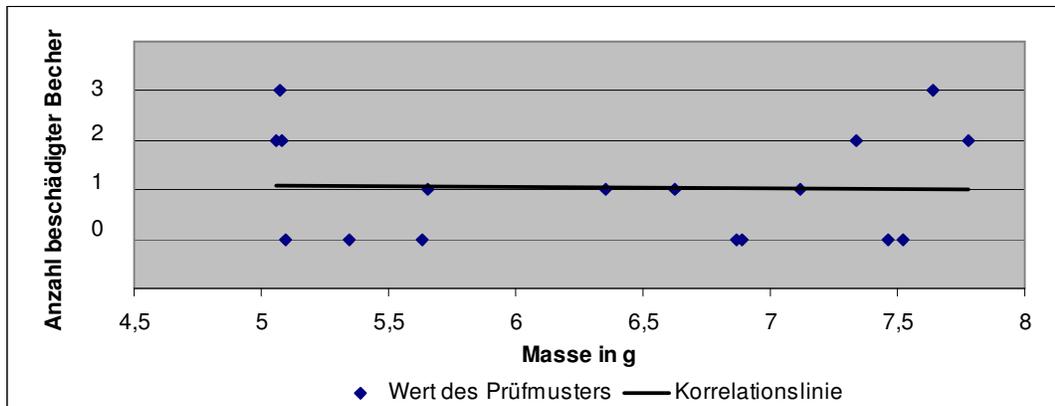


Abbildung 145: Zusammenhang zwischen Masse und Bruchfallhöhe – Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17)

Die Anzahl der beschädigten Einzelproben der Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17) war gleichmäßig über den gesamten Massenbereich verteilt. Sowohl Becher mit niedriger als auch solche mit hoher Masse wiesen keine, eine oder mehrere Deformationen der Einzelproben auf. Es war kein Zusammenhang zwischen der Masse und der Anzahl der beschädigten Becher erkennbar.

4.4 Joghurtbecher mit Füllvolumen 200 g

4.4.1 Allgemeine Eigenschaften

Bestimmung der Masse

Tabelle 22: Masse – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Bestimmung der Masse in g						
Prüf- muster	Masse gesamt		Kunststoffbecher		Kartonbanderole	
	MW	s	MW	s	MW	s
18	5,191	0,301	-	-	-	-
19	6,621	0,081	-	-	-	-
20	6,526	0,279	-	-	-	-
21	7,195	0,243	-	-	-	-
22	7,289	0,097	-	-	-	-
23	7,341	0,102	-	-	-	-
24	8,481	0,264	3,961	0,075	4,520	0,094
25	5,801	0,353	-	-	-	-
26	7,578	0,285	-	-	-	-
27	6,825	0,267	-	-	-	-
28	5,414	0,199	-	-	-	-
29	5,453	0,174	-	-	-	-
30	6,479	0,118	-	-	-	-
31	8,433	0,239	4,007	0,049	4,435	0,085
32	8,260	0,183	3,895	0,083	4,461	0,100
33	7,597	0,287	-	-	-	-
34	8,536	0,266	-	-	-	-
35	5,895	0,136	-	-	-	-
36	8,448	0,201	3,904	0,052	4,536	0,079
37	8,184	0,105	3,583	0,031	4,643	0,800
MW	7,077		3,870		4,519	
MIN	5,191		3,583		4,435	
MAX	8,536		4,007		4,643	

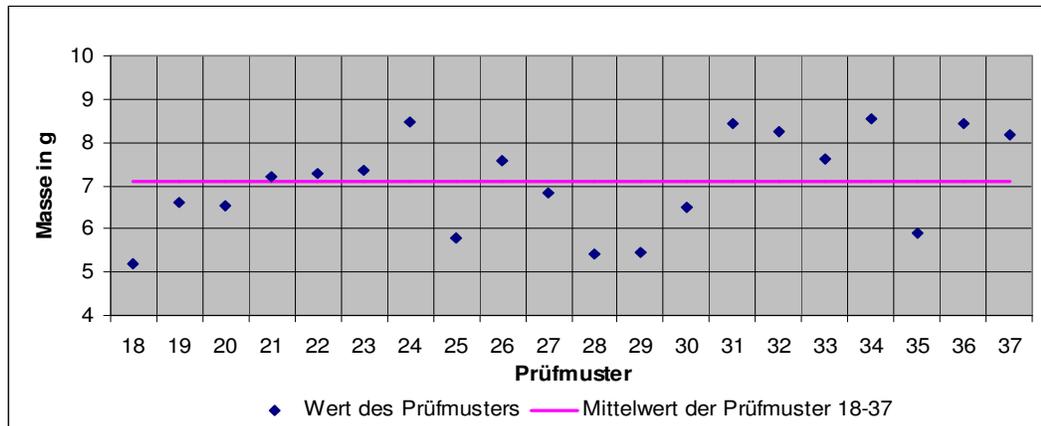


Abbildung 146: Masse; gesamter Becher - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Die Prüfmuster 18-37 lieferten Massen zwischen 5,191 und 8,536 g, wobei neun Becher in einem Bereich von ± 1 g vom berechneten Mittelwert mit 7,077 g lagen. Eine besonders niedrige Masse zeigten die Prüfmuster 18 „clever“, 28 „milfina Sahne Dessert“ und 29 „Milki Mumm“ mit Werten unter 5,5 g. Die Prüfmuster 24 „ja! Natürlich Joghurt“, 31 „NATUR aktiv Bio Joghurt“, 32 „nöm fasten natur joghurt“, 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“, 36 „SPAR Natur pur Joghurt“ und 37 „zurück zum Ursprung REICHENSTEINER BERGBAUERN JOGHURT“ fielen hingegen durch eine Masse über 8 g auf.

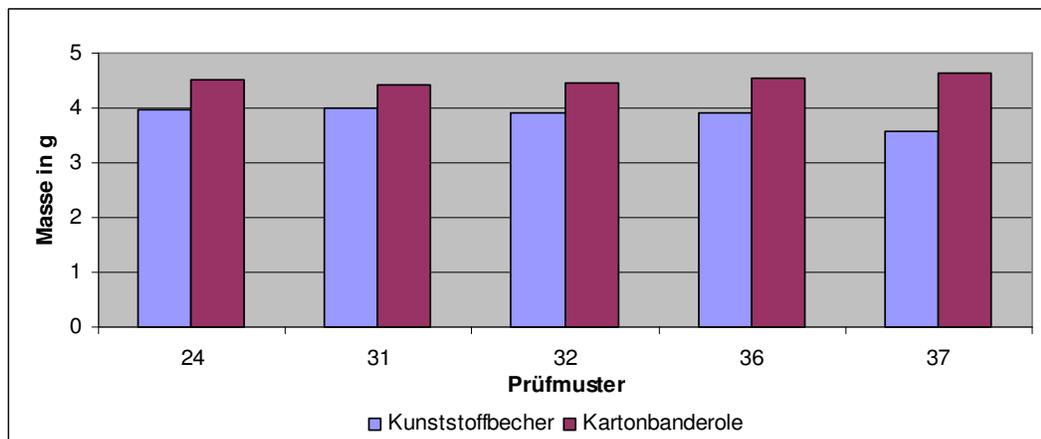


Abbildung 147: Masse; getrennt nach Fraktionen - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Bei Betrachtung der K3-Verbundbecher mit Füllvolumen 200 g wurde bei sämtlichen Joghurtbechern eine etwas höhere Masse der Karton-Fraktion festgestellt. Sowohl die

Kartonbanderole als auch der Kunststoffbecher zeigten bei allen Bechern sehr ähnliche Werte. Das Prüfmuster 37 „zurück zum Ursprung REICHENSTEINER BERG-BAUERN JOGHURT“ fiel durch eine etwas niedrigere Masse für die Kunststoff-Fraktion auf.

Bestimmung der Dicke

Tabelle 23: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Bestimmung der Wanddicke in μm						
Prüf- muster	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3	
	MW	s	MW	s	MW	s
18	224	6	205	4	172	4
19	260	11	248	6	221	4
20	288	7	256	3	288	4
21	269	3	309	9	299	7
22	276	9	245	9	219	2
23	315	12	310	5	352	9
24	491	1	483	2	461	3
25	232	8	223	2	212	8
26	298	4	298	6	278	4
27	263	9	252	7	250	9
28	256	7	226	3	181	2
29	262	3	231	11	188	4
30	261	6	238	5	213	7
31	456	7	440	9	439	5
32	462	12	513	4	517	1
33	288	5	270	2	284	5
34	286	6	260	9	356	1
35	238	9	253	3	212	1
36	503	3	465	5	458	7
37	489	2	481	4	488	4
MW	321		310		304	
MIN	224		205		172	
MAX	503		513		517	

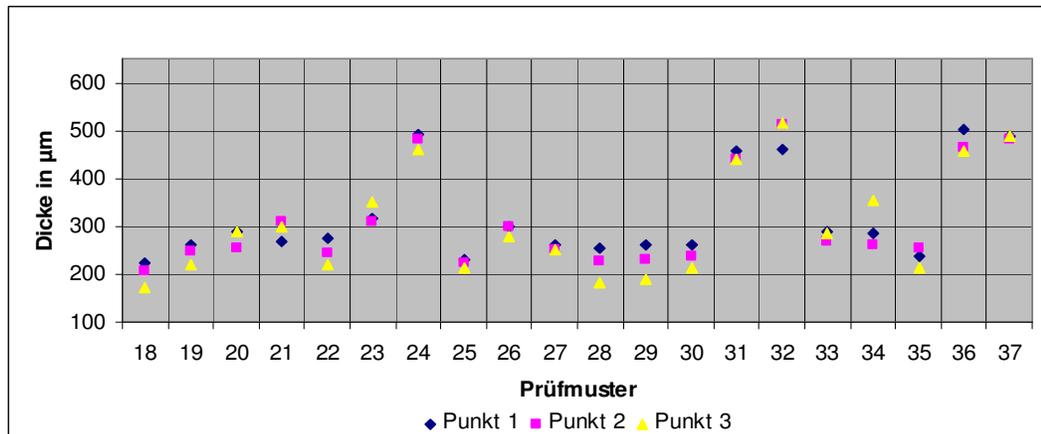


Abbildung 148: Wanddickenbestimmung (Einzelpunkte) - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Bei der Ermittlung der Einzelpunkte für die Wanddickenbestimmung lagen sämtliche Joghurtbecher (Prüfmuster 01-17) in einem Schwankungsbereich unter 100 µm. Bei den Prüfmustern 27 „Milbona Schlagobers“ und 37 „zurück zum Ursprung REICHENSTEINER BERGBAUERN JOGHURT“ betrug diese Differenz weniger als 15 µm. Ein Wanddickenverlauf mit einem Schwankungsbereich von über 70 µm zwischen den Einzelpunkten zeigte sich bei den Prüfmustern 28 „milfina Sahne Dessert“, 29 „Milki Mumm“ und 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“.

Tabelle 24: Bestimmung der Bodendicke – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Bestimmung der Bodendicke in µm						
Prüf- muster	Bodendicke gesamt		Kunststoff-Fraktion		Karton-Fraktion	
	MW	s	MW	s	MW	s
18	507	12	-	-	-	-
19	651	14	-	-	-	-
20	1.043	6	-	-	-	-
21	706	15	-	-	-	-
22	965	13	-	-	-	-
23	427	8	-	-	-	-
24	861	7	495	7	356	2
25	635	9	-	-	-	-
26	715	13	-	-	-	-
27	571	5	-	-	-	-
28	578	12	-	-	-	-
29	589	6	-	-	-	-
30	761	9	-	-	-	-
31	411	14	411	14	-	-

Bestimmung der Bodendicke in μm						
Prüf- muster	Bodendicke gesamt		Kunststoff-Fraktion		Karton-Fraktion	
	MW	s	MW	s	MW	s
32	391	13	391	13	-	-
33	680	8	-	-	-	-
34	1.173	5	-	-	-	-
35	599	7	-	-	-	-
36	695	13	431	15	352	3
37	735	7	323	6	335	3
MW	685		410		348	
MIN	391		323		335	
MAX	1.173		495		356	

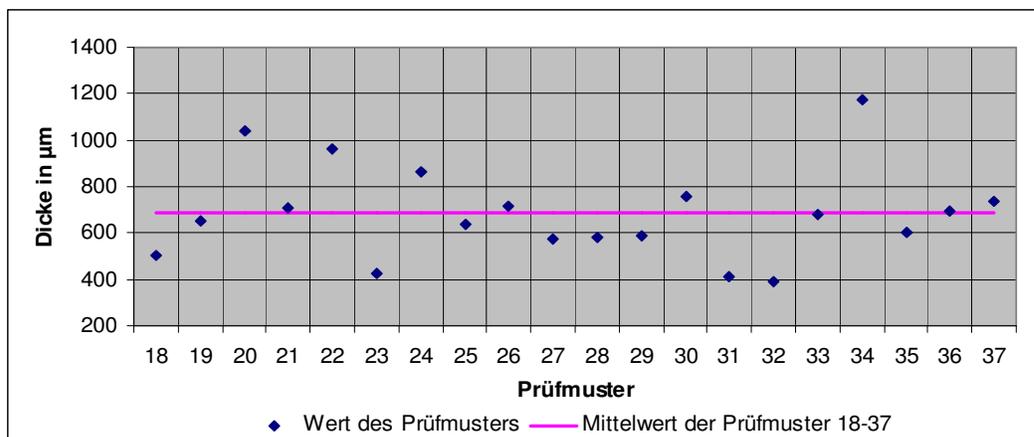
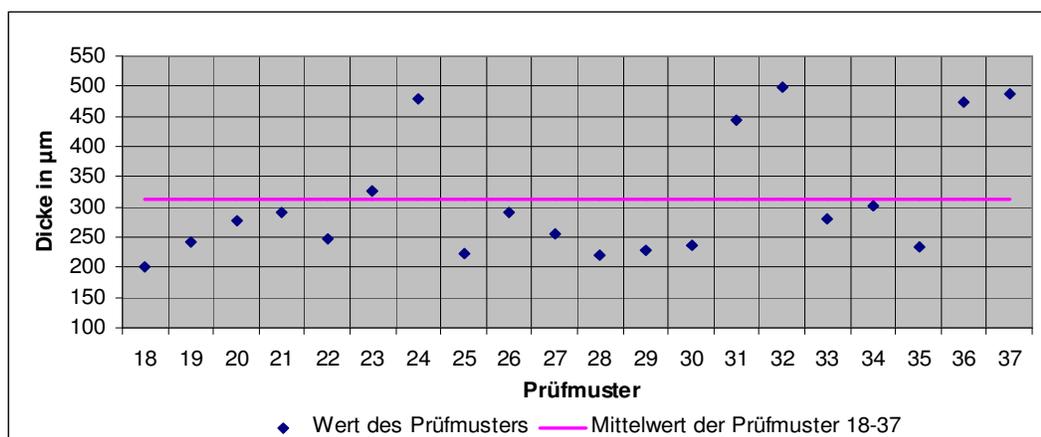


Abbildung 149: Bodendicke - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Die Bodendicke der Prüfmuster 18-37 lag zwischen 391 und 1.173 μm , wobei sich 14 Joghurtbecher in einem Bereich von ± 200 μm vom berechneten Mittelwert mit 685 μm befanden. Die Prüfmuster 20 „Desira PREMIUM-JOGHURT“, 22 „Ehrmann Grand Dessert“ und 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“ fielen durch eine Dicke über 885 μm auf. Die Prüfmuster 23 „Fri Fru“, 31 „NATUR aktiv Bio Joghurt“ und 32 „nöm fasten natur joghurt“ zeigten hingegen Werte unter 485 μm .

**Tabelle 25: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) – Joghurtbecher
(Prüfmuster 18-37)**

Bestimmung der Wanddicke (Mittelwert aus Punkt 1-3) in μm						
Prüf- muster	gesamter Becher		Kunststoffbecher		Kartonbanderole	
	MW	s	MW	s	MW	s
18	200	26	-	-	-	-
19	243	20	-	-	-	-
20	277	18	-	-	-	-
21	292	21	-	-	-	-
22	247	29	-	-	-	-
23	326	23	-	-	-	-
24	478	16	155	22	314	7
25	222	10	-	-	-	-
26	291	12	-	-	-	-
27	255	7	-	-	-	-
28	221	38	-	-	-	-
29	227	37	-	-	-	-
30	237	24	-	-	-	-
31	445	10	145	9	295	4
32	497	31	173	46	290	4
33	281	10	-	-	-	-
34	301	50	-	-	-	-
35	234	21	-	-	-	-
36	475	24	139	16	328	5
37	486	4	156	8	325	6
MW	312		153		310	
MIN	200		139		290	
MAX	497		173		328	



**Abbildung 150: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) gesamter Becher -
Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)**

Bei der Bestimmung der durchschnittlichen Wanddickenverteilung zeigten 15 von 20 Prüfmuster Werte zwischen 200 und 350 μm . Die Prüfmuster 24 „ja! Natürlich Joghurt“, 31 „NATUR aktiv Bio Joghurt“, 32 „nöm fasten natur joghurt“, 36 „SPAR Natur pur Joghurt“ und 37 „zurück zum Ursprung REICHENSTEINER BERG-BAUERN JOGHURT“ fielen durch eine durchschnittliche Wanddicke von über 445 μm auf.

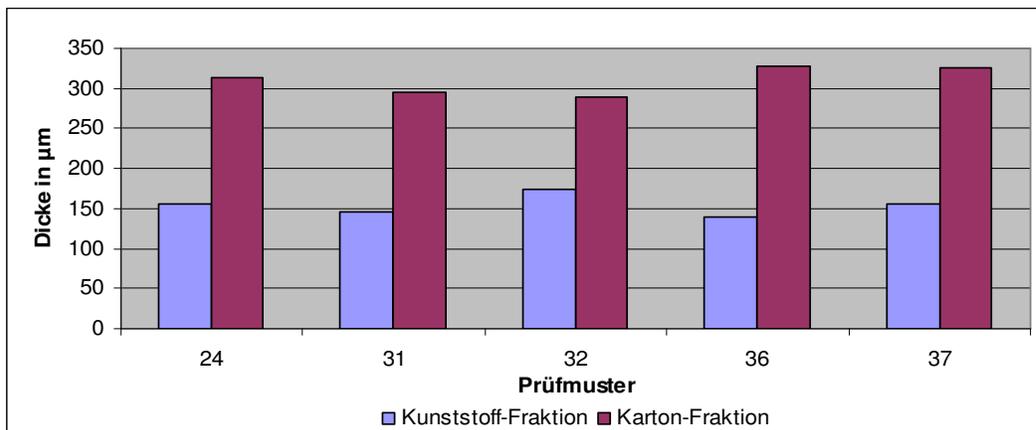


Abbildung 151: Wanddickenbestimmung (Mittelwert aus Punkt 1-3) getrennt nach Fraktionen - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Die durchschnittliche Wanddicke der K3-Verbundbecher mit Füllvolumen 200 g zeigte für die Kunststoff-Fraktion Dicken im Bereich von 150 μm und für die Karton-Fraktion Werte im Bereich von 300 μm . Die Prüfmuster 31 „NATUR aktiv Bio Joghurt“ und 32 „nöm fasten natur joghurt“, welche keinen mit Karton verstärkten Boden aufwiesen, besaßen eine Wanddicke der Karton-Fraktion unter 300 μm .

4.4.2 Mechanische Eigenschaften

Bestimmung der Axialdruckfestigkeit

Tabelle 26: Axialdruckfestigkeit – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Bestimmung der Höchstaxialdruckkraft (F-max) in N		
Prüfmuster	MW	s
18	99,7	5,1
19	222,1	13,0
20	204,0	12,9
21	249,6	4,0
22	157,3	0,9
23	244,3	42,6
24	318,1	26,0
25	217,3	3,8
26	329,3	46,5
27	172,5	9,3
28	115,5	28,5
29	143,5	30,8
30	228,3	4,7
31	154,9	5,7
32	149,1	3,6
33	206,4	12,7
34	168,3	58,0
35	270,4	17,0
36	341,3	29,0
37	221,6	96,3
MW	210,7	
MIN	99,7	
MAX	341,3	

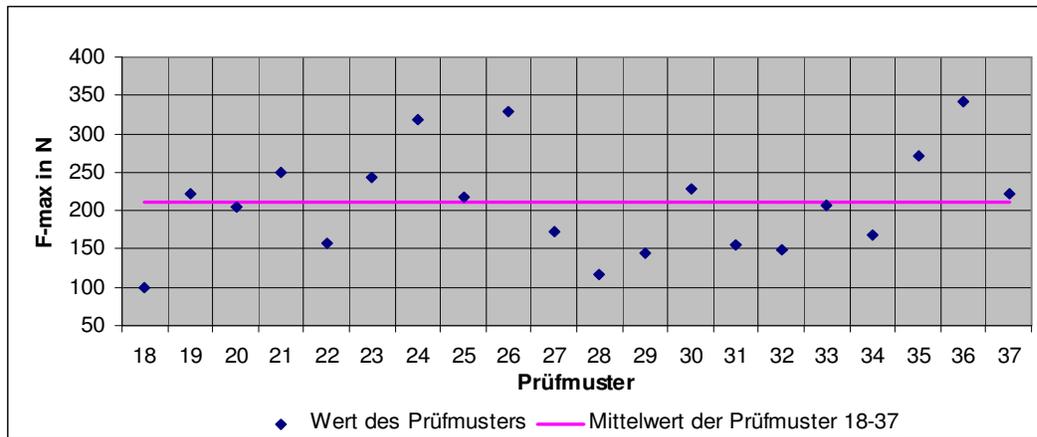


Abbildung 152: Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

16 der 20 Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37) wiesen eine Höchstaxialdruckkraft von 100 bis 300 N auf. Einen geringfügig niedrigeren Wert zeigte das Prüfmuster 18 „clever“. Durch eine Axialdruckfestigkeit von über 300 N fielen die Prüfmuster 24 „ja! Natürlich Joghurt“, 26 „Milbona Crème Fraîche“ und 36 „SPAR Natur pur Joghurt“ auf.

Bestimmung der Bruchfallhöhe

Tabelle 27: Bruchfallhöhe – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Prüfmuster	Anzahl beschädigter Becher	Fehler			
		Seite	Boden	Seite & Boden	Sockel
18	1			x	
19	1			x	
20	3			x x x	
21	0				
22	2			x x	
23	0				
24	0				
25	0				
26	0				
27	0				
28	1			x	
29	3			x x x	
30	3			x x x	
31	1	x			
32	0				
33	0				

Prüfmuster	Anzahl beschädigter Becher	Fehler			
		Seite	Boden	Seite & Boden	Sockel
34	2		x x		
35	1	x			
36	0				
37	0				

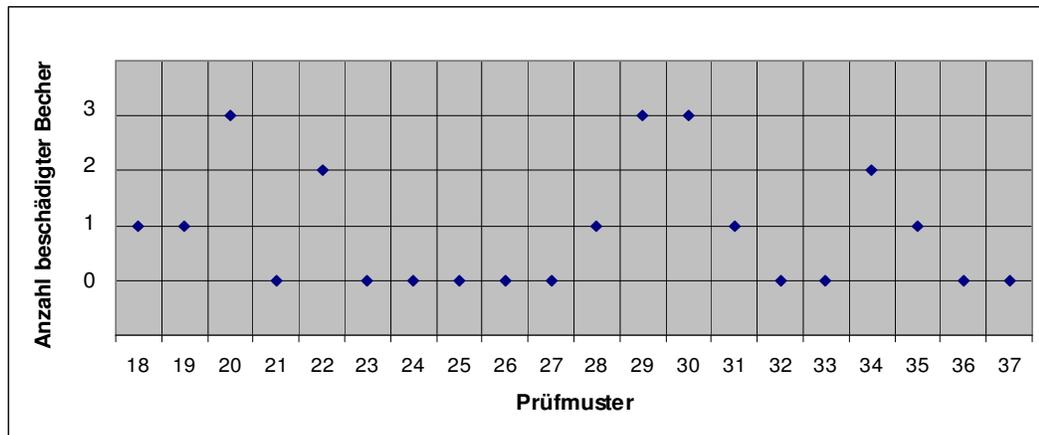


Abbildung 153: Bruchfallhöhe - Joghurtbecher (Prüfmuster (18-37))

Bei der Durchführung der Fallversuche erlitten 15 von 20 Prüfmustern keine oder eine Deformation. Die Prüfmuster 22 „Ehrmann Grand Dessert“ und 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“ wiesen jeweils zwei deformierte Einzelproben auf, während bei den Prüfmustern 20 „Desira PREMIUM-JOGHURT“, 29 „Milki Mumm“ und 30 „Monte Ravy“ alle drei geprüften Becher versagten. Die Deformationen konzentrierten sich bei den erwähnten Bechern auf den Bereich Seite und Boden. Das Prüfmuster 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“ wies Beschädigungen im Bodenbereich auf.

4.4.3 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Parametern

Zusammenhang zwischen Material und Masse

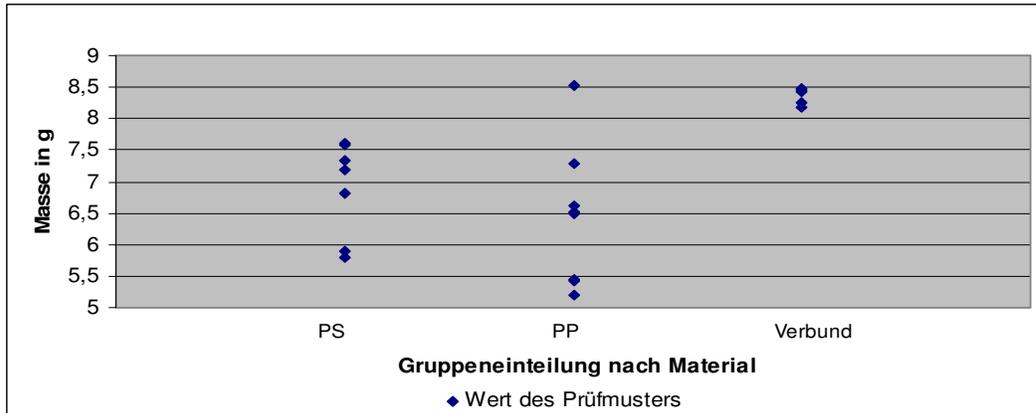


Abbildung 154: Zusammenhang zwischen Material und Masse - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Die Masse der Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37) aus PS und PP lag in einem breiten Schwankungsbereich von 5 bis etwa 8,5 g, wobei der Werkstoff PP das leichteste wie auch das schwerste Prüfmuster stellte. Die eindeutig schwersten Vertreter waren bei den K3-Verbundbechern mit Werten zwischen 8 und 8,5 g zu finden. Aufgrund der größtenteils niedrigeren Masse der Joghurtbecher aus PS und PP sowie der in einem engen Bereich liegenden Werte der K3-Verbundbecher konnte auch hier ein Zusammenhang festgestellt werden.

Zusammenhang zwischen Material und Wanddickenverteilung

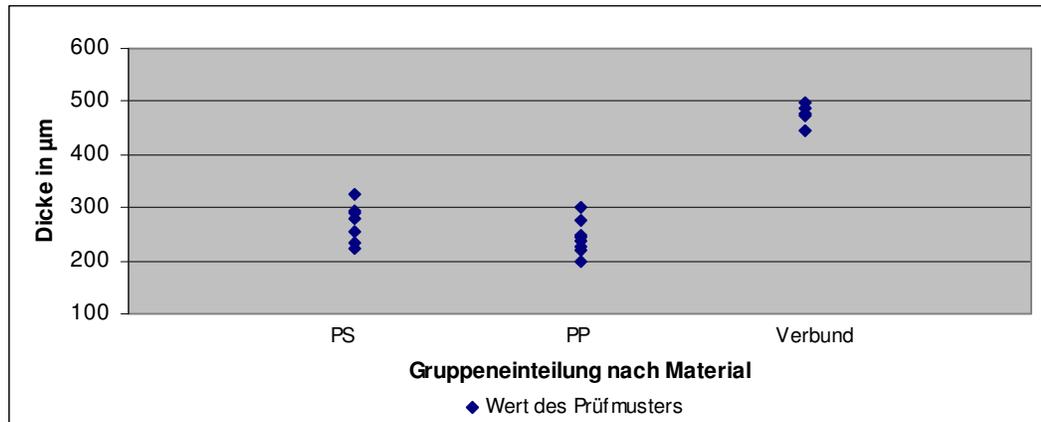


Abbildung 155: Zusammenhang zwischen Material und Wanddickenverteilung - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Bei der Betrachtung der Prüfmuster 18-37 wurde ersichtlich, dass Vertreter aus PS und PP eine deutlich niedrigere Wanddicke als K3-Verbundbecher aufwiesen. Hierbei lagen die Werte für Joghurtbecher aus PS und PP in einem Bereich von 200 bis knapp über 300 μm . K3-Verbundbecher zeigten die höchsten Wanddicken mit Werten über 400 bis annähernd 500 μm . Aufgrund dessen war ein Zusammenhang zwischen Material und Wanddicke der Joghurtbecher erkennbar.

Zusammenhang zwischen Material und Axialdruckfestigkeit

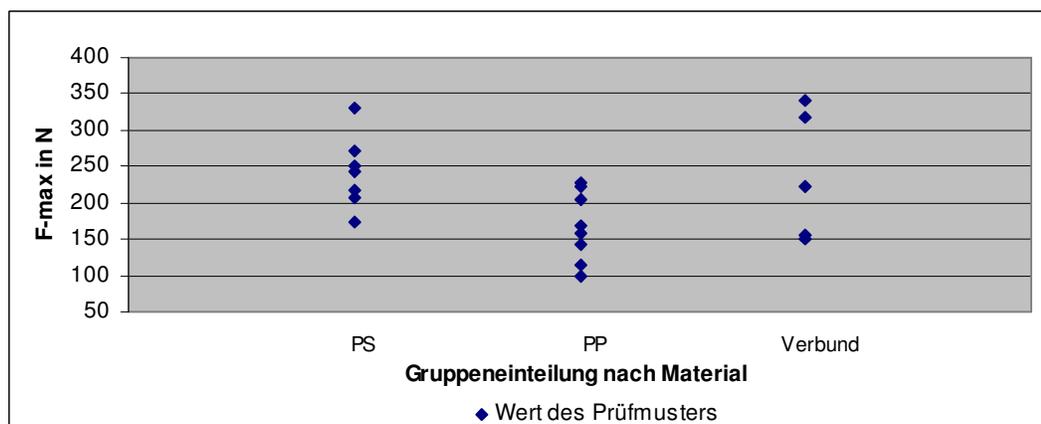


Abbildung 156: Zusammenhang zwischen Material und Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Sowohl die Joghurtbecher aus PS und PP als auch die K3-Verbundbecher zeigten eine breite Streuung der Ergebnisse. Die Vertreter aus PS und die K3-Verbundbecher waren in einem Bereich von etwa 150 bis 350 N anzutreffen. Becher aus PP waren durch niedrigere Werte für die Axialdruckfestigkeit gekennzeichnet. Da Joghurtbecher aus PP eindeutig niedrigere Werte für die Höchstaxialdruckkraft aufwiesen, konnte ein Zusammenhang zwischen Material und Axialdruckfestigkeit festgestellt werden.

Zusammenhang zwischen Material und Bruchfallhöhe

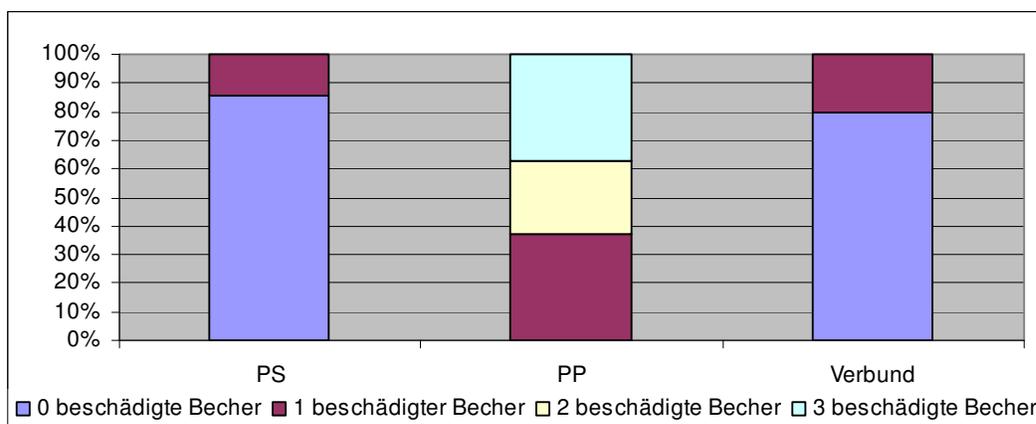


Abbildung 157: Zusammenhang zwischen Material und Bruchfallhöhe - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Die Durchführung der Fallversuche führte bei annähernd 40 % der Prüfmuster aus PP zu drei und bei etwa 20 % zu zwei deformierten Einzelproben. Kein einziges Prüfmuster wies eine vollkommen unbeschädigte Prüfreihe auf. Bei den Joghurtbechern aus PS wie auch bei den K3-Verbundbechern war bei etwa 20 % der Prüfmuster die Beschädigung eines Bechers zu verzeichnen. Aufgrund dieser Ergebnisse konnte ein Zusammenhang zwischen Material und Bruchfallhöhe erkannt werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung

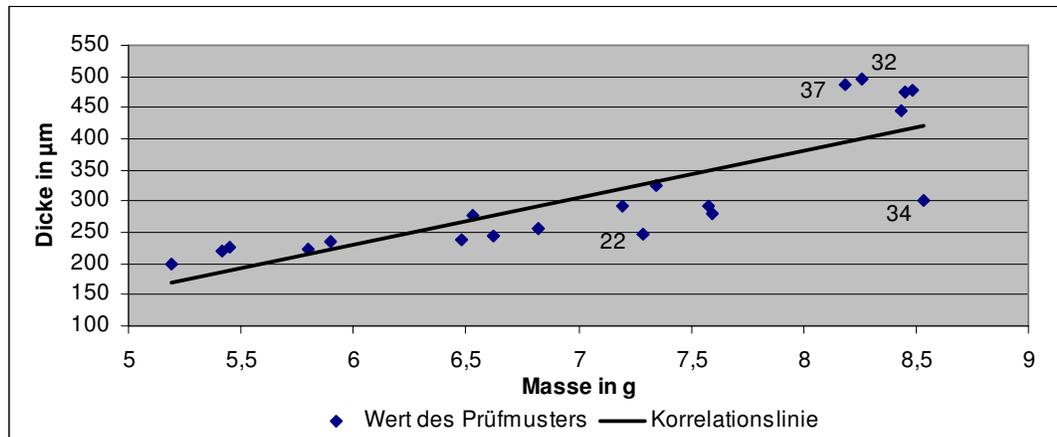


Abbildung 158: Zusammenhang zwischen Masse und Wanddickenverteilung - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Bei den Joghurtbechern (Prüfmuster 18-37) wiesen Vertreter mit einer Masse bis etwa 7,5 g Wanddicken unter 350 µm auf, während Becher mit einer Masse über 8 g hauptsächlich in einem höheren Dickenbereich anzutreffen waren. Bei einer hohen Masse über 8 g besaßen die Prüfmuster 32 „nöm fasten natur joghurt“ und 37 „zurück zum Ursprung REICHENSTEINER BERGBAUERN JOGHURT“ überdurchschnittlich hohe Werte für die Wanddicke. Das Prüfmuster 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“ fiel hingegen durch eine vergleichsweise niedrige Wanddicke auf. Auch das Prüfmuster 22 „Ehrmann Grand Dessert“ besaß eine im Bezug auf die Masse niedrige Wanddicke. Aufgrund der Korrelation der Ergebnisse für die Wanddicke mit jenen für die Masse konnte ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern erkannt werden.

Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit

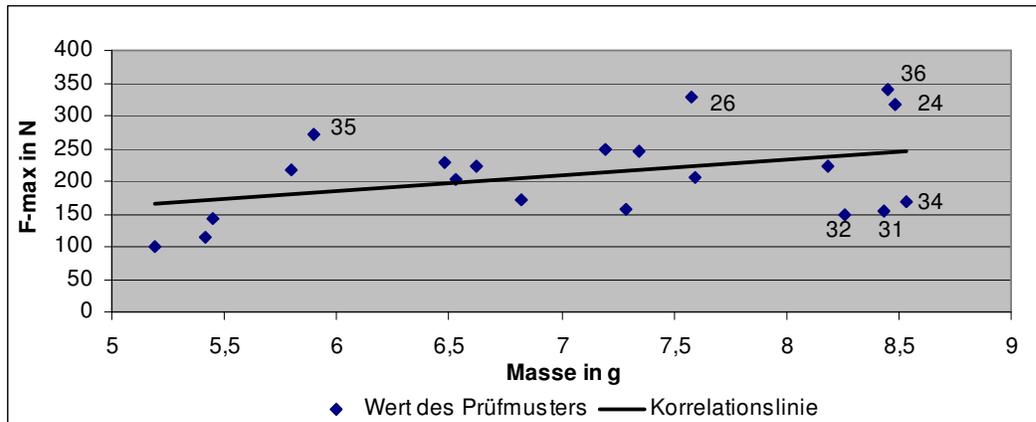


Abbildung 159: Zusammenhang zwischen Masse und Axialdruckfestigkeit - Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Der Großteil der Prüfmuster mit einer niedrigeren Masse zeigte eine niedrige Höchstaxialdruckkraft. Vertreter mit einer Masse über 7 g lieferten sowohl hohe als auch niedrige Werte für die Axialdruckfestigkeit. Die Prüfmuster 24 „ja! Natürlich Joghurt“, 26 „Milbona Crème Fraîche“, 35 „SPAR fru“ und 36 „SPAR Natur pur Joghurt“ besaßen eine für die ermittelte Masse überdurchschnittlich hohe Höchstaxialdruckkraft. Unterdurchschnittliche Werte lieferten das Prüfmuster 31 „NATUR aktiv Bio Joghurt“, 32 „nöm fasten natur joghurt“ und 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“. Im Falle der Prüfmuster 18-37 war keine Korrelation von Wanddicke und Masse feststellbar.

Zusammenhang zwischen Masse und Bruchfallhöhe

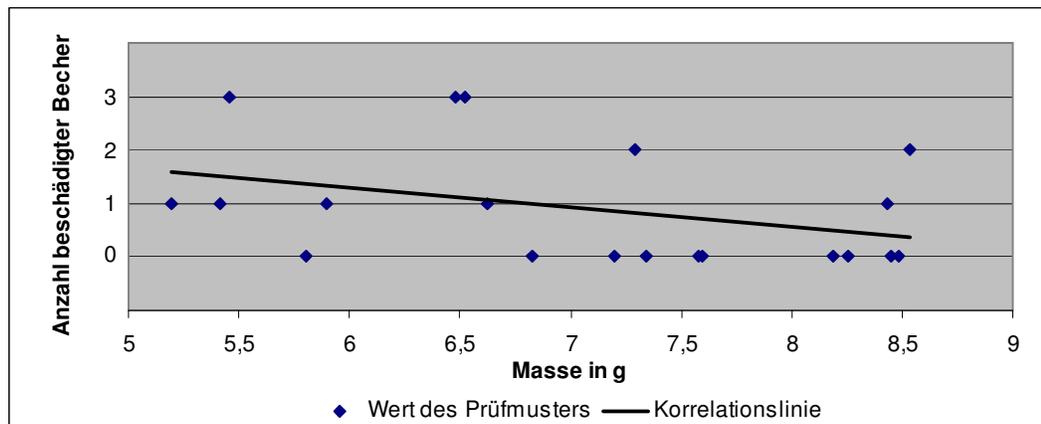


Abbildung 160: Zusammenhang zwischen Masse und Bruchfallhöhe – Joghurtbecher (Prüfmuster 18-37)

Die Einzelproben der Prüfmuster 18-37 mit einer Masse unter 6,5 g wiesen zum Teil mehrfache Deformationen auf. Ab Werten von 7 g waren kaum beschädigte Becher zu verzeichnen. Trotz Ausreißern ohne Deformationen bei einer niedrigen Masse bzw. mehrfachen Beschädigungen bei Prüfmustern mit einer hohen Masse konnte festgestellt werden, dass schwerere Becher nach der Durchführung der Fallversuchen tendenziell weniger Beschädigungen erlitten. Somit war ein Zusammenhang zwischen Masse und Bruchfallhöhe erkennbar.

4.5 Platinen

4.5.1 Subjektive Bewertung der Prüfmuster

Tabelle 28: Subjektive Bewertung – Platinen (Prüfmuster 01-37)

Subjektive Bewertung							
Prüf- muster	Anzahl beschädigter Platinen beim Abziehen vom Becher			Prüf- muster	Anzahl beschädigter Platinen beim Abziehen vom Becher		
	Rück- stände	Ein- reißen	Ab- ziehen		Rück- stände	Ein- reißen	Ab- ziehen
01	0	1	0	20	0	0	1
02	0	1	0	21	0	0	0
03	0	0	0	22	0	0	0
04	0	0	0	23	1	1	0
05	0	0	0	24	0	0	0
06	0	0	0	25	0	2	0
07	0	0	0	26	1	1	0
08	0	0	0	27	0	1	0
09	0	0	0	28	0	1	0
10	0	1	0	29	0	1	0
11	0	0	0	30	1	1	0
12	0	0	0	31	0	1	0
13	0	0	0	32	0	0	0
14	2	2	0	33	0	0	0
15	0	0	0	34	0	0	0
16	0	0	0	35	1	1	0
17	0	0	0	36	0	0	0
18	0	0	0	37	0	0	0
19	2	2	0				

Im Rahmen der subjektiven Bewertung konnten an 15 der 37 Platinen (Prüfmuster 01-37) Mängel im Handling festgestellt werden. Bei den Prüfmustern 14 „SPAR Fruchtojoghurt“ und 19 „Dany Sahne“ kam es bei der Entfernung von jeweils zwei von drei Platinen sowohl zu einem Einreißen der Deckelmembran als auch zu Rückständen am Becherrand. Das Prüfmuster 25 „LA LACTosefreier Sauerrahm“ lieferte zwei eingerissene Platinen. Bei dem Prüfmuster 20 „Desira PREMIUM-JOGHURT“ ließ sich eine Platine nur sehr schwer vom Becherrand lösen. Bei den restlichen 11 Prüfmustern handelte es sich bei den festgestellten Mängeln um das Einreißen einer Platine und/oder um einen Rückstand am Becherrand.

4.5.2 Allgemeine Eigenschaften

Bestimmung des Flächengewichts

Tabelle 29: Flächengewicht – Platinen (Prüfmuster 01-37)

Bestimmung des Flächengewichtes in mg					
Prüfmuster	MW	s	Prüfmuster	MW	s
01	294	0	21	285	1
02	300	2	22	342	2
03	417	1	23	334	2
04	269	3	24	330	0
05	329	1	25	348	0
06	347	0	26	341	3
07	210	1	27	328	1
08	310	2	28	315	1
09	287	1	29	275	1
10	288	1	30	268	0
11	297	0	31	298	2
12	292	0	32	322	1
13	273	1	33	332	1
14	287	2	34	339	2
15	268	3	35	299	1
16	293	1	36	332	3
17	326	2	37	359	1
18	310	3	MW	310	
19	292	1	MIN	210	
20	356	3	MAX	417	

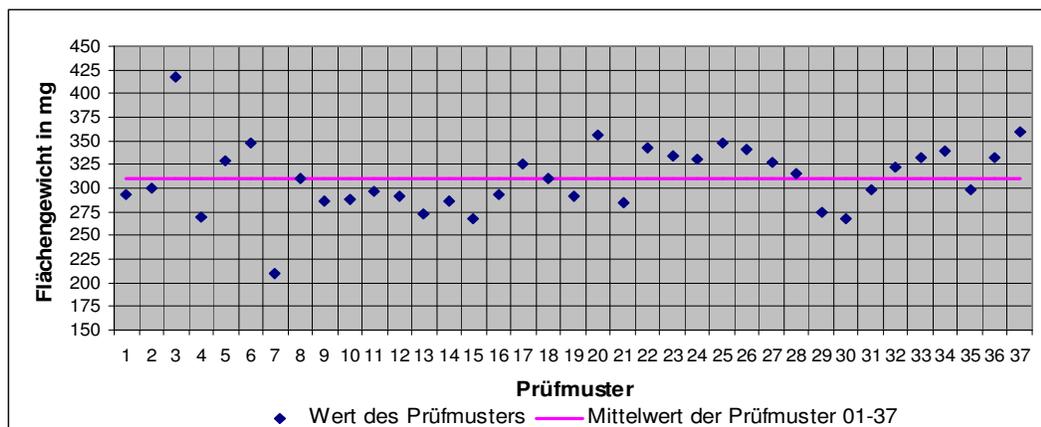


Abbildung 161: Flächengewicht - Platinen (Prüfmuster 01-37)

Wie aus der Abbildung ersichtlich, lagen die ermittelten Werte für das Flächengewicht bei 35 der 37 Platinen zwischen 260 und 360 mg und somit in einem Bereich von ± 50 mg vom berechneten Mittelwert mit 310 mg. Ein besonders niedriges Flächengewicht zeigte das Prüfmuster 07 „Milbona Joghurt mild 3,5 %“ mit 210 mg, während das Prüfmuster 03 „Emmi ALOE VERA“ durch einen Wert von über 400 mg auffiel.

Bestimmung der Dicke

Tabelle 30: Dickenbestimmung – Platinen (Prüfmuster 01-37)

Bestimmung der Foliendicke in μm					
Prüfmuster	MW	s	Prüfmuster	MW	s
01	59	0	21	63	2
02	58	3	22	61	0
03	63	2	23	49	1
04	60	2	24	53	1
05	49	3	25	49	2
06	48	1	26	109	0
07	58	2	27	50	3
08	71	2	28	123	2
09	63	1	29	112	1
10	55	0	30	105	2
11	61	2	31	77	2
12	64	0	32	50	3
13	60	2	33	52	3
14	75	1	34	109	1
15	64	1	35	61	3
16	62	3	36	49	2
17	80	2	37	57	2
18	95	3	MW	69	
19	110	1	MIN	48	
20	60	3	MAX	123	

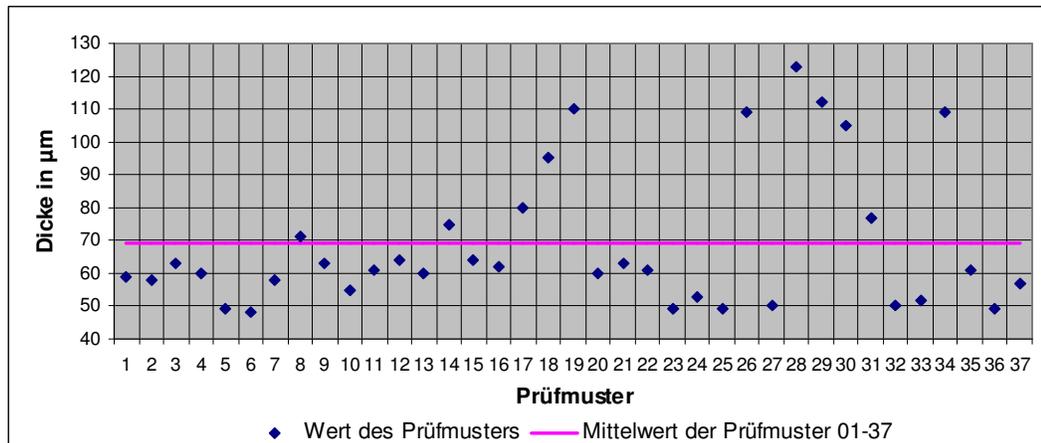


Abbildung 162: Dickenbestimmung - Platinen (Prüfmuster 01-37)

Die Platinen der Prüfmuster 01-37 zeigten bei der Dickenbestimmung einen sehr hohen Schwankungsbereich von 48 µm bei dem Prüfmuster 06 „LA LACTosefreier Fruchtjoghurt“ bis hin zu 123 µm bei dem Prüfmuster 28 „milfina Sahne Dessert“. 16 der 37 Platinen lagen in einem Bereich von ± 10 µm vom berechneten Mittelwert mit 69 µm, wobei 13 Prüfmuster niedrigere und acht Prüfmuster höhere Werte aufwiesen. Durch eine hohe Platinendicke von über 100 µm fielen die Prüfmuster 19 „Dany Sahne“, 26 „Milbona Crème Fraîche“, 28 „milfina Sahne Dessert“, 29 „Milki Mumm“, 30 „Monte Ravy“ und 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“ auf.

4.5.3 Mechanische Eigenschaften

Bestimmung der Weiterreißfestigkeit

Tabelle 31: Weiterreißfestigkeit – Platinen (Prüfmuster 01-37)

Bestimmung des Weiterreißwiderstandes in N/mm					
Prüfmuster	MW	s	Prüfmuster	MW	s
01	1.698,38	255,16	21	1.577,60	156,60
02	2.185,08	50,61	22	2.453,48	166,21
03	781,19	49,25	23	1.407,51	125,18
04	1.778,10	95,24	24	1.526,98	128,51
05	1.449,57	106,31	25	1.275,32	98,85
06	1.189,46	34,36	26	1.188,87	54,91
07	932,73	139,24	27	1.566,08	81,83
08	1.092,79	106,90	28	799,12	90,47

Bestimmung des Weiterreißwiderstandes in N/mm					
Prüfmuster	MW	s	Prüfmuster	MW	s
09	1.652,07	13,67	29	928,31	43,91
10	1.649,86	116,91	30	1.031,68	5,60
11	1.599,60	105,06	31	1.546,12	39,53
12	1.510,81	332,14	32	1.325,58	159,75
13	1.656,98	200,21	33	1.345,09	182,87
14	1.294,70	129,53	34	1.322,36	12,12
15	1.859,22	56,88	35	1.397,76	124,69
16	1.699,51	224,82	36	1.386,59	169,03
17	1.289,13	78,65	37	1.172,30	41,27
18	1.151,05	85,35	MW	1.406,95	
19	971,90	63,86	MIN	781,19	
20	1.364,23	68,19	MAX	2.453,48	

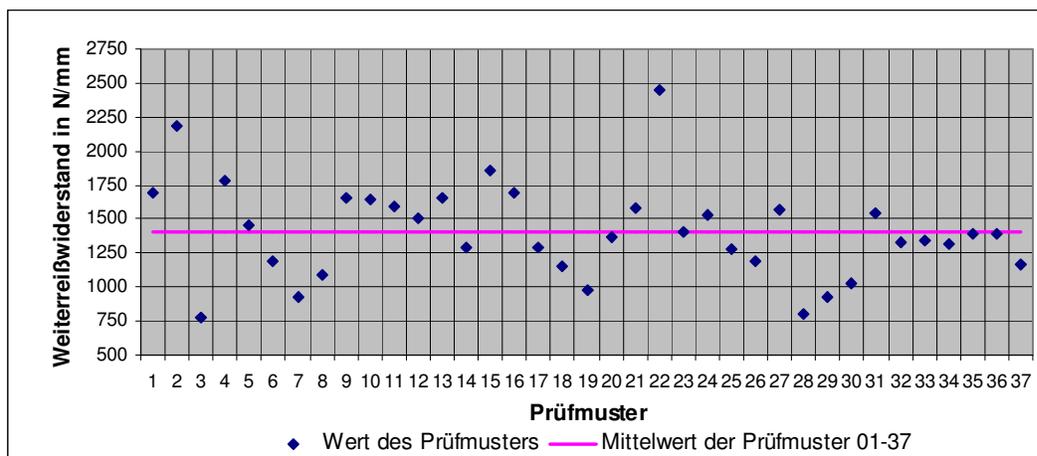


Abbildung 163: Weiterreißfestigkeit - Platinen (Prüfmuster 01-37)

Die Werte für die Weiterreißfestigkeit lagen bei 33 der 37 Platinen in einem Bereich von ± 500 N/mm vom berechneten Mittelwert mit 1.406,95 N/mm. Einen niedrigen Weiterreißwiderstand zeigten die Prüfmuster 03 „Emmi ALOE VERA“ und 28 „milfina Sahne Dessert“. Sehr hohe Werte über 2000 N/mm erzielten die Prüfmuster 02 „bissou 0,1 %“ und 22 „Ehrmann Grand Dessert“.

4.5.4 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Parametern

Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Rückstände der Platinen beim Abziehen vom Becher

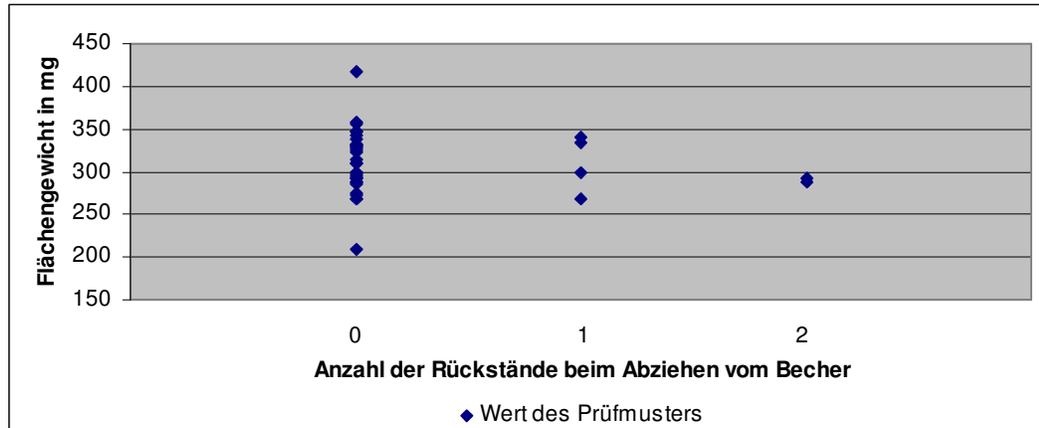


Abbildung 164: Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Rückstände der Platinen beim Abziehen vom Becher - Platinen (Prüfmuster 01-37)

Im Rahmen der subjektiven Beurteilung der Platinen (Prüfmuster 01-37) verblieben bei zwei Prüfmustern bei der Entfernung von jeweils zwei der drei Deckelmembranen Rückstände am Becherrand. Bei vier Prüfmustern kam es zu jeweils einem Rückstand. Alle Rückstände traten bei Platinen mit einem Flächengewicht zwischen 250 und 350 mg auf. Da der Großteil der Becher, welcher keine Rückstände aufwies, im selben Massenbereich lag, war kein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Rückstände beim Abziehen vom Becher und dem Flächengewicht erkennbar.

Zusammenhang zwischen Flächengewicht und der Anzahl von eingerissenen Platinen beim Abziehen vom Becher

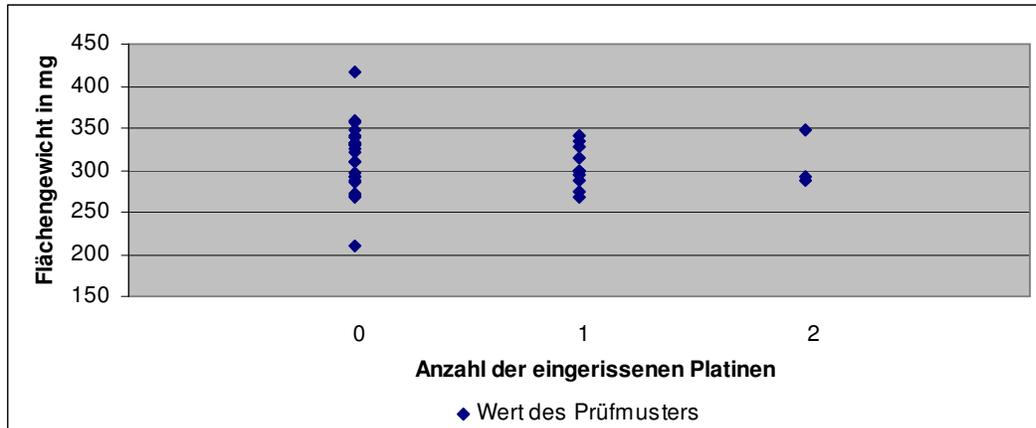


Abbildung 165: Zusammenhang zwischen Flächengewicht und der Anzahl von eingerissenen Platinen beim Abziehen vom Becher - Platinen (Prüfmuster 01-37)

Bei der Ermittlung der Anzahl an eingerissenen Platinen beim Abziehen vom Becher kam es in drei Fällen zu zwei und in 11 Fällen zu einer eingerissenen Deckelmembran. Das Flächengewicht der beschädigten Deckelmembranen befand sich dabei im selben Wertebereich wie jenes der unbeschädigten Prüfmuster. Somit konnte auf keinen Zusammenhang der beiden ermittelten Parameter geschlossen werden.

Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Abziehverhalten

Mit Ausnahme des Prüfmusters 20 „Desira PREMIUM-JOGHURT“ zeigten sämtliche Platinen (Prüfmuster 01-37) ein gutes Abziehverhalten. Da sich nur eine Deckelmembran schwer vom Becherrand lösen ließ und das Flächengewicht dieser Platine nahe am berechneten Mittelwert lag, konnte kein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern nachgewiesen werden.

Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Foliendicke

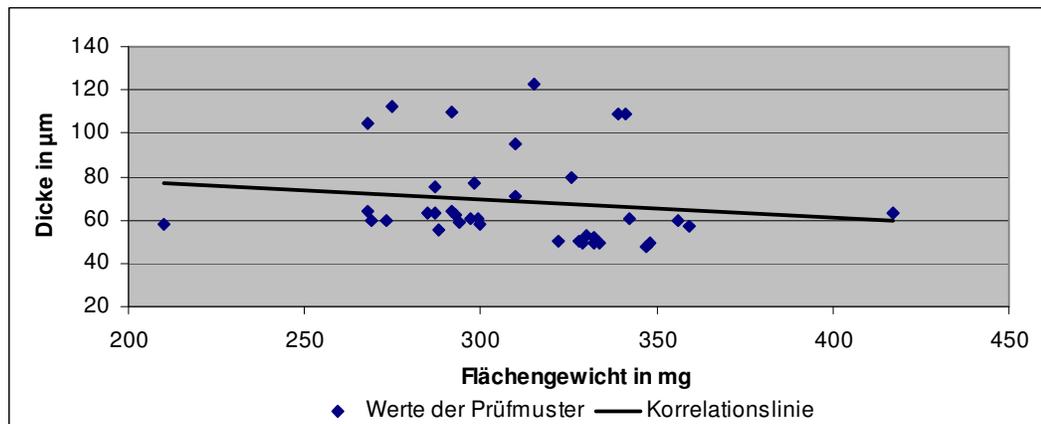


Abbildung 166: Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Dicke - Platinen (Prüfmuster 01-37)

Bei den Platinen (Prüfmuster 01-37) befand sich das Flächengewicht der Mehrheit der untersuchten Prüfmuster in einem Wertebereich von 250 bis 350 mg. Bei den Platinen mit einer Foliendicke unter 80 µm zeigten Vertreter mit einem höheren Flächengewicht eine niedrigere und Platinen mit einem niedrigeren Flächengewicht eine höhere Foliendicke. Prüfmuster mit Foliendicken über 80 µm lieferten sowohl niedrige als auch hohe Werte für das Flächengewicht. Somit konnte bei Vertretern mit einer niedrigen Foliendicke eine Korrelation mit dem Flächengewicht festgestellt werden, wohingegen bei Platinen mit höheren Werten für die Foliendicke kein Zusammenhang mit dem Flächengewicht bestand.

Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Weiterreißfestigkeit

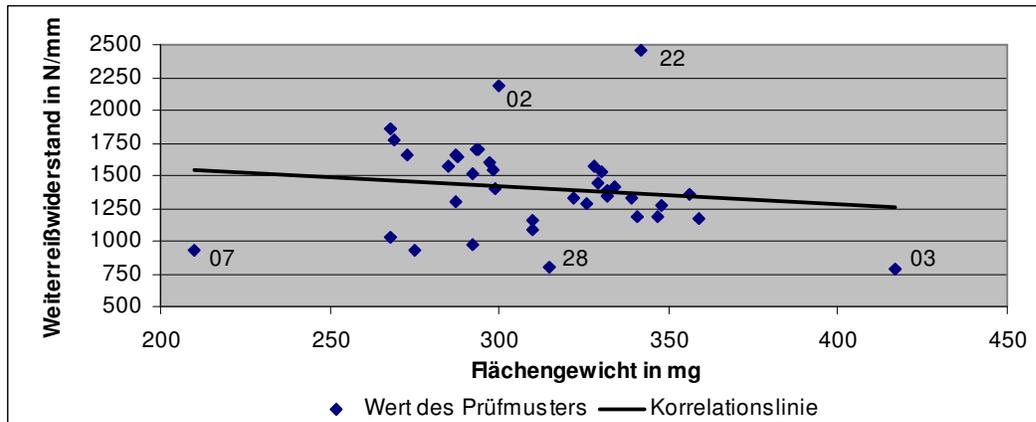


Abbildung 167: Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Weiterreißfestigkeit - Platinen (Prüfmuster 01-37)

Die Werte für die Weiterreißfestigkeit befanden sich bei dem Großteil der untersuchten Prüfmuster, unabhängig von dem ermittelten Flächengewicht, in einem Bereich von 1.000 bis 1.750 N/mm. Eine für das ermittelte Flächengewicht überdurchschnittlich hohe Weiterreißfestigkeit besaßen die Prüfmuster 02 „bissou 0,1 %“, 04 „ja! Natürlich Pudding“ und 22 „Ehrmann Grand Dessert“. Die Prüfmuster 03 „Emmi ALOE VERA“, 07 „Milbona Joghurt mild 3,5 %“ und 28 „milfina Sahne Dessert“ zeigten hingegen mit einer Weiterreißfestigkeit unter 1.000 N/mm ein unterdurchschnittliches Ergebnis. Insgesamt konnte ein Trend zu einer höheren Weiterreißfestigkeit bei Prüfmustern mit einem niedrigeren Flächengewicht bemerkt werden.

Zusammenhang zwischen Durchmesser und Flächengewicht

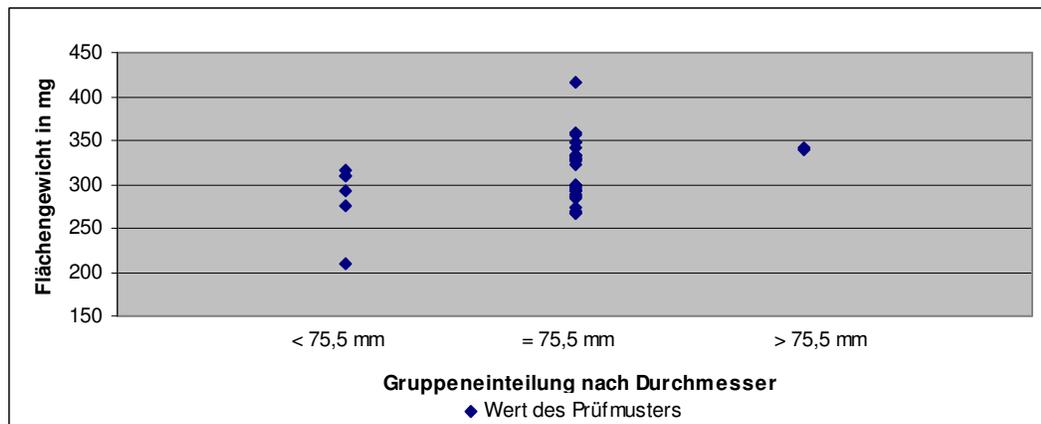


Abbildung 168: Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Durchmesser – Platinen (Prüfmuster 01-37)

Bei den Prüfmustern 01-37 wurde bei Betrachtung eines Zusammenhanges zwischen Durchmesser und Flächengewicht ersichtlich, dass Deckelmembranen mit einem Durchmesser von 75,5 mm ein höheres Flächengewicht als Vertreter mit einem geringeren Durchmesser aufwiesen. Das Flächengewicht von Platinen mit einem höheren Durchmesser war mit jenem der Vertreter mit einem Durchmesser von 75,5 mm vergleichbar und dementsprechend höher als jenes von Platinen mit einem geringeren Durchmesser. Folglich konnte auf einen Zusammenhang zwischen dem Durchmesser der Deckelmembran und dem ermittelten Flächengewicht geschlossen werden.

5 Diskussion

Durch gesellschaftliche Veränderungen und neue, moderne Konsumgewohnheiten mit einem zunehmenden Wunsch nach Convenience gewinnen kleine, variable Portionsgrößen immer mehr an Bedeutung. Einerseits entsteht durch die Abstimmung der Packmittel auf die Kundenbedürfnisse weniger Lebensmittelabfall, andererseits erhöht sich jedoch der Verpackungsabfall, der entsorgt werden muss. Daher muss nach Lösungen gesucht werden, um die Abfallmenge möglichst gering zu halten. Eine Möglichkeit, um der Abfallproblematik zu begegnen, liegt in einem vermehrten Einsatz von gewichtsreduzierten Verpackungen.

Im Rahmen der Diplomarbeit sollen durch die Angabe von Daten und Fakten die in der Fragestellung aufgeworfenen Fragen beantwortet werden. Hierfür wird durch die Auswertung der erhobenen Messwerte ein Überblick über die derzeitigen Marktlösungen sowie noch nicht im Einzelhandel erhältliche Lightweight-Verpackungen geliefert. In weiterer Folge wird abgeschätzt, in welchen Bereichen ein Einsparpotenzial vorhanden ist oder ob das Limit des Materialeinsatzes bereits erreicht ist. Zudem werden Lösungsansätze aufgezeigt, durch welche weitere Verbesserungen erzielt werden können.

PET-Flaschen

Eine Veröffentlichung von KIRIN BEVERAGE CO., LTD. zeigt, dass durch eine Veränderung des Flaschendesigns eine Materialeinsparung von 30 % bei hoher Stabilität und Verbraucherfreundlichkeit möglich ist. Der Originalbehälter mit einem Füllvolumen von 2 L lag vor der Materialreduktion mit 62 g im mittleren Gewichtsbereich der in Japan erhältlichen PET-Flaschen für Teeprodukte. Durch die Optimierung des Behälterdesigns konnte das Flaschengewicht auf 42 g gesenkt werden. [YOSHIMURA et al., 2006]. Insgesamt wurde eine jährliche Materialeinsparung von 4.500 Tonnen PET-Rohmaterial erzielt [MITSUBISHI MONITOR, 2007].

Aus der Literatur geht hervor, dass eine Materialeinsparung jedoch auch unter Beibehalten der ursprünglichen Flaschenform, ohne Einbußen in der Kundenzufriedenheit und der Stabilität, erreicht werden kann.

Dies zeigt ein Projekt, durchgeführt von WRAP und Esterform Packaging, in welchem der Materialeinsatz durch die Entwicklung eines neuen Preform-Designs ohne Veränderungen der ursprünglichen Flaschendimensionen verringert werden konnte. Die Originalbehälter lagen vor der Optimierung im mittleren Gewichtsbereich der in Großbritannien erhältlichen PET-Flaschen. An der 2 L PET-Flasche eines bedeutenden Softdrink-Herstellers konnte eine Gewichtsoptimierung von 42 auf 40 g, gleichbedeutend einer Materialersparnis von 4,8 %, erzielt werden. Die 500 ml PET-Flasche von Radnor Hills Waters wurde von 25 auf 20 g optimiert, was einer Materialeinsparung von 20 % entspricht. Die dadurch erzielten Einsparungen beliefen sich auf 250 Tonnen PET-Rohmaterial [WRAP (2), 2007].

Auch aus einem weiteren Projekt, durchgeführt von WRAP und Coca-Cola Enterprises, geht hervor, dass das Ausgangsgewicht bei 500 ml Flaschen ohne eine Veränderung des Flaschendesigns um 7,5 % verringert werden konnte. Durch ein neues Preformdesign wurde eine Gewichtsreduktion von 26 auf 24 g erzielt. Bei einer vollständigen Umsetzung des Projektes ist mit Einsparungen von 1.400 Tonnen PET pro Jahr zu rechnen [WRAP (3), 2007].

Wie groß diese Materialersparnis wirklich ist, soll anhand folgender Zahlen anschaulich gemacht werden. Pro Tonne PET-Rohmaterial ist die Herstellung von 47.500 500 ml Flaschen zu 21 g bzw. 28.500 1,5 L Flaschen zu 35 g, entsprechend den in dieser Arbeit ermittelten Mittelwerten für die jeweiligen Füllvolumina, möglich. Somit liefert bereits eine geringe Verringerung des Materialeinsatzes der Einzelverpackung bedeutende ökonomische und ökologische Vorteile, welche von der Beschaffung der Rohstoffe bis hin zur Entsorgung reichen. Dass eine Verringerung des Materialeinsatzes an Flaschen im mittleren Gewichtsbereich möglich ist, zeigen die genannten Beispiele. Eine Materialeinsparung sollte demzufolge für jede Flasche, unter Berücksichtigung der jeweils gestellten Anforderungen, in Betracht gezogen werden. Inwieweit ein Potenzial für eine Reduktion an den untersuchten Flaschen vorhanden ist, soll im Folgenden behandelt werden.

Aus dem Handel wurden jeweils 20 subjektiv möglichst unterschiedliche Flaschen zu 500 ml und 1,5 L ausgewählt, weil diese Füllvolumina den größten Anteil am Sortiment

der PET-Flaschen innehatten. Im Rahmen der Herstellerrecherche konnten 12 gewichtsreduzierte Flaschen mit einem Füllvolumen von 500 ml sowie ein Vertreter mit einem Füllvolumen von 1,5 L ermittelt werden. Drei Hersteller stellten ihre Leichtflaschen für weiterführende Untersuchungen zur Verfügung.

PET-Flaschen mit Füllvolumen 500 ml – Untersuchungsergebnisse und Abschätzung des Einsparpotenziales

Die ermittelten Massen der 500 ml PET-Flaschen aus dem Einzelhandel lagen zwischen 13,174 und 28,214 g. Etwa drei Viertel der Flaschen befanden sich in einem Massenbereich von 20 bis 25 g. Eine niedrige Masse mit Werten unter 16 g wiesen die Prüfmuster 05 „DESPAR Natürliches Mineralwasser“, 06 „evian“ und 07 „GUIZZA“ auf. Die Prüfmuster 04 „Coca Cola“, 15 „SCHARTNER BOMBE“ und 16 „Schweppes“ lieferten eine Masse über 25 g.

Die von den Herstellern bezogenen Prüfmuster I „Bottle Fly 500 ml“ und III „PET lite 6.6“ besaßen die niedrigsten Massen mit Werten unter 8,2 g. Mit etwa 17 g lag das Prüfmuster II „Lightweight E415-B-12“ in einem Messbereich, welcher mit den leichtesten im Handel erhältlichen Flaschen vergleichbar war.

Das subjektive Handgefühl wurde bei einem Großteil der Flaschen als gut beurteilt. Nur das Prüfmuster III „PET lite 6.6“ lieferte ein unzureichendes Ergebnis. Mit Ausnahme von zwei Vertretern zeigten alle Flaschen ein gutes Ausschenkverhalten. Bei diesen handelte es sich um die Prüfmuster 07 „GUIZZA“ und III „PET lite 6.6“.

Abgesehen von dem Prüfmuster I „Bottle Fly 500 ml“, welches bei einer Masse von 8,170 g gute Werte lieferte, besaßen sämtliche Flaschen mit unzureichenden Ergebnissen im Bereich der subjektiven Bewertung eine Masse unter 15 g.

Die Ergebnisse für die Axialdruckfestigkeit schwankten zwischen 25,0 und 466,6 N. Drei Viertel der Flaschen aus dem Handel besaßen eine Höchstaxialdruckkraft zwischen 100 und 350 N. Für den Berstdruck konnten Werte von 8,93 bis 17,25 bar gemessen werden. Die Mehrheit der Flaschen lag in einem Messbereich zwischen 10 und 16 bar.

Sowohl bei der Axialdruckfestigkeit als auch beim Berstdruck konnte festgestellt werden, dass Vertreter mit einer hohen Masse eine höhere mechanische Stabilität aufwiesen. Eine geringere Masse war mit niedrigeren Werten für die mechanische Stabilität verbunden.

Bei Flaschen mit einer Masse unter 18 g konnten beide Boden- und Flaschenformen angetroffen werden. Eingesetzt wurden die Prüfmuster für karbonisiertes und für stilles Wasser. Bei den Flaschen handelte es sich um Marken wie auch um eine Eigenmarke.

Vertreter im mittleren Massenbereich besaßen überwiegend Petaloidböden und beide Flaschenformen waren in gleichen Anteilen vertreten. Der Anwendungsbereich erstreckte sich über karbonisierte Softdrinks und Teeprodukte bis hin zu Mineralwässern. Unter den Prüfmustern fanden sich Marken sowie eine Eigenmarke.

Flaschen mit einer Masse über 24 g wiesen ausschließlich einen Petaloidboden auf und besaßen mehrheitlich eine gerade Form. Sämtliche Flaschen wurden für karbonisierte Softdrinks oder Mineralwässer eingesetzt. Es handelte sich ausschließlich um Marken.

Ein Einsparpotenzial bei den 500 ml PET-Flaschen liefern insbesondere Vertreter mit einer hohen Masse. Dies kann darin begründet werden, dass eine hohe Masse bei den untersuchten Prüfmustern ausnahmslos mit einer hohen subjektiven und mechanischen Stabilität verbunden war. Die ermittelten Messwerte für die Masse sowie die Axialdruckfestigkeit und den Berstdruck lagen in einem hohen Schwankungsbereich. Aufgrund dieser hohen Differenz zwischen den Ergebnissen und der direkten Abhängigkeit von Masse und mechanischer Stabilität, besteht vorwiegend bei schweren Flaschen ein Potenzial für eine Materialreduktion.

Bestätigt werden kann dies dadurch, dass eine ausreichende subjektive Stabilität bei Vertretern bis zu einer Masse von 15 g vorgefunden werden konnte. Zudem lagen die Messergebnisse für die Axialdruckfestigkeit und/oder den Berstdruck bei etwa der Hälfte der 500 ml Flaschen teilweise beträchtlich über den ermittelten Höchstwerten von Vertretern mit einem Füllvolumen von 1,5 L. Die hohe subjektive und mechanische Stabilität der 500 ml Flaschen im oberen Gewichtsbereich deuten darauf hin, dass ein übertriebener Materialeinsatz nicht notwendig ist, um den an das Packmittel gestellten Anforderungen zu genügen, wodurch sich ein beachtliches Einsparpotenzial eröffnet.

Eine Materialeinsparung sollte ausschließlich bei Flaschen mit einer hohen Stabilität vorgenommen werden, weil das Unterschreiten eines bestimmten Materialeinsatzes mit einer Verringerung der mechanischen Eigenschaften verbunden ist. Dies zeigt das Prüfmuster III „PET lite 6.6“, welches vielmehr einem Beutel-Konzept gleichzusetzen ist. Aufgrund der mangelhaften Verbraucherfreundlichkeit und der geringen Stabilität muss ein erfolgreicher Einsatz am Markt bezweifelt werden. Als Anwendungsbereich kann jedoch das Verpacken von stillem Wasser in Krisensituationen gesehen werden. Die übrigen gewichtsreduzierten Flaschen wiesen trotz der niedrigen Masse gute Werte für die subjektive Stabilität auf und lieferten eine ihrer Masse entsprechende mechanische Festigkeit, welche demzufolge in einem niedrigen Bereich anzutreffen war.

Es konnte festgestellt werden, dass leichtgewichtige Vertreter beide Flaschen- und Bodenformen aufwiesen. Demzufolge ist durch eine Optimierung des Flaschendesigns eine Materialreduktion möglich.

PET-Flaschen mit Füllvolumen 1,5 L – Untersuchungsergebnisse und Abschätzung des Einsparpotenziales

Bei den 1,5 L PET-Flaschen aus dem Handel lagen die ermittelten Massen in einem Bereich von 30,873 bis 42,281 g. Drei Viertel der Flaschen wiesen Werte zwischen 33 und 34 g auf. Eine Masse unter 32 g besaßen die Prüfmuster 37 „SAN BENEDETTO“ und 39 „Vittel“. Werte im Bereich über 40 g lieferten die Prüfmuster 21 „Almdudler“, 25 „Fanta“, 31 „Linessa vital & active“ und 35 „Radenska“. Das gewichtsreduzierte Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ stellte mit einer Masse von 20,770 g den mit Abstand niedrigsten Wert.

Drei Viertel der untersuchten Flaschen lieferten ein gutes Handgefühl. Schlechte Messwerte wiesen Prüfmuster mit einer Masse unter 34 g auf. Ein gutes Ausschenkverhalten zeigten nur acht der 21 untersuchten Flaschen, wobei deren Massen gleichmäßig über den gesamten Messbereich verteilt lagen. Ein mittleres Ausschenkverhalten fand sich ebenfalls bei leichteren und schwereren Vertretern. Schlechte Ergebnisse lieferten ausschließlich Flaschen mit einer Masse unter 34 g.

Insgesamt wiesen weniger als die Hälfte der untersuchten Prüfmuster eine ausreichende subjektive Stabilität auf. Schlechte Ergebnisse waren hauptsächlich bei Vertretern unter 34 g vorzufinden. Jedoch lagen drei Viertel der untersuchten Flaschen in einem Massenbereich von 33 bis 34 g. Das Prüfmuster IV „Bottle Fly 1,5 L“ mit einer Masse von etwa 20 g lieferte bei beiden Untersuchungen gute Ergebnisse.

Für die Axialdruckfestigkeit konnten Werte von 64,9 bis 218,8 N gemessen werden. Die Hälfte der Flaschen besaß eine Axialdruckfestigkeit zwischen 100 und 175 N. Die Ergebnisse für den Berstdruck schwankten zwischen 4,20 und 11,92 bar. Die Mehrheit der Flaschen lag in einem Messbereich zwischen 8,5 und 10,5 bar.

Weder die Axialdruckfestigkeit noch der Berstdruck standen in einem unmittelbaren Zusammenhang mit der Masse.

Bei den Flaschen mit einer Masse unter 32 g konnten beide Flaschen- und Bodenformen vorgefunden werden. Der Anwendungsbereich beschränkte sich auf karbonisierte und stille Mineralwässer. Es handelte sich um Marken.

Die Flaschen im mittleren Ergebnisbereich wiesen Petaloid- wie auch Stillwasserböden auf und besaßen sowohl eine gerade Flaschenform als auch eine Griffmulde. Eingesetzt wurden sie für karbonisierte Softdrinks, Teeprodukte und Mineralwässer. Unter den Flaschen fanden sich Marken wie auch eine Eigenmarke.

Auch bei Vertretern mit einer Masse über 40 g waren beide Flaschen- und Bodenformen vertreten. Das Einsatzgebiet erstreckte sich über karbonisierte Softdrinks und Teeprodukte über Diät-Drinks bis hin zu karbonisierten Mineralwasser. Unter den Flaschen fanden sich hauptsächlich Marken, jedoch auch eine Eigenmarke.

Anders als bei den PET-Flaschen mit einem Füllvolumen von 500 ml konnte kein Zusammenhang zwischen der Masse und der subjektiven bzw. mechanischen Stabilität nachgewiesen werden. Es konnte lediglich festgestellt werden, dass Vertreter mit einer hohen Masse eine Tendenz zu einer höheren mechanischen Stabilität zeigten. Eine gute wie auch eine mangelhafte subjektive Stabilität fand sich sowohl bei Flaschen mit hohen als auch mit niedrigen Werten für die Axialdruckfestigkeit und den Berstdruck.

Somit ist eine Bestätigung einer hohen mechanischen Festigkeit durch die Ergebnisse der subjektiven Stabilität nicht möglich.

Bei den PET-Flaschen mit einem Füllvolumen von 1,5 L lieferte in erster Linie die hohe Differenz der ermittelten Werte für die Axialdruckfestigkeit, verbunden mit einem geringen Schwankungsbereich für die Masse und den Berstdruck, ein Einsparpotenzial. Da gesamt betrachtet die mechanische Festigkeit in keiner direkten Abhängigkeit mit der Masse stand, kann eine Materialeinsparung sowohl an leichten als auch an schweren Flaschen erfolgen, soweit diese eine ausreichende Stabilität aufweisen.

Als Paradebeispiel kann das Prüfmuster 37 „SAN BENEDETTO“ angeführt werden, welches bei einer Masse von etwa 31 g durch hohe Werte für die Axialdruckfestigkeit und den Berstdruck auffiel. Trotz der zweitniedrigsten ermittelten Masse wäre aufgrund der hohen mechanischen Stabilität eine weitere Materialreduktion möglich.

Es konnte nachgewiesen werden, dass beiden Flaschen- und Bodenformen unabhängig von der Masse und der mechanischen Stabilität anzutreffen waren. Dies lässt darauf schließen, dass durch ein optimiertes Flaschendesign eine Materialreduktion ermöglicht wird.

PET-Flaschen – Lösungsansätze

Wie aus der Literatur hervorgeht, liefert die Umgestaltung des Flaschendesign ein gewaltiges Einsparpotenzial. Anhand der untersuchten Flaschen konnte festgestellt werden, dass es keine Kombination von Flaschen- und Bodenform gibt, welche mit einer niedrigen Masse einhergeht. Dies eröffnet große Freiräume bei der Formgebung. Durch die gezielte Auswahl und Abstimmung der Flaschen- und Bodenform sowie dem Einsatz von Strukturelemente kann eine optimal dimensionierte Flasche mit ausreichender mechanischer Festigkeit und geringerem Gewicht erzielt werden. Überdies ist durch eine optimierte Flaschengeometrie eine Erhöhung der Stabilität bei einem geringeren Materialeinsatz möglich.

Bei Premium-Marken wird eine Veränderung des Erscheinungsbildes häufig ausgeschlossen, um den Wiedererkennungswert der Flasche nicht zu gefährden. In diesen Fällen sollte eine Optimierung des Preform-Designs erwogen werden. Anhand der Beispiele von Coca-Cola Enterprises und Radnor Hills Waters kann bestätigt werden, dass

eine Verringerung des Materialeinsatzes unter Beibehalten der ursprünglichen Flaschenform und Stabilität möglich ist. Es sollte aber auch darauf hingewiesen werden, dass der Konsument kleine Veränderungen häufig nicht bemerkt. Die Anwendung des einen oder anderen unauffälligen Strukturelementes, geringe Veränderungen im Bereich des Mundstückes oder des Bodens wären somit auch an Premium-Marken vorstellbar.

Insbesondere für Großbetriebe ist eine Inline-Herstellung interessant. Einerseits entfallen die durch den Transport verursachten Belastungen und andererseits wird durch die schonende Behandlung der Flaschen im Blocksysteem eine zusätzliche Materialeinsparung begünstigt. Zudem kann durch die Erneuerung eines veralteten Maschinenparks eine gleichmäßigere Wandstärkenverteilung und folglich eine weitere Gewichtsreduktion erreicht werden. Die Voraussetzung für einen verringerten Materialeinsatz bleibt in allen Fällen eine gut abgestimmte Flaschen-Preform-Kombination.

Von besonderer Bedeutung für den Bereich PET-Flaschen ist vermehrte Forschungs- und Entwicklungsarbeit, nicht nur auf dem Gebiet von Leichtflaschen, sondern für jede Gewichtsklasse. Da jede Flasche anderen Anforderungen gerecht werden muss, sollte es nicht das Ziel sein, den Materialaufwand auf den absoluten Minimalwert zu reduzieren. Vielmehr sollten die Masse und die mechanische Stabilität so abgestimmt werden, dass die Flasche auch nach einer Materialeinsparung den Ansprüchen der Abfüller und der Endverbraucher entspricht. Bei Premium-Marken sind demzufolge das Erscheinungsbild sowie die mechanischen Eigenschaften mehrheitlich beizubehalten. In den übrigen Fällen kann ein optimiertes Design in Erwägung gezogen werden. Denn ein Gramm Materialersparnis pro Flasche erscheint auf den ersten Blick nicht viel, in der Summe ergeben sich daraus jedoch gewaltige Einsparpotenziale.

Joghurtbecher

Für Joghurtbecher konnten weder Forschungsarbeiten oder Konzepte für eine Materialeinsparung noch gewichtsreduzierte Verpackungen ermittelt werden.

Diese Produktgruppe wies viele verschiedene Füllvolumina bei gleichzeitig geringer Anzahl an Produktvertretern auf. Aus diesem Grund wurden 17 bzw. 20 Joghurtbecher zu 150 bzw. 200 g ausgewählt.

Joghurtbecher mit Füllvolumen 150 g – Untersuchungsergebnisse und Abschätzung des Einsparpotenziales

Die Massen der untersuchten Joghurtbecher mit einem Füllvolumen von 150 g lagen zwischen 5,061 und 7,777 g.

Die Becher aus PP stellten die niedrigsten Massen mit Werten von $5,070 \text{ g} \pm 0,010 \text{ g}$. Nur das Prüfmuster 17 „Zott Sahne Joghurt“ wies aufgrund eines Bodensockels einen geringfügig höheren Materialeinsatz auf.

Bei dem Material PS lag die Schwankungsbreite zwischen 5,099 g bei dem Prüfmuster 02 „bissou 0,1 %“ und 5,656 g bei dem Prüfmuster 07 „Milbona Joghurt mild 3,5 %“.

Die Massen der K3-Verbundbecher lagen deutlich über jenen aus Monomaterialien. Bei der Auftrennung der K3-Verbundbecher fiel die Kunststoff-Fraktion durch eine höhere Masse als die Karton-Fraktion auf. Die schwersten Kunststoff-Innenbecher mit etwa 4,7 g besaßen die Prüfmuster 04 „ja! Natürlich Pudding“ und 15 „SPAR Natur pur Bio-Sahnepudding“ aus PP. Die Masse der Kunststoff-Innenbecher aus PS lag zwischen 3,3 und 3,9 g.

Zwischen dem verwendeten Material und der Masse war somit ein Zusammenhang feststellbar.

Die ermittelte Axialdruckfestigkeit lag zwischen 76,5 und 332,8 N. Zwei Drittel der Becher besaßen eine Höchstaxialdruckkraft zwischen 100 und 200 N. Eine Auswirkung des verwendeten Materials auf die Axialdruckfestigkeit konnte nicht erkannt werden.

Bei der Durchführung der Fallversuche lieferte die Mehrheit der Becher keine oder eine beschädigte Einzelprobe. Bei vier Prüfmustern führte der Test zu Beschädigungen an zwei und bei zwei Prüfmustern zu Deformationen an allen drei Bechern. Die Becher aus PS lieferten bei der Durchführung der Fallversuche keine oder eine beschädigte Einzelprobe. Bei Vertretern aus PP kam es zu zwei oder drei Beschädigungen. Bei den K3-Verbundbechern erlitten die Hälfte der Prüfmuster keine Deformation, der Rest verteilte sich gleichmäßig auf eine, zwei oder drei beschädigte Einzelproben. Ein Zusammenhang zwischen dem Material und der Anzahl an beschädigten Bechern bei der Durchführung der Fallversuche konnte festgestellt werden.

Gesamt betrachtet konnte bei Joghurtbechern aus PP mit einem Füllvolumen von 150 g kein Einsparpotenzial erkannt werden. Einerseits stellten sie sowohl bei der Masse als auch bei der Axialdruckfestigkeit und den Fallversuchen das Minimum. Andererseits war die ermittelte Differenz zwischen dem leichtesten und dem schwersten Vertreter vernachlässigbar gering. Dies lässt darauf schließen, dass die Herstellung der Becher aus PP bereits sehr einheitlich verläuft.

Bei Vertretern aus PS sind Möglichkeiten für eine Materialeinsparung vorhanden. Dies kann dadurch begründet werden, dass bei der Durchführung der Fallversuche nur wenige Becher beschädigt wurden. Zudem konnten für die Höchstaxialdruckkraft neben sehr niedrigen auch sehr hohe Ergebnisse erzielt werden. Das Prüfmuster 02 „bissou 0,1 %“ lieferte bei einer Masse von ca. 5 g die höchste gemessene Axialdruckfestigkeit und keinen deformierten Becher bei den Fallversuchen. Eine Materialeinsparung wäre somit bei Vertretern mit einer hohen mechanischen Stabilität denkbar.

Im Vergleich zu den Monomaterialien kann für K3-Verbundbecher das größte Vermeidungspotenzial gesehen werden. Einerseits wurden für die mechanische Stabilität durchschnittliche bis gute Werte erhoben. Andererseits konnte zwischen dem leichtesten und dem schwersten Becher eine Differenz von etwa 1 g ermittelt werden. Aufgrund dieses Gewichtsunterschiedes und der ausreichenden mechanischen Stabilität wird eine Materialeinsparung begünstigt. Insbesondere bei Vertretern mit einem Kunststoff-Innenbecher aus PP betrug die Masse des Karton-Anteiles nur etwa zwei Drittel der Kunststoff-Fraktion.

Joghurtbecher mit Füllvolumen 200 g – Untersuchungsergebnisse und Abschätzung des Einsparpotenziales

Bei den Joghurtbechern mit einem Füllvolumen von 200 g lagen die ermittelten Massen in einem Bereich von 5,191 bis 8,536 g.

Auch hier waren bei den Vertretern aus PP die niedrigsten Massen anzutreffen. Die Prüfmuster 18 „clever“, 28 „milfina Sahne Dessert“ und 29 „Milki Mumm“ lieferten Werte unter 5,5 g. Eine aufgrund der breiteren Becherform höhere Masse besaßen die Prüfmuster 22 „Ehrmann Grand Dessert“ und 34 „PRÉSIDENT Crème Fraîche“. Die restlichen Becher aus PP zeigten Massen von etwa 6,5 g.

Bei den leichtesten Bechern aus PS handelte es sich um die Prüfmuster 25 „LACTosefreier Sauerrahm“ und 35 „SPAR fru“, welche eine Masse von etwa 5,8 g lieferten. Die übrigen Vertreter waren in einem Bereich von 6,8 bis 7,6 g anzutreffen.

Die Massen der K3-Verbundbecher lagen im oberen Ergebnisbereich mit Werten von 8,2 bis 8,5 g. Bei der Auftrennung der K3-Verbundbecher fiel die Kunststoff-Fraktion, anders als bei den Bechern mit einem Füllvolumen von 150 g, durch eine niedrigere Masse als die Karton-Fraktion auf. Die Masse der Kunststoff-Innenbecher lag bei etwa 4 g, nur das Prüfmuster 37 „zurück zum Ursprung REICHENSTEINER BERG-BAUERN JOGHURT“ besaß einen leichteren Innenbecher. Die Karton-Banderole wies bei sämtlichen Bechern eine Masse von etwa 4,5 g auf. Eingesetzt wurden ausschließlich Innenbecher aus PS.

Ebenso wie bei den Joghurtbechern mit einem Füllvolumen von 150 g konnte zwischen dem verwendeten Material und der Masse ein Zusammenhang festgestellt werden.

Für die Höchstaxialdruckkraft konnten Werte von 99,7 bis 341,3 N gemessen werden. Ein Zusammenhang zwischen dem verwendeten Material und der Axialdruckfestigkeit konnte festgestellt werden, wobei Vertreter aus PS und Kunststoff-Karton-Verbund höhere Werte als Becher aus PP aufwiesen.

Bei der Durchführung der Fallversuche lieferte drei Viertel der Becher keine oder eine beschädigte Einzelprobe. Bei zwei Prüfmustern führte der Test zu Deformationen an zwei und bei drei Prüfmustern zu Beschädigungen an allen drei Bechern. Etwa 80 % der Becher aus PS und Kunststoff-Karton-Verbund lieferten bei der Durchführung der Fallversuche keine beschädigte Einzelprobe. Die restlichen Prüfmuster wiesen eine Deformation auf. Kein einziges Prüfmuster der Vertreter aus PP wies eine vollkommen unbeschädigte Prüfreihe auf. Annähernd 40 % der Prüfmuster aus PP erlitten drei und etwa 20 % zwei deformierten Einzelproben. Bei der Durchführung der Fallversuche konnte eine Auswirkung des verwendeten Materials auf die Anzahl an beschädigten Bechern festgestellt werden.

Ebenso wie bei den Joghurtbechern mit einem Füllvolumen von 150 g konnte bei den Vertretern aus PP mit einem Füllvolumen von 200 g kein Einsparpotenzial erkannt werden. Für die mechanische Stabilität konnten nur unterdurchschnittliche bis niedrige

Ergebnisse ermittelt werden. Um die mechanische Festigkeit nicht zusätzlich zu verringern, sollte von einer Materialeinsparung abgesehen werden.

Auch bei Monobechern aus PS waren Parallelen zu den Vertretern mit einem Füllvolumen von 150 g feststellbar. Bei der Durchführung der Fallversuche wurden ebenfalls nur wenige Becher beschädigt. Für die Höchstaxialdruckkraft konnten durchschnittliche bis hohe Ergebnisse ermittelt werden. Für die Masse wurden niedrige bis hohe Werte erzielt, wobei der Schwankungsbereich etwa 1,8 g betrug. Somit ist sowohl an leichten als auch an schweren Bechern, soweit diese eine ausreichende mechanische Stabilität aufweisen, ein Einsparpotenzial gegeben.

Im Vergleich zu den Monomaterialien lieferten die K3-Verbundbecher das höchste Vermeidungspotenzial. Bei der Durchführung der Fallversuche wurden gute Ergebnisse erzielt und auch für die Höchstaxialdruckkraft konnten durchschnittliche bis hohe Werte ermittelt werden. Die K3-Verbundbecher besaßen die höchsten gemessenen Massen in einem geringen Schwankungsbereich. Trotz des vergleichsweise niedrigen Gewichtsunterschiedes zwischen dem leichtesten und dem schwersten Becher liefern Vertreter aus Kunststoff-Karton-Verbund durch eine geeignete Modifikation der Kartonomieummantelung das erheblichste Einsparpotenzial.

Joghurtbecher – Lösungsansätze

Gesamt betrachtet konnte bei den Joghurtbechern, abhängig vom verwendeten Material, ein Vermeidungspotenzial festgestellt werden.

Gestalterische Veränderungen im Sinne einer neuen Formgebung müssen als Lösungsansatz ausgeschlossen werden. Die leicht konische Form erleichtert insbesondere bei einem größeren Füllvolumen die Entnahme für den Endverbraucher und ist, aufgrund der Stapelfähigkeit der Becher, die Grundvoraussetzung für eine ökonomische Logistik. Zudem wird die gleichmäßige Verteilung von Belastungen über den gesamten Behälterkörper gewährleistet. Überlegenswert wäre jedoch der Einsatz von Strukturelementen für eine höhere mechanische Stabilität. Dadurch wäre, falls durchführbar, eine Verringerung des Materialeinsatzes denkbar. Inwieweit diese gestalterische Veränderung sinnvoll ist, könnte mithilfe von Simulations-Programmen, wie sie auch im Bereich von PET-Flaschen verwendet werden, eruiert werden.

Wie aus der Literatur hervorgeht, ist eine Verringerung des Materialeinsatzes durch einen optimierten Herstellprozess möglich. Das Tiefziehen der Becher, insbesondere in einer Inline-Anlage, führt zu einer gleichmäßigeren Wandstärkenverteilung. Auch der Austausch eines veralteten Maschinenparks durch neue Anlagen sorgt für eine verbesserte Materialverteilung. Diese gleichmäßige Verteilung des Kunststoffes führt zu einer höheren Stabilität und liefert dadurch ein gewisses Einsparpotenzial. Insbesondere bei Bechern aus PS könnte, aufgrund der hervorragenden mechanischen Festigkeit, durch diese Maßnahmen eine Reduktion des Materialeinsatzes erreicht werden.

Das größte Potenzial für eine Materialeinsparung liegt im vermehrten Einsatz des K3-Verbundbechers. Sowohl das Gesamtgewicht als auch der Preis sind etwas höher als von vergleichbaren Bechern aus Monomaterialien. Der Kartonmantel kann vom Kunststoff-Innenbecher getrennt und gesondert dem Recycling zugeführt werden. Zudem verleiht er dem Becher eine gute Stabilität. Die K3-Verbundbecher liefern bereits in der gegenwärtig am Markt erhältlichen Form eine ausreichende mechanische Festigkeit. Durch eine leichte Anhebung des Kartonanteiles könnte eine Erhöhung der Stabilität und eine Verringerung des Kunststoffanteiles erreicht werden.

Bei K3-Verbundbechern mit einem Füllvolumen von 150 g, welche ausnahmslos einen Kunststoff-Boden aufwiesen, wäre durch den Einsatz eines Kartonbodens eine weitere Verringerung des Kunststoffanteiles, insbesondere im Bodenbereich, möglich. Durch einen vermehrten Einsatz von K3-Verbundbechern kann, wie im Rahmen dieser Arbeit festgestellt wurde, der Kunststoffanteil eines Bechers um bis zu 1,5 g, im Vergleich zu Bechern aus Monomaterialien, verringert werden.

Insbesondere für Monobecher aus dem Material PP wäre eine Verlagerung auf K3-Verbundbecher mit einem Innenbecher aus PP empfehlenswert, weil dadurch die unzureichende mechanische Festigkeit verbessert werden könnte. Becher aus PP weisen eine hohe Formbeständigkeit in der Wärme auf und ermöglichen eine Heißabfüllung des Füllgutes. Da das Packmittel den Anforderungen des Füllgutes gerecht werden muss, ist ein „Ersatz“ des Material PP durch das stabilere PS nicht möglich. Durch den vermehrten Einsatz von K3-Verbundbechern mit einem Innenbecher aus PP könnte den gestellten Anforderungen genüge getan und gleichzeitig der Kunststoffanteil im Vergleich zum Monobecher reduziert werden.

Inwieweit diese Lösungsansätze in die Praxis umsetzbar sind, kann jedoch ohne die Mithilfe von Experten auf diesem Gebiet nicht beurteilt werden. Im Rahmen der Literaturrecherche konnte keine direkte Beschreibung von Vorgehensweisen oder Maßnahmen vorgefunden werden konnte, durch welche eine Materialeinsparung ermöglicht wird. Zudem konnten im Rahmen der Herstellerrecherche keine gewichtsreduzierten Verpackungslösungen ermittelt werden. Von den Herstellern wurde das fehlende Angebot an leichtgewichtigen Bechern häufig damit begründet, dass Becher einer bestimmten Stabilität standhalten müssen, welche bei Unterschreiten eines gewissen Materialeinsatzes nicht mehr gegeben sei.

Beide Aspekte liefern einen Hinweis darauf, dass im Anbetracht der gegenwärtigen technischen Möglichkeiten das Limit für eine Verpackungsminimierung im Bereich von Joghurtbechern schon beinahe erreicht ist. Da jedoch ein Einsparpotenzial ausgemacht werden konnte, sollten in diesem Bereich weitere Forschungen vorangetrieben werden.

Platinen – Untersuchungsergebnisse, Abschätzung des Einsparpotenziales und Lösungsansätze

Ebenso wie für Joghurtbecher konnten auch für Platinen keine wissenschaftlichen Forschungsarbeiten oder Konzepte für eine Verpackungsminimierung sowie gewichtsreduzierte Verpackungen ermittelt werden.

Für die Untersuchungen wurden die Deckelmembranen der ausgewählten Joghurtbecher verwendet. Aus diesem Grund belief sich die Anzahl der zu untersuchenden Platinen auf 37 Prüfmuster.

Das ermittelte Flächengewicht der Platinen lag zwischen 210 und 417 mg. 35 der 37 Prüfmuster befanden sich in einem Massenbereich von 260 bis 360 mg. Hierbei handelte es sich ausschließlich um Platinen aus Aluminium. Eine niedrige Masse mit 210 mg zeigte das Prüfmuster 07 „Milbona Joghurt mild 3,5 %“ aus Verbundfolie, während das Prüfmuster 03 „Emmi ALOE VERA“ aus Aluminium-Kunststoff-Verbund durch einen Wert von über 400 mg auffiel.

Beim Abziehen der Platinen verblieben bei den Prüfmustern 14 „SPAR Fruchtojoghurt“ und 19 „Dany Sahne“ jeweils zwei Rückstände am Becherrand. Vier Prüfmuster lieferten jeweils einen Rückstand. Bei den Prüfmustern 14 „SPAR Fruchtojoghurt“, 19 „Dany Sahne“ und 25 „LA LACTosefreier Sauerrahm“ wurden beim Abziehen vom Becher zwei Platinen eingerissen. In 11 Fällen kam es zu einer beschädigten Deckelmembran. Mit Ausnahme des Prüfmusters 20 „Desira PREMIUM-JOGHURT“ zeigten alle Platinen ein gutes Abziehverhalten.

Die Deckelmembranen mit unzureichender subjektiver Stabilität lagen ausnahmslos im selben Massenbereich wie Platinen mit guten Ergebnissen. Daher war kein Zusammenhang zwischen dem Flächengewicht und Rückständen am Becherrand, eingerissenen Deckelmembranen oder einem schlechten Abziehverhalten feststellbar.

Die Ergebnisse für die Weiterreißfestigkeit lagen zwischen 781,19 und 2.453,48 N/mm. Drei Viertel der Platinen wies eine Weiterreißfestigkeit von 1.000 bis 2.000 N/mm auf. Es konnte festgestellt werden, dass Vertreter mit einem höheren Flächengewicht eine tendenziell niedrigere mechanische Stabilität aufwiesen. Ein geringeres Flächengewicht war mehrheitlich mit höheren Werten für die Weiterreißfestigkeit verbunden. Sowohl die Deckelmembran aus Verbundfolie als auch jene aus Aluminium-Kunststoff-Verbund lieferten eine unterdurchschnittliche mechanische Festigkeit.

Sowohl Platinen mit einem niedrigen als auch mit einem hohen ermittelten Flächengewicht lieferten niedrige wie auch hohe Werte für die mechanische und subjektive Stabilität. Zwar wiesen die Platinen aus Aluminium mit Werten von 260 bis 360 mg ein niedriges Flächengewicht auf, die Differenz zwischen dem leichtesten und dem schwersten Vertreter war jedoch vergleichsweise hoch. Da zwischen dem Flächengewicht und der Stabilität kein Zusammenhang vorgefunden konnte, ist eine Materialreduktion sowohl an leichten als auch an schweren Platinen möglich, soweit diese eine ausreichende subjektive und mechanische Festigkeit aufweisen. Aufgrund des bereits gegenwärtig geringen Flächengewichtes wird eine mögliche Materialeinsparung eher gering ausfallen.

Als Problem erweist sich jedoch die praktische Durchführung aufgrund nicht vorhandener Konzepte. Zu erwähnen ist jedoch, dass durch den Glüh- und Walzvorgang sowohl die Foliendicke als auch die mechanischen Eigenschaften positiv beeinflusst werden können. Durch eine genaue Abstimmung des Herstellprozesses auf die gewünschten Anforderungen wäre eine Verringerung der Foliendicke unter Beibehalten der Stabilität denkbar.

Zudem kann die mechanische Festigkeit durch Beschichten erhöht werden, worin ebenfalls ein gewisses Einsparpotenzial gesehen werden kann.

Ebenso wie im Falle der Joghurtbecher konnten auch für die Platinen keine konkreten Vorgehensweisen, welche eine Materialeinsparung ermöglichen, in der Literatur vorgefunden werden. Auch im Rahmen der Herstellerrecherche konnten keine gewichtsreduzierten Verpackungen ermittelt werden. Zwar wurde entgegnet, dass theoretisch die Herstellung jeder Materialdicke vorstellbar sei, eine Verpackungsminimierung jedoch durch die an das Packmittel gestellten Stabilitätsanforderungen sowie durch die Nachfrage der Abfüller, welche mehrheitlich nach 30 bzw. 40 µm dicken Platinen verlangen, limitiert werde.

Daraus kann geschlossen werden, dass die Möglichkeiten für weitere Einsparmaßnahmen im Bereich von Platinen sehr beschränkt sind. Aber auch auf diesem Gebiet sollten weitere Forschungsarbeiten aufgrund des möglichen Einsparpotenzials forciert werden.

6 Schlussbetrachtung

Infolge von Veränderungen der Bevölkerungsstruktur und der Konsumgewohnheiten steigt der Verpackungsabfall stetig. Eine Möglichkeit, um der Abfallproblematik zu begegnen, liegt im vermehrten Einsatz von gewichtsreduzierten Verpackungen.

Anhand der Betrachtung von PET-Flaschen, Joghurtbechern und Platinen sollen Vermeidungspotenziale erkannt sowie Lösungsansätze für eine Materialeinsparung geliefert werden.

Die Untersuchungsergebnisse der 500 ml PET-Flaschen aus dem Einzelhandel zeigten einen Schwankungsbereich von über 50 % zwischen dem leichtesten und dem schwersten Vertreter. Es konnte festgestellt werden, dass eine hohe Masse mit einer hohen subjektiven sowie mechanischen Festigkeit im Zusammenhang stand.

Die Massen der 1,5 L PET-Flaschen aus dem Handel lagen in einem Schwankungsbereich von etwa 25 %. Weder die subjektive noch die mechanische Stabilität stand in einem unmittelbaren Zusammenhang mit der Masse.

Die von den Herstellern bezogenen Leichtflaschen lieferten eine ihrer niedrigen Masse entsprechende geringe mechanische Festigkeit. Die subjektive Stabilität konnte als gut beurteilt werden. Nur das Prüfmuster III „PET lite 6.6“ mit der niedrigsten ermittelten Masse wies mangelhafte subjektive und mechanische Eigenschaften auf. Dies zeigt, dass das Unterschreiten eines bestimmten Materialeinsatzes mit unzureichenden mechanischen Eigenschaften einhergeht.

Aufgrund der hohen mechanischen Stabilität der untersuchten 500 ml Flaschen, welche in vielen Fällen die Höchstwerte der 1,5 L Flaschen übertraf, sowie der direkten Abhängigkeit von Stabilität und Masse sollte eine Materialeinsparung insbesondere an schweren Vertretern der 500 ml Flaschen vorgenommen werden.

Ansatzpunkte für eine Materialeinsparung bei 1, 5 L Flaschen liefern sowohl leichte als auch schwere Flaschen, soweit diese über eine ausreichende Stabilität verfügen.

Es konnte festgestellt werden, dass die Ursache für die großen Unterschiede in der Masse im Behälterdesign liegt. Eine Kombination von Flaschen- und Bodenform,

welche eine niedrige Masse begünstigt, konnte nicht eruiert werden. Folglich liegt in einem optimierten Flaschendesign das größte Potenzial für eine Materialeinsparung. Wird eine Veränderung des Erscheinungsbildes und der Stabilität ausgeschlossen, kann durch eine Optimierung des Preform-Designs eine Reduktion des Materialeinsatzes erreicht werden. Weitere Möglichkeiten für eine Materialeinsparung liefern eine Inline-Herstellung sowie die Erneuerung eines veralteten Maschinenparks.

Es konnte festgestellt werden, dass PET-Flaschen ein großes Einsparpotenzial bieten. In Österreich werden pro Jahr etwa 40.000 t PET-Rohmaterial zu Flaschen verarbeitet [WKO, 2006]. Ausgehend von einer durchaus realistischen Materialeinsparung von 3 % ergibt sich ein jährliches Einsparpotenzial von:

- 1.200 t PET-Rohmaterial
- 1.620.000 € an PET-Materialkosten (1.350 €/t PET-Granulat [PLASTICKER, 2010])
- 3.480 t CO₂-Äquivalent (2,9 kg CO₂-Äquivalent/kg PET [ESU-SERVICES, 2010]).

Zudem konnten erste erfolgreiche Konzepte für eine Verpackungsminimierung eruiert werden. Dessen ungeachtet sollte die Forschungs- und Entwicklungsarbeit für eine Materialreduktion bei Flaschen aus dem Handel sowie auf dem Gebiet einer Stabilitäts-erhöhung bei Leichtflaschen konsequent vorangetrieben werden.

Aus den Untersuchungsergebnissen für Joghurtbecher geht hervor, dass die Differenz in der Masse zwischen dem leichtesten und dem schwersten Vertreter für beide Füllvolumina bei etwa 40 % lag. Dieser hohe Schwankungsbereich kann auf das verwendete Material zurückgeführt werden.

Becher aus PP besaßen neben den niedrigsten ermittelten Massen die geringste mechanische Stabilität. Im mittleren Ergebnisbereich für die Masse lagen Becher aus PS. K3-Verbundbecher lieferten die höchsten Werte. Die beidenletzteren zeigten durchschnittliche bis gute Ergebnisse für die Axialdruckfestigkeit und die Fallversuche. Gewichtsreduzierte Produkte konnten nicht ausfindig gemacht werden.

Aufgrund der niedrigen mechanischen Festigkeit konnte bei Bechern aus PP kein Reduktionspotenzial erkannt werden. Ansatzpunkte für eine Materialeinsparung liefern Becher aus PS sowie aus Kunststoff-Karton-Verbund. Hier sollte insbesondere bei Vertretern mit einer hohen Stabilität angesetzt werden.

Gestalterische Veränderungen im Sinne einer neuen Formgebung müssen als Lösungsansatz für eine Materialeinsparung ausgeschlossen werden. Überlegenswert wäre jedoch der Einsatz von Strukturelementen für eine höhere mechanische Festigkeit. Sämtliche Maßnahmen, welche eine gleichmäßigere Materialverteilung des Kunststoffes während des Herstellprozesses begünstigen, wie eine Inline-Herstellung oder der Ankauf eines neuen Maschinenparks, sind zu forcieren. Das größte Potenzial für eine Materialeinsparung liegt in einem vermehrten Einsatz des K3-Verbundbechers. Durch eine Erhöhung des Kartonanteiles, insbesondere im Bodenbereich, könnte eine Erhöhung der Stabilität und eine Verringerung des Kunststoffanteiles um bis zu 1,5 g, im Vergleich zu Monobechern, erreicht werden.

Gesamt betrachtet konnte bei Joghurtbechern, abhängig vom verwendeten Material, ein Einsparpotenzial festgestellt werden. Da eine Materialreduktion nach derzeitigem Wissensstand nur durch eine Optimierung des Herstellprozesses erfolgen kann, gestaltet sich eine praktische Umsetzung aufgrund der gegenwärtigen technischen Möglichkeiten sowie nicht vorhandener Forschungsaktivitäten in diesem Bereich als schwierig.

Die Untersuchungsergebnisse für Platinen aus Aluminium zeigten ein Flächengewicht von 260 bis 360 mg. Zwischen dem Flächengewicht sowie der mechanischen und der subjektiven Stabilität konnte kein Zusammenhang erkannt werden.

Die Platine aus Aluminium-Kunststoff-Verbund besaß das höchste ermittelte Flächengewicht, während die Deckelmembran aus Verbundfolie den niedrigsten Wert aufwies. Beide lieferten eine unterdurchschnittliche mechanische Festigkeit.

Gewichtsreduzierte Produkte konnten nicht ausfindig gemacht werden.

Aufgrund dieser Ergebnisse ist eine Verpackungsminimierung an leichten wie auch an schweren Platinen möglich, soweit diese eine ausreichende subjektive und mechanische

Festigkeit aufweisen. Aufgrund des bereits gegenwärtig geringen Flächengewichtes wird eine mögliche Materialeinsparung eher gering ausfallen.

Konkrete Vorgehensweisen, welche eine Materialeinsparung ermöglichen, konnten nicht ermittelt werden. Zu erwähnen ist jedoch, dass durch den Glüh- und Walzvorgang sowohl die Foliendicke als auch die mechanischen Eigenschaften positiv beeinflusst werden können. Zudem kann die mechanische Festigkeit durch Beschichten erhöht werden.

Bei Platinen konnte ein Einsparpotenzial erkannt werden, welches aufgrund des bereits sehr niedrigen Flächengewichts sowie nicht vorhandener Konzepte für eine Materialeinsparung eher beschränkt ist.

Verpackungen sind Massenprodukte, bei denen das Material den bedeutsamsten Kostenfaktor darstellt. Aufgrund dessen liefert bereits eine geringe Verringerung des Materialeinsatzes der Einzelverpackung bedeutende ökonomische und ökologische Vorteile, welche von der Beschaffung der Rohstoffe bis hin zur Entsorgung reichen. Dies geht zudem mit einer kurzen Amortisationszeit der für Forschungs- und Entwicklung aufgewendeten Kosten einher. Eine Materialeinsparung sollte somit, soweit diese aufgrund der an die Verpackung gestellten Anforderungen möglich ist, in jedem Fall durchgeführt werden.

Zusammenfassend bleibt zu bemerken, dass weiterführende Forschungsarbeiten für alle untersuchten Packstoffgruppen konsequent voranzutreiben sind.

7 Zusammenfassung

Infolge von gesellschaftlichen Veränderungen und neuen, modernen Konsummustern steigt der Verpackungsabfall stetig. Eine Möglichkeit, der Abfallproblematik zu begegnen, liegt im vermehrten Einsatz von gewichtsreduzierten Verpackungen. Diese bieten vielfältige ökonomische und ökologische Vorteile. Gegenwärtig bestehen jedoch erhebliche Informationsdefizite im Bereich der Verpackungsminimierung.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden PET-Flaschen, Joghurtbecher und Platinen näher betrachtet. Im Anschluss an Markt- und Herstellerrecherchen erfolgte die Ermittlung allgemeiner sowie mechanischer und subjektiver Eigenschaften der ausgewählten Verpackungen. Ziel der Untersuchungen war die Erhebung von wissenschaftlichen Daten, durch deren Vergleich ein mögliches Vermeidungspotenzial erkannt werden konnte. Zudem wurden Lösungsansätze für eine Materialeinsparung geliefert.

Die Untersuchungsergebnisse zeigten ein großes Einsparpotenzial für PET-Flaschen. Bei 500 ml Flaschen ist eine Materialreduktion aufgrund des kontinuierlichen Anstieges der Stabilität bei zunehmender Masse insbesondere an Vertretern mit einer hohen Masse denkbar. Bei 1,5 L Flaschen besteht sowohl an leichten als auch an schweren Vertretern ein Vermeidungspotenzial, soweit diese über eine ausreichende Stabilität verfügen. Durch die Optimierung des Flaschen- und/oder Preformdesigns kann eine Materialreduktion vergleichsweise einfach erzielt werden.

Bei Joghurtbechern konnte ein materialabhängiges Einsparpotenzial festgestellt werden. Ansatzpunkte für eine Materialeinsparung liefern Becher aus PS sowie aus Kunststoff-Karton-Verbund. Aufgrund der geringen Stabilität konnte bei Vertretern aus PP kein Reduktionspotenzial erkannt werden. Als Lösungsansatz könnte ein verstärkter Einsatz von K3-Verbundbechern mit einem Innenbecher aus PP in Betracht gezogen werden.

Sowohl an leichten als auch an schweren Vertretern der Platinen konnte ein Einsparpotenzial festgestellt werden, wobei dieses aufgrund des bereits gegenwärtig niedrigen Flächengewichtes eher begrenzt ist.

Eine gestalterische Veränderung muss bei Joghurtbechern und Platinen ausgeschlossen werden. Infolge dessen beschränkt sich die Möglichkeit einer Materialreduktion auf die Optimierung des Herstellprozesses, wobei hier insbesondere durch die gegenwärtigen technischen Möglichkeiten Grenzen gesetzt werden.

8 Summary

Packaging is a product of our civilization which reflects our way of life. As a result of social changes and new modern consumption habits, the packaging waste is rising constantly. A possibility to meet the waste problem lies in an increased use of lightweight-packaging. These offer many economic and environmental benefits. Currently, however, there exists a substantial lack of information in the area of packaging reduction.

In this thesis, PET bottles, yogurt cups and lids were chosen to be examined more closely. To get an overview of the current level in the field of packaging minimization, market and manufacturer research was carried out. Certain packaging was selected and studies on their mass and thickness as well as on their mechanical and subjective stability were carried out. The aim of this survey was to determine scientific data and facts to identify and assess the potential for decrease of packaging. In addition, solutions for material savings were shown.

The test results for PET bottles demonstrated a large potential for material reduction. For 500 ml bottles, a material reduction was established in bottles with a high mass, due to the continuous increase in stability with a rising mass. In light as well as in heavy 1.5 L bottles, a potential for decrease of packaging was determined, as far as they had an adequate stability. Successful approaches show that material reduction in PET bottles can be achieved relatively simple by optimization of bottle- and/or preform-design.

A potential for waste reduction could be detected in yoghurt cups, too, which depended on the material used. Starting points for material savings were identified in cups of PS as well as in K3 composite cups. Due to the low stability a potential for material reduction could not be identified in cups made of PP. As an approach an increased use of K3 composite cups with an inner cup made of PP could be considered.

In light as well as in heavy lids, a potential for decrease of packaging could be established. Due to the present low basis weight further material savings are rather limited.

A design change in yogurt cups and lids must be excluded. Thus, material reduction is only possible by optimizing the manufacturing process. Here in particular, the current technical possibilities are the factor of limitation.

Literaturverzeichnis

ABFALLVERBRENNUNG IN ÖSTERREICH STATUSBERICHT 2006. Internet: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0113.pdf> (accessed 25.02.10).

ANONYM (1). Spannungsfeld Verpackung Studie belegt Trends. packaging journal 2008; 57.

ANONYM (2). Halbe Beladung InnoPET-BloFill-Block auf minimierter Fläche. Verpackungs-Rundschau 2009; 60: 38.

ANONYM (3). Verpackungs-Drillinge am Start RFID trifft Nanotechnologie: Die Fachpack zeigt, dass Packmittel immer mehr leisten. Lebensmitteltechnik 2009; 41: 19-22.

ANONYM (4). Leichteres Gewicht – und jede Menge Stärken. neue verpackung 2009; 62: 38-39.

ANONYM (5). P.E.T. Engineering reaches a new technological limit. Tecnalimentaria Beverage Industry Magazine, 2009; 76-77. Internet: <http://www.tecnalimentaria.it/Articoli/Beverage/02-Febbraio%2009/76-PET.pdf> (accessed 25.02.10).

AWG (Abfallwirtschaftsgesetz) 2002. Internet: <http://recht.lebensministerium.at/article/articleview/30826/1/6968/> (accessed 25.02.10).

BAWP (Bundesabfallwirtschaftsplan) 2006. Internet: <http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/> (accessed 25.02.10).

BERGMAIR J, WASHÜTTL M, WEPNER B. Prüfpraxis für Kunststoffverpackungen Lebensmittel-, Pharma- und Kosmetikverpackungen. B. Behr's Verlag GmbH & Co. KG, Hamburg, 2004; 5-6, 35, 40-43, 44.

BOJKOW E. Österreichisches Verpackungsinstitut für Lebensmittel und Getränke Lehrbehelfe zur Vorlesung „Verpackungstechnik“ Studienrichtung: Lebensmittel- u. Biotechnologie Packstoffe und Packmittel für Lebensmittel. Österreich. Verpackungsinstitut f. Lebensmittel u. Getränke, Wien, 1993; 39-40.

DEWEES DN, HARE MJ. Economic Analysis of Packaging Waste Reduction. Canadian Public Policy – Analyse de Politiques 1998; 24: 453-470.

D-VO (Deponieverordnung) 2008. Internet: <http://recht.lebensministerium.at/article/articleview/63738/1/6969> (accessed 25.02.10).

ECO FINA BOTTLE. Internet: <http://www.dogmatic.com/MNR/aquafina/ecofinabottle/> (accessed 25.02.10).

EGGERT U. Konsumententrends Worauf Sie sich einstellen müssen, um Erfolg zu haben. Metropolitan Verlag, Düsseldorf, 1996; 85-95, 115-120.

ESU-SERVICES. fair consulting in sustainability 2010. Internet: <http://www.esu-services.ch/cms/index.php?id=12&L=1> (accessed 01.07.10).

ESCHKE KR. Packaging Reduction by Design. Packaging Technology and Science 1995; 8: 139-147.

ESTERFORM PACKAGING. 500 ml Lightweight. Internet: <http://www.esterform.com/uploads/0416200924431500.pdf> (accessed 25.02.10).

FORSTHÖVEL J. PET-Flaschen werden immer leichter. neue verpackung 2009; 62: 42-44.

HEISS R. Verpackung von Lebensmitteln Anwendung der wissenschaftlichen Grundlagen in der Praxis. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1980; 72-87, 98-99.

JACKSON J. Esterform Packaging Ltd. E-Mail vom 30.09.09.

KRONES (1). PET-Flasche in Lightweighting-Ausführung. Internet: <http://www.krones.com/de/branchen/398.htm> (accessed 25.02.10).

KRONES (2). Krones NitroPouch Verfahren erhält Deutschen Verpackungspreis. Internet: http://www.krones.com/de/unternehmen/6131_8055.htm (accessed 25.02.10).

LANDON F: Packaging – a mirror of our society. packaging europe 2009; 76-78.

LUNDQUIST L, WYSER Y. Bioplastics in Food Packaging: A Nestlé Perspective. Proceedings of 15th IAPRI World Conference on Packaging 2006; 15: 336-339.

MITSUBISHI MONITOR 2007. PECOLOGY is Good for Ecology. Internet: <http://www.mitsubishi.com/mpac/e/monitor/back/0704/green.html> (accessed 10.04.2010).

MONTAGUE-JONES G. Krones declares ultra-light PET bottle ready for supermarkets Beverage daily.com 2009. Internet: <http://www.beveragedaily.com/Products/Krones-declares-ultra-light-PET-bottle-ready-for-supermarkets> (accessed 25.02.10).

NESTLÉ WATERS. CO² and Energy. Internet: http://www.nestle-waters.com/environment/co2_and_energy.html (accessed 25.02.10).

NEXTEK. Next Steps in PET Bottle Lightweighting. Internet: [http://www.nextek.org/D ata/Presentations/Next Steps in LW PET Bottles.pdf](http://www.nextek.org/D ata/Presentations/Next_Steps_in_LW_PET_Bottles.pdf) (accessed 25.02.10).

- PET ENGINEERING (2). Internet: <http://www.petengineering.com/de/ref-prod.php?p=120> (accessed 25.02.10).
- PETERSEN K, NIELSEN PV, BERTELSEN G, LAWThER M, OLSEN MB, NILSSON NH, MORTENSEN G. Potential of biobased materials for food packaging. Trends in Food Science & Technology 1995;10: 52-68.
- PLASTICKER 2010. bvse-Marktbericht Kunststoffe - Juni 2010. Internet: <http://plastic. ker.de/preise/marktbericht2.php?j=10&mt=6&quelle=bvse> (accessed 01.07.10).
- SIRACUSA V, ROCCULI P, ROMANI S, DALLA ROSA M. Biodegradable polymers for food packaging: a review. Trends in Food Science & Technology 2008; 20: 1-10.
- ROSSER J. Think about the box. packaging europe 2009; 29-30.
- SIDEL. Discover the Innovation NoBottle. Internet: http://www.no-bottle.com/en/all_about_nobottle/presentation (accessed 25.02.10).
- STATISTIK AUSTRIA (1). Demographisches Jahrbuch 2008. Internet: http://www.statistik.at/web_de/dynamic/statistiken/bevoelkerung/bevoelkerungsstand_und_veraenderung/publikationen?id=&webcat=24&nodeId=189&frag=3&listid=24 (accessed 25.02.2010).
- STATISTIK AUSTRIA (2). Haushalte 1951 bis 2001 nach Haushaltstyp bzw. -größe und Bundesländern. Internet: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/haushalte_familien_lebensformen/haushalte/index.html (accessed 25.02.10).
- STEHLE G. Lebensmittel verpacken. Milchwirtschaftlicher Fachverlag GmbH, Remagen-Rolandseck, 1997; 13-15.
- STEIGERWALD F. Ökologische Optimierung von Verpackungen für Körperpflegemittel – Wo stehen wir heute? In: Verpackungshandbuch 1999 (Ziolkowsky B, Hrsg). Verlag für chemische Industrie, Augsburg, 1998; 18-29.
- STURM W. Verpackung Milchwirtschaftlicher Lebensmittel. Edition IMQ, Kempten, 1998; 37.
- VerpackV (Verpackungsverordnung) 1998. Internet: http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/verpackv_1998/gesamt.pdf (accessed 25.02.10).
- WKO 2006. Neue Wege gehen Umsetzungsbericht der Österreichischen Getränke-wirtschaft. Internet: <http://www.mehrweg.at/file/000283.pdf> (accessed 01.07.10).
- WRAP (1). Section 4: Tools and techniques to evolve packaging. Internet: http://www.wrap.org.uk/retail/the_guide_to_evolutionary_packaging_design/index.html (accessed 25.02.10).

WRAP (2). Raising the bar in PET bottle lightweighting. Internet: http://www.wrap.org.uk/retail/case_studies_research/lightweighting_carbo.html (accessed 25.02.10).

WRAP (3). Minimising packaging: Coca-Cola's lightest ever PET 500 ml bottle in GB. Internet: http://www.wrap.org.uk/retail/case_studies_research/case_study_3.html (accessed 25.02.10).

YOSHIMURA N, SAGAWA R, SHIRAKURA A, SATOH N, FURUYA H. Development of lightweight easy-crushable PET-bottles. Proceedings of 15th IAPRI World Conference on Packaging 2006; 15: 82-85.

ZÖGER M. Constantia Packaging Sales Ges.m.b.H. Telefonat vom 22.10.09. Dauer: ca. 30 min.

Abbildungen

AQUAFINA. Internet : <http://www.aquafina.com/> (accessed 25.02.10).

ESTERFORM PACKAGING. 500 ml Lightweight. Internet: <http://www.esterform.com/uploads/0416200924431500.pdf> (accessed 25.02.10).

KIRIN BEVERAGE CO., LTD. Internet: http://www.kirinholdings.co.jp/english/rd/technology/pdf/21_24_drinkfood.pdf (accessed 10.04.10).

KRONES (2). Kronen NitroPouch Verfahren erhält Deutschen Verpackungspreis. Internet: http://www.krones.com/de/unternehmen/6131_8055.htm (accessed 25.02.10).

NESTLÉ WATERS. CO² and Energy. Internet: http://www.nestle-waters.com/environment/co2_and_energy.html (accessed 25.02.10).

NIAGARA BOTTLING. Niagara's new Eco-Air Bottle - one of the most environmentally friendly bottles ever! Internet: <http://www.niagarawater.com/Eco-Air-Bottle.aspx> (accessed 25.02.10).

PET ENGINEERING (1). Internet: <http://www.petengineering.com/de/ref-prod.php?p=119> (accessed 25.02.10).

PET ENGINEERING (2). Internet: <http://www.petengineering.com/de/ref-prod.php?p=120> (accessed 25.02.10).

SIDEL. Discover the Innovation NoBottle. Internet: http://www.no-bottle.com/en/all_about_nobottle/presentation (accessed 25.02.10).

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Vor- und Zuname: Verena Zach-Polt
Geburtsdatum: 24. 01. 1984
Familienstand: ledig
Staatsbürgerschaft: Österreich

Schulbildung:

1990-1994 Volksschule Schulgemeinschaft Haugschlag/Reingers
1994-1998 BG/BRG Waidhofen/Thaya
1998-2003 HAK Waidhofen/Thaya
2003-lfd. Diplomstudium der Ernährungswissenschaften an der
Universität Wien
02/2008-06/2008 Auslandssemester in Valencia, Spanien

Praktika:

07/2004-08/2004 *Gemeinde Reingers*
07/2005-08/2005 Personenführungen im Rahmen der „Hanfzeit“
07/2006-08/2006

08/2007 *Qualitätslabor Niederösterreich*
Bereich Mikrobiologie

07/2007 *ofi Forschungsinstitut für Chemie und Technik*
09/2008 Bereich Verpackung
07/2009-08/2009

Berufliche Erfahrung:

10/2008-lfd. *ofi Forschungsinstitut für Chemie und Technik*
Geringfügige Beschäftigung, Bereich Verpackung

Wien, im August 2010

.....