universität wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Verpackungen für Obst und Gemüse – Marktanalyse und Bewertung der Nachhaltigkeit“

verfasst von / submitted by

Angelika Krammer, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien, 2019 / Vienna 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt / degree programme code as it appears on the student record sheet:	A 066 838
Studienrichtung lt. Studienblatt / degree programme as it appears on the student record sheet:	Masterstudium Ernährungswissenschaften
Betreut von / Supervisor:	Univ.-Doz. Mag. Dr. Manfred Tacker

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Zuerst möchte ich Herrn Univ. Doz. Dr. Manfred Tacker danken, der diese Arbeit betreut hat und für die Möglichkeit zu diesem Thema meine Masterarbeit zu verfassen.

Ebenso danke ich Dipl.-Ing. Bernhard Wohner, BEd und Ing.in Ulla Gürlich für die Unterstützung bei der empirischen Untersuchung.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben und die mich immer unterstützt haben – und das nicht nur während der Zeit des Schreibens, sondern im gesamten Studium. Danke, dass ihr immer ein offenes Ohr für mich habt, ohne eure Hilfe hätte ich das niemals geschafft.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis I

Tabellenverzeichnis IV

Abkürzungsverzeichnis V

1. Einleitung und Fragestellung 1

2. Literaturüberblick 3

2.1. Obst und Gemüse in der menschlichen Ernährung 3

2.2. Obst und Gemüsekonsum in Österreich 4

2.3. Verpackungsfunktionen 5

2.3.1. Primärfunktionen 6

2.3.2. Sekundärfunktionen 7

2.3.3. Tertiärfunktionen 8

2.4. Verpackungsmaterialien für Obst und Gemüse 8

2.4.1. Kunststoffe 9

2.4.1.1. Polyethylen (PE) 10

2.4.1.2. Polypropylen (PP) 12

2.4.1.3. Polystyrol (PS) 13

2.4.1.4. Polyethylenterephthalat (PET) 14

2.4.2. Biokunststoffe 15

2.4.3. Papier, Karton, Pappe 18

2.5. Umweltauswirkungen 20

2.5.1. Treibhausgasemissionen 20

2.5.2. Folgen des Klimawandels 21

2.5.3. Verpackungsmüll 22

2.6. Metabolismus von Obst und Gemüse 25

2.6.1. Respiration 26

2.6.1.1. Interne Einflüsse auf die Respiration 27

2.6.1.2. Externe Einflüsse auf die Respiration 28

2.6.2. Transpiration 30

2.6.3. Mikroorganismen 31

2.7. Anforderungen von Obst und Gemüse an die Verpackung 32

2.7.1. Obstverpackungen 33

2.7.2. Gemüseverpackungen 34

3. Material und Methode 35

3.1. Marktrecherche und Probenauswahl 35

3.2. Übersicht der erhobenen Verpackungen für Obst und Gemüse 38
3.3. Messung der Masse 56
3.4. Identifizierung der Verpackungsmaterialien 56
3.5. Bewertung der Nachhaltigkeit 59
3.5.1. Produktschutz bzw. Qualitätserhalt 59
3.5.2. Umweltbelastung 61
3.5.2.1. Materialeinsatz 61
3.5.2.2. CO_2-Emissionen 62
3.5.3. Recyclingfähigkeit 64
4. Ergebnisse 65
4.1. Identifizierung der Verpackungsmaterialien 65
4.2. Produktschutz und Qualitätserhalt 74
4.2.1. Kunststoff – Schalen 74
4.2.2. Karton - Schalen 80
4.2.3. Beutel, Folien und Netze 85
4.2.4. Übersicht Produktschutz 89
4.3. Materialeinsatz 91
4.4. Streamlined LCA 96
4.4.1. Vergleich der Proben 05 und 62 101
4.4.2. Vergleich der Proben 18 und 39 103
4.4.3. Vergleich der Proben 50 und 58 105
4.4.4. Übersicht der LCA-Ergebnisse 107
4.5. Recyclingfähigkeit 108
4.6. Überblick aller Ergebnisse 116
5. Diskussion 122
Produktschutz 122
Materialeinsatz 128
CO_2-Emissionen 130
Recyclingfähigkeit 132
6. Ausblick 135
7. Zusammenfassung 138
8. Abstract 139
9. Literaturverzeichnis 140

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Österreichische Ernährungspyramide Quelle:(BMGF 2018) 3
Abbildung 2: Einteilung von Kunststoffen (Strimitzer und Höher 2015) 16
Abbildung 3: Probe 01 „Birnen in KS-Schale mit Netz“ 38
Abbildung 4: Probe 02 „Erdbeeren in KS-Schale mit Pad“ 39
Abbildung 5: Probe 03 „Himbeeren in KS-Schale“ 39
Abbildung 6: Probe 04 „Heidelbeeren in KS-Schale mit Deckel“ 39
Abbildung 7: Probe 05 „Äpfel in KS-Beutel“ 39
Abbildung 8: Probe 06 „Äpfel in Kartonschale“ 39
Abbildung 9: Probe 07 „Weintrauben in KS-Schale“ 40
Abbildung 10: Probe 08 „Pflaumen in Kartonschale“ 40
Abbildung 11: Probe 09 „Limetten in Netz“ 40
Abbildung 12: Probe 10 „Zitronen in Netz“ 40
Abbildung 13: Probe 11 „Orangen in Netz“ 40
Abbildung 14: Probe 12 „Karotten in KS-Beutel“ 40
Abbildung 15: Probe 13 „Bio-Champignons in KS-Schale“ 41
Abbildung 16: Probe 14 „Snack-Gurken in Kartonschale“ 41
Abbildung 17: Probe 15 „Gurke in Folie“ 41
Abbildung 18: Probe 16 „Knoblauch in Netz“ 41
Abbildung 19: Probe 17 „Paprika in Folie“ 41
Abbildung 20: Probe 18 „Tomaten in Kartonschale“ 41
Abbildung 21: Probe 19 „Brokkoli in Folie“ 42
Abbildung 22: Probe 20 „Vogerlsalat in KS-Schale“ 42
Abbildung 23: Probe 21 „Datteln in Holzschale“ 42
Abbildung 24: Probe 22 „Pflaumen in KS-Schale mit Netz“ 42
Abbildung 25: Probe 23 „Kakis in KS-Schale“ 42
Abbildung 26: Probe 24 „Clementinen in Karton-Körbchen“ 43
Abbildung 27: Probe 25 „Erdbeeren in KS-Schale“ 43
Abbildung 28: Probe 26 „Avocados in Kartonschale“ 43
Abbildung 29: Probe 27 „Erdäpfel in Netz“ 43
Abbildung 30: Probe 28 „Karottenmix in Kartonschale“ 43
Abbildung 31: Probe 29 „Paprika in Kartonschale“ 44
Abbildung 32: Probe 30 „Tomaten in Kübel“ 44
Abbildung 33: Probe 31 „Tomaten in KS-Schale“ 44
Abbildung 34: Probe 32 „Karfiol in Folie“ 44
Abbildung 35: Probe 33 „Fisolen in Beutel“ 44
Abbildung 36: Probe 34 „Zurück zum Ursprung Vogerlsalat in KS-Schale““ 45

Abbildung 37: Probe 35 „Eisbergsalat in Folie“ 45
Abbildung 38: Probe 36 „Living Salad in Folie“ 45
Abbildung 39: Probe 37 „Birnen in KS-Schale mit Folie“ 45
Abbildung 40: Probe 38 „Clementinen in Holzschale“ 45
Abbildung 41: Probe 39 „Kiwis in KS-Schale“ 45
Abbildung 42: Probe 40 „Pomelo in Folie“ 46
Abbildung 43: Probe 41 „Snack-Gurken in KS-Schale“ 46
Abbildung 44: Probe 42 „Suppengemüse in KS-Schale“ 46
Abbildung 45: Probe 43 „Snack-Karotten in Beutel“ 46
Abbildung 46: Probe 44 „Paprika, Tomaten in KS-Schale“ 46
Abbildung 47: Probe 45 „Tomaten in KS-Schale mit Deckel“ 46
Abbildung 48: Probe 46 „Tomaten in KS-Schale mit Folie“ 47
Abbildung 49: Probe 47 „Champignons in KS-Schale“ 47
Abbildung 50: Probe 48 „Fisolen in Netz/Folie“ 47
Abbildung 51: Probe 49 „Blattspinat in Beutel“ 47
Abbildung 52: Probe 50 „Avocados in Karton-Körbchen“ 47
Abbildung 53: Probe 51 „Beerenmix in KS-Schale“ 48
Abbildung 54: Probe 52 „Papaya in KS-Netz“ 48
Abbildung 55: Probe 53 „Physalis in Karton-Körbchen“ 48
Abbildung 56: Probe 54 „Limetten in Kartonschale“ 48
Abbildung 57: Probe 55 „Mini-Bananen in Beutel“ 48
Abbildung 58: Probe 56 „Datteln in Kartonschale“ 49
Abbildung 59: Probe 57 „Bio-Karotten in NAWARO-Beutel“ 49
Abbildung 60: Probe 58 „Suppengrün in KS-Schale“ 49
Abbildung 61: Probe 59 „Bio-Champignons in Kartonschale“ 49
Abbildung 62: Probe 60 „Bio-Zwiebel in Kartonschale“ 49
Abbildung 63: Probe 61 „Knoblauch in Papierbeutel“ 50
Abbildung 64: Probe 62 „Erdäpfel in Papierbeutel“ 50
Abbildung 65: Probe 63 „Spar Premium Erdäpfel in Papierbeutel“ 50
Abbildung 66: Probe 64 „Himbeeren und Heidelbeeren in KS-Schale“ 50
Abbildung 67: Probe 65 „Äpfel in Palmblattschale“ 50
Abbildung 68: Probe 66 „Weintrauben in Papierbeutel“ 51
Abbildung 69: Probe 67 „Datteln in Kartonschale mit Folie“ 51
Abbildung 70: Probe 68 „Datteln in KS-Schale“ 51
Abbildung 71: Probe 69 „Rudolfinen in Karton-Körbchen“ 51
Abbildung 72: Probe 70 „Clementinen in Jutesack“ 51
Abbildung 73: Probe 71 „Jackfrucht in KS-Schale“ 52
Abbildung 74: Probe 72 „Radieschen in Beutel“ 52

Abbildung 75: Probe 73 „Salat in Kartonschale“ 52
Abbildung 76: Probe 74 „Chicorée in Kartonschale“ 52
Abbildung 77: Probe 75 „Salatherzen in KS-Schale“ 52
Abbildung 78: Probe 76 „Knoblauch in Bastkörbchen“ 53
Abbildung 79: Probe 77 „Shii-Take-Pilze in Holzschale“ 53
Abbildung 80: Probe 78 „Bio-Champignons in Kartonschale“ 53
Abbildung 81: Probe 79 „Kräuterseitlinge in Kartonschale“ 53
Abbildung 82: Probe 80 „Püree-Erdäpfel in Netz“ 53
Abbildung 83: Probe 81 „Snackpaprika in Beutel“ 54
Abbildung 84: Probe 82 „Clementinen in Holzkiste“ 54
Abbildung 85: Probe 83 „Physalis in KS-Körbchen“ 54
Abbildung 86: Probe 84 „Heidelbeeren in KS-Schale“ 54
Abbildung 87: Probe 85 „Zitronengras in Folie“ 55
Abbildung 88: Probe 86 „Bananen in Folie“ 55
Abbildung 89: Probe 87 „Avocados in KS-Schale“ 55
Abbildung 90: Recyclingsymbol Quelle: (Recycling.com 2016) 56
Abbildung 91: Spektrum von Polypropylen 58
Abbildung 92: Materialien der Schalen 69
Abbildung 93: Materialien der Folien und Beutel 70
Abbildung 94: Materialien der Netze 71
Abbildung 95: Materialien der Etiketten 72
Abbildung 96: Materialien der Klammern und Verschlüsse 73
Abbildung 97: Produktschutz: Kunststoffschalen – mechanischer Schutz 78
Abbildung 98: Produktschutz: Kunststoffschalen – Qualitätserhalt 79
Abbildung 99: Produktschutz: Kartonschalen – mechanischer Schutz 84
Abbildung 100: Produktschutz: Kartonschalen – Qualitätserhalt 84
Abbildung 101: Produktschutz: Beutel, Folien und Netze – mechanischer Schutz 87
Abbildung 102: Produktschutz: Beutel, Folien und Netze – Qualitätserhalt 88
Abbildung 103: Ergebnisse – mechanischer Produktschutz 89
Abbildung 104: Ergebnisse - Qualitätserhalt 90
Abbildung 105: Bewertung des Materialeinsatzes getrennt nach Gruppen 95
Abbildung 106: Ergebnis der Recyclingfähigkeit 114
Abbildung 107: Gesamtbewertung (Produktschutz, Materialeinsatz) und Recyclingfähigkeit 119

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von PE als Packstoff (Kaßmann 2014) 10
Tabelle 2: Vor- und Nachteile von Polypropylen (Kaßmann 2014) 12
Tabelle 3: Vor- und Nachteile von Polystyrol (Kaßmann 2014) 13
Tabelle 4: Vor- und Nachteile von PET (Kaßmann 2014) 14
Tabelle 5: Klassifikation von Gemüse anhand ihrer Respirationsintensität (Robertson 2016) 27
Tabelle 6: Einteilung von Früchten nach ihrer Ethylenproduktionsrate (Robertson 2016) 29
Tabelle 7: Probennahme inklusive Datum, Supermarkt und Lebensmittel 38
Tabelle 8: Überblick der erhobenen Verpackungen inklusive Foto der Probe und kurzer Beschreibung 55
Tabelle 9: Recycling Codes. Quelle: (BMLFUW 2014) 57
Tabelle 10: Bewertungsgrundlage für den Produktschutz bzw. Qualitätserhalt 59
Tabelle 11: Einteilung von Obst nach Respirationsrate (Wilson et al. 1999) 60
Tabelle 12: Einteilung von Gemüse nach Respirationsrate (Robertson 2016) 60
Tabelle 13: Materialeinsatz: Einteilung der Bewertungsgruppen (inklusive Minimum und Maximum des Verhältnisses) 62
Tabelle 14: Materialien der einzelnen Verpackungsbestandteile 68
Tabelle 15: Bewertung des Produktschutzes - Kunststoffschalen 78
Tabelle 16: Bewertung des Produktschutzes - Kartonschalen 83
Tabelle 17: Bewertung des Produktschutzes - Beutel, Folien und Netze 87
Tabelle 18: Bewertung des Materialeinsatzes 93
Tabelle 19: Materialeinsatz innerhalb der Gruppen 94
Tabelle 20: Masse der Komponenten, Masse des Füllguts zur Berechnung der LCA 98
Tabelle 21: Angaben, die zur Berechnung in PAST verwendet wurden 99
Tabelle 22: LCA-Ergebnis von Probe 05 101
Tabelle 23: LCA-Ergebnis von Probe 62 101
Tabelle 24: LCA-Ergebnis von Probe 18 103
Tabelle 25: LCA-Ergebnis von Probe 39 103
Tabelle 26: LCA-Ergebnis von Probe 50 105
Tabelle 27: LCA-Ergebnis von Probe 58 105
Tabelle 28: Übersicht der THG-Emissionen und des PEF 107
Tabelle 29: Bewertung der Recyclingfähigkeit 113
Tabelle 30: Recyclingfähigkeit getrennt nach Gruppen 115
Tabelle 31: Überblick aller Teilergebnisse inklusive Gesamtbewertung 118
Tabelle 32: THG-Emissionen und PEF pro 1kg Füllgut 131

Abkürzungsverzeichnis

µL	Mikroliter
µm	Mikrometer
ATP	Adenosintriphosphat
bzw.	beziehungsweise
C_2H_4	Ethylen
CC	Climate Change; Klimawandel
CO_2	Kohlenstoffdioxid
CO_2-Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
CPET	kristallines PET
F	Fossils; fossile Ressourcen
FE	Freshwater Eutrophication; Süßwasser Eutrophierung
FTA	Freshwater and terrestrial acidification; Süßwasser- und Landversauerung
g	Gramm
H_2O	Wasser
HD-PE	Polyethylen, hohe Dichte
kg	Kilogramm
KS	Kunststoff
LCA	Life Cycle Assessment; Lebenszyklusanalyse
LD-PE	Polyethylen, niedrige Dichte
LLD-PE	Polyethylen, linear, niedrige Dichte
LM	Lebensmittel
LU	Land Use; Landverbrauch
mg	Milligramm
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
NAWARO	nachwachsende Rohstoffe
nm	Nanometer

O_2	Sauerstoff
PA	Polyamid
PAST	Packaging Sustainability Tool
PE	Polyethylen
PEF	Product Environmental Footprint; Umwelt Fußabdruck
PET	Polyethylenterephthalat
PHA	Polyhydroxyalkanoate
PLA	Polylactic acid; Polymilchsäure
POD	Photochemical Ozone Depletion
PP	Polypropylen
PPK	Papier, Pappe, Karton
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
RE	Respiratory Effects
R-PET	recyceltes PET
THG	Treibhausgase
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung und Fragestellung

Jeden Tag werden wir mit den unterschiedlichsten Verpackungen konfrontiert, so auch beim Lebensmitteleinkauf in Supermärkten. In der Obst- und Gemüseabteilung wird frische Ware kaum lose angeboten, sondern oft aufwendig verpackt.

Das meiste Obst und Gemüse ist industriell vorverpackt. Insgesamt 63 Prozent der frischen Ware, die von privaten Haushalten in Supermärkten eingekauft wird, wird verpackt angeboten. 34 Prozent werden in Serviceverpackungen, wie Beutel aus Kunststoff oder Papier, gekauft und nur 3 % werden vom Konsumenten unverpackt bzw. in eigenen Beuteln nach Hause transportiert. Frisches Gemüse wird mit 68%, häufiger vorverpackt als Obst mit 59%. Der Großteil der Verpackungsmaterialien sind Kunststoffe, gefolgt von Papier, Pappe und Karton. Holz und Baumwolle werden kaum für Verpackungen verwendet. Aus Kunststoffen werden vor allem Schalen, Folien und Netze hergestellt, um Obst und Gemüse zu verpacken, aus Papier und Pappe hauptsächlich Schalen und Beutel (NABU 2017).
Die Ausmaße, die Verpackungen annehmen können, sind in den letzten Jahren immer wieder in sozialen Medien bzw. dem Internet aufgetaucht. Vor allem Obst und Gemüse haben für Aufsehen gesorgt, da hier zum Beispiel Bananen und Mandarinen geschält oder Avocados entkernt und halbiert und dann in Plastik verpackt wurden (Tillich 2018).

Neben vielen Vorteilen bringen Verpackungen auch einige Nachteile mit sich. Die Herstellung ist mit der Produktion von CO_2 verbunden. Dieses und weitere sogenannte Treibhausgase sind für die Erderwärmung verantwortlich und beeinflussen dadurch das Klima, wodurch es immer häufiger zu extremen Wetterereignissen kommt.
Nicht nur die Herstellung bzw. Verarbeitung von Verpackungsmaterialien wirkt sich auf das Klima und somit die Umwelt aus, sondern auch die Entsorgung von Verpackungen. Vor allem Plastik wird nicht immer in dafür vorgesehenen Mülleimern entsorgt, sondern landet oft in der Umwelt und in Gewässern. In Ozeanen findet man mittlerweile überall Plastikmüll, weshalb es weltweit schon mehrere Müllstrudel gibt. Durch diese enormen

Mengen an Müll wird das Leben von Tieren bedroht, die aufgrund dessen verhungern. In weiterer Folge wird dadurch auch die Gesundheit der Menschen negativ beeinflusst.

Um die Umwelt und das Klima weniger zu belasten, sind nachhaltige Lösungen für Verpackungen von großer Bedeutung. Dabei wäre es notwendig, übermäßiges Material zu vermeiden, wenn es nicht dem Schutz des Lebensmittels dient.

In dieser Masterarbeit wird eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, in der die Rolle von Obst und Gemüse in der menschlichen Ernährung, sowie deren Konsum in Österreich beschrieben wird. Außerdem werden die unterschiedlichen Funktionen von Verpackungen und die Materialien näher betrachtet. Der Literaturüberblick zeigt ebenfalls, welche Auswirkungen Verpackungen auf die Umwelt haben.

Das aktuelle Sortiment an Obst- und Gemüseverpackungen wird erfasst, indem bei den vier wichtigsten Supermarktketten Österreichs eine Marktanalyse durchgeführt wird. Die Nachhaltigkeit der erhobenen Verpackungen wird durch ausgewählte Kategorien beurteilt. Der Produktschutz spielt bei Obst und Gemüse eine wichtige Rolle, da Verpackungen vor allem diese Funktion erfüllen müssen. Des Weiteren werden die Materialeffizienz und die Recyclingfähigkeit jeder erhobenen Probe bewertet und von ausgewählten Verpackungen die CO_2-Emissionen berechnet.

Durch kritische Betrachtung dieser Aspekte soll ein umfassender Überblick der aktuell verfügbaren Verpackungen hinsichtlich Nachhaltigkeit, inklusive Vor- und Nachteile der jeweiligen Probe vermittelt werden.

2. Literaturüberblick

2.1. Obst und Gemüse in der menschlichen Ernährung

Um die menschliche Gesundheit optimal zu fördern und das Körpergewicht zu regulieren, ist eine obst-und gemüsereiche Ernährung sehr wichtig. Der Obst- und Gemüsekonsum bzw. deren Konsumempfehlung ist Thema vieler internationaler Organisationen. Aufgrund ihres hohen Wasser- und niedrigen Fettgehalts zeichnen sich Lebensmittel pflanzlichen Ursprungs durch eine geringe Energiedichte aus. Sie weisen einen hohen Gehalt an Kohlenhydraten und Ballaststoffen auf und liefern wichtige Mikronährstoffe, wie Carotinoide, Vitamine, Mineralstoffe und Polyphenole. Diese bioaktiven Moleküle besitzen therapeutisches Potential wodurch die Energieaufnahme beeinflusst wird. Außerdem reduzieren sie exzessiven oxidativen Stress, pro-inflammatorische Zustände und Stoffwechselstörungen. Des weiteren hat eine obst- und gemüsereiche Ernährung einen positiven Einfluss auf chronische Krankheiten, wie Adipositas, Diabetes, Krebs, kardiovaskuläre und neurodegenerative Krankheiten (Septembre-Malaterre et al. 2018).

Abbildung 1: Österreichische Ernährungspyramide Quelle:(BMGF 2018)

Die in Abbildung 1 dargestellte österreichische Ernährungspyramide dient als gute Referenz für eine gesunde und abwechslungsreiche Ernährung. In der Pyramide sind sechs Lebensmittel- und eine Getränkegruppe dargestellt. Befindet sich ein Lebensmittel weiter unten, so soll davon mehr konsumiert werden bzw. häufiger im Speiseplan vorkommen. Obst und Gemüse findet man in der zweiten Gruppe von unten, daher sollte diese Lebensmittelgruppe mehrmals täglich konsumiert werden. Die Empfehlung für den Konsum von Obst, Gemüse und Hülsenfrüchten liegt bei fünf Portionen pro Tag. Davon sollten idealerweise zwei durch Obst und drei durch Gemüse und/oder Hülsenfrüchte gedeckt werden, wobei etwa eine geballte Faust einer Portion entspricht. Eine Portion entspricht bei Obst 125 bis 150g, bei gegartem Gemüse 200-300g, bei Rohkost 100-200g und bei Salat 75-100g (AGES 2018).

2.2. Obst und Gemüsekonsum in Österreich

In den letzten 24 Jahren hat sich der jährliche Obst- und Gemüsekonsum in Österreich verändert. Der Pro-Kopf-Verbrauch von Gemüse betrug in den Jahren 1994/95 etwa 85,9kg und ist seitdem angestiegen. 2016/17 liegt der Gemüsekonsum bei 112,8kg pro Person und Jahr, was einem Plus von 26,9kg entspricht. Der Obstkonsum ist seit 1994/95 allerdings von 84,5kg um 13,8kg gesunken und beträgt 2016/17 nur noch 70,7kg pro Kopf (AMA 2018).

Der österreichische Ernährungsbericht 2017 bietet ein umfassendes Bild der Ernährungssituation von Männern und Frauen zwischen 18 und 64 Jahren. Durch die Verwendung von Fragebögen wurde unter anderem die Verzehrhäufigkeit von Lebensmittelgruppen, darunter auch Obst und Gemüse, ermittelt.
Männer nehmen pro Tag durchschnittlich 132 bis 147g Obst zu sich, was umgerechnet etwa einer Portion entspricht. Die empfohlenen zwei Portionen (250 bis 300g) erreichen sie dadurch nicht. Obwohl Frauen mehr Obst essen als Männer, erreichen auch sie mit 150 bis 220g die täglich empfohlene Menge nicht. Beim Konsum von Gemüse sieht die Situation sehr ähnlich aus. Die täglich verzehrte Menge liegt bei Frauen zwischen 206g

und 215g und bei Männern zwischen 200g und 218g, was in beiden Fällen nur etwa einer Portion entspricht. Somit ist der Gemüsekonsum zwar etwas höher als der Obstkonsum, aber von den insgesamt fünf empfohlenen Portionen Obst und Gemüse pro Tag werden durchschnittlich nur zwei erreicht (Rust et al. 2017).

2.3. Verpackungsfunktionen

Verpackungen sind aus verschiedenen Packstoffen hergestellte Packmittel, Packhilfsmittel oder Paletten zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung und zur Darbietung von Waren. Packmittel sind dabei Erzeugnisse, die dazu bestimmt sind, Waren oder Güter für Verkehrs-, Lager-, Transport-, Versand- oder Verkaufszwecke zu umschließen oder zusammenzuhalten. Packhilfsmittel sind Erzeugnisse, die zum Zweck der Verpackung zusammen mit Packmitteln insbesondere zum Verpacken, Verschließen, Versandfertigmachen und zur Kennzeichnung einer Ware dienen (BMLFUW 2014).

Verpackungen können in Primär-, Sekundär- und Tertiärverpackungen unterteilt werden. Die Primär- oder Verkaufsverpackung steht in direktem Kontakt mit dem Füllgut und enthält die für den einzelnen Verbraucher bestimmte Menge. Die Sekundärverpackung bzw. Umverpackung hingegen erleichtert das Handling im Verkaufsbereich und fasst Primärverpackungen zusammen. Unter Tertiär- oder Drittverpackungen versteht man transportfähige Einheiten, die durch Kombination von Sekundärverpackungen entstehen, wie zum Beispiel Paletten.
An Verpackungen werden zahlreiche Anforderungen von Abpackern, Füllgutherstellern, Verpackungsmaschinenlieferanten, Konsumenten und vom Marketing gestellt. Zu den Aufgaben und Funktionen, die Verpackungen erfüllen sollen, gehören der Produktschutz, die Behälterfunktion (Kompartimentierung), die Ermöglichung der Logistik (Distribution und Lagerung), die Warenpräsentation (Kommunikation) und die Verbraucherfreundlichkeit (Convenience). Außerdem muss darauf geachtet werden, die

gesetzlichen Vorschriften einzuhalten, die Umwelt zu schonen und die Kosten in der Lieferkette zu minimieren (Bergmair et al. 2012).

Die Funktionen der Verpackung lassen sich in Primär-, Sekundär- und Tertiärfunktionen unterteilen. Dabei umfassen die Primärfunktionen die technische Beschaffenheit der Verpackung, die Sekundärfunktionen beziehen sich auf die Kommunikation zum Kunden. Die Tertiärfunktion wird auch als Zusatzfunktion bezeichnet (TIS 2018).

2.3.1. Primärfunktionen

Die Schutzfunktion einer Verpackung besteht prinzipiell darin, dass das Packgut vor Außeneinflüssen und die Umwelt vor bestimmten Füllgütern geschützt werden. Außerdem umfasst die Schutzfunktion auch die Qualitätssicherungsfunktion, die Haltbarkeitsfunktion und die Hygienefunktion. Durch mechanische Einflüsse, wie beispielsweise Stapeldruck, Fall, Stoß, Schwingungen oder Reibung, können Verpackung und Packgut geschädigt werden. Das Packgut ist des Weiteren vor klimatischen Einflüssen, wie Wasser, Wasserdampf, Sauerstoff und sonstigen Gasen, aber auch vor Kälte, Wärme und Licht zu schützen. Um den hygienischen Aspekt der Schutzfunktion zu erfüllen, ist es wichtig, auch den Schutz vor Lebewesen, wie Nagetieren, Insekten, Parasiten und Mikroorganismen zu sichern. Der Schutz der Packung vor Diebstahl und der Umweltschutz sind ebenfalls Teile der Schutzfunktion einer Verpackung (Kaßmann 2014).

Die Lager-, Lade- und Transportfunktion beziehen sich auf die technische Beschaffenheit von Verpackungen und zählt daher zu den Primärfunktionen. Verpackungen haben einen großen Einfluss auf die Effektivität des Transports, des Umschlags und der Lagerung von Waren. Um das Handling der Waren zu optimieren, sollten Transportverpackungen so beschaffen sein, dass sie leicht, rationell und sicher gegriffen, bewegt, abgesetzt und verstaut werden können. Des weiteren sollten sie eine flächen- und raumsparende Lagerung ermöglichen, wobei ihre Form und Festigkeit im optimalen

Fall ein lückenloses und sicheres Übereinander- und Nebeneinanderstapeln ermöglicht. Die Schutzfunktion spielt ebenfalls bei Transport-, Umschlag- und Lagervorgängen eine wichtige Rolle, da hier verschiedene statische und dynamische Kräfte auftreten, die von der Verpackung sicher aufgenommen werden müssen, ohne dabei die Ware zu beschädigen. Dies zeigt den engen Zusammenhang zwischen der Lade-, Lager- und Transportfunktion und der Schutzfunktion der Verpackung (TIS 2018).
Die Tertiärverpackung kann die Distribution und Logistik erleichtern, indem sie leicht handhabbar, gut stapelfähig und palettierbar ist und mit einem maschinenlesbaren Code gekennzeichnet ist (Bergmair et al. 2012).

2.3.2. Sekundärfunktionen

Informations- und Werbefunktionen dienen der Kommunikation zum Kunden. Sie umfassen sowohl Pflichtinformationen, die durch Gesetze und Verordnungen vorgeschrieben sind, als auch Informationen, die ein Partner des Warendurchlaufs verlangt, wie der vom Handel geforderte Strichcode. Des Weiteren sind auch freiwillige Informationen auf Verpackungen zu finden, wie beispielsweise Gütesiegel oder Handhabungsanweisungen. Die Gestaltung von Verpackungen fokussiert auf eine schnelle Identifikation von Produkt und Sorte sowie auf die Identifikation der Marke. Dem Verbraucher werden folgende Informationen über das Produkt zur Verfügung gestellt:

- Inhalt (z.B. Beschreibung, Masse, Menge, Materialzusammensetzung)
- Anwendung (z.B. Lagerzeit und -temperatur)
- Qualität (z.B. Prüfzeichen, Haltbarkeit)
- Herkunft (z.B. Hersteller, Herkunftsland, Marke)
- Preis (z.B. Vergleichspreis pro kg) (Kaßmann 2014)

Ziel der Werbefunktion ist es, die Aufmerksamkeit des potentiellen Käufers auf die Ware zu lenken. Dazu dienen Informationen auf Transportverpackungen zur Identifikation der Ware. Die Werbefunktion hat hier eine untergeordnete Rolle, da bei zu viel Werbung

die Gefahr des Diebstahls ansteigt. Wichtig ist die Werbung auf Verkaufsverpackungen, um die Kaufentscheidung des Endverbrauchers positiv zu beeinflussen (TIS 2018).

In industrialisierten Ländern kam es zu enormen Veränderungen im Lebensstil der Bevölkerung. Die Zahl an Singlehaushalten steigt immer mehr an, worauf die Verpackungsindustrie entsprechend reagieren muss. Viele Paare entscheiden sich dazu, später Kinder zu bekommen oder verzichten ganz darauf. Der Bedarf nach Convenience und die Nachfrage für verbraucherfreundliche Verpackungen ist durch diese Veränderungen angestiegen. Die Konsumenten wünschen sich Packungen, die wiederverschließbar sind und dadurch die Qualität des Lebensmittels bewahren, bis es vollständig verbraucht wird oder, dass Packungen in einzelnen Portionsgrößen angeboten werden. Weitere wichtige Aspekte sind, dass die Verpackung leicht zu öffnen und leicht entleerbar ist (Robertson 2016).

2.3.3. Tertiärfunktionen

Die Zusatzfunktion beschäftigt sich damit, inwieweit die Packstoffe nach Benutzung des Packgutes weiterverarbeitet werden können. Ein wichtiges Beispiel ist hier das Recycling von Papier-, Papp- und Kartonverpackungen zu Altpapier (TIS 2018).

2.4. Verpackungsmaterialien für Obst und Gemüse

Packstoffe sind Erzeugnisse, aus denen unmittelbar Packmittel oder Packhilfsmittel oder Paletten hergestellt werden. Die verwendeten Materialien sind Papier, Karton, Pappe, Wellpappe, Glas, Holz, Keramik, Metalle, textile Faserstoffe, Kunststoffe und Packstoffe auf biologischer Basis (BMLFUW 2014). Im Folgenden werden Materialien, die für Obst- und Gemüseverpackungen relevant sind, näher betrachtet.

2.4.1. Kunststoffe

Kunststoffe sind organische Werkstoffe, die durch chemische Modifikation von natürlichen Produkten oder durch die Synthese von chemischen Verbindungen aus Kohle, Erdgas und Erdöl hergestellt werden und im unverarbeiteten Zustand meist fest sind. Alle Kunststoffe enthalten Kohlenstoff und Wasserstoff. Auch Sauerstoff-, Stickstoff- und Chloratome sind in einigen zu finden (Kaßmann 2014).

Die Besonderheit von Kohlenstoffatomen, sich untereinander zu stabilen Ketten, Ringen oder Netzen zu verbinden, ist die Voraussetzung für die Kunststoffherstellung. Dank ihrer Eigenschaften bieten Verpackungen aus Kunststoff einige Vorteile. Zu allererst ist die Herstellung sehr preiswert und die Verpackungen sind leicht, wodurch eine hohe Verpackungsleistung pro Gewichtseinheit möglich ist. Außerdem sind sie gut formbar, weshalb der Gestaltung von Verpackungen kaum Grenzen gesetzt sind. Um die jeweiligen Anforderungen der Produkte zu erfüllen, lassen sich die Eigenschaften der Kunststoffe, wie zum Beispiel Festigkeit, Dehnbarkeit oder Gasdurchlässigkeit beeinflussen. Nachteilig sind bei Kunststoffverpackungen das schlechte Umweltimage und die kostenintensive stoffliche Verwertung. Hohe Kosten werden dabei durch das Sortieren der Verpackungen verursacht, da die unterschiedlichen Kunststoffarten nicht gemeinsam wiederverwertet werden können.
Zu der Vielzahl von Kunststoffen gehören Zellulose-Derivate wie Zellglas und Zelluloseacetat, Polyolefine wie Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP), Lineare Polyester wie Polyethylenterephthalat (PET), Polyamid (PA), Styrol-Polymere wie Polystyrol (PS) und Vinyl-Polymere wie Polyvinylchlorid (PVC) (Bergmair et al. 2012).

Die Eigenschaften von Kunststoffen können durch die Zugabe von Additiven bei der Verarbeitung beeinflusst werden. Hierzu gehören Stabilisatoren (Antioxidatien, Metalldesaktivatoren, Hitzestabilisatoren, UV-Lichtabsorber und Biocide), Verarbeitungshilfsmittel (Gleitmittel, Trockenmittel) und Eigenschaftskorrektoren (Antistatika, Pigmente, optische Aufheller) (Kaßmann 2014).

2.4.1.1. Polyethylen (PE)

PE ist der wichtigste Thermoplast in der Verpackungsherstellung und besitzt die in Tabelle 1 aufgezählten Vor- und Nachteile.

Vorteile	Nachteile
leichte Verarbeitbarkeit	mäßig temperaturbeständig (70-90°C)
sehr gute Chemikalienbeständigkeit	Neigung zur Spannungsrisskorrosion
sehr geringe Wasseraufnahme	relativ hohe Gas- und Aromadurchlässigkeit
sehr geringe Wasserdampf-durchlässigkeit	mäßige Transparenz (20-80%)
physiologisch indifferent	

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von PE als Packstoff (Kaßmann 2014)

PE kann in drei Typen eingeteilt werden, die unterschiedlich hergestellt werden und daher auch andere Eigenschaften besitzen.

- Low-Density-Polyethylen (LD-PE)

PE niedriger Dichte wird bei sehr hohem Druck und hohen Temperaturen aus Ethylen hergestellt. Starke Verzweigungen der Polymerketten führen zu einer geringen Kristallinität und bestimmen die Eigenschaften von LD-PE. Das Material ist flexibel, durchscheinend, siegelfähig und die Gebrauchstemperaturen reichen von – 60°C bis + 90°C. Weitere Charakteristika sind eine geringe Wasserdampfdurchlässigkeit und eine hohe O_2-, CO_2- und Aromadurchlässigkeit. Aus LD-PE werden z.B. Einschlag- und Beutelfolien, Wickelfolien, Tuben, Behälterverschlüsse und Tragetaschen hergestellt (Kaßmann 2014).

- High-Density-Polyethylen (HD-PE)

Anders als bei LD-PE erfolgt die Herstellung von HD-PE bei nur leicht erhöhtem Druck und leicht erhöhter Temperatur und mit Hilfe von metallorganischen Verbindungen oder Chromoxid-Katalysatoren. Die Polymerkette ist weitgehend frei von Verzweigungen, wodurch die Struktur der Moleküle dichter ist und zu einer höheren Kristallinität führt. HD-PE ist härter, reißfester und kristalliner als LD-PE und hat eine geringere Wasserdampf- und O_2-Durchlässigkeit. Die Gebrauchstemperatur ist mit – 50 °C bis +100°C sehr ähnlich. HD-PE wird für die Herstellung von z.B. Hohlkörpern (Flaschen), Tragetaschen, Kanistern und Obst- und Flaschenkästen verwendet (Kaßmann 2014).

- Linear-Low-Density-Polyethylen (LLD-PE)

Diese Art von Ethylen ist linear aufgebaut und besitzt die niedrige Dichte des LD-PE. Die Eigenschaften ähneln aufgrund des linearen Aufbaus der Moleküle dem HD-PE. Der Großteil von LLD-PE wird für die Folienherstellung verwendet und hat sich gegen LD-PE durchgesetzt. Die höhere Kristallinität bei niedriger Dichte ermöglicht die Herstellung von Folien mit erhöhter Zugfestigkeit und die Produktion von dünneren Folien (Kaßmann 2014).

2.4.1.2. Polypropylen (PP)

Dank seiner geringen Dichte handelt es sich bei PP um den leichtesten und ergiebigsten Massenkunststoff. Tabelle 2 zeigt die Eigenschaften von Polypropylen.

Vorteile	Nachteile
gute Temperaturbeständigkeit (bis 150°C)	schlechtere Kälteeigenschaften als PE
kaum spannungsrissempfindlich	Versprödung bei < – 10°C
niedrige Dichte	weniger oxidationsempfindlich als PE
gut fettbeständig	geringe Weiterreißfestigkeit bei orientierten Folien
härtere Oberfläche, kratzfester als PE	
bessere Aromadichte als PE	
guter Glanz, sehr transparent	

Tabelle 2: Vor- und Nachteile von Polypropylen (Kaßmann 2014)

Der Anwendungsbereich von PP umfasst z.B. Becher, Deckel, Wannen, Flaschen für flüssige oder pastöse Füllgüter (Joghurt, Butter, Öle etc.) und Gemüsebeutel (Kaßmann 2014).

2.4.1.3. Polystyrol (PS)

Bei Styrolpolymerisaten handelt es sich um Standard-Kunststoffe, die, je nach am Aufbau verwendeten Komponenten, sehr vielfältig als Packstoffe einsetzbar sind. In Tabelle 3 sind Vor- und Nachteile von Polystyrol angeführt. Wie alle Polymerisate dieser Gruppe ist auch Polystyrol amorph. Aufgrund des niedrigen Preises und der guten Verarbeitbarkeit wird es für das Verpacken von jeglichen Lebensmitteln verwendet. Es werden beispielsweise Schalen, Becher, Dosen, Kästen, Flaschen und Folien aus PS hergestellt (Kaßmann 2014).

Vorteile	Nachteile
brillanter Oberflächenglanz, glanzklar	sehr spröde
hohe Steifigkeit, Transparenz	begrenzte Chemikalienbeständigkeit
sehr gute Fließeigenschaften	lädt sich leicht statisch auf
sehr gute (di-)elektrische Eigenschaften	Brennbarkeit und Rauchentwicklung
leichte Verarbeitbarkeit	geringe Licht- und Wetterbeständigkeit
Maßhaltigkeit (kein Nachschrumpfen)	empfindlich gegen ätherische Öle, Kohlenwasserstoffe
gute Bedruckbarkeit	niedrige Gebrauchstemperatur (60-90°C)
hohe Wasserdampfdurchlässigkeit	
Pfropfcopolymerisation mit Butadien: schlagfest	
physiologisch indifferent	

Tabelle 3: Vor- und Nachteile von Polystyrol (Kaßmann 2014)

2.4.1.4. Polyethylenterephthalat (PET)

PET ist ein linear gesättigter Polyester und gehört zu den thermoplastischen Kunststoffen. Die beinflussbare Teilkristallinität hat zur Folge, dass PET bei kurzer Beanspruchung und bei Temperaturen zwischen – 60 °C und +70°C eine hohe Festigkeit aufweist. PET kann für die Herstellung von Folien oder Hohlkörpern verwendet werden. Außerdem ist es auch möglich Karton- und Papierpackmittel mit PET zu beschichten. In Tabelle 4 sind die Vorteile und Nachteile dieses Kunststoffes angeführt.
Der Anwendungsbereich umfasst Folien und PET-beschichtete Kartons als Mikrowellenverpackungen, Frischfleisch-Reifefolien, temperaturbeständige Flaschen (bis 60°C), Softdrinks (kohlensäurehaltige Getränke, Mineralwasser) und Öle (Kaßmann 2014).

Vorteile	Nachteile
hohe mechanische Festigkeit, Steifheit, Härte	sehr schlecht verschweiß- und siegelbar, Folien deshalb meist in Verbunden eingesetzt
hervorragende Zugfestigkeit, Transparenz	unbeständig gegen konzentrierte Säure & Laugen, Phenole und Heißwasser(dampf)
Gebrauchstemperatur: - 50°C bis + 150°C (Folie)	begrenzte Dauertemperaturbeständigkeit (< 100°C; in Wasserkontakt <70°C)
hohe Maßbeständigkeit	niedrige Wasch- und Fülltemperaturen
Fett- und Aromadichtheit	sensorische Probleme (Acetaldehyd): Probleme bei empfindlichen Produkten
hohe Chemikalien- und Spannungsrissbeständigkeit	längere Lagerung: kritische Gasdurchlässigkeiten (Oxidation O_2-empfindlicher Produkte, Entweichen von CO_2)
Günstiges Zeitstandverhalten	

Tabelle 4: Vor- und Nachteile von PET (Kaßmann 2014)

2.4.2. Biokunststoffe

Trotz der vielen Vorteile von Kunststoffen, wie die günstige Herstellung und die steuerbaren Eigenschaften, stellen die Probleme, die sie verursachen, wie die hohen Recyclingkosten und das negative Ansehen beim Konsumenten ein Problem dar. Die Kunststoffherstellung steigt immer weiter an, was mit erheblichen Umweltauswirkungen verbunden ist (Bergmair et al. 2012).

Eine Alternative sind Biokunststoffe, auch Biopolymere genannt. Die Definition von Biokunststoffen ist allerdings nicht einfach, da hier sowohl der verwendete Rohstoff als auch die biologische Abbaubarkeit berücksichtigt werden müssen. Biologisch abbaubare Polymere sind Kunststoffe, die nachweislich biologisch abbaubar bzw. kompostierbar sind.

Biobasierte Polymere sind Kunststoffe, die aus nachwachsenden Rohstoffen produziert werden. Der normalerweise fossile Kohlenstoff wird bei der Herstellung von biobasierten Kunststoffen durch nicht fossilen Kohlenstoff ersetzt, welcher aus nachwachsenden Rohstoffen wie Zucker, Stärke, Pflanzenölen oder Zellulose stammt. Mais, Kartoffeln, Getreide und Zuckerrohr sind die meist verwendeten Quellen dieser Rohstoffe (Kaßmann 2014).

Wie Abbildung 2 zeigt, können Biokunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen biologisch abbaubar sein, es ist jedoch nicht zwingend notwendig, um als Biokunststoff bezeichnet zu werden. Es ist ebenso möglich, dass Kunststoffe, die aus fossilen Rohstoffen hergestellt wurden, biologisch abbaubar/ kompostierbar sind.

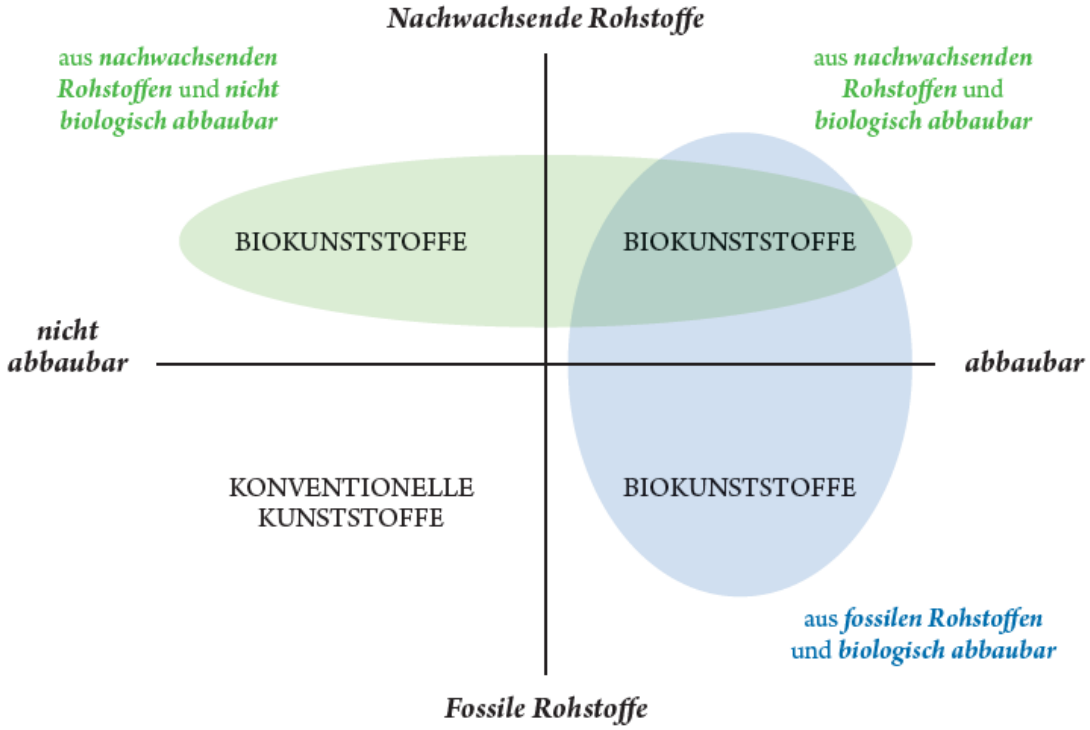


Abbildung 2: Einteilung von Kunststoffen (Strimitzer und Höher 2015)

Zwar werden alle Kunststoffe im Laufe der Zeit abgebaut, jedoch ist dieser Abbau bei biologisch abbaubaren Polymeren gewollt. Licht, Luft und/oder Wasser sollen für einen mechanischen Zerfall und weiter zum Abbau kleinerer Moleküle führen. Die Endprodukte sollen nach Möglichkeit nur Kohlendioxid und Wasser sein. Man unterscheidet vier Klassen von biologisch abbaubaren Werkstoffen:

1) Stärkewerkstoffe (thermoplastische Stärke, Stärke-Blends, extrudierte Stärke)

Stärke zählt aufgrund seiner sehr günstigen physikalischen Charakteristika, wie hohe Barriereeigenschaften und gute rheologischen Eigenschaften, zu den am meisten verwendeten Biomaterialien. Seit den 90er Jahren findet man Stärke in der Verpackungsindustrie. Die Anwendung von thermoplastischer Stärke (TPS) bietet zahlreiche Möglichkeiten. Aufgrund seiner Eigenschaften kann es auf viele Arten verarbeitet werden, wie z.B. Gießen, Thermoformen, Extrusion oder Spritzgießen (Dobrucka 2019).

2) Polymilchsäure (PLA)

PLA wird durch die Umwandlung von Mais bzw. anderen Kohlenhydratquellen in Dextrose hergestellt. Anschließend erfolgt eine Fermentation von Polysacchariden oder Zucker, extrahiert aus Mais, Kartoffeln oder Zuckerrübe, zu Milchsäure. Aus Milchsäure wird durch Ringöffnungspolymerisation und Polykondensation die Polymilchsäure (polylactic acid). PLA besitzt gute mechanische Eigenschaften, eine hohe Transparenz und zeichnet sich durch eine leichte Verarbeitbarkeit aus (Dobrucka 2019).

3) Polyhydroxyalkanoate (PHA)

Biopolymere aus Polyhydroxybutyrat (PHB) haben vor allem durch ihre geringe CO_2-Emission Aufmerksamkeit erlangt. PHA-Kunststoffe sind vollständig biologisch abbaubar und kompostierbar. Die Zersetzung erfolgt durch Prokaryoten, die PHA in Kohlendioxid und Wasser abbauen, die wiederum während des Wachstums der Pflanzen aufgenommen werden. Des weiteren sind die thermoplastischen Eigenschaften von PHA denen von Polypropylen und Polyethylen sehr ähnlich. Allerdings ist die Produktion des Biokunststoffes mit hohen Kosten verbunden (Dobrucka 2019).

4) Cellulosewerkstoffe (Zellglas, CA, CAB etc.)

Cellulose ist einer der Hauptkomponenten der Zellwand von höheren Pflanzen und kommt sowohl in nicht verholzten Pflanzen, wie Baumwolle, als auch in verholzten Pflanzen, wie Bäumen, vor. Cellulosewerkstoffe werden durch Extraktion oder chemische Modifikation natürlicher Cellulose erzeugt. Die wichtigsten organischen Celluloseester sind Celluloseacetat (CA), Celluloseacetatbutyrat (CAB) und –propionat (CAP). Regenerierte Cellulose ist bezogen auf die globale Produktionsmenge das wichtigste Cellulosederivat. Es wird zur Herstellung von Fasern und Folien verwendet, wobei Fasern, wirtschaftlich gesehen, wichtiger sind. Viskosefasern und Zellglas (z.B. Zellophan) werden durch das Viskoseverfahren hergestellt. Zu den Vorteilen von Zellophan zählen die Transparenz und der Glanz, sowie hervorragende Barriereeigenschaften, wenn es beschichtet wurde. Sowohl die Celluloseester als auch regenerierte Cellulose werden hauptsächlich als Verpackungsfolien verwendet (Shen et al. 2009).

2.4.3. Papier, Karton, Pappe

Die Einteilung von Papier, Karton und Pappe erfolgt aufgrund ihrer flächenbezogenen Masse (Angabe in g/m^2). Die Auswahl der einzelnen Komponenten bei der Herstellung von Papier, Karton und Pappe können die Qualität des Endproduktes maßgeblich beeinflussen. Die Grundlage bilden Faserstoffe (Holzschliff, Halbzellstoff, Zellstoff, Altpapier), welche aus Holz gewonnen werden. Füllstoffe wie mineralische Erden und Hilfsstoffe wie Leime, Farben und Chemikalien spielen bei der Herstellung ebenfalls eine wichtige Rolle (Kaßmann 2014).

- Papier

Papier ist ein flächiger Werkstoff, dessen flächenbezogene Masse maximal 225g / m² beträgt. Bei der Herstellung wird ein Faserstoffgemisch auf ein Sieb aufgetragen und entwässert. Die Fasern verfilzen, werden verdichtet und abschließend getrocknet.

- Karton

Unter dem Begriff Karton versteht man Papierarten, die sich durch ihre hohe Festigkeit kennzeichnen. Die flächenbezogene Masse liegt zwischen 150 und 600g/m² und ist somit größer als die von Papier.

- Pappe

Pappe ist der Überbegriff für Voll- und Wellpappe. Vollpappe ist, anders als Wellpappe, stabiler, einlagig und gegautscht, kann zusammengeklebt, beklebt, imprägniert oder beschichtet sein. Die flächenbezogene Masse ist meist höher als die von Karton. Der Packstoff zeichnet sich vor allem durch seine dichte, homogene Struktur, die guten Festigkeitseigenschaften, aber auch durch Feuchtigkeitsunempfindlichkeit und eine geringe Luftdurchlässigkeit aus. Durch verschiedene Laminate können die Eigenschaften des Werkstoffs beeinflusst werden.

Wellpappe besteht, wie der Name schon sagt, aus einer oder mehreren Lagen gewellten Papiers. Es ist auf einer oder zwischen mehreren Lagen Papier geklebt, kann aber auch auf Pappe geklebt sein (Kaßmann 2014).

Das Anwendungsgebiet von Papier, Karton und Pappe ist sehr vielfältig. Im Bereich der Lebensmittelverpackung findet man es überall. Trockene Produkte wie Zerealien, Kekse, Brot, Tee, Kaffee, Zucker und Mehl aber auch gefrorene, gekühlte Lebensmittel und auch Eiscreme werden in Papier und Karton verpackt. Flüssige Lebensmittel und Getränke, wie Fruchtsäfte, Milch und Milchprodukte, sowie Schokolade und Konditorwaren sind in Kartonverpackungen zu finden. Sowohl Fast Food, als auch frische Produkte, wie Obst, Gemüse, Fleisch und Fisch werden in Papier und Karton verpackt (Kirwan 2011).

2.4.4. Holz

Holz zählt zu den ältesten organischen Verpackungen und ist der Rohstoff für instabile Packmittel aus Papier und Karton, kann aber auch als Holz selbst zu stabilen Holzverpackungen verarbeitet werden. Zu Holzpackmitteln gehören sowohl kleine Geschenkkistchen und Körbe, als auch Obst- und Gemüsesteigen sowie Paletten als Ladungsträger. Für die Festigkeit der Verpackung ist neben den natürlichen Eigenschaften von Holz auch die Wahl und Qualität der Holzverbindungen von großer Bedeutung. Zu den wichtigsten Verbindungsmitteln zählen Nägel, Drahtklammern, Schraubnägel, Holzschrauben und Leimverbindungen (Kaßmann 2014).

2.5. Umweltauswirkungen

2.5.1. Treibhausgasemissionen

Der Klimawandel ist auf die Veränderung der Treibhausgaskonzentrationen zurückzuführen. Grundsätzlich absorbieren Treibhausgase, wie Kohlenstoffdioxid, die langwellige warme Infrarotstrahlung, die von der Erde ausgestrahlt wird und ansonsten in den Weltraum gelangen würde. Dieser Effekt ermöglicht das Leben auf der Erde.
Im letzten Jahrhundert ist die globale Durchschnittstemperatur 1°C angestiegen. Die Hauptursache für diesen Anstieg ist mit einer Wahrscheinlichkeit von 95-99% der durch Menschen verursachte Einfluss. Die wichtigsten Treibhausgase sind neben CO_2, Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) die Gruppe der fluorierten Gase (IPCC 2014).

Der Begriff „CO_2-Fußabdruck“ beschreibt die Menge an THG-Emissionen, die von einer Aktivität oder einem Objekt verursacht wird. Auf diese Weise können Organisationen und Einzelpersonen ermitteln, wie hoch ihr Beitrag zur Erderwärmung bzw. zum Klimawandel ist (Robertson 2016).
Die Menge an ausgestoßenen Gasen wird entsprechend ihrem Treibhausgaspotential gewichtet und in CO_2-Äquivalenten ausgedrückt, wobei CO_2 als Referenzwert dient. Das Treibhauspotenzial für Methan ist 25, jenes für Lachgas 298 und für Fluor-Gase liegt das Potential zwischen 11 und 22 800 (UNFCCC 2012). CO_2 entsteht bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe auf Basis von Erdgas, Erdöl und Kohle. Methan wird hauptsächlich bei mikrobiologischen Gärungsprozessen produziert, wie beispielsweise auf Deponien oder in Mägen von Wiederkäuern. Lachgas hingegen entsteht beim biologischen Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen (z.B. Dünger), in Abgaskatalysatoren und in der chemischen Industrie. Quellen für fluorierte Gase sind vor allem Kühltechnik- und Klimaanlagen und die Industrie (IPCC 2014).

2017 wurden weltweit insgesamt mehr als 36 Milliarden Tonnen CO_2 ausgestoßen (Statista 2019b). Im Jahr 2016 betrugen die THG-Emissionen in den EU-28 Staaten durchschnittlich etwa 8,7 Tonnen CO_2-Äquivalent pro Kopf. Mit 9,4 Tonnen CO_2 lagen

die Pro-Kopf Emissionen in Österreich über dem europäischen Wert (Eurostat 2017). Das entspricht etwa 79,7 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten, die in Österreich emittiert wurden. Die EU-28 Staaten haben insgesamt 4 292,7 Millionen Tonnen produziert (EEA 2018).

Laut Schätzungen ist der stärkste Faktor, der zu den anthropogenen THG-Emissionen beiträgt, mit etwa 19-29% der jährlichen Emissionen, die globale Produktion von Nahrungsmitteln. Davon entfallen 80-86% auf die direkten und indirekten Emissionen der landwirtschaftlichen Produktion. Die restlichen 14-20% stammen aus der Vorproduktion (Düngemittelerzeugung, Energienutzung in der Tierfutterproduktion und Pestizidproduktion) und den Aktivitäten nach der Produktion (Verarbeitung, Lagerung, Verpackung, Transport, Kühlung, Einzelhandel, Gastronomie, Hauswirtschaft und Abfallentsorgung auf Deponien). Lagerung, Verpackung und Transport machen allerdings nur etwa 2,3 – 4 % der globalen THG-Emissionen durch die Nahrungsmittelproduktion aus.
Genaue Informationen über die THG-Emissionen aus Lebensmittelverpackungen sind schwer zu interpretieren, da hier die Herstellung der Verpackungsmaterialien, der Verpackungsprozess und auch ein Teil der mit der Kühlkette verbundenen Kosten miteinfließen (Vermeulen et al. 2012).

2.5.2. Folgen des Klimawandels

Die globale Durchschnittstemperatur ist seit 1880 um 1,1°C angestiegen. Dabei waren 2015, 2016 und 2017 die wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen. Das Jahr 2017 galt als Extremjahr, da hier die Ausdehnung des Eises auf den Polkappen auf einem sehr niedrigen Niveau verblieb und die Ausdehnung in der Antarktis einen neuen Tiefstand erreichte. Ebenfalls sind weltweit sehr viele extreme Wetterereignisse aufgetreten, wie Tropenstürme, Überflutung oder Dürren. Weitere Veränderungen, die der Klimawandel zur Folge hat, sind Waldbrände, der Anstieg des Meeresspiegels und Extremwetterereignisse (NASA und NOAA 2018) (NOAA 2018).

Auch in Österreich sind die Auswirkungen der Erderwärmung schon spürbar und werden in Zukunft verstärkt auftreten. Bedeutsame Folgen hierzulande sind eine Zunahme der Hitzetage und Tropennächte, sowie eine verlängerte Vegetationsperiode und eine Zunahme an wärmeliebenden Schädlingen. Häufig auftretende Starkniederschläge und winterliche Niederschläge in Form von Regen nehmen zu und der Rückgang der Schneedecke ist wahrscheinlich. Durch ausgetrocknete Böden im Sommer und gleichzeitig verstärkter Erosion durch Regen wird Humus abgebaut und die Wasseraufnahme der Böden geht zurück. Die Anzahl an Rutschungen, Muren und Steinschlag nimmt zu, sowie die Gefahr für Waldbrände. Durch das Abschmelzen der Gletscher verändert sich die Wasserführung der von Gletscher gespeisten Flüsse. Mit diesen ökologischen Auswirkungen sind auch ökonomische Folgen verknüpft. Betroffen ist hier der Wintertourismus, aber auch die Erträge in der Land- und Forstwirtschaft, die von unregelmäßigen Niederschlägen beeinflusst werden. Außerdem verursachen wetterbedingte Veränderungen in Österreich Schäden in Höhe von etwa 1 Mrd. Euro pro Jahr (Steininger et al. 2015).

2.5.3. Verpackungsmüll

Im Jahr 2016 wurden in Österreich insgesamt rund 61,2 Millionen Tonnen Abfall produziert. Davon entfielen 1,34 Millionen auf Verpackungsmüll, was ca. 2,19% des gesamten Abfallaufkommens entspricht (Eurostat 2019b, 2019c).

Betrachtet man Verpackungsabfälle, so liegt die Rate der stofflichen Verwertung in Österreich bei knapp 67 %. Verpackungen aus Papier und Karton werden zu etwa 85% verwertet, allerdings nur 34 % der Kunststoffverpackungen (Eurostat 2019a).

Die größte Quelle der Kunststoffproduktion sind Verpackungen, die meist direkt nach der Verwendung entsorgt werden. Die meistverwendeten Kunststoffe PE, PP, PS, PVC, Polyurethan, PET, Polyester, PA- und Acrylfasern sind allerdings nicht biologisch abbaubar und enden auf Deponien, in der Natur oder werden verbrannt. Etwa 80-85%

aller Abfälle im Meer sind Kunststoffe. Laut Schätzungen über das Ausmaß der globalen Verschmutzung, schwimmen mindestens 5,25 Billionen Kunststoffteilchen mit einem Gewicht von 269 Tausend Tonnen in den Ozeanen. Ein Teil dieser Kunststoffe ist im Meer mit freiem Auge zu erkennen, da sie riesige Streifen auf der Meeresoberfläche bilden. Auf der Nordhalbkugel reichen sie von Südostasien über den Nordpazifik bis in die USA und von der Ostküste der USA bzw. der Karibik bis Europa. Ähnlich ist es auf der südlichen Halbkugel. Hier befinden sich zwischen dem südlichen Afrika und Australien und zwischen Neuseeland und Südamerika Ansammlungen an Plastikmüll (Barnes 2019). Die bekannteste Ansammlung von Müll ist der sogenannte „Great Pacific Garbage Patch“, also großer Pazifikmüllstrudel. Er umfasst 1,6 Millionen km², was in etwa einer Fläche entspricht, die dreimal so groß wie Frankreich ist (Filho et al. 2019).
Insgesamt wurden sechs solcher Müllstrudel entdeckt, einer in jedem der fünf subtropischen Becken und einer im Barentssee, ein Randmeer nördlich von Norwegen (Sebille et al. 2012).

In der Umwelt zerfallen Kunststoffe, weshalb sie in unterschiedlichen Partikelgrößen vorkommen: Makro- (≥1 cm), Meso- (1-10 mm), Mikro- (1-1000 µm) und Nanokunststoffe (1-1000 nm). Hier sind Makro- und Mesokunststoffe noch mit freiem Auge zu erkennen, Mikro- und Nanokunststoffe jedoch nicht. Der Abbau wird im Wasser allerdings durch niedrige Temperaturen und begrenztes Eindringen von UV-Strahlung verlangsamt, weshalb Plastikabfälle weiterbestehen und sich ansammeln. Aufgrund von unterschiedlichen Dichten können Kunststoffe mit einer höheren Dichte als Meerwasser absinken.

PE ist der am häufigsten vorkommende umweltverschmutzende Kunststoff im aquatischen Lebensraum. Das zweithäufigste Polymer war aus der Gruppe mit Polyester, Polyamid und Acryl, gefolgt von PP und PS. All diese Polymersorten waren am stärksten in Gezeitensedimenten angereichert. Die Konzentrationen in Oberflächengewässern war im Vergleich deutlich niedriger (Erni-Cassola et al. 2019).

Die Umwelt wird auf unterschiedlichste Weise durch den Plastikmüll belastet und dadurch auch Tiere und Menschen. Es kommt zu Verunreinigungen der Oberflächen- und Tiefengewässer, Strände, Küste und von an Land und im Wasser lebenden Organismen. Durch die Verschmutzung verfangen sich Tiere in Plastikmaterialien, wodurch Schwierigkeiten bei der Nahrungsaufnahme, Verdauung und Fortpflanzung entstehen, die letztendlich zum Tod führen können, der mit dem Verlust der Biodiversität verbunden ist. Die Folgen für Menschen sind Verunreinigungen von Lebensmitteln aus dem Meer, die zu gesundheitlichen Schäden führen. Das Verschlucken und Einatmen von Mikroplastikpartikeln kann zu Zellschäden, endokrinen und metabolischen Störungen führen. Diese können unter anderem Entzündungen, Entwicklungsstörungen, Unterdrückung des Immunsystems und Stoffwechselstörungen verursachen.

Durch das Verbrennen von Plastikmüll werden Dioxine, Toxine und Mikropartikel in die Umwelt freigesetzt, inklusive Wasserwege, Pflanzen und die Luft. Gelangen Toxine über Inhalation oder Absorption in den Körper, so können sie als Karzinogene, endokrine Disruptoren und gefährliche Schadstoffe wirken, die eine Vielzahl an schädlichen Auswirkungen auf Mensch und Tier haben. Dazu gehören Hautausschläge, Übelkeit, Kopfschmerzen, aber auch ein erhöhtes Risiko für Herz- und Atemwegserkrankungen, sowie Krebs und Störungen des Fortpflanzungs-, Hormon- und Nervensystems (Filho et al. 2019).

2.6. Metabolismus von Obst und Gemüse

Frisches Obst und Gemüse bilden einen wichtigen Beitrag zur menschlichen Ernährung. Sie liefern eine Reihe an essentiellen Nährstoffen, wie Vitamine und Farbstoffe, welche der menschliche Körper selbst nicht herstellen kann.
Spricht man von Obst oder Gemüse, so handelt es sich um ein lebendes, atmendes und essbares Gewebe, dass zuvor von der Mutterpflanze getrennt wurde. Es ist allerdings schwierig, eine klare Linie zu ziehen zwischen Obst und Gemüse, da sie botanisch oder morphologisch nicht eindeutig abgegrenzt werden können. Sie umfassen zahlreiche Pflanzenorgane im vegetativen oder reproduktiven Stadium und gehören zu einer großen Anzahl von botanischen Familien. Früchte sind Fortpflanzungsorgane, die aus der Entwicklung von Blüten, mit oder ohne Befruchtung, entstehen. Bei Gemüse handelt es sich lediglich um essbare Pflanzengewebe (Robertson 2016).

Die Qualität von frischem Obst und Gemüse fasst mehrere Merkmale und Eigenschaften zusammen, die den Wert der Ware für den Konsumenten bestimmen. Dazu gehören das Aussehen, die Textur, der Geschmack bzw. das Aroma und der Nährwert. Die relative Bedeutung jeder dieser Qualitätsparameter hängt vom jeweiligen Obst oder Gemüse ab. Konsumenten treffen aufgrund der Frische und des Aussehens eine Entscheidung, ob sie eine Ware kaufen oder nicht. Obst und Gemüse gelten allerdings nicht als risikoreiche Produkte hinsichtlich Lebensmittelsicherheit. Bevor gefährliche Mikroorganismen oder Toxine entstehen können, ist das Aussehen dieser Produkte meist unappetitlich, so dass sie nicht verzehrt werden (Sousa Gallagher und Mahajan 2011).

Obst und Gemüse sind leicht verderbliche Produkte, deren Metabolismus auch nach der Ernte aktiv ist. Es ist notwendig die Haltbarkeit und Lagerfähigkeit von Obst und Gemüse zu verlängern. Dies ist möglich, indem die physiologischen, pathologischen und physisch verschlechternden Prozesse gehemmt werden.
Obst und Gemüsesorten durchlaufen drei wichtige Phasen (Wachstum, Reifung und Seneszenz/ Alterung), wobei Wachstum und Reifung als Fruchtentwicklung bezeichnet

werden. Respiration und Transpiration spielen nach der Ernte eine wichtige Rolle im Stoffwechsel von Obst und Gemüse und deren Haltbarkeit. Im Folgenden werden diese zwei wichtigen Prozesse genauer beschrieben (Robertson 2016).

2.6.1. Respiration

Bei der Respiration oder Atmung findet eine Oxidation von energiereichen organischen Substraten, wie Stärke, Zucker und organische Säuren, zu einfacheren Molekülen (CO_2, H_2O) statt, wobei Energie in Form von ATP und Wärme produziert wird. Die größte Menge an Energie kann in Anwesenheit von molekularem Sauerstoff erzielt werden. Bei der Verwendung von Hexose als Substrat lautet die Reaktionsgleichung:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{Energie}$$

Es wird also Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxid produziert. Dabei entsteht Wasser, welches im Gewebe bleibt. Jedoch entweicht das Kohlendioxid und ist dadurch für einen Teil des Gewichtsverlustes von geerntetem Obst und Gemüse verantwortlich. Durch die Oxidation von einem Mol Hexose entstehen beispielsweise 36 Mol ATP, wobei jedes Mol eine nutzbare Energie von 32 kJ liefert. Das entspricht etwa 40% der gesamten Energieänderung. Die restlichen 60% werden als Wärme abgegeben. Es ist wichtig, dass diese Wärme schnell entfernt wird und dass die Verpackung diesen Prozess unterstützt und nicht verhindert.

Die Respirationsrate ist oft ein guter Anhaltspunkt für die Haltbarkeit von Obst und Gemüse. Je höher die Respirationsrate, desto kürzer ist die Haltbarkeit bzw. je niedriger die Rate, desto länger die Haltbarkeit. Tabelle 5 unterteilt verschiedene Gemüsesorten aufgrund ihrer Atmungsintensität (Robertson 2016).

Kategorie	Respirationsintensität bei 10°C (mg CO_2 kg^{-1} h^{-1})	Gemüsesorten
Sehr niedrig	< 10	Zwiebel
Niedrig	10 – 20	Kohl, Gurke, Melone, Tomate
Moderat	20 – 40	Karotte, Sellerie, Gewürzgurke, Lauch, Paprika, Rhabarber
Hoch	40 – 70	Spargel (blanchiert), Aubergine, Fenchel, Kopfsalat, Radieschen
Sehr hoch	70 – 100	Bohnen, Kohlsprossen, Pilze, Wirsing, Spinat
Extrem Hoch	100 <	Brokkoli, Erbse, Zuckermais

Tabelle 5: Klassifikation von Gemüse anhand ihrer Respirationsintensität (Robertson 2016)

2.6.1.1. Interne Einflüsse auf die Respiration

Interne Faktoren, wie zum Beispiel Schwankungen der Respirationsrate während der Organentwicklung, können die Respiration von Obst und Gemüse beeinflussen. Je größer die Früchte werden, desto mehr CO_2 wird abgegeben obwohl gleichzeitig die Respirationsrate pro Gewichtseinheit, kontinuierlich abnimmt. Die Geschwindigkeit, mit der die Gase O_2, CO_2 und C_2H_4 (Ethylen) durch das Gewebe diffundieren, hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Respirationsrate.

Obst kann in klimakterische und nicht klimakterische Sorten eingeteilt werden. Bei klimakterischen Früchten kommt es bei der Reifung zu einem deutlichen Anstieg der Respiration und der C_2H_4 Produktion. Dabei steigt die Respirationsrate bis zu einem Höchstpunkt des Klimakteriums an und nimmt dann ab. Dieser Anstieg kann stattfinden während die Frucht noch an der Pflanze befestigt ist oder nach der Trennung von der Pflanze. Ein weiteres besonderes Merkmal ist, dass bei der Behandlung von klimakterischen Früchten mit Ethylen oder Propylen sowohl die Respiration als auch die autokatalytische C_2H_4 Produktion stimuliert wird. Das Klimakterium führt zu Reifungsänderungen, die sich äußern durch Farbveränderungen, Weichwerden, erhöhte

Gewebedurchlässigkeit und die Entwicklung charakteristischer Aromen. Klimakterische Früchte wie Äpfel, Birnen, Pfirsiche, Nektarinen, Bananen, Mangos, Pflaumen, Tomaten und Avocados können also unreif geerntet und dann künstlich gereift werden.
Bei nichtklimakterischen Früchten ist die Reifung langwierig, wobei das Erreichen des reifen Zustandes nicht mit einem deutlichen Anstieg der Respiration oder der C_2H_4 Produktion verbunden ist. Beispiele für solche Früchte wären Zitrusfrüchte, Erdbeeren und Ananas. Üblicherweise ist bei Gemüse kein plötzlicher Anstieg der metabolischen Aktivität zu beobachten (Robertson 2016).

2.6.1.2. Externe Einflüsse auf die Respiration

- **Temperatur**

Neben inneren, können auch äußere Faktoren die Respiration beeinflussen. Die Temperatur hat extreme Auswirkungen auf die Respiration und ist somit der wichtigste Umweltfaktor, der Obst und Gemüse nach der Ernte beeinflussen kann. Um die Haltbarkeit zu maximieren, ist es daher notwendig, frisches Obst und Gemüse so schnell wie möglich nach der Ernte zu kühlen. Allerdings kann die Haltbarkeit von einigen Obst- und Gemüsesorten, vor allem solche aus tropischen oder subtropischen Gebieten, durch Kälteschäden begrenzt werden. Diese Schäden können ganze Pflanzen oder empfindliche Gewebe betreffen und werden durch niedrige, aber nicht frierende Temperaturen hervorgerufen. Im Allgemeinen werden Kälteschäden mit der Nekrose von Zellen assoziiert. Liegen diese abgestorbenen Zellen außen, so führt dies zur Bildung von Vertiefungen bzw. Löchern und zu äußerlichen Verfärbungen. An der Innenseite führen nekrotische Zellen zur inneren Bräunung (Robertson 2016).

- **Ethylen**

Ethylen ist ein natürliches Pflanzenhormon und spielt eine wichtige Rolle hinsichtlich der Reifungsinitiierung. Die Fähigkeit, Ethylen zu produzieren, variiert stark zwischen Obstsorten, wobei jene mit einer moderaten bis sehr hohen Produktionsrate, wie in Tabelle 6 ersichtlich, als klimakterische Früchte eingestuft werden (Robertson 2016).

Ethylen Produktionsrate (µL/kg h bei 20°C)	Früchte
Sehr niedrig: 0,01 – 0,1	Kirschen, Zitrusfrüchte, Weintrauben, Granatapfel, Erdbeere
Niedrig: 0,1 – 1,0	Heidelbeere, Kiwi, Paprika, Khaki, Ananas, Himbeere
Moderat: 1,0 – 10,0	Banane, Feige, Honigmelone, Mango, Tomate
Hoch: 10,0 – 100,0	Apfel, Marille, Avocado, Zuckermelone, Nektarine, Papaya, Pfirsich, Birne, Pflaume
Sehr hoch: > 100,0	Cherimoya, Mammiapfel, Maracuja, Sapote

Tabelle 6: Einteilung von Früchten nach ihrer Ethylenproduktionsrate (Robertson 2016)

Ethylen hat starke Auswirkungen auf das Wachstum, die Entwicklung und die Alterung von Pflanzen. Das hat zur Folge, dass dieses, in der Umwelt häufig vorkommende Gas, die Haltbarkeit von leicht verderblichen Waren stark reduzieren kann. Effekte des durch Ethylen beschleunigten Verderbes sind unter anderem ein schnellerer Alterungsprozess und der Verlust der grünen Farbe in Blattgemüse und einigen unreifen Früchten (z.B. Gurken, Kürbis), eine beschleunigte Reifung von Früchten während der Handhabung und Lagerung, rote Flecken auf Salat, die Bildung von Bitterstoffen (Isocoumarin) in Karotten, das Austreiben von Kartoffeln, die Abtrennung von Blättern (z.B. Karfiol, Kraut) und die Verholzung von Spargel. Durch die Reduktion des O_2-Gehalts, die Erhöhung des CO_2- Gehalts oder einer Kombination beider Gasänderungen, kann die Ethylenproduktion verringert werden (Robertson 2016).

- **Sauerstoff- und Kohlendioxid-Konzentration**

Die Konzentration von Sauerstoff und Kohlendioxid hat, wie man in der zuvor angeführten Gleichung ($C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$ + Energie) sieht, einen Einfluss auf die Respiration. Wenn das CO_2 in der Atmosphäre zunimmt oder das O_2 abnimmt, würde dies zu einer Abnahme der Respirationsrate führen, was wiederum eine längere Haltbarkeit ermöglicht. Aufgrund der starken Unterschiede in der Toleranz gegenüber

niedrigen O_2-Konzentrationen bzw. hohen CO_2-Konzentrationen, ist es notwendig, dass für jedes frische Obst und Gemüse die optimale Atmosphäre ermittelt wird (Robertson 2016).

- **Physischer Schaden**

Ein weiterer Faktor, der die Respiration, aber auch die Ethylenproduktion stimulieren kann, ist mechanischer Schaden durch Oberflächenverletzungen, Stöße und Quetschungen. Dabei hängt der Anstieg der Respirationsrate vom Ausmaß des Schadens ab (Robertson 2016).

2.6.2. Transpiration

Bei Transpiration handelt es sich um einen wichtigen physiologischen Prozess. Sobald Obst und Gemüse von der Mutterpflanze getrennt wird, ist es nicht mehr dazu in der Lage, Wasser aus der Pflanze oder der Erde zu beziehen. Die Transpiration wird durch Konzentrationsunterschiede zwischen der Produktoberfläche und dessen Umgebung angetrieben (Bovi et al. 2016).

Transpiration führt nach der Ernte von Obst und Gemüse zu Wasserverlust und beeinflusst den Verderb. Wenn dieser Prozess nicht verlangsamt wird, führt dies zum Welken, Schrumpfen und dem Verlust von Festigkeit, Knackigkeit und Saftigkeit mit gleichzeitiger Verschlechterung des Aussehens, der Textur und des Geschmacks. Mehrere Faktoren beeinflussen den Transpirationsprozess in Obst und Gemüse. Dazu gehören das Oberflächen-Volumen-Verhältnis, die Art der Oberflächenbeschichtung, die relative Luftfeuchtigkeit, die Temperatur, der atmosphärische Druck und das Ausmaß jeglichen mechanischen Schadens. Während Sauerstoff, Kohlendioxid und Ethylen zum größten Teil durch luftgefüllte Teile der Pflanze diffundieren, geschieht dies bei Wasserdampf bevorzugt durch die flüssig-wässrige Phase der Epidermis. Mechanische Schäden Verletzungen, wie Quetschungen, Kratzer und Oberflächenschnitte beschleunigen den Wasserverlust von Obst und Gemüse in hohem

Maße. Einige Wurzel- und Knollgemüsearten, wie Zwiebeln und Kartoffeln, sind dazu in der Lage, Wundbereiche nach der Ernte abzusperren, wenn sie bei entsprechender Temperatur und Luftfeuchtigkeit gelagert werden.

Die durch Respiration gebildete Wärme erhöht die Gewebetemperatur, wodurch die Transpiration erhöht wird. Um die Wahrscheinlichkeit des Wasserverlustes zu ermitteln, ist es sinnvoll, das Wasserdampfdruckdefizit bei bestimmter Temperatur und Luftfeuchtigkeit zu berechnen. Je trockener die Luft ist, desto größer ist das Defizit und infolgedessen transpirieren Waren, die in dieser Umgebung gelagert werden, viel schneller. Um die Transpiration von Obst und Gemüse zu verringern, sollten sie bei niedrigen Temperaturen, einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit und bei einem kleinen Wasserdampfdruckdefizit gelagert werden (Robertson 2016).

2.6.3. Mikroorganismen

Sobald sich Mikroorganismen in Pflanzengewebe angesiedelt haben, können sie sich ungehindert vermehren und Enzyme ausscheiden, die zur Qualitätsverschlechterung führen. Zwischen der Infektion und jeglicher Anzeichen der Anwesenheit von Mikroorganismen besteht eine Latenzphase. Die häufigsten Pathogene sind Schimmelpilze wie Alternaria, Botrytis, Diplodia, Monilinia, Penicillium, Phomopsis, Rhizopus und Sclerotinia und Bakterien wie Erwinia und Pseudomonas. Der Großteil dieser Erreger kann nur in geschädigtes Gewebe eindringen. Die Fäulnisentwicklung wird durch hohe Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit begünstigt, wobei letzteres oft das Ergebnis von Kondensation ist. Saures Obst wird eher von Pilzen befallen und verrottet, während viele Gemüsesorten, deren pH-Wert über 4,5 liegt, häufiger von Bakterien befallen werden (Robertson 2016).

2.7. Anforderungen von Obst und Gemüse an die Verpackung

Die Qualität der meisten Lebensmittel nimmt im Laufe der Lagerungszeit ab. Wie bereits beschrieben, wird die Haltbarkeit von Obst und Gemüse durch zahlreiche Faktoren bestimmt. Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Licht und mechanische Belastungen, inklusive der Handhabung der Konsumenten, zählen zu den äußeren Faktoren, die vor allem die Geschwindigkeit des Verderbs dieser Lebensmittel beeinflussen. Verpackungseigenschaften können viele dieser äußeren Faktoren und den damit verbundenen Verderb stark beeinflussen.
Die Erwartungen an diese leicht verderblichen Lebensmittel sind, dass sie knackig, nicht zäh, süß (gegebenenfalls), saftig, nahrhaft und frei von Mängeln sind. Durch die Verwendung einer geeigneten bzw. auf die Ware abgestimmten Verpackung können die Frischeeigenschaften während langer Transport- und Vermarktungszeit beibehalten werden. Neben der Frischeerhaltung der Produkte, sollen auch mechanische Schäden, die durch Handhabung, Druck und Stöße verursacht werden, verhindert werden, sowie der Gewichtsverlust und die Schrumpfung minimiert werden.

Zu Beginn muss erwähnt werden, dass es sehr viele unterschiedliche Obst- und Gemüsesorten gibt und jede sehr spezifische Anforderungen an die Verpackungsleistung hat.
Polymerfolien sind die häufigsten Verpackungsmaterialien für Obst und Gemüse. Eine wichtige Rolle hat hierbei die Verpackung, bei der Verringerung der Transpiration. Ebenso ist die Folienperforation wichtig, um die Entwicklung einer schädlichen Atmosphäre innerhalb der Verpackung zu vermeiden. Weitere Vorteile von Polymerfolien sind die Aufrechterhaltung einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit, die Verringerung des Wasserverlustes, eine verbesserte Hygiene durch eine verringerte Kontamination während der Handhabung und ein minimaler Oberflächenabrieb durch Kontaktvermeidung zwischen Ware und Versand-/ Transportbehälter. Das wichtigste Anliegen bei Verpackungen ist die Vermeidung der Kondensation von Wasserdampf, was am einfachsten durch eine unvollständige Versiegelung oder Perforation der

Kunststoffverpackung erreicht werden kann. Aufgrund der Tatsache, dass die Gaspermeabilität von Luft viel größer als jene von Polymerfolien ist, kann selbst ein kleines Loch in einer Kunststoffverpackung die Packungsatmosphäre sehr stark beeinflussen und somit kann durch Perforation die Feuchtigkeit in Verpackungen effektiv reduziert werden.

Aktive Verpackungen können behilflich sein, um diese speziellen Anforderungen von Obst und Gemüse zu erfüllen. Dabei handelt es sich um eine Verpackung, bei der Nebenbestandteile absichtlich auf dem Material oder im Verpackungsraum enthalten sind, um die Leistung des Verpackungssystems zu verbessern. Es gibt Möglichkeiten unerwünschte Verbindungen, wie das durch Respiration hergestellte Ethylen aus der Verpackung zu entfernen, oder die physikalischen Bedingungen innerhalb der Verpackung zu verändern, wie das Entfernen von Wasserdampf durch Absorption. Die für Obst und Gemüse verwendeten aktiven Verpackungssysteme sind Ethylenabsorber, Feuchtigkeitsabsorber, antimikrobielle Verpackungen und die Veränderung der Gaspermeabilität (Robertson 2016).

2.7.1. Obstverpackungen

Obst muss aufgrund der Atmungsaktivität und des hohen Wassergehalts so gelagert werden, dass ein guter Gasaustausch ermöglicht wird. Wegen der hohen Druckempfindlichkeit der Früchte ist besondere Sorgfalt bei der Handhabung erforderlich. In den Handel gelangt es in Netzen, offenen Steigen, Schachteln aus Pappe, in Beuteln bzw. Schalen aus Kunststoff oder Karton mit Folieneinschlag.
Besonders empfindliche Früchte sind beispielsweise Himbeeren und Erdbeeren, die teilweise direkt in Verkaufsverpackungen, wie Faltschachteln aus Karton oder Becher aus Kunststoff, geerntet werden, die anschließend mit speziellem Deckel oder Folieneinschlag versehen werden. Für die optimale Obstverpackung muss meist ein Kompromiss zwischen der Gaszusammensetzung im Inneren und der Freisetzung von Wasserdampf zur Vermeidung von Staunässe gefunden werden (Bleisch et al. 2014).

2.7.2. Gemüseverpackungen

Die Frische von unverarbeitetem Gemüse muss bis zum Verbraucher erhalten bleiben, wobei jede Art je nach Herkunft unterschiedlich haltbar ist. Gemüse ist nicht so druckempfindlich wie Obst und wird vor dem Verzehr gewaschen bzw. geschält, weshalb die Hauptfunktion der Verpackung die Umhüllung für den Transport und der Schutz vor Austrocknung ist. Um die Haltbarkeit zu verlängern wird eine kühle Lagerung und Kunststofffolie mit ausgewählter CO_2-/O_2- Durchlässigkeit eingesetzt. Im Handel wird Gemüse in Transportverpackungen wie Steigen angeboten, die nach Bedarf in Beuteln verpackt werden. Weitere Verpackungen sind Schachteln aus Karton, Kunststoff oder Faserguss (umgeben von Stretch-Folie oder Netz), Kunststofffolien, Beutel aus Kunststoff (teilweise perforiert) und Netze (Bleisch et al. 2014).

Schäden der Oberfläche von Obst und Gemüse beschleunigen den Wasserverlust erheblich. Einige Knollen- und Wurzelgemüse, wie beispielsweise Kartoffeln und Zwiebeln, behalten nach der Ernte die Fähigkeit, Wundbereiche, die durch mechanische Schäden verursacht wurden, abzudichten. Dieser Vorgang wird auch als *„curing“*, also Heilung bezeichnet (Robertson 2016).

3. Material und Methode

Durch Marktrecherche wurde das aktuelle Angebot an Verpackungen für Obst und Gemüse im Handel ermittelt. Dabei wurde nur frische, verpackte Ware in die Analyse miteinbezogen. Ziel ist es, Verpackungsarten, die derzeit auf dem Markt erhältlich sind, hinsichtlich unterschiedlicher Aspekte genauer zu betrachten. Es sollen Vor- und Nachteile der einzelnen Verpackungen bezüglich Schutz des Lebensmittels, Umweltbelastung und Recycling genau aufgezeigt werden.
Um die einzelnen Kategorien bewerten zu können, wurden spezifische Kriterien bzw. Anforderungen festgelegt. Eine wichtige Rolle spielten dabei die Materialidentifizierung der jeweiligen Bestandteile der Verpackung, sowie deren Masse.

3.1. Marktrecherche und Probenauswahl

Um das derzeitige Angebot an Obst- und Gemüseverpackungen im Handel zu ermitteln, wurde eine Probenziehung unterschiedlicher Verpackungsarten in den Obst- und Gemüseabteilungen verschiedener Supermärkte durchgeführt. An fünf Tagen im Oktober und November 2018 wurden aktuelle Verpackungen des Obst- und Gemüsesortiments bei Merkur, Billa, Hofer, Eurospar und Lidl gekauft und untersucht.
Diese Supermärkte wurden ausgewählt, weil sie zu den vier größten und wichtigsten Lebensmitteleinzelhandelsketten Österreichs gehören. Den größten Marktanteil hatte im Jahr 2017 die REWE Austria – Gruppe mit insgesamt 33,2%, die mit Merkur und Billa in die Probenziehung miteingebunden wurde. An zweiter Stelle lag mit 31,4% Marktanteil die Spar – Gruppe, die bei der Probennahme durch eine Eurospar-Filiale vertreten war. Ebenfalls wurden die Diskonter Hofer und Lidl in die Marktrecherche miteinbezogen, da diese, hinter der Rewe- und Spargruppe den größten Marktanteil aufweisen (Statista 2019a).

Bei der Auswahl der Proben war es vor allem wichtig, dass die Verpackungen möglichst unterschiedlich sind. Offensichtlich idente Verpackungen von unterschiedlichen

Produkten, wie beispielsweise Netze, die aus demselben Material bestehen (für Erdäpfel und Zwiebel) wurden nicht in die Analyse miteinbezogen. In die Probennahme wurden sowohl Bio-Produkte, als auch konventionelle Produkte eingeschlossen. Der Fokus lag nicht auf der Herkunft der Lebensmittel, sondern auf den vielfältigen Verpackungsmöglichkeiten von frischem Obst und Gemüse. Unter den ausgewählten Verpackungsarten waren Beutel und Säcke aus Kunststoff oder Papier, Folien aus diversen Kunststoffen, Schalen aus Karton, Holz oder Kunststoff, Körbchen, Netze und Kombinationen davon. Die Auswahl der Proben erwies sich als schwierig, da es vor Ort nicht immer möglich war das Material der Verpackungsbestandteile zu bestimmen, um somit eine doppelte Probennahme zu vermeiden.

In folgender Tabelle sind die erhobenen Proben sowie die Angabe der Obst- oder Gemüsesorte, der Supermarkt und das Datum der Probennahme aufgeführt.

Probe	Datum	Einkaufsort	Lebensmittel
01	04.10.2018	Hofer	Birnen
02	04.10.2018	Hofer	Erdbeeren
03	04.10.2018	Hofer	Himbeeren
04	04.10.2018	Hofer	Heidelbeeren
05	04.10.2018	Hofer	Äpfel
06	04.10.2018	Hofer	Äpfel
07	04.10.2018	Hofer	Trauben
08	04.10.2018	Hofer	Bio-Pflaumen
09	04.10.2018	Hofer	Limetten
10	04.10.2018	Hofer	Bio-Zitronen
11	04.10.2018	Hofer	Orangen
12	04.10.2018	Hofer	Karotten
13	04.10.2018	Hofer	Bio-Champignons
14	04.10.2018	Hofer	Snackgurken
15	04.10.2018	Hofer	Bio-Gurke
16	04.10.2018	Hofer	Knoblauch
17	04.10.2018	Hofer	Bio-Paprika
18	04.10.2018	Hofer	Rispentomaten
19	04.10.2018	Hofer	Brokkoli
20	04.10.2018	Hofer	Vogerlsalat
21	25.10.2018	Hofer	Datteln
22	25.10.2018	Hofer	Pflaumen

23	25.10.2018	Hofer	Kaki
24	25.10.2018	Hofer	Clementinen
25	25.10.2018	Hofer	Erdbeeren
26	25.10.2018	Hofer	Avocado
27	25.10.2018	Hofer	Erdäpfel (speckig)
28	25.10.2018	Hofer	Bio-Karottenmix
29	25.10.2018	Hofer	Paprika
30	25.10.2018	Hofer	Datteltomaten
31	25.10.2018	Hofer	Tomaten
32	25.10.2018	Hofer	Karfiol
33	25.10.2018	Hofer	Fisolen
34	25.10.2018	Hofer	Vogerlsalat
35	25.10.2018	Hofer	Eisbergsalat
36	25.10.2018	Hofer	"Living Salad"
37	30.10.2018	Lidl	Birnen
38	30.10.2018	Lidl	Clementinen
39	30.10.2018	Lidl	Kiwis
40	30.10.2018	Lidl	Honey Pomelo
41	30.10.2018	Lidl	Snack-Gurken
42	30.10.2018	Lidl	Suppengemüse
43	30.10.2018	Lidl	Snack-Karotten
44	30.10.2018	Lidl	Gemüse-Mix
45	30.10.2018	Lidl	Cherrytomaten
46	30.10.2018	Lidl	Cocktailtomaten
47	30.10.2018	Lidl	Champignons
48	30.10.2018	Lidl	Fisolen
49	30.10.2018	Lidl	Blattspinat
50	12.11.2018	Eurospar	Avocados
51	12.11.2018	Eurospar	Beeren-Mix
52	12.11.2018	Eurospar	Papaya
53	12.11.2018	Eurospar	Bio-Physalis
54	12.11.2018	Eurospar	Bio-Limetten
55	12.11.2018	Eurospar	Mini-Bananen
56	12.11.2018	Eurospar	Bio-Medjoul-Datteln
57	12.11.2018	Eurospar	Bio-Karotten
58	12.11.2018	Eurospar	Suppengrün
59	12.11.2018	Eurospar	Bio-Champignons
60	12.11.2018	Eurospar	Bio-Zwiebel
61	12.11.2018	Eurospar	Bio-Knoblauch
62	12.11.2018	Eurospar	Erdäpfel
63	12.11.2018	Eurospar	Erdäpfel
64	19.11.2018	Merkur	Him-/Heidelbeeren
65	19.11.2018	Merkur	Äpfel

66	19.11.2018	Merkur	Weintrauben
67	19.11.2018	Merkur	Bio-Datteln
68	19.11.2018	Merkur	Datteln (entsteint)
69	19.11.2018	Merkur	Rudolfinen
70	19.11.2018	Merkur	Clementinen
71	19.11.2018	Merkur	Jackfruit
72	19.11.2018	Merkur	Radieschen
73	19.11.2018	Merkur	Bio-Salat-Mix
74	19.11.2018	Merkur	Chicorée
75	19.11.2018	Merkur	Salatherzen
76	19.11.2018	Merkur	Knoblauch
77	19.11.2018	Merkur	Bio-Shii-Take-Pilze
78	19.11.2018	Merkur	Bio-Champignons
79	19.11.2018	Merkur	Bio-Kräuterseitlinge
80	19.11.2018	Merkur	Erdäpfel (Püree)
81	28.11.2018	Hofer	Snack-Paprika
82	28.11.2018	Lidl	Clementinen
83	28.11.2018	Lidl	Physalis
84	28.11.2018	Lidl	Heidelbeeren
85	28.11.2018	Eurospar	Zitronengras
86	28.11.2018	Billa	Bananen
87	28.11.2018	Billa	Avocado

Tabelle 7: Probennahme inklusive Datum, Supermarkt und Lebensmittel

3.2. Übersicht der erhobenen Verpackungen für Obst und Gemüse

In folgender Tabelle sind die insgesamt 87 erhobenen Proben mit Probennummer, einer Abbildung der jeweiligen Verpackung und einer kurzen Beschreibung dieser enthalten.

Nr.	Foto	Beschreibung
01	 *Abbildung 3: Probe 01 „Birnen in KS-Schale mit Netz“*	Die Schale aus Kunststoff (KS) ist von einem Netz umhüllt, welches an beiden Enden durch Metallklammern verschlossen ist. An einer Klammer ist ein Etikett befestigt.

02	 *Abbildung 4: Probe 02 „Erdbeeren in KS-Schale mit Pad“*	Die Schale ist von einer perforierten Folie umgeben, auf der ein Etikett aufgeklebt ist. In der Schale befindet sich ein rotes Absorptions-Pad.
03	 *Abbildung 5: Probe 03 „Himbeeren in KS-Schale“*	Auf der Schale und dem Deckel ist je ein Etikett aufgeklebt und beide Teile der Verpackung sind mit Luftlöchern versehen. In der Schale liegt eine transparente Luftpolsterfolie.
04	 *Abbildung 6: Probe 04 „Heidelbeeren in KS-Schale mit Deckel“*	Die Schale und der Deckel sind an einer Kante miteinander verbunden und besitzen mehrere Luftlöcher. Auf dem Deckel ist ein Etikett aufgeklebt.
05	 *Abbildung 7: Probe 05 „Äpfel in KS-Beutel“*	Der Folienbeutel ist perforiert. Ein Etikett ist hier nicht notwendig, da die notwendigen Informationen über die Ware direkt auf der Folie stehen.
06	 *Abbildung 8: Probe 06 „Äpfel in Kartonschale“*	Die Kartonschale ist von einer dehnbaren, luftdichten Folie umwickelt. Auf der Folie befinden sich ein rundes (oben) und ein eckiges Etikett (unten).

07	 *Abbildung 9: Probe 07 „Weintrauben in KS-Schale“*	Schale und Deckel der Verpackung sind an einer Kante miteinander verbunden und mit Löchern versehen. Auf dem Deckel ist ein Etikett aufgeklebt.
08	 *Abbildung 10: Probe 08 „Pflaumen in Kartonschale“*	Die Kartonschale dieser Verpackung wird von einer perforierten Folie aus Holzfaser umhüllt, auf der ein Etikett befestigt ist.
09	 *Abbildung 11: Probe 09 „Limetten in Netz“*	Das grüne Netz aus Kunststoff ist an beiden Enden durch Metallklammern verschlossen. An einer Klammer ist ein Etikett angebracht.
10	 *Abbildung 12: Probe 10 „Zitronen in Netz“*	Das gelbe Netz besteht aus Holzfaser und ist an beiden Enden durch Metallklammern verschlossen, wobei an einer Klammer ein Etikett befestigt wurde.
11	 *Abbildung 13: Probe 11 „Orangen in Netz“*	Das orangene Kunststoff-Netz ist mit einem bunten Folienstreifen vernäht, um es zu verschließen. Auf dem Folienstreifen befindet sich ein Etikett.
12	 *Abbildung 14: Probe 12 „Karotten in KS-Beutel“*	Der durchsichtige Folienbeutel ist perforiert. Ein Etikett ist nicht vorhanden, da die Informationen direkt auf die Verpackung gedruckt sind.

13	 *Abbildung 15: Probe 13 „Bio-Champignons in KS-Schale“*	Die grüne Kunststoffschale, in der sich Champignons befinden, ist von einer dehnbaren, luftdichten Folie umwickelt, auf der ein Etikett aufgeklebt ist.
14	 *Abbildung 16: Probe 14 „Snack-Gurken in Kartonschale“*	Die Schale aus Wellpappe, in der die Snackgurken liegen, ist von einer perforierten Folie umhüllt, auf der ein Papieretikett befestigt ist.
15	 *Abbildung 17: Probe 15 „Gurke in Folie“*	Die Gurke befindet sich in einer enganliegenden dehnbaren Folie umhüllt, auf der ein Etikett aufgeklebt ist.
16	 *Abbildung 18: Probe 16 „Knoblauch in Netz“*	Das violette Kunststoff-Netz wird durch zwei Metallklammern an den Enden verschlossen, wobei an einer Klammer ein Etikett befestigt ist.
17	 *Abbildung 19: Probe 17 „Paprika in Folie“*	Die Paprika befinden sich in einer perforierten Folie, auf die ein Etikett aufgeklebt ist.
18	 *Abbildung 20: Probe 18 „Tomaten in Kartonschale“*	Die Schale aus Wellpappe ist von einer perforierten Folie umgeben, auf der ein Etikett angebracht ist.

19	 *Abbildung 21: Probe 19 „Brokkoli in Folie“*	Der Brokkoli wurde mit einer dehnbaren-Folie umwickelt, auf die ein Etikett geklebt ist.
20	 *Abbildung 22: Probe 20 „Vogerlsalat in KS-Schale“*	Der Salat befindet sich in einer Schale, die mit einer nicht perforierten Folie umhüllt ist. Ein Etikett ist nicht notwendig, da die Informationen direkt auf die Folie gedruckt sind.
21	 *Abbildung 23: Probe 21 „Datteln in Holzschale“*	Die Datteln befinden sich in einer Schale, die von einer dehnbaren Folie umhüllt ist. Auf der Ober- und Unterseite befindet sich je ein Etikett.
22	 *Abbildung 24: Probe 22 „Pflaumen in KS-Schale mit Netz“*	Die Schale besitzt an der Unterseite Löcher und ist von einem blauen Netz umgeben, das an beiden Enden durch Metallklammern verschlossen wird. An den Klammern sind ein orangener Griff und ein Etikett befestigt.
23	 *Abbildung 25: Probe 23 „Kakis in KS-Schale“*	Auf der Unterseite der farblosen Schale befinden sich Löcher. Die Schale ist von einer Folie umhüllt, auf der ein Etikett angebracht ist.

24	 *Abbildung 26: Probe 24 „Clementinen in Karton-Körbchen“*	Die Griffe dieses schwarzen Körbchens aus Karton dienen gleichzeitig als Verschluss und können ineinandergesteckt werden.
25	 *Abbildung 27: Probe 25 „Erdbeeren in KS-Schale“*	Der Boden der Schale und die Siegelfolie sind perforiert. Auf der Folie ist ein Etikett angebracht und in der Schale befindet sich eine transparente Luftpolsterfolie.
26	 *Abbildung 28: Probe 26 „Avocados in Kartonschale“*	Die Schale aus Wellpappe ist von einer perforierten Folie umhüllt, auf der sich ein Etikett befindet.
27	 *Abbildung 29: Probe 27 „Erdäpfel in Netz“*	Das beige Netz aus Holzfaser ist an beiden Enden durch zwei Metallklammern verschlossen wobei an einer Klammer ein Etikett befestigt ist.
28	 *Abbildung 30: Probe 28 „Karottenmix in Kartonschale“*	Die Schale aus Wellpappe ist von einer dehnbaren Folie umhüllt, auf der ein Etikett aufgeklebt ist.

29	 *Abbildung 31: Probe 29 „Paprika in Kartonschale“*	Die kleinen Paprika befinden sich in einer Schale aus Wellpappe, die von einer perforierten Folie umhüllt ist. Auf der Folie ist ein Etikett angebracht.
30	 *Abbildung 32: Probe 30 „Tomaten in Kübel“*	Der durchsichtige, kleine Kübel ist mit einem Deckel verschlossen, in dem sich vier Löcher befinden. An dem Kübel sind ein roter Griff und ein Etikett angebracht.
31	 *Abbildung 33: Probe 31 „Tomaten in KS-Schale“*	Die Schale ist an der Unterseite mit Löchern versehen und von einer perforierten Folie umhüllt, an der ein Etikett angebracht wurde.
32	 *Abbildung 34: Probe 32 „Karfiol in Folie“*	Der Karfiol ist mit einer dichten, dehnbaren Folie umgeben, auf der ein Etikett angebracht ist.
33	 *Abbildung 35: Probe 33 „Fisolen in Beutel“*	Die Verpackung dieser Fisolen ist eine fein perforierte Folie, auf der ein Etikett befestigt wurde.

34	 *Abbildung 36: Probe 34 „Zurück zum Ursprung Vogerlsalat in KS-Schale““*	Die Schale ist von einer perforierten Folie umhüllt, auf der sich ein Etikett befindet. Die Unterseite der Schale ist mit Löchern versehen.
35	 *Abbildung 37: Probe 35 „Eisbergsalat in Folie“*	Der Salatkopf ist von einer fein perforierten, dünnen Folie umwickelt, auf der ein Etikett angebracht wurde.
36	 *Abbildung 38: Probe 36 „Living Salad in Folie“*	Der Salat befindet sich in einer Folie, die nicht verschlossen ist.
37	 *Abbildung 39: Probe 37 „Birnen in KS-Schale mit Folie“*	Die Schale ist von einer perforierten Folie umgeben, an der ein Griff aus Kunststoff befestigt ist. Ein Etikett ist hier nicht notwendig, da die Informationen direkt auf die Folie gedruckt wurden.
38	 *Abbildung 40: Probe 38 „Clementinen in Holzschale“*	Die Holzschale wird von acht Heftklammern zusammengehalten und ist von einer perforierten Folie umgeben, auf der ein Etikett aufgeklebt ist.
39	 *Abbildung 41: Probe 39 „Kiwis in KS-Schale“*	Die Schale, in der die Kiwis liegen, ist von einer perforierten Folie umhüllt, auf der ein Etikett angebracht wurde.

40	 *Abbildung 42: Probe 40 „Pomelo in Folie“*	Die Pomelo ist von einer luftdichten, dehnbaren Folie und einem gelben Netz umgeben, das an den Enden durch zwei Metallklammern verschlossen wurde und an denen ein gelber Griff befestigt ist.
41	 *Abbildung 43: Probe 41 „Snack-Gurken in KS-Schale“*	Schale und Deckel der Verpackung sind mit Löchern versehen und an einer Kante miteinander verbunden. Auf dem Deckel befindet sich ein Etikett.
42	 *Abbildung 44: Probe 42 „Suppengemüse in KS-Schale“*	Das Suppengemüse befindet sich in einer weißlichen Schale, die mit einer dehnbaren Folie verschlossen ist. Auf der Folie befindet sich ein Etikett.
43	 *Abbildung 45: Probe 43 „Snack-Karotten in Beutel“*	Der spitze Folienbeutel ist wie eine Karotte geformt und die Öffnung mit einem biegsamen, weißen Clip verschlossen. Auf der Folie ist ein Etikett angebracht.
44	 *Abbildung 46: Probe 44 „Paprika, Tomaten in KS-Schale“*	Diese Verpackung besteht aus einer innen zweigeteilten Schale. Verschlossen wird sie mit einer perforierten Siegelfolie, auf der sich ein Etikett befindet.
45	 *Abbildung 47: Probe 45 „Tomaten in KS-Schale mit Deckel“*	Die längliche Schale ist an einer Kante mit einem perforierten Deckel verbunden, auf dem ein Etikett befestigt ist.

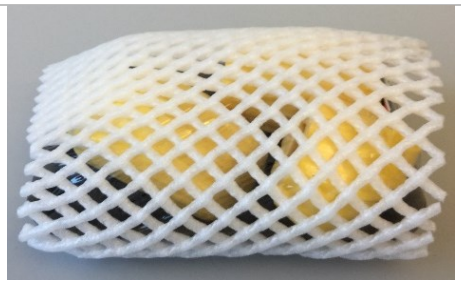
46	 *Abbildung 48: Probe 46 „Tomaten in KS-Schale mit Folie“*	Die Schale ist mit einer perforierten Folie umhüllt, auf der ein Etikett angebracht ist.
47	 *Abbildung 49: Probe 47 „Champignons in KS-Schale“*	Die transparente Schale ist mit einer dehnbaren Folie umwickelt, auf der ein Etikett aufgeklebt ist.
48	 *Abbildung 50: Probe 48 „Fisolen in Netz/Folie“*	Die Verpackung besteht aus zwei Teilen. Eine Seite besteht aus einem grünen Netz, die andere aus einer nicht perforierten Folie, auf der sich ein Etikett befindet.
49	 *Abbildung 51: Probe 49 „Blattspinat in Beutel“*	Der Blattspinat befindet sich in einem dichten Folienbeutel. Ein Etikett ist hier nicht angebracht, da alle Informationen direkt auf die Folie gedruckt wurden.
50	 *Abbildung 52: Probe 50 „Avocados in Karton-Körbchen“*	In diesem würfelförmigen Körbchen aus Wellpappe sind Avocados verpackt. Im Boden, sowie an drei Seiten befinden sich große Luftlöcher und an einer der zwei geschlossenen Seiten ist ein Etikett angebracht.

51	 *Abbildung 53: Probe 51 „Beerenmix in KS-Schale“*	Die schwarze Schale ist in drei Fächer unterteilt und ein durchsichtiger Deckel dient als Verschluss. Auf der Unter- und Oberseite der Verpackung befindet sich je ein Etikett.
52	 *Abbildung 54: Probe 52 „Papaya in KS-Netz“*	Direkt auf der Papaya ist ein Etikett angebracht. Umgeben ist sie von einem geschäumten, weißen Kunststoff-Netz.
53	 *Abbildung 55: Probe 53 „Physalis in Karton-Körbchen“*	Das aus Karton geformte Körbchen ist mit mehreren Löchern versehen und oben durch ineinanderschieben zweier Laschen verschlossen.
54	 *Abbildung 56: Probe 54 „Limetten in Kartonschale“*	Die Limetten liegen in einer Schale aus Karton, die von einer dehnbaren Folie umhüllt ist.
55	 *Abbildung 57: Probe 55 „Mini-Bananen in Beutel“*	Diese kleinen Bananen sind in einem Folienbeutel verpackt, der mit vier Löchern versehen und mit einem blauen Folienstreifen verschlossen ist.

56	 *Abbildung 58: Probe 56 „Datteln in Kartonschale“*	Die Kartonschale ist mit dem Deckel an einer Kante verbunden. Durch ein kleines Sichtfenster im Deckel sieht man die darin befindlichen Datteln.
57	 *Abbildung 59: Probe 57 „Bio-Karotten in NAWARO-Beutel“*	Die Bio-Karotten sind in einem perforierten pflanzenölbasierten Beutel verpackt, der aus 40% nachwachsenden Rohstoffen ohne Stärke hergestellt ist und den Namen „Naturapackaging“ trägt (NATURABIOMAT 2017).
58	 *Abbildung 60: Probe 58 „Suppengrün in KS-Schale“*	Die schwarze geschäumte Schale ist von einer dehnbaren Folie umhüllt. Auf der Unterseite der Verpackung ist ein Etikett angebracht.
59	 *Abbildung 61: Probe 59 „Bio-Champignons in Kartonschale“*	Die Schale aus Wellpappe ist von einer dehnbaren Folie umgeben, auf der ein Etikett angebracht ist.
60	 *Abbildung 62: Probe 60 „Bio-Zwiebel in Kartonschale“*	Die Zwiebeln befinden sich in einer Schale aus Wellpappe, die von einem violetten Netz umhüllt ist. Dieses ist an beiden Enden von zwei Metallklammern verschlossen, wobei an einem ein Etikett befestigt ist.

61	 *Abbildung 63: Probe 61 „Knoblauch in Papierbeutel“*	Im unteren Drittel des Beutels befindet sich ein Sichtfenster, in dem sich ein Netz befindet. Verschlossen wird die Verpackung an der Rückseite durch ein Etikett.
62	 *Abbildung 64: Probe 62 „Erdäpfel in Papierbeutel“*	Der Beutel für Erdäpfel hat an der Oberseite einen Griff und ist durch ein rosa-weißes Garn verschlossen. Im Sichtfenster befindet sich ein Netz.
63	 *Abbildung 65: Probe 63 „Spar Premium Erdäpfel in Papierbeutel“*	Auf der Vorderseite des Beutels befindet sich ein kleines Sichtfenster, das durch ein Netz aus Kunststoff verschlossen ist.
64	 *Abbildung 66: Probe 64 „Himbeeren und Heidelbeeren in KS-Schale“*	Die Schale ist in der Mitte zweigeteilt, um die Beeren voneinander zu trennen. Der Deckel ist an einer Seite direkt mit der Schale verbunden. Auf der Unterseite der Verpackung befindet sich ein Etikett.
65	 *Abbildung 67: Probe 65 „Äpfel in Palmblattschale“*	Die in der Palmblattschale liegenden Äpfel sind von einer dehnbaren Folie umwickelt. An der Ober- und Unterseite befindet sich je ein Etikett.

66	 *Abbildung 68: Probe 66 „Weintrauben in Papierbeutel“*	Diese Weintrauben befinden sich in einem Papiersackerl, an dem oben zwei Griffe befestigt sind. Die Seiten und der Boden sind mit Löchern versehen.
67	 *Abbildung 69: Probe 67 „Datteln in Kartonschale mit Folie“*	Die Kartonschale ist von einer dehnbaren Folie umgeben.
68	 *Abbildung 70: Probe 68 „Datteln in KS-Schale“*	Die geschäumte, weiße Schale ist von einer dehnbaren Folie umhüllt. An der Ober- und Unterseite befindet sich je ein Etikett.
69	 *Abbildung 71: Probe 69 „Rudolfinen in Karton-Körbchen“*	Das aus Karton geformte Körbchen ist mit mehreren Löchern versehen. Im Deckel ist ein Griff integriert und an einer Außenseite befindet sich ein Etikett.
70	 *Abbildung 72: Probe 70 „Clementinen in Jutesack“*	Der Jutesack für Clementinen besitzt ein großes Sichtfenster, in dem sich ein orangenes Kunststoff-Netz befindet. Verschlossen ist der Sack mit einer blauen Schnur. Mithilfe eines Heftfadens ist ein Etikett am Sack befestigt.

71	 *Abbildung 73: Probe 71 „Jackfrucht in KS-Schale“*	Die geschäumte Schale ist schwarz und von einer dehnbaren Folie umhüllt, auf die ein Etikett geklebt wurde. Ganz außen befindet sich ein weißes geschäumtes Kunststoffnetz.
72	 *Abbildung 74: Probe 72 „Radieschen in Beutel“*	Die Öffnung des Folienbeutels ist mit einem weißen, biegsamen Clip verschlossen.
73	 *Abbildung 75: Probe 73 „Salat in Kartonschale“*	Die Kartonschale, in der der Salat liegt, hat im Boden mehrere Löcher und ist mit einer perforierten Folie umgeben, auf der ein Etikett angebracht ist.
74	 *Abbildung 76: Probe 74 „Chicorée in Kartonschale“*	Die Schale aus Karton ist von einer dichten Folie umgeben. Auf der Unterseite der Verpackung ist ein Etikett angebracht.
75	 *Abbildung 77: Probe 75 „Salatherzen in KS-Schale“*	Die Schale ist von einer perforierten Folie umhüllt, auf der ein Etikett befestigt ist.

76	 *Abbildung 78: Probe 76 „Knoblauch in Bastkörbchen“*	Das Körbchen ist von einem weißen Netz aus Kunststoff umhüllt, das an beiden Enden mit zwei Metallklammern verschlossen wurde. An einer Klammer ist ein Etikett befestigt.
77	 *Abbildung 79: Probe 77 „Shii-Take-Pilze in Holzschale“*	Die Schale wird von zwölf Heftklammern zusammengehalten und von einer dehnbaren Folie umwickelt. Auf der Oberseite der Verpackung ist ein Etikett angebracht.
78	 *Abbildung 80: Probe 78 „Bio-Champignons in Kartonschale“*	Die Schale aus Wellpappe ist von einer fein perforierten Folie umhüllt. Auf der Ober- und Unterseite der Verpackung befindet sich je ein Etikett.
79	 *Abbildung 81: Probe 79 „Kräuterseitlinge in Kartonschale“*	Die Kräuterseitlinge liegen in einer Schale aus Wellpappe, die von einer dichten Folie umhüllt ist. Auf der Ober- und Unterseite ist je ein Etikett angebracht.
80	 *Abbildung 82: Probe 80 „Püree-Erdäpfel in Netz“*	Das dehnbare rote Kunststoffnetz nimmt seine ursprüngliche Form nicht wieder an, wenn es einmal verformt wurde. Das Netz ist mit einem Folienstreifen verschlossen, an dem auch ein Griff befestigt ist.

81	 *Abbildung 83: Probe 81 „Snackpaprika in Beutel“*	Die Snackpaprika sind in einem perforierten Folienbeutel verpackt, auf dem ein Etikett angebracht ist
82	 *Abbildung 84: Probe 82 „Clementinen in Holzkiste“*	Die Kiste wird durch Metallklammern zusammengehalten, wobei der Boden mit mehreren Löchern versehen ist. An den zwei Längsseiten der Kiste sind zwei Kartonstreifen befestigt. Über die in der Kiste befindlichen Clementinen ist ein oranges Kunststoffnetz gespannt.
83	 *Abbildung 85: Probe 83 „Physalis in KS-Körbchen“*	Das würfelförmige schwarze Körbchen ist mit einem perforierten Folienstreifen bedeckt, der durch einen grünen Gummiring fixiert ist. Auf der Folie befindet sich ein Etikett.
84	 *Abbildung 86: Probe 84 „Heidelbeeren in KS-Schale“*	Im Boden der Schale befinden sich acht Löcher, auf denen ein schwarzes Pad liegt. Die Schale ist mit einer perforierten Siegelfolie verschlossen. Das Etikett befindet sich auf der Schale.

85	 *Abbildung 87: Probe 85 „Zitronengras in Folie“*	Auf der perforierten Folie ist ein Etikett aufgeklebt.
86	 *Abbildung 88: Probe 86 „Bananen in Folie“*	Ein Folienbeutel ohne Perforation wird zum Verpacken von diesen Bananen verwendet.
87	 *Abbildung 89: Probe 87 „Avocados in KS-Schale“*	Die schwarze Schale ist an die Form der darin liegenden Avocados angepasst. Umgeben sind diese von einer perforierten Folie, auf der ein Etikett angebracht ist.

Tabelle 8: Überblick der erhobenen Verpackungen inklusive Foto der Probe und kurzer Beschreibung

Um die Verpackungen besser miteinander vergleichen zu können, wurden sie in folgende drei Gruppen eingeteilt:

- Kunststoffschalen: Schalen aus PET, PS, PP (30 Proben)
- Kartonschalen: Schalen aus Karton, Wellpappe und Holz (-ähnlichen Materialien) (26 Proben)
- Beutel, Folien und Netzverpackungen aus unterschiedlichen Materialien (31 Proben)

3.3. Messung der Masse

Die Verpackungen wurden mit der Analysen- und Präzisionswaage „OHAUS PA4202“ abgewogen. Dieses Model hat eine maximale Belastbarkeit von 4200g und eine Ablesbarkeit von 0,01g (OHAUS 2019).

Zu Beginn wurde die gesamte Verpackung inklusive Inhalt abgewogen. Nach Öffnung der Verpackung wurden die Einzelteile der Verpackung (z.B. Schale, Folie, Etikett) abgewogen und die Werte in Gramm (g) notiert. Durch die Berechnung der Differenz zwischen Gesamtmasse und Masse der Verpackungskomponenten konnte auf die Masse des abgepackten Lebensmittels geschlossen werden.

3.4. Identifizierung der Verpackungsmaterialien

Zur Identifizierung der Materialien dienen Recyclingcodes und Informationen, die auf der Verpackung angebracht waren, sowie die Verwendung eines FTIR-Spektrometers.

Den Code erkennt man an dem Recyclingsymbol, das aus drei Pfeilen besteht, die ein Dreieck bilden, wie es in Abbildung 90 zu sehen ist.

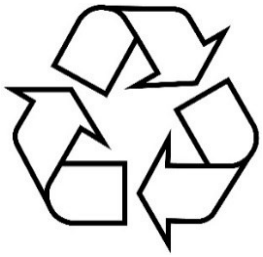


Abbildung 90: Recyclingsymbol Quelle: (Recycling.com 2016)

Recycling Codes dienen zur Kennzeichnung von Verpackungsmaterialien. Innerhalb des Symbols befindet sich eine Nummer, die das Material kennzeichnet. Oft befindet sich unterhalb des Symbols ein Kürzel aus Großbuchstaben, das den genauen Werkstofftyp angibt (BMLFUW 2014).

In Tabelle 9 sind die für diese Arbeit relevanten Recycling-Codes angeführt.

Recycling-Code	Abkürzung	Name des Stoffs
01	PET	Polyethylenterephthalat
02	PE-HD	Polyethylen hoher Dichte
03	PVC	Polyvinylchlorid
04	PE-LD	Polyethylen niedriger Dichte
05	PP	Polypropylen
06	PS	Polystyrol
07	O (other)	andere Kunststoffe
20	PAP	Wellpappe
21	PAP	sonstige Pappe
22	PAP	Papier

Tabelle 9: Recycling Codes. Quelle: (BMLFUW 2014)

Die Materialien der Verpackungskomponenten, die nicht durch Recyclingcodes bzw. Informationen auf der Verpackung identifizierbar waren, wobei es sich größtenteils um Folien und Kunststoffnetze handelte, wurden mit Hilfe des FTIR Spektrometers „Spectrum Two“ von PerkinElmer ermittelt. Es handelt sich um ein kompaktes Messgerät, welches mit der mitgelieferten Software „Spectrum“ gesteuert wird, und mit der die aufgenommenen Spektren bearbeitet werden können.

Dabei wurden die unbekannten Materialien mit Hilfe eines ATR-Messzubehörs, welches für die Analyse von festen und flüssigen Proben verwendet werden kann, gemessen. Die Universal-ATR Einheit ermöglicht die Aufnahme von qualitativ hochwertigen Spektren durch die Verwendung eines Diamantkristalls, der in Kontakt mit dem zu identifizierenden Material steht. Beim Vermessen der Proben wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Starten des Programms „Spectrum“ auf einem Computer.
- Durchführung einer Untergrundaufnahme (falls erforderlich).
- Eingabe eines Probennamens.
- Sicherstellen, dass der Kristall gereinigt ist und Auflegen der Probe auf den Diamanten. Klicken auf „Start“ in der Werkzeugleiste.

- Festdrehen der Probe mit dem Anpressarm, damit der Andruckkraftmesser einen guten Kontakt hat.
- Eine Vorschau des Spektrums erscheint und wird laufend aktualisiert um festzustellen, ob zwischen Probe und Kristall ein guter Kontakt besteht. Ist das Spektrum klar erkennbar, wird durch das Klicken auf den Befehl „Scan“ (gleiche Taste wie zuvor „Start“) in der Werkzeugleiste mit der Datenerfassung begonnen.
- Es werden vier Scans aufgenommen.

Daraufhin wird im Ansichtsfenster das aufgenommene Probenspektrum abgebildet. Der Prozess „Suchen“ vergleicht das Spektrum der unbekannten Probe mit Referenzspektren und ermöglicht so die Identifikation der Probe. Dabei wird das Spektrum mit der besten Übereinstimmung in einem neuen Reiter „Suchen“ dargestellt und eine Liste der gefundenen ähnlichen Spektren, die nach fallenden Korrelationsfaktoren sortiert sind, angezeigt. Im selben Reiter werden unten links das Probenspektrum und das Spektrum mit der größten Übereinstimmung graphisch dargestellt und übereinandergelegt (PerkinElmer 2011).

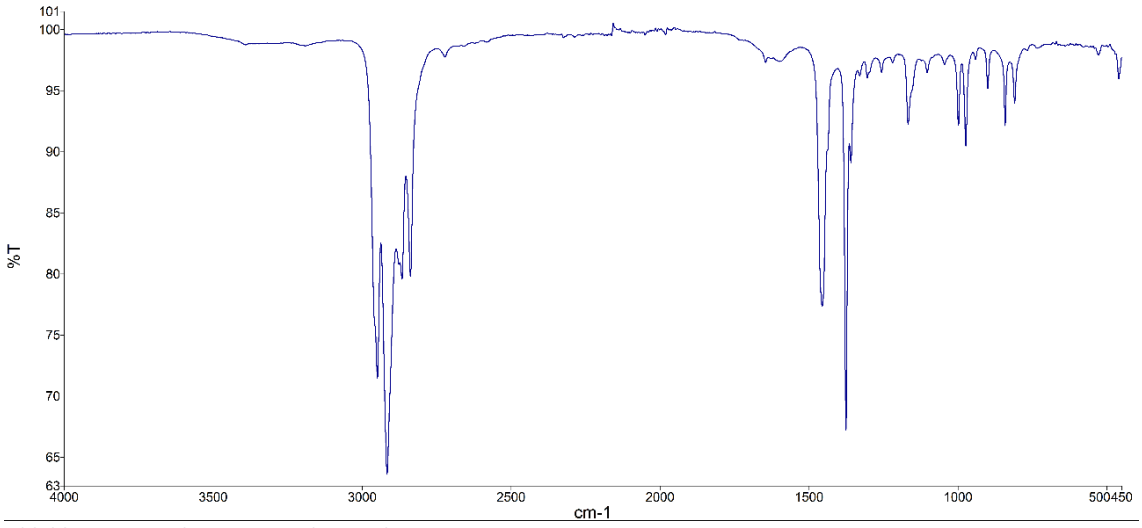


Abbildung 91: Spektrum von Polypropylen

In Abbildung ist ein Beispiel für ein mit der UATR-Einheit aufgenommenes Spektrum, in diesem Fall Polypropylen, dargestellt.

3.5. Bewertung der Nachhaltigkeit

Um die Nachhaltigkeit der Verpackungen für Obst und Gemüse zu bewerten, wurden verschiedene Kategorien ausgewählt, die durch Festlegung bestimmter Kriterien bzw. Anforderungen bewertet wurden. Anschließend wurde eine Bewertung mit Hilfe einer fünf – Punkte – Skala durchgeführt.

3.5.1. Produktschutz bzw. Qualitätserhalt

Eine wichtige Rolle für die Bewertung der Proben spielt der Produktschutz, da dies die wichtigste Funktion von Lebensmittelverpackungen ist. Besonders bei empfindlichem Obst und Gemüse ist der Schutz vor mechanischer Beanspruchung wichtig, da die Verpackung vor allem Stapeldruck aushalten muss. Da die Bewertung des Produktschutzes bei Obst und Gemüse immer auf das jeweilige Produkt bezogen werden muss, wurde eine qualitative Beschreibung vorgenommen. Des Weiteren spielt bei diesen Lebensmitteln die Vermeidung von Schimmel eine wichtige Rolle, da dieser zu Qualitätsverlusten durch mikrobiologischen Verderb führt.

Der Schutz des Produktes vor mechanischer Beanspruchung und der Schutz vor Feuchtigkeit wurden pro Verpackung separat durchgeführt. Die Beurteilung erfolgte in tabellarischer Form. In Tabelle 10 ist die Bewertungsskala für den mechanischen Produktschutz und den Schutz vor Schimmelbildung bzw. der Qualitätserhalt angeführt.

Bewertung	Bedeutung
5	sehr guter Schutz
4	guter Schutz
3	teilweise geschützt
2	geringer Schutz
1	kein Schutz

Tabelle 10: Bewertungsgrundlage für den Produktschutz bzw. Qualitätserhalt

Für die Bewertung des Produktschutzes wurde auch die Respiration der verpackten Produkte berücksichtigt. Hier benötigen vor allem Obst- und Gemüsesorten, die eine Respiration aufweisen, eine Verpackung, die Luftzirkulation ermöglicht.

In Tabelle 11 und 12 sind verschiedene Obst- und Gemüsesorten nach Respirationsrate eingeteilt. Bei der Bewertung der Schimmelbildung bzw. des Qualitätserhalts wurde auch berücksichtigt, ob das Obst oder Gemüse eine hohe bzw. niedrige Respirationsrate aufweist.

Kategorie	Obstsorten
Sehr niedrig	getrocknete Früchte, Nüsse
Niedrig	Äpfel, Trauben
Moderat	Marillen, Feigen (frisch), Nektarinen, Pfirsiche, Birnen, Pflaumen

Tabelle 11: Einteilung von Obst nach Respirationsrate (Wilson et al. 1999)

Kategorie	Gemüsesorten
Sehr niedrig	Zwiebel
Niedrig	Kohl, Gurke, Melone, Tomate
Moderat	Karotte, Sellerie, Gewürzgurke, Lauch, Paprika, Rhabarber
Hoch	Spargel (blanchiert), Aubergine, Fenchel, Kopfsalat, Radieschen
Sehr hoch	Bohnen, Kohlsprossen, Pilze, Wirsing, Spinat
Extrem Hoch	Brokkoli, Erbse, Zuckermais

Tabelle 12: Einteilung von Gemüse nach Respirationsrate (Robertson 2016)

Mit Hilfe dieser Tabellen wurde in die Bewertung von Datteln, Äpfeln, Gurken und Tomaten neben der Schimmelbildung auch die Respiration miteinbezogen. Luftdichtere Verpackungen sind für diese Produkte mit geringer Respiration besser geeignet, als jene Obst- und Gemüsesorten mit einer höheren Respirationsrate.

3.5.2. Umweltbelastung

Bezüglich Umweltbelastung wurden der Materialeinsatz und die CO_2-Emissionen, die mit den Verpackungen verbunden sind, näher betrachtet.

3.5.2.1. Materialeinsatz

Um die Umweltbelastung der Proben zu beurteilen wurde die Masse der Verpackung im Vergleich zum verpackten Lebensmittel betrachtet. Dazu wurden die Masse aller Verpackungsbestandteile und das der verpackten Ware ermittelt und in Gramm notiert.

Aus diesen beiden Werten wurde das Verhältnis von Verpackung zu verpacktem Lebensmittel berechnet, also die Menge an Verpackungsmaterial, die pro Gramm Lebensmittel verwendet wurde. Die berechneten Werte wurden in Prozent ausgedrückt um das Verhältnis übersichtlicher darzustellen. Je kleiner die Zahl ist, desto weniger Verpackung wurde für das verpackte Obst bzw. Gemüse eingesetzt und umso besser wurde die Probe bewertet.

Die berechneten Verhältnisse aller Proben wurden miteinander verglichen und anhand der Werte in fünf etwa gleich große Gruppen unterteilt. Dabei handelt es sich bei Gruppe fünf um jene Proben mit dem geringsten Materialeinsatz und bei Gruppe eins um jene mit dem höchsten. Die Bewertung erfolgte, wie schon zuvor beim Produktschutz, mit Hilfe einer fünf – Punkte – Skala und wurde bei der Gruppeneinteilung berücksichtigt, wodurch die Bezeichnung der Gruppen gleichzeitig die Bewertungsskala darstellt.

In Tabelle 13 ist angegeben, wie viele Proben in welcher Gruppe sind und der niedrigste bzw. höchste Wert des Verhältnisses in jeder Gruppe.

		Verhältnis (in %)	
Gruppe/Bewertung	**Anzahl der Proben je Gruppe**	**Minimum**	**Maximum**
5	19	0,23%	0,98%
4	17	1,02%	2,49%
3	16	3,23%	4,47%
2	18	4,70%	7,92%
1	17	8,07%	31,39%

Tabelle 13: Materialeinsatz: Einteilung der Bewertungsgruppen (inklusive Minimum und Maximum des Verhältnisses)

3.5.2.2. CO_2-Emissionen

Zur weiteren Bewertung der Umweltbelastung wurden CO_2-Emissionen von ausgewählten Verpackungsproben ermittelt. Dazu wurde das „Packaging Sustainability Tool“ (PAST) verwendet, welches der Erstellung von „Streamlined LCAs“ dient, also schlanker Lebenszyklusanalysen. Bei Streamlined LCAs wird nur mit Durchschnitts- bzw. Literaturwerten gerechnet, es werden also keine Primärdaten erhoben. Die Datensätze, mit denen PAST arbeitet, stammen aus Ecoinvent 3.5.

Auf die Erhebung von Primärdaten, wie Energie- und Ressourcenbedarf oder Transportwege, wurde verzichtet, da für diese Arbeit eine schlanke bzw. weniger umfangreiche LCA ausreicht. Außerdem ist diese Erhebung sehr zeitintensiv, weshalb die Berechnung der Ökobilanz bzw. der CO_2-Emissionen mit wenig verfügbaren Daten, der Masse und dem Material der Verpackungskomponenten, durchgeführt wurde. Durch die Angabe dieser zwei Informationen, konnten innerhalb kurzer Zeit ausreichende Ergebnisse für die Nachhaltigkeitsbewertung, die in dieser Arbeit durchgeführt wurde, erzielt werden.

Das Tool liegt in Form einer Microsoft Excel-Vorlage vor und umfasst fünf Tabellenblätter. Im Tabellenblatt „Allgemein“ werden allgemeine Angaben zur

Verpackung eingegeben, wie die Gesamtmasse der Primärverpackung und die Masse des Füllgutes. Sind Sekundär- und Tertiärverpackung nicht bekannt, so muss bei dieser Frage „nein“ ausgewählt werden.

Unter dem Punkt „Bezeichnung der Verpackungskomponenten“ können bis zu vier Namen der jeweiligen Komponenten eingetragen werden. Bei dieser Masterarbeit handelt es sich hier häufig z.B. um eine Schale, eine Folie und ein Etikett.

Nach der Eingabe im allgemeinen Tabellenblatt folgt die Dateneingabe der jeweiligen Verpackungskomponenten in den Tabellenblättern „Komponente 1-4“. Bei Kunststoffen, Wellpappe, Karton/ Vollpappe und Papier wird hier die Menge in Gramm, die Art des Produktes, das Herstellungsland, das Herstellungsverfahren und der Anteil, der dem Recycling zukommt, angegeben.

Mit Hilfe der Circular Packaging Design Guideline wurde zuerst festgestellt, ob eine Verpackungskomponente recyclingfähig ist und mit derzeitig verfügbaren Recyclingquoten der Recyclinganteil der jeweiligen Komponente angegeben. In Österreich liegen die derzeitigen Recyclingquoten der für diese Arbeit relevanten Materialien bei:

- Verpackungspapier: 85% (ARA 2018)
- Große Kunststofffolien: 55%
- Kleine Kunststofffolien: 18%
- Große Kunststoffhohlkörper (exkl. PET): 21%
- Kleine Kunststoffhohlkörper (exkl. PET): 31% (van Eygen et al. 2018)

3.5.3. Recyclingfähigkeit

Zur Beurteilung der Recyclingfähigkeit der Obst- und Gemüseverpackungen wurde die „Circular Packaging Design Guideline“ herangezogen. Sie befasst sich mit nachhaltigen Verpackungsmöglichkeiten und Empfehlungen für ein recyclingfähiges Design für Verpackungssysteme. Dabei wird auf folgende Verpackungsmaterialien näher eingegangen: Kunststoffe, Papier/ Pappe/ Karton, Glas, Weißblech und Aluminium.

Das Recycling von PET-Getränkeflaschen ist ein gut umgesetzter Prozess, allerdings können Schalen, Becher und Folien aus PET nicht in den gleichen Recyclingstrom eingebracht werden, da sie aufgrund einer anderen Polymerzusammensetzung Störstoffe darstellen. Aus diesem Grund wurden Proben, deren Großteil aus solchen PET-Verpackungen bestehen, als nicht recyclingfähig bewertet.
Schalen, Folien und Beutel aus PP bzw. PE werden in Österreich über die gelbe Tonne bzw. den gelben Sack entsorgt und gelten prinzipiell als recyclingfähig. Folien aus diesen Kunststoffen wurden für die Bewertung der Recyclingfähigkeit in dieser Arbeit größenunabhängig beurteilt.

Andere Kunststoffe, wie PS oder PVC, zählen zu seltenen Materialien und können daher nicht recycelt werden, weshalb auf diese Materialien verzichtet werden sollte.
Verpackungen aus Papier, Pappe oder Karton (PPK) werden zusammen mit anderen Papiererzeugnissen gesammelt und gelten als recycelbar. Für Holz gibt es momentan laut Guideline keine Vorgaben (FH Campus Wien 2019).

Anhand dieser Vorgaben wurden die erhobenen Verpackungen in „recyclingfähig“, „teilweise recyclingfähig“ und „nicht recyclingfähig“ eingestuft.

4. Ergebnisse

Die erhobenen Daten wurden notiert und in MS Excel-Dokumenten eingetragen. Die Ergebnisse der einzelnen Unterpunkte sind tabellarisch und, soweit es eine gute Übersicht ermöglicht, graphisch dargestellt.

4.1. Identifizierung der Verpackungsmaterialien

Bevor die Verpackungsmaterialien bestimmt wurden, erfolgte eine Einteilung der einzelnen Komponenten in sieben Packmittel, die in Tabelle 14 angeführt sind. Außerdem ist ersichtlich, aus welchen Komponenten jede der 87 Verpackungen zusammengesetzt ist und aus welchen Materialien diese bestehen.

Nr.	Schale (+Deckel)	Folie/ Beutel	Etikett	Netz	Klammer/ Verschluss	Einlage-Pad	Griff
01	PP		Verbund (PP + Thermopapier)	PE	magnetisch (Stahl)		
02	R-PET	PP	Thermopapier			PE – Zellulose - PE	
03	R-PET		PP, Thermopapier			PE	
04	PET		Papier				
05		LD-PE					
06	Karton	PVC	Papier (normal + Thermo)				
07	R-PET		Thermopapier				
08	Karton	Holzfaser	Thermopapier				
09			Verbund (PP + Thermopapier)	PE	magnetisch (Stahl)		
10			Verbund (PP + Thermopapier)	Holzfaser	magnetisch (Stahl)		

11		PE	Thermopapier	PE			
12		LD-PE					
13	PS	PVC	Thermopapier				
14	Wellpappe	PP	Thermopapier				
15		PE	Thermopapier				
16			Verbund (PP + Thermopapier)	LD-PE	magnetisch (Stahl)		
17		PP	Thermopapier				
18	Wellpappe	PP	Thermopapier				
19		PE	Thermopapier				
20	PP	PP					
21	Holz	PE	Papier				
22	PP		Verbund (PP + Thermopapier)	PE	magnetisch (Stahl)		PP
23	PET	PP	Thermopapier				
24	Karton		Thermopapier				
25	PET	CPET	Papier			PE	
26	Wellpappe	PP	Thermopapier				
27			Verbund (PP + Thermopapier)	Holzfaser	magnetisch (Stahl)		
28	Wellpappe	PVC	Thermopapier				
29	Wellpappe	Holzfaser	Thermopapier				
30	PP		Thermopapier				PP
31	PP	PP	Papier				
32		PE	Thermopapier				
33		PP	Papier				
34	PP	PP	Thermopapier				
35		PP	Thermopapier				
36		PP					
37	PP	PP					PP
38	Holz	PP	Thermopapier		magnetisch (Stahl)		

39	PP	PP	Thermopapier				
40		PP		PE	nicht magnetisch (Aluminium)		PP
41	R-PET		Thermopapier				
42	PP	PVC	Thermopapier				
43		PP	Thermopapier		PP mit Draht		
44	PET	CPET	Papier				
45	PET		Papier				
46	PS	PP	Papier				
47	PS	PVC	Thermopapier				
48		PP	Thermopapier	PEPP			
49		PP					
50	Wellpappe		Thermopapier				
51	PET		Thermopapier				
52			Papier	PE			
53	Karton						
54	Karton	PP					
55		LD-PE					
56	Karton	PP					
57		NAWARO ohne Stärke (NATURABIOMAT 2017)					
58	PS	PVC	Thermopapier				
59	Wellpappe	PVC	Thermopapier				
60	Wellpappe		Verbund (PP + Thermopapier)	PE	magnetisch (Stahl)		
61		Papier	Thermopapier	Papier			
62		Papier		Papier	Garn		

63		Papier		PE			
64	PET		Thermopapier				
65	Palmblatt	PVC	Papier (normal)				
66		Papier					
67	Karton	PP					
68	PS	PVC	Papier				
69	Karton		Thermopapier				
70		Jute	Papier	PE	PP		
71	PS	PVC	PP	PE			
72		PP			PP mit Draht		
73	Karton	PP	Thermopapier				
74	Karton	PP	Thermopapier				
75	PET	PP	Papier				
76	Bastkörbchen		Verbund (PP + Thermopapier)	PE	magnetisch (Stahl)		
77	Holz	PVC	Thermopapier		magnetisch (Stahl)		
78	Wellpappe	PP	Papier, Thermopapier				
79	Wellpappe	PP	Papier				
80		PE		PE			PE
81		PP	Thermopapier				
82	Holz		Karton	PEPP	magnetisch (Stahl)		
83	PP	PP	Thermopapier		Kautschuk		
84	PET	CPET	Thermopapier			PE - Zellulose - PE	
85		PE	Thermopapier				
86		PP					
87	PET	PP	Papier				

Tabelle 14: Materialien der einzelnen Verpackungsbestandteile

Insgesamt wurden 56 Schalen aus neun verschiedenen Materialien erhoben, die in Abbildung 92 graphisch dargestellt sind.

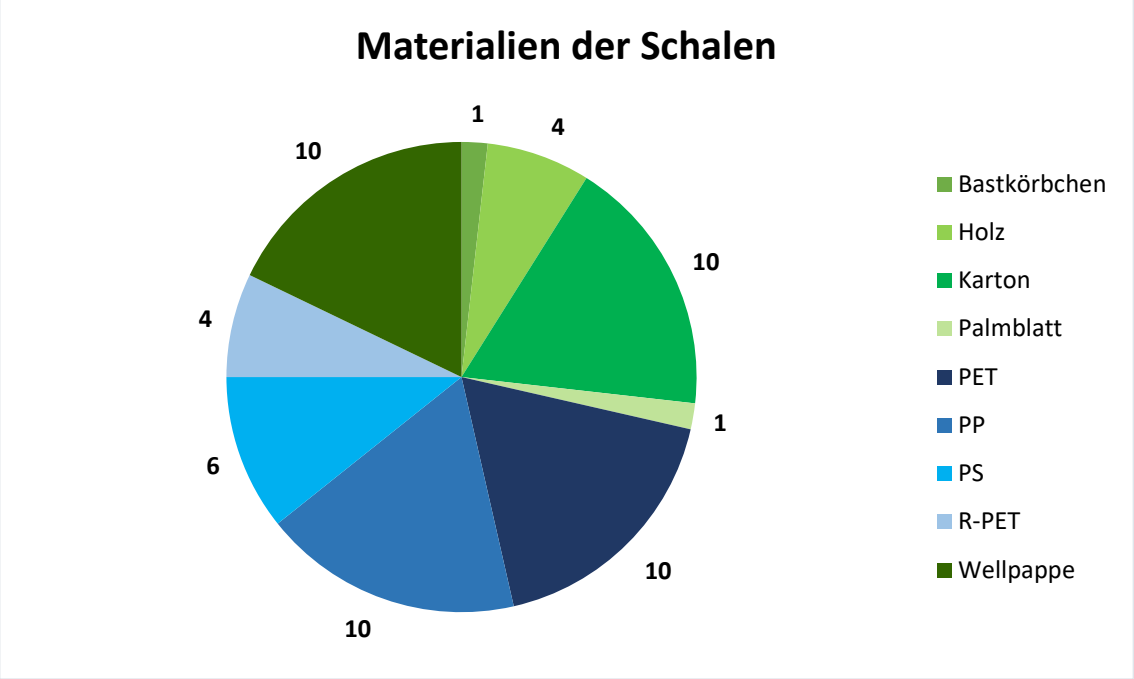


Abbildung 92: Materialien der Schalen

Es ist zu erkennen, dass Kunststoffe häufig eingesetzt werden um Schalen herzustellen. In der Grafik ist ersichtlich, dass die blau eingefärbten Säulen die unterschiedlichen Kunststoffe (PET, PP, PS und R-PET) darstellen und mit 30 Proben mehr als 50% aller Schalen ausmachen. Hierbei sind die meisteingesetzten Materialien, die jeweils zehnmal im Zuge dieser Arbeit erhoben wurden, PET und PP, gefolgt von PS, welches insgesamt sechsmal identifiziert wurde. Recyceltes PET wurde bei vier Schalen verwendet.

Wie man gut erkennen kann, bestehen in der Gruppe der Kartonschalen insgesamt 20 Proben aus Karton oder Wellpappe, diese sind sehr häufig in Supermärkten erhältlich. Des weiteren wurden vier Verpackungen, deren Schale aus Holz besteht, identifiziert. Außerdem gab es je eine Probe, deren Schale ein Palmblatt bzw. ein aus Bast geflochtenes Körbchen war.

Bei den erhobenen Proben konnten insgesamt 65 Komponenten den Packmitteln Folien bzw. Beutel zugeordnet werden. Diese waren entweder Hauptkomponenten der Verpackungen, wie z.B. Papiersäcke oder Kunststoffbeutel für Kartoffeln bzw. Karotten, oder wurden in Kombination mit Schalen eingesetzt, welche von Folien umhüllt waren.

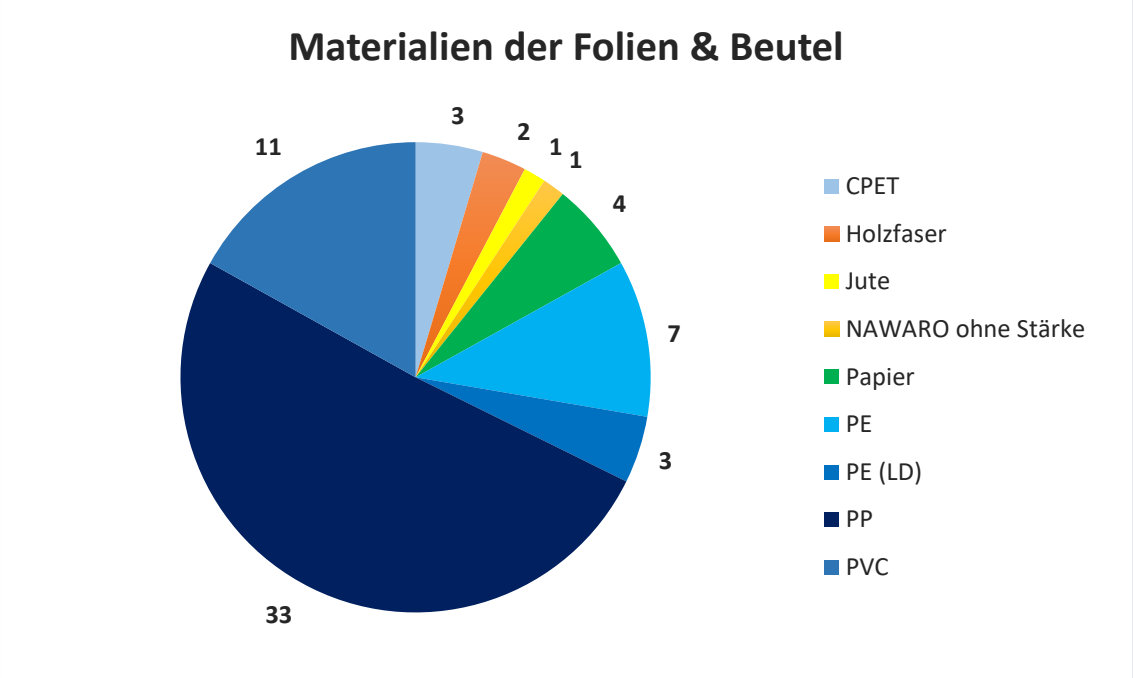


Abbildung 93: Materialien der Folien und Beutel

In Abbildung 93 fällt auf, dass das Hauptmaterial von Folien(-beutel) der Kunststoff Polypropylen ist. Dieser wurde bei 33 Folien, mit Hilfe des FTIR Spektrometers, identifiziert. Das zweithäufigste Material, das ermittelt wurde, war PVC, welches in Form von dünnen, dehnbaren Folien verwendet wurde, um Schalen inklusive Lebensmittel zu umwickeln. Polyethylen konnte bei zehn Proben bestimmt werden und drei Siegelfolien bestanden aus CPET, die bei Erdbeeren, Heidelbeeren und Tomaten/ Mini-Paprika als Verschluss der Kunststoffschale dienten.

Nur vier Beutel, für Kartoffel und Knoblauch, wurden aus Papier hergestellt. Zwei Folien sind aus Holzfaser und ein Beutel aus nachwachsenden Rohstoffen ohne Stärke. Ein Jutesack wurde für das Verpacken von Clementinen verwendet.

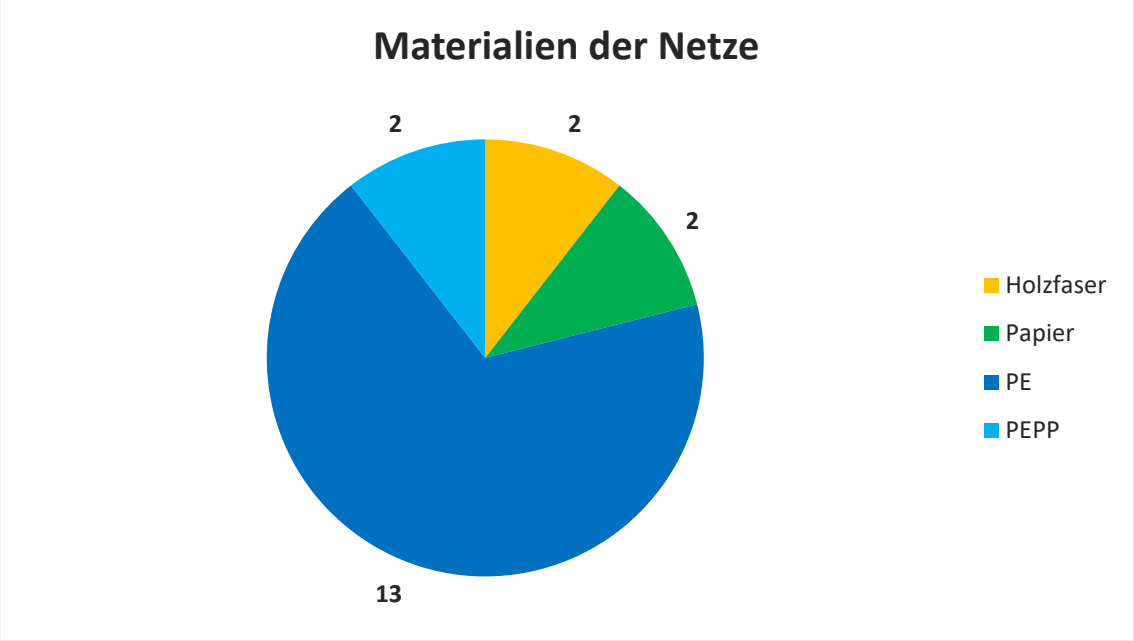


Abbildung 94: Materialien der Netze

Bei der Marktrecherche wurden insgesamt 19 Verpackungen erhoben, die ein Netz beinhalteten, deren Materialien in Abbildung 94 als Tortendiagramm dargestellt sind. Hierbei handelte es sich um Schlauchnetze, geschäumte Netze oder Netze in Sichtfenstern, wobei der Großteil aus Polyethylen bestand und lediglich je zwei aus Holzfaser, Papier und PEPP.

Insgesamt wurden 68 Verpackungen erhoben, auf denen Etiketten angebracht waren. Wie man in Abbildung 95 erkennen kann, handelte es sich meistens, 43-mal, um Thermopapier, wobei zwei Proben zusätzlich ein normales Papieretikett aufwiesen und eine Probe ein Kunststoffetikett aus PP.

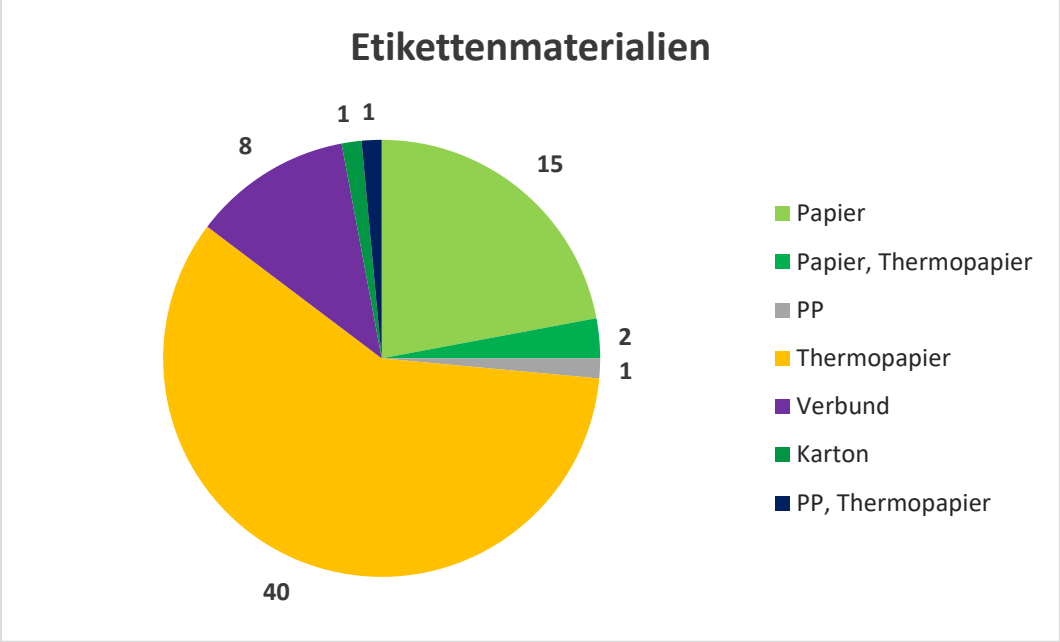


Abbildung 95: Materialien der Etiketten

Auf 15 Verpackungen wurde ein normales Papieretikett befestigt und nur je einmal Etiketten aus PP bzw. Karton. Während der Materialbestimmung konnte festgestellt werden, dass Verbundetiketten immer an Netzverpackungen angebracht waren. Mit Hilfe des FTIR-Spektrometers wurde festgestellt, dass die bunte Seite dieser Etiketten aus PP und die bedruckte Seite aus Thermopapier besteht.

In Abbildung 96 sind Anzahl und Material der verwendeten Verschlüsse und Klammern graphisch dargestellt. Am häufigsten wurden hier magnetische Klammern aus Stahl für das Verschließen von Schlauchnetzen verwendet.
Breuers Verpackungen GmbH bieten diese Clipbänder und Clipdrähte an, welche auch Bandstahl hergestellt und verkupfert oder verzinkt bestellt werden können (Breuers Verpackungen 2016).

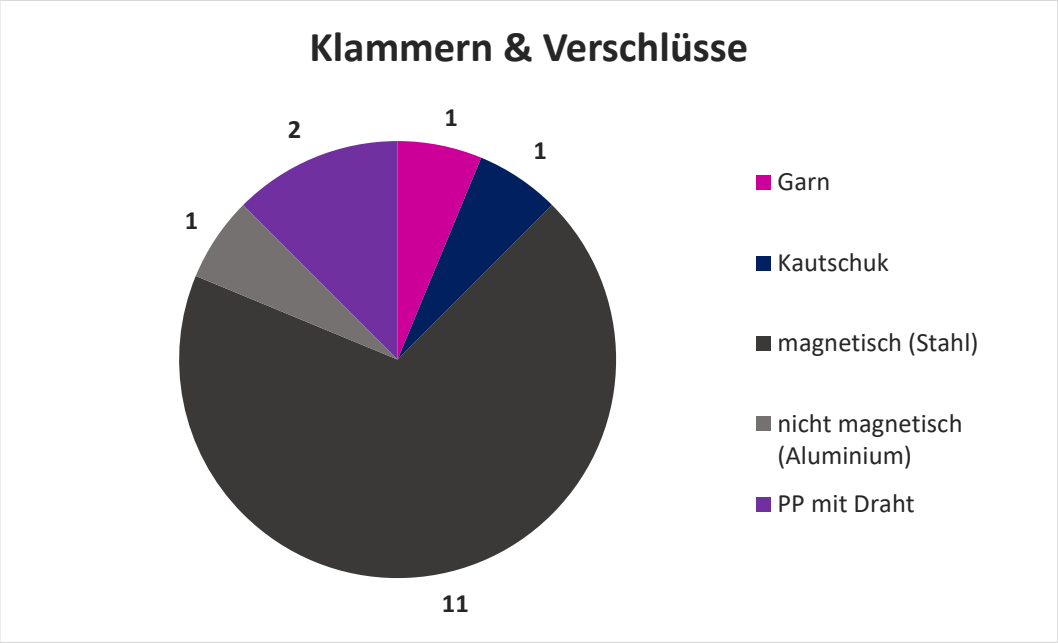


Abbildung 96: Materialien der Klammern und Verschlüsse

Zweimal wurde ein u-förmig gebogener Verschlussclip verwendet, der durch zwei Drähte stabilisiert wird und wiederholtes Öffnen und Schließen ermöglicht. Anwendung fand der Clip bei Snackkarotten und Radieschen, deren Beutel damit verschlossen wurde. Das Netz, das die Pomelo umgab, wurde durch zwei nicht magnetische Klammern zusammengehalten. Ein Papiersack, der Erdäpfel beinhaltete, wurde an der Oberseite durch ein Garn verschlossen und das schwarze Kunststoffkörbchen für Physalis, welches mit einem Folienstreifen verdeckt war, wurde mit einem Gummiring, dessen Material Kautschuk ist, fixiert.

4.2. Produktschutz und Qualitätserhalt

In diesem Kapitel ist die Bewertung des Produktschutzes vor mechanischen Einflüssen und Schimmelbefall bzw. des Qualitätserhalts in tabellarischer Form angegeben. Dabei wurde die Schutzfunktion der Verpackungen qualitativ beschrieben und auf dieser Basis mit 1 bis 5 Punkten bewertet.

4.2.1. Kunststoff – Schalen

Beispiele für Obst und Gemüse in Kunststoffschalen mit Deckel:

Beerenobst, Weintrauben, Snackgurken, Tomaten

Beispiele für Obst und Gemüse in Kunststoffschalen mit Flowpack-Folie:

Avocado, Birnen, Pflaumen, Erdbeeren, Salat, Tomaten, Kaki, Kiwi, Paprika

Beispiele für Obst und Gemüse in Kunststoffschalen mit dehnbarer Folie

Datteln, Suppengemüse/-grün, Champignons

In Tabelle 15 sind die Verpackungsproben der Kunststoff-Schalen angeführt und bezüglich ihrer Schutzwirkung beschrieben:

Probe	Schutz vor mechanischen Schäden & Bewertung		Schutz vor Feuchtigkeit bzw. Qualitätserhalt & Bewertung	
01	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben	**3**	durch Perforation der Schale und Netz ist eine gute Luftzirkulation möglich	**4**
02	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; zusätzlicher Schutz vor Druckstellen durch Absorptionspad von unten; Schutz der Haut durch Folie	**4**	Perforation der Schale und Folie ermöglichen Zirkulation der Luft; zusätzlich absorbiert das Pad Kondenswasser und austretenden Fruchtsaft und reduziert so die Schimmelbildung	**4**

03	Himbeeren sind durch Schale mit Deckel gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt, zusätzlicher Schutz vor Druckstellen durch Luftpolsterfolie; stapelfähig	**5**	viele Löcher in Schale und Deckel ermöglichen eine gute Luftzirkulation; Luftpolsterfolie reduziert Druckstellen und damit austretenden Fruchtsaft	**4**
04	Heidelbeeren sind durch Schale mit Deckel gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt; stapelfähig	**5**	Löcher in Schale und Deckel ermöglichen Luftzirkulation; kein Absorptionspad	**3**
07	Weintrauben sind durch Schale mit Deckel gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt; Verpackung ist auch stapelfähig	**5**	Löcher in Schale und Deckel ermöglichen Luftzirkulation; kein Absorptionspad	**3**
13	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
20	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
22	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; kein Schutz der Haut	**3**	durch Perforation der Schale und Netz ist eine gute Luftzirkulation möglich	**4**
23	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	geringe Luftzirkulation durch wenige Löcher in Schale und Folie	**2**
25	Erdbeeren sind durch Schale mit Siegelfolie gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt, zusätzlicher Schutz vor Druckstellen durch Luftpolsterfolie; stapelfähig	**5**	durch Perforation der Schale und Folie ist eine gute Zirkulation der Luft möglich; Luftpolsterfolie reduziert Druckstellen und den dadurch austretenden Fruchtsaft, der die Bildung von Schimmel begünstigt	**4**

30	Tomaten sind gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt; Kübel ist stapelfähig	**5**	4 Löcher im Deckel und keine Löcher im Kübel; Tomaten weisen niedrige Respiration auf, weshalb eine geringe Luftzirkulation ausreicht	**4**
31	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	wenige Löcher in Schale und Folie; Tomaten weisen niedrige Respiration auf, weshalb eine geringe Luftzirkulation ausreicht	**4**
34	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	geringe Luftzirkulation durch wenige Löcher in Schale und Folie	**2**
37	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	geringe Luftzirkulation durch wenige Löcher in Schale und Folie	**2**
39	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	Perforation der Schale und der Folie ermöglichen Luftzirkulation	**3**
41	Snackgurken sind gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt; stapelfähig	**5**	Gurken weisen niedrige Respiration auf weshalb Löcher in Schale und Deckel ausreichende Luftzirkulation ermöglichen	**5**
42	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
44	Tomaten und Snackpaprika sind durch Schale mit Siegelfolie gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt; stapelfähig	**5**	geringe Luftzirkulation möglich (keine Löcher in Schale und perforierte Folie)	**2**
45	Tomaten sind durch Schale mit Deckel gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt; stapelfähig	**5**	Tomaten weisen niedrige Respiration auf, weshalb Löcher in Schale und Deckel ausreichende Luftzirkulation ermöglichen	**5**

46	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Löcher in Schale und perforierte Folie; Tomaten weisen niedrige Respiration auf, weshalb Luftzirkulation ausreicht	**4**
47	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
51	Beeren sind durch Schale mit Deckel gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt; stapelfähig	**5**	keine Löcher in Schale und Deckel, geringe Luftzirkulation durch Spalt möglich	**2**
58	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
64	Beeren sind durch Schale mit Deckel gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt; stapelfähig	**5**	keine Löcher in Schale und Deckel, daher nur geringe Luftzirkulation durch Spalt möglich	**2**
68	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie; Respirationsrate von getrockneten Datteln ist sehr gering, weshalb luftdichte Verpackung sinnvoll ist	**4**
71	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, geschäumtes Netz schützt gegenüber Druck von oben	**5**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
75	Schale schützt vor Druck von unten, jedoch nicht vor Druck von oben bzw. seitlich; Schutz der Oberfläche durch Folie	**4**	perforierte Schale und Folie ermöglichen Luftzirkulation	**3**
83	Physalis sind durch Körbchen mit Folie vor Druck von allen Seiten geschützt	**4**	luftdurchlässiger Korb ermöglicht sehr gute Luftzirkulation	**5**

84	Heidelbeeren sind durch Schale mit Siegelfolie gegenüber mechanischen Belastungen von allen Seiten gut geschützt, zusätzlicher Schutz vor Druckstellen durch Absorptionspad; stapelfähig	**5**	Perforation der Schale und der Folie ermöglichen Zirkulation der Luft; zusätzlich absorbiert das Pad Kondenswasser und austretenden Fruchtsaft und reduziert so die Schimmelbildung	**4**
87	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Löcher in Schale und perforierte Folie ermöglichen geringe Luftzirkulation	**2**

Tabelle 15: Bewertung des Produktschutzes - Kunststoffschalen

In der Gruppe der Kunststoff-Schalen befinden sich insgesamt 30 Proben, die bezüglich mechanischem Schutz allesamt mit 3, 4 oder 5 Punkten bewertet wurden.

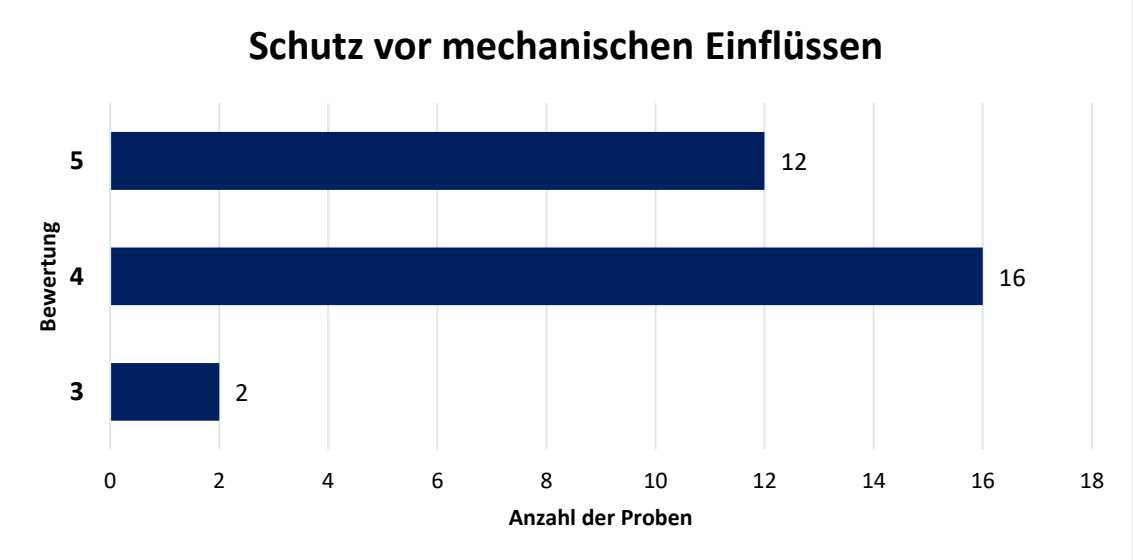


Abbildung 97: Produktschutz: Kunststoffschalen – mechanischer Schutz

In dem Balkendiagramm, Abbildung 97, ist ersichtlich, dass die Hälfte der Verpackungen dieser Gruppe mit 4 Punkten bewertet wurde. Die beste Bewertung, 5 Punkte, erhielten insgesamt 12 Verpackungsproben. Nur zwei Proben wurden mit 3 Punkten bewertet und keine der Proben mit einem oder zwei Punkten.

Betrachtet man nun den Schutz vor Feuchtigkeit bzw. den Qualitätserhalt, so ist die Bewertung nicht so positiv wie der zuvor beschriebene Schutz vor mechanischen Einflüssen. In Abbildung 98 ist die Bewertung in einem Balkendiagramm dargestellt.

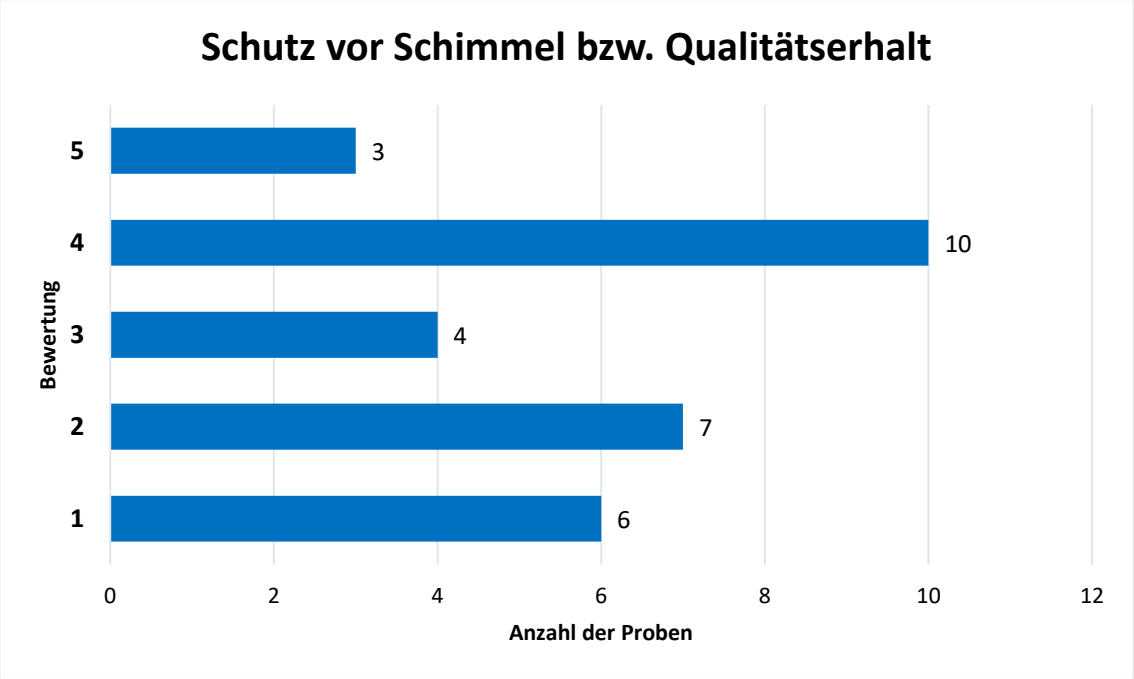


Abbildung 98: Produktschutz: Kunststoffschalen – Qualitätserhalt

Drei Verpackungen konnten mit 5 Punkten bewertet werden, zehn Verpackungen erhielten 4 und vier Verpackungen 3 Punkte. Sieben Verpackungen wiesen kaum Löcher in der Schale bzw. Folie auf, weshalb hier nur 2 Punkte vergeben werden konnten. Sechs Verpackungen ermöglichten keinerlei Luftzirkulation, wodurch der Qualitätserhalt dieser Proben mit nur einem Punkt bewertet werden konnte.

4.2.2. Karton - Schalen

Beispiele für Obst und Gemüse in Kartonschalen (mit Kunststofffolie):

Äpfel, Birnen, Pflaumen, Beeren, Avocado, Gurken, Tomaten, Datteln, Suppengemüse, Paprika, Limetten, Pilze, Salat, Kiwi

Beispiele für Obst und Gemüse in Kartonkörbchen:

Zitrusfrüchte, Avocados, Physalis

Beispiele für Obst und Gemüse in Holz(ähnlichen) Verpackungen:

Knoblauch, Zitrusfrüchte, Datteln, Pilze, Erdbeeren

In Tabelle 16 sind die Verpackungsproben der Karton-Schalen angeführt und bezüglich ihrer Schutzwirkung beschrieben:

Probe	Schutz vor mechanischen Schäden & Bewertung		Schutz vor Feuchtigkeit bzw. Qualitätserhalt & Bewertung	
06	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie, Äpfel weisen geringe Respiration auf, weshalb diese Verpackung sinnvoll ist	**4**
08	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	Schale und Perforation der Folie ermöglichen Luftzirkulation	**3**
14	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	Gurken weisen geringe Respiration auf, weshalb Luftzirkulation durch Schale und Perforation der Folie ausreicht	**5**

18	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	Tomaten weisen geringe Respiration auf, weshalb Luftzirkulation durch Schale und Perforation der Folie ausreicht	**5**
21	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie; Respirationsrate von getrockneten Datteln ist sehr niedrig, weshalb diese Verpackung sinnvoll ist	**4**
24	stabile Verpackung, Körbchen schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, teilweise von oben	**3**	gute Luftzirkulation möglich durch Luftlöcher in Körbchen und Öffnung oben	**4**
26	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	Schale und Perforation der Folie ermöglichen Luftzirkulation	**3**
28	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
29	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	Schale und Perforation der Folie ermöglichen Luftzirkulation	**3**
38	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	Holzschale mit Luftschlitzen und Perforation der Folie ermöglichen Luftzirkulation	**3**
50	sehr stabile Verpackung, würfelförmiges Körbchen schützt die Avocados von allen Seiten vor mechanischen Einflüssen; stapelfähig	**5**	gute Luftzirkulation möglich durch viele Löcher an den Seiten des Körbchens	**5**
53	stabile Verpackung, Körbchen schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, teilweise von oben	**5**	gute Luftzirkulation möglich durch Luftlöcher in Körbchen und Öffnung oben	**4**

54	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
56	sehr stabile Verpackung, Karton mit anhängendem Deckel schützt die Datteln von allen Seiten vor mechanischen Einflüssen; stapelfähig	**5**	Schale ermöglicht Luftzirkulation	**3**
59	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
60	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; kein Schutz der Haut	**3**	gute Luftzirkulation durch Netz und Schale möglich	**4**
65	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten, teilweise seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie, Äpfel weisen geringe Respiration auf, weshalb diese Verpackung sinnvoll ist	**4**
67	stabile Verpackung, Karton mit anhängendem Deckel schützt die Datteln von unten bzw. seitlich, durch zwei verlängerte Seiten, die umgeklappt sind, auch teilweise von oben; stapelfähig; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie; Respirationsrate von getrockneten Datteln ist sehr niedrig, weshalb diese Verpackung sinnvoll ist	**4**
69	sehr stabile Verpackung, rechteckiges Körbchen schützt die Rudolfinen von allen Seiten vor mechanischen Einflüssen; stapelfähig	**5**	gute Luftzirkulation möglich durch viele Löcher in Kartonkörbchen	**5**
73	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	Schale mit Löchern und Perforation der Folie ermöglichen Luftzirkulation	**3**

74	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
76	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben	**3**	gute Luftzirkulation möglich durch das Netz und das Bastkörbchen	**5**
77	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
78	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; Schutz der Haut durch Folie	**4**	Schale mit Löchern und feine Perforation der Folie ermöglichen gute Luftzirkulation	**4**
79	stabile Verpackung, Schale schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, durch die mit Luft gefüllte dichte Folie ist auch der Schutz von oben möglich	**4**	keine Luftzirkulation möglich durch dichte Folie	**1**
82	stabile Verpackung, Holzkiste schützt vor Druck von unten bzw. seitlich, jedoch nicht vor Druck von oben; stapelfähig	**4**	Holzkiste mit Löchern im Boden und Netz ermöglichen eine gute Luftzirkulation	**5**

Tabelle 16: Bewertung des Produktschutzes - Kartonschalen

Im unten abgebildeten Balkendiagramm, Abbildung 99, ist die Beurteilung des mechanischen Schutzes der Gruppe Karton-Schalen angeführt. Vier der insgesamt 26 Verpackungen wurden mit der besten Punktezahl bewertet. 19 Verpackungen erhielten 4 Punkte und drei Verpackungen erhielten 3 Punkte. In dieser Gruppe wurde keine Probe mit 1 bzw. 2 Punkten bewertet.

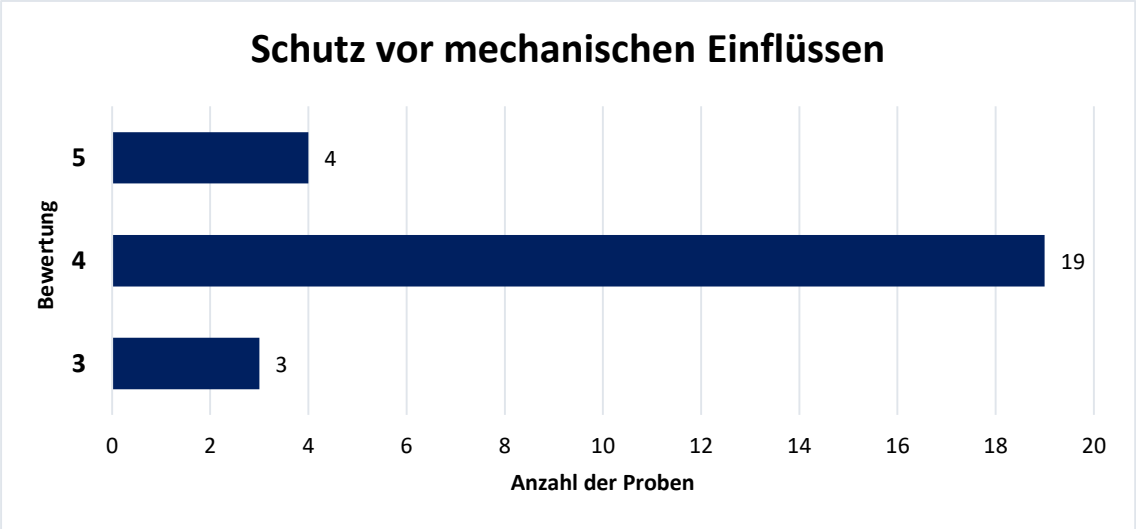


Abbildung 99: Produktschutz: Kartonschalen – mechanischer Schutz

In Abbildung 100 ist ersichtlich, dass keine Verpackung der Karton-Gruppe mit 2 Punkten beurteilt wurde. Acht Proben erhielten 4 Punkte und ermöglichen einen guten Schutz vor Feuchtigkeit bzw. erhalten die Qualität des Produktes. Jeweils sechs Verpackungen wurden mit 1, 3 bzw. 5 Punkten bewertet.

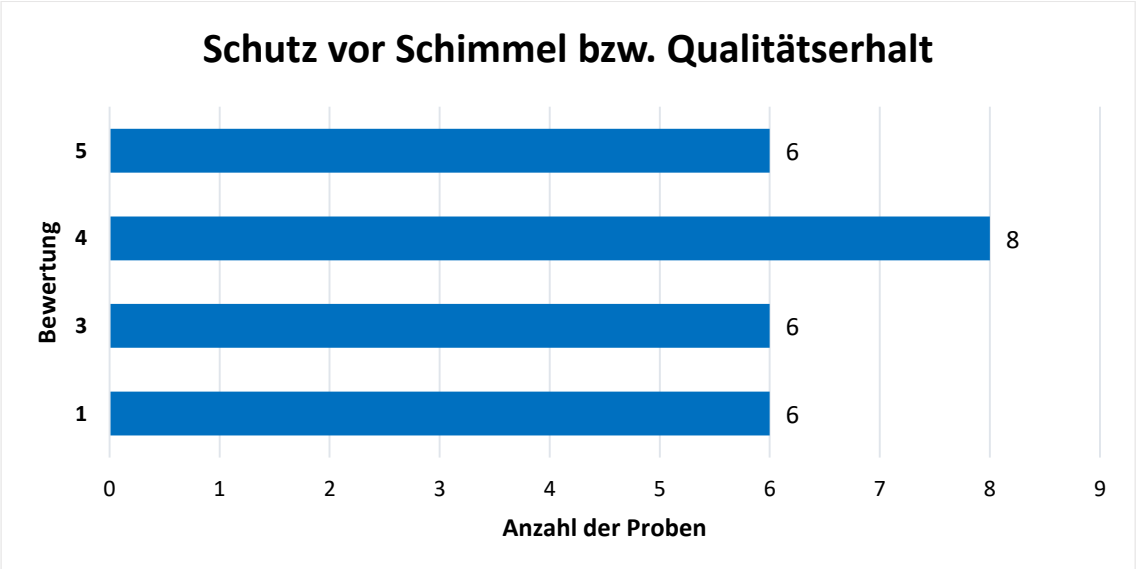


Abbildung 100: Produktschutz: Kartonschalen – Qualitätserhalt

4.2.3. Beutel, Folien und Netze

Beispiele für Obst und Gemüse in Beuteln & Folien:

Karotten, Knoblauch, Äpfel, Erdäpfel, Zitrusfrüchte, Radieschen, Gurken, Paprika, Salat, Zitronengras, Fisolen, Blattspinat, Karfiol, Brokkoli

Beispiele für Obst und Gemüse in Netzverpackungen:

Erdäpfel, Zwiebel, Knoblauch, Zitrusfrüchte, Papaya

In Tabelle 17 sind die Verpackungsproben der Beutel, Netze und Folien angeführt und bezüglich ihrer Schutzwirkung beschrieben:

Probe	Schutz vor mechanischen Schäden & Bewertung		Schutz vor Feuchtigkeit bzw. Qualitätserhalt & Bewertung	
05	Folie schützt vor Beschädigungen der Außenhaut; kein Schutz vor mechanischen Kräften	**2**	geringe Luftzirkulation durch wenige Löcher möglich; Äpfel weisen geringe Respiration auf, weshalb diese Verpackung sinnvoll ist	**5**
09	kein Schutz vor mechanischen Belastungen	**1**	sehr gute Luftzirkulation	**5**
10	kein Schutz vor mechanischen Belastungen	**1**	sehr gute Luftzirkulation	**5**
11	kein Schutz vor mechanischen Belastungen	**1**	sehr gute Luftzirkulation	**5**
12	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	geringe Luftzirkulation durch wenige Löcher möglich	**2**
15	Folie schützt vor Beschädigungen der Außenhaut; kein Schutz vor mechanischen Kräften	**2**	keine Luftzirkulation durch dichte Folie; Gurken weisen geringe Respiration auf, weshalb dichte Verpackung sinnvoll ist; Haltbarkeitsverlängerung möglich (Dhall et al. 2012)	**5**
16	kein Schutz vor mechanischen Belastungen	**1**	sehr gute Luftzirkulation	**5**

17	Folie schützt vor Beschädigungen der Außenhaut; kein Schutz vor mechanischen Kräften	**2**	Luftzirkulation durch mehrere große Löcher möglich	**3**
19	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	keine Luftzirkulation möglich durch luftdichte Folie	**1**
27	kein Schutz vor mechanischen Belastungen	**1**	sehr gute Luftzirkulation	**5**
32	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	keine Luftzirkulation möglich durch luftdichte Folie	**1**
33	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	Luftzirkulation ist durch die vielen kleinen Löcher möglich	**3**
35	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	Luftzirkulation ist durch die vielen kleinen Löcher möglich	**3**
36	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	gute Luftzirkulation	**4**
40	Folie schützt vor Beschädigungen der Außenhaut; kein Schutz vor mechanischen Kräften	**2**	keine Luftzirkulation möglich durch luftdichte Folie	**1**
43	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	geringe Luftzirkulation durch wenige Löcher möglich	**2**
48	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	gute Luftzirkulation durch das Netz möglich	**4**
49	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	keine Luftzirkulation möglich durch luftdichte Folie	**1**
52	geschäumtes, elastisches Netz schützt LM teilweise vor mechanischem Druck	**2**	sehr gute Luftzirkulation	**5**
55	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	geringe Luftzirkulation durch wenige Löcher möglich	**2**
57	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	sehr gute Abführung des Kondenswassers durch Spezialfolie (NATURABIOMAT 2017)	**5**
61	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Papier	**2**	sehr gute Luftzirkulation	**5**
62	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Papier	**2**	sehr gute Luftzirkulation	**5**
63	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Papier	**2**	sehr gute Luftzirkulation	**5**

66	kein Schutz vor mechanischen Belastungen; Papier schützt teilweise die Haut der Trauben	**2**	sehr gute Luftzirkulation	**5**
70	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	sehr gute Luftzirkulation	**5**
72	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	keine Luftzirkulation möglich durch luftdichte Folie	**1**
80	kein Schutz vor mechanischen Belastungen	**1**	sehr gute Luftzirkulation	**5**
81	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	geringe Luftzirkulation durch wenige Löcher möglich	**2**
85	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	geringe Luftzirkulation durch wenige Löcher möglich	**2**
86	geringer Schutz vor mechanischen Belastungen durch Folie	**2**	keine Luftzirkulation möglich durch luftdichte Folie	**1**

Tabelle 17: Bewertung des Produktschutzes - Beutel, Folien und Netze

Wie man in Abbildung 101 gut erkennen kann, wurde keine Probe dieser Gruppe mit 3, 4 oder 5 Punkten bewertet.

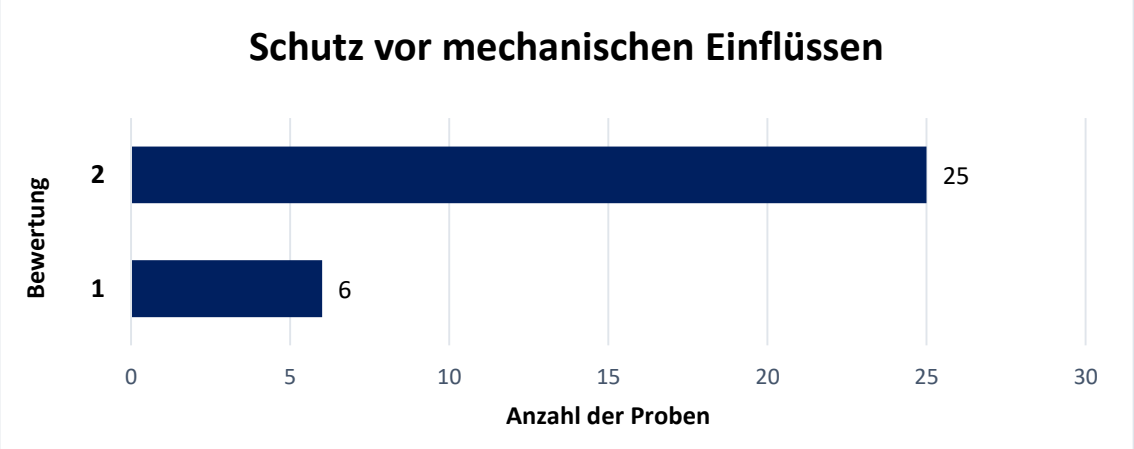


Abbildung 101: Produktschutz: Beutel, Folien und Netze – mechanischer Schutz

Mit einem Punkt wurden sechs Proben bewertet, deren Hauptkomponente Netze sind. Bei den anderen 25 Verpackungen handelt es sich um Folien und Beutel, die mit 2 Punkten beurteilt wurden.

Betrachtet man nun den Schutz vor Feuchtigkeit bzw. den Qualitätserhalt, der im Balkendiagramm in Abbildung 102 dargestellt ist, so wurden jene Proben, die zuvor einen Punkt erhielten, nun mit der besten Punktezahl beurteilt. Zusätzlich erhielten Papierbeutel und der Jutesack die beste Bewertung.

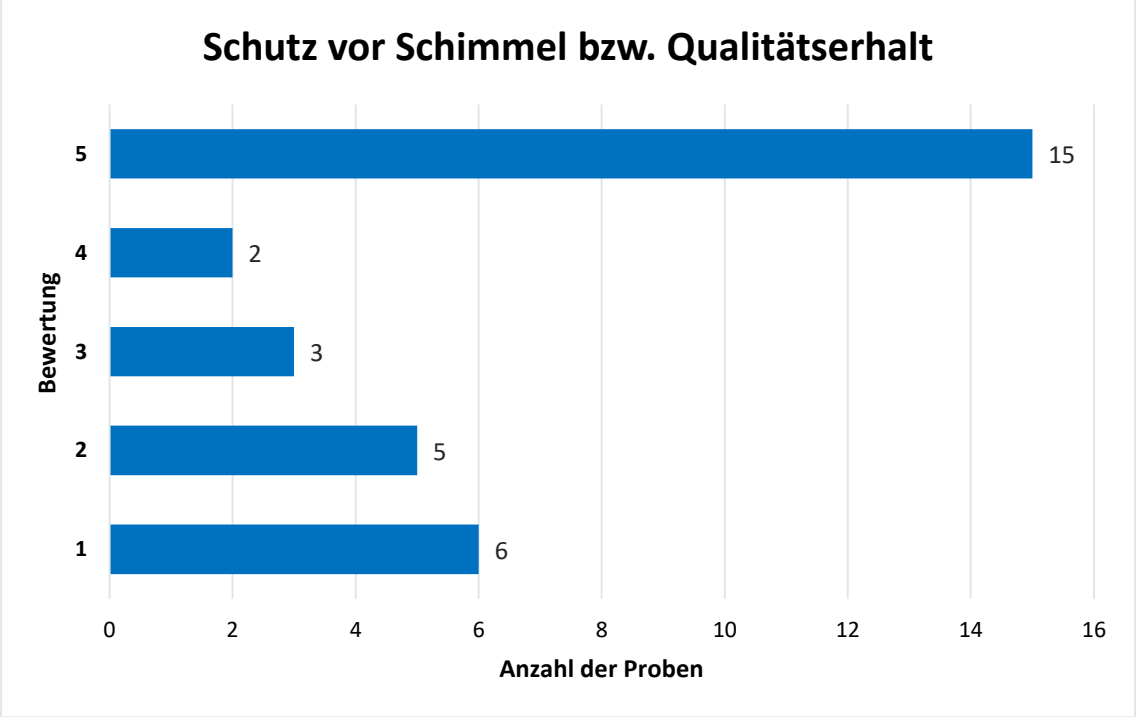


Abbildung 102: Produktschutz: Beutel, Folien und Netze – Qualitätserhalt

Insgesamt 15 der 31 Verpackungen erhielten die beste Bewertung. Zwei Verpackungen erhielten vier Punkte und drei Verpackungen ermöglichen eine mäßige Luftzirkulation. Sechs Proben erhielten nur einen Punkt, da die Verpackungen keinerlei Luftzirkulation ermöglichen und fünf wurden mit zwei Punkten bewertet.

4.2.4. Übersicht Produktschutz

Abbildung 103 bietet einen Überblick über den Produktschutz aller erhobenen Verpackungen vor mechanischen Einflüssen.

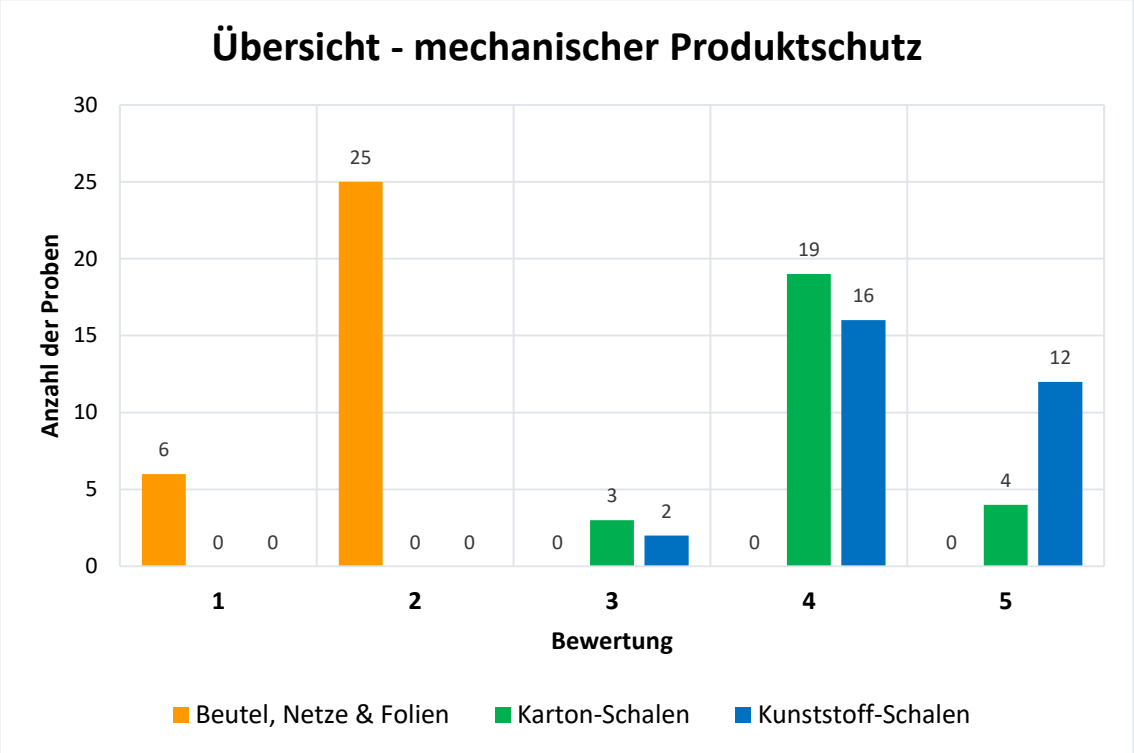


Abbildung 103: Ergebnisse – mechanischer Produktschutz

Hieraus ist zu entnehmen, dass sechs Verpackungen keinen Schutz vor mechanischen Einflüssen bieten und 25 Proben die Ware in geringem Maß schützen. Außerdem ist in dieser Grafik gut erkennbar, dass die Gruppe der Beutel, Netze und Folien die Ware am schlechtesten vor äußeren Einflüssen schützt, weshalb diese Proben nur mit einem bzw. zwei Punkten beurteilt wurden.

Karton- und Kunststoffschalen bieten einen guten Schutz, hier wurden insgesamt 35 Proben mit vier Punkten bewertet.
Die besten Bewertungen erhielten Kunststoffschalen, hier wurden 12 Proben mit sehr gut beurteilt.

Abbildung 104 bietet einen Überblick über alle erhobenen Proben in Bezug auf den Schutz vor Feuchtigkeit bzw. den Qualitätserhalt.

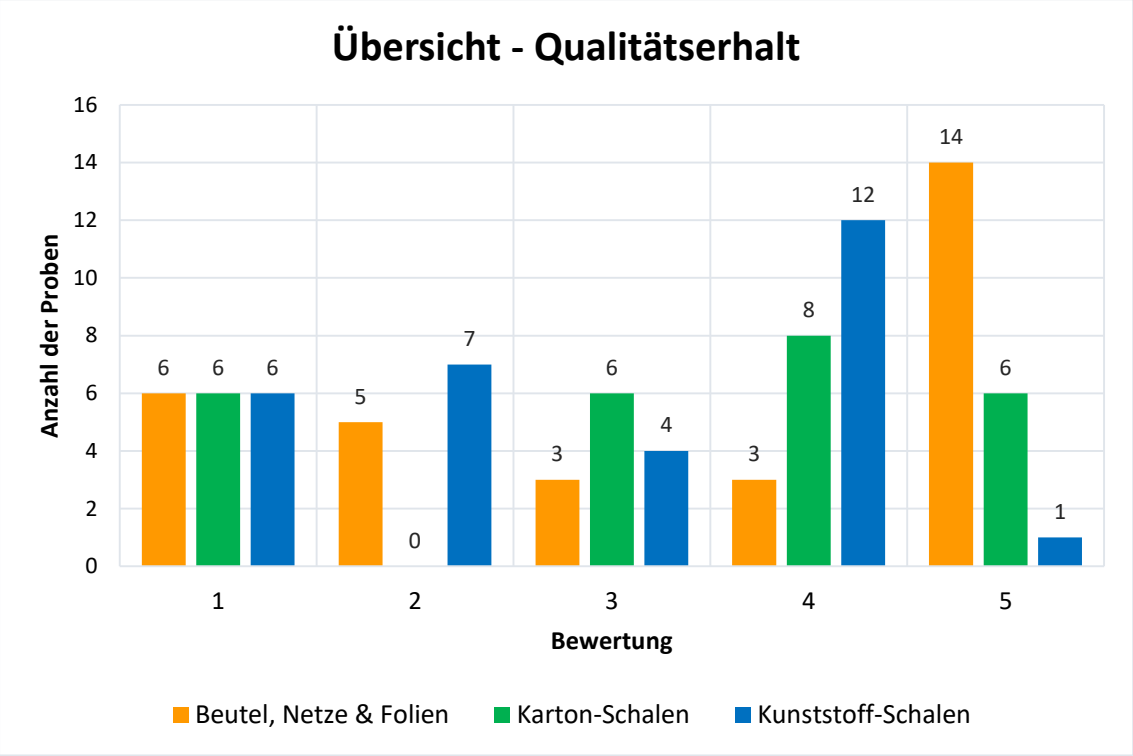


Abbildung 104: Ergebnisse - Qualitätserhalt

Etwa ein Viertel aller Proben wurde mit einem Punkt bewertet, da aufgrund einer luftdichten Verpackung die Qualität der Lebensmittel nicht erhalten werden bzw. die Feuchtigkeit nicht entweichen kann und somit die Schimmelbildung begünstigt wird. Die besten Bewertungen erhielten, anders als beim mechanischen Schutz, die Gruppe der Beutel, Netze und Folien. Nur eine Probe der Kunststoff-Schalen konnte eine sehr gute Luftzirkulation ermöglichen. Die meisten Verpackungen erhielten 4 Punkte und bieten einen guten Schutz vor Schimmel oder können die Qualität von Obst und Gemüse mit einer niedrigen Respirationsrate erhalten.

4.3. Materialeinsatz

Die Ergebnisse des Materialeinsatzes, also das Verhältnis zwischen Verpackung und verpacktem Lebensmittel, wurden tabellarisch dargestellt.

In Tabelle 18 wird die Einteilung der Proben in die Gruppen, die zur Berechnung verwendete Masse des Lebensmittels und der Verpackung, sowie die Bewertung angeführt.

Probe	Gruppe	Masse LM (in g)	Masse Verpackung (in g)	Verpackung/ LM	Bewertung
01	Kunststoff-Schalen	1032,9	16,88	1,63%	**4**
02	Kunststoff-Schalen	269,26	10,51	3,90%	**3**
03	Kunststoff-Schalen	126,32	15,18	12,02%	**1**
04	Kunststoff-Schalen	125,47	12,46	9,93%	**1**
05	Beutel, Folien & Netze	1999,8	11,03	0,55%	**5**
06	Karton-Schalen	834,33	28,22	3,38%	**3**
07	Kunststoff-Schalen	528,24	20,01	3,79%	**3**
08	Karton-Schalen	494,82	23,82	4,81%	**2**
09	Beutel, Folien & Netze	298,42	2,31	0,77%	**5**
10	Beutel, Folien & Netze	304,09	2,9	0,95%	**5**
11	Beutel, Folien & Netze	1000,15	7,53	0,75%	**5**
12	Beutel, Folien & Netze	1073,38	5,58	0,52%	**5**
13	Kunststoff-Schalen	269,57	17,81	6,61%	**2**
14	Karton-Schalen	290,22	16,96	5,84%	**2**
15	Beutel, Folien & Netze	383,58	2,03	0,53%	**5**
16	Beutel, Folien & Netze	164,43	3,47	2,11%	**4**
17	Beutel, Folien & Netze	418,09	3,7	0,88%	**5**
18	Karton-Schalen	510,26	21,78	4,27%	**3**
19	Beutel, Folien & Netze	535,14	7,91	1,48%	**4**
20	Kunststoff-Schalen	133,47	14,92	11,18%	**1**
21	Karton-Schalen	217,64	15,22	6,99%	**2**
22	Kunststoff-Schalen	1000	17	1,70%	**4**
23	Kunststoff-Schalen	1173,5	22,32	1,90%	**4**
24	Karton-Schalen	897,54	36,95	4,12%	**3**

25	Kunststoff-Schalen	262,74	15,38	5,85%	**2**
26	Karton-Schalen	331,48	14,21	4,29%	**3**
27	Beutel, Folien & Netze	1510,61	4,14	0,27%	**5**
28	Karton-Schalen	531,95	31,13	5,85%	**2**
29	Karton-Schalen	450,87	26,72	5,93%	**2**
30	Kunststoff-Schalen	364,88	30,06	8,24%	**1**
31	Kunststoff-Schalen	1087,67	18,16	1,67%	**4**
32	Beutel, Folien & Netze	946,09	2,53	0,27%	**5**
33	Beutel, Folien & Netze	428,28	3,17	0,74%	**5**
34	Kunststoff-Schalen	117,51	14,95	12,72%	**1**
35	Beutel, Folien & Netze	639,94	3,11	0,49%	**5**
36	Beutel, Folien & Netze	199,67	3,22	1,61%	**4**
37	Kunststoff-Schalen	1013,28	19,98	1,97%	**4**
38	Karton-Schalen	772,23	34,55	4,47%	**3**
39	Kunststoff-Schalen	529,2	12,95	2,45%	**4**
40	Beutel, Folien & Netze	1222,18	4,79	0,39%	**5**
41	Kunststoff-Schalen	265,35	16,18	6,10%	**2**
42	Kunststoff-Schalen	458,26	17,61	3,84%	**3**
43	Beutel, Folien & Netze	208,15	3,75	1,80%	**4**
44	Kunststoff-Schalen	351,54	22,82	6,49%	**2**
45	Kunststoff-Schalen	316,37	25,07	7,92%	**2**
46	Kunststoff-Schalen	550,68	13,7	2,49%	**4**
47	Kunststoff-Schalen	504,45	18,9	3,75%	**3**
48	Beutel, Folien & Netze	502,29	4,91	0,98%	**5**
49	Beutel, Folien & Netze	510	10,6	2,08%	**4**
50	Karton-Schalen	585,59	35,56	6,07%	**2**
51	Kunststoff-Schalen	151,94	17,45	11,48%	**1**
52	Beutel, Folien & Netze	1155,03	2,71	0,23%	**5**
53	Karton-Schalen	77,96	17,12	21,96%	**1**
54	Karton-Schalen	202,43	6,72	3,32%	**3**
55	Beutel, Folien & Netze	358,21	2,36	0,66%	**5**
56	Karton-Schalen	217,24	24,73	11,38%	**1**
57	Beutel, Folien & Netze	515,83	4,48	0,87%	**5**
58	Kunststoff-Schalen	588,19	7,77	1,32%	**4**
59	Karton-Schalen	193,99	21,78	11,23%	**1**
60	Karton-Schalen	595,18	20,41	3,43%	**3**
61	Beutel, Folien & Netze	178,12	23,72	13,32%	**1**
62	Beutel, Folien & Netze	2001,51	29,93	1,50%	**4**

63	Beutel, Folien & Netze	2070,39	21,16	1,02%	**4**
64	Kunststoff-Schalen	273,07	28,29	10,36%	**1**
65	Karton-Schalen	708,95	24,97	3,52%	**3**
66	Beutel, Folien & Netze	627,08	11,83	1,89%	**4**
67	Karton-Schalen	209,7	15,36	7,32%	**2**
68	Kunststoff-Schalen	191,38	7,27	3,80%	**3**
69	Karton-Schalen	1001,38	51,71	5,16%	**2**
70	Beutel, Folien & Netze	1455,62	47	3,23%	**3**
71	Kunststoff-Schalen	118,98	5,93	4,98%	**2**
72	Beutel, Folien & Netze	320,88	3,01	0,94%	**5**
73	Karton-Schalen	96,59	30,32	31,39%	**1**
74	Karton-Schalen	509,5	29,13	5,72%	**2**
75	Kunststoff-Schalen	265,47	12,48	4,70%	**2**
76	Karton-Schalen	234,5	18,92	8,07%	**1**
77	Karton-Schalen	155,44	24,24	15,59%	**1**
78	Karton-Schalen	204,2	23,81	11,66%	**1**
79	Karton-Schalen	151,91	27,48	18,09%	**1**
80	Beutel, Folien & Netze	1548,54	14,48	0,94%	**5**
81	Beutel, Folien & Netze	209,7	3,32	1,58%	**4**
82	Karton-Schalen	2281,46	287,6	12,61%	**1**
83	Kunststoff-Schalen	105,83	8,09	7,64%	**2**
84	Kunststoff-Schalen	122,11	8,69	7,12%	**2**
85	Beutel, Folien & Netze	103,5	3,88	3,75%	**3**
86	Beutel, Folien & Netze	1107,82	4,39	0,40%	**5**
87	Kunststoff-Schalen	350,64	12,21	3,48%	**3**

Tabelle 18: Bewertung des Materialeinsatzes

Tabelle 19 zeigt, wie der Materialeinsatz innerhalb der drei Gruppen bewertet wurde.

Gruppe	Bewertung					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**Mittelwert**
Beutel, Folien & Netze (31 Proben)	1	0	2	9	19	4,45
Karton-Schalen (26 Proben)	9	9	8	0	0	1,96
Kunststoff-Schalen (30 Proben)	7	9	6	8	0	2,50

Tabelle 19: Materialeinsatz innerhalb der Gruppen

Hier fällt auf, dass Beutel, Folien und Netze am besten bewertet wurden und weder Kunststoff- noch Kartonschalen 5 Punkte erhielten. In Bewertungsgruppe 5 waren somit alle Verpackungsproben aus der Gruppe „Beutel, Folien und Netze“.

Schalen aus Karton wurden schlechter bewertet als jene aus Kunststoffen, sie erhielten nur Bewertungen zwischen 1 und 3 Punkten. Einige Kunststoffschalen hingegen, wurden auch mit vier Punkten bewertet.

Durch die Berechnung des Mittelwerts ist ein Vergleich zwischen den drei Verpackungsgruppen möglich. Mit einem Mittelwert von 4,45 sind Beutel, Folien und Netze somit jene Verpackungen, für die pro Gramm Lebensmittel am wenigsten Verpackungsmaterial verwendet wurde, bewertet. Kunststoffschalen liegen mit einem Mittelwert von 2,50 vor Kartonschalen mit 1,96.

In Abbildung 105 ist die Bewertung grafisch, in einem gruppierten Balkendiagramm, dargestellt. In dieser Grafik gut erkennbar, dass Beutel, Folien und Netze am besten, und Karton-Schalen am schlechtesten bewertet wurden.

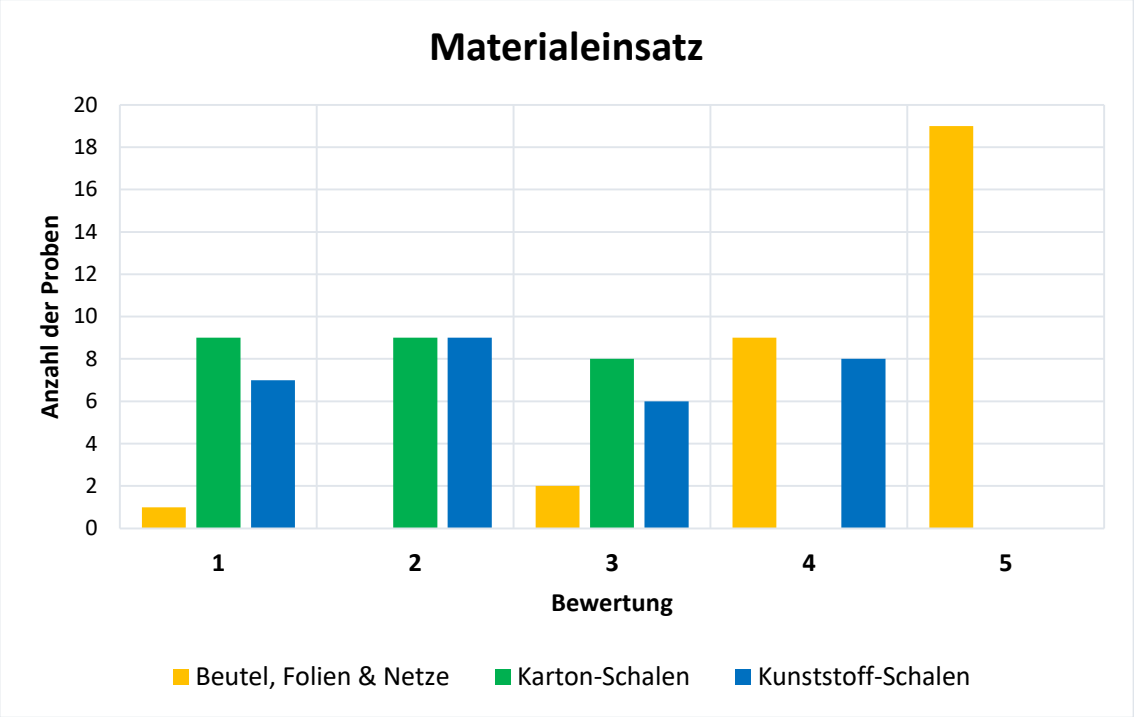


Abbildung 105: Bewertung des Materialeinsatzes getrennt nach Gruppen

4.4. Streamlined LCA

Das LCA-Tool wurde verwendet, um die Umweltwirkungen von sechs ausgewählten Verpackungsproben zu ermitteln. Dabei wurden dreimal je zwei Verpackungssysteme, deren Füllgut eine ähnliche Masse aufwies, miteinander verglichen.

In einer Ergebnistabelle wurden die Teilergebnisse aller 16 Product Environmental Footprint (PEF) – Indikatoren und die Endsumme der Verpackungseinzelteile angegeben. Dabei sind die für die Verpackung relevanten Indikatoren grün hinterlegt. Bei den in dieser Arbeit bewerteten Verpackungssystemen wurden folgende näher definierte Indikatoren als relevant gekennzeichnet:

- Climate change, total [kg CO_2-eq]:

Indikator für Veränderungen der Temperatur und des Klimas, die auf Treibhausgasemissionen in der Atmosphäre zurückzuführen sind, gemessen in kg CO_2-Äquivalente.

- Respiratory Effects, Inorganics [disease incidence]:

Feinstaubemissionen, die zu Atemwegserkrankungen führen und somit die menschliche Gesundheit schädigen. Die Maßeinheit dieser Kategorie ist die Krankheitsinzidenz.

- Photochemical Ozone Depletion [kg NMVOC-Eq]:

Ozon in Bodennähe greift organische Verbindungen und die menschlichen Atemwege an. Das ist mit einer Zunahme von Atemwegsproblemen in Städten während photochemischer Smogperioden verbunden. Durch flüchtige organische Verbindungen wird durch Oxidation unter Einfluss von Sonnenlicht Ozon gebildet (=photochemische Ozonbildung). Gemessen in kg „non-methane volatile organic compounds“(NMVOC)-Äquivalenten.

- Freshwater and terrestrial acidification [mol H^+-eq]:

Wenn Säuren an die Luft abgegeben werden und diese in Wasser und Boden gelangen, kann die Zugabe von Wasserstoffionen (H^+) zu einer Reduktion des pH-Werts des Wassers führen und hat eine schlechtere Boden- bzw. Wasserqualität zur Folge. Die wichtigsten Quellen dafür sind Verbrennungsprozesse bei Strom, Wärmeerzeugung und Transport.

- Freshwater Eutrophication [kg P-Eq]:

Ein Überangebot von Nährstoffen im Süßwasser (z.B. durch zu viel Einsatz von Düngemittel), wodurch das Gleichgewicht der Natur gestört wird (z.B. zu schnelles Algenwachstum führt zu Fischsterben). Das ist auf Phosphorzunahme zurückzuführen, daher Messung in kg P-Äquivalent.

- Land Use [points]:

Kategorie zur Abschätzung der Schäden des Ökosystems aufgrund der Auswirkungen der Nutzung und Umwandlung von Land. Beispiele hierfür sind die landwirtschaftliche Produktion, die Mineralgewinnung und die menschliche Besiedelung. Folgen sind die Gefährdung der Artenvielfalt und der Bodenfruchtbarkeit.

- Fossils [MJ]:

Auf der Erde gibt es nur eine begrenzte Menge von nicht erneuerbaren Ressourcen, wie Kohle, Öl und Gas. Durch die Verwendung dieser fossilen Brennstoffe wird deren Verfügbarkeit für zukünftige Verwendungen beeinflusst. Messung in Megajoule (MJ) (Sala et al. 2018).

Für die Streamlined LCA wurden je zwei Verpackungen aus den Gruppen Kunststoff-Schalen, Karton-Schalen und Beutel, Folien und Netze ausgewählt.

In Tabelle 20 sind die relevanten Massen, die für die Berechnung der LCA erforderlich waren, angeführt.

Probe	Beutel	Schale	Folie	Etikett	Netz	Masse Verpackung gesamt	Masse Lebensmittel
05	11,03g					11,03g	1999,80g
18		18,47g	2,79g	0,52g		21,78g	510,26g
39		9,81g	2,79g	0,35g		12,95g	529,20g
50		35,34g		0,22g		35,56g	585,59g
58		5,18g	2,22g	0,37g		7,77g	588,19g
62	28,85g				0,65g	29,50g	2001,51g

Tabelle 20: Masse der Komponenten, Masse des Füllguts zur Berechnung der LCA

Für die Verwendung von PAST wird nicht nur die Masse der einzelnen Verpackungskomponenten benötigt, sondern auch Informationen über das Material, das Herstellungsland und – verfahren und die Recyclingquote.
In Tabelle 21 ist ersichtlich, welche Angaben für die Komponenten der analysierten Proben ausgewählt wurden.

Es war nicht möglich, herauszufinden wo die Einzelteile der Verpackungssysteme hergestellt wurden, weshalb bei allen Komponenten das Herstellungsland „UNBEKANNT“ ausgewählt wurde.

Für die Angabe der Masse bei Bestandteilen aus Wellpappe, wurde die durchschnittliche Zusammensetzung von Wellpappe, welche in PAST enthalten ist, herangezogen. Dies war notwendig bei Probe 18 und 50.

Probe	Komponente	Produkt	Herstellungs-land	Herstellungs-verfahren	Recycling (%)
05	Beutel	LDPE, Granulat	unbekannt	Extrusion, große Folie	18
18	Schale	Wellpappe	unbekannt		85
	Folie	PP, Granulat	unbekannt	Extrusion, große Folie	18
	Etikett	Papier, mit Holzanteil, superkalandriert	unbekannt		0
39	Schale	PP, Granulat	unbekannt	Tiefziehen, halbstarres Produkt	4
	Folie	PP, Granulat	unbekannt	Extrusion, große Folie	18
	Etikett	Papier, mit Holzanteil, superkalandriert	unbekannt		0
50	Körbchen	Wellpappe	unbekannt		85
	Etikett	Papier, mit Holzanteil, superkalandriert	unbekannt		0
58	Schale	PS, Granulat (general purpose)	unbekannt	Schäumen, von Polymer	0
	Folie	PVC, suspension polymerisation	unbekannt	Extrusion, große Folie	0
	Etikett	Papier, mit Holzanteil, superkalandriert	unbekannt		0
62	Beutel	Kraftpapier, ungebleicht	unbekannt		85
	Netz	Kraftpapier, ungebleicht	unbekannt		85

Tabelle 21: Angaben, die zur Berechnung in PAST verwendet wurden

Die Recyclingquote für Verpackungspapier, wie sie für Probe 18, 50 und 62 angegeben ist, wurde aus den aktuellen österreichischen Daten entnommen und liegt bei 85%. Die Quoten, die in Österreich bei großen Kunststofffolien mit 55% angegeben sind und jene mit 4% bei anderen Kunststoffverpackungen, wurden ebenfalls übernommen. Etikettenpapier wird nicht recycelt, weshalb die Angabe bei diesen Komponenten mit 0% beziffert wurde. Als Recyclingquote für die Schale aus PS und die Folie aus PVC wurde

0% gewählt, da es sich bei diesen Materialien um seltene Kunststoffe handelt, die nicht recyclingfähig sind.

Für eine übersichtlichere Darstellung in den Ergebnistabellen, die von PAST erzeugt werden, wurden die PEF-Indikatoren folgendermaßen abgekürzt:

- Climate change, total (Klimawandel) = CC
- Respiratory Effects, Inorganics (Feinstaubbelastung) = RE
- Photochemical Ozone Depletion (Photochemische Ozonproduktion) = POD
- Freshwater and terrestrial acidification (Süßwasser- und Landversauerung) = FTA
- Freshwater Eutrophication (Süßwassereutrophierung) = FE
- Land Use (Landverbrauch) = LU
- Fossils (fossile Ressourcen) = F

In den Tabellen sind nur die grün hinterlegten Indikatoren angeführt und nicht alle 16 PEF-Indikatoren. Die Ergebnisse der Indikatoren sind nach Verpackungskomponenten und als Summe dieser angegeben. Außerdem ist der normalisierte, gewichtete und summierte Einzelindikator des PEF („PEF, total“) angegeben und blau hinterlegt.

4.4.1. Vergleich der Proben 05 und 62

Bei den Proben 05 und 62 handelt es sich um einen Kunststoff- bzw. einen Papierbeutel, deren Füllgutmenge jeweils 2kg beträgt.

Wie in Tabelle 22 „Probe 05“ zu sehen ist, tragen die wichtigsten Indikatoren 82,8% zum gesamten PEF für diese Verpackung bei. Klimawandel und fossile Brennstoffe liefern hierbei den größten Beitrag zu Umweltauswirkungen. Die Treibhausgasemissionen von Probe 05 liegen bei 106g CO_2-Äq. und der Verbrauch von fossilen Ressourcen bei 1,64 MJ. Es werden durch die vorliegende Verpackung 0,000350 mol H^+-Äq. verursacht und die Emissionen, die die Süßwassereutrophierung begünstigen, liegen bei 0,0197g P-Äq.

Komponenten	CC [kg CO2eq]	FTA [mol H+eq]	FE [kg P-Eq]	RE [disease incidence]	F [MJ]	PEF, Total
Folienbeutel	5,32E-02	1,15E-04	-9,20E-07	1,15E-09	7,92E-01	3,04E-04
Sekundär- und Tertiärverp.	4,98E-02	2,13E-04	2,01E-05	4,00E-09	8,11E-01	5,11E-04
Transport der Verpackung	2,48E-03	2,14E-05	5,26E-07	1,99E-10	3,99E-02	2,54E-05
SUMME	**1,06E-01**	**3,50E-04**	**1,97E-05**	**5,35E-09**	**1,64E+00**	**8,40E-04**
Norm.	*8400*	*55,5*	*0,734*	*7,18E-04*	*65300*	
Weight.	*22,19*	*6,64*	*2,95*	*9,54*	*8,92*	*100,02*
PEF RESULT	*2,79E-04*	*4,28E-05*	*7,91E-05*	*7,11E-05*	*2,24E-04*	*8,40E-04*
Contribution	*33,2%*	*5,0%*	*9,4%*	*8,5%*	*26,7%*	*1,00E+00*

Tabelle 22: LCA-Ergebnis von Probe 05

Komponenten	CC [kg CO2eq]	FE [kg P-Eq]	POD [kg NMVOC-Eq]	RE [disease incidence]	F[MJ]	LU [points]	PEF, Total
Beutel	2,97E-02	1,34E-05	1,38E-03	3,45E-09	3,77E-01	9,46E+00	5,38E-04
Netz	6,70E-04	3,02E-07	3,10E-05	7,78E-11	8,49E-03	2,13E-01	1,21E-05
Sekundär- und Tertiärverp.	4,98E-02	2,01E-05	1,59E-04	4,00E-09	8,11E-01	6,52E+00	5,11E-04
Transport der Verpackung	3,18E-03	6,75E-07	2,44E-05	2,56E-10	5,12E-02	6,42E-02	3,26E-05
SUMME	**8,34E-02**	**3,45E-05**	**1,59E-03**	**7,79E-09**	**1,25E+00**	**1,63E+01**	**1,09E-03**
Norm.	*8400*	*0,734*	*40,6*	*7,18E-04*	*65300*	*1400000*	
Weight.	*22,19*	*2,95*	*5,1*	*9,54*	*8,92*	*8,42*	*100,02*
PEF RESULT	*2,20E-04*	*1,39E-04*	*2,00E-04*	*1,03E-04*	*1,70E-04*	*9,78E-05*	*1,09E-03*
Contribution	*20,2%*	*12,7%*	*18,3%*	*9,5%*	*15,6%*	*8,9%*	*1,00E+00*

Tabelle 23: LCA-Ergebnis von Probe 62

In Tabelle 23 sind die Ergebnisse von Probe 62 ersichtlich. Bei Probe 62 tragen sechs Indikatoren 85,2% zum PEF bei, wobei hier der Klimawandel, die Photochemische Ozonproduktion in Bodennähe und fossile Ressourcen den größten Einfluss auf die Umwelt haben. Die Treibhausgasemissionen belaufen sich auf 83,4g CO_2-Äq. und 1,59g NMVOC-Äq. werden freigesetzt. Der Verbrauch der fossilen Ressourcen liegt bei einer Energiemenge von 1,25MJ.

Bei beiden Proben handelt es sich um Beutel, wobei die Masse des Füllgutes mit 2kg sehr ähnlich ist und die Materialien der Verpackungen unterschiedlich.

Vergleicht man nun die Indikatoren, die bei beiden Proben als relevant erachtet wurden, so kann man sagen, dass Probe 62 mit 83,4g CO_2-Äq. weniger Treibhausgasemissionen verursacht als Probe 05, hier beträgt die Menge an ausgestoßenen Emissionen 106g. Die Emissionen, die für Sekundär- und Tertiärverpackung und den Transport der Verpackung berechnet wurden, sind relativ ähnlich, der Folienbeutel verursacht mehr Emissionen als der Papierbeutel. Der Klimawandel, der ein globales Problem darstellt, wird demnach durch den Beutel aus LDPE stärker beeinflusst als durch jenen aus Papier.

Ähnlich sieht es beim Indikator „Fossils“ aus, er beträgt bei dem Kunststoffbeutel 1,64MJ und beim Papierbeutel 1,25MJ, die benötigte Energiemenge ist also auch bei Probe 05 höher als bei Probe 62.
Betrachtet man nun die Süßwassereutrophierung mit 0,0197 bzw. 0,0345g P-Äq., und die Feinstaubbelastung, so schneidet Probe 05 besser ab als Probe 62. Der Einzelindikator PEF beträgt 0,00084 für Probe 05 und 0,00109 für Probe 62.

Ein wichtiger Unterschied zwischen den analysierten Proben ist die Gesamtmasse der Verpackungen. Der Beutel aus LDPE ist mit knappen 11g relativ leicht im Vergleich zu dem Papierbeutel mit fast 30g.

4.4.2. Vergleich der Proben 18 und 39

Bei Probe 18 besteht die Schale aus Kunststoff und bei Probe 39 aus Karton. Beide Proben sind von einer Folie umgeben und die Füllgutmenge beträgt 500g. Die in Tabelle 24 aufgeführten Indikatoren tragen 86,5% des gesamten PEFs von Probe 18 bei. Dabei haben Treibhausgasemissionen und die Bildung von bodennahem Ozon die größten Auswirkungen auf die Umwelt. Die emittierten Treibhausgase betragen 42,7g CO_2-Äquivalente und die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan 0,921g. Für die Süßwassereutrophierung wurden 0,0122g P-Äq. berechnet. Der fossile Ressourcenverbrauch beträgt 0,618MJ.

Komponenten	CC [kg CO2eq]	FE [kg P-Eq]	POD [kg NMVOC-Eq]	RE [disease incidence]	F [MJ]	PEF, Total
Schale	1,60E-02	6,22E-06	8,43E-04	8,78E-10	1,84E-01	2,29E-04
Folie	1,19E-02	1,67E-07	2,48E-05	2,54E-10	1,95E-01	7,21E-05
Etikett	7,11E-04	3,90E-07	2,77E-06	5,45E-11	1,07E-02	8,80E-06
Sekundär- & Tertiärverp.	1,27E-02	5,13E-06	4,05E-05	1,02E-09	2,07E-01	1,30E-04
Transport der Verpackung	1,35E-03	2,87E-07	1,04E-05	1,09E-10	2,18E-02	1,38E-05
SUMME	**4,27E-02**	**1,22E-05**	**9,21E-04**	**2,31E-09**	**6,18E-01**	**4,54E-04**
Norm.	*8400*	*0,734*	*40,6*	*7,18E-04*	*65300*	
Weight.	*22,19*	*2,95*	*5,1*	*9,54*	*8,92*	*100,02*
PEF RESULT	*1,13E-04*	*4,90E-05*	*1,16E-04*	*3,08E-05*	*8,44E-05*	*4,54E-04*
Contribution	*24,8%*	*10,8%*	*25,5%*	*6,8%*	*18,6%*	*1,00E+0 0*

Tabelle 24: LCA-Ergebnis von Probe 18

Komponenten	CC [kg CO2eq]	FE [kg P-Eq]	RE [disease incidence]	F [MJ]	PEF, Total
Schale	4,66E-02	7,72E-08	9,25E-10	7,35E-01	2,69E-04
Folie	1,19E-02	1,67E-07	2,54E-10	1,95E-01	7,21E-05
Etikett	4,78E-04	2,62E-07	3,67E-11	7,21E-03	5,92E-06
Sekundär- & Tertiärverp.	1,32E-02	5,32E-06	1,06E-09	2,14E-01	1,35E-04
Transport der Verpackung	1,04E-03	2,20E-07	8,33E-11	1,67E-02	1,06E-05
SUMME	**7,32E-02**	**6,04E-06**	**2,36E-09**	**1,17E+00**	**4,92E-04**
Norm.	*8400*	*0,734*	*7,18E-04*	*65300*	
Weight.	*22,19*	*2,95*	*9,54*	*8,92*	*100,02*
PEF RESULT	*1,93E-04*	*2,43E-05*	*3,13E-05*	*1,60E-04*	*4,92E-04*
Contribution	*39,3%*	*4,9%*	*6,4%*	*32,4%*	*1,00E+00*

Tabelle 25: LCA-Ergebnis von Probe 39

Die vier in Tabelle 25 „Probe 39“ ersichtlichen Indikatoren tragen 83% des PEFs von Probe 39 bei. Die Treibhausgasemissionen betragen 73,2g CO_2-Äq. und der Verbrauch an fossilen Ressourcen 1,17MJ.

Bei den Proben 18 und 39 handelt es sich um eine Karton- und eine Kunststoffschale, die je mit einer Folie umhüllt sind und ein Füllgut mit ähnlicher Masse, 510g bzw. 530g, beinhalten.
Vergleicht man die Treibhausgasemissionen beider Verpackungssysteme, so sind jene der Kartonschale mit 42,7g deutlich niedriger als die der Kunststoffschale mit 73,2g. Die berechneten Werte für Sekundär- und Tertiärverpackung und den Transport der Verpackung sind sehr ähnlich. Die Komponente Folie ergibt, aufgrund derselben Masse und desselben Materials, bei beiden Proben denselben Wert. Trotz höherer Masse der Kartonschale, erzeugt diese Komponente weniger THG-Emissionen als die Kunststoffschale.

Der Verbrauch fossiler Ressourcen beträgt 0,618MJ für Probe 18 und 1,17MJ für Probe 39, so wurde bei der erstgenannten Verpackung im Vergleich nur etwa die Hälfte der Energiemenge benötigt. Die Werte der Feinstaubemissionen, die durch die Proben verursacht werden, unterscheiden sich kaum.

Die Süßwassereutrophierung ist bei Probe 18 mit 0,0122g P-Äq. fast doppelt so hoch wie jene von Probe 39 mit 0,00604g P-Äq. Die Kartonschale weist bei diesem Indikator einen viel höheren Wert auf, als die Kunststoffschale.

Betrachtet man nun den Einzelindikator PEF, so ist der Wert beider Verpackungen relativ ähnlich, für Probe 18 ist er mit 0,000454 etwas niedriger als für Probe 39 mit 0,000492.

Wie beim vorherigen Vergleich, hat auch hier die Probe mit einer Papierkomponente eine größere Gesamtmasse als jene, die ausschließlich aus Kunststoff besteht (21,78g bzw. 12,95g).

4.4.3. Vergleich der Proben 50 und 58

Die Verpackung von Probe 50 ist ein aus Karton geformtes Körbchen für 5-6 Avocados. Bei Probe 58 handelt es sich um eine geschäumte Kunststoffschale, mit einer Füllgutmenge von 500g. Die tatsächliche Masse des Füllgutes beider Proben beträgt etwa 580g, weshalb diese zwei Proben miteinander verglichen wurden.

In Tabelle 26 sind fünf Indikatoren für 85,1% des PEF von Probe 50 verantwortlich. Die größte Auswirkung auf die Umwelt haben dabei das bodennahe Ozon mit 1,68g NMVOC-Äq. und die THG-Emissionen mit 47,4g CO_2-Äq.

Komponenten	CC [kg CO2eq]	FE [kg P-Eq]	POD [kg NMVOC-Eq]	RE [disease incidence]	F [MJ]	PEF, Total
Korb (Schale)	3,06E-02	1,19E-05	1,61E-03	1,68E-09	3,52E-01	4,37E-04
Etikett	3,01E-04	1,65E-07	1,17E-06	2,31E-11	4,53E-03	3,72E-06
Sekundär- und Tertiärverpackung	1,46E-02	5,88E-06	4,64E-05	1,17E-09	2,37E-01	1,49E-04
Transport der Verpackung	1,95E-03	4,14E-07	1,50E-05	1,57E-10	3,14E-02	2,00E-05
SUMME	**4,74E-02**	**1,84E-05**	**1,68E-03**	**3,03E-09**	**6,25E-01**	**6,11E-04**
Norm.	*8400*	*0,734*	*40,6*	*7,18E-04*	*65300*	
Weight.	*22,19*	*2,95*	*5,1*	*9,54*	*8,92*	*100,02*
PEF RESULT	*1,25E-04*	*7,38E-05*	*2,10E-04*	*4,03E-05*	*8,54E-05*	*6,28E-04*
Contribution	*19,9%*	*11,7%*	*33,5%*	*6,4%*	*13,6%*	*1,00E+00*

Tabelle 26: LCA-Ergebnis von Probe 50

Komponenten	CC [kg CO2eq]	FE [kg P-Eq]	POD [kg NMVOC-Eq]	RE [disease incidence]	F [MJ]	PEF, Total
Schale	3,56E-02	-6,31E-07	1,09E-04	7,55E-10	4,03E-01	1,89E-04
Folie	1,01E-02	1,05E-06	2,89E-05	2,42E-10	1,57E-01	7,38E-05
Etikett	5,06E-04	2,77E-07	1,97E-06	3,88E-11	7,62E-03	6,26E-06
Sekundär-und Tertiärverpackung	1,46E-02	5,91E-06	4,66E-05	1,18E-09	2,38E-01	1,50E-04
Transport der Verpackung	9,01E-04	1,91E-07	6,90E-06	7,24E-11	1,45E-02	9,22E-06
SUMME	**6,17E-02**	**6,80E-06**	**1,93E-04**	**2,28E-09**	**8,20E-01**	**4,28E-04**
Norm.	*8400*	*0,734*	*40,6*	*7,18E-04*	*65300*	
Weight.	*22,19*	*2,95*	*5,1*	*9,54*	*8,92*	*100,02*
PEF RESULT	*1,63E-04*	*2,73E-05*	*2,42E-05*	*3,03E-05*	*1,12E-04*	*4,28E-04*
Contribution	*38,1%*	*6,4%*	*5,7%*	*7,1%*	*26,2%*	*1,00E+00*

Tabelle 27: LCA-Ergebnis von Probe 58

In Tabelle 27 sind die Ergebnisse der LCA von Probe 58 zu sehen. Bei Probe 58 sind fünf Indikatoren für 83,5% des PEFs verantwortlich. Die zwei größten Auswirkungen haben hier THG-Emissionen mit 61,7g CO_2-Äq. und der Verbrauch fossiler Rohstoffe mit 0,82MJ.

Bei Probe 50 handelt es sich um ein aus Karton geformten Körbchen, auf das nur ein Etikett aufgeklebt ist. Probe 58 ist eine Kunststoffschale aus geschäumten PS, das von einer PVC-Folie umwickelt ist, auf die ein Etikett angebracht ist. Beide Verpackungssysteme beinhalten ein Füllgut mit einer sehr ähnlichen Masse von etwa 586 bzw. 588g.

Der Ausstoß von THG beträgt bei dem Kartonkörbchen 47,4g und bei der Kunststoffverpackung 61,7g CO_2-Äq., wobei die höhere Menge an Emissionen, laut Tabelle vor allem die Folie verursacht, denn diese ist allein für 10g verantwortlich.
Mit den Werten 0,0184g P-Äq. und 0,0068g P-Äq., hat Probe 50 einen größeren Einfluss auf die Süßwassereutrophierung. Ähnlich ist es beim bodennahen Ozon, hier werden 1,68g NMVOC-Äq. von Probe 50 und 0,193g NMVOC-Äq. von Probe 58 emittiert. Diese Emissionen sind vom Kartonkörbchen fast 9-mal so hoch wie jene von der Kunststoffverpackung.
Der Energieverbrauch von fossilen Ressourcen ist mit 0,625MJ und 0,82MJ relativ ähnlich.

Gesamt beläuft sich der PEF von Probe 50 auf 0,000611 und ist somit größer als jener von Probe 58 mit 0,000428. Der Grund dafür ist vermutlich die viel geringere Masse dieser Verpackung. Mit 36g ist die Masse des Kartonkörbchens fast 5-mal so groß wie jene der Kunststoffverpackung mit knapp 8g.

4.4.4. Übersicht der LCA-Ergebnisse

Probe	Verpackung gesamt	Lebensmittel	Treibhausgasemissionen (CO_2-Äq)	PEF (* 10^{-4})
05	11,03g	1999,80g	106g	8,40
18	21,78g	510,26g	42,7g	4,54
39	12,95g	529,20g	73,2g	4,92
50	35,56g	585,59g	47,4g	6,11
58	7,77g	588,19g	61,7g	4,28
62	29,50g	2001,51g	83,4g	10,9

Tabelle 28: Übersicht der THG-Emissionen und des PEF

In der oben abgebildeten Tabelle 28 sind die Treibhausgasemissionen und der PEF von allen sechs analysierten Proben angeführt. Was hier auffällt ist, dass die zwei Proben aus der Karton-Gruppe, 18 und 50, am wenigsten THG-Emissionen verursachen. Die meisten werden durch den Papier- und den Kunststoffbeutel produziert.
Die Proben 18, 39 und 58 haben PEFs, die kleiner als 5 sind. Mit 10,9 und 8,4 sind die der Beutelverpackungen auch bei diesem Indikator am höchsten. Hier ist allerdings zu beachten, dass die in Tabelle 26 angegebenen Werte auf unterschiedliche Füllmengen bezogen sind.

Betrachtet man abschließend die CO_2-Emissionen und den Product Environmental Footprint, so hat Probe 18, die Kartonschale, die mit einer Folie umhüllt ist, die besten Ergebnisse zu verzeichnen.

4.5. Recyclingfähigkeit

In Tabelle 29 sind die Materialien der einzelnen Verpackungskomponenten aller erhobenen Proben angeführt und ob es theoretisch möglich wäre, die Verpackungssysteme in Österreich zu recyceln.

Probe	Gruppe	Verpackungskomponenten	Recycling-fähigkeit
01	Kunststoff-Schalen	Schale: PP Netz: PE Metallklammern: magnetisch (Stahl) Verbundetikett: PP + Thermopapier	Ja
02	Kunststoff-Schalen	Schale: R-PET Folie: PP Rotes Pad: PE-Zellulose-PE Etikett: Thermopapier	Teilweise
03	Kunststoff-Schalen	Schale + Deckel: R-PET Luftpolsterfolie: PE Etikett (oben): PP Etikett (unten): Thermopapier	Nein
04	Kunststoff-Schalen	Schale + Deckel: PET Etikett: Papier	Nein
05	Beutel, Folien & Netze	Folie: LD-PE	Ja
06	Karton-Schalen	Schale: Karton Folie: PVC Etikett rund: normales Papier Etikett eckig: Thermopapier	Teilweise
07	Kunststoff-Schalen	Schale + Deckel: R-PET Etikett: Thermopapier	Nein
08	Karton-Schalen	Schale: Karton Folie: Holzfaser Etikett: Thermopapier	Teilweise
09	Beutel, Folien & Netze	Netz: PE Metallklammern: magnetisch (Stahl) Verbundetikett: PP + Thermopapier	Ja
10	Beutel, Folien & Netze	Netz: Holzfaser Metallklammern: magnetisch (stahl) Verbundetikett: PP + Thermopapier	Nein

11	Beutel, Folien & Netze	Netz: PE Folie: PE Etikett: Thermopapier	Ja
12	Beutel, Folien & Netze	Folie: LD-PE	Ja
13	Kunststoff-Schalen	Schale: PS Folie: PVC Etikett: Thermopapier	Nein
14	Karton-Schalen	Schale: Wellpappe Folie: PP Etikett: Thermopapier	Ja
15	Beutel, Folien & Netze	Folie: PE Etikett: Thermopapier	Ja
16	Beutel, Folien & Netze	Netz: LD-PE Metallklammern: magnetisch (Stahl) Verbundetikett: PP + Thermopapier	Ja
17	Beutel, Folien & Netze	Folie: PP Etikett: Thermopapier	Ja
18	Karton-Schalen	Schale: Wellpappe Folie: PP Etikett: Thermopapier	Ja
19	Beutel, Folien & Netze	Folie: PE Etikett: Thermopapier	Ja
20	Kunststoff-Schalen	Schale: PP Folie: PP	Ja
21	Karton-Schalen	Schale: Holz Folie: PE Etikett: Papier	Teilweise
22	Kunststoff-Schalen	Schale: PP Netz: PE Griff: PP Metallklammern: magnetisch (Stahl) Verbundetikett: PP + Thermopapier	Ja
23	Kunststoff-Schalen	Schale: PET Folie: PP Etikett: Thermopapier	Teilweise
24	Karton-Schalen	Schale/ Körbchen: Karton Etikett: Thermopapier	Ja
25	Kunststoff-Schalen	Schale: PET Folie: CPET Pad: PE Etikett: Papier	Nein
26	Karton-Schalen	Schale: Wellpappe Folie: PP Etikett: Thermopapier	Ja

27	Beutel, Folien & Netze	Netz: Holz Metallklammern: magnetisch (Stahl) Verbundetikett: PP + Thermopapier	Nein
28	Karton-Schalen	Schale: Wellpappe Folie: PVC Etikett: Thermopapier	Teilweise
29	Karton-Schalen	Schale: Wellpappe Folie: Holz Etikett: Thermopapier	Teilweise
30	Kunststoff-Schalen	Kübel + Deckel: PP Griff: PP Etikett: Thermopapier	Ja
31	Kunststoff-Schalen	Schale: PP Folie: PP Etikett: Papier	Ja
32	Beutel, Folien & Netze	Folie: PE Etikett: Thermopapier	Ja
33	Beutel, Folien & Netze	Folie: PP Etikett: Papier	Ja
34	Kunststoff-Schalen	Schale: PP Folie: PP Etikett: Thermopapier	Ja
35	Beutel, Folien & Netze	Folie: PP Etikett: Thermopapier	Ja
36	Beutel, Folien & Netze	Folie: PP	Ja
37	Kunststoff-Schalen	Schale: PP Folie: PP Griff: PP	Ja
38	Karton-Schalen	Schale: Holz Folie: PP Metallklammern: magnetisch (Stahl) Etikett: Thermopapier	Teilweise
39	Kunststoff-Schalen	Schale: PP Folie: PP Etikett: Thermopapier	Ja
40	Beutel, Folien & Netze	Folie: PP Netz: PE Griff: PP Metallklammern: nicht magnetisch (Aluminium)	Ja
41	Kunststoff-Schalen	Schale + Deckel: R-PET Etikett: Thermopapier	Nein

42	Kunststoff-Schalen	Schale: PP Folie: PVC Etikett: Thermopapier	Teilweise
43	Beutel, Folien & Netze	Folie: PP Verschluss-Clip: PP + Draht Etikett: Thermopapier	Ja
44	Kunststoff-Schalen	Schale: PET Folie: CPET Etikett: Papier	Nein
45	Kunststoff-Schalen	Schale + Deckel: PET Etikett: Papier	Nein
46	Kunststoff-Schalen	Schale: PS Folie: PP Etikett: Papier	Teilweise
47	Kunststoff-Schalen	Schale: PS Folie: PVC Etikett: Thermopapier	Nein
48	Beutel, Folien & Netze	Folie: PP Netz: PEPP Etikett: Thermopapier	Ja
49	Beutel, Folien & Netze	Folie: PP	Ja
50	Karton-Schalen	Schale (Korb): Wellpappe Etikett: Thermopapier	Ja
51	Kunststoff-Schalen	Schale + Deckel: PET Etikett: Thermopapier	Nein
52	Beutel, Folien & Netze	Netz: PE Etikett: Papier	Ja
53	Karton-Schalen	Schale: Karton	Ja
54	Karton-Schalen	Schale: Karton Folie: PP	Ja
55	Beutel, Folien & Netze	Folie: LD-PE	Ja
56	Karton-Schalen	Schale: Karton Folie: PP	Ja
57	Beutel, Folien & Netze	Folie: NAWARO ohne Stärke	Nein
58	Kunststoff-Schalen	Schale: PS Folie: PVC Etikett: Thermopapier	Nein
59	Karton-Schalen	Schale: Wellpappe Folie: PVC Etikett: Thermopapier	Teilweise

60	Karton-Schalen	Schale: Wellpappe Netz: PE Metallklammern: magnetisch (Stahl) Verbundetikett: PP + Thermopapier	Ja
61	Beutel, Folien & Netze	Beutel: Papier Netz: Papier Etikett: Thermopapier	Ja
62	Beutel, Folien & Netze	Beutel: Papier Netz: Papier Verschluss: Garn	Ja
63	Beutel, Folien & Netze	Beutel: Papier Netz: PE	Ja
64	Kunststoff-Schalen	Schale + Deckel: PET Etikett: Thermopapier	Nein
65	Karton-Schalen	Schale: Palmblatt Folie: PVC Etikett rund: normales Papier Etikett eckig: Thermopapier	Nein
66	Beutel, Folien & Netze	Beutel: Papier	Ja
67	Karton-Schalen	Schale: Karton Folie: PP	Ja
68	Kunststoff-Schalen	Schale: PS Folie: PVC Etikett: Papier	Nein
69	Karton-Schalen	Schale (Korb): Karton Etikett: Thermopapier	Ja
70	Beutel, Folien & Netze	Beutel: Jute Netz: PE Etikett: Papier Verschluss-Schnur: PP Heftfaden: PP	Teilweise
71	Kunststoff-Schalen	Schale: PS Folie: PVC Netz: PE Etikett: PP	Nein
72	Beutel, Folien & Netze	Beutel: PP Verschluss-Clip: PP mit Draht	Ja
73	Karton-Schalen	Schale: Karton Folie: PP Etikett: Thermopapier	Ja
74	Karton-Schalen	Schale: Karton Folie: PP Etikett: Thermopapier	Ja

75	Kunststoff-Schalen	Schale: PET Folie: PP Etikett: Papier	Teilweise
76	Karton-Schalen	Schale/Körbchen: Bast Netz: PE Metallklammern: magnetisch Verbundetikett: PP + Thermopapier	Ja
77	Karton-Schalen	Schale: Holz Folie: PVC Heft-Klammern: magnetisch Etikett: Thermopapier	Nein
78	Karton-Schalen	Schale: Wellpappe Folie: PP Etikett: Papier + Thermopapier	Ja
79	Karton-Schalen	Schale: Wellpappe Folie: PP Etiketten: Papier	Ja
80	Beutel, Folien & Netze	Folie: PE Netz: PE Griff: PE	Ja
81	Beutel, Folien & Netze	Folie: PP Etikett: Thermopapier	Ja
82	Karton-Schalen	Schale/ Kiste: Holz Netz: PEPP Heft-Klammern: magnetisch Etikett: Papier/ Karton	Teilweise
83	Kunststoff-Schalen	Schale/ Korb: PP Folie: PP Verschluss /Gummiringerl: Kautschuk Etikett: Thermopapier	Ja
84	Kunststoff-Schalen	Schale: PET Folie: CPET schwarzes Pad: PE - Zellulose - PE Etikett: Thermopapier	Nein
85	Beutel, Folien & Netze	Folie: PE Etikett: Thermopapier	Ja
86	Beutel, Folien & Netze	Folie: PP	Ja
87	Kunststoff-Schalen	Schale: PET Folie: PP Etikett: Papier	Teilweise

Tabelle 29: Bewertung der Recyclingfähigkeit

In Abbildung 106 ist das Gesamtergebnis der Recyclingfähigkeit aller erhobenen Proben grafisch dargestellt. Daraus ist zu entnehmen, dass 52 der 87 Verpackungen, also fast 60% aller Proben, recyclingfähig sind. 20 Verpackungssysteme sind nicht recyclingfähig und 15 nur teilweise.

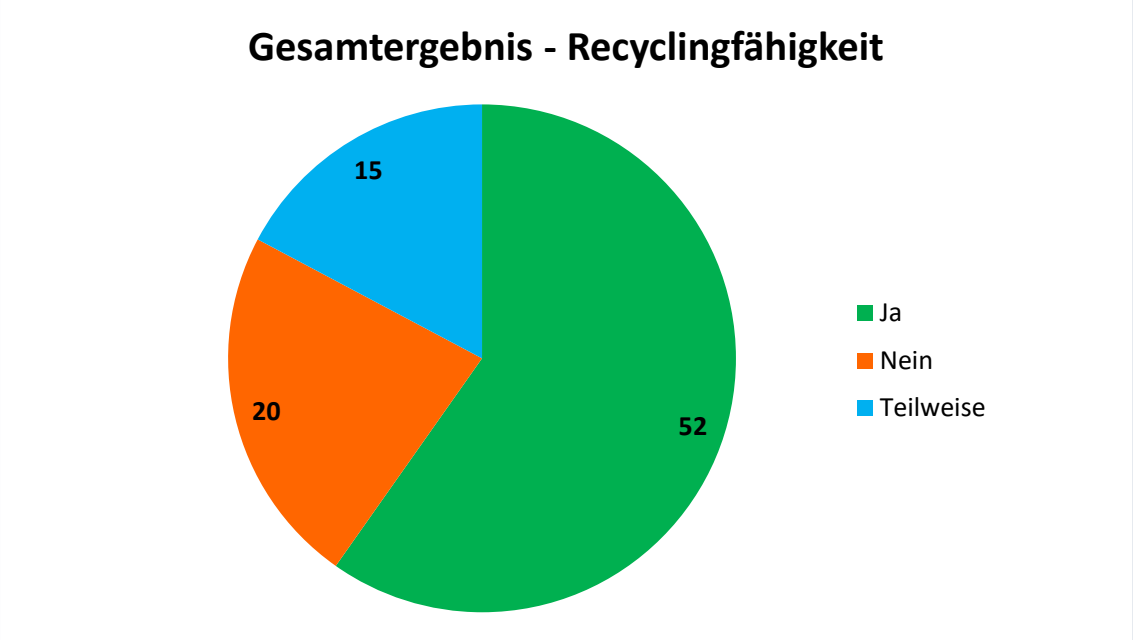


Abbildung 106: Ergebnis der Recyclingfähigkeit

Die Gründe, weshalb die Verpackungen als nicht oder nur teilweise recyclingfähig eingestuft wurden, ist die Verwendung von PVC-Folien und Folien aus Holzfaser, sowie Komponenten aus Holz, da diese momentan nicht recycelt werden können.

In Tabelle 30 ist die Recyclingfähigkeit der Proben je Gruppe aufgelistet. Daraus ist ersichtlich, dass 16 von 26 Karton-Schalen recycelt werden können, 8 Proben teilweise und nur zwei Verpackungen nicht.

Gruppe	**Recyclingfähigkeit**		
	Ja	Nein	Teilweise
Karton-Schalen	16	2	8
Kunststoff-Schalen	9	15	6
Beutel, Folien & Netze	27	3	1
	52	**20**	**15**

Tabelle 30: Recyclingfähigkeit getrennt nach Gruppen

Mit 27 von 31 Proben können fast alle der Gruppe Beutel, Folien und Netze recycelt werden. Nur 3 Verpackungen sind gar nicht und eine teilweise recyclingfähig. Dabei handelt es sich um die Proben 10, 27 und 57, wovon die zwei Netze aus Zellulosefasern bestehen und der Beutel aus NAWARO. Diese Materialien sind zwar kompostierbar, aber nicht recyclingfähig. Probe 70 ist ein Jutebeutel, von dem nur Teile recycelt werden können.

Von der Gruppe der Kunststoffschalen ist die Hälfte aller Proben nicht recyclingfähig, was auf die Materialien PET und PS zurückzuführen ist. Neun Schalen bestehen aus PP und wurden daher mit „Ja“ bewertet. Die sechs Verpackungssysteme, die teilweise recycelt werden können, haben eine recyclingfähige und eine nicht recyclingfähige Komponente (Folie, Schale).

4.6. Überblick aller Ergebnisse

Um die zuvor beschriebenen Teilergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung (Produktschutz, Materialeinsatz und Recyclingfähigkeit) zusammenzufassen, sind in Tabelle 31 alle Proben mit deren Ergebnissen angeführt.

Die Bewertung des mechanischen Produktschutzes, des Qualitätserhalts und die des Materialeinsatzes wurden addiert und sind in Spalte „Gesamtbewertung“ ersichtlich. Zusätzlich ist die Recyclingfähigkeit in der Tabelle angeführt.

Probe	mechanischer Schutz	Qualitätserhalt	Material-einsatz	Gesamt-bewertung	Recycling-fähigkeit
01	3	4	4	**11**	Ja
02	4	4	3	**11**	Teilweise
03	5	4	1	**10**	Nein
04	5	3	1	**9**	Nein
05	2	5	5	**12**	Ja
06	4	4	3	**11**	Teilweise
07	5	3	3	**11**	Nein
08	4	3	2	**9**	Teilweise
09	1	5	5	**11**	Ja
10	1	5	5	**11**	Nein
11	1	5	5	**11**	Ja
12	2	2	5	**9**	Ja
13	4	1	2	**7**	Nein
14	4	5	2	**11**	Ja
15	2	5	5	**12**	Ja
16	1	5	4	**10**	Ja
17	2	3	5	**10**	Ja
18	4	5	3	**12**	Ja
19	2	1	4	**7**	Ja
20	4	1	1	**6**	Ja
21	4	4	2	**10**	Teilweise
22	3	4	4	**11**	Ja

23	4	2	4	**10**	Teilweise
24	3	4	3	**10**	Ja
25	5	4	2	**11**	Nein
26	4	3	3	**10**	Ja
27	1	5	5	**11**	Nein
28	4	1	2	**7**	Teilweise
29	4	3	2	**9**	Teilweise
30	5	4	1	**10**	Ja
31	4	4	4	**12**	Ja
32	2	1	5	**8**	Ja
33	2	3	5	**10**	Ja
34	4	2	1	**7**	Ja
35	2	3	5	**10**	Ja
36	2	4	4	**10**	Ja
37	4	2	4	**10**	Ja
38	4	3	3	**10**	Teilweise
39	4	3	4	**11**	Ja
40	2	1	5	**8**	Ja
41	5	5	2	**12**	Nein
42	4	1	3	**8**	Teilweise
43	2	2	4	**8**	Ja
44	5	2	2	**9**	Nein
45	5	5	2	**12**	Nein
46	4	4	4	**12**	Teilweise
47	4	1	3	**8**	Nein
48	2	4	5	**11**	Ja
49	2	1	4	**7**	Ja
50	5	5	2	**12**	Ja
51	5	2	1	**8**	Nein
52	2	5	5	**12**	Ja
53	5	4	1	**10**	Ja
54	4	1	3	**8**	Ja
55	2	2	5	**9**	Ja
56	5	3	1	**9**	Ja
57	2	5	5	**12**	Nein
58	4	1	4	**9**	Nein
59	4	1	1	**6**	Teilweise

60	3	4	3	**10**	Ja
61	2	5	1	**8**	Ja
62	2	5	4	**11**	Ja
63	2	5	4	**11**	Ja
64	5	2	1	**8**	Nein
65	4	4	3	**11**	Nein
66	2	5	4	**11**	Ja
67	4	4	2	**10**	Ja
68	4	4	3	**11**	Nein
69	5	5	2	**12**	Ja
70	2	5	3	**10**	Teilweise
71	5	1	2	**8**	Nein
72	2	1	5	**8**	Ja
73	4	3	1	**8**	Ja
74	4	1	2	**7**	Ja
75	4	3	2	**9**	Teilweise
76	3	5	1	**9**	Ja
77	4	1	1	**6**	Nein
78	4	4	1	**9**	Ja
79	4	1	1	**6**	Ja
80	1	5	5	**11**	Ja
81	2	2	4	**8**	Ja
82	4	5	1	**10**	Teilweise
83	4	5	2	**11**	Ja
84	5	4	2	**11**	Nein
85	2	2	3	**7**	Ja
86	2	1	5	**8**	Ja
87	4	2	3	**9**	Teilweise

Tabelle 31: Überblick aller Teilergebnisse inklusive Gesamtbewertung

In Abbildung 107 ist ein gruppiertes Balkendiagramm zu sehen, in dem zu erkennen ist, wie viele Proben welche Gesamtbewertung, inklusive Recyclingfähigkeit, erhielten.

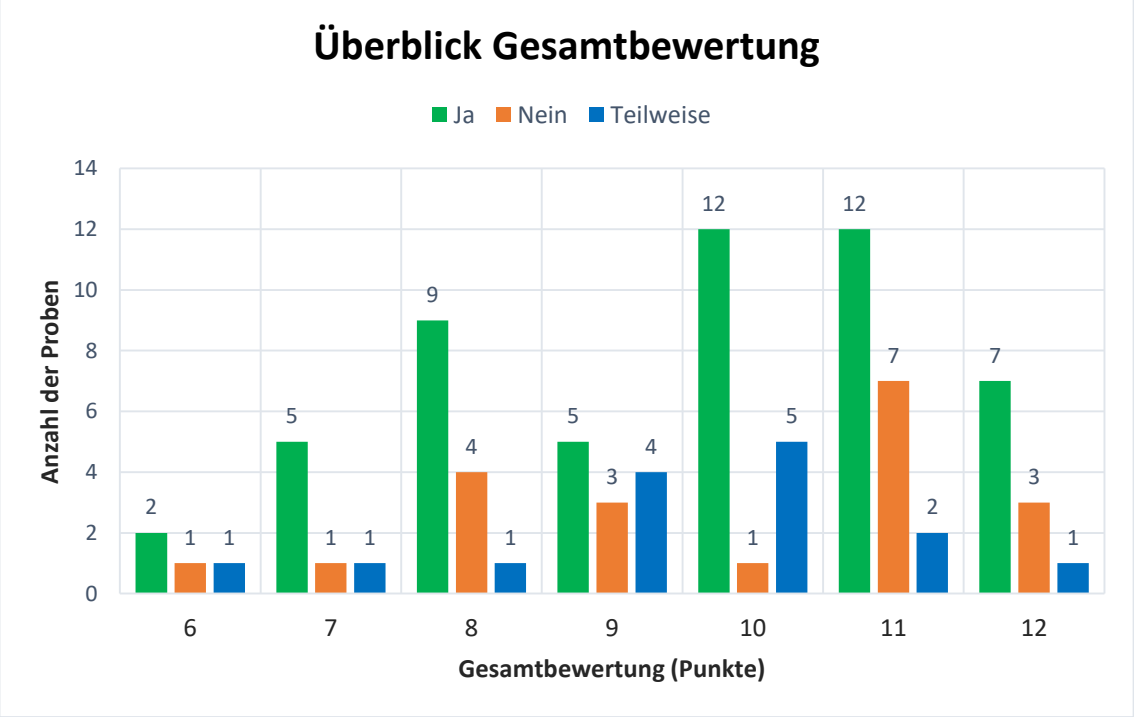


Abbildung 107: Gesamtbewertung (Produktschutz, Materialeinsatz) und Recyclingfähigkeit

Grundsätzlich war es möglich, dass jede Verpackung pro Kategorie mit mindestens einem Punkt und maximal fünf Punkten beurteilt werden konnte. Somit liegt die Spannweite der Gesamtbewertung zwischen drei und 15 Punkten und der zusätzlichen Information bezüglich Recyclingfähigkeit.

Die maximal möglichen 15 Punkte konnten von keiner der erhobenen Proben erreicht werden. Die höchste Punkteanzahl, die vergeben wurde, waren 12 Punkte. Von den elf Verpackungen, die diese Gesamtbewertung erhielten, waren sieben recyclingfähig.

Am besten wurden die Proben 05, 15, 18, 31, 41, 45, 46, 50, 52, 57 und 69 beurteilt. Bei Probe 05 und 15 handelt es sich um eine Folie bzw. einen Folienbeutel. Diese Verpackungen bieten nur einen geringen Schutz gegenüber mechanischen Einflüssen, erhalten jedoch die Qualität der Produkte, da diese eine niedrige Respiration aufweisen.

Aus diesem Grund ist der Folienbeutel für Äpfel und die Folie für Gurken eine gute Wahl, da diese Lebensmittel keine atmenden Verpackungen benötigen. Die Proben können ebenfalls durch den geringen Materialeinsatz und die Recyclingfähigkeit punkten.

Probe 18, eine Kartonschale mit einer perforierten Folie, bietet einen guten mechanischen Schutz und sorgt ebenfalls für einen sehr guten Qualitätserhalt der verpackten Tomaten. Die Verpackung ist recyclingfähig, allerdings ist durch die Kartonschale aus Wellpappe der Materialeinsatz dieser Probe höher und erhielt 3 Punkte.

Die Verpackungen mit den Probennummern 41 und 45 erhielten dieselbe Bewertung in allen Kategorien. Der Aufbau dieser Verpackungen ist sehr ähnlich, da es sich bei beiden um eine Schale mit anhängendem Deckel handelt, die mit Löchern versehen sind. Der mechanische Schutz kann durch Schale und Deckel sehr gut erfüllt werden. Gurken und Tomaten weisen eine geringe Respiration auf, weshalb diese Verpackungslösungen sinnvoll sind. Allerdings ist der Materialeinsatz hoch und es handelt sich bei beiden Kunststoffen um PET, wodurch sie nicht recyclingfähig sind.

Bei den Proben 31 und 46 handelt es sich um Kunststoffschalen, die von einer perforierten Folie umhüllt sind. Die Tomaten werden in beiden Verpackungen gut vor mechanischen Einflüssen geschützt und die Qualität der Produkte gut erhalten. Die Verpackungen unterscheiden sich lediglich in der Recyclingfähigkeit, da hier Probe 31 recyclingfähig ist und Probe 46 nur teilweise recycelt werden kann.

Die Karton-Körbchen für Avocados und Rudolfinen (Probe 50 und 69) haben hier in den angeführten Kategorien dieselbe Bewertung erhalten und punkten vor allem durch den sehr guten Schutz vor mechanischen Einflüssen von allen Seiten. Außerdem sind sie, aufgrund der stabilen Form stapelfähig, ohne die verpackte Ware zu beschädigen. Des Weiteren ermöglichen diese Verpackungssysteme aus Karton eine sehr gute Luftzirkulation, wodurch das Risiko für Schimmelbefall reduziert werden kann. Aufgrund

der hohen Masse erhielten diese Verpackungen nur 2 Punkte in der Kategorie Materialeinsatz.

Bei Probe 52 handelt es sich um die Papaya, die von einem Kunststoff-Netz umgeben ist. Diese Verpackung schützt die Papaya kaum vor mechanischen Einflüssen, konnte jedoch durch den geringen Materialeinsatz und die sehr gute Luftzirkulation mit 12 Punkten bewertet werden.

Probe 57, Bio-Karotten im NAWARO-Beutel, erhielt ebenfalls 12 Punkte, ist aber momentan nicht recyclingfähig. Diese Verpackung bietet kaum mechanischen Schutz, ermöglicht aber eine gute Luftzirkulation und weist aufgrund der kleinen Masse einen geringen Materialeinsatz auf.

Die niedrigste Gesamtbewertung erhielten vier Proben, mit je 6 Punkten, von denen zwei recyclingfähig (Probe 20 und 79), und je eine teilweise (Probe 59) bzw. nicht recyclingfähig (Probe 77) sind. Jede dieser vier Verpackungssysteme wurde in jeder Kategorie, abgesehen von der Recyclingfähigkeit, gleich bewertet. Sie erhielten für den mechanischen Produktschutz 4 Punkte und je einen Punkt für den Schutz vor Feuchtigkeit bzw. den Materialeinsatz.

Die meisten Verpackungsproben erhielten 11 Punkte, wovon der Großteil recyclingfähig ist. Die wenigsten Verpackungen wurden mit 6 Punkten bewertet.

5. Diskussion

Das Thema Nachhaltigkeit ist in den letzten Jahren immer wichtiger geworden. Ein wichtiger Aspekt ist Verpackungsmüll, vor allem Kunststoffe, und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt. In der vorliegenden Arbeit wurden Verpackungen des Obst- und Gemüsesegments in Supermärkten erhoben, um einen Überblick über die aktuell verwendeten Verpackungen für diese Produktgruppe zu erlangen. Es wurden der Produktschutz und der Schutz vor Feuchtigkeit bzw. Qualitätserhalt bewertet, da dies sehr wichtige Aspekte für frische Ware sind. Um die Nachhaltigkeit zu beurteilen, wurden die Kategorien Materialeinsatz, Recyclingfähigkeit und CO_2-Emissionen, die für sechs Verpackungen ermittelt wurde, definiert.

Produktschutz

Kunststoffschalen:

Die beste Bewertung, 5 Punkte, erhielten Kunststoffschalen mit anhängendem oder separaten Deckel oder Schalen mit einer Siegelfolie, da diese die Ware von allen Seiten sehr gut schützen. 28 der 30 Kunststoffschalen wurden somit mit „gut“ bis „sehr gut“ bewertet, woraus zu schließen ist, dass diese Verpackungslösung einen guten Schutz vor mechanischen Beanspruchungen bietet.

Der Schutz vor Feuchtigkeit bzw. der Qualitätserhalt, der ebenfalls beurteilt wurde, erhielt weniger Punkte, als der mechanische Schutz. Nur drei Verpackungen sorgen aufgrund ihrer Form für eine sehr gute Luftzirkulation bzw. den Erhalt der Qualität der Produkte. Dabei handelt es sich um Probe 83, Physalis in einem schwarzen Körbchen, und um die Proben 41 und 45, Kunststoffschalen für Tomaten. Die Proben die mit drei oder vier Punkten bewertet wurden, ermöglichen aufgrund von Löchern in der Schale, perforierten Folien und Absorptionspads eine gute bis mäßig gute Luftzirkulation innerhalb der Verpackung. Sieben Verpackungen wiesen kaum Löcher in der Schale bzw. Folie auf, weshalb hier nur eine geringe Luftzirkulation möglich ist. Sechs Verpackungen

ermöglichen keinerlei Luftzirkulation, da die Schalen mit einer luftdichten Folie umhüllt waren, obwohl diese Produkte eine atmende Verpackung benötigen würden.

Im Obst- und Gemüsebereich sind häufig Kunststoffschalen zu finden, da es sich um besonders kostengünstige Verpackungsarten handelt. Schalen mit anhängendem oder separatem Deckel bieten außerdem einen sehr guten Schutz vor mechanischen Einflüssen (Meier Verpackungen 2019e), weshalb diese Verpackungslösung vor allem für druckempfindliche Lebensmittel wie Beerenobst, Weintrauben, Tomaten aber auch Snackgurken verwendet wird.

Die Oberfläche von Beerenobst ist sehr sensibel und kann leicht beschädigt werden, weshalb eine geeignete Verpackung sehr wichtig ist. Entstehendes Kondenswasser stellt ein Risiko für die Qualität des Produktes dar, da es zu Fehlern des Erscheinungsbildes, zu Qualitätsverschlechterung, zu Geschmacksverlust und zum Wachstum von Mikroorganismen führen kann. Die Regulation der Feuchtigkeit ist sehr wichtig für die Haltbarkeitsverlängerung von frischem Obst und Gemüse, da so das Risiko des Verderbens reduziert wird. Feuchtigkeitsabsorbierende Pads sind eine innovative Methode um die Haltbarkeit zu verlängern.

Die deutsche Firma „McAirLaid's Vliesstoffe GmbH" stellt diese Art von aktiven Lebensmittelverpackungssystemen her, auch speziell für Früchte und Beeren konzipierte Kissen, das „FruitPad". Es besteht aus drei Schichten, wobei das Material der oberen und unteren Schicht PE ist und die mittlere Schicht Zellulosefasern enthält. Pro Quadratzentimeter weist das Pad acht Mikroperforationen von 0,3 mm Durchmesser auf (Bovi et al. 2018). Das FruitPad schützt vor Druckstellen während des Transports und dem damit verbundenen Fruchtsaftaustritt. Gleichzeitig absorbiert es Flüssigkeiten und unterstützt durch Atmungsaktivität die Luftzirkulation, wodurch die Schimmelbildung reduziert werden kann. Größe, Farbe und Form sind an die Früchte anpassbar, so wurden bei der durchgeführten Marktrecherche rote und schwarze FruitPads in Verpackungen für Himbeeren, Erdbeeren und Heidelbeeren erhoben (McAirlaid's 2019).

Kartonschalen:

Vier von 26 Verpackungen der Gruppe erhielten aufgrund ihrer sehr stabilen Form die beste Punktzahl. Die Körbchen aus Karton bzw. Wellpappe schützen dabei die darin verpackte Ware sehr gut von allen Seiten. Insgesamt 19 Proben bieten einen guten Schutz vor mechanischen Einflüssen. Dabei handelt es sich um Schalen, die die frische Ware von unten bzw. seitlich schützen und deren Oberfläche von einer Folie, die die Schale umhüllt, geschützt wird. Drei Proben erhielten, aufgrund des fehlenden Schutzes von oben, nur eine Bewertung von 3 Punkten. Keine der Kartonschalen wurde mit einem oder zwei Punkten bewertet, was darauf schließen lässt, dass diese Verpackungslösungen einen guten bis sehr guten Schutz vor äußeren Beanspruchungen bieten.

Der Schutz vor Feuchtigkeit bzw. der Qualitätserhalt kann von einem Viertel der Proben mit einem Punkt bewertet werden, da hier aufgrund einer dichten Folie keine Luftzirkulation innerhalb der Verpackung möglich ist. Durch die Kombination einer Schale mit einer perforierten Folie ist eine mäßige Zirkulation der Luft innerhalb der Verpackung möglich, weshalb sechs Proben drei Punkte erhielten.
Acht Verpackungslösungen erhielten 4 Punkte und sechs Verpackungen 5 Punkte, da sie entweder eine gute bis sehr gute Luftzirkulation erlauben oder so auf das verpackte Produkt abgestimmt sind, dass sie deren Qualität verbessern können. Dabei handelt es sich um Äpfel, Tomaten, Snackgurken und Datteln, die eine niedrige oder sehr niedrige Respirationsrate ausweisen und daher auch dichtere Verpackungen sinnvoll sind.

Die Kartonkörbchen, die den besten mechanischen Schutz bieten, wurden für das Verpacken von Zitrusfrüchten wie Rudolfinen und Clementinen verwendet, aber auch für Avocados und Physalis.
Außerdem werden Schalen aus Karton auch für viele andere Obst- und Gemüsesorten verwendet, wie beispielsweise Äpfel, Birnen, Beerenobst, Trauben, aber auch Kartoffeln, Paprika, Tomaten, Lauch und noch viele weitere (NNZ 2019). Die Industrie

setzt häufig Kartonschalen ein, da diese durch die Vielfältigkeit des Materials und die einfache und individuelle Bedruckbarkeit überzeugen (Meier Verpackungen 2019a). Dieses Verpackungsmaterial ist demnach sehr häufig im Obst- und Gemüsebereich anzutreffen.

In der Gruppe der Kartonschalen sind allerdings auch andere Materialien wie Holz, Bast oder ein Palmblatt vorgekommen. Clementinen, Datteln und Pilze wurden in Holzschalen bzw. in einer Holzkiste, die durch Heftklammern zusammengehalten werden, im Supermarkt angeboten. Holzschalen sind sehr robust und lassen die verpackte Ware zusätzlich hochwertiger und natürlicher erscheinen. Des Weiteren wurde ein Palmblattteller für Äpfel und ein Bastkörbchen, das von einem Netz umhüllt ist, für Knoblauch verwendet.

Beutel, Folien und Netze:

Beutel, Folien und Netze bieten keinen guten Schutz gegenüber mechanischen Einflüssen, wie Stößen oder Stapeldruck, da es sich um sehr flexible Materialien handelt, die keine Stabilität bieten. Aus diesem Grund erhielt keine Verpackung dieser Gruppe 3 Punkte oder mehr. Sechs Proben wurden mit einem Punkt bewertet, da es sich um Netzverpackungen handelt und diese das Lebensmittel überhaupt nicht vor mechanischen Beanspruchungen schützen kann. Folien und Beutel schützen lediglich die Außenhaut der Lebensmittel, weshalb diese mit zwei Punkten bewertet wurden, also nur einen geringen Schutz bieten.

Etwa die Hälfte dieser Gruppe ermöglicht eine sehr gute Luftzirkulation, wobei nun die Netzverpackungen, die beim mechanischen Produktschutz schlecht abgeschnitten haben, nun sehr gut abschneiden. Auch Papierbeutel und der Jutesack ermöglichen aufgrund ihres Materials, dass die Luft sehr gut innerhalb der Verpackung zirkulieren kann und somit die Schimmelbildung reduziert wird.

Der Folienbeutel (Nr. 05) ist für den Qualitätserhalt von Äpfeln gut geeignet, da dieses Obst eine niedrige Respiration aufweist, weshalb eine geringe Luftzirkulation innerhalb der Verpackung ausreichend ist und es sich demnach um eine sinnvolle Verpackungslösung handelt.

Bei Probe 15 handelt es sich um eine Gurke, die von einer Schrumpffolie umhüllt ist. Eine Studie aus dem Jahr 2012 hat verschiedene Parameter von verpackten und unverpackten Gurken während der Lagerung untersucht. Die Studie zeigte, dass die Haltbarkeit von in Schrumpffolie verpackten Gurken, im Vergleich zu unverpackten, verlängert werden kann, ohne die Qualität der Früchte zu beeinträchtigen, wenn sie bei 12 °C und einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit gelagert werden. Dabei reduziert die Verpackung den Gewichtsverlust und behält die Frische, Farbe und Festigkeit der Gurke bei. Die Inzidenz des Verderbs bei 12°C Lagertemperatur war bei umhüllten und nicht umhüllten Gurken sehr ähnlich. Bei Umgebungsbedingungen, also Temperaturen von 29-33°C und einer geringeren relativen Luftfeuchtigkeit, war die Inzidenz von Fäulnis bei verpackten Gurken nach fünf Tagen allerdings höher (Dhall et al. 2012). Demnach ist diese Verpackungslösung für Gurken sehr gut, wenn die Haltbarkeit verlängert werden soll ohne dabei die Qualität zu verschlechtern.

Der Karottenbeutel von Spar-Natur pur (Nr. 57) besteht aus Pflanzenölen und besitzt die „NATURA PROCLIMATE-Technologie“, welche die Entstehung von Kondenswasser und somit auch die Schimmelfleckenbildung verhindert (NATURABIOMAT 2017), weshalb auch diese Verpackung sehr gut bewertet wurde.
Es wurden sieben Verpackungsproben mit einem Punkt bewertet, da es sich hierbei um Folien oder Beutel ohne Perforation handelte und dadurch keine Luftzirkulation möglich ist, wodurch die Bildung von Schimmel begünstigt werden kann. Sechs Proben wiesen nur wenige Löcher auf, wodurch nur eine geringe Zirkulation der Luft innerhalb der Verpackung möglich ist.

Netzverpackungen werden hauptsächlich für Erdäpfel/ Kartoffeln, Zwiebel, Knoblauch und Zitrusfrüchte verwendet. Sie ermöglichen den Blick auf die Ware, lassen die Luft ungehindert zirkulieren, dienen dem Zusammenhalt von schweren Produkten und schützen vor ungewollter Entnahme (Meier Verpackungen 2019c). Vor allem Kartoffel, Zwiebel und Knoblauch sind gegenüber mechanischen Einflüssen robust, weshalb das Verpacken in einem Netz, trotz fehlendem mechanischem Schutz, meist ausreicht. Die dicke Schale von Zitrusfrüchten dient als natürliche Schutzschicht des Obstes. Sind die Früchte in Netzen verpackt, so ermöglichen diese eine ausreichende Luftzirkulation, wodurch das Risiko für Schimmelbildung reduziert wird.

Äpfel und Karotten werden in perforierten Folienbeuteln aus LD-PE angeboten. Hingegen in Beuteln aus Papier findet man oft Kartoffeln oder Knoblauch, da diese einen guten Lichtschutz bieten und sehr atmungsaktiv sind (Meier Verpackungen 2019b, 2019d). Aber auch Jutesäcke sind bei Obst (z.B. Zitrusfrüchte) und Gemüse (z.B. Kartoffeln) in Verwendung.

Die Folienverpackung wird in unterschiedlichen Formen, in dieser Arbeit unter anderem für Gurken, Paprika, Brokkoli, Karfiol, Fisolen, Salate, Karotten, Blattspinat, Radieschen aber auch Bananen verwendet. Dabei sind die Folien mit einer Mikro- oder Makroperforation versehen oder weisen keine Perforation auf (z.B. Banane, Blattspinat, Brokkoli, Gurke, Karfiol). Folien mit Perforation schützen die Außenhaut der Ware und ermöglichen die Zirkulation der Luft, um die Entstehung von Schimmel zu vermeiden.

Obst und Gemüse, die in Netzen, Folien oder Beuteln verpackt angeboten werden, sind vor mechanischen Kräften nur gering geschützt. Bei einigen Produkten, wie bei Kartoffeln oder Zwiebeln ist dies ausreichend, bei anderen, wie Salat, Äpfel, Gurke, Paprika, Spinat etc., jedoch nicht. Bei empfindlicherer Ware ist es wichtig, diese keinen äußeren Einflüssen, wie Stapeldruck oder Stößen, auszusetzen.

Materialeinsatz

Beutel, Folien und Netze erhielten die beste Bewertung in der Kategorie Materialeinsatz. Das liegt daran, dass die Verpackungen dieser Gruppe, im Vergleich zur verpackten Ware, eine sehr geringe Masse besitzen und daher pro Gramm Lebensmittel nur wenig Verpackungsmaterial benötigt wird.

Kartonschalen erhielten die schlechteste Bewertung, was daran liegt, dass diese meist eine höhere Masse als Kunststoffschalen haben. Aus diesem Grund erhielten Schalen aus Karton zwischen ein und drei Punkte in dieser Kategorie. Das Verhältnis zwischen Verpackung und Lebensmittel ist somit sehr groß und es wurde pro Gramm Lebensmittel mehr Verpackung verwendet als bei den anderen Verpackungsgruppen.

Die durchschnittliche Bewertung der Beutel, Folien und Netze beträgt 4,45 und zeigt somit, dass diese Gruppe die beste Materialeffizienz aufweist. Aufgrund der hohen Masse der Verpackung wurde bei Karton-Schalen der höchste Materialeinsatz berechnet, wodurch der Mittelwert 1,96 beträgt. Kunststoffe haben eine geringere Masse, weshalb diese Gruppe mit einem Mittelwert von 2,50 einen besseren Materialeinsatz aufweist als Schalen aus Karton.

Der Naturschutzbund Deutschland hat zwischen 2010 und 2016 die Materialintensität von verschiedenen Obst- und Gemüseverpackungen untersucht. Der Packmittelverbrauch pro Kilogramm Füllgut betrug bei Industrieverpackungen durchschnittlich 21,2g, wovon Papier-/Kartonverpackungen mit 57,4g einen viel höheren Packmittelverbrauch als Kunststoffverpackungen mit 16,2g pro Kilogramm aufweisen. Im Vergleich dazu sind Serviceverpackungen, also Kunststoff- oder Papierbeutel, mit etwa einem Siebtel des Materials, effizienter als Vorverpackungen. Für das Verpacken von beispielsweise 1kg Äpfel wird etwa 10-mal mehr Verpackung durch eine Industrieverpackung als von einer Serviceverpackung benötigt. Aufgrund von geänderten Packmittelstrukturen ist in dieser Zeit der Kunststoffverbrauch angestiegen.

Kunststoffe sind leichter als Papier/Karton, außerdem haben formstabile Schalen mehr an Bedeutung gewonnen als flexible Folien (NABU 2017).

Ein wichtiger Aspekt, der nicht zu vernachlässigen ist, sind Lebensmittelabfälle. Weltweit gehen etwa ein Drittel der essbaren Teile von Lebensmitteln verloren oder werden verschwendet, das entspricht zirka 1,3 Milliarden Tonnen pro Jahr. In Europa beträgt die durchschnittliche Menge an Lebensmittelabfall pro Person ungefähr 280-300 kg pro Jahr. In Europa beträgt der Verlust von Obst und Gemüse rund 45% der Produktion, wovon etwa ein Drittel am Ende der Lebensmittelkette, also beim Konsumenten, verloren geht (Gustavsson et al. 2011).

Um Lebensmittelabfälle zu reduzieren, können geeignete Verpackungen hilfreich sein. Sie sind dazu in der Lage die Ware vor mechanischen Einflüssen zu schützen oder die Haltbarkeit zu verlängern.
Bei Obst und Gemüse wäre dies zum Beispiel möglich durch Ethylenabsorber, die bei Lagerung und Transport eingesetzt werden können. Durch die Beseitigung des Reifungshormons kann der Reifungsprozess der Früchte verlangsamt und diese somit über längere Zeit transportiert werden (Buchner 2012).
Meist tragen Lebensmittelabfall bzw. -verschwendung mehr zum CO_2-Fußabdruck eines Lebensmittelverpackungssystems bei, als die Produktion und Entsorgung der Verpackung. Es ist also von großer Bedeutung, die Verpackung an die Ware anzupassen, um diese ausreichend zu schützen und auf diese Weise Verluste von Lebensmitteln zu vermeiden/ reduzieren (Wohner et al. 2019).

Bei Obst- und Gemüseverpackungen ist vor allem der mechanische Schutz ein wichtiger Punkt, der gewährleistet sein soll, um die Abfälle in Supermärkten zu reduzieren. Je nach Obst- oder Gemüsesorte ist hierfür mehr oder weniger Material erforderlich. Es muss also die Verpackung an die spezifischen Eigenschaften und Empfindlichkeiten der Lebensmittel angepasst sein, um einen optimalen Schutz bzw. eine, wenn möglich, lange Haltbarkeit zu gewährleisten.

CO_2-Emissionen

Die Menge von THG-Emissionen, die durch eine durchschnittliche österreichische Ernährungsweise verursacht wird, beträgt etwa 2500 kg CO_2-Äquivalente pro Kopf pro Jahr. Die CO_2-Emissionen, die durch Lebensmittel verursacht werden, sind je nach Lebensmittelgruppe sehr unterschiedlich. So verursachen tierische Produkte wie Fleisch und Milchprodukte eine große Menge an CO_2-Emissionen, Obst und Gemüse jedoch mit insgesamt etwa 200kg CO_2-Äquivalent pro Kopf und Jahr, relativ wenig (Schutter et al. 2015). Der größte Anteil der Emissionen, der durch Gemüse verursacht wird, ist auf die Lagerung und die Verpackung zurückzuführen. Dabei entfallen 35% der gesamten THG-Emissionen auf die Lagerung und 20% auf die Verpackung (BIO Intelligence Service 2012).

Payen et al. haben unter anderem den Einfluss von 1kg Tomaten auf den Klimawandel untersucht. Dabei verursacht die Verpackung aus Karton 0,091kg bzw. 91 g CO_2-Äq., was 17% der gesamten THG-Emissionen entspricht, die durch dieses Produkt entstehen (Payen et al. 2015). Rechnet man den in dieser Arbeit ermittelten Wert für die Tomatenverpackung um, so erhält man ein sehr ähnliches Ergebnis.

Vergleicht man nun alle Verpackungen, deren CO_2-Emissionen in dieser Arbeit berechnet wurden, so beziehen sich die Angaben auf die Bereitstellung von 1kg Obst bzw. Gemüse. Das Füllgut von Probe 05 und 62 beträgt 2kg und jenes der Proben 18,39,50 und 58 beträgt 500g. In Tabelle 30 sind die THG-Emissionen, die für die Verpackung von 1kg Äpfel, Tomaten, Kiwis, Avocados, Suppengrün und Kartoffeln, verursacht werden.

Probe	Verpackung gesamt	Lebensmittel	THG-Emissionen pro 1kg (CO_2-Äq)	PEF pro 1kg LM (* 10^{-4})
05	11,03g	1999,80g	53g	4,20
18	21,78g	510,26g	85,4g	9,08
39	12,95g	529,20g	146,4g	9,84
50	35,56g	585,59g	94,8g	12,22
58	7,77g	588,19g	123,4g	8,56
62	29,50g	2001,51g	41,7g	5,45

Tabelle 32: THG-Emissionen und PEF pro 1kg Füllgut

Mit Hilfe der in Tabelle 30 angeführten Daten ist es möglich, die sechs analysierten Proben miteinander zu vergleichen. Die geringsten CO_2-Emissionen werden hier mit etwa 42g CO_2-Äq durch den Papierbeutel für Kartoffel (Probe 62) verursacht, gefolgt von dem Kunststoffbeutel für Äpfel aus LDPE (Probe 05) mit 53g CO_2-Äq.

Mit 85,4g und 94,8g CO_2-Äq haben Tomaten in einer Kartonschale (Probe 18) und Avocados in einem Kartonkörbchen (Probe 50), trotz einer hohen Masse der Verpackung, relativ wenig THG-Emissionen zur Folge. Die höchste Menge an Emissionen wird, mit 146,4g und 123,4g CO_2-Äq, durch die Kunststoffschalen für Kiwis (Probe 39) und Suppengrün (Probe 58) verursacht.

Betrachtet man den PEF, so sind die Ergebnisse relativ ähnlich. Probe 05 hat den kleinsten PEF, gefolgt von Probe 62. Allerdings schneidet Probe 50 hier sehr schlecht ab.

Aufgrund dieser Daten sind Schalen und Beutel aus Kunststoff, bezogen auf THG-Emissionen, schädlicher für den Klimawandel und somit auch für die Umwelt, als ähnliche Verpackungen aus Papier oder Karton. Bezogen auf den PEF hat bei zwei Vergleichen die Kunststoffverpackung besser abgeschnitten als jene aus Papier oder Karton. Probe 18 hat im Vergleich zu Probe 39 einen etwas kleineren PEF.

Recyclingfähigkeit

Es wurden alle Verpackungsproben durch eine grobe Einschätzung in „recyclingfähig“, „nicht recyclingfähig“ und „teilweise recyclingfähig“ eingeteilt. Laut dieser Bewertung sind 52 Verpackungen theoretisch recyclingfähig, in der Praxis jedoch gibt es einige Aspekte, die problematisch für den Recyclingvorgang sein könnten, weshalb diese erwähnt werden müssen.

Allgemein sollten die verwendeten Materialien homogen sein, also möglichst wenig Zusatzstoffe enthalten, um die Recyclingfähigkeit zu gewährleisten. Ebenfalls ist es wichtig, dass regionale Verwertungsströme vorhanden sind. Seltene Materialien, wie PS und PVC, sind daher problematisch, da sie keinem Verwertungsstrom zugeführt werden können (FH Campus Wien 2019). Bei der Materialidentifizierung der Verpackungskomponenten, ist aufgefallen, dass seltene Materialien auch oft in Kombination verwendet werden. Fünf Proben bestehen aus einer PS-Schale, die mit einer PVC-Folie umwickelt sind.

Des Weiteren können Multilayer in Folien mit Hilfe des FTIR nicht detektiert werden. Falls sich eine Barriereschicht in einer Zwischenschicht befindet, kann diese nicht identifiziert werden, da die Eindringtiefe des Strahls, der durch den Diamanten in das Material eindringt, nur etwa 1-2 µm beträgt. Ist die erste Schicht dicker als die Eindringtiefe, ist es also nicht möglich, Multilayer zu erkennen (Oeller 2019). Bei Verwendung von Mehrschicht-Materialien ist ein werkstoffliches Recycling oft nicht möglich.

Für den Sortierprozess ist es wichtig, dass Kleinteile, wie Klammern, einfach abgetrennt werden können. Ebenfalls sollen nicht nur Kleinteile, sondern auch die einzelnen Komponenten leicht voneinander getrennt werden können. Dies ist bei den meisten Verpackungssystemen, die in dieser Arbeit untersucht wurden, gut möglich, da z.B. viele aus einer Schale und einer Folie bestehen.

Außerdem sollten Etiketten leicht ablösbar sein und mit wasserbasierten oder wasser-/ heißlaugenlöslichen Klebstoffen befestigt sein. Problematisch sind hier Etiketten, die mit Hotmelt-Klebstoff an die Verpackung angebracht sind, da diese eine schlechte Recyclingfähigkeit zur Folge haben.
Bei einem Großteil der im Zuge dieser Arbeit, untersuchten Etiketten, etwa zwei Drittel, wurde Hotmelt-Klebstoff identifiziert.

In dieser Arbeit wurde die Recyclingfähigkeit der Folien größenunabhängig beurteilt, in der Praxis können kleine Folien (< 300 x 300 mm) derzeit noch nicht kosteneffizient recycelt werden (FH Campus Wien 2019).

Drei Schalen und zwei Netze wurden aus geschäumten Materialien hergestellt, dies ist eine gute Möglichkeit um das Gewicht der Verpackung zu reduzieren. Da bei den meisten PS eingesetzt wurde, sind diese Komponenten nicht recyclingfähig. Allerdings stellt sich auch die Frage, ob geschäumte Eigenschalten, von z.B. geschäumten PE, Auswirkungen auf den Recyclingprozess haben.

Ein weiteres Problem stellen tiefgezogene PET-Schalen dar, weil aufgrund der anderen Zusammensetzung, im Vergleich zu PET-Flaschen, Störstoffe in den Recyclingstrom eingebracht werden.
Neben den Materialien kann auch die Materialfarbe das Recycling beeinflussen. Stark eingefärbte Papier- oder Kunststoffverpackungen können zu Problemen im Sortierprozess führen. Außerdem kann die Farbe Schwarz im Sortierprozess von Kunststoffen zu einer falschen Klassifizierung des Materials oder zu einer Aussortierung führen (FH Campus Wien 2019). Vier Verpackungsproben enthielten schwarze Kunststoffkomponenten.

In der Circular Packaging Design Guideline gibt es keine Vorgaben für Verpackungen aus Holz. Dieses Material wird nicht recycelt und kann momentan nur thermisch verwertet

werden. Eine andere Möglichkeit um Holzverpackungen nach Gebrauch zu nutzen, wäre Downcycling zu beispielsweise Pressplatten.

Vor allem bei Obst- und Gemüseverpackungen kommen neue Materialien zum Einsatz. Hier wird die wichtige Frage aufgeworfen, wie mit solchen Neuentwicklungen bezüglich Recycling umgegangen wird. In dieser Masterarbeit wurden Materialien erhoben und identifiziert, die laut derzeitigem Stand nicht recyclingfähig sind, wie Holzfaserfolien und -netze, Holzschalen und -kisten, ein Jutesack, ein Palmblatt, ein Bastkörbchen und ein Beutel aus NAWARO ohne Stärke. Mit den Verpackungen aus Holzfaser (Netze und Folien) und dem Beutel aus nachwachsenden Rohstoffen ohne Stärke, wird damit geworben, dass diese kompostierbar sind.
Kompostierbare Kunststoffe sind für das Recycling problematisch, da die Kompostierbarkeit ein anderes Ziel verfolgt als das Recycling. Wenn diese Kunststoffe über die Biotonne entsorgt werden, so können diese derzeit in Österreich nicht von nicht-kompostierbaren Kunststoffen unterschieden werden, weshalb sie aussortiert und der thermischen Verwertung zugeführt werden (FH Campus Wien 2019).
Für Holzkisten oder Jutesäcke wäre eventuell die Verwendung als Mehrweg-Verpackung sinnvoll, da diese sonst entsorgt und thermisch verwertet werden.

6. Ausblick

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Bewertung der Nachhaltigkeit von Obst- und Gemüseverpackungen vielschichtig ist und mehrere Aspekte berücksichtigt werden müssen.

Meist ist ein guter mechanischer Produktschutz mit einem hohen Materialeinsatz verbunden, und umgekehrt. Aus diesem Grund konnte keine Verpackungsprobe als eine optimale Verpackungslösung identifiziert werden, da der Produktschutz nicht ausreichend erfüllt, viel Verpackungsmaterial verwendet wurde oder die Verpackung nicht recyclingfähig war. Durch die im Laufe dieser Masterarbeit erlangten Ergebnisse soll die Frage beantwortet werden, wie sich Obst- und Gemüseverpackungen in Zukunft entwickeln könnten bzw. ob es möglich ist sie nachhaltiger zu gestalten oder zu optimieren.

Dabei sollte der Fokus auf den Produktschutz gerichtet werden, wobei vor allem druckempfindliche Produkte wie Beerenobst oder Pilze von allen Seiten gut geschützt werden müssen. Es wurden Verpackungsproben für Champignons und Erdbeeren erhoben, die das Lebensmittel vor Druck von oben nicht schützen konnten. Heidelbeeren und Himbeeren hingegen konnten durch Schalen mit Deckeln einen sehr guten Schutz vor mechanischen Einflüssen. Bei empfindlichen Produkten wäre also die Anpassung der Verpackung auf die spezifischen Eigenschaften und Bedürfnisse sehr wichtig, um dem Konsumenten ein unbeschädigtes Lebensmittel anzubieten.
Bei anderen Obst- und Gemüsesorten, die gegenüber äußeren Einflüssen robuster sind, wie beispielsweise Kartoffeln, Zwiebeln, Knoblauch und Zitrusfrüchten, steht die Behälterfunktion im Vordergrund. Hier reichen meist Netzverpackungen aus, um Produkte in definierten Mengen zusammenzuhalten.

Betrachtet man den Qualitätserhalt von Obst und Gemüse, wäre es sinnvoll zu testen, welche Verpackungslösungen die Haltbarkeit eines Produktes, ohne Verlust der sensorischen Eigenschaften, verlängern kann. Um die Qualität und Haltbarkeit bis zum Konsumenten aufrecht zu erhalten, muss allerdings jedes Obst und Gemüse im Hinblick auf dessen Metabolismus nach der Ernte analysiert werden, um herauszufinden, welche Materialien und Verpackungstypen am besten dafür geeignet sind.

Um die Menge an entstehendem Verpackungsmüll möglichst gering zu halten, sollte darauf geachtet werden, dass nur so wenig Material wie möglich verwendet wird um die produktspezifische Schutzwirkung zu erzielen. Für robuste Lebensmittel ist somit weniger Material ausreichend im Vergleich zu empfindlichen. Der Produktschutz und Qualitätserhalt von Obst und Gemüse sollten somit Priorität haben. Übermäßige Verpackungen sollten unbedingt vermieden werden, wenn diese nicht dem Produktschutz dienen.

Die Recyclingfähigkeit zeigt, dass ein Großteil der Materialien, die für Obst- und Gemüseverpackungen in Verwendung sind, wiederverwertet werden können. Hier könnten zukünftig Schalen aus dem recyclingfähigen PP hergestellt werden, anstatt aus PET oder PS, die Störstoffe darstellen oder keinem Verwertungsstrom zugeführt werden können. Dehnbare Folien, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen, sollten aus PE hergestellt werden und nicht aus PVC. Etiketten sollten leicht ablösbar sein und mit wasserbasierten Klebstoffen angebracht sein. Außerdem sollte das (starke) Einfärben von Kunststoffen vermieden werden, nicht nur um den Sortierprozess zu erleichtern, sondern auch um dem Konsumenten einen guten Blick auf das verpackte Produkt zu ermöglichen.
Da es für Holzverpackungen momentan keine Vorgaben laut Guideline gibt, könnte ein Mehrwegsystem für beispielsweise Holzkisten, aber auch andere Verpackungen wie Jutesäcke, sinnvoll sein. Da das Ziel von Kompostierbarkeit dem des Recyclingprozesses entgegenläuft, stellt sich auch die Frage wie zukünftig mit neuen Verpackungsmaterialien, die als kompostierbar beworben werden, z.B. Folien und Netze

aus Holzfaser, umgegangen wird, da die Folien derzeit aus dem Biomüll aussortiert und thermisch verwertet werden.

Die in dieser Arbeit durchgeführte Streamlined LCA könnte in künftigen Arbeiten ausführlicher bearbeitet werden, beispielsweise durch die Berechnung der THG-Emissionen und des PEF aller erhobenen Verpackungen, wodurch eine gute Übersicht über die Umweltauswirkungen aller Proben ermöglicht wird. Hier wäre auch die Erhebung von Primärdaten interessant, um den Einfluss des Energie- und Ressourcenbedarfs und der Transportwege aufzuzeigen. Außerdem wäre eine LCA von Verpackungen aus eher seltenen Materialien, wie Holz, Jute oder Holzfaser interessant und ob diese einen geringeren Einfluss auf die Umwelt aufweisen als Kunststoffe.

7. Zusammenfassung

Momentan befindet sich eine Vielzahl an unterschiedlichen Verpackungsmöglichkeiten und -materialien für Obst und Gemüse auf dem Markt. Das Thema Nachhaltigkeit hat, vor allem im Bereich dieser Lebensmittelgruppe, in den letzten Jahren an Bedeutung bzw. Aufmerksamkeit gewonnen. Kunststoff- und Kartonschalen sind häufig im Supermarkt anzutreffen. Folien und Beutel bestehen zu einem sehr großen Teil aus den Kunststoffen PP, PE, PVC und CPET und zu einem kleinen Teil aus Papier, Jute und Holzfaser. Auch bei Netzverpackungen dominieren Kunststoffe.

Die Hauptfunktion von Verpackungen, der Produktschutz, kann von Schalen besser erfüllt werden als von Beuteln, Folien oder Netzen. Hier ist allerdings zu beachten, dass robustes Obst und Gemüse nicht denselben mechanischen Schutz benötigt wie empfindliches. Ebenfalls ist der Schutz vor Feuchtigkeit bei Obst und Gemüse ein wichtiger Aspekt. Die Verpackung sollte an das Produkt angepasst sein, um übermäßiges Verpackungsmaterial zu vermeiden.
Die Recyclingfähigkeit ist ein weiterer wichtiger Aspekt, bei dem vor allem seltene Materialien wie PS und PVC, aber auch PET-Schalen, schwarz eingefärbte Materialien und der Hotmelt-Klebstoff problematisch sind.
THG-Emissionen beeinflussen das globale Klima und die Umwelt. In dieser Arbeit zeigt sich, dass die Verpackungslösungen aus Papier bzw. Karton, trotz größerer Masse, weniger CO_2-Äq verursachen als jene aus Kunststoff. Demnach haben Papier- und Kartonverpackungen einen geringeren Einfluss auf den Klimawandel als Kunststoffverpackungen.

Die derzeit verfügbaren Obst- und Gemüseverpackungen sind, vor allem hinsichtlich des Produktschutzes und der Recyclingfähigkeit, optimierbar. Bei Möglichkeit ist auch die Reduktion von Verpackungsmaterial wünschenswert. In Bezug auf die Nachhaltigkeit, denken allerdings die meisten KonsumentInnen nur an die Menge des Verpackungsmülls und vernachlässigen dabei die Schutzfunktion.

8. Abstract

Currently there are many different packaging options and materials for fruits and vegetables on the market. If you think about sustainability packaging has gained in importance and attention in the last few years, especially in the focus on fruits and vegetables. There are a lot of plastic and cardboard trays found in Supermarkets. Films and bags consist mainly of the plastics PP, PE, PVC and CPET and only a few are made of paper, jute and wood fibre. Most nets are also made of plastics.

The main function of packaging, the protection of food, can be better performed by trays than by bags, films or nets. It is important to consider, that not every fruit or vegetable needs the same mechanic protection, because some are robust while others are pressure-sensitive. Also, the protection against moisture is an important aspect to prevent the growth of mould. The packaging should be adapted to the product to avoid excessive packaging material.

The recyclability is very important in assessing sustainability of packaging. Furthermore, rare materials such as PC and PVC, but also PET trays, black coloured materials and the hot melt adhesive are problematic.

Greenhouse gas emissions influence the global climate and the environment. This thesis shows that paper and cardboard packaging solutions, despite their larger mass, produce less CO_2-Equivalents than those made of plastic. The conclusion is that paper and cardboard packaging have a lower impact on climate change than plastic packaging.

Currently available fruit and vegetable packaging can be enhanced, especially with regard to product protection and recyclability. The reduction of packaging material is also desirable if the quality of food is not affected. In terms of sustainability most consumers only think about the amount of packaging waste produced and disregard the protective function.

9. Literaturverzeichnis

AGES (2018): Die Österreichische Ernährungspyramide. Online verfügbar unter https://www.ages.at/themen/ernaehrung/oesterreichische-ernaehrungspyramide/, zuletzt aktualisiert am 27.03.2018, zuletzt geprüft am 14.12.2018.

AMA (2018): Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs von Gemüse/ Obst/ Erdäpfeln in Österreich (in kg). Online verfügbar unter https://amainfo.at/ueber-uns/marktinformationen/?tx_kwamadownload_kwamadl%5Bdownloaduid%5D=2182&cHash=876ae7d8faf1ead72a24657d6f043ca6, zuletzt aktualisiert am 14.09.2018, zuletzt geprüft am 12.12.2018.

ARA (2018): Transparenzbericht. Online verfügbar unter https://www.ara.at/fileadmin/user_upload/ARA_Transparenzbericht_2018.pdf, zuletzt geprüft am 09.05.2019.

Barnes, Stuart J. (2019): Understanding plastics pollution: The role of economic development and technological research. In: *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)* 249, S. 812–821. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.03.108.

Bergmair, Johannes; Washüttl, Michael; Wepner, Beatrix (2012): Prüfpraxis für Kunststoffverpackungen. Lebensmittel-, Pharma- und Kosmetikverpackungen. 2. überarb. Aufl. Hamburg: Behr (Pathogene Mikroorganismen).

BIO Intelligence Service (2012): Assessment of resource efficiency in the food cycle, Final report. prepared for European Commission (DG ENV) in collaboration with AEA, Dr Donal Murphy-Bokern. Institute of Social Ecology Vienna and Institute for Environmental Studies.

Bleisch, Günter; Langowski, Horst-Christian; Majschak, Jens-Peter (2014): Lexikon Verpackungstechnik. 2. Aufl. [stark überarb., erg. und erw.]. Hamburg: Behr.

BMGF (2018): Österreichische Ernährungspyramide. Online verfügbar unter https://www.bmgf.gv.at/home/Ernaehrungspyramide, zuletzt geprüft am 12.12.2018.

BMLFUW (2014): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten (Verpackungsverordnung). BGBl. II Nr. 184/2014, zuletzt geprüft am 10.12.2018.

Bovi, Graziele G.; Caleb, Oluwafemi J.; Klaus, Eylin; Tintchev, Filip; Rauh, Cornelia; Mahajan, Pramod V. (2018): Moisture absorption kinetics of FruitPad for packaging of fresh strawberry. In: *Journal of Food Engineering* 223, S. 248–254. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.10.012.

Bovi, Graziele G.; Caleb, Oluwafemi J.; Linke, Manfred; Rauh, Cornelia; Mahajan, Pramod V. (2016): Transpiration and moisture evolution in packaged fresh horticultural produce and the role of integrated mathematical models: A review. In: *Biosystems Engineering* 150, S. 24–39. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.07.013.

Breuers Verpackungen (2016): Clipband & Clipdraht. Datenblatt. Online verfügbar unter https://breuers-verpackungen.de/dokumente/datenblatt-clipband.pdf, zuletzt aktualisiert am 2016, zuletzt geprüft am 14.05.2019.

Buchner, Norbert S. (2012): Verpackung von Lebensmitteln. Lebensmitteltechnologische, verpackungstechnische und mikrobiologische Grundlagen. 1., Softcover reprint of the original 1st ed. 1999. Berlin: Springer Berlin.

Dhall, Rajinder Kumar; Sharma, Sanjeev R.; Mahajan, B. V. C. (2012): Effect of shrink wrap packaging for maintaining quality of cucumber during storage. In: *Journal of food science and technology* 49 (4), S. 495–499. DOI: 10.1007/s13197-011-0284-5.

Dobrucka, Renata (2019): BIOPLASTIC PACKAGING MATERIALS IN CIRCULAR ECONOMY. In: *Logforum* 15 (1), S. 129–137. DOI: 10.17270/J.LOG.2019.322.

EEA (2018): Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2016 and inventory report 2018. European Environment Agency. Online verfügbar unter https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2018.

Erni-Cassola, Gabriel; Zadjelovic, Vinko; Gibson, Matthew I.; Christie-Oleza, Joseph A. (2019): Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis. In: *Journal of hazardous materials* 369, S. 691–698. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.02.067.

Eurostat (2017): Treibhausgasemissionen. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=sdg_13_10&language=de, zuletzt aktualisiert am 17.08.2018, zuletzt geprüft am 24.06.2019.

Eurostat (2019a): Rate der stofflichen Verwertung von Verpackungsabfällen. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=de&pcode=ten00063, zuletzt aktualisiert am 15.02.2019, zuletzt geprüft am 17.04.2019.

Eurostat (2019b): Verpackungsabfälle nach Abfallbewirtschaftungsmaßnahmen und Abfallströmen. Online verfügbar unter http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_waspac&lang=de, zuletzt aktualisiert am 15.02.2019, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

Eurostat (2019c): Abfallaufkommen nach Abfallkategorie. Abfälle insgesamt. Online verfügbar unter http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasgen&lang=de, zuletzt aktualisiert am 27.02.2019, zuletzt geprüft am 11.04.2019.

FH Campus Wien (2019): Circular Packaging Design Guideline. Empfehlungen für die Gestaltung recyclinggerechter Verpackungen, zuletzt geprüft am 09.05.2019.

Filho, Walter Leal; Havea, Peni Hausia; Balogun, Abdul-Lateef; Boenecke, Juliane; Maharaj, Anish Anit; Ha'apio, Michael; Hemstock, Sarah L. (2019): Plastic debris on Pacific Islands: Ecological and health implications. In: *Science of The Total Environment* 670, S. 181–187. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.181.

Gustavsson, Jenny; Cederberg, Christel; Sonesson, Ulf (2011): Global food losses and food waste. Extent, causes and prevention. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

IPCC (2014): Climate change 2013. The physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von T. F. Stocker, Qin D., G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung et al. Cambridge: Cambridge University Press.

Kaßmann, Monika (Hg.) (2014): Grundlagen der Verpackung. Leitfaden für die fächerübergreifende Verpackungsausbildung. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Beuth Verlag GmbH (Beuth Studium).

Kirwan, M. J. (2011): Paper and Paperboard Packaging. In: Mark J. Kirwan (Hg.): Food and beverage packaging technology. 2nd ed. Ames, Iowa: Wiley, S. 213–250, zuletzt geprüft am 10.01.2019.

McAirlaid's (2019): FruitPad. Online verfügbar unter https://www.mcairlaids.net/eu_de/produkte/lebensmittel/fruitpad.html, zuletzt geprüft am 29.05.2019.

Meier Verpackungen (2019a): Verpackungen für Obst und Gemüse. Kartonschalen. Online verfügbar unter http://www.meierverpackungen.at/var/meier/storage/ilcatalogue/files/pdf/Schalen_aus_Wellpappe_Verpackungen_fuer_Obst___Gemuese_468.pdf, zuletzt aktualisiert am 28.01.2019.

Meier Verpackungen (2019b): Verpackungen für Obst & Gemüse. Apfelbeutel auf Rolle. Online verfügbar unter http://www.meierverpackungen.at/var/meier/storage/ilcatalogue/files/pdf/Apfelbeutel_auf_Rolle_Verpackungen_fuer_Obst___Gemuese_386.pdf, zuletzt aktualisiert am 28.01.2019, zuletzt geprüft am 29.05.2019.

Meier Verpackungen (2019c): Verpackungen für Obst & Gemüse. Gewirkte Netze. Online verfügbar unter http://www.meierverpackungen.at/var/meier/storage/ilcatalogue/files/pdf/Gewirkte_Netze_Verpackungen_fuer_Obst___Gemuese_453.pdf, zuletzt aktualisiert am 28.01.2019, zuletzt geprüft am 29.05.2019.

Meier Verpackungen (2019d): Verpackungen für Obst & Gemüse. Kartoffelbeutel aus Papier. Online verfügbar unter http://www.meierverpackungen.at/var/meier/storage/ilcatalogue/files/pdf/Kartoffelb

eutel_aus_Papier_Verpackungen_fuer_Obst___Gemuese_395.pdf, zuletzt aktualisiert am 28.01.2019, zuletzt geprüft am 29.05.2019.

Meier Verpackungen (2019e): Verpackungen für Obst & Gemüse. Kunststoffschalen mit Deckel. Online verfügbar unter http://www.meierverpackungen.at/var/meier/storage/ilcatalogue/files/pdf/Kunststoffschalen_mit_Deckel_Verpackungen_fuer_Obst___Gemuese_469.pdf, zuletzt aktualisiert am 28.01.2019, zuletzt geprüft am 29.05.2019.

NABU (2017): Vorverpackungen bei Obst und Gemüse. Zahlen und Fakten 2010 bis 2016. Aktualisierte Auflage 2017. 2. Auflage. Naturschutzbund Deutschland. Berlin. Online verfügbar unter https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/konsumressourcenmuell/180419-nabu-obst-gemuese-verpackungen-studie.pdf.

NASA, (National Aeronautics and Space Administration); NOAA, (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2018): Long-Term Warming Trend Continued in 2017. Online verfügbar unter https://www.giss.nasa.gov/research/news/20180118/, zuletzt aktualisiert am 18.01.2018.

NATURABIOMAT (2017): Umweltschonende Verpackungen aus NAWARO - ein Gebot der Stunde. Online verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/events/20171204/14_margreiter_naturabiomat.pdf?m=1512379381, zuletzt aktualisiert am 04.12.2017, zuletzt geprüft am 10.05.2019.

NNZ (2019): Kartonschalen. Online verfügbar unter https://www.nnz.at/kartonschalen-3.html, zuletzt geprüft am 02.07.2019.

NOAA, (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2018): 2017 was 3rd warmest year on record for the globe. Online verfügbar unter https://www.noaa.gov/news/noaa-2017-was-3rd-warmest-year-on-record-for-globe, zuletzt aktualisiert am 18.01.2018.

Oeller, Franz (2019): FTIR Messtiefe. Wien, 04.04.2019. E-Mail an Ulla Gürlich.

OHAUS (2019): Ohaus PA4202. Pioneer Analytical/Precision Balance, Capacity 4200g, Readability 10mg, Platform. Online verfügbar unter http://www.testequipmentdepot.com/ohaus/scales/analytical-precision-balances/pioneer-analytical/pioneer-analytical-precision-balance-4200g-pa4202.htm, zuletzt geprüft am 24.01.2019.

Payen, Sandra; Basset-Mens, Claudine; Perret, Sylvain (2015): LCA of local and imported tomato: an energy and water trade-off. In: *Journal of Cleaner Production* 87, S. 139–148. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.007.

PerkinElmer (2011): FTIR- Spektrometer. Spectrum Two Benutzerhandbuch, zuletzt geprüft am 02.05.2019.

Recycling.com (2016): Universal Recycling Symbol. Online verfügbar unter https://www.recycling.com/downloads/recycling-symbol/, zuletzt aktualisiert am 20.06.2016, zuletzt geprüft am 31.01.2019.

Robertson, Gordon L. (2016): Food Packaging. Principles and Practice, Third Edition. 3rd ed. Hoboken: CRC Press.

Rust, Petra; Hasenegger, Verena; König, Jürgen (2017): Österreichischer Ernährungsbericht. 2017. Universität Wien und Bundesministerium für Gesundheit und Frauen. Wien. Online verfügbar unter https://broschuerenservice.sozialministerium.at/Home/Download?publicationId=528.

Sala, Serenella; Cerutti, Alessandro Kim; Pant, Rana (2018): Development of a weighting approach for the Environmental Footprint. Hg. v. Publications Office of the European Union. European Union. Luxembourg. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/documents/2018_JRC_Weighting_EF.pdf.

Schutter, Liesbeth de; Bruckner, Martin; Giljum, Stefan (2015): ACHTUNG: HEISS UND FETTIG – KLIMA & ERNÄHRUNG IN ÖSTERREICH. Auswirkungen der österreichischen Ernährung auf das Klima. Hg. v. WWF Österreich. Wien.

Sebille, Erik van; England, Matthew H.; Froyland, Gary (2012): Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. In: *Environ. Res. Lett.* 7 (4), S. 44040. DOI: 10.1088/1748-9326/7/4/044040.

Septembre-Malaterre, Axelle; Remize, Fabienne; Poucheret, Patrick (2018): Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: Changes in bioactive compounds during lactic fermentation. In: *Food research international (Ottawa, Ont.)* 104, S. 86–99. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.09.031.

Shen, Li; Haufe, Juliane; Patel, Martin K. (2009): Product overview and market projection of emerging bio-based plastics. PRO-BIP 2009 Final Report. Group Science, Technology and Society; Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation; Utrecht University. Utrecht, zuletzt geprüft am 16.01.2019.

Sousa Gallagher, M. J.; Mahajan, P. V. (2011): The stability and shelf life of fruit and vegetables. In: David Kilcast und Persis Subramaniam (Hg.): Food and beverage stability and shelf life. Oxford, Philadelphia: Woodhead Pub (Woodhead Publishing series in food science, technology and nutrition no. 210), S. 641–656, zuletzt geprüft am 02.01.2019.

Statista (2019a): Marktanteile der führenden Unternehmen im Lebensmitteleinzelhandel in Österreich im Jahr 2017. Online verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/273211/umfrage/marktanteile-im-lebensmitteleinzelhandel-in-oesterreich/#0, zuletzt geprüft am 24.01.2019.

Statista (2019b): Weltweiter CO2-Ausstoß in den Jahren 1960 bis 2017 (in Millionen Tonnen). Online verfügbar unter

https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37187/umfrage/der-weltweite-co2-ausstoss-seit-1751/.

Steininger, Karl W.; König, Martin; Bednar-Friedl, Birgit; Kranzl, Lukas; Loibl, Wolfgang; Prettenthaler, Franz (Hg.) (2015): Economic Evaluation of Climate Change Impacts. Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria. Cham, s.l.: Springer International Publishing (Springer Climate).

Strimitzer, Lorenz; Höher, Martin (2015): Biokunststoffe in Österreich. Ein Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:828d1f22-25ea-4499-b78e-6f4698d05cc5/Biokunststoffe_2015.pdf, zuletzt geprüft am 10.01.2019.

Tillich, Martin (2018): 17 Plastikverpackungen, die an der Menschheit zweifeln lassen. Online verfügbar unter https://utopia.de/absurde-plastikverpackungen-17699/, zuletzt aktualisiert am 16.08.2018.

TIS (2018): Funktionen der Verpackung. Transport-Informations-Service. Online verfügbar unter http://www.tis-gdv.de/tis/verpack/funktion/funktion.htm, zuletzt aktualisiert am 17.09.2018, zuletzt geprüft am 11.12.2018.

UNFCCC (2012): Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011. Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session. United Nations Framework Convention on Climate Change. Online verfügbar unter https://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a02.pdf, zuletzt geprüft am 24.06.2019.

van Eygen, Emile; Laner, David; Fellner, Johann (2018): Circular economy of plastic packaging: Current practice and perspectives in Austria. In: *Waste management (New York, N.Y.)* 72, S. 55–64. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.11.040.

Vermeulen, Sonja J.; Campbell, Bruce M.; Ingram, John S.I. (2012): Climate Change and Food Systems. In: *Annu. Rev. Environ. Resour.* 37 (1), S. 195–222. DOI: 10.1146/annurev-environ-020411-130608.

Wilson, L. G.; M. D., Boyette; E. A., Estes (1999): Postharvest handling and cooling of fresh fruit, vegetables, and flowers for small farms. In: *NC State Extension Publications* (Horticulture Information Leaflet 800). Online verfügbar unter https://content.ces.ncsu.edu/static/publication/js/pdf_js/web/viewer.html?slug=part-1-quality-maintenance-postharvest-handling-and-cooling-of-fresh-fruits-vegetables-and-flow.

Wohner, Bernhard; Pauer, Erik; Heinrich, Victoria; Tacker, Manfred (2019): Packaging-Related Food Losses and Waste: An Overview of Drivers and Issues. In: *Sustainability* 11 (1), S. 264. DOI: 10.3390/su11010264.