

2017 • 2018
Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: verpakkingstechnologie

Masterthesis

Onderzoek naar invloed en eliminatie van aminozuur bevattende poedercontaminatie op de warmte seals van meerlaagse stazak verpakkingen

PROMOTOR :

Prof. dr. Rosa PEETERS

PROMOTOR :

ing. Dietmar BERNAERS

BEGELEIDER :

ing. Bram BAMPS

Sophie Christiaens

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen:
verpakkingstechnologie



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE-3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE-3500 Hasselt



2017 • 2018

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: verpakkingstechnologie

Masterthesis

Onderzoek naar invloed en eliminatie van aminozuur bevattende poedercontaminatie op de warmte seals van meerlaagse stazak verpakkingen

PROMOTOR :

Prof. dr. Rosa PEETERS

PROMOTOR :

ing. Dietmar BERNAERS

BEGELEIDER :

ing. Bram BAMPS

Sophie Christiaens

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen:
verpakkingstechnologie



KU LEUVEN

Woord vooraf

Dit eindwerk kadert in de afronding van mijn masteropleiding industriële wetenschappen verpakkingstechnologie. Het is een uitgelezen kans om de verworven kennis van de afgelopen jaren om te zetten in een eigen onderzoek toegepast op het werkveld. De keuze om onderzoek te voeren voor het bedrijf Aminolabs, dat sport- en voedingssupplementen ontwikkelt, produceert en verpakt, vloeit voort uit mijn interesse voor de voedingsindustrie. Bij het verpakken van voedingsmiddelen moet aan strikte eisen voldaan worden wat een extra uitdaging met zich meebrengt. Met het onderzoek naar de invloed en eliminatie van aminozuur bevattende poeder-contaminatie op de warmte seals van de meerlaagse stazak verpakkingen van Aminolabs kon ik mijn kennis uitbreiden en een bijdrage leveren aan het bedrijf. Al snel bleek dat bij dit project veel meer kwam kijken dan aanvankelijk verwacht, wat mij tot een sterker persoon gemaakt heeft. Zo heb ik uit het project meer dan ooit geleerd om initiatief te nemen en zelfstandig te werk te gaan om tot resultaten te komen.

Als eerste wens ik mijn stagepromotor ing. Dietmar Bernaers en de hele organisatie binnen Aminolabs te bedanken voor de aangename samenwerking en de vrijheid die mij gelaten werd om dit project uit te voeren. Mijn dank voor de kans om de onderzoekswereld te kunnen ontdekken en reeds contact te kunnen maken met de werkvloer.

Speciale dank voor ing. Bram Bamps van het VerpakkingsCentrum. Hij heeft mij enorm goed begeleid bij het uitvoeren van de sealtesten. Ook na de testen stuurde hij mij daar waar mogelijk bij om de resultaten op een correcte manier te beschrijven

Daarnaast wil ik ook mijn interne promotor prof. dr. Peeters bedanken voor de deskundige begeleiding. Zij zorgde ervoor dat mijn project in een academische vorm gegoten kon worden en stond altijd klaar indien er zich moeilijkheden voordeden.

Ook wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor de steun tijdens mijn hele opleiding. Zij zorgden ervoor dat ik mijn studie en ook dit project steeds gemotiveerd ten einde heb kunnen brengen.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen	5
Lijst met afbeeldingen	7
Verklarende woordenlijst	11
Abstract	13
Abstract in English	15
1 Inleiding	17
2 Aminolabs	19
2.1 Producten	19
2.2 Productieproces	19
2.3 Verpakkingen	21
2.4 Verpakkingsproces	21
2.4.1 <i>Vulproces</i>	21
2.4.2 <i>Sealproces</i>	22
2.4.3 <i>Lekdetectie</i>	23
2.5 Kwaliteitsgarantie.....	23
3 Onderzoeksopzet	25
3.1 Onderzoeksvraag.....	25
3.2 Doelstellingen	25
3.3 Methodiek	25
4 Literatuur	27
4.1 Sport- en gezondheidssupplementen	27
4.1.1 <i>Gezondheidssupplementen</i>	27
4.1.2 <i>Sportsupplementen</i>	27
4.2 Stofprobleem poeder.....	29
4.2.1 <i>Stoffigheid algemeen</i>	29
4.2.2 <i>Stoffigheid sportsupplementen Aminolabs</i>	30
4.2.3 <i>Stofreducerende technieken</i>	31
4.3 Flexibele verpakkingen.....	34
4.4 Sealsluiting.....	35
4.4.1 <i>Sealtechnieken</i>	35
4.4.2 <i>Sealsterkte</i>	36
4.4.3 <i>Sealdefecten</i>	41

4.5	Lekdetectie.....	44
4.5.1	<i>Reden gebruik lekdetectie.....</i>	44
4.5.2	<i>Keuze goede lekdetectiemethode</i>	44
4.5.3	<i>Soorten lekdetectiemethodes</i>	45
5	Procesoptimalisatie manuele verpakkingslijn Aminolabs	55
5.1	Materiaal & Methode.....	55
5.1.1	<i>Stoffigheid ingrediënten Aminolabs</i>	55
5.1.2	<i>Optimalisatie vulproces/ stof reducerende technieken.....</i>	58
5.1.3	<i>Onderzoek invloed contaminatie op sealsterkte</i>	58
5.1.4	<i>Implementatie lekdetectiesysteem</i>	62
5.1.5	<i>Automatisatie manuele verpakkingslijn</i>	62
5.2	Resultaten en discussie	63
5.2.1	<i>Stoffigheid ingrediënten Aminolabs</i>	63
5.2.2	<i>Optimalisatie vulproces/ stof reducerende technieken.....</i>	70
5.2.3	<i>Onderzoek invloed contaminatie op sealsterkte</i>	73
5.2.4	<i>Implementatie lekdetectiesysteem</i>	87
5.2.5	<i>Automatisatie manuele verpakkingslijn</i>	90
6	Conclusie	99
	Bibliografie	101
	Bijlagen	107
	Bijlage A: Samenvatting kenmerken lekdetectiesystemen	107
	Bijlage B: Doorsnedes zuivere en gecontamineerde seals.....	108
	Bijlage C: Contaminatiegraad seal	111
	Bijlage D: Sealcurven.....	117
	Bijlage E: Trekcurven	119
	Bijlage F: Curves sealenergie	124

Lijst van tabellen

Tabel 1: Samenvatting kenmerken visuele lekdetectie	45
Tabel 2: Samenvatting kenmerken camera vision methode	46
Tabel 3: Samenvatting kenmerken bubble test detectiemethode	47
Tabel 4: Samenvatting kenmerken pressure difference methode	47
Tabel 5: Samenvatting kenmerken Vacuum decay methode.....	48
Tabel 6: Samenvatting kenmerken Tracer gases methode	49
Tabel 7: Samenvatting kenmerken ultrasound methode	50
Tabel 8: Samenvatting kenmerken x-ray inspectie	51
Tabel 9: Samenvatting kenmerken thermal imaging inspectie	52
Tabel 10: Samenvatting kenmerken vibration analysis inspectie	52
Tabel 11: Samenvatting kenmerken High Voltage Leak Detection methode.....	53
Tabel 12: Poedermengsels van 100 g met gegeven verhouding	56
Tabel 13: Multilayer samenstelling geteste films	59
Tabel 14: Eigenschappen mengsels: vochtgehalte, bulkdichtheid, klopdichtheid en gemiddelde dichtheid	63
Tabel 15: Ordening stoffigheid van erg stoffend naar weinig stoffend.....	68
Tabel 16: Lekdichtheid warme balkseals film 1: zuiver-BCAA – Instant- Non Instant (Dye Penetration)	75
Tabel 17: Lekdichtheid warme balkseals film 2: zuiver-BCAA – Instant- Non Instant (Dye Penetration)	75
Tabel 18: Lekdichtheid zuivere, hete luchtseals film 1- film 3- film 2-film 4 – film 5 (Dye Penetration)	75
Tabel 19: Sealsterktes folies geseald met hot air sealer	79
Tabel 20: Oorzaken verbreking seal film 1 zuiver.....	81
Tabel 21: Oorzaken verbreking seal film 1 BCAA.....	81
Tabel 22: Oorzaken sealverbrekingen zuivere seals verkregen met hot air sealer.....	82
Tabel 23: Dicht zijn van de films 1 en 2 geseald op bulklijn 1 en 3 in Aminolabs	86
Tabel 24: Overzicht aantal verpakkingen per formaat 9 jan. t.e.m. 27 okt. 2017	90
Tabel 25: Overzicht meest geproduceerde producten afgelopen jaar	91
Tabel 26: Productie wei-eiwitshake opgedeeld in de verschillende smaakstoffen	92
Tabel 27: Productieplanning wei-eiwit leverancier a bij automatisering	94
Tabel 28: Overzicht mengvaten en containers.....	95
Tabel 29: Aantal containerwissels per product.....	96
Tabel 30: Terugverdientijd investering automatisering t.o.v. manuele lijn wei-eiwit	97
Tabel 31:Terugverdientijd investering automatisering t.o.v. manuele lijn 12 meest geproduceerde producten.....	98
Tabel 32: Hoeveelheid BCAA contaminatie tussen seal film 1.....	111
Tabel 33: Hoeveelheid non instant wei contaminatie tussen seal film 1	112
Tabel 34: Hoeveelheid instant wei contaminatie tussen seal film 1.....	113
Tabel 35: Hoeveelheid BCAA contaminatie tussen seal film 2.....	114
Tabel 36: Hoeveelheid non instant wei contaminatie tussen seal film 2	115
Tabel 37: Hoeveelheid instant whey contaminatie tussen seal film 2.....	116
Tabel 38: Sealverbreking seal film 1 Non instant.....	119
Tabel 39: Sealverbreking film 1 Instant	120
Tabel 40: Oorzaken verbreking seal film 2 zuiver.....	120
Tabel 41: Sealverbreking film 2 BCAA.....	121
Tabel 42: Sealverbreking film 2 Non instant.....	121

Tabel 43: Sealverbreking film 2 Instant	122
Tabel 44: Oorzaken verbreking seal film 1 hot air	122
Tabel 45: Oorzaken verbreking seal film 3 hot air	122
Tabel 46: Sealverbreking film 2 hot air.....	123
Tabel 47: Sealverbreking film 4 hot air.....	123
Tabel 48: Oorzaken verbreking seal film 5 hot air	123

Lijst met afbeeldingen

Figuur 1: Poederresten die achterblijven op het sealgebied	17
Figuur 2: Afwegen grondstoffen.....	19
Figuur 3: Stortbak voor menging.....	19
Figuur 4: Rotatief mengen in verticaal mengvat.....	20
Figuur 5: Verticale mengvaten	20
Figuur 6: Opslagvaten	20
Figuur 7: Verpakkingen sportsupplementen	21
Figuur 8: Verpakkingen gezondheidssupplementen	21
Figuur 9: Schroefdoseermachine Servofill SF-III.....	21
Figuur 10: Schroefdoseermachine Servofil SFI-III	21
Figuur 11: Inwendige werking Servofill SF-III	22
Figuur 12: Trechter Servofill SF-III in detail	22
Figuur 13: Binnenkant Fischbein-saxon SH 1000 hot air seal-apparaat	23
Figuur 14: Fischbein-saxon SH 1000 hot air seal-apparaat	23
Figuur 15: Specificaties Fischbein-saxon SH 1000 hot air seal-apparaat	23
Figuur 16: Cohesie- en zwaartekracht op poederpartikels	29
Figuur 17: Gebalanceerd atoom-atoom met netto positieve lading-atoom met netto negatieve lading	32
Figuur 18: Neutralisatie via ionisator	33
Figuur 19: Ionisatoren van het type AC (links) en DC (rechts)	33
Figuur 20: Meerlaagse materialen van stazak met a) hoge barrière b) lage tot medium barrière	34
Figuur 21: S-vormige sealcurve met seal initiatie en plateau initiatie temperatuur	37
Figuur 22: Verbreken seal via peel	39
Figuur 23: Verbreken seal via delaminatie.....	39
Figuur 24: Verbreken seal via tear.....	40
Figuur 25: Verbreken seal via combinatie tear en delaminatie.....	40
Figuur 26: a) Schuur op verpakkingseal, b) Luchtbelletjes in seal, c) Kanaallek in verpakkingseal	41
Figuur 27: a) Delaminatie ter hoogte van verpakkingseal, b) Gecontamineerde seal , c) Indrukking in seal	42
Figuur 28: a) Seal niet parallel aan wand, b) Slecht uitgelijnde seal, c) Slecht hechtende seal	42
Figuur 29: a) Draderige seal, b) Plooiën/kreukels in seal	43
Figuur 30: Camera vision 'Perceptics SealSafe'	46
Figuur 31: Bubble test 'Leak Detector Master Easy'	46
Figuur 32: Pressure difference methode: Blueprint Automation Seal Checker	47
Figuur 33: Vacuum decay methode: PTI Veripac	48
Figuur 34: Ultrasonische transmitter en receiver	49
Figuur 35: Ultrasonische golven doorheen meerlaags materiaal; bovenaan zonder defect, onderaan met lek	49
Figuur 36: L-scan (onderaan) en C-scan (bovenaan)	50
Figuur 37: X-ray inspectie systeem	51
Figuur 38: Thermal imaging technologie. links: infraroodbeeld slechte seal, rechts: goede seal.....	51
Figuur 39: Vibratiepatroon goede seal	52
Figuur 40: Vibratiepatroon slechte seal.....	52
Figuur 41: High Voltage Leak Detection methode	53
Figuur 42: Analytische balans OHAUS	57
Figuur 43: Poedermixer.....	57
Figuur 44: Klop-dichtheidsmeter van Sotax	57
Figuur 45: Vochtmetrator OHAUS	58

Figuur 46: HST-H3 Heat Seal Tester.....	60
Figuur 47: a) Hot air sealer met draadvormig profiel, b) Draadvormig profiel, c) Draadvormig profiel	61
Figuur 48: MTS trekbank.....	61
Figuur 49: Suiker	64
Figuur 50: Inzoom suiker	64
Figuur 51: BCAA.....	65
Figuur 52: Inzoom BCAA	65
Figuur 53: Maldex	65
Figuur 54: Statisch geladen maldex	65
Figuur 55: Glucidex	66
Figuur 56: Inzoom glucidex	66
Figuur 57: Geïntantiseerd wei eiwit	66
Figuur 58: Geïntantiseerd wei eiwit blijft in vorm schepje.....	66
Figuur 59: Niet-geïntantiseerd wei eiwit	67
Figuur 60: Statisch geladen niet-geïntantiseerd wei eiwit	67
Figuur 61: Microscoopvergroting 20x links: BCAA, rechts: geïntantiseerd wei-eiwit	69
Figuur 62: Microscoopvergroting 20x niet-geïntantiseerd wei-eiwit	69
Figuur 63: a) Statische lading wei-eiwit, b) Statische lading wei-eiwit tussen film 2, c) ongeladen film 1	70
Figuur 64: Simco-ion air ionizing cartridge 6110A.....	71
Figuur 65: Testen van de simco-ion air ionizing cartridge 6110A	71
Figuur 66: Eén-punt sluiting model tweede orde – Reynolds stress model.....	72
Figuur 67: Contaminatie niet-geïntantiseerd wei-eiwit	73
Figuur 68: Contaminatie geïntantiseerd wei-eiwit	73
Figuur 69: Doorsnede vlakke folie 1.....	73
Figuur 70: Doorsnede vlakke folie 2.....	73
Figuur 71: Doorsnede film 1 Instant wei 200°C.....	74
Figuur 72: Doorsnede film 2 Instant wei 200°C.....	74
Figuur 73: S-curves film 1 zuiver, met BCAA, non Instant en Instant	77
Figuur 74: S-curves film 2 zuiver, met BCAA, non Instant en Instant	77
Figuur 75: Doorsnede film 2 Non instant 140°C.....	78
Figuur 76: Doorsnede film 2 Instant 140°C	78
Figuur 77: Sealsterktes zuivere films 1 en 2 met warme balken en hot air	79
Figuur 78: a) Peel, b) Tear + delaminatie, c) Laterale insnijding, d) Tear	80
Figuur 79: Trekcurves film 1 zuiver	81
Figuur 80: Trekcurves film 1 BCAA	81
Figuur 81: Typische tearcurve	83
Figuur 82: Typische delaminatiecurve	83
Figuur 83: Typische peelcurve	83
Figuur 84: Combinatie peel, tear en laterale insnijding	83
Figuur 85: Sealsterkte- en energie film 1 Non Instant	84
Figuur 86: Sealsterkte- en energie film 2 Non Instant	84
Figuur 87: Delaminatie bij te hoge sealtemperaturen a) film 2, b) film 1	86
Figuur 88: Pillow bag	87
Figuur 89: Stazak	87
Figuur 90: Doorsnede film 1 zuiver 140°C	108
Figuur 91: Doorsnede film 1 BCAA 140°C	108
Figuur 92: Doorsnede film 1 Non instant 140°C	108
Figuur 93: Doorsnede film 1 Instant 140°C	108

Figuur 94: Doorsnede film 2 zuiver 140°C	109
Figuur 95: Doorsnede film 2 BCAA 140°C	109
Figuur 96: Doorsnede film 2 Non instant 140°C	109
Figuur 97: Doorsnede film 2 Instant 140°C	109
Figuur 98: Doorsnede film 1 zuiver 200°C	109
Figuur 99: Doorsnede film 1 BCAA 200°C	109
Figuur 100: Doorsnede film 1 Non Instant 200°C	110
Figuur 101: Doorsnede film 1 Instant 200°C	110
Figuur 102: Doorsnede film 2 zuiver 200°C	110
Figuur 103: Doorsnede film 2 BCAA 200°C	110
Figuur 104: Doorsnede film 2 Non Instant 200°C	110
Figuur 105: Doorsnede film 2 Instant 200°C	110
Figuur 106: S-curve zuivere film 1 en 2.....	117
Figuur 107: S-curve film 1 en film 2 met BCAA	117
Figuur 108: S-curve film 1 en film 2 met Non Instant wei	118
Figuur 109: S-curve film 1 en film 2 met Instant wei	118
Figuur 110: Trekcurves film 1 Non instant	119
Figuur 111: Trekcurves film 1 Instant.....	120
Figuur 112: Trekcurves film 2 zuiver	120
Figuur 113: Trekcurves film 2 BCAA	121
Figuur 114: Trekcurves film 2 Non Instant	121
Figuur 115: Trekcurves film 2 Instant.....	122
Figuur 116: Trekcurves film 1 hot air 275°C	122
Figuur 117 : Trekcurves film 3 hotair 275°C	122
Figuur 118: Trekcurves film 2 hotair 250°C	123
Figuur 119: Trekcurves film 4 hotair 250°C	123
Figuur 120 : Trekcurves film 5 hotair 250°C	123
Figuur 121: Sealsterkte- en energie film 1 zuiver	124
Figuur 122: Sealsterkte- en energie film 1 BCAA.....	124
Figuur 123: Sealsterkte- en energie film 1 Non Instant	124
Figuur 124: Sealsterkte- en energie film 1 Instant	125
Figuur 125: Sealsterkte- en energie film 2 zuiver	125
Figuur 126: Sealsterkte- en energie film 2 BCAA.....	125
Figuur 127: Sealsterkte- en energie film 2 Non Instant	126
Figuur 128: Sealsterkte- en energie film 2 Instant	126

Verklarende woordenlijst

%	Procent
°C	Graden Celsius
µm	micrometer
A.d.h.v.	Aan de hand van
ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
BCAA	<i>Branched chain amino acids</i>
Cm	Centimeter
Cm ²	Vierkante centimeter
CO ₂	Koolstofdioxide
Etc.	Et cetera
g	Gram
H ₂	Waterstof
HDPE	Hoge dichtheid polyethyleen
HVLD	<i>High voltage leak detection</i>
I.f.v.	In functie van
I.p.v.	In plaats van
Kg	Kilogram
kHz	Kilohertz
kV	Kilovolt
LDPE	Lage dichtheid polyethyleen
LLDPE	Lineair lage dichtheid polyethyleen
m ²	Vierkante meter
MAP	<i>Modified atmosphere packaging</i>
M.b.v.	Met behulp van
MHz	Megahertz
mm	Milimeter
mLLDPE	Metalloceen lineair lage dichtheid polyethyleen
MCPP	<i>Metallocene catalysed polypropylene</i>
N ₂	Stikstof
OPP	<i>Oriented polypropylene</i>
PE	Polyethyleen
PET	Polyethyleentereftalaat
Sec.	Seconden
T.e.m.	Tot en met
T.o.v.	Ten opzichte van
UV	Ultraviolet
Vb.	Voorbeeld

Abstract

Bij het vullen van stazakken met poeders heeft het bedrijf Aminolabs te maken met stofemissie wat leidt tot contaminatie van de seal. Deze masterproef heeft als doel om de invloed en eliminatie van contaminatie op de warmte seals te onderzoeken.

De stoffigheid van poeders werd vergeleken met behulp van de bulk- en klopdensiteit en het vochtgehalte. Testen werden uitgevoerd om de lektheid en de sealsterkte te bepalen van zuivere en gecontamineerde warme balk- en warme luchtseals. Films, contaminatie, sealtechnologieën en sealparameters werden gevarieerd om de invloed te achterhalen op de sealperformantie.

Vertakte keten aminozuren en wei-eiwit zijn stoffiger dan geïntantiseerd wei-eiwit deels door hun hogere dichtheid en lager vochtgehalte. Uit de sealtesten blijkt dat contaminatie op de seal een verminderde sealsterkte geeft en dat de films binnen specifieke temperatuurgrenzen geseald moeten worden voor een goede sealperformantie. Ionisatie om de contaminatie te reduceren bleek niet effectief. Geschikte lekdetectiesystemen voor Aminolabs zijn de *ultrasound*, *thermal* en *vibration* inspectie die de implementatie van een prijzige visierobot vereisen in de manuele lijn. Automatisatie van de lijn blijkt momenteel inefficiënt omwille van de beperkte *batch*-groottes. Verder onderzoek naar het aanpassen van de vulgraad, het optimaliseren van het filmoppervlak en de afzuigsystemen of het gebruik van een andere sealtechniek en verbeterde polymeren kan de gecontamineerde sealperformantie mogelijk verbeteren in de toekomst.

Abstract in English

When filling their pouches with powders, the company Aminolabs is dealing with dust emission leading to contamination of the seal. This Master's thesis aims to investigate the influence and elimination of contamination on the heat seals.

The dustiness of powders was compared by determining the bulk density, tap density and moisture content. Tests were conducted to determine the leak-tightness and seal strength of clean and contaminated hot bar and hot air seals. Films, contamination, sealing technology and seal parameters were varied to determine their influence on the seal performance.

Branched chain amino acids and whey proteins are dustier than instant whey proteins partly due to their higher density and lower moisture content. The seal tests show that contamination on the seal is accompanied by a reduced seal strength and that the films have to be sealed within specific temperature limits for a good seal performance. The use of ionisation to reduce the contamination was ineffective. Suitable leak detection systems for Aminolabs are the ultrasound, thermal and vibration inspection, which require the implementation of a costly vision robot in the manual line. A transition to an automatic line is currently inefficient due to the limited batch sizes. Further research into adjusting the filling level, optimizing the film surface and the dust extraction systems or using a different sealing technique and improved polymers may possibly improve the contaminated seal performance in the future.

1 Inleiding

Aminolabs, gelegen op de Research Campus te Hasselt, is een hoogtechnologisch bedrijf dat sport- en voedingssupplementen ontwikkelt, produceert en verpakt onder de merknaam van zijn klanten. Het bedrijf werd opgericht in 1993 en is ondertussen uitgegroeid tot een wereldspeler in de markt van aminozuren en voedingssupplementen. Naast het hoofdkantoor in Hasselt heeft Aminolabs ook een *sales* en *marketing* kantoor in Eindhoven en in Dubai. Aminolabs levert zijn producten aan *business-to-business* klanten verspreid over meer dan 30 landen [1].

Bij een aantal verpakkingen binnen Aminolabs worden er lekken gedetecteerd. Meer specifiek gaat het om stazakken, *stand-up pouches* genoemd op de werkvloer, gevuld met poeders, die voeding- en/of sportsupplementen zijn. Aangezien het optreden van lekke verpakkingen voor 65% te wijten zou zijn aan contaminatie op het te sealen verpakkingsoppervlak, is het dus van groot belang om contaminatie te vermijden [2].

Bij het vullen heeft het bedrijf te maken met het erg opstoften van de poeders, wat leidt tot productverlies, bevuiling van de verpakkingslijn en contaminatie op de verpakkingen ter hoogte van de sealpositie wat te zien is in Figuur 1.



Figuur 1: Poederresten die achterblijven op het sealgebied

Het opstoften van producten is afhankelijk van de partikelgrootte, de dichtheid, de cohesie, het vochtgehalte en het vetgehalte van de ingrediënten. Dit werd aangetoond in een studie naar het stromingsgedrag van veel voorkomende voedingspoeders [3]. Belangrijk is dan ook om in eerste fase na te gaan welke aspecten of specifieke ingrediënten of combinatie van ingrediënten op de inpaklijnen van Aminolabs voor het opstoften zorgen.

De graad van contaminatie, bepaald door de wijze van verpakken, heeft een grote invloed op de uiteindelijke sealsterkte. Het precieze effect van contaminatie op de sealsterkte is deels afhankelijk van de productsamenstelling en het gebruikte verpakkingsmateriaal. Er dient dus gezocht te worden naar een verpakkingsmateriaal dat contaminatie afstoot of naar een techniek die ervoor zorgt dat het poeder recht naar beneden valt zonder aan de sealrand te kleven. Het bedrijf werkt met een 100-tal stazakken geleverd door verschillende klanten en leveranciers. Deze stazakken bestaan uit verschillende materialen en zijn wat betreft dimensies ook verschillend. Bij sommige van deze materialen worden nooit problemen ondervonden, bij anderen treden frequent contaminatieproblemen op.

In de studie van *Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging IVV* werd een vergelijking gemaakt voor ultrasoon en warme balk sealen waarbij de sealparameters, het type verpakkingsmateriaal en de soort van contaminatie gevarieerd werden. De studie toont aan dat er een relatie is tussen de gebruikte sealtechniek, het contaminatietype en het gebruikte verpakkingsmateriaal en dat deze parameters bepalend zijn voor de uiteindelijke sealsterkte. Het zoeken naar de meest geschikte sealtechniek en -parameters zal ervoor zorgen dat de sterkste seal verkregen zal worden voor een bepaald type contaminatie en contaminatiegraad in combinatie met het verpakkingsmateriaal [4].

Op dit ogenblik wordt er nagegaan of de verpakkingen lekkend zijn door deze ondersteboven te houden en ermee te schudden. Wanneer er product uit de verpakking komt, faalt de verpakking en wordt deze uit de productielijn gehaald. Het bedrijf wilt dit proces optimaliseren en hiermee tijd en kosten in mankracht, product en materiaal besparen. Een goede lekdetectiemethode voorkomt dat verpakkingslekken te laat opgemerkt worden wat leidt tot bedorven producten bij de consument en een enorme imagoschade voor het bedrijf [5].

Om het stofprobleem en de daarmee gerelateerde lekkende verpakkingen te vermijden wordt er onderzoek uitgevoerd naar de stoffigste poedersamenstellingen, de invloed van poedercontaminatie op het verpakkingsmateriaal en de optimalisatie hiervan, de ideale sealtechniek en de implementatie van een automatisch lekdetectiesysteem.

2 Aminolabs

2.1 Producten

Aminolabs is een wereldwijde leverancier van voornamelijk aminozuren, maar ook van andere ingrediënten voor de voedingsindustrie, cosmetica en farmaceutische industrieën. Het bedrijf is vooral gespecialiseerd in de productie van sport- en gezondheidssupplementen. Hun proteïne en dieetshakes, *weightgainers*, *pre-* en *postworkout* producten en energiesthots behoren tot de sportsupplementen. Onder de gezondheidssupplementen vallen de multivitaminen, mineralen, glucosamine, omega3, enz.. Naast de sport- en gezondheidssupplementen levert het bedrijf ook afslankproducten, beautyformules, pre- en postzwangerschapssupplementen, allerlei crèmes, gels, lotions en mousses. De producten worden op maat gemaakt naar de wensen van de klant. De producten zijn beschikbaar als tabletten, capsules, poeders, emulsies en vloeistoffen [1, 6, 7].

2.2 Productieproces

Om de verschillende eindproducten te bekomen, wordt er vertrokken vanuit tal van aangeleverde grondstoffen die opgeslagen worden in het magazijn. Wanneer de klant een bestelling plaatst, wordt de bestelbon gescand zodat er op een scherm alle benodigde ingrediënten en hun gewichten verschijnen. De verschillende grondstoffen worden nauwkeurig volgens het gewenste gewicht afgewogen (Figuur 2) en samen verplaatst naar een bufferkamer. Elk gewicht moet binnen een tolerantie van 1% liggen. Het gewicht is ook zo afgesteld dat de verliezen doorheen het gehele productieproces worden opgevangen. In de bufferkamer wordt nog eens een controle uitgevoerd op de soort en het gewicht van de nodige grondstoffen. Vervolgens worden de grondstoffen vanuit de bufferkamer verplaatst naar de derde verdieping van het gebouw. Hier worden de verschillende grondstoffen in een stortbak gegoten zodat ze in de mengvaten terecht komen die een verdieping lager staan (Figuur 3). De grondstoffen dienen in een bepaalde volgorde volgens hoeveelheid en functie in de stortbak gegoten te worden.



Figuur 2: Afwegen grondstoffen



Figuur 3: Stortbak voor menging

Eenmaal in de mengvaten worden de grondstoffen zeer traag vermengd. Er zijn twee manieren om te mengen. Enerzijds in de verticale mengvaten via rotatief mengen, anderzijds door opslagcontainers met de grondstoffen in te klemmen en vervolgens rond hun eigen as te laten roteren (Figuur 4 en Figuur 5).



Figuur 4: Rotatief mengen in verticaal mengvat



Figuur 5: Verticale mengvaten

Na het mengen in de mengvaten gaat het mengsel door een zeef zodat klonters en vervuilingen uit het product geëlimineerd worden. Hierna komt het gemengde poeder via een buis terecht in het opslagvat dat zich terug een verdieping lager bevindt (Figuur 6). Deze vaten worden vervolgens opgeslagen en terug bovengehaald wanneer het poeder verpakt dient te worden.



Figuur 6: Opslagvaten

2.3 Verpakkingen

Aminolabs biedt een breed assortiment aan verpakkingen aan om steeds te kunnen beantwoorden aan de wensen van de klant. Momenteel verpakken ze hun producten in potten, flessen, drums, sachets, blisters, stazakken en bulkverpakkingen (Figuur 7 en Figuur 8). De verpakkingen worden aangeleverd door een leverancier of door de klant zelf. Dit zorgt voor een zeer breed gamma aan materiaalsamenstellingen, dimensies en vormen van de verpakkingen. Het grootste aandeel van de producten wordt verpakt in potten zodat hiervoor 3 verpakkingslijnen voorzien zijn. Er zijn 2 verpakkingslijnen voor het verpakken in stazakken. Van deze stazakken bestaan er 18 verschillende formaten met gewichten variërende van 300 g tot 7,1 kg.



Figuur 7: Verpakkingen sportsupplementen [7]



Figuur 8: Verpakkingen gezondheidssupplementen [6]

2.4 Verpakkingsproces

2.4.1 Vulproces

Om het bekomen product te verpakken worden de opslagcontainers in connectie gebracht met de vultrechter van de schroefdoseermachine 'Servofill SF-III' (Figuur 9 en Figuur 10).



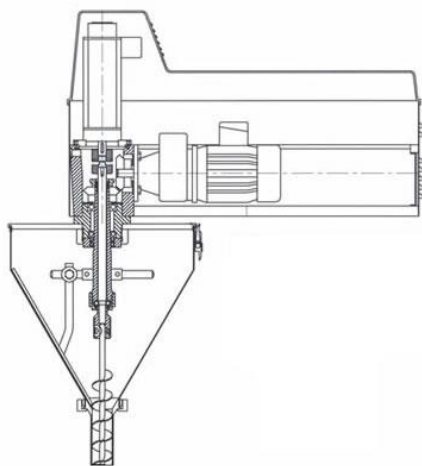
Figuur 9: Schroefdoseermachine Servofill SF-III



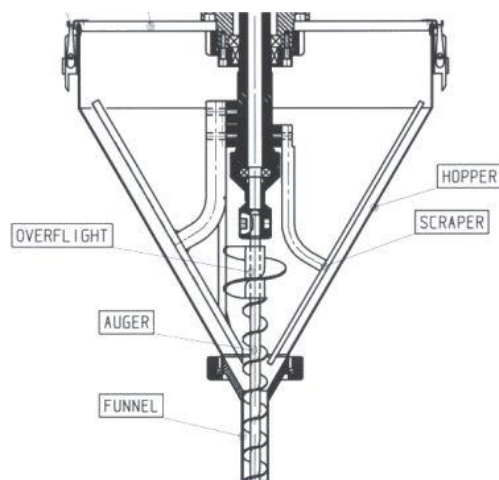
Figuur 10: Schroefdoseermachine Servofil SFI-III [8]

Manueel worden de stazakken onder de trechter van de schroefdoseermachine gehouden waarna deze gevuld worden met het ingestelde gewicht van het poeder. De vulkop van de schroefdoseermachine bestaat uit een hopper, een schroef, een schroefaandrijver, een trechter en een schraperblad (Figuur 12). De hopper bevat het te doseren product en voedt de doseringsschroef. De schroef roteert verticaal door de hopper en de trechter om de gewenste doseringen product onderaan de trechter vrij te geven.

De schroefaandrijving laat de schroef aan een constante, vooraf ingestelde snelheid draaien om een continue productstroom te verkrijgen. Het schraperblad ondersteunt de poedertoevoer door via rotaties tegengesteld aan die van de schroef het product naar de schacht van de schroef te brengen (Figuur 11). Met de Servofill SF-III is het mogelijk om zowel volumetrisch als gravimetrisch te doseren. Bij de volumetrische doseermethode wordt er op basis van volume gedoseerd. Hierbij wordt nagegaan hoeveel gewicht product er in een bepaald volume past waarna er bepaald wordt hoe vaak het volume afgevuld moet worden om een bepaald gewicht te verkrijgen. De gravimetrische doseermethode doseert op basis van gewicht. Hierbij worden de verschillende producten afgewogen waarna ze in de benodigde verhoudingen bij elkaar worden gevoegd. Aangezien volumetrisch doseren minder nauwkeurig is dan gravimetrisch doseren en het bij Aminolabs van groot belang is om exact het gewenste gewicht te behalen, wordt er binnen Aminolabs gebruik gemaakt van de gravimetrische dosering [8, 9].



Figuur 11: Inwendige werking Servofill SF-III [8]



Figuur 12: Trechter Servofill SF-III in detail [8]

2.4.2 Sealproces

Na het vullen van de stazakken worden deze nagewogen om het gewicht te controleren en vervolgens manueel in het sealapparaat geleid. Er wordt geseald m.b.v. een Fischbein-saxon SH 1000 *hot air* seal-apparaat (Figuur 13 en Figuur 14) dat warmte naar het verpakkingsoppervlak overbrengt door convectie. Omgevingslucht wordt overgedragen aan een verwarmingscartridge, een verwarmingselement dat bij aansluiten van een bepaalde spanning zeer heet kan worden, om de lucht dicht bij de mond van de stazak te verhitten. Deze hete lucht wordt vervolgens op de buitenzijde van de mond geblazen en dringt door tot het binnenste van de verpakking. Op de plaats waar de hete lucht geblazen werd, smelten de binnenste lagen van de twee verpakkingszijden samen. Vervolgens wordt de seal samengedrukt met een profiel zodat een sterke seal gevormd kan worden. Aan de Fischbein-saxon is een *airwash bag-top cleaner* verbonden. Deze opent voor het sealen de mond van de stazak m.b.v. vacuüm en zuigt de poederresten van de rand opdat een zuivere sealrand wordt bekomen [10, 11]. De keuze naar de meest geschikte sealtechniek is bedrijfsspecifiek. Binnen Aminolabs wordt er gebruik gemaakt van het warme lucht sealen daar er gewerkt wordt met verpakkingen van diverse afmetingen en gewichten van 300 g tot 7,1 kg. De *hot air* sealer is flexibel en gemakkelijk implementeerbaar in een manuele verpakkingslijn en kan continu blijven aanstaan zonder dat de arbeider de sealer moet bedienen.



Figuur 13: Binnenkant Fischbein-saxon SH 1000 hot air seal-apparaat [12]



Figuur 14: Fischbein-saxon SH 1000 hot air seal-apparaat [13]

De specificaties van het Fischbein-saxon hete luchtapparaat zijn weergegeven in onderstaand kader (Figuur 15). Het Fischbein-saxon apparaat is geschikt voor het sealen van een brede waaier aan warmte sealbare plastic zakken gebruikt in de voedingsindustrie en de medische en chemische sectoren.

SPECIFICATIONS	Dimensions (head only)	
	Height	318 mm
	Width	1017 mm
	Depth	651 mm
	Weight	58 kg
	Mobile trolley.....	900 x 910 x 140 mm (height)
	Column	850 to 1350 mm (floor to sealing line)
		920 to 1420 mm (floor to sealing line with extension arm)
	Electrical	
	Power supply	220-240 VAC
Power	1984W	
Maximum current	8,6 A	
Pneumatic		
No need.		
Air could be needed for some optional extras.		
Closing Speed		
Standard speed: 6,2m/min up to 14,1m/min		
Optional speeds: 2,7m/min up to 6,2m/min 9,7m/min up to 22,2m/min		

Figuur 15: Specificaties Fischbein-saxon SH 1000 hot air seal-apparaat [10]

2.4.3 Lekdetectie

Nadat de verpakking geseald is, wordt deze manueel getest op lekken. Dit gebeurt door de verpakkingen ondersteboven te houden en er vervolgens mee te schudden. Wanneer er poeder uit de verpakking komt, faalt de verpakking en wordt deze uit de productie gehaald. Indien de verpakking aan de controle voldoet, wordt deze in kartonnen transportdozen verpakt om vervolgens opgeslagen te worden in het magazijn tot het transport naar de klant.

2.5 Kwaliteitsgarantie

Het bedrijf Aminolabs hecht belang aan de kwaliteit, veiligheid en hygiëne van hun producten. Deze worden gegarandeerd door hun ISO 22000 certificering en de navolging van de HACCP-normen. Het internationale kwaliteitslabel 'Informed Choice' waarborgt dat al de ingrediënten en supplementen 100% vrij zijn van verboden middelen. De voedingssupplementen worden bovendien geproduceerd volgens de GMP-standaarden [14].

3 Onderzoeksopzet

3.1 Onderzoeksvraag

Deze thesis behandelt verschillende aspecten van het stofprobleem in Aminolabs. De onderzoeksvraag luidt: Hoe kan het stofprobleem en de contaminatie van de sealrand bij het vullen gereduceerd worden? De huidige verpakkingslijn wordt hierbij geanalyseerd opdat er gezocht kan worden naar optimalisatie daar waar mogelijk. De ingrediënten die de grootste bijdrage leveren aan het stofprobleem worden tevens in kaart gebracht. In een tweede belangrijke onderzoeksvraag wordt afgevraagd wat de invloed is van poedercontaminatie op de warmte seals van de stazak verpakkingen van Aminolabs en hoe het sealen doorheen contaminatie verbeterd kan worden. Hierbij zal onderzocht worden bij welke contaminatie in combinatie met welk verpakkingsmateriaal de kans op lekken het grootst is en wat de optimale sealparameters zijn om de kans op lekken te reduceren. Tot slot zal er ook een studie gevoerd worden naar welk lekdetectiesysteem het beste voldoet aan de voorwaarden van het bedrijf op vlak van kost, kwaliteit en implementatie-mogelijkheid in de manuele verpakkingslijn.

3.2 Doelstellingen

De hoofddoelstelling van het project is om lekkende verpakkingen te vermijden m.b.v. optimalisatie van het vul- en sealproces in combinatie met het introduceren van een *inline* lekdetectiesysteem ter controle van de sluiting van de poeder-stazak verpakkingen.

3.3 Methodiek

Als eerste stap in het onderzoek worden de twee verpakkingslijnen met stazakken grondig geobserveerd om inzicht in het vul- en sealproces te verwerven. Processtappen die invloed hebben op het opstoften van het poeder en op de contaminatie van de sealrand worden duidelijk in kaart gebracht. Vervolgens wordt de invloed onderzocht van de samenstelling van de poeders op het opstoften tijdens het vulproces. Hierbij worden verschillende poedermengsels en hun stoffigheid onderzocht. Wanneer de meest stoffige productmengsels bekend zijn, kunnen er testen uitgevoerd worden op de sealsterkte bij sterk gecontamineerde sealoppervlakken. Hierbij zullen verschillende verpakkingsmaterialen van Aminolabs gecontamineerd worden met verschillende soorten stoffige poedermengsels. Deze verpakkingsmaterialen worden vervolgens geseald met warme balk sealen waarbij de sealparameter temperatuur gevarieerd wordt en de parameters tijd en druk constant gehouden worden om het aantal testen te beperken. Het bepalen van de invloed van de parameter temperatuur blijkt tevens het interessantste voor Aminolabs. De verpakkingsmaterialen worden ook geseald met hete lucht in het bedrijf Aminolabs met een Fischbein-Saxon SH1000, maar hier wordt er enkel geseald zonder contaminatie aangezien de *hot air* sealer rechtop staat en de contaminatie dus naar beneden valt waardoor het onmogelijk is om gecontroleerde hoeveelheden contaminaties te testen. Bij het *hot air* sealen worden alle parameters constant gehouden. Met behulp van de *dye penetration* test kunnen vervolgens lekken gedetecteerd worden en met een trekbank in het VerpakkingsCentrum kan de sterkte van de seals bepaald worden. Uit de resultaten wordt de relatie tussen materiaaleigenschappen, sealtechniek en contaminatie opgemaakt.

Als volgende stap wordt er gezocht naar een mogelijke eliminatie van het stofprobleem en de contaminatie van de sealrand. Hiertoe wordt het vulproces grondig bestudeerd en vindt er een inventarisatie plaats van de elementen die voor stofvorming van het poeder en contaminatie van de seal kunnen zorgen. Nadien wordt er onderzocht hoe deze elementen verbeterd kunnen worden en wordt er onderzoek gedaan naar mogelijke technieken om de contaminatie te elimineren. Ook het materiaalaspect wordt hierbij in rekening gebracht. Vervolgens wordt er in de literatuur en via leveranciers kennis opgedaan over alle mogelijke systemen om lekken automatisch te detecteren. Hierbij wordt rekening gehouden met het materiaal van de stazak en kenmerken van het systeem: de kostprijs en de werking bv. snelheid, de betrouwbaarheid, enz...

Als laatste stap in het onderzoek wordt een matrix opgesteld van alle mogelijke oplossingen en verbeteringen zodat duidelijk wordt wat de beste opties zijn voor het bedrijf Aminolabs.

4 Literatuur

4.1 Sport- en gezondheidssupplementen

Sport- en gezondheidssupplementen zijn producten bedoeld als aanvulling op de dagelijks voeding en mogen zeker niet gezien worden als maaltijdvervangers.

4.1.1 Gezondheidssupplementen

Multivitaminen, mineralen, glucosamine, omega 3, enz.. zijn gezondheidssupplementen die ingenomen worden omwille van hun nutritioneel of fysiologisch effect. De nutriënten vitaminen en mineralen zijn van groot belang voor de stofwisselingsprocessen in ons lichaam. Een tekort kan opgevangen worden via extra supplementen. Essentiële vitaminen en mineralen kunnen gecombineerd worden tot multivitaminen. Hiernaast zijn er nog tal van andere stoffen met een nutritioneel of fysiologisch effect zoals glucosamine en omega 3-vetzuren [15, 16].

4.1.2 Sportsupplementen

Proteïne- en dieetshakes, *weightgainers*, *pre-* en *postworkout* producten en energiesthots die sportsupplementen bevatten hebben als doel om de gezondheid te behouden, vermoeidheid en kwetsuren te vermijden en prestaties te verbeteren. De meeste sportsupplementen komen voor als poederproduct en worden ingenomen als *shakes* door het poeder met melk of water te mengen.

4.1.2.1 Soorten sportsupplementen

Sportsupplementen kunnen opgedeeld worden in twee grote groepen, namelijk de eiwit- en aminozuursupplementen en de ergogene supplementen.

Eiwit-en aminozuursupplementen

Eiwit- en aminozuursupplementen zijn de meest verkochte sportvoedingssupplementen. Het lichaam heeft eiwitten, bestaande uit essentiële aminozuren, nodig als energiebron naast koolhydraten en vetten. Eiwitten dienen eerst afgebroken en verteerd te worden eer ze door het lichaam gebruikt kunnen worden. Aminozuren daarentegen zijn reeds afgebroken en kunnen dus sneller opgenomen worden [17].

Aminozuren

Er zijn momenteel 22 natuurlijk voorkomende aminozuren waarvan er 9 niet door het lichaam zelf aangemaakt kunnen worden, dit zijn de essentiële aminozuren en dienen via voeding of supplementen ingenomen te worden. Hiernaast zijn er ook 6 semi-essentiële aminozuren waarvan de productie in het lichaam bij bepaalde ziektes tekort kan schieten. De overige 7 aminozuren zijn niet-essentiële aminozuren en dienen niet per se extra ingenomen te worden [18].

Drie van de essentiële aminozuren, namelijk leucine, isoleucine en valine, vormen samen de *branched chain amino acids* (BCAAs) omwille van hun zeer vertakte moleculaire structuur. Deze structuur zorgt ervoor dat enzymen die aminozuren omzetten in energie gemakkelijk in kunnen werken. Leucine, isoleucine en valine komen doorgaans voor in de verhoudingen van respectievelijk 2:1:1 [19, p. 2].

Eiwitten

Er zijn drie hoofdgroepen binnen de eiwitten. Dit zijn de wei-eiwitten, micellaire caseïne eiwitten en de eiwitmengsels. Wei-eiwitten worden gewonnen uit melkwei en bevatten aminozuren die essentieel zijn voor de spieropbouw. Er zijn vier belangrijke types wei-eiwitten: wei-eiwit isolaat, wei-eiwit concentraat, gehydrolyseerd wei-eiwit en wei-eiwit mengsel [17, 20]. Micellaire caseïne-eiwitten worden geïsoleerd uit melk en zorgen voor een zeer langzame afgifte van de aminozuren [17].

Ergogene supplementen

Naast de sportvoedingssupplementen eiwitten en aminozuren zijn er ook ergogene supplementen die prestatie bevorderend kunnen zijn. Onder deze supplementen vallen onder andere cafeïne en creatine die vaak met eiwitten, aminozuren en andere ingrediënten worden gemengd.

4.1.2.2 Producten met sportsupplementen

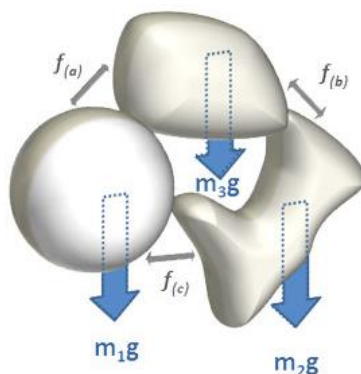
Verschillende producten die sportsupplementen bevatten, zijn *pre-workouts*, *post-workouts*, dieetshakes, *weight gainers* en *muscle growth* producten. *Pre-workouts* zorgen voor een opbouw van het energieniveau om training prestaties te maximaliseren en bevatten vaak de ingrediënten BCAA's, wei-eiwitten, creatine, taurine, cafeïne of tyrosine en anderen [17]. *Post-workouts* helpen het lichaam sneller te herstellen na een zware training en bevatten doorgaans wei-eiwitten, caseïne, koolhydraten, creatine, BCAA's en vitaminen en mineralen. Dieetshakes hebben als doel om het metabolisme te boosten, spiermassa op te bouwen en de eetlust te onderdrukken. Deze dieetshakes worden vaak opgebouwd uit onder andere *T5 fat burners* en antioxidant hormoonregelaars. *Weight gainers* zijn bedoeld om de snelheid van gewichtstoename te verhogen en bevatten doorgaans eiwitten en essentiële vetzuren. *Weight gainers* bestaan vaak ook uit een zeker percentage suikers om een hoog caloriegehalte te bekomen. *Muscle growth* producten tot slot zijn ook een soort van *weight gainers*, maar zijn meer gericht op de opbouw van de spiermassa.

4.2 Stofprobleem poeder

4.2.1 Stoffigheid algemeen

De stoffigheid van een poedermengsel wordt door verschillende factoren bepaald, namelijk de partikelgrootte, de partikelvorm, het oppervlak van de partikels, de dichtheid, het vochtgehalte, het vetgehalte en de cohesie tussen de verschillende partikels [3, 21, 22, 23]. De relatie tussen alle cohesiekrachten en de zwaartekracht op een poederpartikel bepaalt of dit deeltje onafhankelijk kan bewegen of deel uit zal maken van een agglomeraat waarbij verschillende poederdeeltjes samenklonteren. Cohesiekrachten zijn de onderlinge moleculaire aantrekkingskrachten tussen de verschillende poederpartikels [24]. Indien er agglomeraten aanwezig zijn is de stoffigheid van het poedermengsel afhankelijk van de massa van de agglomeraten en de onderlinge relaties tussen omliggende agglomeraten. Hoe groter de cohesiekrachten hoe minder stoffig het poeder zal zijn.

De totale cohesie wordt beïnvloed door eerder vermelde eigenschappen. Op vlak van partikelgrootte blijkt dat hoe kleiner de partikels zijn, hoe groter de cohesie [21]. Dit komt doordat het contactoppervlak tussen 2 partikels vergroot wordt naarmate de partikels kleiner worden. Dit wordt bevestigd in de studie naar het effect van de partikelgrootte en de cohesie op de poederstroming van Shi *et al.* [21]. Dit wilt natuurlijk niet zeggen dat een poedermengsel met zeer grote partikels zoals kristalsuiker heel stoffig is. Bij heel grote partikels zal namelijk de zwaartekracht groot zijn zodat de deeltjes niet stoffig zijn. Het contactoppervlak wordt ook vergroot bij een gladde oppervlaktestructuur en een sferische vorm van alle partikels [25]. Figuur 16 toont de cohesie- en zwaartekracht van poederpartikels met een verschillende vorm. Partikels met een sferische vorm zouden grotere cohesiekrachten geven omwille van het grotere contactoppervlak.



Figuur 16: Cohesie- en zwaartekracht op poederpartikels [26]

Het vochtgehalte en het vetgehalte hebben tevens een grote invloed op de cohesie. Bij een laag vrij vochtgehalte zal het vocht een deel van de cohesiekrachten verbreken. Het geabsorbeerde vocht zal zich tussen de partikels door wringen zodat de afstand tussen de poederdeeltjes stijgt en de VanderWaalskrachten afnemen [27, 22]. Vanaf een hoger vochtgehalte ondervinden de poederpartikels een verhoogde plasticiteit en worden er waterstofbruggen gevormd tussen de verschillende partikels. Deze bruggen zorgen voor een grotere aantrekkingskracht tussen de afzonderlijke deeltjes. Deze invloed van het vrije vochtgehalte op de cohesie werd reeds omschreven in het proefschrift ‘Cohesion and Interparticle Forces’ van E.F. Hobbel en in de studie naar de cohesie van zuivelpoeders door P. R. Rennie, X. D. Chen, C. Hargreaves en A. Mackereth [22, 28]. Vet in poeder doet dienst als emulgator. Het toevoegen van vet zorgt ervoor dat de poederdeeltjes tevens gaan binden met elkaar. Het vet zorgt ervoor dat het contactoppervlak van de deeltjes vergroot wordt en dat er ook weer bruggen tussen de deeltjes gevormd worden die de cohesie vergroten [29].

Een voorbeeld hiervan in de praktijk is het toevoegen van de vette emulgator sojalecithine aan wei-eiwit, dit wordt ook wel het instantiseren van het wei-eiwit genoemd. Bij een poedermengsel met grote cohesiekrachten zullen er agglomeraten ontstaan waarbij verschillende poederpartikels samenklonteren. Agglomeraten zijn veel minder stoffig t.o.v. vrij bewegende poederdeeltjes. Hoe meer agglomeraten er in een mengsel zitten, hoe lager de dichtheid van het mengsel zal zijn t.o.v. eenzelfde mengsel zonder agglomeraten. Dit komt doordat veel agglomeraten samen een zeer luchtig en volumineus mengsel vormen doordat er tussen de agglomeraten onderling een hoeveelheid lucht zit. Bij een mengsel zonder agglomeraten zitten de verschillende partikels dichter bijeen zodat er meer deeltjes per volume-eenheid zitten en de dichtheid dus groter is [23].

Shi *et al.* concludeerden in hun studie dat een verhoogde normaalspanning of druk op de poederpartikels resulteert in een verhoogde cohesie door het vergroten van de contactoppervlakken. Dit effect treedt sterker op bij partikels met een kleine gemiddelde deeltjesgrootte [21]. Uit het onderzoek van Haider *et al.* blijkt dat naast de normaalspanning en het vochtgehalte ook de temperatuur een belangrijke invloed heeft op de cohesie van de poederpartikels [30]. Hoe hoger de omgevingstemperatuur, hoe dichter de glastransitietemperatuur van het poeder benaderd wordt en dus hoe viskeuzer het poeder wordt. Dit viskeuzer worden, resulteert in een sterke deformatie van de deeltjes wat leidt tot het klonteren van de partikels wat op een grote cohesie duidt. De glastransitietemperatuur van de poederdeeltjes wordt tevens sneller bereikt door het verhogen van het vochtgehalte.

Door het optimaliseren van de poedereigenschappen en de proces- en bewaarcondities kan het opstoften van de poeder dus sterk gereduceerd worden.

4.2.2 *Stoffigheid sportsupplementen Aminolabs*

In sportsupplementen wordt vaak kristalsuiker, ook wel sacharose, verwerkt. Kristalsuiker bestaat uit suikerkristallen die met het blote oog van elkaar te onderscheiden zijn. Door de grote partikels en het hoge gewicht is kristalsuiker niet stoffig. De relatief grote zwaartekracht zal ervoor zorgen dat de deeltjes snel naar beneden vallen en zich niet gemakkelijk in de lucht kunnen verspreiden. Zijn poedervariant poedersuiker daarentegen is heel fijn gemalen en is omwille van de zeer kleine en lichte poederpartikels veel stoffiger [31]. De *branched chain amino acids* (BCAA) of vertakte keten aminozuren leucine, isoleucine en valine vormen een zeer stoffig product. Het gaat om een zeer fijn poeder met een zachte structuur. De partikels zijn zeer klein en niet meer van elkaar te onderscheiden. Voor de mate van stoffigheid is het tevens van groot belang om te weten of het om niet-geïntantiseerde of geïntantiseerde wei-eiwitten gaat. Een geïntantiseerd eiwit is voorzien van een emulgator of stabilisator, sojalecithine, dat gewonnen wordt uit de vetfractie van soja of uit dierlijke bron. Sojaleucitine is een complex mengsel van in aceton onoplosbare fosfolipiden gecombineerd met verschillende hoeveelheden andere stoffen zoals triglyceriden, vetzuren en koolhydraten [32]. Het gebruik van deze emulgator voorkomt dat mengsels gaan ontmengen en zorgt er dus voor dat ze stabiel blijven. In het geval van droge, stoffige poeders zorgt de emulgator ervoor dat het poedermengsel vettiger wordt en een beter geheel vormt. Het mengsel zal hierdoor minder gaan stoffen en een consistente structuur verkrijgen. Wanneer een niet-geïntantiseerd poeder in oplossing gebracht wordt zoals bij de *eiwitshakes*, zal dit moeilijk in oplossing gaan en zal er klontervorming optreden. Sojalecithine heeft twee functies. Deze zijn het beter oplosbaar maken van de proteïnepoeders in water en in melk en het gemakkelijker maken van het productieproces. Dit laatste is mogelijk doordat de poeders minder statisch en stoffig gemaakt kunnen worden m.b.v. sojalecithine [32, 33, 34]. Maltodextrine ten slotte is een koolhydraat dat uit mais gewonnen wordt. Het heeft een zoete smaak en wordt daarom vaak als suikervervanger gebruikt in sportsupplementen [35].

4.2.3 *Stofreducerende technieken*

Het verpakken van producten zoals koffiepoeder, proteïne poeders, bloem, etc., kortom alle droge, poederachtige producten bestaande uit een losse, stoffige korrelstructuur kan een grote hoeveelheid stof veroorzaken in de verpakkingsomgeving [83]. Elk moment dat deze producten in beweging zijn of plots stoppen of starten met bewegen, wordt een stofemissie veroorzaakt. Deze stofemissie veroorzaakt op zijn beurt contaminatie van de seal wat gepaard kan gaan met lekkende verpakkingen. Het volledig elimineren van dit stofprobleem is niet mogelijk, maar er bestaan wel een reeks van ingrepen in het proces die het probleem deels kunnen reduceren.

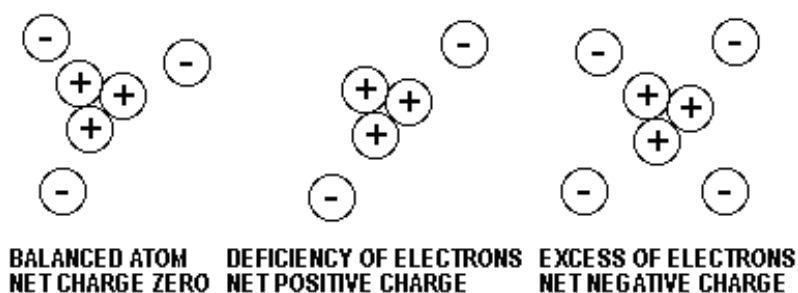
Het probleem is al aan te pakken aan de bron. De bewaaromstandigheden van de producten hebben reeds een invloed op de stoffigheid van de poederproducten. Zoals reeds besproken, zorgt een verhoogde cohesie van poederpartikels voor een verlaagde graad van stoffigheid. Deze verhoogde cohesie kan verkregen worden door een verhoging in normaalspanning op de partikels of een verhoogde temperatuur en vochtgehalte [23, 31]. De procesparameters zoals opslagtijd, druk op de poederpartikels ten gevolge van het gewicht van het poeder dat een kracht uitoefent op onderliggende partikels, relatieve vochtigheid en de temperatuur moeten nauwlettend gecontroleerd worden. Een verhoging van deze procesparameters zorgt voor een verhoogde cohesie wat het stofprobleem kan reduceren, maar wanneer te hoge cohesie optreedt, zal het poederproduct beginnen klonteren wat ongewenst is tijdens het verwerkingsproces en voor de klant zelf. Opslagcondities waarbij klonteren geïnduceerd wordt, moeten dus vermeden worden. Wat deze condities precies zijn, is afhankelijk van het te verpakken poederproduct. De glastransitietemperatuur is hierbij een belangrijke parameter voor het achterhalen van correcte atmosfeercondities.

De snelheid waarmee de poederdoseermachine het poeder vrijstelt is tevens een parameter die een belangrijke rol speelt in de reductie van stofemissie. Bij het eerder traag vullen, zullen partikels de neiging hebben om zich onderweg te voegen bij de omgevingsluchtstroom. Het te snel afvullen daarentegen induceert een grote druk en dus ook een luchtstroom in de opening van de verpakking. Lucht die in de verpakking gaat, zal er echter ook terug uit komen en deze opwaartse luchtstroom zal een groot deel van de poederdeeltjes terug uit de verpakking sturen. Het zoeken naar een optimale balans hangt ook weer af van product tot product.

Daarnaast is het aangeraden om alle processen zo goed mogelijk te behuizen opdat het poederstof enerzijds niet de werking van elektrische of pneumatische componenten kan verstoren en dat anderzijds het poeder zich minder zal verspreiden doorheen de ruimte. In de verpakkingsruimte is er doorgaans een ventilatiesysteem voorzien om de ruimte correct te kunnen conditioneren. Deze ventilatie wekt een zekere luchtstroom op die de stofdeeltjes gemakkelijk meeneemt en verspreidt. Door het voorzien van een behuizing wordt deze luchtstroom weggenomen en zal ook minder poeder op de sealbalken, indien er geseald wordt met warme balken, of op de verpakkingseals zelf terecht kunnen komen en zo het sealen negatief beïnvloeden.

Het gebruik van afzuigsystemen zorgt tevens voor een verminderde stofemissie en dus een verminderde kans op sealcontaminatie. Afzuigsystemen kunnen op verschillende plaatsen in het verpakkingsproces voorzien worden om het stof te verwijderen of te recirculeren. Afzuigkappen boven de doseermachines verzamelen en verwijderen op hun beurt poederdeeltjes die verspreid worden in de lucht tijdens het vullen van stazak verpakkingen. Net als het afzuigen kan ook het wegblazen met perslucht de sealrand vrij maken van stof. De luchtstroom mag hier echter niet te groot zijn opdat er niet nog meer stof geëmitteerd wordt. Ook trilplaten kunnen voor het reduceren van contaminatie op de seal zorgen.

Het ontladen van verpakkingen en poeder heeft tot slot ook invloed op de contaminatie. Statische elektriciteit wordt veroorzaakt door een onevenwicht in de moleculaire constructie van niet-geleidende isolatoren. Elke materie bestaat uit atomen. Een atoom in balans bevat positieve ladingen of protonen in de kern van het atoom en een gelijke hoeveelheid negatieve ladingen of elektronen die zich in banen rond de kern bewegen. De positieve en negatieve lading is gelijk zodat de totale lading van een atoom in balans nul bedraagt. Wanneer echter deze gebalanceerde configuratie verstoord wordt, kan er wel een netto positieve of negatieve lading verkregen worden. Een netto positieve lading wordt verkregen wanneer er elektronen uit het atoom verwijderd worden en er dus een grotere positieve lading aanwezig is. Een netto negatieve lading wordt verkregen wanneer er elektronen toegevoegd worden aan het atoom en er dus een overmaat aan negatieve lading ontstaat. Zowel de gebalanceerde toestand als de netto positieve en negatieve geladen toestand worden voorgesteld in Figuur 17 [36, 37].

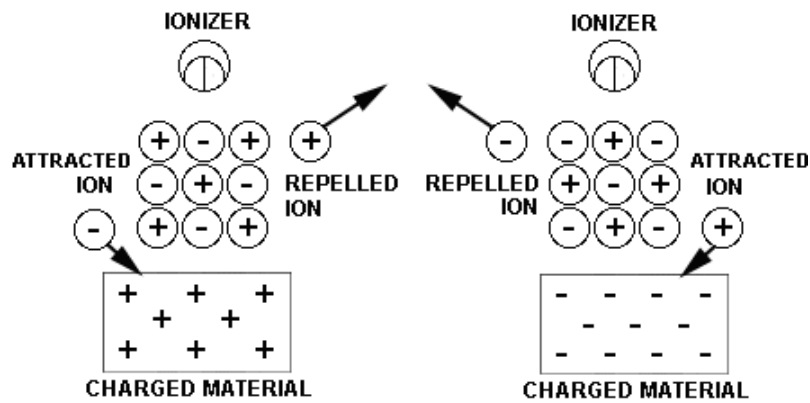


Figuur 17: Gebalanceerd atoom – atoom met netto positieve lading – atoom met netto negatieve lading [36]

Het vermogen van een materie om elektronen over te dragen of te absorberen is afhankelijk van de geleidbaarheid van de materie. Een zuivere geleider heeft een starre moleculaire constructie waarbij de elektronen niet vrij kunnen bewegen. Bij half-geleiders en niet-geleiders is het mogelijk om via wrijving, warmte of druk het materiaal statisch te laden. Statische lading treedt dus op bij niet-geleidende stoffen. Deze statische lading kan echter voorkomen worden door het toevoegen van additieven zoals vocht en antistatische sprays. Deze zorgen voor geleidbaarheid aan het oppervlakte zodat de opbouw van statische elektriciteit voorkomen wordt. Een antistatische spray bestaat doorgaans uit een op zeep gebaseerde substantie die verdund wordt in een oplosmiddel, zoals alcohol. Om ontvlambaarheid van het solvent tegen te gaan wordt er ook een brandvertrager aan de oplossing toegevoegd. Het is echter niet in alle gevallen mogelijk of toegestaan om gebruik te maken van oppervlakte geleidende additieven.

Een andere methode om de statische elektriciteit te beperken is m.b.v. ionisatie. Ioniserende eenheden produceren zowel positieve als negatieve ionen die aangetrokken kunnen worden door de ongebalanceerde atomen. Door deze aantrekking vindt neutralisatie van de lading plaats, zodat een gebalanceerde materie met een netto lading nul bekomen kan worden. Deze neutralisatie is echter niet voor altijd. Wanneer het materiaal terug onderworpen wordt aan wrijving, druk of warmte, kunnen er terug elektronen onttrokken of toegevoegd worden zodat de atomen van het materiaal terug uit balans zijn. Figuur 18 toont aan de linkerkant een materiaal dat netto positief geladen is.

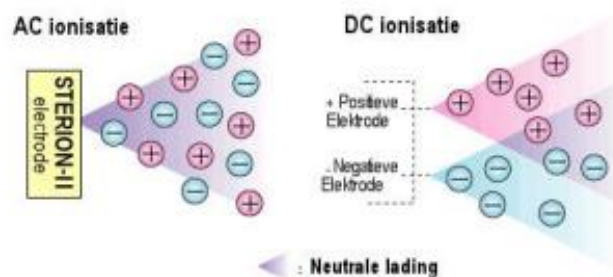
Bij het toevoegen van een ionisator zal het materiaal de negatieve ionen, uitgezonden door de ionisator, absorberen en zal het de positieve ionen afstoten. Wanneer het materiaal na een bepaalde tijd geneutraliseerd is, zal er geen elektrostatische aantrekking meer zijn en zal het materiaal stoppen met het absorberen van ionen. Aan de rechterkant van de figuur vindt het omgekeerde plaats. Hier worden de positieve ladingen aangetrokken door het netto negatieve geladen materiaal en worden de negatieve ladingen afgestoten [36, 37].



Figuur 18: Neutralisatie via ionisator [36]

Bij de meeste neutraliserende ionisatieapparatuur wordt een hoge spanning geplaatst op een scherpe punt in de nabijheid van een geaarde behuizing. Er zijn twee basistypen ionisatoren, namelijk AC en DC (Figuur 19). Bij een AC of alternerende stroom ionisator worden zowel positieve als negatieve ionen in gelijke hoeveelheden vanuit één enkele elektrode verstuurd. Bij een DC of gelijkstroom wordt er op twee verschillende elektrodes stroom gezet voor het toedienen van positieve en negatieve ionen. De ene elektrode is dus negatief geladen terwijl de andere positief geladen is. Bij een DC type ionisator is het ladingneutralisatie beperkter t.o.v. de AC ionisator [38].

Statische elektriciteit kan echter nooit volledig geëlimineerd worden.

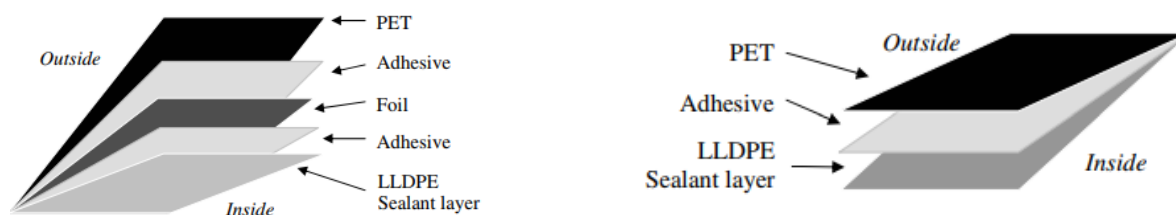


Figuur 19: Ionisatoren van het type AC (links) en DC (rechts) [38]

4.3 Flexibele verpakkingen

In de laatste 15 jaar is er een duidelijke evolutie te zien in de productie van flexibele verpakkingen [39]. Hieronder worden zakken, enveloppen, stazakken, enz., verstaan die vervaardigd worden uit flexibele of gemakkelijk meegeevende materialen zoals folies, films, papieren vellen of een combinatie hiervan en die gemakkelijk van vorm kunnen veranderen [40]. 19% van alle verpakkingen geproduceerd in de Verenigde Staten zijn flexibele verpakkingen en vormen hiermee de tweede belangrijkste verpakkingsgroep naast golfkarton. 68% van deze flexibele verpakkingen wordt ingezet in de voedingsindustrie [41]. Door het gebruik van flexibele verpakkingen ontstaan voordelen op economisch, ecologisch en sociaal vlak. Voorbeelden van deze voordelen zijn dat flexibele verpakkingen ingezet kunnen worden voor verschillende gewenste porties, vaak hersluitbare verpakkingen zijn die afval minimaliseren en een lichtgewicht hebben die de kosten van de opslag, distributie en vervoer verlagen. De productie ervan vereist tevens minder energie en input van natuurlijke bronnen. De verwerking van flexibele verpakkingen genereert daarenboven minder CO₂ uitstoot dan de conventionele stijve verpakkingen zoals metalen blikken en glazen potten [42, 41]. Stazakken zijn de snelst groeiende groep van verpakkingconcepten onder de flexibele verpakkingen [43]. Ze staan bekend om het feit dat ze kunnen rechtstaan, weinig plaats innemen en hun goede barrière-eigenschappen die bepaald worden door de materiaalkeuze. De zakken worden vooral gebruikt voor het verpakken van thee, suiker, droge poeders, muesli, granola, gebakken goederen, gedroogd fruit, enz., maar ook vloeistoffen kunnen hierin verpakt worden [39]. De meest gebruikte vorm voor stazakken is de trapezoïde vorm. Stazak verpakkingen worden steeds vaker geproduceerd en gevuld via een *form-fill-seal* verpakkinglijn die in staat is om grote hoeveelheden producten snel en flexibel te verwerken. Doorgaans bevatten deze flexibele verpakkingen inkepingen of een gelaserde afscheurperforatie om de verpakking open te scheuren. Na het openscheuren kan de verpakking meestal terug hersloten worden via een zipsluiting. Andere mogelijke sluitmechanismen zijn de *slider* zipsluiting of de draaidop. Stazak verpakkingen kunnen ook voorzien worden van tal van ophangsystemen [39].

Verpakkingen hebben als hoofddoel om producten te beschermen tegen blootstelling aan zuurstof, vocht, licht, geur en tegen besmetting. Verpakkingen moeten dus zo ontworpen worden dat ze weerstaan tegen de combinatie factoren waar het desbetreffende product gevoelig aan is. Stazakken kunnen vervaardigd worden uit verschillende materiaallagen met verschillende barrière-eigenschappen die een lage, medium of hoge barrière bieden tegen de migratie van ongewenste substanties in de verpakking. Stazak verpakkingen die een hoge barrière moeten bieden worden doorgaans gemaakt uit 3 of meer gelamineerde materiaallagen met aan de buitenzijde een laag die zorgt voor een goede schuur-, scheur- en doorprikweerstand van de verpakking en die makkelijk bedrukbaar is (Figuur 20 a). De middelste folie(s) zorgen voor hoge zuurstof- en vochtbarrière eigenschappen en de laag aan de binnenkant zorgt voor de sterkte en warmte sealbaarheid van de verpakking. Lage tot medium barrière stazakken bestaan veeleer uit 2 lagen materiaal gelamineerd met hechtmiddel (Figuur 20 b) [44, 45].



Figuur 20: Meerlaagse materialen van stazak met a) hoge barrière b) lage tot medium barrière [45]

4.4 Sealsluiting

4.4.1 Sealtechnieken

Flexibele verpakkingen worden doorgaans gesloten m.b.v. warmte sealtechnieken waarbij de verpakkingfilms gefuseerd worden onder het toevoegen van warmte en druk. Mogelijke warmte sealtechnieken zijn o.a. warme balk-, ultrasoon-, impuls-, laser-, warme lucht-, hoogfrequent-, inductie- en warme draadsealen [46]. Onder deze technieken wordt het warme balk sealen het meeste toegepast. Hierbij worden verwarmde balken geklemd op de buitenste oppervlakken van de samen te voegen films. Warmte verspreidt zich van de balken doorheen de film om de seallaag te doen smelten. De balken worden vervolgens verwijderd zodat de seal kan afkoelen. De balken kunnen voorzien worden van verschillende profielen die bepalend kunnen zijn voor de uiteindelijke sealsterkte en lektheid. De techniek wordt toegepast op *monolayers*, maar ook op gelamineerde of gecoëxtrudeerde meerlaagse materialen [47, pp. 60-61, 46].

Het impuls-sealen maakt gebruik van een weerstand bekleed met Teflon. Wanneer de sealbalken sluiten wordt een elektrisch circuit gesloten dat voor de opwarming van het verpakkingmateriaal zorgt. Deze techniek werkt trager dan het warme balk sealen en wordt vooral gebruikt voor kleverige materialen en films die niet compatibel zijn voor het sealen met warme balken. Warme draad-sealen wordt ook voornamelijk gebruikt voor niet compatibele films en krimpfolies, maar biedt geen betrouwbare hermetische seal. De films worden doorgesneden met de hete draad wat resulteert in de vorming van een seal. Bij het warme luchtsealen wordt hete lucht of gas op de filmoppervlakken geblazen waarna de oppervlakken samengevoegd worden tussen een gekoeld profiel. Het sealen met warme lucht wordt toegepast voor het sealen van zware en/of dikke verpakkingmaterialen, maar wordt ook vaak gebruikt voor het sealen van allerlei stazakken in een manuele verpakkinglijn.. Een techniek die ook veel toegepast wordt, is het ultrasoon sealen waarbij warmte gecreëerd wordt door hoogfrequente vervormingen. Ultrasoon sealen wordt veel gebruikt voor producten die niet te hard verwarmd mogen worden en voor het sealen doorheen contaminatie. Bij inductie-sealen wekt een magnetisch veld warmte op wat resulteert in een seal. Deze techniek wordt doorgaans gebruikt voor aluminium bevattende films die op een *tray* geseald worden.

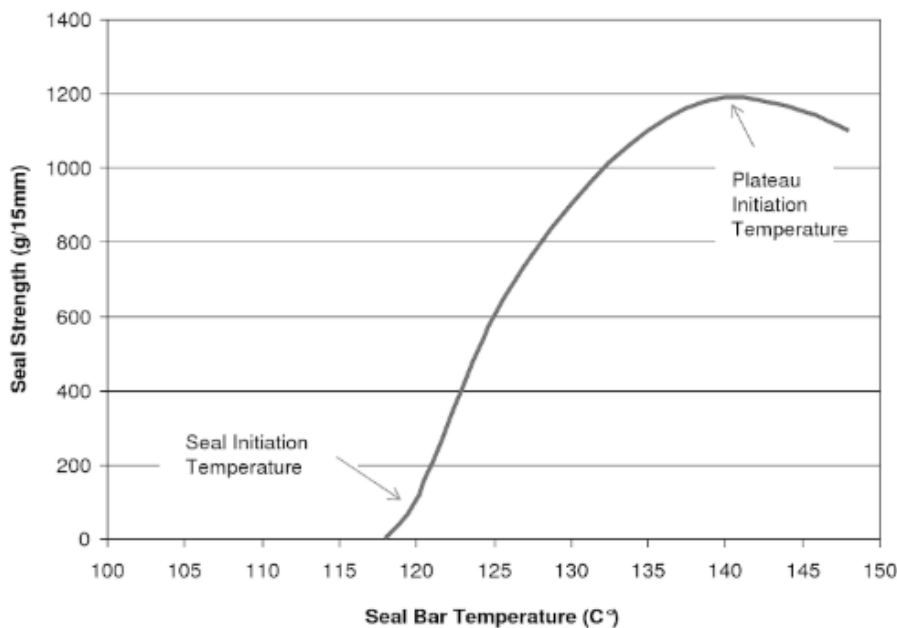
Hoog-frequent sealen brengt de moleculen in de kunststof films aan het trillen door het aanleggen van hoge-frequentie-golven. De moleculen worden georiënteerd via polarisatie. Bij het sealen met een laser ten slotte worden laserstralen uitgezonden met golflengten die gemakkelijk geabsorbeerd worden door de films. De films zullen hierbij opwarmen en met elkaar hechten [47, pp. 60-61, 48].

4.4.2 Sealsterkte

Zoals reeds vermeld is warme balk sealen de meest gebruikte techniek voor het produceren van flexibele verpakkingen [47]. Bij deze techniek worden twee polymeeroppervlakken opgewarmd en tegeneen gedwongen zodat de polymeerketens van de seallaag mobieler worden en met elkaar gaan verstrengelen [46]. Dit vereist een goede controle over de procesparameters, zoals de sealtijd, -temperatuur en -druk die afhankelijk zijn van de eigenschappen van de laminaatfilm. Uit verpakkingsonderzoek blijkt dat de sealsterkte, de *hot tack* waarde, dit is de sealsterkte direct nadat de seal gevormd wordt en voordat deze heeft kunnen afkoelen, en de lektheid, afhankelijk van het type onderzoek, de belangrijkste gegevens zijn voor het bepalen van de sealkwaliteit [49, 50, 47, 51].

De lektheid van niet poreuze verpakkingsmaterialen of flexibele barrière films wordt doorgaans bepaald volgens de norm ASTM F3038-13: “Standard test methods for seal strength of flexible barrier materials” (2014). De standaard testmethode voor de sealsterkte van flexibele barrière films staat beschreven in de norm ASTM F88F88M: “Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials” (2017). De term ‘aanvaardbare warmte seal’ verwijst naar een warmte seal waarbij, indien onderworpen aan een trektest, de gelamineerde film stukgetrokken wordt of waarbij delaminatie optreedt in plaats van dat de seal gepeeld wordt. De sealsterkte moet dus groter zijn dan de sterkte van de laminaatfilm [52]. Het is wel belangrijk hierbij op te merken dat het hier niet gaat over de toepassing waarbij de verpakking juist *peelbaar* moet zijn en waarbij het stuktrekken van de verpakking net als onaanvaardbaar beschouwd wordt. Het is namelijk in sommige toepassingen gewenst dat verpakkingen eerder gemakkelijk geopend kunnen worden. De sealsterkte wordt gedefinieerd als de maximum kracht per breedte-eenheid vereist om een seal te verbreken [53].

De sealsterkte wordt doorgaans voorgesteld door een plot van de sealsterkte in functie van de sealtemperatuur (Figuur 21). De sealsterkte bedraagt nul bij lage temperaturen tot het punt waar de sterkte begint toe te nemen, de sealinitiatietemperatuur genoemd. De sealsterkte zal vanaf dit punt toenemen met de temperatuur tot de maximale sealsterkte. Het punt waar deze maximale sealsterkte terug begint af te nemen, wordt de plateau initiatie temperatuur genoemd. Tussen de seal- en plateau initiatie temperaturen ligt het sealvenster waartussen idealiter geseald wordt. Dit sealvenster en dus ook de sealsterkte worden beïnvloed door de sealeigenschappen van de film, de sealsnelheid, de sealtemperatuur, de uniformiteit van de sealtemperatuur en -druk over het te sealen gebied, het verpakkingsdesign, het gewicht van de verpakkingsinhoud en de aanwezigheid van eventuele contaminatie op het te sealen oppervlak [47, pp. 62-63].



Figuur 21: S-vormige sealcurve met seal initiatie en plateau initiatie temperatuur [48, p. 63]

Verschillende studies met betrekking tot de invloed van de sealparameters op de sealsterkte zijn terug te vinden in de literatuur. H.W. Theller bestudeerde de sealbaarheid van plastic films met warme balken [49]. Uit zijn onderzoek bleek dat vooral de sealbalktemperatuur en in iets mindere mate ook de sealtijd de grootste invloed hebben op de uiteindelijke sealsterkte. Hoe hoger de sealtemperatuur, hoe hoger de sealsterkte tot aan het bereiken van het plateau van de S-curve. De temperatuur mag niet te hoog gelegen zijn aangezien er dan vervormingen van het sealoppervlak kunnen optreden.

De druk waarmee de te sealen oppervlakken tegen elkaar geduwd worden, heeft daarentegen weinig invloed. De druk moet natuurlijk wel groot genoeg zijn opdat er goed contact is tussen de polymeren, maar wanneer men de druk tot boven dit niveau brengt, wordt er geen effect ondervonden. Meka en Stehling kwamen tot dezelfde vaststelling in hun onderzoek naar de effecten van de sealeigenschappen van warme balk sealen op de sealsterkte van polyethyleen films [54, 50].

Uit het onderzoek van Tetsuya *et al.* naar het effect van de sealbalktemperatuur op de mechanische eigenschappen en morfologie van georiënteerd polypropyleen (OPP) / gegoten-polypropyleen (CPP) laminaatfilms blijkt dat de sealsterkte deels bepaald wordt door de oriëntatie van de films [55]. Optimale sealprestaties worden dan ook verkregen bij de sealtemperatuur waar de totale kristalliniteit van het filmmateriaal het hoogste is. Meerlaagse films bestaande uit stijvere lagen zoals PET kennen een verbetering van mechanische eigenschappen vergeleken met *monolayer* sealmaterialen zoals LDPE volgens het onderzoek van Planes *et al.* [56]. De maximale sealsterkte zou toenemen met het aantal stijve PET lagen. Uit het onderzoek van Yamada *et al.* naar de invloed van het sealbalkprofiel op de eigenschappen van de warmte seal blijkt dan weer dat de sealsterkte toeneemt met het aantal mazen van het balkprofiel. Dit effect van het sealbalkprofiel werd getest a.d.h.v. een trektest, een DSC test en een micro-Raman-spectroscopie op OPP/CPP films [57].

De meest voorkomende seallaag bestaat uit LDPE. LLDPE en de metallocene vorm van LLDPE, mLLDPE, worden hiernaast ingezet om nog betere sealeigenschappen te verkrijgen. Uit de studie van Yuan et al. naar de sealsterkte van gelamineerde films met seallagen uit LLDPE en LDPE geseald met warme balken blijkt dat LLDPE als seallaag een hogere maximale sealsterkte oplevert dan LDPE. Na het bereiken van de initiële plateau temperatuur kent de sealsterkte van LDPE geen stijging meer. De sealsterkte van LLDPE blijft hierna echter continu stijgen en bereikt zo hogere sealsterktes. Deze continue stijging is te wijten aan het dalen van het amorf karakter van LLDPE. Hoe hoger de temperatuur hoe meer de polymeerketens verstrengelen en hoe compacter de ketens geordend worden. Dit leidt tot een hogere kristalliniteitsgraad wat samengaat met grotere sealsterktes. Daar LDPE een veel grotere vertakkingsgraad kent dan LLDPE, kunnen LDPE ketens minder opeen gepakt worden en is de structuur minder kristallijn. Een verhoging van de temperatuur resulteert hier dan ook niet in een verdere stijging van de sealsterkte [52, 58]. Sealen bij een te hoge temperatuur kan echter wel nadelig zijn voor de *hot tack* waarde. De goede eigenschappen van metallocene plastomeren zoals mLLDPE worden duidelijk in het werk van Mesnil *et al.* [51]. Metallocene plastomeren zijn gekend om hun taaiheid en uitstekende sealeigenschappen in flexibele verpakkingen zoals lage initiële temperaturen, hoge *hot-tack* waarden en goede sealsterktes over een breed sealvenster.

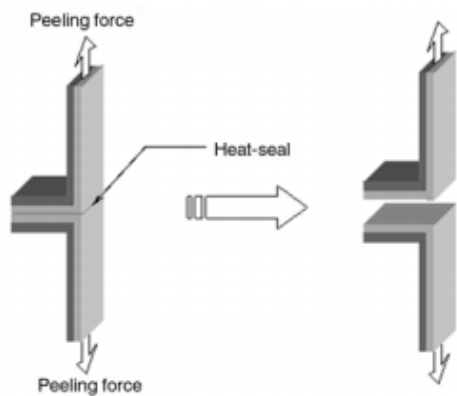
Uit het onderzoek van Mesnil *et al.* naar de sealeigenschappen van metallocene plastomeren bij het sealen doorheen de contaminaties koffie, geraspte kaas, melkpoeder, ketchup, mayonaise, vleessap en olijfolie blijkt dat de plastomeren ook doorheen contaminatie goede sealsterktes leveren, wat niet het geval is voor de conventionele polymeren. Conventionele filmmaterialen zoals ionomeren sealen redelijk doorheen de contaminaties olijfolie en mayonaise, maar de plateau sealsterkte neemt gestaag af met minstens 50% voor de andere voedingsproducten. Deze resultaten werden verkregen door het vergelijken van de seal initiële temperatuur, de peelsterkte van het plateau, de maximale *hot-tack* kracht en het *hot-tack* venster. De metallocene plastomeren hebben deze uitstekende eigenschappen te danken aan hun uniforme structuur waarbij alle ketens even lang zijn en zo makkelijker met elkaar kunnen verstrengelen tot een compact geheel [59].

Op vlak van contaminatie voerde Ernst tevens een vergelijkende studie uit naar het ultrasoon en warmte sealen van films gecontamineerd met de vaste stoffen bloem en koffie [60]. De aanwezigheid van de vaste contaminatie heeft volgens zijn resultaten geen of weinig invloed op de sealsterkte van de ultrasone seals, maar heeft wel invloed op de warmte seals waar de sterkte tot met de helft afnam. Het effect van de contaminatie met bloem was daarbij groter dan deze met koffie. De oorzaak hiervan wordt niet duidelijk verklaard, maar zou te wijten kunnen zijn aan het niet uniform aanbrengen van de hoeveelheid contaminatie.

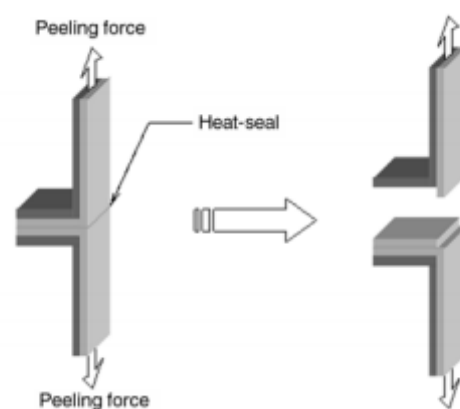
Volgens M. Dudbridge en R. Turner zou één derde van de warmte seals lekken vertonen en dus van onvoldoende kwaliteit zijn [61]. Bij 65% van de gevallen waar lekken optreden, zou dit te wijten zijn aan contaminatie op het te sealen verpakkingsoppervlak. De aanwezigheid van contaminatie heeft dus wel degelijk een invloed op de sealsterkte van conventionele verpakkingsmaterialen. De invloed kan echter gereduceerd worden door gebruik te maken van de meest geschikte sealtechniek. Zo blijkt uit het onderzoek van Bach *et al.* dat ultrasoon sealen hogere sealsterktes oplevert voor het sealen doorheen poeders zoals koffiepoeder en tarwemeel. Warme balksealen zou op zijn beurt beter geschikt zijn voor het sealen van films gecontamineerd met geraspte kaas, olijfolie en salade dressing [4].

Yuan en Hassan tonen in hun onderzoek naar het effect van de warmte sealparameters op de sealsterkte van OPP/MCPP aan dat de wijze van falen van de seal gerelateerd is aan de sealsterkte [53]. Bij het sealen onder de smelttemperatuur van de seallaag, wordt de seal verbroken via *peel* (Figuur 22). Van alle mogelijke faalwijzen geeft het falen via *peel* de laagste sealsterkte. Bij *peel* ontvlechten de polymere moleculen aan het oppervlak wat ervoor zorgt dat de binding verbroken wordt. *Peel* treedt op wanneer de bindingssterkte kleiner is dan de sterkte van de laminaatfilm. De sealsterkte neemt toe met stijgende balktemperaturen wat te verklaren is a.d.h.v. de brownse beweging beschreven door de Schotse botanicus Robert Brown. De Brownse beweging omschrijft de geleidelijke verplaatsing van een deeltje volgens een toevallig patroon in alle richtingen. Deze beweging is te wijten aan het botsen van atomen en moleculen. Naarmate materie heter wordt, stijgt het aantal botsingen en dus ook de beweging van de materie. De thermische beweging van ketensegmenten van polymeren neemt dus toe met de balktemperatuur [50, 62]. Hoe hoger de temperatuur hoe dieper de polymeren in elkaar diffunderen en dus hoe hoger de kracht nodig om de seal te verbreken. In de transitiezone, bij temperaturen hoger dan de sealinitiatietemperatuur, zorgen de fenomenen *peel*, delaminatie, *tear* of een combinatie van *tear* en delaminatie voor het verbreken van de seal. Uiteindelijk zal de sealsterkte met de temperatuur toenemen tot dat enkel *tear* of delaminatie of een combinatie van beide optreedt. Dit is enkel het geval voor seallagen zonder peelcomponenten. Bij films waar *peel* gewenst is, mag geen *tear* of delaminatie optreden.

Figuur 23 stelt het verbreken van de seal via delaminatie voor waarbij de seallaag breekt aan het oppervlak gevolgd door een geleidelijke scheiding van de interlaminaire binding. Dit treedt op wanneer de sterkte van de seal groter is dan de sterkte van de lijmlaag. De seallaag zal dan ook intact gehouden worden. Delaminatie treedt op bij hogere sealsterktes dan *peel*.



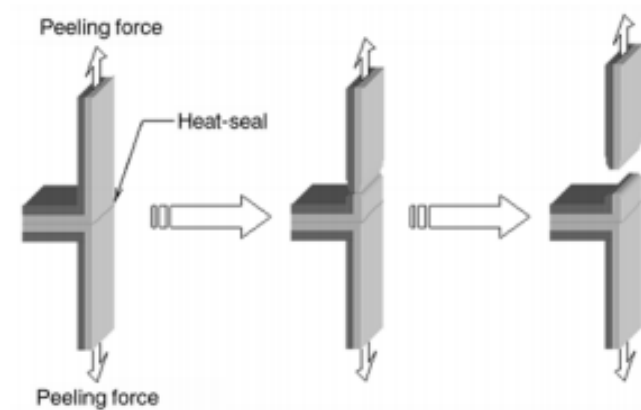
Figuur 22: Verbreken seal via peel



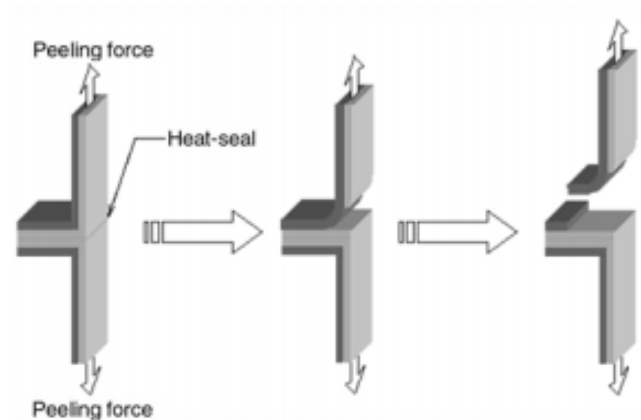
Figuur 23: Verbreken seal via delaminatie

De sealsterkte is het hoogst wanneer de seal verbroken wordt via *tear* (Figuur 24). Dit treedt op wanneer de sterkte van de laminaatstructuur lager is dan de sterkte van de seal en van de interlaminaire hechting. Hierdoor treedt breuk van de folie op.

De combinatie van de fenomenen *tear* en delaminatie (Figuur 24) treedt vermoedelijk op wanneer de interlaminaire binding ongelijk versterkt wordt bij verhoogde temperaturen van de sealbalken. Hierdoor zal de laminaatfilm eerst gescheiden worden in monolaagstructuren en zal vervolgens breken op de plaats waar de interlaminaire binding zwak is ten gevolge van onregelmatige versterking en dus onregelmatige trekspanningsverdeling. Deze bevindingen worden ook bevestigd in het onderzoek van Planes *et al.* [56].



Figuur 24: Verbreken seal via tear



Figuur 25: Verbreken seal via combinatie tear en delaminatie

4.4.3 Sealdefecten

Sealdefecten gaan vaak gepaard met het ontstaan van lekken en dienen dus ten aller tijde vermeden te worden. Hieronder volgt een opsomming van verschillende mogelijke sealdefecten die kunnen optreden bij het warme balk sealen [63, 64].

4.4.3.1 Schuur op de seal

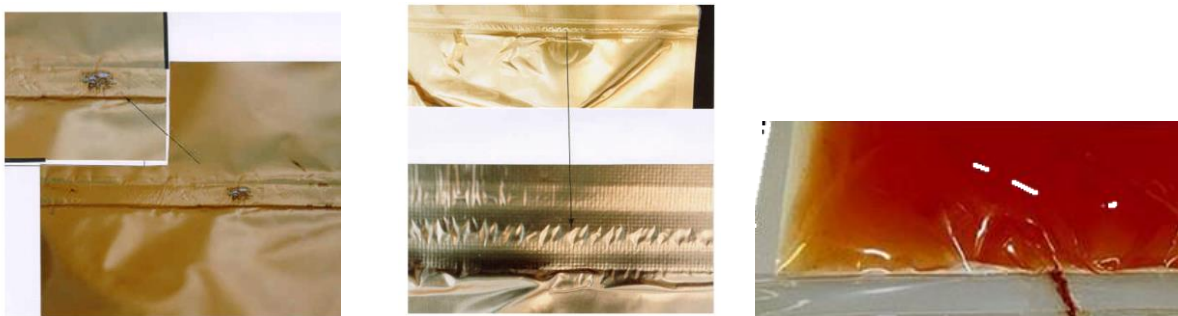
Tijdens het sealen is het mogelijk dat er materiaal van de vorige seal aan de sealbalken of de profielen van het warme luchtsealen blijft hangen en zo de nieuwe seal beschadigt door er overheen te schuren. Indien de schuur doordringt tot de binnenste polymeerlagen, gaat het om een serieus defect. Bij een klein defect tast de schuur enkel de buitenste laag aan (Figuur 26 a).

4.4.3.2 Blaasje/ luchtbel

Wanneer verontreinigingen aanwezig zijn in de seal gedurende de sealvorming bestaat er de mogelijkheid op vorming van luchtblaasjes in de seal (Figuur 26 b). De vorming van blaasjes wordt als een ernstig defect beschouwd indien de totale breedte van de continu intacte seal gereduceerd wordt naar minder dan 3 mm [64].

4.4.3.3 Kanaallek

In sommige gevallen is het mogelijk dat bepaalde plaatsen van de seal niet goed hechten. Er kunnen zich dan kanaaltjes vormen waardoor het product kan lekken (Figuur 26 c). Een kanaallek wordt steeds beschouwd als een ernstig defect en kan veroorzaakt worden door slechte instellingen van het sealapparaat (temperatuur, druk, tijdsinterval) of door de aanwezigheid van contaminatie tijdens het sealproces.



Figuur 26: a) Schuur op verpakingsseal [64], b) Luchtbellens in seal [64], c) Kanaallek in verpakingsseal [63]

4.4.3.4 Delaminatie

Delaminatie ter hoogte van de seal wordt veroorzaakt door het te warm sealen of door een slecht hechtvermogen van het materiaal van de stazak. Bij delaminatie komen de verschillende polymeerlagen van een meerlaagse film los van elkaar (Figuur 27 a). Delaminatie dient ernstig genomen te worden indien het gedelamineerde gebied groter is dan 1 cm² [63].

4.4.3.5 Gecontamineerde seal

Indien er zich contaminatie bevindt op het te sealen gebied, ontstaan verdikkingen en lekken in de seal (Figuur 27 b). Het kan gaan om het verpakte product in vaste, vloeibare of poedervorm of om een externe contaminatie die op het sealgebied terecht is gekomen gedurende het vulproces. Contaminatie dient ernstig in acht genomen te worden indien de intacte sealbreedte gereduceerd wordt naar minder dan 3 mm.

4.4.3.6 Relief/ kreuk in seal

In sommige seals kan een soort indrukking waargenomen worden waarbij het materiaal aan de ene kant van de seal lichtjes ingedrukt wordt en aan de andere kant van de seal lichtjes naar buiten steekt (Figuur 27 c). Dit is echter in de meeste gevallen geen ernstig defect en kan veroorzaakt worden door contaminatie, een gecondenseerde waterbel in de seal of onregelmatigheden in de sealbalken.



Figuur 27: a) Delaminatie ter hoogte van verpakkingsseal, b) Gecontamineerde seal, c) Indrukking in seal [64]

4.4.3.7 Kromme seal

Een kromme seal is een seal die niet parallel loopt aan de snijkant van de stazak (Figuur 28 a). Dit fenomeen kan optreden door het foutief leiden van de stazak doorheen het sealapparaat. De intacte sealbreedte mag in geen geval gereduceerd worden naar minder dan 3 mm [63].

4.4.3.8 Slecht uitgelijnde seal

Bij een slecht uitgelijnde seal wordt de seal gevormd in een niet continue, rechte lijn doordat de stazak slecht gepositioneerd wordt bij het sealproces of door het gebruik van slecht uitgelijnde sealbalken (Figuur 28 b). De breedte van de intacte seal mag hierbij in geen geval gereduceerd worden naar minder dan 3 mm.

4.4.3.9 Slecht hechtende seal

Bij een slecht hechtende seal kunnen de sealfilms niet goed samenvoegen bij het hechten wat resulteert in een zeer zwakke seal (Figuur 28 c). Dit is een zeer ernstig defect en is in de meeste gevallen te wijten aan de aanwezigheid van contaminatie en aan incorrecte instellingen van de sealparameters (druk/temperatuur/ tijdsinterval).



Figuur 28: a) Seal niet parallel aan wand, b) Slecht uitgelijnde seal, c) Slecht hechtende seal [63]

4.4.3.10 **Dradige seal**

Een dradige seal treedt op indien er buitensporige kunststofdraden zichtbaar zijn aan de randen van het sealgebied (Figuur 29 a). Dit defect wordt veroorzaakt door een te hoge warmte en druk gedurende het sealen. Dit defect zorgt echter in de meeste gevallen niet voor problemen.

4.4.3.11 **Plooiën/kreuken in seal**

Een kreuk is een materiële vouw in het sealgebied en is ernstig indien dit de breedte van de intacte seal reduceert naar minder dan 3 mm (Figuur 29 b). Kreuken in de seal treden op indien de te sealen oppervlakken niet vlak of parallel aan elkaar zijn of indien ze niet goed gespannen worden bij het sealen.



Figuur 29: a) Dradige seal, b) Plooiën/kreuken in seal [63]

4.5 Lekdetectie

4.5.1 Reden gebruik lekdetectie

Voedselproducenten steken veel energie in het kiezen van geschikte verpakkingsmaterialen en sealtechnieken, maar besteden amper aandacht aan lekdetectie. Het werkelijke lekpercentage in de verpakkingsbranche ligt dan ook verontrustend hoog. Volgens M. Dudbridge en R. Turner zou één derde van de warmte seals lekken vertonen en dus van onvoldoende kwaliteit zijn [61]. Zonder lekdetectie direct na het verpakken is er een grote kans dat er pas tijdens opslag, transport of verderop in de keten aan het licht komt dat een hele productiereeks niet goed luchtdicht verpakt is. Dit zorgt ervoor dat ongewenste organismen en zuurstof de verpakking kunnen binnendringen en het verpakte product kunnen aantasten of dat er lekken ontstaan wat productverlies als gevolg heeft. Deze reeks moet dan herverpakt of vernietigd worden wat hoge kosten met zich meebrengt. Indien de verpakkingslekken niet opgemerkt worden, zal in de winkel of bij de consument thuis blijken dat het product bedorven is. Lekke verpakkingen zorgen dus voor hoge kosten en brengen enorme schade aan een merk toe. Zo brengt het vervangen van producten een kost met zich mee, moeten gedane kosten alsook schade als gevolg van voedselvergiftiging en imagoschade vergoed worden, etc.

Het nauwkeurig detecteren van eventuele fouten direct na het verpakken kan dus heel wat schade voor het bedrijf en voedselverspilling voorkomen.

4.5.2 Keuze goede lekdetectiemethode

Veel verpakkingsproducenten testen hun verpakkingen op mogelijke lekkage door het nemen van steekproeven volgens opgelegde normen. De meest voorkomende testmethode is de bubbeltest volgens de normen ASTM F2096 – 11: “Standard Test Method for Detecting Gross Leaks in Packaging by Internal Pressurization (Bubble Test)” (2011) en ASTM D 3078 – 02: “Standard Test Method for Determination of Leaks in Flexible Packaging by Bubble Emission” (2013). Deze methode filtert echter enkel de relatief grote lekken eruit. Minuscule kleine lekken blijven onopgemerkt en kunnen verder in de keten voor problemen zorgen. Het is dus belangrijk om een lekmethode te kiezen die ook de kleine lekken kan waarnemen.

Bij het zoeken naar een geschikte lekdetectiemethode is het aangeraden om te weten wat het doel van de test gaat zijn. Indien systematische fouten opgespoord moeten worden, kan dit best via een *offline* methode. Systematische fouten zijn fouten die steeds terugkomen zoals de vorming van een bepaalde hoek in de seal. *Offline* methodes gebeuren handmatig en worden ingevoerd om testen steekproefsgewijs uit te voeren.

Ook is het belangrijk om uit te maken of de geteste verpakking na de lekdetectie nog bruikbaar moet zijn. Bij niet-destructieve lekmethodes worden testen uitgevoerd zonder dat het object beschadigd wordt, bij destructieve testen daarentegen ondervinden de verpakkingen wel beschadigingen.

Indien alle verpakkingen of een bepaald percentage van de verpakkingen op de productielijn dienen getest te worden, kan dit best via een niet-destructieve *inline* methode met hogere snelheden. Hier gebeurt de lekdetectie automatisch en is het mogelijk om defecten die niet systematisch voorkomen te detecteren. Niet systematische lekken ontstaan willekeurig door bijvoorbeeld contaminatie van de seal.

4.5.3 Soorten lekdetectiemethodes

Voor de verpakkinglijnen van poeders in stazakken binnen Aminolabs is het gewenst om een volautomatische niet-destructieve lekdetectiesystemen te implementeren. Aangezien de defecten die optreden in de zakken niet systematisch voorkomen, is een controle van elke verpakking afzonderlijk vereist. De stazakken dienen getest te worden op lekken en slechte hechtingen. De implementatie van een lekdetectiesysteem moet er tevens voor zorgen dat er tijd en kosten in mankracht bespaard wordt.

4.5.3.1 Visuele inspectie

Visuele of manuele inspectie is de minst accurate lekdetectiemethode. Bij deze methode wordt de verpakking na het sealen door een werknemer geïnspecteerd met het blote oog en kan er eventueel met de verpakking geschud worden om na te gaan of er product uit de verpakking vrijkomt. Het gaat dus om een manuele methode. Het blote oog heeft slechts een beperkte resolutie wat maakt dat kleine lekken of defecten niet gedetecteerd kunnen worden. Door te schudden kunnen net zoals met het oog grote lekken gedetecteerd worden. Kleinere lekken die niet per se product doorlaten en slechte hechtingen kunnen hiermee echter niet gedetecteerd worden. Kleine lekken zouden in het verloop van de *supply chain* groter kunnen worden en zo kan de verpakking defect bij de klant aankomen.

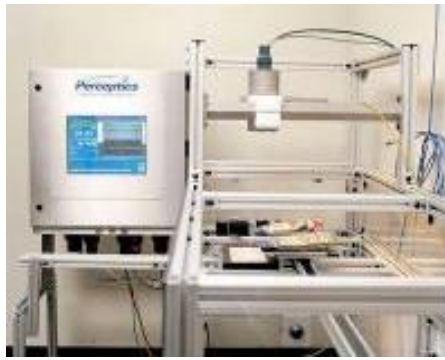
Slechte hechtingen zijn moeilijk waar te nemen aangezien het niet altijd duidelijk is wanneer een sealhechting sterk genoeg is. De ene werknemer kan te hard aan de seal trekken waardoor deze lost terwijl de seal oorspronkelijk wel sterk genoeg was. De andere werknemer zet dan weer een te kleine kracht op de seal zodat een slechte hechting niet waargenomen wordt. Slechte hechtingen leiden in veel gevallen tot lekken in de verpakking met alle gevolgen van dien.

Tabel 1: Samenvatting kenmerken visuele lekdetectie

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	inline/offline	beperkingen
Visuele inspectie	Neen	Ja	Ja	Neen	Manueel	Onnauwkeurig

4.5.3.2 Camera vision

De camera inspectie methode heeft een zeer eenvoudige werking. Een camera inspecteert het gebied van het te sealen gebied voor en nadat er geseald wordt (Figuur 30). Zo kan de kwaliteit van de seal achterhaald worden en kan er beslist worden of de verpakking al dan niet voldoet aan de voorwaarden. Er wordt gedurende de test geen contact gemaakt met de verpakking zodat het duidelijk om een niet-destructieve test gaat. Met de test kan enkel de sealkwaliteit beoordeeld worden van verpakkingen uit transparant materiaal. De camera moet steeds het juiste gebied in beeld brengen en dient dus steeds bijgesteld te worden. Of er al dan niet lekken of andere defecten in de gehele verpakking zijn, kan met de camera inspectie niet achterhaald worden. Met deze methode is het mogelijk om een groot aantal verpakkingseenheden per minuut te inspecteren [65].



Figuur 30: Camera vision 'Perceptics SealSafe' [65]

Tabel 2: Samenvatting kenmerken camera vision methode

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	inline/offline	beperkingen
Camera vision	Neen	Neen	Ja	Ja	Inline	Transparant materiaal

4.5.3.3 Bubbeltest/ waterbakmethode

Bij de bubbeltest of waterbadmethode wordt de proefverpakking geplaatst in een met water gevulde kamer (Figuur 31). De luchtruimte boven de waterspiegel wordt vervolgens vacuüm gezogen met behulp van een perslucht aangedreven venturi-ventiel. Door de vacuüm omgeving zwelt de ondergedompelde verpakking op en ontsnapt lucht of vulgas indien er lekken in de verpakking zijn. De ontsnapte lucht of gas wordt dan zichtbaar als opstijgende bellen. Bellen tonen dus plaatsen aan waar de verpakking niet luchtdicht is. Voordelen van de bubbeltest zijn dat de testtijd relatief kort is voor een *stand-alone* test (+/- 30 sec.), dat de test geschikt is voor alle soepele en vaste verpakkingsoorten, dat er geen beschermgas in de verpakking nodig is en dat de installatie van het apparaat zeer eenvoudig is. De bediening is ook zeer eenvoudig en er komen geen vacuümpomp of elektrische aansluitingen aan te pas. Het grootste nadeel van de testmethode is dat deze niet zeer nauwkeurig is. Volgend de norm ASTM F2096 – 11 kunnen enkel relatief grote lekken vanaf 250 µm waargenomen worden. De kleinere lekken van enkele µm die ook ernstige gevolgen voor de kwaliteit van het product kunnen hebben, worden vaak niet waargenomen [66, 66].



Figuur 31: Bubble test 'Leak Detector Master Easy' [67]

Tabel 3: Samenvatting kenmerken bubble test detectiemethode

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	inline/offline	bepkeringen
<i>Bubble test</i>	Neen	Ja	Neen	Neen	Offline	Onnauwkeurig

4.5.3.4 Pressure difference

Bij de lekdetectiemethode *pressure difference* wordt de dikte van de flexibele verpakkingzak gemeten m.b.v. lasers die onderdeel zijn van een *compression seal check unit* voor en na het aanbrengen van een welbepaalde druk. Op deze manier is het mogelijk om luchtlekken en diktevariaties van gesealde verpakkingen na te gaan. Apparatuur van de methode wordt weergegeven in Figuur 32. De *pressure difference* testmethode laat toe om de integriteit van de verpakking te testen en zo lekken tot 3 mm te detecteren met een snelheid van 200 verpakkingseenheden per minuut.

Het is echter niet mogelijk om de sealkwaliteit na te gaan. De methode die onafhankelijk is van de vorm van de zak vereist dat er genoeg lucht in de verpakking aanwezig is zodat niet het product maar de lucht in de verpakking onderhevig is aan de aangebrachte druk. De test is enkel geschikt voor *pillow bags* met snackproducten. Te testen verpakkingen ondervinden contact van het systeem, maar worden niet beschadigd doordat de methode niet destructief is. De standaard om de test uit te voeren staat beschreven in de norm ASTM E2930: “Standard Practice for Pressure Decay Leak Test Method”(2013) [68, 69].



Figuur 32: Pressure difference methode: Blueprint Automation Seal Checker [69]

Tabel 4: Samenvatting kenmerken pressure difference methode

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	inline/offline	bepkeringen
<i>Pressure difference</i>	Neen	Ja	Neen	Neen	Inline + Offline	Enkel pillow bags met genoeg lucht

4.5.3.5 *Vacuum decay*

De niet-destructieve *vacuum decay* inspectiemethode wordt gebruikt om verpakkingslekken en onzichtbare defecten te detecteren met behulp van een absolute of differentiële druktransducer (Figuur 33). De te testen verpakking wordt blootgesteld aan een vacuüm testomgeving waarna een eventuele drukstijging gemeten wordt die aantoont of er al dan niet lekken in de verpakking aanwezig zijn. De test is geschikt voor gesealde rigide, semi-rigide en flexibele verpakkingen die gemaakt zijn van niet-poreuze of poreuze materialen. De test is niet geschikt om de kwaliteit van de seal na te gaan. De test is onafhankelijk van de vorm van de verpakking, maar is niet geschikt voor krisperige producten. Configuraties kunnen wel gewijzigd worden aan de hand van het type verpakking en de gewenste gevoeligheid. Lekken tot een omvang van 1,5 micrometer kunnen gedetecteerd worden. Standaard wordt de *vacuum decay* methode uitgevoerd volgens de norm ASTM F2338: “Standard Test Method for Nondestructive Detection of Leaks in Packages by Vacuum Decay Method”(2013) [70].



Figuur 33: *Vacuum decay* methode: PTI Veripac [72]

Tabel 5: Samenvatting kenmerken *Vacuum decay* methode

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	inline/offline	bependingen
<i>Vacuum decay</i>	Neen	Ja	Neen	Neen	Inline (in manuele lijn) + Offline	/

4.5.3.6 *Tracer gases*

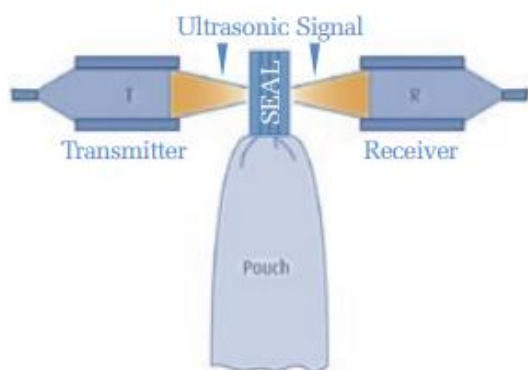
Bij de *Tracer gases* of traceergas methode wordt het CO₂ dat zich reeds in de verpakking bevindt, gebruikt als traceergas om de geproduceerde verpakkingen direct na het verpakkingsproces te controleren op lekdichtheid. Bij deze methode worden de verpakkingen of omverpakkingen in een maatkamer geplaatst waar een instelbaar vacuüm gecreëerd wordt. Hierdoor ontstaat er een drukverschil tussen het proefproduct en de meetkamer. Lekken in de verpakking laten het CO₂ beschermgas ontsnappen zodat de concentratie aan CO₂ in de meetkamer toeneemt. Een sensor die gevoelig is aan CO₂ zal dan reageren op deze toename. De *Tracer gases* methode maakt het mogelijk om zelfs de kleinste lekkages waar te nemen. De methode kan handmatig en *offline* gebeuren, maar het is ook mogelijk om de methode *inline* toe te passen. De methode is wel enkel geschikt voor MAP (Modified Atmosphere Packaging). Naast CO₂ kan er ook gebruik gemaakt worden van andere tracer gassen zoals H₂, N₂ en helium [71, 72].

Tabel 6: Samenvatting kenmerken Tracer gases methode

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	inline/offline	beperkingen
Tracer gases	Neen	Ja	Neen	Neen	Inline + Offline	Alleen MAP

4.5.3.7 Ultrasound inspection

De *Ultrasound inspection* lekdetectiemethode maakt gebruik van ultrasone golven. Dit zijn geluidsgolven waarvan de frequentie te hoog ligt om hoorbaar te zijn voor de mens (20kHz-800 MHz). De stazak-seal wordt geplaatst tussen een transmitter die ultrasone golven uitzendt en een *receiver* die de golven opvangt (Figuur 34). De golven zullen zich verspreiden door de verschillende materiaallagen. Indien er openingen of andere defecten aanwezig zijn in de seal en de geluidsgolven zich dus door verschillende mediums verspreiden, zullen deze golven gereflecteerd worden aan de mediumovergangen en zal zo de signaalsterkte van de golven afnemen (Figuur 35). De hoeveelheid signaal dat doorheen de seal gaat is dus een functie van de sealintegriteit. Van deze methode voor de evaluatie van de sealkwaliteit m.b.v. ultrasone golven bestaat zelfs een norm, namelijk de norm ASTM F3004 - 13e1: “Standard Test Method for Evaluation of Seal Quality and Integrity Using Airborne Ultrasound” (2013). Een kleine snee in het materiaal, een kreuk, een luchtbel, het ontbreken van een laag van de meerlaagse film, een slechte hechting van de seallaag, de aanwezigheid van contaminatie, enz... zijn voorbeelden van defecten die zorgen voor een verlaagde signaalsterkte en die dus gedetecteerd kunnen worden gebruik makend van de *ultrasound inspection* lekdetectiemethode.



Figuur 34: Ultrasonische transmitter en receiver [75]

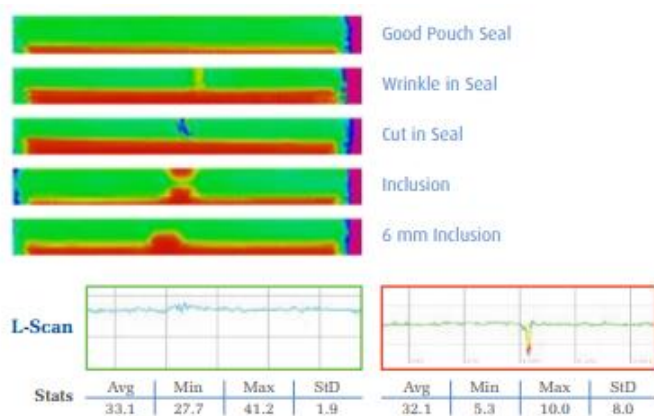


Figuur 35: Ultrasonische golven doorheen meerlaags materiaal; bovenaan zonder defect, onderaan met lek [74]

Een sensor zal de seals van de stazakken uit elk mogelijk materiaal inspecteren op defecten en dit op een niet-destructieve manier die volledig *inline* gebeurt met een snelheid tot 70 verpakkingen per minuut. Seals die defect of niet sterk genoeg zijn worden gedetecteerd en kunnen zo verwijderd worden. Er wordt een enkelvoudige lineaire scan (L-scan) langsheen de x-as van de seal gemaakt die ervoor zorgt dat een lijngrafiek van de sealintegriteit verkregen wordt (Figuur 36). Het maken van een L-scan duurt minder dan een seconde en toont aan of de sealkwaliteit al dan niet defecten vertoont. Deze methode is geschikt voor alle soorten materialen en detecteert defecten tot 500 micrometer aan een snelheid van 500 mm materiaal per seconde.

Er bestaat ook een *offline* versie van deze lekdetectiemethode die seals die er visueel acceptabel uitzien, maar toch defecten vertonen die invloed hebben op de productkwaliteit, in kaart kan brengen. De methode werkt niet-destructief en maakt gebruik van *digital imaging software tools* die diepgaande sealkwaliteitsanalyses aanbieden. Met een scan van de seal kunnen zowel een L- als een C-scan gemaakt worden.

Een C-scan maakt meerdere scans langsheen de x- en y-as van de stazak-seal zodat een opto-akoestisch beeld van hoge resolutie van de sealstructuur verkregen kan worden (Figuur 36). De online methode geeft enkel een *pass of fail* resultaat, maar zal de defecten in de seal niet in beeld brengen. De *offline* methode is daarom een goede aanvulling van de *inline* methode aangezien deze m.b.v. zijn uitgebreide software de defecten duidelijk in beeld kan brengen [73, 74].



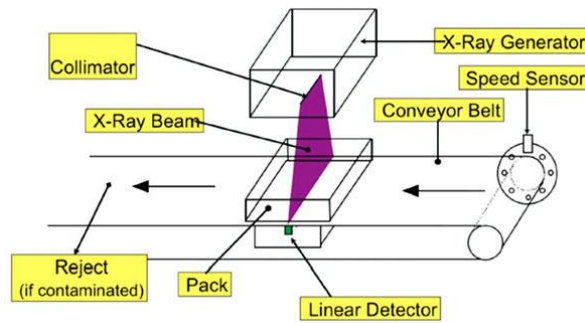
Figuur 36: L-scan (onderaan) en C-scan (bovenaan) [73]

Tabel 7: Samenvatting kenmerken ultrasound methode

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	inline/offline	beperkingen
<i>Ultrasound inspection</i>	Neen	Neen	Ja	Ja	Inline + Offline	/

4.5.3.8 X-ray inspection

De *X-ray inspection* methode maakt gebruik van X-straling, beter bekend als röntgenstraling. Dit is elektromagnetische straling die tussen ultraviolet licht en gammastraling ligt in het elektromagnetische spectrum. De methode maakt het mogelijk om vreemde contaminaties met de laagste dichtheden (roestvrij staal, glas, steen, beenderen, schelpen, kunststoffen, vaste rubbers, etc...) te detecteren in het te onderzoeken product. De generator van het X-stralings-inspectiesysteem produceert X-straling die doorheen het product gezonden wordt (Figuur 37). De doorgelaten straling wordt opgevangen door sensoren onder het product waarna er röntgenbeelden verkregen worden. Indien er op de beelden contaminaties zichtbaar zijn, wordt het product verworpen uit de productielijn. Met de methode kan er niet achterhaald worden of er lekken aanwezig zijn in de verpakking. Wel kan de sealkwaliteit met de methode beoordeeld worden. Indien er contaminatie aanwezig is in de seal, is de seal van slechte kwaliteit [75, 76].



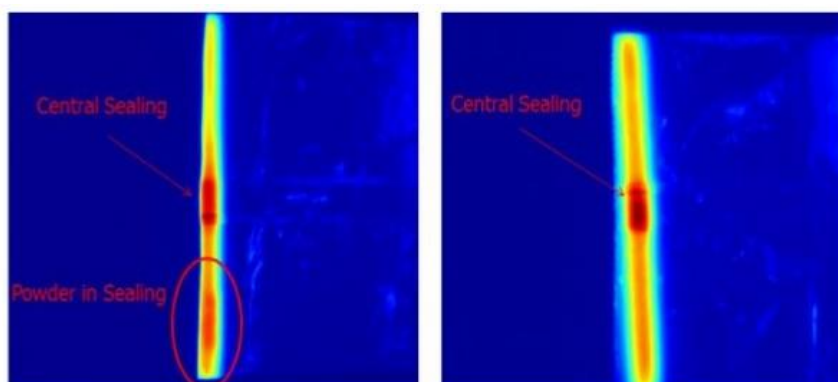
Figuur 37: X-ray inspectie systeem [79]

Tabel 8: Samenvatting kenmerken x-ray inspectie

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	inline/offline	beperkingen
X-ray inspection	Neen	Neen	Ja	Ja	Inline + Offline	Geen poeder-contaminatie

4.5.3.9 Thermal imaging

Bij de *Thermal imaging* of warmtebeeld technologie methode wordt er gewerkt met een warmtebeeldcamera die iedere gesealde verpakking controleert op thermische afwijkingen van de sealnaad. Direct na het sealen is de seal nog warm en straalt deze infraroodstraling uit met golflengten tussen het zichtbare licht en de microgolven. Deze infraroodstraling kan gedetecteerd worden m.b.v. de warmtebeeldcamera's. Dit gebeurt *inline*. Er wordt nagegaan of het gemeten temperatuurprofiel van de sealnaad binnen ingestelde tolerantiegrenzen ligt. Sealfouten als contaminatie tussen de sealnaad (Figuur 38), verloop en/of vervuiling van de sealmachine, foutieve instelling van de sealmachine en eventuele kreuken in de folie kunnen achterhaald worden m.b.v. krachtige machine *vision* algoritmen [77]. Het onderzoek van K. D'huys, W. Saeys en B De Ketelaere omtrent infrarood thermografie voor de detectie van sealcontaminatie in warmte gesealde voedingsverpakkingen toont aan dat met de warmtebeeld technologie partikels met een diameter vanaf 0,60 mm gedetecteerd kunnen worden met een waarschijnlijkheid van 95% [78]. De tijd waarbij de detectie na het sealen plaatsvindt, zou geen invloed hebben op de detectiecapaciteit.



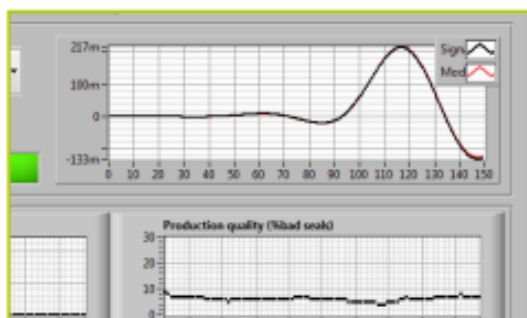
Figuur 38: Thermal imaging technologie. links: infraroodbeeld slechte seal, rechts: goede seal [80]

Tabel 9: Samenvatting kenmerken thermal imaging inspectie

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	inline/offline	beperkingen
Thermal imaging	Neen	Neen	Ja	Ja	Inline + Offline	/

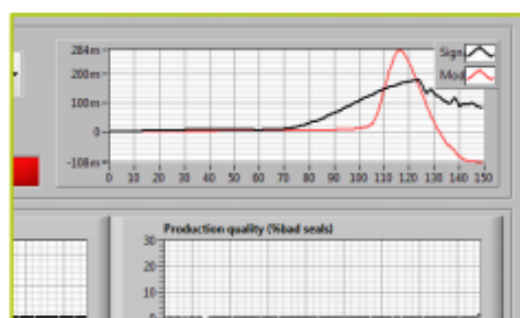
4.5.3.10 Vibration analysis

De *inline vibration analysis* technologie is in staat om slechte seals die voor eventuele lekkage kunnen zorgen, te detecteren. Mogelijke slechte seals ontstaan door kreuken in de verpakking of product en/of andere contaminatie dat tussen de seal terecht is gekomen. De *vibration analysis* technologie bestaat uit software en vibratiesensoren die het vibratiepatroon meten van de seal wanneer deze dicht geseald wordt. Dit vibratiepatroon wordt dan vergeleken met de *fingerprint* vibratie van een goede seal (Figuur 39 en Figuur 40). Het *fingerprint*-gebied bevat een gecompliceerde serie van absorpties die te wijten zijn aan alle mogelijke buigingsvibraties binnen de sealmoleculen. De technologie is dus gebaseerd op infrarood spectrometrie. De technologie is toe te passen op de meeste warmte sealprocessen en de meeste verpakkingstypes [79].



A typical good seal

Figuur 39: Vibratiepatroon goede seal [82]



A typical bad seal

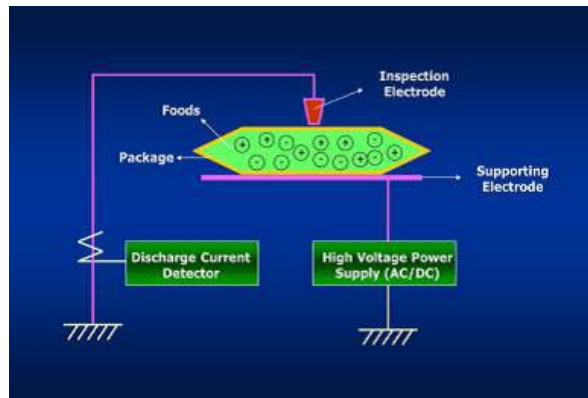
Figuur 40: Vibratiepatroon slechte seal [82]

Tabel 10: Samenvatting kenmerken vibration analysis inspectie

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	inline/offline	beperkingen
Vibration analysis	Neen	Neen	Ja	Neen	Inline + Offline	/

4.5.3.11 *High Voltage Leak Detection (HVLD)*

De *high voltage leak detection* (HVLD) methode bestaat uit een set electrode probes die gesalde verpakkingen uit niet-geleidende materialen (glas, plastic, polylaminaat) scannen. De verpakkingen moeten minimaal een gehalte van 30% aan vloeistof bevatten. Via de electrode die de verpakking ondersteunt, wordt een hoge spanning van 0,1-25 kV aangelegd over de te controleren verpakking. Dit induceert een ladingsverdeling in het verpakte product. Indien er een lek of ander defect aanwezig is in de verpakking, zal er een verschil in spanning gedetecteerd worden doordat elektronen van de lekken naar inspectie-elektronen stromen. De methode kan volledig *inline* geïmplementeerd worden [80, 81].



Figuur 41: High Voltage Leak Detection methode [84]

Tabel 11: Samenvatting kenmerken High Voltage Leak Detection methode

detectie-systeem	destructief	test op zakintegriteit	test sealkwaliteit	vorm-afhankelijk	<i>inline/offline</i>	beperkingen
High Voltage Liquid Detection	Neen	Ja	Neen	Neen	Inline + Offline	Vloeistof in verpakking

Een samenvattende tabel van de kenmerken van de verschillende detectiemethodes is terug te vinden in Bijlage A.

5 Procesoptimalisatie manuele verpakkingslijn Aminolabs

Het bedrijf Aminolabs heeft te maken met het erg opstoften van de poeders bij het vullen wat voor verlies van poederproduct, contaminatie van de stazak-seal en extra schoonmaakkosten zorgt. Het probleem kan aangepakt worden door rekening te houden met verschillende aspecten binnen het verpakkingsproces. De productsamenstelling is rechtstreeks gerelateerd aan het stofprobleem. Het verpakkingsmateriaal, de contaminatiegraad en -type, de sealtechniek en de sealparameters zijn bepalend voor de uiteindelijke sealsterkte indien er contaminatie optreedt.

5.1 Materiaal & Methode

5.1.1 *Stoffigheid ingrediënten Aminolabs*

De sportsupplementen van Aminolabs bevatten een groot aantal ingrediënten. Suikers, wel en niet-geïntantiseerde wei-eiwitten, BCAA en maltodextrine zijn de voornaamste ingrediënten die in acht genomen dienen te worden bij de studie naar de stoffigheid van een poedermengsel. Bij de vervanging van suiker door maltodextrine en bij het gebruik van BCAA en niet-geïntantiseerde eiwitten treden namelijk meermaals problemen op bij het verpakkingsproces. Daarom worden deze ingrediënten en hun tegenhangers in acht genomen. Er wordt met twee verschillende soorten maltodextrine gewerkt, namelijk maldex en glucidex, die elk over een verschillende dichtheid beschikken. Bij de studie naar de stoffigheid wordt er niet alleen naar de zuivere ingrediënten, maar ook naar de mengsels van BCAA en maltodextrine en de wei-eiwitten met maltodextrine gekeken. In werkelijkheid komen deze ingrediënten ook vaak samen voor zodat het interessant is om te weten hoe het samenvoegen van de substanties de stoffigheid beïnvloedt. BCAA en wei-eiwitten komen nooit samen voor in sportsupplementen. Aangezien suiker zeer goede eigenschappen heeft, wordt er niet getest op de stoffigheid van mengsels met suiker. Tabel 12 geeft de verschillende mengsels weer die bereid werden voor de studie naar de stoffigheid. Van elk mengsel werd 100g bereid met de gegeven verhoudingen aan ingrediënten.

Tabel 12: Poedermengsels van 100 g met gegeven verhouding

ingrediënt(en) mengsel	verhouding
suiker	1
BCAA	1
geïnstantiseerd wei-eiwit	1
niet-geïnstantiseerd wei-eiwit	1
maldex	1
glucidex	1
maldex - BCAA	1:1
glucidex - BCAA	1:1
maldex –geïnstantiseerd wei-eiwit	1:1
glucidex–geïnstantiseerd wei-eiwit	1:1
maldex–niet-geïnstantiseerd wei-eiwit	1:1
glucidex – niet-geïnstantiseerd wei-eiwit	1:1
maldex -BCAA	1:3
glucidex-BCAA	1:3
maldex-BCAA	3:1
glucidex-BCAA	3:1
maldex–geïnstantiseerd wei-eiwit	1:3
glucidex–geïnstantiseerd wei-eiwit	1:3
maldex–geïnstantiseerd wei-eiwit	3:1
glucidex–geïnstantiseerd wei-eiwit	3:1
maldex–niet-geïnstantiseerd wei-eiwit	1:3
glucidex–niet-geïnstantiseerd wei-eiwit	1:3
maldex–niet-geïnstantiseerd wei-eiwit	3:1
glucidex–niet-geïnstantiseerd wei-eiwit	3:1

Voor het bereiden van de poedermengsels werd gebruik gemaakt van een analytische balans (Figuur 42) om de massa's nauwkeurig af te wegen. Met een poedermixer (Figuur 43) werden de ingrediënten vervolgens goed gemengd. Na het bereiden van de mengsels werd de stoffigheid visueel bepaald samen met de meting van de dichtheden en het vochtgehalte. Deze parameters hebben zoals reeds vermeld in de literatuur een grote invloed op de cohesie en dus de stoffigheid van het poeder. Hoe lager de dichtheid en hoe hoger het vochtgehalte, hoe lager de graad van opstoffen. De parameters zijn tevens vrij eenvoudig te bepalen. De bepaling van de dichtheid gebeurde door de bulkdichtheid en de klopdichtheid te meten m.b.v. een maatcilinder. De bulkdichtheid is de dichtheid van het poeder zonder behandeling. De klopdichtheid daarnaast is de dichtheid van het poeder nadat het poeder m.b.v. een klopdichtheidsmeter gecompriëerd werd. Het meten van de klopdichtheid of *tapped density* is vereist aangezien poeders gemakkelijk samengedrukt kunnen worden zodat de partikels dichter bijeen komen te zitten. Dit zorgt ervoor dat de dichtheid verandert, namelijk verhoogt. Het gemiddelde van de bulk- en de klopdichtheid geeft dan ook een betere maat voor de dichtheid van het poedermengsel.

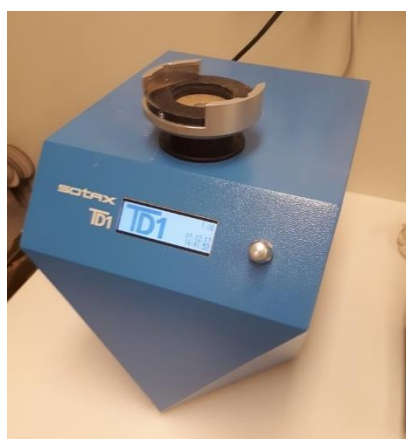


Figuur 42: Analytische balans OHAUS



Figuur 43: Poedermixer

Voor het meten van de bulkdichtheid werd een maatcilinder op de analytische balans geplaatst. Vervolgens werd de balans getarreed. De maatcilinder werd m.b.v. spatel en trechter met de verschillende mengsels gevuld tot de maatstreep van 100 ml. De gevulde maatcilinder werd terug op de balans geplaatst en de weergegeven massa werd genoteerd. De bekomen massa is het aantal gram op 100 ml. De bulkdichtheid wordt uitgedrukt in g/ml zodat de bekomen massa nog door 100 gedeeld moet worden. De klop-dichtheid werd bepaald m.b.v. een klop-dichtheidsmeter (Figuur 44) volgens de normen ISO EN 787/11: “General methods of test for pigments and extenders. Determination of tamped volume and apparent density after tamping” (1995) en ASTM B527 – 14: “Standard Test Method for Determination of Tap Density of Metal Powders and Compounds” (2014). De gevulde maatcilinder die gebruikt werd voor de meting van de bulkdichtheid werd geplaatst op een klop-dichtheidsmeter. De maatcilinder werd 15x getrild. Na 15x trillen werd het nieuwe volume van de maatcilinder afgelezen. Deze wijkt nu af van de 100 ml. Met de eerder verkregen massa en het nieuwe volume kan de klop-dichtheid berekend worden. Als laatste stap werden de gemiddelden genomen van de bulkdichtheid en de klop-dichtheid.



Figuur 44: Klop-dichtheidsmeter van Sotax

Het bepalen van het vochtgehalte van elk mengsel gebeurde a.d.h.v. een vochtmeter (Figuur 45). Een metalen schaalpje werd in de meter geplaatst. Het apparaat werd vervolgens getarreed. Met een spatel werd van elk mengsel tussen de 3-5 g op het schaalpje gebracht. Het deksel van het apparaat werd gesloten en vervolgens werd op de startknop gedrukt. Na een bepaalde tijd werd het vochtgehalte in % weergegeven op het display.



Figuur 45: Vochtmetoer OHAUS

Tot slot werd ook de structuur van de belangrijkste ingrediënten van Aminolabs (BCAA, geïnstantiseerd en niet-geïnstantiseerd wei-eiwit) bekeken onder de microscoop in het VerpakkingsCentrum aangezien de stoffigheid tevens afhankelijk is van de partikelgrootte en -structuur.

5.1.2 Optimalisatie vulproces/ stof reducerende technieken

Om het stofprobleem te reduceren, moet er naar de bron van de oorzaak gekeken worden. Dit is het vulproces in de manuele verpakkingslijn van de stazakken met poeder. Daarom moet er bestudeerd worden naar hoe het vulproces zelf geoptimaliseerd kan worden of naar bepaalde technieken die wanneer ze ingezet worden bij het afvullen van de verpakkingen, het opstoften kunnen reduceren. Uit de literatuur bleek reeds dat het elimineren van statische elektriciteit een oplossing kan bieden voor het opstoften van poeders. Ook de implementatie van perslucht, afzuigsystemen en trilplaten kunnen een oplossing bieden. Leveranciers werden gecontacteerd om meer informatie te verkrijgen en om te achterhalen of de verschillende technieken al dan niet geschikt zijn binnen het proces van Aminolabs.

5.1.3 Onderzoek invloed contaminatie op sealsterkte

Het doel van de testen uitgevoerd in het VerpakkingsCentrum/IMO-IMOMECE is om de lekdichtheid en de sealsterkte te bepalen van zuivere en gecontamineerde (BCAA, geïnstantiseerd en niet geïnstantiseerd wei-eiwit) warmte seals verkregen via warme balk- en warme luchtsealen. De lekdichtheid werd bepaald m.b.v. de *dye penetration test* (ASTM F3039-13) en de sealsterkte werd getest volgens ASTM F88F88M-15. Deze testen zijn uitgevoerd om de invloed van contaminatie op de warmte seal te bepalen. De soort film, soort contaminatie, sealtechnologie en sealparameters worden gevarieerd om de invloed te achterhalen op de sealperformantie. Daarnaast worden er microscopische foto's gemaakt van zuivere en gecontamineerde seals om informatie te verkrijgen over de laagverdeling en de inkapseling van vaste partikels.

Een reeks van vijf verschillende stazak verpakkingen werd aangeleverd door Aminolabs. Tabel 13 geeft de samenstelling van de verschillende films weer. Van elke type verpakking werden een 100-tal exemplaren ter beschikking gesteld.

Tabel 13: Multilayer samenstelling geteste films

filmtype	samenstelling meerlaagse film (µm)	totale dikte (µm)
Film 1	BOPP 20//VMPET 12//LDPE 110	147
Film 2	Matt-PET 12// LLDPE wit 130	142
Film 3	Matt-BOPP 20//VMPET 12//LDPE 110	147
Film 4	PET-PE samenstelling ?	?
Film 5	PET 12//Aluminium 6//PA 15//LLDPE 130	163

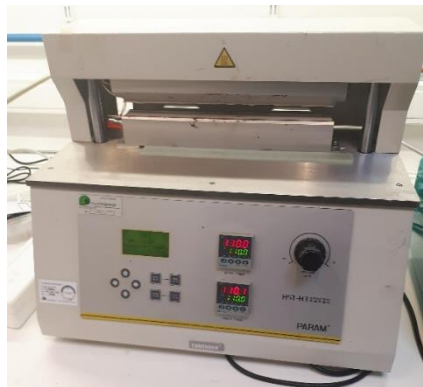
Aangezien het aantal testen naar de sealperformantie van de verschillende films praktisch oneindig is, werd er in overleg met het bedrijf Aminolabs besloten om slechts twee verpakkingsfolies, namelijk de films 1 en 2, in het VerpakkingsCentrum te sealen m.b.v. warme balk sealen. De parameters sealtijd, sealtemperatuur, sealdruk, contaminatiegraad, contaminatietype en sealeigenschappen van de film hebben allen invloed op de sealperformantie. Het variëren van elke parameter zou leiden tot een enorm aantal testen zodat geopteerd werd om enkel de parameters sealtemperatuur en contaminatietype te variëren die het belangrijkste zijn binnen Aminolabs. De contaminatiegraad, alsook de sealtijd en -druk werden constant gehouden. Er werd geseald bij 7 verschillende olopemde temperaturen om zo uiteindelijk goede sealcurves te verkrijgen. De films werden enerzijds geseald met zuiver materiaal en anderzijds na toevoeging van de drie contaminaties BCAA, geïnstantiseerd en niet-geïnstantiseerd wei-eiwit. Eerder werden de verschillende soorten ingrediënten van Aminolabs en hun stoffigheid besproken. Er werd uiteindelijk gekozen om de testen uit te voeren met deze drie ingrediënten aangezien deze een groot aandeel van de eindproducten vormen t.o.v. andere ingrediënten als glucidex, maldex en kristalsuiker. Vooral BCAA en niet-geïnstantiseerd wei-eiwit zijn zeer stoffige en kleverige ingrediënten die een grote rol spelen in de sealcontaminatie. Geïnstantiseerd wei-eiwit daarentegen is minder stoffig, maar is wel volumineus en werd vooral meegenomen in de testen om te vergelijken met niet-geïnstantiseerd wei-eiwit.

Elke seal werd 3 maal vervaardigd. Een herhaling is vereist om de betrouwbaarheid van de resultaten te verhogen. Het aanbrengen van de korrelvormige contaminatie op de seal gebeurt manueel waardoor de verdeling ongewenst varieert per staal. Uiteindelijk werden 168 seals gemaakt. (7 temperaturen - 3 herhalingen - 3 contaminaties + zuivere seal - 1 sealtechniek - 1 contaminatiegraad - 2 films). De twee films (1 en 2) samen met de drie andere vrijgegeven films werden tevens zuiver geseald met de *hot air sealer* in Aminolabs. Alle verkregen seals werden vervolgens getest volgens de *dye penetration test* en de trekproef in het VerpakkingsCentrum.

Aangezien er van film 1 en film 2 elk 84 seals vervaardigd werden, moesten er in totaal een 90-tal stalen gemaakt worden. Stroken van 5 cm breed volgens de breedte van de stazakken werden uit de twee verschillende stazak verpakkingen gesneden. De lengte werd zo lang mogelijk gehouden. Aan één uiteinde van de strook werden kaders van 5 cm x 4 cm uitgetekend met de 5 cm volgens de lengterichting van de strook. In dit kader werd later de contaminatie aangebracht.

Ten slotte werden alle stroken in twee helften geknipt om zo uiteindelijk de twee helften aan elkaar te kunnen sealen. Elk staal werd ook voorzien van een gepast opschrift om de verschillende stalen te kunnen onderscheiden. De stalen werden minstens 24 uur geconditioneerd bij een temperatuur van $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ en een relatieve vochtigheid van $50 \pm 2\%$ RV. Het voorbereiden van de stalen gebeurde volgens het project CORNET-VLAIO-TETRA 150817 Evocoseal: “Evaluation and optimization of contaminated seal performance in packaging concepts”.

Het sealen van de stalen gebeurde m.b.v. een HST-H3 *Heat Seal Tester* (Figuur 46). Om uiteindelijk tot een relevante S-vormige sealcurve te komen werd de druk constant gehouden op $2,0 \text{ N/mm}^2$ en de sealtijd op 1,0 seconde. De stalen werden geseald tussen de 1 cm brede, vlakke sealbalken. Om de initiële sealtemperatuur te bepalen werd elke film een aantal keer geseald bij oplopende temperatuur totdat er een visueel goede seal bekomen werd. Voor film 1 was dit bij 120°C en voor film 2 bij 125°C . Voor film 1 werd besloten om te sealen bij de temperatuurreeks van de 7 temperaturen 120°C - 130°C - 140°C - 150°C - 160°C - 180°C - 200°C . Voor film 2 werd dezelfde reeks aangehouden beginnende bij 125°C . Bij elke temperatuur uit deze temperatuurreksen werden de films 1 en 2 driemaal zuiver geseald en vervolgens driemaal met elk contaminatietype. Een contaminatiegraad van 25 g/m^2 , wat neerkomt op $0,050 \text{ g}$ op het getekende kader van 20 cm^2 werd hierbij manueel aangebracht op de stalen. De contaminaties samen met de filmstalen werden nauwkeurig afgewogen m.b.v. een analysebalans. Om de contaminaties zo homogeen mogelijk aan te brengen werd m.b.v. een spatel het poeder verdeeld over het kader. Na het sealen in het gebied van het kader werd met een borstel het poeder buiten de seal weggeveegd zodat na het wegen van de gesealde stalen berekend kon worden hoeveel contaminatie zich uiteindelijk tussen de seal bevond.



Figuur 46: HST-H3 Heat Seal Tester

De films 1 en 2 samen met de films 3,4 en 5 werden allen ook in drievoud geseald in Aminolabs zelf m.b.v. de *hot air sealer* (Figuur 47 a). De stazak verpakkingen werden in hun geheel geseald volgens de normen van het bedrijf waarbij gebruik gemaakt werd van een draadvormig profiel om de seal aan te drukken (Figuur 47 b en c). Vervolgens werden uit deze gesealde verpakkingen terug strookvormige stalen gesneden met een breedte van 5 cm in de breedte van de zakken .

Na het sealen van de zuivere en gecontamineerde stalen met de twee sealtechnieken werd de *dye penetration* test uitgevoerd om de seals te testen op lekken. Dit gebeurde volgens de norm ASTM F3039-13. Hiervoor werden de stalen nog eens loodrecht op de reeds gemaakte seal geseald zodat een inktachtige substantie bestaande uit 3% Triton X-100, 0,05% methyleenblauw en 96,95% gedestilleerd water in contact gebracht kon worden met de seal. De test werd uitgevoerd gedurende 30 seconden. Het detecteren van de substantie aan de andere kant van de seal als aangebracht werd beschouwd als een lek.



Figuur 47: a) Hot air sealer met draadvormig profiel, b) Draadvormig profiel, c) Draadvormig profiel

De doorsneden van de stalen van de films 1 en 2 met en zonder contaminatie die geseald werden met de warme sealbalken bij 140°C en 200°C werden tevens bekeken onder de microscoop met een vergroting van 50 x om de meerlaagse structuur met en zonder contaminatie in beeld te brengen.

De trekproef werd ten slotte uitgevoerd m.b.v. een MTS trekbank (Figuur 48) met een maximale kracht van 2 kN volgens de norm ASTM F88F88M. Hiervoor werden uit alle bekomen stalen strookjes van 15 mm breed gesneden loodrecht op de seal. De trekproef werd uitgevoerd met een klemafstand van 10 mm en een belastingsnelheid van 300 mm/min. Uit de trekproef werd data verkregen met de extensie .txt die verwerkt kon worden in Excel om S-curves en trekcurves uit te bekomen.



Figuur 48: MTS trekbank

Er werd tot slot ook gekeken naar hoe de testen in het VerpakkingsCentrum vertaald konden worden naar de 2 hot air sealers in Aminolabs. Wegens gebrek aan een thermokoppel werd de temperatuur van de hete lucht en de temperatuur aan de binnenkant van de films 1 en 2 bij het sealen bepaald met een voedselthermometer met kabel en insteekvoeler type TTX 100 van Ebro. Daar deze methode niet werkte, werden op de lijnen van Aminolabs bijkomstige testen uitgevoerd om de sealvensters van de films 1 en 2 met de hot air sealers van bulklijn 1 en 3 in te kunnen schatten a.d.h.v. het al dan niet dicht zijn van de seals.

5.1.4 Implementatie lekdetectiesysteem

Voor de verpakkingslijnen van poeders in stazakken binnen Aminolabs is het gewenst om volautomatische niet-destructieve lekdetectiesystemen te implementeren. Aangezien de defecten die optreden in de zakken niet systematisch voorkomen, is een controle van elke verpakking afzonderlijk vereist. De stazakken dienen getest te worden op contaminatie, lekken en slechte hechtingen. De implementatie van een lekdetectiesysteem moet er tevens voor zorgen dat er tijd en kosten in mankracht bespaard worden. Bij de zoektocht naar een geschikt lekdetectiesysteem werd er informatie opgedaan via literatuurstudie (zie 4.5.3) en via contact met leveranciers.

5.1.5 Automatisatie manuele verpakkingslijn

Uit de studie naar een geschikte lekdetectiemethode bleek dat de geschikte methodes, namelijk de ultrasonische inspectie, de infrarood sealinspectie en de vibratie analyse (zie 5.2.4) niet toe te passen zijn op een manuele lijn. De desbetreffende sealinspectie en lekdetectiemethodes zijn bij uitstek geschikt voor *inline* hoge snelheidsmachines. Het automatiseren van de verpakkingslijnen met stazakken werd in overweging genomen. Automatiseren is een enorme investering en enkel indien het bedrijf ervan overtuigd is dat deze investering binnen een bepaalde termijn terugverdiend kan worden, is het de investering waard.

Het automatiseren van de poederlijn zou direct een optimalisatie van het huidige vul- en sealproces vormen. Doordat het vullen en sealen direct na elkaar kan gebeuren zonder manuele handelingen en dit in een gesloten behuizing, vormt het opstoften geen groot probleem bij automatisatie. Het automatiseren van de verpakkingslijn zorgt tevens niet alleen voor het elimineren van de kosten van mankracht, maar vergroot ook de productiecapaciteit. Door de hoge snelheden die het automatiseren mogelijk maakt, is het mogelijk om veel grotere aantallen te produceren en de producten aan te bieden aan lagere prijzen. Dit kan als gevolg hebben dat de klant grotere orders zal plaatsen. Automatische lijnen zorgen ervoor dat elk product op precies dezelfde manier behandeld en gecontroleerd wordt. Het doorvoeren van kleine aanpassingen gebeurt sneller dan bij een manuele lijn. Doordat alle processen goed op elkaar afgesteld zijn, is er bij een automatische lijn een minimale insteltijd vereist om kleine aanpassingen als doseringsgrootte of verpakkingsformaat door te voeren.

Het is noodzakelijk om na te gaan of de huidige productie in aanmerking komt om te kunnen automatiseren. Indien er slechts een 'klein' aantal producten geproduceerd wordt en er geen nood is om de productiecapaciteit te verhogen, heeft het weinig zin om over te stappen op een automatische verpakkingslijn. Om een beeld te krijgen van de huidige productie binnen Aminolabs werd de planning van de twee lijnen met stazakken van 9 januari t.e.m. 27 oktober 2017 bestudeerd. Hieruit werd het aantal gevulde verpakkingen per minuut berekend en vervolgens werd contact opgenomen met leveranciers van automatische verpakkingslijnen om te kunnen berekenen hoe snel de investering terugverdiend kan worden indien er overgestapt wordt van een manuele naar een automatische verpakkingslijn.

5.2 Resultaten en discussie

5.2.1 Stoffigheid ingrediënten Aminolabs

Tabel 14 toont het gemeten vochtgehalte, de bulkdensiteit, het volume na 15 trillingen, de dichtheid na 15 trillingen en de gemiddelde dichtheid van de verschillende mengsels met kristalsuiker, BCAA, geïnstantiseerd en niet-geïnstantiseerd wei-eiwit, maldex en glucidex.

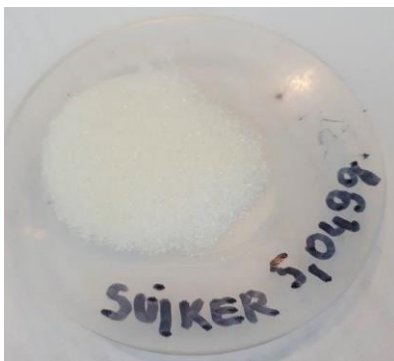
Tabel 14: Eigenschappen mengsels: vochtgehalte, bulkdichtheid, klopdichtheid en gemiddelde dichtheid

mengsel	vocht- gehalte %	bulkdichtheid (g/ml)	volume na 15s tappen (ml)	dichtheid na 15s tappen (g/ml)	gemiddelde dichtheid (g/ml)
100% suiker	0,18	0,912	98	0,912	0,912
100% BCAA	0,32	0,593	91	0,655	0,624
100% geïnstantiseerd wei-eiwit	5,12	0,282	85	0,331	0,307
100% niet-geïnstantiseerd wei-eiwit	4,94	0,397	92	0,433	0,415
100% maldex	4,10	0,545	88	0,620	0,583
100% glucidex	4,93	0,374	86	0,435	0,404
50% maldex -50% BCAA	2,38	0,572	92	0,622	0,597
50% glucidex -50% BCAA	2,64	0,570	91	0,627	0,599
50% maldex – 50% geïnstantiseerd wei-eiwit	4,66	0,399	89	0,448	0,424
50% glucidex– 50% geïnstantiseerd wei-eiwit	5,32	0,341	90	0,379	0,360
50% maldex– 50% niet- geïnstantiseerd wei-eiwit	4,69	0,432	88	0,491	0,462
50% glucidex – 50% niet- geïnstantiseerd wei-eiwit	5,06	0,367	88	0,417	0,392
25 % maldex -75% BCAA	1,25	0,580	94	0,617	0,599
25 % glucidex-75% BCAA	1,43	0,587	95	0,618	0,603
75 % maldex-25% BCAA	3,14	0,568	90	0,631	0,600
75 % glucidex-25% BCAA	3,73	0,483	88	0,549	0,516
25% maldex– 75% geïnstantiseerd wei-eiwit	5,12	0,338	90	0,375	0,357
25% glucidex– 75% geïnstantiseerd wei-eiwit	5,48	0,306	90	0,340	0,323
75% maldex– 25% geïnstantiseerd wei-eiwit	4,67	0,469	89	0,527	0,498
75% glucidex– 25% geïnstantiseerd wei-eiwit	4,96	0,387	87	0,445	0,416
25% maldex– 75% niet- geïnstantiseerd wei-eiwit	4,81	0,407	89	0,457	0,432
25% glucidex– 75% niet- geïnstantiseerd wei-eiwit	5,10	0,376	88	0,427	0,402
75% maldex– 25% niet- geïnstantiseerd wei-eiwit	4,60	0,459	86	0,533	0,496
75% Glucidex– 25% niet- geïnstantiseerd wei-eiwit	4,99	0,380	83	0,457	0,419

Hieronder worden voor elk mengsel de waarnemingen en discussies omtrent de stoffigheid uitvoerig besproken. Het vochtgehalte en de dichtheid spelen mee in de bepaling van de stoffigheid, maar ook andere niet onderzochte zaken als de chemische interacties tussen de deeltjes (bv. waterstofbruggen, VanderWaalskrachten, dipool-dipoolinteracties, enz...), partikelgrootte en -structuur zijn bepalend voor de mate van stoffigheid

5.2.1.1 Suiker

Het kristalsuiker heeft een grove structuur. De afzonderlijke korrels zijn duidelijk te onderscheiden (Figuur 49 en Figuur 50). De korrels binden niet aan elkaar zodat er geen uniform mengsel bekomen wordt. Het suiker valt recht naar beneden zonder op te stoffen wanneer een schepje kristalsuiker van een zekere hoogte omgekappt wordt. Het suiker bereikt het oppervlak snel. Het suiker kleeft ook niet. Handen en materialen zijn na aanraking met het suiker niet bevuild. Suiker heeft een hoge gemiddelde dichtheid van 0,912g/ml en een laag vochtgehalte van 0,18%. Zoals eerder uit de literatuur bleek, is een substantie met een hoge gemiddelde dichtheid en laag vochtgehalte zeer stoffig [21, 22]. Dit geldt echter niet bij zeer grote partikels zoals bij kristalsuiker. Hier is het gewicht van elke korrel zo groot dat de zwaartekracht groot genoeg is om de korrels snel naar beneden te laten vallen zonder dat de korrels zich in de lucht kunnen verspreiden.



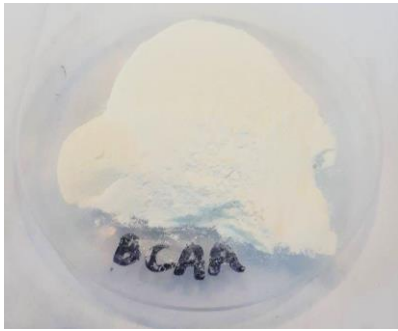
Figuur 49: Suiker



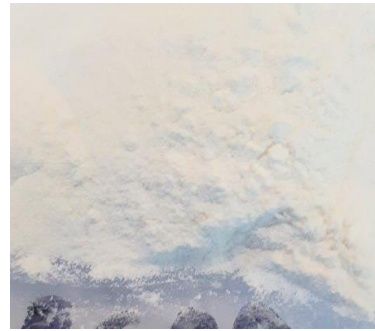
Figuur 50: Inzoom suiker

5.2.1.2 BCAA

BCAA is een fijngemalen poeder met een heel luchtige en zachte structuur. De afzonderlijke korrels zijn zeer klein waardoor ze niet van elkaar te onderscheiden zijn met het blote oog (Figuur 51 en Figuur 52). Dit zorgt voor een uniform mengsel met een glad oppervlak. Het poeder wordt zeer gemakkelijk samengedrukt. Het poeder is echter zeer stoffig. Bij het laten vallen van een zekere hoogte stuift het poeder op waardoor het voor een groot deel in de lucht verspreid wordt en even later neerwarrelt. De valsnelheid is ook veel lager dan bij de suikerkorrels. Het poeder voelt zeer zacht aan, maar kleeft enorm. Vingers, verpakkings- en labo- materialen worden sterk bevuild door het poeder bij aanraking. BCAA heeft t.o.v. de andere mengsels een hoge gemiddelde dichtheid van 0,624 g/ml en een laag vochtgehalte van 0,32% wat de mate van stoffigheid deels kan verklaren. Het vrij grote verschil in de dichtheid voor en na de 15 trillingen wijst erop dat de deeltjes kunnen zakken en zo dichter bij elkaar kunnen komen liggen. De lichte deeltjes bewegen voornamelijk individueel zodat ze makkelijk in de lucht blijven hangen en zich daar verspreiden. BCAA is dus een zeer stoffig product. Er worden geen agglomeraten gevormd. Dit wijst erop dat er weinig cohesiekrachten aanwezig zijn tussen de verschillende poederpartikels.



Figuur 51: BCAA



Figuur 52: Inzoom BCAA

5.2.1.3 Maldex

Het maltodextrine maldex heeft net als BCAA een zeer kleine korrelgrootte. BCAA en maldex hebben beide een zeer glad en uniform oppervlak hoewel bij maldex een iets ruwere structuur waar te nemen is (Figuur 53). Het poeder stroomt makkelijker dan het BCAA poeder en stuift iets minder op. Het poeder is zeer statisch geladen door de ongelijke verdeling van positieve en negatieve ladingen waardoor het makkelijk aangetrokken wordt door materialen die ook statisch geladen zijn (Figuur 54) [36, 37]. Het poeder is iets minder makkelijk samen te drukken dan het BCAA poeder. Bij het samendrukken van maldex wordt een licht krisperig geluid waargenomen. Het poeder kleeft sterk aan alle materialen waarmee het in contact komt. Het kleven is echter iets minder frappant dan bij BCAA waarbij de korrels nog fijner zijn. Maldex heeft een relatief hoge dichtheid van 0,583 g/ml die iets lager ligt dan die van BCAA. Het poeder is na 15 trillingen ook behoorlijk gezakt zodat er een redelijk groot verschil is in dichtheid voor en na het trillen. Het vochtgehalte van maldex ligt wel veel hoger dan dat van BCAA waardoor de cohesie van maldex mogelijk groter is. Andere parameters als de interacties tussen de deeltjes, partikelgrootte en -structuur spelen hier echter ook een rol in.



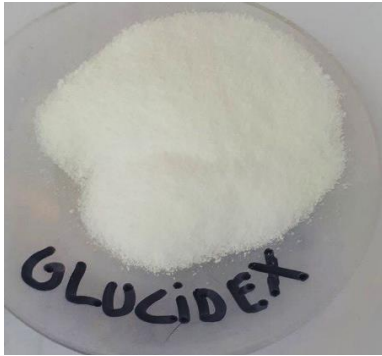
Figuur 53: Maldex



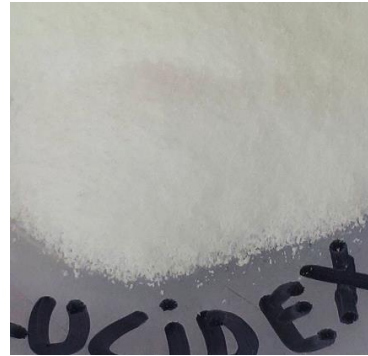
Figuur 54: Statisch geladen maldex

5.2.1.4 Glucidex

Het uitzicht van glucidex is te vergelijken met dat van maldex (Figuur 55 en Figuur 56). Glucidex heeft echter een nog iets ruwere structuur. De afzonderlijke korrels zijn voelbaar bij het voelen met de handen. Het poeder kleeft lichtjes, maar veel minder hard dan BCAA en maldex. Glucidex stuift ook op, maar in een mindere mate dan BCAA en maldex. Het poeder is nog moeilijker samen te drukken dan maldex en vertoont een nog frappanter krispgeluid wat wijst op grotere en ruwere korrels. Glucidex heeft een lagere dichtheid van 0,404 g/ml en een hoger vochtgehalte van 4,93% dan maldex en is weinig statisch geladen wat vermoedelijk naast nog andere parameters de lagere mate van stoffigheid verklaart vanwege de verhoogde cohesie.



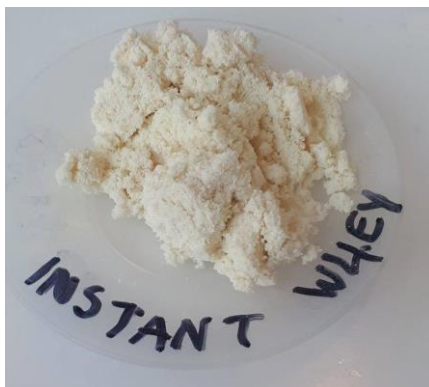
Figuur 55: Glucidex



Figuur 56: Inzoom glucidex

5.2.1.5 Geïnstantiseerd wei-eiwit

Afzonderlijke korrels van geïnstantiseerd wei-eiwit zijn niet waar te nemen (Figuur 57). Het poeder heeft een zachte structuur dat te vergelijken is met dat van BCAA. Het poeder is echter veel volumineuzer dan BCAA, maldex en glucidex. Het poeder is makkelijk kneedbaar en samen te drukken (Figuur 58). Het poeder kleeft sterk aaneen en valt in agglomeraten naar beneden. Het poeder stuift bijna niet op. Het poeder kleeft ook niet aan de handen en materialen. Geïnstantiseerd wei-eiwit heeft een zeer hoog vochtgehalte van 5,12% en een zeer lage dichtheid van 0,307g/ml. Er worden agglomeraten gevormd en na 15 maal trillen kent het wei-eiwit een verhoogde dichtheid.



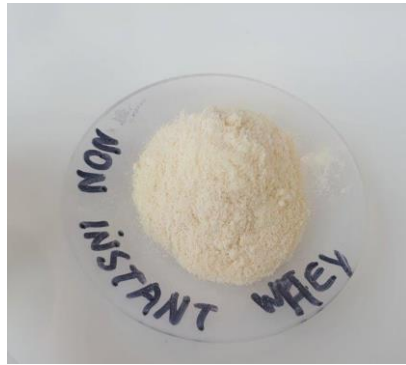
Figuur 57: Geïnstantiseerd wei eiwit



Figuur 58: Geïnstantiseerd wei eiwit blijft in vorm schepje

5.2.1.6 Niet-geïnstantiseerd wei-eiwit

Het niet-geïnstantiseerde wei-eiwit is op het eerste zicht erg vergelijkbaar met het eiwit dat wel geïnstantiseerd is. Het poeder is echter minder samenhangend en is ook minder zacht (Figuur 59). Het poeder kleeft minder aaneen zodat er ook bijna geen agglomeraten gevormd worden. Bij het samendrukken van het poeder is ook weer een krisperig geluid waar te nemen. Het poeder stuift op bij het neervallen en kleeft meer aan handen en allerlei materialen ten opzichte van zijn tegenhanger. Bij het opscheppen van het poeder wordt statische elektriciteit waargenomen (Figuur 60). Het niet-geïnstantiseerde wei-eiwit heeft een gematigde dichtheid van 0,415 g/ml en een eerder hoog vochtgehalte van 4,94%. De dichtheid en vochtgehalte van niet-geïnstantiseerde wei-eiwit komt overeen met die van glucidex. Toch is het niet-geïnstantiseerde wei-eiwit iets minder stoffig dan glucidex.



Figuur 59: Niet-geïnstantiseerd wei eiwit



Figuur 60: Statisch geladen niet-geïnstantiseerd wei eiwit

Geïnstantiseerd wei-eiwit heeft een zeer hoog vochtgehalte en een zeer lage dichtheid wat deels verklaart waarom de substantie het minst stoffig is van alle ingrediënten. Er worden agglomeraten gevormd die de grote cohesie en lage dichtheid verklaren. Doordat er lucht tussen de agglomeraten zit en het dus om een luchtig mengsel gaat, stijgt de dichtheid na 15 maal trillen waarbij de agglomeraten dichter bij elkaar komen te zitten. Het niet-geïnstantiseerde wei-eiwit heeft een gematigde dichtheid en een eerder hoog vochtgehalte. De hogere dichtheid van niet-geïnstantiseerd wei-eiwit t.o.v. wel geïnstantiseerde wei-eiwit verklaart deels het minder voorkomen van agglomeraten en dus de lagere cohesiekrachten tussen de partikels. Het hoge vochtgehalte duidt erop dat er wel nog een zekere cohesie aanwezig is zodat het eiwit minder stoffig is dan bv. de BCAA poeders met een laag vochtgehalte. De dichtheid van niet-geïnstantiseerde wei-eiwit is gelijkaardig aan die van maldex en glucidex, toch kent deze eerste meer cohesie of samenhang tussen de deeltjes. Cohesie is namelijk niet enkel te verklaren a.d.h.v. dichtheid en vochtgehalte. Ook de partikelgrootte en -structuur die niet bestudeerd werden zijn van grote invloed.

5.2.1.7 Mengsels

Het mengsel van 50 g BCAA en 50 g Maldex is zeer zacht, stoffig en kleverig. Het mengsel voelt hetzelfde aan als BCAA. De dichtheid van het mengsel 0,597g/ml ligt vrij hoog en het vochtgehalte van 2,38% is eerder laag. Toch ligt de dichtheid lager dan die van pure BCAA en het vochtgehalte hoger. Het 1:1 mengsel BCAA met Glucidex is minder zacht dan pure BCAA en het 1:1 mengsel BCAA met Maldex. Het blijft echter een nog zeer stoffig substantie die erg kleeft aan allerlei materialen. De dichtheid van 0,599 g/ml van het mengsel komt goed overeen met die van het 1:1 BCAA-Maldex mengsel. Het vochtgehalte van 2,64% ligt echter iets hoger. Het mengsel met 50g geïnstantiseerd wei-eiwit en 50g maldex heeft een fijne, stoffige structuur. Er blijft niet meer veel over van de structuur van het pure geïnstantiseerd wei-eiwit dat vettig en kleverig is en dat uit verschillende agglomeraten bestaat. De dichtheid van 0,424 g/ml en het vochtgehalte van 4,66% van het mengsels liggen mooi tussen deze van het zuiver geïnstantiseerd wei-eiwit en het zuivere maldex.

De samenvoeging van 50g geïnstantiseerd wei-eiwit en 50g glucidex geeft een structuur die vrij goed aanleunt bij die van het pure geïnstantiseerd wei-eiwit. Er zijn agglomeraten te zien en het mengsel heeft een vrij goede samenhang. Het mengsel is weinig stoffig. Het mengsel kent een dichtheid van 0,360 g/ml en een vochtgehalte van 5,32%. Ten opzichte van het vorige mengsel ligt de dichtheid hier iets lager. Het vochtgehalte ligt echter hoger. De waarden sluiten dus beter aan bij die van zuiver geïnstantiseerd wei-eiwit. Het mengsel van 50g niet-geïnstantiseerde eiwit en 50g maldex is vrij stoffig en kleeft gemakkelijk aan tal van materialen. Het mengsel is echter minder stoffig en kleverig dan de BCAA mengsels die hogere dichtheden en lagere vochtgehalten hebben.

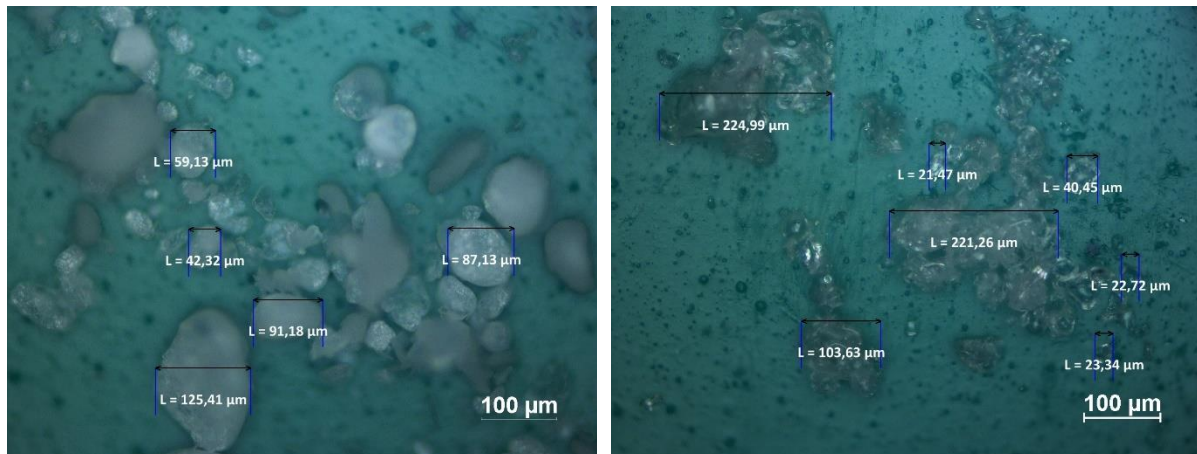
De grote statische lading en de fijne structuur van maldex zorgen voor het opstuiven en kleven van het mengsel. Het mengsel heeft met 0,462 g/ml een iets hogere dichtheid dan het zuivere niet-geïntantiseerde eiwit. Het vochtgehalte van 4,69% ligt iets lager dan dat van het zuivere eiwit. Hoewel de dichtheden en vochtgehalten van dit mengsel en dat van 50g geïntantiseerd wei-eiwit en 50g maldex zeer dicht bijeen liggen, kennen de deeltjes bij dit laatste mengsel toch iets meer samenhang. Het mengsel met wel geïntantiseerd wei-eiwit is dus minder stoffig dan het mengsel met niet-geïntantiseerd wei-eiwit. Het 1:1 niet-geïntantiseerd wei-eiwit met glucidex mengsel heeft een gemiddelde dichtheid van 0,392 g/ml en een vochtgehalte van 5,06%. Dit mengsel heeft een hoger vochtgehalte en een lagere dichtheid dan het vorige mengsel waarbij de glucidex vervangen is door maldex. Opmerkelijk is hierbij wel dat het mengsel een hoger vochtgehalte en lagere dichtheid vertoont dan beide individuele substanties wat te wijten kan zijn aan een onbekende interactie tussen de partikels. Bij de mengsels met verhouding 3:1 blijkt dat de eigenschappen steeds het meest aanleunen bij het ingrediënt dat het grootste aandeel bezit in het mengsel.

Tabel 15 toont een ordening van de graad van stoffigheid gaande van het meest naar het minst stoffige poedermengsel. De ordening is gemaakt op basis van de visuele resultaten en op basis van de bepaalde dichtheid en vochtgehalte. De mengsels met BCAA zijn hierbij duidelijk het meest stoffig. Mengsels met geïntantiseerd wei-eiwit, zuiver geïntantiseerd wei-eiwit en kristalsuiker vormen de minst stoffige poedermengsels.

Tabel 15: Ordening stoffigheid van erg stoffend naar weinig stoffend

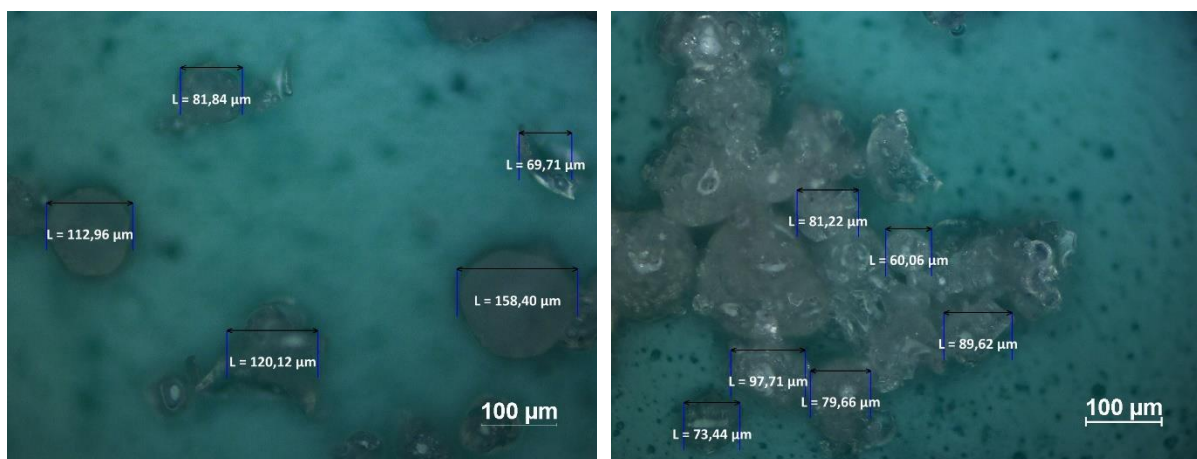
1	BCAA	13	3:1 Niet-geïntantiseerd wei-eiwit - maldex
2	3:1 BCAA-maldex	14	Glucidex
3	3:1 BCAA-glucidex	15	Niet-geïntantiseerd wei-eiwit
4	1:1 BCAA-maldex	16	1:3 Niet-geïntantiseerd wei-eiwit - glucidex
5	1:1 BCAA-glucidex	17	1:3 Geïntantiseerd wei-eiwit - glucidex
6	1:3 BCAA-maldex	18	1:1 Niet-geïntantiseerd wei-eiwit - glucidex
7	1:3 BCAA-glucidex	19	3:1 Niet-geïntantiseerd wei-eiwit - glucidex
8	maldex	20	3:1 Geïntantiseerd wei-eiwit - maldex
9	1:3 Niet-geïntantiseerd wei-eiwit - maldex	21	1:1 Geïntantiseerd wei-eiwit - glucidex
10	1:3 Geïntantiseerd wei-eiwit - maldex	22	3:1 Geïntantiseerd wei-eiwit - glucidex
11	1:1 Niet-geïntantiseerd wei-eiwit - maldex	23	Geïntantiseerd wei-eiwit
12	1:1 Geïntantiseerd wei-eiwit - maldex	24	Kristalsuiker

Tot slot werden ook de ingrediënten BCAA, geïnstantiseerd wei-eiwit en niet-geïnstantiseerd wei-eiwit geanalyseerd onder de microscoop in het VerpakkingsCentrum. Alle poederkorrels werden 20x vergroot. Figuur 61 links geeft het beeld weer verkregen voor het BCAA poeder. Losse korrels zijn duidelijk te onderscheiden en een maximale korreldiameter van 125,41 μm is zichtbaar. Bij het geïnstantiseerd wei-eiwit (Figuur 61 rechts) zijn geen aparte korrels waar te nemen. Het is duidelijk te zien dat er zich agglomeraten gevormd hebben met afmetingen tot 224,99 μm .



Figuur 61: Microscopievergroting 20x links: BCAA, rechts: geïnstantiseerd wei-eiwit

Uit Figuur 62 blijkt dat niet-geïnstantiseerd wei-eiwit voorkomt in aparte korrels, maar ook in agglomeraatachtige structuren. De korrels zijn wel beter te onderscheiden dan bij het geïnstantiseerd wei-eiwit. Korrelgroottes variëren sterk tot een maximale diameter van ongeveer 158,40 μm .

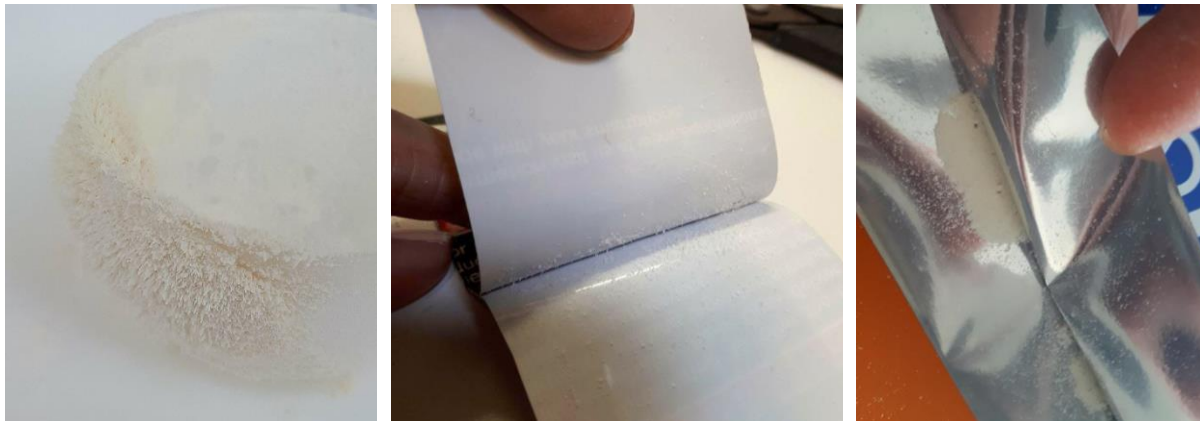


Figuur 62: Microscopievergroting 20x niet-geïnstantiseerd wei-eiwit

Op vlak van partikelgrootte bleek uit de literatuur dat hoe kleiner de partikels zijn, hoe groter de cohesie [21]. Dit is in tegenspraak met de bekomen microscopieresultaten waar het stoffigste element (BCAA) met de minste cohesie de kleinste partikelgrootte heeft. Partikelgrootte is dan ook maar slechts één van de vele aspecten die de mate van cohesie en stoffigheid bepaalt. Bij de afmetingen van de korreldiameters bij geïnstantiseerd en niet-geïnstantiseerd wei-eiwit is het mogelijk dat de diameter van verschillende aaneenklevende partikels gemeten werd i.p.v. afzonderlijke korrels. Ook werd slechts een klein gebied van het aangebrachte poeder bekeken. Een ander gebied levert misschien heel andere resultaten op.

5.2.2 Optimalisatie vulproces/ stof reducerende technieken

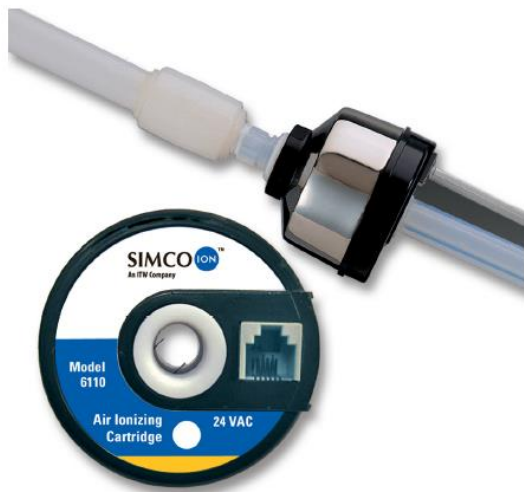
Bij de poederingrediënten maldex en niet-geïnstantiseerd wei-eiwit werd statische elektriciteit waargenomen (Figuur 63 a). Deze statische elektriciteit beïnvloedt de mate van stoffigheid in negatieve zin. Ook in contact met de niet gemetalliseerde verpakkingsmaterialen werd statische elektriciteit opgemerkt waarbij het poeder gemakkelijk aan het sealoppervlak bleef kleven en zo voor contaminatie van de seal zorgde (Figuur 63 b). Bij het gemetalliseerd verpakkingsmateriaal werd geen statische lading opgemerkt (Figuur 63 c). De geleidbaarheid van de film speelt dus een belangrijke rol in het voorkomen van statische ladingen en het daarmee gepaarde opstoften en kleven van de poeders.



Figuur 63: a) Statische lading wei-eiwit, b) Statische lading wei-eiwit tussen film 2, c) ongeladen film 1

Zoals uit de literatuur blijkt, kan statische lading voorkomen worden door het toevoegen van additieven zoals vocht en antistatische sprays [36, 37]. Deze zorgen voor geleidbaarheid aan het oppervlakte zodat de opbouw van statische elektriciteit voorkomen wordt. Het is echter niet in alle gevallen mogelijk of toegestaan om gebruik te maken van oppervlakte geleidende additieven. Zo is dit gebruik bij Aminolabs waar de samenstelling van de producten moet voldoen aan de strikte eisen van de klant niet toegestaan. Het gebruik van geïoniseerde lucht blijft dan over als techniek voor de reductie van statische elektriciteit. Hiervoor werd beroep gedaan op de expertise van het bedrijf Rycobel. Bij het omschrijven van het stofprobleem en het blijven kleven van het poeder aan de sealrand gaf de contactpersoon Lieven Pottie van Rycobel aan dat het probleem grotendeels te wijten is aan de aanwezigheid van statische elektriciteit. Als oplossing werd aangeraden om gebruik te maken van twee sproeiers die m.b.v. een klein beetje perslucht geïoniseerde lucht blazen op de vallende poeder. Deze geïoniseerde lucht met positieve en negatieve ionen zouden de poederdeeltjes vervolgens neutraliseren zodat het poeder ontladen wordt en recht naar beneden valt zonder aangetrokken te worden door de sealrand. De sproeiers dienen aangesloten te worden op hoogspanning en kunnen aangebracht worden aan de vultrechter door hier een klein gaatje in te maken.

De 'Simco-ion air ionizing cartridge 6110A' die de geïoniseerde lucht voorziet, werd getest op één van de twee verpakkingslijnen met stazakken (Figuur 64 en Figuur 65). Op de lijn werd een niet-geïnstantiseerd wei-eiwit verwerkt. Dit is een zeer statisch product en het probleem werd ook direct duidelijk voor de contactpersoon. Het poeder bleef aan de metalen onderdelen van de manuele lijn kleven evenals aan de verpakkingsmaterialen. Ook was er veel poeder op het werkoppervlak te zien wat te wijten is aan het erg opstoften van het poeder.



Figuur 64: Simco-ion air ionizing cartridge 6110A

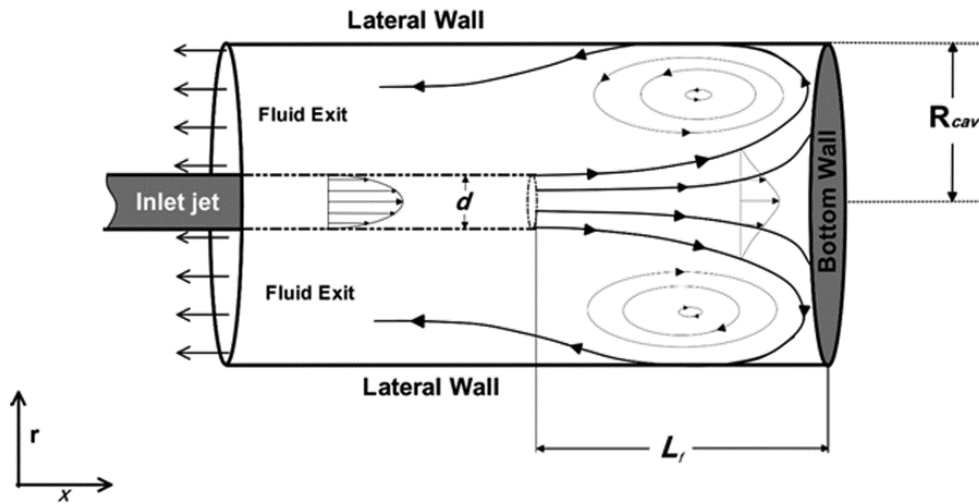


Figuur 65: Testen van de simco-ion air ionizing cartridge 6110A

Na het aansluiten van de ionensproeiers op een leiding die perslucht voorziet, werd tegelijkertijd met het vullen van een stazak geïoniseerde lucht op het poeder geblazen. Het poeder werd wel degelijk ontladen zodat het niet meer aan de metalen vultrechter ging kleven, maar door het gebruik van een kleine hoeveelheid perslucht werd een luchtstroom in de verpakking geïnduceerd die terugkaatste tot een opwaartse luchtstroom. Deze opwaartse luchtstroom zorgde ervoor dat het zeer fijne poeder deels terug uit de verpakking meegenomen werd en zich zo in de lucht kon verspreiden. De ionensproeiers zorgden voor een verergering van de stofemissie in plaats van het bieden van een oplossing. Het toevoegen van een geïoniseerde luchtstroom is dus geen effectieve methode voor het elimineren van statische elektriciteit in Aminolabs.

In praktijk is dit fenomeen zeer eenvoudig uit te leggen. Lucht die in de verpakking geblazen wordt, zal er d.m.v. partikeldiffusie terug uitkomen [82]. Diffusie is dan ook de migratie van partikels van een gebied met een hoge concentratie aan deeltjes naar een gebied met een lage concentratie.

De precieze beweging van de luchtstroom in een object met één opening wordt weergegeven in (Figuur 66) en kent een complexe theoretische verklaring. In de studie van Halouane, Mataoui en Lachachene werd de configuratie van een gasstraal op een vlakke plaat beoordeeld [83]. Deze studie verwijst naar een breed scala aan praktische toepassingen waaronder koelelektronica, airconditioning, ventilatie, etc. De studie werkt met numerieke voorspellingen uitgevoerd door een eindig volumemethode waarbij gebruik wordt gemaakt van de één-punt sluiting turbulentie van het tweede orde model omschreven door het *Reynolds stress model* (RSM). Aangezien het exacte principe van de luchtstroom te hard afwijkt van deze masterthesis wordt er naar de literatuur verwezen voor meer informatie.



Figuur 66: Eén-punt sluiting model tweede orde – Reynolds stress model [83]

Methoden om het stofprobleem op te lossen die niet getest werden in deze masterproef zijn het aanpassen van de vulgraad, het controleren van de bewaaromstandigheden van de poeder ingrediënten, het gebruik van perslucht, tril- of blaassystemen en het behuizen van de processen.

De bewaaromstandigheden van de producten hebben reeds een invloed op de stoffigheid van de poederproducten. De procesparameters opslagtijd, druk op de poederpartikels, relatieve vochtigheid en de temperatuur moeten nauwlettend gecontroleerd worden aangezien deze invloed hebben op de cohesie-eigenschappen van het poeder [22, 30]. De ideale bewaarcondities zijn afhankelijk van het te verpakken poederproduct. De zou een belangrijke parameter vormen voor de bepaling van deze condities. Wanneer de glastransitietemperatuur van het poeder benaderd wordt, zal dit leiden tot het viskeuzer worden van het poeder wat gepaard gaat met een vergrote cohesie. Uit het artikel van Schuck et al. blijkt echter dat de glastransitietemperatuur van niet gekristalliseerd wei-eiwit 51 ± 1 °C bedraagt bij een vochtgehalte van 11% [84]. Voor een gekristalliseerd eiwit bedraagt de Tg 48 ± 1 °C. Bij hogere vochtgehalten neemt de glastransitietemperatuur af. 5,12 % was het maximale vochtgehalte dat bekomen werd in de analyse van de poeder ingrediënten van Aminolabs. De glastransitietemperatuur van de wei-eiwitten ligt dus hoogstwaarschijnlijk nog hoger dan 48 of 51°C. Voor de aminozuren leucine, isoleucine en valine in BCAA varieert de glastransitietemperatuur tussen de 100 en 200°C [85]. De glastransitietemperaturen van de poeder ingrediënten van Aminolabs liggen dus te hoog om door de omgevingstemperatuur benaderd te kunnen worden. Hierdoor zullen de bewaaromstandigheden uiteindelijk de mate van stoffigheid niet kunnen controleren.

De snelheid waarmee de poeder doseermachine het poeder vrijstelt is tevens een parameter die een belangrijke rol speelt in de reductie van stofemissie. Het zoeken naar een optimale balans hangt ook weer af van product tot product en kan getest worden door bij verschillende vulsnelheden de sealsterktes in kaart te brengen.

Daarnaast is het aangeraden om de processen te behuizen opdat het poederstof enerzijds niet de werking van elektrische of pneumatische componenten kan verstoren en dat anderzijds het poeder zich minder zal verspreiden doorheen de ruimte.

Het gebruik van perslucht, afzuig- en trilsystemen zorgt tevens voor een verminderde stofemissie en dus een verminderde kans op sealcontaminatie. Afzuigsystemen worden reeds gebruikt in Aminolabs, maar kunnen nog verder geoptimaliseerd worden. Blaas- en trilsystemen worden minder frequent gebruikt voor de toepassing van stazakken.

5.2.3 Onderzoek invloed contaminatie op sealsterkte

Contaminatiegraad

Op de stalen werd steeds een hoeveelheid van 0,050 g contaminatie verspreid. Daar het verspreiden van de poedervormige contaminatie met de hand nooit perfect nauwkeurig gebeurt, kan deze handeling reeds zorgen voor afwijkingen in de uiteindelijke resultaten. Zo vormt geïnstantiseerd wei-eiwit agglomeraten wat een uniforme verspreiding moeilijk maakt. Dit is duidelijk te zien bij de vergelijking van Figuur 68 met geïnstantiseerd wei-eiwit t.o.v. Figuur 67 met niet-geïnstantiseerd wei-eiwit dat beter verspreid kan worden. De mate van de verspreiding van de combinatie zal uiteindelijk een invloed hebben op de sealperformantie. In de bijlage C zijn tabellen opgesteld die weergeven hoeveel contaminatie de verschillende seals uiteindelijk bevatten. De zuivere seals en de seals die niet hechten omwille van een te lage sealtemperatuur zijn hierin logischerwijze niet opgenomen.



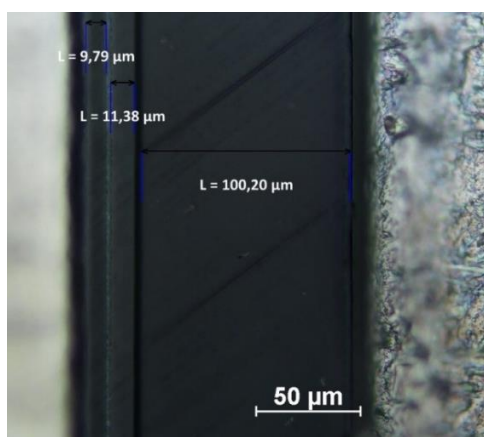
Figuur 67: Contaminatie niet-geïnstantiseerd wei-eiwit



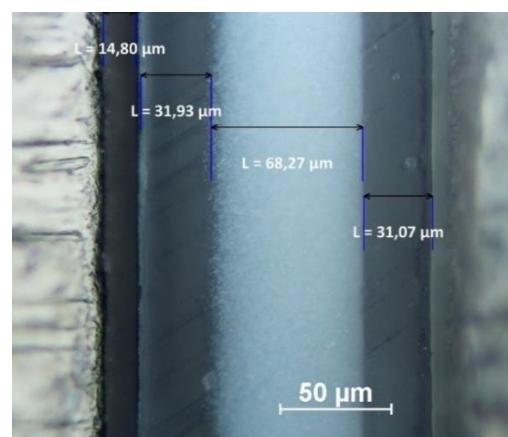
Figuur 68: Contaminatie geïnstantiseerd wei-eiwit

Doorsneden films en seals

Om een beeld te krijgen van de samenstelling van de films 1 en 2, werd de doorsnede van beide vlakke films bekeken onder de microscoop. Film 1 bestaat uit drie duidelijk te onderscheiden materiaallagen die samen een dikte geven van ongeveer 121 μm (Figuur 69). Film 2 bestaat uit 4 verschillende lagen (Figuur 70). Op het eerste zicht lijkt dat één laag hierbij tweemaal voorkomt. Dit is echter niet met zekerheid te zeggen vanuit een microscopiebeeld. De totale dikte bedraagt een 146 μm en is iets dikker dan film 1.



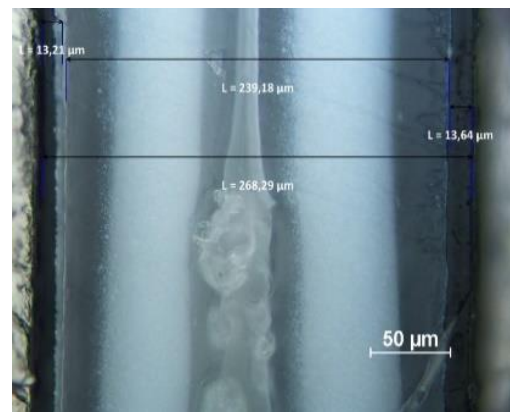
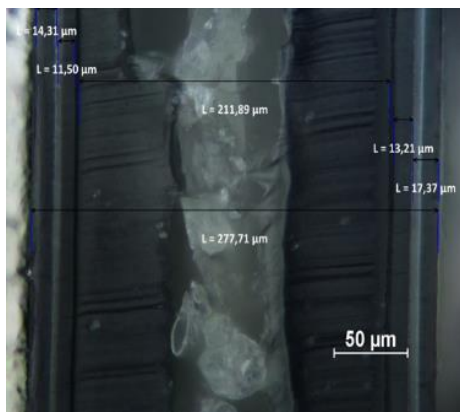
Figuur 69: Doorsnede vlakke folie 1



Figuur 70: Doorsnede vlakke folie 2

Volgens de datafiches bestaat film 1 uit een samenstelling van BOPP//VMPET //LDPE met diktes van respectievelijk 20 μm , 12 μm en 110 μm . Deze samenstelling komt vrij goed overeen met deze waargenomen via microscopie. Film 2 zou een samenstelling hebben van *Matt*-PET 12 μm //LLDPE 130 μm met een totale dikte van 142 μm . In de microscopiefoto zijn er echter 4 materiaallagen te onderscheiden. De LLDPE laag van de fiche is dus waarschijnlijk nog opgedeeld in 3 aparte lagen..

Na het sealen werden de doorsneden van film 1 en 2 tevens bestudeerd m.b.v. microscopie. Dit leverde de beelden op weergegeven in de Figures 90-105 in bijlage B. Enkel de doorsneden van de seals gemaakt bij de temperaturen 140°C en 200°C werden in beeld gebracht. Een vergelijking van de doorsneden bij deze twee temperaturen geeft de invloed van de temperatuur weer op de interactie van materiaal en contaminatie. Over heel de lijn neemt de totale dikte van de doorsnede af wanneer de temperatuur verhoogd wordt van 140°C naar 200°C. De contaminaties tussen de seals zijn duidelijk zichtbaar. Aangezien er slechts gekeken werd naar de doorsnede van een kleine oppervlakte in de seal kan het zijn dat er op een andere plaats in de seal een heel ander beeld verkregen wordt doordat de contaminatie niet 100% uniform aangebracht werd. Bij film 2 die uit 4 materiaallagen bestaat doet enkel de laatste laag van ongeveer 30 μm mee als seallaag (Figuur 72). De andere lagen aan de binnenzijde blijven onveranderd. Bij film 1 daarentegen die uit drie duidelijk te onderscheiden lagen lijkt de binnenste laag van ongeveer 100 μm volledig mee te doen als seallaag bij de inkapseling van de contaminatie (Figuur 71). Het effect van deze dunnere seallaag op de uiteindelijke sealsterkte is niet volledig duidelijk. Uit de doorsnede van de seal van film 2 van 200°C gecontamineerd met geïnstantiseerd wei-eiwit (Figuur 105 bijlage B) lijkt het dat de dunne seallaag zich vervormt naar de contaminatie en dat de omliggende lagen zich mee vervormen. Algemeen wordt wel aangenomen dat dikkere seallagen beter sealen doorheen contaminatie aangezien er meer sealmateriaal is dat voor inkapseling van de contaminatie kan zorgen.



Figuur 71: Doorsnede film 1 Instant wei 200°C Figuur 72: Doorsnede film 2 Instant wei 200°C

Dye Penetration test

Na het al dan niet contamineren en vervolgens sealen van de stalen, werden deze getest op lekken m.b.v. de *dye penetration* test. Volgende tabellen tonen aan of een bepaald staal al dan niet lekte binnen de 30 seconden. Tabel 16 geeft de resultaten voor film 1 weer van de seals die verkregen werden m.b.v. warme sealbalken in het VerpakkingsCentrum. De resultaten van film 2 worden weergegeven in

Tabel 17.

Tabel 18 geeft de lekresultaten weer van de seals verkregen m.b.v. de *hotair* sealer in Aminolabs. Aangezien de twee technieken volgens een verschillend principe de seal verwarmen, is het moeilijk de temperaturen van de methodes met elkaar te vergelijken.

Tabel 16: Lekdichtheid warme balkseals film 1: zuiver-BCAA – Instant- Non Instant (Dye Penetration)

Film 1																					
T(°C)	120			130			140			150			160			180			200		
N	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Zuiver	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
BCAA	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Instant	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Green
Niet-geïnst.	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green

Tabel 17: Lekdichtheid warme balkseals film 2: zuiver-BCAA – Instant- Non Instant (Dye Penetration)

Film 2																					
T(°C)	125			130			140			150			160			180			200		
N	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Zuiver	Green	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
BCAA	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Instant	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green
Niet geïnst	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Tabel 18: Lekdichtheid zuivere, hete luchtseals film 1- film 3- film 2-film 4 –film 5 (Dye Penetration)

	Film 1			Film 3			Film 2			Film 4			Film 5		
T (°C)	275			275			250			250			250		
N	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Zuiver	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

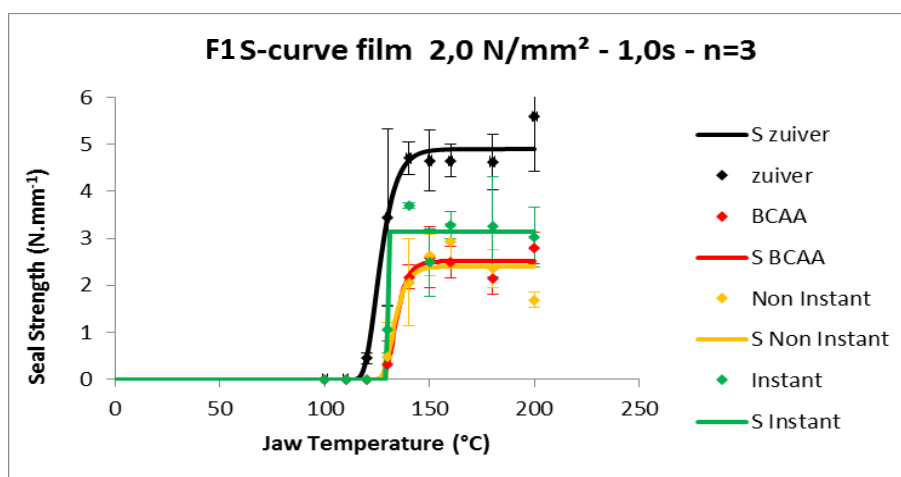
Bij de zuivere folie van film 1 worden geen lekken waargenomen. Bij dezelfde folie met contaminatie treden vooral lekken op bij temperaturen van 120-140°C en vanaf 200°C. Ertussen worden geen lekken waargenomen. Het sealvenster voor film 1 bevindt zich voor warme balk sealen tussen 150°C en 180°C op basis van deze resultaten. Het verschil in aantal lekken bij de folies met de verschillende contaminaties is eerder beperkt. Bij de contaminatie van BCAA treden er 7 lekken op, bij niet-geïntantiseerd wei-eiwit 9 en bij geïntantiseerd wei-eiwit 6. De testen zouden meerdere maal herhaald moeten worden om een beter beeld te krijgen van het aandeel lekken per type contaminatie per temperatuur.

Voor de zuivere folie van film 2 zijn er vanaf 130°C geen lekken meer te detecteren, eronder waar de smelttemperatuur niet bereikt wordt en er dus een onvolledige binding is van de componenten in de seallaag wel. Bij de folies met contaminatie zijn de verschillen in aantal lekken ook eerder beperkt met 7 lekken voor BCAA, 9 voor niet-geïntantiseerd wei-eiwit en 8 voor geïntantiseerd wei-eiwit. Lekken voor de folies met contaminatie komen voor tot bij 140°C. Boven deze temperatuur wordt slechts één lek gedetecteerd bij de contaminatie van geïntantiseerd wei-eiwit bij 180°C. Het sealvenster voor film 2 bevindt zich daarom voor het warme balk sealen tussen 150°C en 200°C. Lekdichte seals bevinden zich dus in bepaalde zones afgelijnd met niet te lage, maar ook niet te hoge temperaturen. Uit eerder onderzoek omschreven in de literatuur bleek reeds dat de sealtemperatuur de grootste invloed op de sealsterkte heeft en er idealiter geseald wordt tussen bepaalde temperatuurgrenzen. Een te hoge temperatuur gaat gepaard met een afname van de sealsterkte [47, pp. 62-63, 49, 54, 50].

De zuivere folies geseald in Aminolabs zelf vertonen over de hele lijn geen lekken. Dit was te verwachten aangezien de folies zuiver geseald werden bij een goede sealtemperatuur volgens de normen van Aminolabs. Een vergelijking tussen de twee technieken is echter moeilijk aangezien er bij het warme balk sealen gewerkt wordt met een vlak profiel terwijl het sealen met de hete lucht gebruik maakt van een draadvormig profiel. Het profiel dat gebruikt wordt om te sealen zou namelijk een grote invloed hebben op de uiteindelijke sealsterkte doordat deze op bepaalde punten op de seal harder drukt waardoor contaminaties weggedrukt kunnen worden [57]. Dit blijkt tevens uit het technische rapport 'Sealing through contaminated pouch surfaces' van Schulz en Mansur waar een niet vlak, gebogen profiel zorgt voor het wegdrukken van de contaminatie wat niet het geval is bij een vlak profiel [86, p. 7].

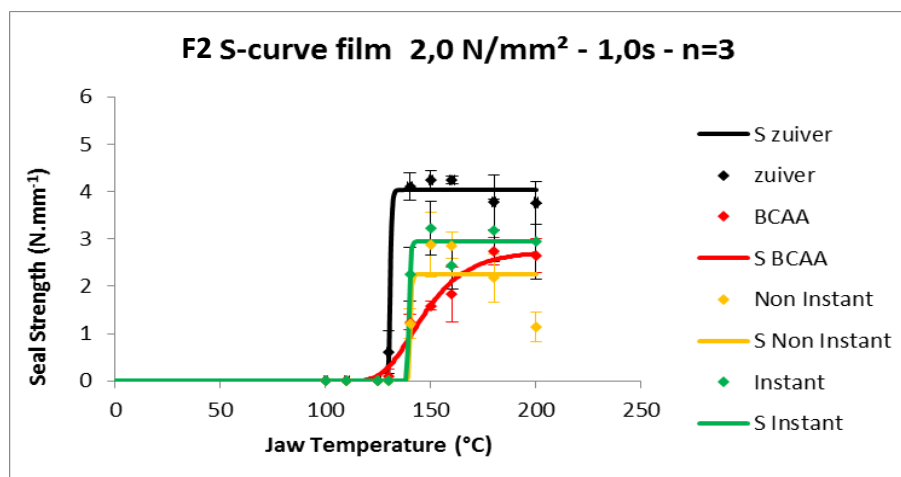
S-curves

Uit de Excel-data verkregen uit de trekproef konden S-curves opgesteld worden voor de verschillende folies met verschillende contaminaties. Figuur 73 toont de S-curves voor de verschillende contaminaties van film 1 waarbij de sealsterkte in N/mm uitgedrukt staat in functie van de balktemperatuur. Uit de curves is duidelijk te zien dat er een verschil is in sealsterkte bij een gecontamineerde of niet-gecontamineerde folie. Een niet-gecontamineerde folie levert sealsterktes op die een stuk hoger zijn. Het verschil tussen de folies met contaminatie is echter minder duidelijk doordat de standaarddeviaties van de verschillende contaminaties overlappen bij de meeste temperaturen. De folie gecontamineerd met niet-geïnstantiseerd wei-eiwit scoort wel slecht bij 200°C. De zuivere stalen beginnen reeds bij lagere temperaturen te hechten dan de gecontamineerde stalen. Dit is ook terug te zien bij de *dye penetration* test waar er voor de zuivere stalen geen lekken optreden bij lage temperaturen, terwijl dit wel het geval is voor de gecontamineerde folies.



Figuur 73: S-curves film 1 zuiver, met BCAA, non Instant en Instant

Figuur 74 geeft de S-curves weer voor de verschillende contaminaties van film 2. Ook hier weer vertoont de zuivere folie de grootste sealsterktes voor de verschillende temperaturen. Film 2 gecontamineerd met BCAA heeft een gradueler verloop dan film 1 met BCAA. De folie met niet-geïnstantiseerd wei-eiwit vertoont lage sealsterktes bij hoge temperaturen wat het plateau naar beneden trekt. Deze contaminatie lijkt wel consistent slecht te scoren op 200°C, bij zowel film 1 als film 2.

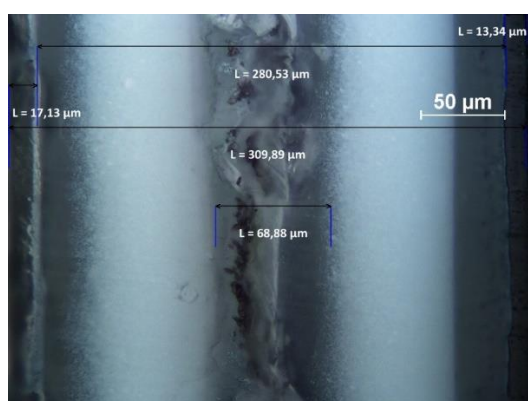


Figuur 74: S-curves film 2 zuiver, met BCAA, non Instant en Instant

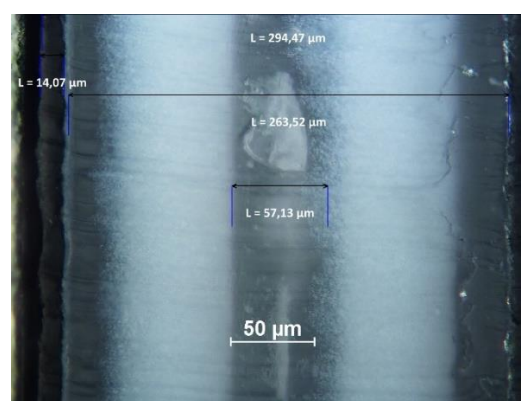
De Figuren 106 tot en met 109 in Bijlage D geven per type contaminatie de S-curve voor de films 1 en 2. Zo kan een vergelijking gemaakt worden tussen de twee folies per type contaminatie. Voor de contaminatie BCAA vormt film 1 reeds bij een lagere temperatuur een goede seal dan film 2. Op basis van de curves is film 1 beter voor het sealen doorheen de BCAA contaminatie omdat film 1 bij lage temperaturen hogere sealsterktes heeft dan film 2. De twee S-curves van film 1 en film 2 gecontamineerd met niet-geïnstantiseerd wei-eiwit lopen vrij gelijk met het verschil dat film 1 bij een 10-tal °C eerder begint te hechten. Ook bij de S-curves voor de contaminatie geïnstantiseerd wei-eiwit is film 1 een tiental graden eerder sealbaar. De plateausterkte is bij beide folies zo goed als gelijk.

De sealsterktes van de verschillende warmte seals verschillen sterk voor gecontamineerde of niet-gecontamineerde films. De S-curves tonen dat niet-gecontamineerde films sealsterktes opleveren die een stuk hoger gelegen zijn en reeds bij lagere temperaturen beginnen te hechten dan de gecontamineerde stalen. Ook dit werd reeds aangetoond in gevoerde onderzoeken naar de invloed van contaminatie op de sealsterkte. Bij de aanwezigheid van contaminatie bij het warme balk sealen neemt de sealsterkte tot met de helft af t.o.v. een zuivere seal [61, 60, 51]. De zuivere film 1 begint reeds bij lagere temperaturen te hechten en bereikt hogere maximale sealsterktes dan de zuivere film 2. De smeltemperatuur van de sealcomponenten in film 2 ligt dan ook vermoedelijk hoger dan deze van film 1 wat achterhaald kan worden via *differential scanning calorimetrie* (DSC), *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR) en *Dynamic mechanical analysis* (DMA).

Naar vermoeden zou de contaminatie van geïnstantiseerd wei-eiwit betere resultaten opleveren dan contaminatie van BCAA en niet-geïnstantiseerd wei-eiwit. Door het instantiseren van het wei-eiwit worden er agglomeraten gevormd zodat het poeder meer kleeft en bijeen blijft. Het geïnstantiseerd wei-eiwit kan hierdoor minder uniform verspreid worden dan de andere contaminaties, zodat de seal op sommige plaatsen doorheen de contaminatie beter zou moeten hechten dan op andere plaatsen. Het verpakkingsmateriaal zou slecht moeten hechten in de gebieden waar er contaminatie aanwezig is en zou beter moeten hechten tussen de korrels door. Bij geïnstantiseerd wei-eiwit zijn er vermoedelijk meerdere zuivere ruimtes tussen de agglomeraten waar de seal beter kan hechten zodat de uiteindelijke sealsterkte iets hoger zou moeten liggen. Dit is te zien in Figuur 75 en Figuur 76. Toch is het verschil in sealsterktes van BCAA, niet-geïnstantiseerd en geïnstantiseerd wei-eiwit niet duidelijk en wordt het vermoeden dus niet bekrachtigd in de testen.



Figuur 75: Doorsnede film 2 Non instant 140°C



Figuur 76: Doorsnede film 2 Instant 140°C

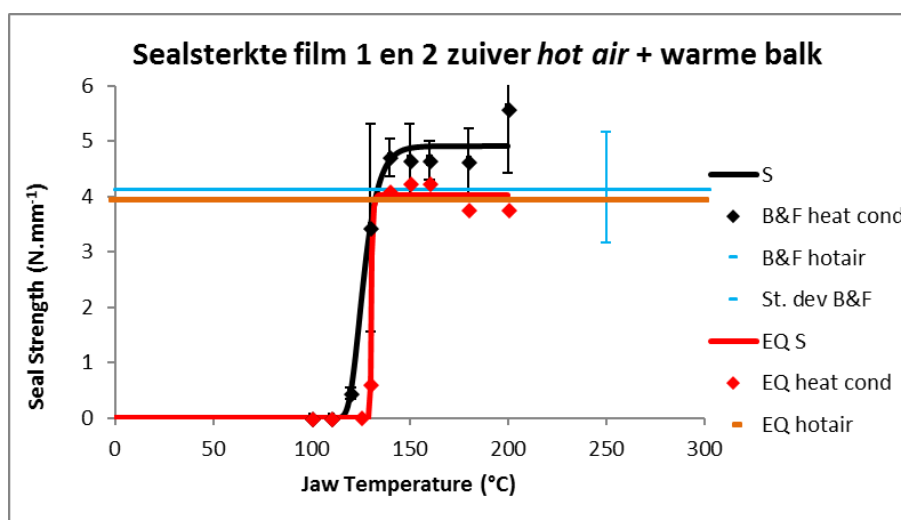
Naast het sealen met warme sealbalken werden de twee folies ook zonder contaminatie geseald met de *hot-air* sealer. Hierbij werden ook de 3 andere folies meegenomen. Aangezien er geen vaste parameters zijn om te sealen binnen Aminolabs werden de folies geseald bij een temperatuur die een goede seal opleverde. Voor de films 2,4 en 5 was dit bij 250°C. Voor de films 1 en 3 was dit bij 275°C.

Tabel 19 toont de sealsterktes van de verschillende folies die geseald werden met de *hot air* sealer. Wanneer nu de sealsterktes van de verschillende seals vergeleken worden, blijkt dat film 1 en film 3 ongeveer dezelfde sealsterkte vertonen. De vergelijking met de andere folies is moeilijk omdat er met verschillende temperaturen gewerkt wordt, maar de sterkte van film 5 lijkt iets lager te liggen terwijl de films 2 en 4 even sterk zijn als de films 1 en 3.

Tabel 19: Sealsterktes folies geseald met hot air sealer

	seal T (°C)	sealsterkte (N.mm-1)	st. dev.
film 2	250	4,003333333	0,052387445
film 4	250	4,040444444	0,375906214
film 5	250	2,732	0,430852385
film 1	275	4,163111111	0,978601572
film 3	275	4,831333333	0,996549157

Figuur 77 toont de S-curves voor de zuivere seals verkregen met beide technieken. Aangezien het hier gaat om 2 verschillende technieken waarbij er vermoedelijk een verschil ligt in de interfaciale temperatuur, dit is de temperatuur die hoger moet zijn dan het smeltpunt van de seallaag, wordt de sealsterkte van film 1 verkregen met de *hot air* sealer voorgesteld door een horizontale lijn. Het verschil in temperatuur kan namelijk niet meegenomen worden in de vergelijking van de 2 technieken. Bij het warme balk sealen wordt de folie in contact gebracht met heet metaal wat vermoedelijk zorgt voor een hogere interfaciale temperatuur dan bereikt wordt bij eenzelfde ingestelde temperatuur voor het warme lucht sealen. De zuivere film 1 geseald met warme balken begint reeds bij een lagere temperatuur te hechten dan film 2 en deze eerste bereikt hogere sealsterktes dan film 2. Uit de vergelijking van de sealsterktes van de films geseald met beide sealtechnieken weergegeven, blijkt dat de sealsterkte van een goede seal bij de *hot air* techniek gelijkaardig is aan de maximale sealsterkte bij het warme balksealen.



Figuur 77: Sealsterktes zuivere films 1 en 2 met warme balken en hot air

Trekproef

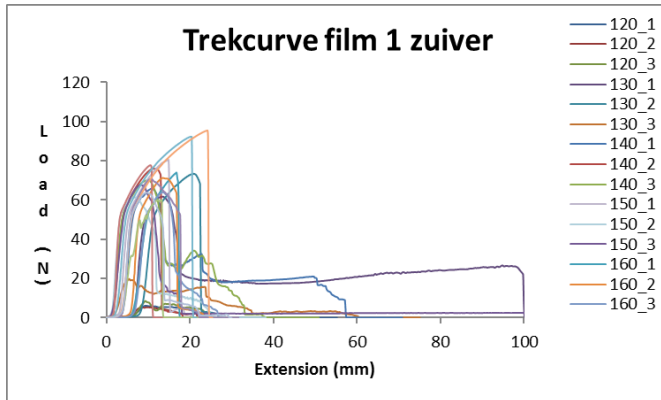
In deze sectie volgt de bespreking van enerzijds de trekcurven van film 1 en film 2 voor het warme balk sealen en anderzijds van deze folies aangevuld met de films 3, 4 en 5 voor het sealen met hete lucht. Deze trekcurves geven de trekkracht in N weer in functie van de verlenging in mm. Hieruit kan een beeld bekomen worden hoe de verschillende seals verbroken werden. Dit kan via *peel*, delaminatie, *tear* of laterale insnijding. Bij *peel* wordt de seal uiteen getrokken zonder dat het materiaal beschadigd geraakt. Bij *tear* is de seal zodanig sterk dat de folie net voor de seal kapot getrokken wordt. Bij laterale insnijding scheurt de folie inwaarts en bij delaminatie tot slot komt een laag van de meerlaagse verpakking los. Deze fenomenen worden tevens voorgesteld in Figuur 78 a-d.



Figuur 78: a) Peel, b) Tear + delaminatie, c) Laterale insnijding, d) Tear

Figuur 79 geeft de trekcurves weer van de zuivere film 1 geseald bij de temperaturen van 120-200°C. Tabel 20 geeft voor elke temperatuur weer wat de oorzaak was van de verbreking van de seal. Bij 120°C treedt enkel *peel* op wat wijst op een vrij zwakke seal. Vanaf 130°C treedt bijna altijd *tear* op met of zonder combinatie van een ander fenomeen. De trekcurves in Figuur 79 zijn hierdoor zeer gelijkend op de trekcurves van vlak materiaal. De lange uitlopers bij lagere krachten stellen delaminatie voor waarbij een laag van de meerlaagse film losgetrokken wordt. Dit kan voor slechts een klein stukje of de laag kan van de volledige folie afgetrokken worden.

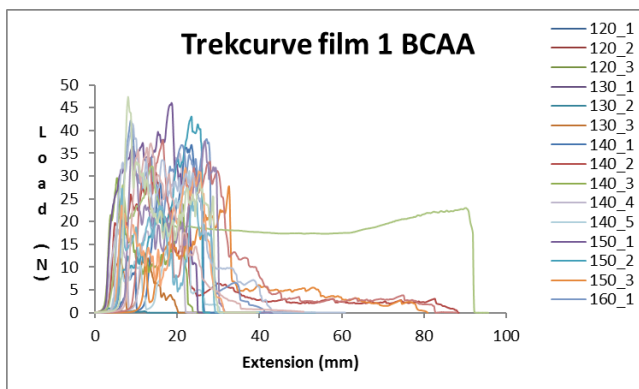
Tabel 20: Oorzaken verbreking seal film 1 zuiver



Figuur 79: Trekcurves film 1 zuiver

staalnr.	verbreking
120°C	1 peel
	2 peel
	3 peel
130°C	1 delaminatie + tear
	2 tear
	3 tear + delaminatie + peel
140°C	1 tear + delaminatie + laterale insnijding
	2 tear
	3 tear + delaminatie + laterale insnijding
150°C	1 tear
	2 tear + delaminatie + laterale insnijding
	3 volledige delaminatie
160°C	1 tear
	2 tear + delaminatie
	3 tear + delaminatie
180°C	1 tear
	2 tear
	3 tear
200°C	1 tear
	2 tear
	3 tear + delaminatie

Alle trekcurves van de seals van film 1 met de contaminatie BCAA worden weergegeven in Figuur 80. Er vormen zich pas seals vanaf 130°C. De maximale trekkrachten liggen hier een stuk lager dan bij de zuivere seal. Uit Tabel 21 kan opgemaakt worden dat de seals bijna altijd verbroken worden via *peel*. Een duidelijk verschil is zichtbaar voor een zuivere en gecontamineerde seal wanneer men de curve van film 1 gecontamineerd met BCAA vergelijkt met deze zonder contaminatie.



Figuur 80: Trekcurves film 1 BCAA

Tabel 21: Oorzaken verbreking seal film 1 BCAA

staalnr.	verbreking
120°C	1 /
	2 /
	3 /
130°C	1 /
	2 peel
	3 peel
140°C	1 peel
	2 peel + tear
	3 peel
	4 peel
	5 peel + delaminatie
150°	1 peel
	2 peel
	3 peel + delaminatie + tear
160°C	1 peel + delaminatie + tear
	2 peel + laterale insnijding + delaminatie
	3 tear + delaminatie
180°C	1 peel
	2 peel
	3 peel
200°C	1 peel + tear + delaminatie
	2 peel + tear + laterale insnijding
	3 peel

De overige figuren en tabellen voor de zuivere en gecontamineerde seals van de films 1 en 2 worden weergegeven in Bijlage E: Trekcurven. Waar de zuivere films vooral verbroken worden via *tear*, worden de gecontamineerde films voornamelijk verbroken via *peel*. Bij de contaminatie geïnstantiseerd wei-eiwit wordt de seal zowel voor film 1 als voor film 2 ook een paar keer door *tear* stukgetrokken zodat deze seals iets sterker zijn dan deze gecontamineerd met niet-geïnstantiseerd wei-eiwit en BCAA. Contaminatie zorgt er tevens voor dat er pas vanaf een iets hogere temperatuur geseald kan worden dan bij de zuivere films.

Nu volgt de bespreking van de trekcurves van de folies (Bijlage E: Trekcurven) die geseald werden m.b.v. de *hot air* sealer in Aminolabs. Alle folies werden zuiver geseald, er werden m.a.w. geen contaminaties aangebracht. Tabel 22 toont de falen van de verschillende warme lucht seals. Over het algemeen zijn de seals redelijk goed hoewel de gemiddelde maximale kracht wel iets lager ligt dan die bij het warme balk sealen in het VerpakkingsCentrum.

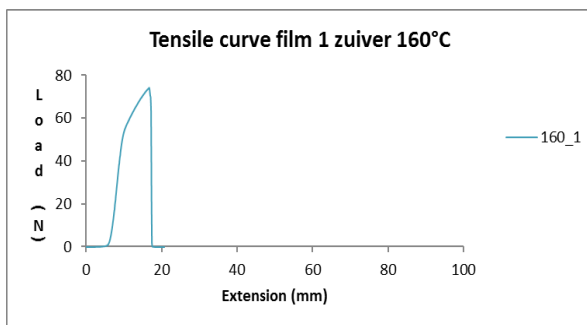
Tabel 22: Oorzaken sealverbrekingen zuivere seals verkregen met hot air sealer

film	staal	sealverbreking
Film 1	1	Tear
	2	Tear + delaminatie
	3	Tear + delaminatie
Film 2	1	Peel + delaminatie + tear
	2	Peel + delaminatie + tear + laterale insnijding
Film 3	1	Tear
	2	Tear + delaminatie
	3	Tear
Film 4	1	Tear
	2	Tear
	3	Tear
Film 5	1	Peel + volledige delaminatie
	2	Peel + delaminatie
	3	Peel + delaminatie

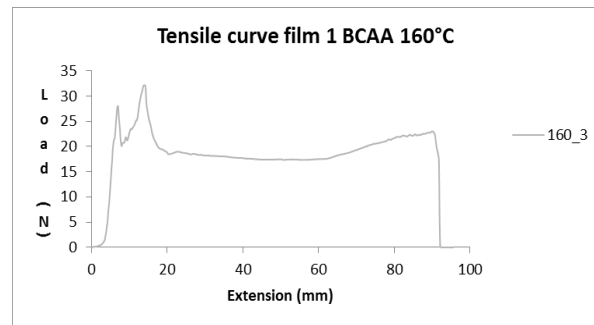
De Film 1, 2, 3 en 4 tonen gelijkaardige trekkrachten. De sealverbreking gebeurt steeds door *tear* met of zonder combinatie van andere fenomenen wat op een vrij goede sterkte wijst. De curves van film 5 tonen duidelijk declinatiepatronen waarbij de kracht gedurende het delamineren vrij constant blijft. De maximale krachten liggen hier echter wel vrij laag vergeleken met de andere folies geseald in Aminolabs. De hechting tussen de lagen is dan ook slechter dan bij de andere films zodat er sneller delaminatie optreedt.

De verbreking van warmte seals gebeurt dus via de fenomenen *tear* (Figuur 81), delaminatie (Figuur 82), *peel* (Figuur 83), laterale insnijding of een combinatie ervan (Figuur 84). De figuren van film 1 met de contaminatie BCAA geseald bij 160°C geven de fenomenen goed weer. *Peel* komt samen met zwakkere seals terwijl *tear* optreedt bij sterke seals. Een combinatie van de verschillende fenomenen levert sterktes op die hiertussen gelegen zijn. Deze sealfalen en hun verband met de sealsterkte werden reeds duidelijk voorgesteld in het onderzoek van Yuan et al. [53]. Een zuivere seal wordt typisch verbroken via *tear*. Deze trekcurves lijken erg op de trekcurve van vlak materiaal met een elastisch deel, vervolgens versteviging en onomkeerbare vervorming door rek tot het materiaal breekt. Een gecontamineerde seal wordt doorgaans verbroken via *peel* of via *peel* in combinatie met andere verbrekingsfenomenen, maar zelden door enkel *tear*.

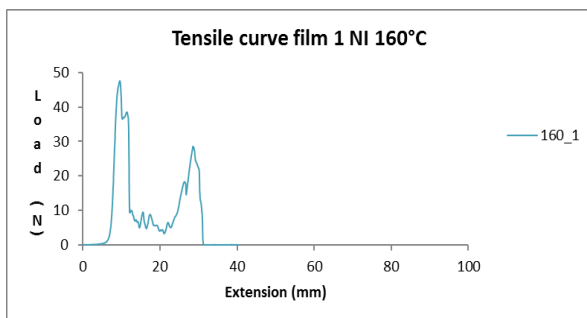
De contaminatiekorrels zorgen voor afwisselende pieken in de trekcurves. Doordat de contaminatie nooit volledig uniform is, zal de seal op sommige plaatsen doorheen de contaminatie beter hechten dan op andere plaatsen. Dit is duidelijk te zien in de microscopische foto van de seal van film 2 gecontamineerd met geïnstantiseerd wei-eiwit bij 140°C (Figuur 97 bijlage B).



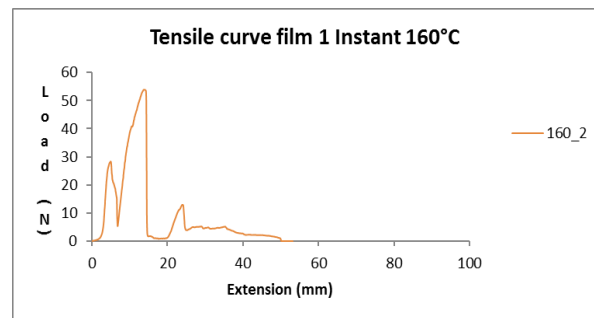
Figuur 81: Typische tearcurve



Figuur 82: Typische delaminatiecurve



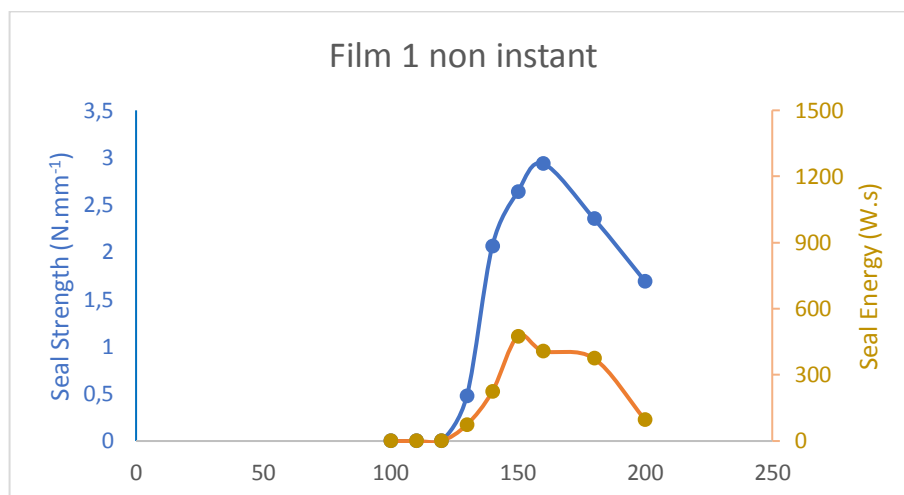
Figuur 83: Typische peelcurve



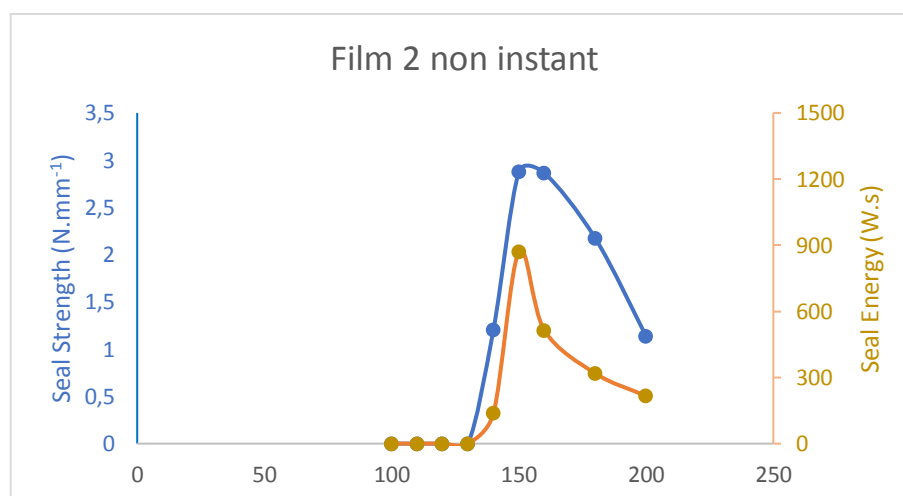
Figuur 84: Combinatie peel, tear en laterale insnijding

Sealenergie

Uit de sealtest kan tevens de sealenergie berekend worden uitgedrukt in Nmm. Deze energie nodig om de seals te verbreken is gelijk aan de oppervlakte onder de trekcurves. De energiecurves geven gelijkaardige resultaten als de sealsterkte. Niet-geïnstantiseerd wei-eiwit scoort slecht bij hoge temperaturen en dit zowel voor film 1 als film 2 (Figuur 85 en Figuur 86). Bij de andere contaminatietypen waarvan de energiecurves in bijlage F staan, is dit minder het geval.



Figuur 85: Sealsterkte- en energie film 1 Non Instant



Figuur 86: Sealsterkte- en energie film 2 Non Instant

Uit voorgaande testen blijkt duidelijk dat de folies binnen bepaalde temperatuurgrenzen geseald moeten worden, dit betekent voldoende maar ook niet overdreven warm (150°C-180°C voor film 1 en 150°C-200°C voor film 2). De vertaling van de optimale sealtemperaturen met warme balken naar de *hot air sealer* van Aminolabs kan gemaakt worden m.b.v. een thermokoppel dat de effectieve temperatuur kan meten in de seal interface waarmee het te sealen materiaal opgewarmd wordt voor beide technieken. Om de sealperformantie te verbeteren zou verder onderzoek gevoerd kunnen worden naar het sealen met een andere sealtechniek zoals het ultrasoon sealen, het gebruik van polymeren met verbeterde sealeigenschappen en het optimaliseren van het filmoppervlak opdat het contactoppervlak met de contaminatie zo klein mogelijk wordt.

Sealtest Aminolabs

De testen binnen Aminolabs hadden als doel de resultaten van de testen in het VerpakkingsCentrum te vertalen naar de 2 *hot air* sealers in Aminolabs.

Bij een instelling van 250°C en een sealtijd van 1,0 seconden op de twee *hot air* sealers in Aminolabs, gaf de sealer van bulklijn 3 een temperatuur van 175,7°C tussen de twee hete lucht blazers. Bij de *hot air* sealer van bulklijn 3 bedroeg de temperatuur 181,5°C. Er zit dus een verschil van 5,8 graden op beide sealers. Het meten van de temperatuur die de binnenste seallaag bereikt om de vertaling van warme balk naar warme lucht sealen te kunnen maken, was niet mogelijk met de beschikbare voedselthermometer. De temperatuur op de *display* kende een trage stijging en kon niet tot de werkelijke temperatuur geraken zonder dat het verpakkingsmateriaal ondertussen volledig smolt door de lange opwarmingsduur. Hiervoor is het aangeraden de test te herhalen met gebruik van een thermokoppel.

Om toch een concreet advies op vlak van sealtemperaturen mee te kunnen geven aan het bedrijf werd een bijkomende test uitgevoerd op de 2 bulklijnen met de zuivere films 1 en 2. De folies werden op beide lijnen geseald vertrekkende van een initiatietemperatuur van 200°C die nog geen dichte seal gaf. De temperatuur werd vervolgens opgevoerd tot de seals niet meer aanvaardbaar waren omwille van lektheid of ethisch aspect.

Tabel 23 toont voor de twee films of deze bij de verschillende sealtemperaturen al dan niet dicht waren. Het dicht zijn van de seal werd visueel en mits aanleggen van een menselijke kracht beoordeeld. Op bulklijn 3 kan de seal van film 1 als dicht beschouwd worden vanaf 230°C. Bij temperaturen hierboven blijven de seals dicht, maar algemeen wordt genomen dat er best niet boven 320°C geseald wordt omwille van het sterk optreden van delaminatie waarbij binnenste materiaallagen naar buiten komen (Figuur 87 a en b). De optimale sealrange is dus gelegen tussen 230 en 320 °C. Aangezien de films echter zuiver waren en er in Aminolabs ook contaminatie kan voorkomen, wordt dit sealvenster verkleind naar 250-310°C. Uit de sealtesten in het VerpakkingsCentrum bleek namelijk dat gecontamineerde seals pas bij een hogere temperatuur dan zuivere seals beginnen te hechten en dat de sealsterkte bij hoge temperaturen terug begint te dalen. Voor film 2 ligt het sealvenster voor zuivere films tussen 270 en 320°C. Rekening houdend met contaminatie wordt deze range beperkt tot 290°C-310°C.

Op bulklijn 1 trad er bij hoge temperaturen geen delaminatie op waarbij gesmolten materiaal uit de verpakking geduwd werd. Wel begonnen de films bij te hoge temperaturen beschadigingen te vertonen die niet aanvaardbaar waren. Het sealvenster voor zuivere seals van film 1 op bulklijn 1 bevindt zich tussen 240°C en 350°C. De tabel toont echter dat de seals defectvrij waren tot en met 380°C, maar om geen risico te nemen wordt een maximale temperatuur van 350°C verkozen. Het sealvenster wordt verkleind naar het bereik van 260-340°C voor de toepassing in Aminolabs waar contaminatie frequent optreedt. De zuivere seals van film 2 waren op bulklijn 1 defectvrij tussen 260°C en 340°C. Deze maximale temperatuur wordt echter veiligheidshalve verlaagd naar 320°C. Voor contaminatie wordt geadviseerd te sealen tussen 280°C en 310°C op bulklijn 1 voor film 2.

Tabel 23: Dicht zijn van de films 1 en 2 geseald op bulklijn 1 en 3 in Aminolabs

T(°C)	BULKLIJN 3						BULKLIJN 1					
	film 1			film 2			film 1			Film 2		
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>
200	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
210	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
220	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
230	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Red	Red	Red
240	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Red
250	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red
260	Green	Green	Green	Red	Green	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green
270	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
280	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
290	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
300	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
310	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
320	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
330	White	White	White	White	White	White	Green	Green	Green	Green	Green	Green
340	White	White	White	White	White	White	Green	Green	Green	Green	Green	Green
350	White	White	White	White	White	White	Green	Green	Green	Green	Green	Red
360	White	White	White	White	White	White	Green	Green	Green	Green	Green	Green
370	White	White	White	White	White	White	Green	Green	Green	Red	Green	Red
380	White	White	White	White	White	White	Green	Green	Green	Red	Red	Red
390	White	White	White	White	White	White	Red	Green	Green	Red	Red	Red
400	White	White	White	White	White	White	Green	Green	Red	Red	Red	Red



Figuur 87: Delaminatie bij te hoge sealtemperaturen a) film 2, b) film 1

Uit de testen blijkt dat er een verschil is in de sealtemperaturen van beide *hot air* sealers in Aminolabs. Daartoe werd m.b.v. een tachometer bepaald wat de snelheid van beide sealers is. Beide liggen echter rond de 6,9 m/min zodat dit het verschil in sealtemperaturen niet verklaart. Ook beide profielen zijn identiek. De afwijking zou echter wel te wijten kunnen zijn aan het verschil in aandrukking door het profiel of afwijkingen in de weerstanden die de gemeten temperaturen weergeven op het *display*.

5.2.4 Implementatie lekdetectiesysteem

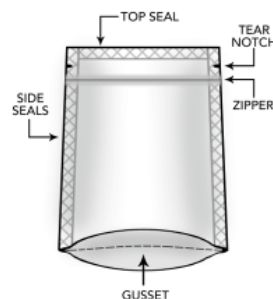
Enkel volautomatische niet-destructieve lekdetectiesystemen zijn geschikt voor de verpakkinglijn met stazakken van Aminolabs. De visuele inspectie wordt momenteel toegepast binnen Aminolabs. Deze is zeer onnauwkeurig en neemt veel in beslag en is kostelijk. Om deze reden wilt het bedrijf dan ook overstappen naar een automatische, meer nauwkeurige lekdetectiemethode.

De *camera vision* methode is ongeschikt voor de stazakken van Aminolabs. De zakken zijn namelijk niet transparant zodat de sealkwaliteit niet waar te nemen is. Ook is de methode niet nauwkeurig genoeg om slechte hechtingen of zeer kleine lekken waar te nemen. De *bubble test* is een *offline* methode en test een 2-tal verpakkingen per minuut. Dit is te weinig om nuttig te zijn in de toepassing van Aminolabs waar er ongeveer een 10-tal verpakkingen per minuut gevuld en geseald worden. De methode is tevens vrij onnauwkeurig naar kleinere lekken toe en is arbeidsintensief.

In eerste instantie leek de *pressure difference* methode een interessante methode voor de verpakkinglijnen met poeders. Op de sites van leveranciers staat echter wel vermeld dat de methode enkel geschikt is voor *pillow bags* met snacks (Figuur 109), dit is een zak in de vorm van een kussen met een seal aan de bovenkant, onderkant en aan de achterkant. Na contact met de leveranciers Ishida Europe BV en BluePrint Automation bleek dat de methode wel degelijk enkel toe te passen is op *pillow bags* met snacks als chips, popcorn, noten, enz.. Dit omdat deze verpakkingen een hoog aandeel lucht bevatten en omdat ze symmetrisch zijn. Het luchtgehalte moet zo zijn dat indien de verpakking op een tafel wordt gelegd en er met twee handen op gedrukt wordt, enkel de lucht samengedrukt mag worden en er geen product gevoeld mag worden. De stazakken met poeders bevatten slechts weinig lucht en zijn niet symmetrisch (Figuur 110). Door hun brede bodem is het niet mogelijk om een gelijk verdeelde druk over het oppervlak aan te brengen zodat de *pressure difference* methode niet geschikt is voor de verpakkinglijn met stazakken.



Figuur 88: Pillow bag [87]



Figuur 89: Stazak [88]

Op het eerste zicht leek de *vacuum decay* methode niet interessant voor de toepassing van Aminolabs. De methode wordt meestal *offline* gebruikt en is dus niet in staat alle verpakkingen te testen. De leverancier Oxipack gaf echter aan dat er twee mogelijke varianten zijn van de methode. Enerzijds is er de *standalone* testmethode met handmatige productinvoer. Hiermee wordt de software voor de verschillende type producten handmatig ingevoerd. Met deze *standalone* methode kunnen ongeveer twee verpakkingen per minuut getest worden. Bij kleinere verpakkingen kunnen er zelfs meerdere verpakkingen tegelijk getest worden. De instapprijs voor zulke machine zou €22.500 bedragen. Deze methode is echter niet geschikt voor de toepassing aangezien ook weer niet alle verpakkingen getest kunnen worden wat wel een vereiste is.

Anderzijds is er een geautomatiseerde *vacuum decay* lekdetectiemethode die geïmplementeerd kan worden in een manuele lijn. Doordat Aminolabs echter met een zeer breed gamma aan verpakkingstypes en -afmetingen werkt, gaat het om een vrij volumineuze en prijzige machine. De variatie in producten brengt namelijk een aantal uitdagingen met zich mee. Elke verpakking moet met dezelfde voorzichtigheid, snelheid en precisie verwerkt worden en voor deze optie zal er een arm ontwikkeld moeten worden die zowel de kleine als de grote stazakken kan verplaatsen zonder dat er een risico ontstaat op eventuele beschadigingen. Deze machine zal tussen de €200.000 en €300.000 kosten wat een aanzienlijk bedrag is. Door deze hoge prijs werd ook deze optie niet geschikt bevonden binnen Aminolabs en werd er niet meer aandacht besteed aan de precieze werking van deze methode.

De poeders van Aminolabs worden atmosferisch verpakt in stazakken. Er zijn dus geen *tracer* gassen aanwezig binnen de verpakking zoals wel het geval is bij *modified atmosphere packages*. Dit maakt dat de *Tracer gases* lekdetectiemethode tevens ongeschikt is voor de stazakken met poeders.

De Seal-sensor en Seal-Scan van PTI Packaging Technologies and Inspection op basis van ultrasone golven kunnen enkel defecten in seals waarnemen. Lekken zelf en slecht hechtende seals die later voor lekken kunnen zorgen, kunnen niet gedetecteerd worden. De Seal-Scan werkt *offline* en is enkel geschikt voor het testen op basis van steekproeven. De Seal-Sensor werkt wel *inline* en zou daarmee wel een geschikte manier zijn om de seals van Aminolabs te inspecteren. Daar er een scan gemaakt moet worden van de seals m.b.v. ultrasone golven dienen alle seals op een uniforme manier aan de sensor aangeboden te worden opdat de scan juist gebeurt. Aangezien er in Aminolabs met een manuele lijn gewerkt wordt is het onmogelijk om de stazakken uniform aan de Seal-Sensor aan te bieden.

Een oplossing hiervoor zou zijn om gebruik te maken van een robot *picker* die de verpakkingen van Aminolabs met verschillende dimensies en gewichten elk op een juiste manier kan uitlijnen voor de detector. Chris Vleeschouwers van het bedrijf Intrion gaf aan dat dit niet onmogelijk is. Een *collaborative* robot gekoppeld met visie zou hiervoor ingeschakeld kunnen worden. De robot zou dan wel de handeling met alle verschillende producten moeten aanleren. Dit zou dan ook vooraf grondig getest moeten worden. Gelijkaardig aan de voorgestelde robotarm bij de *vacuum decay* lekdetectiemethode van Oxipack zal dit een zeer grote investering inhouden. Aminolabs werkt namelijk met een zeer breed gamma aan verpakkingstypes en -afmetingen wat ervoor zorgt dat de robot zeer flexibel moet zijn.

Hetzelfde probleem treedt op bij de *vibration analysis* en de *thermal imaging* lekdetectiemethodes. Beiden vereisen dat de positionering van de stazak-seal direct na het sealen steeds identiek is voor een correcte controle van de seal. De methodes zijn dus niet geschikt voor een manuele lijn tenzij een flexibele robotarm geïmplementeerd wordt wat een grote investering vergt. De *thermal imaging* methode is in tegenstelling tot de *ultrasound* methode wel geschikt om rechtstreeks lekken en slechte hechtingen te detecteren. Ook contaminatie kan nauwkeurig gedetecteerd worden. Apparatuur voor deze methode zou een 50.000 euro kosten bij de leverancier Oxipack zonder de robotarm. Voor de vibratie-analyse wordt er volgens Olivier Georis van Engilico enkel gewerkt met warme balk sealen. De methode zou niet geschikt zijn voor de *hot air sealer* van Aminolabs. De methode is tevens niet zeer geschikt voor het detecteren van poedercontaminatie aangezien deze contaminatie vaak te klein is om te detecteren. Apparatuur voor de vibratie-analyse kost een 35.000 euro exclusief 5.000 euro voor de installatie, indienstelling en training.

Met behulp van X-straling is het enkel mogelijk om contaminaties van roestvrij staal, glas, steen, beenderen, schelpen, kunststoffen, vaste rubbers,... te detecteren. X-straling wordt niet tegengehouden door poeder zodat poedercontaminatie in de seal niet waargenomen kan worden. Hierdoor is X-straling inspectie niet mogelijk voor de inspectie van poedercontaminatie. De *high voltage leak detection* methode tot slot vereist dat de verpakking een minimaal gehalte van 30% aan vloeistof bevat. Dit zorgt ervoor dat deze methode niet geschikt is voor de poeders in stazakken.

Enkel de technieken *ultrasound inspection*, *thermal imaging* en de *vibration analysis* blijken uiteindelijk geschikt te zijn voor de toepassing van Aminolabs. Een robot gekoppeld met visie zou hiervoor echt ingeschakeld moeten worden wat een grote investering met zich meebrengt. Om nu uiteindelijk de meest nauwkeurige techniek voor het detecteren van lekken bij de stazakken aan te duiden, zal elk van deze technieken getest moeten worden met de verpakkingen van Aminolabs.

5.2.5 Automatisatie manuele verpakkingslijn

Uit de studie naar een geschikte lekdetectiemethode bleek reeds dat de geschikte methodes, namelijk de ultrasonische inspectie, de infrarood sealinspectie en de vibratie analyse, niet toe te passen zijn op een manuele lijn. De desbetreffende sealinspectie en lekdetectiemethodes zijn bij uitstek geschikt voor *inline* hoge snelheidsmachines. Om deze reden is het interessant om het automatiseren van de stazaklijnen in overweging te nemen. Automatisatie zorgt er tevens voor dat er tijd gewonnen wordt om zo de productie te kunnen vergroten en om eventueel een eigen huismerk te produceren. Om een beeld te krijgen van de huidige productie binnen Aminolabs werd de planning van de twee stazaklijnen van 9 januari t.e.m. 27 oktober 2017 bestudeerd. Tabel 24 toont per gewicht hoeveel verschillende verpakkingen er gevuld werden. Wanneer de laatste tabel opgeteld wordt, blijkt dat 39 verschillende poederproducten in deze periode in 18 verschillende formaten verpakt werden. De mogelijke smaakstoffen zijn buiten berekening gebracht in de verschillende poederproducten. Door de verschillende smaakstoffen zou het aantal poederproducten naar een aantal van 100 rijken. Aangezien smaakstoffen slechts een kleine aanpassing zijn in de productie worden deze dus buiten rekening gehouden. 0,750 g is het meest voorkomende gewicht van een poederproduct binnen Aminolabs.

Tabel 24: Overzicht aantal verpakkingen per formaat 9 jan. t.e.m. 27 okt. 2017

gewicht (kg)	aantal verpakkingen	aantal verschillende producten (buiten smaakstoffen gerekend)
0,300	3.150	1
0,350	4.400	1
0,454	4.230	1
0,500	35.570	3
0,750	208.043	6
0,900	13.600	4
0,908	8.661	2
1,000	10.640	4
1,500	8.400	1
2,000	9.530	2
2,270	6.263	2
3,000	1.890	3
4,000	7.820	2
4,540	6.550	2
5,200	21.540	2
5,750	4.500	1
6,800	2.700	1
7,100	1.250	1

Bovenste berekening werd uitsluitend gemaakt om een beeld te geven hoe groot het assortiment aan producten en verpakkingen binnen Aminolabs is. Dit uitgebreide assortiment maakt dat er vaak nood is aan een volledige ombouw van de verpakkingslijn wat enige tijd in beslag neemt. Bij het overgaan naar een nieuw product moeten de verpakkingen, de productaanvoer, de doseringen en de sealparameters gewijzigd worden. Ook de aanvoerleidingen moeten gereinigd worden opdat verschillende producten niet zouden mengen. Er kan droog of nat gekuisd worden. De droge kuis waarbij de lijn vluchtig ontdaan wordt van poeder gebeurt na elke productwissel ook al wisselt enkel de smaakstof in een product.

De natte kuis is een grondigere kuis waarbij de lijn volledig gezuiverd wordt zodat het nieuwe product niet in contact kan komen met het vorige product op de lijn.

Bij een automatische lijn is er ook nog steeds nood aan een ombouw en kuis bij overgang van elk product. Zulke ombouw en kuis nemen al snel een twintigtal minuten in beslag wat ervoor zorgt dat het niet efficiënt is om kleine *batches* producten op de automatische lijn te draaien en steeds te wisselen van product. Tabel 25 toont een opsomming van de producten die het meest geproduceerd werden in het afgelopen jaar waarbij het product dat het meest geproduceerd werd bovenaan staat. Product 1 (wei-eiwit *shake*) van leverancier a werd maar liefst 124 159 keer geproduceerd.

Tabel 25: Overzicht meest geproduceerde producten afgelopen jaar

product	klant	aantal
Product 1 (750 g)	a	124.159
Product 2 (750g)	a	27.214
Product 3 (750g)	a	24.238
Product 4 (500g)	b	24.130
Product 5 (5,22kg)	c	18.120
Product 6 (750g)	a	15.118
Product 7 (750g)	a	10.039
Product 8 (1500g)	a	8.400
Product 9 (2kg)	d	7.740
Product 10 (900g)	e	7.200
Product 11 (908g)	f	7.011
Product 12 (4kg)	g	6.000

Hierna volgt een berekening voor de automatisering van de wei-eiwit *shake* van leverancier a.

Tabel 26 geeft voor de verschillende smaken van het product weer hoeveel ervan geproduceerd werd en hoeveel tijd aan de productie ervan besteed werd gedurende de periode van 9 januari t.e.m. 27 oktober 2017.

Tabel 26: Productie wei-eiwitshake opgedeeld in de verschillende smaakstoffen

smaak	aantal	inpakproces (min)	verpakkingsduur (dagen)	duur kuis + ombouw (min)	totale duur (min)
Banana milkshake	12.037	2.734	9	225	2.959
Banana strawberry	3.567	1.048	5	125	1.173
Banana Toffee	1.555	372	2	50	422
Berry Blast Milkshake	3.580	859	5	125	984
Cappuchino	2.361	506	3	75	581
Choco Coco Bounty	3.009	739	7	175	914
Chocolate brownie	6.398	1.641	9	225	1.866
Chocolate cookie	2.932	702	4	100	802
Chocolate milkshake	5.759	1.380	6	150	1.530
Cookies & Cream	4.444	1.067	5	125	1.192
Creamy coconut	4.775	1.145	5	125	1.270
Creamy milk chocolate	1.421	346	3	75	421
Hazelnut Choco	1.018	244	1	25	
Ice Coffee	4.066	973	5	125	1.098
Lemon Ice	2.519	627	5	125	752
Natural	5.535	1.327	5	125	1.452
Peach Mango	5.765	1.489	8	200	1.689
Pistache	2.609	536	4	100	636
Raspberry	3.229	564	5	125	689
Raspberry yoghurt	1.419	346	2	50	396
Straciatella	3.485	836	5	125	961
Strawberry kiwi	1.982	513	3	75	588
Strawberry milkshake	8.760	2.102	9	225	2.327
Vanilla almond	2.629	629	5	125	754
Vanilla Ice cream	7.730	1.855	8	200	2.055
Vanilla Milkshake	15.335	3.716	11	275	3.991
Watermelon	2.459	587	4	100	687
White Chocolate	3.781	778	5	125	903
Totaal	124.159	28.883	75	3.575	32.189

Uit Tabel 26 blijkt dat er in totaal 32.189 minuten of 536,5 uur besteed werd aan de 124.159 wei-eiwit shakes van leverancier a verspreid over 75 werkdagen. Dit komt neer op ongeveer 231 producten per uur. Op korte termijn zal er op de huidige lijn echter een checkweger geïmplementeerd worden. Doordat zo de manuele handeling van het nawegen geëlimineerd wordt, zal er uiteindelijk gestreefd worden naar een productiecapaciteit van 400 producten per uur. Aan deze capaciteit zal de lijn 310,4 uur nodig hebben voor de 124.159 producten. Beide capaciteiten worden verder in rekening gebracht.

Indien er nu een automatische lijn komt voor de wei-eiwit *shakes* met een snelheid tot 15 verpakkingen per minuut, blijkt dat de totale productie 137,95 uur zou duren. Ook bij een automatische lijn zal er echter nood zijn aan een ombouw voor het wisselen tussen opslagcontainers en een kuis om de lijnen zuiver te maken tussen het wisselen van productsmaak. Hierdoor klopt de 137,95 uur niet meer. Er wordt uitgegaan van een effectieve werking van de automatische verpakkinglijn van 8 uur per dag buiten de kuis en de ombouw gerekend. Dit geeft een dag totaal van 7200 wei-eiwit *shakes* per dag.

Tabel 27 geeft de productieplanning weer indien er geautomatiseerd wordt en er 7.200 producten per dag gedraaid worden.

Tabel 27: Productieplanning wei-eiwit leverancier a bij automatisering

Banana milkshake	12.037	1	7.200
		2	4.837
Banana strawberry	3.567	2	7.200
		3	1.204
Banana Toffee	1.555	3	2.759
Berry Blast Milkshake	3.580	3	6.339
Cappuchino	2.361	3	7.200
		4	1.500
Choco Coco Bounty	3.009	4	4.509
Chocolate brownie	6.398	4	7.200
		5	3.707
Chocolate cookie	2.932	5	6.639
Chocolate milkshake	5.759	5	7.200
		6	5.198
Cookies & Cream	4.444	6	7.200
		7	2.442
Creamy coconut	4.775	7	7.200
		8	17
Creamy milk chocolate	1.421	8	1.438
Hazelnut Choco	1.018	8	2.456
Ice Coffee	4.066	8	6.522
Lemon Ice	2.519	8	7.200
		9	1.841
Natural	5.535	9	7.200
		10	176
Peach Mango	5.765	10	5.941
Pistache	2.609	10	7.200
		11	1.350
Raspberry	3.229	11	4.579
Raspberry yoghurt	1.419	11	5.998
Straciatella	3.485	11	7.200
		12	2.283
Strawberry kiwi	1.982	12	4.265
Strawberry milkshake	8.760	12	7.200
		13	5.825
Vanilla almond	2.629	13	7.200
		14	1.254
Vanilla Ice cream	7.730	14	7.200
		15	1.784
Vanilla Milkshake	15.335	15	7.200
		16	7.200
		17	2.719
Watermelon	2.459	17	5.178
White Chocolate	3.781	17	7.200
		18	1.759

Uit de tabel blijkt dat de automatische lijn 18 dagen (17,3 dagen) nodig zal hebben voor de productie van de wei-eiwit producten. In totaal zal er 45 keer nood zijn aan kuis tussen de verschillende shiften. Nu is het echter beter om niet de rekenen met de tijd van de kuis, maar met die van de containerwissels. Deze komen namelijk frequenter voor dan de kuis en indien we voor elke containerwissel 20 minuten incalculeren, is de kuis hier uiteindelijk ook mee ingerekend.

Na het mengen in mengvaten die op dat moment beschikbaar zijn, wordt het poeder overgebracht in containers van 550 kg die rechtstreeks in verbinding komen te staan met het vulproces (Tabel 28).

Tabel 28: Overzicht mengvaten en containers

volume vat:	kg in vat:	container:
3000 1	1100	2 x 550
1500 1	550	1 x 550
600 1	300	1 x 550
400 1	200	1 x 550

Tabel 29 toont de berekening van het aantal containerwissels per smaak eiwit *shake* van leverancier a.

Tabel 29: Aantal containerwissels per product

smaak	aantal	totaal gewicht (kg) (1 product = 0,750kg)	aantal containerwissels (550 kg)
Banana milkshake	12.037	9.027,75	17
Banana strawberry	3.567	2.675,25	5
Banana Toffee	1.555	1.166,25	3
Berry Blast Milkshake	3.580	2.685	5
Cappuchino	2.361	1.770,75	4
Choco Coco Bounty	3.009	2.256,75	5
Chocolate brownie	6.398	4.798,5	9
Chocolate cookie	2.932	2.199	4
Chocolate milkshake	5.759	4.319,25	8
Cookies & Cream	4.444	3.333	7
Creamy coconut	4.775	3.581,25	7
Creamy milk chocolate	1.421	1.065,75	2
Hazelnut Choco	1.018	762,75	2
Ice Coffee	4.066	3.049,5	6
Lemon Ice	2.519	1.889,25	4
Natural	5.535	4.151,25	8
Peach Mango	5.765	4.323,75	8
Pistache	2.609	1.956,75	4
Raspberry	3.229	2.421,75	5
Raspberry yoghurt	1.419	1.064,25	2
Straciatella	3.485	2.613,75	5
Strawberry kiwi	1.982	1.486,5	3
Strawberry milkshake	8.760	6.570	12
Vanilla almond	2.629	1.971,75	4
Vanilla Ice cream	7.730	5.797,5	11
Vanilla Milkshake	15.335	11.501,25	21
Watermelon	2.459	1.844,25	4
White Chocolate	3.781	2.835,75	6
	Totaal aantal	Totale gewicht (kg)	Totaal aantal containerwissels
	124.159	93.118,5	181

Indien er gewerkt wordt met containers van 550 kg zijn er in totaal 181 containerwissels nodig. Dit op 17,3 dagen (zie Tabel 27) geeft 11 containerwissels per dag. Dit is een zeer groot aantal wissels. Aangezien er bij een containerwissel tijdens de productie van eenzelfde product geen nood is aan kuis, zal niet bij elke containerwissel de kuis inberekend worden. Eén containerwissel met de kuis inclusief wordt gerekend op een 20-tal minuten. Een containerwissel zonder kuis duurt echter maar maximum een 5-tal minuten. In totaal zijn er 28 verschillende smaken zodat de lijn 27 keer grondig gekuist zal moeten worden bij de overgang naar een nieuwe smaak indien alle smaken één voor één achtereen geproduceerd worden. Er blijven van de 181 containerwissels dan nog 154 containerwissels over waarbij er geen nood is aan kuis. Alle containerwissels samen zullen dus een 1.310 minuten in beslag nemen ($20 \times 27 + 5 \times 154$). Wanneer deze 1.310 minuten bij het aantal minuten automatische productie (17,3 dagen x 8 uur productie x 60 minuten) van de wei-producten geteld worden, wordt een totale productietijd van 160,23 uur of 9.614 minuten bekomen.

Tabel 30 toont de productieduur voor de 124.159 wei-eiwit-producten voor de huidige semi-manuele, de huidige lijn met implementatie van een *check weigher* en de automatische lijn. Om te weten of het de investering waard is om te automatiseren, moet ook de kost in rekening gebracht worden. Aan de huidige lijn staan steeds 3 mankrachten aan 25 euro/uur. Indien er geautomatiseerd wordt zijn er nog steeds 3 werkkrachten nodig voor de aanvoer van de verpakkingen en het inpakproces. De kost van de werknemers kan echter nog gereduceerd worden door ook het inpakproces te automatiseren en 2 containers te verbinden met 1 aanvoerbuus zodat er pas na 2 containers gewisseld moet worden. Dit zijn echter nog extra investeringen.

Tabel 30: Terugverdiëntijd investering automatisering t.o.v. manuele lijn wei-eiwit

productielijn	huidige lijn	huidige lijn met <i>check weigher</i>	automatische lijn
Productieduur voor 124 159 shakes (uur)	536,5	310,4	160,23
Snelheidsfactor t.o.v. huidige lijn	1	1,73	3,35
Aantal arbeiders	3 man € 25/uur	3 man € 25/uur	3 man € 25/uur
Arbeiderskost	40 237,5	23.280	12.017,25
Investeerkost machine			119 033
Totale kost	40 237,5	23.280	131.050,25
Automatisatie terugverdiend (periode 9 januari – 27 oktober)	3,26	5,63	
Automatisatie terugverdiend (jaar)	2,61	4,5	

Aangezien de berekeningen tot nu toe beperkt werden tot enkel de wei-eiwit producten wordt nu ook gekeken naar de 11 andere meest geproduceerde producten bij Aminolabs uit Tabel 25. Alle aantallen producten van de 12 meest geproduceerde producten, geeft een aantal van 279.369 producten. Voor de andere producten die niet weergegeven staan in de tabel, is het niet efficiënt genoeg om te automatiseren aangezien de *batch*groottes hier te klein zijn. Voorgaande berekening wordt nu echter niet voor alle andere producten opnieuw uitgevoerd, maar er wordt verder gewerkt met de bekomen productietijden van de wei-eiwit producten.

Met de regel van drie op de productie-uren van de wei-eiwit producten wordt de productieduur van de 278.369 producten op de verschillende lijnen berekend en de daarbij horende kosten (Tabel 31).

Tabel 31: Terugverdientijd investering automatisering t.o.v. manuele lijn 12 meest geproduceerde producten

productielijn	huidige lijn	huidige lijn met <i>check weigher</i>	automatische lijn
Productieduur voor 279.369 producten (uur)	1207,2	698,4	360,5
Snelheidsfactor t.o.v. huidige lijn	1	1,73	3,35
Aantal arbeiders	3 man € 25/uur	3 man € 25/uur	3 man € 25/uur
Arbeiderskost	90.540	52.380	27.037,5
Investeerkost machine			119 033
Totale kost	90540	52.380	146.070,5
Automatisatie terugverdiend (periode 9 januari – 27 oktober)	1,61	2,79	
Automatisatie terugverdiend (jaar)	1,29	2,23	

In werkelijkheid kan het dat de investering nog sneller terugverdiend is aangezien er in de berekeningen niet met maximale capaciteiten gewerkt werd. Zo kan de verpakkingsmachine meer dan 15 verpakkingen/minuut aan. Automatiseren zorgt er tevens voor dat er tijd vrijkomt om andere nuttige zaken binnen het bedrijf te doen. Zo kan men meer producten produceren aan een eventueel lagere eenheidsprijs zodat de klantenvraag mogelijks stijgt. In termen van Aminolabs dient een investering echter binnen het jaar terugverdiend te worden waardoor de investering voorlopig nog niet overwogen wordt. De productie-aantallen zijn momenteel ook niet groot genoeg opdat een overschakeling efficiënt zou zijn. Het constant wisselen tussen producten brengt een constante ombouw en kuis met zich mee. Automatiseren kan in de toekomst wel nuttig zijn en zou het stofprobleem deels kunnen reduceren.

6 Conclusie

De ingrediënten BCAA, niet-geïnstantiseerd en geïnstantiseerd wei-eiwit zijn de hoofdingrediënten in de poederproducten van Aminolabs. BCAA en niet-geïnstantiseerd wei-eiwit zijn vrij tot zeer stoffig deels door hun relatief hoge dichtheid en laag vochtgehalte. Geïnstantiseerd wei-eiwit heeft een lage dichtheid en een eerder hoog vochtgehalte wat vermoedelijk de verbeterde eigenschappen op vlak van stoffigheid deels verklaart. Het vochtgehalte en de dichtheid spelen mee in de bepaling van de stoffigheid, maar ook andere niet onderzochte zaken als de chemische interacties tussen de deeltjes, partikelgrootte en -structuur zijn bepalend voor de mate van stoffigheid

Uit de sealtesten blijkt duidelijk dat zuivere seals een veel grotere sealsterkte hebben dan gecontamineerde seals met BCAA, geïnstantiseerd of niet-geïnstantiseerd wei-eiwit. Zuivere seals hechten vanaf lagere temperaturen dan seals met contaminatie. Deze laatste vertonen ook sneller lekken bij lagere temperaturen. Onder de zuivere seals vertoont film 1 een grotere sealsterkte dan deze van film 2. Deze laatste begint pas bij een hogere temperatuur te hechten. De smelttemperatuur van de sealcomponenten in film 2 ligt dan ook vermoedelijk hoger dan deze van film 1. Informatie over de thermische kenmerken die gerelateerd zijn met de samenstelling van de folie kan gedeeltelijk achterhaald worden via *differential scanning calorimetrie* (DSC), *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR) en *Dynamic mechanical analysis* (DMA).

Uit de *dye penetration* test kan geconcludeerd worden dat het sealvenster voor film 1 zich voor warme balk sealen tussen 150°C en 180°C bevindt en voor film 2 tussen 150°C en 200°C. De zuivere folies, geseald in Aminolabs, vertoonden over de hele lijn geen lekken. De films werden dan ook zuiver en met standaardtemperaturen geseald. Een vergelijking tussen beide technieken is echter moeilijk omwille van het verschil in interfaciale temperatuur en het verschil in reliëfprofiel t.o.v. het vlakke profiel van de warme balken in het VerpakkingsCentrum.

Uit de testen blijkt dat de folies binnen bepaalde temperatuurgrenzen geseald moeten worden om een goede sealperformantie te vertonen (sterk en lekdicht). De vertaling van de optimale sealtemperaturen met warme sealbalken naar de *hot air sealer* van Aminolabs kan gemaakt worden m.b.v. een thermokoppel dat de effectieve temperatuur kan meten in de seal *interface* waarmee het te sealen materiaal opgewarmd wordt voor beide technieken. Uit bijkomstige sealtesten in Aminolabs bleek dat de *hot air sealers* van bulklijn 1 en 3 verschillende sealtemperaturen geven bij dezelfde instellingen. Film 1 wordt op bulklijn 3 het best geseald tussen 250-310°C en tussen 260-340°C op bulklijn 1. Het is aangeraden film 2 te sealen tussen 290-310°C op bulklijn 3 en tussen 280 en 310°C op bulklijn 1. Daarnaast moet rekening gehouden worden met het verschil in profiel, dit kan een belangrijke rol spelen bij het sealen doorheen contaminatie.

De sealperformantie doorheen contaminatie kan eventueel verbeterd worden door het sealen met een andere sealtechniek zoals het ultrasoon sealen, het gebruik van polymeren met verbeterde sealeigenschappen en het optimaliseren van het filmoppervlak opdat het contactoppervlak met de contaminatie zo klein mogelijk wordt. Hiervoor is verder onderzoek aangewezen.

Op vlak van eliminatie van het stofprobleem en de contaminatie van de sealrand werd het gebruik van geïoniseerde lucht m.b.v. de *Simco-ion air ionizing cartridge* om het poeder te ontladen, getest. Deze techniek om poedercontaminatie te reduceren was echter niet effectief. Andere mogelijke nog uit te testen technieken zijn het aanpassen van de vulgraad en het optimaliseren van de huidige afzuigsystemen. Lekdetectiesystemen werden tevens onderzocht. De drie meest geschikte systemen voor de stazak-lijn van Aminolabs zijn de *ultrasound inspection*, *thermal imaging* en de *vibration analysis*. Het implementeren van deze methodes in een manuele lijn vormt echter een grote uitdaging en zal een grote investering vereisen. Hiertoe werd gekeken hoe efficiënt de overgang naar een automatische lijn is. De huidige productie is echter te gevarieerd met te kleine batchgroottes zodat automatiseren niet aangeraden is. De investering wordt niet snel genoeg terugverdiend. Automatiseren kan naar de toekomst toe wel een interessante optie zijn voor het bedrijf.

Bibliografie

- [1] Aminolabs, „Development and production of innovative concepts in health & sports supplements,” 2017. [Online]. Available: <https://aminolabs.com/>. [Geopend 20 September 2017].
- [2] M. Dudbridge en R. Turner , „Seal integrity and the impact on,” Waste & Resources Action Programme, Oxon, 2009.
- [3] M. Benković, S. Srećec, I. Špoljarić, G. Mršić en I. Bauman, „Flow Properties of Commonly Used Food Powders and Their Mixtures,” *Food and Bioprocess Technology*, vol. 6, nr. 9, pp. 2525-2537, 2013.
- [4] S. Bach, K. Thürling en J.-P. Majschak, „Ultrasonic Sealing of Flexible Packaging Films – Principle and Characteristics of an Alternative Sealing Method,” *Packaging Technology and Science*, vol. 25, nr. 4, pp. 233-248, 2012.
- [5] No Waste Network, „Hoeveel verpakkingen zijn lek? Voedselverspilling terugdringen via lekdetectie,” 21 september 2016. [Online]. Available: <http://www.nowastennetwork.nl/4688-2/>. [Geopend 18 november 2017].
- [6] Aminolabs, „Productie van hoogwaardige health supplementen,” Aminolabs, 2017. [Online]. Available: <https://aminolabs.com/nl/wat-we-maken/health/>. [Geopend 20 september 2017].
- [7] Aminolabs, „Productie van hoogwaardige sport supplementen,” Aminolabs, 2017. [Online]. Available: <https://aminolabs.com/nl/wat-we-maken/sports/>. [Geopend 20 september 2017].
- [8] G WEBB AUTOMATION LTD, „SERVOFILL SF-III,” [Online]. Available: <http://www.webbautomation.co.uk/products/powder-filling/servofill/index.html>. [Geopend 14 november 2017].
- [9] Rokoma BV, „Doseersystemen,” 2017. [Online]. Available: <https://www.rokoma.com/?p=doseersystemen>. [Geopend 18 november 2017].
- [10] Fischbein, „Fischbein-saxon,” Fischbein, [Online]. Available: http://www.fischbein.com/cms_wfc/uploads/1538.pdf. [Geopend 7 oktober 2017].
- [11] Food Trade Press Ltd, „Improved Fischbein-Saxon's Small Bag Sealer.,” Gale, Cengage Learning, 1999. [Online]. Available: <https://www.thefreelibrary.com/Improved+Fischbein-Saxon%27s+Small+Bag+Sealer-a058676243>. [Geopend 14 november 2017].
- [12] Duravant, „Your success depends on our product performance. We deliver.,” Duravant, 2017. [Online]. Available: <https://www.duravant.com/packaging.html>. [Geopend 7 oktober 2017].
- [13] Buckle packaging, „SAXON SH 1000 CONTINUOUS “HOT AIR” SEALER,” Buckle Packaging, 2016. [Online]. Available: <http://www.bucklepackaging.co.za/product/saxon-sh-1000-continuous-hot-air-sealer/>. [Geopend 7 oktober 2017].
- [14] Aminolabs, „Supplementen op maat voor u en uw klanten,” Aminolabs, 2017. [Online]. Available: <https://aminolabs.com/nl/hoe-we-het-doen/>. [Geopend 20 september 2017].
- [15] The President and Fellows of Harvard College, „Omega-3 Fatty Acids: An Essential Contribution,” Harvard College, 2017. [Online]. Available: <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/omega-3-fats/>. [Geopend 5 november 2017].
- [16] P. Jane Higdon, „Essential Fatty Acids,” Linus Pauling Institute Oregon State University, 2003 - 2017. [Online]. Available: <http://lpi.oregonstate.edu/mic/other-nutrients/essential-fatty-acids>. [Geopend 5 november 2017].

- [17] Supplement centre, „Supplement Centre’s Beginner's Guide to Supplements,” [Online]. Available: <https://blog.supplementcentre.com/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/Beginners-guide-to-supplements.pdf>. [Geopend 11 november 2017].
- [18] Gezondheidsraad: Commissie Toevoeging van aminozuren aan voedingsmiddelen, „Veiligheid van aminozuursuppletie,” Gezondheidsraad: Commissie Toevoeging van aminozuren aan voedingsmiddelen, Den Haag, 1999.
- [19] W. Koert, „BCAA’s voor krachtssporters,” *KRACHTtraining*, vol. 12, nr. 26, p. 13, 2011.
- [20] R. Louist, „THE WHEY TO GO, BRO,” <http://fitguide.nl>, 26 maart 2016. [Online]. Available: <http://fitguide.nl/supplementen/wei-eiwit/>. [Geopend 12 november 2017].
- [21] H. Shi , R. Mohanty, S. Chakravarty, R. Cabiscol, M. Morgeneyer , H. Zetzener, J. Y. Ooi , A. Kwade, S. Luding en V. Magnanimo, „Effect of Particle Size and Cohesion on Powder Yielding and Flow,” Hosokawa Powder Technology Foundation, Nederland, Duitsland, Frankrijk, Verenigd Koninkrijk, 2017.
- [22] E. F. Hobbel , „Cohesion and Interparticle Forces,” Technische Universiteit Delft, Rotterdam, 1988.
- [23] M. Benkovic en I. Bauman, „agglomeration of cocoa powder mixtures – influence of process,” University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology, Zagreb, 2011.
- [24] J. A. von Fraunhofer, „Adhesion and Cohesion,” *International Journal of Dentistry* , Baltimore, 2012.
- [25] T. Nguyen, „Particle – particle interactions in dry powder blending,” University of Groningen, Groningen, 2014.
- [26] Freeman Technology., „Mechanisms of Particle Interaction,” 2014-2017. [Online]. Available: http://www.freemantech.co.uk/_powders/powder-flowability-mechanisms-of-particle-interaction. [Geopend 1 december 2017].
- [27] Freeman Technology, „Mechanisms of Particle Interaction (Cont.),” 2014-2017. [Online]. Available: http://www.freemantech.co.uk/_powders/powder-flowability-mechanisms-of-particle-interaction-cont. [Geopend 1 december 2017].
- [28] P. R. Rennie, X. D. Chen, C. Hargreaves en A. Mackereth, „A study of the cohesion of dairy powders,” *Journal of Food Engineering*, vol. 39, nr. 3, pp. 277-284, 1999.
- [29] M. Benković, S. Srećec, I. Špoljarić, G. Mršić en I. Bauman, „Flow Properties of Commonly Used Food Powders and Their Mixtures,” *Food and Bioprocess Technology*, vol. 6, nr. 9, pp. 2525-2537, 2013.
- [30] C. Haider, T. Althaus, G. Niederreiter, S. Palzer, M. J. Hounslow en A. D. Salman, „Humidity and temperature effects on the cohesion between water-soluble amorphous particles,” in *Conference paper and oral presentation at the International Congress on Particle Technology (PARTEC)*, Nuremberg, Germany, 23-25 April 2013.
- [31] Nordic Sugar, „The functional properties of sugar,” Copenhagen.
- [32] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), „LECITHIN,” JECFA, 1986.
- [33] L. Popper, W. Schäfer en W. Freund, „18.6 Emulsifiers,” in *Future of flour : a compendium of flour improvement*, Bergen/Dumme, Germany, Verlag Agrimedia, 2006, pp. 238 - 242.
- [34] the United Soybean Board, „Soy Lecithin Fact Sheet”.
- [35] J. Matthew , J. Mollan en ç. Metin, „Maltodextrin,” *Analytical Profiles of Drug Substances and Excipients*, vol. 24, pp. 307-349, 2008.

- [36] Electrostatics Incorporated , „Static Electricity & Static Control explanation, techniques and ionization products to control and eliminate static electricity using anti static eliminator equipment,” 1996-2017. [Online]. Available: <https://electrostatics.com/staticelectricity.html>. [Geopend 14 december 2017].
- [37] L. Pottie, Interviewee, *Invloed elektrostatische lading op poederpartikels*. [Interview]. 7 Februari 2018.
- [38] AllScales Europe, „STERION-II Statische elektriciteitsneutralisator,” Veen.
- [39] D. Calamusa, „The 15 Year RETROspective of the InnovativeFlexible Standup Pouch,” *Flexible Packaging magazine*, 2013.
- [40] Flexible Packaging Association, „Industry Overview,” 2018. [Online]. Available: <https://www.flexpack.org/industry-information/industry-overview/>. [Geopend 12 November 2017].
- [41] A. KEANE, „Flexible packaging: state of the industry report,” in *AIMcall R2R Conference USA*, Tampa Florida, October 16-18 2017.
- [42] Flexible packaging Europe, „The perfect fit: Flexible solutions for a sustainable packaging industry,” Futerra sustainability communications, Düsseldorf Germany .
- [43] Triplemexpo, „VFFS (Vertical Form Fill Seal) OR HFFS (Horizontal Form Fill Seal), what type of packaging machine is best for me?,” 17 Februari 2015. [Online]. Available: <http://www.triplemexpo.com/news/vffs-vertical-form-fill-seal-or-hffs-horizontal-form-fill-seal-what-type-of-packaging-machine-is-best-for-me/>. [Geopend November 2017].
- [44] Pacific Bag, Inc. , „STAND-UP POUCH Technical Fact Sheet”.
- [45] Kuraray Eval Europe, „Role of EVOH in barrier flexible packaging,” in *World packaging congress*, Mumbai, India, 2015.
- [46] K. Hishinuma, in *Heat sealing technology and engineering for packaging*, USA, DEStech Publications inc, 2009, pp. 30-42.
- [47] B. A. Morris, „3.2.5. Heat Sealing,” in *The Science and Technology of Flexible Packaging: Multilayer Films from Resin and Process to End Use*, Kidlington, Oxford, William Andrew, 2016, pp. 60-61.
- [48] B. Bamps, *Hoorcollege, Onderwerp: Innovatief materiaalonderzoek-Sealtechnieken*, Faculteit industriële ingenieurswetenschappen Universiteit Hasselt, Diepenbeek, 26 maart 2018.
- [49] H. W. Theller, „Heatsealability of flexible web materials in hot-bar sealing application,” *Journal of Plastic Film and Sheeting*, vol. 5, nr. 6, pp. 66-93, 1989.
- [50] F. C. Stehling en P. Meka , „Heat sealing of semicrystalline polymer films. II. Effect of melting distribution on heat-sealing behavior of polyolefins,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 51, pp. 105-119, 1994.
- [51] P. Mesnil, R. W. Halle, J. Arnauts en N. Rohse, „Seal Trough Contamination Performance of Metallocene Plastomers. In TAPPI (Ed.): Seal through Contamination Performance of Metallocene Plastomers.” in *TAPPI Polymers, Laminations and Coatings Conference*, Chicago, 2000.
- [52] C. S. Yuan , A. Hassan , M. I. H. Ghazal en A. F. Ismail, „Heat sealability of laminated Films with LLDPE and LDPE as the sealant materials in bar sealing application,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 104, pp. 3736-3745, 2007.
- [53] A. Hassan en C. S. Yuan, „Effect of bar sealing parameters on OPP/MCPP heat seal strength,” *eXPRESS Polymer Letters*, vol. Vol.1, nr. No.11, pp. 773-779, 2007.

- [54] P. Meka en F. C. Stehling, „Heat sealing of semicrystalline polymer films. I. Calculation and measurement of interfacial temperatures: Effect of process variables on seal properties,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 51, pp. 89-103, 1994.
- [55] T. Tetsuya , U. S. Ishiaku en M. Mizoguchi , „The effect of heat sealing temperature on the properties of OPP/PP heat seal. I. Mechanical properties,” *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 97, pp. 753-760, 2005.
- [56] E. Planes, S. Marouani en L. Flandin, „Optimizing the heat sealing parameters of multilayers polymeric films,” *Journal of Materials Science*, vol. Volume 46, nr. Issue 18, p. 5948–5958, 2011.
- [57] K. Yamada, K. Miyata, R. Konishi, T. Tsujii en Y. Hashimoto, „Heat seal processing by using various seal bar shape,” American Institute of Physics, Japan, 2015.
- [58] C. S. Yuan, A. Hassan, M. I. Ghazali en A. F. Ismail, „heat-seal strength analysis of laminated films with LLDPE and LDPE sealant materials in bar sealing application,” in *FEIC Seminar on Engineering and Technology*, Palm Garden Hotel, Putrajaya, Malaysia, 4-5 September 2006.
- [59] Z. Najarzadeh, „CONTROL AND OPTIMIZATION OF SEALING LAYER IN FILMS,” Université de Montréal, Montréal, 2014.
- [60] U. Ernst en B. Fischer, „Siegeln von Verpackungsfolien mit Ultraschall. SVI-Projektstudie,” St. Gallen: SVI Schweizerisches Verpackungsinstitut (Wissenschaftliche Mitteilungen des SVI, 4/21), 1990. [Online].
- [61] M. Dudbridge en R. Turner , „Seal integrity and the impact on food waste,” Waste & Resource Action Programme, Oxon, 2009.
- [62] K.-i. Shinohara, N. Kodera en T. Ando, „Single Molecular Imaging of a micro-Brownian Motion and a Bond Scission of a Supramolecular Chiral pi-Conjugated Polymer as a Molecular Bearing Driven by Thermal Fluctuations,” *Chemistry Letters*, vol. Vol.36, nr. No.11, pp. 1378-1379, 2007.
- [63] Institute for Food Safety and Health (IFSH), „Flexible Pouch Summary,” Institute for Food Safety and Health (IFSH), [Online]. Available: http://webmaster.iit.edu/ncfst/defect_table-d1.php?t_id=1. [Geopend 1 oktober 2017].
- [64] Canadian Food Inspection Agency, „Flexible retort pouch defects: Identification and Classification Manual,” Canada, 2002.
- [65] Packaging world, „Perceptics Corporation: Seal inspection system,” PMMI Media Group , 31 oktober 2002. [Online]. Available: <https://www.packworld.com/article/machinery/inspection/perceptics-corporation-seal-inspection-system>. [Geopend 18 november 2017].
- [66] WITT-GASETECHNIK GmbH & Co KG, „Package Leak Detector LEAK-MASTER® EASY,” Interface Medien, [Online]. Available: <http://www.wittgas.com/products/package-leak-detectors/bubble-test-easy/package-leak-detector-leak-master-easy.html>. [Geopend 18 oktober 2017].
- [67] Flex Essentials Inc, „Leak Detector Seal Integrity Testing Packaging,” adamsonarts web development, 2017. [Online]. Available: <https://flexessentials.ca/leak-detector/>. [Geopend 18 oktober 2017].
- [68] ISHIDA CO.,LTD., „TSC-R Series,” 2017. [Online]. Available: <http://www.ishida.com/ww/en/products/inspection/sealtester/tsc.cfm>. [Geopend 18 oktober 2017].

- [69] BluePrint Automation, „SEAL CHECKER,” 2017. [Online]. Available: http://www.blueprintautomation.com/site/us/our_solutions/secondary_packaging/product_handling/seal_checker.19.html. [Geopend 18 oktober 2017].
- [70] Oxipack, „Testing flexible packaging for leaks,” JVH webbouw, 2015. [Online]. Available: <http://www.oxipack.com/flexible-packaging/>. [Geopend 18 oktober 2017].
- [71] WITT-GASETECHNIK GmbH & Co KG, „Lekdetectie LEAK-MASTER® MAPMAX Compact,” Interface Medien, [Online]. Available: <http://www.wittgas.com/nl/producten/lekdetectie-voor-verpakkingen/inline-testen-mapmax/lekdetectie-leak-master-mapmax-compact.html>. [Geopend 18 oktober 2017].
- [72] WITT-GASETECHNIK GmbH & Co KG, „Lekdetectie LEAK-MASTER® PRO,” Interface Medien, [Online]. Available: <http://www.wittgas.com/nl/producten/lekdetectie-voor-verpakkingen/sensor-technologie-pro/lekdetectie-leak-masterr-pro.html>. [Geopend 18 oktober 2017].
- [73] Packaging Technologies and Inspection, *Seal-Scan*, US, 2015.
- [74] Packaging Technologies and Inspection, *Seal-Sensor*, US, 2015.
- [75] MULTIVAC, „X-ray inspection systems,” [Online]. Available: <https://uk.multivac.com/en/solutions/products/categories/product/quality-inspection-systems/x-ray-inspection-systems/i-110/>. [Geopend 18 oktober 2017].
- [76] ISHIDA CO.,LTD, „X-Ray Inspection Systems,” 2017. [Online]. Available: <http://www.ishida.com/ww/en/products/inspection/xray/>. [Geopend 18 oktober 2017].
- [77] R. Hartwig, *Vision Inspection Technologies, a Connection to Innovation*, Puerto Rico: Interphex.
- [78] K. D’huys, W. Saeys en B. De Ketelae, „Active Infrared Thermography for Seal Contamination Detection in Heat-Sealed Food Packaging,” *Journal of Imaging*, vol. 2, nr. 33, 2016.
- [79] Engilico™, *Sealscope™- sealing inspection & monitoring technology for the best packaging results*, Rotselaar.
- [80] PTI Packaging Technologies and Inspection, „E-Scan 655 MicroCurrent High Voltage Leak Detection HVLD,” 16-17 Oktober 2016. [Online]. Available: <https://www.ptiusa.com/Container-Closure-Integrity-Testing/Micro-Leak-Detection-and-CCIT-Technology>. [Geopend 18 oktober 2017].
- [81] K. D’huys, „LEKDETECTIE ONDER HOOGSPANNING,” Pack4Food, 17 november 2014. [Online]. Available: <http://www.pack4food.be/newsletter/sluitsystemen/lekdetectie-onder-hoogspanning>. [Geopend 18 november 2017].
- [82] A. Teleki, *Materials Properties and Characterization: Particle Diffusion*, Zurich: Particle Technology Laboratory, Department of Mechanical and Process Engineering.
- [83] Y. Halouane, A. Mataoui en F. Lachachene, „Heat Transfer Prediction of a Jet Impinging a Cylindrical Deadlock Area,” *Journal of Heat Transfer*, vol. November 2014, nr. Vol.136, 2014.
- [84] P. Schuck, E. Blanchard, A. Dolivet, S. Méjean, E. Onillon en R. Jeantet, „Water activity and glass transition in dairy ingredients,” *Le Lait*, Vols. %1 van %285 (4-5), pp. 295-304, 2005.
- [85] V. K. Thakur, M. K. Thakur en M. R. Kessler, „5.3 Thermal Behaviour of Commercial Soy Protein Isolate,” in *Soy-Based Bioplastics*, Shropshire UK, Smithers Rapra Technology Ltd, 2017, p. 105.
- [86] G. L. Schulz en R. T. Mansur, „Sealing through contaminated pouch surfaces,” General Equipment & Packaging Laboratory U. S. ARMY NATICK LABORATORIES, Natick, Massachusetts, 1969.

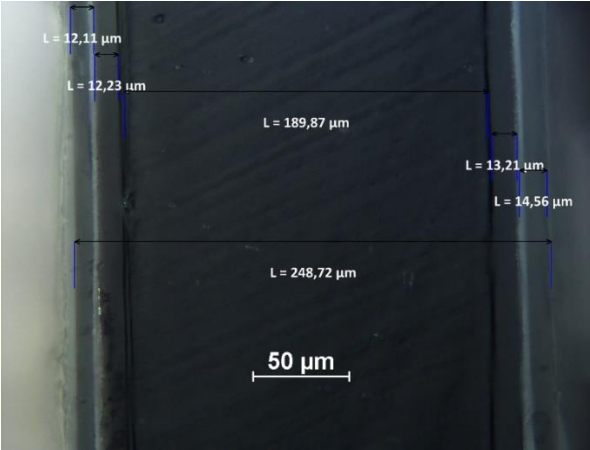
- [87] R. Leonhard, „Flexible Packaging Bag Style Spotlight: Pillow Bag,” Viking Masek Global Packaging , 14 september 2016. [Online]. Available: <http://www.vikingmasek.com/packaging-machine-resources/packaging-machine-blog/flexible-packaging-bag-style-spotlight-pillow-bag>. [Geopend 18 november 2017].
- [88] ESP Packaging LLC, „Ultra White,” 2017. [Online]. Available: <https://www.esppkg.com/stock-size/small-qty/white-mylar-foil-bag/>. [Geopend 18 november 2017].
- [89] Geesha, „Difference Between Essential and Nonessential Amino Acids,” 9 november 2016. [Online]. Available: <http://pediaa.com/difference-between-essential-and-nonessential-amino-acids/>. [Geopend 7 november 2017].
- [90] PTI Packaging Technologies and Inspection , „VeriPac Vacuum Decay technology is referenced in new USP <1207> Chapter on Package Integrity Testing,” 2016. [Online]. Available: <https://www.ptiusa.com/Package-Integrity>. [Geopend 18 november 2017].
- [91] B. Ries, „Metal detection or X-ray inspection: what food processors should know,” Westwick-Farrow Pty Ltd, 6 juni 2016. [Online]. Available: <http://www.processonline.com.au/content/instrumentation/article/metal-detection-or-x-ray-inspection-what-food-processors-should-know-591018701>. [Geopend 18 oktober 2017].
- [92] S. Miller, „8 Ways to Combat Dust in Your Powder Packaging Process,” 24 April 2018. [Online]. Available: <https://vikingmasek.com/packaging-machine-resources/packaging-machine-blog/8-ways-to-combat-dust-in-your-automated-packaging-process>. [Geopend 12 november 2017].

Bijlagen

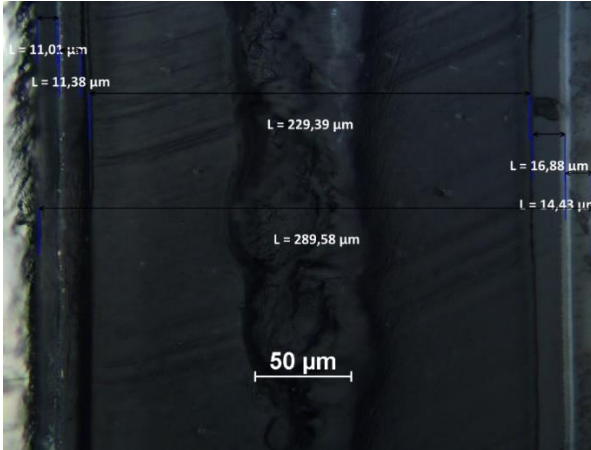
Bijlage A: Samenvatting kenmerken lekdetectiesystemen

Detectiesyste em	Destructief	Test op zakintegriteit	Test sealkwaliteit	vormafhanke lijk	Inline/offline	Beperkingen	Geschikt
<i>Pressure difference</i>	Neen	Ja	Neen	Neen	Inline + Offline	Genoeg lucht in verpakking	?
<i>Vacuum decay</i>	Neen	Ja	Neen	Neen	Offline	/	Neen
<i>Bubble test</i>	Neen	Ja	Neen	Neen	Offline	/	Neen
<i>Camera vision</i>	Neen	Neen	Ja	Ja	Inline	Transparant materiaal	Neen
<i>Ultrasound inspection</i>	Neen	Neen	Ja	Ja	Inline + Offline	/	Ja
<i>X-ray inspection</i>	Neen	Neen	Ja	Ja	Inline + Offline	Geen poeder- contaminatie	Neen
<i>Thermal imaging</i>	Neen	Neen	Ja	Ja	Inline + Offline	/	Ja
<i>Tracer gases</i>	Neen	Ja	Neen	Neen	Inline + Offline	Alleen MAP	Neen
<i>Vibration analysis</i>	Neen	Neen	Ja	Neen	Inline + Offline	/	Ja
<i>High Voltage Liquid</i>	Neen	Ja	Neen	Neen	Inline + Offline	Vloeistof in verpakking	Neen

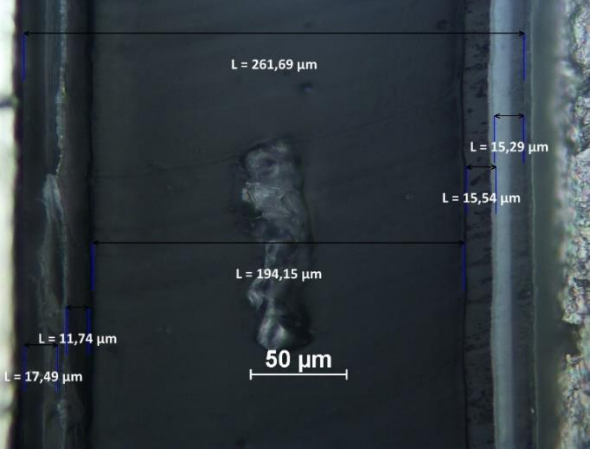
Bijlage B: Doorsnedes zuivere en gecontamineerde seals



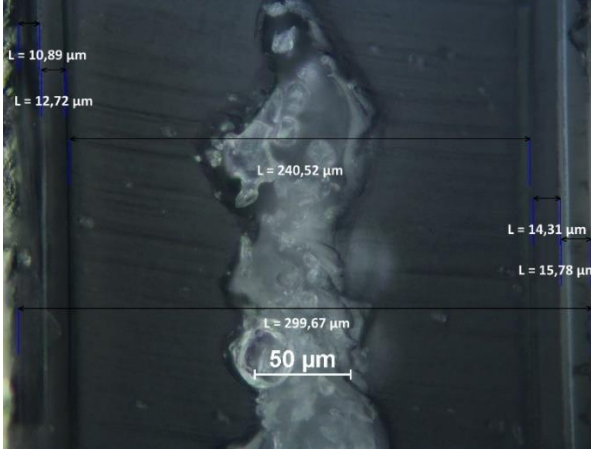
Figuur 90: Doorsnede film 1 zuiver 140°C



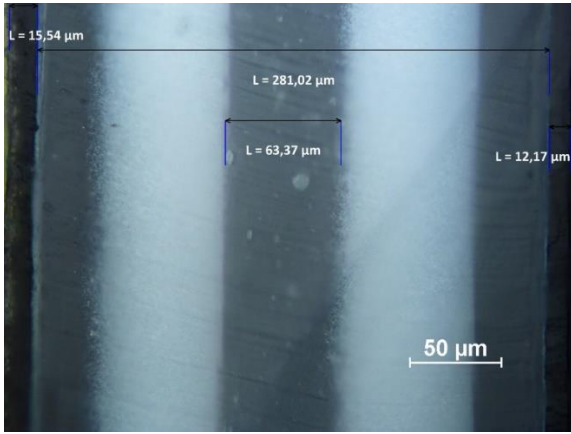
Figuur 91: Doorsnede film 1 BCAA 140°C



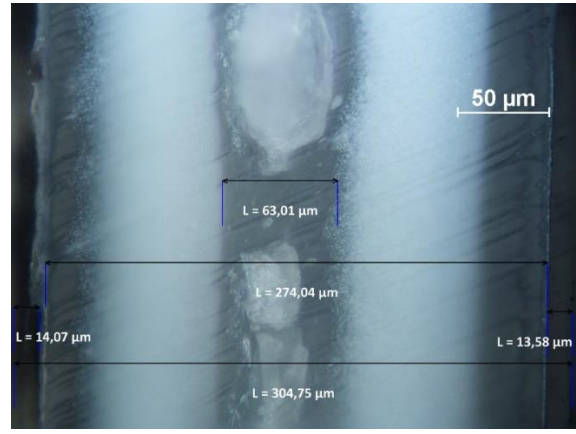
Figuur 92: Doorsnede film 1 Non instant 140°C



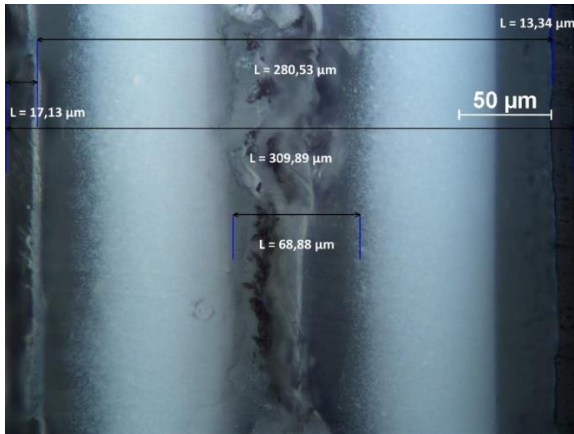
Figuur 93: Doorsnede film 1 Instant 140°C



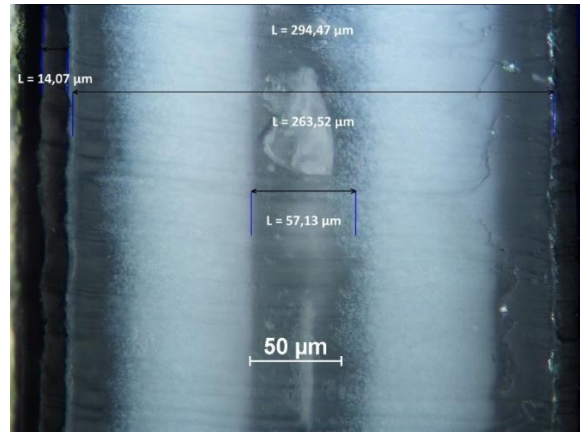
Figuur 94: Doorsnede film 2 zuiver 140°C



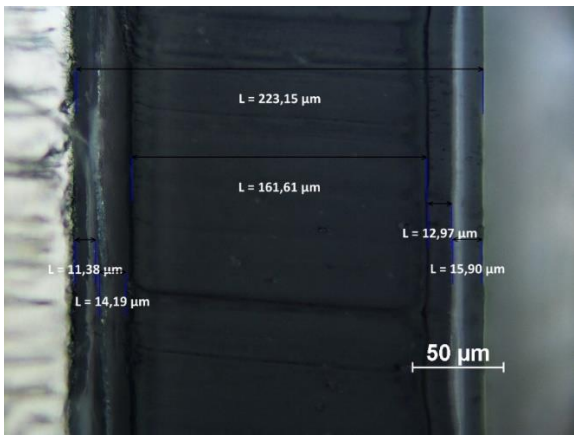
Figuur 95: Doorsnede film 2 BCAA 140°C



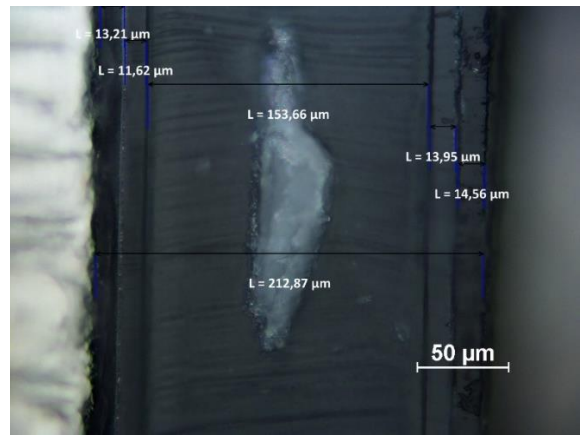
Figuur 96: Doorsnede film 2 Non instant 140°C



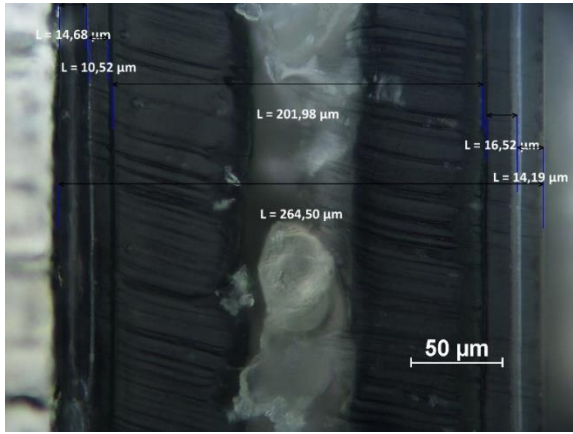
Figuur 97: Doorsnede film 2 Instant 140°C



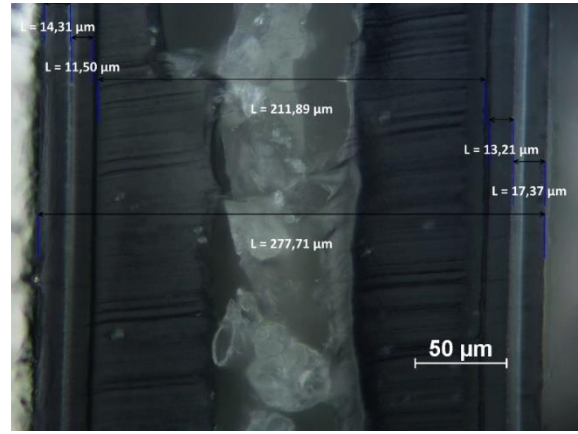
Figuur 98: Doorsnede film 1 zuiver 200°C



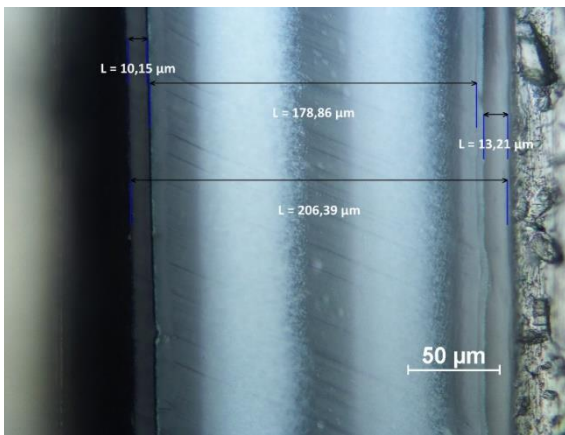
Figuur 99: Doorsnede film 1 BCAA 200°C



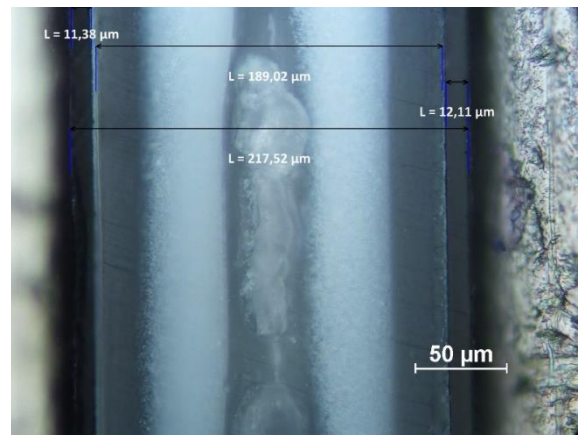
Figuur 100: Doorsnede film 1 Non Instant 200°C



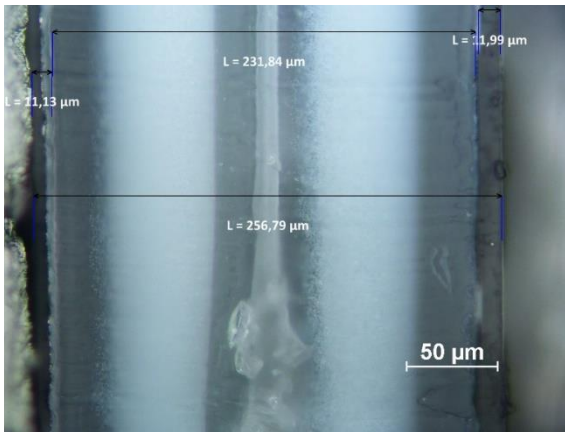
Figuur 101: Doorsnede film 1 Instant 200°C



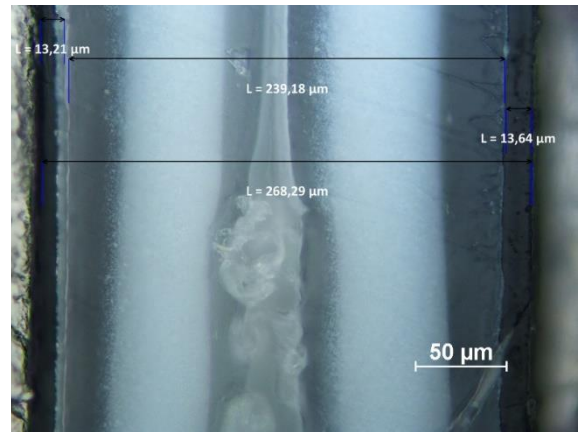
Figuur 102: Doorsnede film 2 zuiver 200°C



Figuur 103: Doorsnede film 2 BCAA 200°C



Figuur 104: Doorsnede film 2 Non Instant 200°C



Figuur 105: Doorsnede film 2 Instant 200°C

Bijlage C: Contaminatiegraad seal

Tabel 32: Hoeveelheid BCAA contaminatie tussen seal film 1

Film BCAA	1	m staal (g)	m contaminatie (g)	m staal + contaminatie na sealen (g)	m contaminatie tss seal (g)
120°C	1	1,213	0,051	/	/
	2	1,608	0,050	/	/
	3	1,466	0,051	/	/
130°C	1	1,583	0,050	/	/
	2	1,312	0,050	1,317	0,005
	3	1,534	0,050	1,541	0,007
140°C	1	1,656	0,051	1,661	0,005
	2	1,569	0,050	1,579	0,010
	3	1,409	0,051	1,415	0,006
	4	1,686	0,050	1,692	0,006
	5	1,466	0,050	1,474	0,008
150°	1	1,365	0,050	1,372	0,007
	2	1,453	0,051	1,462	0,009
	3	1,403	0,050	1,411	0,008
160°C	1	1,585	0,050	1,595	0,010
	2	1,393	0,051	1,404	0,011
	3	1,762	0,051	1,770	0,008
180°C	1	1,483	0,051	1,493	0,010
	2	1,622	0,050	1,651	0,029
	3	1,644	0,049	1,650	0,006
200°C	1	1,685	0,050	1,692	0,007
	2	1,234	0,050	1,241	0,007
	3	1,690	0,050	1,698	0,008

Tabel 33: Hoeveelheid non instant wei contaminatie tussen seal film 1

Film 1 non instant Whey		m staal (g)	m contaminatie (g)	m staal + contaminatie na sealen (g)	m contaminatie tss seal (g)
120°C	1	1,611	0,050	/	/
	2	1,701	0,050	/	/
	3	1,492	0,050	/	/
130°C	1	1,562	0,051	/	/
	2	1,453	0,051	1,459	0,006
	3	1,464	0,050	1,472	0,008
140°C	1	1,514	0,051	1,523	0,009
	2	1,333	0,050	1,343	0,010
	3	1,638	0,050	1,649	0,011
150°C	1	1,690	0,051	1,702	0,012
	2	1,531	0,051	1,540	0,009
	3	1,665	0,050	1,674	0,009
160°C	1	1,457	0,051	1,468	0,011
	2	1,435	0,050	1,444	0,009
	3	1,476	0,050	1,484	0,008
180°C	1	1,672	0,050	1,681	0,009
	2	1,449	0,051	1,459	0,010
	3	1,620	0,051	1,631	0,011
200°C	1	1,635	0,050	1,641	0,006
	2	1,529	0,049	1,537	0,008
	3	1,419	0,051	1,428	0,009

Tabel 34: Hoeveelheid instant wei contaminatie tussen seal film 1

Film 1 Instant wei		m staal (g)	m contaminatie (g)	m staal + contaminatie na sealen (g)	m contaminatie tss seal (g)
120°C	1	1,728	0,050	/	/
	2	1,474	0,050	/	/
	3	1,518	0,051	/	/
130°C	1	1,471	0,050	1,478	0,007
	2	1,252	0,051	1,258	0,006
	3	1,634	0,050	1,645	0,011
140°C	1	1,708	0,050	1,721	0,013
	2	1,552	0,050	1,559	0,007
	3	1,322	0,050	1,332	0,010
150°C	1	1,474	0,050	1,483	0,009
	2	1,657	0,050	1,669	0,012
	3	1,480	0,051	1,491	0,011
160°C	1	1,508	0,050	1,519	0,011
	2	1,702	0,051	1,711	0,009
	3	1,690	0,051	1,693	0,003
180°C	1	1,685	0,051	1,696	0,011
	2	1,511	0,050	1,522	0,011
	3	1,569	0,050	1,580	0,011
200°C	1	1,391	0,049	1,401	0,010
	2	1,435	0,051	1,447	0,012
	3	1,714	0,050	1,723	0,009

Tabel 35: Hoeveelheid BCAA contaminatie tussen seal film 2

Film BCAA	2	m staal (g)	m contaminatie (g)	m staal + contaminatie na sealen (g)	m contaminatie tss seal (g)
125°C	1	1,554	0,050	/	/
	2	1,413	0,051	/	/
	3	1,515	0,050	/	/
130°C	1	1,395	0,051	1,402	0,007
	2	1,419	0,051	1,426	0,007
	3	1,375	0,051	/	/
140°C	1	1,585	0,051	1,595	0,010
	2	1,583	0,050	1,591	0,008
	3	1,536	0,051	1,546	0,010
150°	1	1,580	0,050	1,588	0,008
	2	1,532	0,050	1,542	0,010
	3	1,598	0,050	1,608	0,010
160°C	1	1,425	0,050	1,432	0,007
	2	1,397	0,050	1,408	0,011
	3	1,345	0,051	1,353	0,008
180°C	1	1,609	0,050	1,619	0,010
	2	1,530	0,051	1,537	0,007
	3	1,423	0,051	1,432	0,009
200°C	1	1,368	0,051	1,376	0,008
	2	1,574	0,050	1,580	0,006
	3	1,519	0,051	1,526	0,007

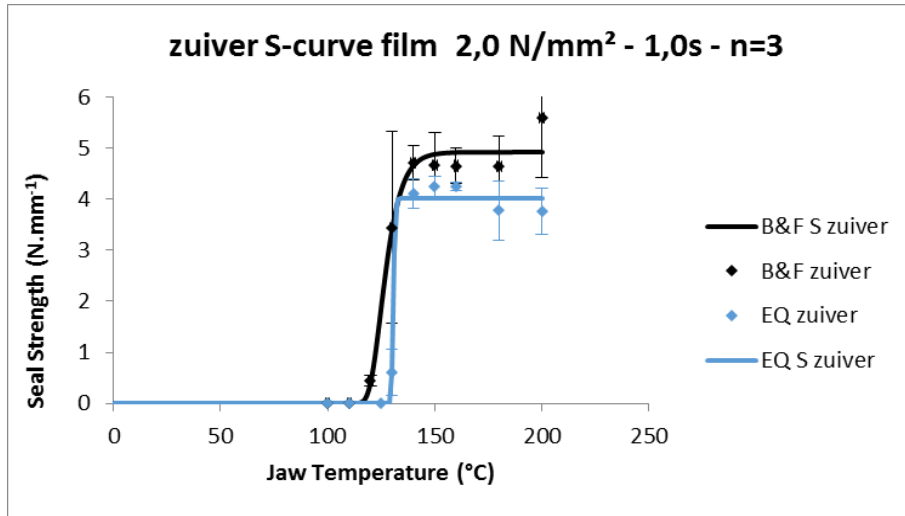
Tabel 36: Hoeveelheid non instant wei contaminatie tussen seal film 2

Film 2 non instant Whey		m staal (g)	m contaminatie (g)	m staal + contaminatie na sealen (g)	m contaminatie tss seal (g)
125°C	1	1,352	0,051	/	/
	2	1,349	0,050	/	/
	3	1,513	0,051	/	/
130°C	1	1,459	0,050	/	/
	2	1,355	0,051	/	/
	3	1,354	0,051	/	/
140°C	1	1,405	0,050	1,415	0,010
	2	1,503	0,051	1,514	0,011
	3	1,309	0,051	1,321	0,012
150°C	1	1,570	0,050	1,580	0,010
	2	1,502	0,050	1,513	0,011
	3	1,337	0,050	1,349	0,012
160°C	1	1,573	0,050	1,585	0,012
	2	1,570	0,050	1,580	0,010
	3	1,314	0,051	1,327	0,013
180°C	1	1,413	0,049	1,422	0,009
	2	1,509	0,050	1,519	0,010
	3	1,270	0,050	1,280	0,010
200°C	1	1,367	0,051	1,375	0,008
	2	1,464	0,050	1,474	0,010
	3	1,576	0,049	1,586	0,010

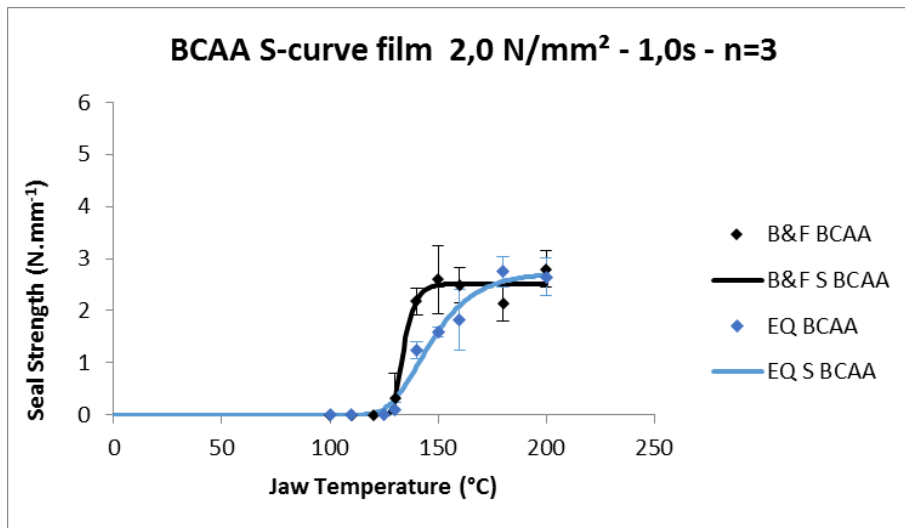
Tabel 37: Hoeveelheid instant whey contaminatie tussen seal film 2

Film Instant Whey	2	m staal (g)	m contaminatie (g)	m staal + contaminatie na sealen (g)	m contaminatie tss seal (g)
125°C	1	1,527	0,050	/	/
	2	1,371	0,050	/	/
	3	1,561	0,050	/	/
130°C	1	1,510	0,050	/	/
	2	1,371	0,050	/	/
	3	1,223	0,051	/	/
140°C	1	1,435	0,050	1,444	0,009
	2	1,520	0,049	1,531	0,011
	3	1,566	0,051	1,572	0,006
150°C	1	1,600	0,051	1,613	0,013
	2	1,550	0,050	1,563	0,013
	3	1,314	0,049	1,326	0,012
160°C	1	1,547	0,050	1,561	0,014
	2	1,338	0,050	1,350	0,012
	3	1,543	0,050	1,559	0,016
180°C	1	1,560	0,050	1,572	0,012
	2	1,511	0,051	1,523	0,012
	3	1,479	0,051	1,490	0,011
200°C	1	1,587	0,050	1,595	0,008
	2	1,386	0,051	1,394	0,008
	3	1,390	0,050	1,397	0,007

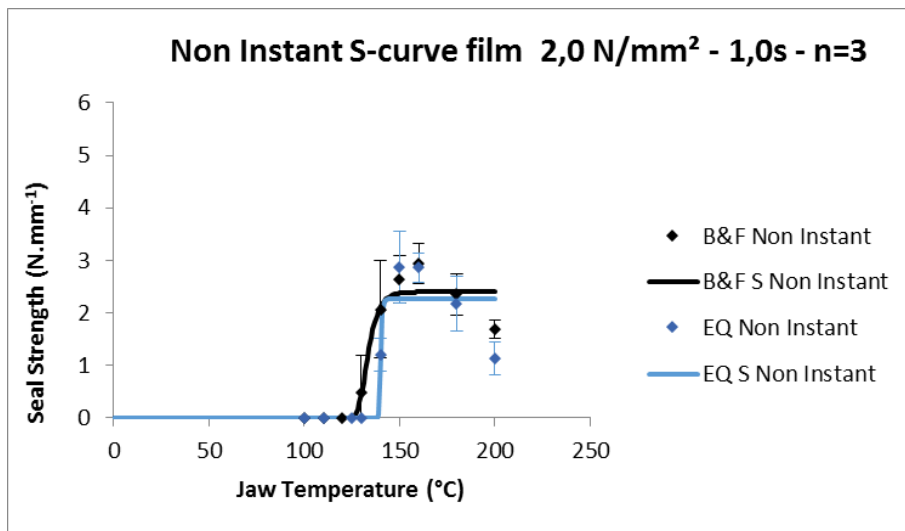
Bijlage D: Sealcurven



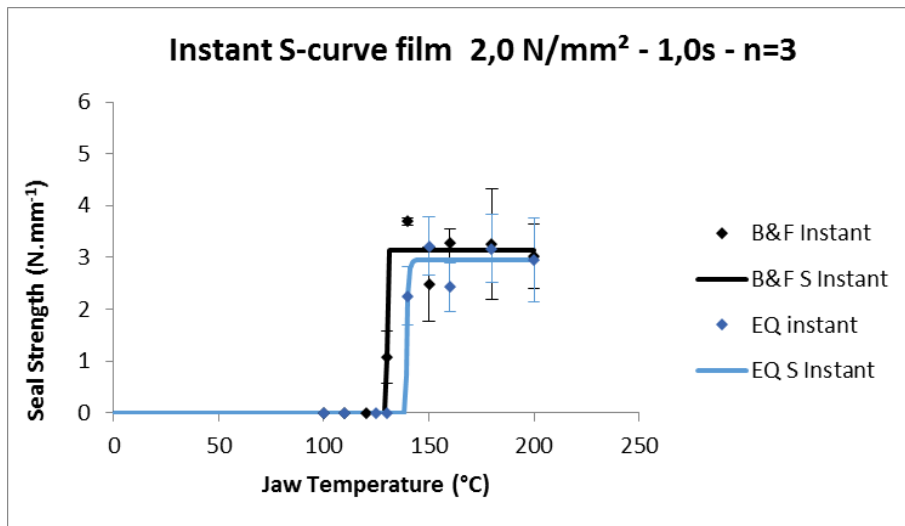
Figuur 106: S-curve zuivere film 1 en 2



Figuur 107: S-curve film 1 en film 2 met BCAA

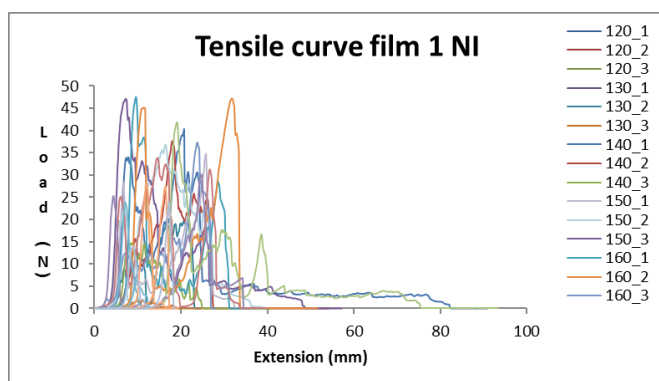


Figuur 108: S-curve film 1 en film 2 met Non Instant wei



Figuur 109: S-curve film 1 en film 2 met Instant wei

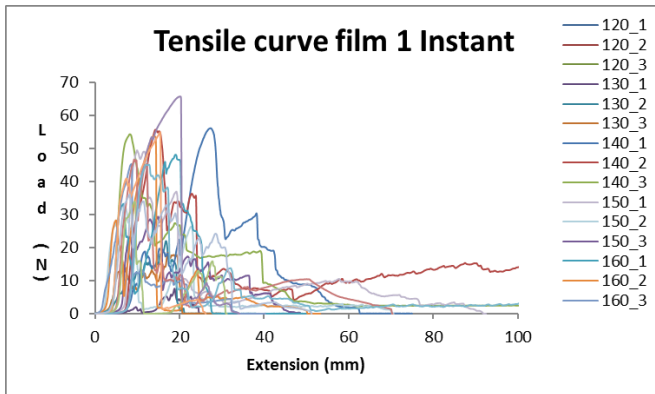
Bijlage E: Trekcurven



Figuur 110: Trekcurves film 1 Non instant

Tabel 38: Sealverbreking seal film 1 Non instant

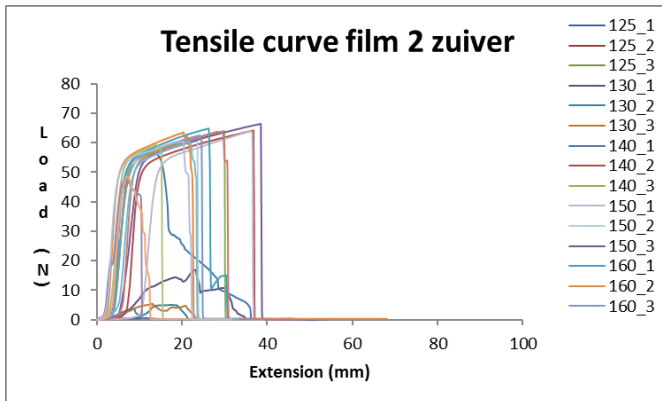
Staaln.		Verbreking
120°C	1	/
	2	/
	3	/
130°C	1	/
	2	peel
	3	peel
140°C	1	tear + delaminatie + tear + laterale insnijding
	2	peel
	3	peel
150°C	1	peel + delaminatie
	2	peel + delaminatie
	3	peel + tear + delaminatie + laterale insnijding
160°C	1	peel
	2	peel
	3	peel
180°C	1	peel
	2	peel+ tear + laterale insnijding
	3	peel
200°C	1	peel
	2	peel
	3	peel



Figuur 111: Trekcurves film 1 Instant

Tabel 39: Sealverbreking film 1 Instant

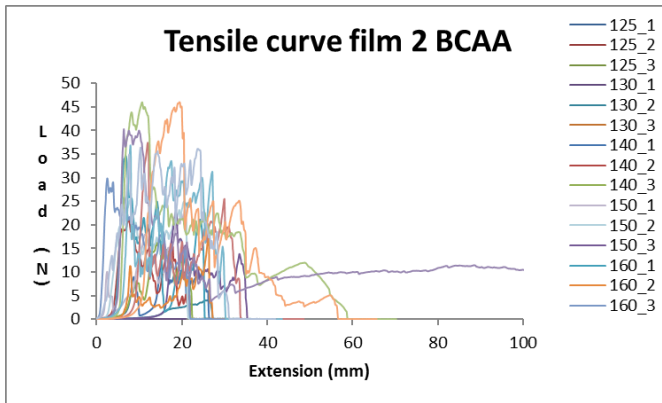
Staalnr.	Verbreking
120°C	1 /
	2 /
	3 /
130°C	1 peel
	2 peel
	3 peel
140°C	1 tear + delaminatie + tear + laterale insnijding
	2 tear + delaminatie + tear + laterale insnijding
	3 volledige delaminatie
150°C	1 delaminatie + peel + tear + laterale insnijding
	2 peel + tear + laterale insnijding
	3 peel + tear + delaminatie + laterale insnijding
160°C	1 peel
	2 peel + tear + laterale insnijding
	3 peel + tear + laterale insnijding
180°C	1 tear+ delaminatie + laterale insnijding
	2 peel
	3 tear + laterale insnijding
200°C	1 peel + tear + laterale insnijding
	2 tear
	3 peel + tear + delaminatie



Figuur 112: Trekcurves film 2 zuiver

Tabel 40: Oorzaken verbreking seal film 2 zuiver

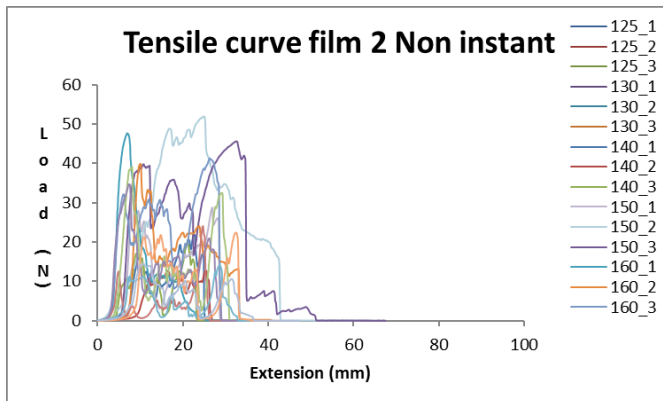
Staalnr.	Verbreking
125°C	1 peel
	2 /
	3 /
130°C	1 peel + tear
	2 peel
	3 peel
140°C	1 delaminatie
	2 tear
	3 tear
150°C	1 tear
	2 tear
	3 tear
160°C	1 tear + laterale insnijding
	2 tear
	3 tear
180°C	1 tear
	2 tear
	3 tear
200°C	1 tear
	2 tear
	3 tear



Figuur 113: Trekcurves film 2 BCAA

Tabel 41: Sealverbreking film 2 BCAA

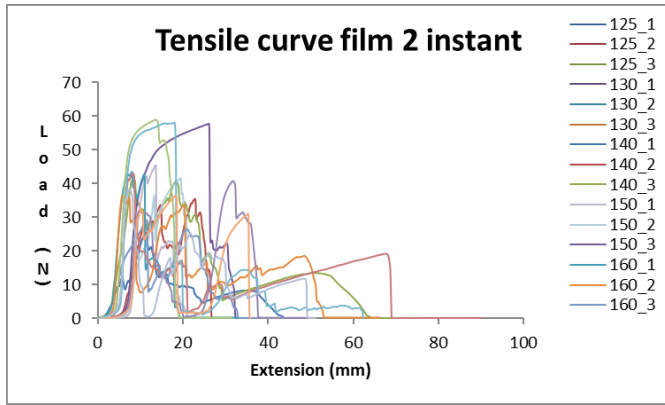
BCAA	Verbreking	
125°C	1	/
	2	/
	3	/
130°C	1	peel
	2	peel
	3	/
140°C	1	peel
	2	peel
	3	peel
150°	1	peel
	2	peel
	3	peel
160°C	1	peel
	2	peel
	3	peel
180°C	1	peel
	2	peel + tear + laterale insnijding
	3	peel + tear + laterale insnijding
200°C	1	peel
	2	peel + tear + laterale insnijding
	3	peel



Figuur 114: Trekcurves film 2 Non Instant

Tabel 42: Sealverbreking film 2 Non instant

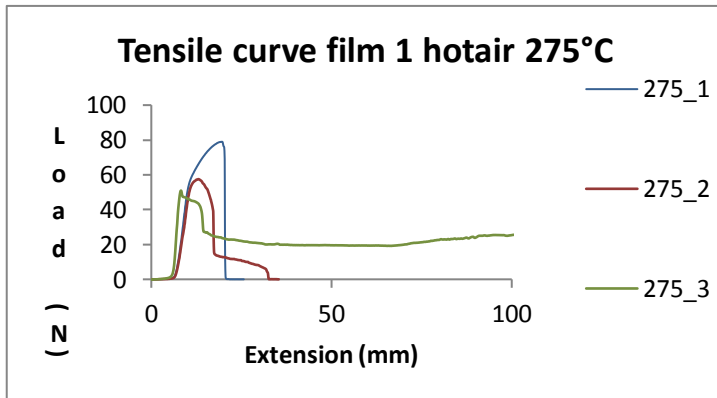
non instant	Verbreking	
Whey		
125°C	1	/
	2	/
	3	/
130°C	1	/
	2	/
	3	/
140°C	1	peel
	2	peel
	3	peel
150°C	1	peel
	2	peel + tear + laterale insnijding
	3	peel + tear + laterale insnijding
160°C	1	peel + tear
	2	peel + tear
	3	peel
180°C	1	peel
	2	peel
	3	peel
200°C	1	peel
	2	peel
	3	peel



Figuur 115: Trekcurves film 2 Instant

Tabel 43: Sealverbreking film 2 Instant

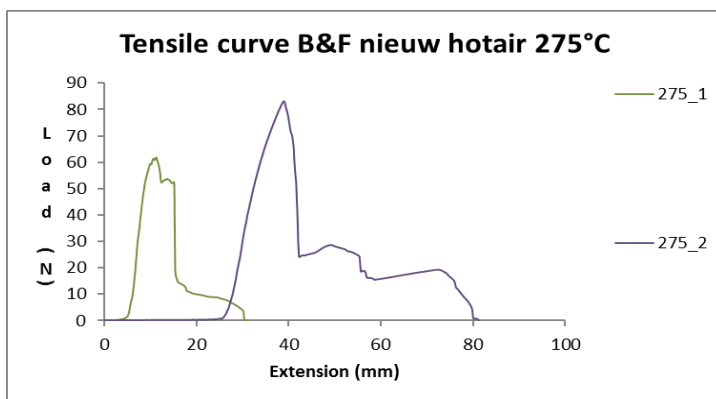
Instant	Whey	Verbreking
125°C	1	/
	2	/
	3	/
130°C	1	/
	2	/
	3	/
140°C	1	peel + tear
	2	peel
	3	peel + tear
150°C	1	peel + tear
	2	peel + tear + laterale insnijding
	3	tear
160°C	1	peel + tear
	2	peel + tear + laterale insnijding
	3	peel + tear + laterale insnijding
180°C	1	peel + tear + laterale insnijding
	2	tear
	3	peel + tear
200°C	1	tear + laterale insnijding
	2	peel + tear
	3	peel + tear + laterale insnijding



Figuur 116: Trekcurves film 1 hot air 275°C

Tabel 44: Oorzaken verbreking seal film 1 hot air

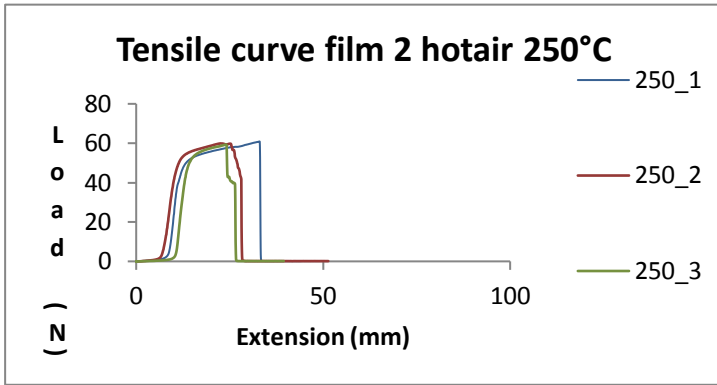
Staal	Sealverbreking
1	Tear
2	Tear + delaminatie
3	Tear + delaminatie



Figuur 117 : Trekcurves film 3 hotair 275°C

Tabel 45: Oorzaken verbreking seal film 3 hot air

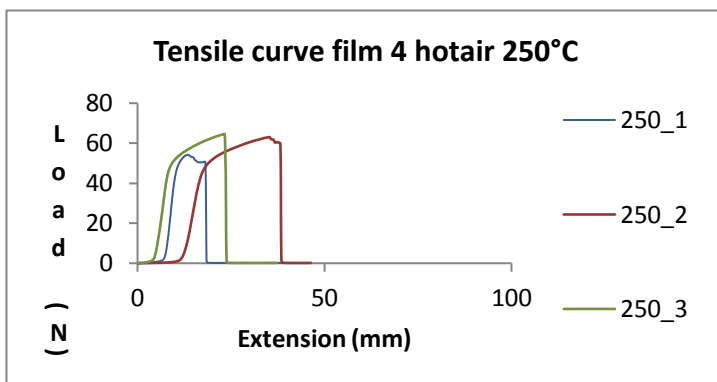
Staal	Sealverbreking
275 °C 1	Peel + delaminatie+ tear
2	Peel + delaminatie + laterale insnijding + tear



Figuur 118: Trekcurves film 2 hotair 250°C

Tabel 46: Sealverbreking film 2 hot air

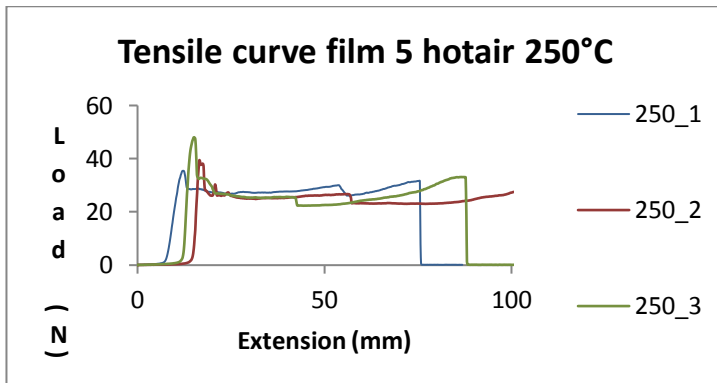
Staal	Sealverbreking
1	Tear
2	Tear + delaminatie
3	Tear



Figuur 119: Trekcurves film 4 hotair 250°C

Tabel 47: Sealverbreking film 4 hot air

Staal	Sealverbreking
1	Tear
2	Tear
3	Tear

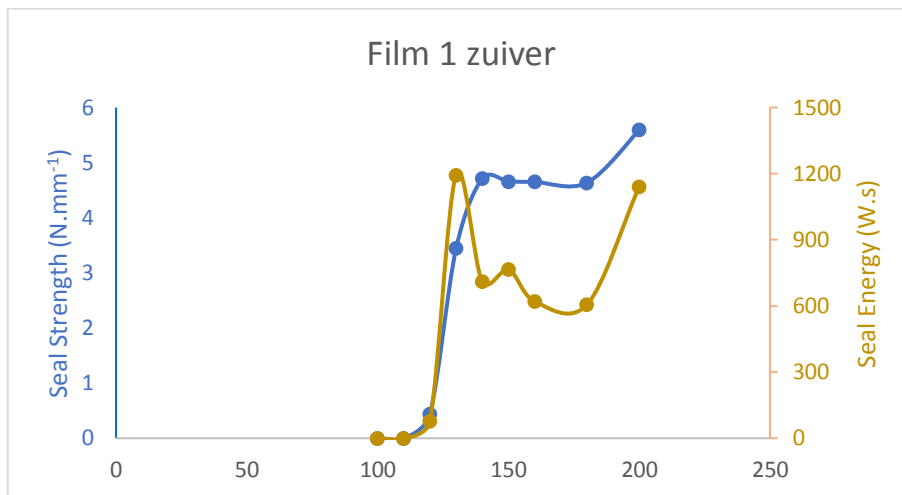


Figuur 120 : Trekcurves film 5 hotair 250°C

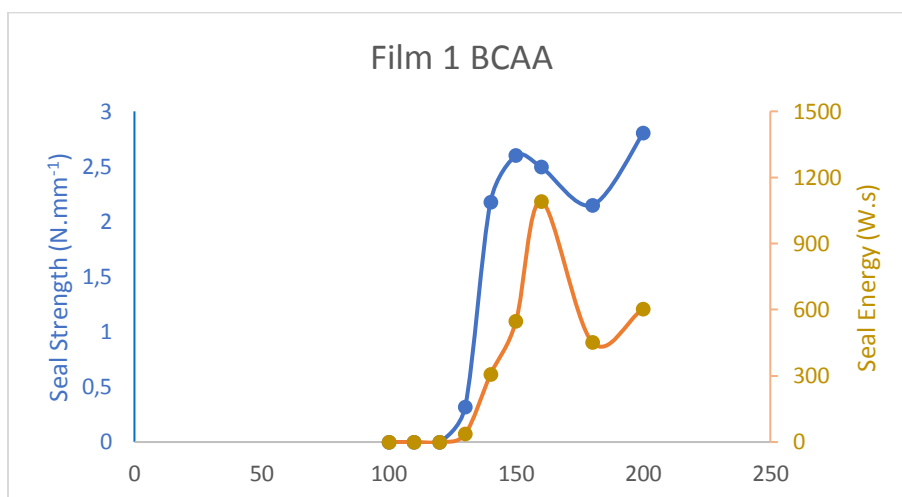
Tabel 48: Oorzaken verbreking seal film 5 hot air

Staal	Sealverbreking
1	Peel + volledige delaminatie
2	Peel + delaminatie
3	Peel + delaminatie

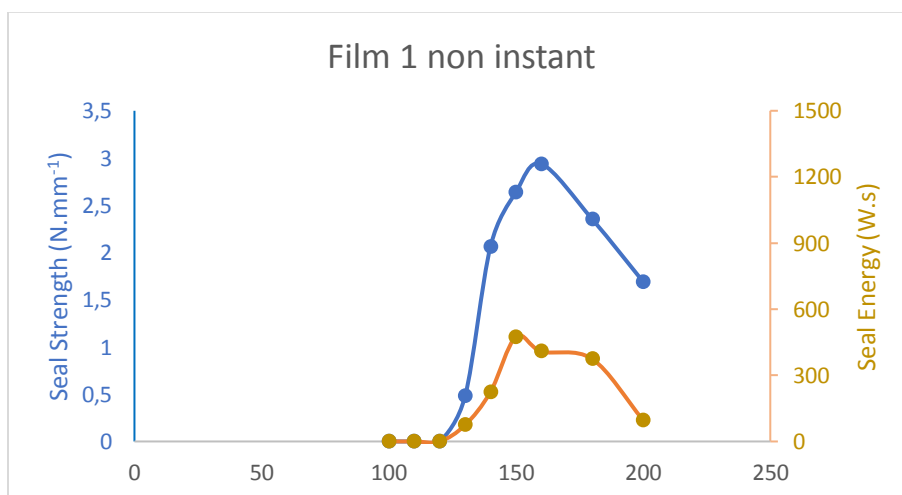
Bijlage F: Curves sealenergie



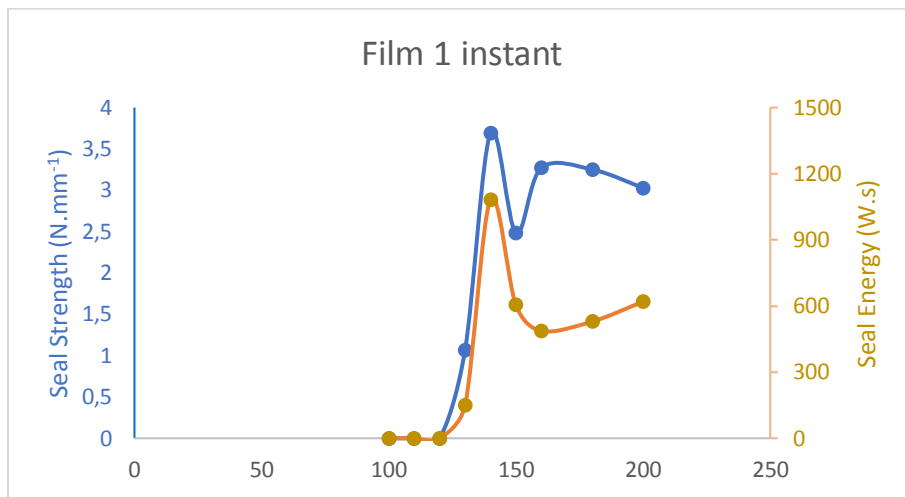
Figuur 121: Sealsterkte- en energie film 1 zuiver



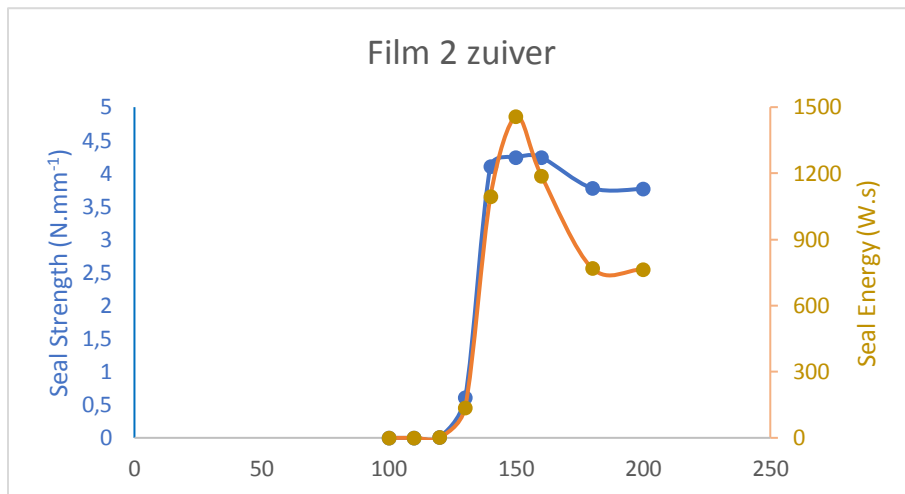
Figuur 122: Sealsterkte- en energie film 1 BCAA



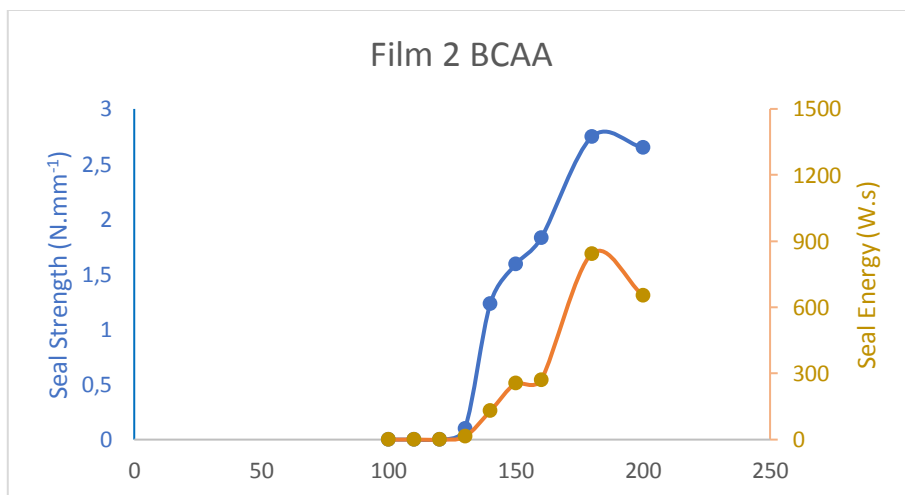
Figuur 123: Sealsterkte- en energie film 1 Non Instant



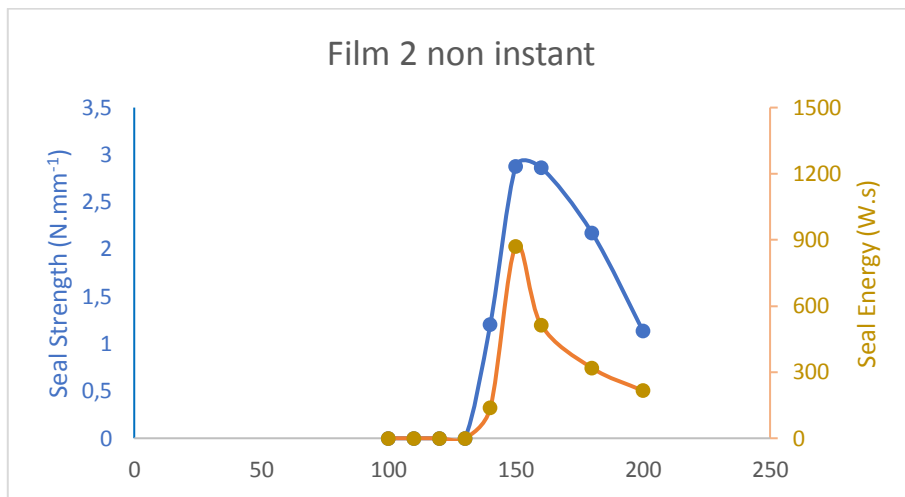
Figuur 124: Sealsterkte- en energie film 1 Instant



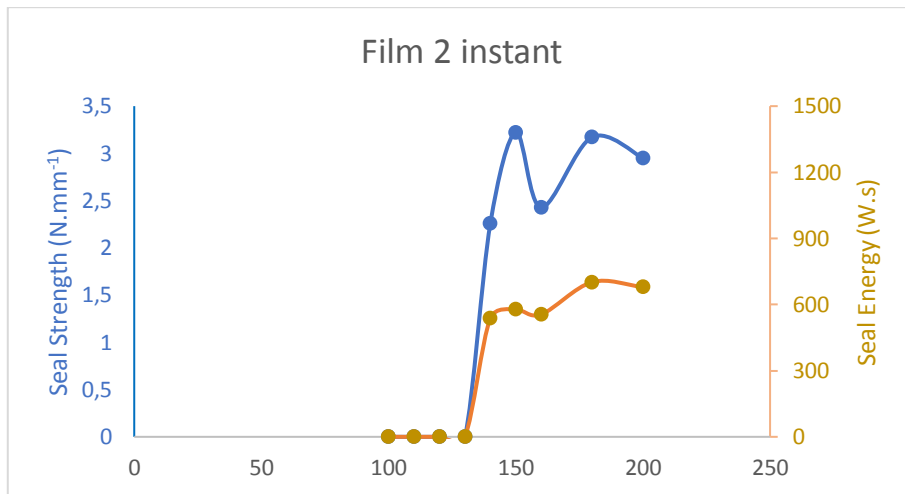
Figuur 125: Sealsterkte- en energie film 2 zuiver



Figuur 126: Sealsterkte- en energie film 2 BCAA



Figuur 127: Sealsterkte- en energie film 2 Non Instant



Figuur 128: Sealsterkte- en energie film 2 Instant

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Onderzoek naar invloed en eliminatie van aminozuur bevattende poedercontaminatie op de warmte seals van meerlaagse stazak verpakkingen

Richting: **master in de industriële wetenschappen: verpakkingstechnologie**

Jaar: **2018**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Christiaens, Sophie

Datum: **4/06/2018**