

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

Masterthesis

Ontwikkelen van een random bin picking opstelling voor
printplaten binnen recyclageprocessen

PROMOTOR :

Dr. Ing. Karel KELLENS

BEGELEIDER :

ing. Jeroen CRAMER

BEGELEIDER :

Dhr. Jef PEETERS

Jeroen Lemmens, Gert Schouterden

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

De transnationale Universiteit Limburg is een uniek samenwerkingsverband van twee universiteiten in twee landen: de Universiteit Hasselt en Maastricht University.



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: elektromechanica

Masterthesis

Ontwikkelen van een random bin picking opstelling voor
printplaten binnen recyclageprocessen

PROMOTOR :

Dr. Ing. Karel KELLENS

BEGELEIDER :

ing. Jeroen CRAMER

BEGELEIDER :

Dhr. Jef PEETERS

Jeroen Lemmens, Gert Schouterden

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



KU LEUVEN

Woord vooraf

Aan het begin van dit werk past een woord van dank voor de steun die we mochten ontvangen bij het tot stand komen van deze masterproef.

In de eerste plaats willen wij onze promotor prof. dr. ing. Karel Kellens bedanken voor zijn interesse, begeleiding en feedback die wij mochten ontvangen. Onze dank gaat eveneens uit naar onze begeleider ing. Jeroen Cramer voor de hulp en advies en aan ing. Maarten Verheyen voor de kennis die hij ons bijbracht vanuit zijn expertise in visiesystemen. Natuurlijk willen we ook alle andere medewerkers van ACRO bedanken die ons geholpen hebben. Hun begeleiding en ideeën boden de juiste handvaten in het verloop van deze masterproef. De mogelijkheid om gebruik te kunnen maken van de infrastructuur van ACRO leverde een grote bijdrage bij het realiseren van de proefopstelling.

Verder gaat onze dank ook uit naar de professoren en docenten van de gezamenlijke ingenieursopleiding van de UHasselt en KU Leuven voor de opleiding die ze ons de afgelopen jaren gaven. Als laatste danken we onze familie, medestudenten en vrienden voor de motivering. Hierbij denken we vooral aan onze ouders voor onafgebroken steun.

Tot slot wensen wij u ook nog veel leesplezier toe bij het lezen van onze masterproef.

Inhoudsopgave

Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	7
Abstract Nederlands	11
Abstract English	13
1 Inleiding	15
1.1 Situering	15
1.2 Probleemstelling	17
1.3 Doelstellingen	18
1.4 Methode	19
1.5 Structuur	19
2 Literatuurstudie	21
2.1 Werking random bin picking	21
2.1.1 Systeem	21
2.1.2 Point cloud reconstruction	23
2.1.3 Positiebepaling	24
2.2 Grijptechnieken	27
2.2.1 Grijpproces	27
2.2.2 Grijpprincipes	28
2.2.3 Losprincipes	39
2.2.4 Monitoringprincipes	39
2.3 Visiesystemen	41
2.3.1 Visietechnieken	41
2.3.2 Cameraopstelling	44
2.3.3 Positiebepaling	44
3 Evalueren van grijptechnieken voor het grijpen van printplaten	45
3.1 Mechanische grijpprincipes	45
3.1.1 Parallelgrijper	45
3.1.2 Jaw gripper	48
3.2 Indringende voorwerpen	51
3.2.1 Punch-screw principe	51
3.2.2 Doorngrijper	51
3.3 Vacuüm grijpprincipes	52
3.3.1 Zuignapveldgrijper	52
3.3.2 Flowgrijper	55
3.3.3 Vortex- en bernoulligrijper	57

3.4	Softgrippers	59
3.4.1	Jamming grijper	59
3.4.2	Formhand	60
3.5	Magnetische grijpprincipes	60
3.6	Conclusie	61
4	Ontwikkeling eigen grijperontwerp	63
4.1	Dimensionering van de grijper	64
4.1.1	Vacuümgeneratie	64
4.1.2	Dimensionering	66
4.2	Optimalisatie van de afdichting	67
4.2.1	Ontwerpen	67
4.2.2	Testen	77
4.3	Mechanische ontwerp	96
4.3.1	Ontwerp	96
4.3.2	Grijper excentrisch opstellen	97
4.3.3	Productieproces	99
4.4	Kostprijs grijper	101
4.5	Conclusie	103
5	Ontwikkeling visiesysteem	105
5.1	Detectiemethodiek	106
5.2	Implementatie in HALCON	109
5.2.1	Botsingsdetectie	112
5.3	Testen visiesysteem	113
5.3.1	Sheet of light	113
5.3.2	Projected texture stereovisie	120
5.3.3	Opmerking	122
5.4	Kostprijs	123
5.5	Conclusie	124
6	Implementatie	125
6.1	Grijpmethodiek	126
6.2	Proefopstelling	128
6.2.1	Opstelling	128
6.2.2	Waarnemingen testopstelling	128
6.3	Praktische opstelling	132
6.3.1	Voorsortering	132
6.3.2	Manipulator	134
6.3.3	Concept	134
6.4	Klemsysteem	136
6.5	Conclusie	138
7	Algemene conclusie	139
	Bibliografie	143
	Appendices	145

Lijst van tabellen

Tabel 4.1	Technische gegevens Schmalz flow gripper	65
Tabel 4.2	Technische gegevens Powerline PL 604 IWD	66
Tabel 4.3	Massa van reeks printplaten	78
Tabel 5.1	Kostprijs SOL-opstelling	123
Tabel 6.1	Verwerkingstijd	129
Tabel 6.2	Verbruik testopstelling	130

Lijst van figuren

Figuur 1.1	Recyclage keten	15
Figuur 1.2	Voorstelling printplaten	17
Figuur 2.1	Systeem configuratie	22
Figuur 2.2	Schematische voorstelling van <i>matching</i>	23
Figuur 2.3	Reconstructiesysteem	23
Figuur 2.4	Special endpoints	25
Figuur 2.5	Grijpproces	27
Figuur 2.6	Stangenmechanismen voor grippers	29
Figuur 2.7	Ondergeactueerde gripper	30
Figuur 2.8	Grippers met aangedreven grijpoppervlakken	31
Figuur 2.9	Verschillende vormen en maten zuignappen	32
Figuur 2.10	<i>Sack gripper</i>	32
Figuur 2.11	Opbouw Bernoulligripper	33
Figuur 2.12	Opbouw vortexgripper	34
Figuur 2.13	Positie van soft en rigid manipulators in de 2D-ontwerpruimte	35
Figuur 2.14	Verhouding van DOF, universaliteit en gemak van in-handmanipulatie voor verschillende ontwerpen	36
Figuur 2.15	Werking <i>jamming gripper</i>	37
Figuur 2.16	Tentakelgripper	37
Figuur 2.17	<i>Needle gripper</i>	38
Figuur 2.18	Losprincipes	39
Figuur 2.19	Monitoringprincipes	40
Figuur 2.20	Lineaire verplaatsing van een object ten opzichte van een camera en laser in een SOL-opstelling	41
Figuur 2.21	Sheet of light: Occlusion and Shadowing effect	42
Figuur 2.22	Dual laser 3D scanner	42
Figuur 2.23	Structured light	43
Figuur 2.24	Stereovisie	43
Figuur 3.1	Karteling grijpoppervlak	45
Figuur 3.2	Conceptuele schets van het parallelle grijpprincipe	46
Figuur 3.3	Parallel gripper met rotatieactuatoren	46
Figuur 3.4	Printplaat met uitsparingen aan de zijkant	47
Figuur 3.5	Conceptuele schets van het jawgrijpprincipe	48
Figuur 3.6	Conceptuele <i>jaw</i> gripper	49
Figuur 3.7	Conceptuele <i>jaw</i> gripper die een printplaat grijpt	50
Figuur 3.8	Opbouw zuignapveldgripper	52

Figuur 3.9	Aanpasbaarheid van zuignappen die niet toereikend is	53
Figuur 3.10	Conceptuele zuignapveldgrijper	53
Figuur 3.11	Conceptuele zuignapveldgrijper	54
Figuur 3.12	Conceptuele flowgrijper	55
Figuur 3.13	Conceptuele flowgrijper	56
Figuur 3.14	Conceptuele flowgrijper die een printplaat grijpt	56
Figuur 3.15	Vortexgrijper die een printplaat grijpt	57
Figuur 3.16	Invloed ruwheid grijpoppervlak op vortex- en Bernoulligrijpers	58
Figuur 3.17	Werking formhand	60
Figuur 4.1	Schmalz flow gripper SCG	64
Figuur 4.2	Powerline PL 604 IWD	65
Figuur 4.3	Dimensionering grijper	66
Figuur 4.4	Dichting 1A zijaanzicht	68
Figuur 4.5	Dichting 1A onderaanzicht	68
Figuur 4.6	Dichting 1B zijaanzicht	69
Figuur 4.7	Dichting 1B onderaanzicht	69
Figuur 4.8	Falen dichting 1B	70
Figuur 4.9	Falen dichting 1B	70
Figuur 4.10	Spanring	70
Figuur 4.11	Dichting 1C zijaanzicht	71
Figuur 4.12	Dichting 1C onderaanzicht	71
Figuur 4.13	Dichting 1D zijaanzicht	72
Figuur 4.14	Dichting 1D onderaanzicht	72
Figuur 4.15	Dichting 2 onderaanzicht	73
Figuur 4.16	Dichting 2 zijaanzicht	73
Figuur 4.17	Aanpassingsvermogen dichting 2	74
Figuur 4.18	Dichting 3A zijaanzicht	75
Figuur 4.19	Dichting 3A onderaanzicht	75
Figuur 4.20	Dichting 3B onderdelen	76
Figuur 4.21	Dichting 3B onderaanzicht	76
Figuur 4.22	Kleine spanring	77
Figuur 4.23	Reeks printplaten	77
Figuur 4.24	Testopstelling 2: <i>PCI-slots</i>	79
Figuur 4.25	Aanpassingsvermogen aan <i>PCI-slots</i> van dichting 1A	79
Figuur 4.26	Aanpassingsvermogen aan <i>PCI-slots</i> van dichting 1C	80
Figuur 4.27	Aanpassingsvermogen aan <i>PCI-slots</i> van dichting 1D	80
Figuur 4.28	Aanpassingsvermogen aan <i>PCI-slots</i> van dichting 3A en 3B	80
Figuur 4.29	Aanpassingsvermogen aan <i>PCI-slots</i> van dichting 3A en 3B	81
Figuur 4.30	Resultaten test 1	81
Figuur 4.31	Testopstelling 2: <i>RAM-slots</i>	82
Figuur 4.32	Aanpassingsvermogen aan <i>RAM-slots</i> van dichting 1A	82
Figuur 4.33	Aanpassingsvermogen aan <i>RAM-slots</i> van dichting 1C	83
Figuur 4.34	Aanpassingsvermogen aan <i>RAM-slots</i> van dichting 1D	83
Figuur 4.35	Aanpassingsvermogen aan <i>RAM-slots</i> van dichting 3A en 3B	83

Figuur 4.36	Aanpassingsvermogen aan <i>RAM-slots</i> van dichting 3A en 3B	84
Figuur 4.37	Resultaten test 2A	84
Figuur 4.38	Resultaten test 2B	85
Figuur 4.39	Resultaten test 2C	85
Figuur 4.40	Resultaten test 3	86
Figuur 4.41	Resultaten test 4A: Printplaat 1 voorkant	87
Figuur 4.42	Resultaten test 4A: Printplaat 2 voorkant	87
Figuur 4.43	Resultaten test 4A: Printplaat 3 voorkant	88
Figuur 4.44	Resultaten test 4A: Printplaat 4 voorkant	88
Figuur 4.45	Resultaten test 4A: Printplaat 5 voorkant	89
Figuur 4.46	Resultaten test 4A: Printplaat 1 achterkant	89
Figuur 4.47	Resultaten test 4A: Printplaat 2 achterkant	90
Figuur 4.48	Resultaten test 4A: Printplaat 3 achterkant	90
Figuur 4.49	Resultaten test 4A: Printplaat 4 achterkant	91
Figuur 4.50	Resultaten test 4A: Printplaat 5 achterkant	91
Figuur 4.51	Fabricagekwaliteit dichtingen 1A (links) en 1B (rechts)	92
Figuur 4.52	Twee op elkaar liggende printplaten die samen worden gegrepen	94
Figuur 4.53	Area dichting [1]	94
Figuur 4.54	Samenstelling verwerkte printplaten	95
Figuur 4.55	Zuigkop met afzuiging in center	96
Figuur 4.56	Zuigkop met montage in center	97
Figuur 4.57	Zuigkop excentrisch opstellen	97
Figuur 4.58	Buigstraal van de slang op robot	98
Figuur 4.59	<i>Single point incremental forming</i>	100
Figuur 4.60	Productiekost grijpkop frezen uit aluminium	101
Figuur 4.61	Productiekost grijpkop SLS printen in PA-GF	101
Figuur 4.62	Productiekost grijpkop SLM printen in aluminium	101
Figuur 5.1	Detectie methodiek	106
Figuur 5.2	Implementatie methodiek in Halcon	109
Figuur 5.3	Werkelijke ligging stapeling	111
Figuur 5.4	Resultaten Halcon (aantal punten)	111
Figuur 5.5	Methodiek botsingsdetectie	112
Figuur 5.6	<i>Sheet of light</i> opstelling	113
Figuur 5.7	Werkelijke ligging printplaten	114
Figuur 5.8	Werkelijke ligging printplaten	114
Figuur 5.9	Resultaten Halcon (aantal punten)	115
Figuur 5.10	Werkelijke ligging stapeling	115
Figuur 5.11	Resultaten Halcon voor stapeling (bounding box)	116
Figuur 5.12	3D puntenwolk SOL in een donkere ruimte	117
Figuur 5.13	3D puntenwolk SOL met TL-lampen	117
Figuur 5.14	3D puntenwolk SOL met zonlicht	118
Figuur 5.15	3D puntenwolk SOL met TL-lampen en zonlicht	118
Figuur 5.16	Werkelijke ligging printplaat	119
Figuur 5.17	Resultaten Halcon (aantal punten)	119

Figuur 5.18	Probleempunt bij Ensensio camera	120
Figuur 5.19	Probleempunt bij Ensensio camera	121
Figuur 6.1	Methodiek aansturing manipulator	126
Figuur 6.2	Testopstelling	128
Figuur 6.3	Werkelijke stapeling printplaten waarvan de randen goed op elkaar aansluiten	130
Figuur 6.4	Slechte detectie van goed op elkaar aansluitende printplaten in Halcon . .	131
Figuur 6.5	Greefa kistenkantelaar	133
Figuur 6.6	Opstelling, palletbox niet gekanteld	134
Figuur 6.7	Opstelling, palletbox gekanteld	135
Figuur 6.8	Voorontwerpen klemsysteem	136
Figuur 6.9	Mogelijke geleidingen	137
Figuur 6.10	Mogelijke geleiding	137

Abstract Nederlands

De hedendaagse consumptiemaatschappij zorgt voor een grote afvalstroom aan elektronische apparaten. Momenteel scoort Vlaanderen hoog op het vlak van inzamelen en recycleren hiervan. Om een positie aan de wereldtop te behouden is vooruitgang in de automatisering van selectieve demontage- en sorteerprocessen noodzakelijk.

Deze masterproef loopt binnen ACRO en LCE, twee onderzoeksgroepen van KU Leuven, en heeft als doel het ontwerpen van een opstelling om de printplaten van deze elektrische apparaten, aangevoerd in palletboxen, te grijpen en te positioneren voor verdere verwerking. Hiervoor dient een gripper en een visiesysteem te worden ontwikkeld om een random bin picking proces op te zetten. Bestaande en zelfontworpen opties worden met elkaar vergeleken op basis van o.a. technologische performantie (grijpsucces, tijd/printplaat ...) en kost (opstelling, energieverbruik ...).

Een gripper op basis van een hoog zuigebiet werd ontwikkeld met grote aandacht voor de optimalisatie van de afdichting. Als visiesysteem werd er een detectiemethodiek uitgewerkt en geoptimaliseerd voor een projected texture stereo vision opstelling. Een werkende proefopstelling werd uitgebouwd en een conceptuele praktische opstelling wordt voorgesteld. Toekomstig onderzoek omvat het testen van een alternatief grijpprincipe, de Formhand, en de verdere ontwikkeling van de collisiedetectie in het visiesysteem.

Abstract English

Modern consumer society generates a large waste flow of WEEE. Flanders currently scores high in the field of recycling and collecting these appliances. To maintain this prominent position, advances in the automation of selective dismantling and recycling processes are needed.

The intent of this master's thesis, executed in collaboration with the ACRO and LCE research groups of KU Leuven, is the development of a setup to pick circuit boards of these appliances out of a pallet box and to position them for further handling. To achieve this, both a gripper and vision system need to be developed. So a random bin picking process can be set up. Existing and newly developed options will be compared on technological performance (gripping chance, time/circuit board ...) and cost (Installation, energy consumption ...)

A gripper based on a high suction rate was developed. Lots of attention was given to the optimization of the used seal. A detection methodology is developed and optimized for a projected texture stereo vision based system. A working prototype is build and an industrial size installation was drawn up. Future research comprises of testing an alternative gripping principal, the Fromhand, and further development of collision detection in the vision system.

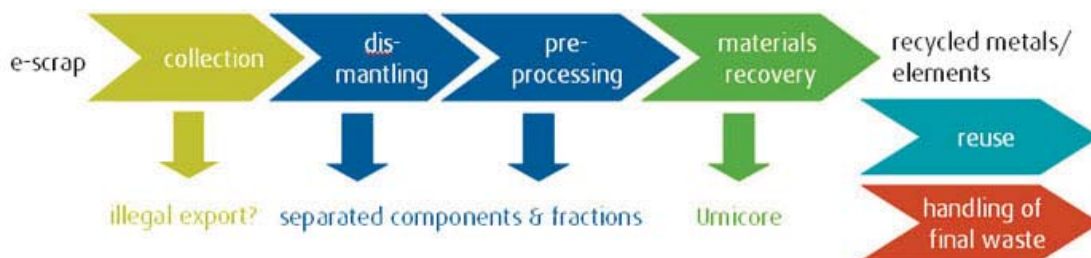
Hoofdstuk 1

Inleiding

1.1 Situering

Deze masterproef kadert zich binnen de gezamenlijke opleiding industriële ingenieurswetenschappen van de Katholieke Universiteit Leuven en Universiteit Hasselt. De masterproef vindt hoofdzakelijk plaats bij twee onderzoeksgroepen van de KU Leuven. De eerste onderzoeksgroep is 'ACRO', *Automation, Computer vision and Robotics*, te Diepenbeek. ACRO werkt momenteel aan computervisie- en roboticasystemen. Een bekend voorbeeld hiervan is de appelplukrobot. [2] De andere onderzoeksgroep is Design, Methodologies and Life Cycle Engineering te Leuven. Zij bestuderen de levenscyclus van een product en de impact hiervan op het milieu. [3]

Vandaag de dag worden veel elektrische apparaten afgedankt die een printplaat bezitten. Op een printplaat zijn verschillende componenten aanwezig die een hoge concentratie aan edelmetalen bevatten, waardevolle materialen. Een van deze waardevolle materialen is tantaal, voornamelijk aanwezig in condensatoren. Momenteel scoort Vlaanderen hoog op het vlak van inzamelen van Afgedankte Elektrische en Elektronische Apparaten, AEEA. De recyclageketen erna is eveneens zeer goed uitgebouwd. Om een positie aan de wereldtop te behouden is vooruitgang in de automatisering van de demontage- en sorteerprocessen noodzakelijk. Deze stap, weergegeven als *dismantling* in figuur 1.1, omvat het selectief scheiden van reststromen op basis van hun compositie, recyclageproces ... met het uiteindelijke doel het rendement en de capaciteit van het gehele proces te verhogen.



Figuur 1.1: Recyclage keten [4]

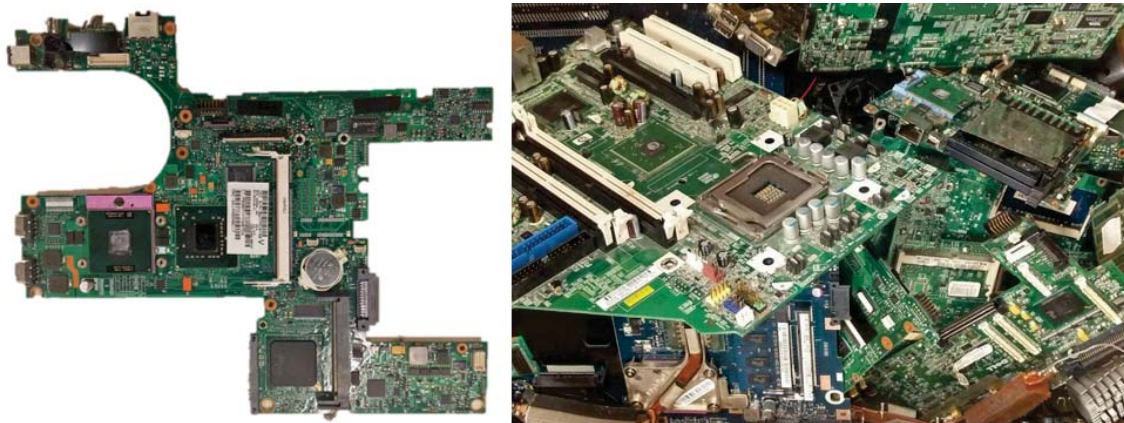
Dit project heeft als doel de "dismantling" stap te verbeteren en richt zich op het grijpen van de te recyclen printplaten uit palletboxen, eventueel gepaard met een voorsortering. Vervolgens wordt er gekeken naar mogelijkheden voor het positioneren van de printplaat voor verdere ontmanteling. Hierdoor wordt de capaciteit van het proces verhoogd terwijl de menselijke tussenkomst wordt gereduceerd.

1.2 Probleemstelling

Om enkele hoogwaardige materialen als tantaal uit printplaten te recupereren worden vandaag de dag de volledige printplaten verwerkt. Dit houdt in dat er ook een grote hoeveelheid laagwaardige componenten, die aanwezig zijn op een printplaat, verwerkt moeten worden. Het gevolg hiervan is een rendementsverlaging van het materiaalrecuperatieproces. Het zou ecologischer en economischer zijn wanneer de nuttige afzonderlijk van de niet nuttige componenten gerecycleerd worden. Tot op heden bestaat er geen manier op industriële schaal om componenten op een printplaat selectief te recyclen.

De eerste stap in het "nieuwe"recyclage proces is de afgedankte printplaten uit een palletbox halen en positioneren. Vervolgens kunnen de aanwezige componenten selectief verwijderd worden.

Het grootste deel van het onderzoek omvat het grijpen van de printplaten. Deze printplaten moeten gedetecteerd worden om zo een grijppositie te kunnen bepalen. Zowel het grijpen als het detecteren van de printplaten wordt bemoeilijkt door de grillige vorm, de willekeurige en vernette stapeling en een groot onderscheid in afmetingen zoals weergegeven in figuur 1.2. De enige veronderstelling die hier kan worden gemaakt is dat het vaak rechthoekig platen van ongekende afmetingen zijn met uitsteeksel op het oppervlak. Een mogelijke voorsortering en discretisatie kan dit proces vergemakkelijken. Eenmaal gegrepen, wenselijk zonder ze te beschadigen, kunnen ze gepositioneerd worden op een manier die het selectief verwijderen van de componenten mogelijk maakt. Ook dit positioneren wordt bemoeilijkt door eerder vernoemde factoren. Het verwijderen van de componenten zelf behoort niet tot dit onderzoek.



Figuur 1.2: Voorstelling printplaten

1.3 Doelstellingen

De hoofddoelstelling is het mogelijk maken om printplaten te grijpen uit een willekeurige stapeling met behulp van *random bin picking*. De andere doelstellingen zijn opgesplitst in vaste eisen, variabele eisen en wensen voor een betere specificering.

Vaste eisen

De afmetingen van de printplaten variëren van $50\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ tot $400\text{ mm} \times 400\text{ mm} \times 50\text{ mm}$. Deze printplaten worden aangevoerd in bakken van één kubieke meter. Aangezien de machine in de recyclagesector gebruikt wordt, is het belangrijk dat deze corrosiebestendig is en in een stofrijke omgeving kan werken. Een andere vaste eis is dat de machine volautomatisch werkt met minimale menselijke tussenkomst.

Variabele eisen

De belangrijkste variabele eis is de hoeveelheid printplaten die verwerkt moet worden per tijds-eenheid. De richtwaarde hiervoor is één printplaat per 20 seconden. Verder is de kostprijs van de gehele installatie waar het grijpsysteem een deel van uitmaakt beperkt tot 500 000 euro. De maximale afmetingen zijn niet gespecificeerd.

Wensen

Een wens die vanuit ACRO en LCE komt is dat de techniek ook voor andere toepassingen kan worden gebruikt. Een voorbeeld hiervan is het verwerken van herbruikbare printplaten. Concreet houdt dit in dat de printplaten niet beschadigd mogen worden, onder andere door statische ontlading. De *mean time between failure* is ook belangrijk bij een automatisch proces, hier is deze niet gespecificeerd en is dus te minimaliseren.

Een algemene wens in de machinebouw is zoveel mogelijk gebruik te maken van standaard en bestaande onderdelen.

1.4 Methode

Een voorstudie is de eerste stap binnen het onderzoek. Deze bestaat uit een literatuurstudie die zich enerzijds richt op mogelijk eerder gevoerde onderzoeken en anderzijds op het bestuderen van de grijptechnieken en de visiesystemen. Daarnaast zal ook de praktische haalbaarheid van technieken en gelijkaardige toepassingen in de industrie bestudeerd worden. Een morfologisch overzicht maakt hier ook deel van uit.

Met behulp van dit overzicht kunnen bij stap twee de verschillende concepten samengesteld worden. Deze concepten worden opgesteld waarin zowel grijpers als het visiesysteem met elkaar samenwerken. In deze stap zullen ook enkele eenvoudige testen uitgevoerd worden met bepaalde grijpers en visietechnieken, om zo tot een beslissing te komen voor het uiteindelijke concept.

De derde stap bestaat uit verschillende deeltaken. Hier zal gestart worden met het uittekenen van het gekozen concept om zo over te gaan tot de implementatie van de volledige opstelling. Dan volgt het programmeren van de robot met visiesysteem. Uiteindelijk wordt de opstelling getest en bijgestuurd waar nodig, om zo tot een werkend prototype te komen.

1.5 Structuur

Als eerste is er begonnen met een literatuurstudie (hoofdstuk 2) die de verschillende grijptechnieken en visiesystemen bestudeerd. In hoofdstuk 3 worden de grijptechnieken bekomen uit de literatuurstudie geëvalueerd voor het grijpen van printplaten. Dit op basis van hun technologische performantie en enkele eenvoudige *proof of concept* testen. Het gekozen grijpprincipe is dan ontwikkeld tot een werkende gripper voor printplaten, hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 is de ontwikkeling van het visiesysteem toegelicht. Er is in hoofdstuk 6 gekeken hoe het mogelijk is de gripper en het visiesysteem te implementeren in een (test)opstelling. De masterscriptie wordt tot slot afgesloten met een conclusie.

Hoofdstuk 2

Literatuurstudie

2.1 Werking random bin picking

In deze sectie wordt de algemene werking van *random bin picking* uitgelegd, met behulp van het volgende artikel: 'Eye-in-hand vision-based robotic bin-picking with active laser projection' van Wen-Chung Chang en Chia-Hung Wu, [5].

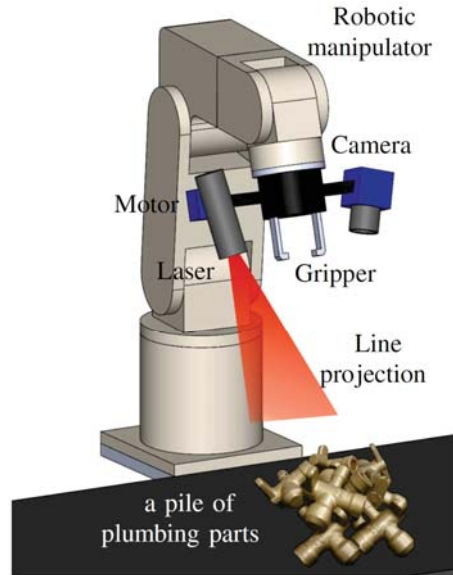
Het artikel beschrijft het grijpen van een sanitaironderdeel met behulp van een *eye-in-hand vision bin-picking system*. Eerst zal met een camera en een laser een 3D-puntenwolk gemaakt worden van de onderdelen op een stapel (*bin*), om daarna de positie van een object te bepalen met ICP (*iterative closer point*). Een andere besproken methode is om eerst CCP (*computed closer point*) toe te passen en daarna ICP. CCP zal zorgen voor een ruwe schatting van de positie om daarna een nauwkeuriger positie te bekomen met ICP.

2.1.1 Systeem

De opstelling die gebruikt wordt voor het scannen van de objecten bestaat uit een laserlijn en een camera (enkele camera, geen stereovisie). Er is ook een grijper aanwezig op de robot om uiteindelijk het object (sanitaironderdeel) te grijpen. De opstelling is weergegeven in figuur 2.1.

De laserlijn belicht de contouren van de objecten, de laser kan roteren (in stappen) teneinde het volledige oppervlak te belichten. De camera zal de laserlijn telkens waarnemen. Door de geometrische relatie tussen de laser en camera kan een 3D-puntenwolk gereconstrueerd worden. De 3D puntenwolk bevat informatie over de verschillende objecten van de stapel. Een segmentatie van de objecten is nodig om het bovenste object te identificeren.

Om de robot aan te sturen om het object te grijpen moet de positie van het object bepaald worden. In dit artikel gaan ze te werk met een gekende 3D-puntenwolk van het model in het basisframe, ${}^B x_M = \begin{bmatrix} p_M & \theta_M \end{bmatrix}^T$.



Figuur 2.1: Systeem configuratie [5]

Om de positie van het object (D) te herleiden tot het basisframe moeten de nodige transformatiematrices berekend worden. De transformatie van het model ten opzichte van het basisframe (2.1) en de transformatie van het object tot het model (2.2) zijn hier voor nodig. Hieruit volgt dat de transformatie van het object tot het basisframe gelijk is aan ${}^B_D T = {}^B_M T \cdot {}^M_D T$.

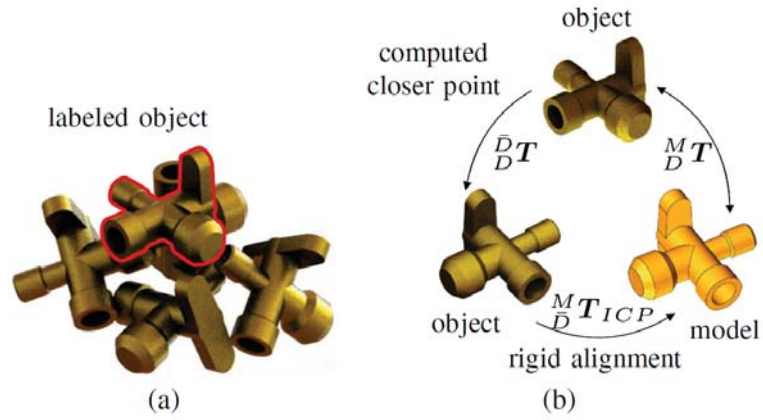
$${}^B_M T = \begin{bmatrix} {}^B_M R(\theta_M) & {}^B p_M \\ 000 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$${}^M_D T = \begin{bmatrix} {}^M_D R(\theta_D) & {}^M p_D \\ 000 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

De positie van het object, $\begin{bmatrix} {}^T p_D & {}^T \theta_D \end{bmatrix}^T$, is niet gekend. Het ICP-algoritme kan de twee puntwolken (model en object) matchen met elkaar en zo de transformatiematrix van het object naar het model schatten. De 'matching' kan mislukken als de waarde voor ${}^M p_D$ en θ_D te groot is, wat vaak voorkomt. Dit probleem kan opgelost worden door de CCP-aanpak. Het CCP-algoritme gaat een ruwe schatting doen van de positie door de afwijking tussen het object en het model te reduceren. Het oorspronkelijk object wordt eigenlijk getransformeerd naar een positie dichterbij het model, transformatiematrix (2.3). Op de getransformeerde objectgegevens wordt dan het ICP-algoritme toegepast om een nauwkeurige positie te bekomen. De transformatie van het object naar het model is dan ${}^M_D T = {}^M_{\bar{D}} T_{ICP} \cdot \bar{D}_D T$.

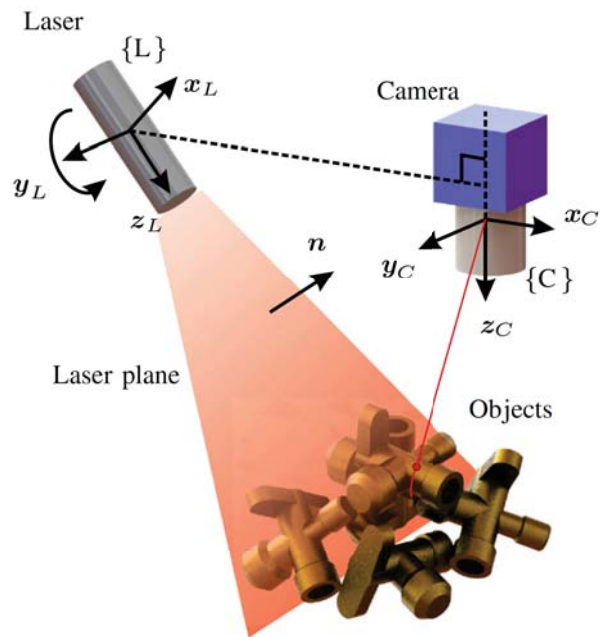
$$\bar{D}_D T = \begin{bmatrix} \bar{D}_D R(\theta_M) & \bar{D}_D p_D \\ 000 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Deze aanpak is schematisch weergegeven in figuur 2.2.

Figuur 2.2: Schematische voorstelling van *matching* [5]

2.1.2 Point cloud reconstruction

Om het 3D-beeld te reconstrueren wordt gebruikgemaakt van een laser en camera in een bepaalde geometrische verhouding, figuur 2.3. De transformatiematrix van de laserlijn (L) naar het camera frame (C) wordt weergegeven in vergelijking (2.4).



Figuur 2.3: Reconstructiesysteem [5]

$${}^C_L T = \begin{bmatrix} {}^C_L R(\theta_M) & {}^C_{PLORG} \\ 000 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

De vergelijking van het laservlak in het camera-assenstelsel is nu noodzakelijk. De laser roteert rond de y-as met rotatiehoek θ_y . Met behulp van de rotatiematrix kan de normaalvector (2.5) van het laservlak gevonden worden in het camera-assenstelsel.

$$C_n = {}^C_L R \cdot L_n = \begin{bmatrix} \cos(\theta_y) \\ 0 \\ -\sin(\theta_y) \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

De vergelijking van het vlak wordt:

$$\begin{aligned} C_{n_x} \cdot x + C_{n_y} \cdot y + C_{n_z} \cdot z - C_n \cdot C_{p_{LORG}} &= 0 \\ \cos(\theta_y) \cdot x - \sin(\theta_y) \cdot z - C_n \cdot C_{p_{LORG}} &= 0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

De camera maakt vervolgens een afbeelding van de objecten die door de laser belicht zijn. In de afbeelding wordt de geprojecteerde (vervormde) laserlijn weergegeven. De vergelijking van de lijn van de camera naar het punt in de afbeelding (vergelijking 2.7) kan bepaald worden door het optisch middelpunt van de camera en een punt in de afbeelding $r = (u, v)$.

$$l(s) = \begin{cases} x = s \cdot u \\ y = s \cdot v \\ z = s \cdot f \end{cases} \quad (2.7)$$

Het punt waar de lijn en het vlak elkaar kruisen behoort tot een object. Door vergelijking 2.8 op te lossen kan dan een waarde voor s gevonden worden en zo dus ook de 3D-positie van punt r .

$$\cos(\theta_y) \cdot s \cdot u - \sin(\theta_y) \cdot s \cdot f - C_n \cdot C_{p_{LORG}} = 0 \quad (2.8)$$

Segmentatie

De verkregen puntenwolk bevat informatie over meerdere objecten. Voor de positieschatting is informatie van één object nodig, daarom is segmenteren zeer belangrijk. 'Neighboring point labeling' wordt hiervoor gebruikt om de punten van het bovenste object te herkennen in de puntenwolk. Het hoogste punt wordt eerst geselecteerd, als startpunt. Het systeem zal gaan zoeken naar naburige punten door het berekenen van de afstand tussen deze twee punten. Wetende dat de afstand tussen twee punten van één object kleiner is dan de afstand van twee verschillende objecten. De voorwaarde is $d < d_{drempel}$. Als punten aan de voorwaarde voldoen behoren ze tot het object en zullen ze gebruikt worden om andere punten van het object te zoeken. Na het herkennen van alle naburige punten, kent het systeem de puntwolk van het bovenste object.

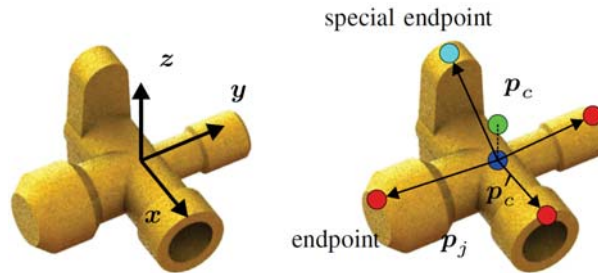
2.1.3 Positiebepaling

Het ICP-algoritme wordt gebruikt voor de transformatie van het model (M) naar de datapuntenwolk (D). De puntenwolk van het model wordt gegenereerd vanuit het gekende 3D-object (artikel figuur 6a). Het vormt een probleem als het object complex is en de afwijking groot is. Dit probleem kan opgelost worden door eerst de CCP-aanpak toe te passen om de positie ruw te schatten.

CCP

Het sanitair onderdeel bestaat uit drie cilindervormige en één ellipsvormige geometrie. Wegens de symmetrie van het object zal maar de helft van het object beschouwd worden.

Het CCP-principe bestaat uit verschillende stappen. De eerste stap is het middelpunt, p_c , van de puntwolk bepalen door het gemiddelde te berekenen van alle punten in de puntenwolk. Dan worden de punten geselecteerd die binnen een afstand s liggen van het middelpunt, $|p_i - p_c| \leq s$. Uit deze punten wordt dan een nieuw middelpunt, p'_c , berekend. Dit punt is dichter bij het oppervlak. De volgende stap is het bepalen van de vier hoekpunten, de langste afstand tussen punten in vier verschillende richtingen (figuur 2.4). Vervolgens kunnen de vectoren berekend worden vanuit het middelpunt naar de hoekpunten. Bij de vierde stap wordt het middelpunt, p_e bepaald op basis van de vier hoekpunten. In deze stap wordt ook de eenheidsvector, ν , gedefinieerd. De vectoren van de derde stap kunnen nu geprojecteerd worden volgens ν . De twee hoeken met minimale projectiewaarde kunnen beschouwd worden als de eindpunten van de cilinders. Met behulp van een vlak en een cirkel kan het speciale eindpunt gevonden worden. De andere drie eindpunten worden aan een groep toegekend namelijk A, B en C.



Figuur 2.4: Special endpoints [5]

In de zesde stap worden de lijnen bepaald tussen de eindpunten en het centerpunt p'_c , behalve voor het speciaal eindpunt. Het volgende is een drempelwaarde, τ , kiezen om te classificeren welke punten bij welke groep hoort. Dus de afstand tussen een punt en het eindpunt moet kleiner zijn als τ en de afstand tussen de betreffende lijn en het punt is het kleinste. Hierna wordt van elke groep het gemiddelde berekend en de eenheidsvectoren in de richting van p'_c bepaald. In de laatste stap wordt het inwendige product (scalair product) tussen de twee vectoren (stap 3 en stap 7) berekend. De vector met het kleinste inwendige product wordt de $x - as$ aan toegekend. De $y - as$ wordt toegekend door een middelpunt van de andere twee groepen namelijk dat met de kortste afstand tot het middelpunt loodrecht op de $x - as$. De richting van het object is dan:

$$\overline{D}R = \begin{bmatrix} x_D & y_D & z_D \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Transformatiematrix van de grijper

Met de CCP-aanpak kan de transformatiematrix $\bar{D}T$ (2.3) bepaald worden. Door deze transformatie kan nu het ICP-algoritme toegepast worden en resulteert in de matrix $\frac{M}{D}T_{ICP}$ (2.2). De transformatie van het basisframe naar het object, $\frac{B}{D}T$, kan dan ook berekend worden op voorgaande manier. Op voorhand is ook de transformatiematrix tussen de grijper en het objectframe (camera) bepaald. De matrix van de grijper in het basisframe kan dan berekend worden:

$$\frac{B}{G}T = \frac{B}{D}T \cdot \frac{G}{D}T^{-1} = \frac{B}{M}T \cdot \frac{M}{D}T_{ICP} \cdot \bar{D}T \cdot \frac{G}{D}T^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{B}{G}R(\theta_G) & \frac{B}{G}p_G \\ 000 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

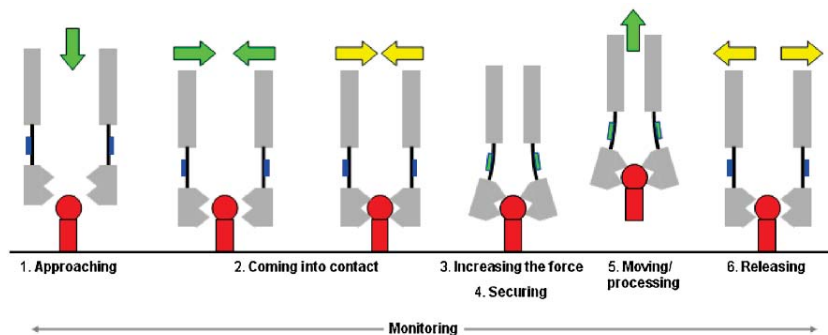
2.2 Grijptechnieken

In deze sectie wordt een beknopt overzicht van de bestaande grijptechnieken gegeven. Aan de hand van toepassingsvoorbeelden worden de belangrijkste voor- en nadelen aangehaald. Ook wordt er gekeken naar alles rondom het grijpproces zoals bijvoorbeeld monitoring. De inhoud wordt hoofdzakelijk opgesteld aan de hand van volgende bronnen: [6], [7], [8], [9], [10] en [11].

Dit overzicht is niet volledig omwille van het oneindig aantal mogelijk combinaties en configuraties. Maar biedt wel de mogelijkheid inzicht te krijgen om zo te kunnen oordelen wat mogelijk toepasbaar is voor het grijpen van printplaten.

2.2.1 Grijpproces

Het grijpproces kan op zich worden omschreven als een proces van 6 stappen. Als eerst moet het te grijpen voorwerp worden benaderd. Vervolgens wordt de grijper in contact gebracht met het voorwerp of voor sommige grijpers tot op een bepaalde afstand om het krachtveld te laten werken. Dan wordt deze grijpkracht verhoogd tot het voorwerp voldoende is gezekerd. De gewenste handeling kan nu worden uitgevoerd met het object om het vervolgens opnieuw los te laten.



Figuur 2.5: Grijpproces [9]

De functies beschreven in bovenstaande stappen kunnen ook opgedeeld worden in drie onderdelen: de grijpprincipes, de losprincipes en de manier waarop het grijpproces wordt gemonitord.

2.2.2 Grijpprincipes

2.2.2.1 Mechanische wrijving en insluiting

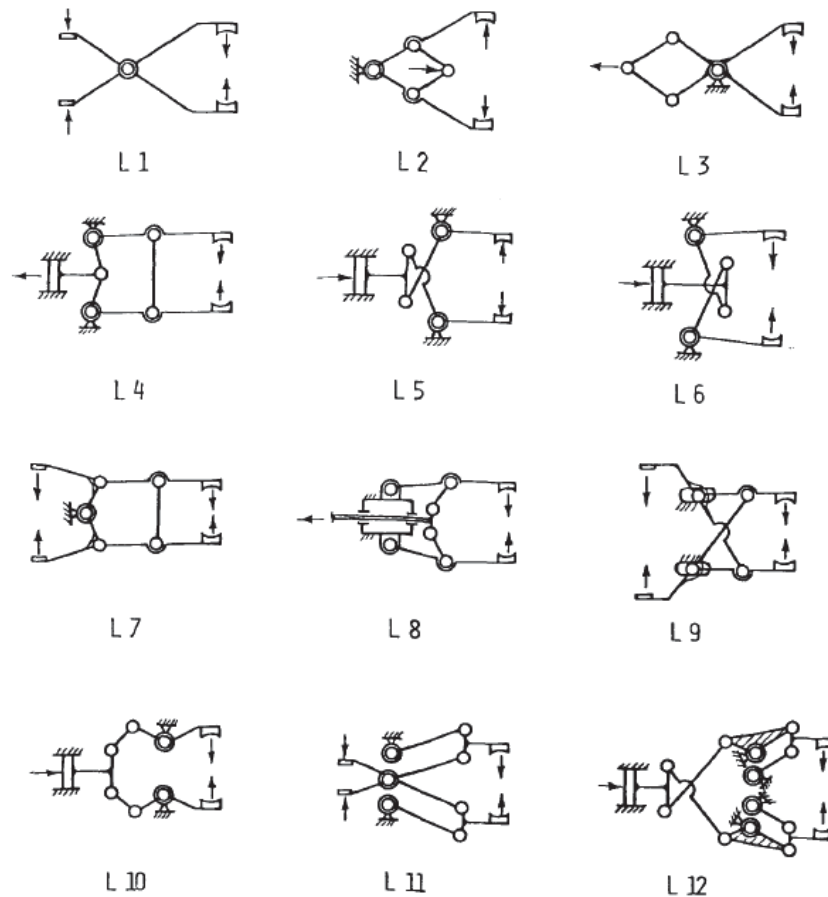
Hieronder vallen de meest gekende en gebruikte grijptechnieken. Hierbinnen onderscheid men twee groepen, de technieken op basis van mechanische insluiting en die op basis van mechanische wrijving.

Bij de grijptechnieken op basis van mechanische insluiting wordt het grijppoppervlak zodanig ontworpen dat het te grijpen voorwerp deels of volledig wordt omsloten en zo kan worden vastgenomen. Een nadeel dat hier uit voortvloeit is dat de grijper vaak wordt ontworpen en geoptimaliseerd voor een specifiek voorwerp waardoor deze minder universeel is in toepassing. Dit nadeel moet wel worden afgewogen tegen het feit dat de benodigde sluitkrachten vrij laag zijn en dat de vorm van de grijper de oriëntatie van het te grijpen voorwerp kan bepalen/verzekeren wat bijgevolg de positioneernauwkeurigheid verhoogt.

De techniek van mechanische wrijving werkt op basis van wrijving tussen het grijperoppervlak en het object. De grootte van de draagkracht van de grijper wordt bepaald door de maximaal haalbare statische wrijving. Bijgevolg wordt deze bepaald door de statische wrijvingscoëfficiënt tussen grijppoppervlak en object en de uitgeoefende normaalkracht, anders gezegd de klemkracht van de grijper. Dit brengt enkele gevolgen met zich mee, zo kan de grijpkracht worden verhoogd door de klemkracht van de grijper te vergroten. Dit kan bij fragiele objecten wel beschadigingen veroorzaken. Een andere optie kan zijn de grijppoppervlakken uit te voeren in een materiaal met een hoge wrijvingscoëfficiënt. Verder kan de draagkracht negatief worden beïnvloed door vuil dat zich op het grijppoppervlak bevindt. Een voordeel van dit principe is wel dat het vaak universeeler is dan een vormgesloten grijpprincipe.

De grijper voor beide principes is uit 3 hoofdonderdelen opgebouwd: een actuator, een stangenmechanisme en het grijppoppervlak.

De actuatoren kunnen worden aangedreven op basis van verschillende media waaronder bijvoorbeeld perslucht, hydraulisch, elektrisch... De keuze hiervan is afhankelijk van de benodigde kracht, kostprijs, inbouwmaat, werkomgeving (bv. ATEX), positioneernauwkeurigheid... De energie kan worden aangevoerd in de vorm van een translaterende of roterende actuator. Een roterende actuator geeft over het algemeen een groter bereik in beweging tegen een lagere kostprijs en een lagere haalbare nauwkeurigheid. De beweging van de actuator wordt in veel gevallen omgezet door middel van een stangenmechanisme in de beweging van de grijppoppervlakken. De mechanismen kunnen in nagenoeg oneindig aantal mogelijkheden worden uitgevoerd, een klein overzicht wordt weergegeven in figuur 2.6.



Figuur 2.6: Stangenmechaismen voor grijpers [6]

De mechanismen kunnen om verschillende redenen worden toegepast. Een aantal voorbeelden hiervan zijn: het vergroten van het grijpbereik, de grijpoppervlakken een bepaald traject laten volgen, het evenwijdig houden van de bekken van een grijper door gebruik te maken van parallelogrammen... Verder onderscheid tussen de mechanismen kan gemaakt worden in de mate waarin de grijpkracht wordt vergroot/verkleind, de grijpkracht in de verschillende standen van de grijper, het aantal armen van de grijper... Verder kunnen er ook extra onderdelen worden toegevoegd aan de grijper om prestaties te verbeteren. Een voorbeeld hiervan is de grijper uit te voeren met verende onderdelen. Hierdoor kan er een blijvende grijpkracht verzekerd worden bij het grijpen van vervormbare objecten.

Een speciaal voorbeeld van deze techniek zijn de ondergeactueerde grijpers. Deze grijpers beschikken over meer vrijheidsgraden dan werkelijk worden aangestuurd. Hierdoor kan een relatief complexe grijper op een relatief eenvoudige manier worden aangestuurd. De grijpkracht kan hier worden opgewekt door gelijkaardige actuatoren als eerder besproken en worden vaak overgedragen door middel van kabelsystemen. Andere mogelijkheden hiervoor worden besproken in de paragraaf over *soft grippers* aangezien ze hier kort bij aanleunen.

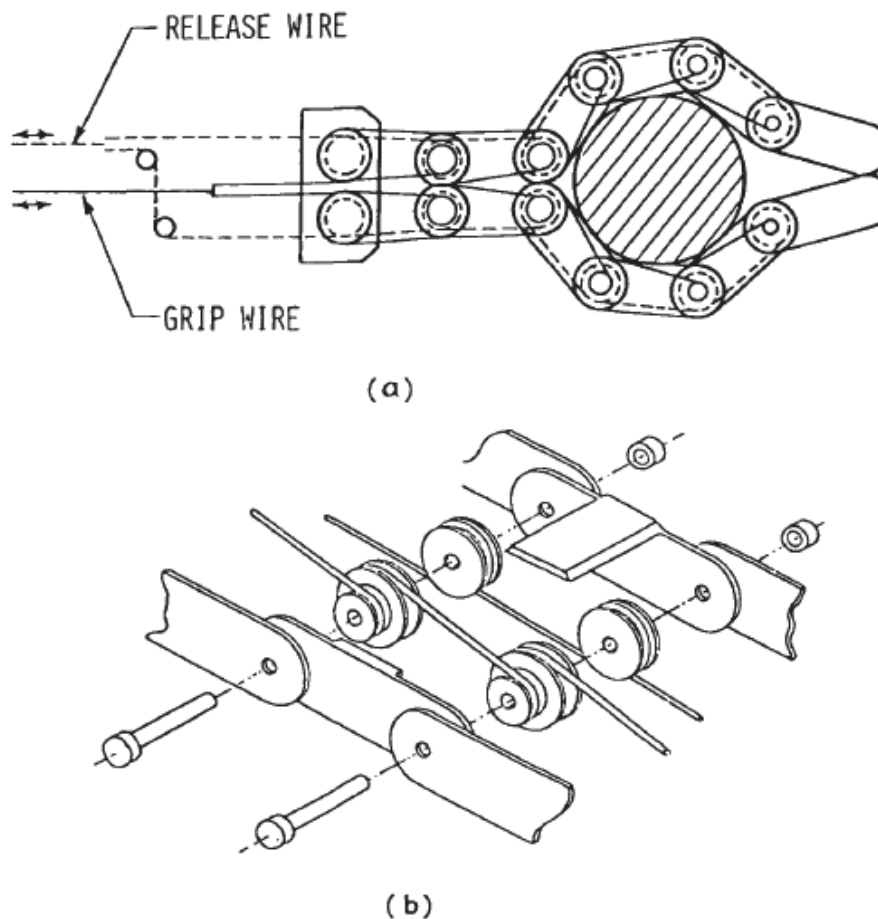


Fig. 24(a). Soft-finger gripper. (b) Pulley-and-wire mechanism for soft finger.

Figuur 2.7: Ondergeactueerde grijper [6]

Het grote voordeel van dit grijpertype is zijn aanpasbaarheid aan de vorm het te grijpen object door het groot aantal vrijheidsgraden en bijgevolg ook de grote flexibiliteit waarmee dit grijpertype kan toegepast worden.

Een ander speciaal voorbeeld zijn mechanische grijpers waarvan de grijpoppervlakken bestaan uit aangedreven onderdelen, een voorbeeld hiervan is de *traction gripper*. Dit is als het ware een gewone mechanische grijper waarbij de grijpoppervlakken zijn uitgerust met riemen/transportbanden. Deze riemen hebben een hoge wrijvingscoëfficiënt. Ook voegen de riemen de extra functionaliteit toe dat voorwerpen kunnen worden rondgedraaid in de grijper (*in-hand manipulation*). In figuur 2.8 worden enkele voorbeelden weergegeven van grijpers die binnen deze categorie vallen.

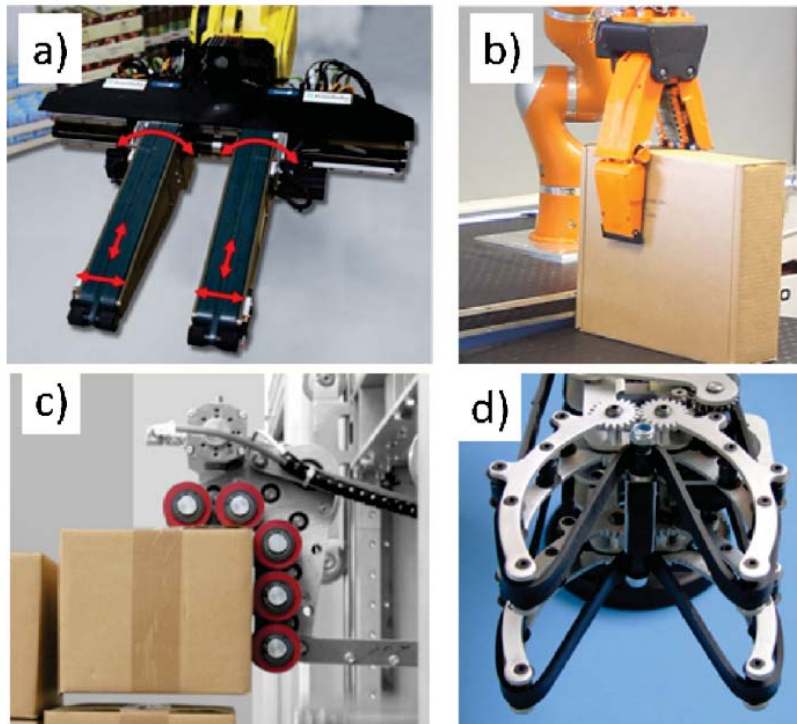


Fig. 37. (a) The *Roll-On Gripper*; (b) the *Velvet Finger* with a small beer box [206]; (c) the *Traction Gripper*; (d) the *Robotic hand effector* with detail of the active belts. Figures reproduced with permission of (a) Fraunhofer IPA; (b) Centro E. Piaggio; (c) Fraunhofer IML; (d) Robin Read).

Figuur 2.8: Grijpers met aangedreven grijpoppervlakken [9]

2.2.2.2 Zuigkracht

Bij grijpers gebaseerd op een vacuümprincipe wordt de grijpkracht gegenereerd door een ruimte tussen de gripper en het object die op onderdruk wordt gebracht ten opzichte van de omgeving. Deze grijpers bestaan over het algemeen uit 2 onderdelen: een medium om het vacuüm op te wekken en een ruimte die in contact wordt met het object en op vacuüm wordt gebracht (bv. zuignap). Verder kan de werking van de gripper worden verbeterd door allerlei extra's toe te voegen. De draagkracht van de gripper wordt bepaald door de grootte van het geprojecteerde contactoppervlak met het werkstuk en de grootte van de onderdruk. Dit type grijpers kan beter omgaan met “sheet”-achtige materialen dan grijpers op basis van mechanische insluiting. Ze hebben het voordeel dat ze kunnen grijpen op grote gladde oppervlakken.

Om de onderdruk op te wekken zijn er meerder mogelijkheden. Veelvuldig wordt er gebruikgemaakt van vacuümgeneratoren. Hier wordt een vacuüm opgewekt aan de hand van perslucht door gebruik te maken van het venturi-effect. Deze techniek is zeer populair aangezien perslucht op nagenoeg alle bedrijven ter beschikking is. Deze vacuümgeneratoren worden vooral toegepast wanneer er maar een relatief klein zuigdebiet nodig is. Wanneer er de behoefte is voor een groter debiet kan er gebruik gemaakt worden van vacuümventilatoren. Deze keuze gaat vaak wel gepaard met een verlaging van de maximum haalbare onderdruk.

Voor de ruimte op onderdruk wordt er in de praktijk vaak gebruikgemaakt van zuignappen. Deze kunnen uit verschillende materialen en in verschillende maten en modellen worden uitgevoerd zoals weergeven in figuur 2.9.



Figuur 2.9: Verschillende vormen en maten zuignappen [12]

De materiaalkeuze is afhankelijk van de werkomgeving, grootte van de zuignap, slijtvastheid, benodigde flexibiliteit . . . enkele veelgebruikte voorbeelden zijn: EPDM, POM, NBR. Belangrijk is dat er een goede dichting ontstaat tussen het werkstuk en de grijper zodat er gemakkelijk een onderdruk kan worden opgewekt. Aangezien de grijper afhankelijk is van een goede afdichting met het grijpoppervlak is deze ook afhankelijk van vuil dat zich aan deze oppervlakken bevindt. Dit kan de dichting verslechteren of opgezogen worden en in de rest van het pneumatische systeem terecht komen waar het voor verstoppingen of andere schade kan leiden.

Een speciale vorm van vacuümgrijpers zijn de zogenaamde *sack grippers*. Deze worden in de praktijk vaak toegepast voor het opnemen van grote papieren of plasticen zakken. Omdat in deze situatie een goede dichting met het object niet altijd haalbaar is wordt er gezogen met een groot debiet om alsnog een onderdruk te kunnen creëren. De grijper zelf bestaat uit een grote kamer met daarop een afdichtende ring. Deze afdichtende ring kan variëren in vorm en materiaal naargelang de toepassing. Aangezien het zeer grote aanbod hiervan, wordt hier niet specifiek op ingegaan. Een voorbeeld wordt weergegeven in figuur 2.10.

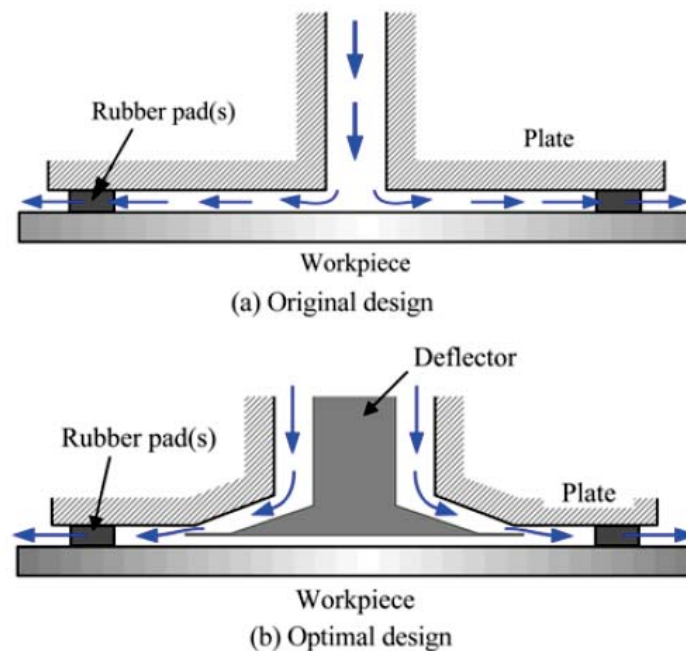


Figuur 2.10: *Sack gripper* [13]

2.2.2.3 Bernoulli en vortex

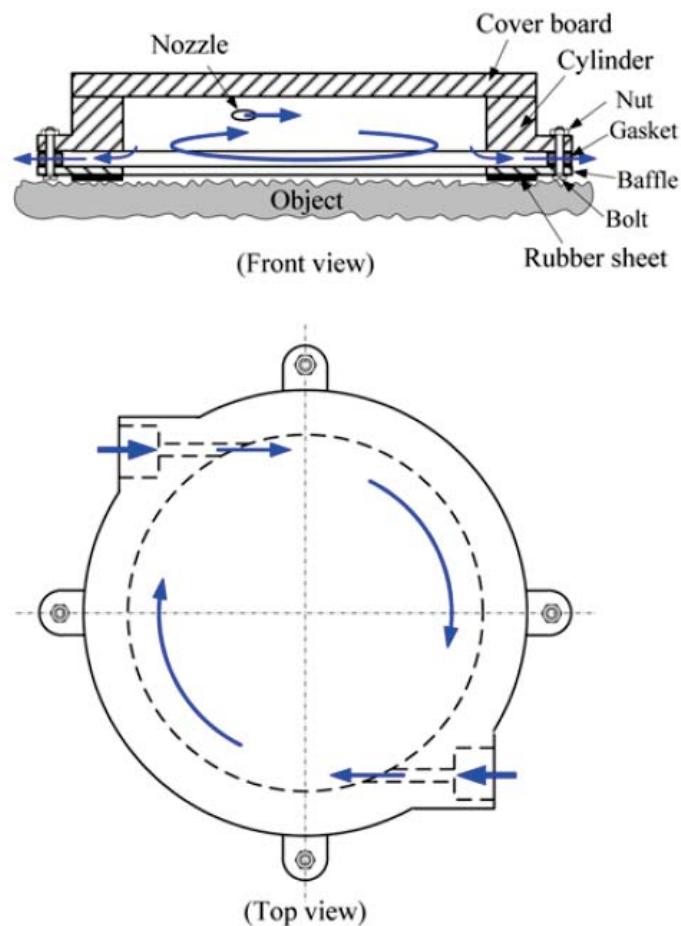
De grijpers zijn relatief nieuw en vullen een gat op in de markt tussen de bestaande grijptechnieken. Mechanische grijpers kunnen algemeen moeilijk omgaan met fragiele delen of met objecten met een grote oppervlakte-dikte verhouding. Vaak worden er in deze gevallen dan pneumatische zuignapgrijpers aangewend. Deze hebben de nadelen dat ze niet kunnen omgaan met ruwe grijpoppervlakken of vuil dat zich op de oppervlakken bevindt. Net om deze redenen werden de Bernoulli- en vortexgrijpers ontwikkeld. Ze werken op perslucht door gebruik te maken van het inertiële effect van lucht waardoor er geen vervuiling in het pneumatische systeem terecht komt. Een goede afdichting met het te grijpen product is niet noodzakelijk waardoor de ruwheid minder invloed heeft. Het werkingsprincipe van de grijpers op zich wordt hieronder uitgelegd.

De Bernoulligrijper bestaat uit een circulaire plaat met een gat in het midden voor de lucht-aanvoer. Deze lucht stroomt weg tussen de plaat en het werkstuk volgens de radiale richting. Deze luchtstroom kan worden geoptimaliseerd als weergegeven in figuur 2.11. Het stromingsoppervlak in deze richting vergroot met een vertraging van de stroming en een drukstijging tot gevolg. Hierdoor wordt een interne onderdruk gecreëerd. Een belangrijke ontwerpparameter is de hoogte van dit doorstroomkanaal.



Figuur 2.11: Opbouw Bernoulligrijper [7]

De vortexgrijper bestaat uit een cilindrische kamer waarin langs 2 overstaande kanten tangenteel lucht wordt aangevoerd. Deze tangentele aanvoer wekt een vortex in de kamer op als weergegeven in figuur 2.12. Door de middelpuntvliedende kracht begeeft al de lucht in de kamer zich naar de buitenkant. Hierdoor wordt er een onderdruk in het centrum van de grijper gegenereerd.



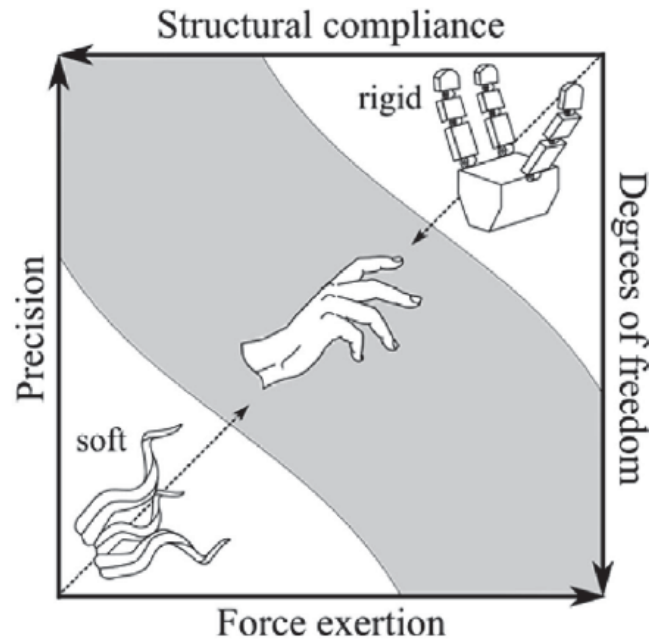
Figuur 2.12: Opbouw vortexgrijper [7]

2.2.2.4 Magnetisme

De magnetische grijpers wekken een magnetische aantrekkingskracht op tussen het te grijpen voorwerp en de grijper zelf. Deze aantrekkingskracht zorgt voor wrijving tussen het voorwerp en de grijper waardoor het voorwerp wordt gezeerd in alle richtingen. Uiteraard stelt dit de eis dat de te grijpen voorwerpen enig magnetisch karakter moeten hebben. Het magnetische veld wordt meestal opgewekt met behulp van een elektromagneet. Deze bestaat uit een spoel waardoor er stroom wordt gestuurd, hiermee kan men de grootte en richting van het magnetisch veld bepalen. Alternatief kan er gebruikgemaakt worden van een permanente magneet. Deze vraagt geen extra vermogen om het veld op te wekken maar heeft wel een aantal andere nadelen. Zo ligt de grootte van het magnetisch veld vast en wordt deze bepaald bij het ontwerpen van de grijper. Voor het lossen van het voorwerp zal er een afwerpmechanisme moeten worden voorzien om het voorwerp van de magneet te verwijderen aangezien de magneet niet kan worden uitgeschakeld. Dit staat in tegenstelling tot de elektromagneet waarbij de zwaartekracht in vele gevallen volstaat om het residuele magnetisme te overwinnen.

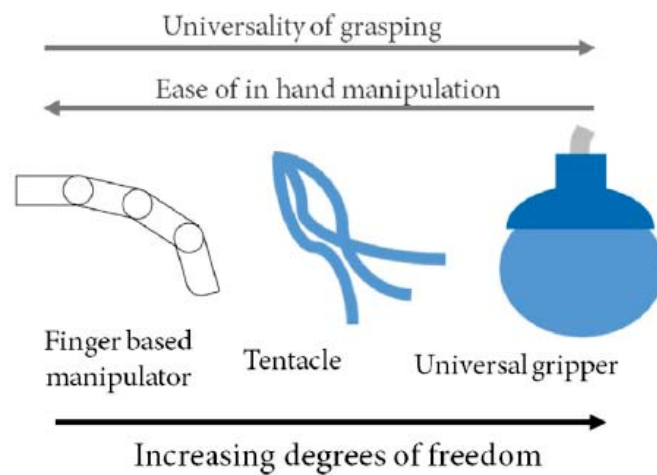
2.2.2.5 Soft grippers

Zoals eerder besproken wordt er gestreefd naar grippers met een zeer grote flexibiliteit die de prestaties van de menselijke hand benadert. Een voorbeeld van een oplossing was grippers maken met een groot aantal vrijheidsgraden. Dit had als gevolg een vergroting van de complexiteit om de grippers aan te sturen. Een mogelijke oplossing hiervoor werd ook al gegeven, ondergeactueerde grippers. Een andere mogelijke insteek is het toepassen van zogenaamde soft manipulators. Deze geven een hoger haalbare vrijheid tegen een lagere flexibiliteit en haalbare precisie als geïllustreerd in figuur 2.13.



Figuur 2.13: Positie van soft en rigid manipulators in de 2D-ontwerpruimte [10]

De soft manipulators zijn als hun naam insinueert opgebouwd uit zeer flexibele/zachte materialen. Anders gezegd materialen met een lage E-modulus gelijkaardig aan die van zachte biologische materialen als de menselijke huid. Vaak worden er hiervoor in de praktijk allereerste rubbers gebruikt. Deze introduceren enkele problemen op vlak van simulatie en controle door de niet-lineariteiten, zoals grote vervormingen en niet-lineaire spanningsrekdiagramma. De gripper zelf kan in ondenkbaar veel vormen en maten geconstrueerd worden om zo goed mogelijk zijn functie te kunnen vervullen. Deze mogelijkheden gaan van tentakelachtige grippers tot balgachtige universele grippers als weergeven in figuur 2.14.



Figuur 2.14: Verhouding van DOF, universaliteit en gemak van inhandminipulatie voor verschillende ontwerpen *softgrippers* [10]

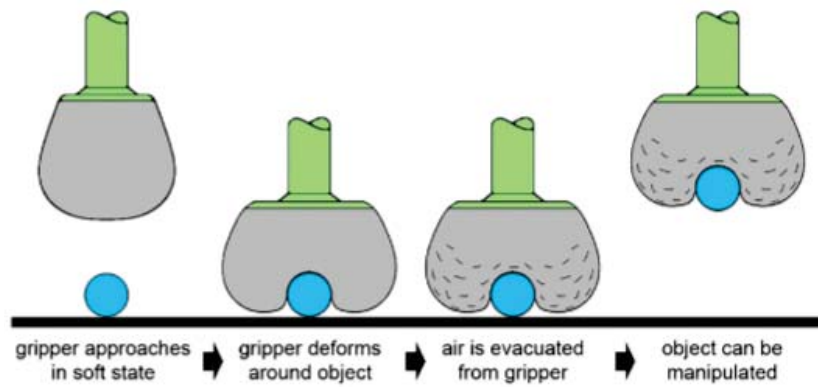
Vaak worden deze grippers geproduceerd aan de hand van nieuwe *additive manufacturing* principes om zo met complexe structuren en geometrieën te kunnen werken. Voor de gripper te actueren bestaan er meerdere opties waaronder: pneumatisch, kabelgedreven, *shape memory alloy*...

De meest gekende pneumatische aandrijving zijn de kunstmatige spieren. Deze bestaan uit een uittrekbaar membraan omgeven voor een net/kous. Door het membraan inwendig op druk te brengen zal dit uitzetten waardoor de spier verlengd. Wanneer de druk wordt weggelaten zal de spier terugkeren naar zijn oorspronkelijk toestand door het membraan.

Een andere optie is een kabelgedreven gripper. Hiermee wordt de kracht van actuatoren overgedragen via kabels naar het grijpmechanisme. Hierdoor kan met beperkte plaats toch eenvoudig een groot aantal vrijheidsgraden worden aangestuurd. Dit principe kwam ook al reeds aan bod bij de ondergeactueerde grippers.

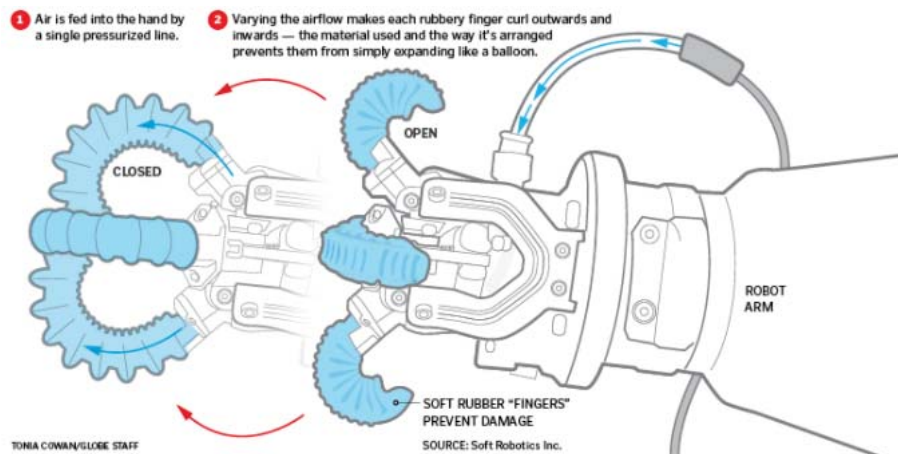
Verder kan er ook gewerkt worden met *shape memory alloys*. Dit zijn materialen die vervormbaar zijn maar bij verwarming terugkeren naar hun oorspronkelijke staat. Dit effect kan gebruikt worden om onderdelen van de gripper zelf uit op te bouwen of als *standalone* actuator om te werken met een kabelsysteem zoals eerder vermeld.

Een goed gekende techniek binnen de *softgrippers* is de zogenaamde *jamming gripper* 2.15. De zogenaamde *jamming gripper*, figuur 2.15, bestaat uit een flexibel membraan gevuld met granulaat. De zak met granulaat kan zich aanpassen aan het te grijpen voorwerp en zich er deels rond vormen. Wanneer de ruimte met granulaat vacuüm wordt gezogen wordt de zak onvervormbaar waardoor het voorwerp wordt vastgeklemd op basis van mechanische insluiting en/of wrijving.



Figuur 2.15: Werking *jamming gripper* [14]

Een ander voorbeeld zijn tentakelachtige grijpers. Een werkende opstelling wordt weergegeven in figuur 2.16.



Figuur 2.16: Tentakelgrijper [8]

De tentakels zijn hol aan de binnenkant en kunnen worden gevuld met perslucht. De tentakels zijn zo gevormd dat indien ze gevuld worden ze uitzetten en een klemmende beweging maken.

Verder kunnen er ook hybride systemen gemaakt worden zoals tentakelgebaseerde grijpers die deels ondersteund worden door *rigid links* om zo de positioneer-nauwkeurigheid en draagkracht te verhogen.

2.2.2.6 Indringende voorwerpen

De grijper bestaat bij deze techniek uit één of meerdere onderdelen die het te grijpen voorwerp binnen dringen om het zo te kunnen zekeren. Deze techniek wordt veelvuldig toegepast binnen de voedingsindustrie en jute. Het grootste nadeel van deze techniek is zijn destructieve aard. Wanneer dit destructieve effect niet noemenswaardig is of onbelangrijk voor het proces kan deze techniek wel leiden tot een zeer eenvoudige en efficiënte oplossing voor anders moeilijk hanteerbare producten.

Een eerste voorbeeld van dit grijpprincipe is de zogenaamde *needle gripper*. Deze bestaat uit enkele naalden die schuin het voorwerp intreden zoals geïllustreerd in figuur 2.17.



Figuur 2.17: *Needle gripper* [15]

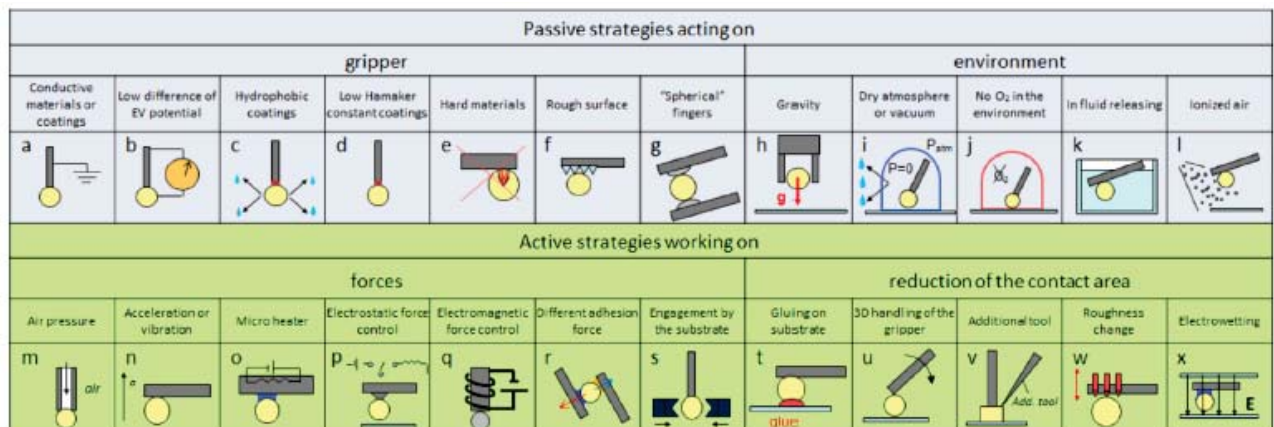
Hier biedt deze techniek grote voordelen ten opzichte van vacuüm of mechanische principes aangezien ze luchtdoorlatend, niet vormvast en heel grillig van vorm kunnen zijn.

Bij bovenstaande voorwerpen kan de grijper gemakkelijk zonder veel kracht indringen in de te grijpen voorwerpen. Wanneer dit niet mogelijk is kan er gebruikgemaakt worden van het *punch-screw* principe. Hier wordt er met behulp van een krachtige punch eerst een gat gemaakt in het object waarna de grijper hierin kan vastklemmen. Deze grijper kan bestaan uit een schroef, uitzettende doorn... Wanneer er zich reeds gaten in het product bevinden kan hier ook in gegrepen worden maar op dat moment bevinden we ons eerder onder de noemer mechanische insluiting of wrijving.

2.2.3 Losprincipes

Deze functie kunnen we opdelen binnen 2 groepen, de actieve en passieve principes. De passieve principes worden het meeste gebruikt. Over het algemeen wordt er berust op de zwaartekracht om de residuele grijpkracht te overwinnen. Verder bestaan er nog een groot aantal andere technieken al dan niet voor specifieke grijpprincipes waaronder bijvoorbeeld: aarden van de grippers, aanbrengen van oppervlaktecoating enzovoort als weergegeven in onderstaande figuur.

Bij de actieve principes wordt er beroep gedaan op een extra kracht om de residuele grijpkracht te overwinnen. Deze kan bijvoorbeeld bestaan uit luchtdruk uitgeoefend op het voorwerp, een schrapende beweging, de inertiekracht van het voorwerp zelf of vele andere zoals weergegeven in figuur 2.18.



Figuur 2.18: Losprincipes [9]

2.2.4 Monitoringprincipes

Doorheen het grijproces kunnen of moeten in vele gevallen een aantal parameters gemonitord worden. Eén van die parameters is de aanwezigheidsdetectie van het voorwerp. Dit enerzijds om te controleren of het voorwerp zich op de correcte positie bevindt om het vast te grijpen, of de controle of het product daadwerkelijk gegrepen is en of het product daadwerkelijk gelost is van de gripper. Als tweede kunnen de grijpkrachten worden gemeten met als doel de beschadigen aan een product te voorkomen of om een voldoende grijpkracht te verzekeren bij vervormbare voorwerpen of technieken die berusten op wrijvingskracht zoals hierboven vermeld. Als derde kan ook de oriëntatie van het product in de gripper worden gemeten om zo een accurate positionering van het product te kunnen realiseren. In figuur 2.19 wordt een beknopt overzicht gegeven.

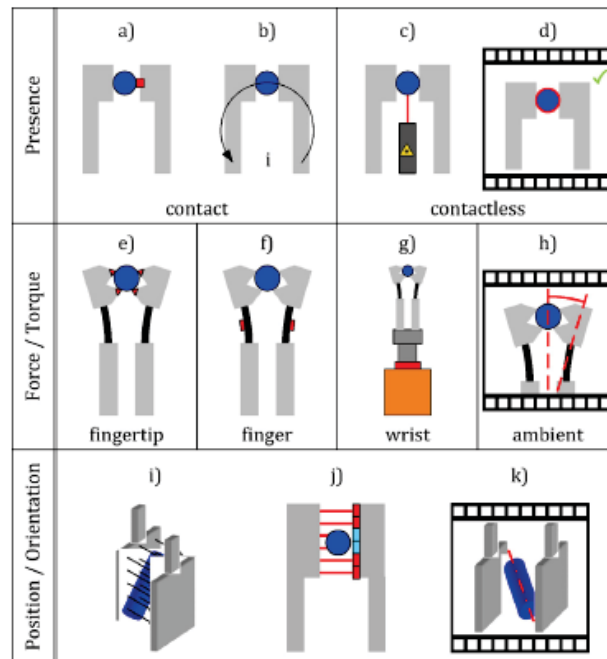


Fig. 5. Sensing principles: (a) Mechanical switch; (b) electrical sensor; (c) photoelectric sensor; (d) vision based; (e) tactile sensor; (f) strain gauges; (g) force/torque sensor; (h) vision based; (i) capacitive or electrostatic; (j) led-photodiode (often IR); (k) vision based monitoring.

Figuur 2.19: Monitoringprincipes [9]

De aanwezigheidsdetectie kan opgedeeld worden in 2 groepen, de contactloze technieken en diegene in contact met het product. De contactloze kunnen onder andere bestaan uit lasers, visiesystemen of hall-effectsensoren verzonken in de contactoppervlakken van de grijper. De technieken in contact met het werkstuk kunnen bijvoorbeeld bestaan uit een krachtsensor aangebracht op het werkstukoppervlak of door middel van een geleidend pad dat wordt gesloten doorheen het werkstuk. Bij de keuze van deze technieken is het belangrijk rekening te houden met het materiaal waaruit het werkstuk is opgebouwd, bijvoorbeeld een geleidend karakter is nodig voor de laatst vermelde detectietechniek.

Het meten van de grijpkracht kan op meerdere locaties en manieren gebeuren. Een aantal voorbeelden hiervan zijn het aanbrengen van druksensoren op het contactoppervlak van de grijper, het aanbrengen van rekstrookjes op andere onderdelen van de grijper, aan de hand van de vervorming hiervan wordt de uitgeoefende grijpkracht bepaald. Een andere optie is het gebruikmaken van een visiesysteem waarmee aan de hand van vervorming van het werkstuk of grijper de uitgeoefende kracht wordt bepaald. Om niet enkel de klemkracht maar ook de kracht waarmee er aan het voorwerp wordt “getrokken of geduwd” te bepalen kunnen er ook krachtsensoren worden aangebracht in de gewrichten die volgen achter de grijper zelf.

Het bepalen van de oriëntatie van het gegrepen voorwerp wordt vaak op meerdere momenten doorgevoerd, allereerst voor het grijpen om een ideale grijppositie te bepalen en na het grijpen nogmaals om een correctie op het verwachte resultaat door te voeren. Ook deze stap kan meermaals worden uitgevoerd aan de hand van een visiesysteem wat aantoont dat deze techniek een zeer groot aantal voordelen biedt tegen de nadelen van een hoge kostprijs en hoge complexiteit. Verder kunnen hier ook nog andere technieken worden toegepast zoals capacitieve sensoren over het grijppoppervlak van de grijper om zo de geometrie van een voorwerp te herkennen.

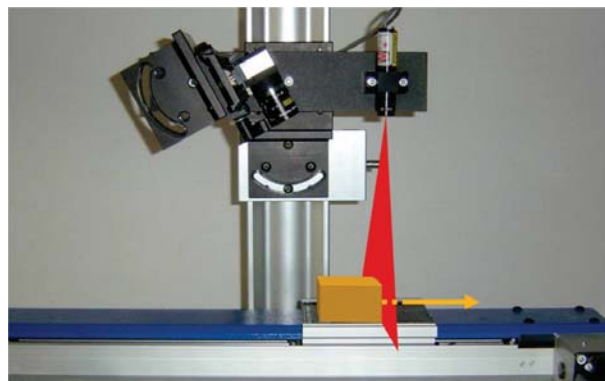
2.3 Visiesystemen

In deze sectie worden enkele visiemethodes besproken. Volgende methodes zijn niet geschikt voor deze toepassing: *photometric stereo*, *depth from focus* en *time of flight*. *Photometric stereo* wordt gebruikt voor het lezen van tekst, oppervlakte-inspectie . . . *Depth from focus* is een zeer nauwkeurige techniek maar is beperkt in werkingshoogte, het werkt enkel bij kleine hoogteveranderingen. *Time of flight* is een zeer onnauwkeurige techniek met veel ruis en lage resolutie. Om bovenstaande redenen zijn deze technieken niet bruikbaar voor dit project. Hieronder worden enkele visiemethodes toegelicht die in aanmerking komen voor dit project. Er zal informatie gegeven worden over het belang van de cameraopstelling. En de positiebepaling van een object wordt kort behandeld.

2.3.1 Visietechnieken

2.3.1.1 Sheet of light

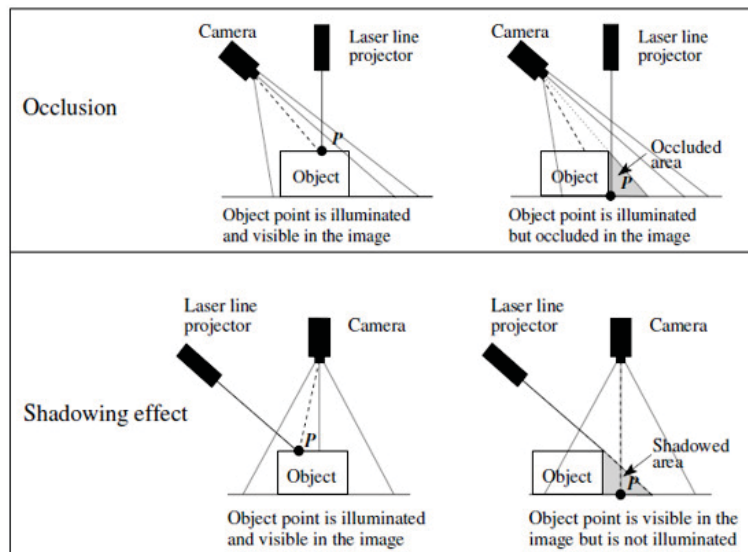
De eerste methode die besproken wordt is de *sheet of light* (SOL). Deze is gebaseerd op het principe van het menselijk 3D-beeld. De componenten voor een SOL-opstelling zijn een laser, 2D-camera en een lineaire beweging. Sheet of light is een methode die werkt volgens het meetprincipe triangulatie. De camera en laser zijn opgesteld onder een bepaalde hoek boven het te scannen oppervlak. De camera kan dan de verandering van de laserlijn waarnemen. Om nu 3D-informatie te bekomen zal het object ten opzichte van de laser en camera lineair moeten bewegen, figuur 2.20. Dit kan door het object op een lineaire geleiding te plaatsen. Of zoals in de meeste gevallen gebeurt, dat de laser en camera bewegen. Energetisch gezien is dat natuurlijk veel interessanter als het over zware objecten (laser en camera wegen meestal minder) gaat.



Figuur 2.20: Lineaire verplaatsing van een object ten opzichte van een camera en laser in een SOL-opstelling [2]

De vraag bij SOL is telkens hoe de camera en laser ten opzichte van het object staan, namelijk staat de laser of camera loodrecht op het oppervlak. Als de laser boven het oppervlak staat en de camera schuin invalt zullen bepaalde punten niet gemeten kunnen worden. Dit probleem heet occlusie. De laser detecteert het object wel maar de camera kan de laserlijn niet waarnemen. In omgekeerde configuratie is het probleem schaduwvorming. Hierbij zal de camera wel alles

kunnen waarnemen maar doordat de laserlijn schuin invalt zal deze niet ieder punt van het object correct kunnen belichten. Dit probleem is ook weergegeven in figuur 2.21.

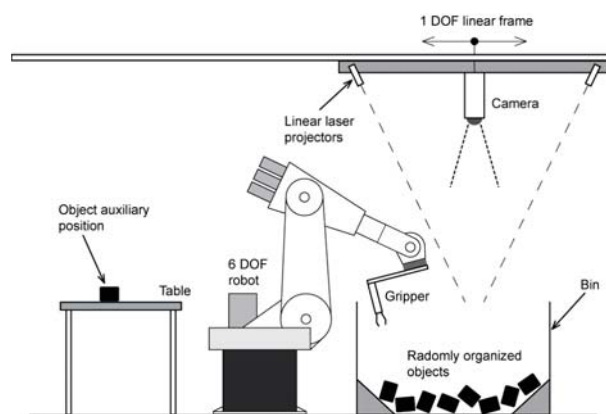


Figuur 2.21: Sheet of light: Occlusion and Shadowing effect [2]

Een kleine of grote triangulatiehoek, hoek tussen laser en camera, heeft hier natuurlijk invloed op. Bij een kleine triangulatiehoek zullen er minder schaduwvorming en oclusies voorkomen. Maar een kleine triangulatiehoek zorgt ook voor een minder nauwkeurige meting. Een grote triangulatiehoek is nauwkeuriger maar heeft dan weer meer last van oclusies en schaduwvorming. De kleur van de voorwerpen heeft eveneens invloed op de nauwkeurigheid. Deze methode werkt het beste bij matte voorwerpen. Bij reflecterende voorwerpen is er een hoge scattering die de meting verstoort. [2]

2.3.1.2 Dual laser 3D scanner

Een dual laser 3D scanner is een variant op *sheet of light*. Hier wordt ook met een scanbeweging gewerkt. Het verschil is dat met twee lasers gewerkt wordt in plaats van met één enkele laser bij *sheet of light*. De camera is recht boven de te scannen objecten gemonteerd. Deze opstelling is schematisch weergegeven in figuur 2.22. [16], [17]



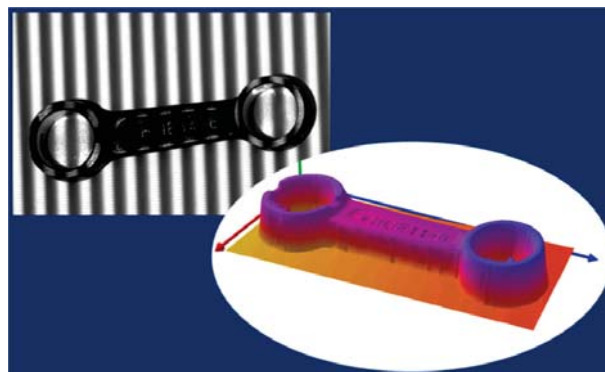
Figuur 2.22: Dual laser 3D scanner [16]

In deze opstelling wordt gebruikgemaakt van een hulppositie. Die zorgt ervoor dat de eerste maal grijpen grof kan gebeuren. Hierna kan er in de hulppositie een nauwkeurigere grijppositie bepaald worden voor verdere handelingen. Een andere bijkomende opmerking is dat er gebruik wordt gemaakt van een excentrische grijper om zo de kans op botsingen met de wand van de bak te beperken.

Het voordeel is dat bij deze methode meer informatie over de diepte verkregen wordt. Dit betekent dat de opstelling minder gevoelig is voor schaduwvorming en oclusies. Zo ontstaat er een betere 3D-afbeelding uit de scan.

2.3.1.3 Structured light

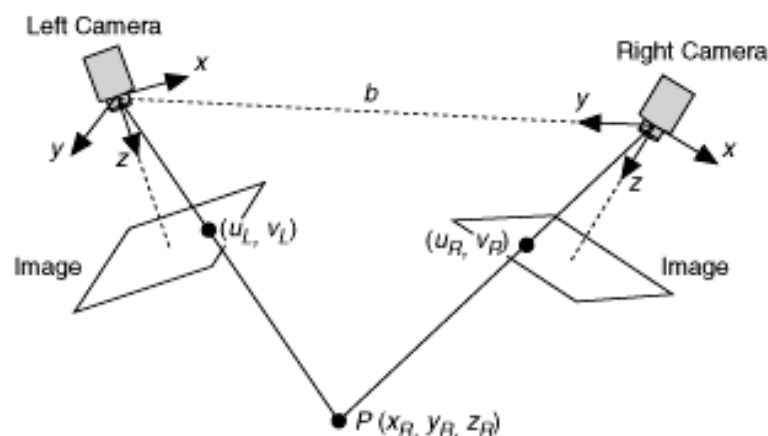
Structured light ondergaat geen scan beweging maar hier wordt een patroon geprojecteerd op de *bin*, figuur 2.23. De camera neemt zo de kleurovergangen weer om een 3D-beeld te reconstrueren. Dit resulteert in een hogere nauwkeurigheid dan *sheet of light*. [2]



Figuur 2.23: Structured light [2]

2.3.1.4 Stereovisie

Een stereovisiesysteem bestaat uit minstens twee camera's. De twee afbeelding kunnen dan samengevoegd worden om een 3D-beeld te bekomen. Hiervoor is de geometrische relatie tussen de twee camera's zeer belangrijk. [18]



Figuur 2.24: Stereovisie [18]

Het bepalen van de 3D-coördinaten gebeurt door middel van triangulatie tussen overeenkomstige punten in de twee afbeeldingen om zo een 3D-beeld van de objecten te reconstrueren. Dit is grafisch weergegeven in figuur 2.24. [19]

2.3.2 Cameraopstelling

Het is mogelijk om de camera op de robot te monteren of extern op te stellen. Beide methodes hebben voor- en nadelen. Het grote voordeel van de camera op de robot is dat op meerdere posities een afbeelding gemaakt kan worden van het te scannen voorwerp. Dit kan nodig zijn wanneer er bijvoorbeeld bij de eerste scan geen grijppositie bepaald kan worden. Of wanneer er getracht wordt een 3D-beeld op te bouwen aan de hand van meerdere 2D-beelden vanuit verschillende posities. Het nadeel is wel dat de kans groter is op botsingen door de grootte van de *tool*. Wanneer de camera extern (vast) wordt opgesteld ten opzichte van de robot en het te scannen oppervlak heeft dit als voordeel dat de tool kleiner is en de kans op botsingen zo ook kleiner is. Het nadeel is wel dat het visiesysteem minder flexibel is, kan maar van op één positie een scan maken.

2.3.3 Positiebepaling

Pose from contours

Een 2D-camera geeft voldoende informatie om de 3D-positie te herkennen als de geometrie van het object gekend is. Dit op voorwaarde dat een groot deel van de contour gedetecteerd kan worden en cameraparameters gekend zijn. Op deze manier kan bijgevolg de oriëntatie en de locatie in het beeldvlak van een object bepaald worden. Een nadeel is wel dat de ligging in de richting loodrecht op het beeldvlak nagenoeg niet bepaald kan worden. Voor een grove schatting zou dit gedaan kunnen worden op basis van de grootte van het object.

Matching

Ook hier wordt gebruikgemaakt van een 2D camera. Deze techniek steunt op het principe van perspectieve distorsies. Er gaat gezocht worden naar vlakke oppervlakken met nodige randinformatie. [2]

Surface based 3D matching

Het beeld zal hier bemonsterd worden om een puntenwolk te creëren. Dit zorgt voor een zeer robuuste techniek. De werkwijze gaat als volgt. Als eerste moet een model opgemaakt worden, dit kan op twee manieren, het CAD-model bemonsteren of een eigen scan nemen van één stuk en bemonsteren. Hierna kan het modelpuntenwolk gematched worden in een genomen scan. [2]

Hoofdstuk 3

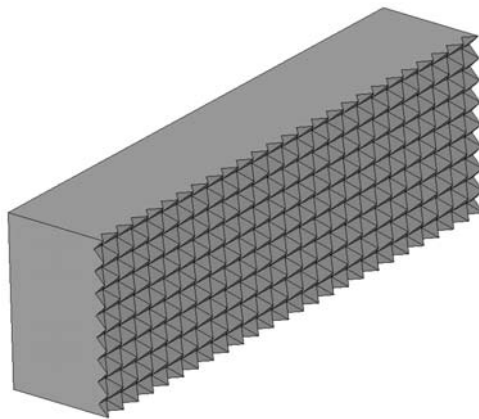
Evalueren van grijptechnieken voor het grijpen van printplaten

3.1 Mechanische grijpprincipes

Zoals in de literatuurstudie besproken zijn er een tal van mogelijke mechanische grijptechnieken. Hieronder worden twee conceptuele grippers besproken die in aanmerking komen voor het grijpen van printplaten. Een gripper tracht de printplaat te klemmen tussen 2 overstaande wanden, deze wordt verder de parallelgripper genoemd. De andere gripper grijpt op de rand van de printplaat zelf en wordt verder de *jawgripper* genoemd.

3.1.1 Parallelgripper

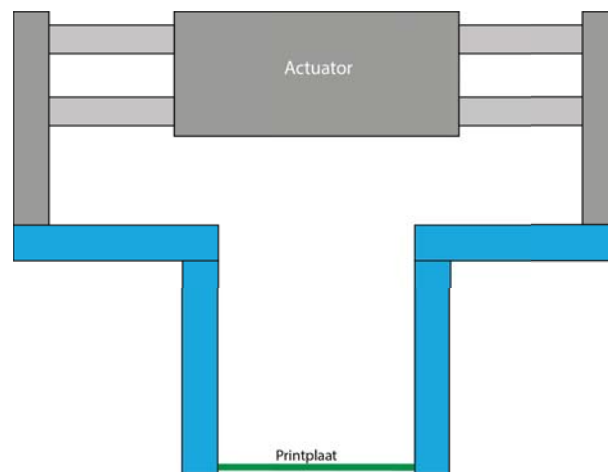
Deze gripper zal de printplaat op twee overstaande randen grijpen. Dit grijpen gebeurt op basis van 2 principes, namelijk mechanische insluiting en/of wrijving. Dit wordt mogelijk gemaakt door de bekken te ontwerpen zoals in figuur 3.1. Het grijppoppervlak wordt voorzien van een karteling waarvan de grootte gering groter is dan de dikte van de printplaat. Dit zorgt voor de mechanische insluiting. Verder wordt het oppervlak voldoende ruw uitgevoerd, zodat indien de printplaat niet in deze karteling valt er nog steeds voldoende wrijving wordt opgewekt.



Figuur 3.1: Karteling grijppoppervlak

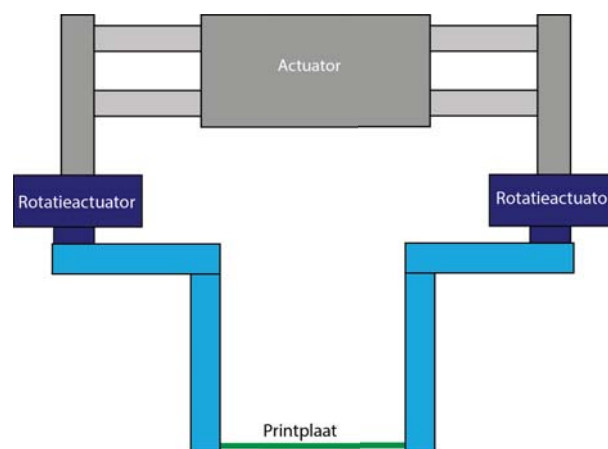
De uitvoeringsmogelijkheden voor de actuator van de gripper worden hieronder besproken.

Een eerste mogelijkheid maakt gebruik van een pneumatische parallelgrijper die maximaal 500 mm kan open gaan. Zodoende de grootste printplaten kunnen worden gegrepen. In gesloten toestand heeft de gripper een grote resterende opening tussen de bekken. Om ook kleine printplaten te kunnen grijpen worden de bekken in een L-vorm uitgevoerd. Een nadeel van dit principe is dat de gripper zeer groot is waardoor de kans op een botsing met randen en andere printplaten wordt vergroot. Het voordeel daarentegen is dat de gripper zeer eenvoudig is. Een conceptuele schets wordt weergegeven in figuur 3.2.



Figuur 3.2: Conceptuele schets van het parallel grijpprincipe

Door de bekken te bevestigen op rotatieactuators kan het benodigde bereik van de parallelgrijper vergroot worden. Dit omdat de L-vormige bekken in verschillende posities kunnen worden geplaatst. In de eerste plaats kunnen ze in de positie naar binnen worden geplaatst. Hier verkleinen ze de afstand tussen de bekken om zo ook kleine printplaten te kunnen grijpen. Anderzijds kunnen de bekken met behulp van de rotatieactuators 180 graden draaien waardoor het grijpbereik effectief wordt vergroot. De gripper wordt hierdoor in zijn geheel kleiner maar de aansturing is licht complexer.



Figuur 3.3: Parallel gripper met rotatieactuators

Een mogelijk derde optie is gebruik te maken van een stangenmechanisme. Een mechanisme ontwikkelen dat een bereik heeft van 50 mm tot 500 mm opening terwijl de grijppoppervlakken constant evenwijdig moeten blijven is echter niet eenvoudig. De gevolgen dat dit met zich meebrengt is dat het mechanisme snel te groot/hoog en te complex wordt.

Over het algemeen heeft deze techniek om op randen te grijpen enkele nadelen. Niet alle printplaten zijn op deze manier grijpbaar. Een voorbeeld hiervan zijn printplaten met uitsparingen aan de zijkant zoals weergegeven in afbeelding 3.4.

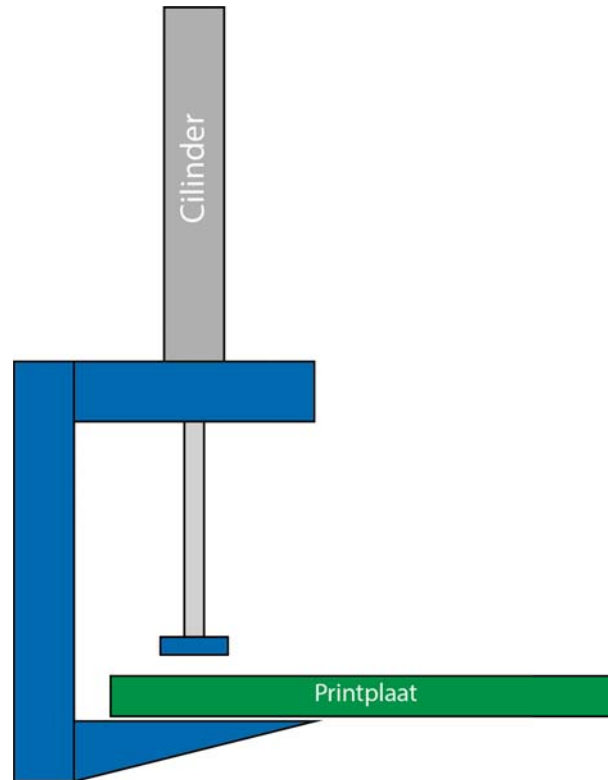


Figuur 3.4: Printplaat met uitsparingen aan de zijkant

Ook zijn niet altijd alle randen beschikbaar wanneer de printplaten zich in een willekeurige stapeling bevinden. De rand van de box of andere printplaten kunnen dit belemmeren. Een ander probleem kan zich voordoen bij de detectie van de randen van de printplaat. Door het groot aantal componenten en andere uitstekende onderdelen op de printplaat kunnen veel valse randen gedetecteerd worden. Ook is het herkennen en toekennen van de juiste rand aan de juiste printplaat in een willekeurige stapeling niet eenvoudig, omwille van de grillige contour van sommige printplaten.

3.1.2 Jaw gripper

Deze gripper grijpt de printplaat op een enkele rand. Daartoe bestaat de gripper enerzijds uit een vaste steun die onder de printplaat gaat. Anderzijds is er een cilinder die de printplaat klemt tegen deze steun. Op deze manier wordt er gebruikgemaakt van het principe van mechanische wrijving. Een conceptuele schets hiervan wordt weergegeven in onderstaande figuur 3.5.



Figuur 3.5: Conceptuele schets van het jawgrijpprincipe

Om deze gripper te kunnen toepassen moet de steun in staat zijn onder de printplaat te geraken. Dit is niet altijd mogelijk wanneer een printplaat vlak op de grond of op andere printplaten ligt.

Een ander probleem bij dit principe van grijpen is dat het visiesysteem de dikte (inclusief componenten aan de onder- en bovenkant) van de printplaat in rekening moet brengen om zo een grijppositie te kunnen bepalen. Dit kan bereikt worden door het visiesysteem mobiel op te stellen en vanuit meerder posities een scan te maken van de printplaten. Dit zorgt echter voor extra procestijd en maakt het visiesysteem complexer en duurder. Terwijl het geen zekerheid geeft dat componenten aan de onderkant kunnen worden gedetecteerd. Globaal gezien is het wel een zeer eenvoudig en robuust grijpprincipe.

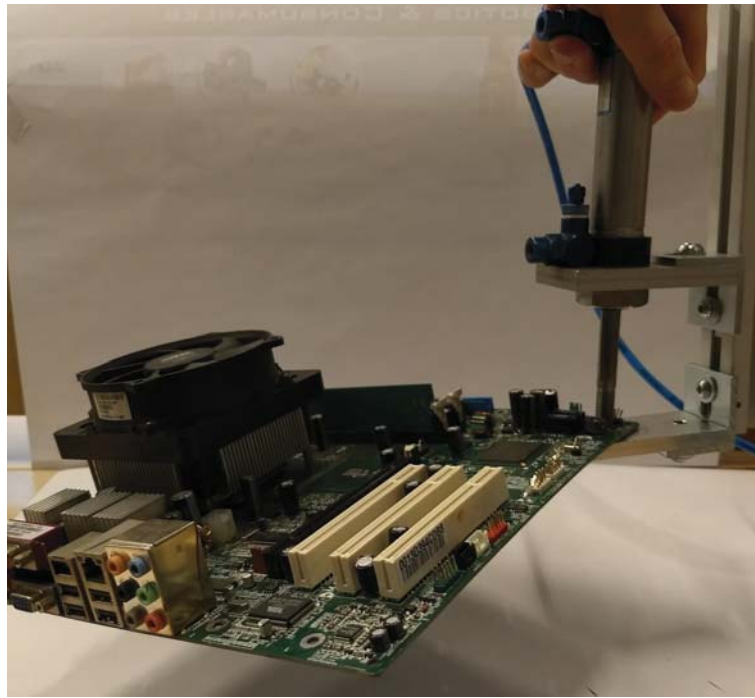
3.1.2.1 Proof-of-concepttest

Om deze gripper te testen werd de testopstelling, weergegeven in afbeelding 3.6, opgebouwd.



Figuur 3.6: Conceptuele *jaw* gripper

Voor de tests werd er gebruikgemaakt van een cilinder met een diameter van 25 mm en werd er gewerkt op 800 kPa (8 bar). Dit resulteert in een klemkracht van 392 N. De gripper was in staat alle printplaten op te grijpen. De slag van de cilinder bedroeg 50 mm, deze was voldoende om alle componenten op de rand van de printplaten te kunnen grijpen. De printplaten werden ook in geen enkel geval beschadigd door de gripper. Deze test maakte volgend nadeel zichtbaar. De grijppositie resulteert namelijk steeds in een excentriciteit ten opzichte van het zwaartepunt. Deze excentriciteit zorgt op zich steeds voor een belangrijk moment op de manipulator waaraan de gripper is bevestigd.



Figuur 3.7: Conceptuele *jaw* gripper die een printplaat grijpt

3.2 Indringende voorwerpen

3.2.1 Punch-screw principe

Deze grijper maakt met behulp van een *punch* of boor een gat op een ideale positie in de printplaat. Daarna wordt met behulp van een doorn hierin gegrepen. Het maken van een gat vormt een groot probleem wanneer de printplaten zich in een willekeurig stapeling bevinden. De kracht die nodig is om het gat te maken kan de stapeling verstoren. Hierdoor is het moeilijk om naderhand het gat terug te vinden voor het grijpen met de doorn. En zijn er mogelijk extra scans van het visiesysteem nodig om de grijppositie te bepalen, wat extra tijd en kost vraagt.

3.2.2 Doorgrijper

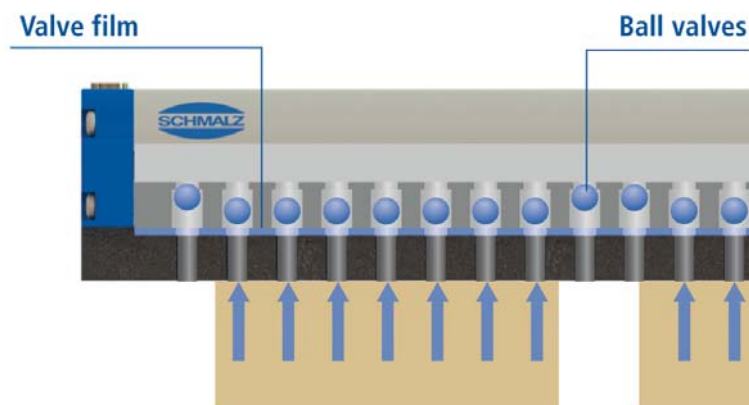
Een andere mogelijkheid is om reeds bestaande gaten in de printplaat te detecteren die bedoeld waren bijvoorbeeld voor het bevestigen van de printplaat. Eens gedetecteerd kan de robot met een haak, balg of doorn met weerhaak in deze gaten grijpen. Dit stelt echter zeer hoge eisen aan het visiesysteem om gaten met een gemiddelde grote van drie millimeter te detecteren. Bijgevolg zijn ook de haak, doorn... zeer dunne voorwerpen. Maar toch dienen deze in staat te zijn het gewicht van de printplaten met bijkomende krachten van een mogelijk excentrische grijppositie aan te kunnen.

3.3 Vacuüm grijpprincipes

In de praktijk wordt er voor *sheet*-achtige voorwerpen vaak gebruikgemaakt van zuignappen. Deze bieden voor deze toepassing vele voordelen ten opzichte van klassieke mechanische grijptechnieken zoals eerder besproken in de literatuurstudie. Het is echter zeer moeilijk een klassieke zuignap te gebruiken om een voorwerp zo grillig van vorm als een printplaat te grijpen. Wanneer er één zuignap van welk materiaal of vorm dan ook wordt gebruikt, is de kans nagenoeg onbestaand dat deze in staat is een voldoende goede dichting te creëren met de printplaat, om zo een vacuüm eronder kunnen op te wekken. Hieronder worden twee mogelijke oplossingen besproken om dit probleem te overwinnen, namelijk de *suction cup field* (Eng.) of zuignapveldgrijper (Nl.), de flowgrijper en de venturi- en beroulligrijper.

3.3.1 Zuignapveldgrijper

Deze grijper bestaat uit een groot aantal kleine zuignappen verspreid over een oppervlak gelijkaardig aan de grootte van de printplaat. Slechts een beperkt aantal van deze zuignappen moeten daadwerkelijk een goede afdichting met de printplaat maken om deze te kunnen grijpen, zo wordt de grijpkans vergroot. De kans dat een individuele zuignap een goede afdichting vormt wordt vergroot door de diameter klein te maken, zodanig dat deze op de componenten zelf of op de blanco printplaat tussen de componenten een goede grijppositie kan vinden. Om te voorkomen dat de lucht door de niet-dichtende zuignappen wordt weggezogen, waardoor er geen voldoende vacuüm kan worden opgewekt onder de andere zuignappen, moeten de zuignappen elk afzonderlijk worden uitgerust met een terugslagklep zoals weergegeven in figuur 3.8.



Figuur 3.8: Opbouw zuignapveldgrijper [1]

Er zijn over het algemeen ook hoge componenten op de printplaten aanwezig. De hoogte van deze componenten is veel hoger dan de aanpasbaarheid van speciale zuignappen zoals weergegeven in onderstaande figuur 3.9.

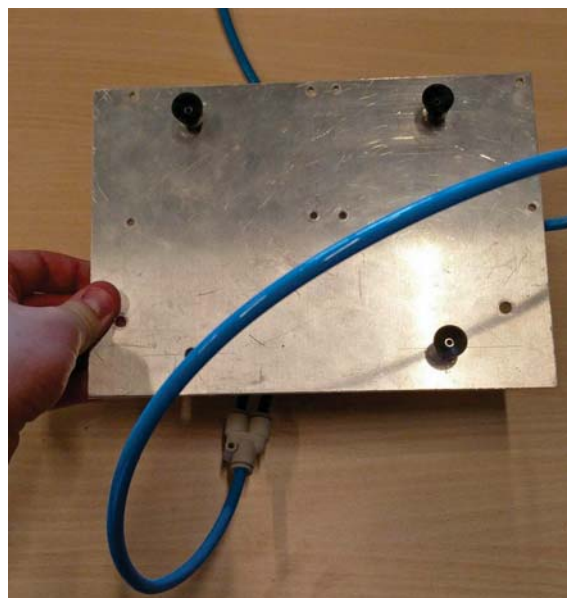


Figuur 3.9: Aanpasbaarheid van zuignappen die niet toereikend is [1]

Om de zuignappen in staat te stellen zich aan het reliëf van de printplaat aan te passen moeten deze elk afzonderlijk verend worden opgesteld.

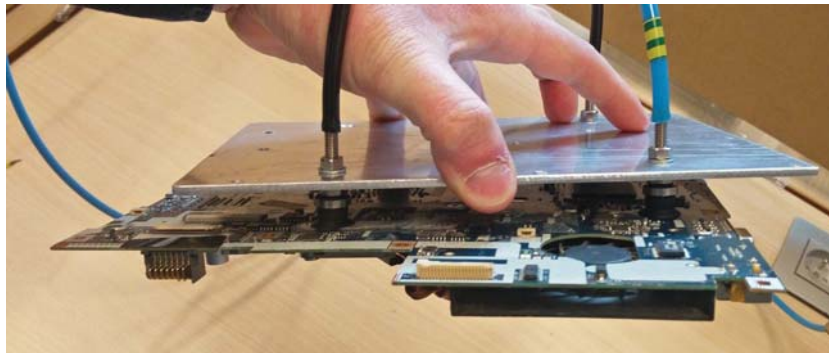
3.3.1.1 Proof-of-concepttest

Om de werking van deze grijptechniek te beoordelen werd een *proof-of-concepttest* uitgevoerd. Hiervoor werden enkele zuignappen met een diameter van 10 millimeter bevestigd op een aluminium plaat als weergegeven in de figuren 3.10 en 3.11.



Figuur 3.10: Conceptuele zuignapveldgrijper

Er werd vervolgens getracht een aantal verschillende printplaten op te nemen in verschillende posities. Volgende waarnemingen konden worden gemaakt. De kracht van slechts 3 zuignappen op een onderdruk van 65 kPa (0,65 bar) volstond om alle mogelijke printplaten op te nemen mits deze goed verdeeld zijn over de grootte van de printplaat en goed gepositioneerd zijn ten opzichte van het zwaartepunt van de printplaat. De goede positionering ten opzichte van het zwaartepunt is belangrijk om zo enig effect van een momentwerking te kunnen beperken. De kans dat voldoende zuignappen een goede grijppositie hebben ligt bij laptopprintplaten relatief hoog. Dit door de eerder vlakke vorm van dit type platen en het lage aantal aan grote uitstekende componenten. Bij desktopprintplaten bleek de kans om een goede grijppositie te vinden aanzienlijk lager. Deze bleek enkel op de achterkant van deze printplaten voldoende. Om de kans op een goede grijppositie te vergroten moet de grootte van de zuignappen nog verder worden verlaagd, om beter tussen de componenten te passen.



Figuur 3.11: Conceptuele zuignapveldgrijper die een printplaat grijpt

Deze bevinding sluit aan bij het grootste nadeel van de grijper, namelijk de kostprijs. De prijs van een aantal zuignappen samen met elk een aparte terugslagklep en verende bevestiging loopt snel op. Om de kostprijs te drukken kunnen de zuignappen ook in secties worden uitgerust met deze terugslagklep. Het nadeel hiervan is een kleinere kans dat de printplaat goed wordt gegrepen. Ook dient de grijper ontworpen te worden voor de grootste en zwaarste te grijpen printplaat. Dit resulteert in een relatief grote en zware constructie. Dit legt beperkingen op aan de manipulator waarop de grijper gekoppeld wordt in bewegingsvrijheid en *payload*. Ook zorgt deze grote grijper voor problemen bij het grijpen van kleinere printplaten. Hier kan voorkomen dat ook andere onderliggende printplaten ongewenst worden aangezogen door de zuignappen die zich buiten de contour van de kleinere printplaat bevinden. Om dit te voorkomen zouden bepaalde zuignappen of secties moeten kunnen worden uitgeschakeld wat op zich de complexiteit en kostprijs van de grijper weer omhoog drijft.

3.3.2 Flowgrijper

De flowgrijper bestaat, zoals eerder beschreven in de literatuurstudie, uit een kamer met daar-
onder een luchtdichte schuim bevestigd. Deze schuim dient als afdichting en kan zich zeer goed
aanpassen aan de vorm van de printplaat. Bij dit type grijper wordt er een andere strategie
gehandhaafd. Er wordt niet geprobeerd een perfecte dichting te realiseren met de printplaat.
De resterende lekweg wordt daarentegen gecompenseerd door te zuigen met een voldoende groot
debiet. Het debiet dient zo groot te zijn zodat de drukval over de lekweg voldoende groot is om
toch een onderdruk in de kamer op te kunnen wekken.

3.3.2.1 Proof-of-concept test

Ook voor dit grijpprincipe werd er een *proof-of-concepttest* uitgevoerd. De opstelling bestaat uit
een bladzuiger met op het uiteinde een EPDM-schuim bevestigd met een hoogte van 5 cm en
een dikte van 3 cm als weergeven in figuren 3.12 en 3.13.



Figuur 3.12: Conceptuele flow grijper



Figuur 3.13: Conceptuele flow gripper

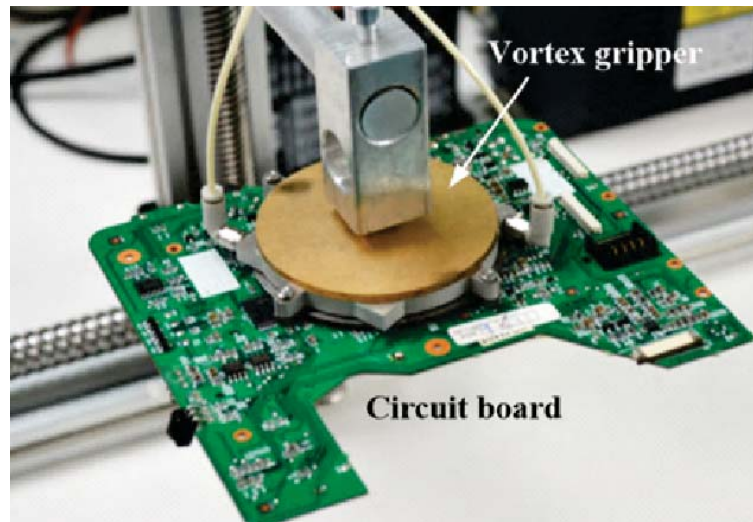
Hier werd vervolgens mee getracht een aantal verschillende printplaten op te nemen in verschillende posities. Volgende waarnemingen werden gemaakt. De gripper is in deze vorm instaat zo goed als alle types printplaten op te nemen. De schuim past zich zeer goed aan aan het reliëf van de printplaat. Voor optimalisatie is er nog ruimte. De bladzuiger bleek geen ideale generator voor het vacuüm. De bladzuiger was wel degelijk in staat een hoog debiet op te wekken maar slaagde er verder niet in om bij een kleine lekweg een aanzienlijk hogere onderdruk te realiseren. Dit probleem zou kunnen worden opgelost door bijvoorbeeld gebruik te maken van een industriële ventilator. Het grootste nadeel van deze techniek blijft het relatief grote energieverbruik. Een ander probleem is de aanvoer van het grote debiet. Er kunnen grote leidingen worden voorzien langs de robot. Hierdoor wordt de bewegingsvrijheid van de robot wel beperkt. Dit zou opgelost kunnen worden door de luchtstroom te genereren in de eindeffector zelf. Dit stelt wel hogere eisen aan de *payload* van de manipulator waarop de gripper wordt bevestigd en vergroot de eindeffector, wat de bewegingsvrijheid beperkt.



Figuur 3.14: Conceptuele flow gripper die een printplaat grijpt

3.3.3 Vortex- en bernoulligrijper

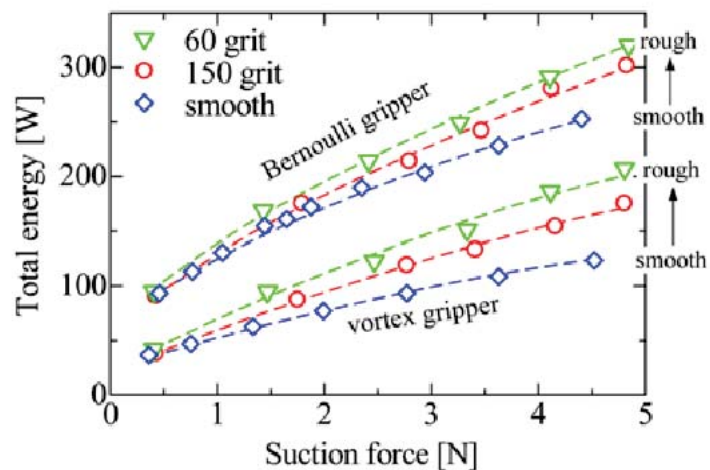
In [7] wordt er gesproken over het gebruik van dit type grijpers voor het grijpen van printplaten. Ook wordt in afbeelding 3.15 getoond hoe een printplaat wordt gegrepen met behulp van een vortexgrijper.



Figuur 3.15: Vortexgrijper die een printplaat grijpt [7]

Op deze toepassing wordt niet verder ingegaan. In andere literatuur en praktijkoplossingen is er weinig terug te vinden over het gebruik van dit type grijper voor deze toepassing. Een conclusie kan wel worden getrokken over de toepasbaarheid enerzijds aan de hand van beschikbare gegevens over reeds bestaande grijpers. Anderzijds kan dit ook gebeuren aan de hand van de resultaten van de test, uitgevoerd in [7], met betrekking tot de invloed van de oppervlakteruwheid van het te grijpen voorwerp.

Hierin wordt geconcludeerd dat de haalbare grijpkracht sterk afhankelijk is van 2 factoren is. Als eerste is er de zogenaamde *gap height*. Dit is de opening tussen de bodem van de grijper en het te grijpen oppervlak. De hoogte van deze opening kan worden beïnvloed door componenten die zich op de printplaat bevinden. Zo kan ook de haalbare grijpkracht op een negatieve manier worden beïnvloed. Een tweede belangrijke factor is de mate waarin de luchtstroom wordt beïnvloed door het oppervlak van het te grijpen voorwerp. Dit kan gebeuren door de ruwheid van het oppervlak, zoals in deze toepassing, door componenten die zich op het oppervlak bevinden. Deze componenten kunnen dan gezien worden als een zeer grote ruwheidsvergroting. In de volgende grafieken wordt het effect van een ruwheidsverandering weergegeven.



Figuur 3.16: Invloed ruwheid grippoppervlak op vortex- en Bernoulligrijpers [7]

Hieruit kan worden afgeleid naar mate de ruwheid stijgt, het benodigde vermogen voor een bepaalde grijpkracht stijgt. Anders gezegd, de haalbare grijpkracht wordt verlaagd door een verhoging van de ruwheid bij eenzelfde aandrijfvermogen. Ook kan er worden opgemerkt dat dit effect groter wordt naarmate de grijpkracht stijgt.

Wanneer beide factoren gecombineerd worden met de momenteel lage maximum haalbare grijpkracht van deze grippers, kan geconcludeerd worden dat deze kleine lichte printplaten met lage componenten kunnen grijpen. Bijgevolg zullen deze grippers niet volstaan voor onze toepassing.

3.4 Softgrippers

Soft grippers (Eng.) of zachte grippers (NL.) zijn een relatief nieuwe klasse van grippers en staan er algemeen om bekend te kunnen omgaan met een breed spectra aan vormen en maten van voorwerpen. Twee mogelijke technieken worden hieronder besproken voor het grijpen van printplaten.

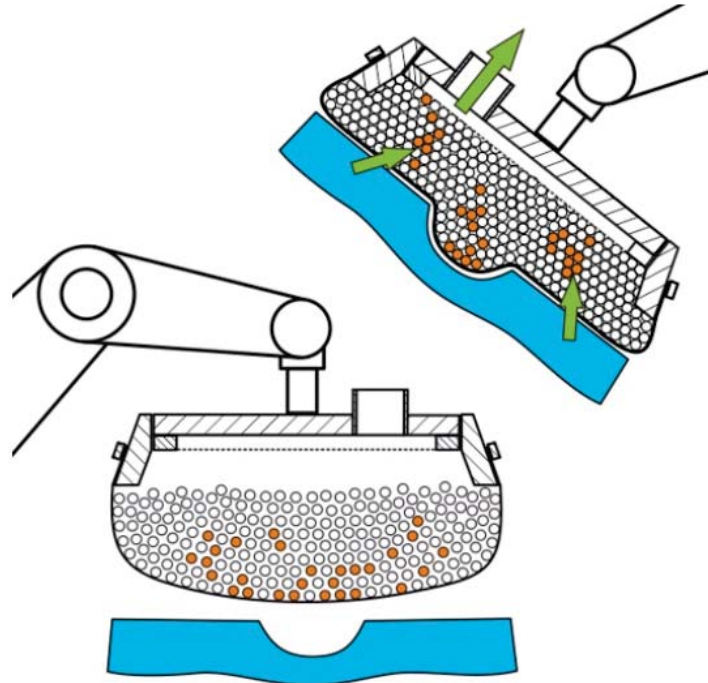
3.4.1 Jamming gripper

De *jamming* gripper bestaat zoals eerder vermeld uit een granulaatzak die van vervormbare naar een onvervormbare toestand kan worden omgezet, door gebruik te maken van een vacuüm. Het grote aantal uitstekende componenten bij desktopprintplaten speelt zelf als voordeel voor de *jamming* gripper. Dit omdat er voorwerpen zijn om zich rond te vormen en zo een goede greep te realiseren. Een nadeel doet zich voor op de achterkant van desktopprintplaten of laptopprintplaten, die nagenoeg vlak zijn. Wel zijn deze prefect grijpbaar wanneer er op de rand van de printplaat wordt gegrepen.

Een mogelijke verbetering hiervoor is de zogenaamde *fromhand* gripper beschreven in de volgende sectie. Een ander aandachtspunt is het zachte membraan waaruit de gripper is opgebouwd. Dit zou mogelijk beschadigd kunnen worden door scherpe uitstekende voorwerpen op de printplaat zoals stekkers en kapotte componenten.

3.4.2 Formhand

De Formhand grijper is van opbouw sterk gelijkend op de *jamming* grijper. Het onderscheid zit in het geperforeerde membraan aan de onderzijde van de grijper zoals weergegeven in onderstaande figuur 3.17.



Figuur 3.17: Werking formhand [20]

Doorheen deze perforaties kan de grijper worden gebruikt als een grote zuignap door middel van hetzelfde vacuüm dat wordt gebruikt om de grijper vormvast te maken. Hierdoor kan de grijper beter omgaan met grote gladde oppervlakken zoals bijvoorbeeld de achterkant van printplaten terwijl alle voordelen van de *jamming* grijper behouden blijven.

3.5 Magnetische grijpprincipes

Magnetische grijpers hebben gelijkaardige voordelen als zuignappen bij het werken met sheetachtige voorwerpen. In tegenstelling tot de zuignappen zouden magneten veel beter kunnen omgaan met de grillige vorm van de printplaten. De enige plaatsen waar er zich echter voldoende magnetische materiaal bevindt is rond het I/O-schild van desktopprintplaten. Dit brengt enkele problemen met zich mee. De hoeveelheid magnetisch materiaal is slechts zeer laag en vaak nog bedekt met niet-magnetisch materiaal wat de grijpkracht beperkt. Ook kan het in een willekeurige stapeling voorkomen dat deze kant van de printplaat niet bereikbaar is. Een ander probleem doet zich voor bij laptopprintplaten, hierop bevindt zich nog minder magnetisch materiaal waardoor grijpen volledig onmogelijk wordt. Uit bovenstaande argumenten is te concluderen dat werken met een magnetisch systeem niet veelbelovend is, waardoor hier niet verder wordt op ingegaan.

3.6 Conclusie

Grijpers gebaseerd op een magnetisch grijpprincipe worden niet in overweging genomen door het gebrek aan magnetisch materiaal. Ook grijpers op basis van een vortex- of bernoulliprincipe zijn niet veelbelovend door hun lage *payload* en slechte vermogen om over componenten te grijpen. Grijpers op basis van een mechanisch grijpprincipe wordt ook niet verder op ingegaan, omdat de kans relatief groot is dat er geen goede grijppositie kan bepaald worden in een willekeurige stapeling. Daarentegen is een grijper op basis van een *suction cup field* wel veel belovend. Maar door de hoge complexiteit en prijs van deze grijper wordt hier verder ook geen aandacht aan besteed. Ook de *proof-of-concepttest* van de *flow* grijper waren veelbelovend. Samen om deze reden en de simpliciteit van de grijper wordt dit grijpprincipe verder uitgewerkt in de volgende hoofdstukken. Ook de Fromhand grijper lijkt veelbelovend, deze kon binnen deze masterproef om organisatorische redenen niet getest worden. Verder onderzoek hiernaar dient wel te gebeuren.

Hoofdstuk 4

Ontwikkeling eigen gripperontwerp

Zoals eerder besproken is er gekozen om een gripper te ontwikkelen die werkt op basis van een vacuüm dat wordt opgewekt met behulp van een groot zuigdebiet, een *flow* gripper genoemd. De gripper zal bestaan uit twee hoofdonderdelen, een kamer met bevestigingsmogelijkheid aan een manipulator en een afdichting tussen de kamer en het te grijpen stuk. In dit hoofdstuk wordt het ontwerpen en optimaliseren van deze gripper specifiek voor het grijpen van printplaten beschreven. Eerst wordt de dimensionering van de gripper besproken. Hierbij worden ook de mogelijke manieren voor het genereren van het vacuüm aangehaald. Vervolgens wordt ook de optimalisatie van de afdichting op de gripper besproken. Verder worden ook enkele mogelijke mechanische ontwerpen van de gripper voorgesteld. Dit gebeurt rekening houdende met de bevestiging op de manipulator (robot) en de mogelijke manieren van produceren.

4.1 Dimensionering van de grijper

Bij het ontwerp van de grijper is de keuze voor een ronde vorm gemaakt, bestaand uit een cilindrische kamer met daaronder een ringvormige afdichting. Deze vorm brengt enkele voordelen met zich mee. Allereerst wordt de grijppositie hierdoor invariant aan de oriëntatie van de grijper, waardoor het bepalen van de grijppositie wordt vereenvoudigd. Daarnaast levert deze vorm een eenvoudig produceerbare dichting op. De vorm van deze dichting levert nog andere voordelen op. Zo wordt er een zo groot mogelijk zuigoppervlak per lengte-eenheid van de dichting gecreëerd. Door deze korte lengte van de dichting wordt ook de kans verkleind dat er een lekweg ontstaat. Ook biedt deze ronde vorm de beste weerstand tegen het vacuüm zodat de dichting zelf niet snel naar binnen wordt gezogen.

De grootte van het benodigde grijppoppervlak wordt door twee factoren bepaald, de benodigde *payload* en de haalbare onderdruk. De benodigde *payload* wordt vastgelegd op 50 N. Deze wordt bepaald door een printplaat met het maximale gewicht van 1,3 kg waarvan het zwaartepunt 10 cm excentrisch ligt ten opzichte van de grijppositie. Deze waarde wordt ook nogmaals vermenigvuldigd met een veiligheidsfactor van 1,5. De haalbare onderdruk is van twee factoren afhankelijk, de kwaliteit van de afdichting en de vacuümbron. Deze worden hieronder verder besproken.

4.1.1 Vacuümgeneratie

Voor de generatie van het vacuüm worden er in deze thesis twee mogelijkheden besproken. De technische documentatie is in appendix C te vinden.

4.1.1.1 Vacuümgenerator

Een eerste mogelijkheid berust op het venturiprincipe om een vacuüm met een groot zuigdebiet op te wekken. Hiervoor wordt de specifiek ontwikkelde *Schmalz flow gripper SCG* gebruikt zoals weergegeven in onderstaande figuur 4.1.



Figuur 4.1: Schmalz flow gripper SCG [1]

Het grote voordeel van deze vacuümgenerator is zijn compacte opbouw en het feit dat deze kan worden opgebouwd aan de eindeffector. Dit heeft tot gevolg dat enkel perslucht door een relatief dunne slang of door de manipulator (robot) zelf moet worden aangevoerd. Het nadeel hiervan is dat de eindeffector groter wordt en het maximum haalbare zuigdebiet beperkt blijft. De gegevens zijn in tabel 4.1. De volledige gegevens van deze vacuümgenerator zijn terug te vinden in appendix C.

Tabel 4.1: Technische gegevens Schmalz flow gripper

Persluchtverbruik	198 l/min
Zuigdebiet	650 l/min
Vacuüm	12,1 kPa (121 mbar)
Vermogen	531 W

Het persluchtvermogen is berekend met onderstaande formule [7]:

$$P = p_{atm} \cdot Q \cdot \ln \left(\frac{p_{werk}}{p_{atm}} \right) \quad (4.1)$$

4.1.1.2 Vacuümventilator

Een andere mogelijkheid voor het opwekken van een vacuüm met een groot zuigdebiet is door gebruik te maken van een vacuümventilator. Deze is in staat een veel groter debiet op te wekken met een grotere onderdruk dan de eerder besproken Schmalz flow gripper SCG. Door de grote kostprijs van een industriële vacuümventilator wordt er hier gebruik gemaakt van een benaderend alternatief, een industriële stofzuiger *Powerline PL 604 IWD* zoals weergegeven in onderstaande figuur 4.2.



Figuur 4.2: Powerline PL 604 IWD

De voordelen van deze vacuümventilator zijn de grotere haalbare onderdruk en zuigdebiet. Dit grote debiet wordt echter los van de manipulator (robot) gegenereerd waardoor er een relatief grote zuigleiding, met een diameter van ongeveer 40 mm, langs deze manipulator naar de eindeffector moet worden geleid. Dit beperkt de bewegingsvrijheid van de robot. De volledige gegevens van deze stofzuiger zijn terug te vinden in appendix C. Tabel 4.2 geeft de belangrijkste kenmerken van de Powerline PL 604 IWD.

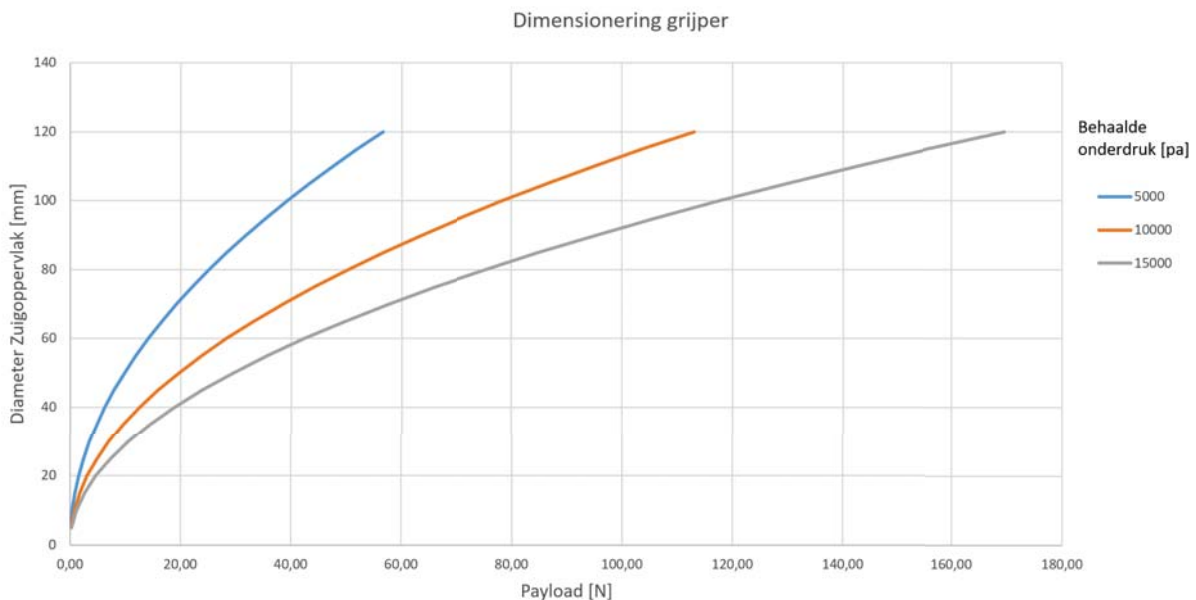
Tabel 4.2: Technische gegevens Powerline PL 604 IWD

Zuigdebiet	160 l/s
Vacuüm	24 kPa (240 mbar)
Vermogen stand 1	1250 W
Vermogen stand 1+2	2500 W

Een mogelijke industriële ventilator kan de Schmalz SB 510 200 4 IE3-TYP1 zijn. Deze heeft nagenoeg dezelfde kenmerken als de Powerline PL 604, onderdruk en zuigdebiet zijn gelijk. De specificatie zijn te vinden in appendix C.

4.1.2 Dimensionering

In grafiek 4.3 wordt de benodigde diameter van het zuigoppervlak weergegeven in functie van de behaalde onderdruk en de benodigde *payload*.



Figuur 4.3: Dimensionering grijper

De minimum haalbare onderdruk wordt vastgelegd tussen de 5 kPa en 10 kPa (0,05 bar en 0,1 bar). Dit werd bepaald aan de hand van enkele proefondervindelijke testen met de Powerline PL 604 IWD en de *proof of concept flow* grijper. Aan de hand van bovenstaande gegevens kan de benodigde diameter van het zuigoppervlak bepaald worden. Met behulp van bovenstaande grafiek wordt deze vastgelegd op 100 mm.

4.2 Optimalisatie van de afdichting

Een van de belangrijkste onderdelen van deze grijper is zijn afdichting tussen grijper en werkstuk. Deze zal bepalen welke onderdruk haalbaar is, welk aandrijfvermogen benodigd is en welke printplaten kunnen worden opgenomen. Daarom wordt in deze paragraaf voldoende aandacht besteed aan het ontwerp van de afdichting. Eerst worden alle ontwerpen voorgesteld. Vervolgens worden deze ontwerpen onderworpen aan een reeks testen om zo de optimale dichting te kunnen selecteren.

4.2.1 Ontwerpen

Om te starten wordt vertrokken van drie verschillende ontwerpen. Op deze ontwerpen worden verbeteringen uitgevoerd naar aanleiding van de waarnemingen tijdens de testen.

In al deze ontwerpen wordt er gebruikgemaakt van schuim voor het vormen van een afdichting. Er wordt gekozen voor de *Nitto EE-1000* reeks omwille van zijn hoge samendrukbaarheid, goede luchtdichtheid en zijn mogelijkheid om snel terug te keren naar zijn oorspronkelijke vorm na te zijn samengedrukt.

Alle afdichtingen met uitzondering van afdichting 1D hebben een maximale buitendiameter van 130 mm. Deze afmeting dient te worden geminimaliseerd om zo het vinden van een grijppositie op de printplaat te vereenvoudigen.

De 2D-tekeningen van de verschillende afdichtingen zijn terug te vinden in appendix A.

4.2.1.1 Dichting 1

Deze reeks dichtingen hebben de eenvoudigste opbouw. Ze bestaan uit een cilindervormige schuim. Doorheen de verschillende ontwerpen wordt er gevarieerd in de afmetingen van deze cilindervormige schuim.

Dichting 1A

Dichting 1A bestaat zoals eerder vermeld uit een cilindervormige schuim met een binnendiameter van 100 mm, een dikte van 15 mm en een hoogte van 40 mm. Deze afdichting wordt weergegeven in figuren 4.4 en 4.5.



Figuur 4.4: Dichting 1A zijaanzicht



Figuur 4.5: Dichting 1A onderaanzicht

Dichting 1B

Deze dichting is een verhoogde versie van dichting 1A. De hoogte wordt aangepast naar 60 mm om zich beter te kunnen aanpassen aan hoge componenten. De afdichting wordt in figuren 4.6 en 4.7 weergegeven.

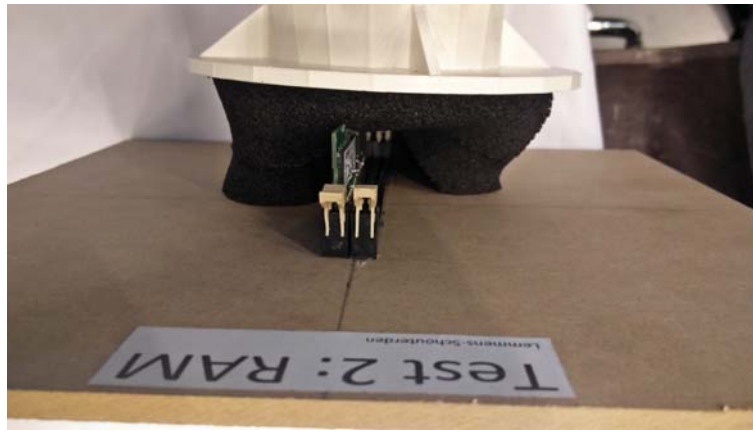


Figuur 4.6: Dichting 1B zijaanzicht

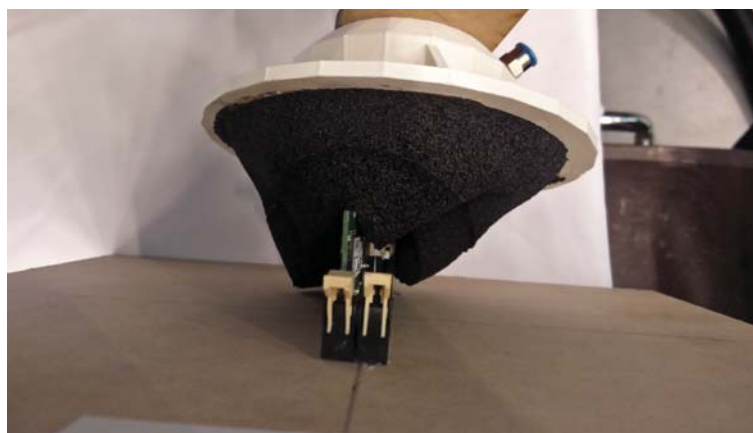


Figuur 4.7: Dichting 1B onderaanzicht

Deze dichting kon niet uitvoerig getest worden omdat ze te zwak was en begaf onder het vacuüm. Enkel de eerste twee testen werden uitgevoerd. Hierdoor werd de hele dichting naar binnen gezogen wat er voor zorgde dat er geen goede afdichting tussen de grijper en het op te nemen product kon gevormd worden. In figuren 4.8 en 4.9 wordt het falen van de afdichting weergegeven.



Figuur 4.8: Falen van dichting 1B



Figuur 4.9: Falen van dichting 1B

Door middel van een spanring zoals weergegeven in figuur 4.10 werd getracht het samenzuigen van de dichting te voorkomen. Deze volstond echter niet. Ook had de spanring een negatief effect op de aanpasbaarheid van de dichting.



Figuur 4.10: Spanring

Dichting 1C

Voor deze dichting wordt de bovenste helft van de dichting 1B verbreed naar 30 mm met het doel deze steviger te maken. Deze verbreding wordt gerealiseerd door de binnendiameter te verkleinen naar 46 mm. Deze dichting wordt weergegeven in figuren 4.11 en 4.12.



Figuur 4.11: Dichting 1C zijaanzicht



Figuur 4.12: Dichting 1C onderaanzicht

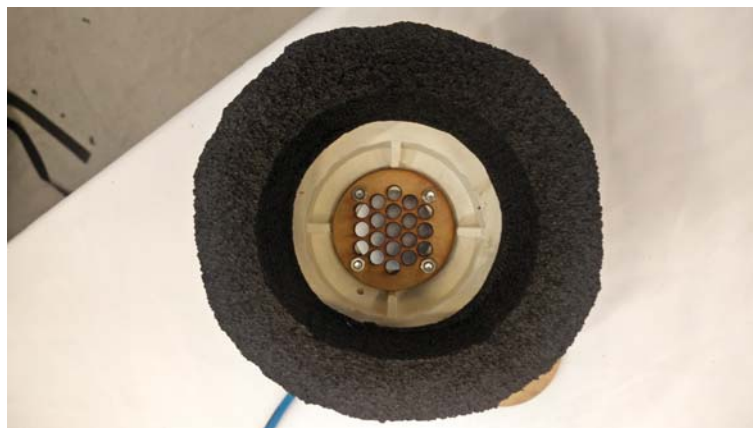
De overgang tussen het bredere en smallere deel van de dichting is afgeschuind om de luchtstroom niet te beperken.

Dichting 1D

Deze grijper is van vorm hetzelfde als dichting 1A. De breedte van de dichting wordt hier verhoogd naar 25 mm terwijl een binnendiameter van 100 mm behouden blijft. Dit levert de grootste grijper op met een buitendiameter van 150 mm. Dit vormt een nadeel voor het vinden van een geschikte grijppositie. De dichting wordt weergegeven in figuren 4.13 en 4.14.



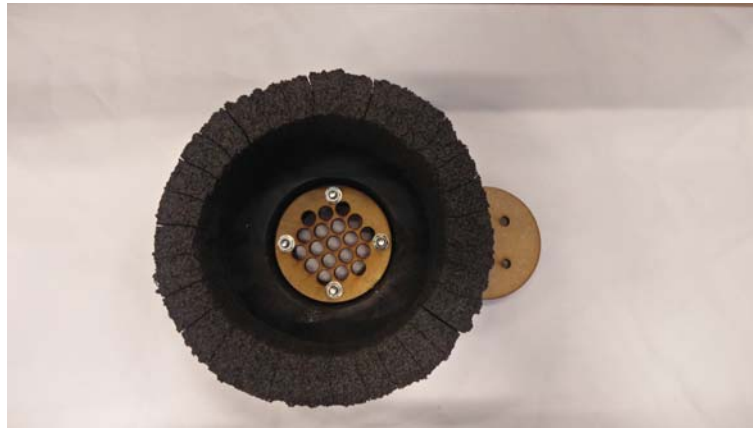
Figuur 4.13: Dichting 1D zijaanzicht



Figuur 4.14: Dichting 1D onderaanzicht

4.2.1.2 Dichting 2

Deze dichting is op het vlak van vorm sterk gelijkend op dichting 1B. Het verschil zit in kleine insnijdingen die worden gemaakt in de schuim waardoor deze een gelamelleerde vorm krijgt zoals weergegeven in figuren 4.15 en 4.16.

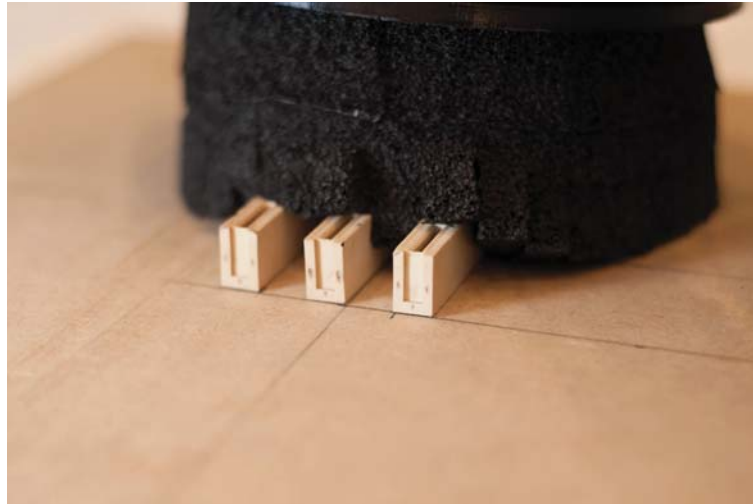


Figuur 4.15: Dichting 2 onderaanzicht



Figuur 4.16: Dichting 2 zijaanzicht

Deze lamellen hebben als doel de schuim beter aanpasbaar te maken aan het te grijpen voorwerp. Een voorbeeld hiervan wordt weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 4.17: Aanpassingsvermogen dichting 2

Deze dichting kon ook niet getest worden om dezelfde reden als dichting 1B, namelijk begeven onder het vacuüm. De werd werd naar binnen gezogen wat er voor zorgde dat er geen goede afdichting meer tussen de grijper en het op te nemen stuk kon gevormd worden. Dit effect wordt nogmaals vergroot door de extra verzwakking die de insnijdingen veroorzaken.

4.2.1.3 Dichting 3

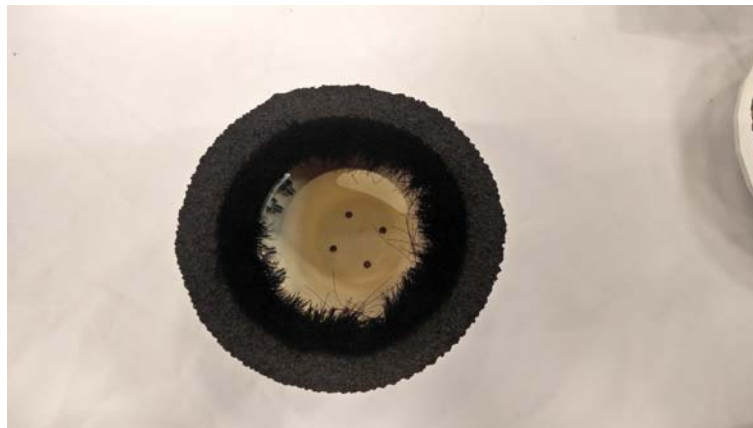
Bij deze dichtingen wordt er binnenin de afdichting van schuim een ronde borstel toegevoegd. Deze borstel heeft als doel zich tussen en rond componenten op een printplaat te begeven waar de schuim zich niet kan aanpassen. De gebruikte borstel is afkomstig van KOTI met het model nummer *QSP585* uit het materiaal *PA6.6* en de haren hebben een dikte van 0,2 mm en een lente van 50 mm. De haren van deze borstel steken iets verder uit dan de dichting zoals weergegeven op afbeelding 4.18. Dit heeft een reden, de haren moeten voldoende stijf gekozen worden zodat ze niet door het vacuüm naar binnen worden gezogen. Dit heeft als negatief effect dat de borstelharen niet gemakkelijk volgens de richting van de haren kunnen worden samengedrukt. Om dit te omzeilen kan de grijper met een kleine draaiende beweging rond zijn as op de printplaat worden neergelaten. Om dit mogelijk te maken dienen de haren voor de schuim in contact te komen met de printplaat.

Dichting 3A

Deze afdichting bestaat uit een cilindervormige schuim gelijkend aan deze van dichting 1B. Hierbinnen wordt een cilindrische borstel aangebracht zoals te zien is op figuren 4.18 en 4.19.



Figuur 4.18: Dichting 3A zijaanzicht



Figuur 4.19: Dichting 3A onderaanzicht

Dichting 3B

Bij deze afdichting wordt er een extra schuimring binnenin de borstel van dichting 3A aangebracht als weergegeven op figuren 4.20 en 4.21.



Figuur 4.20: Dichting 3B onderdelen



Figuur 4.21: Dichting 3B onderaanzicht

De extra schuimring heeft tot doel te voorkomen dat de haren van de borstel naar binnen toe worden gezogen. Deze ring zorgt er ook voor dat de haren na het grijpen van een object sneller terugkeren naar hun oorspronkelijke vorm.

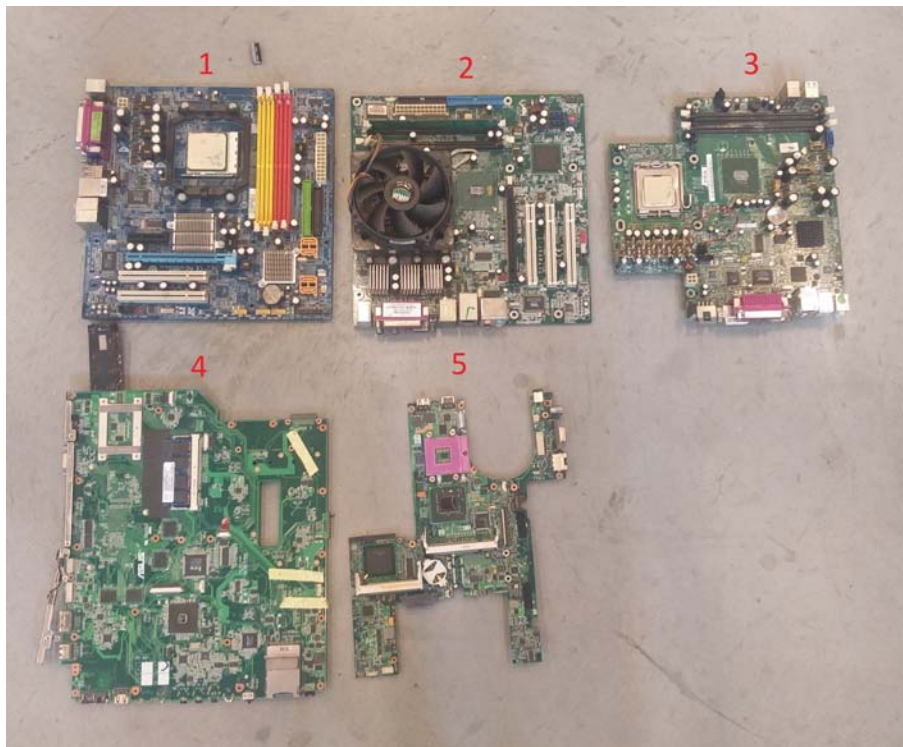
In deze kleine schuimen ring wordt ook een extra spanning aangebracht zoals in figuur 4.22. Dit om te voorkomen dat de binnenring naar binnen kan worden gezogen.



Figuur 4.22: Kleine spanning

4.2.2 Testen

Voor het beoordelen van de dichtingen worden enkele testen opgezet. Als eerste zijn er twee opstellingen met de componenten die de meeste hinder veroorzaken op een zo reproduceerbaar mogelijke manier nagebootst. Deze componenten zijn *PCI-slots* en *RAM-sticks*. Als tweede worden de afdichtingen ook getest op een reeks printplaten. Deze reeks is zo samengesteld zodanig dat alle mogelijke printplaattypen vertegenwoordigd zijn. In figuur 4.23 wordt deze reeks weergegeven. In tabel 4.3 zijn de massa's van deze printplaten te vinden.



Figuur 4.23: Reeks printplaten

Tabel 4.3: Massa van reeks printplaten

	massa [g]
Printplaat 1	684
Printplaat 2	1227
Printplaat 3	534
Printplaat 4	540
Printplaat 5	201

Deze reeks bestaat uit 3 desktopprintplaten met zowel *heatsinks* als andere hinderende componenten. Verder bestaat de reeks uit twee laptop/tv-printplaten, waaronder ook printplaten met speciale vormen zoals weergegeven in afbeelding 4.23.

Al de eerder vermelde dichtingen worden getest met behulp van 3 verschillende vacuümbronnen, de *Schmalz flow gripper* en de *Powerline PL 604 IWD* op twee verschillende standen. Voor het beoordelen van de afdichting wordt de behaalde onderdruk onder de grijper gemeten aan de hand van Festo SPAB-B R-G18-2P-M8, de datasheet is terug te vinden in appendix C.

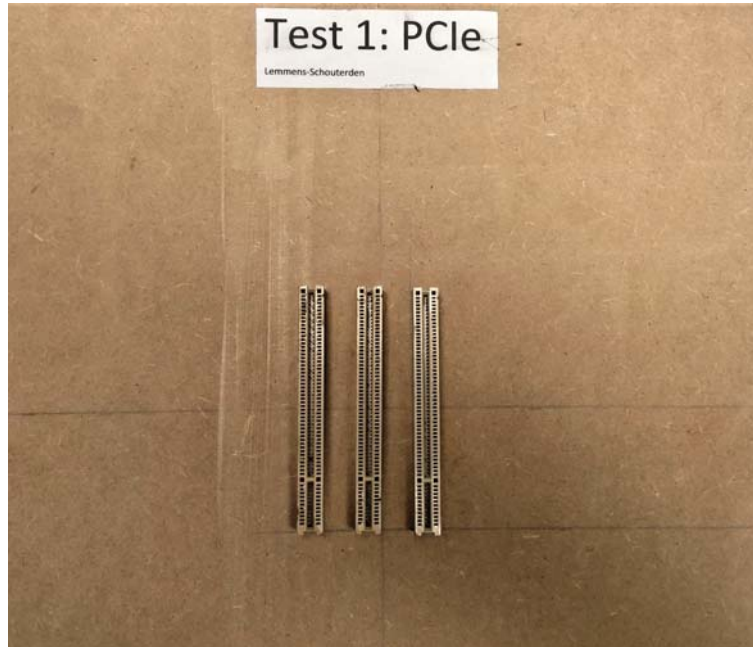
Zoals eerder vermeld konden dichtingen 1B en 2 niet getest worden door hun onmiddellijk falen. Daarom wordt hier ook niet verder op ingegaan.

Alle onderstaande testen werden uitgevoerd met de *Powerline PL 604 IWD* op beide standen. Door de ondermaatse resultaten werd initieel enkel dichting 1A getest met de *Schmalz flow gripper*. Hierna werd besloten deze Schmalz enkel nog te testen met de beste dichting die voortvloeide uit de andere testen. Dit bleek achteraf dichting 1C te zijn.

Voor de volledige gegevens van de testen wordt er verwezen naar appendix B.

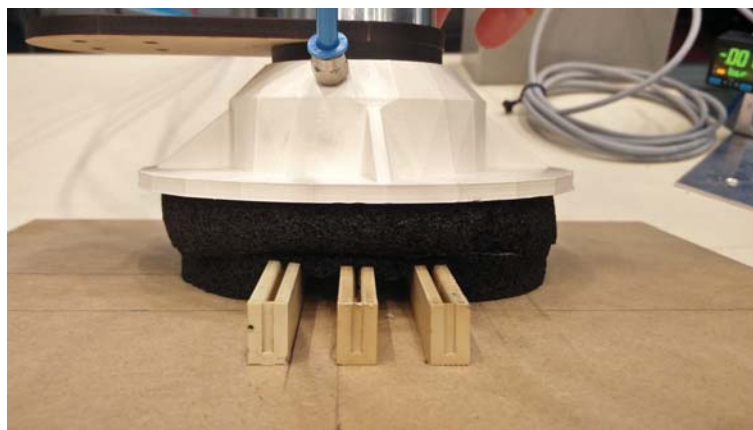
4.2.2.1 Test 1: PCI-slot

Een eerste component op printplaten die problemen voor de afdichting kan veroorzaken zijn *PCI-slots*. Deze slots kunnen een grote lekweg veroorzaken door het gat tussen de twee langs elkaar staande slots. Om invloed van andere onderdelen te beperken wordt onderstaande opstelling gebouwd.



Figuur 4.24: Testopstelling 2: *PCI-slots*

De aanpasbaarheid aan deze slots van de dichtingen wordt weergegeven in onderstaande afbeeldingen. Deze aanpasbaarheid is van groot belang aangezien deze de grootte van de lekweg bepaald.



Figuur 4.25: Aanpassingsvermogen aan *PCI-slots* van dichting 1A

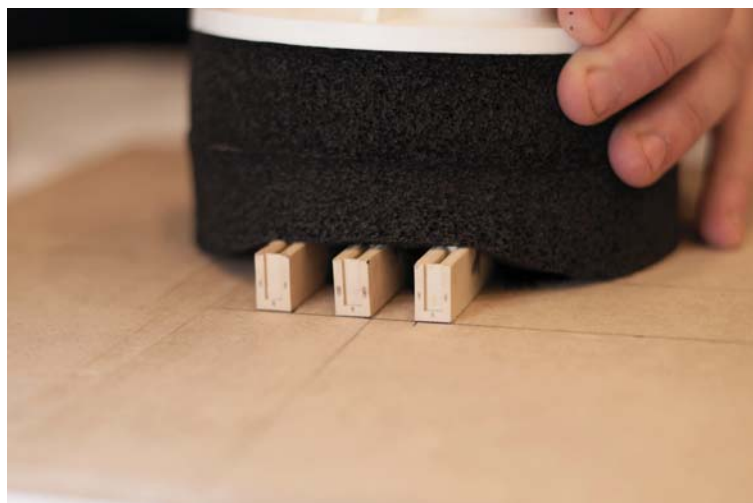


Figuur 4.26: Aanpassingsvermogen aan *PCI-slots* van dichting 1C



Figuur 4.27: Aanpassingsvermogen aan *PCI-slots* van dichting 1D

Tussen de aanpassing van dichting 3A en 3B was er geen duidelijk verschil merkbaar.

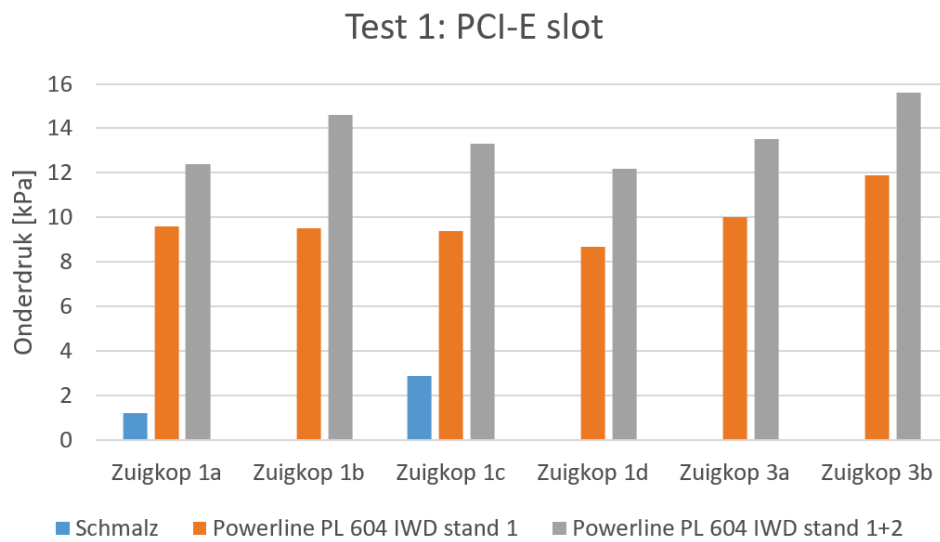


Figuur 4.28: Aanpassingsvermogen aan *PCI-slots* van dichting 3A en 3B



Figuur 4.29: Aanpassingsvermogen aan *PCI-slots* van dichting 3A en 3B

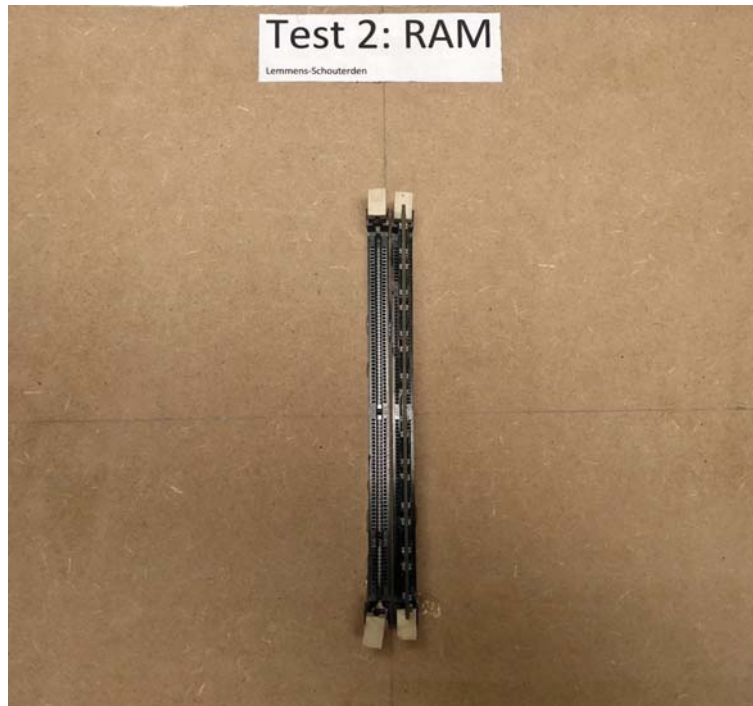
De resultaten van deze test worden weergegeven in onderstaande figuur 4.30.



Figuur 4.30: Resultaten test 1

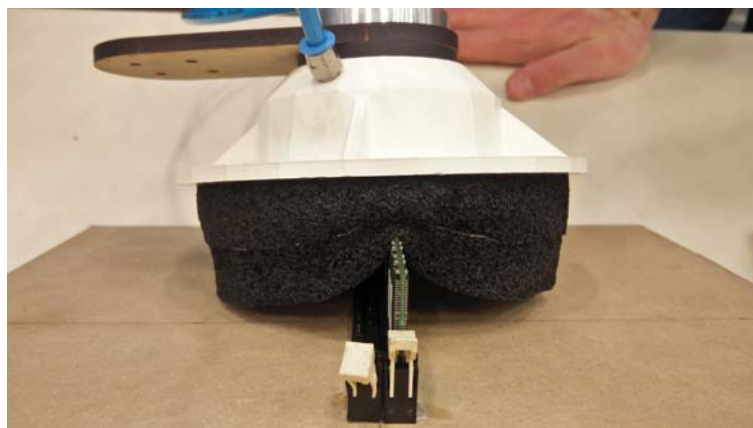
4.2.2.2 Test 2: RAM-stick

Een tweede component die problemen kan veroorzaken zijn RAM-slots. Meerdere situaties worden gesimuleerd op onderstaande testopstelling. Deze gevallen zijn: lege RAM-slots, RAM-slots met één RAM-stick en RAM-slots met twee RAM-sticks. De laatste van deze is de meest uitdagende door de grote lekweg die kan ontstaan tussen de RAM-sticks.

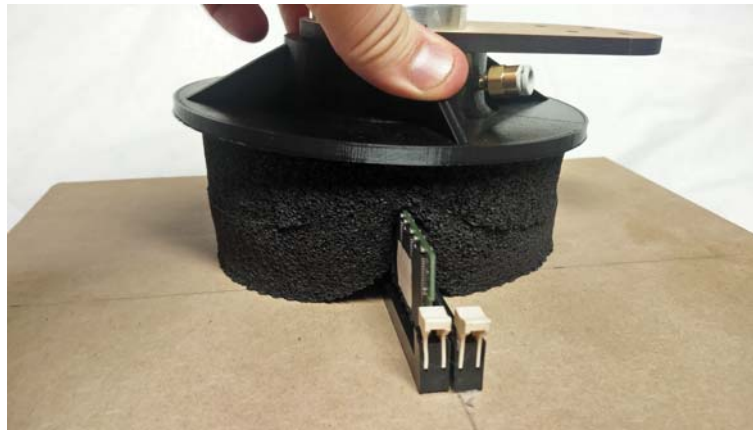


Figuur 4.31: Testopstelling 2: *RAM-slots*

De aanpasbaarheid aan deze component van de dichtingen wordt weergegeven in onderstaande figuren. Deze aanpasbaarheid is van groot belang aangezien deze de grootte van de lekweg bepaald.



Figuur 4.32: Aanpassingsvermogen aan *RAM-slots* van dichting 1A



Figuur 4.33: Aanpassingsvermogen aan *RAM-slots* van dichting 1C

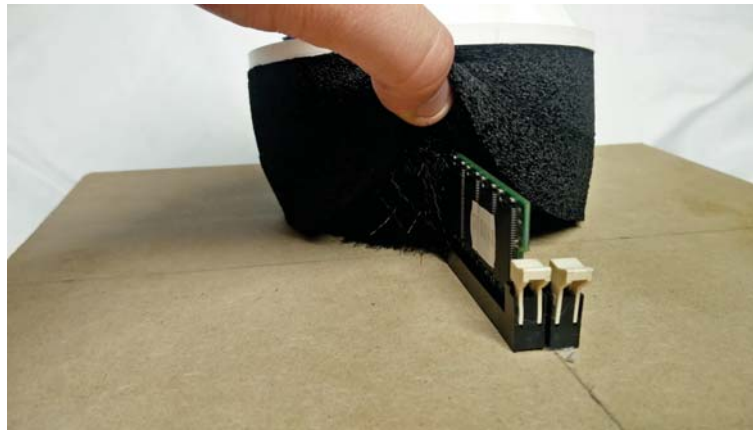


Figuur 4.34: Aanpassingsvermogen aan *RAM-slots* van dichting 1D

Tussen de aanpassing van dichting 3A en 3B was er geen duidelijk verschil merkbaar.



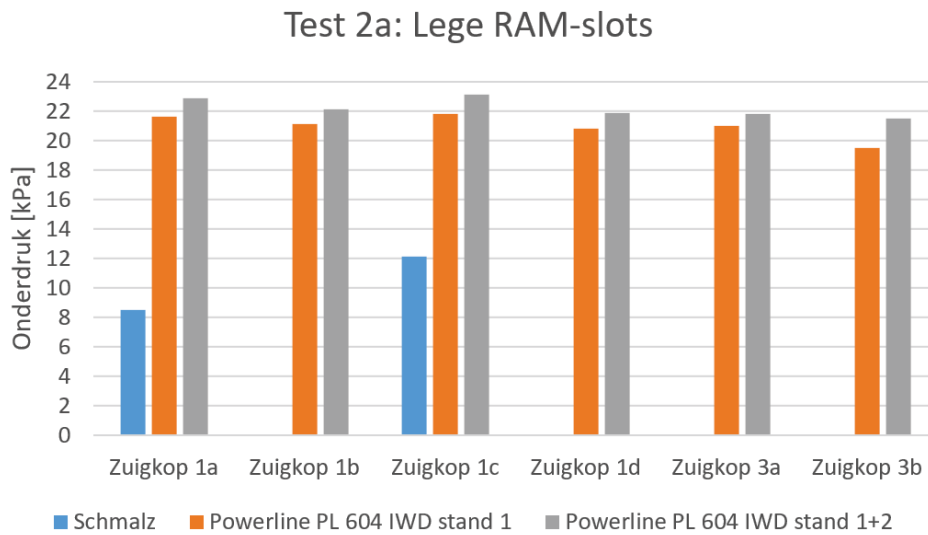
Figuur 4.35: Aanpassingsvermogen aan *RAM-slots* van dichting 3A en 3B



Figuur 4.36: Aanpassingsvermogen aan *RAM-slots* van dichting 3A en 3B

Test 2A: RAM-slot

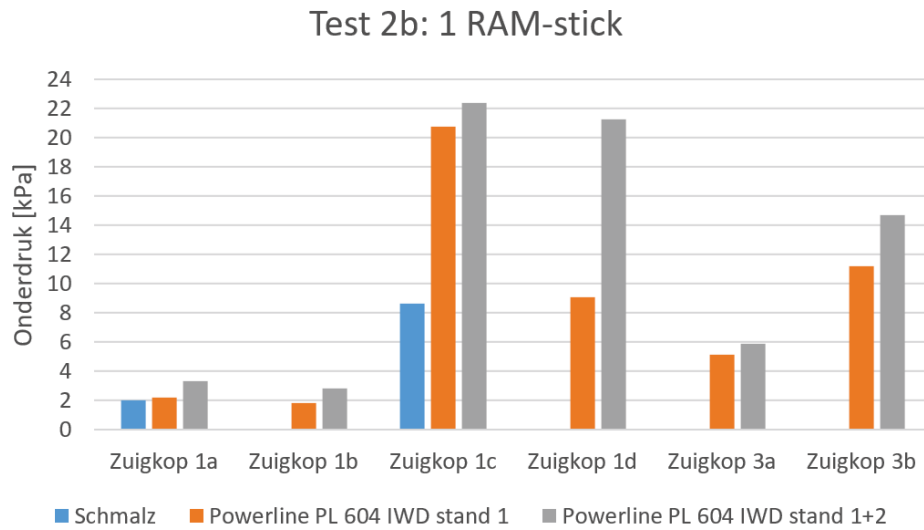
De resultaten van de testen op lege RAM-slots worden weergegeven in figuur 4.37.



Figuur 4.37: Resultaten test 2A

Test 2B: Eén RAM-stick

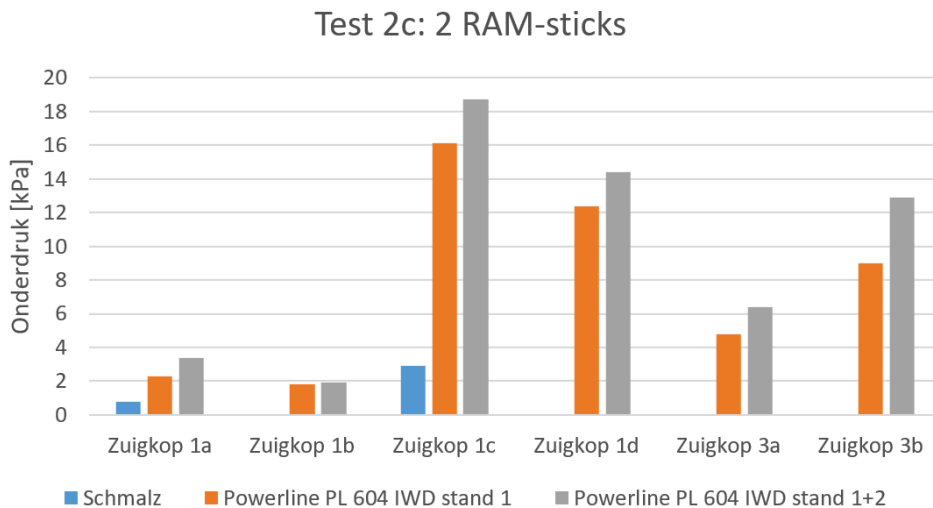
De resultaten van de testen op één RAM-slot met één RAM-sticks worden weergegeven in figuur 4.38.



Figuur 4.38: Resultaten test 2B

Test 2C: Twee RAM-sticks

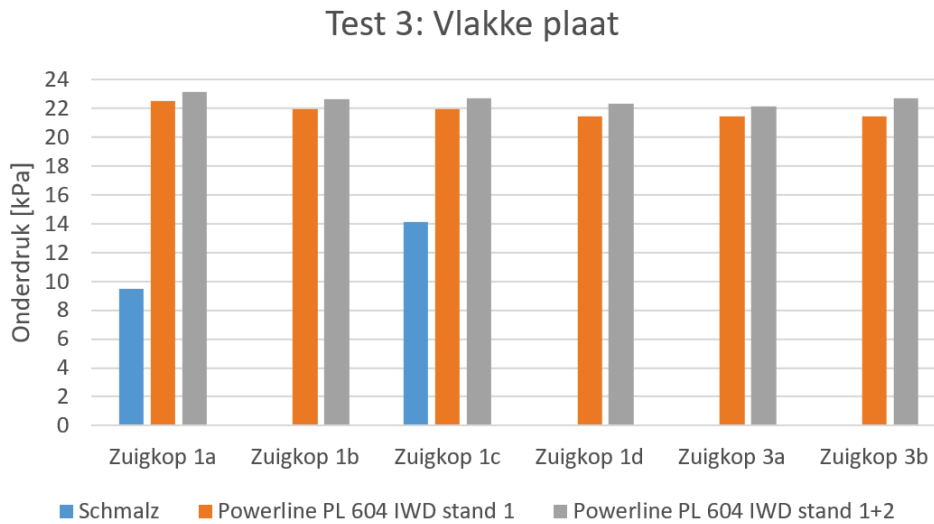
De resultaten van de testen op twee RAM-slots met twee RAM-sticks worden weergegeven in figuur 4.39.



Figuur 4.39: Resultaten test 2C

4.2.2.3 Test 3: Referentie: Vlakke plaat

Ter referentie wordt test 3 opgezet. Hier wordt gegrepen op een vlakke plaat zodat het toedoen van de dichting zo goed als helemaal kan worden uitgesloten. Op deze manier kan er worden gecontroleerd of er geen verschillen meetbaar zijn door andere factoren. De resultaten van deze test worden weergegeven in onderstaande figuur.



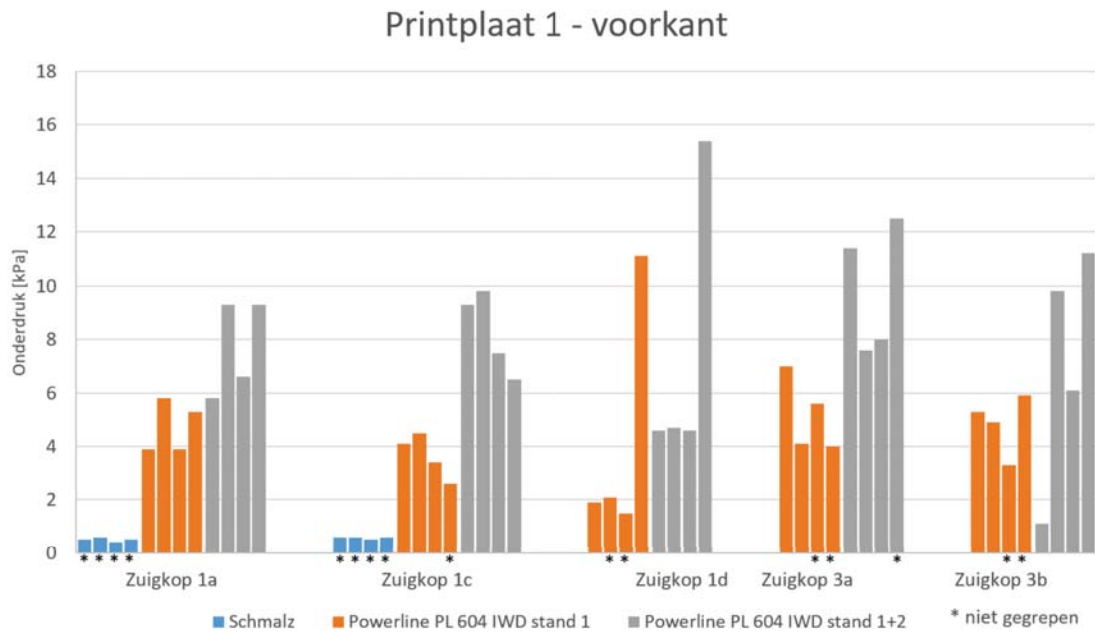
Figuur 4.40: Resultaten test 3

4.2.2.4 Test 4: Reeks printplaten

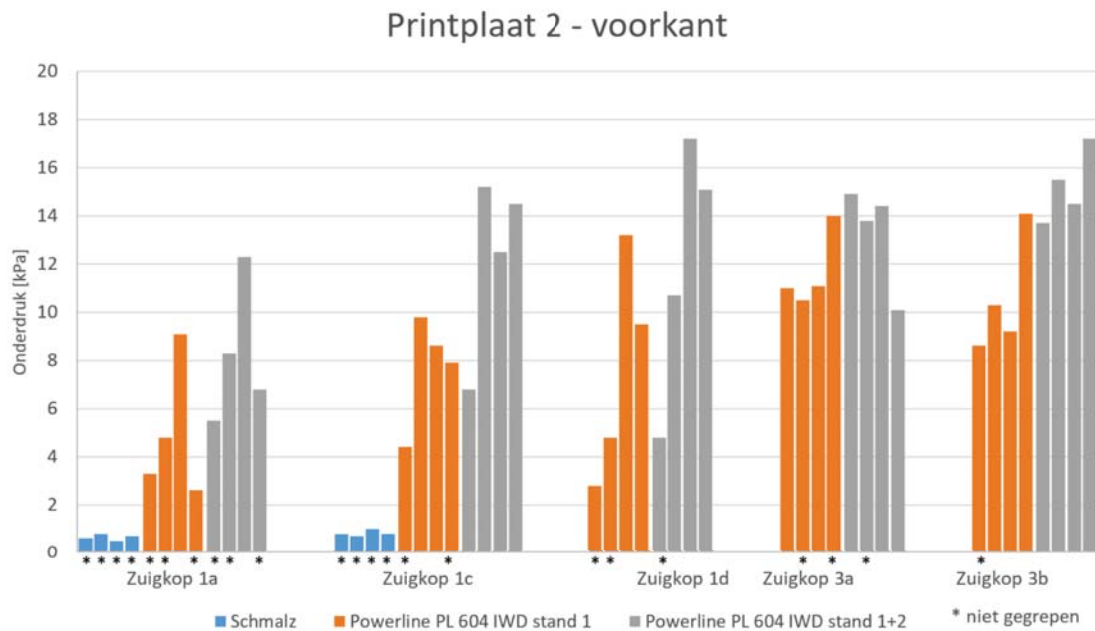
Deze test bestaat uit de reeks printplaten weergegeven in figuur 4.23. In deze figuur wordt ook de nummering van de printplaten weergegeven. In het eerste deel wordt de dichting getest op vier verschillende posities op de voorkant van elke printplaat. In het tweede deel wordt de dichting op één positie aan de achterkant van de printplaten getest. Hier wordt telkens maar één positie genomen aangezien deze nagenoeg vrij van componenten en vlak zijn. Verschillende grijpposities leveren hier geen waardevolle resultaten op. Voor iedere grijppositie wordt ook telkens getest als de printplaat kan worden opgenomen.

Test 4A: Voorkant printplaat

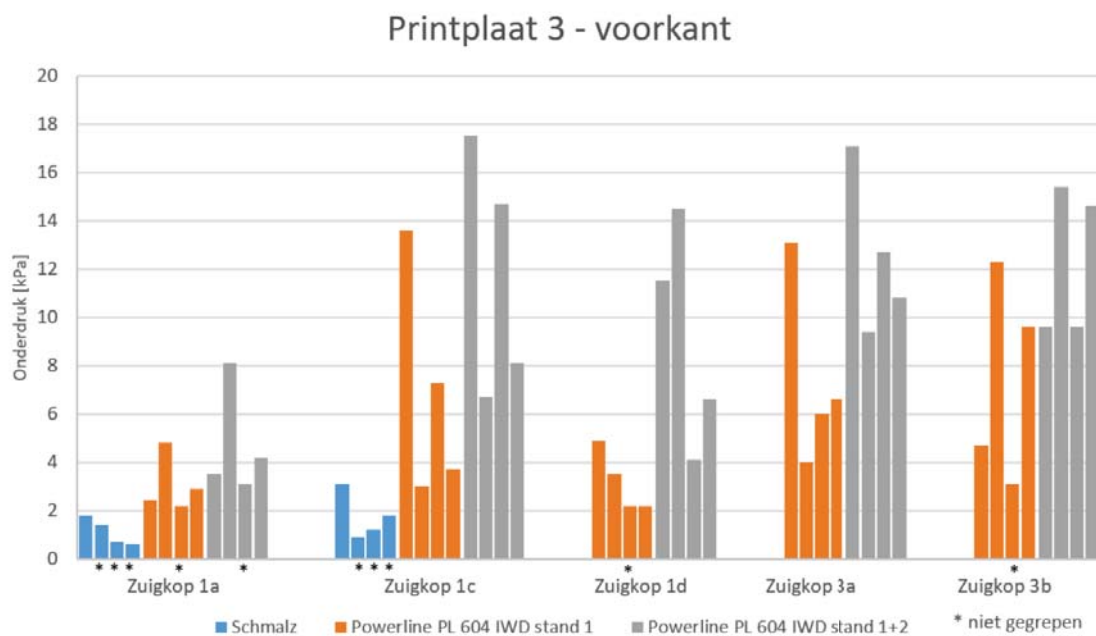
De resultaten van de testen op de voorkant van de printplaten worden weergegeven in onderstaande figuren.



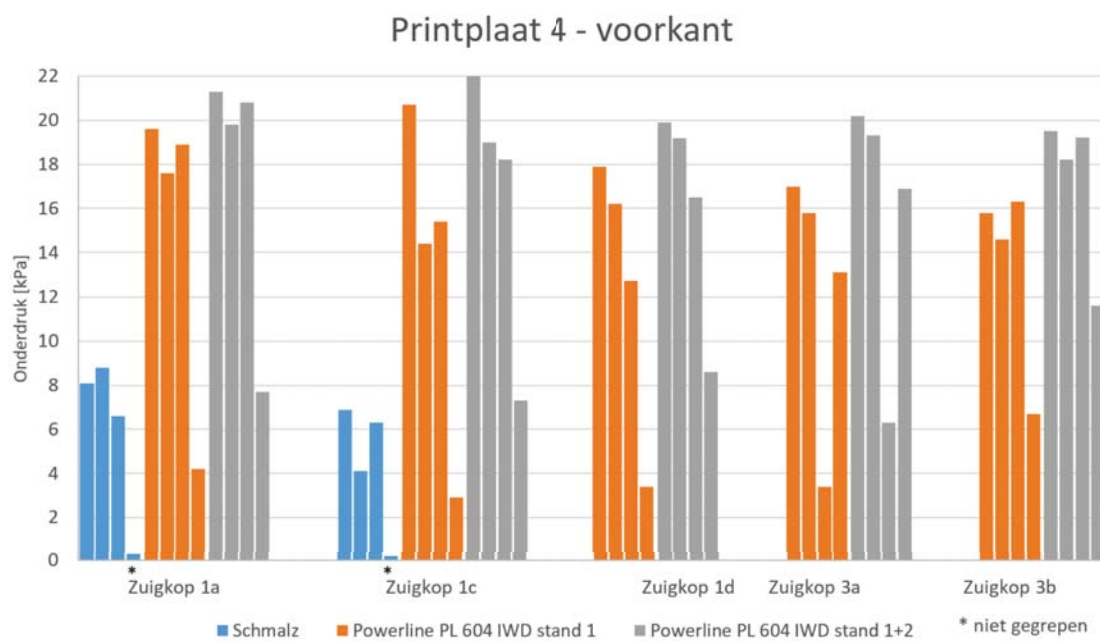
Figuur 4.41: Resultaten test 4A: Printplaat 1 voorkant



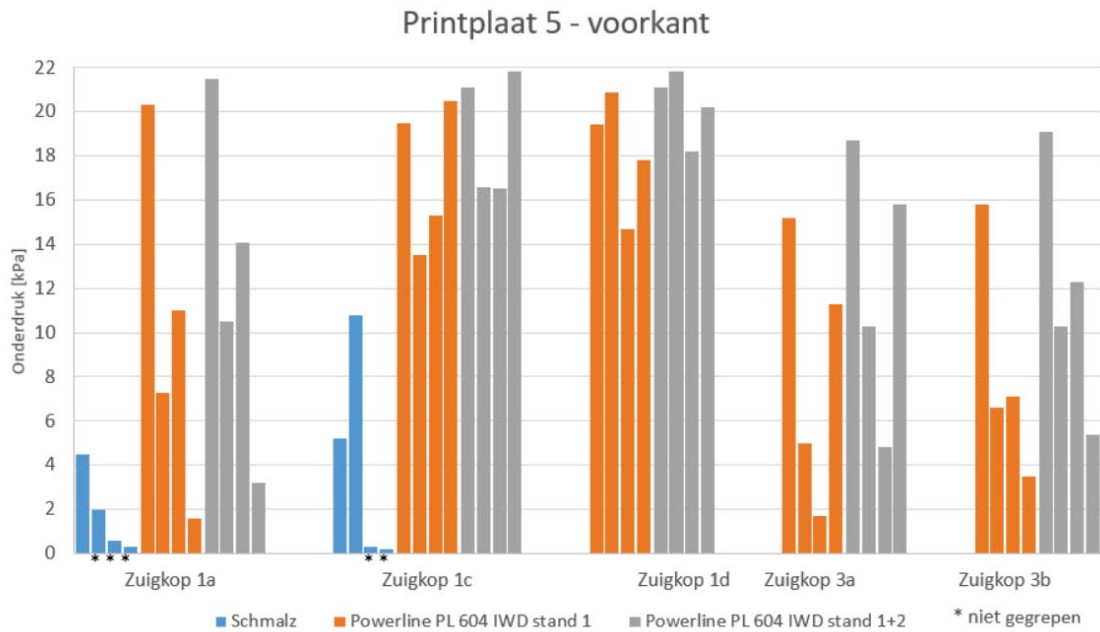
Figuur 4.42: Resultaten test 4A: Printplaat 2 voorkant



Figuur 4.43: Resultaten test 4A: Printplaat 3 voorkant



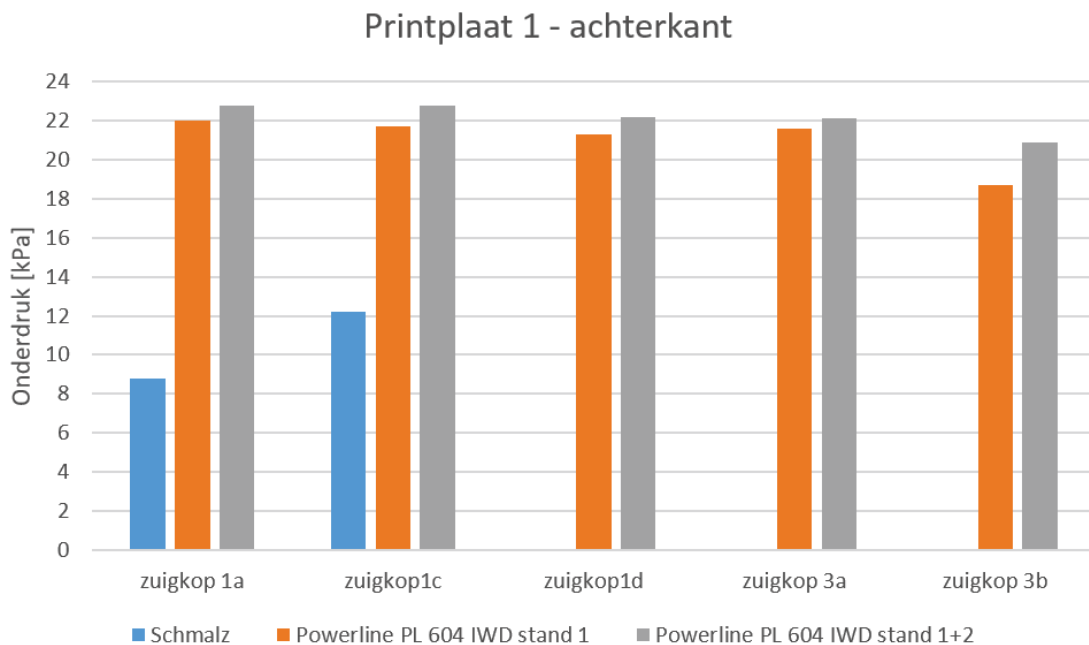
Figuur 4.44: Resultaten test 4A: Printplaat 4 voorkant



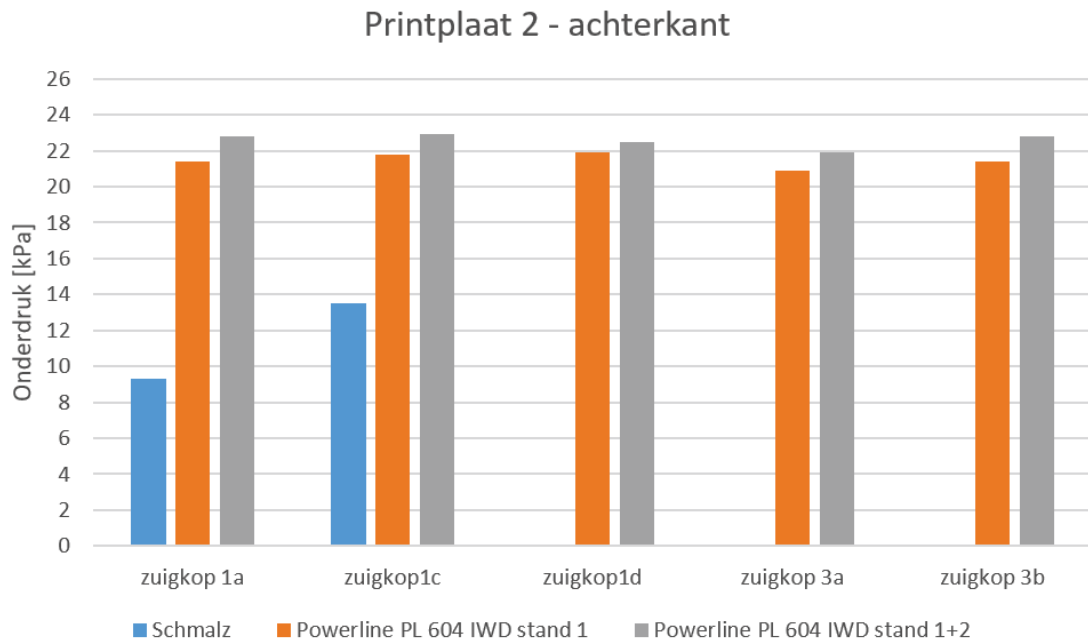
Figuur 4.45: Resultaten test 4A: Printplaat 5 voorkant

Test 4B: Achterkant printplaat

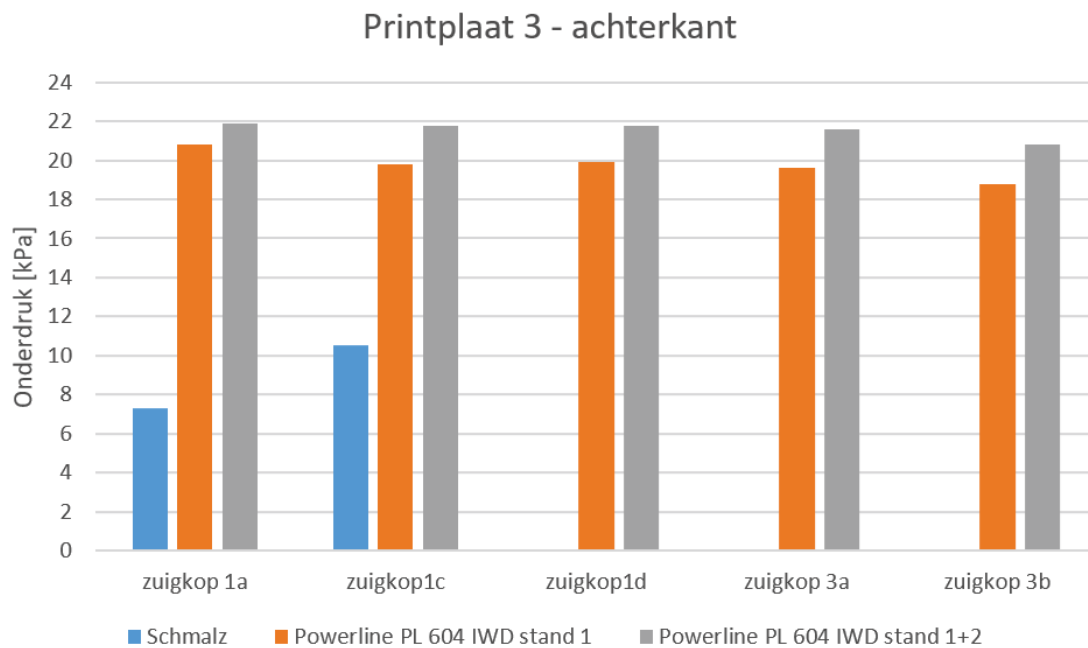
De resultaten van de testen op de achterkant van de printplaten worden weergegeven in onderstaande figuren.



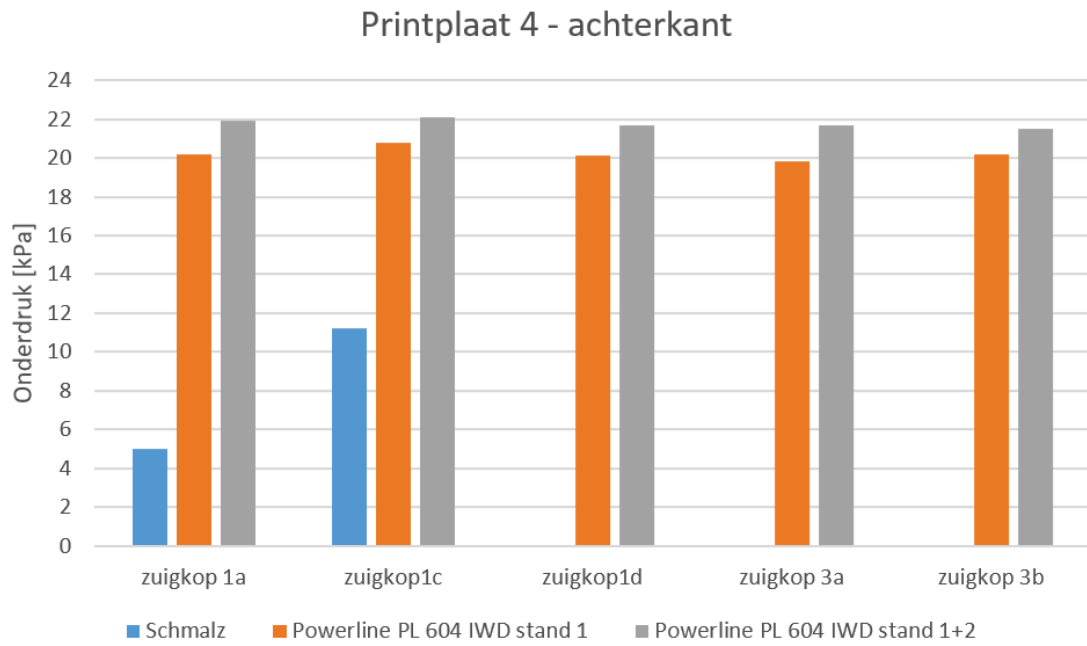
Figuur 4.46: Resultaten test 4A: Printplaat 1 achterkant



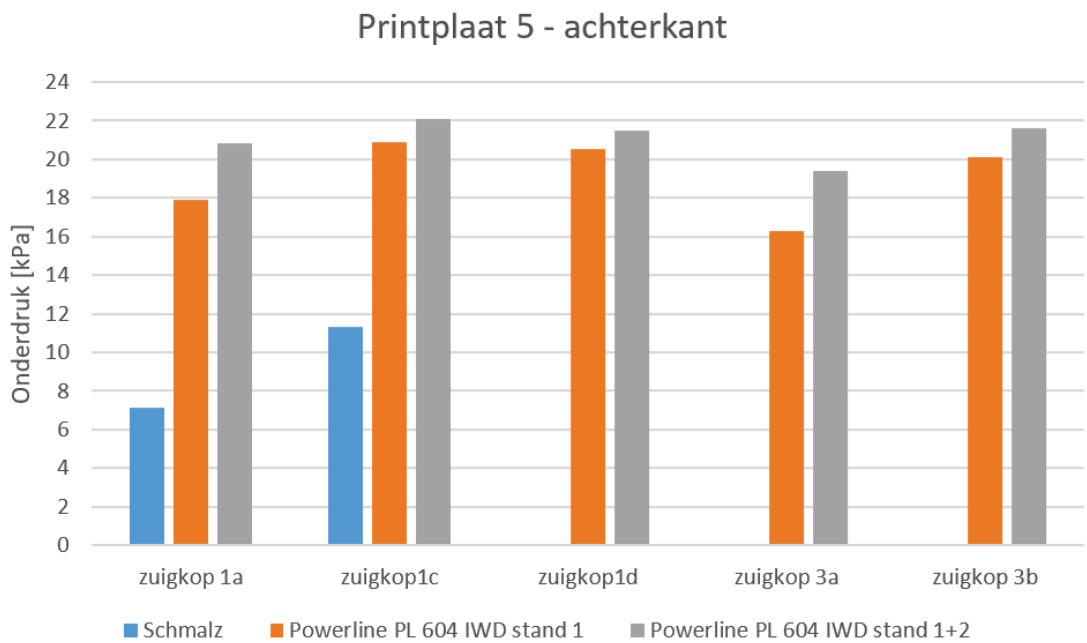
Figuur 4.47: Resultaten test 4A: Printplaat 2 achterkant



Figuur 4.48: Resultaten test 4A: Printplaat 3 achterkant



Figuur 4.49: Resultaten test 4A: Printplaat 4 achterkant



Figuur 4.50: Resultaten test 4A: Printplaat 5 achterkant

4.2.2.5 Analyse resultaten en waarnemingen

Aanpassingsvermogen

Als eerste wordt er naar het aanpassingsvermogen van de verschillende dichtingen gekeken, hieruit kunnen volgende opmerkingen worden gemaakt. Dichting 1A blijkt als verwacht te laag te zijn om zich goed te kunnen aanpassen aan hoge componenten. Dichtingen 1C en 1D doen dit daarentegen beter. In verhouding met elkaar past dichting 1D zich in het algemeen een fractie slechter aan. Dit komt omdat de dichting stijver is ten gevolge van zijn grotere dikte. De borstel van dichting 3A en 3B vervulde zijn functie en drong in tussen de componenten zoals weergegeven op figuren 4.28 en 4.29. Om zo de lekweg te beperken waar de schuim niet komt.

Behaalde Onderdruk

Test 3: Referentie en test 4B: Achterkant printplaten

In figuur 4.40, de referentietest zijn er bij het gebruik van de Powerline PL 604 geen noemenswaardige verschillen merkbaar. Hieruit kan besloten worden dat er geen andere factoren een effect hebben op de testen waardoor de resultaten representatief zijn voor enkel het verschil in dichtingen. Bij het gebruik van de Schmalz, wordt hier wel een belangrijk verschil opgemerkt. Ook in test 4B die sterk overeenkomt met test 3 kan ditzelfde verschil opgemerkt worden. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de slechtere fabricagekwaliteit van dichting 1A. De dikte van deze dichting was minder constant dan die van bijvoorbeeld 1B, figuur 4.51. Dit kan mogelijk extra lek veroorzaakt hebben.



Figuur 4.51: Fabricagekwaliteit dichtingen 1A (links) en 1B (rechts)

De reden dat dit effect niet zichtbaar was komt waarschijnlijk door de hogere haalbare onderdruk van de Powerline PL 604. Hierdoor wordt de dichting feller samengedrukt wat de invloed van de slechte kwaliteit hier beperkte. Het effect dat zichtbaar is zal bij alle andere testen in rekening moeten worden gebracht voor de Schmalz.

Een bijkomende opmerking die kon worden gemaakt bij test 4B is dat steeds alle printplaten grijpbaar waren met alle dichtingen en alle vacuümbronnen. Uit test 4B komen er voor de rest niet meer noemenswaardige resultaten die kunnen bijdragen aan het beoordelen van de dichtingen.

Test 1: PCI

Uit deze test blijkt er geen groot verschil te zitten tussen de dichtingen 1A, 1B en 1C. Dit is logisch aangezien deze een grote overeenkomst hebben (zelfde breedte schuim) en het te overwinnen object relatief laag was. Dichting 1D daarentegen bleek het slechter te doen. Dit is te wijten aan zijn grotere dikte en bijgevolg slechte aanpasbaarheid. Het voordeel van de extra borstel is duidelijk zichtbaar in de dichtingen 3A en 3B. Ook de extra binnenring in dichting 3B bleek extra voordeel te bieden door ervoor te zorgen dat de haren niet naar binnen worden gezogen.

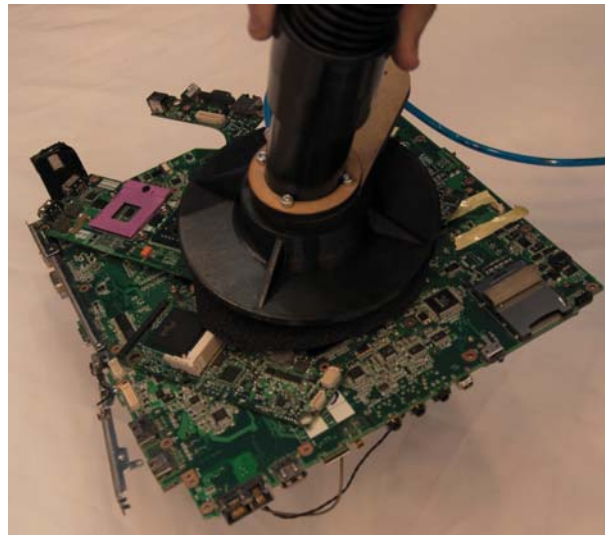
Test 2: RAM-stick

In de test met enkel lege *RAM-slots* was er doorheen de dichtingen weinig verschil merkbaar. De dichtingen 1D en 3B met een slechter aanpassingsvermogen presteerden een fractie slechter.

Bij de testen met één of twee ram sticks slaagden dichtingen 1A en 1B er niet in een goede afdichting te vormen. Voor dichting 1A komt dit door zijn te lage hoogte waardoor deze zich niet aan hoge componenten kan aanpassen. Dichting 1B daarentegen begaf hier onder het vacuüm en werd naar binnen gezogen. Dichtingen 1C, 1D, 3A en 3B slaagden er wel in een goede afdichting te vormen. Dichting 1C presteerde hier het beste. Een fractie slechter was de stijvere dichting 1D. Dichtingen 3A en 3B daarentegen presteerden aanzienlijk slechter. Een verklaring hiervoor is dat wanneer de borstel zich zeer slecht plaatst, de dichting uit elkaar wordt geduwd, waardoor een grotere lekgeweg ontstaat. Wel kon weer het voordeel van dichting 3B ten opzichte van 3A worden opgemerkt.

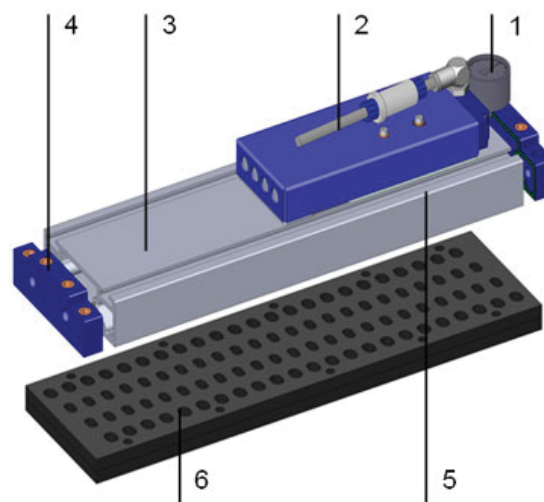
Test 4A: Voorkant reeks printplaten

Printplaten 4 en 5 waren in bijna alle gevallen grijpbaar. Dit zijn beide printplaten afkomstig van een laptop, tv... Bijgevolg zijn deze relatief vlak van vorm waardoor er gemakkelijk een vacuüm kan worden gevormd. Eveneens zijn deze beperkt in massa waardoor het benodigde vacuüm beperkt blijft. In enkele gevallen werd er geen of een zeer laag vacuüm gegenereerd. Dit was het gevolg van deels over een gat in de printplaat te grijpen. Bij het grijpen van een enkele printplaat heeft dit als resultaat dat er niets wordt gegrepen. Bij het grijpen van een printplaat uit een stapeling kan dit tot gevolg hebben dat er meerdere printplaten in een keer worden gegrepen zoals weergegeven in onderstaande figuur 4.52.



Figuur 4.52: Twee op elkaar liggende printplaten die samen worden gegrepen

Printplaten 1,2 en 3 daarentegen waren afkomstig van een desktop. Deze waren bij het gebruik van de Schmalz vacuümgenerator zo goed als nooit grijpbaar, het zuigdebiet hiervan was te klein om de aanwezige lekweg te overwinnen. Bij het gebruik van de Powerline PL 604 IWD presteerde dichting 1A het slechts. Dit komt door zijn te lage hoogte en hierdoor te lage aanpassingsvermogen aan hogere componenten. Dichtingen 1C en 1D bleken gelijkaardig te presteren, met een klein voordeel voor dichtingen 1C die zich beter kon aanpassen door zijn dunnere vorm. Dichtingen 3A en 3B konden steeds een hoger vacuüm opwekken. Dit betekende daarentegen niet dat in alle gevallen de printplaat beter kan worden gegrepen, dit kan meerdere oorzaken hebben. Zo wordt door de extra binnenring en borstel bij zuigkop 3B het nuttige zuigoppervlak verkleind waardoor de maximale *payload* verkleint. Ook zijn dichtingen 3A en 3B veel stijver om samen te drukken. Deze extra drukkracht kan gezien worden als een verhoging van de benodigde *payload*, aangezien de dichting zelf de printplaat harder wegdrukt, waardoor bij het grijpen de afdichting tussen de gripper en de printplaat verloren gaat. Een gelijkaardig effect treed op bij de stijvere dichting 1D. Dit verklaart ook waarom er niet gekozen werd om een afdichting te ontwerpen als in figuur 4.53.



Figuur 4.53: Area dichting [1]

Deze zou een veel grotere kracht vragen om de dichting samen te drukken. De aanpasbaarheid van de dichting en de benodigde *payload* worden negatief beïnvloed. Ook beperkt deze dichting de verhouding tussen nuttig zuigoppervlak en totaal oppervlak van de grijper. Een ander nadeel is dat deze grijper niet met zijn center over storende componenten kan grijpen zonder er door beïnvloed te worden.

Wanneer er gekeken wordt naar de verschillen tussen de standen van Powerline PL 604 IWD kan er worden vastgesteld dat een hoger zuigdebiet ook resulteert in een grotere grijpkans van de printplaat. Dit zuigdebiet dient echter geminimaliseerd te worden om zo het energieverbruik te beperken. In werkelijkheid zou de vacuümventilator variabel kunnen gestuurd worden naar gelang welke types printplaten zich in een *batch* bevinden.

Als er wordt gekeken naar de samenstelling van deze *batch* printplaten, bestaat deze tegenwoordig nog grotendeels uit desktop printplaten. In de toekomst zal de verhouding hoogstwaarschijnlijk verschuiven in de richting van de laptop, tv... printplaten waardoor een principe op basis van de Schmalz ook mogelijk een optie wordt.

WEEE Categories that are commonly dismantled	Average product mass (kg)	Annual Mass Galloo (ton)	Annual number of product Galloo	Heat sinks per PWB	Fe components per PWB	Ta Capacitors per WPB	Profit/PWB (EUR)	Total annual Increased profit (EUR)	Avoided EI (Pt)
Laptops	2	150	75,000	2	0	10	0.43	32,250	7275
LCD TVs	15	450	30,000	3	1	10	0.56	16,800	3000
Desktop PCs	9.3	1872	200,000	3	1	10	0.56	112,000	20,040

Figuur 4.54: Samenstelling verwerkte printplaten [3]

Een ander belangrijke factor is de duurzaamheid van de grijper. De schuim waar de grijper is uit opgebouwd staat bekend om steeds naar zijn oorspronkelijke vorm terug te keren. De schuim is teruggekeerd naar oorspronkelijke vorm na ongeveer 5 seconden, wat snel genoeg is voor deze toepassing. De borstelharen daarentegen hebben een langere tijd nodig en bleken doorheen de test ook een soort vormgeheugen te ontwikkelen waardoor ze niet meer volledig naar hun oorspronkelijke vorm terug keerden.

Aan de hand van de uitgevoerde testen kan besloten worden dat dichting 3B voor de beste afdichting zorgt. Het verschil met dichting 1C is echter niet groot genoeg om de extra toegevoegde complexiteit van van dichting 3B ter verantwoorden. Om deze reden wordt er verder gewerkt met dichting 1C.

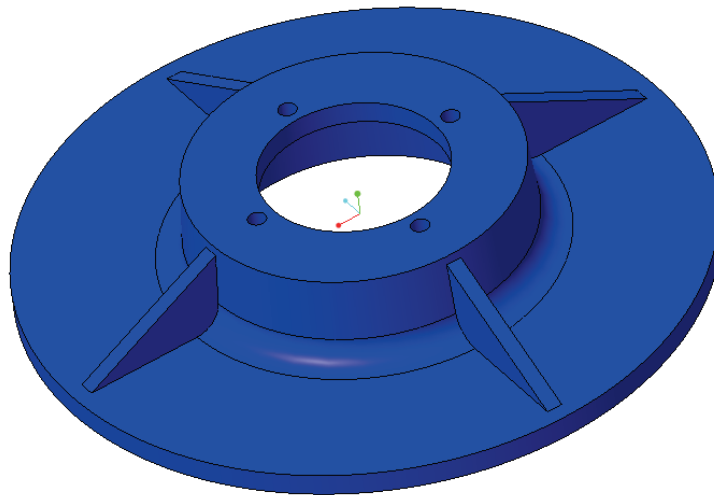
4.3 Mechanische ontwerp

In deze sectie wordt er dieper ingegaan op het ontwerp en de productie van de zuigerkop zelf.

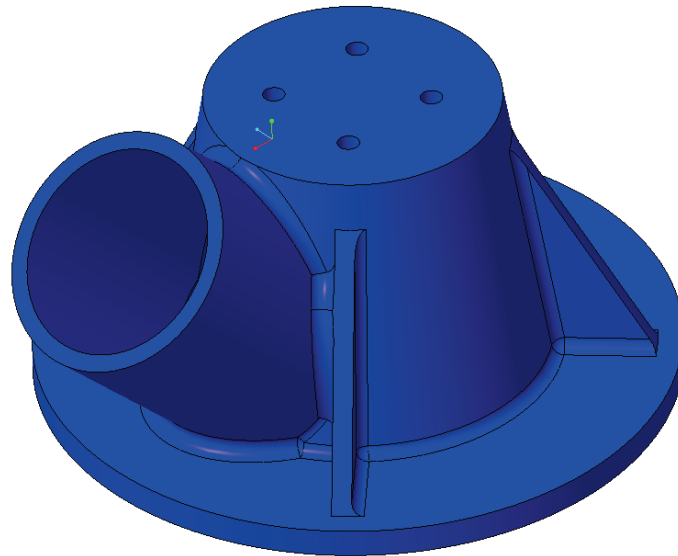
4.3.1 Ontwerp

De vorm van de kamer heeft dezelfde vorm als de afdichtingen zelf, een cilindrische vorm. De voordelen hiervan worden besproken bij het ontwerp van de dichting. De zuigerkop moet de mogelijkheid hebben om bevestigd te worden aan een manipulator en moet een aansluitmogelijkheid zijn voor een vacuümgenerator of andere vacuümbron. Ook moet deze beschikken over een vlak oppervlak aan de onderzijde waarop de afdichting kan worden bevestigd (geplakt).

Op basis van deze eigenschappen zijn verschillende testkoppen ontworpen. Ook zijn enkele prototypes gemaakt door middel van 3D-printen (FDM). Twee verschillende ontwerpen worden weergegeven in onderstaande figuren 4.55 en 4.56. Deze productiemethode staat niet bekend om zijn structureel sterke producten. Om deze reden zijn er enkele steunribben toegevoegd aan het ontwerp. Deze zijn mogelijk niet nodig bij andere productiemethodes.



Figuur 4.55: Zuigerkop met afzuiging in center

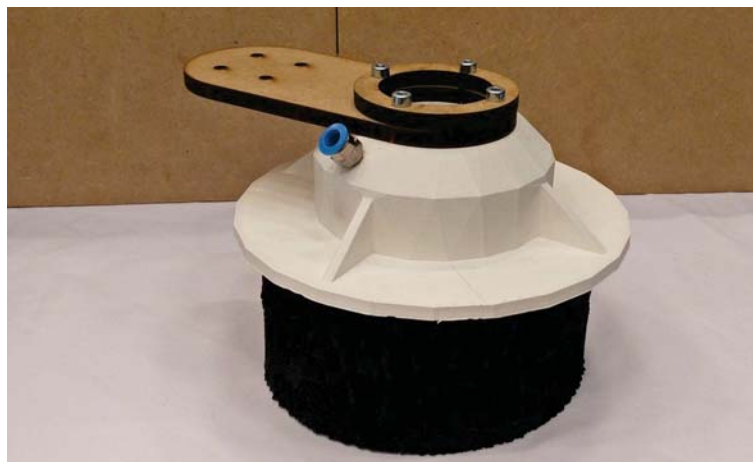


Figuur 4.56: Zuigkop met montage in center

Het grootste verschil tussen de twee koppen zit in de bevestiging van de luchtafzuiging. Bij de eerste kop, figuur 4.55, zit de montage bovenaan in het center van de kop. Zo kan zowel de ‘Schmalz flow gripper’ als de ‘Powerline PL 604’ gemonteerd worden met behulp van een tussenstuk. De andere zuigkop, figuur 4.56, heeft de aansluiting aan de zijkant met gevolg dat deze enkel geschikt is voor de stofzuiger en niet voor de Schmalz. Door de afzuiging aan de zijkant te voorzien kan de zuigkop in het center de robot gemonteerd worden. Op dit verschil wordt in volgende paragraaf verder ingegaan.

4.3.2 Grijper excentrisch opstellen

Bij de eerste zuigkop zit de slang voor de luchtafzuiging centrish voorzien wat ervoor zorgt dat de grijper excentrisch aan de manipulator bevestigd moet worden. Een voorbeeld hiervan wordt weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 4.57: Zuigkop excentrisch opstellen

De grijper excentrisch opstellen heeft ook enkele voordelen. Zo kan het bereik van de manipulator vergroot worden en kan de grijper beter printplaten grijpen die zich bijvoorbeeld in de hoek van een box bevinden. Het nadeel is wel dat er een extra moment gecreëerd wordt met gevolg dat de *payload* van de robot groter moet zijn.

Bij de tweede zuigkop, waar de bevestiging van de slang voor luchtafzuiging aan de zijkant zit, kan de grijper rechtstreeks op de eindeffector gemonteerd worden. Indien de manipulator een 6-assige robot is, valt hier de laatste rotatieas van de robot samen met de center-as van de zuigkop. Dit brengt enkele voordelen met zich mee. Zo wordt er in tegenstelling tot de excentrische bevestiging geen extra moment geïntroduceerd. Ook is het samenvallen van deze assen noodzakelijk bij het gebruik van dichtingen 3A en 3B. Dit om de grijper te plaatsen op de printplaat met een kleine roterende beweging om zijn eigen as zoals besproken in sectie 4.2.1.

Omdat de slang schuin aan de grijper wordt bevestigd en deze op zich redelijk stijf is door zijn grote diameter, zal de buigstraal die de slang nodig heeft relatief groot zijn als weergegeven in figuur 4.58. Dit vergroot de kans op botsingen. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat dit effect hier nog vergroot werd door de relatief kleine robot in verhouding met de rest van de opstelling.



Figuur 4.58: Buigstraal van de slang op robot

4.3.3 Productieproces

Om de uiteindelijke zuigkop te produceren worden hieronder enkele productietechnieken besproken met hun bijhorende voor- en nadelen.

3D-printen

Een eerste techniek is om de zuigkop te 3D-printen. Binnen deze techniek zijn er meerdere mogelijkheden. Zo kan er gebruik gemaakt worden van FDM, als gebruikt voor de prototypes. Het grote nadeel hiervan is de lage sterkte in de printrichting. In al de uitgevoerde testen is er echter geen enkele kop gefaald. Maar in een ruwe omgeving zoals een recyclagebedrijf is een stevigere kop gewenst. Hiervoor kan er gekozen worden om te printen met andere materialen zoals bijvoorbeeld ABS, staal, aluminium, rvs... en met andere technieken als SLS (*selective laser sintering*) en SLM (*selective laser melting*) voor metalen.

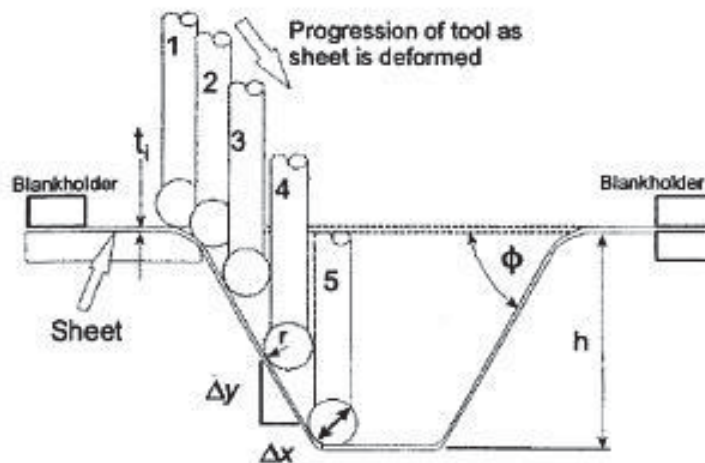
Al deze *additive manufacturing* technieken halen er hun voordeel uit dat ze zeer complexe stukken kunnen maken die met klassieke productietechnieken niet of zeer moeilijk produceerbaar zijn. Ook kan het gewicht positief beïnvloed worden door gebruik te maken van interne holle structuren.

Frezen uit aluminium

Een tweede techniek is het product uit aluminium frezen. Dit is de meest klassieke methode om de zuigkop te vervaardigen. Het product is dan ook redelijk robuust tegen eventuele stoten. Het nadeel wat frezen met zich meebrengt is de grote hoeveelheid spanen (afval). Om de kop te laten frezen is ook niet de goedkoopste oplossing (paragraaf 4.4 Kostprijs grijper). Maar het gaat hier niet over serieproductie dus is de kostprijs minder belangrijk.

Thermoformereren

Een andere methode is de kop vervaardigen met behulp van thermoformereren. Deze techniek vraagt enkele aanpassingen aan het ontwerp. Zo kunnen bijvoorbeeld steunribben in de huidige vorm niet gemaakt worden. Ook vraagt deze techniek verdere nabewerking om bijvoorbeeld de gaten voor bevestiging erin aan te brengen. Een klassieke matrijs is voor deze techniek zeer duur. Een oplossing hiervoor kan zijn de matrijs te maken uit plaatmateriaal met de techniek *Single point incremental forming*. Hierbij wordt de mal gemaakt door een metalen plaat incrementeel te vervormen. Dit gebeurt door ervoor te bewegen met een CNC gestuurde pen als in figuur 4.59. Zo wordt een dunne matrijs uit plaatmateriaal bekomen die relatief goedkoop is. Tijdens het thermoformereren wordt de matrijs wel aan de binnenkant opgevuld met korrels om het samentrekken tegen te gaan. [21]



Figuur 4.59: *Single point incremental forming* [21]

Spuitsieten

Een vierde techniek is het product spuitgieten. Deze stukken zijn technisch maakbaar door middel van spuitgieten maar aangezien de lage productieaantallen komt deze techniek niet in aanmerking door de hoge kostprijs van de matrijzen.

Een mogelijkheid zou er wel in bestaan om de ACES-injection moulding techniek toe te passen. Hier worden er door middel van *additive manufacturing* (STL) matrijzen gemaakt die gebruikt kunnen worden voor zeer lage stukaantallen (10-100 stuks). Deze techniek wordt echter niet weerhouden door het complexere productieproces dan de andere technieken.

RVS manuele assemblage

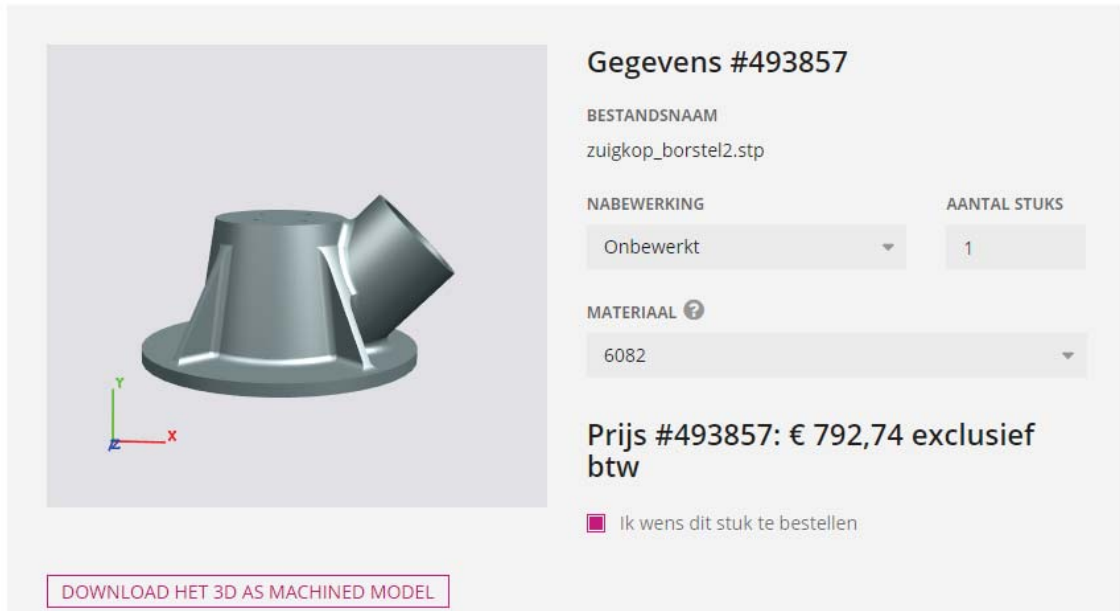
Als laatst onderzochte methode is het mogelijk om de zuigkop uit plaatmateriaal te maken, bijvoorbeeld rvs. Het is mogelijk om de onder- en bovenring uit snijden en een cilinder te walsen als mantel en dan alles aan elkaar te lassen. Ook is het zeer eenvoudig om eventuele steunribben erop te lassen. Steunribben zijn al dan niet nodig bij deze techniek afhankelijk hoe dik het plaatmateriaal is. Het voordeel van deze techniek is dat de kop met relatief eenvoudige bewerkingen gemaakt kan worden. De kostprijs van het materiaal is voor deze techniek relatief laag, hier moeten echter ook de extra manuren bijgeteld worden. Gezien het gebruikte materiaal levert deze techniek ook een zeer robuust en roestbestendig resultaat op.

Conclusie

Kunststof is wegens de lagere sterkte, slechtere bestendigheid tegen invloeden van de omgeving en slechtere reparerbaarheid niet het meeste geschikte materiaal. Beter opties hiervoor zijn aluminium of RVS. Aluminium heeft een lagere soortelijke massa, maar de onderdelen van RVS kunnen dunner gemaakt worden door de hogere sterkte van RVS. Bijgevolg blijven er de technieken SLS, SLM, frezen uit aluminium en RVS manuele assemblage over. De verschillen in kostprijs worden in volgende paragraaf besproken. Verder kan de keuze ook afhangen van extra wensen of de aanwezige mogelijkheden om het product zelf te maken.

4.4 Kostprijs grijper

In onderstaande figuren wordt een kostprijschatting weergegeven voor het producten van de grijpkop (afzuiging aan de zijkant). Drie verschillende methoden worden besproken: Frezen uit aluminium, SLS uit PA-GF en SLM uit aluminium.



Gegevens #493857

BESTANDSNAAM
zuigkop_borstel2.stp

NABEWERKING
Onbewerkt

AANTAL STUKS
1

MATERIAAL ?
6082

Prijs #493857: € 792,74 exclusief btw

Ik wens dit stuk te bestellen

DOWNLOAD HET 3D AS MACHINED MODEL

Figuur 4.60: Productiekost grijpkop frezen uit aluminium [22]

Part	Parameters	Quantity	Unit, €	Total, €
716656- zuig...p_borstel-1 146 x 77 x 130 mm Vol.: 157.9 cm ³	Technology: Laser Sintering Material: PA-GF Finishing: Normal	1	116.97	116.97

Keep part orientation Do not hollow

Figuur 4.61: SLS printen in PA-GF [23]

Part	Parameters	Quantity	Unit, €	Total, €
716656- zuig...p_borstel-1 146 x 77 x 130 mm Vol.: 157.9 cm ³	Technology: Metal 3D Printing Material: AlSi10Mg Finishing: Normal <input type="checkbox"/> Small series required <input type="checkbox"/> I have specific questions regarding: Technical drawing (2D-file), Material properties, surface roughness or dimensional tolerances	1	1552.33	1552.33

Keep part orientation Do not hollow

Figuur 4.62: SLS printen in aluminium [23]

De hogere sterkte en betere repareerbaarheid is niet te verantwoorden ten opzichte van de lagere kostprijs en lagere gewicht van een kop uit kunststof. Er wordt gekozen voor PA-GF, door de toegevoegde glasvezels moet de kop volstaan voor normaal gebruik. Bij schade door botsingen is de productiekost dermate laag dat een nieuwe kop verkozen wordt ten opzichte van een beter repareerbare grijper. Ook wordt er gekozen voor een andere productiemethode, SLS, hierdoor is de sterkte minder afhankelijk van printrichting [24].

De bepaling van de prijs van de gebruikte afdichtingsschuim is nagenoeg onmogelijk te bepalen door de zeer beperkte hoeveelheid. Daarom wordt deze momenteel niet meegenomen in de prijscalculatie.

4.5 Conclusie

Een vacuümgrijper die werkt op basis van een groot zuigdebiet is ontwikkeld. Deze kan ondanks de aanwezige lekweg, veroorzaakt door de grillige vorm van de printplaten, nog steeds voldoende onderdruk opwekken. De minimum haalbare onderdruk is vastgelegd tussen de 5 kPa en 10 kPa (0,05 bar en 0,1 bar). Om alle soorten printplaten te kunnen grijpen is een grijpoppervlak met een diameter van minimaal 100 mm nodig.

Om het benodigde zuigdebiet en het energieverbruik te beperken, is een afdichting ontworpen die zich optimaal kan aanpassen aan de vorm van de printplaten. Meerdere ontwerpen op basis van schuimen en afdichtingsborstels zijn hiervoor uitvoerig getest. De optimale dichting (1C, figuur 4.12) bestaat uit een ringvormige schuim met een binnendiameter van 100 mm, een hoogte van 60 mm en een getrapte dikte van 30 mm naar 15 mm aan het zuigoppervlak. De getrapte dikte biedt een goed aanpassingsvermogen aan het grijpoppervlak terwijl nog steeds voldoende stevigheid kan worden geboden tegen het opgewekt vacuüm. Deze dichting is weerhouden omwille van zijn eenvoud, durabiliteit en goed aanpassingsvermogen. Dichtingen die gebruik maken van een extra afdichtingsborstel slaagden er in een betere afdichting te vormen. Dit vertaalde zich echter niet steeds in een hogere grijpkracht door het gereduceerde effectieve zuigoppervlak. Ook omwille van de lagere durabiliteit en hogere complexiteit werden deze dichtingen niet weerhouden.

Voor het type schuim is gekozen voor een Nitto EE-1000 serie schuim omwille van zijn hoge samendrukbaarheid, goede luchtdichtheid en zijn mogelijkheid om snel terug te keren naar zijn oorspronkelijke vorm na te zijn samengedrukt.

De grijper is in staat om over alle componenten op een printplaat te kunnen grijpen met uitzondering van de heatsinks. Hiervoor is een maximaal zuigdebiet van 160l/s nodig. In het merendeel van de gevallen volstaat echter een fractie hiervan. Twee verschillende vacuümbronnen zijn getest, een Schmalz flow gripper en een Powerline PL604 als plaatsvervangend vacuümventilator. De eerst vermelde volstaat enkel voor vlakke printplaten (laptop, tv...) maar kan in dit geval wel een goedkopere en eenvoudiger oplossing bieden dan de vacuümventilator die in staat was alle maten en vormen te grijpen. De huidige batch verwerkte printplaten bestaat grotendeels uit desktop printplaten. Het aantal andere vlakkere printplaten zoals tv en pc zullen daarentegen in de toekomst een groter aandeel gaan uitmaken waardoor de Schmalz mogelijk wel een optie kan worden.

De grijper wordt centraal opgesteld aan de manipulator met een afzuiging aan de zijkant om zo de positionering te vergemakkelijken en mogelijke momentwerkingen te beperken. De zuigkop zelf wordt geproduceerd door middel van SLS uit PA-GF omwille van zijn lage kostprijs van 117 euro en voldoende sterkte voor normaal gebruik door de toegevoegde glasvezels.

Algemeen kan worden besloten dat de grijptechniek in staat is om nagenoeg foutloos alle maten en vormen van printplaat te grijpen. De afmetingen van de grijper kunnen geoptimaliseerd worden naargelang de types printplaten die verwerkt moeten worden. Het grootste nadeel is het mogelijk grote aandrijfvermogen. Dit is sterk afhankelijk van de aanwezige lekweg en bijgevolg ook van de types te grijpen printplaten.

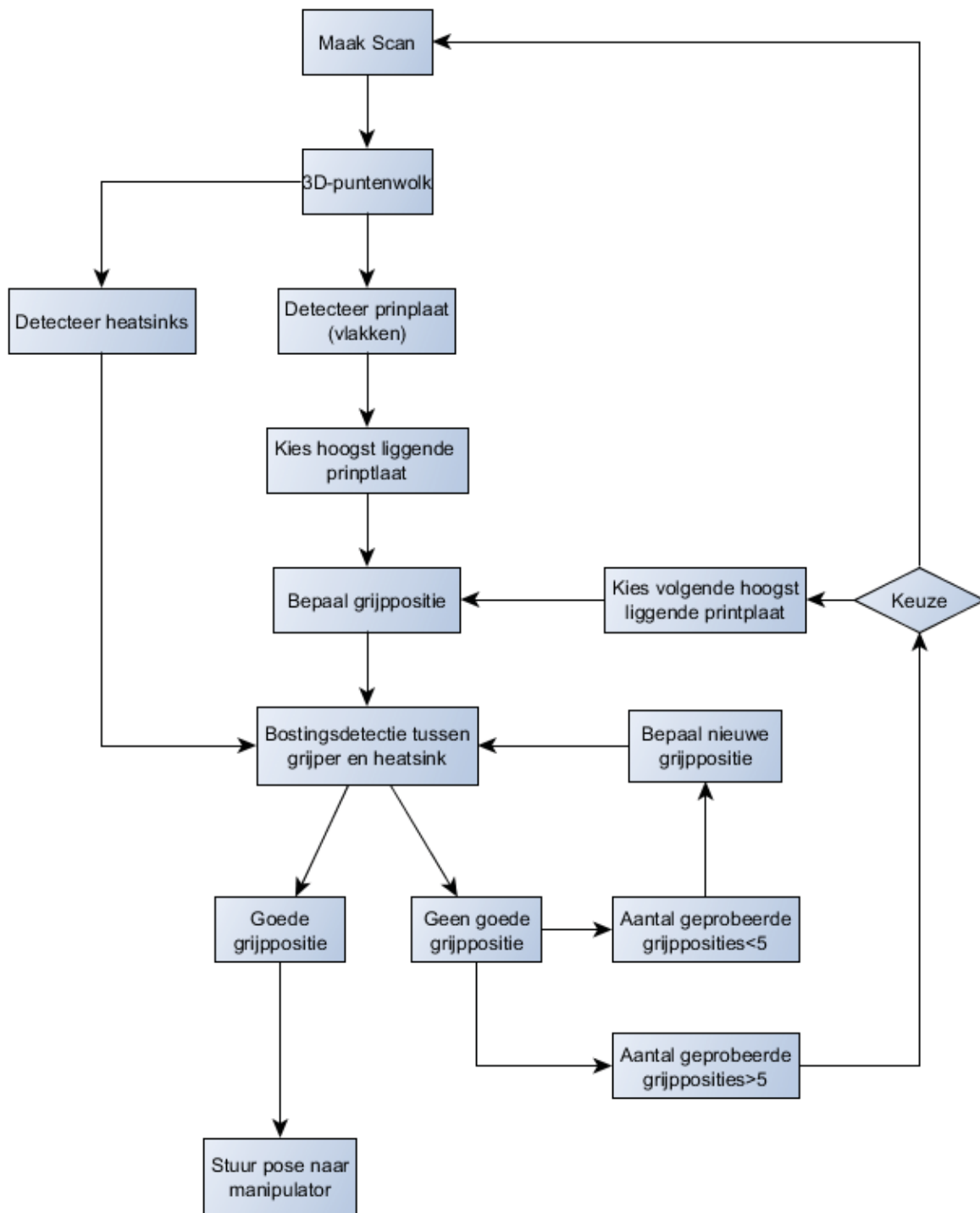
Hoofdstuk 5

Ontwikkeling visiesysteem

In dit hoofdstuk wordt het visiesysteem beschreven dat nodig is om een grijppositie op de printplaten te bepalen in een willekeurige stapeling. Allereerst wordt de methodiek van dit proces beschreven. Vervolgens wordt beschreven hoe deze methodiek in Halcon werd geïmplementeerd. Als laatste wordt deze implementatie uitvoerig getest en besproken. Ook worden er 2 verschillende cameraopstellingen met elkaar vergeleken.

5.1 Detectiemethodiek

De wijze waarop de detectie verloopt wordt hieronder schematische voorgesteld.



Figuur 5.1: Detectie methodiek

Als eerste wordt er met behulp van een visiesysteem een scan gemaakt. Deze scan resulteert in een 3D-puntenwolk. De reden dat er voor dit type systeem werd gekozen wordt later besproken.

Hierna dienen er twee verschillende zaken in de scan te worden herkend, de printplaat zelf en de al dan niet bijhorende *heatsink* of ventilatoren. Andere *features* op de printplaat dienen niet gedetecteerd te worden aangezien de ontwikkelde grijper in staat is deze te overwinnen.

Uit het aantal gedetecteerde printplaten wordt vervolgens de hoogst liggende geselecteerd. Eenmaal de positie van de hoogst liggende printplaat bepaald is, kan ook de eerste grijppositie bepaald worden. Idealiter ligt deze positie in het massacentrum van de printplaat. Aangezien dit nagenoeg onmogelijk te bepalen is, wordt de positie geplaatst in het midden van de printplaat. Dit zodanig de maximale excentriciteit ten opzichte van het zwaartepunt en het bijhorende opgewekte moment kan worden beperkt.

Eenmaal deze grijppositie bepaald is, kan er gekeken worden of er geen botsing ontstaat met een eventuele *heatsink* of koelvin die zich op de printplaat bevindt. Indien dit zo is moet de grijppositie worden aangepast. Als er geen grijppositie gevonden kan worden, wordt getracht de tweede hoogste printplaat te grijpen. Mogelijk wordt door deze printplaat te grijpen de stapeling verstoord, waardoor na een volgende scan, de vorige bovenste printplaat wel te grijpen valt. Er kan in de instellingen ook voor gekozen worden om niet de tweede printplaat te grijpen maar onmiddellijk een nieuwe scan te maken om zo een mogelijke foute detectie op te heffen.

Indien deze tweede hoogste printplaat ook niet kan gegrepen worden, kan dit enkele malen herhaald worden voor de volgende printplaten in de rij. Als dit na een bepaald aantal nog steeds niet lukt kan er een nieuwe scan gemaakt worden om mogelijk foute waarnemingen proberen recht te zetten. Een andere mogelijkheid is dat er een alarm wordt verzonden en er een operator dient langs te komen voor verdere inspectie wat de mogelijke fout veroorzaakt. Deze foutmelding is ook van toepassing wanneer er niet gekozen wordt om de tweede hoogste printplaat te grijpen maar wel om onmiddellijk een nieuwe scan te maken.

Gebruikt type visiesysteem

Aangezien een 3D-pose moet bepaald worden van een voorwerp met ongekende vorm wordt er gebruikgemaakt van een visiesysteem dat als resultaat een 3D-puntenwolk geeft. Twee verschillende cameraopstellingen werden getest: *scheet-of-light*-opstelling en een stereovisieopstelling.

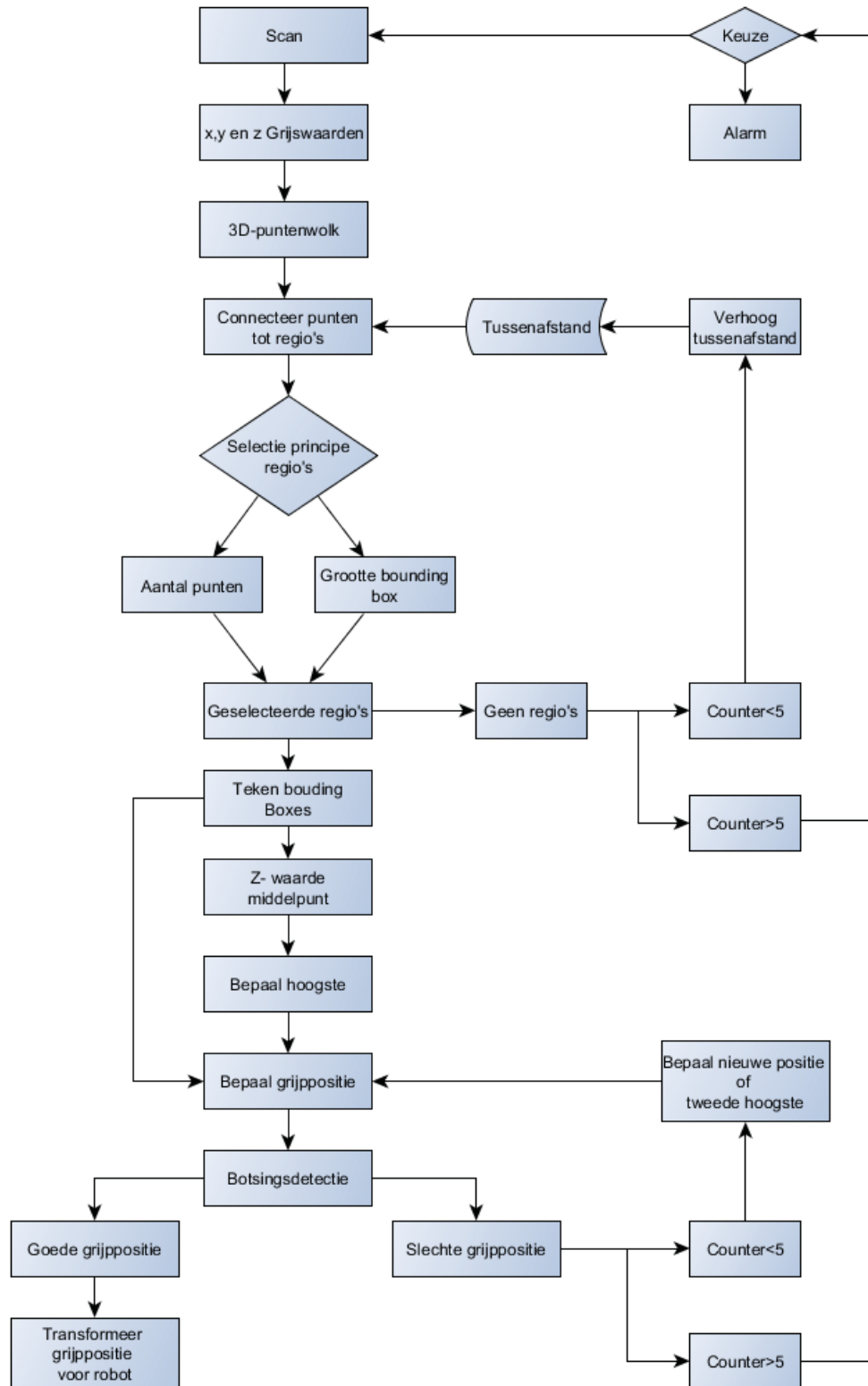
Het gebruik van een 2D-camera was niet mogelijk. De twee hoofdredenen hiervoor zijn als volgt. Ten eerste kan er geen modelobject worden opgesteld dat kan worden gefit in het beeld van de printplaten om zo de positie ervan te bepalen. Dit is een gevolg van de grote verscheidenheid aan vorm en grootte van de printplaten. Een ander probleem doet zich voor wanneer de hoogte van de plaat in de stapeling moet worden bepaald. Aangezien de grootte van de printplaat niet gekend is, kan dit niet gebeuren met één enkele camera.

Een andere mogelijkheid voor het gebruik van een 2D-camera word beschreven in [25]. Hier wordt de camera in de eindeffector geplaatst. Deze volgt een herkenbaar punt van het te grijpen voorwerp en leidt zo de grijper er naartoe. Voor printplaten is er jammer genoeg het probleem dat er doorheen het aanbod printplaten nagenoeg geen goed herkenbare *features* zijn die op zich ook een goede grijppositie opleveren. Een voorbeeld van deze *features* zouden *RAM-slots*

kunnen zijn. Het probleem is dat dit *feature* enkel op de desktopprintplaten en enkel aan de voorkant ervan herkenbaar is. Dit heeft als gevolg dat er per soort printplaat al verschillende herkenpunten nodig zijn. Samen met het groot aantal soorten printplaten als: desktop, laptop, televisie ... resulteert dit in een zeer groot aantal benodigde herkenningspunten.

5.2 Implementatie in HALCON

De eerder besproken methodiek voor het detecteren van printplaten wordt geïmplementeerd in het gebruikte programma, Halcon. De manier waarop dit gebeurd is weergegeven in onderstaande *flowchart*.



Figuur 5.2: Implementatie methodiek in Halcon

Een scan gemaakt met een 3D-visiesysteem resulteert in drie beelden, namelijk voor x, y en z. De waardes op deze beelden worden uitgedrukt in grijswaarden. Deze beelden worden bijgewerkt om zo het scangebied en de te verwerken data te beperken. Dit wordt bijvoorbeeld steeds gedaan voor de z-waarde. De bodem wordt hier verwijderd door middel van een *threshold* op de grijswaarden van dit beeld.

Hierna worden de drie beelden samengevoegd tot een 3D-puntenwolk. De punten van deze puntenwolk worden aan elkaar gekoppeld tot gebieden. Het koppelen van de punten gebeurt op basis van de maximale tussenafstand van twee punten. Wanneer deze afstand klein genoeg is, betekent dit dat de punten kort bij elkaar liggen, dat in werkelijkheid waarschijnlijk tot eenzelfde object (printplaat) behoren. Deze tussenafstand is zeer cruciaal voor een goede detectie en dient te worden gekalibreerd bij verandering van de opstelling. Ook kan deze waarde worden geoptimaliseerd voor de vorm en type printplaten die worden aangevoerd om zo de verwerkingstijd te beperken.

Eenmaal deze gebieden gevormd zijn moet erover geoordeeld worden of deze daadwerkelijk printplaten zijn of een slechte detectie. Dit kan op twee verschillende manieren gebeuren. Een eerste methode maakt gebruik van het aantal punten waaruit het gebied bestaat. Indien dit te laag is, is het geen printplaat maar enkel een component of een andere foute detectie. De tweede methode maakt gebruik van de diameter van de kleinste omsluitende balk rond het gebied. Indien deze te klein is kan het, analoog aan de andere methode, geen printplaat zijn. Indien het aantal punten of de diameter bij een van beide methodes te groot oploopt wilt dit zeggen dat de afstand voor het connecteren te hoog is ingesteld. Bijgevolg wordt de hele puntenwolk aan elkaar gekoppeld.

Met enkel de geselecteerde regio's die mogelijk printplaten zijn wordt verder gewerkt. Al deze gebieden worden vervangen door de kleinst omsluitende balk rond het gebied. Zo wordt de vorm van de werkelijk printplaat benaderd en wordt de te verwerken data nog meer beperkt.

Uit deze omsluitende balk kunnen enkele bruikbare gegevens gehaald worden. Als eerste kan de pose ervan bepaald worden. Deze ligt in het midden van de balk en levert gemiddeld een goede grijppositie op, zoals eerder vermeld. Aan de hand van de z-waarde van deze poses wordt ook bepaald welke printplaat het hoogst ligt en eerst gegrepen dient te worden. Met behulp van deze gegevens wordt de eerste grijppositie bepaald. Deze gekende pose wordt ook gebruikt om naderhand de printplaat ruw gepositioneerd, met een vaste richting, af te leveren.

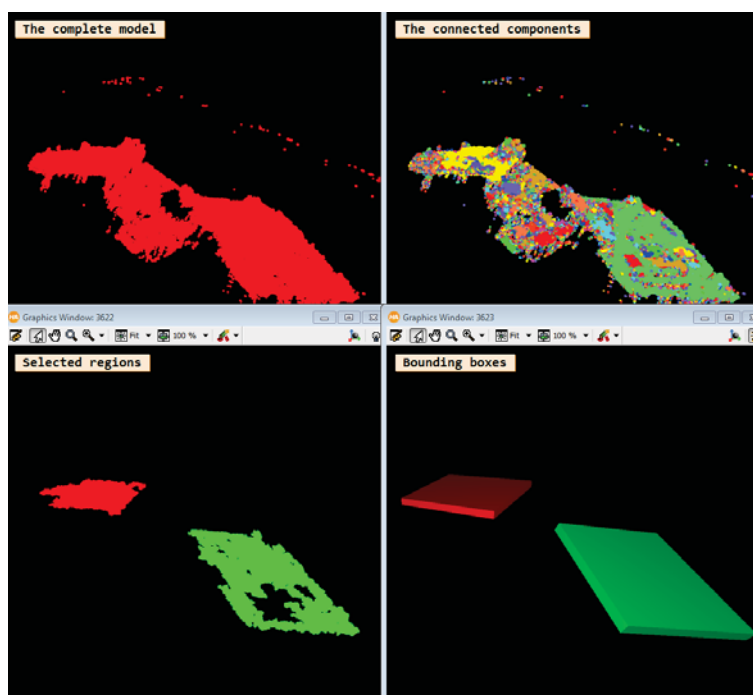
Indien er geen goede regio's worden gedetecteerd kan de tussenafstand voor het connecteren worden aangepast. Als dit na enkele pogingen nog geen goed resultaat oplevert dient een nieuwe scan gemaakt te worden of kan er een alarm worden gegeven. Op de gekozen grijppositie dient een botsingsdetectie te worden uitgevoerd. Deze wordt later uitgebreid besproken. Indien de botsingsdetectie een negatief resultaat oplevert kan de grijppositie getransformeerd worden naar het robot assenstelsel en worden doorgestuurd naar de robot.

Wanneer er botsing optreedt kan er gekozen worden om een andere grijppositie te bepalen of kan er geprobeerd worden om de tweede hoogste printplaat te grijpen. Door deze te grijpen kan de eerste plaat mogelijk grijpbaar worden door het verstoren van de stapeling. Indien dit na een aantal iteraties ook geen goed resultaat oplevert kan er een nieuwe scan gemaakt worden om zo een foute detectie, zoals bijvoorbeeld reflectie, proberen op te heffen of kan er een alarm gegeven worden.

Een voorbeeld van een verwerking van een scan wordt weergegeven in onderstaande figuren 5.3 en 5.4.



Figuur 5.3: Werkelijke ligging stapeling

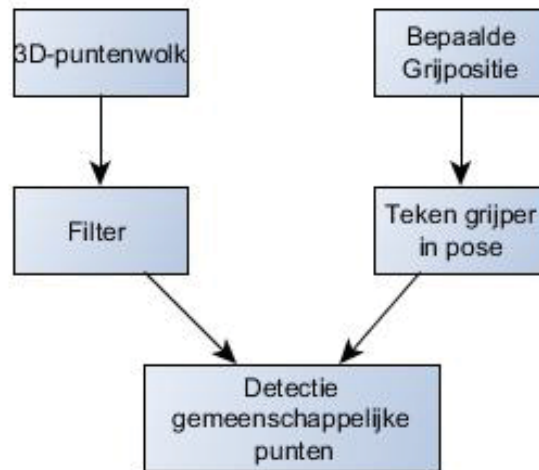


Figuur 5.4: Resultaten Halcon (aantal punten)

Enkele andere detectiemethodes en extra bewerkingen werden ook uitgetoetst: zoals het eerst afvlakken van het model of connectiemethodes op basis van andere principes. Omdat deze geen veelbelovende resultaten opleverden wordt hier niet verder op ingegaan.

5.2.1 Botsingsdetectie

Hieronder wordt de *flowchart* voor het verloop van de botsingsdetectie uitgeschreven. Deze werd enkel theoretisch volledig uitgewerkt, praktisch zijn de beginselen hiervoor gelegd.



Figuur 5.5: Methodiek botsingsdetectie

Voor het detecteren van de botsingen wordt een vereenvoudigd model, een cilinder, van de gripper getekend in de originele puntenwolk. Deze originele puntenwolk dient eerst een filteroperatie te ondergaan om zo valse botsingen te vermijden. Een voorbeeld hiervan kan zijn een botsing met "verdwaalde"punten die zijn ontstaan door onder andere reflecties. Deze kunnen op een gelijkaardige manier worden gefilterd als de detectie van de printplaten zelf, door middel van de grootte van de geconnecteerde regio's. Wanneer deze regio's uit slechts tientallen punten bestaan, kan verondersteld worden dat dit geen werkelijk oppervlak is maar wel "verdwaalde"punten.

Wanneer deze "verdwaalde"punten uit de puntenwolk verwijderd zijn kan het vereenvoudigd model van de gripper in de puntenwolk worden geplaatst in dezelfde pose als de werkelijke grijppose. Deze pose wordt wel een kleine afstand hoger gelegd om zo te voorkomen dat het contact aan de onderkant van de gripper met het object als botsing wordt gezien. Wanneer er in dit beeld geen punten van de puntenwolk binnen het model van de gripper bevinden, kan besloten worden dat de grijppositie botsingsvrij is.

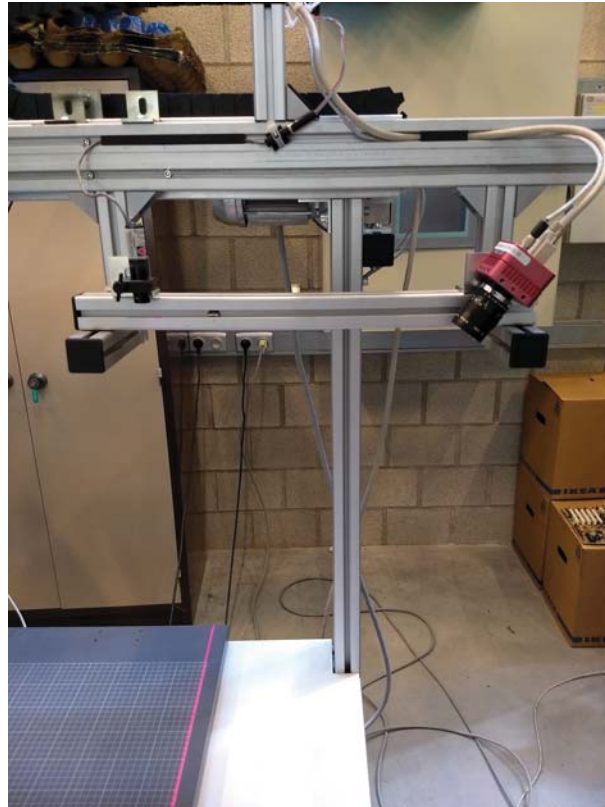
Het vermijden van botsingen met de randen van de box of platform waaruit gegrepen wordt, hoeft niet te gebeuren met behulp van het visiesysteem. Deze kunnen als limieten voor de robot worden opgegeven, aangezien de positie hiervan ten opzichte van de robot gekend is en vast ligt. Wanneer er een printplaat niet kan gegrepen worden omdat deze bijvoorbeeld te kort tegen een wand ligt, dient dit wel terug gekoppeld te worden naar het visiesysteem. Hierna kan mogelijk de tweede hoogste printplaat worden gegrepen.

5.3 Testen visiesysteem

Twee visieopstellingen, die beschikbaar waren, zijn getest. Namelijk een sheet-of-lightopstelling en een *projected texture* stereovisieopstelling. Voor elk van deze opstellingen werden ook twee verschillende detectiemethodes getest. De resultaten van deze tests worden hieronder beknopt besproken. Voor het volledige testverslag wordt verwezen naar appendix E.

5.3.1 Sheet of light

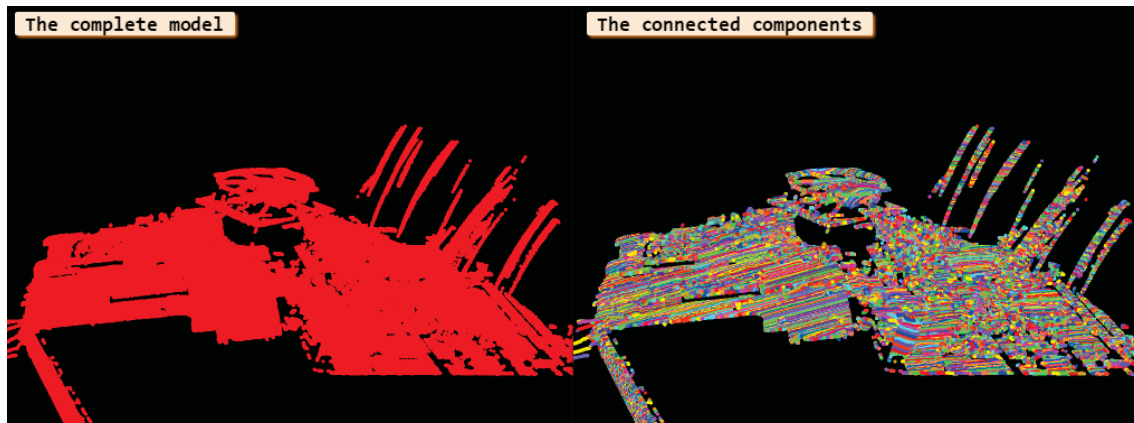
Een reeds bestaande sheet-of-lightopstelling werd gebruikt voor het uitvoeren van deze test. De opstelling is gebouwd door onderzoeksgroep ACRO [2] voor een PWO 3D-binpicking project. De opstelling bestaat uit een laser en een camera die bewegend boven het scanoppervlak zijn opgesteld. De laser staat loodrecht boven het te scannen oppervlak en de camera staat onder een gekende hoek. Voor de werking van een sheet-of-lightopstelling wordt er verwezen naar de literatuurstudie. In onderstaande figuur wordt de opstelling weergegeven.



Figuur 5.6: *Sheet of light* opstelling

5.3.1.1 Selectieprincipe

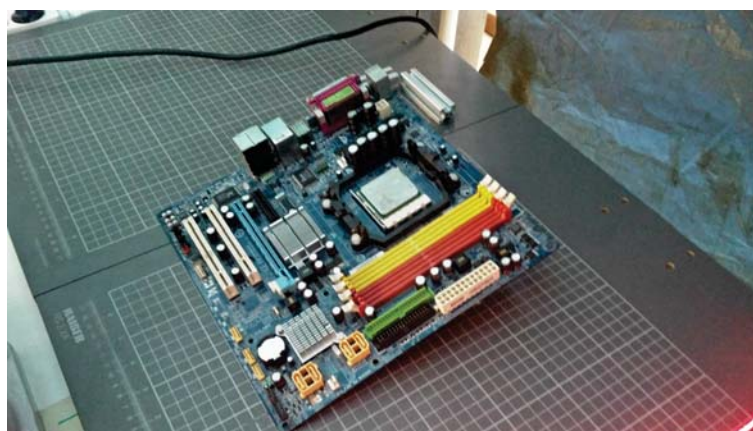
Na optimalisatie van alle parameters konden in elke scan printplaten en hun grijppositie worden bepaald na slechts één iteratie. Tussen de verschillende selectiemethodes waren er wel nog enkele verschillen waarneembaar. Zo kon het gebeuren dat de lijnen punten die een gevolg zijn van de *scheet of light* opstelling aan elkaar gekoppeld werden. Dit gebied bevat niet veel punten, daarom wordt het door de aantal punten methode weggefilterd. De omsluitende balk daarentegen kon wel voldoende groot zijn waardoor deze methode een foute detectie opleverde. Een voorbeeld hiervan wordt weergegeven in onderstaande figuur.



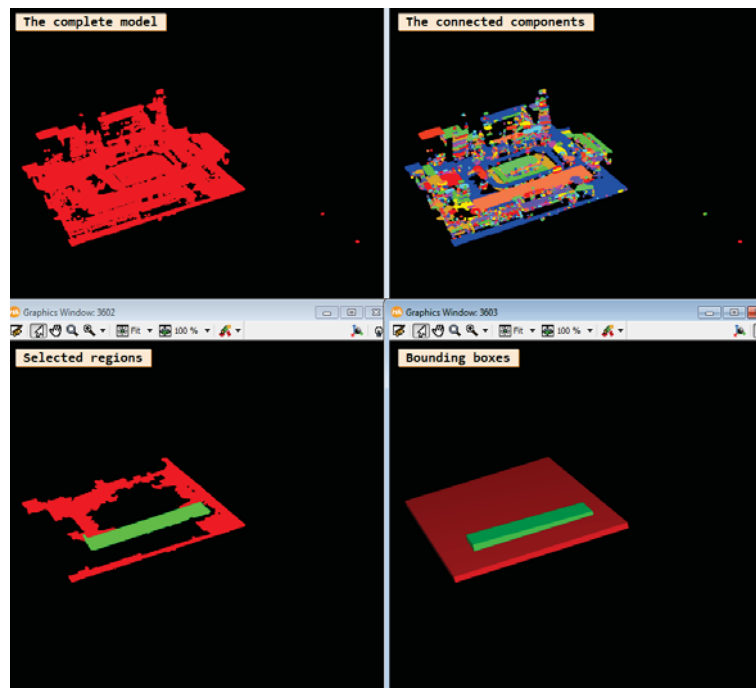
Figuur 5.7: Werkelijke ligging printplaten

Met de aanpassing van de instellingen kon dit probleem in zo goed als alle gevallen vermeden worden. Verder kon er een verwaarloosbaar verschil gemerkt worden tussen de twee selectieprincipes, waarin het aantal punten principe het voordeel heeft. Verder waren er slecht weinig verschillen merkbaar. Voor de visuele vergelijking wordt verwezen naar Appendix E.

In sommige gevallen kon er een slechte detectie optreden die geen probleem vormde voor verdere handelingen. Een voorbeeld hiervan is een grote reeks lege *RAM-slots* die wordt gezien als een kleine printplaat. Een voorbeeld hiervan wordt weergegeven in figuren 5.8 en 5.9.



Figuur 5.8: Werkelijke ligging printplaten

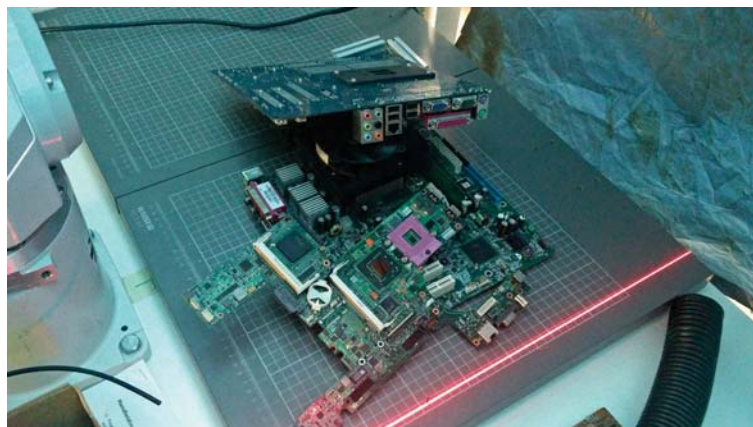


Figuur 5.9: Resultaten Halcon (aantal punten)

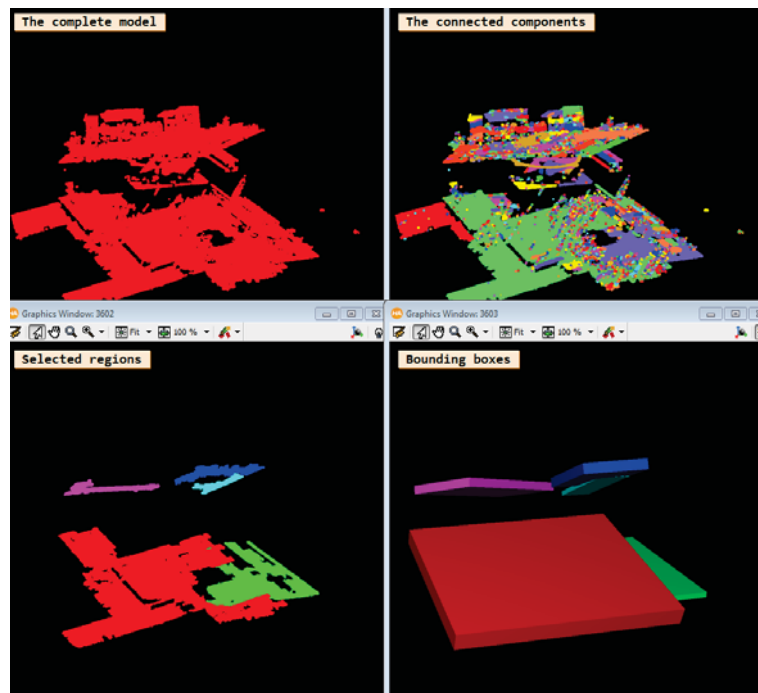
De *RAM-slots* zullen gezien worden als de hoogst liggende printplaat en hier zal bijgevolg gegrepen worden. Aangezien deze *RAM-slots* deel uit maken van de werkelijke printplaat en dit een relatief groot vlak gebied is, zal dit toch een succesvolle grijppoging opleveren. Om deze reden wordt deze detectie nog steeds als succesvol beschouwd.

5.3.1.2 Cameraopstelling

Deze cameraopstelling heeft als eerder besproken een groot nadeel, namelijk de grote kans op occlusievorming. Wanneer er een printplaat hellend weg van de camera ligt kan deze moeilijk worden gedetecteerd. Als geïllustreed in de figuren 5.10 en 5.11.



Figuur 5.10: Werkelijke ligging stapeling



Figuur 5.11: Resultaten Halcon voor stapeling (bounding box)

Dit is het gevolg van het zeer kleine aantal punten dat op het vlak van deze printplaat kan worden gedetecteerd. Dit effect wordt nogmaals vergroot door de lage hoogte waarop de camera is opgesteld ten opzichte van de hoogte van de stapeling. Ook kan hier worden opgemerkt dat de onderste printplaat niet juist gedetecteerd wordt. Dit geeft echter geen probleem aangezien deze na het grijpen van de andere printplaten wel juist gedetecteerd kan worden.

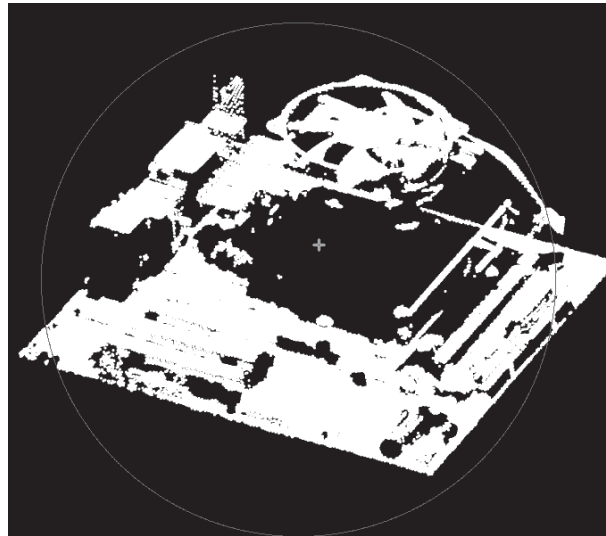
Deze slechte detectie zou verbeterd kunnen worden door de camera loodrecht boven het scannoppervlak op te stellen en gebruik te maken van twee lasers, zoals eerder besproken in de literatuurstudie.

Ook moet er worden opgemerkt dat het nemen van deze scan relatief traag is. De duur van een scan bedraagt ongeveer 15 seconden. De heen gaande beweging duurt 11 seconden en de teruggaande beweging is 4 seconden.

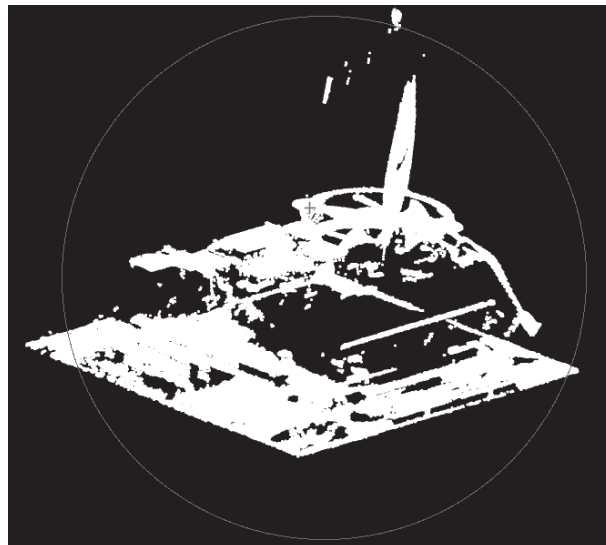
Ook het scangebied van deze camera is klein. Dit zou in één richting vergroot kunnen worden door de camera hoger op te stellen. In de andere richting wordt dit gedaan door de camera een langere beweging te laten maken, dit is echter niet gewenst aangezien hierdoor de scantijd nog verder vergroot wordt.

5.3.1.3 Invloed omgevingslicht

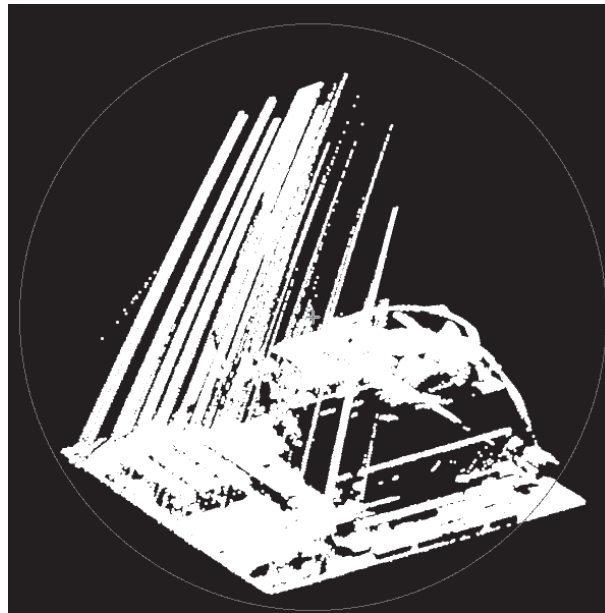
Een ander groot nadeel van deze opstelling is de mate waarin ze beïnvloed kan worden door middel van omgevingslicht. Het verschil wordt in onderstaande figuren geïllustreerd.



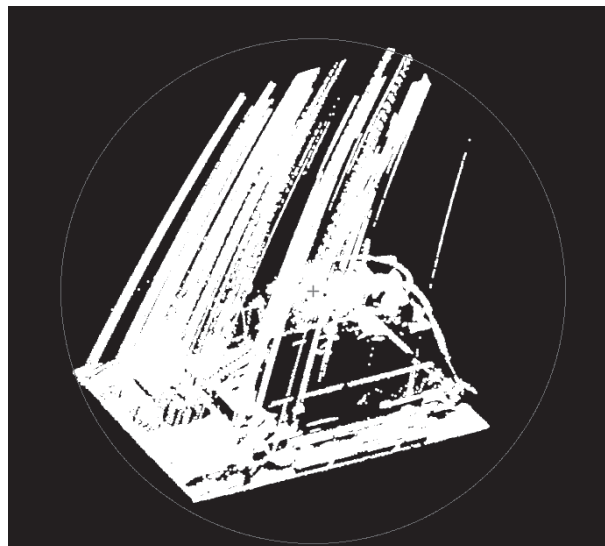
Figuur 5.12: 3D puntenwolk SOL in een donkere ruimte



Figuur 5.13: 3D puntenwolk SOL met TL-lampen



Figuur 5.14: 3D puntenwolk SOL met zonlicht



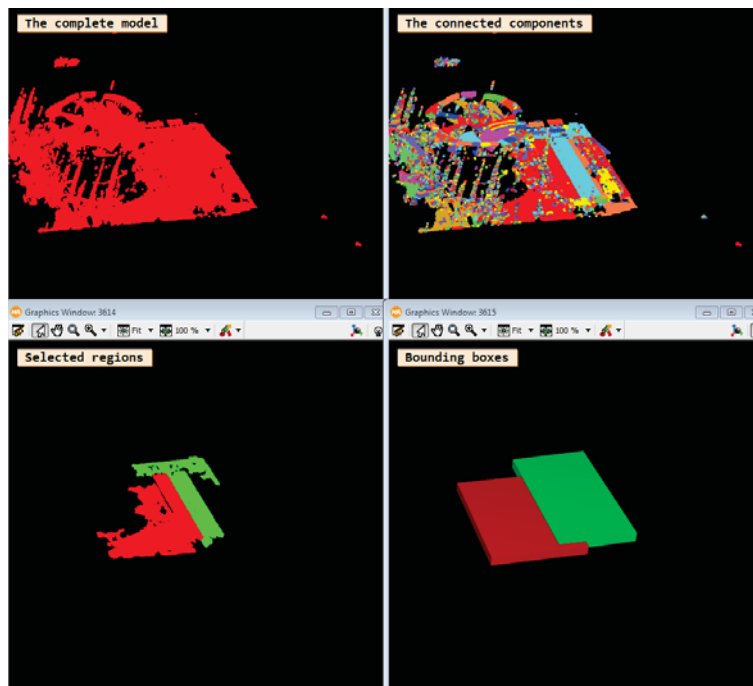
Figuur 5.15: 3D puntenwolk SOL met TL-lampen en zonlicht

Op deze figuren kan gezien worden dat omgevingslicht een grote invloed heeft op dit systeem. Veel valse punten worden gedetecteerd. Indien die gebieden hierdoor gevormd worden groot genoeg zijn, kunnen deze als een valse printplaat gedetecteerd worden en zo een slechte grijppositie opleveren. Om deze reden werden alle testen uitgevoerd onder een afschermend doek.

Niet enkel omgevingslicht levert vaak problemen op. Ook reflecties van de laser op blinkende delen van de printplaat kunnen een slechte detectie opleveren zoals wordt weergegeven in de figuren 5.16 en 5.17.



Figuur 5.16: Werkelijke ligging printplaat



Figuur 5.17: Resultaten Halcon (aantal punten)

Door deze reflecties ontbreken er ook een groot aantal punten op de onderliggende printplaat waardoor ook deze fout wordt gedetecteerd.

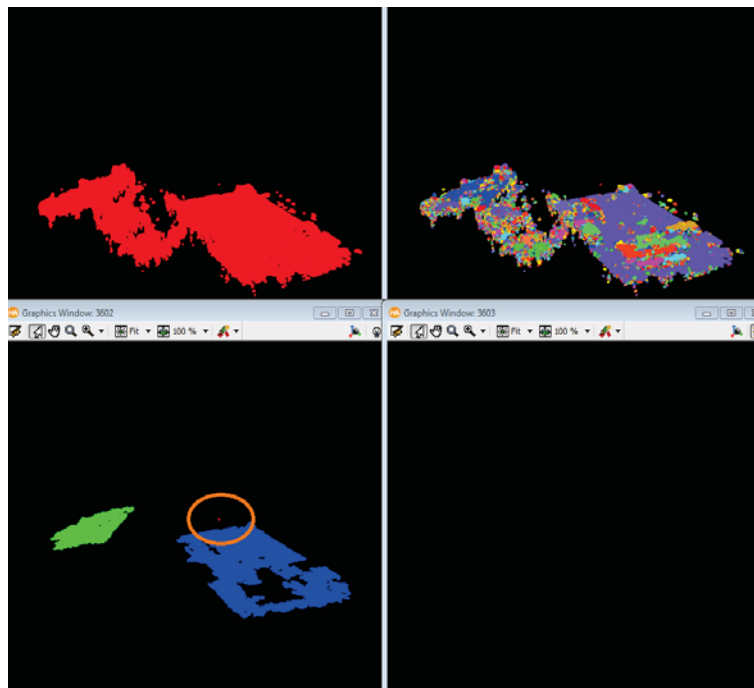
5.3.2 Projected texture stereovisie

Voor het testen van dit visiesysteem werd onderstaande opstelling opgebouwd. Hierin wordt er gebruik gemaakt van een Ensenso N35 camera. Technische gegevens van deze camera zijn terug te vinden in appendix C.

5.3.2.1 Selectieprincipe

Eens alle parameters goed afgesteld waren konden alle testen succesvol uitgevoerd worden.

Een probleem deed zich voor in alle scans gemaakt met deze opstelling. Op eenzelfde plaats in het centrum van het beeld worden meer dan 40000 punten gelegd. De oorzaak hiervan is niet duidelijk.



Figuur 5.18: Probleempunt bij Ensenso camera

Parameters	ObjectModel3DSelected:0 (
▾ <input type="checkbox"/> Display Models	<input type="checkbox"/>
Model Id	11796
Color	cyan
Color Normals	light gray
▾ Base Parameter	
	0.0
Center	0.0
	0.0
Diameter	0.0
	0.0
	0.0
Bounding Box	0.0
	0.0
	0.0
▸ Points	42494
▸ Primitive Type	'none'
▸ Extended Attributes	'none'
▸ Additional Attributes	

Figuur 5.19: Probleempunt bij Ensenso camera

Enkel bij het gebruik van het aantal punten selectieprincipe diende deze regio extra te worden verwijderd. Deze regio wordt verwijderd op basis van de grootte van zijn omsluitende balk die zeer klein is aangezien de punten allemaal op hetzelfde punt liggen.

Het selectieprincipe op basis van de grootte van de omsluitende balk had van dit probleempunt geen last. De waarneming dat dit selectieprincipe trager was werd bij deze testen bevestigd door het vergroot aantal punten en regio's die voort kwamen uit het grotere scangebied van deze camera. Dit principe kon versneld worden door eerst de regio's met minder dan 100 punten te verwijderen.

Op deze manier wordt er in de twee gevallen een combinatie gemaakt van beide selectiesystemen. De voorkeur gaat uit voor het systeem, dat werkt op basis van het aantal punten en enkel gebruik maakt van de omsluitende balk om dit probleempunt te verwijderen, omwille van zijn snellere werking.

5.3.2.2 Cameraopstelling

Deze camera bevindt zich op een grotere afstand loodrecht boven het oppervlak. Op deze manier is er zo goed als geen last meer van occlusievorming. Ook is de scantijd van deze camera verwaarloosbaar in vergelijking met de *sheet of light* opstelling. Een vergroting van het scangebied heeft ook nagenoeg geen effect op de scantijd.

5.3.2.3 Invloed omgevingslicht

Op deze opstelling had het omgevingslicht minder effect. Zolang het hele scangebied uniform belicht is levert dit weinig tot geen problemen op. Indien bijvoorbeeld bepaalde gebieden overbelicht zijn kan het zijn dat *features* in deze gebieden niet goed worden waargenomen.

5.3.3 Opmerking

Bij het bepalen van de correcte grijppositie deden er zich regelmatig problemen voor. Dit is een gevolg van de manier waarop de pose van de gebruikte *bounding box* wordt aangeduid. De richting van de assen van deze pose wordt bepaald door de lengte van de zijdes van de box. Het assenkruis wordt in het midden van de box gelegd met de x-as volgens de langste zijde van de box, de y-as volgens de tweede langste zijde en de z-as volgens de derde langste. Enkel de zin van de assen is niet gekend. Deze blijkt afhankelijk te zijn van de oriëntatie waarin de box zich bevindt. De zin bepaalt de manier waarop de rotaties ten opzichte van het referentieassenstelsel worden uitgedrukt. Deze verschillende mogelijke definities voor de rotaties leiden in latere omzettingen tot foute grijpposities, bijvoorbeeld de robot die probeert de printplaat langs beneden te grijpen. Om deze pose eenduidig te maken is een methodiek uitgeschreven, hiervoor wordt verwezen naar appendix D.

5.4 Kostprijs

Ook voor het visiesysteem is er gekeken naar de kostprijs van de twee gebruikte opstellingen.

De prijs van de SOL-opstelling is weergegeven in tabel . De prijs van de lineaire geleidingen en de toebehoren zijn geschat. De totale prijs bedraagt 4870 euro.

Tabel 5.1: Kostprijs SOL-opstelling

Onderdeel	Prijs [euro]
Camera	2800
Lens	300
Bandpassfilter	120
Laser	400
Framegrabber	600
Lineaire geleiding	500
Toebehoren (sensoren, kabel ...)	150
Totaal	4870

De kostprijs van de Ensensio N35 is 9600 euro en in pakket met kalibratieplaat, kabels ... is dit 12259 euro.

De hogere kostprijs van de Ensensio camera is te verantwoorden door zijn veel hogere scansnelheid en betere scanresultaten dan de sheet-of-lightopstelling zoals hierboven besproken.

5.5 Conclusie

Een systeem voor het detecteren van printplaten in een willekeurige stapeling is ontwikkeld op basis van een 3D-camerasysteem. Het visiesysteem is in staat een printplaat van een willekeurige vorm en grootte te detecteren in een vrije/ willekeurige stapeling. Dit gebeurt zonder de nood aan een objectmodel zoals in de klassieke random-bin-picking-systemen.

Het systeem vertrekt uit een 3D-puntenwolk en zal trachten hierin vlakken te herkennen die een voldoende grootte hebben om een printplaat te vormen. Verschillende methodes zijn getest. Een methode op basis van het aantal punten is weerhouden omwille van zijn snellere werking.

De grijppositie is bepaald op het midden van de printplaat om zo het zwaartepunt het best te benaderen en enige momentwerking op de grijper en manipulator te beperken. Voor het bepalen van een eenduidige grijppositie voor de manipulator, aan de hand van de omsluitende balk van een printplaat, is een extra methodiek uitgeschreven. Aan de hand van deze positie kan de printplaat ruw georiënteerd gegrepen en afgelegd worden. Ook is de aanzet reeds gegeven voor een botsingsdetectie die in staat is een grijppositie te bepalen op printplaten met grote *heatsinks*, aangezien de grijper niet in staat is hierover te grijpen. Verder ontwikkeling hiervan is nodig.

De belangrijkste parameter voor een goede detectie is de maximale tussenafstand voor het koppelen van punten tot een gebied. Deze is momenteel afgesteld om een breed spectrum aan printplaten te kunnen verwerken. Optimaal dient deze afgesteld te worden naargelang de manier waarop de printplaten worden aangevoerd en/of de herkomst en bijhorende vorm ervan (desktop, laptop, tv ...) gekend is.

Mogelijke foute detecties kunnen nog steeds optreden. Deze houden herkenning in van grote vlakke componenten als printplaten op zich. Een andere foute herkenning kan zijn goed aansluitende printplaten die aan elkaar worden gekoppeld en herkend worden als één printplaat. De eerste van deze fouten leidt echter wel nog steeds tot een goede grijppositie en wordt daarom ook als correct beschouwd.

Uit twee verschillende cameraopstellingen is de structured-light-stereo-visieopstelling (Ensenso N35) weerhouden over de sheet-of-light-opstelling. Dit omwille van zijn snellere scantijd, kleinere invloed van oclusievorming, onafhankelijkheid van omgevingslicht en reflecties.

Algemeen kan worden besloten dat deze techniek voldoende goed werkt en in staat is zich te onderscheiden van reeds bestaande random-bin-picking-systemen. Dit voornamelijk omdat er gewerkt kan worden met sterk variërende en grillige voorwerpen zonder een gekend object model.

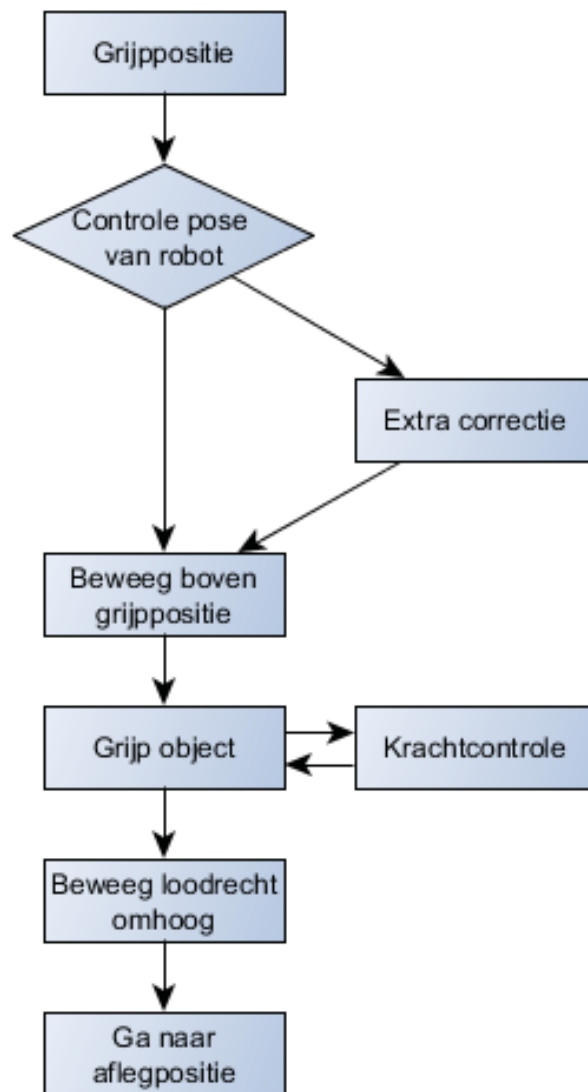
Hoofdstuk 6

Implementatie

In deze sectie wordt de implementatie van de grijper en het visiesysteem besproken. Allereerst worden de ervaringen met de testopstelling besproken. Vervolgens wordt er een voorstel gedaan voor een opstelling op industriële schaal. Tot slot wordt er ook een voorstel gedaan voor een klemsysteem benodigd voor de verdere verwerking van de printplaten.

6.1 Grijpmethodiek

In onderstaande flowchart wordt de werking van de grijpmethodiek nader toegelicht.



Figuur 6.1: Methodiek aansturing manipulator

De grijppositie van de bovenste printplaat wordt door het visiesysteem bepaald. Vervolgens wordt gecontroleerd of de robot deze positie kan bereiken. Deze extra controle is nodig om te voorkomen dat de laatste rotaties de kop gaat draaien in een positie waarin de kop of de slang die eraan bevestigd is beschadigd kan worden. Indien nodig wordt er op de grijppositie een correctie uitgevoerd. Vervolgens wordt er naar een veilige afstand boven de grijppositie bewogen. Hierna wordt gedaald naar de grijppositie waarna de vacuümgeneratie wordt gestart. Er wordt naar een positie een fractie lager dan de gedetecteerde positie gedaald, dit om een goede dichting van de schuim met de printplaat te verzekeren. Optioneel kan er hier een krachtcontrole uitgevoerd worden om te beperken dat de grijper beschadigd wordt door bijvoorbeeld een slechte detectie. Dit kan op verschillende manieren gebeuren. Als eerste zou er gebruikt gemaakt kunnen worden van een robot met *torque control* of door aan de eindeffector een extra module toe te voegen die de kracht op de eindeffector meet.

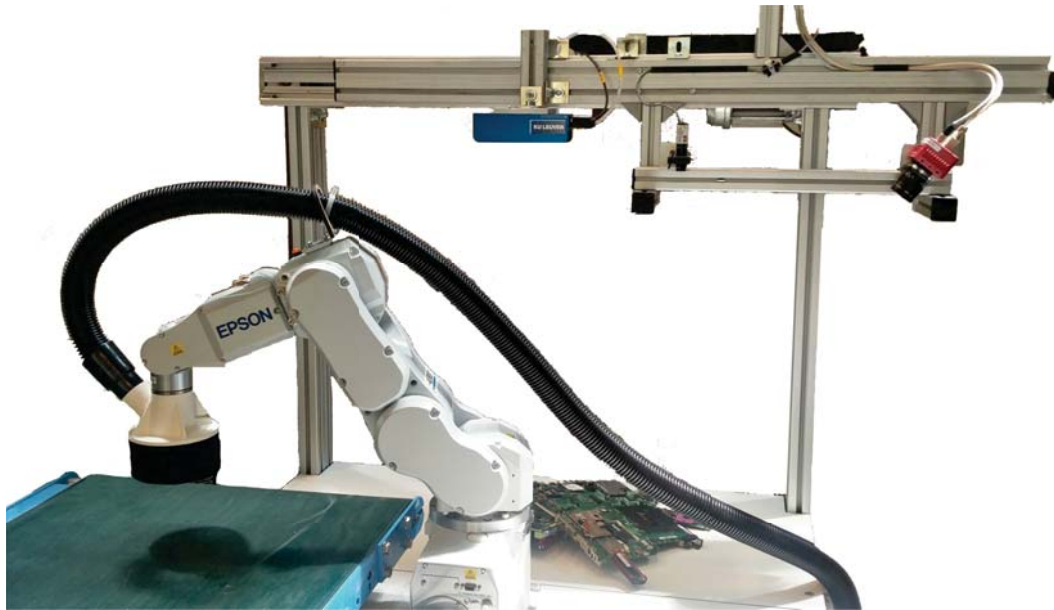
Eenmaal gegrepen beweegt de robot terug loodrecht omhoog om botsingen met andere printplaten te vermijden en begeeft zich naar een veilig aflegpositie. Om de printplaat hier georiënteerd af te leggen wordt opnieuw rekening gehouden met de eerder toegevoegde correctie.

Optioneel zou er ook nog een detectie toegevoegd kunnen worden om te controleren of er wel degelijk een printplaat gegrepen is. Dit kan gerealiseerd worden door de onderdruk of door het licht in de kamer van de grijper te meten. De vraag kan gesteld worden of dit noodzakelijk is. Indien er geen printplaat gegrepen is moet de robot zich eerst uit de weg bewegen (deze positie zal weinig verschillen met afleg en dus ook weinig tijdwinst) voor er een nieuwe scan gemaakt kan worden. In dit geval gebeurt er niet anders dan in een normale cyclus. Wanneer er een aantal keren na elkaar geen printplaat gegrepen wordt zou dit wel gemeld kunnen worden door een alarm.

6.2 Proefopstelling

6.2.1 Opstelling

Voor het testen van de performantie van de gripper en het visiesysteem is de opstelling in figuur 6.2 gebouwd.



Figuur 6.2: Testopstelling

Deze bestaat uit een Epson C3-A601S robot, een Ensenso N35 camera en een afvoerband die de afvoer naar volgende processtappen simuleert. De Ensenso camera is gemonteerd op de reeds bestaande *sheet of light* visieopstelling. Deze opstelling werd ook getest maar is niet weerhouden om wille van zijn te trage werking en slechte scanresultaten als eerder besproken. Voor de gripper is er gebruikgemaakt van de zuigkop met de luchtafvoer aan de zijkant gecombineerd met dichting 1C. Als plaatsvervangend vacuümventilator wordt de Powerline PL 604 gebruikt.

6.2.2 Waarnemingen testopstelling

Door het kleine bereik van de robot bleef het scangebied en de grootte van de stapeling printplaten eerder beperkt. Toch volstond deze om het concept van de opstelling te testen.

6.2.2.1 Verwerkingssnelheid

Enkele malen werd getracht een stapeling printplaten volledig weg te grijpen en te positioneren. Aan de hand hiervan kon bepaald worden dat er gemiddeld 26 seconden nodig was per printplaat. Het aandeel van het aansturen van de robot een daadwerkelijk grijpen van de printplaat bedroeg hiervan gemiddeld 4 seconden. Deze tijden werden bepaald aan de hand van de videoanalyse, een samenvatting van de resultaten wordt weergegeven in onderstaande tabel 6.1.

Tabel 6.1: Verwerkingstijd

Stapeling	Aantal printplaten	Tijd [s]
1	5	112
2	2	80
3	3	103
4	4	80
5	3	58
6	2	60
7	3	87
8	3	70
Som	25	650
Gemiddelde tijd per printplaat		26,0

De tijdsverdeling van de processtappen varieerde doorheen het proces. Zo was de tijd die nodig was voor de dataverwerking afhankelijk van de grootte van de stapeling (groter aantal te verwerken punten). De grootste bottleneck van de beeldverwerking was de gebruikte laptop, de processor is een intel core i5-4210M met met 4GB RAM. Een vergroting van voornamelijk de beschikbare hoeveelheid RAM zou de verwerkingssnelheid aanzienlijk kunnen verhogen.

De tijd die de robot nodig had om de beweging uit te voeren kan ook nog verder geoptimaliseerd worden. Op dit moment wordt de robot via enkele punten geleid om zo ervoor te zorgen dat deze de printplaat en de aflegpositie via een veilige weg benadert. In het huidige seriële communicatieprogramma met de robot is het niet mogelijk een vorm van *guide points* op te geven. Hierdoor stopt de robot in elk opgegeven punt wat de snelheid aanzienlijk beïnvloedt.

Voor het schakelen van de vacuümgeneratie is eerst gebruik gemaakt van een relais om de Powerline PL 604 aan en uit te schakelen. Dit bleek traag door de uitlooptijd van de motor en hierdoor lange lostijd van de printplaat. Door de lange beeldverwerking had dit echter geen invloed op de snelheid. In een praktische opstelling kan dit gedaan worden door gebruik te maken van een klep die het zuigdebiet omschakelt en het vacuüm in de grijper hierdoor snel opheft.

Op de testopstelling kon de bodem niet correct verwijderd worden. Dit kwam door het niet volledig vlak zijn van de bodem in combinatie met een kleine calibratiefout. Deze fout kwam enkel hier naar voor, bij de robotpositionering was geen noemenswaardige fout merkbaar. Door het wegsnijden van de bodem kon bijgevolg ook een klein deel van de onderste printplaten weggesneden worden. Hierdoor werden deze als kleiner dan werkelijk gedetecteerd, waardoor er een grijppositie die op een fractie van het middelpunt van de printplaat lag, bepaald.

6.2.2.2 Energieverbruik

Het vermogen van volgende onderdelen van de installatie is opgezocht: de robot, de Powerline PL 604 en de visieopstelling met verwerkende PC om aan de hand hiervan een verbruik te bepalen. De gegevens hiervan worden weergegeven in tabel 6.2. Het vermogen van de pc, visiesysteem en andere randapparatuur zijn vastgelegd op 500 W. Voor het verbruik te bepalen per printplaat is er van uit gegaan dat de robot en vacuümventilator gedurende 4 seconden in werking te treden. De de computer, visiesysteem en controller zijn daarentegen gedurende het hele 26 seconden durende proces actief.

Tabel 6.2: Verbruik testopstelling

	Gebruiksduur [s]	Vermogen [W]	Verbruik [J/printplaat]
Powerline PL 604 IWD	4	2500	10000
Epson robot	4	1100	4400
Computer, visiesysteem,controller	26	500	13000
Totaal			27400

Het verbruik per printplaat is gemiddeld 27400 J per printplaat of omgerekend is dit een gemiddelde vermogen van 1 kW.

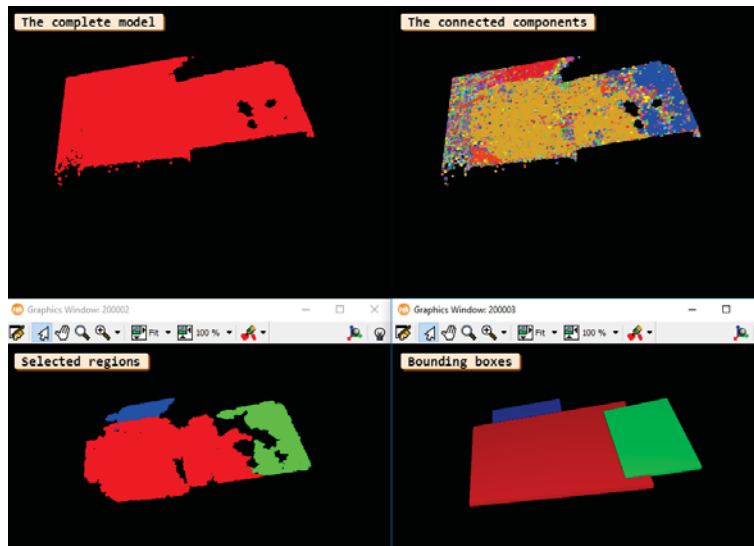
In een praktische opstelling zou de vacuümventilator variabel gestuurd kunnen worden naargelang de printplaten die zich in de *batch* bevinden en naargelang er wel of niet gegrepen wordt. Op deze manier kan het verbruik bij bijvoorbeeld laptop/tv printplaten verder beperkt worden.

6.2.2.3 Opmerkingen

In het geval dat twee zeer vlakke printplaten tegen of op elkaar liggen, zoals weergegeven in figuren 6.3 en 6.4 was het onmogelijk deze van elkaar te onderscheiden.



Figuur 6.3: Werkelijke stapeling printplaten waarvan de randen goed op elkaar aansluiten



Figuur 6.4: Slechte detectie van goed op elkaar aansluitende printplaten in Halcon

Dit is een gevolg van de methode waarop de detectiemethodiek berust. Aangezien deze randen mooi op elkaar aansluiten en de punten van de scan hierdoor kort bij elkaar liggen worden de punten aan elkaar gekoppeld en de printplaten als één geheel gezien. Dit zou mogelijk door extra voorwaarden aan de detectiemethode toe te voegen, opgelost kunnen worden. In de praktijk daarentegen bleek dit niet nodig. Door de slechte grijppositie werd er geen plaat gegrepen wat verloren tijd met zich mee brengt. Maar de stapeling werd hierdoor zodanig verstoord dat de volgende scan wel een goed resultaat opleverde. In de huidige opstelling zijn de parameters zodanig ingesteld dat een breed spectrum aan printplaten herkend kan worden. In de praktijk zouden deze geoptimaliseerd kunnen worden naargelang de batch om zo het aantal slechte detecties te beperken.

De testopstelling is ook eenmalig getest met de Schmalz vacuümgenerator. Deze testen waren echter niet succesvol door het te kleine persluchtdebiet dat door de interne leidingen van de robot gestuurd kon worden. De leiding die voor het gebruik van de Powerline PL 604 nodig was, bleek achteraf geen noemenswaardige beperkingen op te leggen aan de bewegingsvrijheid van de robot.

6.3 Praktische opstelling

Voor de praktische opstelling is hier een concept uitgewerkt om de printplaten vlot te kunnen grijpen en gepositioneerd af te leveren. Aandacht is besteed aan de aanvoer van printplaten, rekening houdende met dat deze in palletboxen worden aangevoerd. De verwerking zelf zal net zoals in de testopstelling door middel van *random bin picking* gebeuren. De manier waarop de printplaten worden afgevoerd ligt op dit moment nog niet vast aangezien dit afhankelijk is van verdere processtappen. Dit wordt momenteel voorgesteld door een transportband.

6.3.1 Voorsortering

De printplaten worden aangevoerd in palletboxen. Ze liggen willekeurig gestapeld waardoor ze sterk in mekaar haken. Bovendien beperken de randen van de box de bewegingsvrijheid van de manipulator. Het botsingsvrij grijpen wordt hierdoor bemoeilijkt. Om deze redenen is er gekozen om de palletbox om te kiepen.

Dit kan op verschillende manieren gebeuren. Een eerste methode is de box in één keer volledig om te kiepen op een vlak. Het resultaat is dat een grote stapel van printplaten ontstaat waardoor het aaneenhaken niet wordt opgelost. Een tweede methode is om de box in verschillende stappen om te kiepen en zo al een eerste discretisatie te krijgen. Dit heeft als grote voordeel dat er minder printplaten in de stapel liggen wat het makkelijker maakt om een grijpbare printplaat te vinden.

De zoektocht naar een geschikt kantelsysteem levert volgend systeem in figuur 6.5. Dit kantelmechanisme wordt in de landbouwsector gebruikt bij het sorteren van aardappelen en werkt als volgt. Een heftruck/transpallet schuift een palletbox in het kantelsysteem. Met behulp van de kabels wordt de palletbox tot tegen de ‘deksel’ getrokken en gekanteld totdat deze schuin staat. De ‘deksel’ is een band die meebeweegt met de box waardoor de aardappelen niet gekwetst worden. In de volgende fase zullen de kabels nog verder opgerold worden zodat de box naar boven getrokken wordt. Zo kan de box in verschillende stappen leeggemaakt worden. Als de palletbox leeg is kan deze terug zakken en gewisseld worden. Het voordeel hiervan is dat met één aandrijving (elektromotor) de palletbox gekanteld en leeggemaakt kan worden in verschillende stappen. [26]



Figuur 6.5: Greefa kistenkantelaar [26]

Dit systeem wordt aangepast en verder uitgewerkt. De band, die als deksel fungeert, wordt vervangen door een vlakke plaat aangezien de printplaten niet kwetsbaar zijn. Het in- en uitschuiven van de palletbox is geautomatiseerd met een aangedreven rollenbaan zodat de deksel vast opgesteld kan worden.

Door het kantelen en omhoog trekken van de box schuiven de printplaten er deels uit. Net voor het vallen bezitten de printplaten een zekere hoeveelheid energie die gebruikt kan worden om de vallende platen te splitsen. Op de helling wordt een piramide geplaatst waardoor de platen in twee groepen worden gescheiden. Dit resulteert in een dunnere stapeling wat het grijpen vergemakkelijkt.

Opmerking

Een bijkomende mogelijkheid om de printplaten na het scheiden nog verder uit elkaar te halen met een triltafel wordt niet weerhouden. De scheiding van de printplaten tijdens de val zorgt voor voldoende discretisatie. Het extra uit elkaar trillen met een triltafel betekent geen grote meerwaarde. Het zorgt bovendien voor een extra kost door de benodigde energie.

6.3.2 Manipulator

Voor het manipuleren van de printplaat, na het grijpen, zijn enkele opties mogelijk: 6-assige robot, 3-assige portaal met polsgewricht en de deltarobot.

Een 6-assige robot is relatief goedkoop voor het aantal vrijheidsgraden. Deze heeft een voldoende groot werkbereik. Maar de *payload* is in verhouding laag, maar volstaat voor deze toepassing.

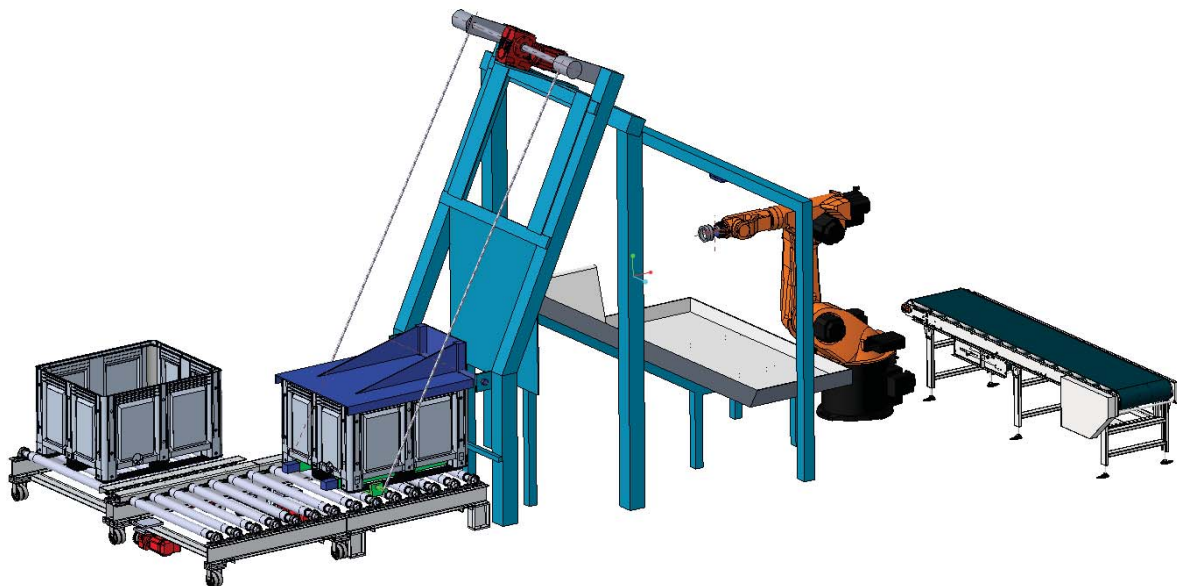
Een 3-assig portaal zorgt voor de vrijheidsgraden in de xyz-richting en een polsgewricht zal erop bevestigd worden voor de rotatie van de grijper. Het voordeel van een portaal is dat de *payload* en het werkbereik zeer groot zijn. Het nadeel is dat de kostprijs zeer hoog is.

Als laatste is er de deltarobot. Deze kan zeer snel manipuleren. Het nadeel is wel dat het werkgebied klein is en de *payload* ook zeer laag is.

Aangezien de printplaten een relatief licht gewicht hebben, heeft de manipulator geen nood aan een hoge *payload*. Om deze reden is een portaal overbodig. Het werkgebied waar de printplaten terechtkomen voor het grijpen is redelijk groot, daarom is een deltarobot minder geschikt. Een 6-assige robot sluit het beste aan bij de eisen (een groot werkgebied lage *payload* en heeft voldoende snelheid) gesteld aan de manipulator.

6.3.3 Concept

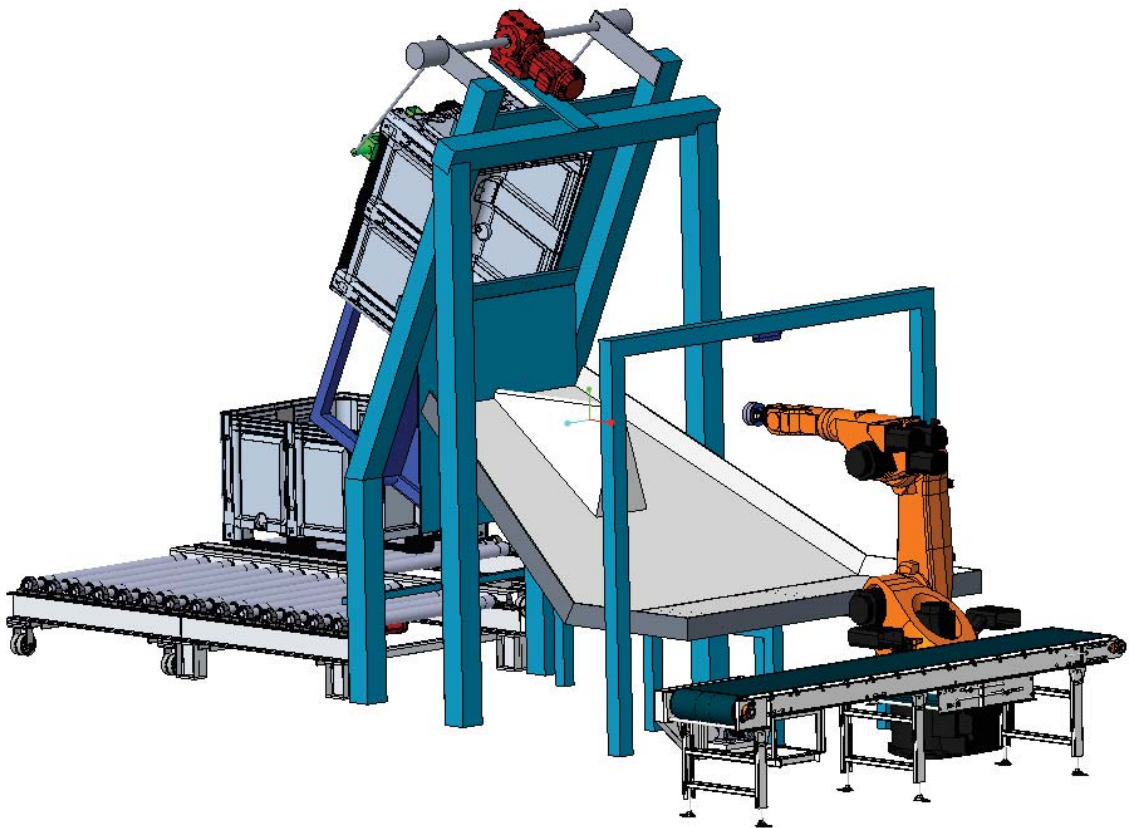
Bovenstaande keuzes worden verwerkt tot een concept, weergegeven in figuur 6.6.



Figuur 6.6: Opstelling, palletbox niet gekanteld

Voor de kantelaar is er eveneens een buffer voorzien, bestaande uit twee rollenbanen. Dit systeem kan naar voor en naar achter bewegen zodat de lege box door een volle wordt vervangen. Om boxen te bufferen kunnen twee lange rollenbanen voorzien worden voor de aan en afvoer van volle en lege boxen. De inzet van de heftruck wordt hierdoor beperkt.

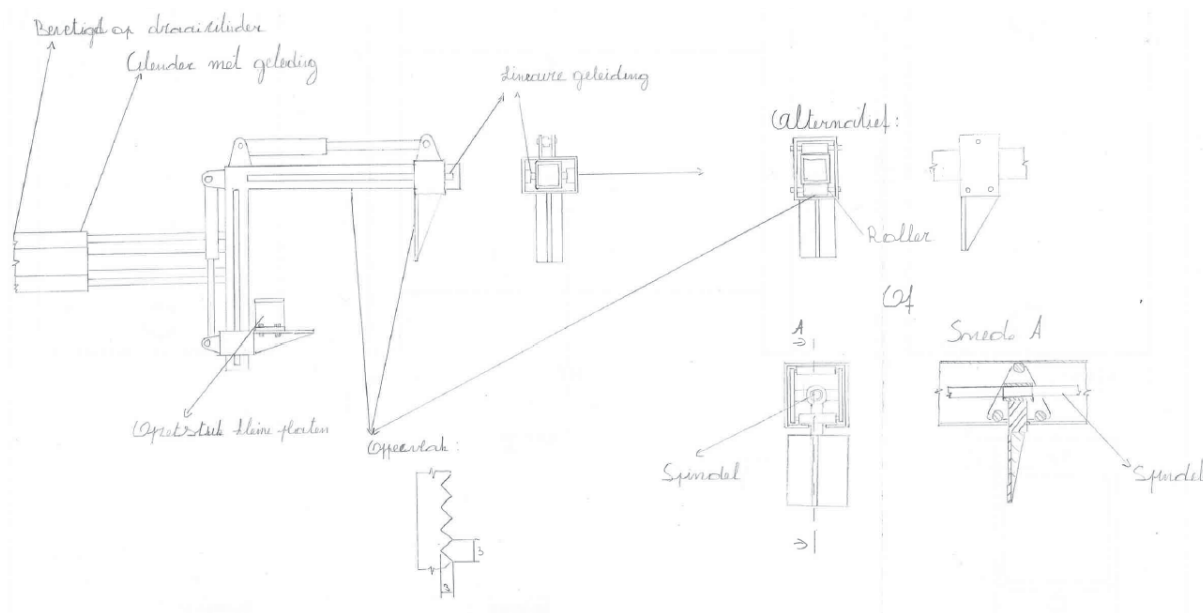
In figuur 6.7 is de stand getekend waar de box deels omhoog geschoven is. De box wordt dus telkens wat naar boven getrokken zodat er een deel printplaten uitvallen. Is de box leeg dan kan deze teruggekanteld worden om te wisselen.



Figuur 6.7: Opstelling, palletbox gekanteld

6.4 Klemsysteem

De manipulator dient de printplaten na het grijpen uit de stapeling te positioneren waarna deze geklemd kan worden voor verdere verwerking. Voor dit klemmen werden ook al enkel voorstellen geschetst. Aangezien de volgende stappen nog niet vast liggen en zo dus ook de eisen van het klemsysteem nog niet gekend zijn, wordt hier niet verder op ingegaan. De enige eisen waar mee rekening gehouden is, is het kunnen klemmen van printplaten met een grootte van 50 mm x 50 mm tot 400 mm x 400 mm en beide kanten van de printplaten moeten steeds bereikbaar zijn. In onderstaande figuur worden twee voorontwerpen weergegeven.

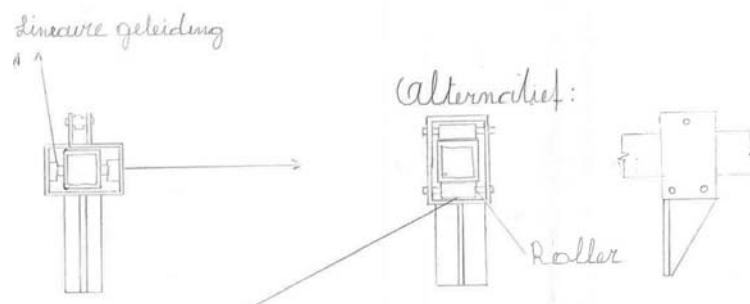


Figuur 6.8: Voorontwerpen klemsysteem

Het hele systeem bestaat uit twee bekken die in een richting loodrecht op elkaar kunnen bewegen om zo de printplaat in twee richtingen te kunnen vastklemmen. Deze bekken kunnen bewegen door middel van een pneumatische cilinder of een leischroef. Een pneumatische cilinder heeft het voordeel gemakkelijk een voorspanning te kunnen aanbrengen. De leischroef heeft als voordeel een groter bewegingsbereik te hebben.

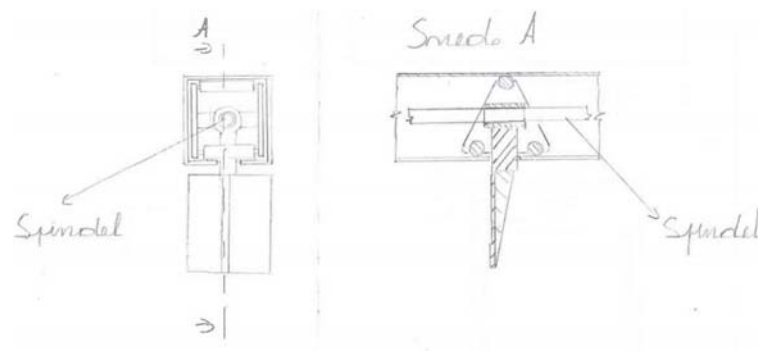
Voor de geleiding van de bekken worden drie mogelijkheden weergegeven. Als eerst wordt er gebruik gemaakt van twee standaard lineaire geleidingen, bevestigd op de buitenkant van een kokerprofiel. Hierover wordt een groter kokerprofiel geschoven met aan de binnenkant de andere helft van de lineaire geleiding. Op deze koker wordt dan de bek bevestigd. Deze opstelling heeft een zeer precieze positionering van de bekken als voordeel.

In het tweede opstelling wordt er gebruik gemaakt van rollende kunststof bussen die op de buitenwand van het profiel lopen. In de bussen aan de binnenkant van het klemsysteem zijn groeven aangebracht, gelijk aan de karteling van het klemoppervlak. Dit systeem is zeer eenvoudig en goedkoop.



Figuur 6.9: Mogelijke geleidingen

Als derde alternatief wordt er eveneens gebruik gemaakt van rollende bussen. Ditmaal worden ze aan de binnenzijde van het profiel geplaatst. Aan 1 kant wordt het profiel open gesneden zodat de bek op het rollende wagentje kan worden bevestigd. Indien dit systeem wordt aangedreven door middel van een spindel levert dit het meest compacte systeem op.



Figuur 6.10: Mogelijke geleiding

Het hele klemsysteem is roterend bevestigd aan een manipulator. Deze rotatie dient om het volledige klemsysteem met printplaat te kunnen omdraaien. Dit wordt gebruikt indien er componenten op beide zijden bevestigd zijn.

Het klemoppervlak wordt voorzien van kartelingen gelijk deze in figuur 3.1 om zo een goede klemming te verzekeren.

6.5 Conclusie

Een testopstelling is opgebouwd op basis van een Epson robot, een flow gripper met de afzuiging aan de zijkant en uitgerust met dichting 1C, de powerline PL604 als vacuümventilator en een transportband om de afvoer van de printplaten te simuleren. Aan de hand van deze opstelling kon een verwerkingstijd van 26 seconden per printplaat gerealiseerd worden. Het grootste aandeel hierin is de beeldverwerking, deze bedroeg 21 seconden. De bottleneck binnen dit proces was de gebruikte laptop, meer specifiek het tekort aan RAM-geheugen. Door gebruik te maken van een krachtiger verwerkingsplatform zijn hier aanzienlijke verbeteringen realiseerbaar. Verdere verbetering in het grijpproces zelf kan gerealiseerd worden in het leiden van de robot volgens een veilige weg en het lossen van de gripper in de aflegpositie. De manipulator kan hiervoor langs een voorgedefinieerde baan geleid worden en niet volgens punten waarin de robot telkens volledig tot stilstand komt. De lostijd kan verlaagd worden door het vacuümgeneratiesysteem te voorzien van een klep die de gripper direct aan de omgevingsdruk koppelt of indien nodig zelfs aan een overdruk om zo de printplaat sneller af te stoten.

Ook is het energieverbruik van de opstelling per printplaat bepaald, dit bedroeg 27,4 kJ/printplaat. De twee grootste factoren hiervan waren de vacuümgeneratie en de manipulator. De grootste verbetering hierin kan hier gerealiseerd worden door de vacuümgeneratie variabel aan te sturen naargelang de herkomst en bijhorende vorm van de aangevoerde batch printplaten. Ook zal door een versnelling van de verwerkingstijd het energieverbruik gereduceerd worden. Door het stijgende percentage laptop, tv ... printplaten ten opzichte van desktop printplaten kan een opstelling op basis van de Schmalz *flow gripper* in de toekomst mogelijk ook een optie worden. Deze is eenvoudiger, goedkopere van opbouw en heeft een lager vermogen.

Foute detecties waarin twee goed op elkaar aansluitende printplaten als één gezien worden kwamen sporadisch voor. Door eenmalig foutief te grijpen op deze slechte positie werd de stapeling steeds zodanig verstoord dat de volgende detectie wel succesvol verliep.

Een conceptuele praktische opstelling is ontworpen. Deze opstelling vertrekt vanuit een “om te kiepen palletbox” naar het werkgebied. Zo komen de printplaten “vrij” te liggen en kan de robot ze makkelijker bereiken. Het aantal printplaten verdeelt zich en hangen minder in elkaar zodat de grijpbaarheid verbetert. De robot heeft eveneens meer bewegingsruimte en botst niet meer tegen de wanden van de box. De werking van het systeem start bij aangedreven rollenbanen waar een gevulde palletbox in de kantellaar schuift. Met het kabelsysteem kantelt de box tot tegen de helling en wordt dan in verschillende standen omhooggeschoven. De stapsgewijze aanpak voorkomt dat de printplaten in één keer uit de box vallen. De piramide op het werkvlak scheidt de printplaten van elkaar wat resulteert in een dunnere stapeling waarin gemakkelijk een goede grijppositie kan worden bepaald.

Ook wordt er een voorstel gegeven voor een praktisch klemsysteem voor verdere verwerking. Dit bestaat uit een L-vormige klemming met langs iedere zijde van de L een bewegende bek. Verschillende mogelijke geleidingen en aandrijfmogelijkheden zijn besproken. De keuze hiervan is afhankelijk van de verdere verwerking en kan hier niet worden vastgelegd.

Hoofdstuk 7

Algemene conclusie

Deze masterproef beschrijft de ontwikkeling van een grijper en visiesysteem teneinde een *random bin picking* proces op te zetten. Deze opstelling zal dienstdoen binnen het recyclageproces van printplaten, als eerste stap om de aangevoerde printplaten uit palletboxen te discretiseren en ruw te positioneren voor verdere verwerking.

Een uitgebreide literatuurstudie van grijp- en visiesystemen maakt het mogelijk een aantal technieken te selecteren om een optimale keuze te maken. Technieken als een suction-cup-field-grijper en een flowgrijper werden onderworpen aan een aantal proof-of-concepttesten. De flow grijper werd weerhouden omwille van zijn simpliciteit en betere grijpkans ten opzichte van de andere technieken. Enkel naar de Formhand-grijper dient nog verder onderzoek te gebeuren.

De ontwikkelde flowgrijper bestaat uit twee onderdelen, enerzijds een kamer waarin de onderdruk wordt opgewekt en die wordt bevestigd aan een manipulator en anderzijds een afdichting tussen deze kamer en het te grijpen voorwerp. De onderdruk in deze kamer wordt opgewekt op basis van een groot zuigdebiet. Zo kan, ondanks de aanwezige lekweg veroorzaakt door de grillige vorm van de printplaten, nog steeds voldoende onderdruk opgewekt worden. De minimum haalbare onderdruk is vastgelegd tussen de 5 kPa en 10 kPa (0,05 bar en 0,1 bar). Om alle soorten printplaten te kunnen grijpen is een grijpoppervlak met een diameter van minimaal 100 mm nodig.

De noodzakelijke dichting is zo ontworpen dat deze zich optimaal kan aanpassen aan de vorm van de printplaten. De aanwezige lekweg en het energieverbruik worden zo reeds beperkt. Meerdere ontwerpen op basis van schuimen en afdichtingsborstels zijn hiervoor uitvoerig getest. De weerhouden dichting bestaat uit een ringvormige schuim met een binnendiameter van 100 mm, een hoogte van 60 mm en een getrapte dikte van 30 mm naar 15 mm aan het zuigoppervlak. Deze dichting onderscheidde zich door zijn eenvoud, durabiliteit en goed aanpassingsvermogen. De grijper is in staat om, met uitzondering van *heatsinks* en ventilatoren, over alle componenten te grijpen.

Voor de zuigkop (kamer) wordt een ontwerp gekozen met een afzuiging aan de zijkant en de bevestiging centraal. Op deze manier kan de positionering vergemakkelijkt worden en wordt een mogelijke momentwerking door excentriciteit beperkt. De zuigkop wordt geproduceerd door middel van SLS uit het materiaal PA-GF. Deze techniek is weerhouden omwille van zijn meer isotrope sterkte-eigenschappen en zijn lage productieprijs van 117 euro.

Voor het opwekken van het vacuüm zijn twee verschillende mogelijkheden getest. Om alle types printplaten te kunnen grijpen is een vacuümventilator met gelijkaardige eigenschappen als de Powerline PL604 nodig. De andere optie, de *Schmalz flow gripper*, kan mogelijk in de toekomst een goedkopere en eenvoudige oplossing vormen indien de te verwerken printplaten evolueren in de richting van vlakke laptop/tv printplaten.

De keuze van het visiesysteem voor het detecteren van printplaten in een willekeurige stapeling werd gemaakt op basis van een testopstelling. De structured-light-stereo-visieopstelling (Ensenso N35) werd weerhouden omwille van zijn snellere scantijd, kleinere invloed van occlusievorming en onafhankelijkheid van omgevingslicht en reflecties. Het ontwikkelde systeem is in staat een printplaat van willekeurige vorm en grootte te detecteren in een stapeling. Dit gebeurt zonder de nood aan een objectmodel. Het systeem vertrekt vanuit een 3D-puntenwolk en zal trachten hierin vlakken te herkennen die een voldoende grootte hebben om een printplaat te vormen. Een extra methodiek wordt uitgeschreven voor de bepaling van een eenduidige grijppositie voor de manipulator. Ook wordt de aanzet gegeven voor een botsingsdetectie die in staat is een grijppositie te bepalen op printplaten met grote *heatsinks*/ventilatoren, aangezien de gripper niet in staat is hierover te grijpen. De belangrijkste parameter voor een goede detectie is de maximale tussenafstand voor het koppelen van punten tot een gebied. Optimaal dient deze afgesteld te worden naargelang de manier waarop de printplaten worden aangevoerd en/of de herkomst en bijhorende vorm ervan (desktop, laptop, tv ...) gekend is.

Een testopstelling is gebouwd om bijkomende inzichten over het detecteren en grijpen van printplaten te bekomen. Deze opstelling bestaat uit een kleine Epsonrobot, SOL-visiesysteem ook is de Ensenso N35 hier op gemonteerd. Op de robot is de eigen ontworpen zuigkop met de afzuiging aan de zijkant gemonteerd, de zuigkop is uitgerust met dichting 1C. De powerline PL604 heeft dienst gedaan als vacuümventilator en een transportband is gebruikt om de afvoer te simuleren. Aan de hand van deze opstelling kan een verwerkingstijd van 26 seconden per printplaat gerealiseerd worden. Het grootste aandeel hierin is de beeldverwerking, deze bedroeg 21 seconden. De bottleneck binnen dit proces was de gebruikte laptop. Het energieverbruik bedraagt 27,4 kJ/printplaat.

Vanuit deze testopstelling kunnen op verschillende vlakken reeds voorstellen tot verbetering worden geformuleerd. Een krachtiger verwerkingsplatform kan de verwerkingsnelheid aanzienlijk verhogen. Het grijpproces zelf wordt geoptimaliseerd wanneer de robot via een vooraf gedefinieerde baan wordt geleid en niet volgens punten zoals nu gebeurt. De lostijd wordt verlaagd wanneer het vacuüm-generatiesysteem wordt uitgerust met een klep die de gripper direct aan de omgevingsdruk koppelt of zelfs aan overdruk zodat de printplaat sneller kan worden afgestoten. Het energieverbruik kan worden verbeterd door een variabele aansturing van vacuümgeneratie naargelang de herkomst en de bijhorende vorm van de aangevoerd batch printplaten.

Een voorstel is uitgewerkt voor een industriële opstelling. Deze opstelling vertrekt vanuit een “om te kiepen palletbox” naar het werkgebied. Zo komen de printplaten “vrij” te liggen en kan de robot ze makkelijker bereiken. De werking van het systeem start bij aangedreven rollenbanen waar een gevulde palletbox in de kantellaar schuift. Met een kabelsysteem kantelt de box tot tegen de helling en wordt de box stapsgewijs omhooggeschoven zodat de printplaten niet in één keer uit de box vallen. De piramide op het werkvlak scheidt de platen van elkaar en een goede grijppositie kan vlot worden bepaald door het ontwikkelde visiesysteem.

De opzet van de masterproef was het ontwikkelen van een grijp- en visiesysteem, dit resulteerde in een werkende testopstelling. Voor een optimale werking van het systeem dienen enkele onderdelen geoptimaliseerd te worden in functie van de wijze van aanvoer en herkomst van de printplaten. De conceptuele industriële opstelling plaatste het resultaat in een nog groter geheel.

Bibliografie

- [1] Schmalz, “Flow Gripper,” 2018. [Online]. Available: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/special-grippers/flow-grippers>
- [2] KU Leuven, “ACRO,” 2017. [Online]. Available: <https://iiv.kuleuven.be/onderzoek/acro>
- [3] KULeuven, “DESIGN METHODOLOGIES AND LIFE CYCLE ENGINEERING,” 2017. [Online]. Available: <https://www.mech.kuleuven.be/en/research/LCE>
- [4] Umicore, “Recyclables,” p. <http://pmr.umicore.com/en/en/recyclables/>.
- [5] W. C. Chang and C. H. Wu, “Eye-in-hand vision-based robotic bin-picking with active laser projection,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 85, no. 9-12, pp. 2873–2885, 2016.
- [6] F. Y. Chen, “Gripping mechanisms for industrial robots. An overview,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 17, no. 5, pp. 299–311, 1982.
- [7] X. Li, N. Li, G. Tao, H. Liu, and T. Kagawa, “Experimental comparison of Bernoulli gripper and vortex gripper,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 16, no. 10, pp. 2081–2090, 2015.
- [8] B. Boston, “Soft Robotics Partners With Heinzen To Bring Novel Robotic Grippers To The Food Industry,” 2015. [Online]. Available: <http://www.simplebotics.com/2015/06/soft-robotics-partners-with-heinzen-to-bring-novel-robotic-grippers-to-the-food-industry.html>
- [9] G. Fantoni, M. Santochi, G. Dini, K. Tracht, B. Scholz-Reiter, J. Fleischer, T. Kristoffer Lien, G. Seliger, G. Reinhart, J. Franke, H. Nørgaard Hansen, and A. Verl, “Grasping devices and methods in automated production processes,” *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 63, no. 2, pp. 679–701, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2014.05.006>
- [10] J. Hughes, U. Culha, F. Giardina, F. Guenther, A. Rosendo, and F. Iida, “Soft Manipulators and Grippers: A Review,” *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 3, no. November, pp. 1–12, 2016. [Online]. Available: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/frobt.2016.00069/full>
- [11] C. Laschi, B. Mazzolai, and M. Cianchetti, “Soft robotics: Technologies and systems pushing the boundaries of robot abilities,” *Science Robotics*, vol. 1, no. 1, p. eaah3690, 2016. [Online]. Available: <http://robotics.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/scirobotics.aah3690>

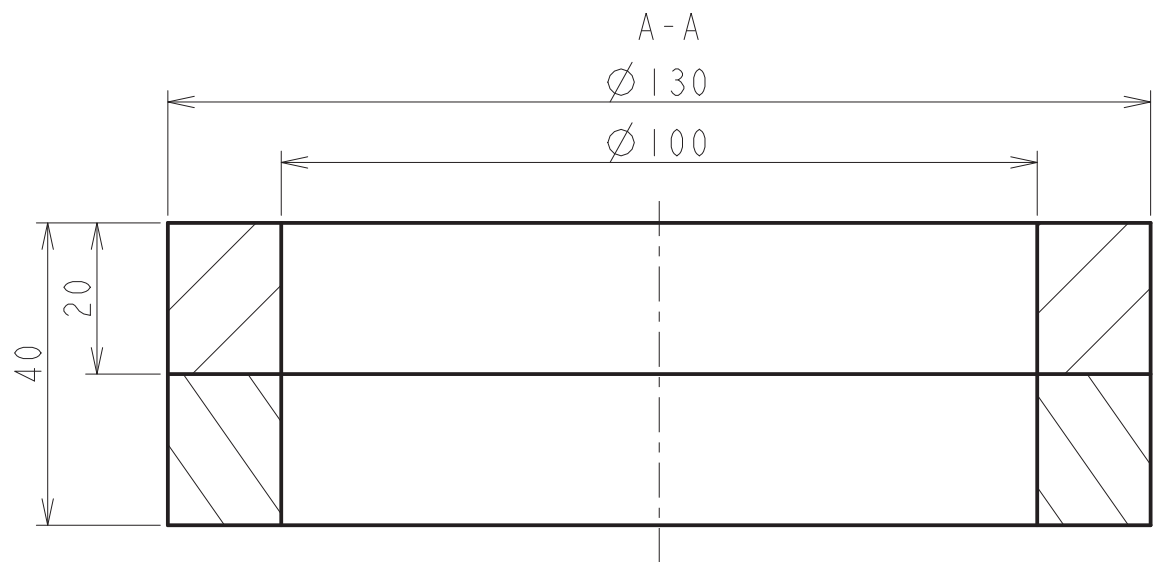
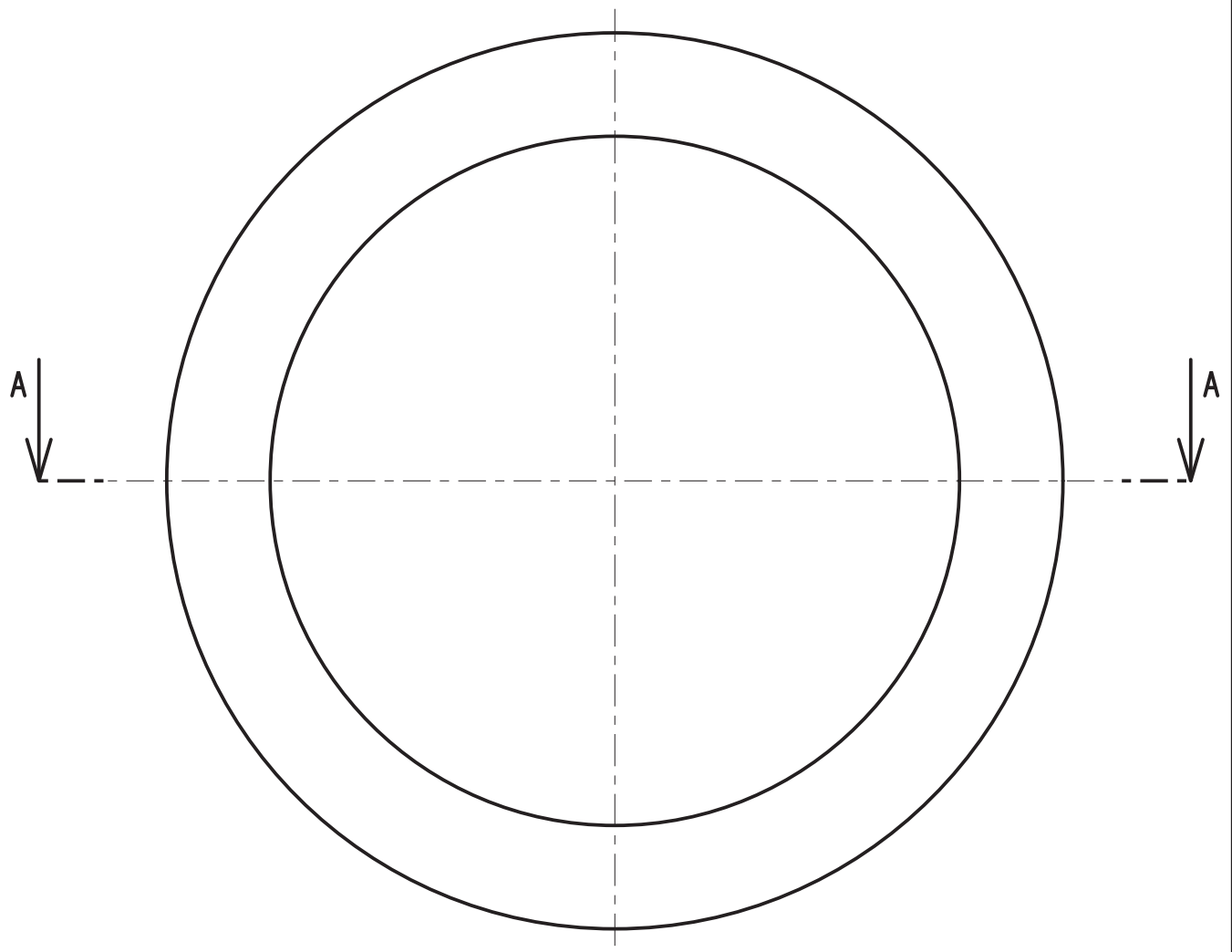
- [12] Destaco, “VACUUM CUPS AND MAGNETS.” [Online]. Available: <https://www.destaco.com/vacuum-cups.html>
- [13] Vacuforce, “vacuum bag gripper.” [Online]. Available: <http://www.vacuforce.com/barracuda.html{\#}>
- [14] Kurzweil, “A gripper using soft robotics.” [Online]. Available: <http://www.kurzweilai.net/a-gripper-using-soft-robotics#!prettyPhoto{\#}>
- [15] FIPA, “Needle grippers.” [Online]. Available: http://www.fipa.com/en_US/product/208286-needle-grippers{\#}
- [16] W. Y. Chiu, “Dual laser 3D scanner for Random Bin Picking system,” in *2015 International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Systems, ARIS 2015*, 2015.
- [17] A. Pochyly, T. Kubela, V. Singule, and P. Cihak, “3D vision systems for industrial bin-picking applications,” in *15th International Conference on Mechatronics*, 2012, pp. 1–6.
- [18] MVTec, “Stereo vision,” 2017. [Online]. Available: <http://www.mvtec.com/services-solutions/technologien/3d-vision/stereo-vision/>
- [19] J. Carroll, “Vision-guided robotics: Stereo vision system enables robotic bin picking,” 2016. [Online]. Available: <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-21/issue-9/departments/technology-trends/vision-guided-robotics-stereo-vision-system-enables-robotic-bin-picking.html>
- [20] “FORMHAND,” 2018. [Online]. Available: <http://www.formhand.de/de/>
- [21] Cel-Kunststoffen, “Thermoforming,” 2018.
- [22] “YouniQ Machining,” 2018. [Online]. Available: <https://www.youniqmachining.com/nl>
- [23] Materialize, “Materialize.” [Online]. Available: <http://www.materialise.com/en>
- [24] P. Lambert, “Tensile properties of materials: FDM printer & SLS printer,” 2014. [Online]. Available: <https://www.sculpteo.com/blog/2014/05/14/material-considerations-choose-right-plastic-production-method-part-2/>
- [25] J. Baeten, K. Donné, S. Boerdrij, W. Beckers, and E. Claesen, “Field and Service Robotics,” *Field and Service Robotics: Results of the 6th international Conference, Chamonix, France*, vol. 42, pp. 531–539, 2008. [Online]. Available: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-3-540-75404-6{\%}5Cnhttp://www.springerlink.com/content/f451hxx1p361j727/>
- [26] Machinetrack, “Greefa kistenkantelaar.” [Online]. Available: https://www.machinetrack.nl/machine.html?page{_}prd{_}id=741974



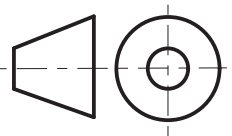
Appendices

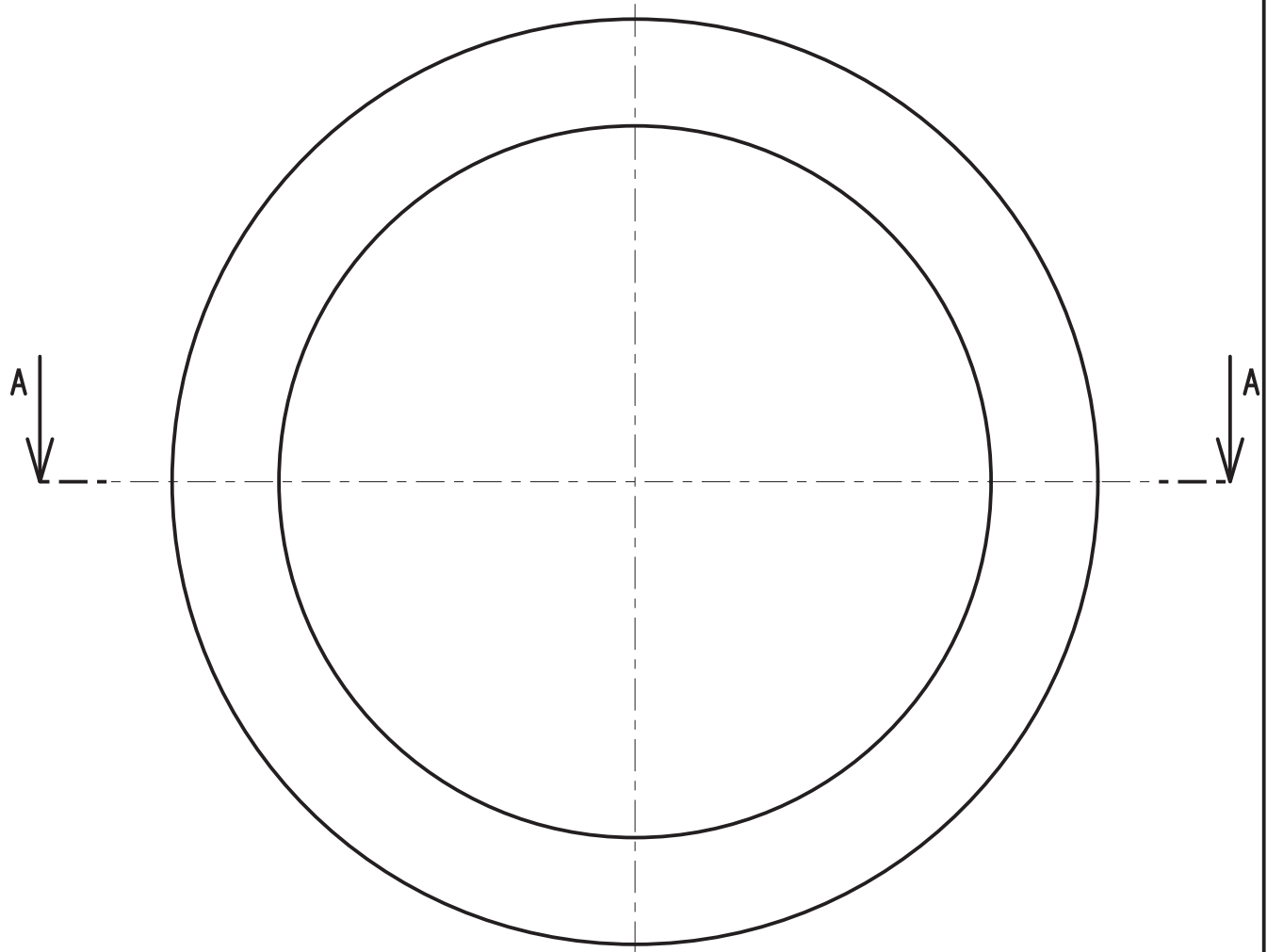
Appendix A: Tekeningen grippers	147
Appendix B: Gegevens test grippers	163
Appendix C: Datasheets	171
Appendix D: Code HALCON	197
Appendix E: Testverslag en afstelling visie	211

Appendix A: Tekeningen grippers

In deze bijlage zijn de technische tekeningen van de afdichtingen weergegeven.



Materiaal: Nitto, EE-1000 serie		Ruwmaten: Ø130 x 20 (2x)	
Benaming : Afdichting 1a		Stuknr: 1a	Aantal: 1
 	Tekenaar: Jeroen Lemmens Gert Schouterden	Formaat: A4	Schaal: 1/1
	Groep: MA-EM	Datum: 08/05/18	
			



A - A

Ø 130

Ø 100



Materiaal: Nitto, EE-1000 serie

Ruwmaten: Ø130 x 30 (2x)

Benaming : Afdichting 1b

Stuknr: 1b

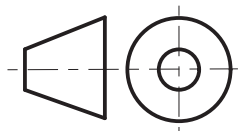
Aantal: 1

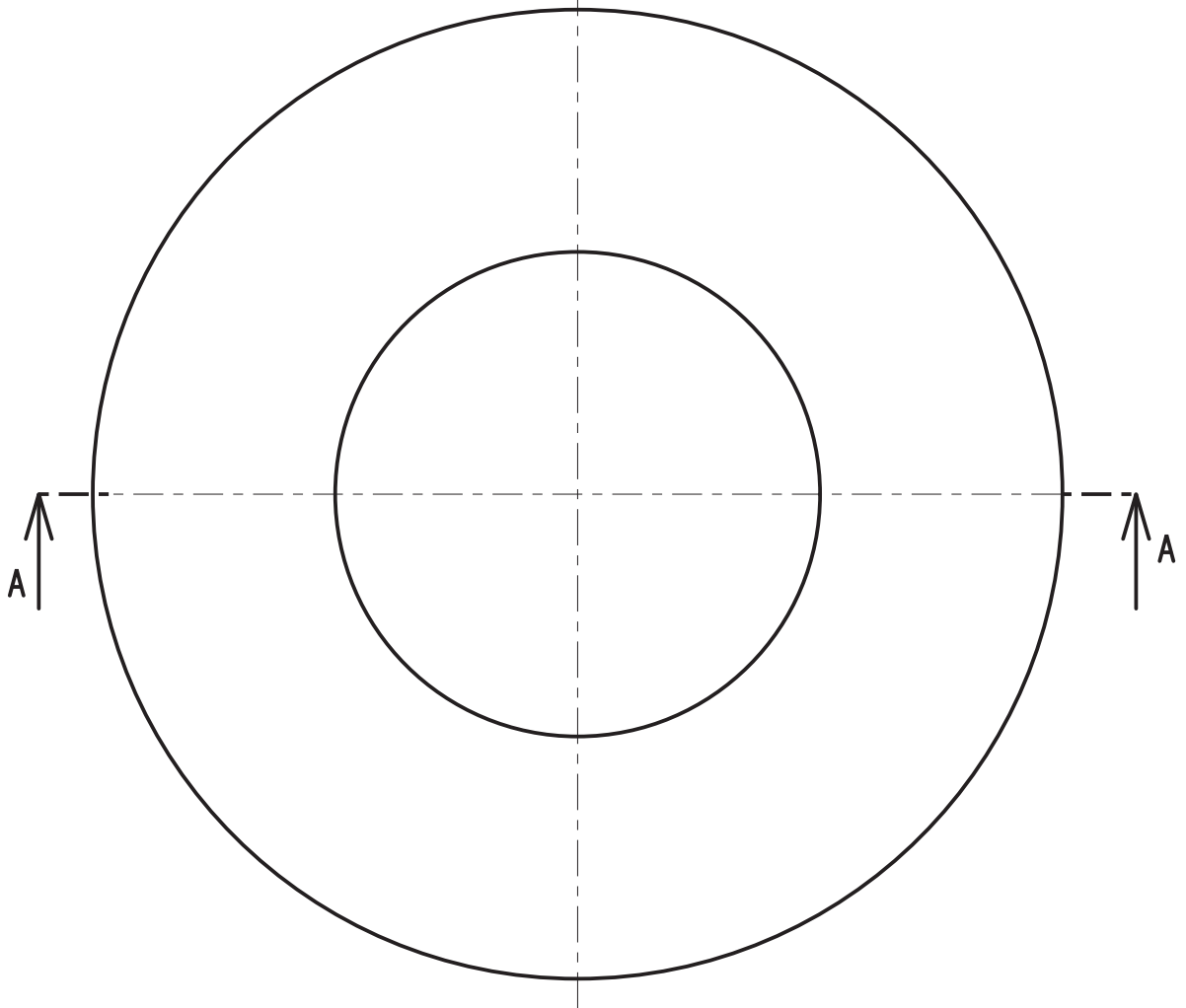
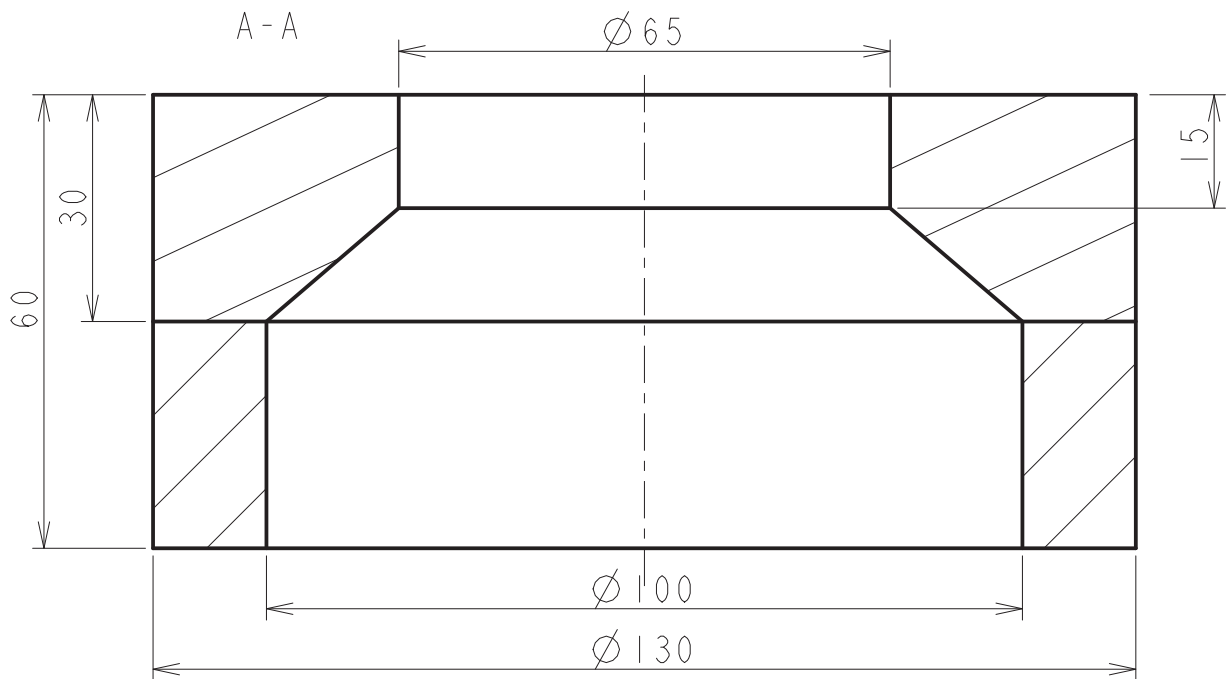


Tekenaar:
Jeroen Lemmens
Gert Schouterden
Groep: MA-EM

Formaat:
A4
Datum: 08/05/18

Schaal:
1/1





Materiaal: Nitto, EE-1000 serie

Ruwmaten: $\text{Ø}130 \times 30$ (2x)

Benaming : Afdichting 1c

Stuknr: 1c

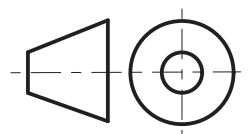
Aantal: 1

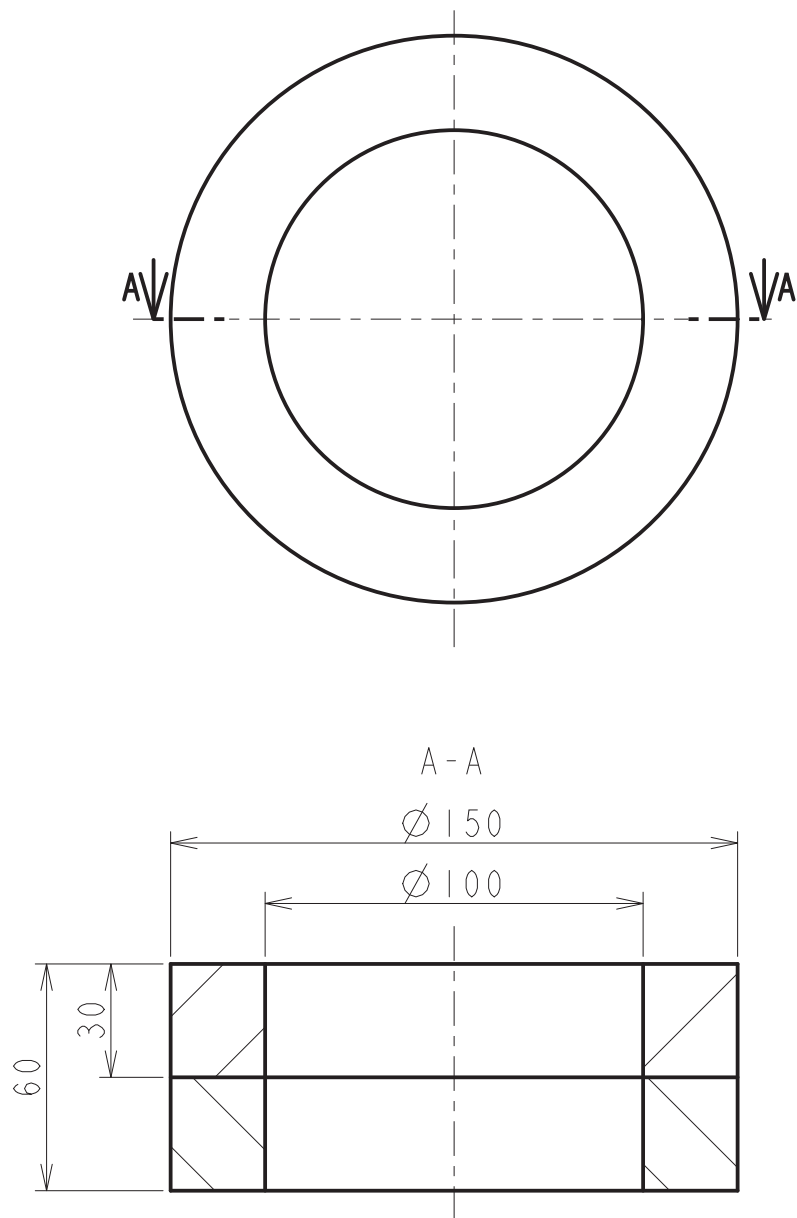




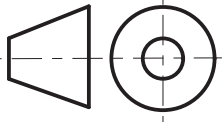
Tekenaar:
 Jeroen Lemmens
 Gert schouterden
 Groep: MA -EM

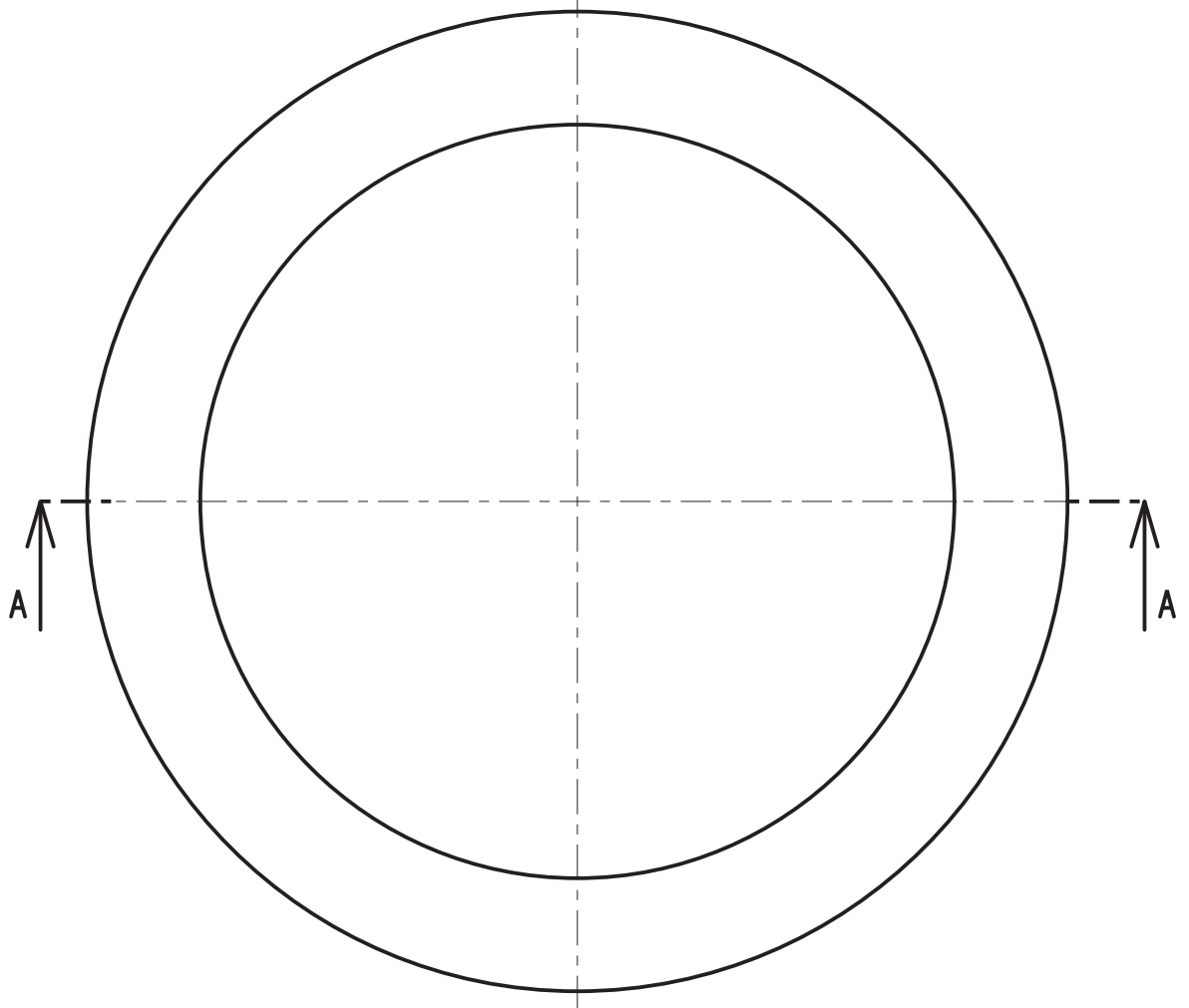
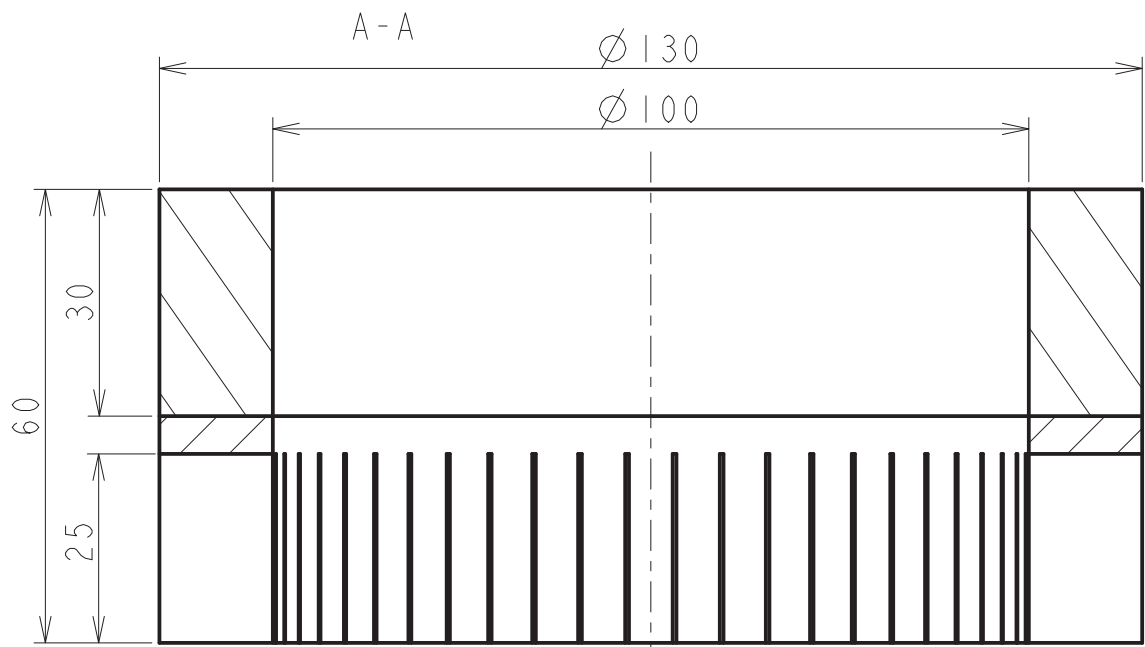
Formaat:
A4
 Datum: 08/05/18



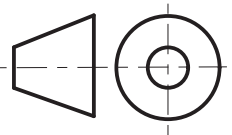
Schaal:
1/1

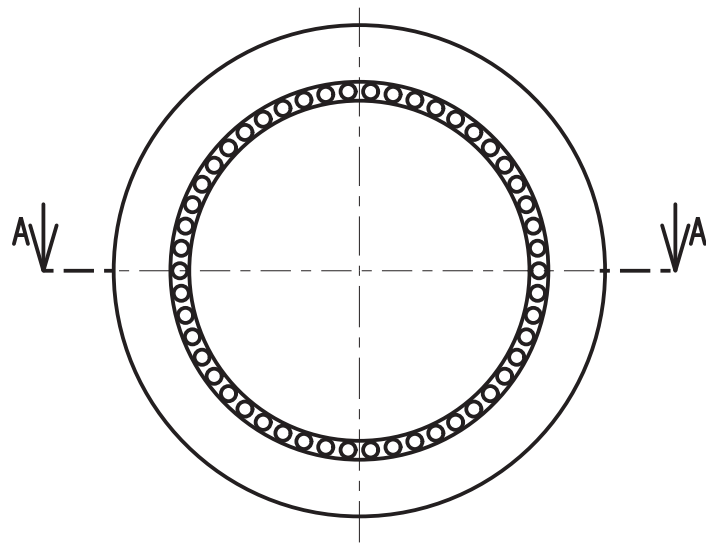




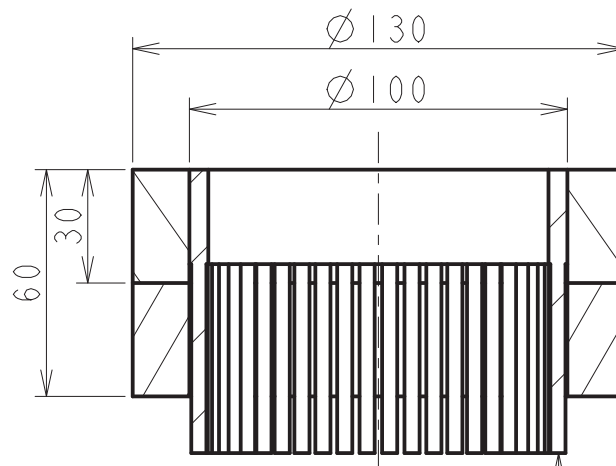
Materiaal: Nitto, EE-1000 serie		Ruwmaten: Ø150 x 30 (2x)	
Benaming : Afdichting 1d		Stuknr: 1d	Aantal: 1
 	Tekenaar: Jeroen Lemmens Gert Schouterden	Formaat: A4	Schaal: 1/2
	Groep: MA-EM	Datum: 08/05/18	
			





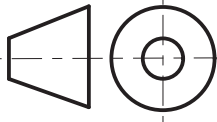
Materiaal: Nitto, EN-1000 serie		Ruwmaten: Ø130 x 30 (2x)	
Benaming : Afdichting 2		Stuknr: 2	Aantal: 1
 	Tekenaar: Jeroen Lemmens Gert Schouterden	Formaat: A4	Schaal: 1/1
	Groep: MA - EM	Datum: 08/05/18	
			

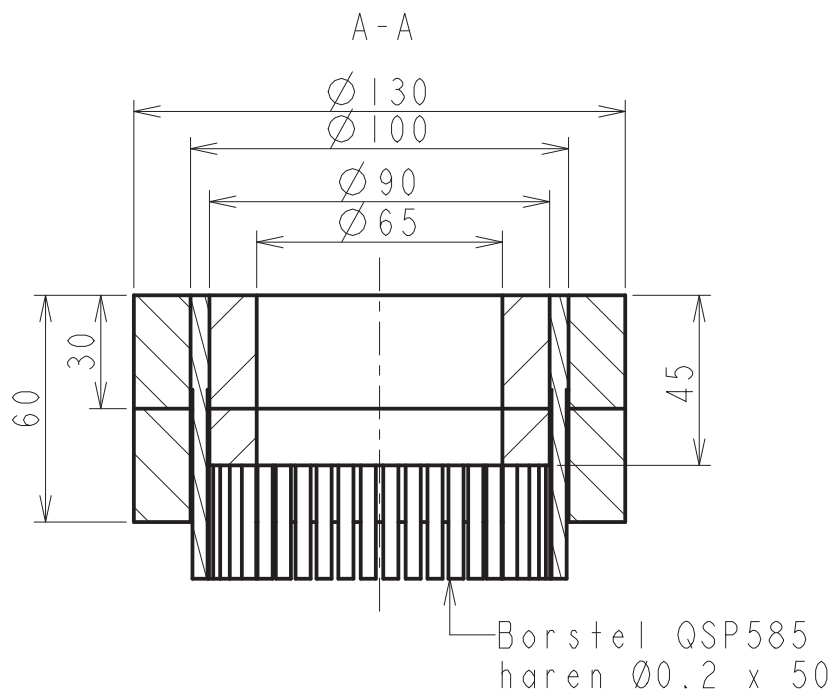
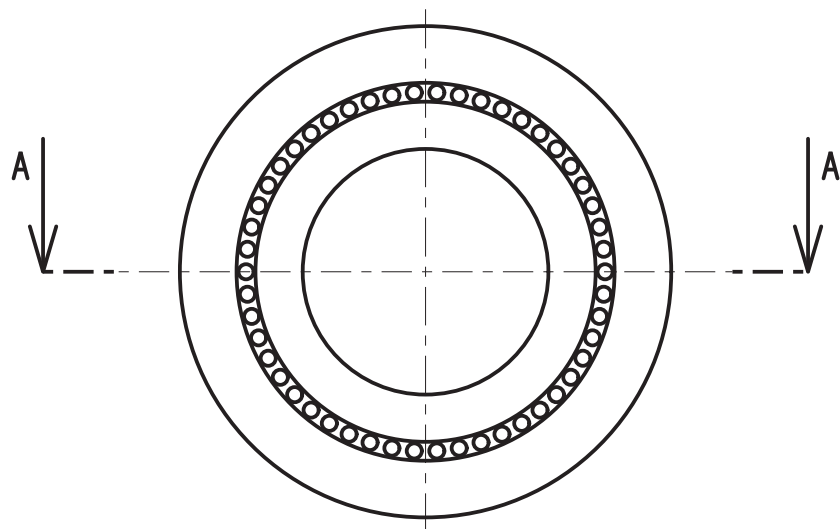




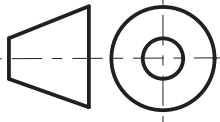
A - A



Borstel QSP585
haren 00.2 x 50

Materiaal: Nitto, EE-1000 serie		Ruwmaten: Ø130 x 30 (2x)	
		borstel QSP585	
Benaming : Afdichting 3a		Tek.nr: 3a	Aantal: 1
 	Tekenaar: Jeroen Lemmens Gert Schouterden	Formaat: A4	Schaal: 1/2
	Groep: MA - EM	Datum: 11/05/18	
			



Materiaal: Nitto, EE-1000 serie		Ruwmaten: $\varnothing 130$ en $\varnothing 90 \times 30$ (2x)	
		borstel QSP585	
Benaming : Afdichting 3b		Stuknr: 3b	Aantal: 1
 	Tekenaar: Jeroen Lemmens Gert Schouterden	Formaat: A4	Schaal: 1/2
	Groep: MA - EM	Datum: 11/05/18	
			

Appendix B: Gegevens test grijpers

In deze bijlage zijn de resultaten van de testen van de verschillende grijpers te vinden.

Resultaten grijpers op testplaten

Test 1: PCI-E slot						
Onderdruk [kPa]	Zuigkop 1a	Zuigkop 1b	Zuigkop 1c	Zuigkop 1d	Zuigkop 3a	Zuigkop 3b
Schmalz	1,2		2,9			
Powerline PL 604 IWD stand 1	9,6	9,5	9,4	8,7	10	11,9
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	12,4	14,6	13,3	12,2	13,5	15,6

Test 2a: Lege RAM-slots						
Onderdruk [kPa]	Zuigkop 1a	Zuigkop 1b	Zuigkop 1c	Zuigkop 1d	Zuigkop 3a	Zuigkop 3b
Schmalz	8,5		12,1			
Powerline PL 604 IWD stand 1	21,6	21,1	21,8	20,8	21	19,5
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	22,9	22,1	23,1	21,9	21,8	21,5

Test 2b: 1 RAM-stick						
Onderdruk [kPa]	Zuigkop 1a	Zuigkop 1b	Zuigkop 1c	Zuigkop 1d	Zuigkop 3a	Zuigkop 3b
Schmalz	2		8,6			
Powerline PL 604 IWD stand 1	2,2	1,8	20,8	9,1	5,1	11,2
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	3,3	2,8	22,4	21,3	5,9	14,7

Test 2c: 2 RAM-sticks						
Onderdruk [kPa]	Zuigkop 1a	Zuigkop 1b	Zuigkop 1c	Zuigkop 1d	Zuigkop 3a	Zuigkop 3b
Schmalz	0,8		2,9			
Powerline PL 604 IWD stand 1	2,3	1,8	16,1	12,4	4,8	9
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	3,4	1,9	18,7	14,4	6,4	12,9

Test 3: vlakke plaat						
Onderdruk [kPa]	Zuigkop 1a	Zuigkop 1b	Zuigkop 1c	Zuigkop 1d	Zuigkop 3a	Zuigkop 3b
Schmalz	9,5		14,1			
Powerline PL 604 IWD stand 1	22,5	21,9	21,9	21,4	21,4	21,4
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	23,1	22,6	22,7	22,3	22,1	22,7

Resultaten grijpers op achterkant van printplaten

Printplaat 1: achterkant					
Onderdruk [kPa]	zuigkop 1a	zuigkop1c	zuigkop1d	zuigkop 3a	zuigkop 3b
Schmalz	8,8	12,2	0	0	0
Powerline PL 604 IWD stand 1	22	21,7	21,3	21,6	18,7
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	22,8	22,8	22,2	22,1	20,9

Printplaat 2: achterkant					
Onderdruk [kPa]	zuigkop 1a	zuigkop1c	zuigkop1d	zuigkop 3a	zuigkop 3b
Schmalz	9,3	13,5	0	0	0
Powerline PL 604 IWD stand 1	21,4	21,8	21,9	20,9	21,4
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	22,8	22,9	22,5	21,9	22,8

Printplaat 3: achterkant					
Onderdruk [kPa]	zuigkop 1a	zuigkop1c	zuigkop1d	zuigkop 3a	zuigkop 3b
Schmalz	7,3	10,5	0	0	0
Powerline PL 604 IWD stand 1	20,8	19,8	19,9	19,6	18,8
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	21,9	21,8	21,8	21,6	20,8

Printplaat 4: achterkant					
Onderdruk [kPa]	zuigkop 1a	zuigkop1c	zuigkop1d	zuigkop 3a	zuigkop 3b
Schmalz	5	11,2	0	0	0
Powerline PL 604 IWD stand 1	20,2	20,8	20,1	19,8	20,2
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	21,9	22,1	21,7	21,7	21,5

Printplaat 5: achterkant					
Onderdruk [kPa]	zuigkop 1a	zuigkop1c	zuigkop1d	zuigkop 3a	zuigkop 3b
Schmalz	7,1	11,3	0	0	0
Powerline PL 604 IWD stand 1	17,9	20,9	20,5	16,3	20,1
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	20,8	22,1	21,5	19,4	21,6

Resultaten grijpers op voorkant printplaat 1

Printplaat 1: voorkant									
Onderdruk [kPa]	Positie 1	Gegrepen	Positie 2	Gegrepen	Positie 3	Gegrepen	Positie 4	Gegrepen	
Schmalz	0,5		0,6		0,4		0,5		
Powerline PL 604 IWD stand 1	3,9	x	5,8	x	3,9	x	5,3	x	x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	5,8	x	9,3	x	6,6	x	9,3	x	x
Schmalz	0,6		0,6		0,5		0,6		
Powerline PL 604 IWD stand 1	4,1	x	4,5	x	3,4	x	2,6		
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	9,3	x	9,8	x	7,5	x	6,5	x	x
Powerline PL 604 IWD stand 1	1,9	x	2,1		1,5		11,1		x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	4,6	x	4,7	x	4,6	x	15,4	x	x
Powerline PL 604 IWD stand 1	7	x	4,1	x	5,6		4		
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	11,4	x	7,6	x	8	x	12,5	x	
Powerline PL 604 IWD stand 1	5,3	x	4,9	x	3,3	x	5,9		
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	1,1	x	9,8	x	6,1	x	11,2	x	x

Resultaten grijpers op voorkant printplaat 2

		Printplaat 2: voorkant							
Onderdruk [kPa]		Positie 1	Gegrepen	Positie 2	Gegrepen	Positie 3	Gegrepen	Positie 4	Gegrepen
Schmalz		0,6		0,8		0,5		0,7	
Powerline PL 604 IWD stand 1	Zuigkop 1a	3,3		4,8		9,1	x	2,6	
Powerline PL 604 IWD stand 1+2		5,5		8,3		12,3	x	6,8	
Schmalz		0,8		0,7		1		0,8	
Powerline PL 604 IWD stand 1	Zuigkop 1c	4,4		9,8	x	8,6	x	7,9	
Powerline PL 604 IWD stand 1+2		6,8	x	15,2	x	12,5	x	14,5	x
Powerline PL 604 IWD stand 1	Zuigkop 1d	2,8		4,8		13,2	x	9,5	x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2		4,8		10,7	x	17,2	x	15,1	x
Powerline PL 604 IWD stand 1	Zuigkop 3a	11	x	10,5		11,1	x	14	
Powerline PL 604 IWD stand 1+2		14,9	x	13,8		14,4	x	10,1	x
Powerline PL 604 IWD stand 1	Zuigkop 3b	8,6		10,3	x	9,2	x	14,1	x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2		13,7	x	15,5	x	14,5	x	17,2	x

Resultaten grijpers op voorkant printplaat 3

Printplaat 3: voorkant									
Onderdruk [kPa]	Positie 1	Gegrepen	Positie 2	Gegrepen	Positie 3	Gegrepen	Positie 4	Gegrepen	
Schmalz	1,8	x	1,4		0,7		0,6		
Powerline PL 604 IWD stand 1	2,4	x	4,8	x	2,2		2,9		x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	3,5	x	8,1	x	3,1		4,2		x
Schmalz	3,1	x	0,9	x	1,2		1,8		
Powerline PL 604 IWD stand 1	13,6	x	3	x	7,3	x	3,7		x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	17,5	x	6,7	x	14,7	x	8,1		x
Powerline PL 604 IWD stand 1	4,9	x	3,5	x	2,2		2,2		x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	11,5	x	14,5	x	4,1	x	6,6		x
Powerline PL 604 IWD stand 1	13,1	x	4	x	6	x	6,6		x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	17,1	x	9,4	x	12,7	x	10,8		x
Powerline PL 604 IWD stand 1	4,7	x	12,3	x	3,1		9,6		x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	9,6	x	15,4	x	9,6	x	14,6		x

Resultaten grijpers op voorkant printplaat 4

Printplaat 4: voorkant									
Onderdruk [kPa]		Positie 1	Gegrepen	Positie 2	Gegrepen	Positie 3	Gegrepen	Positie 4	Gegrepen
Schmalz		8,1	x	8,8	x	6,6	x	0,3	
Powerline PL 604 IWD stand 1	Zuigkop 1a	19,6	x	17,6	x	18,9	x	4,2	x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2		21,3	x	19,8	x	20,8	x	7,7	x
Schmalz		6,9	x	4,1	x	6,3	x	0,2	
Powerline PL 604 IWD stand 1	Zuigkop 1c	20,7	x	14,4	x	15,4	x	2,9	x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2		22	x	19	x	18,2	x	7,3	x
Powerline PL 604 IWD stand 1	Zuigkop 1d	17,9	x	16,2	x	12,7	x	3,4	x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2		19,9	x	19,2	x	16,5	x	8,6	x
Powerline PL 604 IWD stand 1	Zuigkop 3a	17	x	15,8	x	3,4	x	13,1	x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2		20,2	x	19,3	x	6,3	x	16,9	x
Powerline PL 604 IWD stand 1	Zuigkop 3b	15,8	x	14,6	x	16,3	x	6,7	x
Powerline PL 604 IWD stand 1+2		19,5	x	18,2	x	19,2	x	11,6	x

Resultaten grijpers op voorkant printplaat 5

Printplaat 5: voorkant									
Onderdruk [kPa]	Positie 1	Gegrepen	Positie 2	Gegrepen	Positie 3	Gegrepen	Positie 4	Gegrepen	
Schmalz	4,5	x	2		0,6		0,3		
Powerline PL 604 IWD stand 1	20,3	x	7,3	x	11	x	1,6	x	
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	21,5	x	10,5	x	14,1	x	3,2	x	
Schmalz	5,2	x	10,8	x	0,3		0,2		
Powerline PL 604 IWD stand 1	19,5	x	13,5	x	15,3	x	20,5	x	
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	21,1	x	16,6	x	16,5	x	21,8	x	
Powerline PL 604 IWD stand 1	19,4	x	20,9	x	14,7	x	17,8	x	
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	21,1	x	21,8	x	18,2	x	20,2	x	
Powerline PL 604 IWD stand 1	15,2	x	5	x	1,7	x	11,3	x	
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	18,7	x	10,3	x	4,8	x	15,8	x	
Powerline PL 604 IWD stand 1	15,8	x	6,6	x	7,1	x	3,5	x	
Powerline PL 604 IWD stand 1+2	19,1	x	10,3	x	12,3	x	5,4	x	

Appendix C: Datasheets

In deze bijlage zijn verschillende datasheets te vinden van gebruikte apparaten.

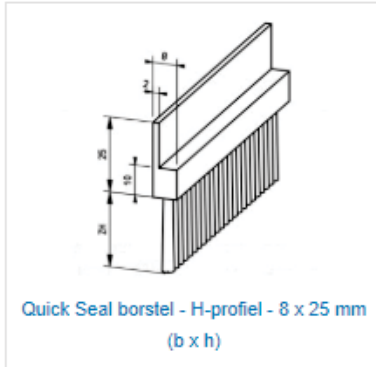
1. Borstel Koti, QSP585
2. Schuim: Nitto, EE-1000 serie
3. Flow gripper: Schmalz composiet-vacuümgrijper
4. Stofzuiger: Powerline PL604WD
5. Vacuümgenerator: Schmalz SB 510 200 4 IE3-TYP1
6. Onderdrukmeter: Festo SPAB-B2R-G18-2P-M8
7. 3D-camera: Ensenso N35

KOTI Quick Seal borstels - QSP585

Om een prijs aan te vragen, gelieve uw specificaties in het onderstaande tabel te selecteren.



Kern: TPE - Thermoplastisch rubber



CONFIGURATIES

BC: QSP585

L: 25000

VM	VD	ZH
PA 6.6	0.15	10
PP	0.20	15
PH	-	20
		25
		30
		35
		40
		45
		50

NITTO EPTSEALER

EE-1000 Series

Foam sealing material with superior resistance to weather, cold, heat and chemicals.



Semi-closed cell structure

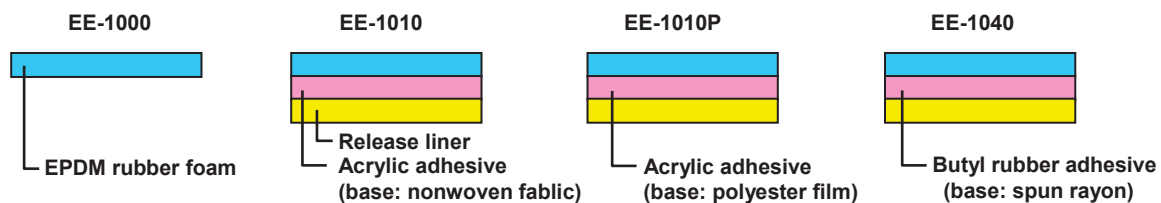
Outline

NITTO EPTSEALER foam sealing material to fill cavities of various types of equipment, consisting of EPDM synthetic rubber foam with a semi-closed cell structure. Higher compression foams are available for various purposes such as waterproof, windproof, dustproof, soundproof, or thermal insulation according to the compression ratio.

Features

- Superior durability and weather-resistance cold/heat test (-20°C to 100°C), and chemical resistance (acids and alkalis).
- As compressive load (stress) is small, it will not deform the structure after filling in joints.
- Easy to compress and apply.
- Low specific gravity of 0.11; Application and preservation easy as foam pieces do not fuse together.

Structure



Standard Size

Thickness (mm)	Width (mm)	Length(m)
3~20 (EE-1010 1010P 1040 3~25)	1000	2

Doc No. EPT-023-E-4 2015/02/27 1/5

Notes: This data represents examples of measured values, and not guaranteed values. They do not guarantee compatibility with the applications described in these documents. Please confirm compatibility with your application prior to use. We retain all rights, including copyrights, for the contents of these documents. Copying, reprinting and use for purposes other than originally intended are strictly prohibited without our prior expressed permission. Contact details are provided at the end of this document. Please do not hesitate to contact us for any inquiry.

Applications

- Water-proofing, air sealing, soundproofing and thermal insulation for air conditioners and air cleaners.
- For mounting of cowl louvers.
- For mounting of center pillars.
- For mounting of mirrors.

Properties

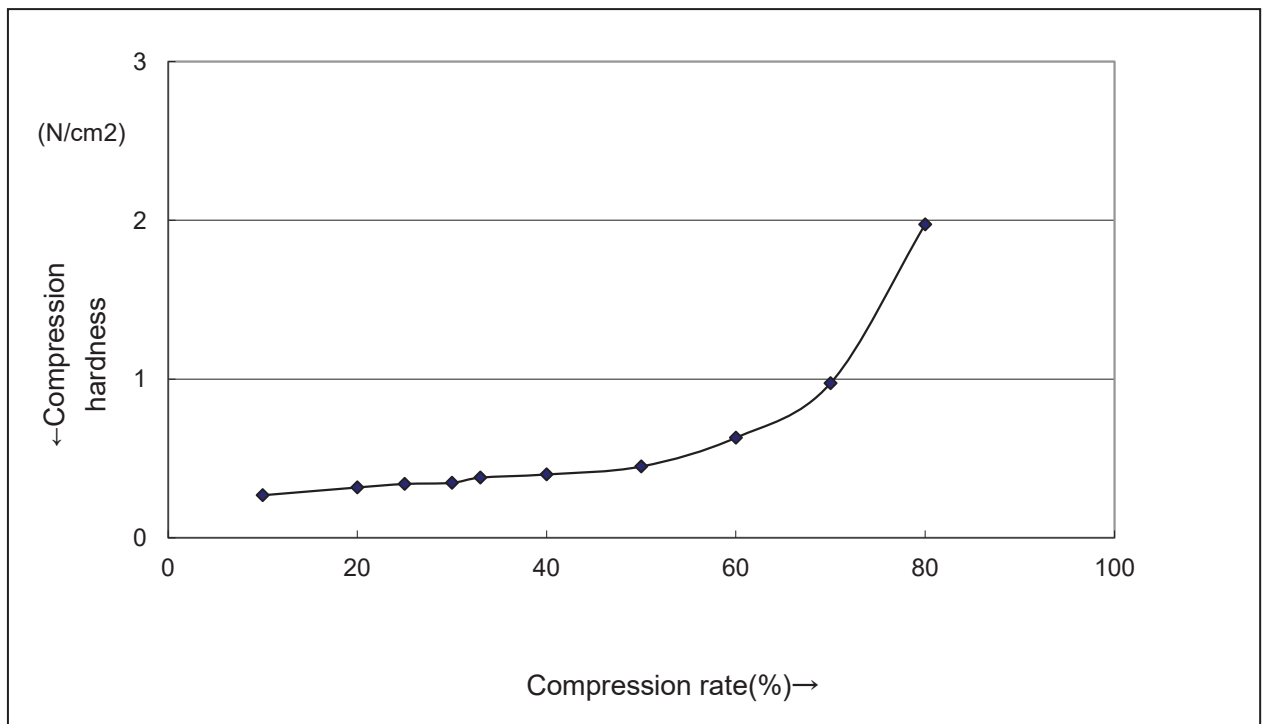
Conform to JIS K 6767

Product No.	Specific gravity (g/cm ³)	Tensile strength (N/cm ²)	Elongation (%)	Compressive hardness (N/cm ²)	
				25%	50%
EE-1000Series	0.11	8.0	450	0.33	0.45

*The above values are sample observed values, not the guaranteed performance.

● Compression Ratio vs. Compression Hardness Relations

$$\text{Compression rate (\%)} = \frac{\text{thickness before compression} - \text{thickness after compression}}{\text{thickness before compression}} \times 100$$



Doc No. EPT-023-E-4 2015/02/27 2/5

Notes: This data represents examples of measured values, and not guaranteed values. They do not guarantee compatibility with the applications described in these documents. Please confirm compatibility with your application prior to use. We retain all rights, including copyrights, for the contents of these documents. Copying, reprinting and use for purposes other than originally intended are strictly prohibited without our prior expressed permission. Contact details are provided at the end of this document. Please do not hesitate to contact us for any inquiry.

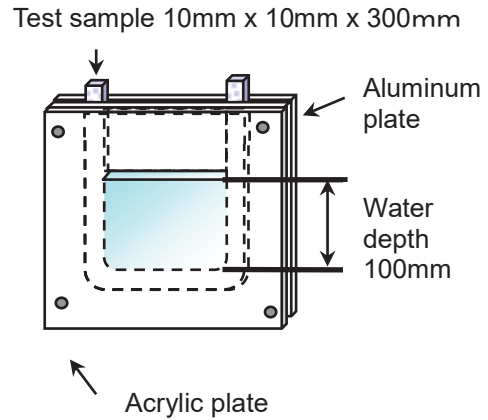
● Compression rate vs. Watertightness Relations

Compression(%)	EE-1000
60	×
70	△
80	○
90	○

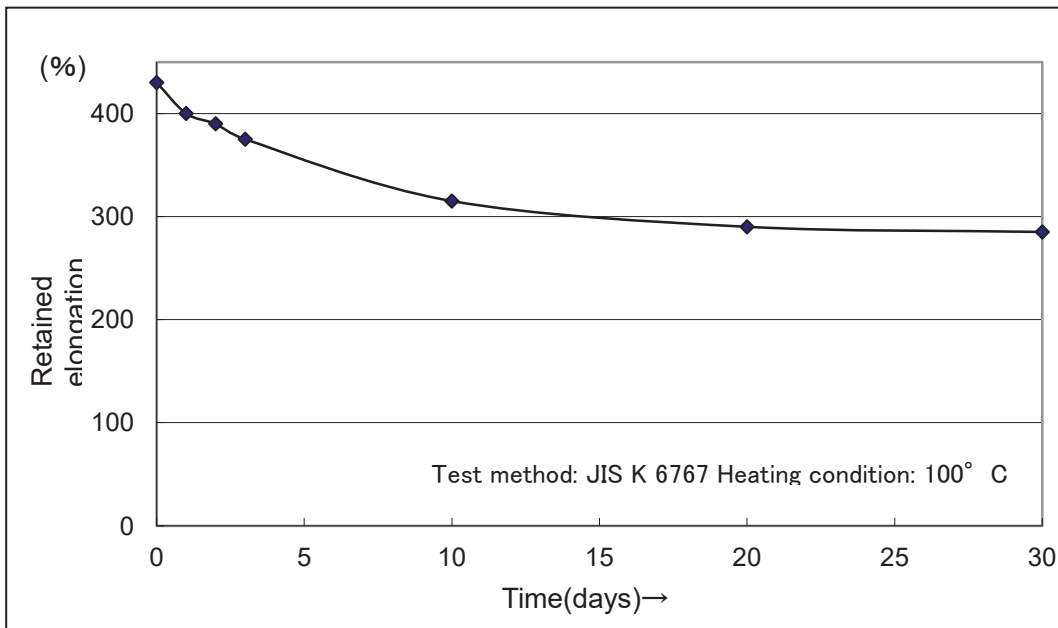
○ : No water leakage after 30min
 △ : Water leakage within 30min
 × : Water leakage within 10min

Note

U-shaped 10mm thickness and wide test specimens were punched out and placed between acrylic and aluminum plates for compression to a preset load. Then the text specimens were filled with water to the depth of 100mm, and checked for leakage.

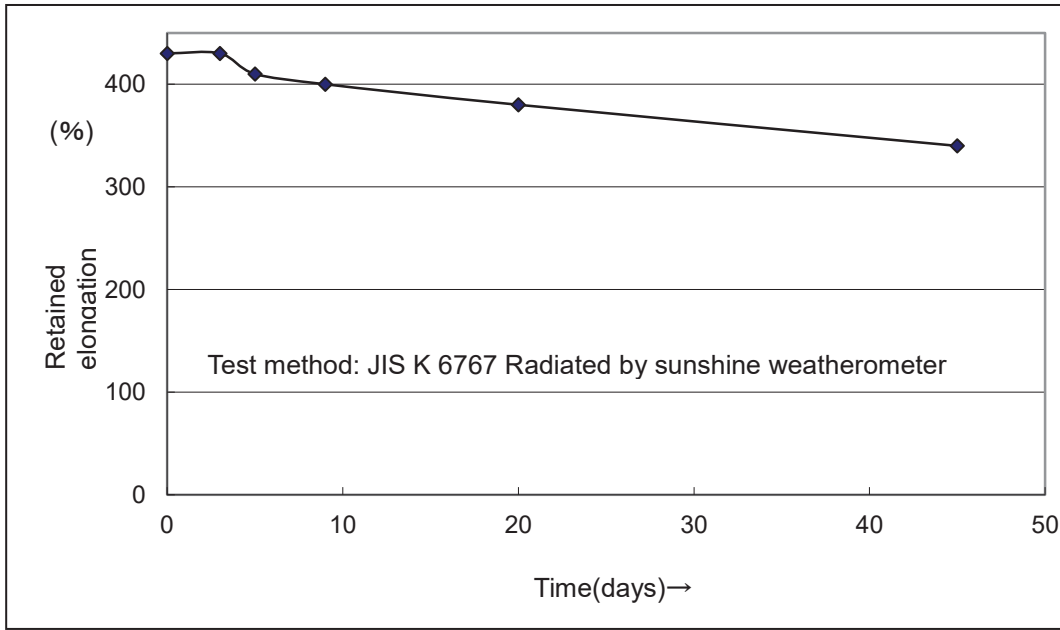


● Heat Resistance



Notes: This data represents examples of measured values, and not guaranteed values. They do not guarantee compatibility with the applications described in these documents. Please confirm compatibility with your application prior to use. We retain all rights, including copyrights, for the contents of these documents. Copying, reprinting and use for purposes other than originally intended are strictly prohibited without our prior expressed permission. Contact details are provided at the end of this document. Please do not hesitate to contact us for any inquiry.

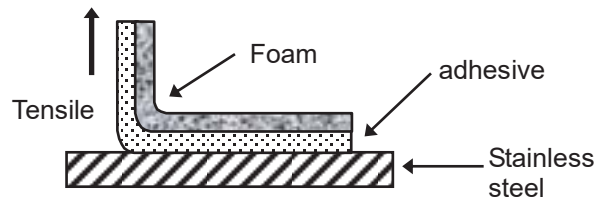
● Weatherability



● Peeling Adhesive

N/15mm

EE-1010	EE-1010P	EE-1040
6.9	6.2	12.7



Test method

A 15mm wide piece of foam/tape is applied to stainless steel with a 2kg roller passed back and force once. After allowing it to set for 30minutes, adhesive strength is measured by peeling the foam/tape at a 90° angle.

Pulling rate: 300mm/min. Measurement temperature : Room temperature

Doc No. EPT-023-E-4 2015/02/27 4/5

Notes: This data represents examples of measured values, and not guaranteed values. They do not guarantee compatibility with the applications described in these documents. Please confirm compatibility with your application prior to use. We retain all rights, including copyrights, for the contents of these documents. Copying, reprinting and use for purposes other than originally intended are strictly prohibited without our prior expressed permission. Contact details are provided at the end of this document. Please do not hesitate to contact us for any inquiry.

Precautions

- Wipe oil, moisture, and dust off the surface of adherends thoroughly before application.
- When processing foam/synthetic resin adhesive into ribbons, make sure to cut and process it in lengthwise. If it is cut in widthwise, the tape may stretch when using.
- When processing foam/ butyl rubber adhesive into ribbons, make sure to cut and process it in lengthwise and widthwise. If it is cut diagonally, the tape may stretch when using.
- The adhesive is pressure-sensitive. Handle it with utmost care.
- Most recommended temperature for adhesion is above 10°C. (If the temperature is below 10°C(like in winter), their initial adhesive strength will be low.)
- Place the original roll of these products horizontally for storage to avoid deformation.
- Keep the products away from high temperatures and humidity, and store them in a dark cool place avoiding direct sunlight.
- The numbers in this data sheet are typical measurements in our laboratory, and not guaranteed values.
- Make sure the product is suitable for the application (objective and conditions) before attempting to use. The tape may come off depending on the substrate to which it is applied or conditions under which it is applied.

Doc No. EPT-023-E-4 2015/02/27 5/5

Notes: This data represents examples of measured values, and not guaranteed values. They do not guarantee compatibility with the applications described in these documents. Please confirm compatibility with your application prior to use. We retain all rights, including copyrights, for the contents of these documents. Copying, reprinting and use for purposes other than originally intended are strictly prohibited without our prior expressed permission. Contact details are provided at the end of this document. Please do not hesitate to contact us for any inquiry.



Instrucciones de manejo
Istruzioni per l'uso
Bedieningsinstructies



Garra Composite de Schmalz
Ventosa Composite Schmalz
Schmalz composiet-vacuümgrijper

SCG ...

ES

Las instrucciones de servicio fueron redactadas en el idioma alemán. Guárdense para uso futuro.

! Seguridad

- Estas instrucciones de manejo contienen importantes informaciones relativas al trabajo con el generador de vacío. Léase estas instrucciones cuidadosamente y guárdelas para su uso posterior.
- Los aparatos con aire comprimido pueden causar daños personales y materiales.
- Desconecte la alimentación de aire comprimido antes de efectuar trabajos de instalación y mantenimiento.
- No mire nunca hacia la corriente de aire.
- De la garra salen objetos aspirados a gran velocidad. ¡Peligro de sufrir lesiones!
- No acerque nunca la cara (los ojos) a la abertura de aspiración. El ojo puede verse aspirado. ¡Peligro de sufrir lesiones!
- Si, contraviniendo el uso correcto, se aspiran polvo, aceite pulverizado, vapores, aerosoles o similares peligrosos, éstos accederán al aire de salida. Esto puede ser causa de envenenamiento.
- Se deben utilizar sólo las posibilidades de conexión, agujeros y medios de fijación previstos.
- No está permitido el uso en entornos con peligro de explosión. ¡Peligro de incendio y de explosión!

Instalación

- No está permitida la realización de modificaciones en la garra coanda.
- En la garra se encuentran símbolos e inscripciones de conexión que se deben observar.
- Sólo se deben utilizar las posibilidades de conexión previstas.
- La garra se puede montar en cualquier posición.
- Cuando se ponga fuera de servicio, los componentes de la garra se deben eliminar de forma tolerante con el medio ambiente.
- Sólo se debe utilizar aire comprimido con suficiente mantenimiento (aire o gas neutro según EM 983, filtrado 40 µm, aceitado o sin aceitar).
- Las partículas de suciedad o los cuerpos extraños en las conexiones de la garra, en los tubos flexibles o en las tuberías pueden afectar al funcionamiento de la garra e incluso averiarla.
- Por ello, los tubos flexibles y las tuberías se deben tender lo más cortos posible.
- Si el diámetro interior en el lado de aire comprimido es demasiado pequeño, no entrará suficiente aire comprimido. Ello impedirá que el eyector alcance sus datos de potencia.
- Los tubos flexibles se deben tender sin pliegues ni aplastamientos.

IT

Le istruzioni per l'uso sono state redatte in tedesco. Custodirle per una successiva consultazione!

! Sicurezza

- Queste istruzioni per l'uso contengono informazioni importanti per l'utilizzo del produttore di vuoto. Leggere attentamente le presenti istruzioni e conservarle per un utilizzo futuro.
- Gli apparecchi ad aria compressa possono causare danni a persone e cose.
- Prima di effettuare i lavori di installazione e manutenzione, disinserire la produzione di vuoto.
- Non guardare mai il flusso d'aria
- Dalla ventosa escono oggetti aspirati a velocità molto elevata. Pericolo di lesioni!
- Non avvicinare mai il viso (gli occhi) all'apertura di aspirazione. Gli occhi possono venire aspirati. Pericolo di lesioni!
- Se contrariamente alle indicazioni per l'uso vengono aspirati polvere, olio nebulizzato, vapori, aerosol, ecc., tali sostanze, mescolandosi all'aria di scarico, possono causare intossicazioni.
- Utilizzare soltanto i collegamenti, i fori e i metodi di fissaggio previsti dal costruttore.
- Non è ammesso il funzionamento in zone a rischio di esplosione. Pericolo di incendio ed esplosione!

Installazione

- È vietato apportare modifiche alla ventosa Composite.
- I simboli e le definizioni degli attacchi sono riportati sulla ventosa e devono essere rispettati.
- Utilizzare esclusivamente le possibilità di allacciamento previste.
- La posizione di montaggio della ventosa è a discrezione dell'utente.
- Una volta messa fuori servizio la ventosa, smaltire i componenti attenendosi alle norme per la tutela dell'ambiente!
- È possibile impiegare solo aria compressa con sufficiente manutenzione (aria o gas neutro conformi a EN 983, filtrati 40µm, oliati o non oliati).
- Particelle di sporco o corpi estranei negli attacchi della ventosa o nelle tubazioni possono compromettere il corretto funzionamento della ventosa.
- Posare le tubazioni il più corto possibile.
- Scegliendo un diametro interno troppo ridotto sul lato aria compressa, l'eiettore non riceve aria compressa a sufficienza, per cui non raggiunge il rendimento indicato.
- Posare i tubi flessibili evitando pieghe e schiacciamenti.

NL

Handleiding is in het Duits opgesteld en naar het Nederlands vertaald.

Bewaren voor toekomstig gebruik!

! Veiligheid

- Deze handleiding bevat belangrijke informatie over het gebruik van de vacuümgenerator. Lees de bedieningsinstructies zorgvuldig door en bewaar ze als naslagwerk voor een later tijdstip.
- Toestellen die onder druk staan kunnen letselschade en materiële schade veroorzaken.
- Schakel voor installatie- en onderhoudswerkzaamheden de persluchttoevoer uit.
- Kijk nooit in de luchtstroom.
- Uit de grijper ontsnappen aangezogen voorwerpen met een zeer hoge snelheid. Gevaar voor letsel!
- Zorg ervoor dat u nooit met het gezicht (ogen) in de vastzuigopening komt. Ogen kunnen aangezogen worden. Gevaar voor letsel!
- Als de ejector niet volgens de voorschriften wordt gebruikt en er gevaarlijke stoffen, olieniveaus, dampen, aerosols e.d. afgezogen worden, komen deze stoffen in de uitlaatlucht terecht. Dit kan tot vergiftiging leiden.
- Gebruik uitsluitend de reeds aanwezige aansluitmogelijkheden, bevestigingsgaten en de meegeleverde bevestigingsmiddelen.
- Gebruik in een explosiegevaarlijke omgeving is niet toegestaan. Brand- en explosiegevaar

Installatie

- Er mogen geen veranderingen aan de composiet grijper worden uitgevoerd.
- Op de grijper bevinden zich aansluitsymbolen en aansluitomschrijvingen. Deze dienen in acht genomen te worden.
- Gebruik alleen de daarvoor bestemde aansluitingen.
- De grijper kan op een willekeurige plaats gemonteerd worden.
- Als er onderdelen buiten bedrijf worden gesteld, dan dienen deze op een milieuvriendelijke manier afgevoerd te worden.
- Er mag alleen voldoende verzorgde perslucht worden gebruikt (lucht of neutraal gas overeenkomstig EN 983, gefilterd 40µm, oliehoudend of olievrij).
- Vuil of vreemde voorwerpen in de aansluitingen van de grijper, de slangen of leidingen kunnen tot defecten of storingen in de werking van de grijper leiden. Gebruik zo kort mogelijke slang- en buisleidingen.
- Door een te kleine binnendiameter aan de persluchtzijde, wordt er niet voldoende perslucht toegevoerd. De ejector bereikt daardoor niet zijn vermogensgegevens.
- De slangleidingen mogen niet geknikt of platgedrukt aangelegd worden.



Uso adecuado

La garra coanda tiene una generación de vacío integrada y sirve para agarrar y manipular piezas flexibles y sin estabilidad propia.

La garra coanda es adecuada para todas las aplicaciones en las que se requiere un gran caudal volumétrico de aspiración.

Es especialmente apta para aspirar materiales muy porosos, como p. ej., espumas, tejidos, papel, láminas, materiales compuestos de fibras y otros.

La garra coanda no tiene componentes móviles, por lo que no necesita mantenimiento y no se suele estropear. Se puede montar en cualquier posición.

Además, la garra tiene una función de descarga para depositar activamente y con la mayor exactitud de posición posible las piezas aspiradas.

Los medios a evacuar permitidos en conformidad con EN 983 son gases neutros. Gases neutros son, p. ej., aire, nitrógeno y gases nobles (p. ej., argón, helio o neón). No están permitidos los gases y medios agresivos como p. ej., ácidos, vapores de ácido, lejías, biocidas, desinfectantes y agentes de limpieza.

Estructura

- Cuerpo base de aluminio anodizado con generación de vacío integrada
- El modelo básico se puede elegir con posibilidad de montaje axial (MA) o lateral (MS)
- Superficies de aspiración (6) de cambio rápido con distintos diámetros
- Aire de salida controlado (4)
- Dos conexiones de aire comprimido, aspirar (1) / descargar (12).

Utilizzo conforme alle istruzioni

La ventosa Composite ha una produzione di vuoto integrata e serve ad afferrare e movimentare componenti cedevoli o labili.

La ventosa Composite può essere impiegato universalmente per tutte le applicazioni in cui è necessario un grande volume di aspirazione.

È particolarmente adatta per l'aspirazione di materiali molto porosi, come ad es. espansi, tessuto, carta, pellicole, materiali fibrosi compositi ecc.

La ventosa Composite non ha parti mobili perciò richiede poca manutenzione e non è soggetta ai guasti. La collocazione dell'apparecchio è a discrezione dell'utente.

Inoltre la ventosa è provvista di una funzione di scarico per il deposito attivo e il più preciso possibile dei pezzi aspirati.

Come mezzo di evacuazione, sono ammessi gas neutri secondo EN 983. I gas neutri sono ad esempio aria, azoto e gas nobili (ad es. argon, elio, neon). Non sono ammessi gas o fluidi aggressivi come ad es. acidi, vapori acidi, liscivia, biocidi, disinfettanti e detergenti.

Struttura

- Corpo base in alluminio anodizzato con produzione di vuoto integrata
- Modello base con possibilità di montaggio assiale (MA) o laterale (MS)
- Superfici di aspirazione a sostituzione rapida (6) con differenti diametri
- Aria di scarico controllata (4)
- Due attacchi aria compressa, aspirazione (1) / scarico (12).

Reglementair gebruik

De composiet-vacuümgreijper beschikt over een geïntegreerde vacuümpompwerking en dient voor het grijpen en handen van slappe, buigzame en wankel onderdelen.

De composiet-vacuümgreijper is universeel en geschikt voor alle toepassingen waarin een hoge zuig-volumestroom nodig is.

Hij is bijzonder geschikt voor het aanzuigen van zeer poreus materiaal zoals schuim, stof, papier, folie, vezelcomposieten e.d.

De composiet-vacuümgreijper bevat geen bewegende delen en is daarom zeer onderhoudsarm en ongevoelig voor storingen. De greijper kan op een willekeurige plaats gemonteerd worden.

Daarnaast heeft de greijper een afblaasfunctie om aangezogen werkstukken actief en zo nauwkeurig mogelijk te positioneren.

Het toestel mag worden toegepast om neutrale gassen conform EN 983 te evacueren. Neutrale gassen zijn bijv. lucht, stikstof en edelgassen (bijv. argon, helium, neon). Niet toegelaten zijn agressieve gassen of stoffen zoals zuren, zuurdampen, logen, biocides, desinfectiemiddelen en reinigingsmiddelen.

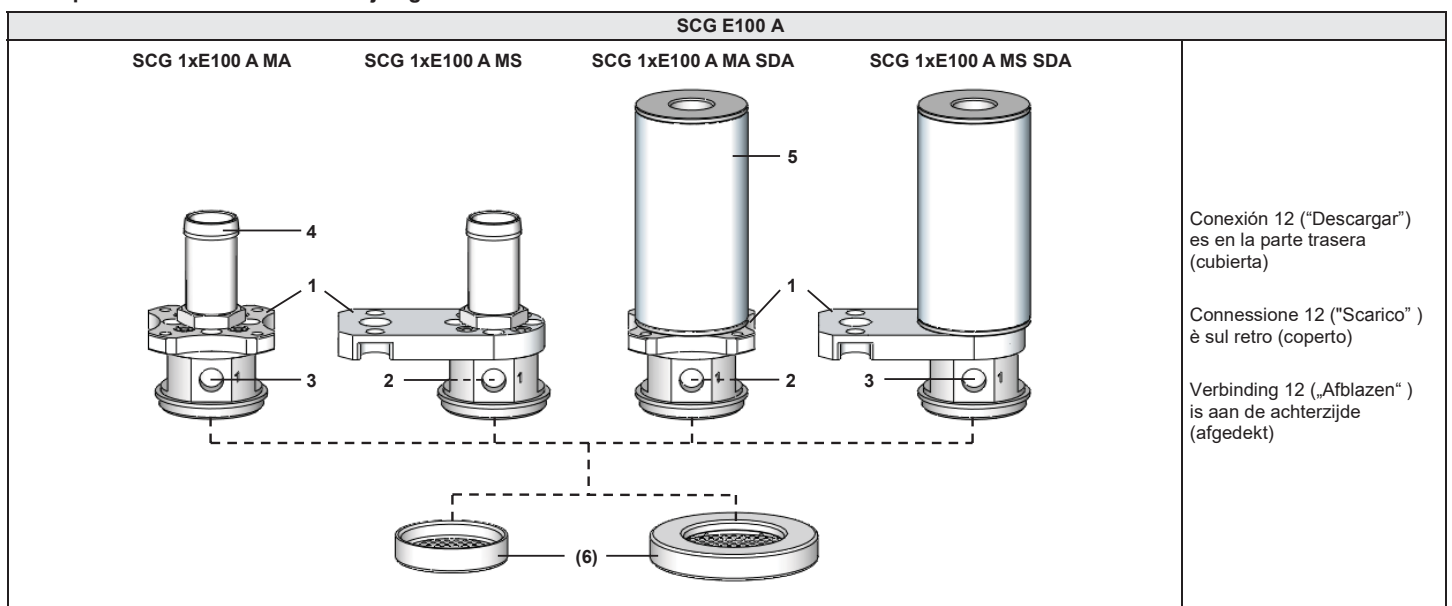
Opbouw

- Geëoloxeerde basismodule van aluminium voorzien van geïntegreerde vacuümpompwerking
- Basismodel voorzien van axiale montagegemogelijkheid (MA) of met zijdelingse montagegemogelijkheid (MS) naar keuze
- Snel uitwisselbare aanzuigoppervlakken (6) met verscheidene diameters
- Gecontroleerde ontluchting (4)
- Twee persluchtaansluitingen, aanzuigen (1) / afblazen (12).

Resumen de Variantes / Panoramica delle varianti / Variantenoverzicht

Designación	Denominazione	Omschrijving	Art. n°. / Art. n. / Artikelnr.
Ventosa SCG E100 MA	Utensile prensile SCG E100 MA	Grijper SCG E100 MA	10.01.30.00092
Ventosa SCG E100 MS	Utensile prensile SCG E100 MS	Grijper SCG E100 MS	10.01.30.00170
Ventosa SCG 1xE100 A MA SDA	Utensile prensile SCG 1xE100 A MA SDA	Grijper SCG 1xE100 A MA SDA	10.01.30.00359
Ventosa SCG 1xE100 A MS SDA	Utensile prensile SCG 1xE100 A MS SDA	Grijper SCG 1xE100 A MS SDA	10.01.30.00360
Superficie de aspiración SAUG-FL SCG 40 POM	Superficie aspirante SAUG-FL SCG 40 POM	Zuigvlakken SAUG-FL SCG 40 POM	10.01.30.00030
Superficie de aspiración SAUG-FL SCG 60 POM	Superficie aspirante SAUG-FL SCG 60 POM	Zuigvlakken SAUG-FL SCG 60 POM	10.01.30.00031

Descripción / Descrizione / Omschrijving



Pos	Designación	Denominazione	Omschrijving
1	Interfaz mecánica / Brida de robot	Interfaccia meccanica / Flangia robot	Mechanische interface / robotflens
2	Conexión de aire comprimido "Descargar" (12)	Raccordo aria compressa "Scarico" (12)	Persluchtaansluiting „Afbazen“ [12]
3	Conexión de aire comprimido "Aspirar" (1)	Raccordo aria compressa "Aspirazione" (1)	Persluchtaansluiting „Zuigen“ [1]
4	Conexión de aire de salida (3), véase Accesorios	Collegamenti per l'aria di scarico (3) – vedere Accessori	Afvoerluchtaansluiting (3) – zie accessoires
5	Silenciador	Dispositivo silenziatore	Geluiddemper
(6)	Superficie de aspiración (accesorio)	Superficie aspirante (accessori)	Zuigvlakken (accessoires)

Control

La activación de la conexión de aire comprimido "Aspirar" (1) permite generar vacío. Ahora se puede agarrar y transportar el objeto que se debe manipular. Para depositar rápidamente el objeto, se debe activar la conexión de aire comprimido "Descargar" (12). A la conexión "Aspirar" (1) no debe llegar aire comprimido.

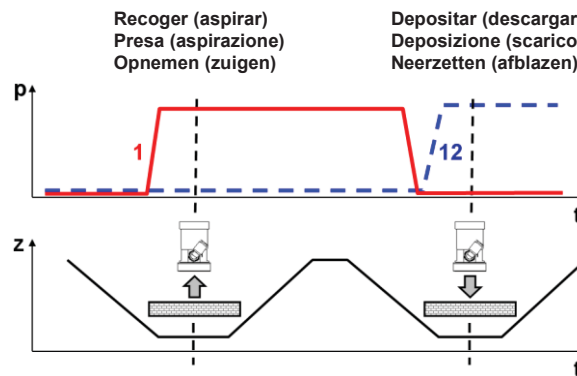
Comando

Mediante il comando del collegamento dell'aria compressa "Aspirazione" (1) viene generato il vuoto. L'oggetto da movimentare può quindi essere preso e trasportato. Per deporre rapidamente l'oggetto, viene comandato il collegamento dell'aria compressa "Scarico" (12). Nel collegamento "Aspirazione" (1) non deve esserci aria compressa.

Besturing

Door aansturing van de persluchtaansluiting „Zuigen“ (1) wordt er vacuüm gecreëerd. Het te hanteren object kan nu gegrepen en getransporteerd worden. Om het object sneller neer te zetten, wordt de persluchtaansluiting „Afbazen“ (12) aangestuurd. Op de aansluiting „Zuigen“ (1) mag daarbij geen perslucht staan.

Diagrama del proceso para / Diagramma di flusso / Afloopdiagram SCG E 100 A



Datos técnicos / Dati tecnici / Technische specificaties

Característica	Caratteristiche	Kenmerk		SCG E100 A
Medio de servicio	Mezzo di esercizio	Bedrijfsmedium		Gases no agresivos, aire seco libre de aceite / Gas non aggressivi, aria secca, senza olio / niet-agressieve gassen en droge olievrije lucht
Presión de servicio "Aspirar" (1)	Pressione di esercizio "Aspirazione" (1)	Bedrijfsdruk „Zuigen“ (1)	bar	1,0 – 3,0
Presión de servicio "Descargar" (12)	Pressione di esercizio "Scarico" (12)	Bedrijfsdruk „Afbazen“ (12)	bar	1,0 – 3,0
Temperatura de trabajo	Temperatura di lavoro	Bedrijfstemperatuur	°C	5 ... 75
Diámetro recomendado del tubo flexible "Aspirar" (1)	Diametro dei tubi flessibili consigliato "Aspirazione" (1)	Aanbevolen diameter slang „Zuigen“ (1)		6/4
Diámetro recomendado del tubo flexible "Descargar" (12)	Diametro dei tubi flessibili consigliato "Scarico" (12)	Aanbevolen diameter slang „Afbazen“ (12)		6/4
Diámetro recomendado del tubo flexible "Aire de salida" (3)	Diametro dei tubi flessibili consigliato "Aria di scarico" (3)	Aanbevolen diameter slang „Afvoerlucht“ (3)		26/19

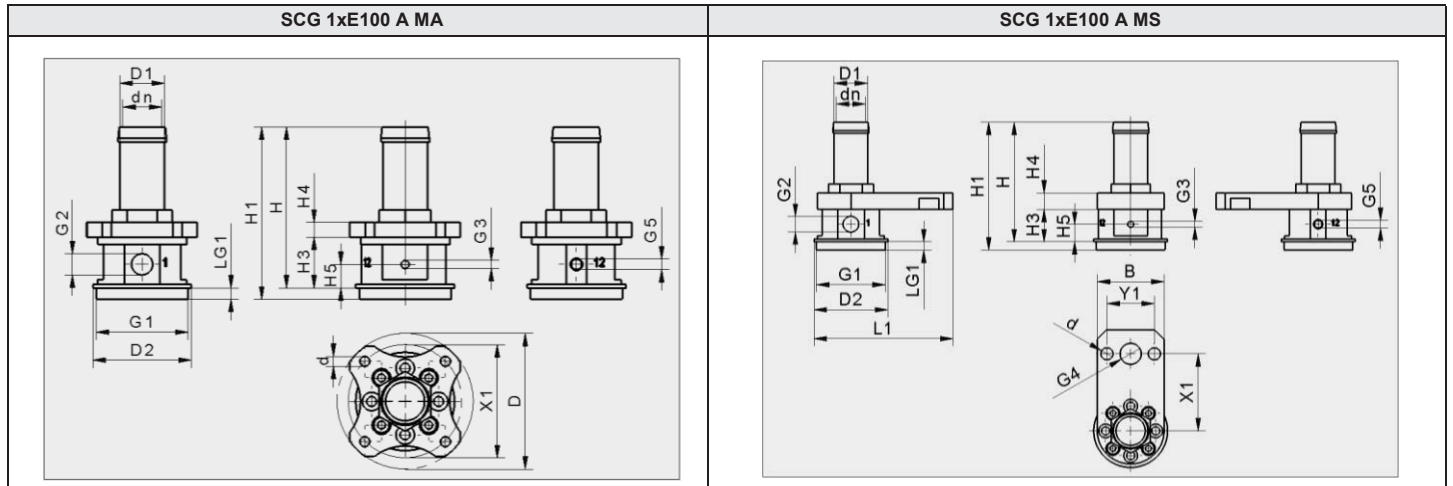
Característica	Caratteristiche	Kenmerk	SF ³⁾	Presión de servicio/ Pressione di esercizio / Bedrijfsdruk [bar]									
				1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5	
Consumo de aire ¹⁾	Consumo d'aria ¹⁾	Persluchtverbruik ¹⁾	l/min	60	77	90	108	120	137	158	178	198	
Caudal volumétrico de aspiración ¹⁾²⁾	Portata in volume di aspirazione ¹⁾²⁾	Zuigvolumestroom ¹⁾²⁾	l/min	270	352	405	456	508	553	588	620	650	
Vacío ¹⁾	Vuoto ¹⁾	Vacuüm ¹⁾	mbar	21	36	56,3	75	91	102	112	118	121	
Fuerza de retención ¹⁾	Forza di presa ¹⁾	Houdkracht ¹⁾	N	SF40	3	4,5	6,2	8	10	11,5	13	15	17
				SF60	6	10	14	17,5	21	24	27,5	30,5	34

1) Tolerancia del +/-10% respecto a todos los valores indicados. Mediciones cuando no se usan tubos flexibles para el aire de salida.
 2) Cuanto más largo es el tubo flexible de aire de salida, menor es el caudal volumétrico de aspiración.
 3) SF Superficie de aspiración instalada:
 SF40= SAUG-FL SCG 40,
 SF60= SAUG-FL-SCG 60

1) Tolleranza +/-10% per tutti i valori indicati. Misurazioni senza l'impiego di tubi flessibili per l'aria di scarico.
 2) Più è lungo il flessibile collegato e minore sarà la portata in volume di aspirazione.
 3) SF Superficie aspirante installata
 SF40= SAUG-FL SCG 40,
 SF60= SAUG-FL-SCG 60

1) Tolerantie +/- 10% voor alle vermelde waarden. Metingen zonder toepassing van afvoerluchtslangen.
 2) Hoe langer de aangesloten luchtafvoerslang, des te lager is de zuig-volumestroom.
 3) SF Geïnstalleerde zuigvlakken:
 SF40= SAUG-FL SCG 40,
 SF60= SAUG-FL-SCG 60

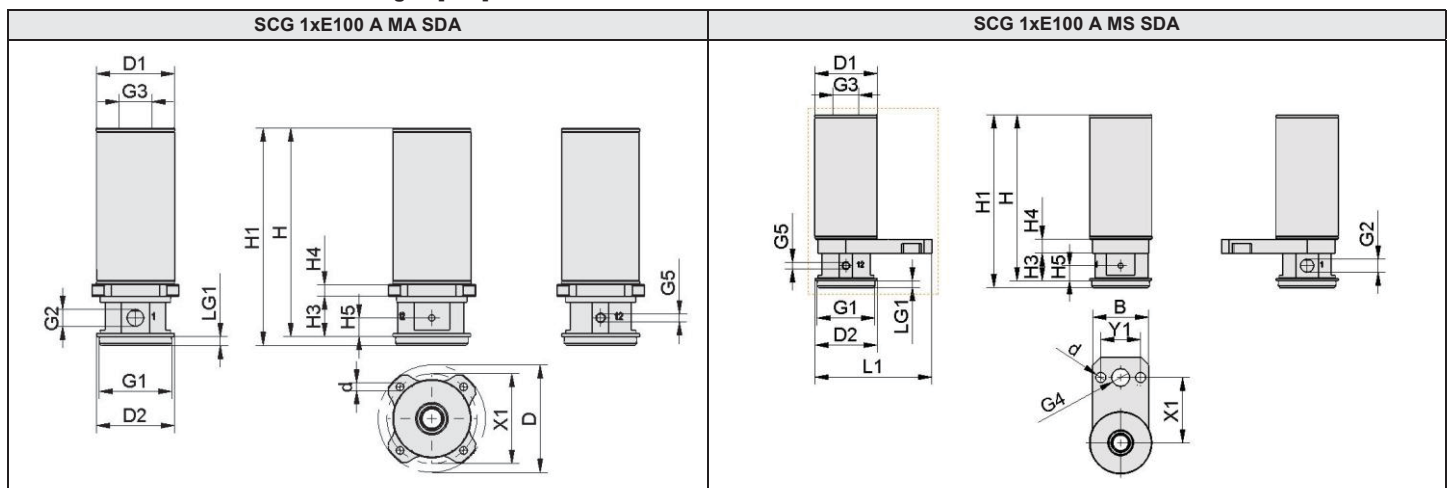
Dimensiones / Dimensioni / Afmetingen [mm] SCG MA / SCG MS



Modelo / Tipo / Type	D	D1	D2	dn	d	B	H	H1	H3	H4	H5
SCG 1xE100 A MA	55	18	39,8	15,8	4	-	65,1	69,6	20,6	6,0	9,5
SCG 1xE100 A MS	-	18	39,8	15,8	6,6	36	65,1	69,6	17,6	9,0	9,5

Modelo / Tipo / Type	L1	LG1	Y1	X1	G1	G2	G3	G4	G5	Peso / Peso / Gewicht [g]*
SCG 1xE100 A MA	-	4,5	-	46	M37x1-AG	G1/8"-IG	M4-IG	-	M5-IG	85
SCG 1xE100 A MS	74,9	4,5	25,5	42	M37x1-AG	G1/8"-IG	M4-IG	G1/4"-IG	M5-IG	109

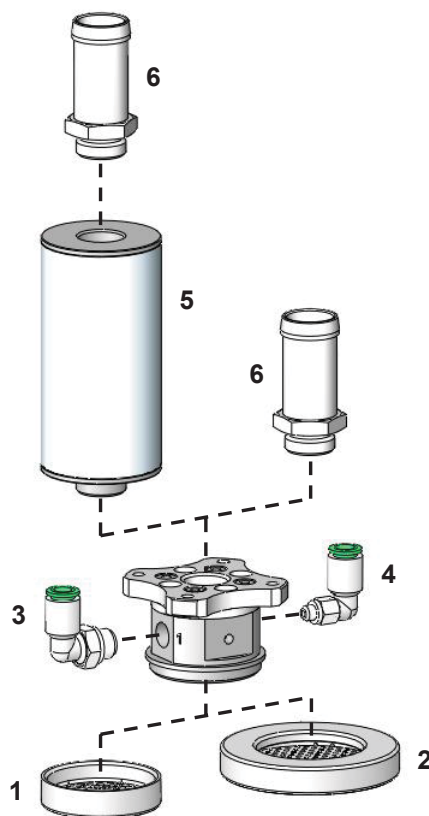
Dimensiones / Dimensioni / Afmetingen [mm] SCG MA SDA / SCG MS SDA



Modelo / Tipo / Type	D	D1	D2	d	B	H	H1	H3	H4	H5	L1	Y1	X1
SCG 1xE100 A MA SDA	55	40	39,8	4,0	-	106,6	111,1	20,6	6,0	9,6	-	-	4,6
SCG 1xE100 A MS SDA	-	40	39,8	6,6	36	106,6	111,1	17,6	-	9,6	74,9	25,5	42

Modelo / Tipo / Type	G1	LG1	G2	G3	G4	G5	Peso / Peso / Gewicht [g]*
SCG 1xE100 A MA SDA	M37x1-AG	4,5	G1/8"-IG	G3/8"-IG	-	M5-IG	165
SCG 1xE100 A MS SDA	M37x1-AG	4,5	G1/8"-IG	G3/8"-IG	G1/4"-IG	M5-IG	189

* Peso sin superficie de aspiración / Dati del peso senza superficie di aspirazione / Opgave gewicht zonder aanzuigoppervlakken



Pos.	Designación	Denominazione	Omschrijving	Art. n°. Art.-n. / Artikelnr.
1	Superficie de aspiración SAUG-FL SCG 40 POM1)	Superficie aspirante SAUG-FL SCG 40 POM1)	Zuigvlakken SAUG-FL SCG 40 POM1)	10.01.30.00030
2	Superficie de aspiración SAUG-FL SCG 60 POM1)	Superficie aspirante SAUG-FL SCG 60 POM1)	Zuigvlakken SAUG-FL SCG 60 POM1)	10.01.30.00031
3	Racor instantáneo STV-W G1/8-AG 6 KU	Raccordo a vite ad innesto STV-W G1/8-AG 6 KU	Steekkoppeling STV-W G1/8-AG 6 KU	10.08.02.00288
4	Racor instantáneo STV-W M5-AG 6 KU	Raccordo a vite ad innesto STV-W M5-AG 6 KU	Steekkoppeling STV-W M5-AG 6 KU	10.08.02.00296
5	Silenciador SD G3/8-AG 80 SCG	Dispositivo silenziatore SD G3/8-AG 80 SCG	Geluiddemper SD G3/8-AG 80 SCG	10.01.30.00352
6	Conducto de escape ABL-FUEHR 19.5x46	Condotto di scarico ABL-FUEHR 19.5x46	Afvoerpijp ABL-FUEHR 19.5x46	10.01.30.00087
-	Tubo flexible VSL14-11 PU	Tubo flessibile VSL14-11 PU	Slang VSL14-11 PU	10.07.09.00007

¹⁾ Atornille la superficie de aspiración a la garra y asegúrela opcionalmente con seguro para tornillos.

¹⁾ Avvitare la superficie aspirante sull'utensile prensile e bloccarla con viti di sicurezza.

¹⁾ De aanzuigoppervlakken op de grijper schroeven en eventueel met een schroefborgmiddel borgen.

Technische Daten Zubehör / Technical data Accessories / Caractéristiques techniques Accessoires

Modelo / Tipo / Type	Absorción / Assimilazione / Absorptie [dBA]*	Consumo de aire / Consumo d'aria / Persluchtverbruik [l/min]	Presión de servicio / Pressione di esercizio / Bedrijfsdruk [bar]	Temperatura de trabajo / Temperatura di lavoro / Bedrijfstemperatuur [°C]	Peso / Peso / Gewicht [g]
SD G3/8-AG 80 SCG	hasta / fino / tot 12	60 ... 220	1 ... 5	5 ... 75	94,5
SAUG-FL SCG 40	-	-	-	-	6,0
SAUG-FL SCG 60	-	-	-	-	21,0

* Usando el silenciador reduce el caudal de succión alrededor de un 9%

* Utilizzando il silenziatore riduce la portata di aspirazione di circa il 9%

* Met behulp van de demper vermindert de zuigkracht debiet met ongeveer 9%

Reservado el derecho a realizar modificaciones por causas técnicas. No nos responsabilizamos por fallos en la impresión u otros errores.

Con riserva di modifiche tecniche, refusi ed errori!

Technische wijzigingen, drukfouten en vergissingen voorbehouden!

BE NICE TO PEOPLE

FLOORPULL®

INTERNATIONAL NV

BELGIUM

Live



PL 30 IWD



PL 10 IWD



PL 40 IWD



PL 604 IWD



PL 603 GAR

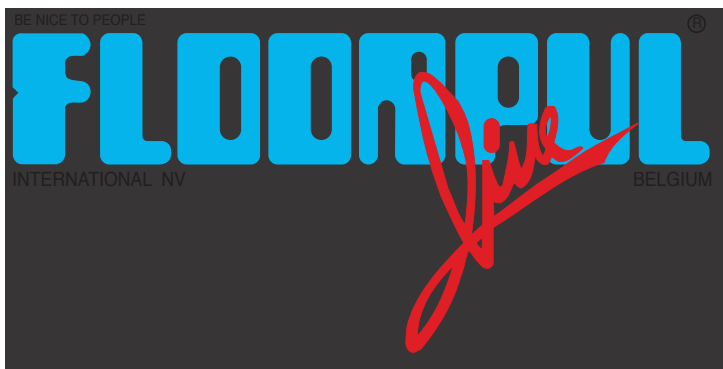


PL 603 IWD

POWERLINE
POWERLINE

NL-F

import, export and
production of cleaning
equipment and machines.



cleans up your world



Optie PL 603 IWD
Option PL 603 IWD



Technische gegevens - Données techniques

	U.M.	PL 10 IWD	PL 30 IWD	PL 40 IWD	PL 603 IWD	PL 604 IWD	PL 603 GAR
Zuigmotor <i>Moteur d'aspiration</i>	V-Hz	230-50	230-50	230-50	230-50	230-50	230-50
Onderdruk <i>Dépression</i>	mm.H ² O	2200	2200	4200	2200	2400	2200
Luchtdoorgang <i>Débit d'air</i>	l/sec.	53	53	60	100	160	110
Tank inhoud <i>Capacité réservoir</i>	l	10	30	40	60	60	60
Standaard Toebehoren <i>Accessoires standard</i>	Ø	36	40	40	40	50	PL 603 GAR
Geluidsniveau <i>Niveau sonore</i>	dB(A)	72	72	75	77	77	77
Kuip <i>Cuve</i>		Inox	Inox	Inox	Inox	Inox	Inox

Head Office - Manufacturer
Address: Stasegemsesteenweg 1
8500 Kortrijk (Belgium)
Tel. +32(0) 56 22 40 44
Fax: +32(0) 56 22 89 74
e-mail: info@floorpul.com
web: www.floorpul.com

uw verdeler / votre fournisseur

ESSEF[®]
SAFETY & HYGIENE SOLUTIONS
Izegemsestraat 98, 8880 Sint-Eloois-Winkel
tel.: +32 (0)51 30 72 72 - fax: +32 (0)51 30 00 82
info@essef.be - <http://www.essef.be>

De omschrijvingen en illustraties in deze brochure zijn niet bindend voor de constructeur. De fabrikant houdt zich het recht voor om zonder voorafgaandelijke verwittiging op elk moment wijzigingen aan te brengen aan machines, onderdelen en toebehoren, en dit met het oog op technische of commerciële verbetering van de machines. Reproductie, zelfs gedeeltelijk, van teksten en illustraties uit deze brochure zijn ten strengste verboden en illegaal zonder schriftelijke toelating van FLOORPUL INT. N.V. Dergelijke inbreuken kunnen dan ook gerechtelijk worden vervolgd.

Les descriptions et les illustrations contenues dans la présente publication n'engagent pas le constructeur. Le fabricant se réserve le droit de modifier à tout moment les organes détails et fournitures d'accessoires nécessaires à une amélioration technique ou commerciale des machines. La reproduction même partielle des textes et illustrations contenus dans ce catalogue sans une autorisation écrite de FLOORPUL INT. N.V. est illégale, tout contrairement elle pourra être pénalement poursuivie.

Vacuum blower

SB 510 200 4 IE3-TYP1

Part no.: 10.04.01.00078

<https://www.schmalz.com/10.04.01.00078>



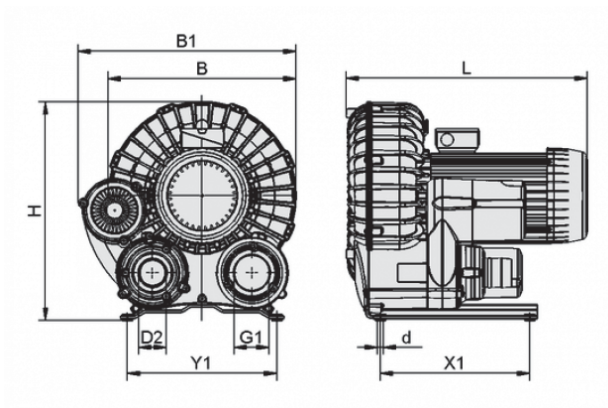
Homepage > Vacuum Technology for Automation > Vacuum Components > Vacuum Generators > Vacuum Blowers > SB 510 200 4 IE3-TYP1

Vacuum Blower for high suction rate



Suction rate (50 Hz): 510 m³/h
Suction rate (60 Hz): 610 m³/h
Vacuum (50Hz): 200 mbar
Vacuum (60Hz): 175 mbar
Rated power (50 Hz): 4 kW
Rated power (60 Hz): 4.8 kW
Construction: IE3/EU/CN/IND
Noise level (50 Hz): 75.5 dB
Voltage (50 Hz): D230V/Y400V ±10%
Voltage (60 Hz): D265V/Y460V ±10%
Permission: IE3/UL/CSA
Weight: 61.5 kg

Design Data



Attribute	Value
-----------	-------

B	474 mm
---	--------

B1	496 mm
----	--------

d	12 mm
---	-------

D2	76 mm
----	-------

G1	G2"-F
----	-------

H	523 mm
---	--------

L	496 mm
---	--------

X1	310 mm
----	--------

Y1	310 mm
----	--------

Technical Data

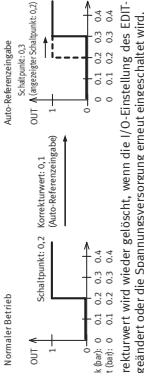
Attribute	Value
Suction rate (50 Hz)	510 m ³ /h
Suction rate (50 Hz)	8,499.9 l/min
Suction rate (60 Hz)	610 m ³ /h
Suction rate (60 Hz)	10,166.6 l/min
Vacuum (50Hz)	200 mbar
Vacuum (60Hz)	175 mbar
Protection	IP 55
Rated power (50 Hz)	4 kW
Rated power (60 Hz)	4.8 kW
Noise level (50 Hz)	75.5 dB
Noise level (60 Hz)	76.7 dB
Weight	61.5 kg

- Externer Eingang (nur -PB.../-NB...)

Hinweis
Der TEACH-Modus ist beim Verwenden des externen Eingangs nicht möglich.

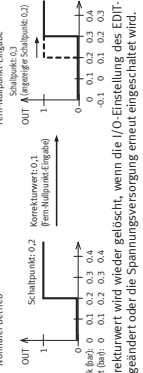
- Auto-Referenzfunktion
Durch die Auto-Referenzfunktion wird der Schalterpunkt korrigiert und der bei der Auto-Referenz ermittelte Druckwert als Korrekturwert festgelegt. Der Schalterpunkt nach der Auto-Referenzierung ist: "Korrekturwert" + "Schalterpunkt".
Die Auto-Referenzergabe wird ignoriert, wenn der anliegende Druck außerhalb des zulässigen Druckbereichs liegt.

Schaltverhalten: Schwellwert-Komparator



- Fern-Nulldruck-Ableich
Mit dem Fern-Nulldruck-Ableich wird der angezeigte Druckwert beim Anlegen des externen Signals zwangsweise auf "Null" gesetzt.
Der Fern-Nulldruck-Ableich wird ignoriert, wenn der anliegende Druck den eingestellten Sollwert übersteigt.

Schaltverhalten: Schwellwert-Komparator



9. Schnellinbetriebnahme mit Werkseinstellung

- Der SPAB... wird mit folgende Werkseinstellung ausgeliefert:

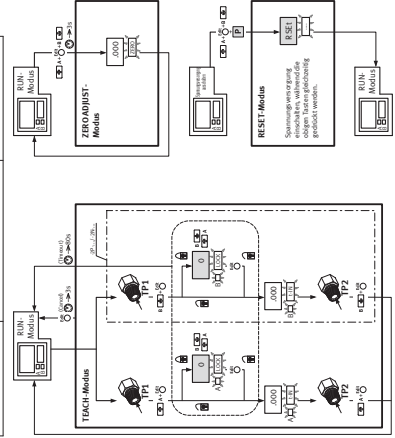
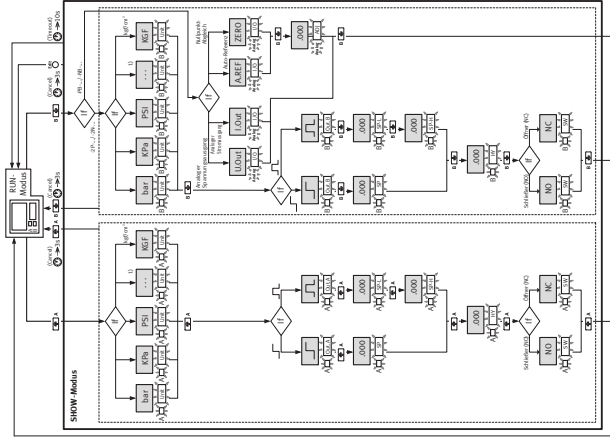
Artikel	2P.../2N...	PB.../NB...
Schaltverhalten (Out A)	Schwellwert-Komparator	
Schaltverhalten (Out B)	Schwellwert-Komparator	
Analoger Eingang/	-	Analoger Spannungsgang
Schaltzeitpunkt (Out A)	NO (Schließkontakt)	
Schaltzeitpunkt (Out B)	NO (Schließkontakt)	

Einheit	bar	MPa	psi
1-G18.../F...	RTB...	NIB...	
2-EP...	EPB...	EPD...	
3-EP...	EPB...	EPD...	
4-EP...	EPB...	EPD...	

10. Menüstruktur

- Symbole zur Darstellung der Menüstruktur

Symbol	Bedeutung
(TimeOut)	Automatische Rückkehr in den Grundzustand (RUN-Modus) nach Ablauf der Überwachungszeit (hier 80 Sekunden)
EDIT (Cancel)	Um manuell in den Grundzustand (RUN-Modus) zurückzukehren, drücken Sie 3 Sekunden auf die Taste EDIT.
TP1	Druck erzeugen (zum Testen des Messwertes - hier TP1)
A	Symbol auf dem Display blinkt (hier Out A)
Sicherheitscode	Sicherheitscode aktiv (Sperre gegen unbelagte Programmierung)
Sicherheitscode inaktiv	Sicherheitscode inaktiv
Taste drücken (hier UP-Taste (A))	Taste drücken (hier UP-Taste (A))
Taste 3 Sekunden drücken (hier UP-Taste (A))	Taste 3 Sekunden drücken (hier UP-Taste (A))
Taste drücken (hier UP-Taste (A)) (Wert einstellen)	Taste drücken (hier UP-Taste (A)) (Wert einstellen)
Auf die Edit-Taste drücken	Auf die Edit-Taste drücken
Gleichzeitig auf eine Taste (hier UP-Taste (A)) und den Edit-Knopf drücken	Gleichzeitig auf eine Taste (hier UP-Taste (A)) und den Edit-Knopf drücken
Gleichzeitig 3 Sekunden auf die UP-Taste (A) und DOWN-Taste (B) drücken	Gleichzeitig 3 Sekunden auf die UP-Taste (A) und DOWN-Taste (B) drücken
Verweigerung im Menüsystem	Verweigerung im Menüsystem
Spannungsversorgung einschalten	Spannungsversorgung einschalten



11. Störungsbesitzung

Störung	Mögliche Ursache	Maßnahme
Keine Anzeige	Versorgungsspannung fehlt Betriebsspannung Elektrische Anschlüsse versteuert (verpakt)	Versorgungsspannung einschalten/zulässigen Betriebsspannungsbereich SPAB... gemäß Anschlußbild verkabeln SPAB... an Festo senden
Unvollständige Anzeige im Display	Display defekt	SPAB... an Festo senden
Falsche Druckanzeige	SPAB... mit unzulässigem Medium betrieben	SPAB... austauschen und nur mit Druckluft betreiben
Ausgänge schalten nicht entsprechend der vorgenom- menen Einstellungen	Kurzschluss oder Überlast Ausgang SPAB... defekt	Kurzschluss oder Überlast beseitigen SPAB... an Festo senden
Einstellungen nicht editierbar („LOCK“ in der Anzeige)	Zugriffsschutz aktiv	Geben Sie den Sicherheitscode ein (wird über vorgesehene TECH-Modus-Vorgaben)

Mögliche Fehlermeldung des SPAB...	Beschreibung	Maßnahme
E01	SPAB... defekt	Kontakten Sie Festo
E02	Überstrom fließt	Überprüfen Sie den Strom und Last
E03	Überstrom fließt	Überprüfen Sie den Strom und Last
E04	Druck angelegt	Umgebungsdruk (Atmosphärendruk) an Druckanschluss anlie- gen, erneut auf Nullpunkt ein- stellen.
E05	Kommunikationsfehler (unterbrochene, fehlerhafte Verbindung)	Bei Verwendung der Kopierfunk- tion Verkabelung prüfen
E06	Kommunikationsfehler (falsche Produkt- variante)	Überprüfen Sie, ob die verwendete Produktvariante mit dem System vereinbar ist.
E07	Messbereich überschritten (EZR...)	Zulässigen Messbereich ein- stellen.
E08	Messbereich überschritten (PDR...)	Halten Sie den Über-/Unterschied zwischen den Messwerten (PDR...) im zulässigen Bereich.
E09	Wert außerhalb des Messbereichs (PDR...)	SPAB... austauschen
E10	3. Segmentanzeige blinkt	

12. Technische Daten

Typ SPAB:	EZR...	PDR...
Betriebsmedium	gefalterte Druckluft (40 jrm. ungeölt), nicht kor- rosives Gas	
Messgröße	bar	0...10
	MPa	0...1
	psi	0...1000
Druckmessbereich	(MPa)	100...+100
	(psi)	14,5...+14,5
	(mmHg)	750...+750
	(inchHg)	29,5...+29,5
	(inchH ₂ O)	401...+401
	(kgf/cm ²)	1,02...+1,02
Überlastdruck	(V) max. 2	max. 13
Bereitschaftsbereich	(V) max. 2	max. 100
Leistungsstrom (I ₂)	(V) max. 2	max. 100
Bereitschaftsverzögerung	(s) max. 0,5	
Max. zul. Signalverzoögerung	(ms) max. 30	
Hysterese	(digit) min. 1 (psi: mm. 2) (vorbei)	
Reproduzierbarkeit 2)	(%FS) max. 0,1	max. 0,2
Temperaturinfluss 2)	(%FS) max. 0,5	max. 1
Einfluss Messung 2)	(%FS) max. 0,25	max. 0,5
Genauigkeit	(%FS) max. 0,1	max. 0,2
Max. Laststrom	(V) max. 100	
Max. Schaltspannung	(V) max. 30	
Reaktionszeit	(ms) max. 2,0 (bei 100 mA Laststrom)	
Anspruchbarkeit 2)	(%FS) max. 0,1	max. 0,2
Reproduzierbarkeit 2)	(%FS) max. 0,5	max. 1
Einfluss Versorgungs- spannung 2)	(%FS) max. 0,25	max. 0,5
Ausgangsbereich	.../3V/4.../20mA	
Nullpunkt 2)	3V ± 5%FS / 20mA ± 5%FS	
Spanne 2)	AV ± 5%FS / 10mA ± 5%FS	
Linearität 2)	max. 11 % FS	
Analoger Spannung- sineingang	[0] ca. 1 k	
Analoger Stroms- gang, Lastimpedanz	[0] max. 250	
Reproduzierbarkeit 2)	(%FS) max. 0,2	
Temperatur- influss 3)	(%FS) max. 0,5	
Einfluss Versorgungs- spannung 2)	(%FS) max. 0,5	
Spanne 2)	(%FS) max. 0,5	
Linearität	max. 0,5	
Schutzart	IP40	
Stoßfestigkeit	nach EN 61000-6-2	
Stromauslösung	nach EN 61000-6-4	
Stromauslösungsdauer	2 mm Nennwert 20 g Beschleunigung bei 10...500 Hz	
Schwingfestigkeit	ca. 10 g	
Schutzfunktionen	Kurzschluss- festigkeit Verpolungs- sicherheit	keine bakteriell Feir alle elektrischen Anschlüsse
Gehäuse	PBT (mit Glasfaser)	
Abmessung	20 x 20 x 20 mm	
Druckanschluss	Flansch	
Bereitschaftsschraube	Messing (vernickelt)	
O-Ring	HNBR	
Basen	PPE-U	
1) Ausgenommen den Ruhestrom des analogen Stromausgangs.		
2) bei T = 20 °C		
3) bei T = 0...+50 °C		
4) 0,25 mm/Hz oder 5 g Beschleunigung bei 10...150 Hz bei der Verwendung von SMAH-PAL		

Pressure sensor SPAB-...



FESTO

Festo AG & Co. KG
 PO. Box
 D-73726 Esslingen
 Germany
 +49 7141 347-0
 www.festo.com



1310 en/de

Operating instructions

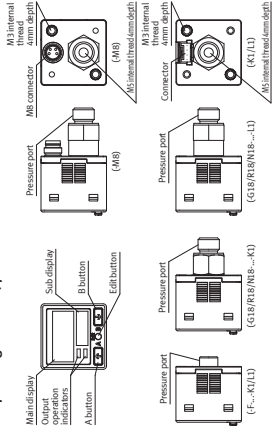
Original: en

Please note
 Avoid stress loading on the connecting cable. If the cable is subjected to excessive stress, fasten it if necessary with the aid of cable clips or similar strain relief.

Warning
 Use only power units which guarantee reliable electrical isolation of the operating voltage as per IEC/EN 60204-1. Observe also the general requirements for PELV power circuits as per IEC/EN 60204-1.

Warning
 Depending on the functioning of the machine/system, the manipulation of signal states can cause serious injury to human beings and damage to property. Note that if the switching behaviour of the outputs is modified in the EDI mode, the new status will be effective immediately. Activate the password protection (security code) in order to prevent unintentional modification by unauthorized third parties. (see EDI mode under section 8).

1. Operating elements, ports and variants



Features	Type designation
Pressure range	B2R... (-1... +1 bar)
Pressure type	P10R... (0... 10 bar)
Pneumatic connection	R18... (M5 internal and G1/8" external thread) R18... (M5 internal and R1/8" external thread) F1... (M5 internal thread and for adapter plate)
Electrical output	ZP... (2 digital outputs PNP) RP... (2 digital outputs PNP) NB... (1 digital output PNP, 1 analog output 1...5V/4...20mA/external input)
Electrical connection	K1 (Cable 2.5 m) L1 (Plug design L1)

Note 3) This variant may not be used without mounting accessories -> Chapter 5, mounting.

2. Function and application
 The SPAB is best suited for monitoring changes in pressure in the compressed air system or terminal devices.

3. Conditions of use

Warning
 Malfunctions will occur if the device is not used correctly. The sensor can be damaged. Make sure that the following specifications are always observed:

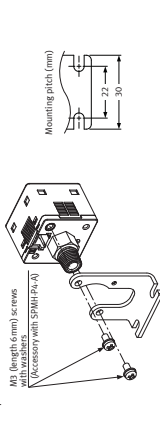
- Fitting and commissioning should be carried out by qualified personnel only in accordance with the operating instructions.
- Compare the maximum values specified in these operating instructions with your actual application (e.g. forces, torques, temperatures, voltages).
- Take care that the sensor does not come in contact with water, oil, grease, or organic solvents, such as thinner, etc.
- Use a blunt press to press a key. Do not press the keys with pointed or sharp objects.
- SPAB is designed for use with air and non-corrosive gas. It cannot be used for liquid or corrosive gas.
- The maximum pressure ranges.
- Take into consideration the ambient conditions at the location of use.
- Please comply with national and local safety laws and regulations.
- Remove all transport packaging such as protective wax, foils (polyamide), caps (polyethylene), cardboard boxes (except for the sealing elements of the pneumatic connections).
- Use the product in its original state. Unauthorized modification is not permitted.

4. Pneumatic

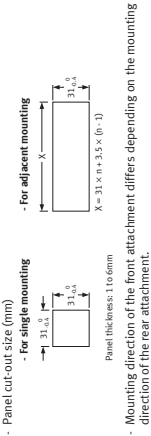
When connecting a commercial coupler to the pressure port, attach a 14mm spanner (22mm for R18... or R18...). To the pressure port, the spanner must be fitted at a right angle. The pressure port is for 8mm and 10mm (M5) (damaged if the tightening torque is excessive. Wrap sealing tape around the coupler when connecting to prevent leaks).

5. Mounting

Wall mounting bracket SPAB (SAMH-P4-A)
 When mounting the sensor onto the wall mounting bracket, etc., the tightening torque should be 0.5Nm or less.



- **Panel mounting bracket (SAMH-P4-F)**
Front protection cover (SACC-P4-G)
 1. Fit the front attachment on the front side of the sensor.
 2. Insert to the panel, in the condition described in step 1.
 3. Fit the rear attachment from the rear side.
 4. Fit the front protection cover to the front attachment. (Only SACC-P4-G)
- **Panel cut-out size (mm)**
 - For single mounting
 - For adjacent mounting
 - For adjacent mounting
 - For adjacent mounting



- Mounting direction of the front attachment differs depending on the mounting direction of the rear attachment.
- How to remove
 Pull out the rear attachment while pushing the removing levers out.

Please note

- Take care that if the sensor is forcibly pulled, the sensor itself or the rear attachment may be damaged.
- Rear attachment is not designed for frequent swaps.
- **Electric Adapter (SACC-P4-A-MB-...)**
 Separate assembly manual (included with electric adapter).
- **Adapter plate (SASF-P4-P-...)**
 Separate assembly manual (included with adapter plate).

6. Electrical installation (K1) / (L1)

Pin/cable colors	Assignment	Connector
1 / brown (BN)	12...24V DC power supply	1
2 / black (BK)	Digital output A	2
3 / white (WH)	Analog output 1...5V/4...20mA/external input	3
4 / blue (BL)	0V	4

- Disconnection method
 Pressing the release lever of the connector, pull out the connector.

Please note

The force which can be applied to the cable is 10N, or less. Do not pull by forcing the cable, as this can result in cable disconnection.

(MB)

Pin/cable colors	Assignment	Plug
1 / brown (BN)	12...24V DC power supply	1
2 / white (WH)	Analog output 1...5V/4...20mA/external input	2
3 / blue (BL)	0V	3
4 / black (BK)	Digital output A	4

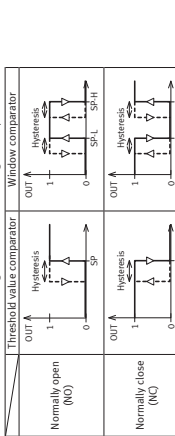
Circuit diagram for SPAB-...
 SPAB...ZP...
 SPAB...RP...
 SPAB...NB...
 Note 3) The circuit diagram with PB-... and NB-... show the use of the analog output.

7. Accessories

Designation	Type	Type
Connecting cable	2.5m	NEBS-LIGaK-2.5LE4
Adapter	G1/8	SASF-P4-F-R18
Connecting cable	5m	NEBS-LIGaK-5LE4
Connecting cable	(only F...)	NPT1/8
Wall mounting bracket	NEBU-MB/C4...	SASF-P4-F-R18
Panel mounting bracket	SAMH-P4-A	SASF-P4-F-M5
Front protection cover	SACC-P4-F	(only...L1)
Electric adapter	SACC-P4-A	(only...L1)
Adapter plate	SASF-P4-MB-S	(only...L1)

8. Preparing for Commissioning

Define the desired switching behaviour of the digital outputs.



RUN mode

Shows the measured value and the signal status of the digital outputs. Main display color is changed depending on output A.
 4 kind of colors can be selected by using EDI mode as follows.
 Red when ON/Always Red/Always Green
 Sub display is always indicated in Green. Output indicator indications always light up in Yellow.

EDI mode

The EDI mode enables the following settings.

- Output setting
 - Switching behaviour selection (threshold value comparison or window comparator)
 - Switching points selection
 - Hysteresis characteristic
 - Switching characteristic (normally open/close) selection
 - Analog voltage output/Analog current output/Auto-reference input/Remote zero-adjustment

SPEC setting

- Unit of measurement selection
 [Bar, kPa, MPa, psi, mmHg, inchHg, inchHg, kg/cm²]
- Delay timer selection
 [0, 100, 250, 500, 1,000, 5,000, msec]
- Main display color selection
 [Red, Green, Yellow, Blue, White]
- Sub display color selection
 [Red when ON/Green when ON/Always Red/Always Green]
- Sub display selection (unit or switching point)
- Security code lock setting (1...9999)
- Copy function

Notes 1) Only P10R... 2) Only B2R...
 □ Indication of the sub display

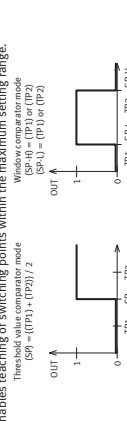
SHOW mode

The SHOW mode shows the following settings and values.
 Setting for Output A (Output B)

- Unit of measurement
- Switching behaviour
- Switching points
- Hysteresis
- Switching characteristic
- Setting for analog output/external input 1
- Adjust setpoint value (when external input)

TEACH mode

Enables teaching of switching points within the maximum setting range.
 Teaches the setpoint value (SP) and the copy mode (CP) (P1) or (P2) (SP1) = (P1) or (P2)



Please note

TEACH mode is not possible when using external input.

MIN/MAX mode

The MIN/MAX mode displays the lowest and highest pressure values up to the time of displaying.

ZERO ADJUST mode

The ZERO ADJUST mode forcibly sets the pressure value to "zero" when the pressure port is opened.

RESET mode

Return to default settings.

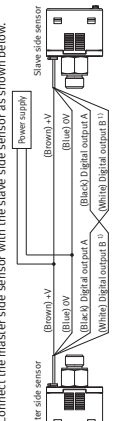
COPY mode

The COPY mode can copy the settings of the master side sensor to the slave side sensor.

- Be sure to use the copy function between the identical models. This function cannot be used between different models.
- Only one sensor can be connected on slave side with a master side sensor for the copy function.
- Do not use the copy function other than the following wiring, as pulsed output generates when turning the power ON after setting the master side sensor to the copy ready state.

Setting procedure

1. Set the copy function of the master side sensor to copy ready state. (see EDI mode under section 10)
2. Turn off the master side sensor.
3. Connect the master side sensor with the slave side sensor as shown below.



Note 1) PB-.../NB-... analog output/external input.

4. Turn on the master side sensor and the slave side sensor at the same time.
5. Set contents (16-bit coded) are shown in orange on the main display of the master side sensor and the copying starts.
6. The same code explained above is shown in green on the main display of the slave side sensor, and "Cp" is shown on the sub display (When copying is complete).
7. Turn off the power of the master side sensor and the slave side sensor and disconnect the wire.

Note 2) Be careful that if the power is not turned on at the same time, the setting contents may not be copied.

To cancel the setting copy mode of master side sensor
 1. While the slave side sensor is disconnected, turn on the power of the master side sensor.
 2. Press the mode selection key for approx. 3 seconds.

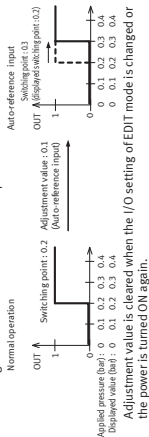
External input (Only PB.../NB...)

TEACH mode is not possible when using external input.

Auto-reference function

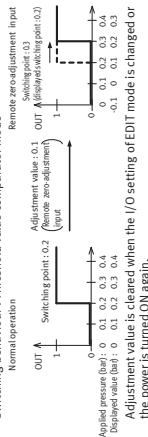
The auto-reference function corrects the switching point using the detected pressure value during auto-reference input as the adjustment value. Switching point after auto-reference is "Adjustment value" + "Switching point". The auto-reference input is disregarded when a applied pressure exceeds the range of set pressure.

Switching behaviour: Threshold value comparator mode



Remote zero-adjustment function forcibly sets the displayed pressure value to "zero" when the external signal is input. The remote zero-adjustment input is disregarded when a applied pressure exceeds the range of set pressure.

Switching behaviour: Threshold value comparator mode



Fast commissioning with factory setting

The SPAB... is delivered with the following factory setting.

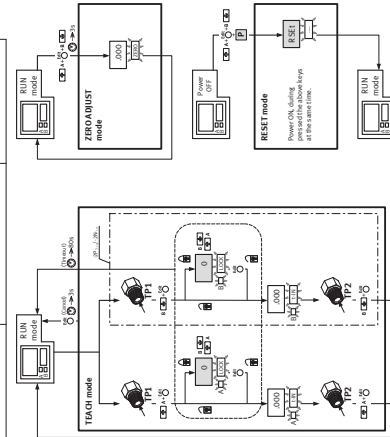
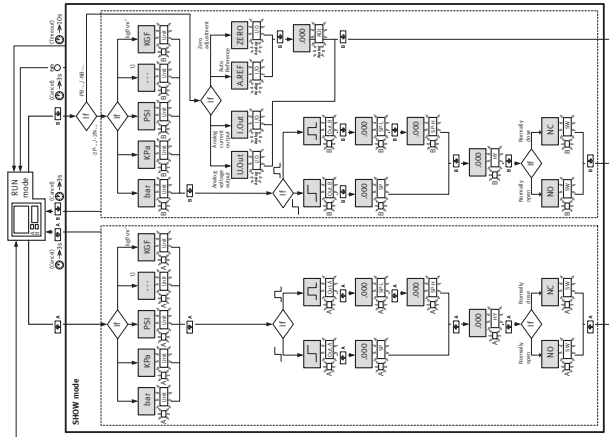
Item	SPAB.../F...	RI...	RI-B...	NIB...
Switching behaviour (Output A)	1.2PB.../2N...	---	---	---
Switching behaviour (Output B)	---	---	---	---
Analog output/external input	---	---	---	---
Switching characteristic (Output A)	---	---	---	---
Switching characteristic (Output B)	---	---	---	---

10. Menu structure

Symbol	Meaning
(Timeout)	Automatically returns to the basic status (RUN mode) when the monitoring time has expired (here 80 seconds)
EDIT (Cancel)	In order to return manually to the basic status (RUN mode), press Edit button for 3 seconds
TP1	Create pressure for teaching (for teaching the measured value here TP1)
A	Symbol on the display flashes (here Out A)
A	Security code active (blocked against unauthorized programming)
Security code inactive	Security code inactive
Press button (here UP button (A))	Press button (here UP button (A))
Press button (here UP button (A)) for 3 seconds	Press button (here UP button (A)) for 3 seconds
Press button (here UP button (A)) (set value)	Press button (here UP button (A)) (set value)
Press Edit button	Press Edit button
Press button (here UP button (A)) and Edit button simultaneously	Press button (here UP button (A)) and Edit button simultaneously
Press UP-button (A) and DOWN-button (B) for 3 seconds	Press UP-button (A) and DOWN-button (B) for 3 seconds
Branching in the menu system	Branching in the menu system
Power ON	Power ON

Note 3) Additional units:

MPa	MPa
mmHg	mmHg
inHg	inHg
inH ₂ O	inH ₂ O



11. Trouble-shooting

Failure	Possible cause	Remedy
No display	Supply voltage not applied Supply voltage permitted operating voltage range swapped Electrical connections swapped SPAB... defective	Switch on supply voltage / permitted operating voltage range Wire the SPAB... as shown in the circuit diagram Return SPAB... to factory
Incomplete display	SPAB... operated with non-permitted medium	Replace the SPAB... and operate only with compressed air
Incorrect pressure display	Short circuit / overload at relevant output SPAB... defective	Eliminate short circuit / overload Return SPAB... to factory
Outputs do not switch according to settings	Access protection active	Return SPAB... to factory Setting cannot be edited (LOCK on the display)

Error message	Description	Remedy
E01	SPAB... defective	Contact factory
E02	Short-circuit causing an overcurrent to flow	Check the wiring and check the applied pressure at the pressure port should be brought to atmospheric pressure. The pressure adjustments should be done again when using the copy function.
E04	Pressure is applied during zero-point adjustment	Make sure that the system is disconnected, fully connection) when using the copy function.
E0A	Communicator error (disconnection, faulty connection)	Make sure that the system is disconnected, fully connection) when using the copy function.
E09	Communicator error (incorrect mode)	Observe permitted measuring range, after exceeding / not exceeding the measuring range, replace SPAB... with a new one.
1.000 3)	Measuring range exceeded (E0R...)	Observe permitted measuring range, after exceeding / not exceeding the measuring range, replace SPAB... with a new one.
10.00 3)	Measuring range exceeded (E0R...)	Observe permitted measuring range, after exceeding / not exceeding the measuring range, replace SPAB... with a new one.
0.00 3)	Value below measuring range (E0R...)	Observe permitted measuring range, after exceeding / not exceeding the measuring range, replace SPAB... with a new one.

12. Technical specifications

Type SPAB...	E2R...	E0R...	P0R...
Applicable fluid	Filtered compressed air (40µm, non-lubricated), Non-corrosive gas	---	---
Pressure type	bar	psi	MPa
Pressure range	MPa	1...100	0...1000
	MPa	1...100	0...1000
	psi	14.5...144.5	0...145
	mmHg	750...720	---
	inHg	29.5...29.5	---
Overload pressure	kgf/cm ²	401...401	0...10.2
	MPa	39.2...39.2	0...1.02
Supply pressure	MPa	1.2...2.4 (permitted residual ripple max. 10%)	Max. 0.5
Idle current (I ₀)	mA	Max. 50	Max. 30
Max. permitted signal cable length	m	Max. 30	Max. 30
Hysteresis (digit)	1 (psi; Min. 2) (variable)	---	---
Repeatability 2)	%F.S	Max. 0.1	Max. 0.2
Temperature 3)	%F.S	Max. 0.5	Max. 1
Variable characteristics of supply voltage 2)	%F.S	Max. 0.25	Max. 0.5
Total error	%F.S	Max. 0.1	Max. 0.2
Permit switching current	mA	Max. 100	Max. 42
Rated voltage	V	Max. 30	---
Response time 2)	ms	Max. 2.5	---
Temperature 3)	%F.S	Max. 0.1	Max. 0.2
Variable characteristics of supply voltage 2)	%F.S	Max. 0.5	Max. 1
Output range	1...5V/...20mA	---	---
Zero point 2)	2V ± 5% / 20mA ± 5% / 5V ± 5%	---	---
Linearity 2)	Max. ± 1% / 5	---	---
Analog voltage output	[0]	Approx. 1k	---
Analog current output	[0]	Max. 250	---
Repeatability 2)	%F.S	Max. 0.2	---
Temperature 3)	%F.S	Max. 0.5	---
Variable characteristics of supply voltage 2)	%F.S	Max. 0.5	---
Protection class	IP40	---	---
Interference immunity	AS per EN 61000-6-2	---	---
Vibration resistance 4)	30m/s ² / 20G (ramped at 10...500Hz)	---	---
Shock resistance	Approx. 10 G	---	---
Protection functions	Protection against short circuit Protection against polarity reversal	Pushed For all electrical connections	---
Enclosure	BPT (with glass fiber) Acrylic	---	---
Display	Stainless steel	---	---
Pressure port	Brass (nickel-plated)	---	---
Mating screw	HNBR	---	---
Switch	Silicon rubber	---	---

3) Excluding the idle current of analog output.

4) 0.75mm or 5G (ramped at 10...150Hz when SM/A-P-A-F are used).



Ensenso N35

GigE, FlexView1, PoE, IP65/67, for working distances up to 3,000 mm

Description

The compact and robust aluminum housing of the Ensenso N35 3D camera with lookable GPIO connector for trigger and flash and GigE connector, has two monochrome CMOS sensors (Global Shutter, 1280 x 1024 pixels) and a projector. The projector is available either with blue lights in the visible area (465 nm) or with infrared lights (850 nm). Via Power over Ethernet a data transfer and power supply are possible with long cable lengths. The 3D camera meets the requirements for protection code IP65/67 and is therefore protected against dirt, dust, water splashes or cleaning agents.

Due to the *integrated FlexView technology* the N35 models are particularly suitable for 3D acquisition of still objects and for working distances up to 3,000 mm. Available with focal lengths from 6 to 16 mm. The N35 3D cameras are pre-calibrated and come with an MVTec HALCON interface as well as an object-oriented API (C++, C# / .NET).



Functions

- With GigE interface – versatile and flexible
- Compact, robust aluminum housing
- IP65/67
- Global Shutter CMOS sensors and pattern projector, optionally with blue or infrared LEDs
- Max. fps (3D): 10 (2x Binning: 30) and 64 disparity levels
- Max. fps (offline processing): 30 (2x Binning: 70) and 64 disparity levels
- Designed for working distances of up to 3,000 mm (N35) and variable picture fields
- Output of a single 3D point cloud with data from all cameras used in multi-camera mode
- Live composition of the 3D point clouds from multiple viewing directions
- Integrated FlexView technology for more detailed accuracy of the point cloud and higher robustness of 3D data on difficult surfaces
- "Projected texture stereo vision" process for capturing untextured surfaces
- Capture of both stationary and moving objects
- Free software package with driver and API for Windows and Linux
- One software package supports USB and GigE models
- HALCON, C, C++ and C# sample programs with source code
- Pre-calibrated and therefore easy to set up
- Integrated function for robot hand-eye calibration with calibration plate
- Integration of uEye industrial cameras on the software side, for example, to capture additional color information or barcodes
- Subsampling and binning for flexible data and frame rates

Appendix D: Code HALCON

connect_3d.hdev

main (:::)

```
* setup windows
dev_update_off ()
dev_close_window ()
dev_open_window (0, 0, 512, 512, 'black', WindowHandle1)
dev_open_window (0, 512, 512, 512, 'black', WindowHandle2)
dev_open_window (450, 0, 512, 512, 'black', WindowHandle3)
dev_open_window (450, 512, 512, 512, 'black', WindowHandle4)

set_display_font (WindowHandle1, 16, 'mono', 'true', 'false')
set_display_font (WindowHandle2, 16, 'mono', 'true', 'false')
set_display_font (WindowHandle3, 16, 'mono', 'true', 'false')
set_display_font (WindowHandle4, 16, 'mono', 'true', 'false')

* *****
* Init camera
* *****
close_all_framegrabbers ()
dev_update_window ('off')
* Connect to the first Ensenso-NxLib device
open_framegrabber ('Ensenso-NxLib', 0, 0, 0, 0, 0, 0, 'default', -1, 'default', -1,
'default', 'stereo', '', 0, -1, AcqHandle)

* Get image dimensions
get_framegrabber_param (AcqHandle, 'image_width', Width)
get_framegrabber_param (AcqHandle, 'image_height', Height)

* Settings uitlezen vanuit NxView, deze worden niet standaard opgeslagen in de camera,
je dient deze in NxView op te slaan in een json file
* Nadien moet je deze file oproepen (zie hieronder) en vervolgens deze parameters
apply'en..
get_framegrabber_param (AcqHandle,
'file://C:/Users/11400620/bluej/Desktop/Visie_stereo/Settings/settings_camera.json',
params)

* Apply parameters
set_framegrabber_param (AcqHandle, 'Parameters', ['apply', params])

* *****
* instellingen
* *****

* previous_poseIn := 0
* previous_poseOut := 0
robotinit := 0

* instelbare parameters
Detectie := 1
Selectiehoogste := 1
Robot := 1
```

```

auto := 1
testing := 0
Botsingsdetectie := 0

* type camera
stereo := 1
* detectiemethode
points := 1
* fitprimitives
fit := 0
tellenheatsink := 0

while (auto=1)
* *****
* large loop
* *****

* Neem scan
* robot_set_position (Socket, To, -450, -120, 250, 180, 0, 180, Data)
if (robotinit=1)
    robot_set_position (Socket, To, -450, -120, 250, 180, 0, 180, Data)
endif
stop ()

grab_data (ImageData, Region, Contours, AcqHandle, Data)
count_obj (ImageData, NumImageData)

select_obj (ImageData, XYZImage, 1)
access_channel (XYZImage, XX, 1)
access_channel (XYZImage, YY, 2)
access_channel (XYZImage, ZZ, 3)

* Bijsnijden beeld
threshold (ZZ, bodem, 6, 700)
threshold (XX, xred, -458.76, 411.34)
threshold (YY, yred, 96.91, 637.11)
* dev_open_window (0, 0, 840, 840, 'black', WindowHandle)
* dev_display (XX)
* stop ()
* dev_display (YY)
* stop ()
* dev_display (ZZ)
* stop ()
reduce_domain (ZZ, bodem, ZR)
reduce_domain (YY, yred, YR)
reduce_domain (XX, xred, XR)
* stop ()
* dev_open_window (0, 0, 840, 840, 'black', WindowHandle)
* dev_display (XR)
* stop ()
* dev_display (YR)
* stop ()
* dev_display (ZR)
* stop ()
xyz_to_object_model_3d (XR, YR, ZR, ScanUIT)
if (testing=1)
    stop ()
endif

```

```

* Schrijf beeld weg
* write_object_model_3d (OM3DModel, 'om3',
'C:/Users/acro/Desktop/Schousterden_Lemmens/connect_3d/Test_visie/stereo5.om3', [], [])

* Display the model
* Instructions[0] := 'Rotate: Left button'
* Instructions[1] := 'Zoom: Shift + Left button'
* Instructions[2] := 'Move: Ctrl + Left button'
* Message := 'Surface model'
* visualize_object_model_3d (WindowHandle, ScanUit, [], [], [], [], Message, [],
Instructions, PoseOut)
* stop ()

* *****
* loop objecten zoeken
* *****
if (Detectie=1)

    Button := 1
    Number := 0
    if (stereo=1)
        distance := 0.8
    else
        distance := 0.00135
    endif
    lenght := 0
    loopcount := 0
    minimumprintplaten := 0

    while (Button == 1)

        * optioneel lees scan
        * read_object_model_3d
('C:/Users/11400620/bluej/Desktop/Visie_stereo/Test_visie/voor.om3', 'm', [], [],
ScanUit, Status)

        * Connect op distance 3d
        * vlak:0.0012
        * heatsink=0.005
        * Test_visie/stereo2
        connection_object_model_3d (ScanUit, 'distance_3d', distance,
ObjectModel3DConnected)

        * Neem parameter voor selecteren(niet meer nodig)
        * diameter bounding box
        * get_object_model_3d_params (ObjectModel3DConnected, 'diameter_bounding_box',
ParamValue)
        * Volume bounding box
        * get_object_model_3d_params (ObjectModel3DConnected, 'area', ParamValue)

        * Selecteer gebieden
        * basis bounding box
        if (points=0)
            if (stereo=1)
                select_object_model_3d (ObjectModel3DConnected, 'num_points', 'and', 100,
5000000, ObjectModel3DSelected2)
                select_object_model_3d (ObjectModel3DSelected2, 'diameter_bounding_box',
'and', 220, 550, ObjectModel3DSelected)
            else

```

```

        select_object_model_3d (ObjectModel3DConnected, 'diameter_bounding_box',
'and', 0.15, 0.9, ObjectModel3DSelected)
    endif
endif

* basis numpoints
if (points=1)
    if (stereo=1)
        * voor verwijderen naar punt
        select_object_model_3d (ObjectModel3DConnected, 'num_points', 'and', 9000,
500000, ObjectModel3DSelected2)
        select_object_model_3d (ObjectModel3DSelected2, 'diameter_bounding_box',
'and', 0.01, 550, ObjectModel3DSelected)
    else
        select_object_model_3d (ObjectModel3DConnected, 'num_points', 'and', 9000,
500000, ObjectModel3DSelected)
    endif
endif

* Kijk of er heatsinks worden gedetecteerd
select_object_model_3d (ObjectModel3DConnected, 'num_points', 'and', 8000, 9000,
Heatsink)
get_object_model_3d_params (Heatsink, 'num_polygons', aantalheatsinks)
Heatsinks := |aantalheatsinks|

* kijk hoeveel prinplaten er worden gedetecteerd
get_object_model_3d_params (ObjectModel3DSelected, 'num_polygons', Number)
lenght := |Number|

if (minimumprintplaten<lenght)
    if (lenght<10)
        Button := 5
    endif
endif

if (stereo=1)
    distance := distance+0.1
else
    distance := distance+0.0001
endif

* Create objects
* Calculate the oriented bounding box.

smallest_bounding_box_object_model_3d (ObjectModel3DSelected, 'oriented',
PoseBoxOri, Length1Ori, Length2Ori, Length3Ori)
gen_box_object_model_3d (PoseBoxOri, Length1Ori, Length2Ori, Length3Ori,
BoundingBoxesOriented)

* basis fit primitives
if (fit=1)
    fit_primitives_object_model_3d (ObjectModel3DSelected, 'primitive_type',
'plane', prim)
    get_object_model_3d_params (prim, 'primitive_pose', primpose)
    dev_open_window (0, 1000, 512, 512, 'black', WindowHandle5)
    set_display_font (WindowHandle5, 16, 'mono', 'true', 'false')
endif

* Display the object model 3D
* pose alternatief
* Pose := [0.01,0.01,2.0,188.0,50.0,0.0,0]
if (stereo=1)

```



```

    * pose voor stereo
    Pose := [500,100,700,-40,200,170,0]
    CamParam := [0.0035,0,7e-6,7e-6,10,250,512,512]
else
    * pose sheet of light
    Pose := [0.2,-0.1,1.3,320,0,80,0]
    CamParam := [0.007,0,7e-6,7e-6,0,240,512,512]
endif

disp_object_model_3d (WindowHandle1, ScanUit, CamParam, Pose, 'colored', 12)
disp_object_model_3d (WindowHandle2, ObjectModel3DConnected, CamParam, Pose,
'colored', 12)
disp_object_model_3d (WindowHandle3, ObjectModel3DSelected, CamParam, Pose,
'colored', 12)
disp_object_model_3d (WindowHandle4, BoundingBoxesOriented, CamParam, Pose,
'colored', 12)

if (testing=1)
    stop ()
endif

disp_message (WindowHandle1, 'The complete model', 'window', 12, 12, 'black',
'true')
disp_message (WindowHandle2, 'The connected components', 'window', 12, 12,
'black', 'true')
disp_message (WindowHandle3, 'Selected regions', 'window', 12, 12, 'black',
'true')
disp_message (WindowHandle4, 'Bounding boxes', 'window', 12, 12, 'black', 'true')

if (fit=1)
    disp_object_model_3d (WindowHandle5, prim, CamParam, Pose, 'colored', 12)
    disp_message (WindowHandle5, 'Primitives', 'window', 12, 12, 'black', 'true')
endif

if (tellenheatsink=1)
    disp_message (WindowHandle4, 'Er zijn', 'window', 50, 12, 'black', 'true')
    disp_message (WindowHandle4, Heatsinks, 'window', 50, 100, 'black', 'true')
    disp_message (WindowHandle4, 'heatsinks gedetecteerd', 'window', 50, 140,
'black', 'true')
endif

* ronddraaibaar beeld
* dev_open_window (0, 0, 840, 840, 'black', WindowHandle)
* Instructions[0] := 'Rotate: Left button'
* Instructions[1] := 'Zoom: Shift + Left button'
* Instructions[2] := 'Move: Ctrl + Left button'
* Message := 'selected regions'
* visualize_object_model_3d (WindowHandle, ObjectModel3DSelected, [], [], [], [],
Message, [], Instructions, PoseOut)

* endless loop
loopcount := loopcount+1
if (loopcount>5)
    Button := 20
    minimumprintplaten := 0
endif

* geen convergentie, wis vorige stap
if (Button=1)
    if (stereo=1)
        clear_object_model_3d
        ([ScanUit,ObjectModel3DConnected,ObjectModel3DSelected,ObjectModel3DSelected2,BoundingB

```

```

axesOriented,prim])
    else
        clear_object_model_3d
([ScanUit,ObjectModel3DConnected,ObjectModel3DSelected,BoundingBoxesOriented])
    endif
endif

endwhile

* verwijderen data
if (Selectiehoogste=0)
    if (stereo=1)
        clear_object_model_3d ([ScanUit])
        clear_object_model_3d ([ObjectModel3DConnected])
        clear_object_model_3d ([ObjectModel3DSelected])
        clear_object_model_3d ([ObjectModel3DSelected2])
        clear_object_model_3d ([BoundingBoxesOriented])
    else
        clear_object_model_3d ([ScanUit])
        clear_object_model_3d ([ObjectModel3DConnected])
        clear_object_model_3d ([ObjectModel3DSelected])
        clear_object_model_3d ([BoundingBoxesOriented])

    endif
endif
endif
if (testing=1)
    stop ()
endif

* *****
* Selecteren te grijpen printplaat
* *****
if (Selectiehoogste=1)

    * Zoek in welke volgorde de objecten moeten worden gegrepen
    SelectProcedure := 'Z'
    if (SelectProcedure='Z')
        * zoek het object met hoogste picking point
        z_obj := []
        Index := 0
        lengte := lenght-1
        for Index := 0 to lengte by 1
            * Z := primpose[Index*7+2]
            Z := PoseBoxOri[Index*7+2]
            tuple_select (PoseBoxOri, Index*7+2, selected)
            tuple_concat (z_obj, selected, z_obj)
        endfor

        tuple_sort_index (z_obj, sorted_Indices)
        * eerste index is kleinste, laatste is grootste

    endif

    * Zet poses in juiste volgorde

    objectteller := 0

    * terug opbouwen reeks poses
    for Index := (|z_obj|-1) to 0 by -1
        Index2 := sorted_Indices[Index]

```

```

ObjBasePose[objectteller] := PoseBoxOri[Index2*7+0]
ObjBasePose[objectteller+1] := PoseBoxOri[Index2*7+1]
ObjBasePose[objectteller+2] := PoseBoxOri[Index2*7+2]
ObjBasePose[objectteller+3] := PoseBoxOri[Index2*7+3]
ObjBasePose[objectteller+4] := PoseBoxOri[Index2*7+4]
ObjBasePose[objectteller+5] := PoseBoxOri[Index2*7+5]

* ObjBasePose[objectteller] := primpose[Index2*7+0]
* ObjBasePose[objectteller+1] := primpose[Index2*7+1]
* ObjBasePose[objectteller+2] := primpose[Index2*7+2]
* ObjBasePose[objectteller+3] := primpose[Index2*7+3]
* ObjBasePose[objectteller+4] := primpose[Index2*7+4]
* ObjBasePose[objectteller+5] := primpose[Index2*7+5]
objectteller := objectteller+6
endifor

* verwijderen data
if (Robot=0)
  if (stereo=1)
    clear_object_model_3d ([ScanUit])
    clear_object_model_3d ([ObjectModel3DConnected])
    clear_object_model_3d ([ObjectModel3DSelected])
    clear_object_model_3d ([ObjectModel3DSelected2])
    clear_object_model_3d ([BoundingBoxesOriented])
    clear_object_model_3d ([prim])
  else
    clear_object_model_3d ([ScanUit])
    clear_object_model_3d ([ObjectModel3DConnected])
    clear_object_model_3d ([ObjectModel3DSelected])
    clear_object_model_3d ([BoundingBoxesOriented])
  endif
endif
endif
if (testing=1)
  stop ()
endif
* *****
* Aansturing robot
* *****

if (Robot=1)

  if (robotinit=0)

    * *****
    * open TCP port for ethernet communication with robot
    * *****
    Protocol := 'TCP'
    Timeout := 20.0
    IP_Address := '192.168.0.1'
    PortNr := 2001
    open_socket_connect (IP_Address, PortNr, ['protocol','timeout'],
[Protocol,Timeout], Socket)
    get_socket_param (Socket, 'address_info', Address)
    To := [IP_Address,PortNr]
    From := [Address[0],Address[1]]
    robot_select_tool (Socket, To, 8)
    robotinit := 1
    stop ()

  endif

endif

```

```

* neem parameters van bovenste printplaat
wchange := 0
Nplaat := 0
x := ObjBasePose[Nplaat]
y := ObjBasePose[Nplaat+1]
z := ObjBasePose[Nplaat+2]
u := ObjBasePose[Nplaat+3]
v := ObjBasePose[Nplaat+4]
w := ObjBasePose[Nplaat+5]
typPose := 0

* if (v>180)
  * if (w<180)
    * w := w+180
  * endif
* endif

* if (w>180)
  * w := w-180
  * wchange := 1
* endif
* if (w>0)
  * if (w<180)
    * w := w+180
    * wchange := 1
  * endif
* endif

wOK := 0
counter10 := 0
wat := 0
while (wOK=0)

  Posetypw := [x,y,z,u,v,w,0]
  convert_pose_type (Posetypw, 'Rp+T', 'abg', 'point', PosetypwOK)

  Wrot := PosetypwOK[5]

  if (Wrot>0)
    if (Wrot<180)
      wOK := 1
    endif

  endif

  if (counter10<2)
    if (wOK=0)
      w := w+180
      wat := 1
    endif
  endif

  if (counter10>2)
    if (wOK=0)
      w := w-180
      wat := 2
    endif
  endif
endif

```

```

    if (counter10>6)
        wOK := 5
    endif
    counter10 := counter10+1

endwhile

* Stel eerste grijppose samen
Posetyp0 := [x,y,z,u,v,w,0]

* Nplaat := 0
* x := primpose[Nplaat]
* y := primpose[Nplaat+1]
* z := primpose[Nplaat+2]
* u := primpose[Nplaat+3]
* v := primpose[Nplaat+4]
* w := primpose[Nplaat+5]
* wcs_P_obj[6] := 0

* Posetyp0 := [x,y,z,u,v,w,2]
* stop ()

* Extra transformatie
* create_pose (0, 0, -0.0125, 0, 0, 0, 'Rp+T', 'gba', 'point', Pose_Erboven)
* pose_to_hom_mat3d (Pose_Erboven, HomMat3D)
* pose_to_hom_mat3d (Posetyp0, base_H_obj)
* hom_mat3d_compose (base_H_obj, HomMat3D, base_H_obj_erboven)
* hom_mat3d_to_pose (base_H_obj_erboven, PoseBovenType0)

* Convert to type2
convert_pose_type (Posetyp0, 'Rp+T', 'abg', 'point', Posetyp2)

if (testing=1)
    stop ()
endif
* *****
* Sequentie voor robot
* *****
robot_set_position (Socket, To, -450, -120, 250, 180, 0, 180, Data)

x := Posetyp2[Nplaat]
y := Posetyp2[Nplaat+1]
z := Posetyp2[Nplaat+2]
rotx := Posetyp2[Nplaat+3]
roty := Posetyp2[Nplaat+4]
rotz := Posetyp2[Nplaat+5]

* Correctie voor slechte pose van primitives
if (rotx>270)
    rotx := rotx-180

elseif (rotx<90)
    rotx := rotx+180
endif

if (testing=1)
    stop ()
endif

```

```

* *****
* Botsingsdetectie
* *****
* if (Botsingsdetectie=1)

    * pose := [0,0,0,0,0,0,0]

    * ObjBasePose[0] := PoseBoxOri[0]
    * ObjBasePose[1] := PoseBoxOri[1]
    * ObjBasePose[2] := PoseBoxOri[2]
    * ObjBasePose[3] := PoseBoxOri[3]
    * ObjBasePose[4] := PoseBoxOri[4]
    * ObjBasePose[5] := PoseBoxOri[5]
    * ObjBasePose[6] := PoseBoxOri[6]

    * gen_cylinder_object_model_3d (Posetyp0, 0.1, 0.3, -0.3, grijper)
    * gen_cylinder_object_model_3d (Posetyp0, 0.010, 0, 0.05, grijper2)
    * disp_object_model_3d (WindowHandle4, grijper, CamParam, Pose, 'colored', 12)
    * stop ()

    * intersection (Region, Region, RegionIntersection)
    * union_object_model_3d ([grijper, BoundingBoxesOriented], 'points_surface',
UnionObjectModel3D)
    * disp_object_model_3d (WindowHandle4, BoundingBoxesOriented, CamParam, Pose,
'colored', 12)
    * stop ()Handle4, UnionObjectModel3D, CamParam, Pose, 'colored', 12)
    * stop ()
    * Maak extra poses

    * union_object_model_3d (grijper, BoundingBoxesOriented, UnionObjectModel3D)
    * create_pose (-60, 0, 0, 0, 0, 0, 'Rp+T', 'gba', 'point', Xmin)
    * disp_object_model_3d (Window
    * pose_to_hom_mat3d (Xmin, homxmin)
    * pose_to_hom_mat3d (Posetyp2, hommidden)
    * hom_mat3d_compose (hommidden, homxmin, Posexmin)
    * hom_mat3d_to_pose (Posexmin, PoseXmin)

    * x := Posetyp2[Nplaat]
    * y := Posetyp2[Nplaat+1]
    * z := Posetyp2[Nplaat+2]
    * rotx := Posetyp2[Nplaat+3]
    * roty := Posetyp2[Nplaat+4]
    * rotz := Posetyp2[Nplaat+5]

    * Probeer poses

* endif

    * Auto Least Joint Motion AAN (360° draaien voorkomen bij zakken gripper, in
sommige gevallen)

```

```

* robot_AutoLJM (Socket, To, 1)

* Ga boven scangebied
robot_set_position (Socket, To, -250, 300, 250, 130, 0, 180, Data)

* Ga 7cm boven grijpositie
robot_set_position (Socket, To, x, y, z+90, rotz, roty, rotx, Data)

* Daal naar grijppositie
robot_set_position (Socket, To, x, y, z-25, rotz, roty, rotx, Data)

* Stappen := 0
* while (Stappen<4)
  * Onderdruk := 0
  * extra := 0
  * Sluit grijper
  * robot_gripper_close (Socket, To)

  * if (Onderdruk=0)
    * stuk nog niet gegrepen
    * extra := 90-31*Stappen
    * stop ()
    * robot_set_position (Socket, To, x, y, z+extra, rotz, roty, rotx, Data)
    * Stappen := Stappen+1
  * elseif (Onderdruk=1)
    * stuk is gegrepen
    * Stappen := 10
  * endif
* endwhile

* Opheffen met rotatie
if (testing=1)
  stop ()
endif
* robot_set_position (Socket, To, x, y, z+60, rotz, roty, rotx, Data)
* robot_AutoLJM (Socket, To, 0)

* Opheffen zonder rotatie
robot_set_position (Socket, To, x, y, z+180, rotz, 0, 180, Data)

* Naar aflegpositie
robot_set_position (Socket, To, -450, -120, 250, 180, 0, 180, Data)
* robot_gripper_open (Socket, To)
* stop ()
* robot_gripper_close (Socket, To)
* stop ()

endif

* Verwijder data
if (Selectiehoogste=0)
  if (stereo=1)

```

```
clear_object_model_3d ([ScanUit])
clear_object_model_3d ([ObjectModel3DConnected])
clear_object_model_3d ([ObjectModel3DSelected])
clear_object_model_3d ([ObjectModel3DSelected2])
clear_object_model_3d ([BoundingBoxesOriented])
else
clear_object_model_3d ([ScanUit])
clear_object_model_3d ([ObjectModel3DConnected])
clear_object_model_3d ([ObjectModel3DSelected])
clear_object_model_3d ([BoundingBoxesOriented])

endif
endif
endwhile
```


Appendix E: Testverslag en afstelling visie

Test en afstelling: Sheet of light opstelling

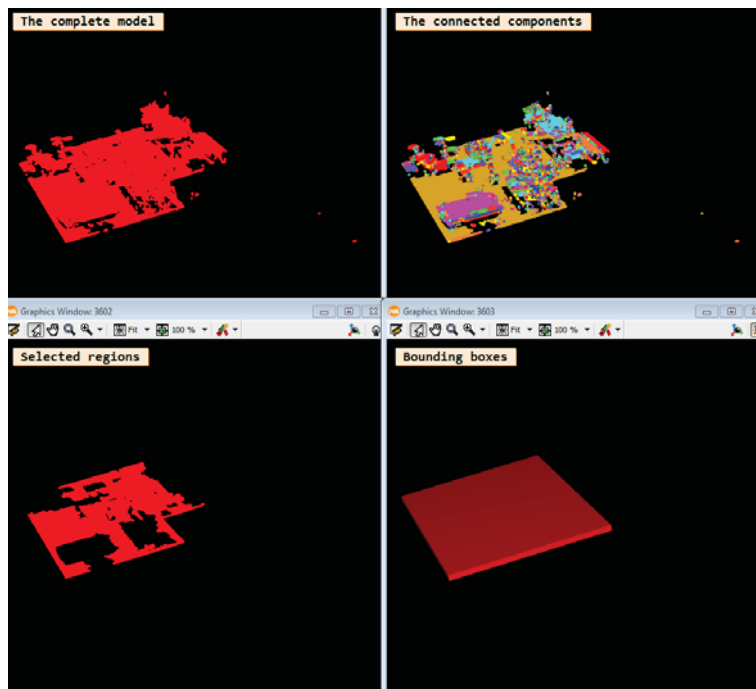
In dit verslag wordt het verloop van de testen van het SOL visiesysteem beschreven. De resultaten van de testen worden weergegeven. Hierbij wordt commentaar gegeven over de kwaliteit en over enige finetuning aan de instellingen van het visiesysteem. Voor dit systeem werden twee verschillende detectiemethodieken (gebaseerd op aantal punten of diameter van de *bounding box*) met elkaar vergeleken voor meerdere situaties waaronder 3 desktop printplaten, een laptop printplaat en meerdere willekeurige stapelingen.

Desktop1



Werkelijke ligging desktop 1

Aantal punten

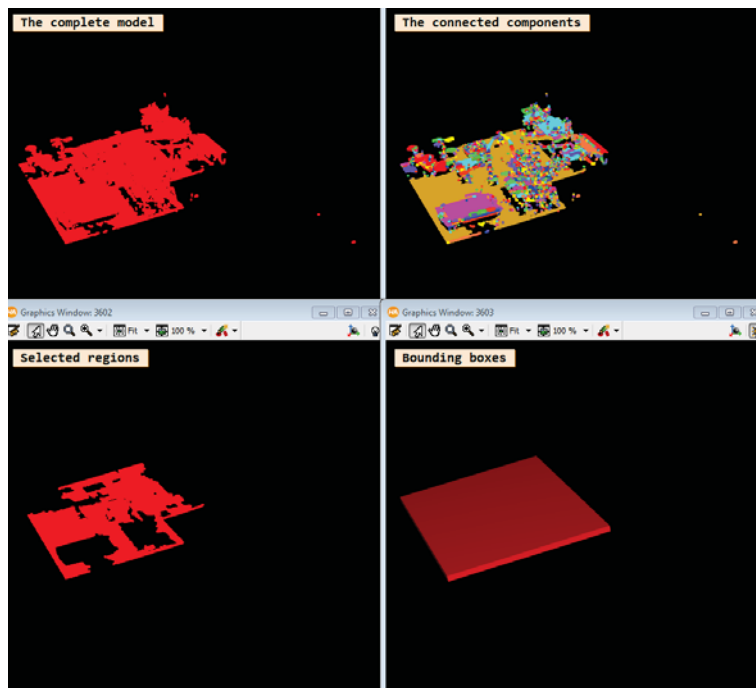


Resultaten Halcon voor desktop1 (aantal punten)

Aantal loops: 2

Printplaat is goed gedetecteerd

Diameter bounding box



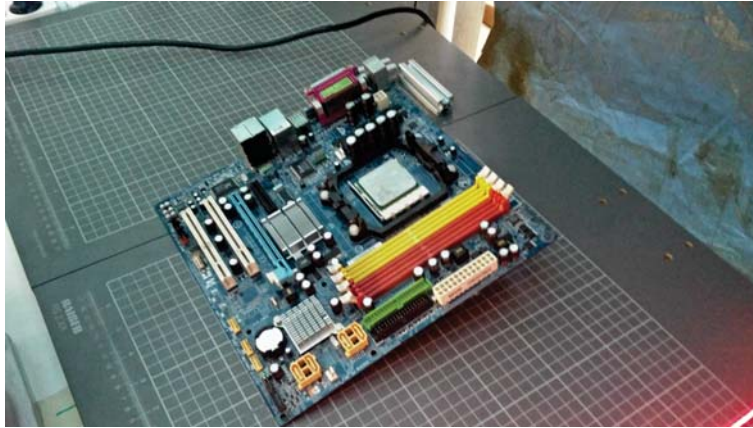
Resultaten Halcon voor desktop 1 (aantal punten)

Aantal loops: 2

Opmerking: *bounding box* operatie duur opvallend langer

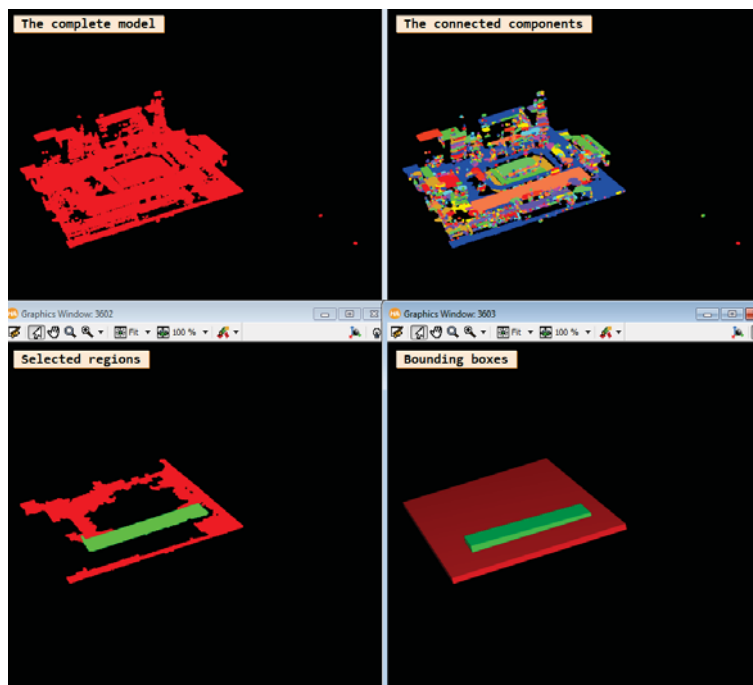
Printplaat is goed gedetecteerd

Desktop 2



Werkelijke ligging Desktop2

Aantal punten

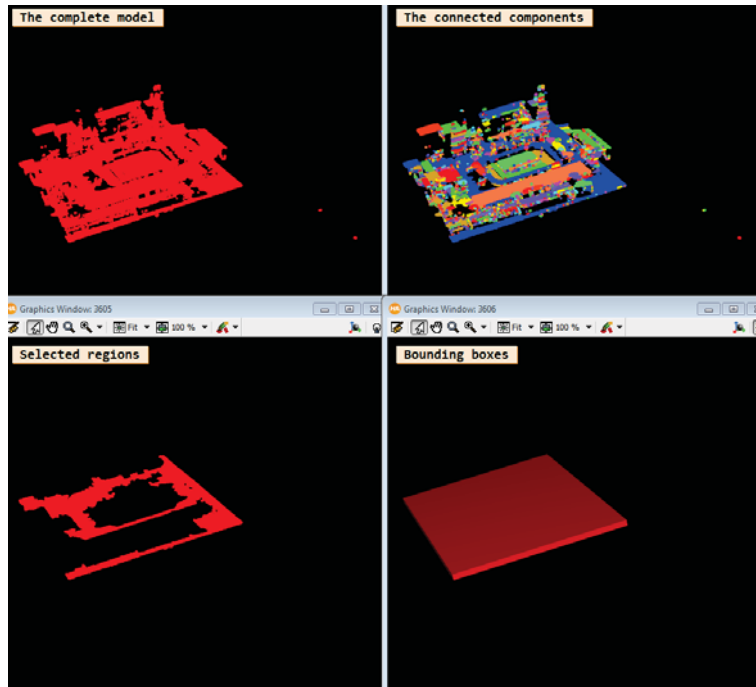


Resultaten Halcon voor desktop 2 (aantal punten)

Aantal loops: 2

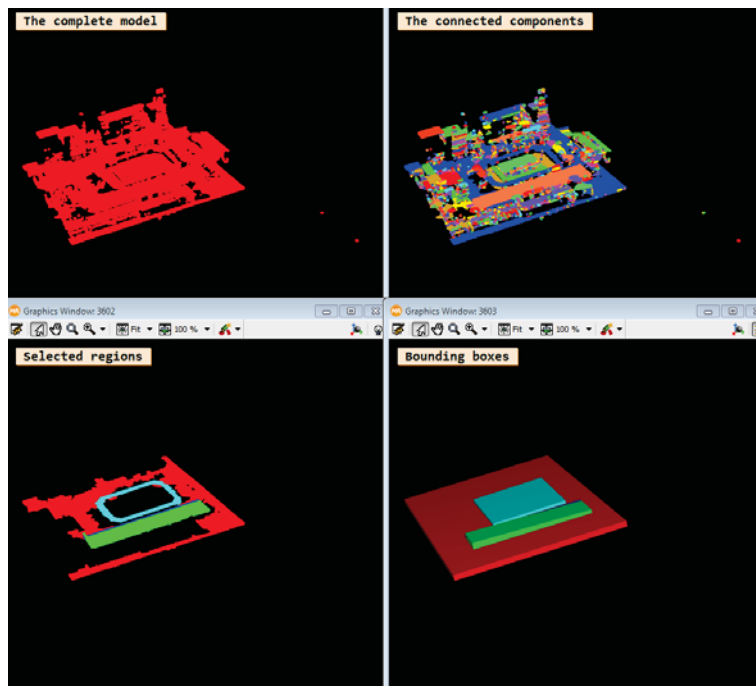
Correctie: Minimum punten verhoogd naar 10000. Startwaarde connectie ook vergroot van 0.001 naar 0.0011. Resultaat: Detecteert ram slots niet meer als printplaat. En tijd gereduceerd

naar 1 loop.



Resultaten Halcon voor desktop2 (aantal punten) aanpassing

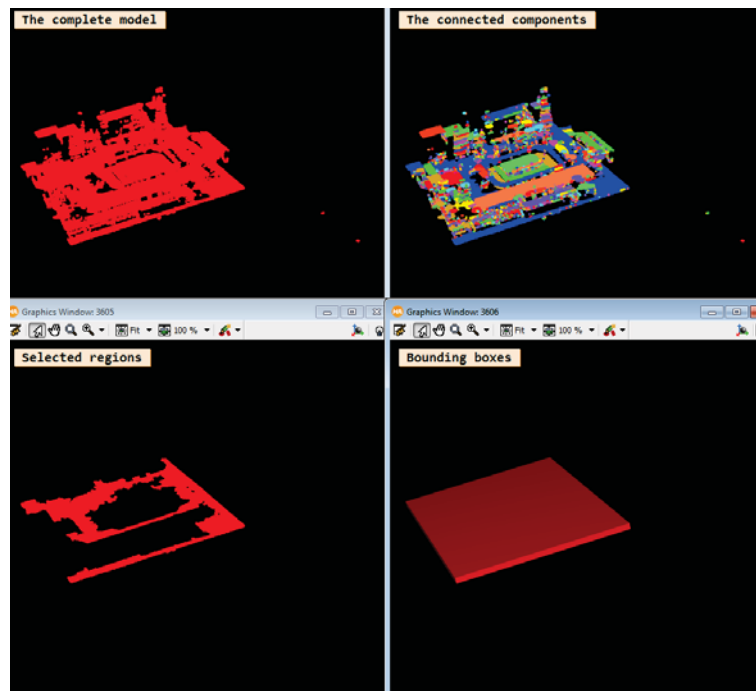
Diameter bounding box



Resultaten Halcon voor desktop2 (bounding box)

Aantal loops: 2

Correctie: Minimum grootte bounding box verhoogd naar 0.15. Startwaarde connectie ook vergroot van 0.001 naar 0.0011. Resultaat: Nog maar 1 loop nodig.



Resultaten Halcon voor desktop2 (bounding box) aanpassing

Veel voorkomend probleem is dat de lijnen van de scan worden gedetecteerd als lange smalle regio en dit geeft een voldoende grote *bounding box* en wordt bijgevolg als printplaat gedetecteerd. Bij aantal punten methodiek kan dit probleem niet voorkomen.

Ook al worden lege RAM-slots gedetecteerd als aparte plaat moet dit niet perse een probleem opleveren. Het is een groot vlak deel op de printplaat en ligt op dezelfde hoogte bijgevolg levert dit een goede grijppositie op op de werkelijke printplaat.

Desktop 3



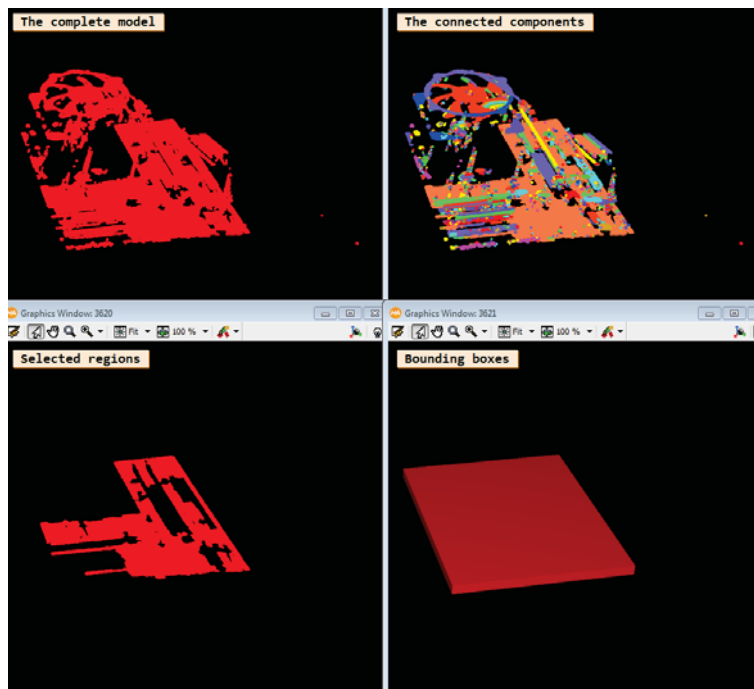
Werkelijke ligging Desktop 3

Beide systemen waren niet in staat om de printplaat in één keer te detecteren. De vorm van de bovenste *bounding box* is wel goed en de printplaat kan bijgevolg wel worden gegrepen. De ventilator wordt nooit gedetecteerd door de slechte zichtbaarheid in perspectief. De twee stukken

van eenzelfde worden niet aan elkaar gekoppeld door te grote occlusie achter de ventilator.

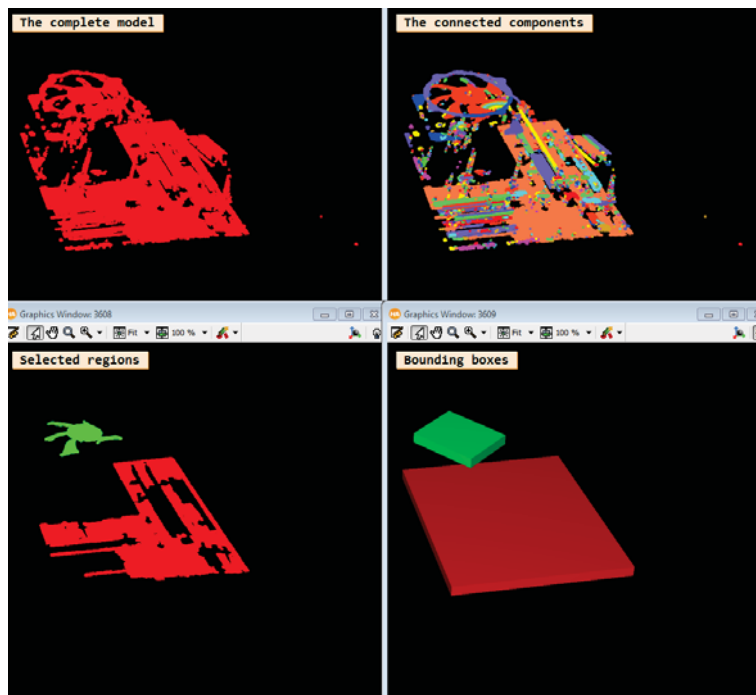
Een ander perspectief scan weergeeft de printplaat wel dadelijk duidelijk. Door het verlagen van het minimum aantal punten naar 4000 wordt ook de ventilator gedetecteerd als apart vlak, deze instelling is echter niet gewenst aangezien hierdoor ook andere grote vlakke delen worden gedetecteerd als bijvoorbeeld bij desktop 1 de ram slots. Een andere camera en laser opstelling zou hier zeker kunnen helpen door occlusies te vermijden.

Aantal punten



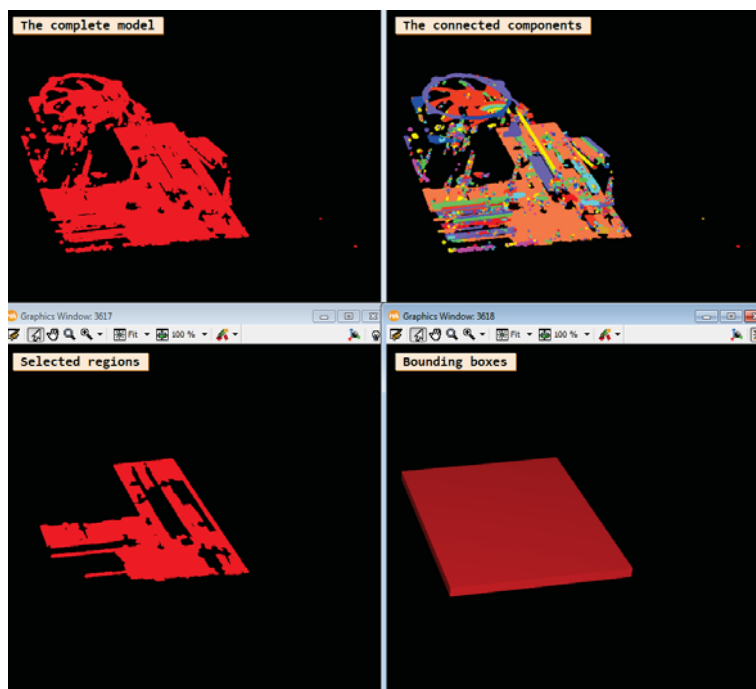
Resultaten Halcon voor desktop 3 (aantal punten)

Aantal loops: 1



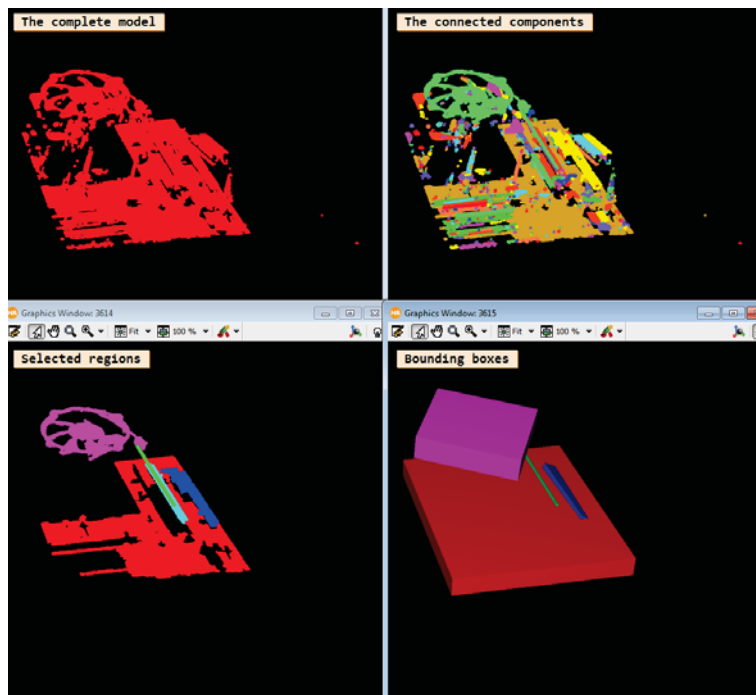
Resultaten Halcon voor desktop 3 (aantal punten) aangepast

Diameter bounding box



Resultaten Halcon voor desktop 3 (bounding box)

Aantal loops: 1



Resultaten Halcon voor desktop 3 (bounding box) aangepast

Desktop 4

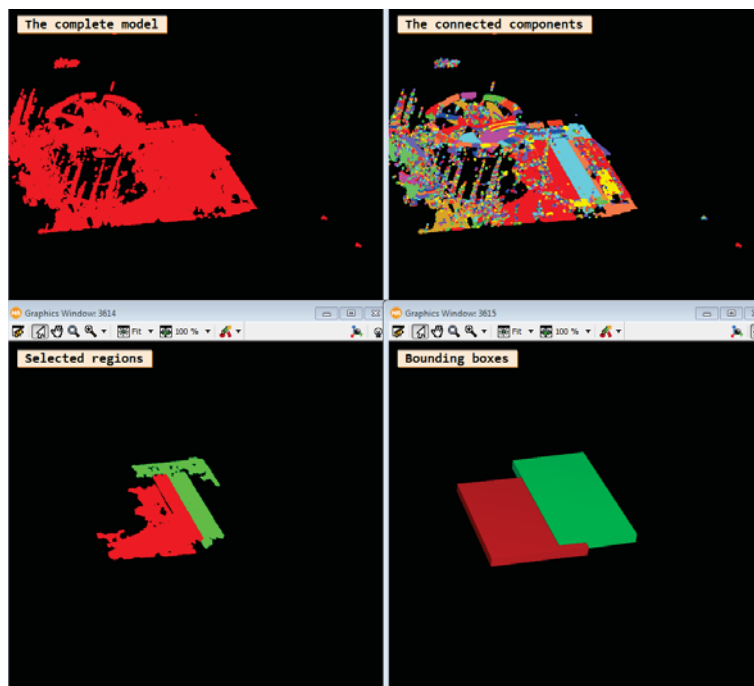


Werkelijke ligging desktop 4

Opmerking: op blinkende delen kunnen er nog steeds zeer grote en storende reflecties ontstaan. Dit lijkt ook te verergeren naar mate de printplaat in de richting van de camera gekanteld is. Ook verergert dit met de hoeveelheid extern licht. De ventilator kan niet worden gedetecteerd door de grote hoeveelheid reflectie op de koperen *heatsink*. Een zeer kleine verandering in oriëntatie kan de hoeveelheid reflectie en dus ook de detectie nauwkeurigheid sterk beïnvloeden.

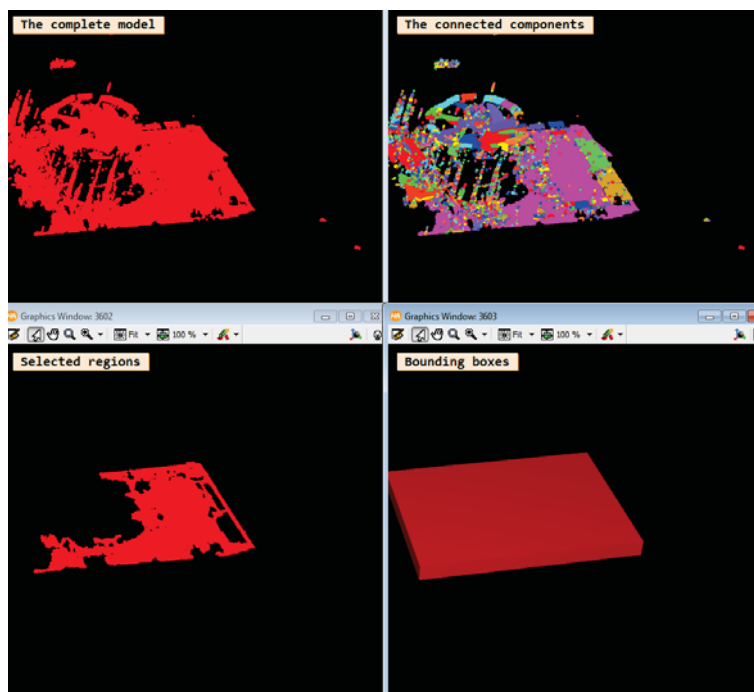
En vergroting van de startwaarde connectie naar 0.0014 detecteert de printplaat wel goed in één keer. Dit geeft ook geen negatief effect op vorige scans.

Aantal punten



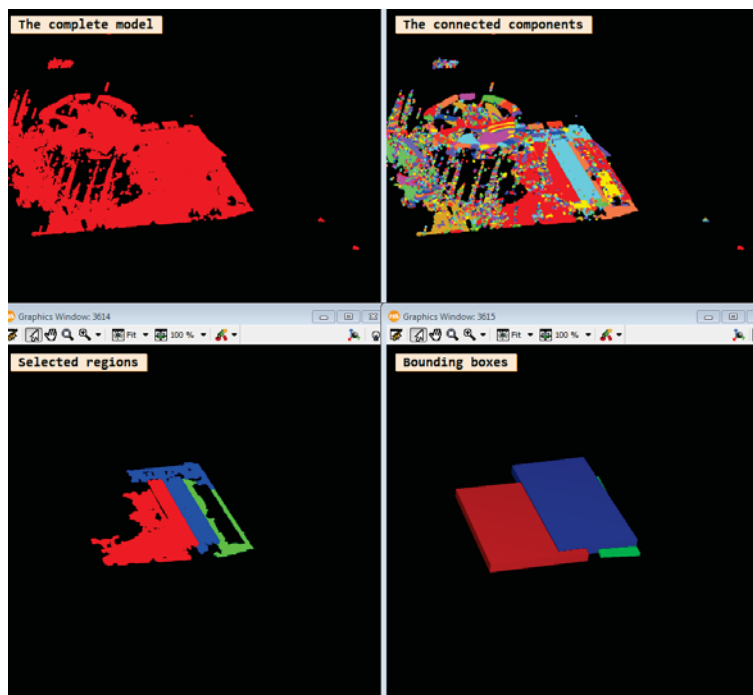
Resultaten Halcon voor desktop 4 (aantal punten)

Aantal loops: 1



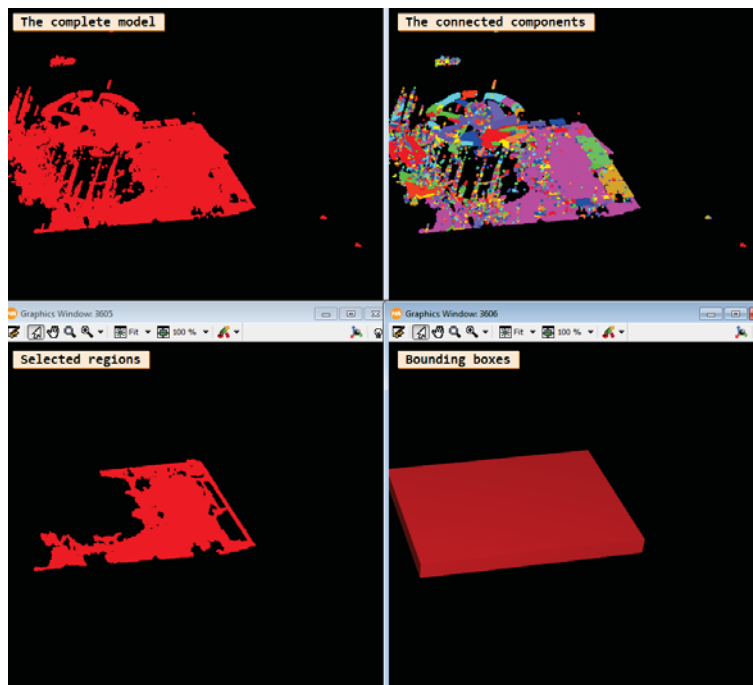
Resultaten Halcon voor desktop 4 (aantal punten) aanpassing

Diameter bounding box



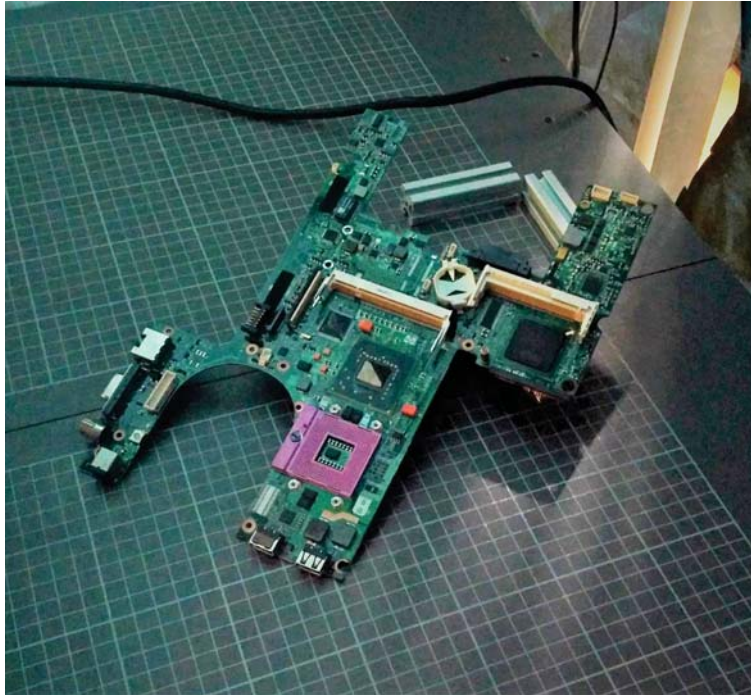
Resultaten Halcon voor desktop 4 (bounding box)

Aantal loops: 1



Resultaten Halcon voor desktop 4 (bounding box) aanpassing

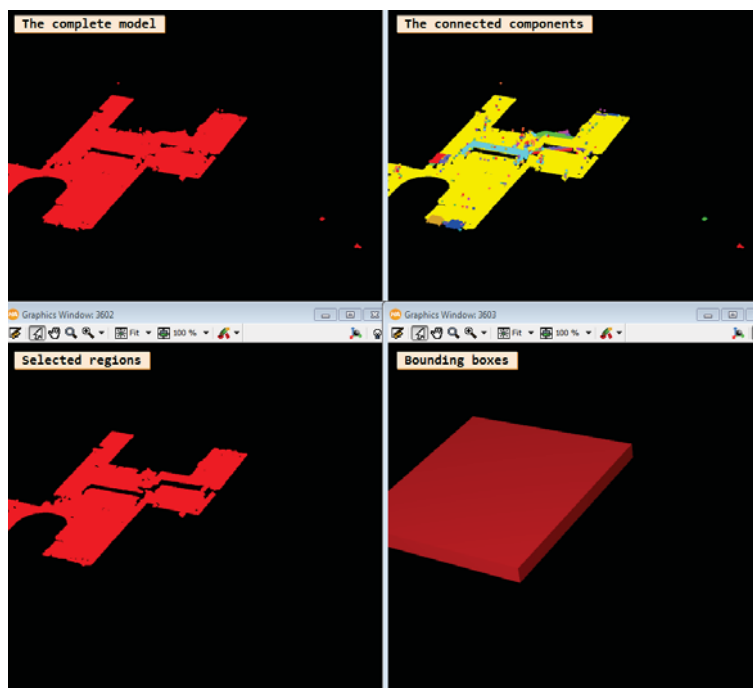
Laptop1



Werkelijke ligging Laptop1

Alles wordt hier goed gedetecteerd en de resulterende grijppositie is goed.

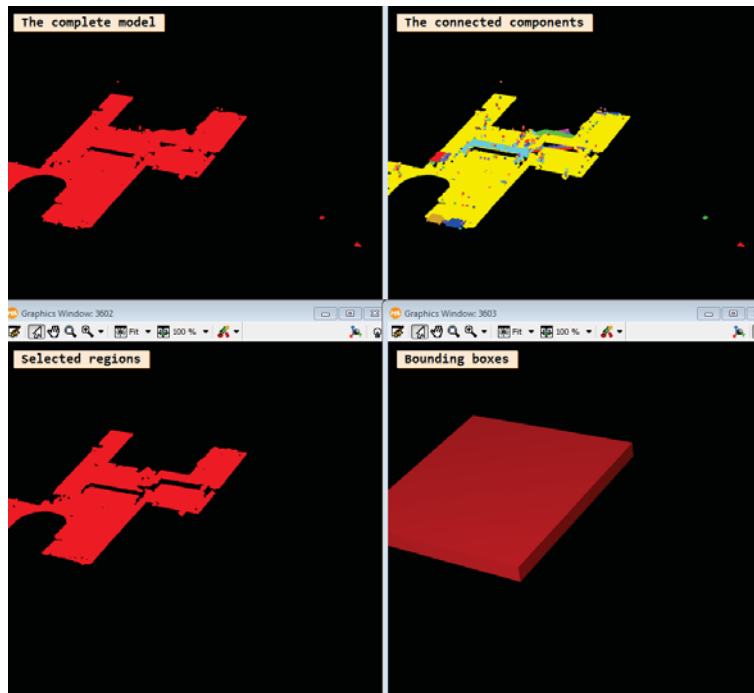
Aantal punten



Resultaten Halcon voor laptop 1 (aantal punten)

Aantal loops:1

Diameter bounding box



Resultaten Halcon voor laptop 1 (bounding box)

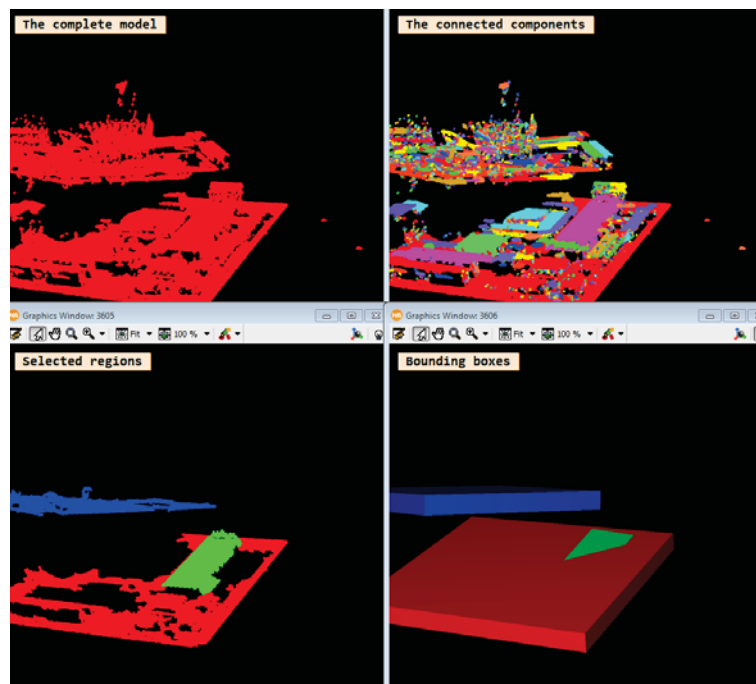
Aantal loops: 1

Stapeling1



Werkelijke ligging stapeling 1

Aantal punten

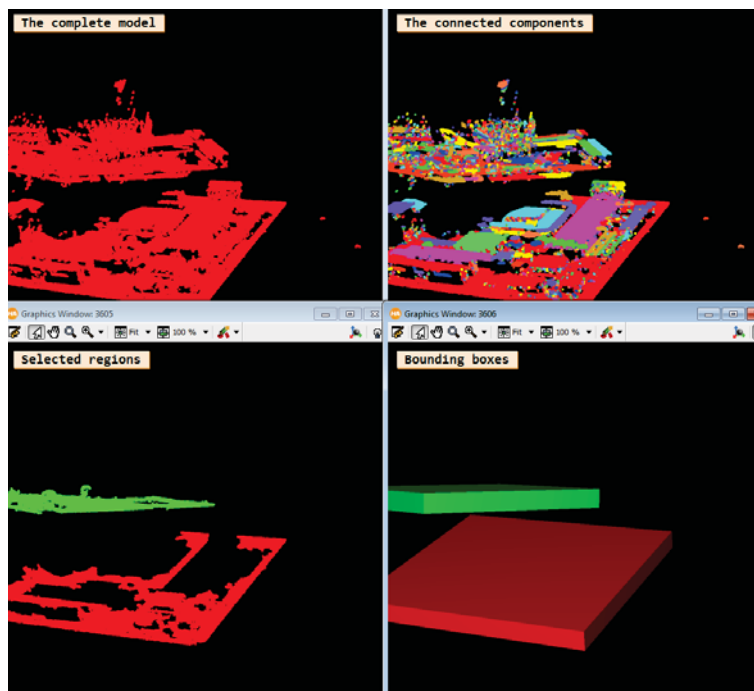


Resultaten Halcon voor stapeling 1 (aantal punten)

Aantal loops:1

De methode op basis van punten detecteert een vlak teveel als printplaat. Dit blijkt met finetunen niet beter oplosbaar zonder andere problemen te veroorzaken. Dit extra gedetecteerde oppervlak geeft echter geen nadeel voor het bepalen van de grijppositie.

Diameter bounding box



Resultaten Halcon voor stapeling 1 (bounding box)

Aantal loops: 1

Detecteert alles ok.

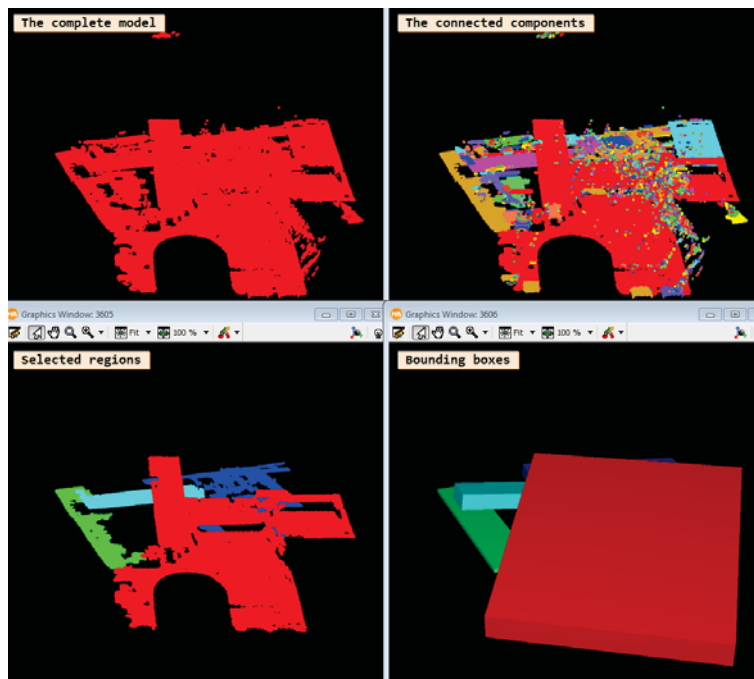
Stapeling 2



Werkelijke ligging stapeling 2

De detectie van de eerst te grijpen printplaat loopt bij beide systemen goed, de onderliggende wordt niet goed herkend. Dit is echter een tweederangsprobleem aangezien deze na het grijpen van de bovenste wel goed wordt gedetecteerd.

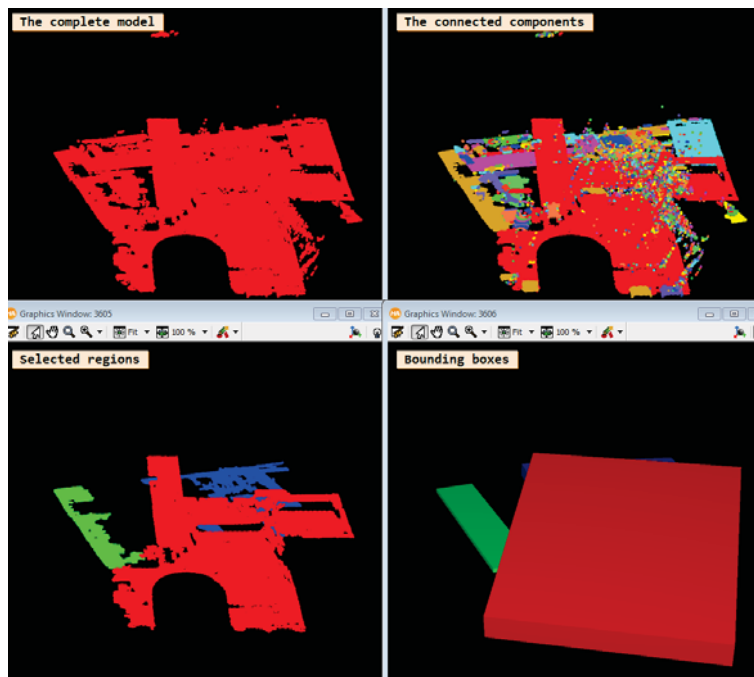
Aantal punten



Resultaten Halcon voor stapeling 2 (aantal punten)

Aantal loops: 1

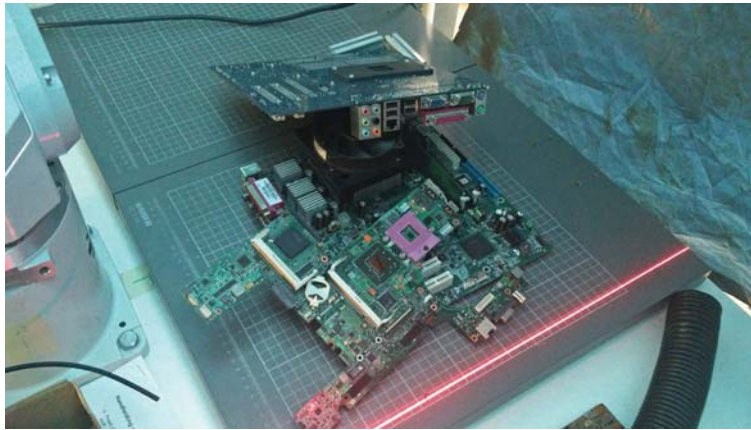
Diameter bounding box



Resultaten Halcon voor stapeling 2 (bounding box)

Aantal loops: 1

Stapeling 3



Werkelijke ligging stapeling 3

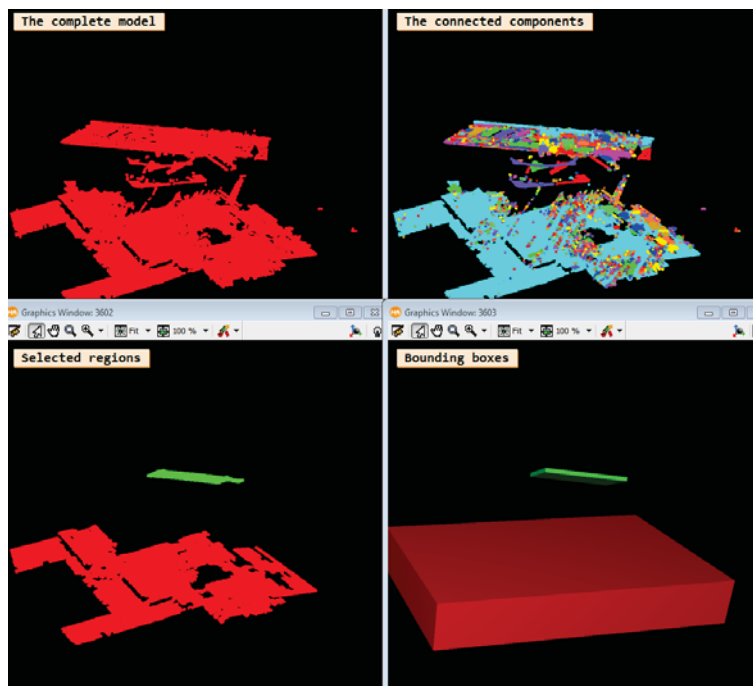
Printplaten liggend op een manier hellend weg van de camera kunnen moeilijker worden gedetecteerd. Dit komt door het lager aantal samples dan kan worden gemaakt op de printplaat. Ook zorgt dit ervoor dat het effect van occlusie door componenten op de printplaat vergroot wordt.

Probleem: De 2 onderste printplaten worden als 1 gezien en geeft een verkeerde grijppositie.

Aanpassing: Distance terug verlaagd naar 0.0013 dan kunnen de twee onderliggende printplaten wel van elkaar worden onderscheiden en levert een goede grijppositie op, de bovenste blijft ondetecteerbaar.

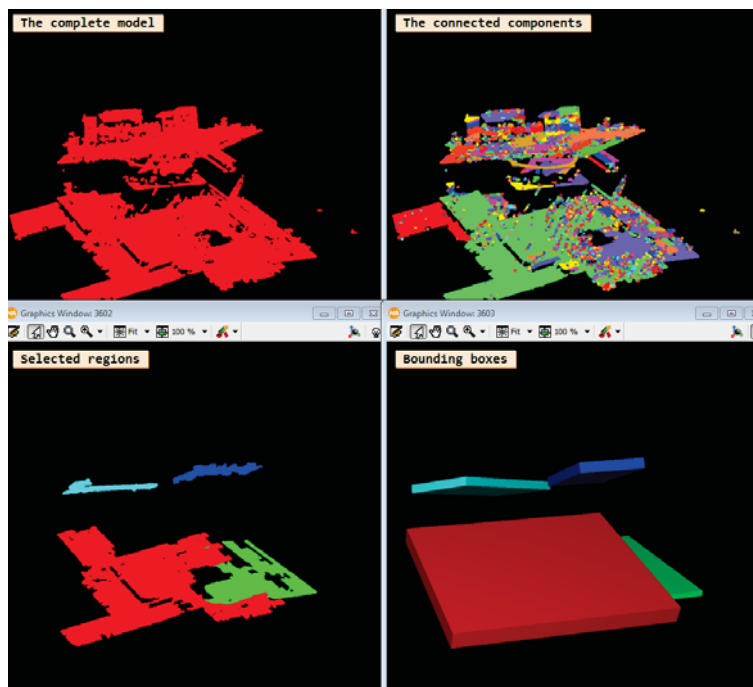
Controle van alle andere printplaten leverde op dat de distance moet worden verhoogd naar 0.00135. Alle testen leverden op deze manier een positief resultaat op.

Aantal punten



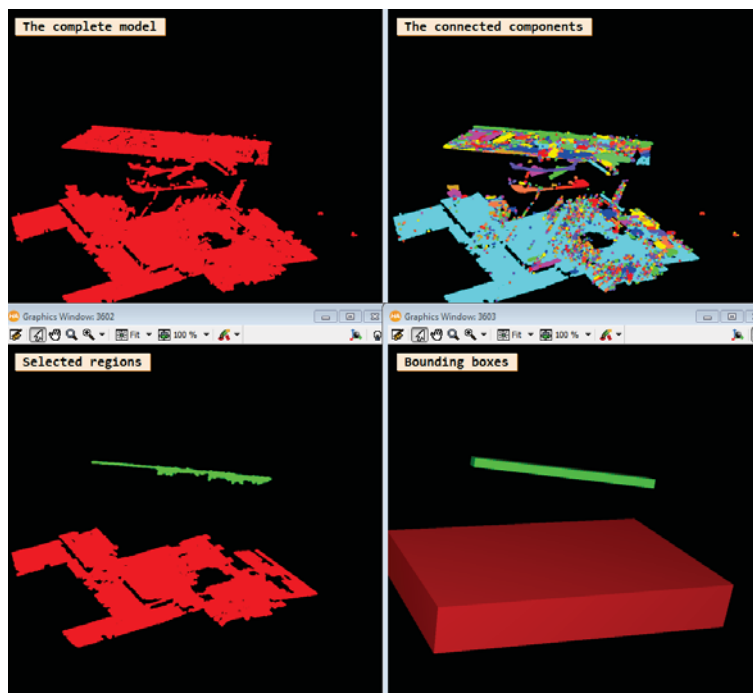
Resultaten Halcon voor stapeling 3 (aantal punten)

Aantal loops: 1



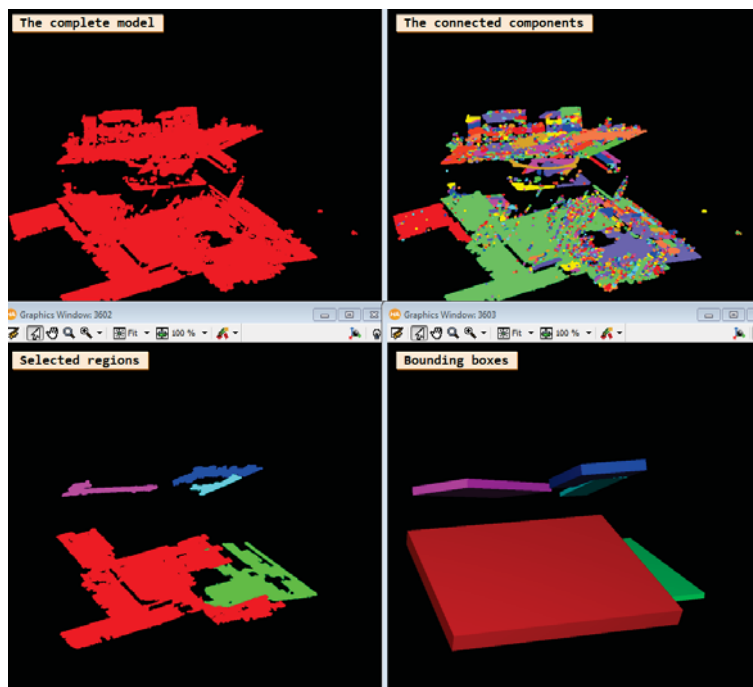
Resultaten Halcon voor stapeling 3 (aantal punten)

Diameter bounding box



Resultaten Halcon voor stapeling 3 (bounding box)

Aantal loops: 1

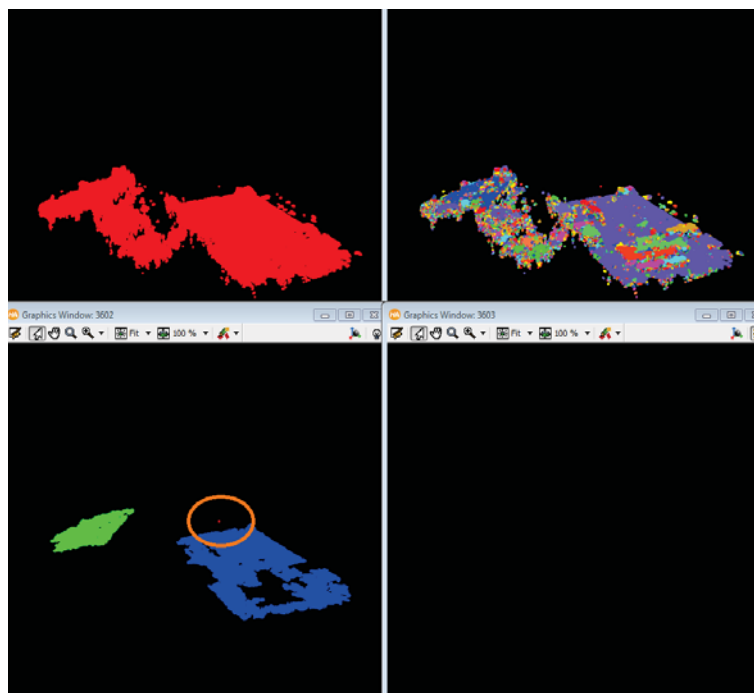


Resultaten Halcon voor stapeling 3 (bounding box)

Test en afstelling: Projected texture stereo opstelling

In dit verslag wordt het verloop van de testen van het *projected texture stereo* visiesysteem beschreven. De resultaten van de testen worden weergegeven. Hierbij wordt commentaar gegeven over de kwaliteit en over enige finetuning aan de instellingen van het visiesysteem. Voor dit systeem werden twee verschillende detectiemethodieken (gebaseerd op aantal punten of diameter van de *bounding box*) met elkaar vergeleken voor meerdere willekeurige stapelingen. Minder finetuning was hier nodig door de opgedane ervaring met het SOL systeem.

Een probleem doet zich voor bij deze opstelling. Er werd op 1 hetzelfde punt in het beeld meer dan 40000 punten gelegd. De gegevens hiervan worden weergegeven in onderstaande afbeelding.



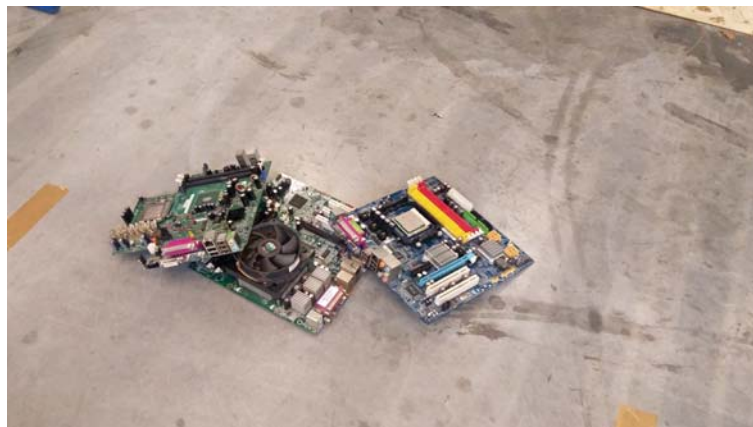
Probleempunt bij stereo camera

Parameters	ObjectModel3DSelected:0 (
▾ <input type="checkbox"/> Display Models	<input type="checkbox"/>
Model Id	11796
Color	cyan
Color Normals	light gray
▾ Base Parameter	
	0.0
Center	0.0
	0.0
Diameter	0.0
	0.0
	0.0
Bounding Box	0.0
	0.0
	0.0
▸ Points	42494
▸ Primitive Type	'none'
▸ Extended Attributes	'none'
▸ Additional Attributes	

Probleempunt bij stereo camera

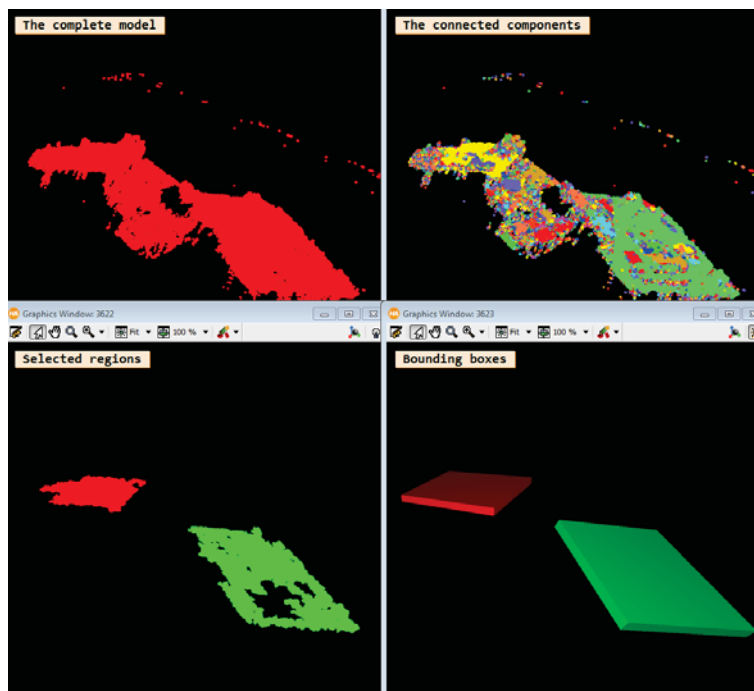
Dit werd opgelost door het toevoegen van extra methodieken.

Stapeling 1



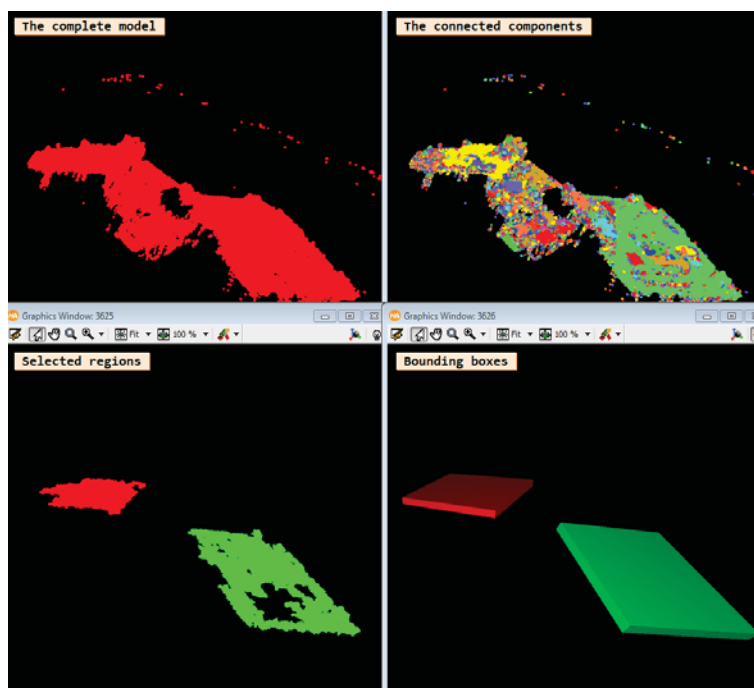
Werkelijke ligging stapeling 1

De twee bovenliggende printplaten worden goed gedetecteerd en leveren een goede grijppositie op. De onderliggende kan niet worden gedetecteerd maar dit is na het grijpen van de bovenliggenden zeker mogelijk. Distance =1.35 Min. num points=8000 Min bounding box=100

Aantal punten

Resultaten Halcon voor stapeling 1 (aantal punten)

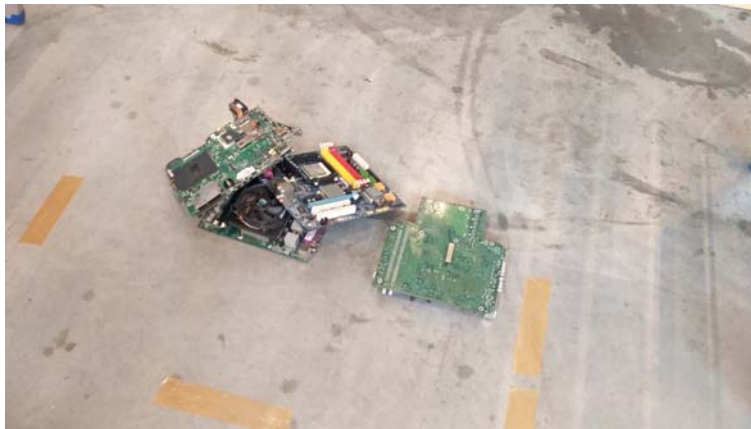
Aantal loops:1

Diameter bounding box

Resultaten Halcon voor stapeling 1 (bounding box)

Aantal loops: 1

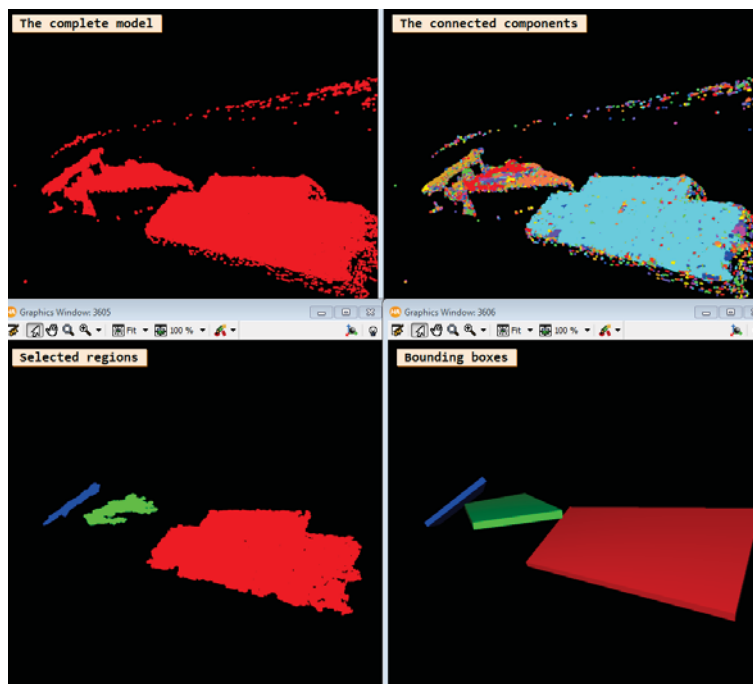
Stapeling 2



Werkelijke ligging stapeling 2

Minimum aantal punten moet worden heringesteld naar 9000 om te voorkomen dat de *heatsink* als plaat wordt gedetecteerd. Deze *heatsinks* liggen gemiddeld tussen de 8000 en 9000 punten en kunnen bijgevolg zo gedetecteerd worden.

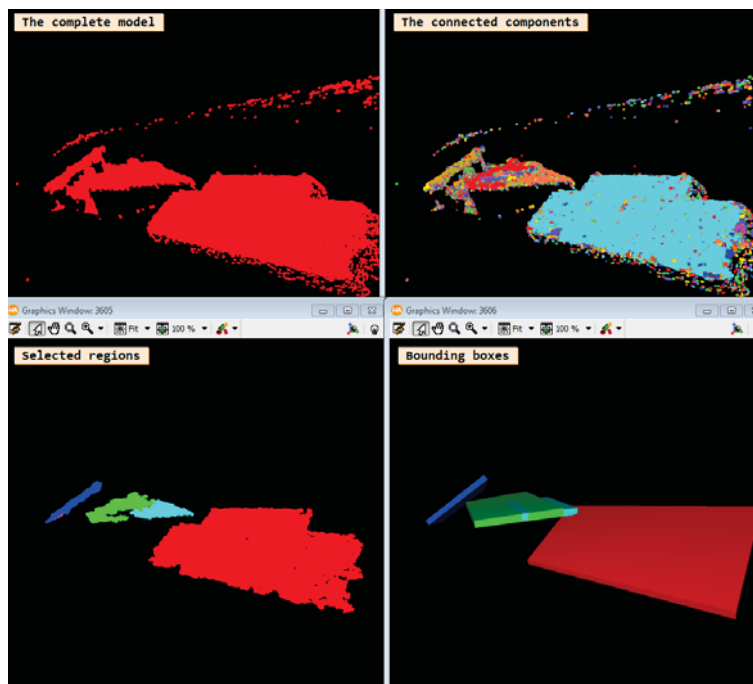
Aantal punten



Resultaten Halcon voor stapeling 2 (aantal punten)

Aantal loops: 1

Diameter bounding box



Resultaten Halcon voor stapeling 2 (bounding box)

Aantal loops: 1

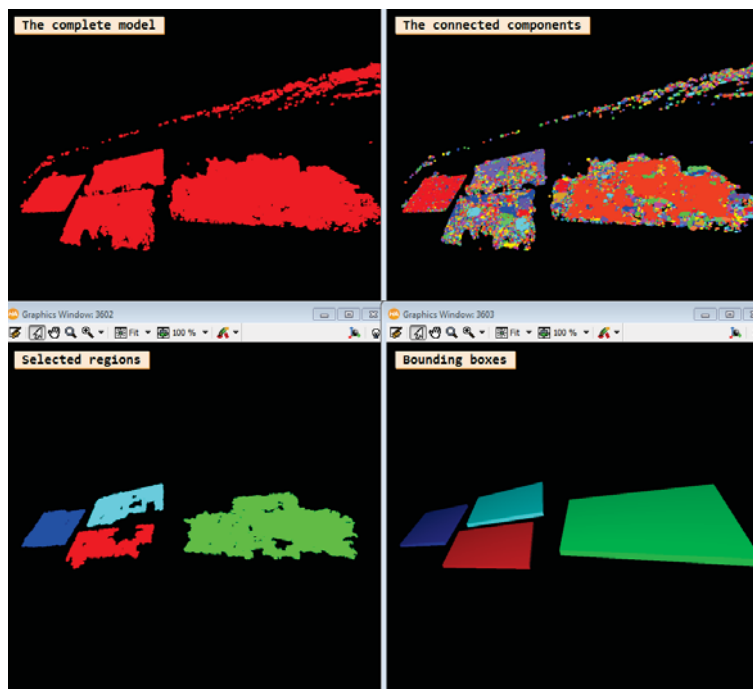
Stapeling 3

Door de niet perfecte vlakstelling van de camera vallen delen van een printplaat samen met de bodem weg, dit zorgt er voor dat deze niet wordt gedetecteerd. Met een betere opstelling kan dit probleem vermeden worden.



Werkelijke ligging stapeling 3

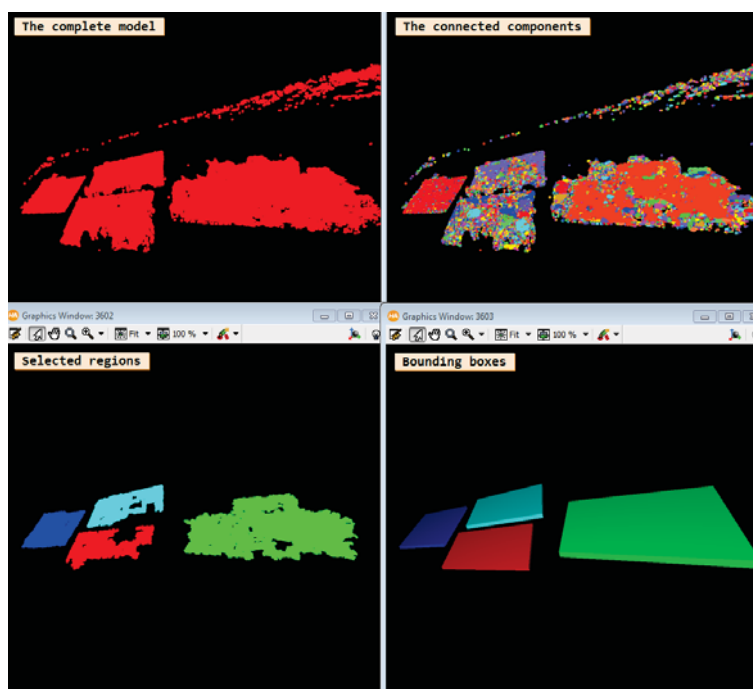
Aantal punten



Resultaten Halcon voor stapeling3 (aantal punten)

Aantal loops:1

Diameter bounding box



Resultaten Halcon voor stapeling 3 (bounding box)

Aantal loops: 1

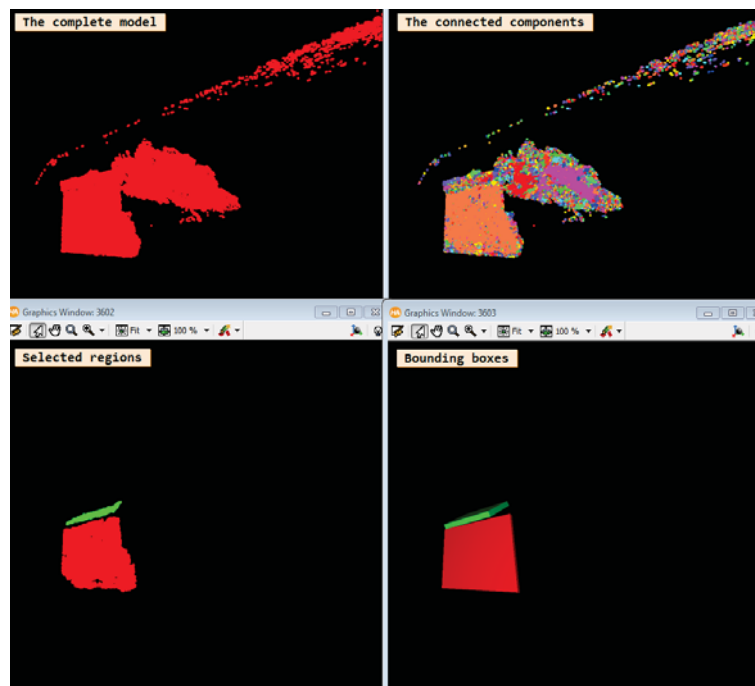
Stapeling 4



Werkelijke ligging stapeling 4

Eén van de 3 bovenliggende platen wordt niet gedetecteerd. De andere 2 leveren wel een goede grijppositie op. Mogelijk kan door het grijpen van een van deze de stapeling zodanig verstoord worden zodat de derde printplaat wel kan worden gedetecteerd.

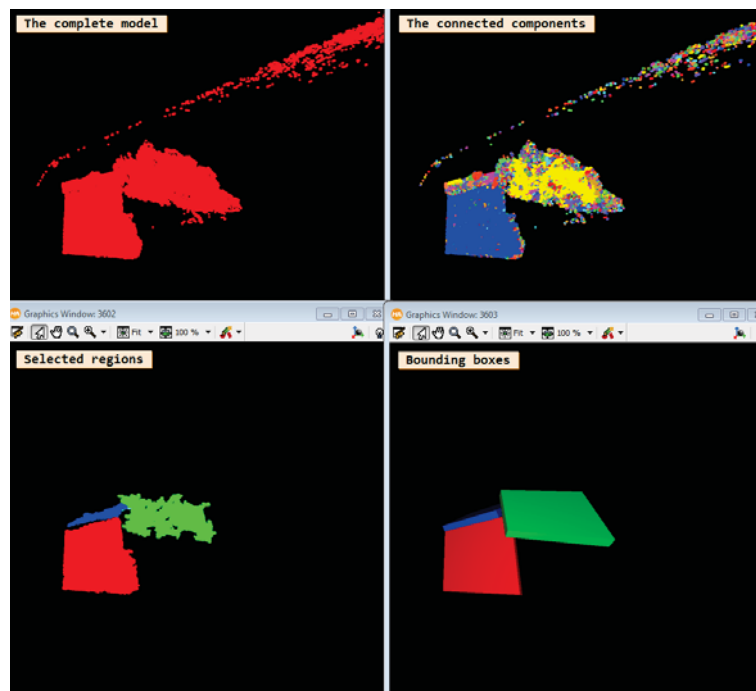
Aantal punten



Resultaten Halcon voor stapeling 4 (aantal punten)

Aantal loops: 1

Diameter bounding box



Resultaten Halcon voor stapeling 4 (bounding box)

Aantal loops: 1

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Ontwikkelen van een random bin picking opstelling voor printplaten binnen recyclageprocessen

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**
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,

Lemmens, Jeroen

Schouterden, Gert

Datum: **3/06/2018**