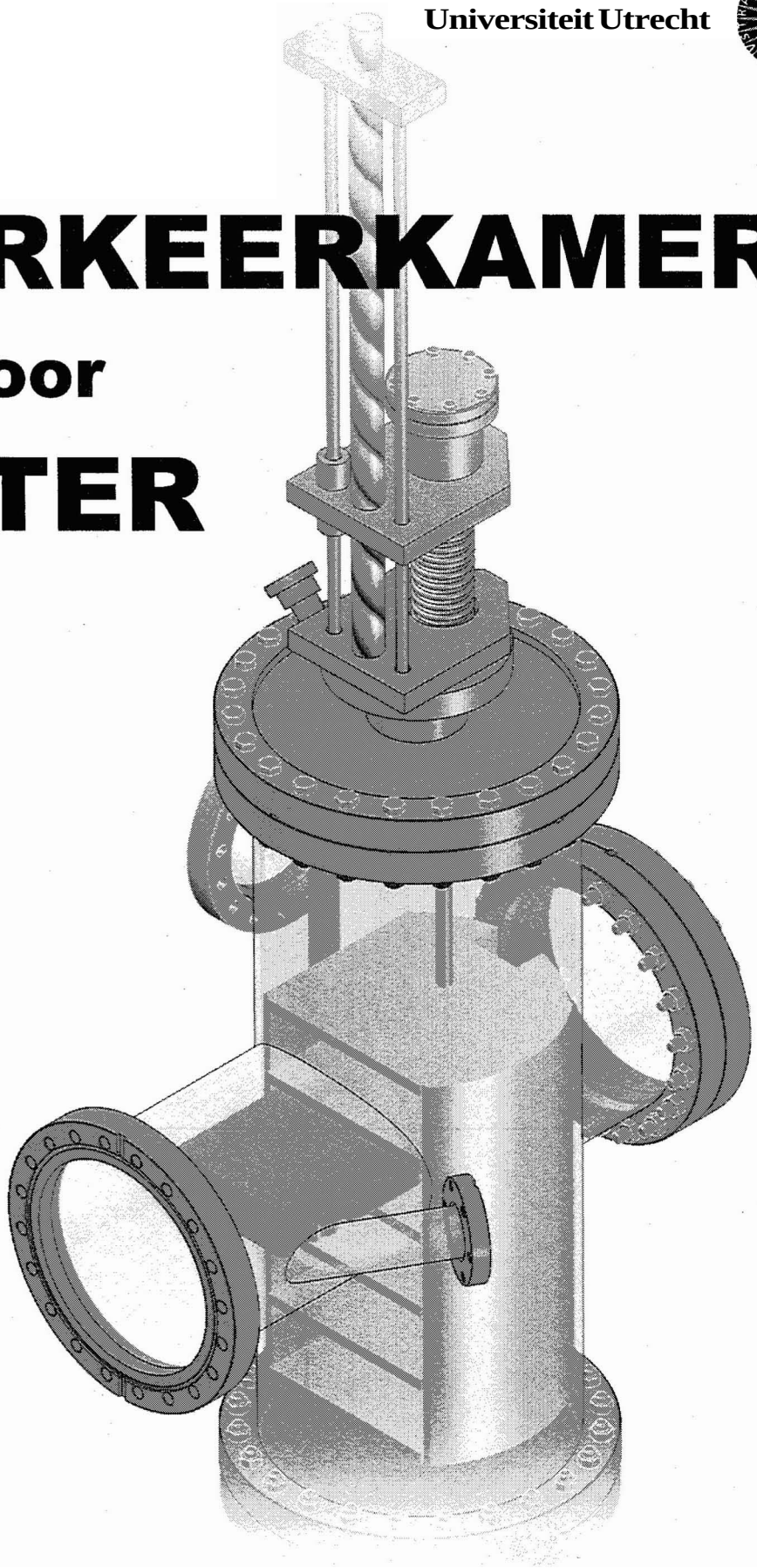
Instrumentele Groep Fysica

Universiteit Utrecht

PARKEERKAMER voor ASTER



Kees van der Neut en Remko van Hal

(2006)

PARKEERKAMER
voor
ASTER

Amorphous Silicon Thin film Experimental Reactor

Afstudeerverslag van
Kees van der Neut en Remko van Hal
(30-05-2006)

Hogeschool Utrecht
Werktuigbouwkunde – Fijn Mechanische Techniek

Bedrijfsbegeleider:
Dhr. J. Verkerk

Afstudeerstage begeleider
Hogeschool Utrecht:
Dhr. J. Gerritssen

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerverslag van Kees van der Neut en Remko van Hal.
Ons afstudeerproject voor de opleiding "Fijn Mechanische Techniek van de Hogeschool Utrecht, hebben wij uitgevoerd bij de afdeling "Instrumentele Groep Fysica", onderdeel van de Universiteit Utrecht.

Van deze gelegenheid willen we graag gebruik maken om de volgende mensen te bedanken voor de gezellige en leerzame tijd die wij hier hebben doorgebracht.

Dhr Verkerk, voor de goede begeleiding vanuit het bedrijf.
Dhr Gerritssen, voor de begeleiding vanuit school.
Opdrachtgever Dhr van Bommel voor de goede samenwerking en behulpzaamheid.
De instrumentenmakers voor de praktische tips en uitvoering van het project.
Overige medewerkers van IGF voor de informatie en de gezellige sfeer.
Medewerkers van de Universiteit Utrecht, voor de rondleidingen en de behulpzaamheid.
En last but not least, de mechanische groep ontwerpen voor de informatie, hulp, discussies, koffiezetten en gezelligheid.

12-05-2006 Kees van der Neut & Remko van Haf

Samenvatting

De opdracht betreft een uitbreiding op de **ASTER** opstelling. De **ASTER** is een meerkarner depositie opstelling waarmee onderzoek wordt gedaan naar zonnecellen. In de **ASTER** worden substraten (meestal glas gemonteerd onder een substraathouder} gebracht, waar vervolgens dmv plasmadepositie een laagje op wordt aangebracht. Omdat dit bij hoge temperaturen gebeurt, en een warm substraat niet naar buiten kan worden gebracht, moet deze in het vacuum afkoelen. Hiervoor is in de **ASTER** geen ruimte aanwezig, waardoor de productiecapaciteit stagneert. Oplossing is in het vacuum een magazijn te maken, waar een aantal substraten kunnen worden opgeslagen, en kunnen afkoelen. Hiermee hoeft het substraat niet in een bewerkingskamer af te koelen waarmee de productiecapaciteitwordt verhoogd.

Het substraat bevindt zich onder de substraathouder ivm neervallende vervuiling. Hierom moet de substraathouder horizontaal worden opgeslagen. De diameter van de vacuümkamer is bij voorkeur hetzelfde als de andere kamers van de **ASTER.** Door de beperkte ruimte moeten de substraathouders boven elkaar in het magazijn worden gestapeld.
De manipulatie arm van de **ASTER** (waarmee de substraathouders door de **ASTER** verplaatst kunnen worden) heeft niet voldoende bewegingsvrijheden om de juiste positie in het magazijn te selecteren. Hierom moet het magazijn in zijn geheel kunnen bewegen, waardoor het magazijn zelf de juiste positie kan selecteren. Omdat de substraathouders boven elkaar liggen "gestapeld" moet het magazijn in z-richting kunnen bewegen. De manipulatie arm reikt tot in het magazijn. Door een beweging in z-richting van het magazijn kan de substraathouder van de arm worden gepakt / op de arm worden geplaatst.

Bij het construeren in vacuum moet bij de materiaalkeuze rekening worden gehouden met het uitgassen en de dampspanning van materialen. Hiernaast moet er rekening worden gehouden met het gebrek aan gas en het ontbreken van een oxidehuid, **waardoor** bij beweging de materialen aan elkaar vastvreten. Smering in vacuüm is moeilijk. Door het hoge vacuum zijn afdichtingen gebaseerd op elasticiteit van materialen niet mogelijk.

Omdat de processen binnen de **ASTER** relatief langzaam verlopen, hoeft het afkoelen van de warme substraten niet snel te verlopen. De warmtestraling van de substraten wordt in het magazijn opgevangen door koelplaten, waarna deze warmte door de wand van het magazijn wordt afgevoerd. Doordat het stralen een langzaam proces is, is er voldoende tijd om deze warmte af te voeren zodat het magazijn niet te veel opwarmen. Dit is belangrijk omdat de koele substraten in het magazijn niet te veel mogen opwarmen.

De beweging van het magazijn in de z-richting zal naar het vacuum worden doorgevoerd dmv een translerende balg. Deze oplossing geeft het minst draaiende delen in het vacuum waardoor deze het betrouwbaarst is. De rechtgeleiding van het magazijn is in het vacuum geplaatst om voor voldoende stijfheid te zorgen.

De besturing van de Parkeerkamer zal de diverse fouten (zoals een botsing tussen arm en magazijn) opvangen, voor het aansturen en positioneren van het magazijn en het bijhouden van de administratie zorgen. De aandrijving van de balg is zelfremmend waardoor bij het wegvallen van het vacuüm het magazijn in positie blijft. Hiernaast zal de bestaande "botsingssensor" worden uitgebreid waardoor er ook een hardware controle is, en beschadigingen aan het systeem door een (software- / gebruikers-) fout zijn uitgesloten.

Inhoudsopgave

1 INLEIDING 8

1.1 INSTRUMENTELE GROEP FYSICA (IGF) 8
1.2 ACHTERGRONDOPDRACHT 9
1.3 OPDRACHT OMSCHRIJVING 11
1.4 TIJDSPLANNING 12

2 DE OPDRACHT 13

2.1 PROCESBESCHRIJVING 13
2.2 EISEN OPDRACHTGEVER 14
2.3 PROBLEEMANALYSE 15
2.3.1 Opslag substraathouders (magazijn) 17
2.3.2 Overnemen substraathouder 18
2.3.3 Beweging 19
2.4 PAKKET VAN EISEN 20
2.5 CONCLUSIE OPDRACHT 22

3 ONDERZOEK VACUÜMTECHNIEK 23

3.1 INLEIDING VACUÜMTECHNIEK 23
3.2 VERBINDINGEN 24
3.2.1 Losneembare verbindingen 24
3.2.2 Permanente verbindingen 24
3.3 BEWEGINGSDOORVOEREN 25
3.3.1 Balg draaidoorvoer 25
3.3.2 Balg lineair doorvoer 26
3.3.3 Magneet doorvoer 26
3.4 MATERIAALSOORTEN EN SMERING 27
3.4.1 Overzicht materialen 27
3.4.2 Beweging en smering 27
3.5 CONCLUSIE VACUÜMTECHNIEK 29

4 ONDERZOEK WARMTESTROMEN 30

4.1 GEGEVENS VAN SUBSTRAATHOUDER 30
4.2 WARMTE OVERDRACHT 31
4.2.1 Warmte transporf door straling 31
4.2.2 Warmte transport door geleiding 33
4.3 BLOKSCHEMA 34
4.4 CONCLUSIE 36
4.4.1 Uitkomst afvoer warmtestroom uit substraat 36
4.5 OPLOSSINGEN 37
4.5.1 Conclusie warmteafvoer 38
4.6 MAGAZIJNONTWERP 39

5 ONDERZOEK BESTURING 41

5.1 FOUTEN ONDERZOEK 42
5.2 CONCLUSIE FOUTEN 44
5.3 SENSOREN ONDERZOEK 45
5.3.1 Positie-opnemers 45
5.3.2 Snelheid-opnemers 46
5.3.3 Stroom-opnemers 46
5.3.4 Kracht- / moment-opnemers 47
5.4 CONCLUSIE SENSOREN 49
5.5 BESTURINGSPROGRAMMA 50
5.5.1 Werkingsvolgorde 50
5.5.2 Flowchart 52

6 CONCEPTEN 55

6.1 VERSCHILLENDE CONCEPTEN 55
6.1.1 Stangenmechanisme 55
6.1.2 Magneet 56
6.1.3 Brand op trommel 56
6.1.4 Schroefspindel 57
6.1.5 Tandheugel 57
6.1.6 Grote balg 57
6.2 KEUZE MATRIX 58
6.3 VERDERE UITWERKING 59
6.3.1 Concept tandheugel 59
6.3.2 Concept grote balg 62

7 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN 64

8 EINDWOORD 65

BRONVERMELDING / LITERATUURLIJST 66

Bijlagen

I Afstudeeropdracht formulier HU.
II Foto ASTER opstelling groot formaat.
III Tekening substraathouder.
IV Flowchart 6.x .
V Fouten onderzoek.
VI Sensoren onderzoek.

Figuren lijst

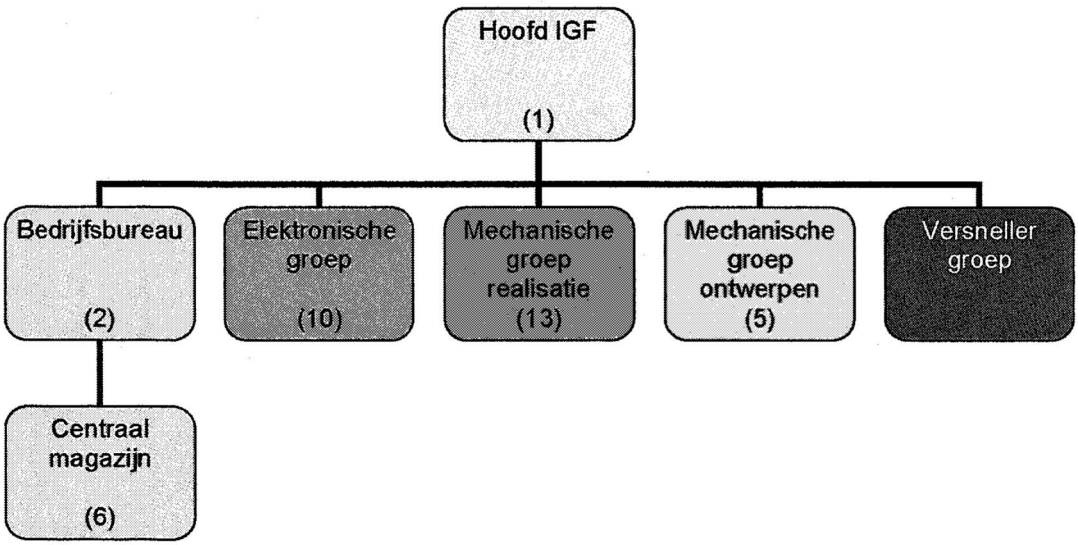
FIGUUR 1 ORGANOGRAM IGF 8
FIGUUR 2 FOTO ASTER OPSTELLING 9
FIGUUR 3 SCHEMATISCH BOVENAANZICHT ASTER 9
FIGUUR 4 SUBSTRAATHOUDER 11
FIGUUR 5 TIJDSPLANNING 12
FIGUUR 6 SUBSTRAATHOUDER + SUBSTRAAT 13
FIGUUR 7 OVERNEMEN VAN SUBSTRAATHOUDER 13
FIGUUR 8 MECHANISCH BLACKBOX 15
FIGUUR 9 MECHANISCH BLOKSCHEMA DEELFUNCTIES 15
FIGUUR 10 BLOKSCHEMA PLAATSEN IN MAGAZIJN 1 15
FIGUUR 11 BLOKSCHEMA PLAATSEN IN MAGAZIJN 2 16
FIGUUR 12 HORIZONTAAL OPSLAAN 17
FIGUUR 13 VERTIKAAL OPSLAAN 17
FIGUUR 14 COMBINATIE HORIZONTAAL/ VERTIKAAL OPSLAAN 17
FIGUUR 15 OVERNEEMMOGELIJKHEDEN SUBSTRAATHOUDER (BOVENAANZICHT) 18
FIGUUR 16 TABEL: OVERZICHT VASTPAKKEN SUBSTRAAT 18
FIGUUR 17 TABEL: UITEENZETTING VAN BEWEGINGSMOGELIJKHEDEN 19
FIGUUR 18 CONFLAT FLENZEN 24
FIGUUR 19 CONFLAT FLENZEN "CUTAWAY-VIEW" 24
FIGUUR 20 GOLFBALG EN SCHOTELBALG 25
FIGUUR 21 BALG DRAAIDOORVOER [7] 25
FIGUUR 22 BALG LINEAIR DOORVOER [7] 26
FIGUUR 23 GEGEVENS SUBSTRAATHOUDER 30
FIGUUR 24 WARMTE OVERDRACHT 31
FIGUUR 25 WARMTETRANSPORT DMV GELEIDING 33
FIGUUR 26 SIMULATIE SCHEMA 20-SIM 34
FIGUUR 27 GRAFIEK: RESULTATEN BIJ STRALEN 35
FIGUUR 28 GRAFIEK: RESULTATEN BIJ GELEIDEN 35
FIGUUR 29 TABEL: CONCLUSIE STRALING 36
FIGUUR 30 OPLOSSINGEN WARMTE NAAR BUITENWERELD 37
FIGUUR 31 TABEL: KEUZE WARMTEAFVOER 38
FIGUUR 32 MAGAZIJNONTWERP 39
FIGUUR 33 WARMTESTROOM MAGAZIJN 39
FIGUUR 34 TABEL: FOUTEN IN DE PARKEERKAMER 43
FIGUUR 35 TABEL: OVERZICHT SENSOREN 48
FIGUUR 36 MAGAZIJN SUBSTRAAT- EN ARMSTAND 50
FIGUUR 37 BESTURING DATABASE 5 0
FIGUUR 38 ROUTE ARM EN BESLISPUNT 51
FIGUUR 39 FLOWCHART BASISLOOP 53
FIGUUR 40 STANGENMECHANISME CONCEPT 55
FIGUUR 41 MAGNEETCONCEPT 56
FIGUUR 42 BAND OP TROMMEL CONCEPT 56
FIGUUR 43 SCHROEFSPINDEL CONCEPT 57
FIGUUR 44 TANDHEUGEL CONCEPT 57
FIGUUR 45 GROTE BALG CONCEPT 57
FIGUUR 46 KEUZE MATRIX CONCEPTEN 5 8
FIGUUR 47 3D TEKENING TANDHEUGEL CONCEPT 60
FIGUUR 48 TABEL: PRIJS TANDHEUGEL CONCEPT 61
FIGUUR 49 3D TEKENING GROTE BALG CONCEPT 62
FIGUUR 50 TABEL: PRIJS GROTE BALG CONCEPT 63

1 Inleiding

1.1 Instrumentele Groep Fysica (IGF)

IGF (Instrumentele Groep Fysica) is een onderdeel van de Universiteit Utrecht. Het IGF richt zich op het vervaardigen van mechanische en elektronische apparatuur.

IGF is als volgt ingedeeld' (zie: Figuur 1 Organogram IGF).
Tussen de haakjes staan het aantal mensen dat op de afdeling werkt.



Figuur 1 Organogram IGF

Wij studeren af bij de Mechanische Groep Ontwerpen waarmee deze afdeling groeit van 5 naar 7 man.

De Elektronische Groep (EG) is verantwoordelijk voor het ontwerpen1ontwikkelen, vervaardigen van elektronische hard- en software. Deze kunnen deel uitmaken van een mechatronisch systeem, maar kan ook een op zichzelf staand systeem zijn. Het ontwikkelen en testen van de verschillende systemen gebeurd binnen het bedrijf, terwijl productie van printplaten en bestücking wordt uitbesteed. Hiernaast is er veel ervaring binnen het bedrijf met het maken van applicaties op de pc (Windows, Linux) voor bijvoorbeeld het verwerken van meetgegevens.

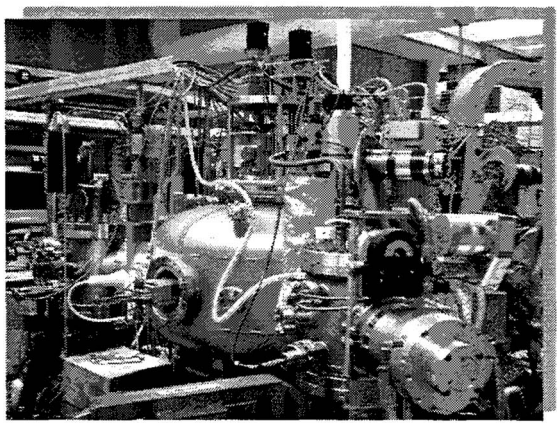
De Mechanische Groep Ontwerpen (MGO) ontwerpt mechanische en mechatronische systemen (in samenwerking met de Elektronische Groep). Deze apparatuur wordt binnen de Universiteit Utrecht gebruikt voor diverse onderzoeken. Door de diversiteit aan onderzoeken en onderzoeksapparatuur binnen de universiteit heeft de MGO kennis over diverse disciplines nodig. Bijvoorbeeld: elastische scharnieren, statisch bepaald en statisch overbepaald construeren, extreem hoog vacuüm, cryogene technieken[2], optica en optiekvattingen.

De Mechanische Groep Realisatie (MGR) vervaardigt, onderhoudt, repareert en modificeert onderzoeksapparatuur. Deze groep heeft diverse technieken tot zijn beschikking om de diverse projecten te kunnen realiseren. Enkele technieken hiervan zijn: CNC draaien, CNC frezen, draad- en zinkvonken en vacuümsolderen. Hiernaast zijn er diverse gereedschappen beschikbaar voor de eindcontrole zoals: vacuüm testapparatuur en diverse meetgereedschappen (3D meetmachine).

[1] Bron: 1
[2] Cryogeen letterlijk: koudmakend. Apparatuur waarbij met zéér lage temperaturen wordt gewerkt / waarbij met temperatuurverlagende stoffen wordt gewerkt (bijvoorbeeld stikstof).

1.2 Achtergrond opdracht

Binnen de faculteit Natuur en Sterrenkunde zijn diverse onderzoeksgroepen actief. De onderzoeksgroep Suríaces, Interfaces and Devices heeft in de persoon van dhr. C. van Bommel een aanpassing van een onderzoeksapparaat aangevraagd bij het IGF. Deze aanvraag is door het IGF in samenspraak met dhr. C. van Bommel toegekend als afstudeeropdracht.
De onderzoeksgroep Surfaces, Interfaces and Devices houdt zich onder andere bezig met het onderzoek naar zonnecellen. Hierbij wordt vooral onderzoek gedaan naar het verbeteren van de efficiency, en het verlagen van de kosten van zonnecellen.

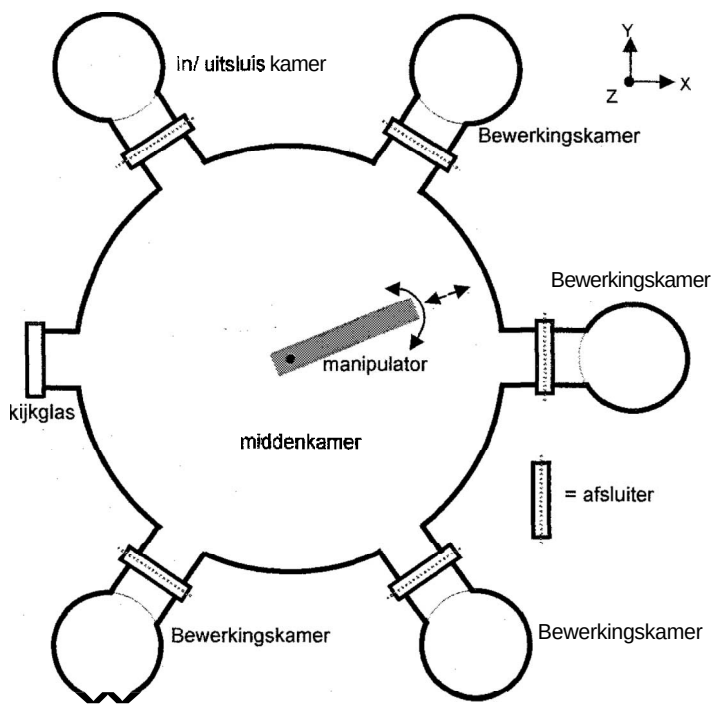


Grote versie in bijlage .

Figuur **2 Foto ASTER** opstelfing

Één van de opstellingen die gebruikt wordt voor dit onderzoek is de ASTER (zie: Figuur 2 Foto ASTER opstelling). De ASTER is een vacuümsysteem dat de mogelijkheid biedt verschillende bewerkingen op een klein formaat substraat[3] uit te voeren. Hierbij moet gedacht worden aan het op het substraat aanbrengen van laagjes van diverse materialen en diverse diktes doormiddel van plasma depositie.

De ASTER is opgebouwd uit een centrale middenkamer, met daaromheen geplaatst **een** aantal kleine kamers waarin de verschillende bewerkingen kunnen worden uitgevoerd (zie: Figuur 3 Schematisch bovenaanzicht ASTER). Zowel de middenkamer met manipulatorarm als de bewerkingskamers bevinden zich in een vacuüm van 10^{-8} mbar. Tussen de middenkamer en de diverse bewerkingskamers zijn afsluiters aangebracht om het proces te isoleren van de rest van de opstelling. De manipulatorarm in de middenkamer dient voor het verplaatsen van substraten naar de verschillende kamers. Hiervoor heeft de arm 2 vrijheden gekregen die buiten het vacuüm door 2 motoren wordt bediend. De arm kan roteren rond de verticale as (z-as) om de verschillende kamers te kunnen bereiken. Tevens kan de arm in- en uitschuiven in het horizontale vlak (x-y vlak) om een substraat in of uit een kamer te kunnen halen. Het substraat kan van de arm worden getild, of op de arm worden gelegd door een liftsysteem dat in de kamers aanwezig is.



Figuur 3 **Schematisch bovenaanzicht ASTER**

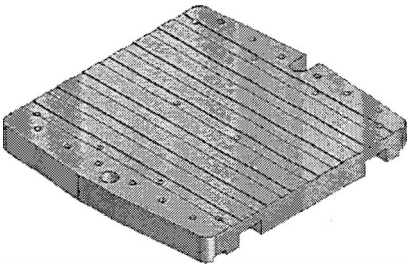
In de bewerkingskamers wordt het substraat tegen een verwarmingsplaat geklemd waarna het (afhankelijk van het substraat en het proces) wordt verwarmd tot maximaal 250°C. Vervolgens wordt een laag aangebracht door middel van plasma depositie. Het proces vindt plaats in een afgesloten kamer en de chemische samenstelling van de laag is per kamer verschillend. Wanneer er verschillende lagen op elkaar worden aangebracht, zal het preparaat meerdere kamers moeten aandoen. Wanneer het proces is afgelopen wordt

[3] Het substraat is het basismateriaal waarop de zonnecel wordt gemaakt.

de afsluiter tussen bewerkingskamer en middenkamer geopend en wordt het substraat uit de kamer gehaald om in het vacuum, in een "koele" omgeving, af te koelen tot kamertemperatuur.
Voor het in- en uitvoeren van substraten is er een in- en uitsluis kamer die afgesloten en belucht kan worden zonder het vacuum in de overige ruimtes van de ASTER aan te tasten. In de in- en uitsluis kamer is er plaats voor één substraat. Op de ASTER is er nog één flens vrij waar een kijkvenster op gemonteerd is. Dit venster wordt gebruikt om de bewegingen in de ASTER te kunnen volgen en aan de hand van ingeslagen nummers te controleren welk substraat zich op de manipulatorarm bevindt.

1.3 Opdracht omschrijving

Binnen de **ASTER** circuleren de substraathouders van kamer tot kamer **(zie: Figuur 3 Schematisch bovenaanzicht ASTER)** totdat de gewenste laagjes gemaakt zijn. Hierna kan het substraat **(zie: Figuur 4 Substraathouder)** uit de **ASTER** worden genomen en een nieuw substraat worden ingevoerd. Het probleem is echter dat het substraat nog warm is.
Wanneer het substraat direct uit het vacuüm aan de lucht wordt blootgesteld ontstaat een temperatuurschok die het laagje kan doen laten springen. Hiernaast heeft de omgevingslucht directe invloed op het laagje waardoor de eigenschappen op een ongewenste manier veranderen. Het substraat moet dus afkoelen in de gecontroleerde vacuumomgeving voordat het uit de ASTER kan worden verwijderd.



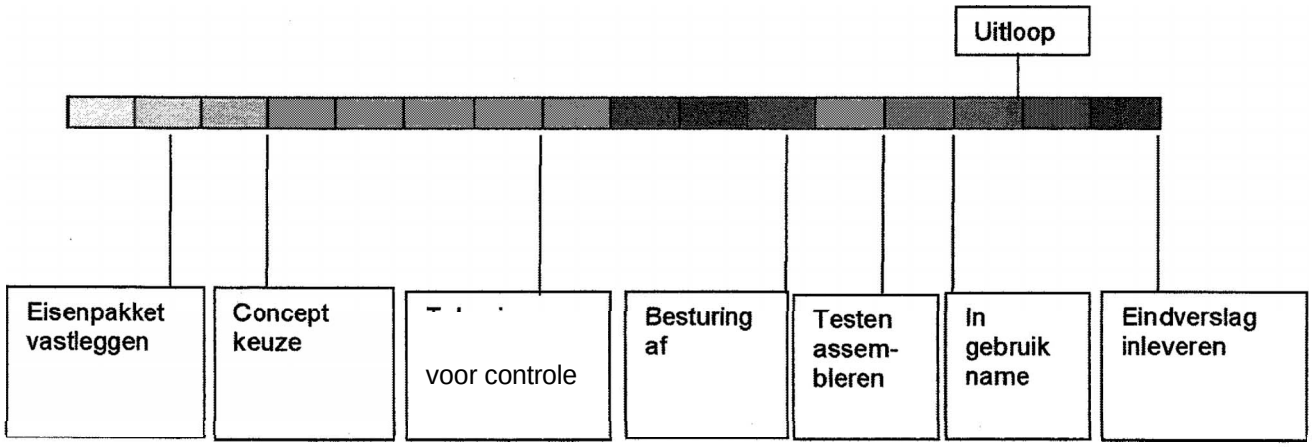
Figuur 4 Substraathouder

Hieruit volgt dan ook direct het probleem dat zich voordoet met de ASTER opstelling. Alle posities waar een substraat kan liggen hebben een functie. Wanneer een substraat moet afkoelen zal er altijd een positie binnen de **ASTER** moeten worden 'opgeofferd" voor het afkoelende substraat. In de praktijk is dit meestal de in- uitsluis kamer, maar als deze reeds bezet is zal het preparaat moeten wachten in een koele depositiekamer. Hierdoor stagneert de doorstroming van substraten binnen de **ASTER** en kan de productiecapaciteit van de depositiekamers slechts ten dele worden benut.

Doel: Het verhogen van de productiecapaciteit van preparaten in de ASTER, door het toevoegen van opslagcapaciteit.

Functie: Het opslaan en gecontroleerd afkoelen van preparaten in **de ASTER** (onder vacuumcondities).

1.4 Tijdsplanning



Figuur 5 Tijdsplanning

(elk blok is *1* week)

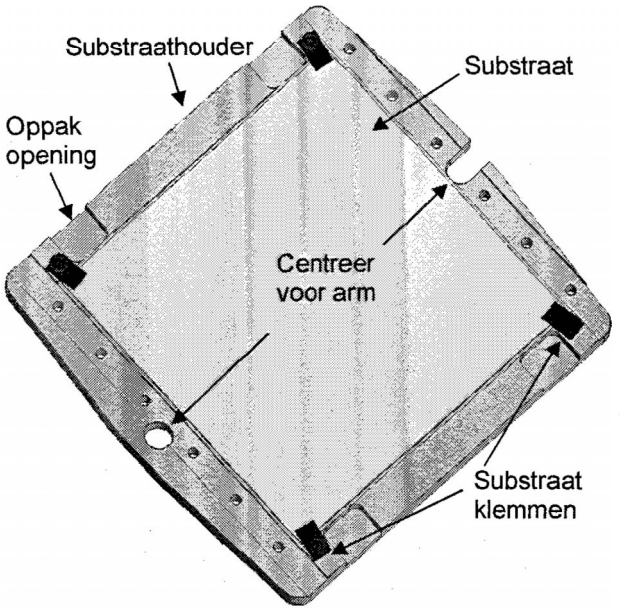
Eisenpakket vastleggen:	16-2-'06 willen we graag in beginsel dat alle eisen zijn vastgelegd, dit kan in de loop van het project nog worden aangepast.
Concept keuze:	27-2-'06 willen we graag uit de verschillende concepten die we gemaakt hebben er een uitgekozen hebben
Tekeningen af:	27-3-'06 willen we graag de tekeningen af hebben voor de controle, hierna willen we met iemand van de werkplaats de tekeningen gaan bespreken en eventueel aanpassen.
Besturing af:	17-4-'06 willen we graag de besturing af hebben.
Testen/Assembleren:	1-5-'06 willen we graag de parkeerkamer helemaal af hebben, zodat er getest en ingesteld kan worden.
In gebruik name:	8-5-'06 willen we graag de parkeerkamer in gebruik laten nemen.
Uitloop:	Hier hebben we 1 week ingepland voor uitloop
Eindverslag inleveren:	30-5-'06 moeten we het eindverslag inleveren.

2 De opdracht

2.1 Procesbeschrijving

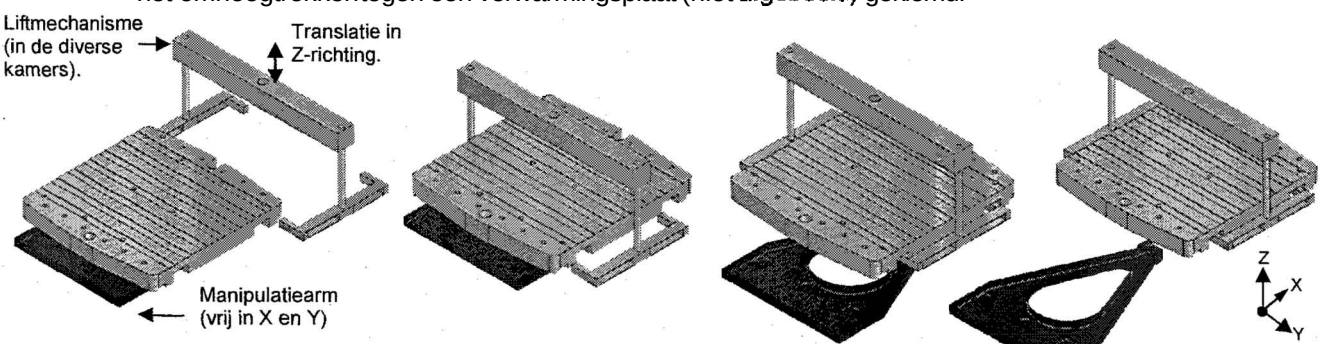
Het kwetsbare substraat (bijvoorbeeld glas) wordt tegen een substraathouder (zie: Figuur 4 Substraathouder) geklemd om dit veilig en goed te kunnen positioneren in het vacuum. Van de substraathouder bestaat een titanium en een aluminium versie.

Het substraat wordt *onder* de substraathouder geklemd (zie: Figuur 6 Substraathouder+ substraat) in verband met neervallende verontreinigingen. Er zijn daartoe diverse schroefgaten in de substraathouder gemaakt om het substraat vast te kunnen zetten.



Figuur 6 Substraathouder+ substraat

Het overnemen van de substraathouder in de verschillende kamers (bewerking- en sluiskamer) van de ASTER gebeurt met behulp van een liftmechanisme dat in iedere kamer is aangebracht (zie: Figuur 7 Overnemen van substraathouder). De manipulatiearm met hierop een substraathouder kan roteren om de z-as en kan in en uitschuiven waardoor deze binnen de ASTER het gehele x-y vlak kan bereiken. Wanneer een kamer is bereikt, schuift de manipulatiearm uit zodat de substraathouder tussen het liftmechanisme komt te hangen (zie: Figuur 7 - A). Vervolgens wordt het liftmechanisme omhoog bewogen (zie: Figuur 7 - B) zodat de substraathouder van de manipulatiearm wordt getild, en de arm vrijkomt (zie: Figuur7 - C). Vervolgens kan de arm worden teruggetrokken (zie: Figuur 7 - D). De substraathouder wordt bij het omhoogtrekken tegen een verwarmingsplaat (niet afgebeeld) geklemd.



A: Arm met substraat komt kamer binnen.

B: Lift beweegt omhoog.

C: Substraat los van arm.

D: Arm gaat uit kamer.

Figuur 7 Overnemen van substraathouder

Vervolgens kan de afsluiter tussen de middenkamer en de bewerkingskamer in- uitsluis kamer (zie: Figuur 3 Schematisch bovenaanzicht ASTER) worden gesloten om het substraat te bewerken, of deze uit het vacuum te verwijderen en zo plaats te maken voor een nieuw substraat.

Om het proces binnen de ASTER te kunnen volgen (op de ASTER zitten maar een beperkt aantal kijkvensters), zijn er op de (manipulatie-)arm **2** sensoren geplaatst Één sensor bepaalt of de arm met eventueel het daarop liggende substraathouder contact maakt met de omgeving. Wanneer de automatische besturing is ingeschakeld, zal de arm stoppen bij een botsing met de omgeving. De andere sensor bepaald of er op de arm een substraathouder aanwezig is (genaamd: "plakdetectie"). Het liftmechanisme in de verschillende kamers heeft géén detectie om de aanwezigheid van een substraathouder te bepalen.

2.2 Eisen opdrachtgever

Hieronder zijn de eisen weergegeven zoals deze overhandigd zijn aan het begin van de afstudeerperiode. Aan de hand van deze eisen is er een onderzoek gestart naar de mogelijke oplossing.
Gedurende het gehele project zijn de eisen diverse keren bijgesteld naar gelang de nieuwe bevindingen. In paragraaf 2.4 "Pakket van eisen" is deze weergegeven.

Eisen van de opdrachtgever aan het begin van het project:

- Opslag voor minimaal 5 substraathouders.
- Geen koeling/ verwarming nodig.
- Digitale uitlezing van substraathouder in parkeerkamer met samplenummer.
- Optische uitlezing (A,B,C,D..) van substraathouder in Parkeerkamer.
- Beveiliging voor botsing robotarm met kamer, liftsysteem en substraathouders.
- Manuele bediening moet mogelijk zijn (automaat uitschakelen).
- Geen aansluiting voor pomp.
- Bevestiging centrale kamer aan DN160CF[4] flens.
- Tussenflens van 70mm DN160CF om compatibel te blijven met andere kamers.
- Boven- en onderdeksel DN200CF flens.
- Bestaand kijkvenster (DN160CF Rens) monteren aan Parkeerkamer voor zicht in centrale kamer.
- Aansluiting aan zijkant Parkeerkamer (mini-CF flens) voor drukmeter.
- Besturing in bestaande 1 9 rack.
- Maximale diepte (i.v.m. frame) t.o.v. middelpunt DN160CF is 58cm i.v.m. verwijderen bodemplaat niet dieper dan 50cm (alleen indien bodemplaat vlak is).
- Liftsysteem alleen op bovenflens monteren.
- Ondersteuning van hele Parkeerkamer aan bestaand frame.
- Maximale takelhoogte loopkat 3 meter (vloer tot haak) zonder hijsbanden/hijsogen.

Wensen:

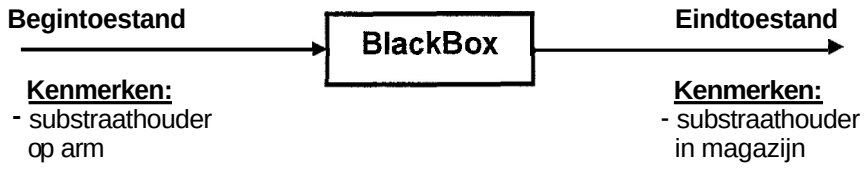
- Digitale uitlezing van substraathouder en samplenummer voor hele ASTER.
- Verlichting in Parkeerkamer (bevordering uitlezing).
- Eventueel uitbreiding verlichting schijnend in centrale kamer.
- Beveiliging botsing door bezette plaats (substraathouder tegen substraathouder) in gehele ASTER.

Door de opdrachtgever is de naam "***Parkeerkamer***" geopperd. Deze naam zal vanaf hier worden gebruikt.

[4] DN160CF: genormeerde flens voor Ultra High Vacuüm (UHV) gebruik (zie: 3.2.1 Losneembare verbindingen).

2.3 *Probleemanalyse*

De functie is het opslaan van substraathouders in een hoogvacuum omgeving.
Allereerst wordt doormiddel van de blackbox methode (zie: Figuur 8 Mechanisch blackbox) een eenvoudig blokschema opgesteld om de verschillende deelfuncties te verkrijgen. Vervolgens worden de verschillende deelfuncties nader bekeken.

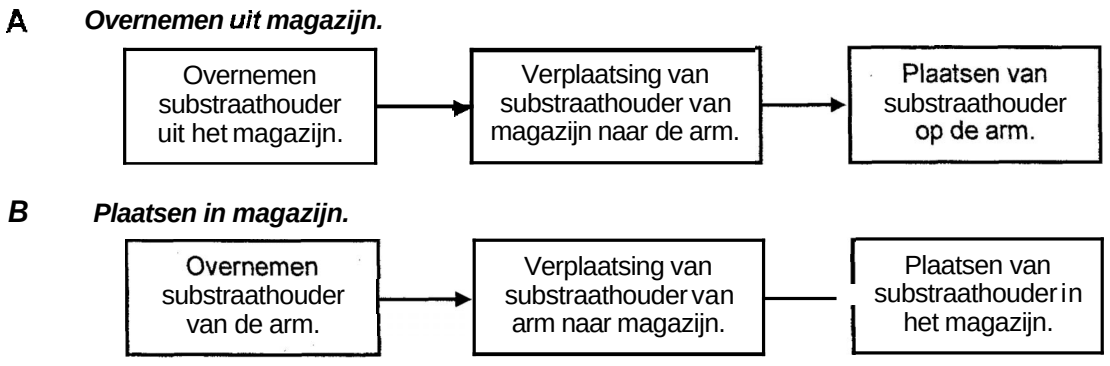


Figuur 8 Mechanisch blackbox

Er zijn 3 verschillende handelingen te onderscheidden. Wanneer er uitgegaan wordt van het opvragen van een substraathouder zijn dat de volgende drie handelingen (zie: Figuur 9 Mechanisch blokschema deelfuncties – A: pakken uit magazijn).

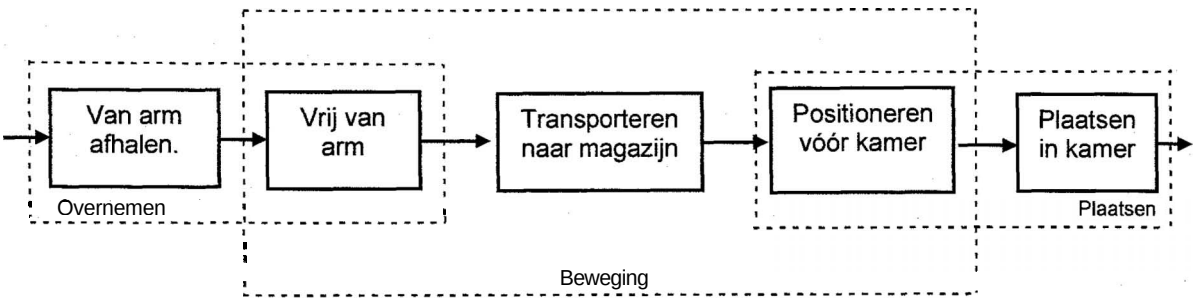
1. Het overnemen van de juiste substraathouder uit het magazijn.
2. Het verplaatsen van de substraathouder van het magazijn naar de plek waar de arm van de ASTER deze komt oppikken.
3. Het plaatsen van de substraathouder op de arm van de ASTER.

Vanzelfsprekend moeten er ook substraathouders in het magazijn kunnen worden geplaatst (zie: Figuur 9 Mechanisch blokschema deelfuncties – B: plaatsen in magazijn).



Figuur 9 Mechanisch blokschema deelfuncties

Dit schema is nog iets uit te bereidden tot een schema waar in elk blok een duidelijk te definiëren functie staat (zie: Figuur 10 Blokschema plaatsen in magazijn). Voor het ophalen van een substraathouder uit het magazijn is een soort: gelijk schema te maken.



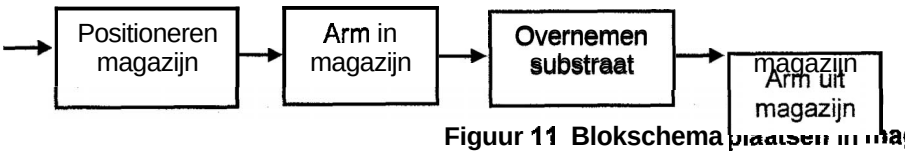
Figuur 10 Blokschema plaatsen in magazijn

Bij deze aanpak wordt het substraat van de arm overgenomen, waarna deze getransporteerd wordt naar het magazijn. Vervolgens wordt deze op de juiste positie in het magazijn geplaatst.
Voor het "overnemen" van de substraathouder is een vrijheid nodig. Vervolgens is er een verplaatsing in het horizontale vlak nodig, voor het verplaatsen van de substraathouder van de arm naar het magazijn. Hier moet vervolgens het substraat op de juiste positie in het magazijn worden geplaatst.

Een manier om een aantal bewegingen te voorkomen, is door het magazijn bij de arm te brengen. Hierdoor valt het tussenliggende transport weg!
De handelingen voor het opvragen van een substraathouder worden achtereenvolgend:

1. Magazijn op juiste positie brengen.
2. A m in magazijn brengen.
3. Substraathouder overnemen (arm uit magazijn halen).

Uitgewerkt komt dit neer op onderstaand schema.



Figuur 11 Blokschema plaatsen in magazijn 2

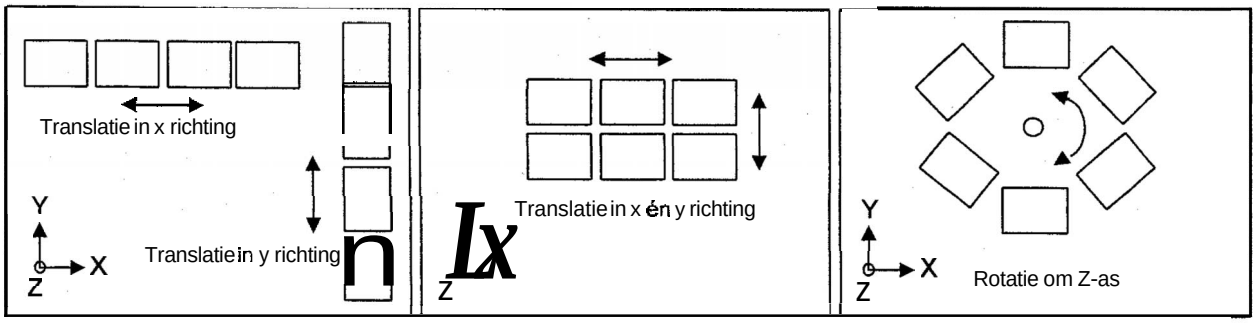
Bij deze aanpak wordt *niet* de substraathouder verplaatst tussen de arm en het magazijn, maar wordt het gehele magazijn bewogen (**zie: Figuur 11 Blokschema plaatsen in magazijn 2).**
Voordeel hiervan is dat een aantal functies worden samengenomen. Zo kan het optillen en weer plaatsen van de substraathouder worden gevangen in de beweging van het magazijn. Hierdoor zijn er in totaal minder bewegingsvrijhedennodig, waardoor het geheel eenvoudiger wordt.

2.3.1 Opslag substraathouders (magazijn)

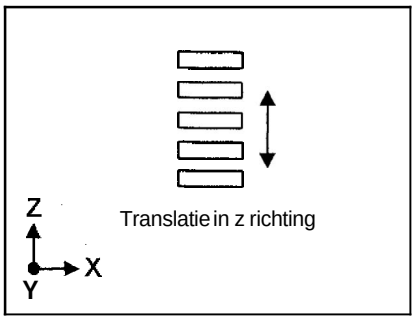
Omdat de substraathouder met het substraat naar beneden gericht moet blijven (tegen vervuiling van het substraat), is de oriëntatie van de houder beperkt tot horizontaal.
Ook de doorgang van de middenkamer naar de parkeerkamer heeft een voorgedefinieerde afmeting net als de afmetingen van de boven en de onderflens.
De substraathouders kunnen alleen naast elkaar, of boven elkaar worden geplaatst.
Opties voor het opslaan van de substraathouders zijn:

- Horizontaal opslaan, naast elkaar leggen in x-y vlak (zie: Figuur 12 Horizontaal opslaan).
- Vertikaal opslaan, op elkaar stapelen in z-richting (zie: Figuur 13 Vertikaal).
- Combinaties van horizontaal en verticaal stapelen (zie: Figuur I 4 Combinatie horizontaal/ vertikaal).

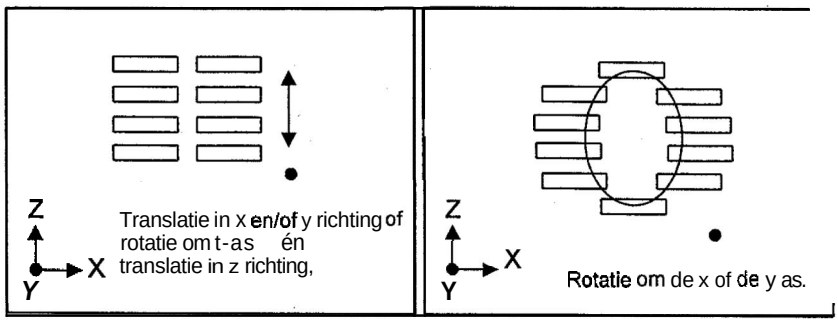
De manier van opslag is vooral afhankelijk van de beschikbare ruimte in de parkeerkamer.



Figuur I 2 Horizontaal opslaan



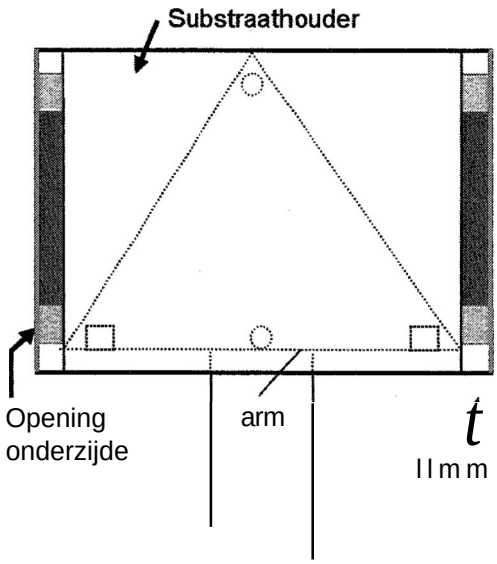
Figuur 13 Vertikaal opslaan



Figuur I 4 Combinatie horizontaal1 vertikaal opslaan

2.3.2 Overnemen substraathouder

Het uiteinde van de arm waarmee de substraathouder in de kamer wordt geschoven heeft ongeveer een driehoekige vorm (zie: **Figuur 15 Overneemmogelijkheden substraathouder**). Hierdoor kan de houder niet aan alle zijden vast worden gehouden of worden gesteund. De arm bevindt zich onder de substraathouder en gebruikt de centreergaten in de substraathouder. Hierdoor blijven *aan* de onderzijde alleen de beide 'balkjes" (zie: Figuur 15 **het blauwe vlak**) van 1[illegible] mm breed over om het substraat te ondersteunen. De openingen worden gebruikt door het liftsysteem van de diverse bewerkingskamers.
Hiernaast zijn de *zijkanten* (zie: **Figuur 15 rood**) beschikbaar om de substraathouder vast te "pakken". De zijkanten van de substraathouder zijn vlak.
Aan de ***bovenzijde*** zou de substraathouder op kunnen worden getild. Omdat vacuüm zuigen in het vacuüm niet kan, en zowel titanium als aluminium niet met een magneet op te pakken is, valt deze optie af.



Figuur 15 Overneemmogelijkheden substraathouder (bovenaanzicht)

mechanisch	Substraathouder ondersteunen door middel van twee balken.	Substraatbouder oppakken in de daarvoor bestemde vrij gemaakte ruimtes.	Substraathouder klemmen tussen twee balken die aan de zijkanten worden geplaatst.
magnetisch	Substraathouder magnetisch oppakken door middel van een magneet		

Figuur 16 Tabel: Overzicht vastpakken substraat

Voor- en nadelen:

1. Opleggen aan de onderzijde op het ondervlak.
   + Kleinere stapelhoogte
   + Makkelijker in en uitpakken (minder beweging, is beetje sneller).
   - Kans op verschuiven (te beperken door omgeving).
2. Opleggen in de daarvoor bestemde ruimte.
   + Oplegging beter gedefinieerd
   - Groottere stapelhoogte
3. Zijkant klemmen.
   + Kleinst mogelijke stapelhoogte.
   - Grote kiemkracht nodig.
   - Klemkracht moet bij stroomuitval aanwezig blijven.
   - Extra ruimte aan zijkant substraat nodig.

2.3.3 Beweging

Volgens het eerder genoemde blokschema (zie: Figuur 10 Blokschema plaatsen in magazijn) zijn er drie verschillende bewegingen te definiëren. Dit komt voort uit het feit dat de arm alleen in het horizontale vlak kan bewegen (x-y vlak). Hiernaast kan de arm alleen in en uitschuiven wanneer deze door een flens in een van de kamers steekt (zie: Figuur 3 Schematisch bovenaanzicht ASTER). Dit betekend dat het magazijn voldoende vrijheden moet hebben om de juiste substraathouder boven de arm te positioneren aangezien de arm dit niet kan.

Bij het ophalen van een substraathouder betekend dit:

- Vrij van arm, *het vrijmaken van de substraathouder en de arm zodat er bewogen kan worden.*
- Transporteren, het *verplaatsen van de substraathouder naar het magazijn.*
- In magazijn plaatsen, *het plaatsen van de substraathouder in het magazijn.*

	trekken	**drukken**	**roteren naar translerend**
mechanisch			
	substraathouder door middel van hefboom omhoog trekken	substraathouder door middel van hefboom omhoog drukken	door middel van een schroefspindel te draaien, de moer (waaraan de substraathouder zit) in de Z richting bewegen
	substraathouder door middel van een veer omhoog trekken	substraathouder door middel van een veer omhoog drukken	door middel van een tandwiel te draaien, de tandheugel (waaraan de substraathouder zit) in de Z richting bewegen
	substraathouder door middel van een kabel omhoog trekken	substraathouder door middel van een stangenmechanisme omhoog drukken	door middel van een krukas, de substraathouder in de Z richting bewegen
hydraulisch/ pneumatisch			
	door middel van een cilinder de substraathouder in de Z richting bewegen	door middel van een cilinder de substraathouder in de Z richting bewegen	
elektrisch			
	door middel van een lineaire motor de substraathouder in de Z richting bewegen	door middel van een lineaire motor de substraathouder in de Z richting bewegen	

Figuur 17 tabel: Uiteenzetting van bewegingsmogelijkheden

2.4 Pakket van eisen

Datum:	Veranderins:	Versie :
08-02-2006	*Opzet document*	*versie 1*
73-02-2006	*Toevoeging minimale kamergrootte + flens voor vacuümpomp*	*versie 1*
20-03-2006	*Beslissing afkoelen via straling*	*versie 2*
06-04-2006	*Aan hand van overleg toevoegingen*	*versie 3*

Doel: Het verhogen van de doorstroming van de preparaten in de Aster.

Functie: Het opslaan van preparaten in de ASTER onder vacuüm.

Zwarte tekst = **eisen** zoals gegeven door dhr. van Bommel.
Zwarte tekst ***(+datum)*** = *nieuwe eis (toegevoegd op.....).*

Eisenprogramma:

Functie

Specificaties vooraf

- *Bevestiging met centrale kamer aan DN160 CF flens.*
- *Tussenflens van 70mm DN160CF.*
- *Boven- en onderdeksel DN200CF flens.*
- *Kijkvenster (DN 160CF flens) monteren aan parkeerkamer voor zicht in centrale kamer.*
- *Drukmeter aansluiting (mini-CF) aan zijkant parkeerkamer.*
- *Vacuüm 10^{-8} tot 10^{-9}.*
- *Voorkomen van vervuiling van het vacuüm.*
- *Bij stroomuitval wordt de ASTER belucht met stikstof. (16-02-06)*

Algemeen

- *Opslaan van minimaal 5 preparaathouders.*
- *Minimale afstand tussen substraathouders in opslag 4mm (ivm klemmen kunststof substraat). (20-02-06)*
- *Oriëntatie preparaat oppervlak naar beneden.*
- *Alle substraathouders in de parkeerkamer zijn naar buiten toe direct beschikbaar.*
- *Kamerinhoud zo klein mogelijk (alleen centrale vacuümpomp). (16-02-06)*
- *Aansluitingsmogelijkheid voor vacuümpomp (optioneel te monteren). (16-02-06)*

Betrouwbaarheid

- *Visuele uitlezing (A, B, C, ...) van substraathouder in parkeerkamer.*
- *Manuele bediening mogelijk (automaat uitschakelen).*
- *Systeem moet in positie blijven tijdens stroom uitval. (16-02-06)*
- *Preparaten en hun positie moeten na stroomuitval bij het systeem bekend zijn. (16-02-06)*

Veiligheid

- *Detectie en beveiliging voor botsing robotarm met vacuümkamer, opslagsysteemen substraathouder.*

Temperatuur ***(toegevoegd 22-02-06)***

- ~~*Substraten mogen niet in parkeerkamer opgewarmd worden. (16-02-06)*~~ *(20-02-06)*
- *Opwarming van substraat 25 C +5°C maximaal. (20-02-06)*
- *Maximaal 4 warme substraten in de parkeerkamer. (23-02-06)*

Belasting

- *Afsteunen van kamer aan frame voor ontlasting van de montageflens.*
- *Binnenzijde kamer bestand tegen temperaturen van 250°C.*

Hanteerbaarheid

- *Maximale diepte (i.v.m. frame) t.o.v. middelpunt DN160CF is 58cm. Bodemplaat moet kunnen worden verwijderd (hierdoor max. 50cm).*
- *Maximale takelhoogte 3 meter bij (de-)montage.*

Besturing en gebruik

- *Bewegingen van het substraat moet vloeiend ivm. het trillen van substraathouder op oplegging.(i 6-02-06)*
- *Digitale uitlezing van substraathouder in parkeerkamer met samplenummer.*
- *Automatische aansturing van de parkeerkamer door middel van ingeven van substraatnummer. (16-02-06)*
- *Besturing moet geplaatst worden in huidige besturingskast.* **(os-04-06)**

Nauwkeurigheid **(toegevoegd 06-04-06)**

- *Positioneernauwkeurigheid in x, y en z richting 0,5mm. (06-04-06)*
- *Ruimte zijkanten tussen substraat en kamer minimaal 5mm ivm. onnauwkeurigheid arm.(06-04-06)*
- *Vrije ruimte z-richting lege arm onder/ boven minimaal fmm (totaal2mm), bezefte arm onder/boven minimaal I ,5mm (totaal 3mm). (06-04-06)*

Onderhoud

- *Het systeem moet te repareren zijn, zonder de kamer van de ASTER af te hoeven halen.*
- *De onderdeksel moet te verwijderen zijn.*
- *Systeem moet als één geheel met de (onder / boven) flens te verwijderen zijn.*

Omgeving

- *Trillingen van omgeving zijn niet noemenswaardig.*
- *Kleine trillingen naar omgeving zijn geen probleem. (16-02-06)*
- *Elektromagnetisme verboden binnen vacuüm(i v.m. beïnvloeden plasma). (21-02-06)*

Wensen / opties:

- *Digitale uitlezing van de substraathouder en samplenummer voor hele ASTER.*
- *Automatische aansturing van gehele ASTER door middel van ingeven nummer substraafhouder / samplenummer.*
- *Verlichting in parkeerkamer (bevordert uitlezing).*
- *Beveiliging tegen 2 substraathouders in één kamer (kamer bezet) in gehele ASTER.*
- *In administratie de weg bijhouden dat een substraat volgt door de ASTER.* **(06-04-06)**

2.5 Conclusie opdracht

Door gebruik te maken van de blackbox methode kan geanalyseerd worden welke functionaliteiten er nodig zijn om een bepaald doel te halen. Uit ons onderzoek **(samenvatting van dit onderzoek weergegeven in paragraaf 2.3** Probleemanalyse) blijkt de oplossing zoals weergegeven in "Figuur 11 Blokschema plaatsen in magazijn 2" de beste te zijn. In deze oplossing worden een aantal bewegingen samengenomen en worden mechanische delen dichter bij elkaar gebracht waardoor er met zo min mogelijk bewegingsvrijheden tot een werkbaar blokschema is gekomen.

Wanneer met deze conclusie wordt gekeken naar de mogelijke indelingen van het magazijn **(zie: 2.3.1 Opslag substraathouders (magazijn)),** en daarbij bedacht wordt dat een beweging in de z-richting nodig is om de substraathouder van de arm af te tillen, blijven de magazijn indelingen "Figuur 13 Vertikaal opslaan" en "Figuur 14 Combinatie horizontaal/ vertikaal opslaan" over. Dit omdat deze drie een beweging in de z-richting nodig hebben om de juiste kamer te kunnen selecteren. Deze beweging kan gecombineerd worden met het oppakken en het neerleggen van de substraathouder op de arm.
De ruimte die het magazijn inneemt is tevens van belang. Bij voorkeur worden de huidige maat flenzen gebuikt **(zie: 2.2 Eisen opdrachtgever).** Hierom wordt er in eerste instantie naar een mogelijkheid gezocht om de Parkeerkamer binnen de opgegeven flensmaten te realiseren. Wanneer blijkt dat dit niet kan, moet de opdrachtgever worden overtuigd dat toch écht een andere maat flens nodig is.

Bij **de** huidige flensmaat (zoals nu gebruikt in de ASTER) past er in het horizontale vlak één substraathouder, zodat alleen het "stapelen in z-richting" **(zie: Figuur 13 Vertikaal opslaan)** overblijft als oplossing.

Nu bekend is dat de substraathoudersboven elkaar (als in een stapel) worden opgeslagen in het magazijn, moet er gekozen worden hoe het substraat moet worden vastgehouden in het magazijn **(zre: Figuur 16 Tabel: Overzicht vastpakken substraat).**
Het substraat vastklemmen aan de zijkanten vereist per opgeslagen substraat een extra beweging wat ongewenst en onnodig complex is. Bij het oppakken in de openingen aan de onderzijde van de substraathouder moet bij het verwijderen van de substraathouder deze *over* de oplegging héén worden getild. Dit veroorzaakt een grotere stag van het magazijn. Hiernaast is, door de grootte massa van de opstelling, de kans op verschuiven van de substraathouder door trillingen nihil.
De keuze betreft het vasthouden van de substraathoudersin het magazijn valt dus op het aan de onderzijde ondersteunen van de substraathouders.

In de z-richting moet het magazijn (vergelijkbaar met een lift) kunnen bewegen om zo de juiste kamer in het magazijn te kunnen selecteren, en een substraathouder op de arm te kunnen plaatsen of van een arm te kunnen nemen. Het aandrijven **(zie: Figuur** 17 **tabel: Uiteenzetting van bewegingsmogelijkheden)** van het magazijn doormiddel van een lineaire motor in het vacuüm valt af omdat de gebruikte materialen in een motor problemen veroorzaken **(zie:** 3 **1 Inleiding vacuumtechniek).** Het bewegen door middel van pneumatiek en hydraulica in het vacuüm is tevens niet gewenst in verband met de kans (en de gevolgen!) bij lekkage in het vacuüm. Tevens is hydraulica vooral geschikt voor grootte krachten.
De diverse mechanische oplossingen zullen in paragraaf 6.1 Verschillende concepten verder worden uitgediept.

3 Onderzoek vacuurntechniek

In dit hoofdstuk worden de diverse aspecten van vacuumtechniek besproken. Aan de hand hiervan wordt er gekeken naar de vacuumtechniek in de ASTER en de gevolgen voor het construeren aan of in een vacuümopstelling.
Doel hiervan is verschillende keuzes te kunnen onderbouwen tijdens het ontwerpproces van de Parkeerkamer voor de ASTER.

3.1 Inleiding vacuumtechniek

Vacuüm wordt een ruimte genoemd waarin een druk heerst die veel lager is dan de atmosferische druk (1bar). Er zijn verschillende gebieden in het vacuum te definiëren (indeling volgens Nederlandse Vacuümvereniging).

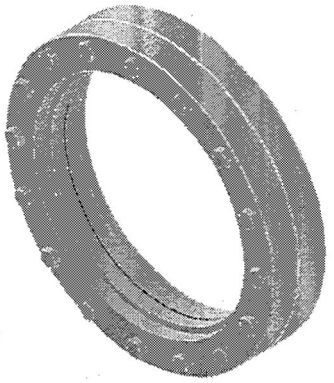
- Ruwvacuüm 75mbar tot 0,75mbar
- Voorvacuüm 0,75mbar tot 10^{-3}mbar
- Hoogvacuüm / 0^{-3}mbar tot 10-'mbar
- Ultrahoogvacuüm 10^{-7}mbar en hoger

Aspecten van belang bij **het construeren** onder **vacuüm:**

- Ontgassing van het materiaal mag niet te groot zijn. Ontgassing komt door insluitingen van gas onder het oppervlak of uit volumes aanwezig in het materiaal. Een goed voorbeeld van insluitingen van gas is een walshuid van metalen (ruw) of oxidehuid (aluminium).
- Het materiaal moet een lage dampspanning hebben zodat deze niet te veel bijdraagt aan vervuiling van het vacuum. De dampspanning geeft aan hoeveel deeltjes er van een materiaal komen bij een bepaalde druk.
- Het materiaal mag niet te permeabel zijn. Hierbij wordt er buiten het vacuum atomen in de wand van de kamer geabsorbeerd, "lopen" deze door de wand en komen **zo** in het vacuum terecht. Bepaalde stoffen diffunderen relatief snel door bepaalde materialen zoals H_2 door staal. Dit kan uiteindelijk de einddruk van het vacuüm bepalen.
- Virtuele lekken zijn kleine ruimten waarin zich gas bevindt die er maar langzaam uitkomt. Voorbeelden hiervan zijn spleten en blinde draadgaten (oplossing: holle schroeven of een ontgassingsopening aanbrengen).
- Voor hoogvacuüm onderdelen kan worden gekozen als eindbewerking deze delen "uit te stoken". De onderdelen worden in een vacuümoven geplaatst en tevens voor lange duur verwarmt. Alle verontreinigingen van het productieproces worden zo verwijderd. Bijkomend effect van deze behandeling is dat materialen zachter worden (spanningsarm gloeien).
- Wandoppervlak heeft invloed op de kwaliteit van het vacuum. Door de wanden kunnen gassen treden (zie permeabel), tevens blijven er moleculen aan de wanden "vastplakken" De inhoud van de vacuümkamer is van minder groot belang.
- Scherpe hoeken, gaten en buizen gelden bij lage drukken als "dode ruimtes" waar de moleculen in rond blijven stuiteren (denk aan een doos met een kleine opening met stuiterballen). De kwaliteit van het vacuüm zal hierdoor beïnvloed worden.
- Wanneer er met reactieve stoffen wordt gewerkt, moet het materiaal voldoende inert zijn. Hiernaast wordt er in het vacuum vaak met relatief hoge temperaturen gewerkt, het materiaal moet dan tegen verhitting kunnen.
- Bij het hanteren van vacuüm onderdelen moeten handschoenen worden gebruikt. Het schoonmaken van de delen die in het vacuüm komen kost veel tijd. Wanneer deze delen niet goed worden schoongemaakt, zal de afpomptijd (tijd totdat een bepaald vacuümniveau is bereikt) langer duren.
- Uitstoken van de gehele opstelling wordt gedaan wanneer er een hoger vacuum moet worden bereikt, maar door de geometrie van de opstelling deze niet kan worden bereikt. Door de gehele opstelling te verwarmen, worden de achtergebleven moleculen in het vacuum actiever, waardoor de kans dat ze in de vacuümpomp komen groter wordt.

3.2 *Verbindingen*

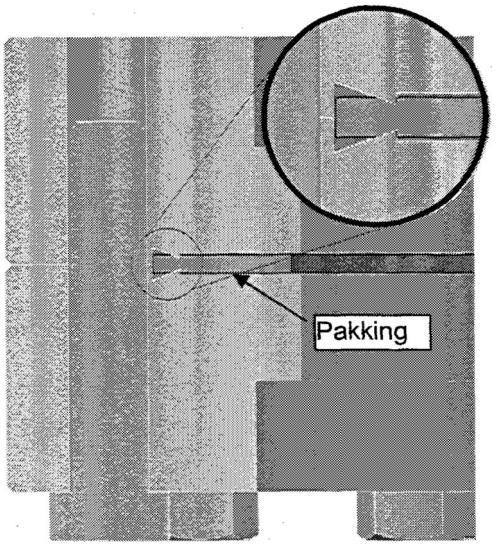
Een vacuümsysteem moet geopend kunnen worden voor onderhoud, vervanging of tijdens normaal gebruik. Hiervoor moet een goede afdichting worden gemaakt tussen het vacuum en de buitenwereld.



Figuur 18 Conflat flenzen

3.2.1 tosneembare verbindingen

Het vacuüm van de ASTER valt in hoogvacuüm tot ultra hoogvacuüm. Hiervoor is de dampdruk van elastische afdichtingen (hiervoor wordt kunststof of rubber als afdichtingmedium gebruikt) te hoog en dus niet toepasbaar.
Er zijn diverse standaards voor afdichtingen gebaseerd op plastische vervorming. De flenzen op de ASTER zijn allen voorzien van "conflat[5]" afdichtingen. In de eisen van de opdrachtgever **(zie: paragraaf** 2.2 **Eisen opdrachtgever)** staat dat dit type flens moet worden gebruikt. Er zijn nog andere flenssystemen, deze worden hier echter niet beschouwd omdat deze niet gebruikt zullen worden.



Figuur 19 Conflat flenzen "cutaway-view"

Conflat-verbinding **(zie: Figuur 18** Conflat **flenzen, lasversie)**
Het conflat Rens systeem werkt met **2** identieke flenzen (dus géén mannetje - vrouwtje) waartussen een relatief wat zachtere pakking plastisch wordt vervormd. Voor de pakking wordt zuurstof vrij koper[6] gebruikt. De afdichting wordt gemaakt door meskanten op beide flenzen die in de koperen pakking geperst worden **(zie: Figuur** 19 **Conflat flenzen "cutaway-view").**
Wanneer de flens niet belast wordt kan er voor gekozen worden de flenzen niet geheel op elkaar te draaien. Hiermee is de pakking meerdere keren te gebruiken. Bij belasting van de Rens kan dit niet, omdat de pakking onder de kracht gaat vervormen. Na verloop van tijd wordt de spanning minder waardoor er lekkage ontstaat. De flenzen moeten bij een mechanische belasting dus geheel op elkaar worden gedraaid (zodat de flens en niet de pakking de krachten overbrengt).

3.2.2 Permanente verbindingen

Lassen
Bij het maken van vacuúm geschikte lassen moet voorkomen worden dat er vuil- en gasinsluitsels ontstaan. Bij voorkeur wordt de lasnaad aan de vacuumzijde gemaakt zodat er aan de vacuumzijde geen spleet ontstaat. Als het niet mogelijk is de las aan de vacuumzijde te plaatsen, dan kan de las van buiten worden aangebracht. Hierbij moet dan wel een goede doorlassing gegarandeerd zijn.

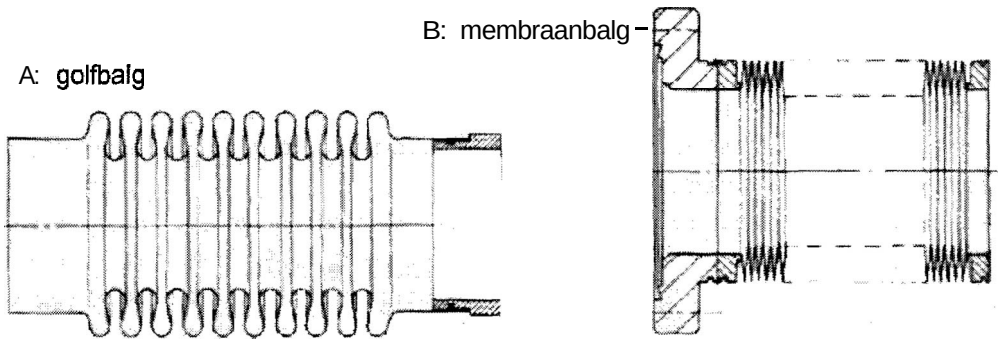
Solderen
Bij het solderen moet er rekening mee worden gehouden dat er geen insluitsels ontstaan. Er wordt bij voorkeur zonder flux (=vloeimiddel) gesoldeerd.
Bij hoogtemperatuursolderen wordt er onder een beschermend gas of in vacuum onder hoge temperaturen (800-1300°C) gesoldeerd. Hierdoor is er geen vloeimiddel nodig. Voordelen van deze methode zijn: geen insluiting van vloeimiddelen, geen kans op corrosie door achtergebleven vloeimiddelen en het voorwerp is na het solderen uitgestookt en zéér schoon (direct ultrahoogvacuum geschikt).

[5] Conflat flenzen wordt afgekort tot CF. Een 200mm flens wordt dus CF200.
[6] Zuurstof vrij koper wordt ook wel OFHC genoemd. Aanwezig zuurstof kan aanleiding geven tot scheurvorming.

3.3 Bewegingsdoorvoeren

Hierbij moet er een rotatie of translatie door de wand van de vacuümkamer worden doorgevoerd.
Hierbij zijn de volgende groepen te onderscheiden:

- Elastomeerafgedichtedoorvoeren (geven kleine lekkage tijdens bewegen, niet uhv).
- Balgafgedichte doorvoeren.
- Magnetische doorvoeren.

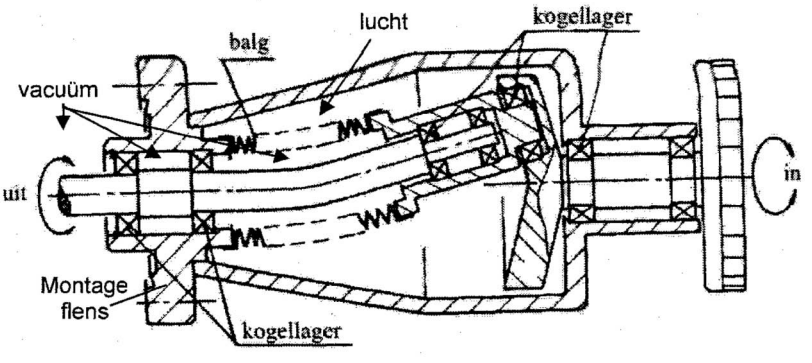


Figuur *20* Golfbalg en schotelbalg [7]

Er rijn 2 soorten balgen **(zie: Figuur** 20 Golfbalg **en schotelbalg).**
De golfbalg is een dunwandige buis die gemaakt wordt door de buis in een mal te plaatsen en er onder hoge druk olie in te persen. De golfbalg heeft alleen maar ronde hoeken, waardoor deze makkelijker is af **te** pompen. Door zijn vorm is deze balg meer geschikt voor het maken van hoekveranderingen, lineair kan deze **maar** beperkt bewegen.
De Schotelbatg is gemaakt door losse schotels zowel op de binnen als buitendiameter om en om aan elkaar te lassen. Door het dunne materiaal, en de grote hoeveelheid schotels is dit een moeizaam en kostbaar proces. Het voordeel van deze balg is de grotere flexibiliteit. De balg is moeilijk af te pompen door de grote hoeveelheid scherpe hoeken. De slaglengte bedraagt ongeveer 90% van zijn onbelaste lengte.

3.3.1 Balg draaidoorvoer

Omdat een balg zelf geen rotatie in het verlengde van de balg kan doorgeven, wordt er een 'wobbel' beweging gemaakt. Beginnende bij de ingangsas die zich buiten het vacuum bevindt wordt de rotatie doorgegeven aan een schijf **(zie: Figuur 21 Balg draaidoorvoer).**
Omdat de balg niet kan roteren, wordt de wobbel beweging doormiddel van een lager aan het afgesloten uiteinde van de balg doorgegeven. De balg is aan de andere zijde vast gemonteerd aan de flens. Het "wobbelen" van de rechterzijde van de balg wordt omgezet in een rotatie door een gebogen as in de balg (en dus in het vacuum) te monteren. Wanneer de ingangsas nu verdraaid wordt, zal de balg een cirkelvormige baan gaan beschrijven, waardoor de as in het vacuum tevens verdraaid (overbrengingsverhouding1:1). Nadeel van de draaidoorvoer is de dode ruimte in het vacuum waarbij de lagering (minimaal **4** lagers in het vacuum, bij momenten >1Nm 5 lagers in vacuum!) nog voor een extra weerstand zorgt. In deze dode ruimte bevindt zicht tevens nog een balg met relatief groot oppervlak en veel spleten.

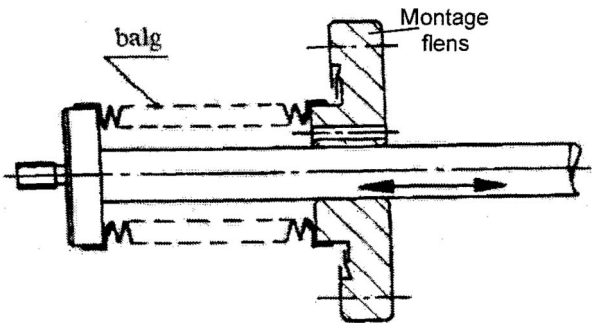


Figuur 21 Balg draaidoorvoer [7]

[7] **Bron 2. Figuren staan op blz. 582 en 583**

3.3.2 Balg lineair doorvoer

De balg wordt aan beidde zijden vastgemaakt aan een flens of afdichting (zie. Figuur 22 Balg lineair doorvoer). Er wordt meestal voor een membraanbalg gekozen vanwege zijn grotere elasticiteit. Naar keuze van de ontwerper kan de balg in of buiten het vacuüm staan, respectievelijk kan het vacuum zich in de balg of rond de balg bevinden. Wanneer er gekozen wordt de balg buiten de kamer te plaatsen (binnenkant van de balg is vacuüm) is het afhankelijk van de binnendiameter en de lengte van de balg hoe goed deze vacuüm te pompen is. Wanneer er zich om de balg heen een vacuüm bevindt is de kwaliteit afhankelijk van de ruimte tussen de balg en de wand van de vacuümkamer en de lengte van de balg.



Figuur 22 Balg lineair doorvoer [7]

3.3.3 Magneet doorvoer

Bij magnetische doorvoeren wordt er gebruik gemaakt van 2 magneten waarvan er één zich in het vacuum en er één buiten het vacuüm bevindt. Tussen de twee magneten bevindt zich metaal dat het vacuüm van de buitenwereld scheidt. Wanneer beide magneten "in elkaar grijpen" kunnen hiermee rotaties en translaties naar het vacuum worden overgebracht. Voordeel van deze bewegingsdoorvoer is zijn uhv geschiktheid en de mogelijkheid met 1 doorvoer zowel translatie (grootte slaglengte) als rotatie over te kunnen brengen. Het nadeel is de beperkte krachten die magneten kunnen overbrengen. Hiernaast is er geen stijve verbinding met de buitenwereld (slap magneetveld). De "doorbuiging in het magneetveld" is afhankelijk van de kracht.

3.4 Materiaalsoorten en smering

Zoals omschreven in paragraaf 3.1 kunnen niet alle materialen "zomaar" in vacuum worden toegepast. Hieronder zijn diverse materialen beschouwd met hierbij hun verschillende eigenschappen in betrekking met gebruik in vacuum.

3.4.1 Overzicht materialen

- RVS. Goed toepasbaar in uhv.
  - 304 Meest gebruikt
  - 316 Chemisch extra resistent
  - Inconel Veren bij hoge temperatuur
- Koper. Toegepast vanwege grote warmte- en elektrisch geleidingsvermogen. Zacht dus ook als afdichtingmateriaal te gebruiken. Gebruik OFHC (Oxygen Free Highpurity Copper) nodig om lekkage te voorkomen.
- Aluminium. Zuiver aluminium te zacht als constructiemateriaal. Legeringen wel bruikbaar. Door dichte resistieve oxidehuid geen verdere oxidatie. Makkelijk te bewerken. In het begin is de gasafgifte van aluminium factor 10 groter dan RVS, na verloop wordt dit minder.
- Titaan. Goed toepasbaar in vacuum.
- Kwik. Vroeger toegepast in pompen, maar tegenwoordig niet meer gebruikt (zéér reactief, toxiciteit).
- Metalen voor hoge temperatuur:

	Smelttemperatuur	Max. temperatuur in vacuüm (°C)
o Wolfraam	3380	2600
o Rhenium	3180	2200
o Molybdeen	2610	1700
o Niobium	2500	2100
o Tantaal	2997	2200

- Zilver en Goud. Bij zilver hoge zuiverheid van belang. Toepassing als soldeermateriaal. Duur.
- Indium. Lage smelttemperatuur (156^{0}C), zeer lage dampdruk en grootte plasticiteit. Toepassing zacht soldeer- en afdichtingmateriaal.

Non ferro legeringen

- Messing. Relatief goede warmte- en elektrische geleiding. Corrodeert in normale atmosfeer hierdoor grootte gasafgifte. Toepasbaar alleen in fijn- en grof vacuümgebied.
- Koper-beryllium. 2 tot 3 keer grotere treksterkte als koper. Kan worden gepuntlast en worden gehard. Elektrische geleiding 20 – 30% lager als koper. Hardsolderen is moeilijk. Toepassing: balgen, membranen en veren.

3.4.2 Beweging en smering

Waar normaal oppervlakken zonder veel problemen over elkaar heen kunnen rollen en schuiven, geeft dit in vacuum redelijk snel problemen. De oorzaak is tweeledig.
Doordat er geen lucht aanwezig is in het vacuum is er ook geen convectiekoeling. Dit betekend dat wrijvingswarmte slechter wordt afgevoerd.
Het andere probleem is de afwezigheid van gassen. Veel metalen hebben hun smerende eigenschappen te danken aan metaaloxides. Waneer deze ontbreken, of in het vacuüm ontleden of verdwijnen door wrijving ontstaat er contact tussen "schone" oppervlakten. Door het gebrek aan zuurstof wordt de oxidelaag niet aangevuld. Hierbij ontstaan er grote wrijvingskrachten en plaatselijk hoge temperaturen. Gevolg hiervan is het wegvreten van het materiaal of het vastvreten (koude las) van de twee oppervlakken.

Om dergelijke effecten te voorkomen is het het beste om in vacuüm zo weinig mogelijk schuivende contacten te gebruiken. Hierbij ontstaat echter wel direct een ander verschijnsel.

Wanneer bijvoorbeeld bij een kogellager (rollend contact) er zich een kleine vervuiling voor de kogel bevindt, zal de kogel hierop wegens een gebrek aan smering direct vastlopen. Wanneer de kogel probeert de vervuiling weg te duwen, zal dit niet lukken door de hoge wrijvingsweerstand. Er blijven dan 2 mogelijkheden over: doorduwen totdat de vervuiling plat is (of er iets kapot gaat) of het lager niet voorspannen zodat de kogel over de vervuiling heen kan.
Wegens deze verschijnselen is smering van ten opzicht van elkaar bewegende delen in vacuum nodig.

Smering met "normale" smeermiddelen is niet mogelijk door de hoge dampdrukken. Synthetische vacuumsmeermiddelen zijn meer vacuüm geschikt maar hebben het nadeel nog steeds te verdampen. Dit heeft tot gevolg dat de smering na verloop van tijd opnieuw aangebracht moet worden, en dat er vervuiling van het vacuüm ontstaat. Wanneer dit smeermiddel een laagje gaat vormen op kritische oppervlakken, heeft dit direct tot gevolg dat het proces wordt aangetast. Vandaar dat liever een droge smering wordt toegepast.

Bij droge smering wordt gebruik gemaakt van een materiaal met gunstige eigenschappen die als losse stof of als coating op een oppervlak worden aangebracht. Voorbeelden van coatings zijn: lood-coating, zilver-coating, MoS_2 coating (molybdeensulfide), WS_2 (wolfraamsulfide) en BN_3 (boriumnitride). Het aanbrengen van dergelijke lagen met speciale coating-processen is vaak kostbaar. Een aantal van de genoemde smeermiddelen kunnen ook in poedervorm worden aangebracht, echter is de levensduur dan korter. Binnen IGF is er veel ervaring met het aanbrengen van MOS_2 in poedervorm.

3.5 Conclusie vacuumtechniek

In het vacuum wordt het liefst geconstrueerd met RVS. RVS is erg goed vacuum geschikt en relatief goedkoop. Voor pakkingen wordt zuurstof vrij koper gebruikt. Dit materiaal is relatief duur, heeft een lage rekgrens en geleidt warmte en elektriciteit zeer goed. Aluminium is goedkoper en geleidt warmte en elektriciteit goed. Aluminium oxideert echter snel waardoor het minder vacuum geschikt wordt. Wanneer de oxidehuid niet aanwezig is kan aluminium goed in vacuum worden gebruikt. Het heeft in eerste instantie echter wel een gasafgifte die een factor 10 hoger is als RVS.

In vacuüm moet rekening worden gehouden met ruimtes waar gas in opgesloten kan worden. Hieronder vallen potgaten maar ook spleten en andere diepe ruimtes of ruimtes met scherpe hoeken. In hoog vacuüm is het volume van de ruimte ondergeschikt aan de wandoppervlak. Lucht heeft de neiging aan materiaal te blijven "kleven" waardoor meer wandoppervlak een slechter vacuum betekend.

Bij het doorvoeren van een beweging wordt bij voorkeur een balgafdichting of een magneetdoorvoer gebruikt. Magneetdoorvoerenzijn relatief goed afpompbaar ten opzicht van balgen. Echter geeft een magneetdoorvoer geen stijve doorvoer naar het vacuüm. Een lineaire balg veroorzaakt (afhankelijk van de lengte) een groot oppervlak ten opzichte van een balg draaidoorvoer. De draaidoorvoer veroorzaakt daar en tegen een door lager "afgesloten ruimte" die moeilijk is af te pompen.

Beweging in het vacuüm is lastig. Wanneer 2 metalen delen ten opzicht van elkaar bewegen is er géén luchtlaag tussen de 2 delen. Hierdoor zal door de wrijving door de oxidehuid worden heen gebroken, en er een koude las ontstaan. Hierom ligt de voorkeur bij rollende contacten. Smering in vacuüm is erg lastig door de hoge dampspanning van smeermiddelen. Enkele poeder smeermiddel kunnen worden toegepast. Bij IGF is ervaring met het toepassen van MoS_2 (molybdeensulfide). Echter moet hierbij altijd minimaal een factor 2 overgedimensioneerdworden.
Bij voorkeur moet beweging binnen het vacuum zoveel mogelijk worden voorkomen.

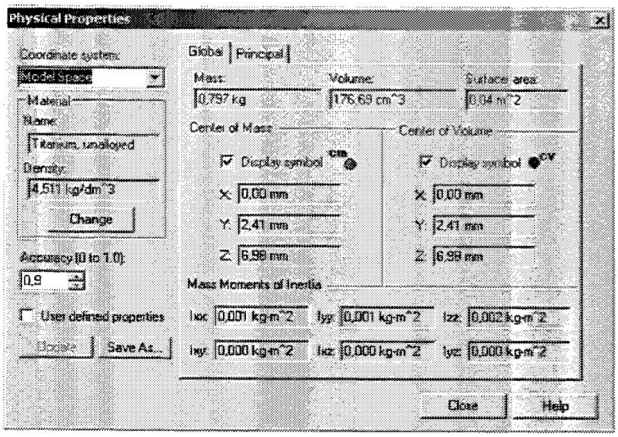
4 Onderzoek warmtestromen

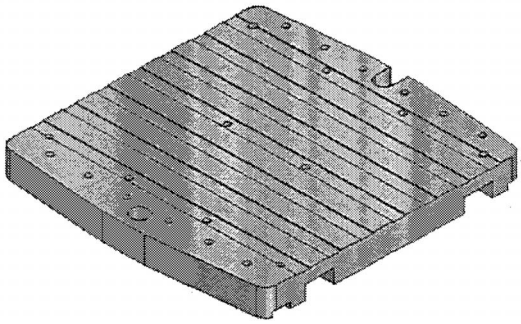
Probleem:

In de parkeerkamer komt een titanium substraathouder van 250ºC, die zijn warmte straalt naar de omgeving.
Boven de substraathouder hangt nog een substraathouder van 25ºC en die mag niet warmer worden dan 30ºC.

4.i Gegevens van substraathouder

Na de substraathouder getekend te hebben in Solid Edge, kunnen de gegevens van de substraathoudersopgevraagd worden **(zie: Figuur 23 Gegevens substraathouder).**





Figuur 23 Gegevens substraathouder

Na met de hand berekend te hebben of de gegevens kloppen, is met zekerheid te zeggen dat dit de juiste informatie is:

mat: Titaan
m: 0.8kg
A: 0.04m²

Verder zijn de volgende gegevens bekend van de substraathouder:

Soortelijke warmte [c]: $470\, J/(m \cdot K)$
Temperatuur [T]: 250ºC
Absorbatie factor [e]: 0,25
Stefan-Boltzrnann constante $\sigma : 5,67 \cdot 10^{-8}\, J/(s \cdot m^2 . K^4)$

Nu de gegevens van de substraathouder bekend zijn, kan er uitgerekend worden hoeveel warmtecapaciteit de substraathouder heeft en uiteindelijk kwijt moet zien te raken.

De warmte die in de substraathouder zit is:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$
$$Q = 0.8 \cdot 470 \cdot 225$$
$$Q = 84.6 KJ$$

4.2 Warmte overdracht

Er zijn drie manieren om warmte te verplaatsen namelijk:

convectie
straling
geleiding

Aangezien de warmteoverdracht plaatsvindt in een ruimte onder hoogvacuum, kan er geen sprake zijn van convectie.

Convectie is namelijk warmteoverdracht via stroming die ontstaat door verschillen in dichtheid als gevolg van verschillen in temperatuur.
De warme deeltjes bewegen veel, zitten verder uit elkaar en zijn globaal dus lichter dan de koude deeltjes die minder bewegen en dichter bij elkaar zitten.
Daarom stijgt warme lucht en daalt de koude lucht.

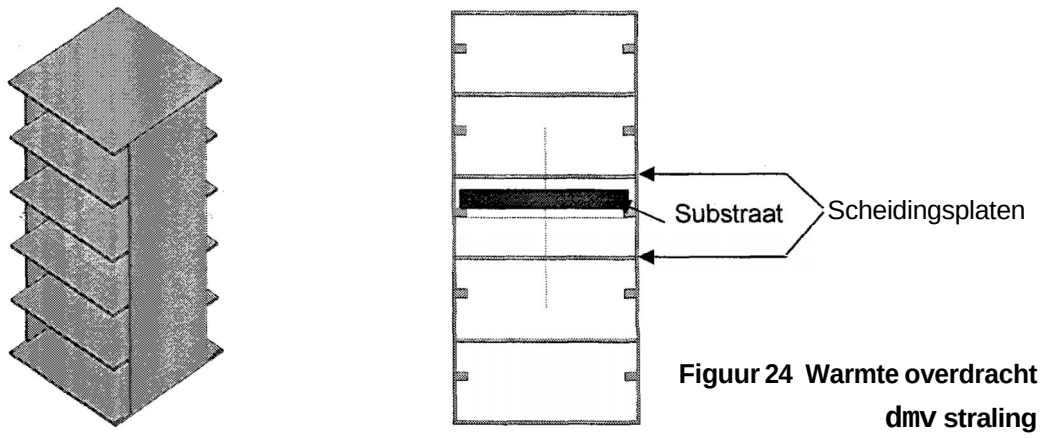
Aangezien er in vacuüm geen "lucht" is, is er niets om op te stijgen of te dalen en is er ook geen sprake van warmteoverdracht.

4.2.1 Warmte transport door straling

Bij het proces van warmteoverdracht door straling wordt een gedeelte van de inwendige energie van het stralende lichaam omgezet in elektromagnetische golven. Deze golven zullen zich door de ruimte voortplanten tot ze een ander lichaam treffen. In het algemeen zal een deel van deze energie door dat lichaam worden geabsorbeerd en weer worden omgezet in inwendige energie. De totale hoeveelheid energie welke een lichaam uitstraalt is afhankelijk van de temperatuur, de golflengte, de emissiviteit en van zijn oppervlakte-eigenschappen.
De formule die hierbij hoort is:

$$Q = \varepsilon \bullet \sigma \bullet (T_1^4 - T_2^4) \bullet A$$

Indien er voor gekozen wordt om de warmte door straling op te vangen zijn er een tweetal onderwerpen om op te letten.
Ten eerste moet de straling opgevangen worden, omdat de overige substraten in het magazijn niet op mogen warmen.
Hiervoor zullen dus scheidingsplaten aangebracht moeten worden die de straling van het substraat op kunnen vangen **(zie: Figuur 24 Warmte overdracht dmv straling).**
Ten tweede mogen de scheidingsplaten niet teveel opwarmen, omdat de scheidingsplaten dan ook warmte gaan uitstralen naar hun omgeving, wat betekend dat het substraat wat er boven/onder ligt warmer wordt dan 30°C.
Voor de veiligheid moet men ervoor zorgen dat de scheidingsptaten niet warmer worden dan 30°C. Wanneer dit het geval is kan er met zekerheid gezegd worden dat het boven/onder liggende substraat tevens niet warmer wordt dan 30°C.



Figuur 24 Warmte overdracht dmv straling

Wanneer de straling opgevangen wordt door de scheidingsplaten, moet de warmte uit deze plaat worden weggeleid. Wanneer dit niet gebeurd, zal de plaat teveel opwarmen, of moet men de platen dusdanig dik maken dat de massa de totale hoeveelheid warmte vanuit het substraat op kan slaan zonder teveel op te warmen. Dit is echter geen optie.
Om een indruk te geven hoeveel massa er toegevoegd moet worden om de scheidingsplaat niet meer dan 10°C op te laten warmen terwijl de plaat $84.6KJ$ op moet slaan, is het volgende sommetje gemaakt. Hierbij is aluminium als uitgangsmateriaal gekozen.

$$84.600 = m \cdot 880 \cdot 10$$

$$m = \frac{84.600}{8.800}$$

$$m = 9,61kg$$

Omdat de warmte door twee platen wordt opgevangen (boven en onder het substraat) wordt het gewicht per scheidingsplaat 4,81kg.
In totaal zijn er 6 platen nodig, dan wordt de totale massa van de koelplaten 28,84kg.
Dit gewicht moet in verticale richting bewegen **(tie: hoofdstuk 6 Concepten)**, en vereist een zware aandrijving en een goede ondersteuning van de Parkeerkamer.

Er moet **dus** gezorgd worden dat de warmte uit de scheidingsplaten weg geleid wordt naar de buitenwereld, waardoor de scheidingsplaten minder massa hoeven te hebben.

4.2.1.1 De r-factor

Warmteoverdracht door middel van straling werkt met het idee van 2 tegenover elkaar liggende spiegels. Hierbij wordt een gedeelte van de straling opgenomen in een van de 2 (slecht) spiegelende vlakken, waarbij de rest terug wordt gereflecteerd naar de andere spiegel. Een proces dat in principe oneindig lang door gaat, waarbij **de** hoeveelheid straling telkens verder de nul zal benaderen.

Om die ε-factoren te kunnen combineren wordt de volgende formule gebruikt.

$$\frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} = \varepsilon$$

Titanium $\varepsilon_1 = 0,25$
Koper $\varepsilon_2 = 0,5$

$$\frac{1}{\left(\frac{1}{0,25} + \frac{1}{0,5} - 1\right)} = 0,2$$

De ε-factor wordt 0,2.

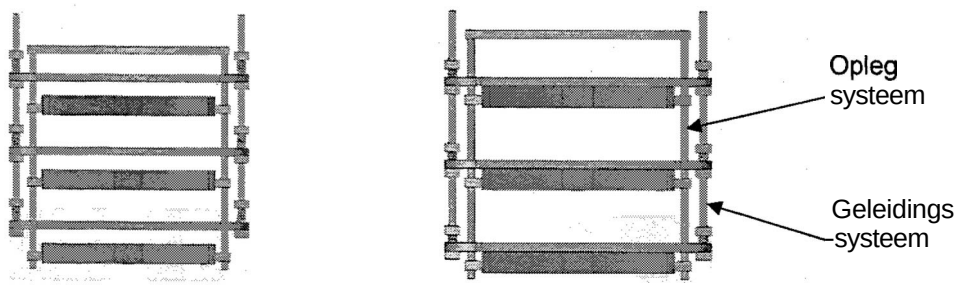
4.2.2 Warmte transport door geleiding

Wanneer er in een lichaam temperatuurverschillen aanwezig zijn zal er in dat lichaam warmtetransport ontstaan van het hogere temperatuurgebied naar het lagere. Bij vaste stoffen kan warmtegeleiding op twee verschillende wijze plaatsvinden, en wel door trillingen van **de** moleculen in het moleculaire rooster en door transport van vrije elektronen. In het algemeen is de bijdrage tot thermisch energietransport door trillingen van de moleculen in het rooster zeer gering ten opzichte van het warmtetransport door verplaatsing van vrije elektronen omdat goede elektrische geleiders een groot aantal vrije elektronen bezitten welke zich door het rooster voortbewegen. Hieruit volgt dat goede elektrische geleiders zoals aluminium, koper en zilver ook goede warmtegeleiders zijn, terwijl ook elektrische isolatoren tevens goede thermische isolatoren zijn.

Wanneer er gekozen wordt voor warmteafvoer door middel van geleiding, is ervoor gekozen om de geleiding aan de bovenkant van de substraathouder aan te brengen.
Dit omdat de boven en onderkant de grootste oppervlakte hebben. Omdat aan de onderkant het substraat is geplaatst, kan deze kant niet gebruikt worden.

Bovendien moeten er scheidingsplaten tussen de substraathouders zitten en dat kan dan gelijk gecombineerd worden met de "geleidingsplaat" (zie: 4.2.1 Warmte transport door straling).

Het geleidingssysteem heeft wel een paar punten waar goed naar gekeken moet worden.
Ten eerste worden de geleidingsplaat en de oplegging van **de** substraathouder, twee aparte systemen (zie: Figuur 25 Warmtetransport dmv geleiding). Dit omdat er ruimte moet zijn om de substraathouder in en uit het systeem te halen en er, als de substraathouder op de oplegging ligt, een flinke druk moet worden aangebracht om een goed geleidingsoppervlak tot stand te brengen.
Ten tweede moeten de platen en de geleiding naar buiten toe dikker worden (meer massa), dan bij straling, omdat de warmte stroom sneller gaat en alles dus warmer wordt.



Figuur 25 Warmtetransport dmv **geleiding**

De formule die hierbij horen zijn:

$$Q/t = \frac{1}{R} \cdot \Delta T$$

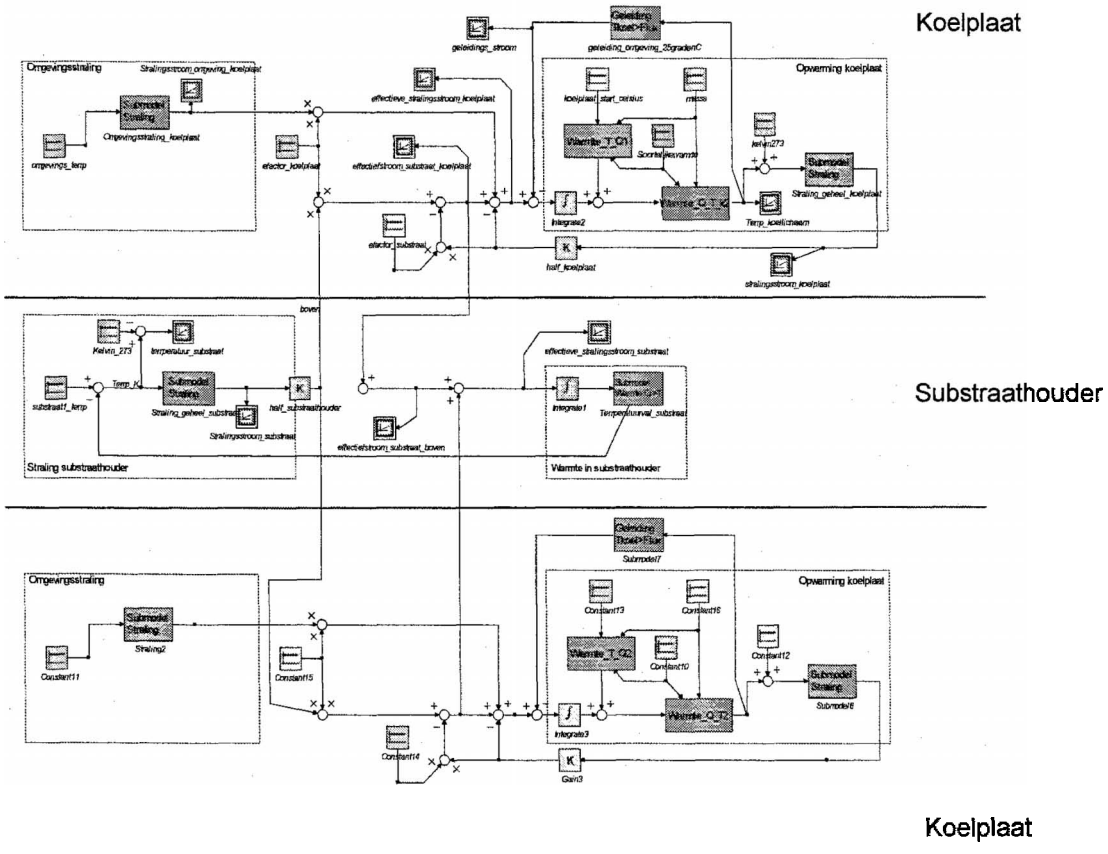
De waarde van de warmteweerstand is weer te berekenen met de volgende formule:

$$R = \frac{d}{\lambda \cdot A}$$

Gebruikte formules en constanten uit bronnen: ***4,*** *5, 6.*

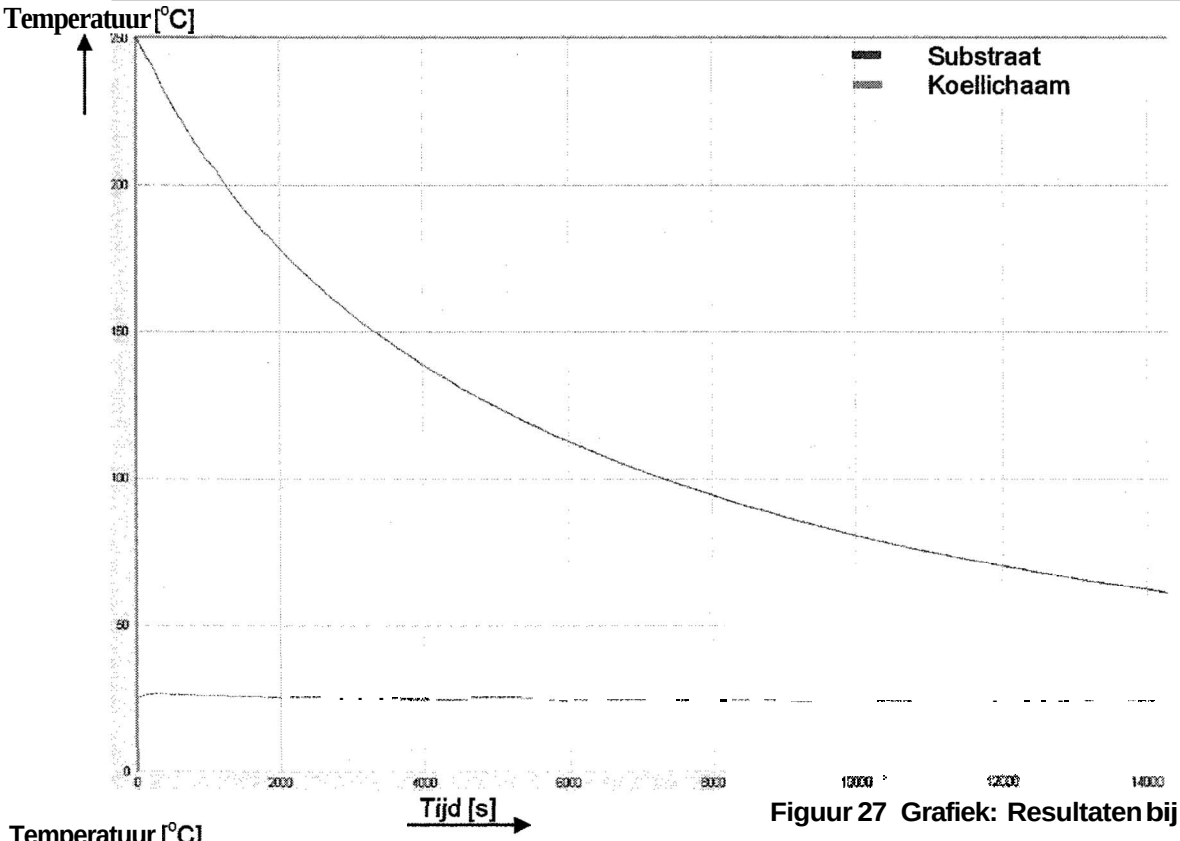
4.3 Blokschema

Om deze twee verschijnselen goed met elkaar te kunnen vergelijken, zijn er blokschema's gemaakt **(zie: Figuur 26 Simulatie schema 20-sim).**
Voordeel hiervan is dat er in de tijd gekeken kan worden wat er gebeurd met het temperatuurverloop van zowel de substraathouder als de koelplaat.
Met de formules die bekend zijn, kan alleen de eindtemperatuur uitgerekend worden, maar dat is in de meeste gevallen niet interessant.
Hieronder is het blokschema voor de straling te zien, om een beeld te krijgen van hoe het blokschema opgesteld is.
Hierbij moet echter wel vermeld worden dat bij beide blokschema's uitgegaan wordt van hetzelfde materiaal, dezelfde plaatdikte enz. enz.
Daardoor zijn de verschillen te zien tussen straling en geleiding. Door de plaatdiktes te veranderen worden er weer andere uitkomsten gegenereerd en kan er uiteindelijk tot een optimaal resultaat worden gekomen.

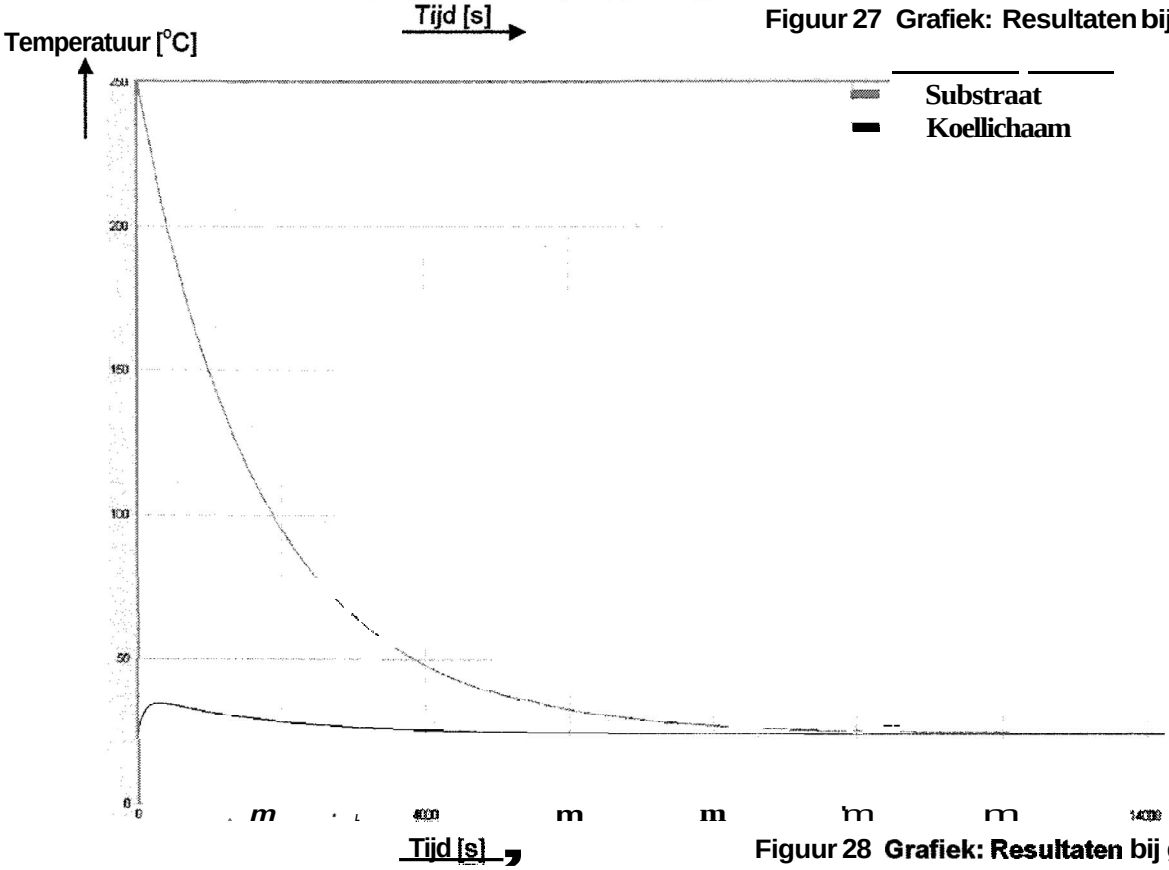


Figuur 26 Simulatie schema 20-sim

Op de volgende pagina zijn de grafieken te zien die bij Figuur 26 horen **(zie: Figuur 27 Grafiek: Resultaten bij stralen en Figuur 28 Grafiek: Resultaten bij geleiden).**



Figuur 27 Grafiek: Resultaten bij strakn



Figuur 28 Grafiek: Resultaten bij geleiden

4.4 Conclusie

Hieronder zijn de resultaten op een rij gezet en worden de verschillen tussen de twee opties duidelijk.
Met geleiding koelt de substraathouder snel af en wordt de koelplaat warm.
Met straling koelt de substraathouder langzamer af en blijft de koelplaat koeler.

	tijd tot 50°C (min)	Tijd tot 30°C (sec)	top temperatuur koelplaat ("C)
straling	300	550	26,5
geleiding	64	109	35

Figuur **29 Tabel: conclusie** straling en **geleiding**

Voordelen geleiding ten opzichte van straling.

- Sneller afgekoeld.
- Kortere doorlooptijd substraten.

Nadelen geleiding ten opzichte van straling.

- **Veel** bewegende delen.
- Ingewikkeldere constructie.
- Duurder.
- Grotere kans op falen.
- Grotere kans op opwarming substraat.

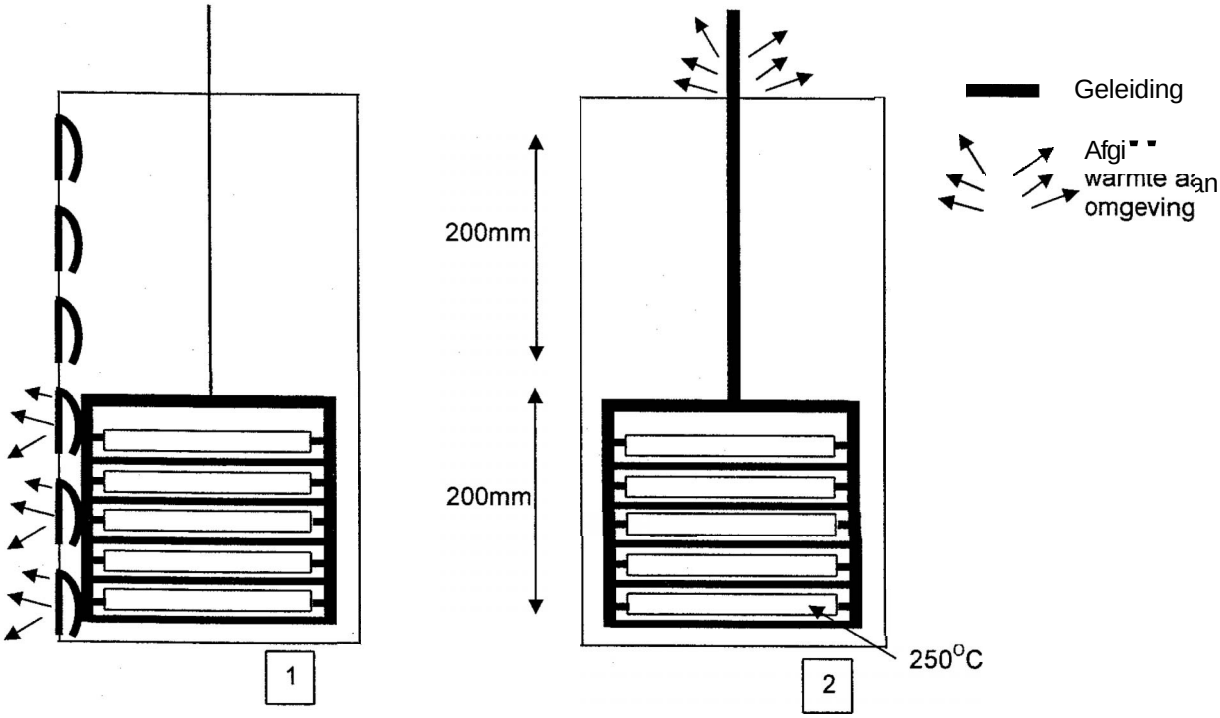
4.4.1 Uitkomst afvoer warmtestroom uit substraat

Na deze resultaten voor gelegd te hebben aan de opdrachtgever is er gekozen voor het stralingconcept.
Dit omdat de doorlooptijd van de substraten niet kort hoeft te zijn, op een dag wordt er hoogstens vier keer gebruik gemaakt van het magazijn.
Aangezien het magazijn vijf opslagplaatsen moet hebben, is er voldoende tijd voor de substraten om af te koelen.

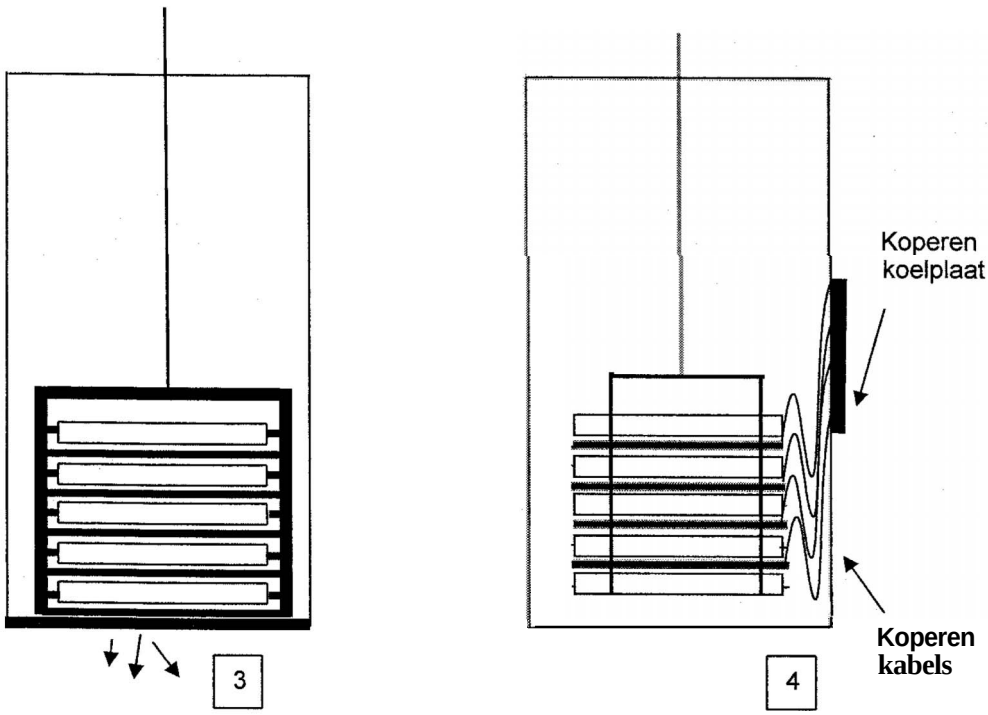
Daarnaast is de bedrijfszekerheid een belangrijk punt.
Omdat de constructie in hoog vacuüm moet functioneren, wil men over het algemeen zo min mogelijk bewegende delen. Dit omdat materialen in vacuüm gaan "vreten" en **dus** vast komen te zitten, waardoor de constructie niet meer werkt (zie: 3.4 Materiaalsoorten en smering).

4.5 Oplossingen

In totaal zijn er vier concepten bedacht om de warmte weg te geleiden uit het vacuüm naar de buitenwereld toe.



Figuur *30* Oplossingen warmte naar buitenwereld



eisen	weeg factor	1	2	3	4	ideaal
vacuum geschikt	5	10	20	20	5	20
grote warmte weerstand	3	6	3	12	12	12
opwarming andere substraten	2	4	4	4	8	8
kans op vervuiling contact oppervlak	2	4	8	2	8	8
TOTAAL		24	35	38	33	48

Figuur 31 Tabel: keuze warrnteafvoer

Uitleg:

Vacuüm aeschiktheid:

In concept 1 beweegt het magazijn langs koelvlakken, hierdoor ontstaat wrijving wat niet gewenst is in vacuum.
In concept *4* is er een flexibel strip/gevlochten staaldraad bedacht.
Het nadeel van gevlochten staaldraad in vacuum is dat er dode ruimtes tussen **de** draden aanwezig zijn, hierdoor wordt het moeilijker de kamer op het juiste vacuum te krijgen.

Grote warmteweerstand:

In concept 1 is er een korte weglengte, maar een relatief klein oppervlak.
In concept **2** is er een lange weglengte en een relatief klein oppervlak.
In concept 3 is er een relatief korte weglengte en een groot oppervlak.
In concept **4** is er een relatief lange weglengte en een klein oppervlak.

Opwarming substraten:

tn concept 1,2 en 3 zijn de koelplaten met elkaar verbonden, waardoor alle koelplaten opwarmen en dus ook de substraten.
In concept **4** zijn de koelplaten losgekoppeld en wordt de warmte gelijk weggevoerd.

Kans op vervuiling contactoppervlak:

Bij concept **1** en 3 is het mogelijk dat er vuil tussen het magazijn en het koellichaam komt, bij de concepten 2 en **4** zitten de koellichamen direct aan het magazijn gekoppeld, waardoor het uitgesloten is dat er vuil tussen komt.

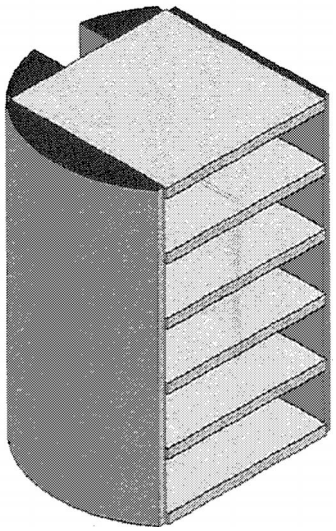
4.5.1 Conclusie warrnteafvoer

De warmtestroom wordt afgevoerd zoals in concept drie is uitgelegd.
Het magazijn wordt op de bodem van de pot gezet om de warmte af te voeren naar de buitenwereld.

4.6 Magazijnontwerp

Het resultaat van het magazijn ontwerp is afgebeeld in Figuur 32 hiernaast.
Er is gekozen voor een zo groot mogelijk oppervlak (in het blauw aangegeven) om de warmte af te voeren. Hierom is één zijkant en de achterkant van het magazijn afgerond. De opening van 40mm aan de achterkant van het magazijn is aangebracht omdat de eis van de klant was de substraathouders in het magazijn te kunnen zien liggen. Bovendien wilde de klant door het magazijn in de ASTER kunnen kijken.
De andere zijkant is een plaat geworden van vijf millimeter, dit omdat de rechtgeleiding naast het magazijn geplaatst dient te worden (dit wordt verder besproken in paragraaf 6.3).

Het gehele magazijn wordt van aluminium gemaakt, omdat het de beste warmtegeleidingcoëfficiënt/ gewicht combinatie heeft. De warmtegeleidingcoëfficiënt van aluminium is:



Figuur 32 Magazijnontwerp

$$\lambda = 237 \, {}^{W}/_{mK}$$

Om te controleren of dit magazijn de warmtestroom van een substraathouder vanuit de onderste kamer, weg kan voeren naar de buitenwereld, is de volgende berekening opgesteld.

De basisformule is:

$$R = \frac{d}{R \cdot A}$$

Om deze formule toe te passen op het magazijn moet er wat worden aangepast.
Het substraat gaat stralen (groene pijlen) naar de twee koelplaten (zie: Figuur 33 Warmtestroom magazijn). Elke plaat kan de warmtestroom naar twee kanten afvoeren (rode pijlen).
Dit betekend dat er vier weerstanden parallel staan.
De weerstanden zijn allemaal hetzelfde en dat betekend dat de standaard formule gebruikt kan worden en de oppervlaktes bij elkaar opgeteld mogen worden.
De maten van de koelplaat zijn:

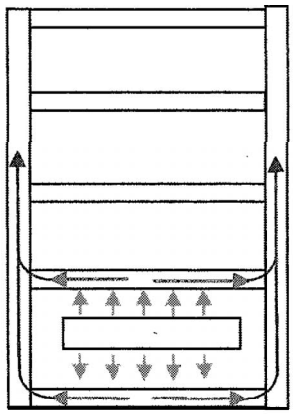
0,135m (breedte van de koelplaat)
0,008m (dikte van één van de koelplaat)

De lengte d is de helft van de breedte van de koelplaat dus:

0,0675m

De formule voor R_1 wordt dan:

$$R_1 = \frac{0,0675}{237 \cdot (0,135 \cdot 0,008 \cdot 4)}$$



Figuur 33 Warmtestroom magazijn

Bij de tweede weerstand (blauwe pijlen) zijn de oppervlaktes bij elkaar opgeteld, omdat dit volgens ons een reëel beeld schets van de situatie.

Deze oppervlakten, in het blauw aangegeven **(zie: Figuur 33 Warmtestroom magazijn),** zijn respectievelijk:

$$A_1 = 0,002725m^2$$
$$A_2 = 0,00171m^2$$
$$A_3 = 0,00065m^2$$
$$A_{tot} = 0,005085m^2$$

De lengte d is in totaal 0,2605m, dit is berekend door
$4 \cdot 0,049m(kamers) + 5 \cdot 0,008m(koelplaten) + 0,0245(halvekamer)$

$$R_2 = \frac{0,2605}{237 \cdot (0,005085)}$$

Deze twee weerstanden staan in serie en mogen dus bij elkaar opgeteld worden.
De totale formule met uitkomst ziet er dan als volgt uit:

$$R_{tot} = \frac{0,0675}{237 \cdot (0,135 \cdot 0,008.4)} + \frac{0,2605}{237 \cdot (0,005085)}$$
$$R_{tot} = 0,2821$$

Nu de weerstand bekend is, kan er met de formule $\dot{Q} = \frac{1}{R} \bullet \Delta T$ uitgerekend worden hoeveel het magazijn opwarmt.
De gegevens zijn:

$$\dot{Q} = 30,6W$$
$$R_{tot} = 0,2821$$

De verschiltemperatuur wordt dan:

$$30,6W = \frac{1}{0,2821} \bullet \Delta T$$
$$\Delta T = 8,63^0 C$$

Ervan uitgaande dat de buitentemperatuur met een koelblok gehouden kan worden op 22°C, wordt het magazijn maximaal 30,63°C.
Dit is volgens ons, de opdrachtgever en de stagebegeleider acceptabel.

5 Onderzoek besturing

Naast de mechanische constructie is er een besturing nodig om de parkeerkamer praktisch bruikbaar te maken.
Hieronder zijn de verschillende eisen samengevat (zie: 2.4 Pakket van eisen) die betrekking hebben op de besturing.

Besturingseisen:

1) Minimaal 5 substraathouders.
2) Bij stroomuitval ASTER belucht met stikstof (magazijn moet positie houden) (bij voorkeur hardware).
3) Alle substraathouders in de parkeerkamer zijn naar buiten toe direct beschikbaar.
4) Manuele bediening mogelijk.
5) Preparaten en hun positie moeten na stroomuitval bij het systeem bekend zijn.
6) Detectie en beveiliging voor botsing robotarm met kamer, opslagsysteem en substraathouder.
7) Bewegingen moeten "vloeiend" zodat substraathouder niet verschuift tijdens bewegen.
8) Digitale uitlezing van substraathouders in parkeerkamer met samplenummer.
9) Automatische aansturing van de parkeerkamer door middel van ingeven van substraatnummer.
10) Elektromagnetisme verboden binnen vacuüm (motor buitenvacuüm).

Fouten (zie: paragraaf 5.1 Fouten onderzoek):

a) Botsing arm en kamer (veroorzaakt door arm).
b) 2 houders in 1 kamer.
c) Grote beweging kamer terwijl arm in kamer (botsing veroorzaakt door kamer).
d) Houder nog niet vrij (slepen over oplegging).
e) Magazijn tegen einde van zijn slag.
f) Vastzitten van systeem.
g) Stroomuitval (bij voorkeur hardware).

Wensen I opties:

- *Digitale uitlezing van de substraathouder en samplenummer voor hele ASTER.*
- *Automatische aansturing van gehele ASTER door middel van ingeven nummer substraathouder / samplenummer.*
- *Beveiliging tegen 2 substraathouders in één kamer (kamer bezet) in gehele ASTER.*
- *In administratie de weg bijhouden dat een substraat volgt door de ASTER.*

Omdat een besturing nooit een opstelling of het proces schade mag toebrengen, moet er gekeken worden welke fouten er zich kunnen voordoen. Hiervoor moet er gemeten worden zodat bekend is wat het proces doet. Vervolgens kan er aan de hand van de eisen tot een besturing worden gekomen.

Lef op. Aanpassingen aan het systeem die op bepaalde momenten een beweging blokkeren, moeien een "overwrite" mogelijkheid hebben wanneer de gebruiker bewust kiest deze actie toch uit te voeren.

5.1 Fouten onderzoek

De verschillende fouten die voor kunnen komen worden é6n voor één bekeken. In bijlage V Fouten onderzoek is een uitwerking van alle fouten met oplossingen te zien. Hieronder zijn alleen de verschillende fouten weergegeven.

- Botsing **arm(substraat)** met magazijn
  Het magazijn is (nog) niet op de juiste positie om een substraat te kunnen ontvangen. Hierdoor raakt de arm (en eventueel substraat) het magazijn of daarin opgeslagen substraten.

- Botsing tussen **2** substraten (kamer al bezet)
  Een substraat in het magazijn botst met een substraat op de arm. Dit kan komen doordat er gedacht wordt dat de kamer leeg is, of doordat er gedacht wordt dat de arm vrij is.

- **Arm** nog in kamer, contact **met** magazijn (beweging van magazijn)
  Hierbij bevindt zich de arm in de kamer en beweegt het magazijn op een dergelijke manier dat er onbedoeld contact ontstaat tussen het magazijn en de arm en/ of het substraat.

- Slepen van substraathouder uit kamer (substraathouder niet vrijgegeven)
  De substraathouder ligt nog in de kamer, terwijl de arm probeert de substraathouder uit de kamer te halen. Dit probleem is theoretisch al afgevangen doordat er per kamer maar 2 posities zijn, maar kan voorkomen wanneer de arm beweegt als het magazijn nog niet in positie is of na opstarten (stroomuitval enz.)

- Magazijn **einde slag**
  Omdat de vacuümkamer maar een beperkte lengte heeft zal het magazijn op een bepaald moment tegen de boven of ondergrens aanlopen. Gevaar is het oververhitten van de motor en het kapot trekken van de constructie.

- **Vastzitten** van magazijn
  Door slijtage, plotselinge schokken, vervuiling of klemmen kan het magazijn of het mechanisme vast komen te zitten. Om te voorkomen dat hierdoor het mechanisme of de aandrijving schade oploopt moet gedetecteerd worden wanneer dit gebeurd zodat de motor wordt uitgeschakeld en er gepaste actie ondernomen kan worden.

- **Stroomuitval.**
  Hierbij ontstaat het gevaar dat het magazijn op de arm gaat steunen. De arm is hiervoor niet geschikt, hiernaast komt de arm klem te zitten.

Omdat de fouten op verschillende manieren kunnen worden afgevangen is er een overzicht gemaakt **(zie: Figuur 34 Tabel: fouten in de parkeerkamer).** Aan de hand van deze tabel wordt er in de conclusie gezocht naar een oplossing met zo weinig mogelijk sensoren en een minimale aanpassing aan de huidige besturing van de ASTER.

Fouten in de parkeerkamer	**Arm tegen magazijn**	**Kamer al bezet**	**Bewegen magazijn bij arm in kamer**	**Slepen van substraat over oplegging**	**Magazijn einde slag**	**Vastzitten systeem**	**Stroomuitval**
Zonder aanpassing huidig systeem	Huidige positie sensor arm -> noodstop. ✓		Huidige positie sensor arm -> slag lift limiteren. ✓	Huidige positie sensor arm -> noodstop ✓	Maximale waarde in besturing. ✓		Lift beweegt, steunen op arm, of lift zakt. ✓
		Bezet sensor op arm + database -> Noodstop ✓			Extra sensoren bepalen grens. Besturing stopt.		Lift zelfremmend > lift blijft stilstaan. ✓
					Controle of er verplaatsting is bij aansturen.	Controle of er verplaatsting is bij aansturen. ✓	Rem toepassen bij stroomuitval. ✓
			Stroom meten motor -> uitschakelen		Stroom meten motor. -> uitschakelen	Stroom meten motor. -> uitschakelen	
			Maximale kracht limiteren en contact met arm		Maximale kracht limiteren (slipkoppeling)	Maximale kracht limiteren (slipkoppeling)	
Mét aanpassing huidig systeem	Controle over arm -> arm optijd stilzetten. ✓	Controle over arm -> arm optijd stilzetten. ✓	Controle over arm -> arm eerst uit kamer halen. ✓	Controle over arm -> arm mag niet bewegen ✓			
Extra veiligheid:	Contact sensor arm verbinden met magazijn -> **buiten besturing om magazijn stilzetten.**	Contact sensor arm verbinden met magazijn -> **buiten besturing om magazijn stilzetten.**	Contact sensor arm verbinden met magazijn -> **buiten besturing** om **magazijn stilzetten.**	Contact sensor arm verbinden met magazijn -> **buiten besturing** om **magazijn stilzetten.**	Extra sensor. Deze zet lift stil buiten besturing om.		
	Beveiliging alleen opheffen bij opzettelijk contact (pakken/ plaatsen).	*Beveiliging alleen opheffen bij opzettelijk contacf (pakken/ plaatsen).*	*Beveiliging alleen opheffen bij opzettelijk contact (pakken/ plaatsen).*	*Beveiliging alleen opheffen bij opzettelijk contact (pakken/ plaatsen).*			

Figuur 34 Tabel: fouten in de parkeerkamer

5.2 Conclusie fouten

Uit de tabel (Figuur 34 Tabel: fouten in de parkeerkamer) kan worden afgeleid wat minimaal gemeten en aangestuurd moet kunnen worden om de diverse fouten te kunnen voorkomen. Aan de hand van de tabel wordt gezocht naar een oplossing die met zo weinig mogelijk sensoren en aanpassingen alle fouten kan opvangen. De ✓ geeft de beste keuze aan.

Samengevat moet de besturing de volgende gegevens hebben:

- Positie sensor en bewegingssensor voor het magazijn in de Parkeerkamer (nog te maken).
- Positie van de arm (de waarden van huidige sensoren inlezen).
- Plakcontrole van de arm (waarde van huidige sensor inlezen).
- De arm kunnen stilzetten en weer vrij kunnen geven (hiervoor is ingrijpen in huidige besturing van de arm nodig).
- Database met daarin:
  - posities van arm
  - posities van Parkeerkamer
  - kamer leeg of bezet
- Beweging van het magazijn bij stroomuitval moet bij voorkeur mechanisch worden opgelost. Het toepassen van een rem stelt zware eisen aan de snelheid waarmee deze reageert, en de tijd dat de besturing het magazijn nog in positie kan houden.

Wanneer softwarematige foutdetectie en controle niet voldoende wordt geacht (denk hierbij aan programmeeríouten) kan er voor een extra hardwarematige beveilig worden gekozen. Hierbij wordt dankbaar gebruik gemaakt van de huidige botsingdetectie van de arm en zijn omgeving. Wanneer deze beveiliging wordt gekoppeld aan het bewegingsmechanisme van het magazijn, zal bij fysiek contact tussen de arm (of eventueel substraat op arm) en het magazijn zowel het magazijn als de arm worden stilgezet. Hierdoor wordt er de garantie gegeven dat bij uitval van de besturing of bij handbediening er geen schade kan ontstaan aan de parkeerkamer of de arm.

5.3 Sensoren onderzoek

Overwegingen vooraf:

- Voorkeur voor sensor buiten vacuüm. Sensoren in vacuüm relatief **duur** (geen kunststoffen of sensor "inpakken"). Hierbij kost het aanpassen van de pot (extra flens) en kabeldoorvoer ook nog het nodige (materiaal en manuren).
  Sensoren in het vacuum zijn niet toegankelijk wanneer defect of de sensor zelf gekalibreerd moet worden.
- Sensor buiten vacuum kan alleen wanneer het systeem relatief stijf is naar buiten toe (geen slip mogelijk). Hiernaast moet ook over langere duur het verlopen van de positie nauwkeurigheid onder controle blijven (zowel mechanisch als elektrisch).

Hieronder wordt een verkort overzicht gegeven van mogelijke sensoren. Het complete overzicht (met voor en nadelen en de kosten) is weergegeven in bijlage VI "Sensoren onderzoek.". Vervolgens wordt er in paragraaf **5.4** "Conclusie sensoren" een overzicht weergegeven van alle sensoren, en hieruit een conclusie getrokken welke sensoren het meest geschikt zijn voor het meten van de positie van het magazijn en het **voorkomen** van de diverse fouten.

5.3.1 Positie-opnemers

Afhankelijk van het gekozen aandrijfsysteem zal de meting binnen en/of buiten het vacuum gebeuren. Vervolgens kan er worden gemeten aan de motorzijde/ lastzijde van het reductie element. Aan de motorzijde zal de beweging (meestal) groot zijn, waardoor er veel meetwaarden per omwenteling beschikbaar zijn, echter is er wel de onnauwkeurigheid van de alle tussenliggende delen (stijfheid speling van de overbrenging en overige constructie delen). Wanneer er "aan de last" wordt gemeten, vallen al deze onnauwkeurigheden weg, en is de meetonnauwkeurigheid vooral afhankelijk van de gebruikte sensor.

Mogelijk te meten grootheden:

- Geleiding (schakelaar, weerstand).
- Inductie (dmv magneet, passeren van voorwerp door veldlijnen).
- Capaciteit (geleidende oppervlakken tegenover elkaar)
- Optisch (pulsen, reflectie)
- Kracht
- Bijhouden aansturing van de motor (tijd motor aan ▮ aantal stappen bij stappenmotor).

- Positieschakelaar (relatief)
  Benodigde standen:
  - Bekende positie (nulstand)
  - Positie substraat invoeren (voor elke kamer één nok)
  - Positie lege arm uit kamer (voor elke kamer één nok)

- Positieschakelaar (absoluut)
  Wanneer het magazijn op de juiste hoogte is wordt er een schakelaar geactiveerd waarmee het systeem weet dat de juiste positie is bereikt. Er zijn minimaal **10** schakelaars nodig. Eventueel hierbij nog de eindstand(-en) en de koelstand. Maximaal **14** schakelaars.

- Potmeter (absoluut)
  Speciaal type potmeter (soms genaamd servopotmeter). Redelijke levensduur **(10^6** omwentelingen). Potmeter meestal voorzien van kogellagers om speling te verminderen (beter lineair). Een overbrenging is nodig om het aantal omwentelingen van de complete slag van het magazijn om te zetten naar **1** omwenteling voor de potmeter.

- Enkele **encoder** (relatief)
  Zowel rotatie als translatie mogelijk. Houdt de verplaatsing bij. Tevens erg geschikt voor bepalen snelheid (weinig tot geen storing). Heeft een referentie positie nodig.

- Meerdere encoders (relatief)
  Gebruik van 2 sensoren, waarbij de code onderling verschoven is. Voordeel is dat deze de draairichting kan bepalen. Dit is echter bij de besturing al bekend omdat deze zelf de motor aanstuurt.

- Gray-code (absotuut)
  Meerdere encoder worden gebruikt waarbij er een onderling verband tussen de codes bestaat. Elke waarde komt maar één maal voor. Hierdoor is direct te zeggen waar de last zich bevindt. Door de grote slag en de nauwkeurigheid hierbij zijn er echter veel sensoren nodig.
  *Slag 250mm **nauwkeurigheid** 0,5mm* *250/0,5=500* $\sqrt{500} \approx 23$ *sensoren.*

- Aansturing
  Tijd motor ***aan***
  Testen hoe lang de motor aan sturen om één positie op ***te*** schuiven. Hierbij moet er wel elke keer weer "genuld" worden omdat anders de onzekerheden doorgestapeld worden.
  Stappenmotor ***stappen*** tellen
  Een stappenmotor is intern zo opgebouwd dat bij het actueren van de motor telkens 1 stap wordt gemaakt. Omdat het aantal stappen per omwenteling bekent is, kan hiermee de gemaakte hoek worden bepaald. Er moet echter wel genuld worden.

5.3.2 Snelheid-opnemers

Omdat de versnelling en vertraging gelimiteerd is (ivm bewegen van subtraathouder op zijn oplegging), is het handig de snelheid te weten zodat aan deze eis kan worden voldaan **(zie: 2.4 Pakket van eisen).**

- Tacho
  Dit kan een aparte "generator" zijn of de dc-motor zelf. Afhankelijk van de snelheid zal de spanning groter worden. Naast de snelheid is ook de temperatuur van invloed op de spanning.
- **Encoder**
  Door middel van de encoder positie te differentiëren. Dit kan gedaan worden door het aantal pulsen per tijdseenheid of de tijd tussen twee pulsen te meten.
- Schakelaars
  Hetzelfde principe als bij de encoder, echter is de afstand groter en de waarde dus een gemiddelde over een bepaald traject (voor ons project niet nuttig!).

5.3.3 Stroom-opnemers

Controle of de motor wordt aangestuurd, of er een te grootte stroom door de motor loopt (motor wordt aangestuurd zonder dat deze kan draaien).

- Weerstand
  Door een laag ohmige weerstand in de motorkring op te nemen kan de spanning over deze weerstand worden gemeten. Hiermee is de stroom door de weerstand en dus de motor te bepalen. Voorwaarde is wel dat de weerstandwaarde relatief laag is zodat deze niet te veel invloed heeft op de prestaties van **de** motor.
  De temperatuur invloed op de meting moet zo klein mogelijk worden gehouden.
- Hallsensor
  Meet het magnetische veld dat veroorzaakt wordt door de stroom die door een geleider loopt (galvanisch gescheiden). Hiermee is de stroom door de geleider te bepalen. Dit principe werkt alleen bij een wisselstroom! Alleen betrouwbaar bij grotere stromen omdat hierbij de omgevingsruis wegvalt!

5.3.4 Kracht- / moment-opnemers

- **Rekstrookje**
  Het meten van rek in een materiaal waarvan de eigenschappen bekent zijn.
- **Druksensor**
  Het meten van de druk op een oppervlak (druk bijvoorbeeld veroorzaakt door niet constante veer).

	Nullen tegen aanslag	Instellen van positie	Nauwkeurig-heid	**uitgangs-**signaal	Vacuüm geschikt	**Kosten (€) (sensoren)**	**Zelf te** produceren + **bijkomend**	totaal
Positieschakelaar	Relatief ja 2	Hardware schakelaar positie's 2	Schakelaar/ aanslag/ stijfheid 2	Direct uit te lezen 2	ja (afhankelijk van soort)	2*10=20 (1)	1 schakelaar vast, ander in te stellen.	9
Elke positie een schakelaar	Absoluut nee 1	Hardware, schakelaar positie's 3	Schakelaar/ aanslag/ stijfheid 2	Direct uit te lezen 1	ja (afhankelijk van soort)	11*10=110 (3)	10schakerlaars in te stellen, 1 vast koelpositie	10
Potmeter / lineaire schuifweerstand	Absoluut nee 1	Software, gebied A/D converter 2	Stijfheid1speling ruis en AID converter 2	Filtering en A/D conversie	Nee, niet vacuüm geschikte materialen	30 tot 50 (2)	Ophanging, omzetting voor goede slag.	10
Enkele **encoder (+eindschakelaar)**	Relatief ja 2	Software, nullen + tellen putsen 1	potentieel héél nauwkeurig 1	Direct uit te lezen geschikt) 2	nee, standaard veel kunststoffen X	10 tot 30 (1)	Ophanging, uitlijning, koppeling	7
Meerdere encoders (+eindschakelaar)	Relatief ja 2	Soflware, nullen +tellen pulsen 1	Stijfheid speling potentieel héél nauwkeurig 1	Direct uit te lezen 2	nee, standaard veel kunststoffen X	50 tot 100 (3)	Ophanging, uitlijning, koppeling	9
Gray-code	Absoluut nee 1	Software, uitlezen code 1	Stapgrootte, stijfheid, speling 2	Direct uit te lezen (TTL geschikt) 1	nee, standaard veel kunststoffen X	600 (3)	Ophanging, uitlijning, koppeling	8
Aansturing (tijd motor aan) **(+eindschakelaar)**	Relatief ja 2	Software, één keer meten, herhalen. 1	Onzeker, veel variabelen. 3 X	Schakelaar direct uit te lezen 1	ja, alleen schakelaar nodig	10 (1)	1 schakelaar vast.	8 X
Aansturing (stappen tellen) **(+eindschakelaar)**	Relatief ja 2	Software, nullen + tellen stappen 1	Stapgrootte, overbrenging 1	Schakelaar direct uit te lezen 2	ja, alleen schakelaar nodig	10 (1	1 schakelaar vast. Verschil in kosten tussen motor-type.	7

Figuur 35 Tabel: overzicht sensoren

5.4 Conclusie sensoren

De verschillende mogelijkheden zijn beoordeeld en in een tabel geplaatst **(zie: Figuur 35 Tabel: overzicht sensoren).** De beoordeling loopt van I tot en met 3 waarbij de lage waarde beter is. De uitwerkingen van de diverse sensoren zijn terug te vinden in bijlage VI Sensoren onderzoek.

Uit het overzicht volgt dat voor het positioneren van het magazijn het beste een stappenmotor of een enkele **encoder** met eindschakelaar (nulpositie) kan worden gebruikt (aangeven met **B).**

De oplossing met meerdere encoders komt hier relatief goed naar voren, echter biedt deze geen extra informatie ten opzichte van de enkele encoder (de draairichting is bekend omdat **de** besturing de motor zelf aanstuurt!). De oplossing met de gray-code scoort tevens relatief hoog. Echter is het prijsverschil zo groot dat dit geen interessante oplossing is.

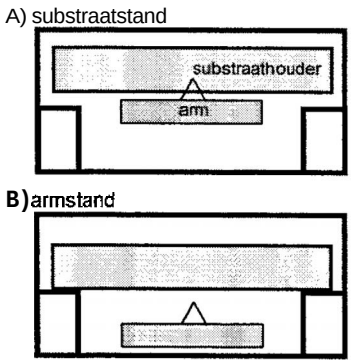
De sensoren gebaseerd op schakelaars bieden geen volledige oplossing voor alle fouten **(zie: Figuur 34 Tabel: fouten in de parkeerkamer)** omdat deze het vastlopen van het aandrijfmechanisme niet kunnen constateren (aansturen motor en kijken of de last beweegt). De afstand tussen de schakelaars is hiervoor te groot.

5.5 Besturingsprogramma

Nu de diverse fouten bekend zijn kan er gekeken worden hoe de functionaliteit van de parkeerkamer en het opvangen van de foutsituaties gevangen kunnen worden in een flowchart.

5.5.1 Werkingsvolgorde

In het magazijn moeten 5 substraten kunnen worden opgeslagen. Zoals bekend kan de arm niet in de z-richting bewegen (zie: 2.1 ~rocesbeschrijving). Daarom moet het magazijn deze beweging kunnen maken zodat de substraathouder van de arm kan worden getild / op de arm kan worden geplaatst.
Per kamer zijn er dus 2 gedefinieerde posities waarin deze zich kan bevinden (zie: Figuur 36 Magazijn substraat- en armstand). Één positie waarbij de arm een substraathouder de kamer inbrengt ("substraatstand"), en één positie waarbij de arm (zonder substraathouder) de kamer weer verlaat ("armstand"). Dit betekend dat voor de functionaliteit van de Parkeerkamer het magazijn minimaal 10 posities in de z-richting moet kennen.



Figuur 36 Magazijn substraat- en armstand

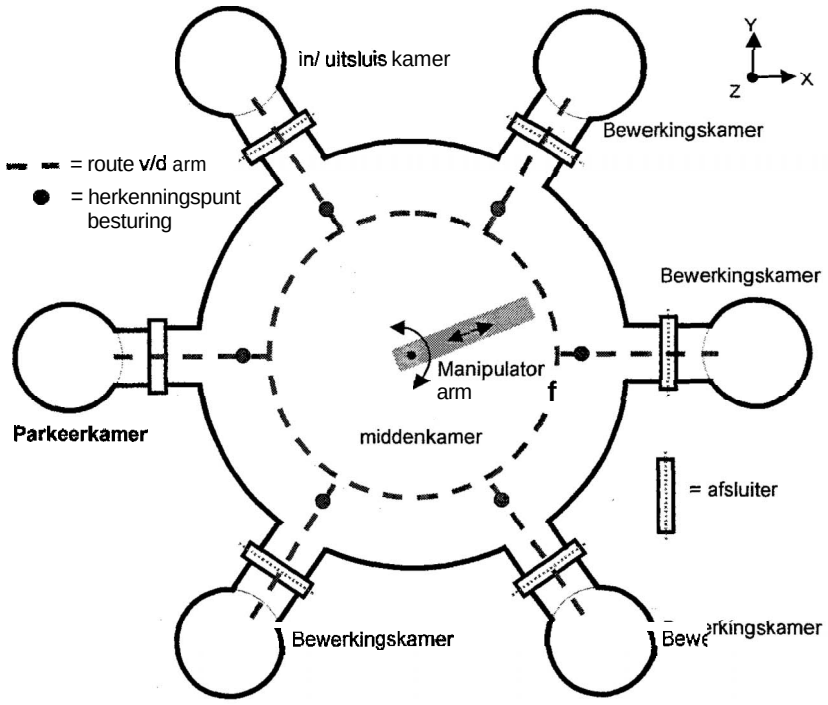
Het streven is een besturing te maken die zoveel mogelijk zelfstandig zijn taken uitvoert en die naar buiten toe werkt als een parkeerplaats. De beveiligingen zijn voor de gebruiker niet interessant en wit hier geen last van hebben, de gebruiker wil op het juiste moment over het juiste substraat beschikken. Om dit te realiseren moet de parkeerkamer zelf bijhouden welk substraat in welke kamer ligt, en welke kamers nog vrij zijn. Om deze informatie bij te kunnen houden is een kleine database nodig (zie: Figuur 37 Besturing database). Omdat de positie van de arm en de aanwezigheid van een substraathouder op de arm bekend zijn, zijn hiermee aan de eisen: 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 en de fouten: a, b, c, d, e te voldoen. Als positie sensor voor het magazijn is een encoder gekozen waardoor ook te controleren is of het magazijn daadwerkelijk beweegt wanneer deze aan wordt gestuurd (fout: f hiermee te voldoen).

Kamer nummer	Kamer naam	Substraat volgnummer	Vorige positie	Arm herkennings punt	Magazijn positie substraat	Magazijn positie arm
6.5	Magazijn 5					
6.4	Magazijn 4					
6.3	Magazijn 3					
6.2	Magazijn 2					
6.1	Magazijn 1					
5	Bewerk 4					
4	Bewerk 3					
3	Bewerk 2					
2	Bewerk 1					
1	Sluiskamer					
0	Arm					

Figuur 37 Besturing database

Bij gebruik van de ASTER brengt de manipulatiearm de substraten binnen de ASTER van de ene kamer naar de andere. Hierbij draait de arm in ingetrokken stand rond totdat deze bij de juiste kamer aankomt, waarna deze uitschuift tot in de kamer om daar een substraathouder op te halen of te brengen (zie: Figuur 38 Route arm en beslispunt). Wanneer de arm de parkeerkamer passeert hoeft de besturing van de parkeerkamer niet in actie te komen, echter wanneer de arm bij de parkeerkamer uitschuift zal de besturing van de Parkeerkamer in actie moeten komen om in eerste instantie een botsing tussen het magazijn en de arm te

voorkomen. Hiervoor is een punt gekozen op de baan van de arm waarop de besturing in actie komt.



Figuur 38 Route arm en beslispunt

In de database (zie: Figuur 37 Besturing database) wordt binnen de ASTER voor elke positie bijgehouden of er zich daar een substraathouder bevindt door middel van het volgnummer. Hiermee zijn tevens de verschillende substraathoudersuit elkaar te **houden.** De vorige positie wordt bijgehouden om te bepalen of een substraat warm is (wanneer deze uit een bewerkingskarner komt).

Werkvolgorde van Parkeerkamer:

Parkeren substraat:

1. Bij herkenningspunt blokkeren beweging arm
2. Substraat op arm = ja
3. Check positie vrij in magazijn? = ja
4. Positioneer lege kamer *(substraatstand)*
5. Arm vrijgeven (arm loopt kamer binnen)
6. Stop arm in eindpositie
7. Botsdetectie uitschakelen
8. Magazijn neemt substraathouder over (beweging omhoog)
9. Substraat op arm -> nee
10. Magazijn in positie -> arm vrijgeven voor terugtrekken *(armstand)*
11. Detecteren arm uit magazijn (herkenningspunt)
12. Magazijn naar koelpositie

Opvragen substraat

1. Bij herkenningspunt blokkeren beweging arm
2. Substraat op arm = nee
3. Check hoeveel substraten in magazijn? Groter als '0' ->
   =1: Selecteer deze kamer.
   =>1: Selecteer kamer aan hand van: criterium / vraag gebruiker
4. Positioneer de kamer *(armstand)*
5. Arm vrijgeven (arm loopt kamer binnen)
6. Stop arm in eindpositie
7. Botsdetectie uitschakelen
8. Magazijn ptaatst substraathouder op arm (beweging omlaag)
9. Substraat op arm -> ja
10. In positie -> arm vrijgeven voor terugtrekken *(substraatstand)*
11. Detecteren arm uit magazijn (herkenningspunt)
12. Magazijn naar koelpositie

Op de arm zit een botsingsdetectie die bij een elektrisch contact tussen de arm of het substraat die op de arm ligt en zijn omgeving een "noodstop" activeert. In de huidige besturing (zonder parkeerkarner) wordt de arm stilgezet wanneer dit contact ontstaat om schade aan de ASTER te voorkomen. Bij het plaatsen van een substraathouder in een bewerkingskamer staat de arm al stil, en vormt deze beveiliging geen probleem. Echter wanneer een substraat in of uit de parkeerkamer wordt gehaald zal het contact tussen het magazijn en de substraathouder (die weer contact maakt met de arm) ontstaan tijdens het bewegen van het magazijn. Gevolg hiervan is een noodstop van zowel de arm als het magazijn! Hierom moet bij het overnemen van een substraathouder de botsingsdetectie worden uitgeschakeld.

Één van **de** wensen is het bijhouden van de substraten in de gehele **ASTER,** en het voorkomen van een botsing tussen 2 substraathouders in de gehele **ASTER.** Hiervoor is een iets uitgebreidere database nodig (kamers 0 tot 5 **zie: Figuur 37 Besturing database)** en bij elke kamer een herkenningspunt in de route van de arm **(zie: Figuur** 38 **Route arm en beslispunt).** Het implementeren van deze wensen in de software is redelijk eenvoudig op eén probleem na. Bij de in- uitvoersluis is het niet bekend of hier wel of geen substraathouder aanwezig is. Omdat in de sluiskamer geen sensor aanwezig is die hier informatie over verschaft moet hiervoor een oplossing worden gevonden.
Tussen de grote middenkamer van de **ASTER** en de sluiskamer bevindt zich een afsluiter met een sensor die aangeeft of deze geopend of gesloten is. Wanneer deze van gesloten naar geopende stand gaat bestaat de kans dat de bezetting van de sluiskamer is veranderd. Om te controleren of dit zo is zou met de arm naar de sluiskamer kunnen worden gegaan om te "voelen" of er een substraathouder aanwezig is en deze automatisch een volgnummer kunnen toekennen. Wanneer dit "voelen" niet kan (op de arm is een substraathouder aanwezig) moet aan de gebruiker worden gevraagd of de sluiskamer bezet is.

5.5.2 Flowchart

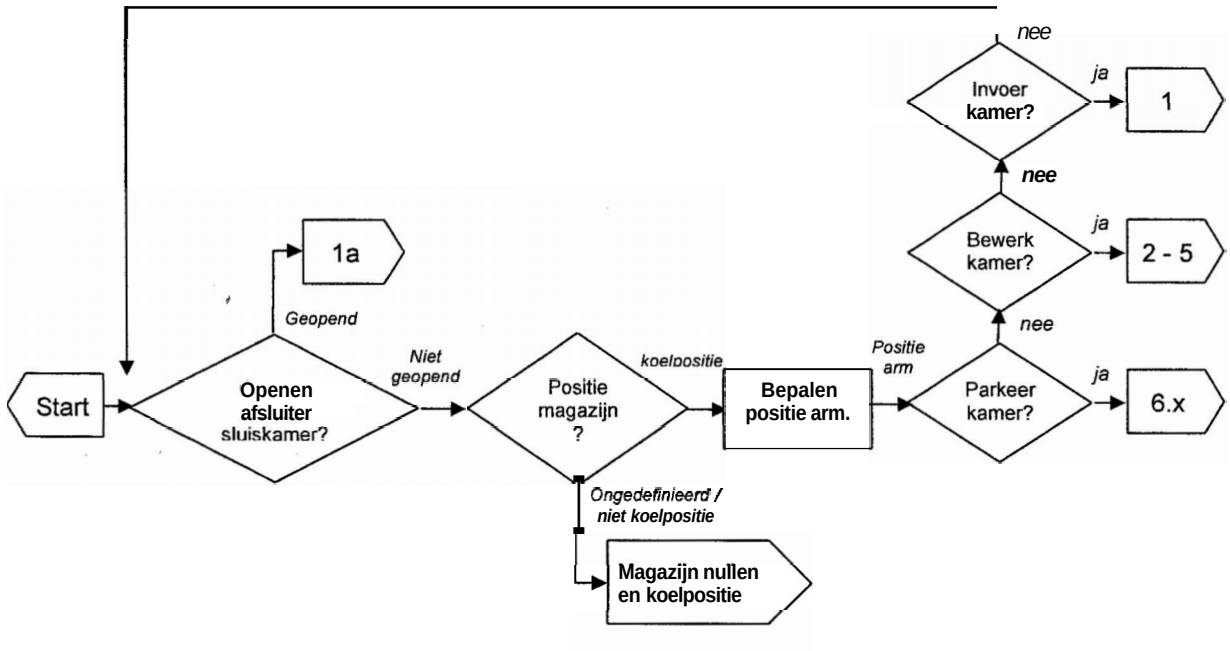
Nu de verschillende aspecten en grove werkingsvolgorde besproken zijn, wordt hieronder een meer gedetailteerdere omschrijving van de besturing weergegeven. Hier is gekozen voor het weergeven van de besturing in de vorm van een flowchart omdat dit (afhankelijk van ***de*** programmeersoftware) in deze vorm geprogrammeerd kan worden ▌ een overzichtelijke weergave is voor het maken van programmacode (bijvoorbeeld 'C').

Basisloop

In de "basisloop" controleert de besturing van de Parkeerkamer of er iets gaat gebeuren (er een "event" plaatsvindt). Wanneer de arm over één van de herkenningspunten gaat, of de afsluiter van de sluiskamer opengaat, springt de besturing uit de basisloop en gaat verder bij de bijbehorende label (zie: **Figuur** 39 **Flowchart basisloop).**
Omdat het besturingsprogramma niet "zomaar" mag stoppen, moet er een hoofdloop zijn waar **het** programma naar terugspringt totdat er weer iets gebeurd, in dit geval springt het programma na het uitvoeren van een stuk programma altijd weer terug naar het start label.

Bespreking flowchart basisloop (Figuur 39 Flowchart basisloop):

De besturing wordt ingeschakeld. Vervolgens wordt gecontroleerd of de afsluiter van de sluiskamer geopend is. Zo ja, dan moet bepaald worden of er een substraathouder in de sluiskamer aanwezig is (Ia). Dit bijwerken in de database en eventueel een substraatnummer toekennen.
Is de afsluiter van de sluiskamer niet geopend, dan wordt gecontroleerd of het magazijn zich op de koelpositie bevindt/ de positie gedefinieerd is. Is de positie niet bekend, dan moet het magazijn worden genuld (hierbij wordt rekening gehouden met eventueel arm in het magazijn). Is de positie van de kamer bekend, maar is dit niet de koelpositie, dan wordt het magazijn op de koelpositie geplaatst.
Is de positie van het magazijn bekend dan wordt de positie van de arm "opgevraagd", en gekeken of de arm zich in de buurt van een van de kamers bevindt. Zo niet dan wordt terug gesprongen naar het begin van de basisloop. Bevindt de arm zich voor één van de kamers, dan wordt er via het label naar bijbehorend schema gesprongen.



Figuur 39 Flowchart basisloop

Parkeerkamer 6.x

Het besturingsschema van de Parkeerkamer is te zien in bijlage IV Flowchart 6.x. Dit schema wordt uitgevoerd wanneer er in de basisloop wordt uitgekomen op label 6.x. Dit schema is dan ook geldig alle 5 de kamers in het magazijn (kamer **6.1** tot 6.5).

De basis functionaliteit van dit schema is tweeledig. De gebruiker zal een substraat in het magazijn willen parkeren, of een substraat komen ophalen. Hierbij moet de administratie worden bijgewerkt en moet bij het parkeren van een warme substraathouder rekening worden gehouden met de positie in het magazijn (zo dicht mogelijk bij de buitenwereld).

Bespreking flowchart 6.x (bijlage IV Flowchart 6.x):

Wanneer de arm uitschuift richting de parkeerkamer zal bij het passeren van het herkenningspunt de besturing het schema 6.x gaan uitvoeren.
Omdat de arm aan het uitschuiven is, en het magazijn in de koelpositie staat, moet de beweging van de arm eerst geblokkeerd worden om een botsing met het magazijn te voorkomen. Vervolgens wordt bepaald of de arm een substraat komt parkeren, of komt ophalen (is de arm leeg?).

Parkeren substraathouder (substraathouder op arm):

Als eerste wordt gecontroleerd of er een plek vrij is in het magazijn (zo niet dan foutmelding aan gebruiker), wanneer er maar één positie vrij is, hoeft er niet gekozen te worden, zijn er meer posities vrij dan wordt er gekozen aan de hand van de vorige positie van de substraathouder. Was dit een bewerkingskamer, dan is het substraat warm en moet deze zo dicht mogelijk bij het koellichaam (en dus de buitenwereld) worden geplaatst, is de substraathouder op kamertemperatuur (sluiskamer), dan wordt deze zo ver mogelijk van het koellichaam af geplaatst. De gebruiker kan eventueel ingrijpen en zelf een positie aangeven. Het magazijn zal de lege kamer in positie brengen (substraatstand), waarna de arm met daarop de substraathouder wordt vrijgegeven. Als de arm zich in de kamer bevindt, worden de bewegingen van de arm wederom geblokkeerd. Omdat nu het magazijn de substraathouder van de arm gaat "tillen" ontstaat er een kortstondig contact tussen het magazijn en de arm. Hierdoor zal de noodstop zowel de arm als het magazijn stilzetten. Dit is niet gewenst en daarom wordt de noodstop tijdelijk uitgeschakeld. Nu kan het magazijn langzaam omhoog bewegen naar de "armstand" zodat het substraat in het magazijn komt te liggen, en de arm de ruimte heeft om de kamer te verlaten. De bots noodstop wordt weer ingeschakeld en er wordt gecontroleerd of de arm daadwerkelijk leeg is. Wanneer dit het geval is, wordt de administratie aangepast en kan de arm vrijgegeven worden zodat de gebruiker de arm uit het magazijn kan halen. Wanneer dit te lang duurt bestaat de kans dat het magazijn te warm wordt, dus wordt er naar een bepaalde tijd alarm geslagen. Nadat de arm uit het magazijn is, kan het magazijn weer vrij bewegen. Het magazijn wordt in de koelpositie geplaafst zodat de warmte kan worden afgevoerd naar de omgeving.

Ophalen substraathouder (arm is leeg):

Er wordt gecontroleerd of er substraathouders in het magazijn aanwezig zijn (zoniet foutmelding). Is er één aanwezig, dan wordt deze automatisch gekozen, zijn het er meer, dan moet de gebruiker kiezen. De geselecteerde kamer wordt gepositioneerd (armstand), en de arm (zonder substraathouder) wordt vrijgegeven zodat deze de kamer in gaat. De arm wordt wederom geblokkeerd, en de bots noodstop (bij overname van substraathouder ontstaat een kort contact tussen magazijn en arm) uitgeschakeld. Het magazijn beweegt van armstand naar substraatstand waardoor de substraathouder op de arm komt te liggen. De bots noodstop wordt weer ingeschakeld, en er wordt gecontroleerd of de substraalhouder op de arm ligt (zo niet dan is de overname mislukt!). De arm wordt vrijgegeven zodat de gebruiker de arm uit het magazijn kan sturen. Duurt dit te lang, dan wordt er een foutmelding gegeven (hef magazijn kan zijn warmte niet kwijt). Als de arm uit de kamer is, kan het magazijn naar zijn koelsfand.

De besturing "springt" weer naar start en gaat in de basisloop wachten totdat deze weer in actie moet komen.

Omdat de overige labels vallen onder de wensen/ opties zijn deze hier niet verder uitgewerkt.

6 Concepten

6.1 Verschillende concepten

Om de relatief grote slag te kunnen maken, is er gezocht naar een goede oplossing om het magazijn op en neer te laten bewegen.
Uit de brainstormsessie zijn een aantal concepten naar voren gekomen en beoordeeld op een aantal punten, zie het morfologische overzicht.

De concepten zijn:

- Stangenmechanisme
- Magneet
- Band op trommel
- Schroefspindel
- Tandheugel
- Grote balg

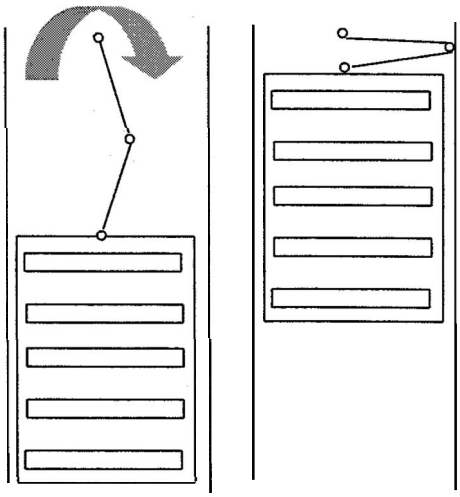
6.1.1 Stangenmechanisme

Bij het stangenmechanisme wordt een roterende beweging omgezet (met behulp van een rechtgeleiding) in een translerende beweging.

Als voordeel heeft dit concept dat een relatief dure schotelbalg, om de grote lineaire slag door te voeren, niet nodig is.

Dit concept heeft echter wel een groot aantal nadelen, namelijk:

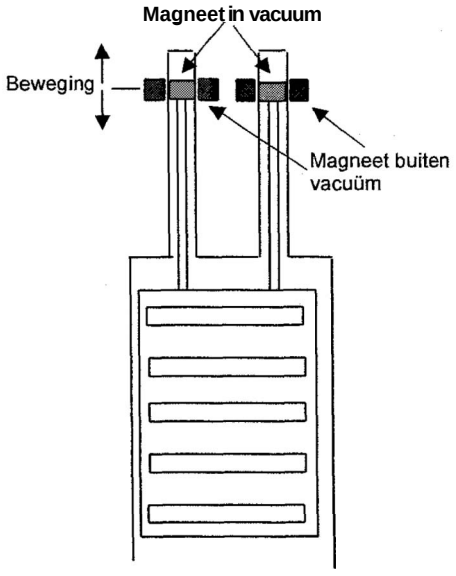
- Groot moment, grotere motor.
- Indien het magazijn boven het zwaartepunt aangedreven moet worden, beperkte slag.
- Veel draaipunten, wrijving.
- Verticale beweging niet lineair met de hoekverdraaiing.
- Niet stijf.



Figuur 40 Stangenmechanisme concept

6.1.2 Magneet

Het magnetische veld van de buitenste magneten gaat door de RVS behuizing heen, waardoor het magnetische materiaal in de pijp in het magnetische veld blijft en er hierdoor een verplaatsing plaats vindt.



Figuur 41 Magneet concept

De voordelen bij dit concept zijn:

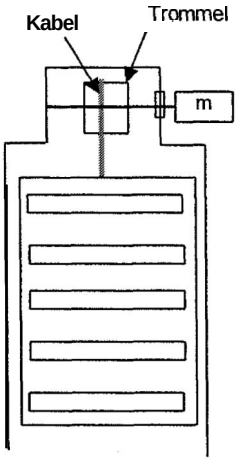
- Geen doorvoer nodig.
- Geen balg aanwezig is, ruimte eenvoudig vacuum te pompen.
- Onbeperkte slag.

Ook dit concept heeft een aantal belangrijke nadelen, namelijk:

- Magnetisch veld in vacuum, dit is niet gewenst.
- Niet stijf, heefl een bepaalde bewegingsruimte in het magnetische veld, waardoor er bij een toename aan gewicht het magazijn verder zakt.
- Positiemeting moet in de pot.
- Indien het magnetisch materiaal uit het magnetisch veld raakt, valt het magazijn naar beneden.

6.1.3 Band op trommel

Door middel van een roterende beweging, word de band die aan **de** trommel bevestigd is, op of afgerold waardoor er een verticale beweging van het magazijn plaats vindt. Dit concept kan eventueel uitgebreid worden met een contragewicht, waardoor het moment wat de motor moet leveren klein is en het concept praktisch zelfremmend is.



Figuur 42 Band op trommel concept

De voordelen bij dit concept zijn:

- Roterende doorvoer, grote slag mogelijk.
- Eenvoudig constructie mogelijk.
- Geen wrijving.
- Stijf.
- Zelfremmend (indien contragewicht aanwezig is).

De nadelen van dit concept zijn:

- In de vacuümkamer geen ruimte voor contragewicht.
- Met contragewicht buiten vacuüm, grote massa.
- **Kans** op slip, waardoor de positie opnemer in het vacuüm aangebracht moet worden.
- Niet zelfremmend (zonder contragewicht).
- **Lastig** inklemmen (als de band bij het magazijn verkeerd ingeklemd wordt, of in de loop van de tijd het magazijn scheef zakt, komt alle massa op één deel van de band te hangen, waardoor de kans groot is dat de band scheurt).

6.1.4 Schroefspindel

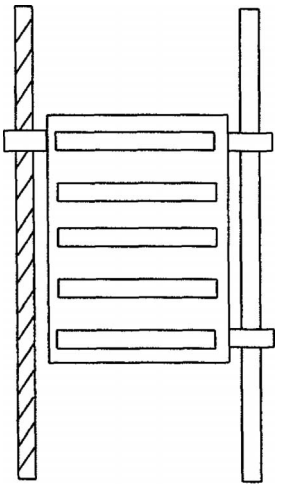
Door middel van een rotatie van de schroefspindel, wordt de kogelomloopmoer waar het magazijn aan bevestigd is, in verticale richting verplaatst.
De geleiding zorgt ervoor dat de schroefspindel geen moment hoeft op te vangen, waardoor deze alleen wordt belast in verticale richting.

De voordelen bij dit concept zijn:

- Roterend aangedreven.
- Stijf, sensoren buiten vacuum.
- Zelfremmend (afhankelijk van de spoedhoek).

De nadelen bij dit concept zijn:

- Veel wrijving tussen de kogels van de kogelomloopmoer.
- Schroefspindel moet boven en onder in de pot vastgezet worden.



Figuur 43 Schroefspindel concept

6.1.5 Tandheugel

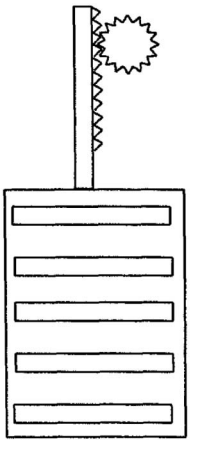
Door middel van een rotatie van het tandwiel, de tandheugel waar het magazijn aan gemonteerd is, in verticale richting bewegen.
De rechtgeleiding zorgt ervoor dat het magazijn binnen de toegestane toleranties zich blijft bevinden.

De voordelen bij dit concept zijn:

- Roterend aangedreven.
- Stijf, sensoren buiten vacuüm.
- Weinig wrijving.

De nadelen bij dit concept zijn:

- Twee geleidingen nodig (magazijn en de tandheugel).
- Niet zelfremmend.



Figuur 44 Tandheugel concept

6.1.6 Grote balg

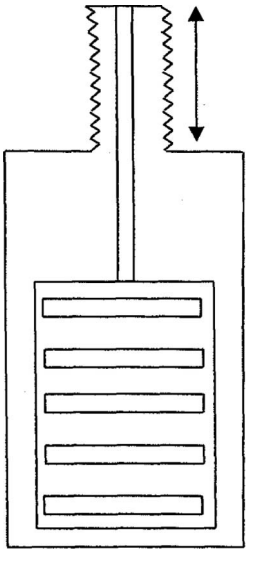
Een schroefspindel zorgt er buiten het vacuum voor dat de verbindingsstang door een grote schotelbalg, tussen een flens en het magazijn in verticale richting bewogen kan worden.
Dit concept is niet nieuw en kan bij verschillende leveranciers gekocht worden.

De voordelen bij dit concept zijn:

- Zelfremmend.
- Geen wrijving.
- Stijf.

De nadelen bij dit concept zijn:

- Grote balg, duur.
- Door balg, groot oppervlak om vacuüm te pompen.



Figuur 45 Grote **balg concept**

6.2 Keuze matrix

Om een goed beeld te krijgen van de verschillende concepten is ervoor gekozen om een morfologisch schema te maken (zie: Figuur **46 Keuze matrix concepten).**
In dit schema zijn de verschillende concepten beoordeeld met een cijferbereik van één tot en met vier, waarin geld dat een één slecht is en een vier goed.

	eisen	weeg factor	stangen mechanis me	magneet	band op trommel	schroef spindel	tand-heugel	grote balg	ideaal
constructie	zelfremmend	2	2	6	6	8	2	8	8
	wrijving	4	4	12	12	4	12	16	16
	stijfheid	3	9	3	9	12	12	12	12
	eenvoudige beweging	2	2	4	2	8	6	8	8
	robuustheid	3	3	3	3	12	9	12	12
vacuum technisch	dode ruimtes	1	4	2	3	3	2	1	4
	vervuiling	2	4	8	6	2	2	8	8
kosten	aanschaf	1	4	2	4	2	3	1	4
	produceren	1	1	4	1	3	2	4	4
	TOTAAL		33	44	46	54	50	70	**76**

Figuur 46 Keuze matrix concepten

Conclusie:

Na het overleg aan de hand van deze matrix, is de conclusie getrokken dat:

- Stangenmechanisme valt af, omdat dit concept op vrijwel alle opgestelde punten slecht scoort.
- Magneet valt af, omdat de betrouwbaarheid, m.b.t. stoten uit het magnetische veld, zeer gering is. Bovendien heeft dit concept het probleem dat het niet stijf is.
- Band op trommel valt af, omdat de krachten op de band verdelen zeer problematisch is, hierdoor neemt de betrouwbaarheid af. Ook op de andere punten scoort dit concept niet optimaal.
- Schroefspindel valt af, in tegenstelling tot wat de beoordeling doet vermoeden is dit concept zeer af te raden. Deze conclusie volgt uit gesprekken die met meerdere personen (dhr Verkerk, dhr Horsman en dhr Hanegraaf) gevoerd zijn. Het probleem bij een schroefspindel in vacuum is dat er tussen de kogels zeer veel wrijving ontstaat, omdat er geen lucht aanwezig is. Indien er vuil tussen de kogels komt, ontstaat er een grote kracht die niet gewenst is. Het advies van de eerder genoemde mensen was dan ook om een ander concept te kiezen indien dat mogelijk is.
- Tandheugel verder uitwerken, omdat dit concept, samen met de grote balg, de beste oplossing voor het probleem is. Dit concept dient verder uitgewerkt te worden, waarna er een goede vergelijking kan worden gemaakt.
- Grote balg verder uitwerken, dit concept is volgens de matrix de beste oplossing, waardoor ook dit concept verder uitgewerkt dient te worden.

6.3 *Verdere uitwerking*

Verdere uitwerking van de concepten:

- Tandheugel.
- Grote balg.

6.3.1 Concept tandheugel

Bij het concept tandheugel zijn er een aantal onderwerpen uit te zoeken namelijk:

- Plaats van de tandheugel.
- Plaats van de rechtgeleiding.
- Prijs tandheugel concept.

6.3.1.1 Plaats van de tandheugel

Tijdens het ontwerp van het tandheugel concept, is er gekeken naar de plaats van de tandheugel namelijk, boven het magazijn of naast het magazijn.
Wanneer de tandheugel aan de zijkant van het magazijn geplaatst wordt, ontstaat er een groot moment die opgevangen moet worden door de rechtgeleiding.
Wanneer er in de documentatie gezocht wordt naar een rechtgeleiding die dit moment op kan vangen, worden de maten van de geleidingswielen zo groot dat de rechtgeleiding en de tandheugel niet aan dezelfde kant van het magazijn geplaatst kunnen worden.
Dit zou opgelost kunnen worden door aan één kant de geleiding te plaatsen en aan de andere kant de tandheugel, maar dan wordt het warmteverhaal belangrijk en blijkt dat er dan te weinig oppervlakte is om de warmte weg te kunnen geleiden.

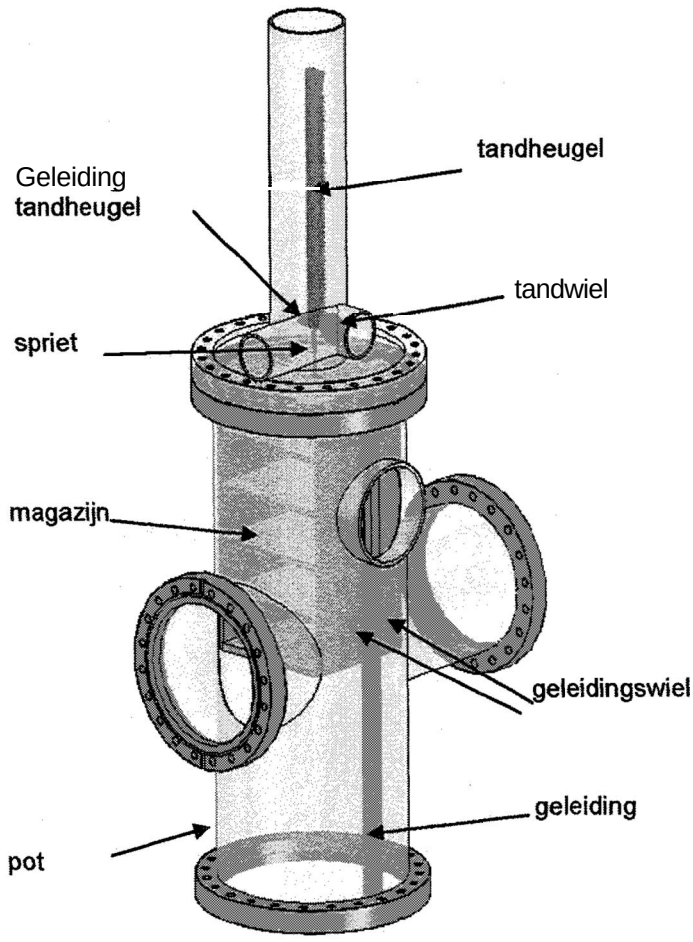
Hierdoor is er gekozen om het magazijn aan de bovenkant aan *te* drijven.

6.3.1.2 Plaats van de rechtgeleiding

Er zijn twee mogelijkheden waar de rechtgeleiding geplaatst zou kunnen worden namelijk, boven het magazijn of naast het magazijn.
Een rechtgeleiding moet per definitie zo dicht mogelijk bij het te geleiden object geplaatst worden, hierdoor ontstaat de voorkeur om de geleiding naast het magazijn te plaatsen. Enig mogelijk probleem is dan het gebrek aan oppervlakte om de warmte weg te kunnen geleiden. Na dit nagerekend te hebben, bleek dat de nog beschikbare oppervlakte genoeg was om de warmtestroom weg te geleiden.

Hierdoor is gekozen om de rechtgeleiding naast het magazijn te plaatsen

Voor deze combinatie, tandheugel boven het magazijn en geleiding naast het magazijn, ontstaat een probleem met de uitlijning.
Immers, het geheel wordt op twee verschillende plaatsen geleidt en is dus overbepaald. Die overbepaaldheid moet opgeheven worden, en dat wordt opgelost door de verbinding tussen de tandheugel en het magazijn flexibel (spriet) te maken.



Figuur 47 3d tekening tandheugel concept

Dit is het uiteindelijke concept van de tandheugel.
Kort uitgelegd.
Tandwiel drijft tandheugel aan die door een geleidingswiel tegen de tandwiel wordt aangedrukt.
De tandheugel is door middel van een spriet verbonden met het magazijn.
Het magazijn wordt door middel van een geleiding zuiver in verticale richting verplaatst.
Onderin de geleiding wordt ruimte gegeven, zodat het magazijn zichzelf goed kan neerzetten op de bodem, waardoor een optimaal geleidingsoppervlak wordt gecreëerd.

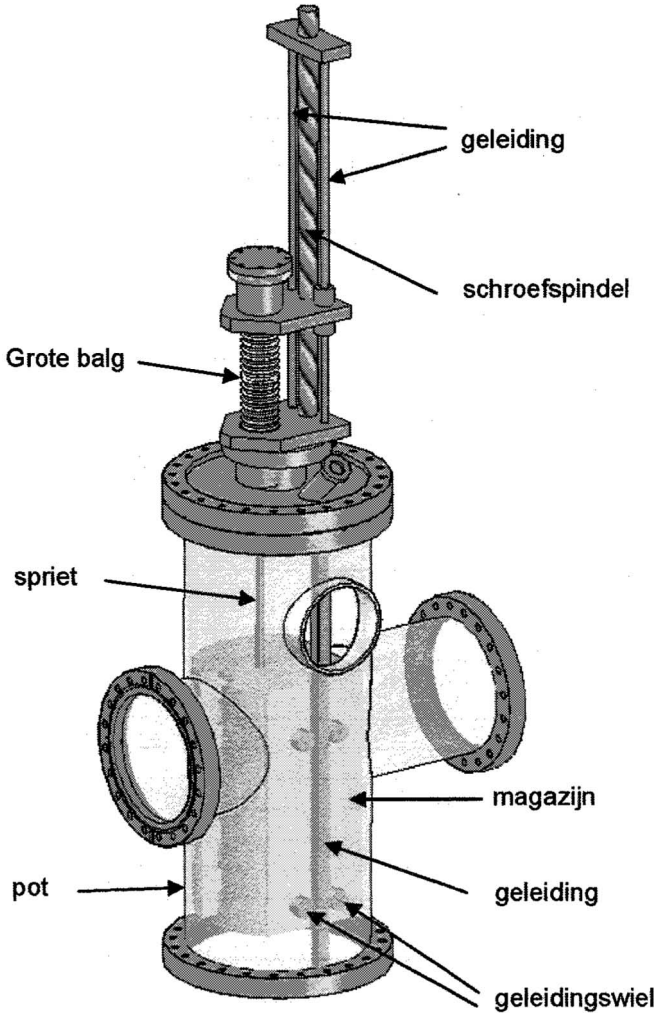
6.3.1.3 Prijs tandheugel concept

	Prijs flenzen	Aantal	Prijs p/st		Totaal
pot	NW200CF	2	€150,- /€192,-		€342,-
	NW160CF	2	€135,-/€83,-		€218,-
	NW100CF	1	€75,-		€ 75,-
	NW63CF	1	€38,-		€ 38,-
	NW40CF	2	€12,-		€ 24,-
	NW16CF	1	€8,50		€ 8,50
	NW40glasflens	1	€310,-		€310
	Prijzen RVS		gewicht	Prijs €/kg	
	Volume	0,0012m³	9,48kg	€10,-	€ 94,80
	Bouten/moeren			€20,-	€ 20,-
				Totaal	*€1130,30*
	25% extra				€283,-
	Totaal pot				**€1413,30**
Magazijn					
	Aluminium		7,5kg	€7,-	€52,50
Aandrijving	Kosten tandwiel				€150,-??
	Kosten tandheugel				€330,-
	bevestiging geleiding tandheugel				€150,-
	Geleiding tandheugel				€126,-
	bevestiging aan magazijn				€50,-
	Kosten geleiding				€660,-
	draaidoorvoer				€1144,-
	Motor+wormwiel				€1150,-
	Besturing				€ 500,-
	Electrical feedthrough				€ 424,-
	encoder				€ 150,-
	Koelblok				€ 150,-
	Totaal aandrijving				€4984,-
Totaal	Totaal				€6449,80
	25% extra				€1612,45
	Totaal (ex BTW)				**€8.062,25**
	Totaal (inc)				**€9.594,08**

Figuur 48 tabel: Prijs tandheugel concept

6.3.2 Concept grote balg

Bij het concept grote balg zijn er weinig keuzes te maken. De balg met frame komt bovenop de pot en omdat de balg heen en weer gaat, ban de geleiding niet boven het magazijn geplaatst worden.



Figuur 49 3d tekening grote balg concept

6.3.2.1 Prijs grote balg concept

	Prijs flenzen	Aantal	Prijs p/st		Totaal
pot	NW200CF	2	€150,-/€192,-		€342,-
	NW160CF	2	€135,-/€83,-		€218,-
	NW100CF	1	€75,-		€75,-
	NW63CF	1	€38,-		€38,-
	NW40CF	2	€12,-		€24,-
	NW16CF	1	€8,50		€8,50
	NW40glas flens	1	€310,-		€310,-
	Prijzen RVS		gewicht	Prijs €/kg	
	Volume	0,0012m³	9,48kg	€10,-	€94,80
	Bouten/moeren			€20,-	€20,-
				Totaal	*€1.130,30*
	25% extra				€283,-
	Totaal pot				**€1.413,30**
magazijn					
	Aluminium		7,5kg	€7,-	€52,50
aandrijving	Kosten Balg				€5.000,-
	Motor				€880,-
	Besturing				€500,-
	geleiding				€660,-
	Electrical Feedthrough				€424,-
	Encoder				€150,-
	Kosten bevestiging magazijn				€50,-
	Koelblok				€150,-
	Totaal aandrijving				€7.814,-
totaal					
	Totaal				€9.280,-
	25% extra				€2.320,-
	Totaal (ex BTW)				**€11.600,-**
	Totaal (inc)				**€13.804,-**

Figuur 50 tabel: Prijs grote balg concept

7 Conclusie en aanbevelingen

Het eindproduct ziet er als volgt uit.
Substraathouder wordt in een parkeerkamer gelegd en koelt af door middel van straling. De Parkeerkamer, die helemaal gemaakt is van aluminium, beweegt in zijn geheel in verticale richting en is afgesteld voor twaalf posities (twee posities voor elke kamer, de koelpositie onderin de kamer en de maximale positie wat hoogte betreft).

Het magazijn wordt aangedreven door het hiervoor besproken grote balg concept.
Deze wordt besteld bij "Hositrad Holland" te Hoevelaken.
Dit artikel wordt geleverd inclusief motor, met op de motoras een encoder en op de schroefspindel reeds gemonteerde schakelaars.
Hiervoor moet echter nog wel een offerte worden aangevraagd.

Voor de besturing is de Flowchart gemaakt, helaas zijn wij niet zover gekomen om de hardware te kiezen en de bijbehorende software te programmeren.

Het wachten is nu op de officiële bevestiging van de klant en dan kan de offerte aanvraag naar "Hositrad Holland" en de technische tekeningen naar de instrumentmakers, om de desbetreffende onderdelen te maken en daarna te assembleren tot de Parkeerkarner.

8 Eindwoord

Het project en tevens de afstudeerstage is met dit eindwoord en het inleveren van dit afstudeerverslag zo goed als ten einde. Hierbij kijken wij terug op een leuke stage binnen een bedrijf (lees: opleidingsinstituut) waar een grootte variëteit aan onderzoeken wordt uitgevoerd, wordt ontworpen en gemaakt. Zeker in het begin van de stage hebben wij met verbazing rondgelopen in de grote hallen waarin de deeltjesversneller staat opgesteld.
Echter kan naar 4 maanden binnen IGF actief te zijn geweest worden gezegd dat, hoe ingewikkeld sommige opstellingen in het begin ook lijken, naar verloop van tijd er toch wat meer duidelijkheid is ontstaan betreft de werking en het doel van de opstelling en het onderzoek.

Dit geldt zeker voor de ASTER opstelling waar de door ons ontworpen Parkeerkamer straks moet helpen het de gebruiker wat gemakkelijker te maken. Toch neemt dit niet weg dat het ontwerpen van de Parkeerkamer een weg met velen gaten is geweest.
Bij de initiële opdrachtomschrijving leek het vooral te gaan om het opslaan van de substraathouders en de daarbij benodigde bewegingen. Op deze aanname was ook de planning gebaseerd (zie: 1.4 Tijdsplanning). Echter bleek na een aantal gesprekken dat er betreft de onderlinge temperatuursbeïnvloeding óók eisen waren. Het analyseren van het temperatuurprobleem heeft een flinke hap uit de planning genomen. Het resultaat was echter een groter begrip van het complete probleem, en een keuze gebaseerd op een uitgebreide simulatie.

Vervolg was het uitzoeken van de manier van aandrijven van het magazijn. Hierbij zijn diverse oplossingen de revue gepasseerd waar, gebruikmakend van een overzicht van eigenschappen, telkens de slechtste oplossingen werden geschrapt. De overgebleven oplossingen werden met de opdrachtgever besproken.

Het resultaat van dit proces is een eindoplossing waar zowel de opdrachtgever als IGF zich in kan vinden. Er kan dus zeker gesproken worden over een goede afloop van de afstudeerstage.

22-05-2006
Kees van der Neut,
Remko van Hal

Bronvermelding / literatuurlijst

1) Internet link: http://wwwl.phys.uu.nl/wwwigf/algemeen/
Website IGF Utrecht.

2) E.P.Th. Suurmeijer, J. Verhoef en Th. Mulder:
Basisboek Vacuümtechniek, ISBN 90-90137769
Nederlandse Vacuümvereniging (NEVAC)

3) Dr. G.P. Beukema
Cursus Vacuümtechniek
Hogeschool Fontys

4) John H. Lienhard IV, John H. Lienhard V
A Heat Transfer Textbook 3rd ed, TJ260.L445 2000
Cambridge, MA
Phlogiston Press
http://web.mit.edu/lienhard/www/ahtt.html
Handbook te downloaden van bovenstaand adres, PDF.

5) Energieonderzoek centrum Nederland
Update: 6 juni 2005
www.energieweb.nl/ency/toelichting/ency-warmteoverdracht.html

6) P.H.H Leijendeckers, J.B. Fortuin, F. van Herwijnen, H. Leegwater
Polytechnisch zakboekje, 48e druk, ISBN 90-6228-266-0
PBNA 1998, Arnhem.

7) Cutnell & Johnson
Physics, John Wiley & Sons, 2001, 047132146-x

8) Roloff / Matek
Machine onderdelen theorieboek, 3e druk, ISBN 9039519900
Academic Service

Websites van leveranciers **& producenten:**

- Hepco
  http://www.hepcomotion.com
  Producent en leverancier van rechtgeleidingen.
- Madler
  http://www.maedler.de
  Producent en leverancier van aandrijvingen.
- Caburn
  http:/hhrww.caburn.co.uk
  Producent en leverancier van vacuümproducten.
- Demaco
  http:lhrwww.demaco.nl
  Producent en leverancier van vacutimproducten.
- Hositrad
  http:lhiwwv.hositrad.nl
  Leverancier van vacuümproducten.

Bijlagen

i. Afstudeeropdracht formulier HU.

II. Foto ASTER opstelling groot formaat.

III. Tekening substraathouder.

IV. Flowchart 6.x .

V. Fouten onderzoek.

VI. Sensoren onderzoek.

Bijlage I pagina I

AFSTUDEEROPDRACHT

EINDEXAMEN 2006

Namen examinandi:	Kees van de Neut	Student ID:1184619	Opleiding FMT
	Remko van Hal	Student ID:1122712	Opleiding FMT

Titel van het afstudeerwerk:

Parkeerkamer voor ASTER.

Omschrijving opdracht:

In ons zonnecellenlab staat een meerkamer vacuümopstelling waarin lagen op preparaten worden gegroeid voor onderzoek naar de best presterende lagen voor zonnecellen. De onderzoekgroep wil graag een extra voorraadkamer waarin preparaten tijdelijk kunnen worden opgeslagen.
De opdracht omvat globaal:
Het ontwerpen van een vacuümkamer met een opslagsysteem dat preparaten kan overnemen van een transportarm. Er moeten meerdere preparaten kunnen worden opgeslagen. Er is dus tenminste één bewegingsas in het opslagsysteem.
Het systeem moet zodanig bestuurd worden dat de plaats van de preparaten bekend is en dat een bepaald preparaatnummer automatisch uit het magazijn wordt gehaald (of erin wordt geplaatst).
Voor de besturing kan een DSP of andere hardware worden toegepast waarvoor programmeertools aanwezig zijn in de vorm van Simulink (MatLab).

Deze opdracht wordt uitgevoerd bij:

Instrumentele Groep Fysica (IGF) Universiteit Utrecht..... (naam bedrijf)
J. Verkerk..... (naam bedrijfsbegeleider)

Handtekeningen:

De Examinandi

De bedrijfsbegeleider

De docentbegeleider

Vervolg op pagina 2

AFSTUDEEROPDRACHT 2006 (vervolg)

GEGEVENS BEDRIJF

Naam van het bedrijf .....Instrumentele Groep Fysica (IGF) Universiteit Utrecht

Postbus 80004

Postcode .....3508 TA

Plaats .....Utrecht

Bezoekadres .....Sorbonnelaan 4

Postcode .....3584 CA

Plaats .....Utrecht

Algemeen telefoonnummer...030-2531710

Algemene E-mail .....J.Verkerk@phys.uu.nl

Website www1.phys.uu.nl/faculteit/fysicacomplex/

Soort bedrijf .....Instrumentele ondersteuning van het departement Natuur en Sterrenkunde UU.

Korte omschrijving van de aard van het bedrijf l werkzaamheden

*De Instrumentele Groep Fysica (**IGF**) is een dienst van het Departement Natuur- en Sterrenkunde (Faculteit Betawetenschappen) met een centrale functie voor de universiteit en is gevestigd in het Caroline Bleekergebouw aan de Sorbonnelaan **4**.*
De IGF ondersteunt de wetenschappelijke onderzoeker bij zijn experimentele onderzoek door:
het ontwikkelen van instrumentatie op fijnmechanisch, elektronisch, hardwaretechnisch en optisch gebied
het adviseren over het kopen van (deel)systemen
het verzorgen van systeemintegratie tbv wetenschappelijke experimenten.

GEGEVENS BEDRIJFSBEGELEIDER

Naam .....Verkerk

Voorletters..... J.

Titel.....dr.ir.

Functie.....Hoofd Instrumentele Groep Fysica

Tel nr 030-253 1710

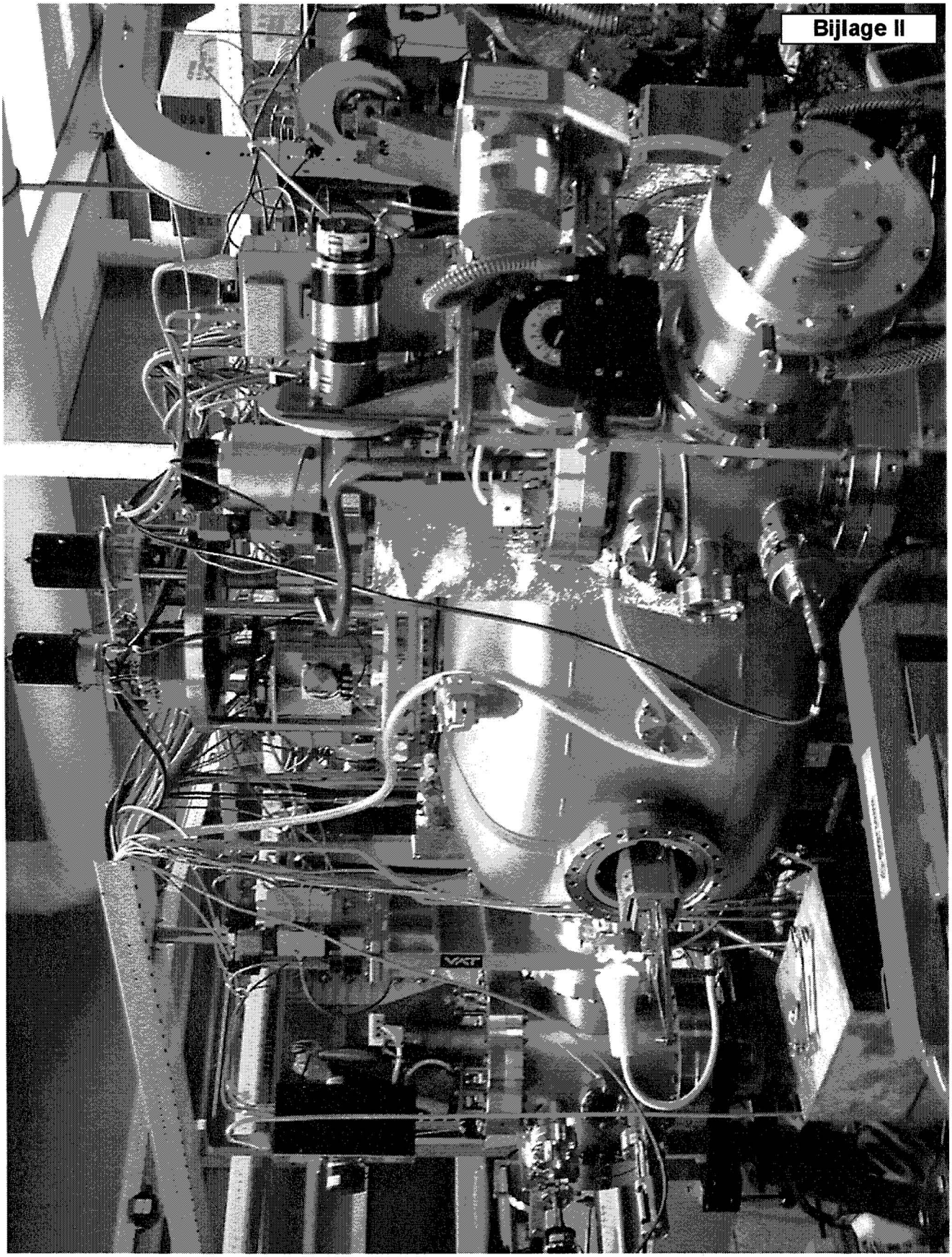
e-mailadres .....J.Verkerk@phys.uu.nl

GEGEVENS AFSTUDEERDER(S)

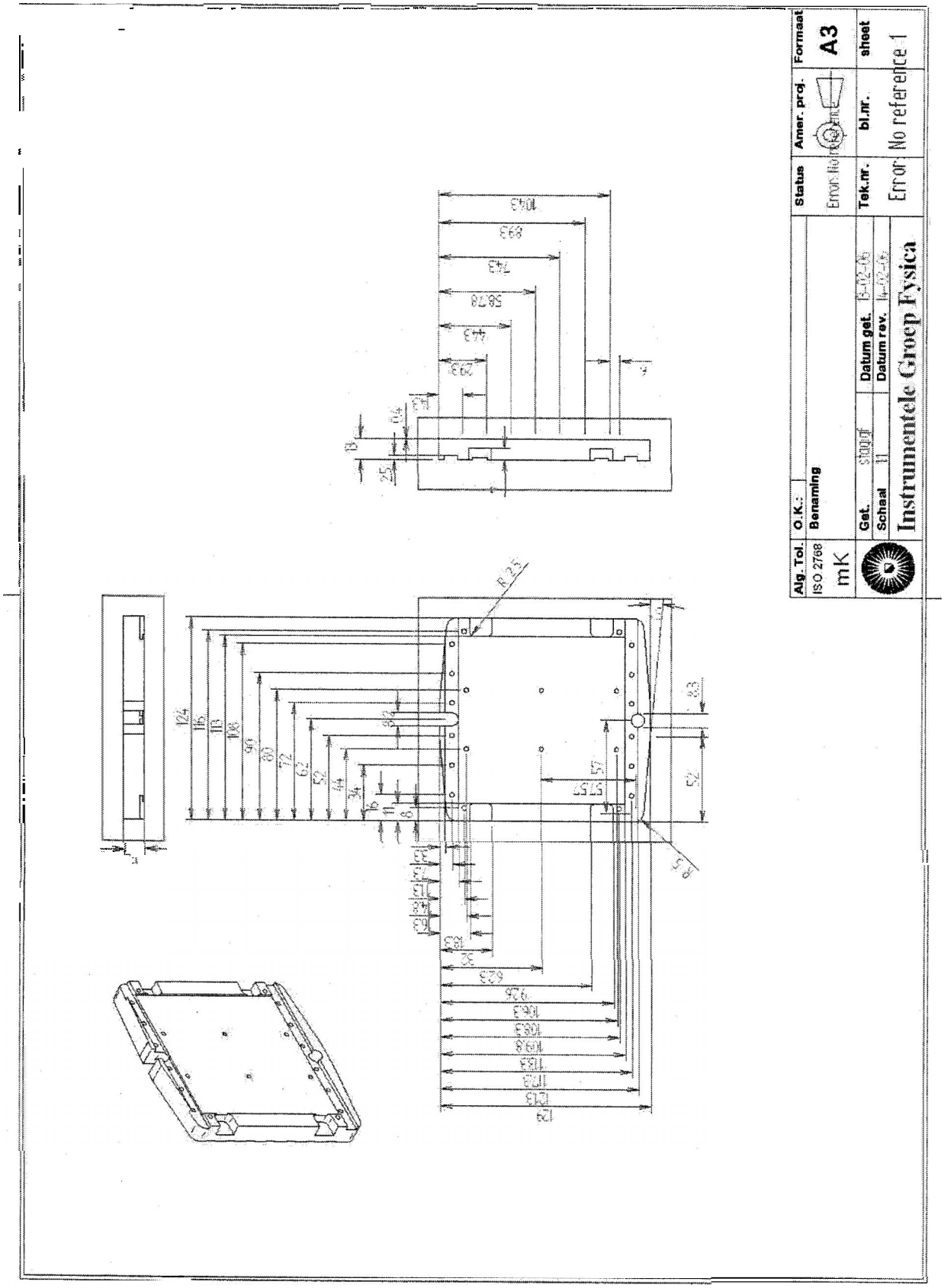
Naam: Kees van der Neut .....tel: 06-53163392 e-mail: keesneut@hotmail.com

Naam: Remko van Hal tel: 06-43084784 e-mail: rem_bo_1@hotmail.com

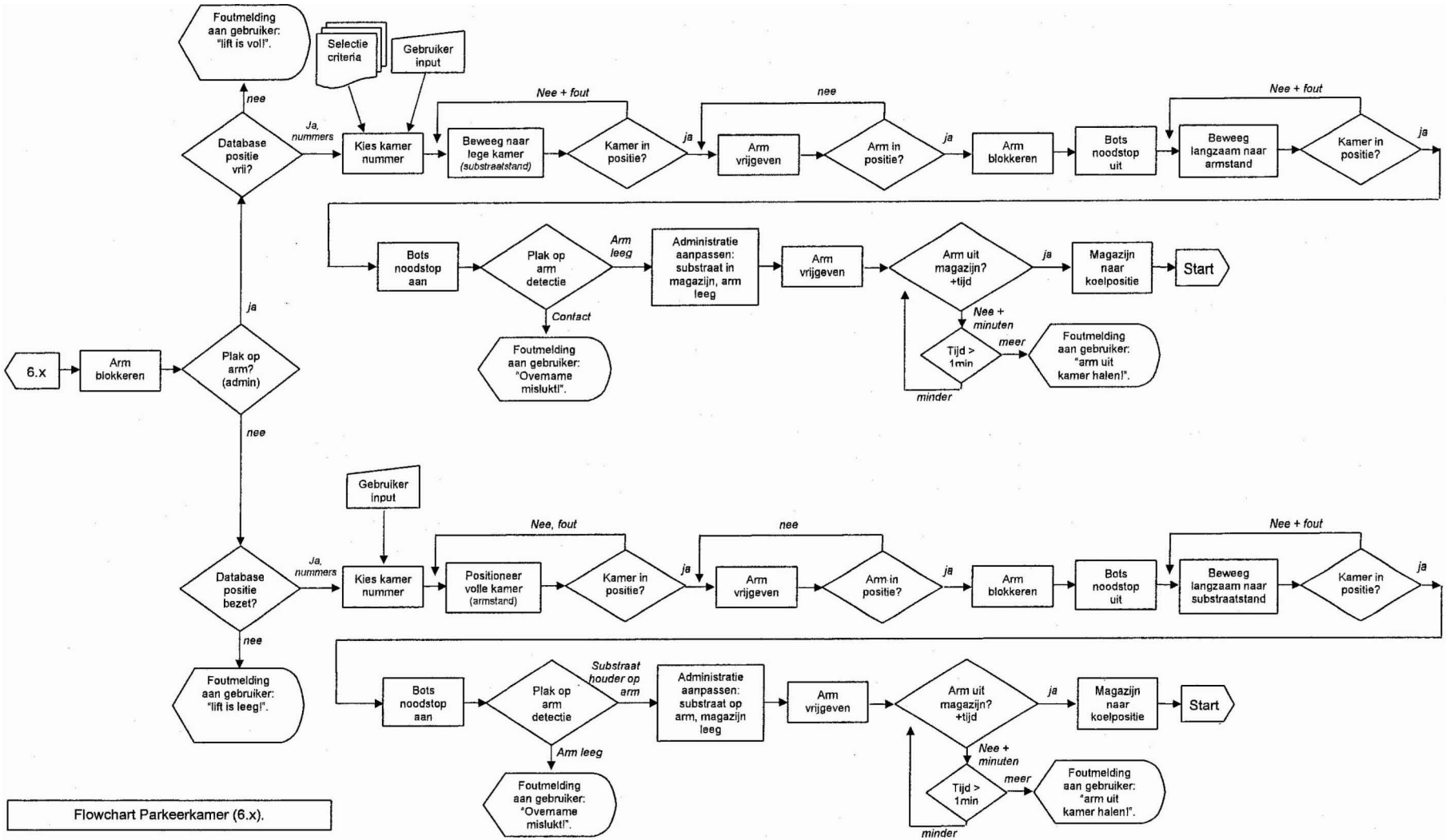
Bijlage II



Bijlage III


Alg. Tol.
ISO 2768
mK
O.K.:
Benaming
Get.
Schaal
Datum get.
Datum rev.
Tek.nr.
Status
Amer. proj.
bl.nr.
Formaat
A3
sheet
Error: No reference 1
Instrumentele Groep Fysica

Bijlage IV



Flowchart Parkeerkamer (6.x).

Foutenonderzoek

- **Botsing arm(substraat) met magazijn**
  Het magazijn is *(nog)* niet op de juiste positie om een substraat te kunnen ontvangen. Hierdoor raakt de arm (en eventueel substraat) het magazijn of daarin opgeslagen substraten.
  Oplossingen:
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
    Een besturing die zowel controle heeft over de beweging van het magazijn (en de positie weet) en tevens de positie van de arm weet. Wanneer het magazijn nog beweegt/ nog niet op de juiste positie is, mag de arm niet in de kamer. Wanneer dit dreigt te gebeuren -> noodstop (gehele systeem/ deel van systeem).
  - *Mét aanpassingen huidig systeem.*
    Zelfde als hierboven. Echter kan de besturing niet alleen de positie van de arm uitlezen, maar deze ook stoppen (of bedienen) zonder dat het gehele proces hier last van heeft. De besturing voorkomt dat de arm te dicht bij het magazijn komt wanneer deze nog niet klaar is met positioneren, en geeft hierna de arm weer vrij om de kamer binnen te komen.

  Extra veiliaheid:
  Op de arm bevindt zich een contact sensor die de arm stilzet wanneer deze iets raakt. Wanneer het magazijn met deze sensor wordt verbonden, zal de arm bij botsing stoppen. Hierbij kan een noodschakelaar (los van de aansturing) worden gemaakt die tevens het magazijn stil zet. Deze beveiliging moet worden opgeheven wanneer er opzettelijk contact is tussen arm (met substraathouder) en het magazijn.

- **Botsing tussen 2 substraten (kamer al bezet)**
  Een substraat in het magazijn botst met een substraat op de arm. Dit kan komen doordat er gedacht wordt dat de kamer leeg is, of doordat er gedacht wordt dat de arm vrij is.
  Oplossing:
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
    De bezettingsgraad van het magazijn is in het besturingssysteem (database) bij te houden. Op de arm bevindt zich een sensor voor de aanwezigheid van een substraathouder (plakcontrole). Hiermee is voor alle kamers deze fout te voorkomen.
    Bij bijna contact moet er een noodstop worden gemaakt.
  - *Mét aanpassingen huidig systeem.*
    Zelfde als hierboven. Echter kan de besturing niet alleen de positie van de arm uitlezen, maar deze ook stoppen (of bedienen) zonder dat het gehele proces hier last van heeft. De besturing voorkomt dat de arm te dicht bij het magazijn komt wanneer deze nog niet klaar is.

  Extra veiligheid:
  Op de arm bevindt zich een contactsensor die de arm stilzet wanneer deze iets raakt. Wanneer het magazijn met deze sensor wordt verbonden, zal de arm bij botsing stoppen. Hierbij kan een noodschakelaar (los van de aansturing) worden gemaakt die tevens het magazijn stil zet. Deze beveiliging moet worden opgeheven wanneer er opzettelijk contact is tussen arm (met substraathouder) en het magazijn.

- **Arm nog in kamer, contact met magazijn (beweging van magazijn)**
  Hierbij bevindt zich de arm in de kamer en beweegt het magazijn op een dergelijke manier dat er onbedoeld contact ontstaat tussen het magazijn en de arm en/ of het substraat.
  Oplossing:
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
    Maximale kracht limiteren. Hierbij ontstaat er contact met het magazijn zonder schade te veroorzaken, tevens met detectie contact tussen magazijn en arm. Eventueel met detectie voor het besturingssysteem.
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*

De besturing kent de positie van het magazijn (door sensoren) en kan deze ook aansturen. Hiernaast weet de besturing door de huidige sensor of de arm zich wel/niet in de kamer bevindt. Wanneer de arm zich in de kamer bevindt limiteert de besturing zich tot de 2 posities die bij de kamer horen. Alle overige (grootte) bewegingen zijn niet mogelijk.

- *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
  Stroom meten die door de motor loopt. Dit is een indicatie of de motor beweegt, of dat deze stilstaat als deze bekrachtigd wordt. Meting is onnauwkeurig en afhankelijk van veel variabelen (grootste is temperatuur). Bedoeling is de motor uit te schakelen voordat er schade ontstaat.
- *Mét aanpassingen huidig systeem.*
  Wanneer bekend is dat de arm zich in de kamer bevindt, deze uit kamer verwijderen.

Extra veiliaheid:

*Op de arm bevindt zich een contact sensor die de arm stilzet wanneer deze iets raakt. Wanneer het magazijn met deze sensor wordt verbonden, zal de arm bij botsing stoppen. Hierbij kan een noodschakelaar (los van de aansturing) worden gemaakt die tevens het magazijn stil zet. Deze beveiliging moet worden opgeheven wanneer er opreitelijk contact is tussen arm (**met** substraathouder) en het magazijn.*

- **Slepen van substraathouder uit kamer (substraathouder niet vrijgegeven)**
  De substraathouder ligt nog in de kamer, terwijl de arm probeert de substraathouder uit de kamer te halen. Dit probleem is theoretisch al afgevangen doordat er per kamer maar 2 posities zijn, maar kan voorkomen wanneer de arm beweegt als het magazijn nog niet in positie is of na opstarten (stroomuitval enz.).

  Oplossing:
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
    Wanneer het magazijn beweegt mag de arm niet bewegen. Dit kan gecontroleerd worden door de huidige sensor van de arm. Wanneer dit wel gebeurt hef magazijn direct stilzetten en de noodstop activeren.
  - *Mét aanpassingen huidig systeem.*
    Net als hierboven echter kan de arm worden bediend. De besturing zorgt ervoor dat het magazijn en de arm nooit tegelijk kunnen bewegen.

  Extra veiligheid:

  Op de arm bevindt zich een contact sensor die de arm stilzet wanneer deze iets raakt. Wanneer het magazijn mef deze sensor wordt verbonden, zal de arm bij botsing stoppen. Hierbij kan een noodschakelaar (los van de aansturing) worden gemaakt die tevens het magazijn stil zet. Deze beveiliging moet worden opgeheven wanneer er opzeftelijk contact is tussen arm (met substraathouder) en het magazijn.

- **Magazijn einde slag**
  Omdat de vacuümkamer maar een beperkte lengte heeft zal het magazijn op een bepaald moment tegen de boven of ondergrens aanlopen. Gevaar is het oververhitten van de motor en het kapot trekken van de constructie. Dit probleem geldt niet voor een oplossing met roterend magazijn!

  Oplossing:
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
    De maximale onder en bovengrens kunnen in de besturing worden geprogrammeerd zodat deze waarde nooit overschreden kan worden (behalve manuele overwrite).
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
    Sensoren die bepalen wanneer het magazijn de maximale grens bereikt heeft. Wanneer deze sensor wordt geactiveerd, zal de besturing de beweging van het magazijn in die richting blokkeren.
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*

Meten of het magazijn ook daadwerkelijk verplaatst wanneer de motor wordt aangestuurd. Wanneer deze zich niet verplaatst, de motor uitschakelen. Afhankelijk van de meetmethode kan wel/niet worden bepaald welke grens bereikt is.

- *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
  Stroom meten die de motor trekt. Wanneer de motor een grotere stroom als "normaal" trekt (denk aan aanloopstroom!), kan dit worden verklaard dat er een mechanische aanslag is bereikt.
- *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
  Een slipkoppeling opnemen in de mechanische aandrijflijn die bij een te grootte kracht doorslipt. Eventueel met detectie voor het besturingssysteem.

Extra veiligheid:

Sensoren die meten wanneer het magazijn tegen de aanslag aankomt. Vervolgens buiten de besturing om het magazijn tot stilstand brengen (werkt ook bij manuele bediening).

- **Vastzitten van magazijn**
  Door slijtage, plotselinge schokken, vervuiling of klemmen kan het magazijn of het mechanisme vast komen te zitten. Om te voorkomen dat hierdoor het mechanisme of de aandrijving schade oploopt moet gedetecteerd worden wanneer dit gebeurd zodat de motor wordt uitgeschakeld en er gepaste actie ondernomen **kan** worden.
  Oplossing:
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
    Meten of het magazijn ook daadwerkelijk verplaatst wanneer de motor wordt aangestuurd. Wanneer deze zich niet verplaatst, de motor uitschakelen.
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
    Sfroom meten die de motor trekt. Wanneer de motor een grotere stroom als "normaal" trekt (denk aan aanloopstroom!), kan dit worden verklaard dat er een mechanische aanslag is bereikt.
  - *Zonder aanpassingen huidig systeem.*
    Een slipkoppeling opnemen in de mechanische aandrijflijn die bij een te grootte kracht doorslipt. Eventueel met detectie voor het besturingssysteem.

- **Stroomuitval.**
  Hierbij ontstaat het gevaar dat het magazijn op de arm gaat steunen. Arm is hiervoor niet geschikt, hiernaast komt de arm klem te zitten.
  Oplossingen:
  - *Gewicht van het magazijn is relatief laag zodat de arm deze kan dragen. Bij inschakelen stroom moet systeem zelf het probleem detecteren en zorgen dat er geen schade ontstaat en de fout meldt aan de gebruiker (voorkomen dat de motor tegen de arm drukt). Uitbreiding is dat het systeem het probleem detecteert en zelf de "botsing" opheft.*
    Let op: impact bij vallen magazijn op arm, aansturing van arm (staat de arm stil, of beweegt deze nog wanneer het magazijn op de arm steunt), bij inschakelen stroom, blijft de arm dan stilstaan, arm half in/ uit kamer bij uitval stroom (beschadiging substraat).
    Bij stroomuitval wordt de kamer belucht met stikstof Probleem hierbij is dat de druk van de balg hierdoor wegvak
  - *Het magazijn "zelfremmend" maken. Hierbij zal het magazijn bij stroomuitval niet bewegen. Dit kan gerealiseerd worden door een mechanische oplossing (magazijn "balanceren") in combinatie met/of wrijving/ houdkoppel van de motor (versterkt door overbrengingsverhouding)/ zelfremmende overbrenging.*
    Let op: Bij stroomuitval motor in één keer stil, dus impuls in het systeem. Systeem moet stilstaan binnen veiligheidsmarge anders bestaat er kans op beschadigen substraat.
  - *Rem foepassen wanneer de stroom uitvalt.*
    Aangrijpen op: Het magazijn (vacuüm), ophanging magazijn (vacuüm), diverse aandnjvingen buiten het vacuum.

Hierbij geldt hoe meer onderdelen tussen het magazijn en de rem (slapte) des te meer de beweging van het magazijn bij aangrijpen.
Let op: Impuls in sysfeem bij stroomuitval. Stilstaan binnen veiligheidsmarge (anders kans beschadiging van substraat).

Manuele **bediening**
Bij manuele bediening moet er rekening worden gehouden dat bij het in en uitschakelen van de motor er grootte belastingen in het systeem kunnen optreden.

Temperatuurverloop
Omdat niet zeker is hoe het afkoelproces zal lopen, en in hoeverre er beïnvloeding van koude substraten zal plaatsvinden bij meerdere hete substraten in de parkeerkamer, moet een temperatuursensoren in het systeem op worden genomen. De overweging moet worden gemaakt waar deze komen en hoeveel dit er moeten rijn.

Sensoren onderzoek

Positie-opnemers

- **Positieschakelaar** (relatief)
  Benodigde standen:
  - Bekende positie (nulstand)
  - Positie substraat invoeren (voor elke kamer **één** nok)
  - Positie lege arm uit kamer (voor elke kamer één nok)

  Schakelen op basis van:
  - Fysiek contact (goed realiseerbaar in vacuum)
  - Optisch (lichtsluis)
  - Capacitief
  - Inductief

  Magazijn wordt in "nul" stand gebracht. Vervolgens tellen tot goede kamer.

  Overwegingen:
  - *+ Eenvoudige hardware*
  - *- Positie niet altijd bekend.*
  - *- Schakelaars/ nokken bijstellen lastig. Moet constructief mogelijk zijn (extra onderdelen). Zeker wanneer deze in vacuüm zitten.*

  Schakelaars €5,- tot €15,- per stuk (microswitch heavy)

- Positieschakelaar (absoluut)
  Wanneer het magazijn op de juiste hoogte is wordt er een schakelaar geactiveerd waarmee het systeem weet dat de juiste positie is bereikt. Er zijn minimaal 10 schakelaars. Eventueel hierbij nog de eindstand(-en) de koelstand en de doorzichtstand (voor een blik in de middenkamer). Maximaal 14 schakelaars.
  Schakelen op basis van:
  - Fysiek contact (goed realiseerbaar in vacuüm)
  - Optisch (lichtsluis)
  - Capacitief
  - Inductief

  Overwegingen:
  - *+ Eenvoudige hardware.*
  - *+ Alleen schakelaar positie worden gebruikt, positie is altijd bekend!*
  - *- Grote hoeveelheid sensoren nodig*
  - *- Sensoren goed positioneren tov doorvoer arm, onderling.*
  - *- Schakelaars bijstellen lastig. Moet constructief mogelijk zijn (extra onderdelen) Zeker wanneer deze in vacuüm zitten.*

  Schakelaars €5,- tot €15,- per stuk (microswitch heavy duty)

- Potmeter (absoluut)
  Speciaal type potmeter (soms genaamd servopotmeter). Redelijke levensduur (10^6 omwentelingen). Potmeter meestal voorzien van kogellagers om speling te verminderen (beter lineaire). Een overbrenging is nodig om het aantal omwentelingen van de comlete slag van het magazijn om te zetten naar 1 omwenteling voor de potmeter.

  Overwegingen:
  - *+ Prijs is laag*
  - *+ Resolutie is voldoende*
  - *+ Draairichting is bekend*
  - *+ Positie is altijd bekend*
  - *- Meetbereik meestal beperkt tot 1 omwenteling. Dus aanpassen beweging aan meetinstrument.*
  - *- Levensduur beperkt*
  - *- Signaal vertoont veel ruis (meten snelheid moeilijk door ruis)*
  - *- Analoog signaal eerst digitaliseren (extra fout)*
  - *- Gebruik beperkt tot meten van kleine hoekverdraaiingen bij lage snelheid*

  10 slag potmeter 1 miljoen omwentelingen €8,-

f slag potmeter 2 miljoen omwentelingen €16,-
f slag speciale servo potmeter >10^7 omwentelingen €38,-

- **Enkele encoder (relatief)**
  Zowel rotatie als translatie mogelijk. Houdt de verplaatsing **bij.** Tevens erg geschikt voor bepalen snelheid (weinig tot geen storing). Heeft een referentie positie nodig.
  Mogelijkheden sensoren:
  - optisch
  - inductie (hall-sensor)
  - capacitief

  Overwegingen:
  + Contactloos, geen wrijving, alleen slijtage optische elementen, zéér lange levensduur.
  + Mooi schoon signaal, meestal direct digitaal (TTL) beschikbaar.
  + Nauwkeurigheid afhankelijk van resolutie, eventueel overbrengingsverhouding, speling en stijfheid systeem, nauwkeurigheid waarschijnlijk voldoende voor dit project.
  - Afhankelijk van plaats encoder en snelheid beweging /resolutie van de encoder kunnen er een hoge frequentie van pulsen ontstaan. Misschien hardware nodig om dit te kunnen tellen (software te traag!?).
  - Bewegingsrichting onbekend (kan bepaald worden door manier aansturen motor).
  - Relatieve meting dus referentie waarde nodig.
  - Bij inschakelen positie onbekend (opslaan of eerst "nullen").
  f Lichtsluisje infrarood TTL out €5,- tot €10,- Zelf codeschijf/ codestrip maken.

- **Meerdere encoders (relatief)**
  Gebruik van 2 sensoren, waarbij de code onderling verschoven is. Voordeel is dat deze de draairichting kan bepalen. Dit is echter bij de besturing al bekend omdat deze zelf de motor aanstuurt.
  Tov enkele encoder
  + Draairichting te bepalen
  + Bij gebruik maken van flankdetectie en grotere resolutie te behalen.
  2 Lichtsluisje infrarood TTL out €5,- tot €10,- Zelf codeschijf/ codestrip maken.

- **Gray-code (absoluut)**
  Meerdere encoder worden gebruikt waarbij er een onderling verband tussen de codes bestaat. Elke waarde komt maar één maal voor. Hierdoor is direct te zeggen waar de last zich bevindt. Door de grote slag en de nauwkeurigheid hierbij zijn er echter veel sensoren nodig.
  Slag 250mm onnauwkeurigheid 0,5mm 250/0,5=500 $\sqrt{500} \approx 23$ *sensoren.*

  + Absolute meting dus positie direct bekent /altijd bekend.
  + Geen referentiewaarde nodig.
  + Bewegingsrichting bekent.
  + Bij gebruik maken van flankdetectie en grotere resolutie te behalen.
  - Bij rotatie gehele slag van het magazijn 1 omwenteling van de encoder. Dus aanpassen beweging aan meetinstrument.

- **Aansturing**
  ***Tijd* motor aan**
  Testen **hoe** lang de motor aan sturen om één positie op te schuiven. Hierbij moet er wel elke keer weer "genuld" worden omdat anders de onzekerheden doorgestapeld worden.
  + Één enkele schakelaar nodig
  - Invloed van massa / slijtage /temperatuur / wel- geen vacuüm worden niet meegenomen.
  - Geen harde garantie dat magazijn op de correcte positie staat!

Stappenmotor stappen ***tellen***
Een stappenmotor is intern zo opgebouwd dat bij het actueren van de motor telkens 1 stap wordt gemaakt. Omdat het aantal stappen per omwenteling bekent is, kan hiermee de gemaakte hoek worden bepaald. Er moet echter wel genuld worden.

+ *Betrouwbaar (van te voren te bepalen).*
+ *Alléén* een *eindschakelaar nodig.*
- *Koppel beperkt.*

Snelheidopnemers
Omdat de versnelling en vertraging gelimiteerd is (ivm bewegen van subtraathouder op zijn oplegging), is het handig de snelheid te weten zodat aan deze eis kan worden voldaan (zie: 2.4 Pakket van eisen).

- Tacho
  Dit kan een aparte "generator" zijn of de dc-motor zelf. Afhankelijk van de snelheid zal de spanning groter worden. Naast de snelheid is ook de temperatuur van invloed op de spanning.
- **Encoder**
  Door middel van de encoder positie te differentiëren. Dit kan gedaan worden door het aantal pulsen per tijdseenheid of de tijd tussen twee pulsen te meten.
- Schakelaars
  Hetzelfde principe als bij de encoder, echter is de afstand groter en de waarde dus een gemiddelde over een bepaald traject (voor ons project niet nuttig!).

Stroomopnemers
Controle of de motor wordt aangestuurd, of er een te grootte stroom door de motor loopt (motor wordt aangestuurd zonder dat deze kan draaien).

- Weerstand
  Door een laag ohmige weerstand in de motorkring op te nemen kan de spanning over deze weerstand worden gemeten. Hiermee is de stroom door de weerstand en dus de motor te bepalen. Voorwaarde is wel dat de weerstandwaarde relatief laag is zodat deze niet te veel invloed heeft op de prestaties van de motor.
  De temperatuur invloed op de meting moet zo klein mogelijk worden gehouden.
- **Hallsensor**
  Meet het magnetische veld dat veroorzaakt wordt door de stroom die door een geleider loopt (galvanisch gescheiden). Hiermee is de stroom door de geleider te bepalen. Dit principe werkt alleen bij een wisselstroom! Alleen betrouwbaar bij grotere stromen omdat hierbij de omgevingsruis wegvalt!
  Hall sensor voor kabel €45,- tot €110,-

Kracht- **moment** opnemers

- Rekstrookje
  Het meten van rek in een materiaal waarvan de eigenschappen bekent zijn.
- Druksensor
  Het meten van de druk op een oppervlak (druk bijvoorbeeld veroorzaakt door niet constante veer).