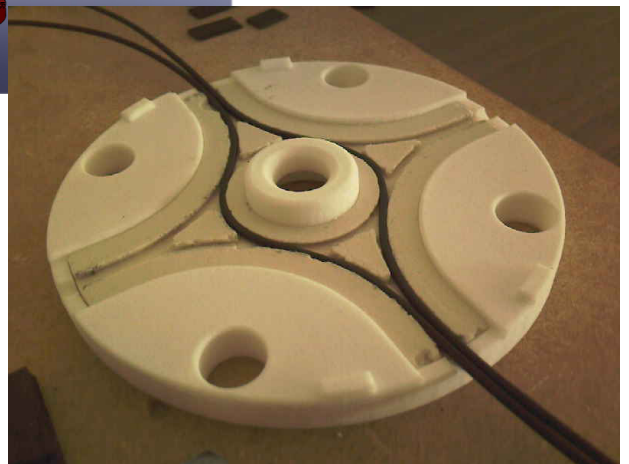
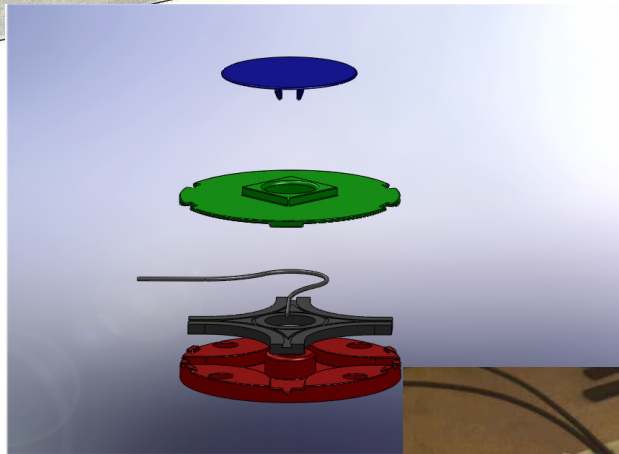
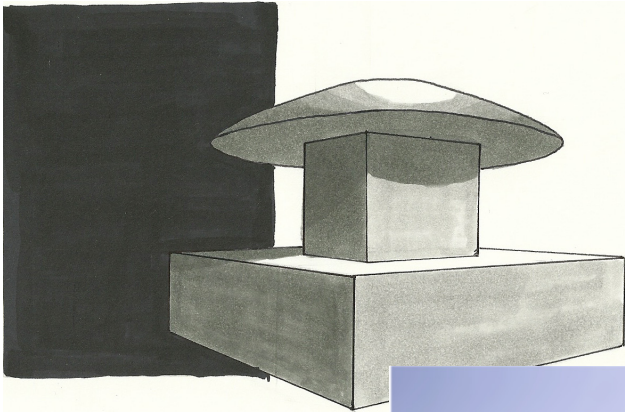


# Bachelorverslag



Nico de Vries  
s0088552

Lightspeed Systems

Universiteit Twente  
Bachelor Industrieel Ontwerpen  
<25-08-2010>



# HERONTWERP VAN HET LIGHTSPEED DETECTIEMATSYSTEEM

Nico de Vries - s0088552  
Bachelor Industrieel Ontwerpen  
Universiteit Twente

<25-08-2010>

Lightspeed Systems  
Ommelseweg 44a  
5721 WV Asten

examencommissie: A.O. Eger  
F. van Slooten  
M.T.W. van de Ven





# SAMENVATTING

De doelstelling voor deze opdracht is het herontwerpen van het Lightspeed detectiematsysteem, zodat het makkelijker te produceren, vervoeren en installeren is. Om dit te kunnen bereiken zijn verschillende analyses uitgevoerd om bekend te raken met het systeem. De informatie uit deze analyses is gebruikt om vast te stellen welke eigenschappen verbeterd kunnen worden.

De relevante informatie voor het behalen van deze doelstelling wordt gevonden door antwoord te geven op een aantal vragen. In eerste instantie wordt er onderzocht wat aan het huidige systeem de beperkende factoren zijn als het gaat om productie, vervoer en installatie. Dan is het van belang te weten welke eisen verschillende betrokken partijen stellen aan een nieuw te ontwikkelen product. Ten derde wordt bekeken welke veranderingen aan het systeem het gedrag van het systeem verbeteren.

Het resultaat van de opdracht is een compleet ontwerp voor een modulair systeem. Via verschillende concepten is uiteindelijk een vorm bereikt die voldoet aan het grootste deel van het programma van eisen. Het uiteindelijke ontwerp is gemaakt in SolidWorks. De SolidWorks modellen zijn gebruikt om prototypes te laten maken met behulp van SLS (3d-printing). Met deze prototypes zijn tests uitgevoerd om te onderzoeken of ze inderdaad de juiste werking hebben.

# SUMMARY

The goal for this assignment is to redesign the Lightspeed detectionmatsystem, so it will be easier to produce, transport and install. A number of analyses has been made in order to get acquainted with the system so this goal could be reached. The information from these analyses was used to find out wich characteristics could be improved.

The relevant information for reaching this goal is found by answering a couple of questions. First research is done to find out what the limiting factors on production, transport and installation are in the current product. Secondly it it important to know what the demands of various involved parties are for a newly developed product. In third place there is research to see wich changes to the system have a positive influence on the system's behaviour.

The result of the assignment is a complete design for a modular system. Through various concepts a form was finally found that could meet most of the demands. The final design was made in SolidWorks. The SolidWorks models were used to create prototypes, with the use of SLS (3d-printing). These prototypes were used to test whether this concept would actually work.

# VOORWOORD

Dit verslag is gemaakt naar aanleiding van de bacheloreindopdracht Industrieel Ontwerpen. In dit verslag wordt beschreven hoe de opdracht eruitziet, hoe deze is uitgevoerd en welke resultaten het heeft opgeleverd. Bij deze wil ik graag de volgende mensen bedanken voor hun hulp bij het uitvoeren van deze opdracht: Mario van de Ven, Rob Tielbeke en Fjodor van Slooten, voor hun begeleiding tijdens mijn opdracht, Wilma Dierkes, voor de informatie over en inzichten in rubber en Maurits Relou voor de adviezen over productie van onderdelen.

# INHOUDSOPGAVE

|                   |    |
|-------------------|----|
| Plan van aanpak   | 9  |
| Verkenning        | 13 |
| Onderzoek         | 19 |
| Eisen productlijn | 27 |
| Concepten         | 31 |
| Eindresultaat     | 39 |
| Conclusie         | 47 |
| Bijlagen          | 49 |

# PLAN VAN AANPAK

## Actoranalyse

Lightspeed systems is gespecialiseerd in het ontwikkelen en leveren van high-tech sensoren op basis van lichtmeting. Door deze innovatieve sensoren is Lightspeed in staat producten te ontwikkelen die betere oplossingen bieden voor bestaande producten, of oplossingen voor problemen waarvoor nog geen producten op de markt zijn.

Het Lightspeed detectiesysteem is door KEMA gecertificeerd in de hoogste veiligheids categorie.

Deze nieuwe techniek is op vele gebieden toe te passen. Om de ontwikkeling van producten voor verschillende markten optimaal te laten verlopen, werkt Lightspeed volgens het Product-Markt-Combinatie model. Dit betekent dat voor iedere markt een samenwerking wordt aangegaan met een gespecialiseerde partner uit die markt. Op deze manier kan product- en marktkennis worden opgedaan om het innovatieproces soepel te laten verlopen. (www.lightspeed.nl, 2010)

Op dit moment is Lightspeed systems vooral bezig met het verwerven van een bredere afzetmarkt. Er wordt gezocht naar nieuwe partners voor Product-Markt-Combinaties en er worden nieuwe producten ontwikkeld voor de reeds bestaande Product-Markt-Combinaties.

## Projectkader

Eén van de producten die door Lightspeed systems wordt gemaakt is de detectiemat. Hierbij wordt een glasvezelkabel door een mat geweven. Door deze glasvezelkabel wordt licht gestuurd. Als er vervolgens druk op de mat wordt uitgeoefend, verbuigt deze kabel, waardoor de eigenschappen van het licht veranderen. Deze verandering wordt gedetecteerd en als deze een bepaalde drempelwaarde overschrijdt, wordt een signaal afgegeven. Dit product is voor meerdere doeleinden toe te passen. Het probleem is hierbij dat voor verschillende toepassingen ook verschillende vormen van matten (vorm, grootte, afwerking) nodig zijn. In de huidige situatie moet elke mat op maat gemaakt worden (vaak op locatie) en geïnstalleerd door de mechanical engineer van Lightspeed systems. Lightspeed systems heeft er baat bij als de productie en installatie van dit product wordt vereenvoudigd. In het ideale geval is het niet meer nodig dat de mechanical engineer betrokken is bij elke bestelling. Hij kan dan meer tijd besteden aan de ontwikkeling van nieuwe producten. Voor partijen die detectiematten willen aanschaffen, is er het voordeel dat men minder afhankelijk is van de beschikbaarheid van de mechanical engineer van Lightspeed systems. Dit leidt zeer waarschijnlijk tot kortere levertijden.

De partners waarvoor Lightspeed systems nieuwe producten ontwikkelt zijn gebaat bij een verbetering van het systeem, omdat de mechanical engineer minder tijd zal hoeven besteden aan het installeren van matten en dus meer tijd kan besteden aan het ontwikkelen van nieuwe producten, waardoor ontwikkeling een kortere doorlooptijd heeft.

Lightspeed systems heeft al een puzzelmat als product ontwikkeld, die erop gericht is om makkelijker producten op maat te kunnen maken. Dit houdt in dat matten van ongeveer een vierkante meter door middel van puzzelverbinding aan elkaar bevestigd kunnen worden om een groter geheel te creëren.

## Doelstelling

Doel van deze opdracht is het herontwerpen van de detectiemat, om ervoor te zorgen dat deze efficiënter te produceren en transporteren zijn en eenvoudiger (zonder specifieke kennis van het systeem) te installeren zijn.

Dit kan gerealiseerd worden door het bestaande systeem te analyseren, om uit te vinden welke factoren beperkend zijn in productie en installatie. Verder is het belangrijk te inventariseren welke eisen en

wensen er gesteld worden aan een nieuw te ontwerpen product. Vervolgens kan worden onderzocht, door middel van het testen van simpele prototypes, welke factoren binnen de eisen en wensen kunnen worden verbeterd, om zo tot voorstellen te komen ter verbetering van het detectiematsysteem. Dit alles zal plaatsvinden binnen het tijdsbestek van drie maanden, de gestelde tijd voor de bacheloropdracht.

## Vraagstelling

Wat zijn de beperkende factoren in het detectiematsysteem op het gebied van productie en installatie?

- Welke onderdelen bevat het detectiematsysteem?
- Wat zijn de functies van de verschillende onderdelen?
- Hoe worden de verschillende onderdelen geproduceerd?
- Wat zijn de nadelen van de verschillende onderdelen voor productie?
- Hoe wordt het detectiematsysteem geïnstalleerd?
- Wat zijn de nadelen van de verschillende onderdelen voor installatie?

Welke eisen en wensen worden er gesteld aan een nieuw detectiematsysteem?

- Voor welke toepassingen wordt het detectiematsysteem gebruikt?
- Welke eisen en wensen stelt Lightspeed systems?
- Welke eisen en wensen stellen partners van Lightspeed systems?
- Welke eisen en wensen stellen gebruikers van het detectiematsysteem?
- Welke eisen en wensen volgen uit wet- en regelgeving?

Welke veranderingen zijn een verbetering voor het systeem?

- Welke veranderingen aan het systeem kunnen nadelen van onderdelen wegnemen?
- Welke veranderingen zijn technisch haalbaar?
- Welke veranderingen tasten de werking van het systeem niet aan?

## Begripsbepaling

**Product-Markt-Combinatie:** Een samenwerking tussen Lightspeed systems enerzijds en een bedrijf dat gespecialiseerd is in de markt waar toepassingen mogelijk zijn voor Lightspeed anderzijds.

**Lightspeed systems:** Het bedrijf dat Lightspeed ontwikkelt en levert.

**Lightspeed:** Sensor, gebaseerd op meting van licht door glasvezelkabel.

**Detectiematsysteem:** Systeem dat bestaat uit een Lightspeed druksensor, ingebouwd in een vlakke mat.

**Prototype:** Werkend model, dat als doel heeft de werking van een concept te testen. Het betreft hier modellen die de werking van een specifiek onderdeel van het systeem, niet noodzakelijk een werkend model van het gehele systeem.

| Vraag                                                                       | Strategie        | Materiaal/bronnen                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Welke onderdelen bevat het detectiematsysteem?                              | Case study       | Detectiematsysteem                                                                 |
| Wat zijn de functies van de verschillende onderdelen?                       | Case study       | Detectiematsysteem                                                                 |
|                                                                             | Expert-review    | Makers detectiematsysteem                                                          |
| Hoe worden de verschillende onderdelen geproduceerd?                        | Expert-review    | Makers detectiematsysteem                                                          |
| Wat zijn de nadelen van de verschillende onderdelen voor productie?         | Bureauonderzoek  | Literatuur (materialen, productieprocessen)                                        |
| Hoe wordt het detectiematsysteem geïnstalleerd?                             | Expert-review    | Makers detectiematsysteem                                                          |
| Wat zijn de nadelen van de verschillende onderdelen voor installatie?       | Bureauonderzoek  | Literatuur (materialen)                                                            |
|                                                                             |                  |                                                                                    |
| Voor welke toepassingen wordt het detectiematsysteem gebruikt?              | Interview        | Deskundigen Lightspeed                                                             |
| Welke eisen en wensen stelt Lightspeed systems?                             | Interview        | Deskundigen Lightspeed systems                                                     |
| Welke eisen en wensen stellen partners van Lightspeed systems?              | Interview        | Deskundigen Lightspeed systems (eventueel contactpersonen bij betreffende partner) |
| Welke eisen en wensen volgen uit wet- en regelgeving?                       | Bureauonderzoek  | Literatuur (certificaten)                                                          |
| Welke eisen en wensen stellen gebruikers van het detectiematsysteem?        | Interview        | Deskundigen Lightspeed systems (eventueel gebruikers zelf (indien beschikbaar))    |
|                                                                             |                  |                                                                                    |
| Welke veranderingen aan het systeem kunnen nadelen van onderdelen wegnemen? | Bureauonderzoek  | Informatie uit bovenstaande vragen                                                 |
| Welke veranderingen zijn technisch haalbaar?                                | Bureauonderzoek  | Literatuur                                                                         |
| Welke veranderingen tasten de werking van het systeem niet aan?             | Testen prototype | Prototype                                                                          |

# Knelpunten en oplossingen

Niet alle strategieën zullen uitgevoerd kunnen worden, als gevolg van beperkte beschikbaarheid van bronnen. Voor de verschillende strategieën zijn daarom ook alternatieven bedacht.

| Strategie                     | Knelpunt                                                    | Oplossing/alternatief                                                    |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Case study detectiematsysteem | Beschikbaarheid detectiematsysteem                          | Makers detectiematsysteem vragen naar onderdelen en functies van systeem |
| Bureauonderzoek               | Beschikbaarheid relevante literatuur                        | Universiteitsdocenten vragen naar relevante informatie                   |
| Testen prototype              | Beschikbaarheid prototype, mogelijkheid tot maken prototype | Expert-review                                                            |

## Indeling

De hoofdvragen uit het plan van aanpak komen in volgorde aan bod. De eerste vraag wordt als eerste behandeld, in de vorm van verkenning en onderzoek. De informatie uit deze hoofdstukken is van belang geweest bij het creëren van een programma van eisen. Dit programma van eisen is in feite het antwoord op de tweede vraag uit het plan van aanpak. De derde vraag komt naar voren in de daaropvolgende hoofdstukken over de concepten en het uiteindelijke resultaat. Uiteindelijk wordt teruggekeken of met de resultaten voldaan is aan de doelstelling.



# VERKENNING

## Inventarisatie onderdelen

Een werkend puzzelmatsysteem bestaat uit de volgende onderdelen:

Rubber mat (eventueel aaneengeschaald)

Optische kabel

Controllerunit

Traanplaat (omgekeerd bovenop de mat)

De rubber mat is een vierkante mat met aan elke zijde een nok en een inham, waardoor twee zijden van verschillende matten aan elkaar kunnen worden verbonden door de nokken in de inhammen te sluiten. In de mat zijn sleuven aangebracht, die bedoeld zijn om de kabel in te leggen. De sleuven lopen zowel horizontaal als verticaal over de mat. Op een aantal punten zijn cirkelvormige sleuven aangebracht, om ervoor te zorgen dat de kabel de bocht om geleid kan worden. Deze sleuven lopen taps toe, waardoor ze de kabel insluiten. De kabel is iets dikker dan de sleuf diep is (de kabel is 2,2 mm dik, de sleuven zijn 2 mm diep), waardoor de kabel net iets boven het oppervlak van de mat uitsteekt. Hierdoor kunnen de pieken van de traanplaat contact maken met de kabel, om knikpunten te forceren. Om daadwerkelijk een meting te doen is altijd een controllerunit nodig.

## Rubbermat

De mat is van rubber. Rubber is duur, maar noodzakelijk, omdat het van belang is dat de kabel altijd weer terugkomt in zijn beginpositie. Rubber is elastisch genoeg om dit te bereiken. Andere stoffen zijn ofwel niet genoeg vervormbaar om de kabel genoeg te laten doorbuigen voor een adequate meting, of ondervinden teveel plastische vervorming, waardoor de kabel niet altijd wordt teruggebracht naar zijn beginpositie. De reden dat rubber wordt verkozen boven bijvoorbeeld foams, is dat foams een relatief lage compressiesterkte hebben. Veel van deze foams hebben ongeveer dezelfde specificaties als rubber, maar de lage compressiesterkte zorgt ervoor dat foams niet gunstig werken onder druk, wat voor dit systeem een vereiste is. Andere soorten materialen, met ongeveer dezelfde mechanische eigenschappen, zijn allemaal duurder dan het toegepaste EPDM-rubber.

De rubber puzzelmat wordt gegoten. De mat bevat maar een beperkt aantal ronde gangen, omdat het product met meer ronde gangen niet meer lossend zal zijn en dus niet te produceren. De ronde gangen zijn van belang om een zekere vormvrijheid te behouden. Als de ronde gangen uit de mat zouden worden gehouden, dan zou het product waarschijnlijk makkelijker te produceren zijn. Met alleen rechte lijnen in één richting zou het misschien te extruderen zijn. Volgens CES is EPDM rubber echter niet geschikt voor extrusie, dus zou in dat geval een ander materiaal gebruikt moeten worden. Wanneer een continu extrusieproces gevonden kan worden om zo'n mat te maken, dan zou in principe een rol gemaakt kunnen worden, waar de juiste hoeveelheid kan worden afgesneden. Extrusie voor kunststoffen is een lastig proces. Het lijkt erop dat de juiste vorm niet bereikt kan worden met bestaande technieken. Bovendien zouden andere materialen nodig zijn. Combinaties van rubber en foam, waarbij het foam op het rubber wordt gespoten zijn uitgeprobeerd, evenals het gieten van de mat in een rubberfoam. Dit leverde echter niet de gewenste eigenschappen.

De sleuven in de rubbermat houden de kabel op zijn plaats, zodat deze alleen beweegt wanneer er druk op de mat wordt uitgeoefend. Bij de kruisingen van de sleuven zijn de hoeken afgerond. Vanwege het beperkte aantal ronde gangen is het belangrijk om de matten met de juiste zijden aan elkaar te verbinden.

De mat is 6 mm dik. De sleuven zijn 2 mm diep. De mat is 495 mm breed en 495 mm lang.

# Optische kabel

De optische kabel is de component waaraan gemeten wordt. De sensor kan scherpe buigingen waarnemen. Dit is waarom het van belang is dat de kabel voorzien wordt van knikpunten. Omdat druk zich verspreid over een oppervlak, zou zonder knikpunten de gehele kabel een flauwe verbuiging maken. Dit is moeilijker meetbaar. Het toevoegen van knikpunten (die eigenlijk dus het oppervlak verkleinen) zorgt ervoor dat de kabel zeer lokaal scherp buigt.

De optische kabel bestaat uit een kern van optische polymeer, met een spiegellaag, de glaring. Daaromheen is een zwarte huls van PE geëxtrudeerd. De glaring zorgt ervoor dat licht niet uit de kabel verdwijnt en ook dat er geen ander licht binnendringt om het signaal te vervuilen. Het productieproces heeft een grote invloed op de spectrale eigenschappen van de optische kabel. Optische kabels van verschillende bedrijven, die dezelfde specificaties hebben, kunnen toch hele verschillende spectrale eigenschappen hebben, waardoor de sensor anders reageert.

Ook de lengte van de kabel heeft een invloed op de meting. Hoe langer de kabel, hoe meer het signaal gedempt wordt. De LED, die het uitgangssignaal verstuurt, moet een stabiel signaal uitzenden. Om dit te bereiken moet deze boven een minimale waarde voor de stroom worden aangestuurd. Hierdoor wordt het signaal zeer intens. Als de sensor dit licht ongedempt zou ontvangen, zou de sensor overstuurd worden. Het is dus van belang dat de lengte van de kabel groot genoeg is om het signaal zodanig te dempen dat het de sensor niet meer overstuurt. Ook het leggen van een knoop in de kabel dempt het signaal extra.

De kabel is 2,2 mm dik.

De kabel wordt nu ingelegd in een rubber profiel. Een mogelijkheid om efficiënter te produceren is wellicht de kabel op een of andere manier al in een ander materiaal te vatten. Bijvoorbeeld in een dunne goot (als in een halve huls). Of een gootje zoals deze in de rubbermat gevormd zijn. Hiermee bestaat wel het risico dat er minder bochten gemaakt kunnen worden.

Wanneer de kabel wordt onderbroken, verslechtert het signaal. Dit betekent dat er slechts beperkt verbindingen kunnen gemaakt worden tussen twee delen kabel. Op dit moment kunnen er 4 verbindingen worden gemaakt in een lus. Daarna is het signaal zo ver afgenomen dat meting onmogelijk wordt. Dit is de reden dat het niet mogelijk is om een soort modulair systeem te maken, waarbij de kabel al in de mat zit en alleen de matdelen aan elkaar verbonden hoeven te worden. Als een betere manier wordt gevonden om twee stukken kabel aan elkaar te verbinden, kan dit probleem wellicht worden weggenomen. Dit zou ook het produceren van matten met al meegegoten kabel mogelijk kunnen maken. Met het huidige verbindingssysteem wordt de kabel met iets verhit om deze week te maken, waarna deze in een huls wordt geduwd. Door de vorm van de huls verandert echter ook de vorm van de kabel, met als gevolg een verslechtering van het signaal.

## Controller unit

De daadwerkelijke sensor. Zendt licht uit door de kabel en vangt dit weer op in een sensor, die het vergelijkt met het uitgezonden signaal. De behuizing van deze unit is een spuitgietproduct, van 14 cm bij 8 cm. De daadwerkelijke sensor kan ook op een printplaat van 3 cm bij 3 cm worden gemaakt. Voor het verkrijgen van bepaalde veiligheidscertificaten is het echter nodig om bepaalde specificaties te halen, zoals het bestand zijn tegen

een blikseminslag (oftewel een piekspanning van een aantal kV). Om dit te bereiken zijn zwaardere en grotere componenten nodig dan voor de werking van het systeem strikt noodzakelijk. Het is dus van belang voor welke markt het product wordt gebruikt. Wanneer het product in huishoudelijke kring wordt gebruikt, is het niet nodig om de hoogste veiligheidscertificaten te behalen en kan er dus het kleinere



**Figuur 2.1** Controller unit

systeem worden gebruikt. Als het product in een bedrijfsomgeving wordt gebruikt (machinebeveiliging bijv.), zijn deze certificaten wel vereist en moet dus het grote systeem worden gebruikt. De controllerunit bevat software die niet alleen het lichtsignaal zodanig bewerkt dat er informatie uit gehaald kan worden, maar ook het de systeeminstellingen bepaalt. In die software wordt dus vastgelegd wat bijvoorbeeld de minimumwaarde is waarbij een detectiesysteem een signaal moet geven. Ook kunnen bepaalde signalen worden weggefilterd, als ze bijvoorbeeld niet lang genoeg boven de drempelwaarde uit komen. Deze instellingen worden per unit ingeprogrammeerd. Dit betekent dat de controllerunit aan de computer moet worden aangesloten om de parameters te veranderen. Wellicht kan het product klantvriendelijker worden gemaakt door een simpele user interface toe te voegen, waarmee een aantal van dit soort parameters direct aan de controllerunit kan worden aangepast. Dit zou het systeem tevens flexibeler en breder inzetbaar maken. Het gebruiksgemak zou verhoogd kunnen worden waardoor minder professionaliteit nodig is.

## Traanplaat

De vlakke plaat met uitstulpingen zorgt ervoor dat de kabel knikpunten heeft. Het is belangrijk dat de uitstulpingen zodanig geplaatst zijn, dat er geen rechte lijn tussendoor getrokken kan worden die geen enkele uitstulping raakt. Tevens dekt deze plaat de mat af, waardoor de kabel niet wordt blootgesteld aan invloeden van de buitenwereld en mensen niet bij het werkende gedeelte van de sensor kunnen. In principe kan deze plaat van verschillende materialen gemaakt zijn. Aluminium zorgt ervoor dat de druk verspreid wordt, waardoor dus niet plaatselijk hele grote verbuigingen kunnen plaatsvinden. Dit voorkomt dus ook dat het systeem geperforeerd kan worden (door bijvoorbeeld glas, of steentjes). Met een kunststof plaat blijft het systeem flexibeler, zodat het zich nog wat kan aanpassen aan bijvoorbeeld veranderend terrein (zij het met mate). Deze plaat kan invloed hebben op de gevoeligheid van het gehele systeem, omdat het de druk verspreid.

## Omlijsting

Een lijst om een mat is niet in iedere situatie nodig, maar kan in veel gevallen wel zorgen voor een nette afwerking. De vorm van de lijst hangt uiteraard af van waar de mat geplaatst wordt. Als de mat gewoon op de vloer wordt geplaatst, moet de lijst schuin aflopen om aan te sluiten op de vloer. Als de mat in de vloer verzonken wordt, kan de lijst recht zijn. Een lijst is bedoeld om het geheel af te schermen tegen bijvoorbeeld het binnenkomen van zand. De lijst kan ook worden gebruikt om de mat op een bepaalde positie vast te leggen. Als er gebruik gemaakt kan worden van de kleinste controller unit, is het zelfs mogelijk deze in de lijst te plaatsen, zodat een externe unit niet meer nodig is.

## Alternatief

Een andere manier om druk te meten op een vlak oppervlak bestaat uit het plaatsen van een aantal meetpunten onder een vlakke plaat. Hierbij is het van belang dat de plaat van stijf materiaal is, zodat deze als het ware de druk kan verplaatsen. Als dan lokaal druk wordt toegepast op een plek die niet direct boven een meetpunt ligt, dan zorgt de plaat ervoor dat deze druk ook boven de meetpunten wordt doorgevoerd. Hierdoor kan het aantal meetpunten beperkt blijven en is de vrijheid voor het aanleggen van een bepaalde vorm groter. Dit systeem kan makkelijker worden geïnstalleerd door iemand die het systeem niet goed kent. Het kan als het ware als een black box geleverd worden, voetjes die onder een plaat moeten komen.

## Funcctieoverzicht

|                  | Rubber mat                                                                                                                | Optische kabel                                                                                                         | Controllerunit                                                           | Traanplaat                               |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Functies         | Kabel insluiten<br>Oppervlak bepalen<br>Kabel terugduwen                                                                  | Signaal overbrengen<br>Signaal beïnvloeden<br>Buitenlicht uitsluiten                                                   | Signaal zenden<br>Signaal ontvangen<br>Signaal verwerken<br>Output geven | Knikpunten aanbrengen<br>Kabel verbergen |
| Productiemethode | Gieten                                                                                                                    | Extrusie                                                                                                               | Spuitsieten                                                              |                                          |
| Materiaal        | Rubber                                                                                                                    | Optische polymeer (kern) / PE (huls)                                                                                   | Vezelversterkte kunststof                                                | Aluminium                                |
| Nadelen          | Rubber is duur<br>Beperkt aantal ronde gangen (lossing)<br>Beperkte vormvrijheid<br>Dikte<br>Geen continu productieproces | Knikpunten nodig<br>Inconsistentie spectrale eigenschappen<br>Kan maximaal 4 verbindingen aan<br>Mag niet te kort zijn | Groot<br>Veiligheidscertificaten                                         |                                          |

**Figuur 2.2** Overzicht van de functies en nadelen van de onderdelen van het detectiematsysteem.

## Concurrenten

Het detectiematsysteem is voornamelijk gericht op aanwezigheidsdetectie. Hiervoor bestaan al producten, bijvoorbeeld rond zware machines, waar het van belang kan zijn dat de machine stopt met werken als een persoon te dicht bij de bewegende delen van een machine komt. Omdat het hier veiligheid betreft zijn er veel regels en normen waaraan een product moet voldoen om te kunnen worden toegepast voor machinebeveiliging. De principes die vandaag de dag worden gebruikt voor aanwezigheidsdetectie lopen uiteen.

## Lichtgordijn

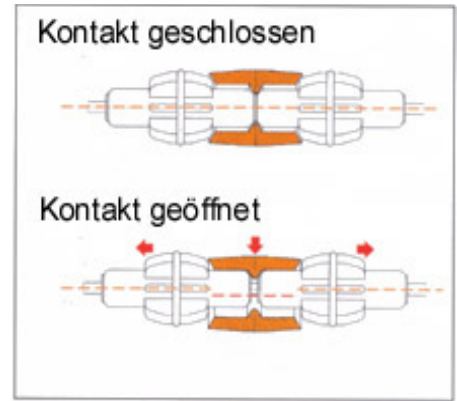
Een veel voorkomende vorm van detectie geschiedt door middel van lichtgordijnen. Dit systeem bestaat uit twee delen, een zender en een ontvanger. De zender zendt door een verticale lijn infraroodlampen een scherm van licht uit, dat wordt opgevangen door de ontvanger. Wanneer de ontvanger minder ontvangt dan het gehele uitgezonden lichtscherm, geeft deze het signaal om de machine stop te zetten. Als dit gebeurd is, moet er door personeel gecontroleerd worden of er zich niemand meer binnen de gevaarlijke zone bevindt, waarna de machine weer handmatig aangezet kan worden. Het lichtgordijnsysteem kampt dus met het probleem dat het niet daadwerkelijk kan detecteren of er iemand aanwezig is in de gevaarlijke zone, het kan alleen detecteren of iemand die zone ingaat. Daar komt nog bij dat het systeem ook zou kunnen reageren op een of ander voorwerp dat door wind of een andere omstandigheid door het lichtscherm beweegt. Er zijn wel systemen die door middel van “muting” onderscheid maken tussen producten en personen (<http://www.inrato.com/Lichtschermen/Inloopbeveiliging>, 2010). Een ander probleem van lichtgordijnen is dat de zender en ontvanger recht tegenover elkaar moeten staan. Een lichtgordijnsysteem kan dus moeilijk gebruikt worden om een hele zone om een machine heen te beveiligen.

## Schakellijst

Een ander principe van detectie is de schakellijst. Hierbij ligt in een lijst een stroomkring, in de vorm van een ketting van geleidende onderdelen. Wanneer hierop een druk wordt toegepast, wordt als het ware een wig gedreven tussen schakels van de ketting, waardoor de stroomkring wordt onderbroken. Dit systeem reageert op alle druk die van 360 graden rondom wordt uitgeoefend. Het systeem kan wel onderhevig zijn aan corrosie van de onderdelen van de ketting, waardoor de elektrische geleiding afneemt. Bovendien zou het kunnen dat door grote druk, of langdurige belasting delen van de ketting niet meer terugkeren naar een aansluitende positie.

# Detectiematten

Detectiematten worden gebruikt op de vloer rondom machines. Gangbare systemen maken gebruik van twee koperstrips, die op een kleine afstand van elkaar bevestigd zijn. Wanneer hier druk op wordt uitgeoefend, komen de strips dicht bij elkaar. Wanneer ze elkaar raken, wordt een stroomkring gesloten en wordt het signaal gegeven om de machine te stoppen. Dit systeem heeft een aantal problemen, die het zeer lastig maken om het te vervoeren en installeren. Het systeem moet namelijk tijdens het vervoeren ten alle tijde vlak gehouden worden, om te voorkomen dat de koperen strips worden vervormd en dus anders gaan reageren dan vereist is (het systeem is gecalibreerd in de fabriek). Daar komt nog bij dat koper zeer gevoelig is voor corrosie, waardoor de elektrische geleiding van de strips over tijd verslechtert. Ook is het systeem niet bestand tegen zeer grote belastingen, omdat hierdoor de koperen strips kunnen worden vervormd. Als iemand bijvoorbeeld per ongeluk met een heftruck over zo'n detectiemat heenrijdt, is deze gelijk onbruikbaar.

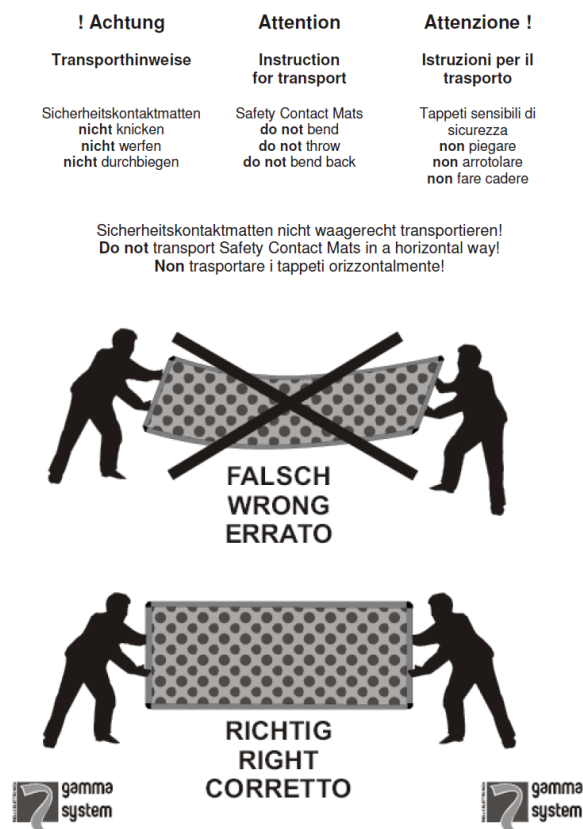


Figuur 2.3 Het principe van de schakellijst.

Een andere manier om personen te detecteren met een mat is door het gebruik van piëzosensoren. Een piëzo-elektrisch element geeft een elektrisch signaal wanneer er druk op wordt uitgeoefend, als gevolg van de vervorming.

Dezelfde producent die ook de schakellijst produceert, gebruikt hetzelfde principe van een schakelketting in detectiematten. Belangrijk speerpunt van deze producten is dat er door de Normally Closed techniek geen noodzaak is voor een externe controller-unit.

Er bestaan ook detectiematten gebaseerd op dezelfde inductie-techniek die ook wordt gebruikt voor het detecteren van auto's. Bij de detectie van auto's wordt het aanwezige veld verstoord door het metaal wat in een auto zit. Voor voetgangers wordt gebruik gemaakt van een metalen plaat. Door het gewicht van de voetganger verandert de vorm van de mat en/of de afstand tussen de plaat en de inductielus. Deze verplaatsing verandert het aanwezige veld en deze verandering wordt dan gedetecteerd. Ten opzichte van de andere methoden is deze methode behoorlijk omslachtig.



Figuur 2.4 Aanwijzingen voor het vervoeren van matten met koperstrips. Als deze op de verkeerde manier gedragen worden kunnen ze al onbruikbaar zijn voordat ze geïnstalleerd zijn.





# ONDERZOEK

Om inzicht te krijgen in de werking van het detectiematsysteem zijn een aantal tests uitgevoerd om te zien hoe het systeem reageert op verschillende gewichten, verschillende hoeveelheden kabel etc.

Voor de test zijn gebruikt:

- 1 rubber puzzelmat
- 10 meter optische kabel
- 1 detectiemodule
- 3 gewichten (5, 15 en 20 kilo)
- 1 pc met uitleesprogramma
- 1 houten plaat
- 1 traanplaat



**Figuur 3.1** De gebruikte opstelling voor de tests

Voor verschillende waarden van de volgende variabelen zijn metingen gedaan:

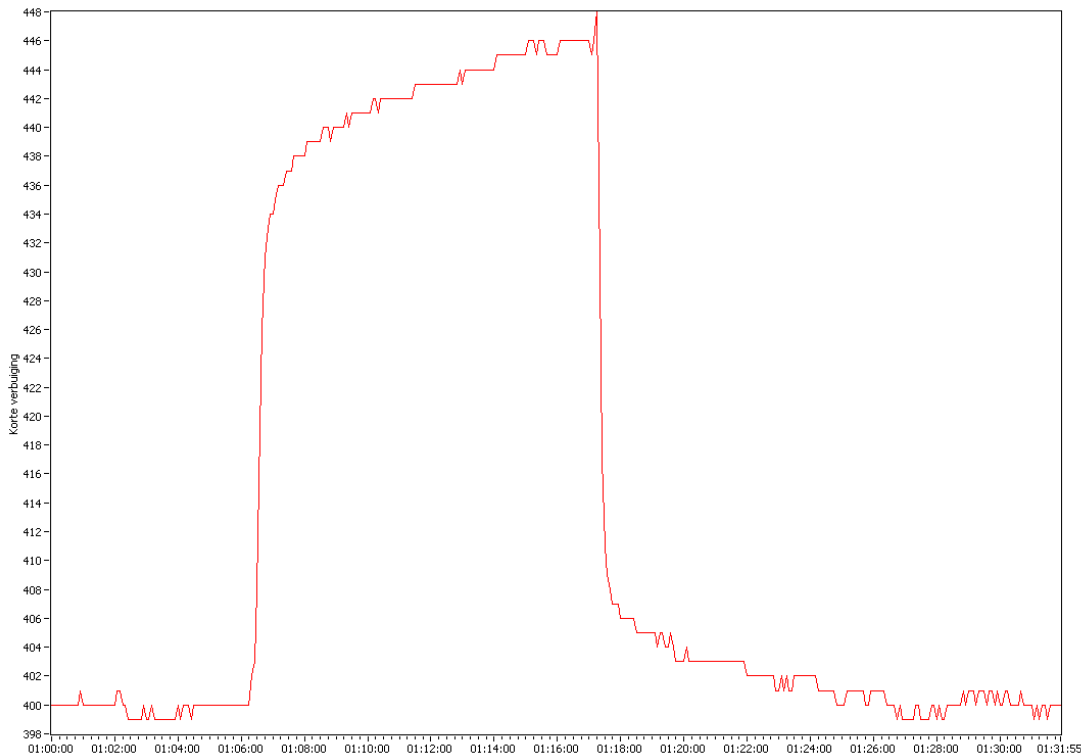
- Aantal banen kabel dat door de mat loopt.
- Aantal strips dat dwars over de kabel ligt.
- Gewicht.

De waarden van deze variabelen zijn gevarieerd en voor elke waarde is een meting gedaan. De uitkomst is de amplitude van het signaal, zoals dat gemeten is door het uitleesprogramma. Dit heeft dus geen eenheid.

Naar verwachting wordt het systeem gevoeliger als er meer kabel wordt gebruikt en meer strips. Omdat hierdoor het aantal knippunten vermeerderd, wordt de totale verandering van het lichtsignaal steeds groter. Tevens wordt verwacht dat het verband tussen de verschillende gewichten niet lineair is. Het rubber gedraagt zich als een veer, dus hoe verder het ingedrukt wordt, des te meer weerstand het biedt. Dit betekent dus dat voor kleine gewichten de uitwijking relatief groter zal zijn dan voor grote gewichten.

De uitvoering bestaat uit het systematisch afwerken van de verschillende combinaties van variabelen. Eerst wordt de detectiemat opgezet met het minimale aantal banen kabel en het minimale aantal strips. Dan worden er drie metingen gedaan met de verschillende gewichten. Hierna worden twee strips toegevoegd en weer drie metingen gedaan, totdat het maximum aantal strips bereikt is. Dan worden twee banen kabel toegevoegd en wordt weer begonnen met twee strips. Op deze wijze worden alle variabelen afgehandeld.

Als tweede test wordt voor twee banen kabel en twee strips steeds de positie veranderd, om te controleren of dit nog effect heeft op de gevoeligheid. Dit wordt gedaan door in eerste instantie twee banen kabel en twee strips zo dicht mogelijk bij elkaar te leggen. Na een meting te hebben gedaan worden de strips verder uit elkaar geplaatst. Zo worden na elke meting de strips verder uit elkaar geplaatst, totdat het uiteinde bereikt is. Dan worden de banen kabel verder uit elkaar gelegd en begint de cyclus opnieuw, totdat ook voor de banen kabel het maximum is bereikt.



**Figuur 3.2**  
Stapverstoring op het  
detectiematsysteem

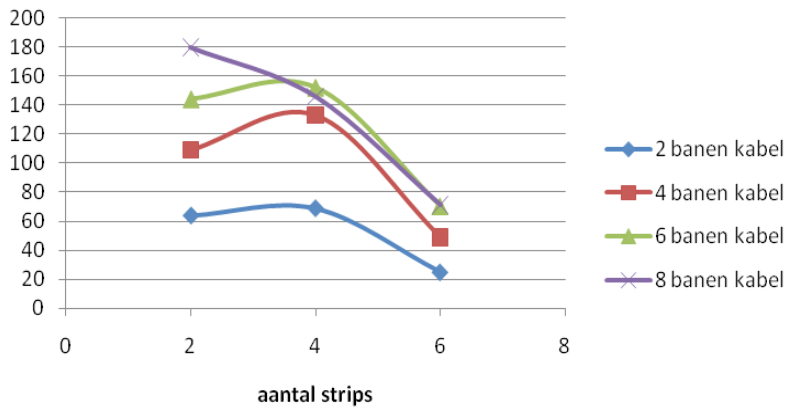
Een afbeelding van het meetprogramma laat zien hoe het systeem reageert op een stapverstoring met een gewicht. Hierin is duidelijk te zien dat het rubber zich niet lineair gedraagt. In het eerste stuk reageert het zeer snel, maar dan begint de grafiek af te vlakken. De grafiek blijft langzaam stijgen, totdat het gewicht weer wordt verwijderd. Ook dan verspringt de grafiek in eerste instantie erg snel, om later langzaam af te vlakken. Om terug te komen tot de beginpositie heeft het systeem tijd nodig. Dit gedrag is het gevolg van het gebruikte materiaal in de mat. Het materiaal moet elastisch genoeg zijn om redelijk snel terug te keren naar de beginpositie na een indrukking. Tegelijkertijd moet het niet zo stijf zijn dat het helemaal niet vervormt onder druk, want als het materiaal niet vervormt, dan vervormt ook de kabel niet en kan er niks gemeten worden. Rubber is dus gekozen vanwege de optimale compromis tussen vervormbaarheid en vormvastheid.

## Resultaten

De gevonden waarden voor de verschillende variabelen zijn in Excel gezet en met behulp van dit programma zijn grafieken gemaakt van de resultaten. Hierdoor zijn de resultaten goed te interpreteren. Het is goed te zien dat het systeem niet lineair reageert op de verschillende gewichten. De metingen bij respectievelijk 15 en 20 kilo zijn niet 3 keer en 4 keer zo hoog als bij 5 kilo. De verwachting met betrekking tot de hoeveelheid kabel en strips wordt duidelijk niet bevestigd. In dat geval hadden de grafieken allemaal door moeten blijven lopen naar boven.

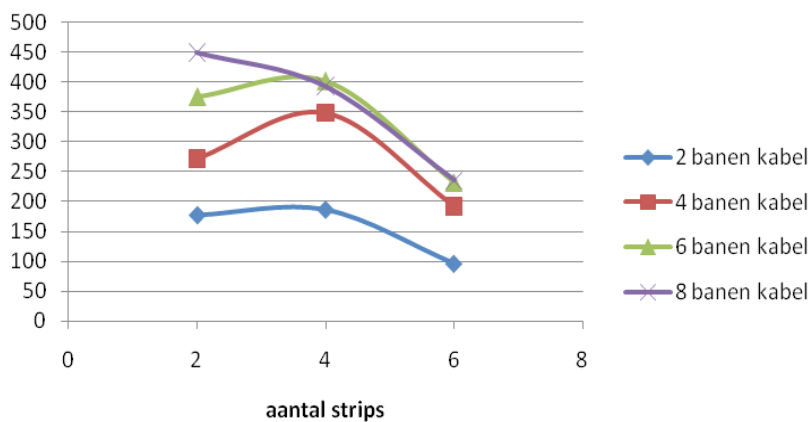


### Gewicht 5 kilo



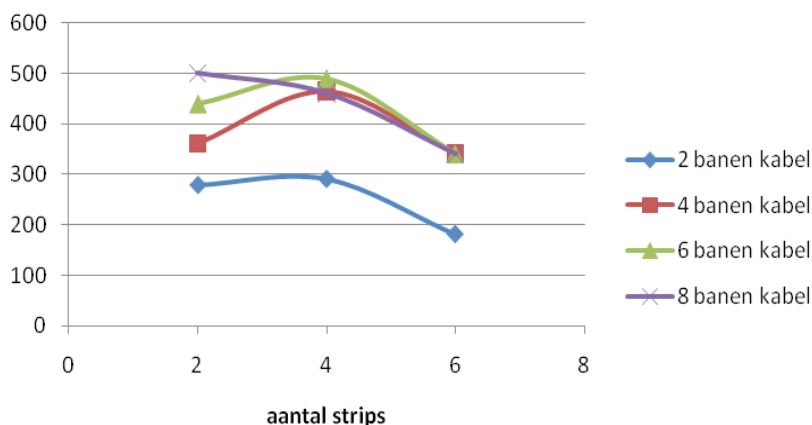
**Figuur 3.3** Invloed van verschillende variabelen op de prestatie van het detectiematsysteem

### Gewicht 15 kilo



**Figuur 3.4** Invloed van verschillende variabelen op de prestatie van het detectiematsysteem

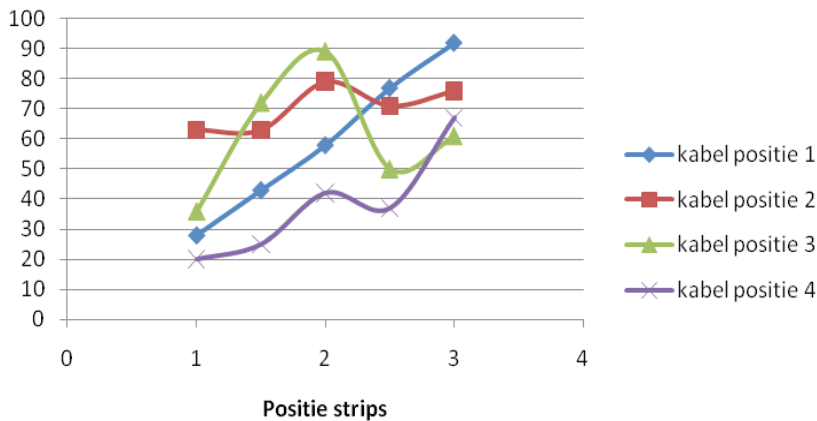
### Gewicht 20 kilo



**Figuur 3.5** Invloed van verschillende variabelen op de prestatie van het detectiematsysteem

Aan de resultaten is te zien dat bij gebruik van 6 strips de gevoeligheid omlaag gaat. Bij 4 strips is de gevoeligheid in de meeste gevallen hoger dan bij twee strips, behalve in het geval van 8 banen kabel. Aan de vorm van de grafieken kan worden ontleend dat er een optimale gevoeligheid lijkt te liggen in het middengebiet, bij 4 of 6 banen kabel met 4 kruisende strips. De verklaring hiervoor ligt niet voor de hand. Een mogelijke verklaring dat het aantal knikpunten de belangrijkste factor is gaat niet op, omdat verschillende gevoeligheden worden gevonden voor situaties waarin het aantal knikpunten gelijk is. Vergelijk bijvoorbeeld de situatie van 6 banen kabel met 4 strips en de situatie met 4 banen kabel en 6 strips. Een andere verklaring kan zijn dat niet puur het aantal strips de doorslag geeft, maar ook de afstand tussen de strips. Om deze reden is de tweede test uitgevoerd.

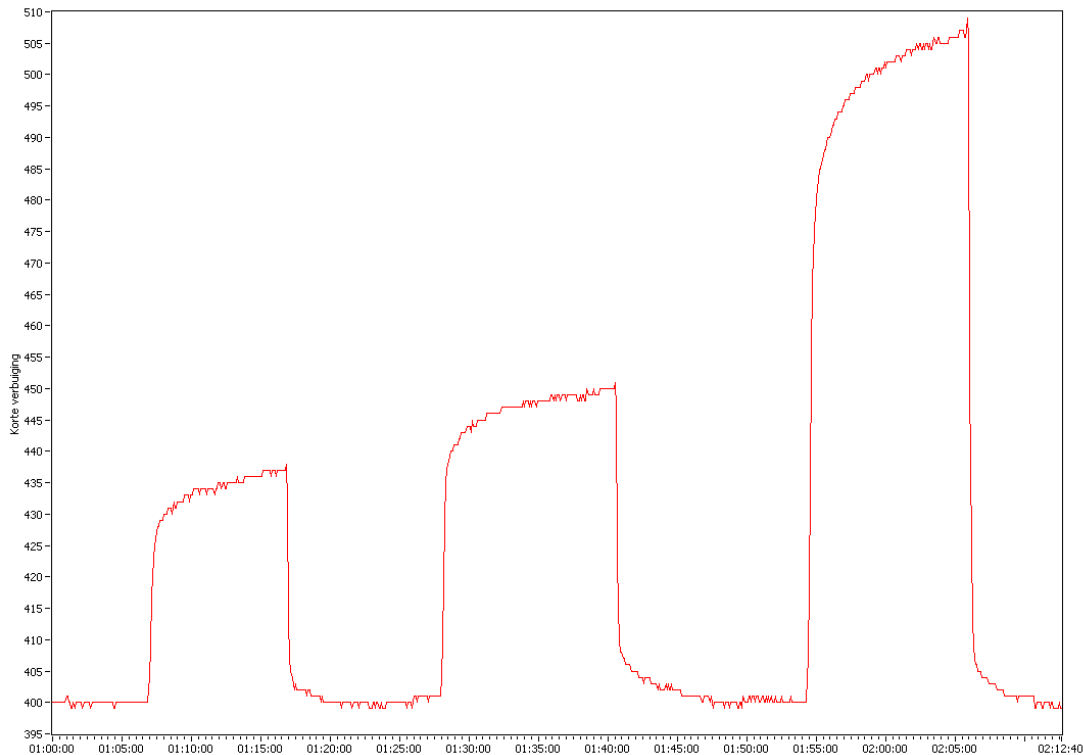
## Kabel positie/strips positie



**Figuur 3.6** Invloed van verschillende posities van de kabel en de strips op de prestatie van het detectiematsysteem

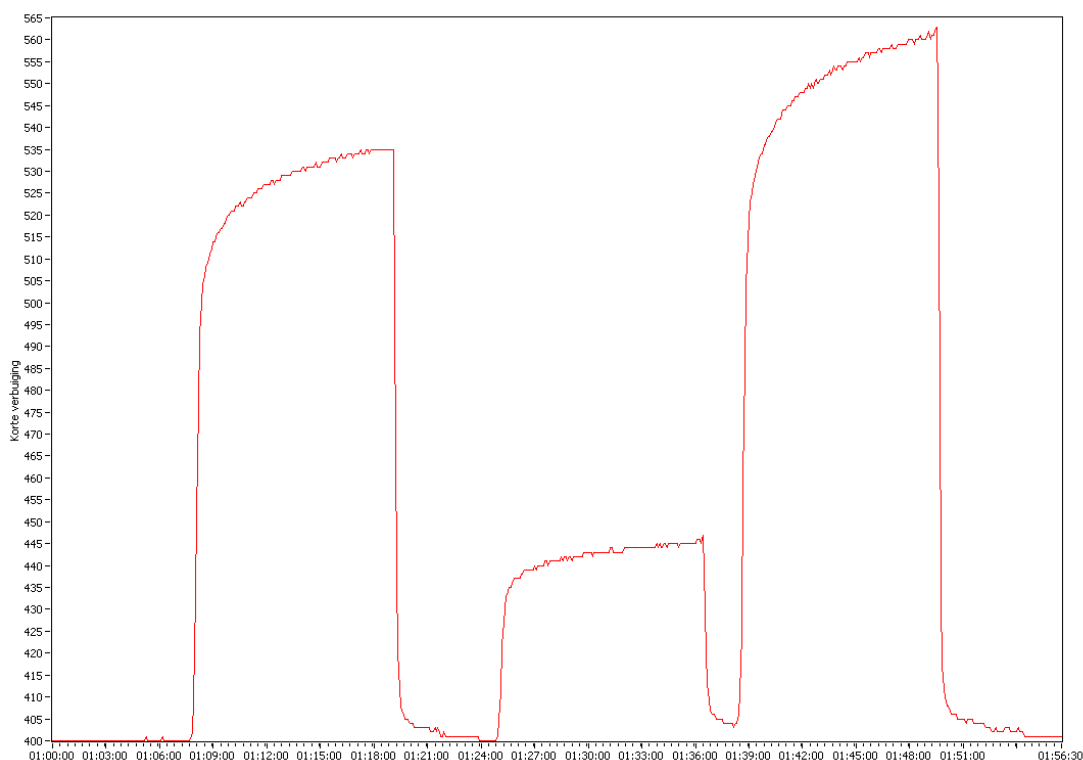
De resultaten van deze test geven niet allemaal een zuiver beeld. Het is mogelijk dat bij het verleggen van het systeem (voor een nieuwe meting) de gevoeligheid van het systeem is aangetast. De meting voor kabel positie 1 lijkt echter wel consistent. Hieruit blijkt wel dat het systeem gevoeliger wordt wanneer de strips verder uit elkaar liggen. Ook voor de andere meetseries lijkt het erop dat de gevoeligheid groter wordt wanneer de strips verder uit elkaar liggen, maar deze metingen vertonen geen lineair beeld. Uit deze metingen wordt niet goed duidelijk wat het effect is van de afstand tussen twee banen kabel. Een verklaring voor het effect van de afstand tussen strips kan wel bedacht worden. De strips zorgen voor een knikpunt. De scherpe verbuiging bij zo'n knikpunt is goed meetbaar voor het systeem. Als er twee knikpunten zijn, dan worden de verbuigingen als het ware bij elkaar opgeteld en wordt een groter verschil gemeten. Het is mogelijk dat als twee strips te dicht bij elkaar liggen, ze als het waren maar één knikpunt veroorzaken, omdat de kabel na de eerste strip niet genoeg ruimte heeft om terug te buigen, voordat de tweede strip wordt bereikt. Als strips te dicht bij elkaar liggen benaderen ze als het waren een plank. De resultaten van deze beide tests geven aan dat het niet verstandig is om een detectiemat zo vol mogelijk te stoppen met kabels en strips als het doel is om de gevoeligheid te vergroten.

Na deze tests zijn nog wat andere tests gedaan om te kijken hoe het systeem reageert. Zo is er bijvoorbeeld gekeken naar reacties bij verschillende positioneringen van het gewicht. De resultaten zijn opgenomen in grafieken. Uit deze grafieken kan worden opgemaakt dat de positie van het gewicht invloed heeft op hoe gevoelig het systeem reageert.



**Figuur 3.7** Positietest links-midden-rechts

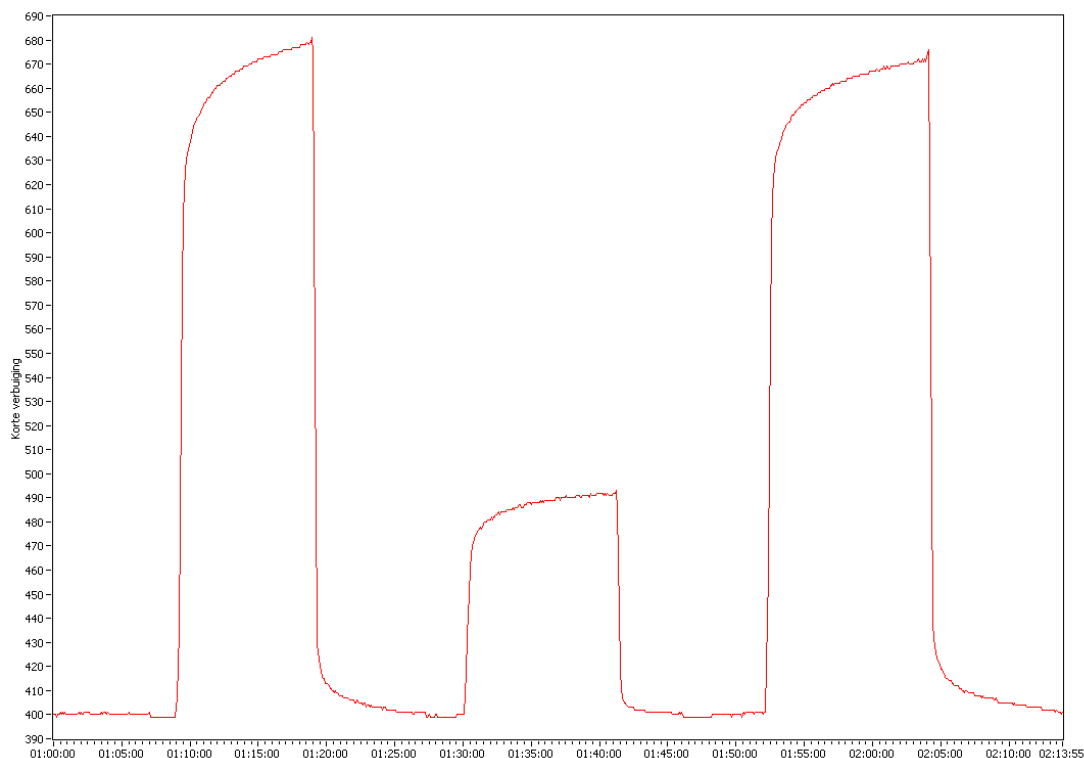
Deze grafiek laat zien wat de reacties van het systeem zijn als het gewicht achtereenvolgens aan de linkerzijkant, op het midden en aan de rechterzijkant van de mat worden geplaatst. De verwachting is dat met het gewicht in het midden de meting het laagst uit zou vallen, omdat dan de druk het meest verdeeld wordt. In dit geval blijkt echter dat dit niet het geval is. Waarom de piek aan de linkerkant zo klein is en aan de rechterkant zo groot, is moeilijk te verklaren. Dit kan het gevolg zijn van de vorm van de plank (misschien is deze bol, of op een andere manier misvormd), of van de plaatsing van de plank (niet goed genoeg uitgelijnd). Hoewel dit een vreemd resultaat is, is het niet nadelig. Als het systeem nauwkeurig genoeg is om de kleinste piek te detecteren, dan kan het ook de grotere detecteren. Er is ook een meting gedaan van de drie posities haaks op deze meting. Deze posities zijn beschreven als voor, midden en achter.



**Figuur 3.8** Positietest voor-midden-achter

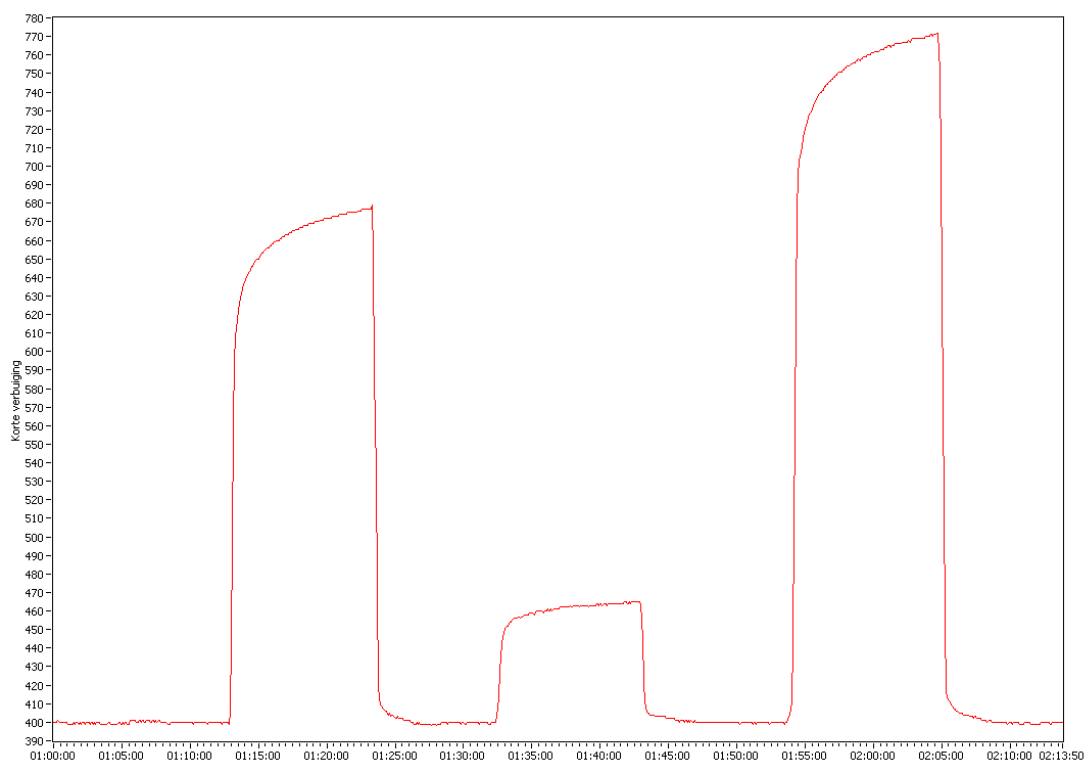
Bij deze test is veel duidelijker te zien dat de meting met het gewicht in het midden van de plank veel kleiner is dan de buitenste twee, die nu ook veel dicht bij elkaar liggen. Het verschil in deze twee

richtingen geeft nog aanleiding om te denken aan een andere zoekrichting voor de verklaring van de vorige meting. Wellicht heeft het te maken met de richting; van links naar rechts is in de lengterichting van de strips en loodrecht op de banen van de kabel, van voor naar achter is in de lengterichting van de kabel en loodrecht op de strips. De precieze verklaring is niet gelijk duidelijk. Om deze situatie nog nader te onderzoeken, zijn de strips weggehaald en is de plank vervangen door een stuk traanplaat. Hiermee wordt de invloed van de strips weggehaald. Nu worden dezelfde tests nogmaals uitgevoerd.



**Figuur 3.9** Positietest traanplaat links-midden-rechts

Hier is meteen duidelijk dat met de traanplaat de meting van links naar rechts veel beter voldoet aan het verwachtingspatroon. De twee buitenste metingen zijn ongeveer even hoog en de middelste is beduidend lager. Als de meetserie voor-midden-achter er met traanplaat ook zo uit ziet, is het zeer waarschijnlijk dat de oorzaak ligt bij de strips.



**Figuur 3.10** Positietest traanplaat voor-midden-achter

Ook hier zijn de twee buitenste metingen duidelijk hoger dan de middelste. Ze zijn niet helemaal aan elkaar gelijk, maar dit verschil kan worden toegeschreven aan de plaatsing van de gewichten (ze hebben niet even ver van het midden afgestaan). Het lijkt er op dat de oorzaak van de vreemde eerste meting ligt bij de strips, of de houten plank, aangezien deze twee componenten bij de tweede test niet gebruikt zijn. De strips zijn in de lengterichting uniform en geven dus geen aanleiding om aan te nemen dat deze een verschil van meting veroorzaken. De kans is dus zeer groot dat de rare meting veroorzaakt is door de houten plank. Welke eigenschap van de plank de boosdoener is, is lastig te onderzoeken. Het vermoeden dat de plank krom is, bleek niet te kloppen, maar leidde wel tot een andere optie. De grond kan ook oneffen zijn, waardoor de metingen niet uniform lopen.

Aan de tests hierboven is te zien dat het systeem moeilijk te beheersen is. Veel variabelen zijn van invloed op de gevoeligheid van het systeem. Een aantal hiervan kunnen wel worden vastgesteld, zoals het aantal banen kabel, aantal strips, onderlinge afstanden, etc. Er zijn echter nog een aantal factoren die van invloed kunnen zijn die niet vast te leggen zijn, zoals vormafwijkingen van het bedekkingsmateriaal. Hierdoor is het nog niet mogelijk om de metingen van het systeem om te zetten naar bekende grootheden, zoals bijvoorbeeld kilo's. Het systeem wordt dus alleen gebruikt om bij een bepaalde minimale meting een signaal af te geven. Met andere woorden: het systeem geeft alleen aan of er wel of niet iets van meer dan de minimumwaarde aanwezig is. Een groot deel van de informatie die het detectiesysteem kan meten gaat hiermee verloren. Indien het systeem beter te controleren is, kan er meer informatie gebruikt worden. Het systeem zou dan bijvoorbeeld onderscheid kunnen maken tussen verschillende categoriën van druk. Dit zou het aantal toepassingen zeker doen toenemen. Het materiaal is hier echter een beperkende factor. Rubber zorgt voor een vertraging in de meting. Dit betekent niet alleen dat het niet lineair reageert op verschillende gewichten, maar ook dat het bij grotere gewichten langer duurt voordat het systeem een steady state bereikt.

Een onderzoek naar het gedrag van het systeem bij langere belasting is te vinden in bijlage A.

## Informatie rubber

Op het gebied van rubber zijn veel mogelijke combinaties van eigenschappen. Het is echter niet mogelijk om voor alle eigenschappen de hoogst wenselijke waarden in één soort rubber te vangen. Elke vorm van rubber bevat dus een compromis van wenselijke en minder wenselijke eigenschappen. NBR-rubber is bijvoorbeeld goed bestand tegen olie, maar is minder goed bestand tegen weersinvloeden en UV-straling. EPDM-rubber is tegen deze invloeden beter bestand en is door de vorm van zijn polymeerketen ook goed bestand tegen oxidatie (veroudering). Ook kan EPDM zo gemaakt worden dat het goed bestand is tegen permanente vervorming door langdurige belasting, door het te vulcaniseren met peroxide in plaats van zwavel. De vraag welke soort rubber beter is, kan alleen beantwoord worden door te bepalen welke eigenschappen het belangrijkst zijn. De invloed van UV-licht is bijvoorbeeld niet belangrijk als het rubber wordt beschermd door een laag ander materiaal. Voor toepassingen binnen zullen UV-licht en weersinvloeden van weinig belang zijn. Oliebestendigheid zal vooral van belang zijn bij machinebeveiliging. Voor duurdere toepassingen (grote oppervlakken) zal het wenselijk zijn dat het rubber weinig last heeft van veroudering, zodat het lang mee kan gaan. De weerstand tegen permanente vervorming onder langdurige belasting is een voordeel waardoor iets minder voorzichtig met een mat omgesprongen kan worden.

Als het gaat om de elastische eigenschappen van het rubber, is natuurrubber waarschijnlijk de beste variant, maar dit heeft weer erg slechte eigenschappen als het gaat om de belangrijke weerstanden. Het zou wel mogelijk kunnen zijn om een laag natuurrubber te gebruiken voor de elastische eigenschappen, en deze te omhullen met een andere rubbersoort om het te beschermen tegen weersinvloeden en olie etc.

De veroudering van rubber is het gevolg van oxidatie. Het is moeilijk te voorspellen hoe het gedrag van een stuk rubber verandert als gevolg van veroudering, maar het is wel constant. Het is dus mogelijk om de verouderingswaarde te meten voor een proefstuk, zodat bij toepassing van dat proefstuk duidelijk is hoe het proefstuk als gevolg van veroudering verandert.

# EISEN PRODUCTLIJN

Omlijsting moet geschikt zijn voor het plaatsen van detectiematten op de vloer. Dit betekent een afgeschuinde kant, zodat mensen er niet over struikelen. Ook moet er omlijsting zijn om een in de (tegel) vloer verzonken detectiemat te plaatsen. Materialen die voor omlijsting gebruikt worden moeten net zo lang meegaan als de rest van de materialen, en bestendig zijn tegen dezelfde omstandigheden.

## Professioneel:

### Veiligheid

Voldoen aan de huidige hoge standaard, behoud van veiligheidscertificaten. Als er iets wordt aangepast aan de bestaande detectiemodule, dan moeten de certificaten opnieuw worden behaald. Hiervoor moeten dan weer test worden gedaan. Het is dus goedkoper om geen aanpassingen te maken aan de module.

### Hoge belastingen

Moet ook te gebruiken zijn voor bijvoorbeeld heftrucks. Een maximaal beladen heftruck kan gaan tot zo'n tien ton. Onder dit gewicht moet een detectie mat niet bezwijken.

### Duurzaam

Moet zo lang mogelijk kunnen werken voordat vervanging nodig is (bijvoorbeeld 10 jaar). Dit kan zijn met een zeer sporadische belasting (bij machinebeveiliging wordt het systeem waarschijnlijk weinig belast), of juist met een hoge frequentie van belasting. Waarschijnlijk heeft de hoeveelheid belasting niet veel belang. Wanneer er wordt uitgegaan van een maximaal aantal keren belasten van 5 miljoen voordat de mat kapot gaat, dan kan er bij continu gebruik 1 keer per 63 seconden belasting worden toegepast om de mat 10 jaar mee te laten gaan. Als wordt uitgegaan van een bedrijfssituatie, waar maar 8 uur per dag gewerkt wordt, kan dit al 1 keer per 21 seconden worden. Deze frequentie is hoog en dus ligt het voor de hand dat het product eerder als gevolg van veroudering kapot gaat dan door veel belasting.

### Op maat kunnen maken

Matten moeten in alle gewenste afmetingen en elke gewenste vorm te krijgen zijn. In het geval van machinebeveiliging is een minimale lengte van 1200 mm vereist. Met deze eis lijkt het gebruiken van een matrix van losse sensorvoetjes mogelijk. Deze oplossing maakt het echter lastiger om een mat te verankeren en in te lijsten.

### Matten verankeren

Matten moeten op hun plek vastgemaakt kunnen worden. De makkelijkste manier om dit te doen lijkt door middel van het vastschroeven van de omlijsting. Dit betekent ook dat bijvoorbeeld een topplaat niet zomaar van de mat kan worden gehaald. Als onderdelen in elkaar moeten passen, is het van belang dat er een stabiele passing wordt gecreëerd, met andere woorden, als onderdelen dan iets uit elkaar worden bewogen, moeten ze daarna vanzelf weer terugkeren naar de oorspronkelijke situatie.

## Geen risico installatiefouten

Het product moet niet als gevolg van een verkeerde installatie kapotgaan of niet werken. Ofwel moet er voorkomen worden dat installatiefouten gemaakt worden, ofwel zorgen fouten bij installatie niet voor problemen (in dit geval zijn het in wezen dus geen installatiefouten meer). Hierbij kan er van uitgegaan worden dat de installateur enige kennis heeft van het Lightspeed systeem. Het systeem moet dus simpel en snel geïnstalleerd kunnen worden. Vooral van belang is dan dat het inleggen van de kabel veel tijd kan kosten als dit op een omslachtige manier moet gebeuren, zoals wanneer de kabel ergens doorheen gehaald moet worden. Het is het makkelijkst wanneer de kabel simpel ingelegd kan worden.

## Geen vuil

Het is de bedoeling dat er zo min mogelijk vuil in het systeem terecht kan komen. In principe heeft vuil geen directe invloed, maar een ophoping van vuil zou een signaalverstoring tot gevolg kunnen hebben. Bij gebruik van modulaire systemen moet er aan gedacht worden dat er geen scherpe voorwerpen tussen de onderdelen door kunnen.

## Particulier:

### Instelbaarheid

Voor de flexibiliteit is het goed als bepaalde parameters van het systeem door de gebruiker ingesteld kunnen worden. Bijvoorbeeld gevoeligheid, vertraging, of afkapping van het signaal. Op deze manier kunnen meer functies vervuld worden door hetzelfde product.

## Eenvoudig

Een persoon zonder voorkennis moet het product kunnen gebruiken (installeren).

## Goedkoop

Het product moet zo goedkoop mogelijk zijn om door particulieren gekocht te worden. Een hele simpele detectiemat van een ander merk kost rond de 35 euro. Zo laag kan het Lightspeed systeem waarschijnlijk niet gaan, maar het systeem kan wel toegevoegde waarde bieden ten opzichte van gangbare systemen. Bijvoorbeeld met ingebouwde signalen (licht, geluid), of een user interface om bijvoorbeeld gevoeligheid en vertraging in te stellen. Het gebruiken van een kleinere detectie-module zorgt ervoor dat het product kleiner en goedkoper kan worden, met verlies van veiligheidskeurmerken. Voor particulier gebruik zijn deze echter veel minder belangrijk dan bij professioneel gebruik.

## Kleinschalig

Voor particulieren ligt de grootte van een detectiemat in de categorie van deurmatten en stoeptegels. Dit zijn dus richtlijnen voor standaardmaten. Standaard stoeptegel = 30x30x4,5cm. Voor deurmatten is geen standaard. Maten variëren van 55x90cm tot 175x70cm. Hier is wellicht ruimte voor meerdere afmetingen.

## Kant en Klaar

De consument moet een product kunnen kopen dat niet geassembleerd hoeft te worden. In het ideale geval is het plug-and-play.



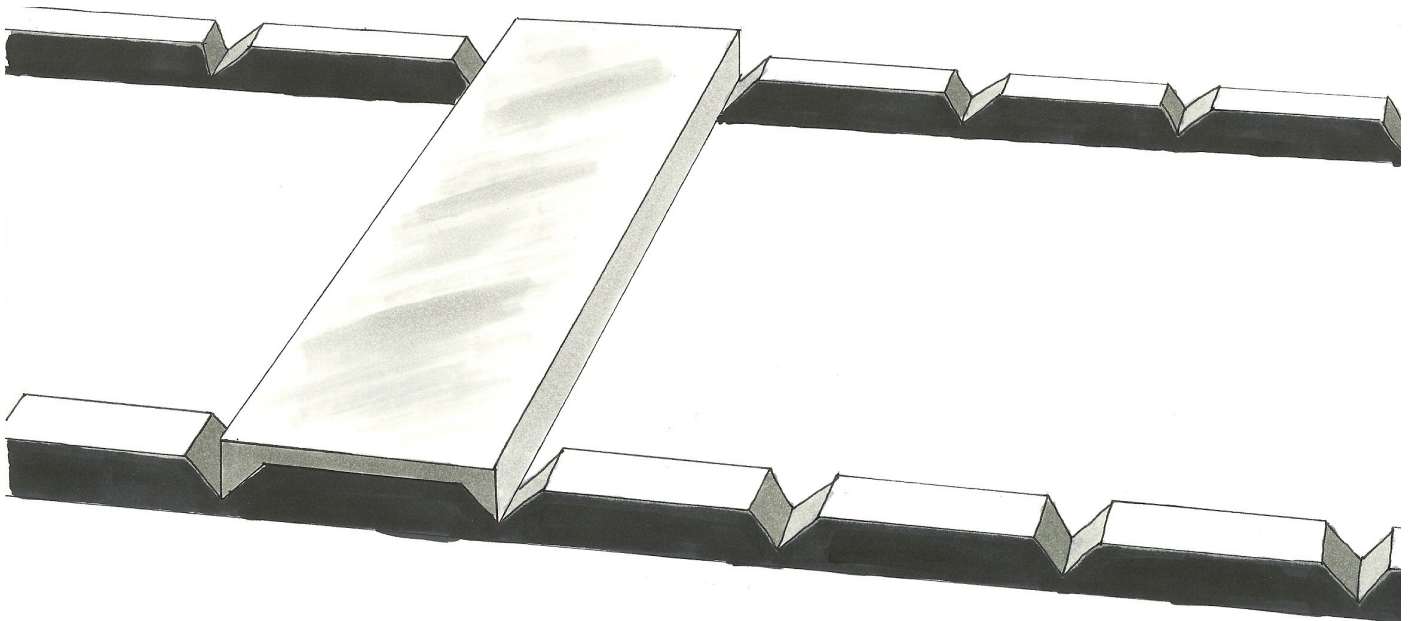
## Directe aansturing externe apparaten

Het systeem kan direct aangesloten worden op externe apparaten als lampen, bellen, deuropeners, etc. Zonder de noodzaak om hier een relais tussen te plaatsen. Een optie kan zijn om al signaalgevers in te bouwen, zodat het systeem niet op iets externs hoeft worden aangesloten om aan te kunnen geven dat er gedetecteerd is. Voorbeelden zijn lichten, een bel, een zoemer, maar ook een gsm-module of bluetooth-unit kunnen toegepast worden om door te geven dat er iets is gedetecteerd. GSM- of bluetoothmodules zijn te duur om in een product in te bouwen en kunnen het best op eigen initiatief van de consument worden toegevoegd aan het systeem.



# CONCEPTEN

## Rubber stroken met lange tegels

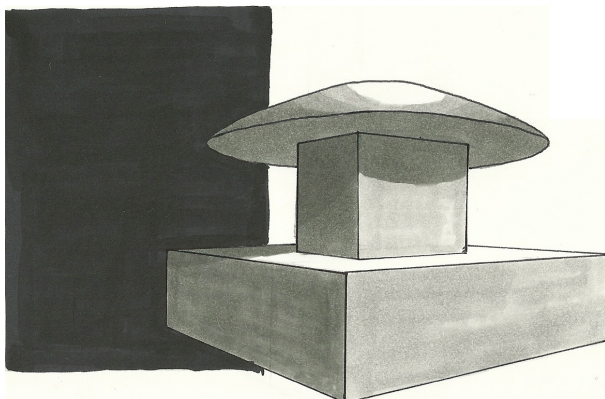


**Figuur 5.1** Bij dit concept loopt de optische kabel in de rubber stroken. Lange tegels liggen hier dwars overheen.

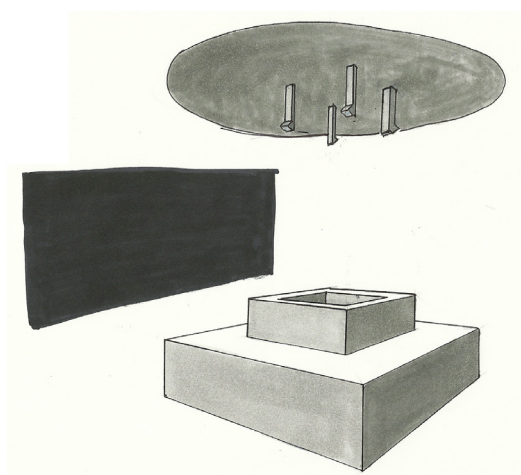
Deze optie lijkt voor het installeren van een groot vlak erg makkelijk. Eerst wordt een aantal stroken neergelegd, waar de optische kabel ingelegd wordt. Vervolgens worden daar dwars overheen de tegels gelegd, die door hun vorm in de sleuven vallen. Op deze manier kan snel een groot oppervlak bedekt worden. De eis dat er geen vuil in het systeem terecht komt levert hier wat problemen op, omdat de tegels gewoon tegen elkaar aanliggen. Tussen de tegels kan wel vuil terechtkomen. Aan de lange kant kan de vorm zo gemaakt worden dat de tegels niet tegen elkaar aan liggen, maar voor een deel over elkaar heen. Als dit aan de korte kant ook moet worden gedaan, wordt de tegel lastiger te maken, omdat deze dan bijvoorbeeld al niet meer geëxtrudeerd kan worden. Wat betreft de productie lijken de rubber stroken al een lastig product, omdat de sleuven dwars op de lengte moeten komen.

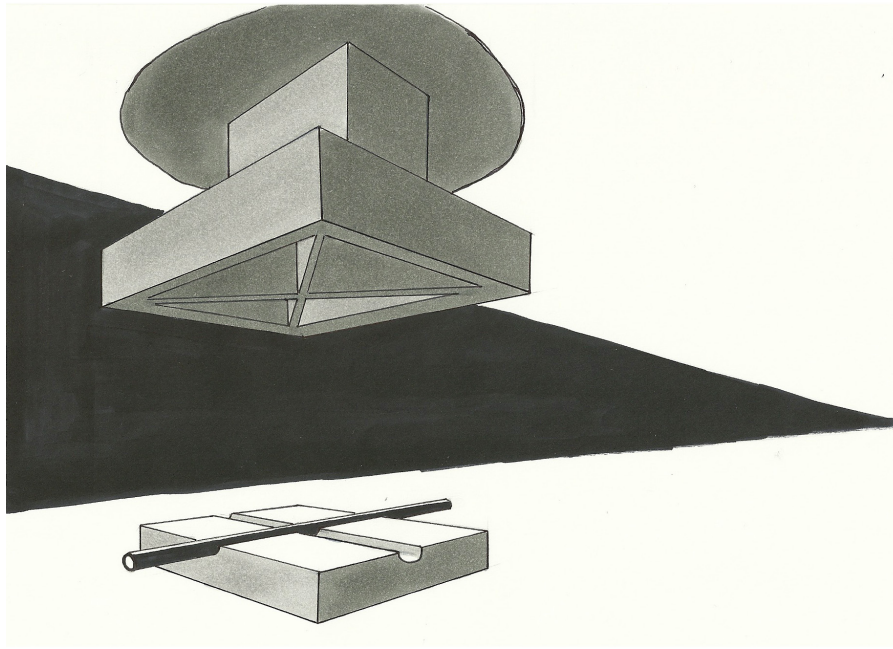
## Oplossing met sensorvoetjes

Een mogelijke oplossing om matten op maat te kunnen maken is door te werken met sensorvoetjes, die op de hoekpunten van tegels worden aangebracht. Deze sensorvoetjes brengen de druk over naar de kabel. Dit kan door de kabel door de sensorvoetjes te laten lopen, of door de sensorvoetjes op een rubbermat met kabel te plaatsen.



**Figuur 5.2** Twee voorbeelden van sensorvoetjes. Het ronde bovengedeelte sluit de tegel in.





**Figuur 5.3** Voorbeeld van hoe een sensorvoet op de kabel (in rubber) geplaatst kan worden

Dit systeem geeft veel vrijheid voor verschillende vormen en kan in principe oneindig groot gemaakt worden. Het heeft echter ook een aantal eigenschappen die het moeilijk maken om mee te werken.

De voetjes moeten bijvoorbeeld eerst op hun plaats gelegd worden, compleet met kabel, voordat de tegels erop gelegd kunnen worden. Het zou makkelijker werken als dit proces tegel voor tegel door zou kunnen werken.

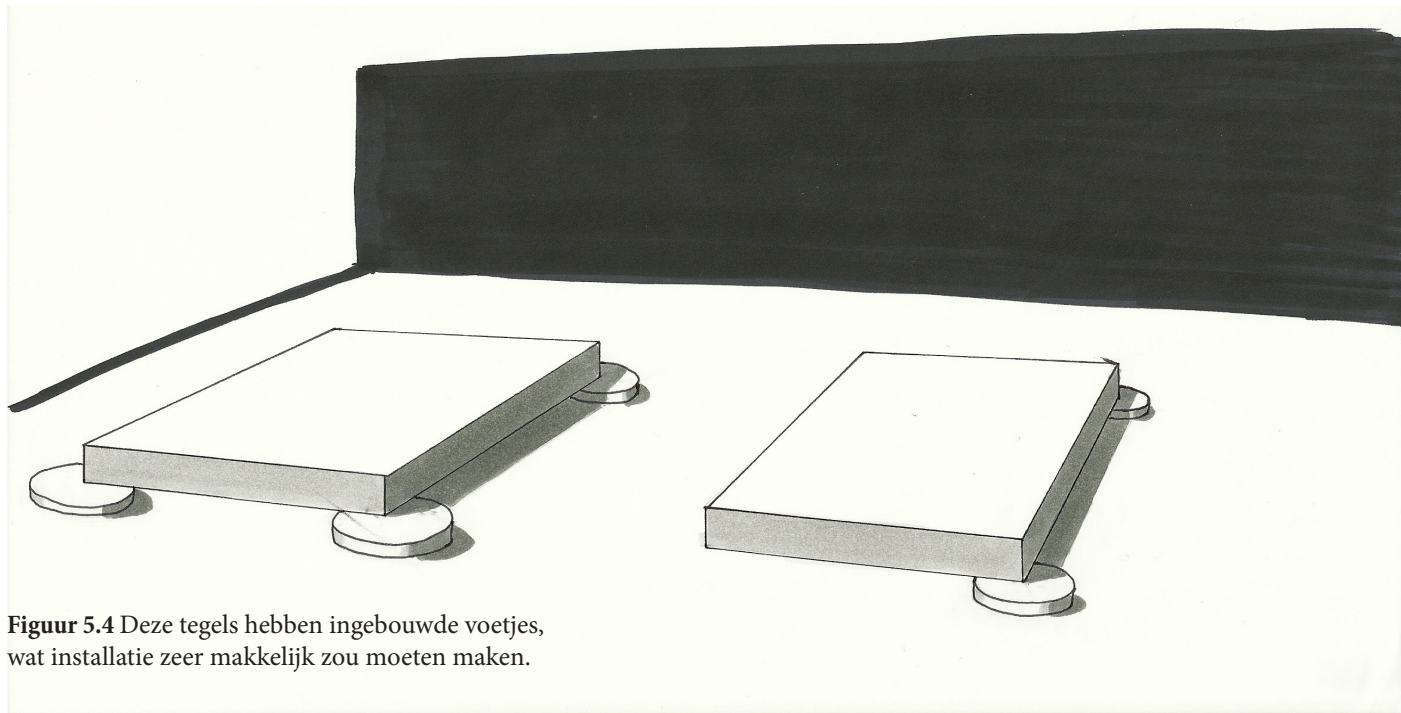
Bovendien is het belangrijk om de tegels zo te leggen dat het geheel niet makkelijk uit elkaar kan worden gehaald. Met veel losse tegels zou dit een probleem kunnen opleveren.

Nog een probleem kan zijn wat er met de kabel gebeurt tussen de sensorvoetjes in. Ligt deze los of ingesloten? Als deze los ligt, kan een installateur de neiging hebben om de kabel volledig strak te trekken, wat kan resulteren in slechte installatie.

De vraag wat betreft materialen wordt min of meer beantwoord door de mogelijke omgeving van een mat. In de buurt van een machine waar vonken of hete spanen uit kunnen komen, moet altijd een toplaag van metaal worden gebruikt, dus in dit geval zou aluminium voor de tegels zeer voor de hand liggen. De sensorvoetjes zelf kunnen van verschillende materialen gemaakt worden. Rubber kan worden toegepast als de sensorvoetjes volledig op zichzelf moeten werken. Als onder de sensorvoetjes nog een rubbermat wordt gebruikt, kunnen ze ook worden gemaakt van goedkoop kunststof, zoals PE, om tegen lage kosten te kunnen produceren.

Bij het gebruiken van sensorvoetjes kan gekeken worden naar verschillende manieren om de kabel neer te leggen. In het meest voor de hand liggende geval loopt de kabel in een rechte lijn door een voetje. Op deze manier kan een keten van voetjes gemaakt worden. Dit zou al voor het installeren gereed gemaakt kunnen worden, zodat de voetjes alleen nog maar hoeven worden neergelegd. Hierbij is het wel van belang dat van tevoren rekening is gehouden met de benodigde vorm van het oppervlak. Het is mogelijk dat de kabel op een andere manier door een sensorvoetje gaat. Het is mogelijk lussen te maken, of de kabel een aantal keer heen en weer te laten bewegen. Als blijkt dat een bepaalde configuratie een zeer grote gevoeligheid veroorzaakt, kan dit betekenen dat een bepaalde configuratie gebruikt moet worden om het gevoeligste systeem te verkrijgen. De afmetingen van de tegel zijn van belang, in verband met doorbuiging onder belasting. Ook de afmetingen van de sensorvoetjes en de onderlinge afstand zijn van belang. Het is zeer waarschijnlijk dat deze grootheden van invloed zijn op de gevoeligheid van het systeem.

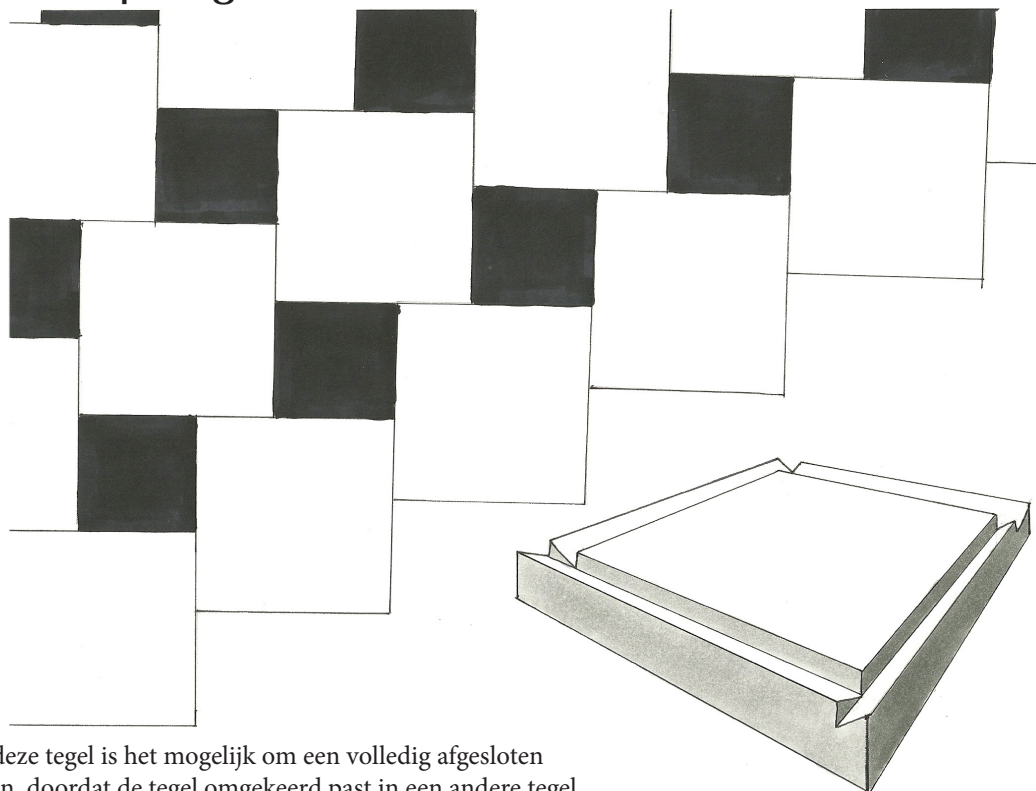
## Vierkante tegels met sensorvoetjes ingebouwd



**Figuur 5.4** Deze tegels hebben ingebouwde voetjes, wat installatie zeer makkelijk zou moeten maken.

Tegels gecombineerd met sensorvoetjes zijn een goede manier om oppervlakken van uiteenlopende vormen te bedekken. Een idee om dit sneller te kunnen installeren is het produceren van tegels met de sensorvoetjes er al aan vast. Dit heeft wel als gevolg dat verschillende tegels geproduceerd zouden moeten worden, omdat het niet mogelijk is om met één soort tegel een tegelvloer te leggen waarvan alle tegels op de hoekpunten worden ondersteund door voetjes. Dit betekent dus ofwel het gebruiken van verschillende tegels, of alsnog een aantal losse voetjes gebruiken, om eventuele gaten op te vullen. Ook bij deze vorm is bestendigheid tegen vuil een probleem. Zolang de tegels met alleen de zijkanten tegen elkaar liggen, kan er altijd vuil tussen komen. Hier ligt dus nog een probleem dat opgelost dient te worden om met een tegelsysteem aan de eisen te kunnen voldoen.

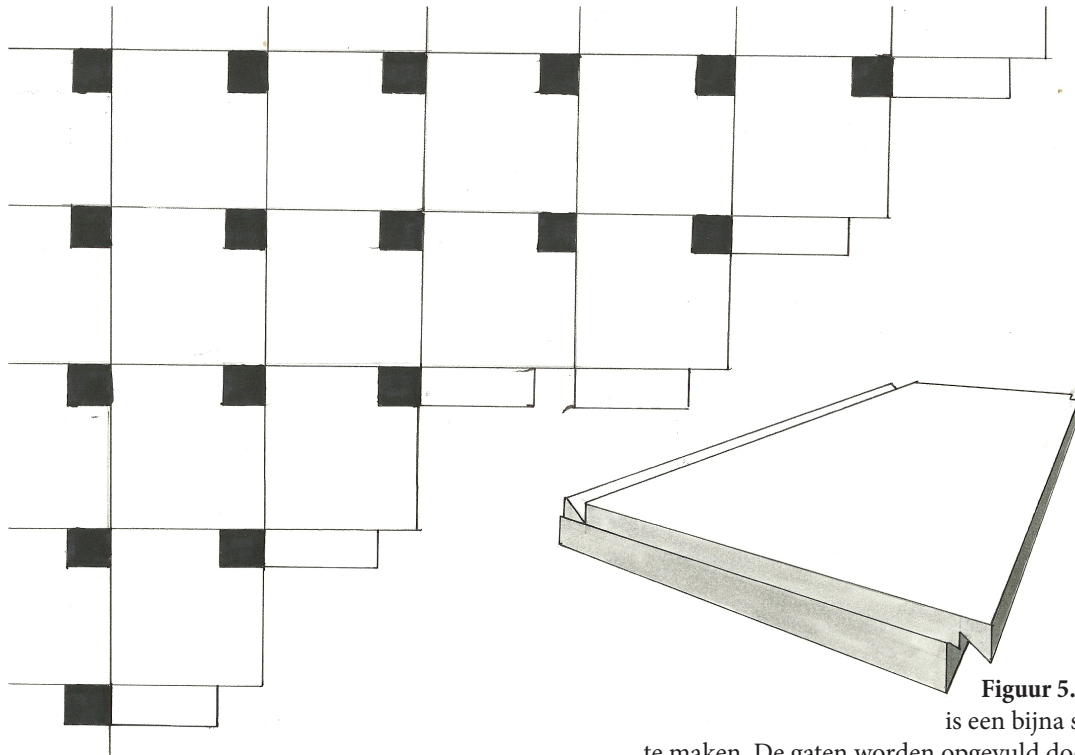
## Tegel met versprongen sleuf



**Figuur 5.5** Met deze tegel is het mogelijk om een volledig afgesloten systeem te leggen, doordat de tegel omgekeerd past in een andere tegel.



Eén mogelijkheid om een volkomen sluitend tegelsysteem te maken, is door een sleuf langs de rand te maken (symmetrisch, zodat hij omgekeerd op zichzelf kan aangrijpen). Dit levert echter een probleem op bij de hoeken van de tegel. Door de sleuf naar één kant toe volledig door te halen kan dit worden opgelost, maar dan kunnen de tegels niet meer in een rasterpatroon worden geplaatst. De plaatsing wordt door deze vorm zo ingewikkeld, dat installatie er alleen maar moeilijker van wordt. Een andere oplossing is de hoek ter breedte van de sleuf weg te halen. Hierdoor ontstaat een tegel met aan de vier zijkanten een sleuf. Wanneer er hiervan vier aan elkaar worden verbonden (zodat een groter vierkant ontstaat), blijft in het midden een gat over. De opvulling van dit gat is weer een nieuw probleem.



**Figuur 5.6** Met deze tegel is een bijna sluitend systeem te maken. De gaten worden opgevuld door sensorvoetjes

Dit probleem kan worden opgelost door sensorvoetjes te ontwerpen die dit gat precies kunnen vullen. Om ervoor te zorgen dat er dan geen vuil in kan, is het aan te raden om deze sensorvoetjes aan de bovenkant ook een uitstulping te geven, die de naden afdekt. Dit zorgt er ook voor dat de tegels beter verankerd komen te liggen. Wellicht kunnen deze voetjes ook van pas komen bij het aanleggen van een omlijsting. De vorm van de tegels zorgt er namelijk voor dat er twee verschillende zijden ontstaan, één met een omhoogstaande en één met een omlaaghangende rand. De wens is om met één soort profiel de hele lijst te kunnen maken.

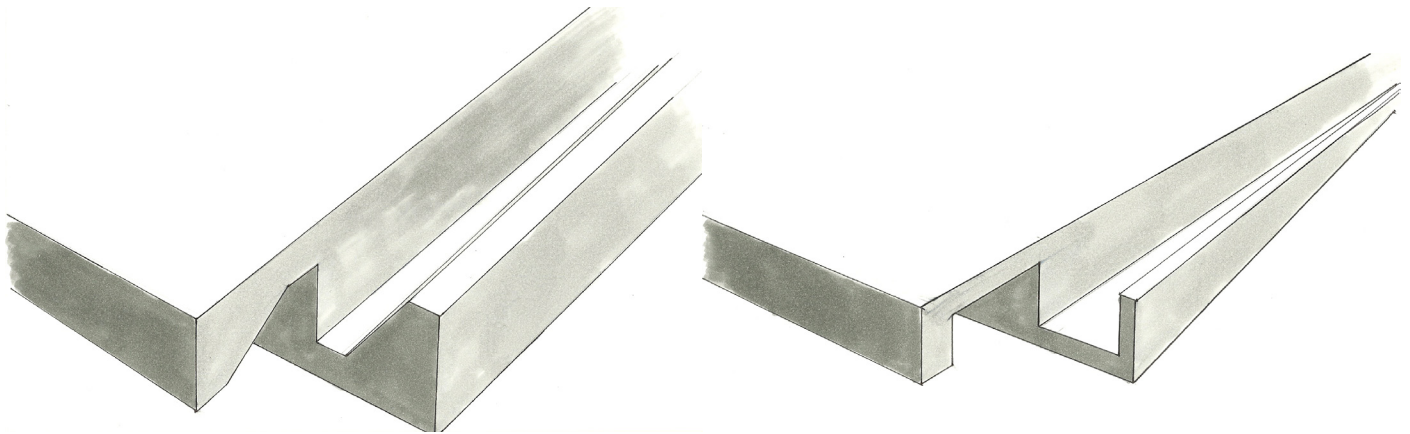
De volgende uitdaging is de plaatsing van de kabel. De simpelste, meest voor de hand liggende manier is om gewoon een rubbermat met kabel onder het geheel te leggen. Als andere manieren worden bedacht, kan er misschien een makkelijker te installeren alternatief worden bedacht, of een goedkoper of betrouwbaarder idee. Wat in elk geval geen optie is, is elk idee waarbij de kabel door een buisje gehaald moet worden. In het verleden is al gebleken dat dit zeer omslachtig en tijdrovend is.

Wanneer er gebruik wordt gemaakt van een systeem met tegels, zou het wenselijk zijn om de kabel tegelijk met de tegels in te leggen. Dus dat met elke tegel ook het bijbehorende stuk kabel gelegd wordt. De andere situatie is dat eerste de volledige kabel gelegd moet worden, en de sensorvoetjes geplaatst, waarna de tegels hierin gepast moeten worden. Door de kabel met de tegels mee te leggen kan tijd en moeite worden bespaard, en bovendien wordt het waarschijnlijk nog goedkoper ook.

# Tegels

De tegels voor het oppervlakedetectiesysteem hebben twee in elkaar grijpende zijden, die ervoor zorgen dat de tegels makkelijk te leggen zijn, omdat de randen in elkaar gelegd kunnen worden, waarna de tegel op zijn plaats blijft. Ook zorgen deze in elkaar grijpende zijden ervoor dat er minder vuil onder de tegels kan komen. De afmeting van de tegels is gebaseerd op analyses van de doorbuiging die met behulp van SolidWorks gemaakt zijn en op de minimale maat die een machinemat volgens de ISO-wetgeving moet hebben, namelijk 1200 mm. De afmetingen van de tegel worden 400mm bij 400 mm.

Het beste materiaal voor het maken van de tegels is aluminium. Dit is goedkoop en relatief licht (ten opzichte van andere metalen). Een optie met kunststof, zoals bijvoorbeeld glasvezelversterkt ABS, is wel lichter, maar kost per kilo zoveel meer, dat ook per tegel aluminium goedkoper zou zijn dan ABS. In eerste instantie leek het een goed idee om een kabelgoot te verwerken in de tegel, om geen extra product nodig te hebben om de kabel tussen de voetjes vast te leggen. Nadere beschouwing bracht



**Figuur 5.7** Voorbeelden van hoe de randen van tegels gemaakt kunnen worden zodat ze in elkaar passen

echter enkele argumenten naar voren om dit niet te doen.

Door de vorm van de goot zou de tegel lastig te produceren worden.

Bij installatie wordt eerst de kabel gelegd, dan de tegel. De kabel moet dan naderhand nog in de tegel worden gewerkt, waar vaak helemaal geen zicht meer op mogelijk is.

Met een kabelgoot komt de tegel heel erg dicht bij de grond te liggen.

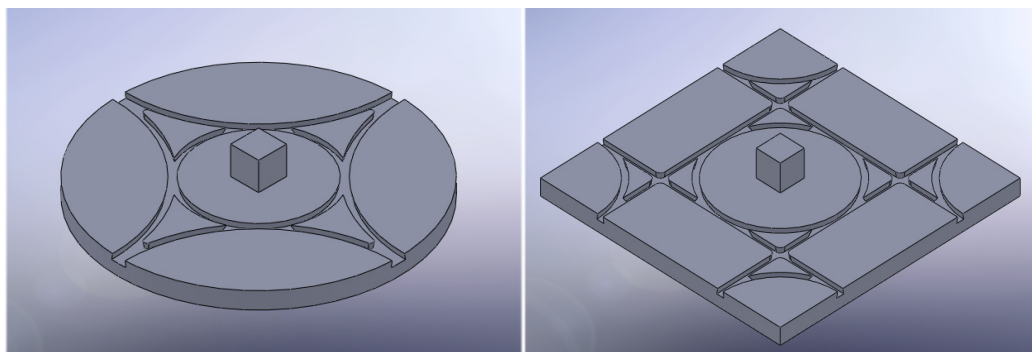
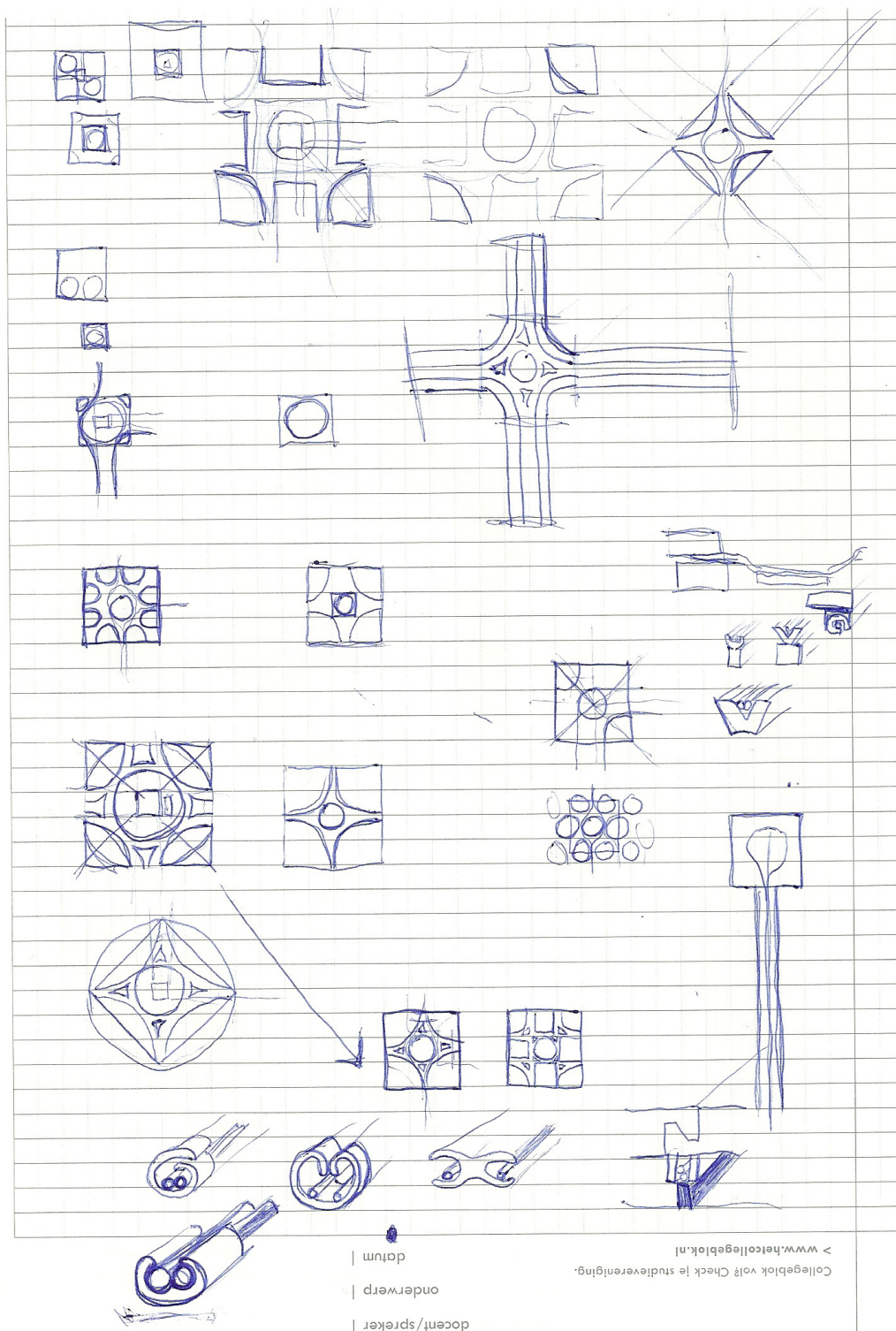
De tegels gaan doorbuigen onder belasting, dit zou betekenen dat de kabels steeds meebuigt.

Als iemand toch een tegel losmaakt uit de mat, dan kan meteen de kabel kapotgetrokken worden.

Tegels met een kabelgoot worden lastiger te stapelen.

De afmetingen van de in elkaar grijpende zijden zijn in dit concept problematisch. Wanneer uitgegaan wordt van een plaatdikte van 5mm, dan worden de afmetingen van de zijden erg klein. Een belangrijk punt is dat de de schuine zijde hoger is dan breed (een helling van meer dan 45 graden). Hierdoor zullen de tegels niet zo snel uit elkaar schieten als er horizontale verschuiving plaatsvindt. Door de vorm van de tegels, met aan elke zijde een inkeping, is produceren door middel van extrusie geen optie. Een mogelijkheid zou zijn om de schuine zijden te frezen. Dit levert wel een lastig productieproces, met als gevolg dat de tegels erg duur worden. Dit betekent dat dit gehele concept niet haalbaar zal zijn.

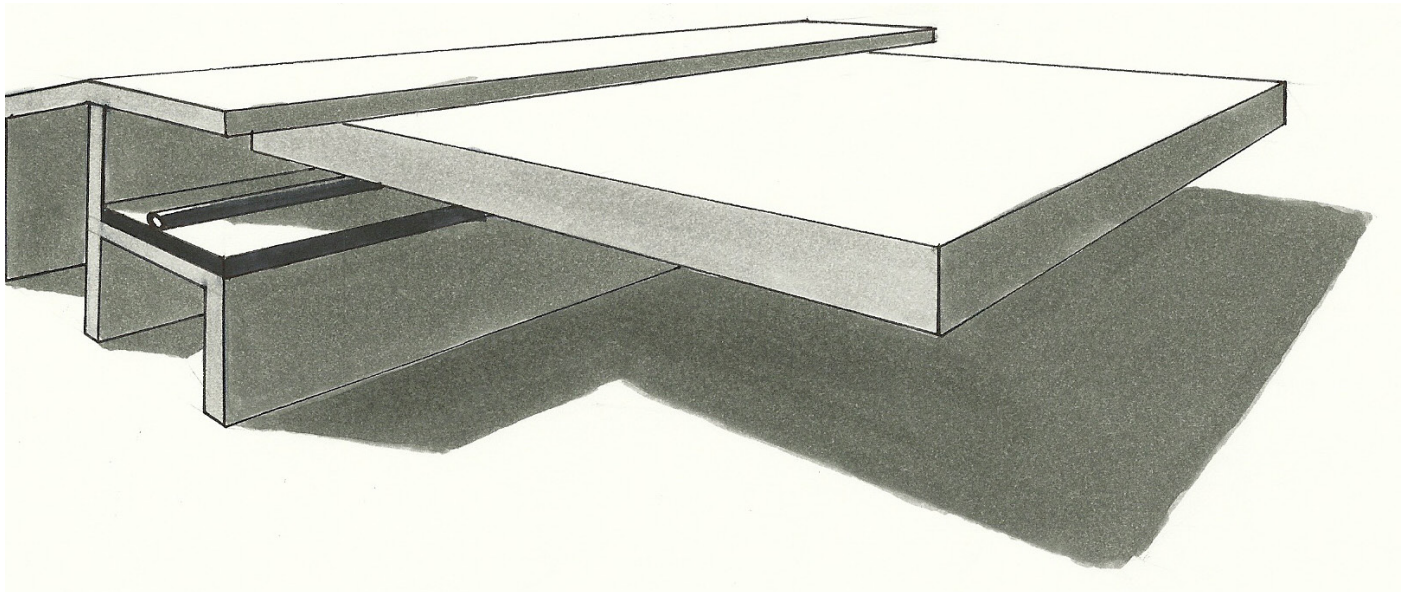
Het lijkt de beste oplossing om sensorvoetjes te maken waarbij de twee kabels die er doorheen lopen gebundeld naar buiten komen. Dit maakt het mogelijk om één gootje te maken waar de twee kabels doorheen lopen naar een ander sensorvoetje. Op deze manier wordt het aantal kabelgootjes gehalveerd. De exacte vorm van de kabelgootjes is niet van groot belang. Waarschijnlijk is het mogelijk om een al bestaand product voor deze functie te gebruiken.



**Figuur 5.8** Schetsen van mogelijke vormen voor rubber waar de kabel ingelegd wordt. Onderaan SolidWorks-modellen van de twee beste opties.



## Toepassing van omlijsting

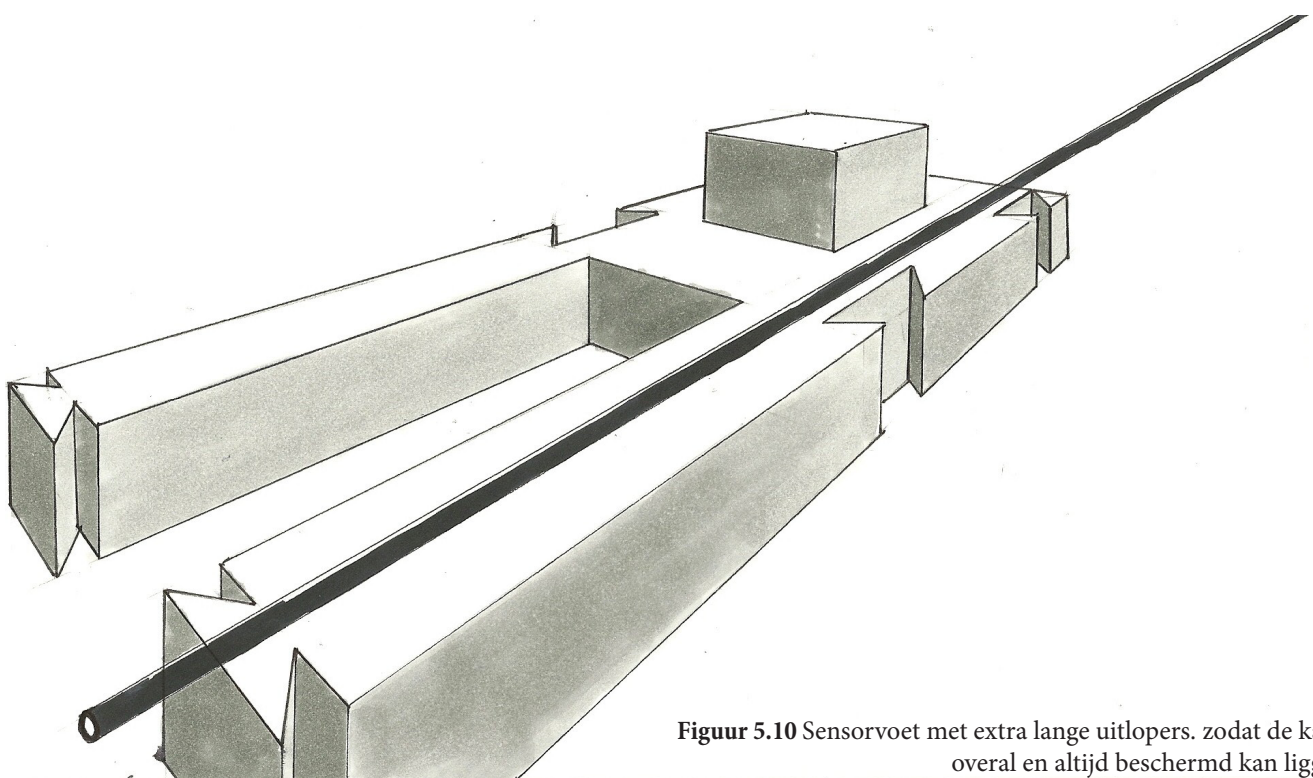


**Figuur 5.9** Omlijsting die ook gebruikt zou kunnen worden om kabel in te leggen, zodat minder sensorvoetjes nodig zijn

Bij het maken van veiligheidsmatten is een omlijsting nodig. Deze omlijsting kan ook gebruikt worden om een systeem te maken om de kabel in te leggen. Op deze manier wordt het aantal onderdelen beperkt, omdat er geen sensorvoetjes of andere onderdelen meer gebruikt hoeven te worden. Nadeel van dit concept is dat het alleen bruikbaar is voor relatief kleine oppervlakken, omdat een tegel of topplaat anders teveel gaat doorbuigen. Dit principe lijkt dus wel goed geschikt voor toepassing in kleine, kant-en-klare producten. Voor grotere producten, zoals machinebeveiligingsmatten zal het waarschijnlijk niet werken.

## Begeleiding van kabel

Bij het gebruiken van sensorvoetjes is de kabel niet overal vastgelegd en beschermd. Het is niet strikt noodzakelijk dat de kabel overal ingesloten ligt, maar het verdient wel de voorkeur, omdat de kans dan kleiner is dat er bij de installatie problemen optreden. Verschillende concepten zijn bedacht, zoals



**Figuur 5.10** Sensorvoet met extra lange uitlopers, zodat de kabel overal en altijd beschermd kan liggen.

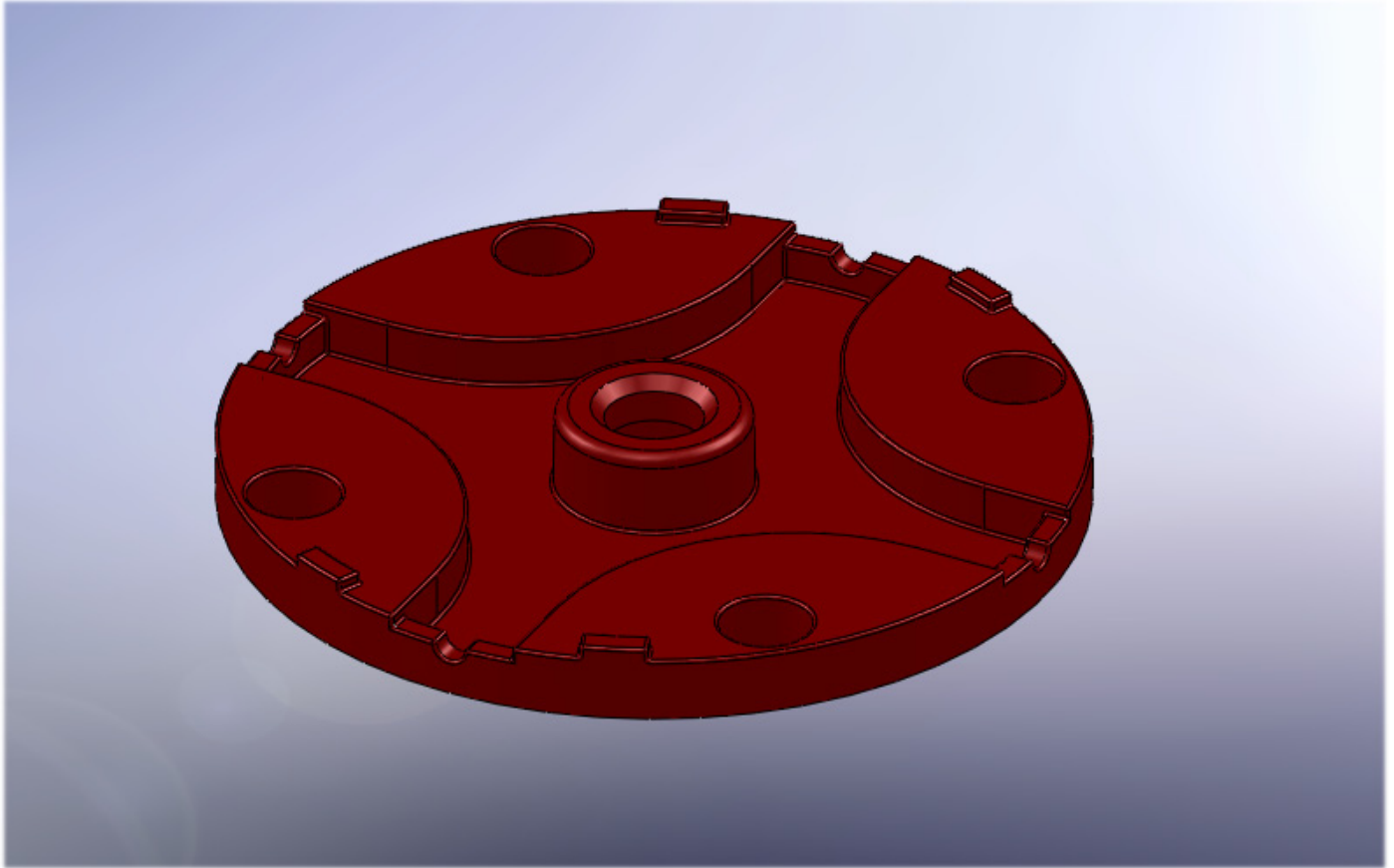
kabelgootjes verwerken in de tegels. Ook het produceren van losse kabelgoten of kabelmantels is een mogelijkheid geweest. Dit leken geen goede opties, omdat de tegels op die manier duur en onhandelbaar zouden worden en losse kabelgoten een zeer negatief effect zouden hebben op het gemak en de snelheid van installatie. De laatste mogelijkheid voor begeleiding van de kabel is dan de sensorvoet. Door deze door te laten lopen in één richting en zodanig te maken dat de voet aan kan sluiten op een andere voet, kan een weg aangelegd worden waarover de kabel kan lopen. Om dit te bereiken zouden de sensorvoeten echter zo groot als de tegels gemaakt moeten worden. Sensorvoeten van 40 cm zijn een stap terug in de verkeerde richting. De sensorvoeten waren immers bedacht om het benodigde oppervlak te verkleinen.

Meer schetsmateriaal is te vinden in bijlage B.

# EINDRESULTAAT

Het uiteindelijke ontwerp bestaat uit uit 5 onderdelen.

## De sensorvoet



**Figuur 6.1** De sensorvoet

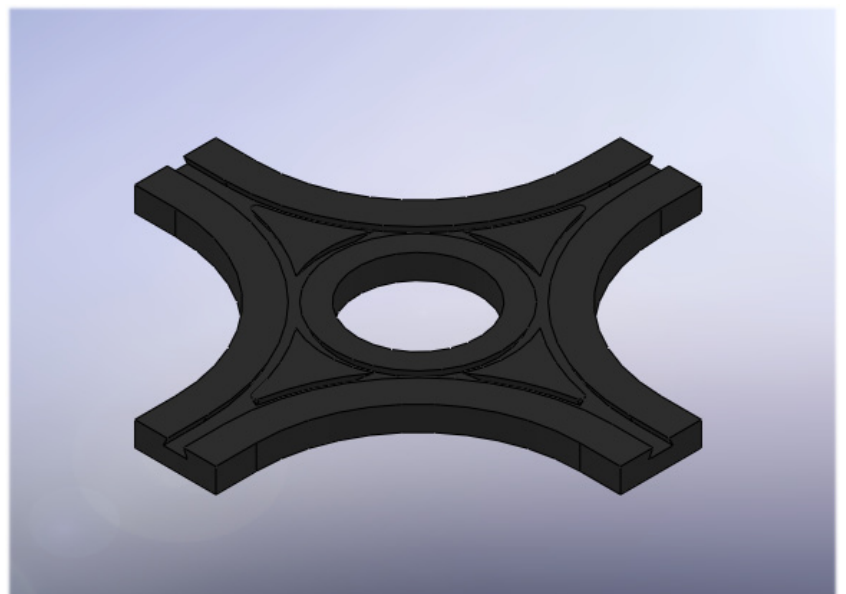
Dit deel ondersteunt het geheel. Het is gemaakt met als doel het rubber onderdeel te beschermen tegen invloeden van buitenaf. Dit verklaart de vorm. Het deel is rond om de spanningen in de tegels die erop komen te liggen te minimaliseren. De gaten zijn er zodat het onderdeel past op een al bestaand product, wat bijvoorbeeld de mogelijkheid heeft om in hoogte te worden versteld.

## De sensor

Dit is het rubber onderdeel. De vorm hiervan is bedoeld om te werken met twee kabelpassages. De kabel moet altijd alle kanten op kunnen en de twee kabels moeten dan gezamenlijk uit het rubber komen. Bij eerdere ontwerpen verlieten steeds twee aparte kabels de sensor.

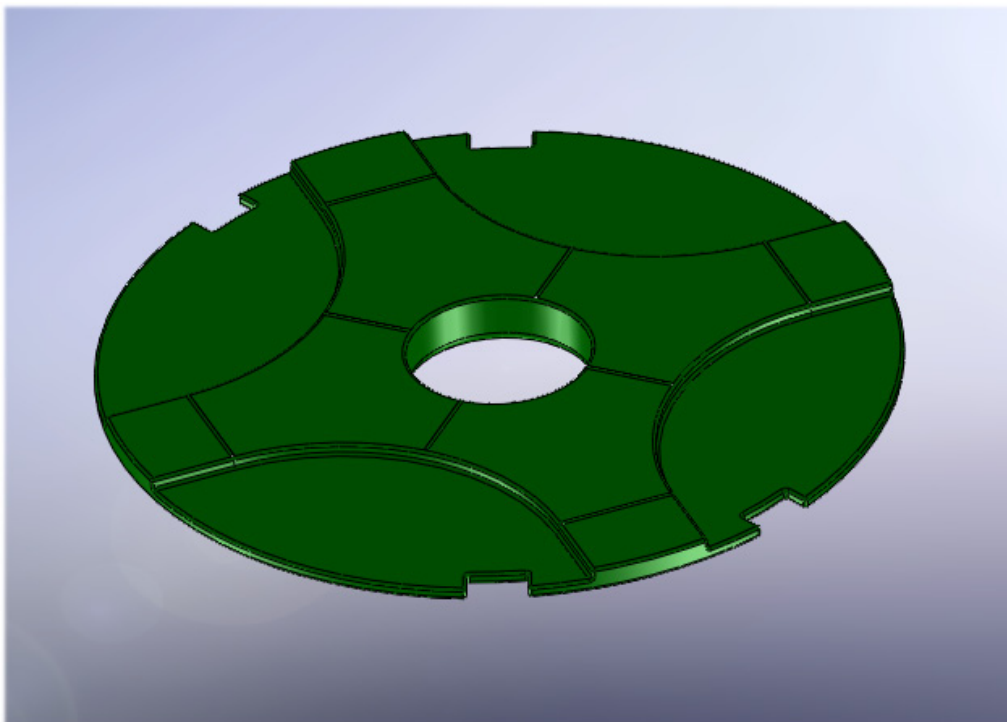
## Het sensordeksel

Dit onderdeel dekt het rubber af en beschermt het dus ook tegen invloeden van buitenaf. Tevens heeft dit onderdeel ribben die zorgen voor knikpunten in



**Figuur 6.2** De rubberen sensor

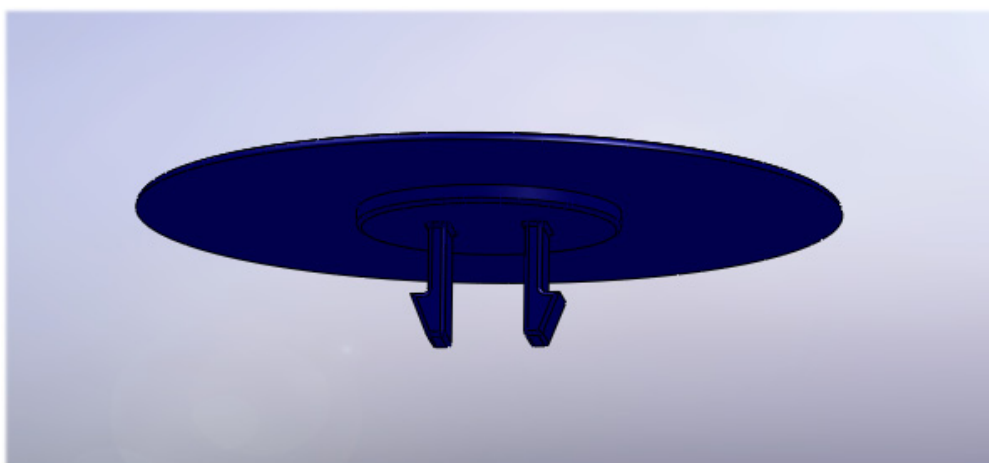
de kabel. Door de kabel en de ribben is er een ruimte van 0.5 mm tussen de onderdelen. Na 0.5 mm inzakking komen de onderdelen dus tegen elkaar en zal er bij grotere druk geen verdere inzakking plaatsvinden.



Figuur 6.3 Het sensordeksel

## Het sensorslot

Dit onderdeel is het bovenste onderdeel en zal ervoor zorgen dat alle onderdelen op hun plaats blijven. Als alle andere onderdelen op hun plaats liggen, wordt het slot ingeklikt en kan het systeem niet meer uit elkaar gehaald worden. Deze manier is uiterst simpel aan te brengen en zo goed als onmogelijk om te verwijderen. Alleen door de sloten kapot te maken kan het systeem dan uit elkaar worden gehaald, waardoor de verantwoordelijkheid in dat soort gevallen niet meer bij de producent van de sensor ligt.



Figuur 6.4 Het sensorslot

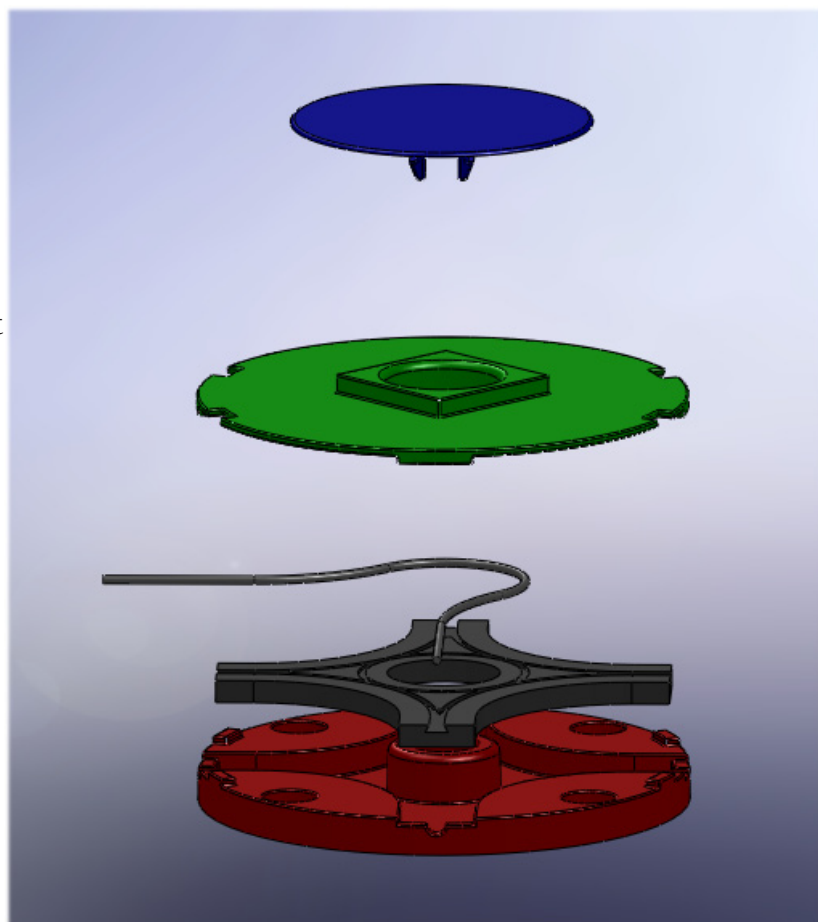
## De tegel

Aluminium-tegel, het oppervlak van de het detectiesysteem. De vorm is zo gemaakt dat de tegels aansluiten aan het sensordeksel. De tegels zijn 40 cm bij 40 cm en 5 mm dik. De tegels zijn zo groot mogelijk gekozen, zodat er zo min mogelijk nodig zijn. 40 cm is een handige keuze om bijvoorbeeld machineveiligheidsmatten te maken, die een vereiste minimumlengte van 1200 mm hebben.



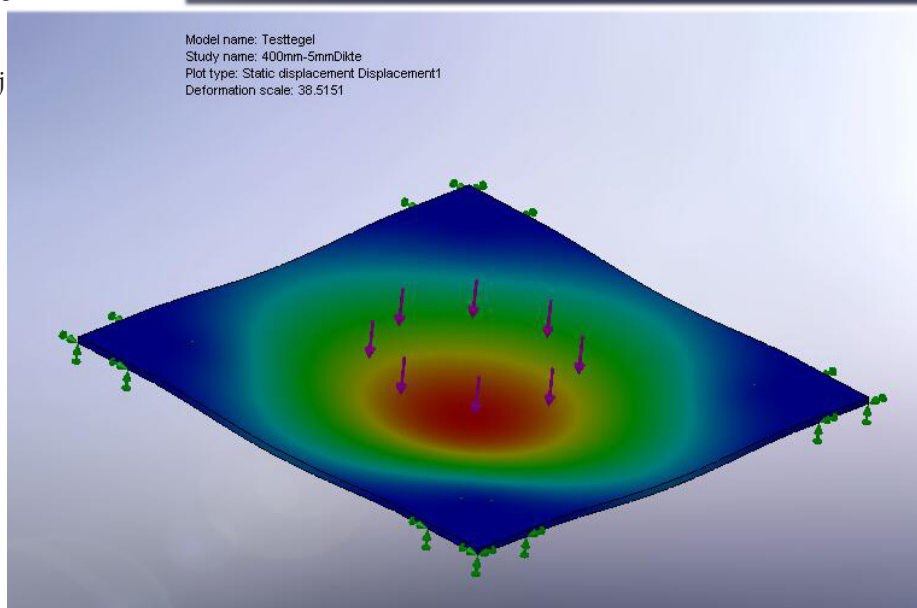
De nokjes op de sensorvoet en de uitsparingen op het sensordeksel zijn zo geplaatst dat ze alleen allemaal in elkaar passen als de positie van het geheel goed is. Bij acht nokjes kan in principe het deksel een achtste slag gedraaid worden en nog aansluiten op de nokjes. Door de positie van andere delen van de voet moeten de nokjes op 22,5 graden geplaatst worden. Als er dan vier gelijk verdeeld over 360 graden geplaatst worden, lijkt het product scheef. Het is dan een stukje symmetrie kwijt.

De dikte van de tegels is gebaseerd op sterkteberekeningen in SolidWorks. Volgens deze berekeningen zou er vrij weinig doorbuiging ontstaan bij de dikte van 5 mm. Met een belasting van 750 N was de doorbuiging ongeveer 1 mm.



**Figuur 6.5** Samenstelling van de gehele sensor

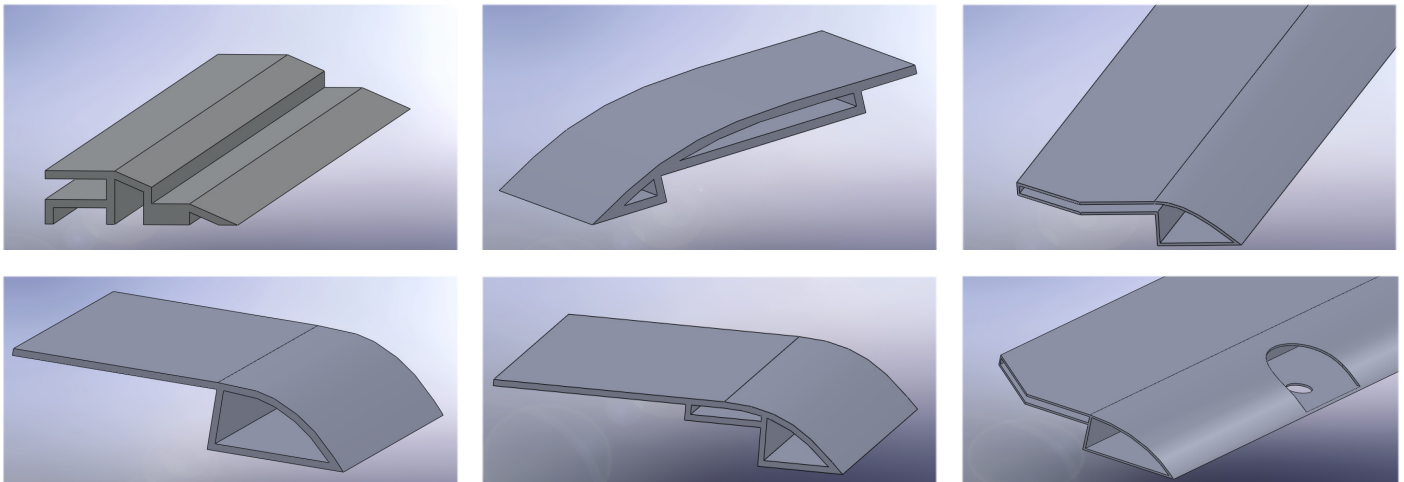
**Figuur 6.6** Afbeelding van de doorbuiging van een tegel die bij de hoekpunten is vastgelegd.



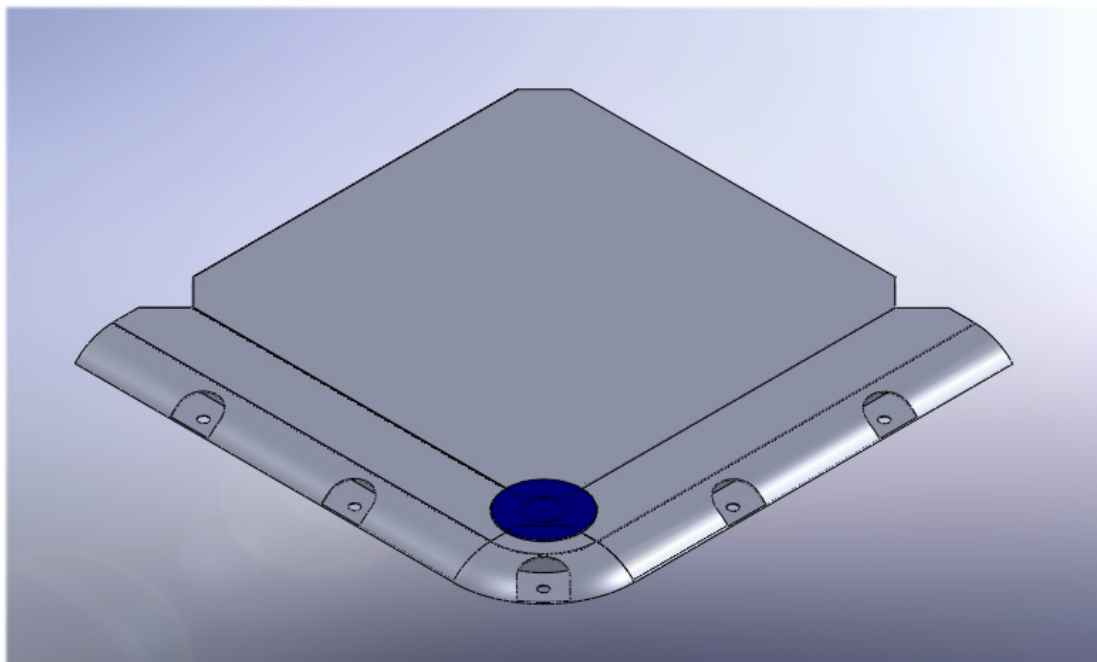
**Figuur 6.7** Overzicht van de doorbuigingen van tegels van verschillende diktes, vormen en materialen. Alles wat geen ABS is, is aluminium

| Tegel                | Maximale doorbuiging (meter) | Maximale stress | Gewicht (kilogram) | Materiaalprijs per tegel |
|----------------------|------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------------|
| 300mm, 5 mm dik      | 0,000371718                  | 48.660.800      | 1,2150             | € 1,53                   |
| 300mm, 8 mm dik      | 9,50E-05                     | 23.050.000      | 1,9440             | € 2,45                   |
| 300mm, geribbeld     | 0,00203473                   | 380.287.000     | 1,6577             | € 2,09                   |
| 400mm, 5 mm dik      | 0,00103855                   | 64.354.000      | 2,1600             | € 2,72                   |
| 400mm, 8 mm dik      | 0,000260734                  | 27.749.700      | 3,4560             | € 4,35                   |
| 400mm, geribbeld     | 0,00610402                   | 558.742.000     | 2,9522             | € 3,72                   |
| 500mm, 5 mm dik      | 0,00205892                   | 78.237.800      | 3,3750             | € 4,25                   |
| 500mm, 8 mm dik      | 0,00051311                   | 26.238.300      | 5,4000             | € 6,80                   |
| 500mm, geribbeld     | 0,0114728                    | 505.739.000     |                    |                          |
| ABS 400mm, 5mm dik   | 0,00101178                   | 75.935.700      | 1,0800             | € 3,19                   |
| ABS 400mm, 8mm dik   | 0,000254723                  | 23.059.300      | 1,7280             | € 5,10                   |
| ABS 400mm, geribbeld | 0,00576507                   | 451.508.000     | 1,4761             | € 4,35                   |

De omlijsting is geen hoofddoel geweest in deze opdracht, maar is wel van belang bij het produceren van machinebeveiligingsmatten. Daarom zijn wel enige ideeën bedacht voor het maken van omlijsting. In eerste instantie was er het idee om een lijst te maken die de tegels zou kunnen ondersteunen, zodat er minder sensorvoetjes nodig zouden zijn. Dit zou echter betekenen dat niet elke tegel op evenveel sensorvoetjes rust, wat zou kunnen zorgen voor ongelijke detectie. Daarom is toch gekozen voor een variant die niet ondersteunend is. Varianten waarbij de lijst tot over de tegel ligt bleken erg groot te worden, vanwege de ruimte die overbrugd moet worden voordat een lijst op de tegels steunt. De beste optie lijkt daarom een optie waarbij de lijst samen met de tegels op de sensorvoetjes ligt. Om dit te kunnen realiseren is het dan wel weer nodig om een extra stukje profiel te maken voor de hoekpunten. Dit levert een netjes aansluitend geheel. De andere profielen liggen deels over de tegels heen en zorgen zo voor drempels.



**Figuur 6.8** Mogelijke vormen voor omlijsting van een detectiemat. De afbeelding rechtsonder is gekozen als beste optie.



**Figuur 6.9** Samenstelling van omlijsting, tegel en sensorvoet.

# Prototypes

De modellen, die in Solidworks zijn gemaakt, zijn met behulp van rapid prototyping omgezet in kunststof prototypes. Dit is gedaan met SLS machines door Mareco Prototyping bv. SLS staat voor Selective Laser Sintering en maakt gebruik van nylon. Door deze prototypes is een aantal dingen duidelijk geworden die in de modellen nog niet naar voren kwamen.

De nokjes van de voet en de uitsparingen van het deksel sluiten erg nauw op elkaar aan. Er moet zelfs enige kracht worden uitgeoefend om ze in elkaar te krijgen. Het is beter als deze verbinding wat soepeler loopt, anders wordt wellicht kracht opgevangen door de wrijving tussen twee onderdelen.

De ribben onder het deksel, die de knikpunten moeten maken, lijken erg dun.

Wellicht komt dit door de minimale laagdikte

van de SLS-machine, het kan ook zijn dat ze wat zijn afgevlakt door het schuren, tijdens het nabewerken.

De dikte van deze ribben zal vergroot moeten worden, om er zeker van te zijn dat de ribben kunnen zorgen voor detectie. Het is ook beter om de ribben niet te scherp te maken, maar wat meer vlak, zodat er minder risico is dat de ribben de kabel beschadigen. Tijdens het testen zijn stukjes strips gebruikt (die ook in eerdere tests gebruikt zijn). Deze zijn op het rubber gelegd, op dezelfde posities als de ribben.

De uitsparing in de sensorvoet, waar de kabel naar buiten loopt, is aan de krappe kant. De kabels passen er wel door, maar de uitsparingen zorgen voor ongewenste knikpunten, waardoor fouten kunnen ontstaan. Als hier meer ruimte wordt gemaakt wordt het ook makkelijker om de kabels in te leggen, simpelweg omdat er dan meer ruimte is.

De snaphaken van het sensorslot voelen nogal stug aan. Wanneer ze echter in het prototype worden geduwd, blijken ze goed te werken. De maten lijken dicht bij de ideale maten te liggen.

De deksels voelen wat breekbaar aan. Dit kan een eigenschap zijn van het gebruikte nylon (PA12).

Misschien ook te wijten aan de zeer kleine dikte .

De oppervlakte kwaliteit laat nog te wensen over, maar wanneer de producten gegoten zouden worden, is de oppervlakte kwaliteit altijd beter dan bij 3d-printen.

De rubber mal (Net als de andere prototypes 3d-geprint). In deze mal wordt siliconenrubber gegoten (Neukasil RTV 10). Door de toevoeging van een crosslinking agent wordt de rubber dan harder, waardoor het een echte rubbervorm gaat aannemen. De vorm van de mal zorgde er bij het gieten voor dat het rubber niet uit de mal kwam. Er was wel verwacht dat dit problemen op zou leveren, maar de ernst van het probleem was toch reden tot verrassing. Om een goed gietstuk uit de mal los te krijgen moest de mal kapotgemaakt worden. Het gietstuk is vervolgens gebruikt om met behulp van een andere soort siliconenrubber een nieuwe mal te maken, waarmee de overige benodigde rubberen onderdelen gemaakt kunnen worden. Bij het inleggen van de kabel bleek dat het rubber de kabel nog niet overal goed insluit. Hierdoor heeft de kabel nog bewegingsvrijheid, waardoor de kabel soms uit het sensorvoetje springt als de kabel bij het volgende voetje wordt ingelegd.

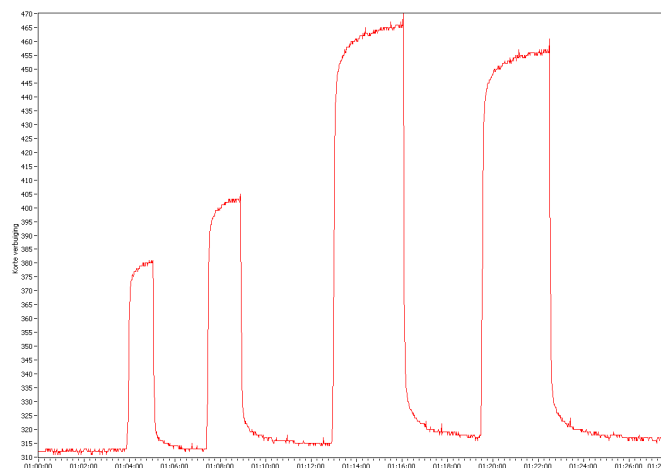


**Figuur 6.10** Prototype (11 cm) van de sensorvoet, geplaatst op een al bestaand product.

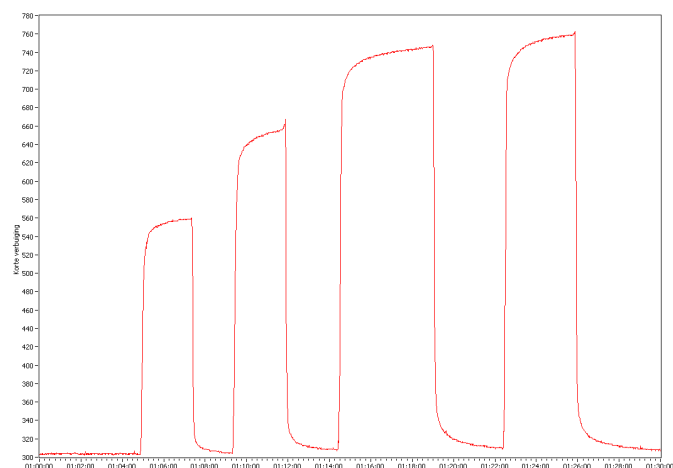
|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 130 | 175 | 30  | 35  |
| 150 | 160 | 145 | 120 |
| 175 | 220 | 250 | 110 |
| 110 | 210 | 135 | 100 |

**Figuur 6.11** Schematische weergave van de gevoeligheid van de hoekpunten van de tegels. De plaats van het getal komt overeen met de plaats van het gewicht op de tegel.



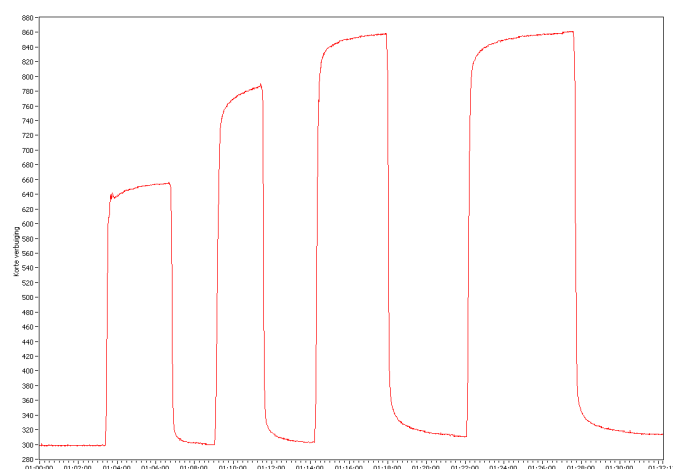


**Figuur 6.12** Reactie bij plaatsing van 5 kilo op verschillende tegels.



**Figuur 6.13** Reactie bij plaatsing van 15 kilo op verschillende tegels.

Bij tests met de gemaakte prototypes bleek dat het systeem zeer gevoelig was. Het was vele malen gevoeliger dan nodig zou zijn voor detectie van personen. Hoogstwaarschijnlijk was dit te wijten aan de stukjes van strips die gebruikt zijn om te compenseren voor de te kleine ribben van het deksel. Deze strips zijn 1,3 mm dik. Omdat de ribben van het deksel 0,3 mm zijn, ligt het voor de hand om de ribben van een vernieuwde versie 0,8 mm te maken. Uit de tests bleek ook dat het systeem niet geheel uniform is. Wanneer gewichten op verschillende tegels geplaatst werden ontstonden ook verschillende uitwijkingen in het uitleesscherm. Ook gaven alle hoekpunten van alle tegels verschillende waarden. Zelfs voor twee verschillende hoekpunten die op hetzelfde



**Figuur 6.14** Reactie bij plaatsing van 20 kilo op verschillende tegels.

voetje rustten, waren de waarden niet hetzelfde. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de manier waarop de kabel in de voetjes ligt. In het allereerste voetje ligt de kabel bijvoorbeeld in een lus. Daardoor raakt deze aan minder ribben dan de kabel in andere voetjes doet. Dit soort verschillen in hoe de druk wordt verdeeld kunnen verklaren waarom alle hoekpunten verschillende waarden weergeven.

De meest voor de hand liggende keuze voor het massaproduceren van de producten die nu met SLS gemaakt zijn, is spuitgieten. De kunststof die de beste eigenschappen heeft hiervoor is PP. Het is flexibel, om bijvoorbeeld de snaphaken beter te accommoderen, maar ook sterk, om kracht van belasting aan te kunnen. Het rubber onderdeel zal ook wel gegoten moeten worden, al is het gieten van rubber wat lastiger dan kunststoffen als PP. Het rubberonderdeel zal dan ook wel duurder worden. Alles bij elkaar zouden de producten voor rond de 5 euro gemaakt moeten kunnen worden. Hierbij moet nog wel rekening gehouden worden met matrijskosten. Voor een vergelijkbaar product (het product waar het huidige ontwerp op past) waren de matrijskosten 2.750 euro. Als deze prijs wordt gebruikt voor de vier producten waaruit dit ontwerp bestaat, komen de totale matrijskosten op 11.000 euro. Om de prijs per product laag te houden, zal de seriegrootte richting 10.000 stuks moeten gaan.

Het ontworpen product is vooral gericht op een professionele omgeving. Aan de eisen voor een particuliere omgeving is dus minder prioriteit gegeven. Het product voldoet toch aan de meeste eisen.

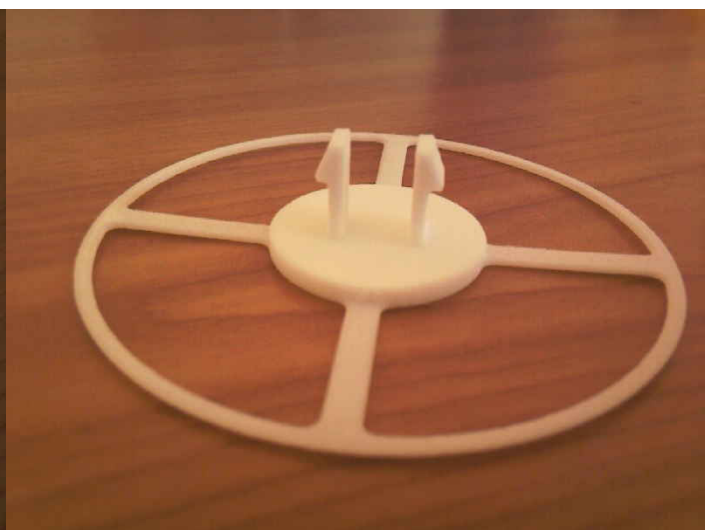
Veiligheid: Er is niks veranderd aan de module, deze blijft dus van de hoogste kwaliteit.  
Hoge belastingen: Om deze eis te toetsen moet eigenlijk een prototype onderworpen worden aan een breuktest. Omdat alle prototypes nodig zijn voor het maken van een demo, wordt

dit niet gedaan. Wel is duidelijk dat wanneer in een mat één van de voetjes kapot gaat, deze gewoon vervangen kan worden, zodat niet meteen de hele mat onbruikbaar is.

- Duurzaam:** Dit kan eigenlijk alleen uit de praktijk gehaald worden, maar de producten zullen in principe weinig hinder ondervinden van slijtage, dus is er geen reden om aan te nemen dat het geen duurzaam product is.
- Op maat maken:** Het modulaire principe zorgt ervoor dat bijna elk gewenst oppervlak bedekt kan worden. Voor hele specifieke vormen zullen dan wel tegels in de juiste vorm gezaagd moeten worden.
- Matten verankeren:** Het lijstprofiel is zo gemaakt dat het vastgeschroefd kan worden aan de grond. Hiermee wordt het hele systeem vastgelegd.
- Geen risico**
- Installatiefouten:** Door de manier waarop de onderdelen in elkaar passen kan het product maar op één manier geïnstalleerd worden. Het risico is echter niet uit te sluiten, omdat mensen vaak onverwachte dingen doen.
- Geen vuil:** Het rubber onderdeel, waar het vuil niet mag komen, wordt beschermd door de sensorvoet en het deksel. Het product is misschien niet helemaal vuildicht, maar is wel zoveel mogelijk afgesloten.
- Instelbaarheid:** Vanwege de veiligheidseis is er niks veranderd aan de module, dus is er ook geen interface aan toegevoegd.
- Eenvoudig:** Hier geldt ongeveer hetzelfde als voor de eis over geen installatiefouten. Door de passingen van het product lijkt het product zichzelf te wijzen, maar mensen kunnen altijd onverwachte dingen doen.
- Goedkoop:** De onderdelen zijn vrij goedkoop te produceren, vooral als er grotere series gemaakt worden. De matrijkskosten zijn namelijk hoog, deze worden per product kleiner als er maar meer producten worden gemaakt.
- Kleinschalig:** Met dit systeem kan in principe zo groot of zo klein als men maar wil gewerkt worden.
- Kant-en-klaar:** Het systeem is op dit moment niet kant en klaar, het is wel mogelijk om met dit systeem afgemaakte matten te maken en verkopen.



**Figuur 6.15** De onderkant van het sensordeksel.



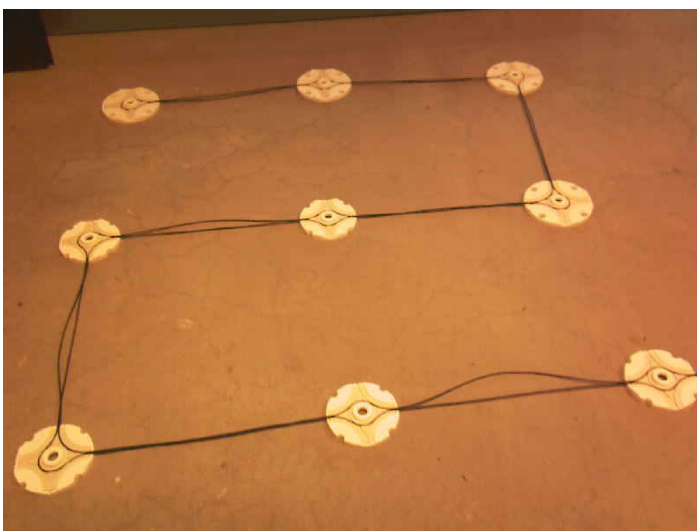
**Figuur 6.16** Het sensorslot.



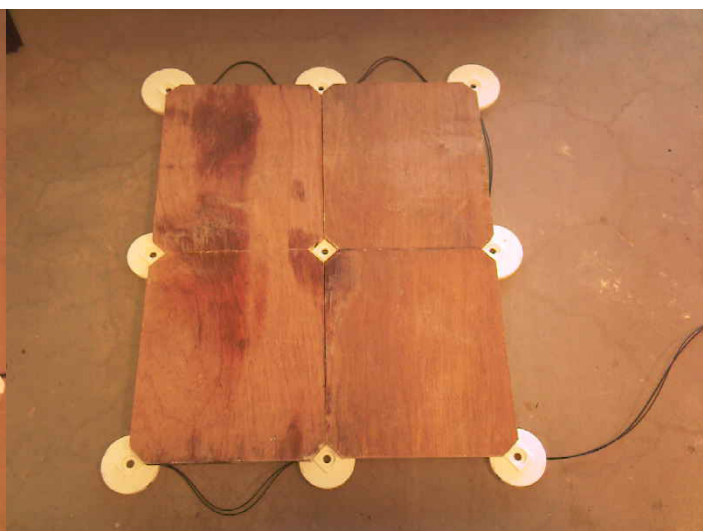
**Figuur 6.17** Prototype met rubber en kabel.



**Figuur 6.18** Prototype met rubber en kabel



**Figuur 6.19** Prototypes neergelegd voor een vloerbedekking.



**Figuur 6.20** Prototypevloer met houten tegels.

Meer beelden van ontwikkeling en prototype zijn te vinden in bijlage C.

# CONCLUSIE

Het halen van de doelstelling is niet gemakkelijk te toetsen. Pas in de praktijk kan blijken of mensen problemen ondervinden met het installeren van het herontworpen systeem. Wel is het zo dat de rubber puzzelmat, die groter was dan nodig, is vervangen door kleinere, meer handelbare onderdelen. Bovendien zijn deze onderdelen door hun omvang en vorm waarschijnlijk makkelijker en dus waarschijnlijk ook goedkoper te produceren. Wat dat betreft is het ontwerp dus geslaagd. De kleinere onderdelen zijn makkelijker te hanteren, dus ligt het voor de hand dat installatie makkelijker wordt. Of er ook minder fouten gemaakt worden is moeilijker in te schatten, omdat dat afhangt van onverwacht gedrag (voor het verwachte gedrag is immers specifiek ontworpen).

Het ontwerp is tot stand gekomen door zwakke punten van bestaande onderdelen te analyseren en zoveel mogelijk te verbeteren. Zo worden de kosten van rubber gedrukt door een veel kleiner product te maken, wat slechts een gedeelte van het oppervlak bedekt. Door de manier waarop de onderdelen in elkaar passen, is de kans kleiner dat er onderdelen op de verkeerde manier geplaatst worden.

Het product moet naar aanleiding van de prototypes nog aangepast worden, maar het gaat dan om details en afmetingen. In principe werkt het product zoals bedoeld.

Een punt waar nog verdere ontwikkeling mogelijk en misschien zelfs nodig is, betreft de bescherming van de kabel buiten de sensorvoeten. In het kader van deze opdracht is nog geen efficiënte oplossing gevonden. De concepten hiervoor zouden zorgen voor veel extra werk bij het installeren, of zouden een onderdeel haast onmogelijk te produceren maken.



# BIJLAGEN

## Bijlage A

Deze bijlagen horen bij de voorfase van de opdracht, met name het onderzoek.

### Duurtests

#### Doel

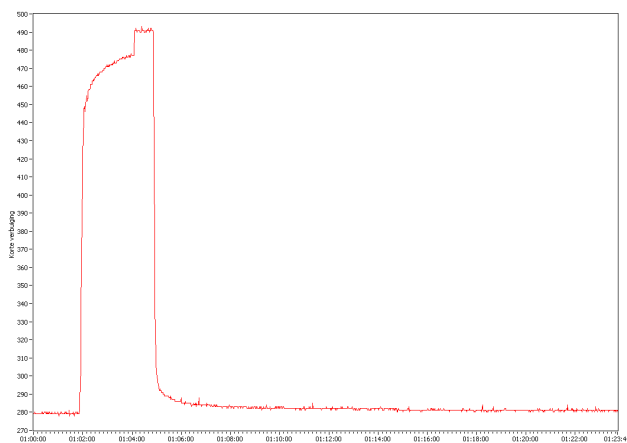
Uitvinden wat het effect is van langdurige belasting op de prestaties van het detectiematsysteem.

#### Uitvoering

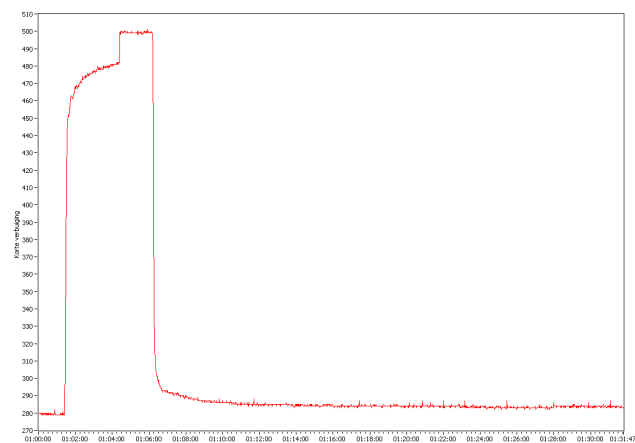
Op een detectiematsysteem wordt een gewicht van 20 kilo geplaatst. Na een van tevoren gekozen tijd wordt dit gewicht weer verwijderd. De output van het detectiesysteem wordt vastgelegd door Labview. Voor verschillende tijdsduren wordt dezelfde proef herhaald.

Uit de resultaten blijkt dat hoe langer het gewicht op het systeem heeft gestaan, des te slechter de lijn terug naar zijn beginpunt loopt. Wanneer het gewicht lang op het systeem heeft gestaan, is duidelijk te zien dat de lijn al stagneert voordat het beginpunt weer bereikt is. Dit kan in de praktijk problemen opleveren, wanneer de kabel na het overschrijden van de drempelwaarde lange tijd belast blijft, en vervolgens niet terugkeert onder de drempelwaarde. Het systeem blijft dan aangeschakeld en er kunnen dan dus mensen ongedetecteerd overheen lopen. Deze eigenschap beperkt in feite de snelheid waarmee het systeem achter elkaar kan meten.

Bij de test die 112 uur heeft gelopen is het signaal op een gegeven moment omlaag gegaan. Dit geeft nog maar weer eens aan dat er allerlei onvoorziene factoren een rol spelen bij het meten. De daling kan een gevolg geweest zijn van temperatuursverschillen, of misschien van dag en nacht.

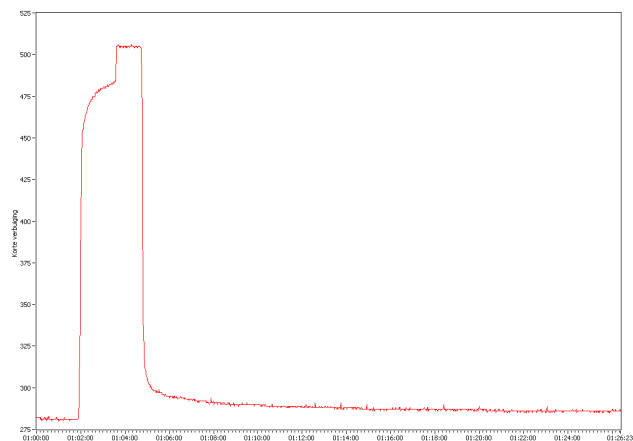


**Figuur A.1** Reactie van het systeem wanneer een gewicht van 20 kilo één minuut op het systeem wordt geplaatst.

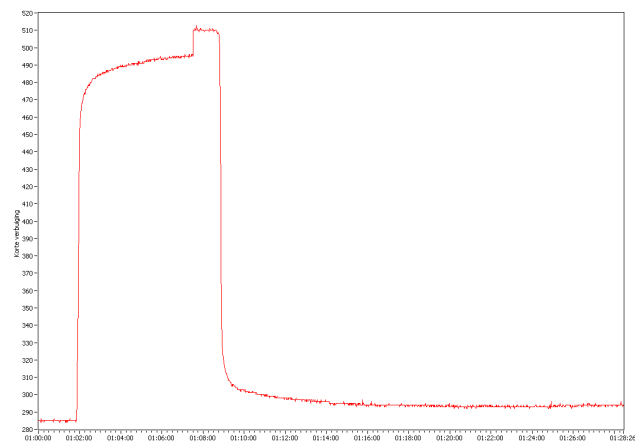


**Figuur A.2** Reactie van het systeem wanneer een gewicht van 20 kilo vijf minuten op het systeem wordt geplaatst.

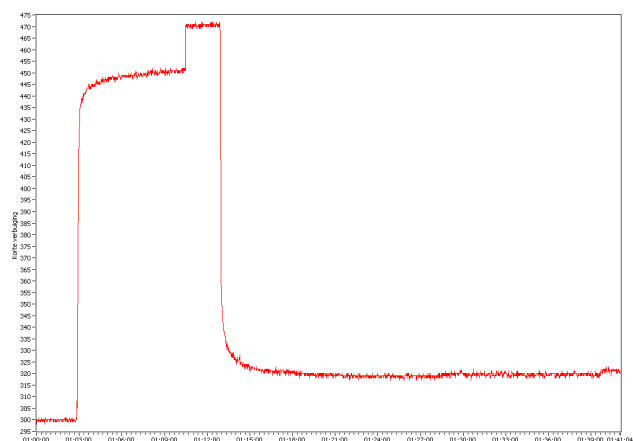




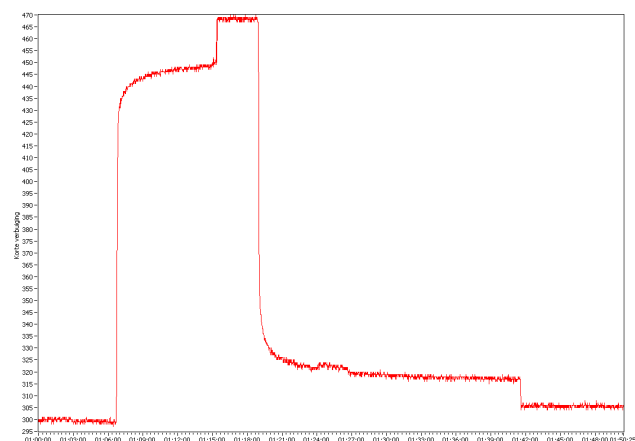
**Figuur A.3** Reactie van het systeem wanneer een gewicht van 20 kilo tien minuten op het systeem wordt geplaatst.



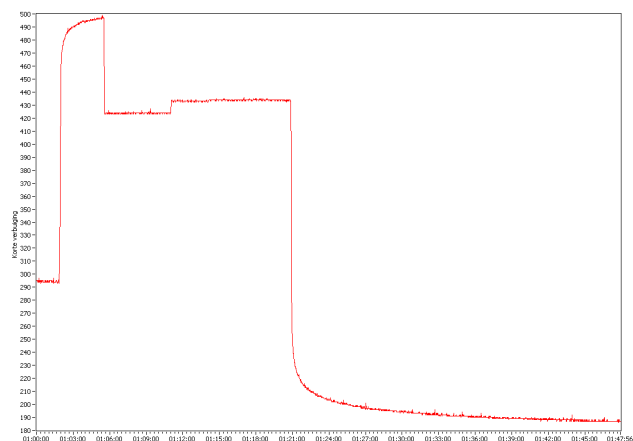
**Figuur A.4** Reactie van het systeem wanneer een gewicht van 20 kilo vijftien minuten op het systeem wordt geplaatst.



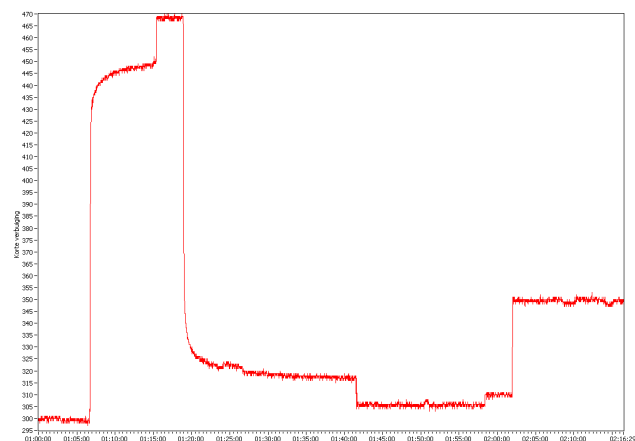
**Figuur A.5** Reactie van het systeem wanneer een gewicht van 20 kilo dertig minuten op het systeem wordt geplaatst.



**Figuur A.6** Reactie van het systeem wanneer een gewicht van 20 kilo zestig minuten op het systeem wordt geplaatst.



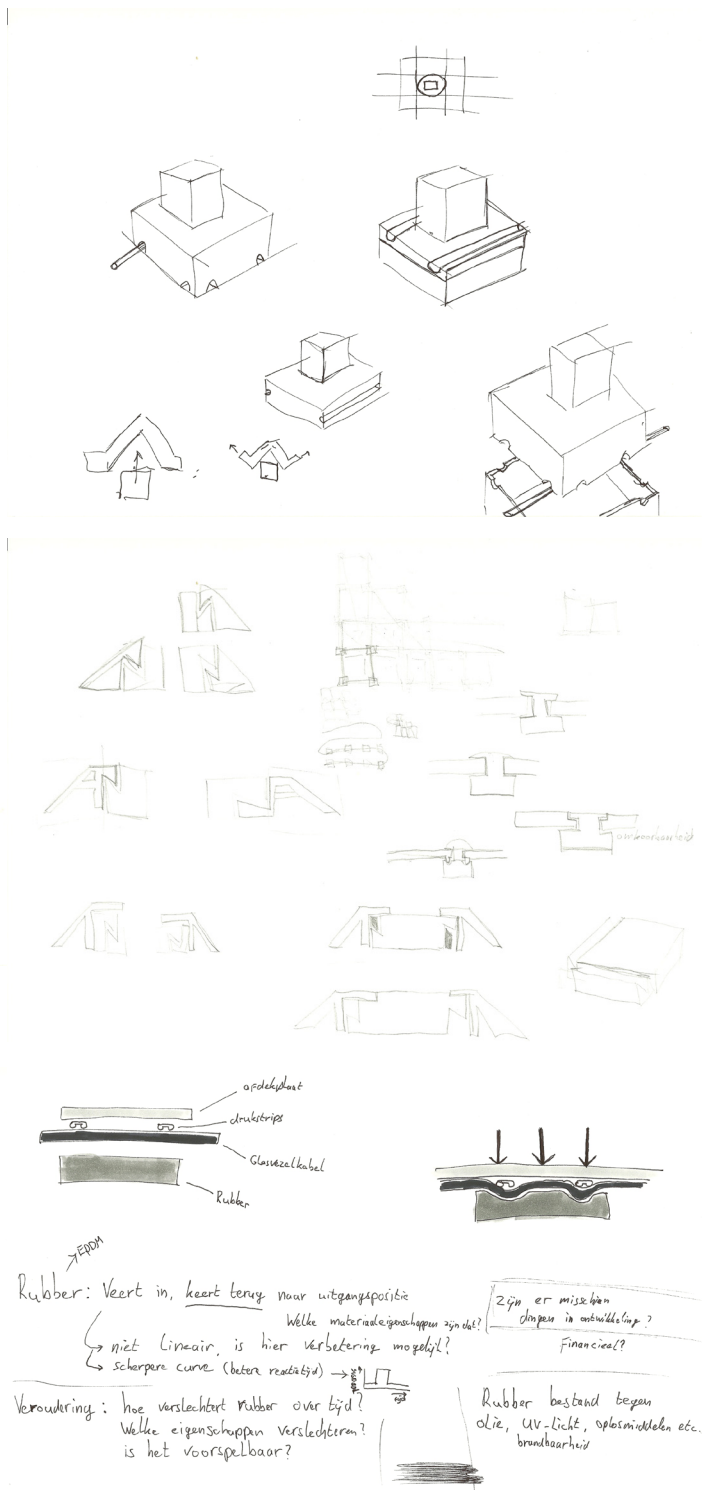
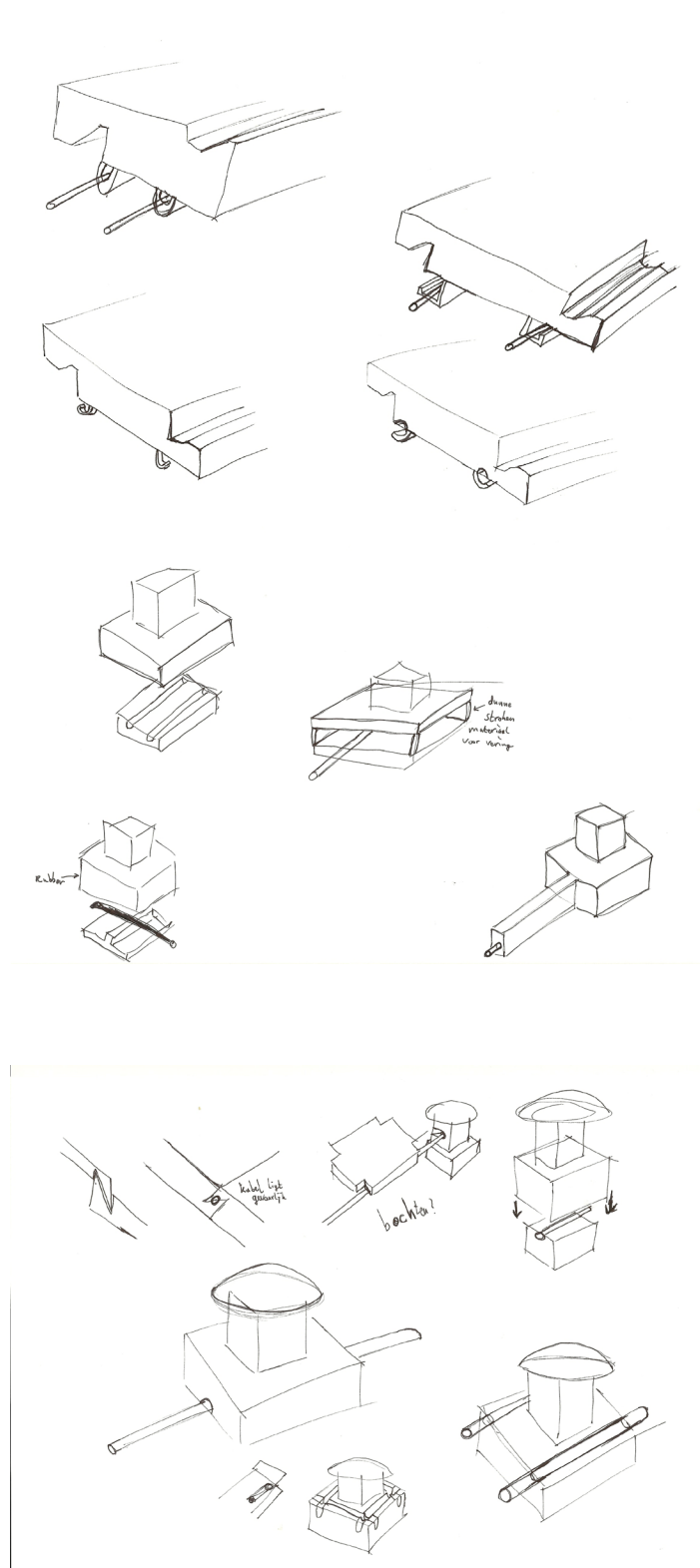
**Figuur A.7** Reactie van het systeem wanneer een gewicht van 20 kilo vijf dagen op het systeem wordt geplaatst.

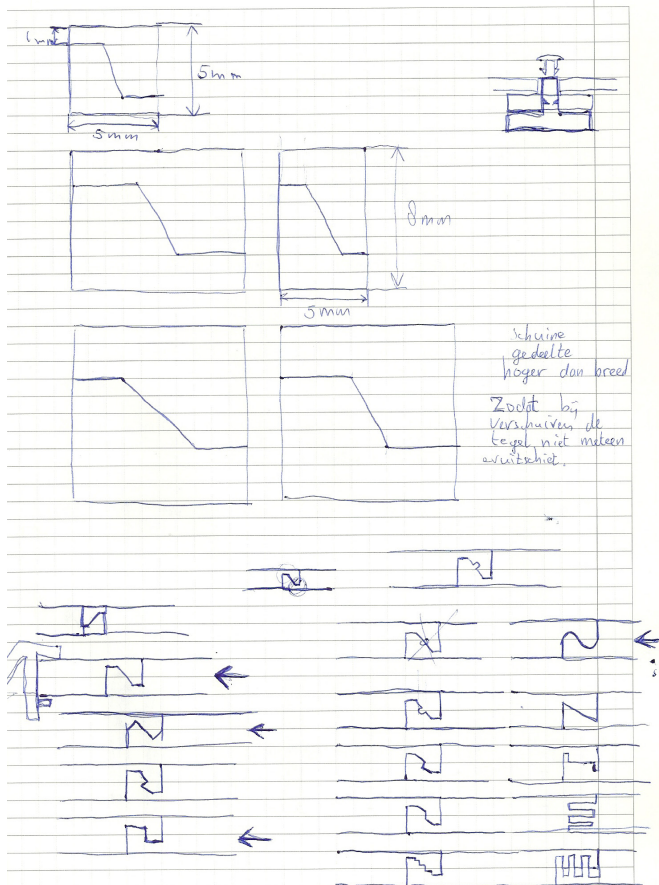


**Figuur A.8** Reactie van het systeem wanneer een gewicht van 20 kilo vijf dagen op het systeem wordt geplaatst.

# Bijlage B

Deze bijlage bevat beelden uit het ontwerpproces.

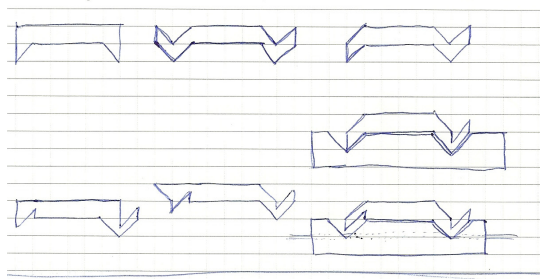




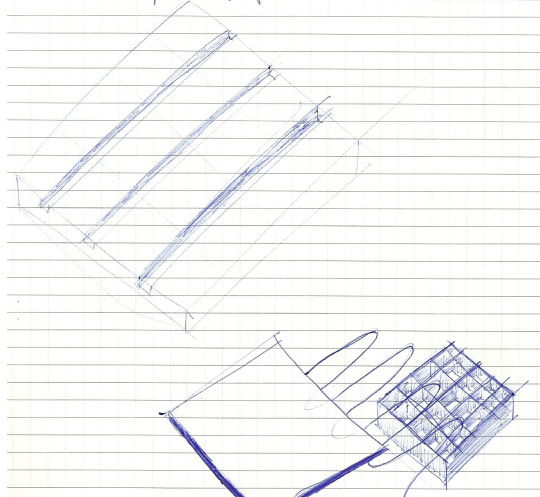
docent/spreker |  
onderwerp |  
datum |

Geef je mening over Het Collegeblok en wilt  
> [www.hetcollegeblok.nl](http://www.hetcollegeblok.nl)

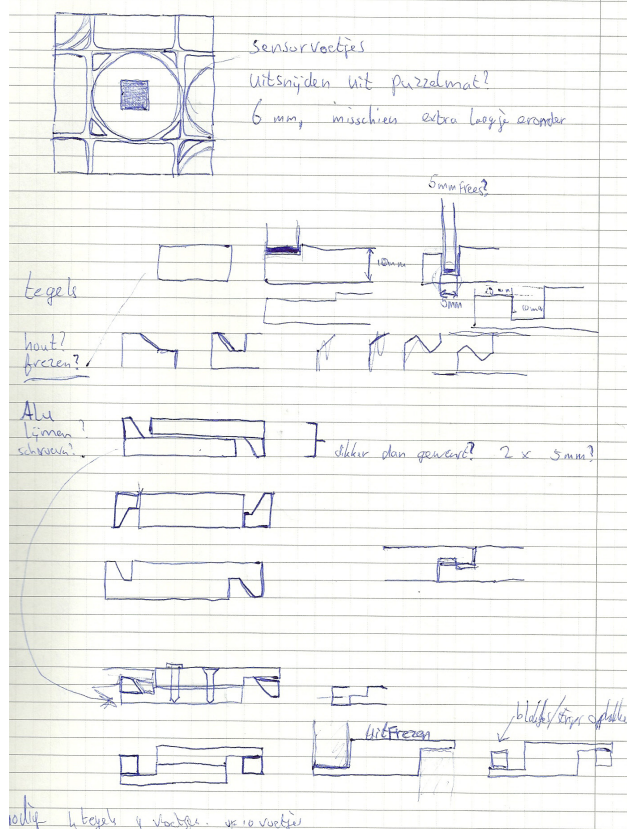
Win één van de 20 abonnementen op BRIGHT  
> [www.hetcollegeblok.nl](http://www.hetcollegeblok.nl)



Opplant met schaven om  
Sensorvoetjes in te passen.



Heb jij al een netwerk van 25.000 ingenieurs?  
[www.kiviniria.nl](http://www.kiviniria.nl)



Sensorvoetjes  
uitsnijden uit puzzelmat!  
6 mm, misschien extra laagje eronder

5mm freese?

Tegels

hout?  
frezen?

Alu  
limen  
schroeven!

dikker dan gewone? 2 x 5mm?

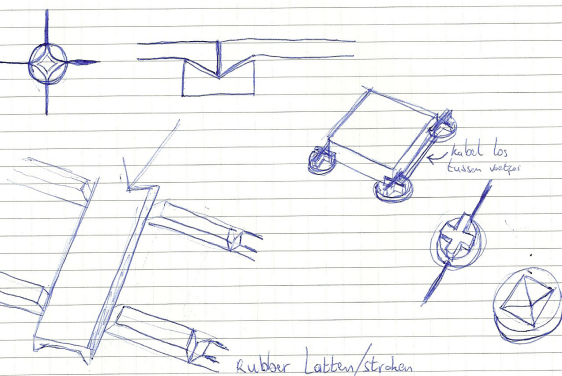
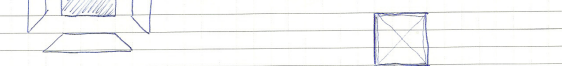
docent/spreker |  
onderwerp |  
datum |

Wat zou je graag anders willen zien?  
> [www.hetcollegeblok.nl](http://www.hetcollegeblok.nl)

Dank met ons mee en wilt  
> [www.hetcollegeblok.nl](http://www.hetcollegeblok.nl)

Mathijster produceren, goed recht in elken te zetten  
Vast aan 90° hoeken  
extra component.

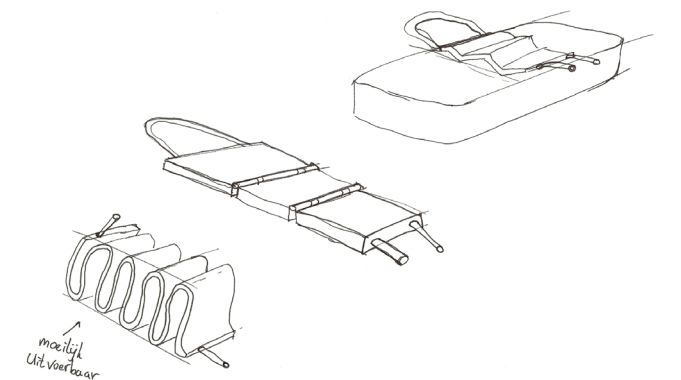
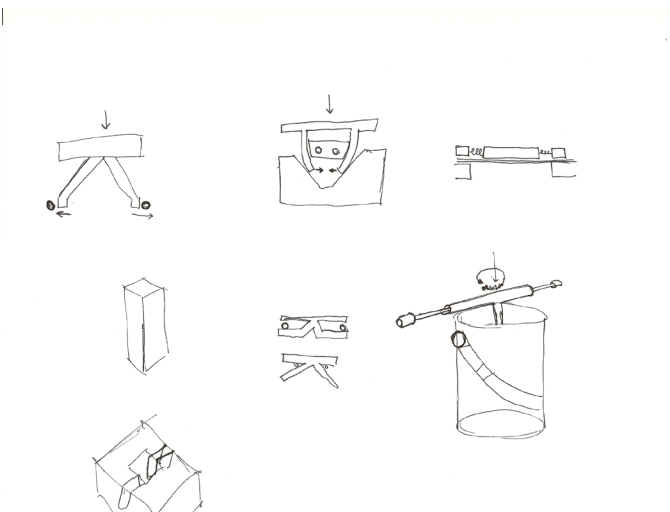
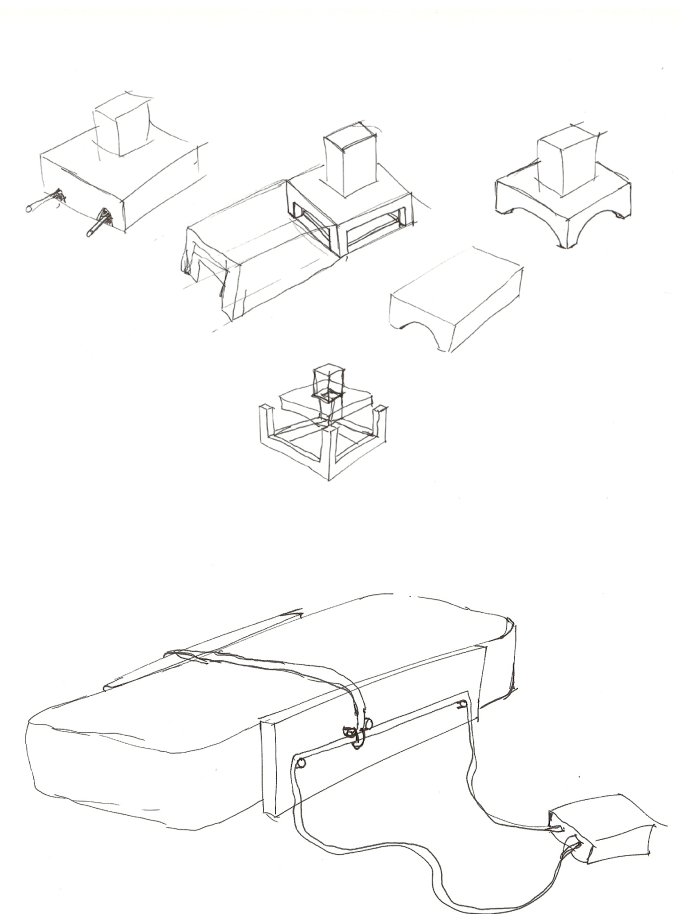
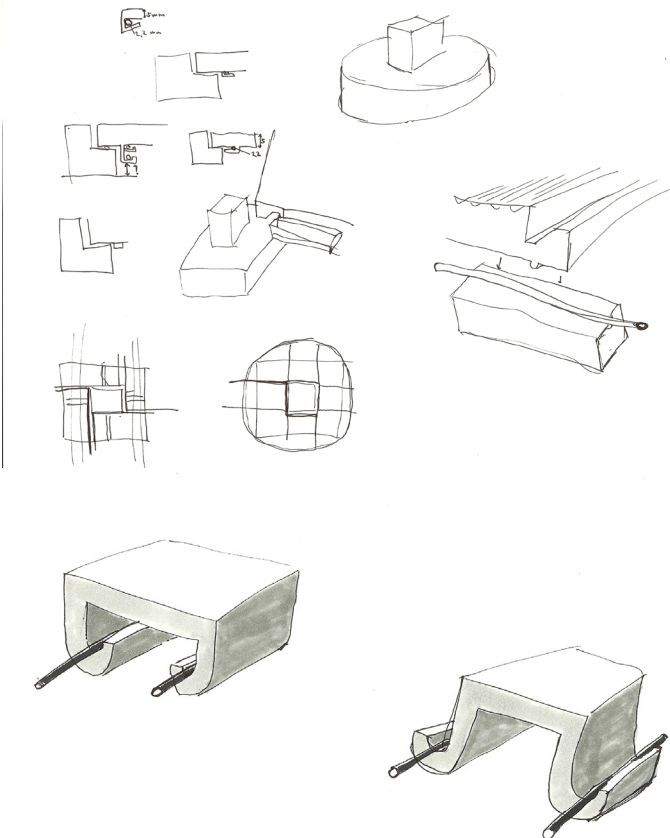
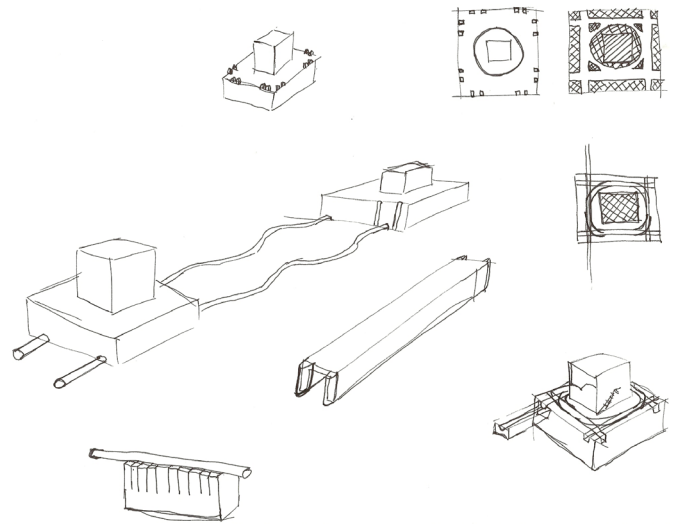
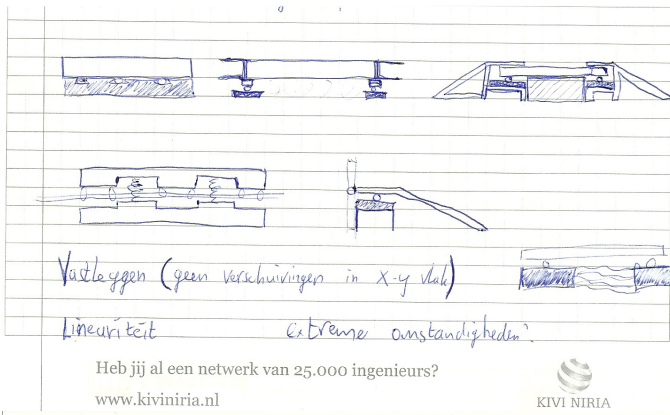
Noodzaak om hoeken op maat te maken  
meer vormvrijheid.



Alles over tech-lifestyle,  
design en innovatie

BRIGHT.nl





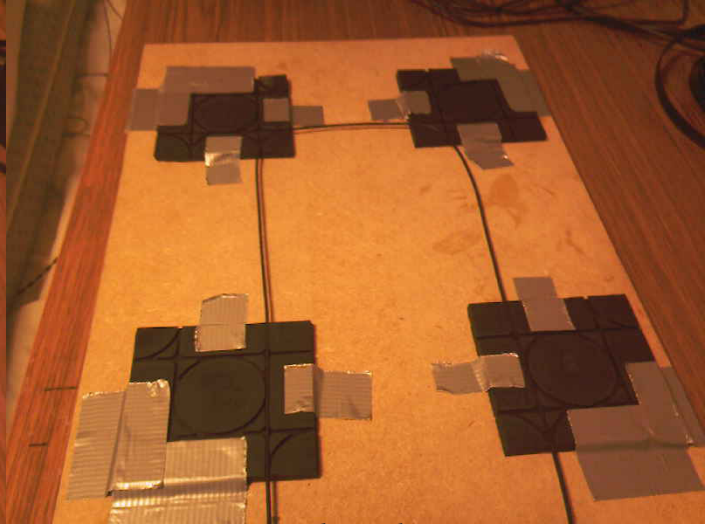


## Bijlage C

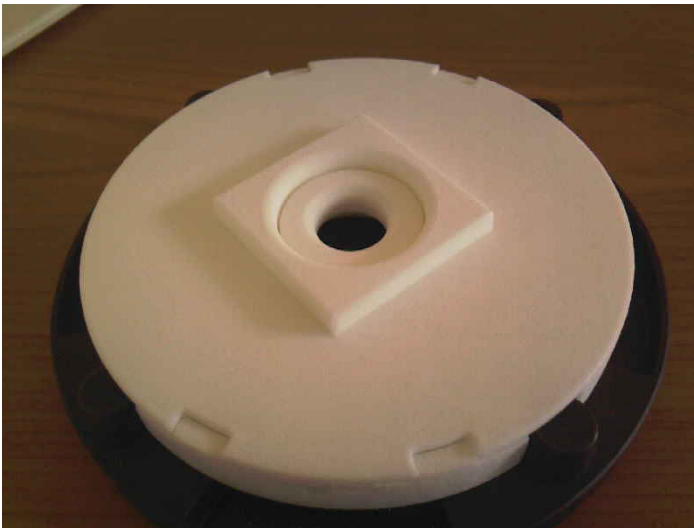
Deze beelden horen bij de uitwerking van het concept en de prototypes.



**Figuur C.1** Test van het principe van sensorvoetjes.



**Figuur C.2** Sensorvoetjes zonder tegel.



**Figuur C.3** Sensorvoet met deksel op oude voet.



**Figuur C.4** Sensordeksel.



**Figuur C.5** Rubber in de rubbermal.



**Figuur C.6** Rubber in de rubberen mal, die gegoten is met behulp van het gietstuk uit de rubbermal.