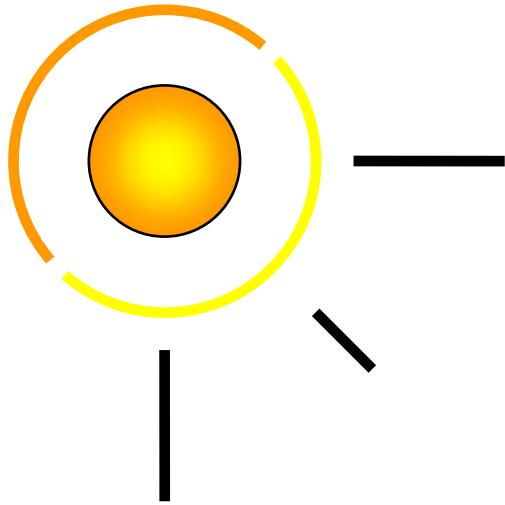
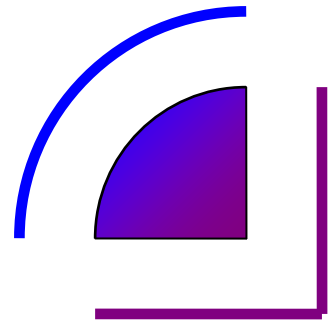




Integratie van zonnecellen op een tas



**Rapport Bacheloropdracht 2004 – 2005
Derde jaar Industrieel Ontwerpen
Door Tien-Loong Siaw**

Datum: 26 september 2005

Het rapport is bestemd voor prof. ir. A.O. Eger, ir. W. de Kogel-Polak en dr. A.H.M.E. Reinders.

Kenmerk UT/IO-05.B3.4-26.09.05

Universiteit Twente
Faculteit der Construerende Technische Wetenschappen (CTW)
Postbus 217
7500 AE Enschede
Tel. (053) 4899111



Integratie van zonnecellen op een tas

T.L. Siaw
Studentnummer 0045217

De inhoudelijke begeleidster bij deze Bacheloropdracht is dr. A.H.M.E. Reinders.
De structurele begeleiding hierbij is verzorgd door ir. W. de Kogel-Polak.

Datum van publicatie: maandag 26 september 2005.

Het rapport is geleverd in 3 oplagen met elk 93 bladzijden (exclusief bijlagen). Hierbij zijn er 12 bijlagen aan toegevoegd die 43 bladzijden bevatten.

Dit rapport is geschreven in het kader van de Bacheloropdracht in het studiejaar 2004 – 2005 voor derdejaars Bachelorstudenten Industrieel Ontwerpen.





Samenvatting

Het doel van deze Bacheloropdracht is een ontwerp te leveren van een rugzak of een soortgelijk product, waarop zonnecellen geïntegreerd zijn. De gedachte hierachter is om draagbare elektronische producten onderweg te kunnen opladen wanneer er geen elektriciteitsnet in de buurt is. Er dient hierbij een ontwerp geleverd te worden die niet alleen functioneel van aard is, maar ook een bepaalde uitstraling met zich meebrengt in de vormgeving.

Het ontwerpproces is begonnen met het uitzoeken van een doelgroep en/of marktsegment waarvoor ontworpen zal worden. Hierbij is het te ontwerpen product eerst geassocieerd met een aantal kenmerken. Deze zijn verwoord in de kernwoorden duurzaamheid, flexibiliteit, vrijheid, innovatief en multifunctionaliteit. Hierna zijn er een aantal analyses uitgevoerd die verschillende typen draagbare consumentenelektronica beschrijven, het gebruik ervan door bepaalde gebruikers en de toegepaste vormgevingsstijlen. Er is hierna overwogen om te gaan ontwerpen voor jonge stadsmensen tussen 18 en 35 jaar oud, die dagelijks veel onderweg zijn voor bijvoorbeeld school of werk en hierbij elektronische producten met zich meedragen. Het ontwerp van het product zal hierbij een dynamisch karakter krijgen die het dagelijks reizende aspect tot uitdrukking laat komen.

Na deze vormgevingsaspecten is er vervolgens ingegaan op de technische aspecten van het ontwerp, waarbij niet alleen is gekeken naar aspecten van zonne-energie zelf, maar ook naar de bijbehorende elektronica en de op te laden producten. Hieruit is dan overwogen om voor het te ontwerpen product zonnecellen toe te passen die commercieel verkrijgbaar zijn. Daarnaast zal er een accu toegepast worden, zodat er zonne-energie opgeslagen kan worden voor donkere situaties. Hierdoor zal het hele systeem met zonnecellen uitgerust worden met extra beveiligingsmaatregelen om de elektriciteitsvoorziening in goede banen te leiden. Verder zal er gericht worden op draagbare elektronische producten die een laag vermogensverbruik vertonen.

Na deze twee inleidende fasen is er een ontwerp kader vastgelegd voor het ontwerp van het product, dat eisen en wensen weergeeft op het gebied van de vormgeving en de technische aspecten. Met deze basis is er begonnen met het technische en vormgevingsontwerp, waarbij beide aspecten op elkaar aangrijpen. Het vormgevingsontwerp is begonnen met het weergeven van de mogelijkheden die het product op een aantal aspecten kan krijgen als de manier van dragen en de soort compartimenten. Hierna zijn er schetsen opgesteld die het globale beeld van het hele product moeten weergeven. Vervolgens is er verder gegaan met de uitwerking van een aantal vormen van een rugzak en een schoudertas, waarna besloten is om een ontwerp van een schoudertas te leveren. Dit concept is uitgewerkt door de tas verder in te vullen en vorm te geven, waarna er gekeken is welke kleuren de tas zal krijgen. Het uiteindelijke resultaat is een ruime schoudertas waarbij zonnecellen er in vorm en kleur bij passen.

Het technische ontwerp begint met een verdieping van een aantal technische onderdelen die op de tas zullen komen, waarna hieruit een keuze gemaakt is van het type die toegepast zal worden. Het betreffen dan keuzes voor de type zonnecel, de type accu en de type bekabeling. Daarnaast is er gekeken hoe het hele systeem aan elkaar geschakeld moet worden, waarbij ook op de elektrische aspecten gelet zijn. Met het voorgaande als uitgangspunt is vervolgens het hele systeem van elektriciteitsopwekking verder ingevuld door de technische specificaties van de diverse onderdelen te bepalen, waarna de hele werking in stroomschema's is samengevat. De elektriciteitsvoorziening door de zonnecellen dient hier niet zomaar zijn gang te gaan en om de gebruiker hiervan kennis te laten nemen, is er een User Interface ontwikkeld. Hierbij komen niet alleen terugkoppelingsaspecten naar voren, maar ook interventiemogelijkheden door de gebruiker om bepaalde taken uit te laten voeren. Als laatste is er in deze sectie nog ingegaan op productietechnische aspecten van het ontwerp.

Naast het doorlopen van dit ontwerpproces is er ook een practicum uitgevoerd die een bepaalde productietechniek met zonnecellen behandelt, waarbij het de bedoeling is om te kijken hoe goed deze techniek is.

Uiteindelijk is er een bevredigend resultaat geleverd in de vorm van een schoudertas voor de jonge volwassene en het ontwerp blijkt hierbij goed in het opgestelde ontwerp kader te passen.





Inhoud

Voorwoord	7
Inleiding	8
1. Vormgevingsverantwoording van het ontwerp	9
1.1. Associatiebepaling voor ontwerp	9
1.2. Analyse typen draagbare consumentenelektronica	10
1.3. Gebruiksanalyse draagbare consumentenelektronica	12
1.4. Vormgevingsanalyse draagbare consumentenelektronica	12
1.5. Vormgevingsbepalende ontwerpoverwegingen	13
1.5.1. Doelgroepbepaling en gebruikaspecten	13
1.5.2. Vormgevingsaspecten	14
2. Technische verantwoording van het ontwerp	16
2.1. Analyse van (zon)licht voor zonne-energie	16
2.1.1. Zonlicht in de open lucht	16
2.1.2. Ontvangen zonlicht in gebouwen	18
2.1.3. Kunstmatig licht (binnen gebouwen)	19
2.1.4. Conclusie	19
2.2. Analyse van zonnecellentechnologie	19
2.2.1. Algemene werking van zonnecellen	19
2.2.2. Elektrische kenmerken van zonnecellen	20
2.2.3. Samenstelling van zonnecellen	21
2.2.4. Opbouw van zonne-energie systemen	23
2.2.5. Kenmerken van zonnemodules	23
2.2.6. Samenvatting	24
2.3. Analyse van typen zonnecellen	25
2.3.1. Algemene aspecten van kristallijn silicium zonnecellen	25
2.3.2. Algemene aspecten van dunne film zonnecellen (inclusief amorf silicium)	26
2.3.3. Algemene aspecten van overige typen zonnecellen	26
2.3.4. Conclusie	27
2.4. Analyse van elektronicaonderdelen	27
2.4.1. Transport van elektrische energie	27
2.4.2. Opslag van elektrische energie	28
2.4.3. Elektrische veiligheidsmechanismen	28
2.4.4. Gebruikersterugkoppeling en interventie	29
2.4.5. Samenvatting	29
2.5. Analyse van technische aspecten consumentenelektronica	29
2.5.1. Kenmerken ten aanzien van voedingen	30
2.5.2. Kenmerken ten aanzien van elektriciteitsverbruik	31
2.5.3. Conclusie	31
2.6. Technische ontwerpoverwegingen	32
3. Programma van eisen en wensen	33
3.1. Ontwerpkader van te ontwerpen product	33
3.2. Ontwerpkader technische aspecten van product	35
4. Vormgevingsontwerp van het product	39
4.1. Vormgevingsmogelijkheden	39
4.2. Globale vormschetsen van ontwerp	40
4.2.1. Eerste globale ontwerpschetsen	40
4.2.2. Keuze van globaal ontwerp	42
4.3. Detaillering vormschetsen van ontwerp	44

4.4. Kleurinvulling van ontwerp	47
4.5. Ruimte-indeling van ontwerp	47
4.6. Vormgevingsconcept van het product	48
5. Technisch ontwerp van het product	51
5.1. Gebruikersscenario's	51
5.2. Benodigde technische onderdelen	52
5.2.1. Analyse en bepaling van commercieel verkrijgbare zonnecellen	52
5.2.2. Analyse en bepaling van typen accu's	56
5.2.3. Analyse en bepaling van typen bekabeling	58
5.2.4. Soorten gelijkspanningsomzetters (DC–DC omzetters)	59
5.2.5. Samenvatting van technische onderdelen	60
5.3. Opzet van systeemschakeling	60
5.3.1. Concepten en bepaling van systeemschakeling	60
5.3.2. Elektriciteitsaspecten van systeemschakeling	62
5.4. Invulling van systeemschakeling	64
5.4.1. Ontwerpoeverwegingen van zonnecellen	64
5.4.2. Ontwerpoeverwegingen van accu en elektronische circuits	68
5.4.3. Ontwerpoeverwegingen van bekabeling	71
5.4.4. Specificaties van technische onderdelen	72
5.4.5. Stroomschema van systeemschakeling	74
5.5. User Interface ontwerp	76
5.6. Productietechnische aspecten van technisch concept	79
5.7. Technisch concept van het product	82
6. Practicumonderdeel: productietechniek met zonnecellen	83
6.1. Doelstelling en achtergrond	83
6.2. Algemene meetopstelling en procedure	83
6.3. Soort experimenten	84
6.4. Resultaten	85
6.4.1. Algemene resultaten	85
6.4.2. Specifieke resultaten	85
6.4.3. Vergelijking resultaten van proefstukken	88
6.5. Conclusies uit experimenten	88
7. Eindconclusie van het concept	89
8. Aanbevelingen van het concept	90
Literatuurlijst	91
Bijlage A Analyse typen draagbare consumentenelektronica	94
Bijlage B Gebruiksanalyse draagbare consumentenelektronica	105
Bijlage C Vormgevingsanalyse draagbare consumentenelektronica	108
Bijlage D Aspecten omtrent licht	111
Bijlage E Aspecten omtrent zonnecellen	117
Bijlage F Aandachtspunten elektronicaonderdelen	121
Bijlage G Verwoording oplossingen ontwerpaspecten	124
Bijlage H Uitwerking kleurinvulling van ontwerp	125
Bijlage I Opgestelde gebruikersscenario's	126
Bijlage J Verantwoording van gebruikte selectiematrices	127
Bijlage K Ontwerpberekeningen technische onderdelen	129
Bijlage L Onderdelen van het practicum	133





Verklarende woordenlijst

Grootheden

I	Stroomsterkte, uitgedrukt in de eenheid Ampère.
I_{MPP}	Stroomsterkte bij het maximale vermogenspunt (op een I–V curve).
I_{SC}	Kortsluitstroom (in het Engels short circuit current).
P	Elektrisch vermogen, uitgedrukt in de eenheid Watt.
P_{MPP}	Elektrisch vermogen bij het maximale vermogenspunt (op een I–V curve).
V	Elektrische spanning, uitgedrukt in de eenheid Volt.
V_{MPP}	Elektrische spanning bij het maximale vermogenspunt (op een I–V curve).
V_{OC}	Open klemspanning (in het Engels open circuit voltage).
η	Omzettingsefficiëntie van een zonnecel (of module), uitgedrukt in procenten (%).

Eenheden

eV	Afkorting voor elektronvolt, een (niet officieel erkende) eenheid van energie.
Lux	Eenheid van lichtintensiteit.
W/m^2	Afkorting voor Watt per vierkante meter, een eenheid van zoninstraling op aarde.
Wh/kg	Afkorting voor Wattuur per kilogram, een eenheid van energiedichtheid van een accu.

Zonnecellen

CIS of CIGS	Afkorting voor de aanduiding van koperindium(gallium)diselenide.
GaAs	Afkorting voor de aanduiding van galliumarsenide.
Si	Afkorting (chemisch symbool) voor de aanduiding van silicium.

Accu's

Li-ion	Afkorting voor de aanduiding van lithium-ion.
Li-polymer	Afkorting voor de aanduiding van lithium-ion met een vaste polymeren elektrolyt.
NiCd	Afkorting voor de aanduiding van nikkelcadmium.
NiMh	Afkorting voor de aanduiding van nikkel metaalhydride.

Samenstelling zonnecellen

i-laag	Aanduiding van een intrinsieke laag, die geen overschot of tekort aan elektronen vertoont.
n-laag	Aanduiding van een laag met een elektronenoverschot.
p-laag	Aanduiding van een laag met een elektronentekort.
p/n	Aanduiding van een overgang tussen een p-laag en een n-laag.
pin/nip	Aanduiding van de volgorde van opeenstapeling van een p-laag, een i-laag en een n-laag.

Overige afkortingen

AAA/AA	Afkortingen van twee soorten standaard formaten van penlight batterijen.
AM	Afkorting voor luchtmassa (in het Engels air mass), de stand waarmee het zonlicht instraalt op aarde.
BOS	Afkorting voor elektronicaonderdelen naast zonnecellen (in het Engels balance of system).
C	Afkorting van de aanduiding van een accucapaciteit.
DC	Afkorting voor gelijkspanning (in het Engels direct current).
MPP	Afkorting voor het maximale vermogenspunt (in het Engels Maximum Power Point).
MPPT	Afkorting voor een gelijkspanningsomzetter die het optimale spanningspunt opzoekt bij het maximale vermogenspunt (in het Engels Maximum Power Point Tracker).



Het begin van deze Bacheloropdracht vindt zijn startpunt in april 2005, waarbij er in een inleidend kennismakingsgesprek met de opdrachtgeefster Angèle Reinders nader kennis gemaakt is met deze opdracht en welke achtergronden er hieraan verbonden waren.

Zelf heeft ze in het verleden veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden die alternatieve (duurzame) energiebronnen kunnen bieden om de groeiende energievoorziening van de mens te kunnen bevredigen, zonder (al te veel) schade aan te richten aan het milieu. Naast brandstofcellen heeft ze zich ook beziggehouden met zonnecellen en dan voornamelijk hoe zonne-energie hierbij als alternatieve energiebron kan fungeren. Ze heeft getracht uit te zoeken hoe zonnecellen effectiever gemaakt kunnen worden, zodat de energie voor dagelijks gebruik toegepast kan worden. Deze soorten onderzoeken worden overal ter wereld nog steeds uitgevoerd, maar welke mogelijkheden en toepassingen ze hebben in het dagelijkse leven, is nog vrij weinig uitgezocht. Daarnaast is er vooral in het bedrijfsleven nauwelijks belangstelling getoond in de toepassing van zonnecellen, omdat er nog veelvuldig gebruik gemaakt wordt van de gebruikelijke batterijen en accu's, waarmee de maatschappij vertrouwd is geraakt. Aangezien dergelijke batterijen en accu's veel problemen met zich meebrengen, waarbij het schadelijke effect op het milieu één van de belangrijkste is, heeft de opdrachtgeefster geopperd om met een (consumenten)toepassing te komen voor zonnecellen. Met de betreffende opdracht wil ze zonnecellen als alternatief bieden voor batterijen en accu's en wil ze bekijken welke (productietechnische) mogelijkheden er zijn om zonnecellen ergens voor toe te passen. De toepassing ervan in rugzakken is afkomstig van het idee van het Amerikaanse leger die al een soortgelijke toepassing heeft met opvouwbare zonnecellen die opgeborgen kunnen worden in rugzakken. Dit is nog vrij onhandig voor dagelijks gebruik en hiervoor wil ze ook graag een betere oplossing verwachten, waarbij benadrukt dient te worden dat er langzamerhand al oplossingen in opkomst zijn.

Dit rapport heeft het idee van een consumententoepassing van zonnecellen uitgewerkt, waaraan ruim drie maanden gewerkt is. De uitgevoerde experimenten bij deze opdracht zijn mogelijk gemaakt door Cora Salm (van de faculteit EWI), die voor experimenteermateriaal heeft gezorgd. Daarnaast is de uitvoer van de experimenten mogelijk gemaakt door de twee medewerkers van de faculteit CTW Erik van de Ven en Robert de Graaf en de AIO Joost Kessels, die mij niet alleen verder op gang hebben geholpen met de experimenten, maar ook extra inzichten hebben verschaft over het verdere onderzoeksproces hierbij. Tenslotte zou dit rapport niet mogelijk gemaakt kunnen zijn zonder de inhoudelijke en structurele begeleiding van Angèle Reinders en Wieteke de Kogel-Polak en andere betrokken docenten van de opleiding Industrieel Ontwerpen.

Enschede, 26 september 2005

Tien-Loong Siaw





Inleiding

In het dagelijkse leven komen mensen tegenwoordig veel in aanraking met elektronische producten en het meedragen van consumentenelektronica is al bijna gemeengoed geworden. Producten als mobiele telefoons, handheld computers (PDA's) en muziekspelers worden veelal voor onderweg meegenomen en gebruikt. Een probleem van het gebruik is wel dat men op een bepaald moment met een lege batterij of accu zit. In geval van een accu kan dit voor (grote) ergernis zorgen wanneer er geen elektriciteitsnet in de buurt is. Daarom zou het handig zijn als er een mogelijkheid zou bestaan om dergelijke producten op te laden wanneer men onderweg is of op plaatsen waar geen elektriciteitsnet voor handen is. Een oplossing hiervoor is het gebruik maken van zonne-energie en aangezien mensen vooral overdag elektronische producten gebruiken, is dit geen slecht idee.

In deze opdracht zal met het voorgaande in acht genomen, een ontwerp geleverd worden van een rugzak of een soortgelijk product waarop zonnecellen zijn geïntegreerd. Hiermee dienen dan elektronische producten mee opgeladen te worden. Er zal hierbij een concept geleverd worden die niet alleen dient te functioneren, maar ook een bepaalde vormgeving met zich meebrengt.

Om deze doelen te kunnen bereiken, zullen er eerst een aantal vooranalyses uitgevoerd worden. Bij de behandeling van de vormgevingsaspecten zal er getracht worden een bijpassende doelgroep en/of marktsegment te vinden met de bijbehorende vormgevingskenmerken. Hierna wordt er uitvoerig ingegaan op technische aspecten, waarbij later in het ontwerp rekening mee gehouden kan worden. Uit deze twee groepen van vooranalyses volgen er ontwerpoverwegingen, waarna het programma van eisen en wensen opgesteld kan worden.

Het ontwerp kader in de vorm van het programma van eisen en wensen is hiermee geformuleerd, waarna het echte ontwerpproces kan beginnen, die uit twee onderdelen bestaan die sterk met elkaar zijn verbonden. Aan de ene kant zal er een vormgevingsconcept uitgewerkt worden van het te ontwerpen product, die geleidelijker aan steeds gedetailleerder wordt ingevuld. Aan de andere kant zal het ontwerp op technisch gebied moeten functioneren, waarbij naast elektrische aspecten ook aandacht geschonken wordt aan gebruikersvriendelijke en productietechnische aspecten. Naast het ontwerpproces zal er ook gekeken worden naar een productietechnisch aspect met zonnecellen. Hierbij zullen er een aantal experimenten uitgevoerd worden die de realiseerbaarheid van dit aspect zullen beoordelen.

Uiteindelijk volgt hieruit het eindresultaat van een concept van een tas die naast het vervoeren van spullen als extra functie heeft om elektronische producten mee op te laden.





1. Vormgevingsverantwoording van het ontwerp

Voor het vormgevingsontwerp van het te ontwerpen product dient er eerst uitgezocht te worden in welke richting er vormgegeven zal worden. Er zijn voor het ontwerp geen concrete aanwijzingen gegeven hiervoor en die zal in deze eerste sectie nader bepaald worden. Er zal hierbij niet eerst een doelgroep en/of marktsegment gepresenteerd worden, maar er zal daar naartoe gewerkt worden. Hiervoor worden een aantal vooranalyses uitgevoerd die meer inzicht zullen verschaffen over elektronische producten die men zoal gebruikt en die in aanmerking kunnen komen voor toepassing ervan in het te ontwerpen product. Er zal een globale analyse uitgevoerd worden hiernaar, gevolgd door een gebruiksanalyse en een vormgevingsanalyse van deze producten. Voordat deze analyses behandeld worden, zal er eerst een associatiebepaling gehouden worden van het te ontwerpen product zelf. Uiteindelijk zal er hieruit een doelgroep en/of marktsegment geformuleerd worden met de bijbehorende gebruiks- en vormgevingsaspecten ervan.

1.1. Associatiebepaling voor ontwerp

Een rugzak of een soortgelijk product met geïntegreerde zonnecellen is een vrijwel nieuw concept die bepaalde kenmerken en/of associaties met zich meebrengt ongeacht het gebruik ervan door een bepaalde doelgroep en/of marktsegment. Dit zal verduidelijkt worden in deze associatiebepaling, waarbij er in gedachten een dergelijk product wordt genomen en naar bepaalde kenmerken en/of associaties wordt gezocht. Hiermee kan een redelijk goed beeld gevormd worden van datgene wat het te ontwerpen product in globale zin dient uit te stralen. Deze associatiebepaling geeft in een aantal bijpassende kernwoorden de basis weer van het product, die hieronder is weergegeven.

Duurzaamheid ...

... heeft betrekking op de zon, die wordt beschouwd als een duurzame energiebron. Hoewel de zon zelf (volgens de “Encyclopedie” van Groenewald-Froger e.a., 2001) al circa 5 miljard jaar bestaat, is zijn einde nog lang niet in zicht. Daarnaast vormt zonne-energie een uitermate goed alternatief voor het schaarser worden van de huidige energiebronnen afkomstig van de aarde en de toenemende energiebehoefte van de mens. Bovendien kan het duurzame karakter worden teruggevonden in de zonnecellen zelf, omdat ze weinig onderhoud vereisen en tientallen jaren mee kunnen gaan, mits ze gebruikt worden waarvoor ze geproduceerd zijn.

Flexibiliteit ...

... duidt op de eigenschap dat gebruik van zonne-energie overdag vrijwel altijd en overal (bovengronds) mogelijk is, ook als de zon niet geheel zichtbaar is. Onder verschillende lichtcondities en invalshoeken in zowel binnens- als buitenshuis kan er energie onttrokken worden van zonlicht, hoewel dit niet altijd erg efficiënt verloopt. Daarnaast kunnen zonnecellen flexibel van aard zijn en het is nog de vraag of dit ook terug te vinden zal zijn in het te ontwerpen product. Flexibele zonnecellen zijn namelijk pas recentelijk in opkomst, maar ze brengen gunstige mogelijkheden met zich mee.

Vrijheid ...

... geeft het vrije karakter aan dat het product met zich meedraagt. Door gebruik te maken van zonne-energie is men grotendeels niet meer afhankelijk van energie van het elektriciteitsnet die alsnog wordt opgewekt met fossiele brandstoffen. Ook is men niet meer nauw verbonden aan grote energieproducenten, omdat men zelf de benodigde energie opwekt, waar en wanneer men wil, weliswaar alleen overdag.

Innovatief ...

... in de zin dat het een vernieuwende en een nog weinig toegepaste manier voor het gebruik van zonnecellen geeft als draagbare energiebronnen. Het idee om overdag altijd over energie te kunnen beschikken als men niet in de buurt is van het elektriciteitsnet, is niet nieuw. Draagbare (penlight) batterijen verschaffen deze mogelijkheid al bijna een halve eeuw, maar zijn niet duurzaam van aard. Niet-oplaadbare batterijsoorten zijn meestal beperkt in capaciteit en alleen eenmalig te gebruiken, terwijl oplaadbare varianten juist afhankelijk zijn van andere energiebronnen om weer opgeladen te kunnen worden en na verloop van tijd dienen ook deze batterijen vervangen te worden. Ook het milieuonvriendelijke karakter draagt hierbij toe dat zonne-energie een beter alternatief is.

Multifunctionaliteit ...

... is van toepassing op het te ontwerpen product zelf. Door een rugzak of een soortgelijk product niet alleen te gebruiken voor het dragen en bewaren van allerlei allerhande spullen, maar ook voor het opladen van draagbare consumentenelektronica, biedt een extra mogelijkheid aan gebruikers. Het multifunctionele karakter is tegenwoordig al veelvuldig terug te vinden in rugzakken of soortgelijke producten door de vele soorten opbergmogelijkheden en deze extra mogelijkheid biedt een meer efficiënter en nuttiger gebruik van het product als men onderweg is.

1.2. Analyse typen draagbare consumentenelektronica

Voor het bepalen van een doelgroep en/of marktsegment is het handig om een beeld te creëren van de diverse soorten draagbare consumentenelektronica die mensen tegenwoordig veelal bij zich hebben. De markt van dergelijke producten is ontzettend groot en daarom zal er hierin een opdeling gemaakt worden in een aantal meest voorkomende productcategorieën, waarbij niet alle mogelijke soorten producten kunnen en zullen worden beschreven. Er zal vooral gekeken worden naar producten die het meest voorkomen en gebruikt worden en die in aanmerking kunnen komen om ermee opgeladen te worden met het te ontwerpen product. Voor een uitvoerige analyse van dit onderwerp wordt er verwezen naar bijlage A, waarvan een samenvatting hieronder volgt.

De eerste categorie betreft de draagbare afspelerapparatuur, die voornamelijk gebruikt wordt voor het beluisteren van muziek. Van deze muzikspelers met een ingebouwd geheugen zijn er tegenwoordig flashspelers en harddisk drives (HDD) spelers te vinden. De flashspeler is vrij compact van formaat en bevat een ingebouwde geheugenchip. De functionaliteit van deze spelers is klein ten opzichte van de groter gevormde HDD spelers. Door hun ingebouwde harde schijf kunnen ze naast muziekbestanden ook andere soorten bestanden opslaan in grote hoeveelheden in de orde van duizenden (die afhankelijk is van de grootte van elk bestand).

De muzikspelers met een verwijderbaar geheugen kunnen onderscheiden worden in draagbare cd-spelers en minidisks. De cd-spelers vallen op door hun grote formaat waarin een standaard cd erin dient te passen. Minidisks echter bieden plaats voor een meer kleiner, door de fabrikant speciaal ontworpen opslagmedium die meestal een grotere opslagcapaciteit bevat dan cd's. Toch bevatten beide soorten muzikspelers naast het afspelen van muziek nauwelijks andere functies.

Tenslotte zijn er nog de draagbare (digitale) radio's, waarvan de antenneradio's en de zakradio's in klein handzaam formaat kunnen komen. Ze worden voornamelijk gebruikt voor het ontvangen van radiozenders. Antenneradio's kunnen soms ook een mogelijkheid bezitten om muziekcassettes af te spelen.



Figuur 1.1: Een flashspeler (merk: Creative).

De tweede categorie wordt gevormd door beeldopname en audiovisuele producten, die ontworpen zijn om (bewegende) beelden vast te leggen of af te spelen. Digitale camera's hierbij zijn welbekend en komen voor in standaard, professionele, compacte en speciale typen. Elke type verschilt in functionaliteit en in de doelgroep waarvoor ontworpen is.

Naast digitale camera's zijn er nog de camcorders te vinden, waarvan de digitale varianten steeds meer opduiken. Een opdeling in standaard en professionele typen is hier te vinden, waarbij ze de mogelijkheid hebben om naast het vastleggen van bewegende beelden ook stilstaande beelden op te slaan.

Het laatste product van deze categorie die behandeld is, zijn de dvd-spelers. Ze komen meestal voor in ongeveer dezelfde uitvoeringen, maar vertonen verschillen in kwaliteit en functionaliteit. Er is met het ontwerp veelal rekening gehouden met het gebruik ervan in de auto, maar de kwaliteit verschilt per merk.



Figuur 1.2: Een camcorder (merk: JVC).

Als derde categorie kwamen de telecommunicatie en spelvermakende apparatuur aan bod. Hieronder vallen producten die een meer sociaal karakter bevatten als mobiele telefoons en draagbare spelcomputers. Van de mobiele telefoons zijn er sterke variaties te vinden, waarbij er varianten bestaan met een camerafunctie; een ingebouwde muzikspeler; grote audiovisuele mogelijkheden waarmee de mogelijkheid wordt geboden om muziek te beluisteren en videobestanden te bekijken en een ingebouwde handheld computer voor (eenvoudige) dataverwerking.

Draagbare spelcomputers echter hebben het doel om digitaal vermaak te leveren. Deze groep producten vormt een vrij kleine markt, waarbij er een handvol soorten van bestaan. De verschillen ertussen kunnen grote variaties vertonen in de toegepaste functionaliteit en audiovisuele mogelijkheden.

In de vierde categorie wordt er ingegaan op multifunctionele informatieverwerkende producten, die de gebruikelijke functies van gewone computers min of meer bevatten. De handheld computers, beter bekend als Personal Digital Assistants (PDA's) zijn hier een voorbeeld van, maar hun functionaliteit is sterk gereduceerd en/of vereenvoudigd. Ze bevatten de meer gebruikelijke applicaties die het bureauwerk kunnen vereenvoudigen.

Een ander product in deze categorie wordt gevormd door draagbare computers of laptops. Hoewel ze in functionaliteit nauwelijks verschillen van hun bureauvarianten, zijn ze uitermate geschikt om flexibel te zijn in het werk. Ze beginnen de bureaucomputers wel langzamerhand te verdringen, doordat hun prestaties verbeteren.

Een andere variant van laptops zijn de tablet computers. Het verschil met de laptop is dat ze een "touch screen" technologie bevatten, waarmee er met een tablet pen op het beeldscherm gewerkt kan worden. Hier zijn er twee soorten van, waarbij de ene meer op een draagbare computer lijkt door het draaiende beeldscherm en de andere alleen uit een (touch screen) scherm bestaat.



Figuur 1.3: Een handheld computer (merk: PalmOne).

De laatste categorie behandelt een aantal nieuwe producten die in opkomst zijn en geschikt kunnen zijn om ermee opgeladen te worden met zonne-energie. Voorbeelden van dergelijke producten zijn eBooks, (draagbare) fotoprinters, multimedia afspeelapparaten en Bluetooth headsets. Deze producten zullen in het verdere ontwerp niet nader op ingegaan worden en dienen hier alleen ter informatie van de mogelijke trends op dit gebied.

1.3. Gebruiksanalyse draagbare consumentenelektronica

Een algemeen beeld van verschillende soorten elektronische producten is niet voldoende, omdat ze door verschillende soorten mensen gebruikt kunnen worden. Ook de wijze, de plaats, het tijdstip en de mate van het gebruik kunnen hierbij voor de nodige verschillen zorgen, waarin hier globaal zal worden ingegaan voor elke soort productcategorie. Voor het grootste deel zijn de gebruikaspecten die hieronder volgen vooral gebaseerd op aannames die veelal zijn afgeleid uit de beschouwing van de verschillende soorten consumentenelektronica. Een uitvoerige gebruiksanalyse hiervan is te vinden in bijlage B, waarvan een conclusie hieronder volgt.

Er is gebleken dat draagbare consumentenelektronica veelal te vinden zijn onder jongeren tot jongvolwassenen van rond de 15 tot 35 jaar oud. Deze groep mensen is meestal schoolgaand, studierend of beginnen net met hun werkcarrière. Hieronder zijn er diverse bezigheden te vinden die min of meer gerelateerd zijn aan bepaalde groepen mensen uit de hierboven opgestelde groep.

Een van de bezigheden is het leveren van enige vorm van vermaak, waarbij de tijd kan worden doorgebracht met het beluisteren van muziek en/of het bekijken van videobestanden, het contact houden met vrienden of het spelen van computerspellen. Deze bezigheid hoeft niet op zichzelf te staan, maar wordt meestal gecombineerd met andere bezigheden of activiteiten. Hierbij kan gedacht worden aan zelfstandig gaan sporten of verplaatsing van huis naar school of werk.

Een andere bezigheid is het uitvoeren van werkgerelateerde zaken voor studie of werk, waarbij contacten een grote rol kunnen spelen. Gebruikte producten hierbij zijn mobiele telefoons en multifunctionele apparatuur. Vooral voor werkende mensen en in het bijzonder zakenmensen vindt deze bezigheid met de genoemde producten het meeste plaats, waarbij op de plaats van bestemming ermee gewerkt wordt.

Een laatste bezigheid die opgemerkt kan worden, is het gebruik van de producten voor persoonlijke doeleinden. Dit kan nog verschillen vertonen in incidenteel of veelvuldig gebruik, waarbij de digitale camera's, camcorders en laptops bij te pas kunnen komen. Incidentele situaties doen zich hierbij voor als men op vakantie is of tijdens bijzondere momenten, gelegenheden of festiviteiten. Hiermee worden dan bijzondere situaties vastgelegd, die vervolgens digitaal verstuurd kan worden naar familie en vrienden. Bij veelvuldig gebruik dient er gedacht te worden aan mensen die er hun hobby en/of werk van maken. Naast het vastleggen en versturen, kunnen de opnamen nog bewerkt worden voor bepaalde doeleinden.

1.4. Vormgevingsanalyse draagbare consumentenelektronica

Als laatste onderdeel in deze reeks van analyses, zal er nader ingegaan worden op vormgevingsaspecten van consumentenelektronica. In tegenstelling tot de gebruikaspecten is er hier een andere indeling gemaakt, waarbij er gericht wordt op zeven designgroepen die een bepaalde vormgevingsstijl erop na houden. In elk van deze groep zal er in globale zin bepaalde vormgevingskenmerken beschreven worden die voortkomen uit de elektronische producten, waarbij vorm, formaat, kleur en materiaal de belangrijkste aspecten vormen. Er is voor deze indeling gekozen, omdat er in de verschillende soorten consumentenelektronica is gebleken dat er in bepaalde productcategorieën voor verschillende doelgroepen met een bepaalde stijl is ontworpen. Hierdoor komen bepaalde vormgevingsstijlen terug in meerdere categorieën. Daarnaast dient er nog opgemerkt te worden dat er tussen de verschillende vormgevingsstijlen ook tussenvormen kunnen voorkomen, waarbij de gegeven beschrijvingen ervan echter een indicatie geven van de hoofdstijlen. De vormgevingsanalyse is uitvoeriger behandeld in bijlage C en hieronder is er een samenvatting te vinden van de diverse vormgevingsstijlen.

De vormgevingsstijl van massagericht design richt zich op het grote publiek en komt in stijl vrij neutraal over. De producten zijn hierbij meer functioneel van aard met afgeronde rechthoekige vormen, waarbij grijstinten het meeste voorkomen.

Professioneel design gaat verder dan de voorgaande vormgevingsstijl door zich meer hightech op te stellen, waarbij de diverse functies en mogelijkheden uitgebeeld worden. Grote blokvormige producten die zwartgetint zijn, vormen hierbij geen uitzondering.

Een meer uitdagender vormgevingsstijl is sportief design, waarbij dynamiek en schokbestendigheid goed uit de producten is af te leiden. De veelal licht en compact uitgevoerde producten bevatten golvende en ronde vormen, waarbij de kenmerkende kleur wit wordt gebruikt. Door lijnen van heldere kleuren toe te passen wordt er meer dynamiek gecreëerd.

De vierde vormgevingsstijl is vrijetijdsdesign en kan beschouwd worden als een voortzetting van het massagericht design door zich te richten op het vrije spelende karakter van producten. Compactheid speelt hier een rol, waarbij de vormen ronder en meer gestroomlijnd van aard zijn. Voor de kleur worden grijstinten gecombineerd met lichte heldere en glanzende kleuren.

Een radicalere voortzetting van de vorige vormgevingsstijl is trendy design. Het product kan hierbij heel kunstig en opvallend overkomen, waarbij er meestal wordt afgeweken van de standaard vormen. Hier wordt ook op ingespeeld door een zeer compact vormgegeven geheel, waarbij de vreemdste vormen kunnen opduiken. Helder exotische kleuren laten het product hierbij nog verder opvallen.

De laatste vormgevingsstijl is zakelijk design, die gekenmerkt wordt door ordening en uitstraling. Toegepaste vormen zijn rechthoekig van aard, waarbij de kleine dikte opvallend is. Glanzende kleuren met zwarte tinten geven het product een hoge uitstraling weer.



Figuur 1.4: Een verzameling van de zes productstijlen.

1.5. Vormgevingsbepalende ontwerpoverwegingen

1.5.1. Doelgroepbepaling en gebruikaspecten

Uit de voorgaande analyses zal er een doelgroep gekozen worden die zich het beste kan lenen voor het ontwerp van een rugzak of een soortgelijk product. Aangezien er in deze opdracht voornamelijk wordt gekeken naar de haalbaarheid van een dergelijk product, zal er in overstemming hiermee geen al te extreme of weinig belangstellende doelgroepen gekozen worden. Er is verder uit de analyses gebleken dat er steeds bepaalde soorten doelgroepen terugkwamen. Doelgroepen als kinderen tot ongeveer 10 jaar, oudere volwassenen boven de 50 jaar en alle andere denkbare doelgroepen die hierin vallen, zullen daarom verder niet nader op ingegaan worden. Wel dient er opgemerkt te worden dat dergelijke doelgroepen ook wel interessant zijn om voor te ontwerpen, maar zijn in het kader van deze opdracht nog niet erg geschikt, omdat deze mensen waarschijnlijk nog niet bekend zijn met zonne-energie en er weinig behoefte en belangstelling voor is.

Een doelgroep die zich goed leent voor het te ontwerpen product zal bestaan uit jongvolwassenen die in leeftijd ongeveer variëren van 18 tot 35 jaar. Hierbij wordt er grotendeels gericht op studerende en werkende stadsmensen die dagelijks veelal onderweg zijn naar de hogeschool, universiteit of naar hun werkplek. Deze mensen staan aan het begin van hun carrière en beginnen de wereld om hen heen verder te verkennen, zoekend naar nieuwe mogelijkheden en uitdagingen. Ook zal er in de richting gezocht worden naar meer dynamische en flexibele mensen met een licht sportief karakter, die hun dagelijkse tocht op een beweeglijke manier maken zoals te voet (inclusief gebruikmakend van openbaar vervoer) of met de fiets.

Deze mensen zullen ook vrij bekend zijn met de technische producten en hebben veelal behoefte aan bereikbaarheid via communicatie en multimedievermaak, veelal in de vorm van muziek. Verder kan (digitale) informatieverwerking en opslag bij werkende mensen een aanvullend gegeven zijn. Bijbehorende producten zijn veelal mobiele telefoons, muziekspelers en handheld computers. Het af en toe meedragen van andere apparatuur als digitale camera's en videocamera's wordt hierbij niet uitgesloten. De genoemde producten worden veelal thuis en op de plaats van bestemming gebruikt, terwijl muziekspelers en producten met multimediamogelijkheden zich ook goed lenen voor gebruik onderweg.

Voor deze mensen dient het te ontwerpen product als een middel om allerlei spullen mee te dragen en te vervoeren. Het betreffen voornamelijk spullen die betrekking hebben op hun dagelijkse bezigheid en/of verplichting als werk en studie. Veelvoorkomende spullen naast de elektronische producten worden gevormd door schrijfgerei en het bijbehorende materiaal om op te schrijven en te bewaren. Daarnaast worden er allerlei andere documentatiemateriaal meegenomen zoals boeken. Bovendien dient er nog benadrukt te worden dat het product gebruikt wordt voor het vervoer van andere goederen als voedingswaren, kledinggerelateerde spullen, verzorgingsproducten en ingekochte goederen van allerlei aard.

1.5.2. Vormgevingsaspecten

Op vormgevingsgebied kan er ingegaan worden dat de doelgroep zich wel zal kunnen vinden in de associaties van het te ontwerpen product, aangezien ze een welkome aanvulling vormen voor de kenmerken van deze groep. Het dynamische en vrije karakter met een licht sportief gehalte eraan zullen de voornaamste stijlkenmerken zijn. Om dit verder uit te werken in vorm, kleur en materiaalgebruik wordt er eerst een doelgroepcollage opgesteld, waaruit voorgaande kenmerken terug zullen komen. Op de volgende pagina is deze collage weergegeven.

De collage bevat een aantal gekromde (in symmetrie staande) lijnen die het golvende en daarmee het dynamische karakter weergeven. De symmetrische structuur duidt op een meer serieuze instelling van de doelgroep, die veelal duidt op hun bezigheid als werk of studie. Verder zijn er beelden van de natuur en de stad met elkaar verweven, waarmee het gevoel wordt gecreëerd van het vrije en bewegende karakter van mensen in stedelijke gebieden, waar doorheen ze hun dagelijkse tochten van huis naar werk of school maken. Daarnaast zijn er beelden terug te vinden van werkende en studerende mensen en manieren van transportmogelijkheden, die de kenmerken van de doelgroep verder benadrukken. Bovendien zijn er deelaspecten weergegeven van elektronische producten en tassen, die veelal door de doelgroep gebruikt worden.

In de vorm komt de geordende (symmetrische) structuur goed naar voren. Kenmerkende aspecten uit de collage zijn de eenvoudige en veelal overzichtelijke kijk op producten, waarachter de multifunctionaliteit schuilgaat. De combinatie van stad en natuur kan verder de indruk vergroten om organische en strakke vormen met elkaar te verweven. Vandaar ook afgeronde rechthoekige en ronde vormen die voor een meer geordende en dynamisch karakter zorgen. Veelal sluiten de vormen goed bij elkaar aan, waardoor er een geïntegreerd geheel ontstaat.



2. Technische verantwoording van het ontwerp

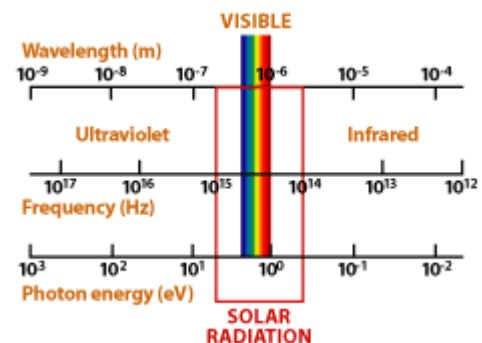
Nu er een vormgevingsrichting is bepaald dient er verder ingegaan te worden op de technische aspecten van het te ontwerpen product. Zoals al is aangegeven, dient het product zonnecellen te bevatten voor het opladen van elektronische producten. Om hiermee verder te kunnen gaan, zal er nader geanalyseerd worden op allerlei aspecten omtrent zonnecellen en dan met name zonne-energie. Hiervoor zal er eerst een analyse uitgevoerd worden die bepaalde relevante natuurkundige aspecten van zonlicht behandelen. Hierna worden bepaalde aspecten van zonnecellen uitgewerkt, waarna een globaal beeld geschetst wordt van de typen zonnecellen die tegenwoordig bestaan. Vervolgens zal er nader ingegaan worden op aspecten van aanvullende onderdelen die benodigd zijn om de energie van de zonnecellen over te kunnen brengen naar de op te laden producten, die gevolgd wordt door een analyse van de technische aspecten van elektronische producten zelf. Uit al deze analyses worden er dan ontwerpoverwegingen gemaakt die een eerste stap vormen op de uitwerking van de technische aspecten van het te ontwerpen product.

2.1. Analyse van (zon)licht voor zonne-energie

Voor de werking van zonnecellen is het van belang om te weten hoe bepaalde aspecten van (zon)licht van invloed kunnen zijn. Er zal hierbij onderscheid gemaakt worden tussen zonlicht in de open lucht en in gebouwen en kunstmatig licht in gebouwen, waarbij een aantal aspecten aan bod komen als de verkregen stralingswaarden.

2.1.1. Zonlicht in de open lucht

Gebruikmakend van de website “Photovoltaics” (U.S. Department of Energy, 2004) volgt er dat de zon straling uitzendt met verschillende golflengtes en het zonnespectrum heeft hierbij een bereik die globaal tussen 200 en 4000 nanometers ligt. Hieronder valt ook het zichtbare licht, waar de golflengte ervan toeneemt naarmate men in het spectrum van het ultraviolette (UV) licht naar het infrarode (IR) licht gaat. Licht met een lage golflengte (dat in het kleurspectrum ongeveer overeenkomt met UV licht) heeft een hoge frequentie en daarmee een hoge potentiële energie die uitgedrukt wordt in de eenheid elektronvolt (afgekort tot eV). Figuur 2.1 geeft dit kleurspectrum weer, waarbij de voorgaande relaties zijn verduidelijkt. Dit is bepalend voor het gebruik van de zonnecellen, omdat elke (halfgeleider)materiaalsoort pas licht kan omzetten in elektrische energie vanaf een bepaalde hoeveelheid potentiële energie. De minimale energie die ze hiervoor nodig hebben, wordt de bandafstand energie genoemd. Voor de natuurkundige achtergronden hiervan wordt er verwezen naar bijlage D.1.

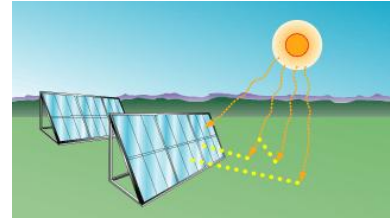


Figuur 2.1: Het stralingsspectrum in diverse grootheden uitgedrukt.

Verder brengt deze zonnestraling enorme grote hoeveelheden energie met zich mee de ruimte in, waarvan een kleine fractie de aarde bereikt. Wanneer deze straling het aardoppervlak raakt, is een deel ervan al door de atmosfeer geabsorbeerd en gereflecteerd. Het vermogensverlies is hierbij afhankelijk van de afgelegde weg door de atmosfeer, waarbij het hoeveelheid stralingsvermogen dat de aarde bereikt ongeveer 1000 Watt per vierkante meter (W/m^2) is. Deze instraling, die de aarde loodrecht raakt op zeeniveau en bij een heldere hemel, wordt aangeduid met luchtmassa 1, afgekort tot AM1. Deze situatie wordt niet gebruikt als een standaardconditie, omdat de straling het grootste deel van de tijd een langere weg aflegt door de atmosfeer, waardoor een lagere hoeveelheid vermogen de aarde bereikt.

Er wordt veelal gebruik gemaakt van de conditie van AM1,5G of AM1,5D. De letters G en D staan voor respectievelijk de globale en de directe instraling, waarbij met globale instraling zowel direct als diffuus licht wordt bedoeld. In bijlage D.2 is een meer uitvoerige beschrijving gegeven over zonnestraling en de bijbehorende luchtmassa.

Zonnestraling is altijd een combinatie van direct en diffuus licht, waarbij diffuus licht afkomstig is van weersomstandigheden in de atmosfeer (door luchtdeeltjes en bewolking), het aardoppervlak (als grond en water) en overige omgevingsinvloeden die zowel natuurlijk als kunstmatig van aard kunnen zijn (zie figuur hiernaast). Het diffuse deel van het zonlicht neemt toe naarmate de lichtintensiteit afneemt en verschilt verder van het directe deel van zonlicht doordat het spectrum ervan zich meer in de kortere golflengtes bevindt. In de volgende tabel (afkomstig van de brochure “Elektriciteit uit zonlicht” (2004)) is dit weergegeven voor een aantal weersomstandigheden. De percentages vallen in een bepaald bereik, omdat elk soort weersomstandigheid verschillend van aard is.



Figuur 2.2: Directe en diffuse lichtstralen van de zon.

Weersomstandigheden	Percentage diffuus deel van zonlicht
Heldere blauwe hemel met direct zonlicht	10 – 20%
Zonlicht met lichte bewolking	20 – 80%
Zonlicht met zware bewolking	80 – 100%

Tabel 2.1: Percentages diffuus zonlicht bij diverse weersomstandigheden.

De werkelijke hoeveelheid instraling op aarde varieert per geografische locatie. Daarnaast wordt dit verder beïnvloed door de volgende factoren:

- de seizoenen veroorzaakt door de stand van de aarde (niet van toepassing rond de evenaar),
- het tijdstip van de dag,
- de heersende klimaatomstandigheden (zoals de mate van bewolking) en
- de heersende luchtvervuiling, veelal veroorzaakt door menselijke activiteit.

In Nederland en het noordelijk deel van Europa spelen vooral de seizoenen een grote rol in de hoeveelheid ontvangen instraling. In de zomermaanden kunnen er hierbij veel hogere stralingswaarden bereikt worden ten opzichte van de wintermaanden, waarbij de verschillen kunnen oplopen tot een factor vijf. Voor de Nederlandse situatie is de ontvangen lichtintensiteit en de bijbehorende hoeveelheid instraling als volgt samengevat in de volgende tabel (afkomstig van een wetenschappelijk artikel van Kan), waarbij er onderscheid is gemaakt tussen de winter en de zomer. Deze waarden zijn gemiddelden, omdat lichtintensiteit van tijd tot tijd kan verschillen.

Weersomstandigheden ¹	Midden in de zomer		Midden in de winter	
	Lichtintensiteit	Instraling	Lichtintensiteit	Instraling
Heldere blauwe hemel met direct zonlicht (G)	100000 lux	1000 W/m ²	20000 lux	200 W/m ²
Heldere blauwe hemel zonder direct zonlicht	12000 lux	92 W/m ²	4200 lux	32 W/m ²
Zonlicht met lichte bewolking (G)	65000 lux	590 W/m ²	18000 lux	160 W/m ²
Zonlicht met zware bewolking (G)	10000 lux	91 W/m ²	3500 lux	32 W/m ²

Tabel 2.2: Lichtintensiteit en stralingswaarden onder diverse weersomstandigheden.

¹ De letter “G” geeft een globale instraling aan van zowel direct als diffuus licht.

2.1.2. Ontvangen zonlicht in gebouwen

Wanneer men gebruik maakt van zonlicht dat via de ramen de gebouwen binnenstraalt, dient rekening te houden met de afnemende lichtintensiteiten en daarmee de te behalen vermogenscapaciteit. De volgende factoren kunnen deze aspecten beïnvloeden (die grotendeels afkomstig zijn van het wetenschappelijke artikel van Kan).

De grootte van de ramen bepaalt de hoeveelheid en de intensiteit van het (directe en het diffuse deel van) zonlicht dat binnenkomt. Een groot raam zorgt voor meer lichtinval en de intensiteit ervan is vlakbij de ramen groter.

De richting waarnaar de ramen zijn opgesteld, beïnvloedt de intensiteit van het zonlicht. Ramen die naar het noorden zijn gericht, hebben veelal te maken met diffuus licht dat binnenvalt, terwijl de andere richtingen ook direct zonlicht kunnen binnenlaten. Direct zonlicht heeft een grotere lichtintensiteit en dit is het geval voor ramen die (grotendeels) naar het zuiden zijn gericht.

Verder speelt het transparantiegehalte en de reflectie van de ramen een rol bij het doorlaten van zonlicht. Het transparantiegehalte wordt vooral beïnvloed door de soort ramen die gebruikt worden. Matglas laat hierbij nauwelijks direct zonlicht naar binnen ten opzichte van gewoon doorzichtig glas. Er dient hierbij benadrukt te worden dat de dikte van de ramen het transparantiegehalte (en reflectie) kan beïnvloeden. Enkelzijdige ramen zijn veel efficiënter in het doorlaten van licht dan dubbelzijdige ramen met een isolerende laag ertussen.

Tenslotte is het van belang dat men bij het behalen van een zo groot mogelijke vermogen zo dicht mogelijk bij het raam aanwezig is. In dit geval heeft men ook met een grotere lichtintensiteit te maken. Naarmate de afstand tot het raam groter wordt, zal de lichtintensiteit en het behaalde vermogen langzamerhand afnemen, die kwadratisch van aard lijkt te zijn.

Voor de situatie in Nederland is er in de volgende tabel een schatting te vinden van het ontvangen stralingsvermogen binnenshuis. Het betreffen gegevens bij gebruikmaking van een dubbelzijdige raam (met isolerende tussenlaag) die naar het zuiden is gericht. Het grote interval waarin deze waarden kunnen vallen, wordt veroorzaakt door verschillen in percentages van direct en diffuus licht in zonlicht die kunnen plaatsvinden.

Plaats binnenshuis	In de zomer
Vlak achter het raam	Globale instraling van 240 – 920 W/m ²
1 meter van het raam	Globale instraling van 160 – 900 W/m ²

Tabel 2.3: Ontvangen stralingswaarden binnenshuis.

In de winter kan als aanname genomen worden dat de waarden van de globale instraling binnenshuis circa drie tot vijf keer kleiner zijn ten opzichte van de waarden in de zomer, hoewel niet zeker is vast te stellen of deze factor ook binnenshuis geldt.

2.1.3. Kunstmatig licht (binnen gebouwen)

De gebruikte lichtbronnen in diverse gebouwen kunnen verschillen, omdat er verscheidene soorten lampen bestaan. Elk soort lamp heeft een ander werkingsprincipe en vertoont een eigen stralingsspectrum die veelal een ander verloop vertonen dan het zonnenspectrum. Met de spectra kan er nagegaan worden of de lichtfrequenties (en daarmee de verkregen potentiële energie) van bepaalde lampensoorten overeenkomen met die van verschillende typen zonnecellen.

Naar het werkingsprincipe gekeken, kan er onderscheid gemaakt worden in twee hoofdgroepen (volgens de Novem-brochure, 1996): gloeilampen en gasontladingslampen. Onder de eerste hoofdgroep vallen de conventionele gloeilampen en halogeenlampen. De tweede hoofdgroep bevat de lage- en hogedruk lampen, die elk weer onderverdeeld kunnen worden in kwik- en natriumlampen. Voor een onderverdeling van verschillende soorten lampen en een globale beschrijving ervan, met de diverse lichtspectra wordt er verwezen naar bijlage D.3.

2.1.4. Conclusie

Het direct ontvangen zonlicht in de open lucht levert de beste resultaten op, omdat hierbij de stralingswaarden het hoogst zijn. In de zomermaanden kunnen deze waarden bij licht bewolkte tot heldere dagen variëren van ongeveer 500 tot 1000 W/m², terwijl in de wintermaanden ongeveer vijf keer zo lage waarden verkregen worden. Binnenshuis in de zomermaanden liggen deze stralingswaarden iets lager die hierbij kan variëren van ongeveer 240 tot 920 W/m², wanneer men zich vlak achter het raam bevindt. Verder dient er bij gebruik van zonnecellen binnenshuis rekening gehouden te worden dat men zich bij een zo groot mogelijk raam bevindt die naar het zuiden is gericht, waar ook de meeste hoeveelheid direct zonlicht te ontvangen is.

Gebruik maken van kunstmatige verlichting dient bij het ontwerp geen prioriteit gegeven te worden, omdat de lichtspectra van de diverse soorten lampen te veel van elkaar verschillen. Gloeilampen, halogeenlampen en fluorescentielampen worden het meest binnenshuis gebruikt en hun spectra vertonen hierbij nauwe overeenkomsten met elkaar, maar deze lampen leveren vooral licht met een hoge golflengte, waardoor de potentiële energie te laag uit kan vallen voor energieproductie door zonnecellen. Daarnaast leveren lampen een (te) lage lichtintensiteit om voor een grote elektriciteitsproductie te zorgen.

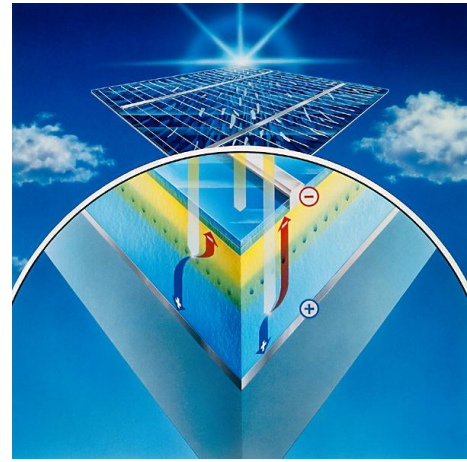
2.2. Analyse van zonnecellentechnologie

Om een beeld te krijgen van wat voor soort zonnecellen er bestaan, zal er eerst achtereenvolgens globaal gekeken worden naar het werkingsprincipe van zonnecellen, elektrische kenmerken ervan en hoe dergelijke zonnecellen opgebouwd zijn. Deze aspecten komen het grootste deel voor bij verschillende bestaande zonnecellen en bepaalde specifieke kenmerken worden in de sectie daarop beschreven (die grotendeels afkomstig zijn van de website “Photovoltaics” (U.S. Department of Energy, 2004)). Hierbij dient er benadrukt te worden dat de meeste kenmerken vooral betrekking hebben op zonnecellen die bestaan uit (diverse) halfgeleidermaterialen.

2.2.1. Algemene werking van zonnecellen

Zonnecellen werken volgens het foto-elektrische effect, waarbij alleen geabsorbeerd (zon)licht in een cel wordt omgezet in elektrische energie. Hierbij wordt er energie van fotonen, de zogenaamde energiepakketjes van licht die zich gedragen als deeltjes, overgebracht aan elektronen in de atomen van de cel. Hierdoor komen de elektronen van hun plaats en verplaatsen ze zich door het materiaal als een (kleine) elektrische stroom.

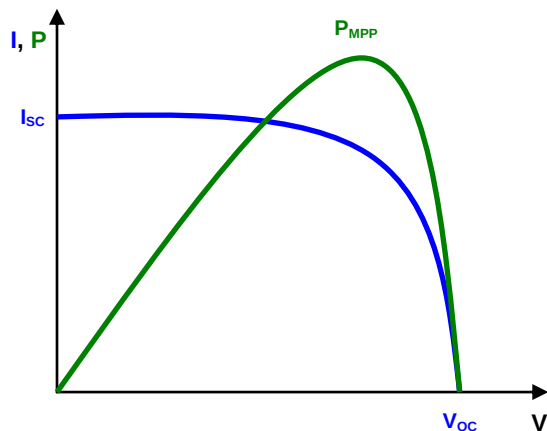
Om dit effect nader te verklaren in een zonnecel, wordt er gekeken naar de opbouw van een zonnecel die uit halfgeleidermaterialen bestaat, omdat dergelijke zonnecellen tegenwoordig het meest worden toegepast. De gebruikelijkste methode is de gebruikmaking van twee iets verschillende halfgeleidermaterialen, waarbij de ene een overvloed aan elektronen heeft (de zogenaamde n-type halfgeleider) en de ander een overvloed aan “gaten” (de zogenaamde p-type halfgeleider). Door deze twee lagen op elkaar te plaatsen, wordt er een elektrisch veld gecreëerd op de overgang ervan, die een p/n junctie wordt genoemd. Het elektrisch veld zorgt ervoor dat de elektronen zich van het n-type halfgeleider naar het p-type halfgeleider gaan bewegen, waarbij er aan de kant van de p-laag vlakbij de p/n junctie, elektronen zich ophopen en aan de n-laag ervan de “gaten”. Door aan de halfgeleidermaterialen metaalcontacten te plaatsen en hieraan een (elektrische) belasting, kan er een elektrische stroom gecreëerd worden, waarbij de elektronen naar het negatieve contact vloeien en de “gaten” naar het positieve contact. De absorptie van (zon)licht vindt vooral plaats vlakbij de p/n junctie, waar het elektrisch veld zich bevindt. In de figuur hiernaast is dit beter duidelijk gemaakt.



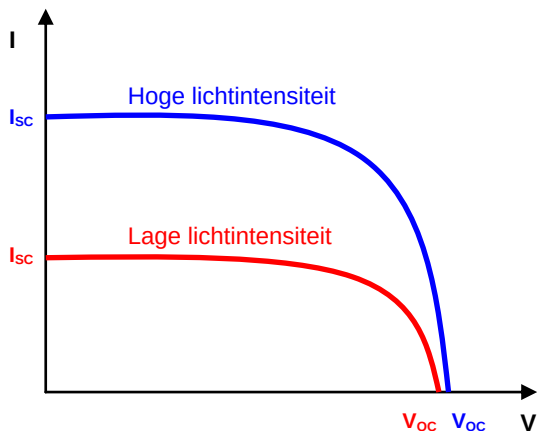
Figuur 2.3: Stroomgeleiding door een zonnecel.

2.2.2. Elektrische kenmerken van zonnecellen

Om de prestaties van zonnecellen vast te leggen worden er I–V curves opgesteld. Het punt op de curve dat correspondeert bij een spanning van 0 Volt stelt de kortsluitstroom I_{SC} voor (SC is een Engelse afkorting voor short circuit). Een andere punt op de curve dat correspondeert bij een stroom van 0 Ampère geeft de open klemspanning V_{OC} aan (OC is een Engelse afkorting voor open circuit). De (open) klemspanning wordt grotendeels bepaald door het materiaal waarvan de zonnecellen zijn gemaakt en nauwelijks door de lichtintensiteit van het (zon)licht. Daarentegen is de (kortsluit)stroom wel sterk afhankelijk van zowel de lichtintensiteit als het celoppervlak, want de stroomsterkte verloopt evenredig met de lichtintensiteit. Hoe hoger de lichtintensiteit en hoe groter het celoppervlak, hoe meer stroom er door de zonnecel gaat lopen.



Figuur 2.4: Een voorbeeld van een I–V curve en een vermogenscurve.



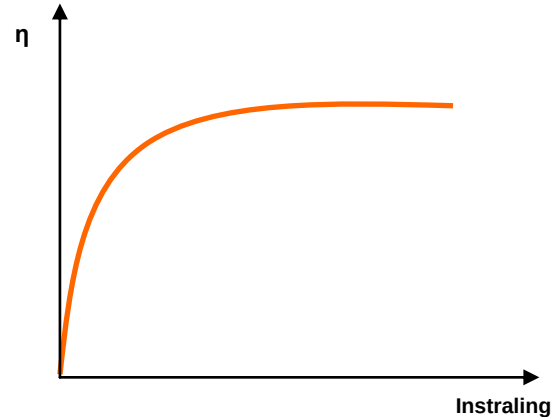
Figuur 2.5: I–V curves bij een hoge en een lage instraling (van de zon).

Verder speelt het elektrische vermogen (het product tussen spanning en stroom) nog een rol bij de prestaties van zonnecellen. Het punt op de I–V curve waarbij het product van spanning en stroom het grootst is, wordt aangeduid met het maximale vermogenspunt P_{MPP} (in het Engels Maximum Power Point en afgekort tot MPP). Dit vermogenspunt bepaalt de omzettingsefficiëntie η van een zonnecel, die het

maximale geproduceerde vermogen (van de zonnecel) relateert aan de hoeveelheid vermogen verkregen van de zon. Verder blijkt dit punt (en daarmee de omzettingsefficiëntie) temperatuurafhankelijk te zijn, waarbij hogere temperaturen voor een lagere vermogen (en efficiëntie) van de zonnecel zorgen. Het laatste is niet altijd het geval, waarbij een aantal dunne film zonnecellen juist meer vermogen leveren bij hogere temperaturen.

Ook blijken bij een aantal typen zonnecellen de omzettingsefficiëntie afhankelijk te zijn van de lichtintensiteit en daarmee het stralingsvermogen (afkomstig van een wetenschappelijk artikel van Reich e.a.). Tussen stralingsvermogens van circa 100 en 1000 W/m^2 varieert de efficiëntie nauwelijks en blijft nagenoeg constant voor vrijwel alle typen zonnecellen. Naarmate bepaalde zonnecellen echter worden bestraald met stralingswaarden beneden de 100 W/m^2 , vertonen ze logaritmisch gedrag (zie figuur 2.6). In situaties binnenshuis kunnen deze waarden nog lager uitvallen en dit wordt veroorzaakt door:

- lagere lichtintensiteiten binnenshuis ten opzichte van buitensituaties en
- verschillen in lightspectra tussen buiten en binnencondities.



Figuur 2.6: Een voorbeeld van de afhankelijkheid van de omzettingsefficiëntie met de instraling.

In bijlage E.1 is er een voorbeeld te vinden van de lichtafhankelijkheid van de efficiëntie van een zonnecel.

Daarnaast blijkt de werking en daarmee de omzettingsefficiëntie van zonnecellen beïnvloed te worden door de volgende factoren, die gerelateerd kunnen zijn aan (zon)licht en/of het materiaal waarvan de zonnecel is gemaakt (in bijlage E.2 wordt er uitvoeriger ingegaan op deze factoren):

- de golflengte van het (zon)licht;
- de recombinatie van elektronen en “gaten” in het materiaal;
- de te ervaren weerstand in het materiaal;
- de omgevingstemperatuur bij gebruik van de zonnecel en
- de mate van reflectie veroorzaakt door het materiaal.

2.2.3. Samenstelling van zonnecellen

Zonnecellen zijn niet samengesteld uit één gelijksoortig materiaal, maar zijn op een dergelijke manier samengesteld dat ze een elektrisch veld kunnen genereren, die vervolgens voor de stroomgeleiding kan zorgen. Daarnaast bevatten ze nog allerlei andere lagen die elk weer voor een bepaald doel gebruikt worden. Er zal eerst ingegaan worden op de samenstellingen die zonnecellen kunnen hebben, waarna de verschillende lagen volgen. De samenstelling is vrij globaal beschreven en er wordt alleen ingegaan op de meest gangbare vormen ervan.

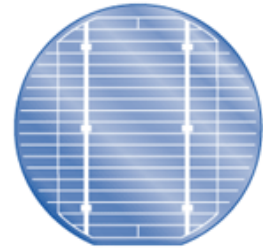
Zonnecellen kunnen op diverse manieren samengesteld worden en hierin kan er onderscheid gemaakt worden in twee hoofdgroepen: enkelvoudige en meervoudige juncties. De enkelvoudige juncties kunnen weer verdeeld worden in drie groepen, namelijk homogene, heterogene en pin/nip juncties. De meervoudige juncties zijn meestal opgebouwd uit een opeenstapeling van enkelvoudige juncties.

Deze juncties vormen de kern van de zonnecel en hierin wordt er (zon)licht opgevangen en een elektrisch veld gecreëerd, waardoor een stroom geproduceerd kan worden. Voor een uitvoerige behandeling van de diverse soorten juncties wordt er verder verwezen naar bijlage E.3.

Naast deze lagen worden er hierop elektrische contactpunten gelegd. Hiermee kan de geproduceerde stroom beschikbaar worden gesteld voor elektrisch gebruik.

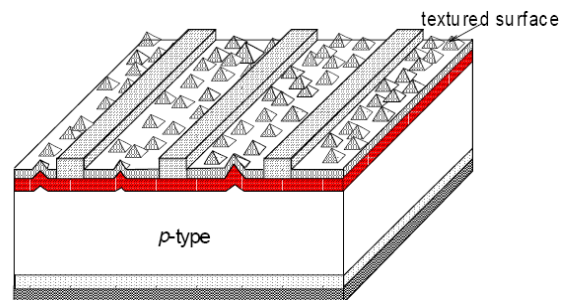
Aan de onderkant van de zonnecellen wordt er een elektrisch geleidende laag neergelegd, die meestal van metaal is zoals aluminium en molybdeen. Het licht hoeft niet verder te reizen dan de zonnecel en daarom is het voldoende om te volstaan met een niet-transparante geleidende laag.

Aan de bovenkant ervan kan er op twee manieren een elektrisch contact gerealiseerd worden. De eerste manier is het aanleggen van een (metaal)rooster van contactpunten. Hierbij dient er rekening gehouden te worden dat er zo min mogelijk bruikbare oppervlakte van de zonnecel bedekt wordt. Dit om te voorkomen dat er te weinig licht wordt geabsorbeerd. Daarnaast dient er voorkomen te worden dat het verlies veroorzaakt door de elektrische weerstand van het rooster zo klein mogelijk is, zodat er minder energie verloren gaat. Naast het (metaal)rooster van contactpunten kan er ook gebruik gemaakt worden van een transparante geleidende laag. Deze laag heeft een hoog transparantiegehalte, waardoor ze over de hele oppervlakte neergelegd kan worden. Toch hebben ze als nadeel dat ze niet even goed elektriciteit kunnen geleiden als metalen.



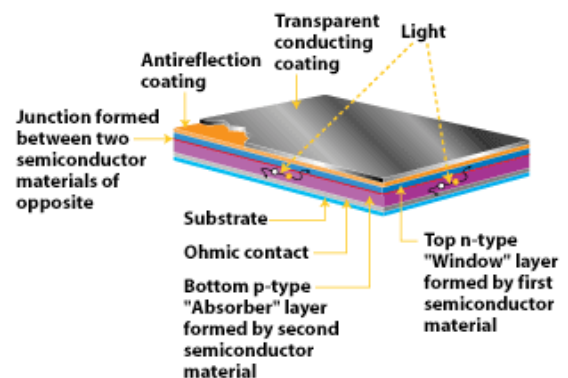
Figuur 2.7: Een voorbeeld van een rooster van contactpunten.

Tenslotte wordt er bovenop al deze lagen nog een antireflecterende laag geplaatst. Die heeft als doel om te voorkomen dat het (zon)licht wordt teruggekaatst. Hoewel reflectie niet volledig tegengegaan kan worden, kan deze laag dit probleem wel aanzienlijk verminderen, waardoor meer licht geabsorbeerd kan worden. Reflectie van (zon)licht kan op twee manieren tegengegaan worden. Ten eerste kan er gebruik gemaakt worden van een materiaallaag die (zon)licht makkelijker door heen laat. Een andere manier is een textuur aan te brengen op de omhullende materiaallaag door middel van chemisch etsen. Hiermee wordt dan een patroon van kegels en piramides op het oppervlak gecreëerd die ervoor zorgen dat licht die gereflecteerd is, alsnog gedirigeerd wordt naar de zonnecel toe. Hierdoor wordt de kans dat het licht alsnog wordt geabsorbeerd vergroot. Deze antireflecterende laag is in figuur 2.8 te zien.



Figuur 2.8: Een voorbeeld van een antireflecterende laag, verkregen door chemisch etsen.

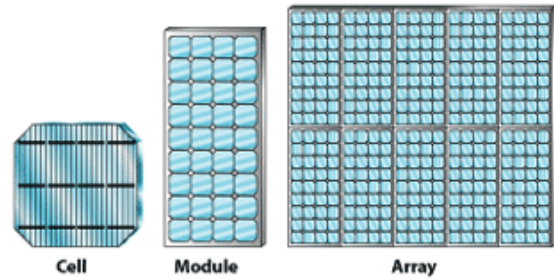
Om een beeld te geven hoe al deze lagen op elkaar liggen, is hiernaast in een figuur een voorbeeld gegeven van een samenstelling van een zonnecel met een eenvoudige en heterogene junctie.



Figuur 2.9: Een voorbeeld van een samenstelling van een zonnecel met een heterogene junctie.

2.2.4. Opbouw van zonne-energie systemen

Om effectief van zonne-energie gebruik te kunnen maken, is een enkele zonnecel niet voldoende. Wanneer een aantal afzonderlijke zonnecellen aan elkaar gekoppeld worden, wordt er een zonnemodule gecreëerd. Door een aantal hiervan weer met elkaar te verbinden, verkrijgt men zogenaamde zonnepanelen of arrays. Met een module of array kan er meer vermogen gecreëerd worden, waardoor toepassing van zonne-energie meer mogelijk gemaakt wordt.



Figuur 2.10: Diverse soorten configuraties met zonnecellen.

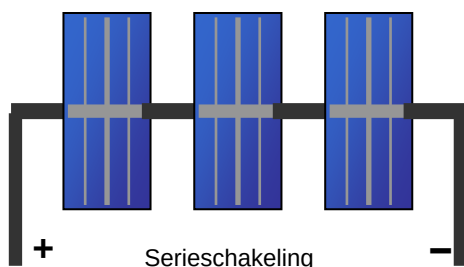
Individuele zonnemodules of arrays zijn ongeschikt voor direct gebruik als ze meteen zouden worden aangesloten op elektronische apparatuur en een goed werkend systeem bestaat dan ook uit deze modules of arrays gecombineerd met elektronicaonderdelen, die ook wel de “balance of system” (BOS) onderdelen genoemd worden (volgens de website van “Photovoltaic Fundamentals” (Florida Solar Energy Center, 2005)). Deze onderdelen dienen voor een zo effectief mogelijke overdracht van energie geproduceerd door zonnecellen, naar de op te laden (draagbare) elektronische producten. Een meer gedetailleerde omschrijving van de BOS onderdelen wordt elders verder op ingegaan.

2.2.5. Kenmerken van zonnemodules

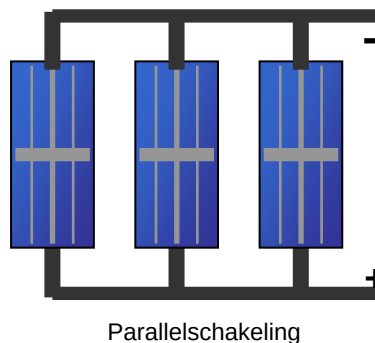
De koppeling van een aantal zonnecellen tot zonnemodules kan op twee verschillende manieren gebeuren, namelijk door ze in serie of parallel te schakelen (waarbij de informatie afkomstig is van een deel van het boek van Pearsall en Hill (Clean Electricity from Photovoltaics, 2001)). In een serieschakeling zijn de bovenste lagen van de zonnecellen verbonden met de onderste lagen ervan. Met een dergelijke schakeling kan er een hogere uitgangsspanning behaald worden bij eenzelfde stroomniveau. Er dient wel rekening gehouden te worden dat er bij de koppeling van de zonnecellen gebruik wordt gemaakt van gelijkwaardige cellen. Indien een van de cellen alleen onder een lagere stroom opereert, dan zal deze cel het stroomniveau bepalen van de hele module.

In geval van een parallelschakeling worden de bovenste lagen van de zonnecellen met elkaar verbonden en de onderste lagen met elkaar. Hiermee kan er een hoger stroomniveau gecreëerd worden bij eenzelfde spanningswaarde. Ook hier geldt dat er gelijkwaardige cellen gebruikt dienen te worden. Wanneer een van de cellen een lagere uitgangsspanning bij het maximale vermogenspunt weergeeft, zal dit het spanningsniveau bepalen van de module.

Uiteraard kunnen er hierbij combinaties gevormd worden tussen een serie- en parallelschakeling, waardoor de bovenstaande minpunten enigszins gereduceerd kunnen worden.

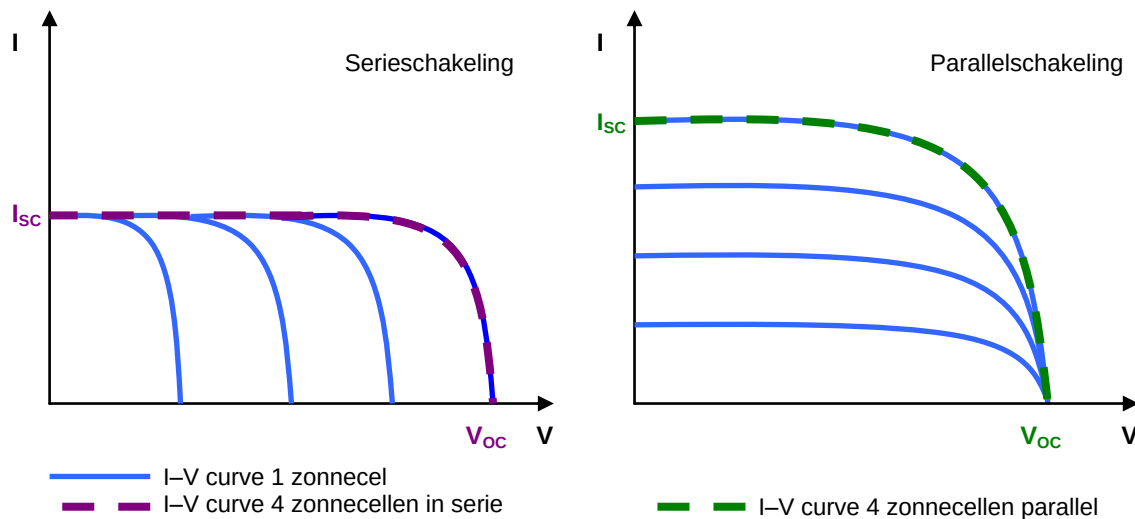


Figuur 2.11: De bovenste lagen zijn met de onderste lagen van de zonnecellen verbonden.



Figuur 2.12: De bovenste lagen aan een kant zijn met elkaar verbonden en dit geldt ook voor de onderste lagen.

De vorm van de I-V curves van modules verschillen nauwelijks van die van afzonderlijke zonnecellen en ook hier geldt de afhankelijkheid van de lichtintensiteit op het stroomniveau en de temperatuurafhankelijkheid van het geleverde vermogen. Het verschil met afzonderlijke zonnecellen is dat de open klemspanning en/of de kortsluitstroom hogere waarden vertonen. De figuur hieronder geeft dit duidelijker weer, waarbij elk van de zonnemodule (serie- of parallelgeschakeld) is opgebouwd uit vier afzonderlijke zonnecellen.



Figuur 2.13: Voorbeelden van de verkregen I-V curves van een zonnemodule.

Naast deze aspecten dient er opgemerkt te worden dat de omzettingsefficiëntie van een module niet gelijk is aan de individuele zonnecel en meestal ligt die een paar procentpunten lager. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door de volgende aspecten:

- de zonnecellen nemen niet de hele oppervlakte van de module in beslag, aangezien de ruimte tussen de afzonderlijke cellen wordt gebruikt voor de aanleg van verbindingen en om kortsluiting en opwarming te voorkomen;
- de verbindingen tussen de aparte zonnecellen zorgen voor energieverliezen;
- de zonnecellen zorgen samen voor meer warmteontwikkeling.

2.2.6. Samenvatting

Zonnecellen (bestaande uit halfgeleidermaterialen) werken volgens het foto-elektrische effect, waarbij (zon)licht elektronen in het halfgeleidermateriaal vrij kunnen maken. Door een stroomkring te creëren kan er een stroom gaan lopen die voor elektrische toepassingen gebruikt kan worden.

Om de elektriciteitsproductie van zonnecellen weer te geven, wordt er gebruik gemaakt van I-V curves, die de kenmerkende kortsluitstroom I_{SC} en open klemspanning V_{OC} aangeven. De hoogte van de kortsluitstroom is hierbij sterk afhankelijk van de lichtintensiteit, terwijl open klemspanning vooral wordt bepaald door het toegepaste halfgeleidermateriaal. Om optimaal gebruik te kunnen maken van de geproduceerde elektriciteit, wordt er gekeken naar het maximale vermogenspunt P_{MPP} van de zonnecellen. Hiermee wordt ook de omzettingsefficiëntie ervan bepaald, die bij sommige typen zonnecellen afhankelijk blijkt te zijn van de temperatuur en van de lichtintensiteit bij stralingswaarden lager dan 100 W/m^2 .

De samenstelling van zonnecellen (bestaande uit halfgeleidermaterialen) is opgebouwd uit een aantal op elkaar gestapelde lagen. De lagen waarin elektrische energie wordt gewonnen, creëren hierbij een elektrisch veld. Deze lagen kunnen enkelvoudig of meervoudig van aard zijn en toepassing ervan verschilt per type zonnecel. Naast deze lagen dienen er elektrisch geleidende lagen erop geplaatst te worden die de

stroom uit de zonnecel kan transporteren en uiteindelijk wordt er aan de bovenkant nog een antireflecterende laag geplaatst.

Om energie van de zonnecellen te kunnen gebruiken voor elektrische toepassingen, is er een heel systeem nodig bestaande uit een aantal aan elkaar gekoppelde zonnecellen tot een module of array en BOS onderdelen. De koppeling van de zonnecellen tot modules kan hierbij plaatsvinden in serie, parallel of een combinatie ervan. De verkregen zonnemodules vertonen net iets andere en betere eigenschappen dan afzonderlijke zonnecellen. De algehele efficiëntie van een zonnemodule heeft hierbij meestal een lagere waarde en de I–V curve vertoont hogere waarden voor de kortsluitstroom en/of de open klemspanning.

2.3. Analyse van typen zonnecellen

Wereldwijde onderzoeken hebben talloze typen zonnecellen opgeleverd, die elk weer unieke gunstige en ongunstige eigenschappen en/of aspecten vertonen. In deze sectie zullen er na de introductie van een aantal typen zonnecellen, ingegaan worden op algemene aspecten van een aantal groepen zonneceltypen (die grotendeels afkomstig zijn van de website “Photovoltaics”, (U.S. Department of Energy, 2004)).

De verscheidene typen zonnecellen onderscheiden zich door de gebruikte materiaalsoorten. De belangrijkste soorten zijn als volgt gecategoriseerd in drie hoofdgroepen: silicium zonnecellen, dunne film zonnecellen en overige typen zonnecellen.

Soort principe	Soort (materiaal) samenstelling	Zonneceltypen		
		Silicium (Si) zonnecellen	Dunne film zonnecellen	Overige typen zonnecellen
Halfgeleider-materialen	Enkelvoudig kristallijn	Monokristallijn silicium	Galliumarsenide (GaAs)	
	Veelvoudig kristallijn	Multikristallijn silicium	Cadmiumtelluride (CdTe)	
			Koperindium(gallium)-diselenide (CIS of CIGS)	
	Niet-kristallijn	Amorf silicium		
Kunststof-achtige materialen	Organisch			Organische substantie (met titaniumdioxide)
	Anorganisch			Polymeren halfgeleiders

Tabel 2.4: Overzicht van typen zonnecellen.

Legenda van kleuren

	Grotendeels in onderzoeksfase.
	In onderzoeksfase & in specifieke wetenschappelijke (ruimtevaart) projecten.
	In onderzoeksfase & op kleine schaal commerciële/industriële toepassingen.
	In onderzoeksfase & op grote schaal commerciële/industriële toepassingen.

Volgens de website van “Solar Cell Technologies” (Solarbuzz Inc., 2004) bedraagt het marktaandeel van de kristallijn silicium zonnecellen wereldwijd ongeveer 93%, terwijl de overige 7% van de markt wordt beheerst door dunne film zonnecellen (inclusief amorf Si en exclusief GaAs zonnecellen).

2.3.1. Algemene aspecten van kristallijn silicium zonnecellen

Silicium wordt tegenwoordig het meest toegepast in zonnecellen, aangezien het materiaal op aarde in ruime overvloed aanwezig is in de vorm van zand, die een chemische samenstelling heeft van siliciumdioxide, afgekort SiO₂. Verder is het productieproces om (puur) silicium te verkrijgen en die te

bewerken, voor een aantal decennia welbekend. Dit is vooral te danken aan de grote opkomst van de chipindustrie die ook veelal gebruik maakt van silicium.

Kristallijnen silicium zonnecellen zijn veelal samengesteld als homogene juncties. De p-laag wordt verkregen door silicium te doperen met boriumatomen en de n-laag met fosforatomen. Het elektrische contactpunt aan de bovenkant van de zonnecellen wordt gevormd door een rooster van aluminium contactpunten.

In het afgelopen decennium zijn er (volgens een tijdschriftartikel van Deb, 1998) ontwikkelingen gaande om in de bovenlaag van deze zonnecellen een textuur aan te brengen, zodat ze meer (zon)licht naar zich toe kunnen reflecteren. Ook wordt er getracht het rooster van contactpunten (aan de bovenkant ervan) in te bedden in de zonnecellen in plaats van erop te plaatsen, eveneens met het doel om meer licht te kunnen absorberen.

2.3.2. Algemene aspecten van dunne film zonnecellen (inclusief amorf silicium)

Dunne film zonnecellen zijn nog niet zo ver ontwikkeld als kristallijnen silicium zonnecellen en velen van hen verkeren nog in de beginfase bij het betreden van de zonnecellenmarkt. Ondanks jaren van onderzoeken zijn er al veelbelovende resultaten geboekt. Door de veelal gunstige eigenschappen ten opzichte van kristallijnen silicium zonnecellen, is men vrij positief over de nieuwe ontwikkelingen. Hoewel de omzettingsefficiëntie van deze zonnecellen nog altijd lager is dan kristallijnen silicium zonnecellen (behalve GaAs zonnecellen), worden ze wel langzamerhand beter.

Dergelijke zonnecellen kunnen samengesteld zijn volgens heterogene juncties en pin of nip juncties. De laag waarin licht geabsorbeerd wordt, geeft de naam van het zonneceltype weer. Veelal worden er ook meervoudige juncties gevormd, door meerdere juncties (heterogeen of pin/nip) op elkaar te plaatsen, zodat een betere omzettingsefficiëntie bereikt wordt. Verder wordt er voor deze zonnecellen een transparante geleidende laag gebruikt als bovenste contactpunt. Ook is het veelal mogelijk om de zonnecellen op verschillende soorten substraten te lamineren, zoals glas, kunststof of metaal.

GaAs zonnecellen verschillen van de overige dunne film typen door hun hoge absorptiegehalte van licht en daardoor een hoge omzettingsefficiëntie, die een waarde kan bereiken tot circa 30%. Verder zijn ze (nog) niet op commerciële/industriële schaal te vinden, aangezien ze zeer hoge materiaal- en productiekosten met zich meebrengen. De stof gallium is namelijk erg schaars en alleen verkrijgbaar als restproduct bij het smelten van andere metalen. Daardoor zijn ze alleen te vinden in toepassingen als grote geconcentreerde zonne-energiesystemen en in ruimtevaarttoepassingen.

2.3.3. Algemene aspecten van overige typen zonnecellen

In de laatste jaren is de belangstelling voor overige typen zonnecellen toegenomen, waarbij ze veelal nog in de onderzoeksfase verkeren. Het gebruik van (an)organische materialen voor zonnecellen is ontstaan doordat men op zoek is naar een beter alternatief voor de halfgeleider en metalen typen die veelal hogere productiekosten en duurdere productiemethoden meebrengen.

Deze zonnecellen hebben nog een vrij lage efficiëntie die nog onder de 10% ligt. Bij organische zonnecellen wordt het grootste probleem veroorzaakt door de stabiliteit ervan. Daarnaast wordt de levensduur ervan beperkt door gebruikmaking van de vloeibare substantie en men is dit aan het verhelpen door de vloeibare substantie te vervangen door een vaste geleidende materiaalsoort (afkomstig van het tijdschriftartikel “Organische zonnecellen” (Delft Integraal, 2004)).

Volgens een wetenschappelijk artikel van Ikink (Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie, 2004) vertonen polymeren zonnecellen het probleem dat ze een zeer lage stroom produceren, die niet bruikbaar is. Het probleem wordt veroorzaakt doordat er grotendeels elektronen en gaten aan elkaar verbonden blijven als er licht wordt geabsorbeerd. Men ziet door dit probleem toch een toekomst voor deze zonnecellen vanwege hun flexibele karakter en de mogelijkheid van grootschalige productie.

2.3.4. Conclusie

De zonnecellen die tegenwoordig het best in aanmerking komen voor toepassing in consumentenproducten, wordt gevormd door de kristallijn silicium zonnecellen. Er wordt hier al decennia het langst meegewerkt en productiemethoden zijn welbekend. Dunne film zonnecellen (met als uitzondering GaAs zonnecellen) komen echter wel langzamerhand in opkomst, maar vertonen nog een (te) lage efficiëntie. Wel hebben ze als gunstige eigenschap dat ze enigszins flexibel gemaakt kunnen worden. GaAs zonnecellen vormen een uitzondering op de dunne film zonnecellen, maar zijn niet geschikt voor toepassing in consumentenproducten. Ze brengen namelijk enorm hoge kosten met zich mee die bij grote productieschaal niet voldoende omlaag gebracht kunnen worden. Verder zijn de overige typen zonnecellen ook niet geschikt voor gebruik in consumentenproducten. Grotendeels wordt dit veroorzaakt doordat ze hiervoor nog niet ver genoeg zijn door ontwikkeld.

2.4. Analyse van elektronicaonderdelen

Zonnecellen (en in grotere systemen modules of arrays) kunnen beschouwd worden als een goede alternatieve energiebron, maar hebben weinig nut als ze zelfstandig werken. Hiervoor zijn er nog bepaalde onderdelen nodig die de energieoverdracht in goede banen kunnen leiden. Daarom zal er hier meer ingegaan worden op de benodigde elektronicaonderdelen oftewel de BOS onderdelen. Aangezien er ontworpen zal worden voor een draagbaar consumentenproduct, dient er rekening gehouden te worden dat de BOS onderdelen hierin kunnen passen. Ook wordt er alleen gekeken naar onderdelen die betrekking hebben op gelijkspanningen, vanwege de geproduceerde gelijkspanningen door zonnecellen en de benodigde gelijkspanningen in elektronische producten.

Algemene aandachtspunten bij alle BOS onderdelen zijn:

- Waterbestendigheid: er dient voorkomen te worden dat de diverse onderdelen in aanraking komen met water en andere soorten vloeistoffen.
- Stofbestendigheid: er dient voorkomen te worden dat (kleine) stof- en vuildeeltjes in de elektronica terechtkomt, veelal veroorzaakt door de wind.
- Temperatuurbestendigheid: sterke temperatuurschommelingen en (extreem) lage en hoge temperaturen dienen voorkomen te worden. In een aantal BOS onderdelen wordt hier nog verder op ingegaan.
- Schokbestendigheid: wisselende bewegingen en (variërende) trillingen van allerlei aard dienen opgevangen te kunnen worden.

2.4.1. Transport van elektrische energie

Een belangrijk aspect van de BOS onderdelen is de mogelijkheid om elektrische energie te transporteren van de zonnecellen naar de op te laden elektronische producten en de accu. Dit gebeurt tegenwoordig veelal door gebruik te maken van bekabeling. Een andere mogelijkheid is draadloos elektrische energie transporteren, maar dit bestaat (nog) niet of nauwelijks. Er zal hier een aantal aandachtspunten betreffende de effectiviteit en de levensduur van kabels aangegeven worden en voor een uitvoerige beschrijving hiervan wordt er verder verwezen naar bijlage F.1. De belangrijkste aandachtspunten zijn:

- de dikte en de lengte van kabels, waarbij maximaal nog aanvaardbare vermogensverliezen 3% bedraagt;
- gebruikersgerelateerde invloeden als beknellingen en oneigenlijk gebruik;
- de gebruikstemperatuur, die bij langdurig gebruik niet lager dan -10°C en hoger dan 60°C mag bedragen;
- UV straling bij langdurig blootstelling eraan.

2.4.2. Opslag van elektrische energie

Naast transport van elektrische energie kan deze geproduceerde energie ook opgeslagen worden. In het geval de energie van de zonnecellen niet direct wordt toegepast voor het opladen van elektronische producten, kunnen de zonnecellen gebruikt worden om deze extra geproduceerde energie op te slaan in een accu. Deze opslag kan vervolgens gebruikt worden voor het opladen van elektronische producten in donkere omgevingen of situaties waarin zonlicht niet of nauwelijks geschikt is voor het opwekken van elektriciteit. Aangezien accu's en oplaadbare batterijen de meest gebruikte opslagmogelijkheden zijn voor elektriciteitsopslag, zullen de aandachtspunten hierop gericht zijn. De belangrijkste hiervan zijn hieronder weergegeven, waarbij een uitvoerige analyse is terug te vinden in bijlage F.2:

- de gebruikstemperatuur van de accu die niet hoger mag zijn dan ongeveer 40°C à 50°C,
- de opbouw van druk in de accu door een hoge temperatuur,
- hoe diep de accu ontladen wordt en de rol die het geheugeneffect hierbij speelt,
- de hoogte van de oplaadstroom uitgedrukt in een capaciteitswaarde of C-waarde van de totale stroomcapaciteit van de accu. Een C-waarde lager dan 0,05 en hoger dan 1,0 dient voorkomen te worden.

2.4.3. Elektrische veiligheidsmechanismen

Laadregelaar (charge controller)

Het opladen van een accu of een elektronisch product kan problemen met zich meebrengen en om die te voorkomen dient er gebruik gemaakt te worden van een laadregelaar. Dit BOS onderdeel werkt aan de ene kant als een soort beveiligingsmechanisme tegen tal van problemen die kunnen optreden bij het op- of ontladen van accu's en elektronische producten. Aan de andere kant is het onderdeel ook in staat om voor een effectievere oplading te zorgen. Tegenwoordig zijn er laadregelaars beschikbaar in allerlei formaten en kleine formaten in de vorm van printplaten zijn ook mogelijk. Welke functies dit onderdeel precies bevat, zal hieronder kort aangegeven worden en in bijlage F.3 kan hierover meer informatie gevonden worden. De belangrijkste functies van een laadregelaar zijn:

- het blokkeren van de omgekeerde stroomrichting,
- hoge stromen tegenhouden,
- de accuspanning binnen een bepaald bereik houden bij zowel het opladen als ontladen,
- de temperatuur van de accu controleren,
- indien mogelijk een optimale spanning van de zonnecellen verkrijgen.

Gelijkspanningsomzetter (DC–DC omzetter)

De verkregen spanning van de zonnecellen is meestal niet optimaal om de accu of het op te laden elektronische product mee op te laden. Om dit meer compatibel te maken, wordt er gebruik gemaakt van een gelijkspanningsomzetter of DC–DC omzetter. Die heeft als functie om de spanningswaarde verkregen van de zonnecellen te verplaatsen naar een andere meer geschikte spanningswaarde voor het opladen van de accu of het elektronische product.

Ook kan er een DC–DC omzetter geplaatst worden tussen de accu en het op te laden elektronische product. Dit geval komt het meeste voor, aangezien er verschillende soorten elektronische producten bestaan die elk een bepaalde spanning vereisen, die verschilt van de accu.

Dergelijke omzetters zijn in staat om spanningen van een bepaalde waarde te verplaatsen naar elke willekeurige andere waarde, maar hoe groter het verschil, hoe groter ze van formaat zullen zijn. Voor relatief kleine spanningsomzettingen zijn er zelfs omzetters beschikbaar ter grootte van elektronische circuits.

2.4.4. Gebruikersterugkoppeling en interventie

Het laatste BOS onderdeel dat toegevoegd dient te worden, zijn gerelateerd aan het geven van terugkoppeling aan en de interventiemogelijkheden van de gebruiker. Ze dienen ervoor om informatie aan te bieden aan de gebruiker om die te informeren over de stand van zaken betreffende de accu. Het bieden van terugkoppeling en de mogelijke interventies zijn verder een ergonomisch aspect die afgesteld dient te worden voor de te ontwerpen doelgroep en/of marktsegment.

Wel dient er rekening gehouden te worden met de volgende ergonomische aspecten:

- aangeven of de zonnecellen wel of geen elektrische energie produceren;
- aangeven in welke stand de accu zich verkeert, namelijk aan het opladen, ontladen of bevindt die zich in de ruststand;
- aangeven hoe vol de accu is;
- de mogelijkheid om de gelijkspanning te bepalen voor de oplading van bepaalde elektronische producten;
- de mogelijkheid om te bepalen of de accu wel of niet opgeladen dient te worden.

2.4.5. Samenvatting

Voor het te ontwerpen product is het van belang dat er bij elektrisch energietransport, dat verkregen wordt door gebruik te maken van bedrading, rekening wordt gehouden met de dikte en de lengte van kabels, waardoor energieverliezen zo klein mogelijk worden gehouden. Een ander aandachtspunt is het voorkomen van oneigenlijk gebruik, die uiteindelijk schade kan aanrichten aan de kabels.

Bij toepassing van elektriciteitsopslag speelt de temperatuur een rol, aangezien bij het opladen en ontladen de accu warm kan worden en door plaatsing ervan in een gesloten ruimte kan deze temperatuur soms hoog oplopen. Daarnaast dient er gelet te worden op het proces van ontladen en opladen van de accu. Een te diep ontladen accu kan problemen vertonen wanneer er geprobeerd wordt die weer op te laden. En het oplaadproces dient in goede banen geleid te worden met laadcircuits, zodat de effectiviteit van de accu behouden blijft. Hiermee wordt er een begin ingeluid met de benodigde elektronische circuits voor het reguleren van de verkregen stroom en spanning van de zonnecellen. Een van deze circuits is de laadregelaar, die als een soort veiligheidsmechanisme dient om de geproduceerde energie in goede banen te leiden. Een ander elektronisch circuit wordt gevormd door DC–DC omzetters, die als doel hebben om de verkregen spanning naar een meer geschikte waarde te brengen voor het opladen van de accu of de consumentenelektronica.

Tenslotte dient er rekening gehouden te worden dat er terugkoppeling gegeven wordt aan de gebruiker over de werking van de zonnecellen en de accu, om gebruiksgemak te bevorderen.

2.5. Analyse van technische aspecten consumentenelektronica

Zonnecellen zijn beperkt in het opwekken van spanningen en het doorlaten van stroom. Door ze aan elkaar te koppelen kan er weliswaar meer vermogen opgewekt worden, maar hiervoor is meer ruimte vereist in de vorm van oppervlakte. Verder dient er rekening gehouden te worden dat voor de toepassing in een rugzak of een soortgelijk product de hoeveelheid ruimte hiervoor beperkt is, waardoor het geleverde vermogen hieraan te leiden heeft. Om dit probleem aan te pakken, dient er bepaald te worden welke elektronische producten in aanmerking kunnen komen voor oplading met zonnecellen. Hiervoor zal eerst een globaal beeld gecreëerd worden van de elektrische eigenschappen van de consumentenelektronica.

2.5.1. Kenmerken ten aanzien van voedingen

Consumentenelektronica gebruiken gelijkspanning en die wordt ofwel verkregen van de (ingebouwde) accu of batterijen ofwel van het elektriciteitsnet via een adapter die de wisselspanning van 240 Volt omzet in een passende gelijkspanningswaarde. De adapter van deze producten heeft meestal een ronde plug voor de aansluiting ervan met het product. Hiermee wordt dan een ingebouwde accu van energie voorzien als er niet gebruik wordt gemaakt van het elektriciteitsnet. Wat ook de laatste tijd langzamerhand opkomt, is een product opladen via de USB-ingang, zoals dat al mogelijk is onder bepaalde muzikspelers.

In de volgende tabel zijn er gegevens verschaft over de meest toegepaste voedingen. Er dient opgemerkt te worden dat de gegevens niet altijd naar behoren zijn en veelal schattingen en aannames betreffen. De benaming primaire batterijen duidt op batterijsoorten die alleen eenmalig gebruikt worden en niet opgeladen kunnen worden. Secundaire batterijen kunnen daarentegen wel meerdere keren gebruikt worden doordat ze oplaadbaar zijn. Ze hebben hierbij een standaard formaat van AAA of AA. Van de interne accu's worden de laatste tijd de lithium-ion (Li-ion), lithium-polymer (Li-Polymer) en de nikkel metaalhydride (NiMh) accu's het meest gebruikt.

Elektronisch product	Toegepaste voeding	Type accu of batterij	
		Meest voorkomend	Toepaste batterij
HDD speler	Adapter met interne accu	Li-ion accu	-
Flashspeler	Batterijen of samen met interne accu	AAA/AA penlight batterijen of samen met Li-ion accu	Primaire batterijen
Minidiskspeler	Batterijen of adapter met interne accu	AAA/AA penlight batterijen of NiMh accu	Primaire als secundaire batterijen
Cd-speler	Batterijen	AAA/AA penlight batterijen	Primaire batterijen
Digitale radio	Batterijen (soms adapteraansluiting)	AAA/AA penlight batterijen	Primaire batterijen
Dvd-speler	Adapter met interne accu	Li-ion accu	-
Digitale camera	Batterijen of adapter met interne accu	AA penlight batterijen of Li-ion accu	Secundaire batterijen
Digitale videocamera	Adapter met interne accu	Li-ion accu	-
Mobiele telefoon	Adapter met interne accu	Li-ion accu (soms Li-polymer)	-
Spelcomputers	Adapter met interne accu	Li-ion accu	-
Handheld PC's	Adapter met interne accu	Li-ion accu (soms Li-polymer)	-
Tablet PC & laptop	Adapter met interne accu	Li-ion accu	-

Tabel 2.5: Toegepaste voedingen in diverse draagbare elektronische producten.

De elektronische producten die nog veelal gebruik maken van losse penlight batterijen, worden tegenwoordig nog gevoed met primaire batterijsoorten. De laatste tijd geven fabrikanten ook aan om meer gebruik te maken van secundaire batterijen, waardoor de milieubelasting verminderd wordt.

2.5.2 Kenmerken ten aanzien van elektriciteitsverbruik

In de volgende tabel zijn er gegevens verschaft over de benodigde elektrische eigenschappen van de consumentenelektronica. De spanning en de stroomcapaciteit geven voornamelijk kenmerken van de gebruikte voedingen aan in de elektronische producten en niet zozeer de benodigde elektriciteit die deze producten gebruiken (waarbij er gebruik gemaakt is van de websites “Batteries.com” (Batteries.com Inc., 2005) en “EuroBatteries.com” (Eurobatteries Co. Ltd., 2005)). Met behulp van het benodigde vermogen en de gemiddelde gebruiksduur kan er een globaal beeld gecreëerd worden van hun elektriciteitsverbruik, wanneer ze gebruik maken van hun interne accu of batterijen (die veelal afkomstig zijn van de wetenschappelijke artikelen van Cremer e.a. (Fraunhofer ISI & CEPE, 2003) en Fung e.a., (Dalhousie University, 2002)).

Elektronisch product	Voeding		Elektriciteitsverbruik	
	Spanning (Volt)	Stroomcapaciteit (Ampère-uur)	Gebruiksvermogen (Watt)	Gemiddelde gebruiksduur (uur)
HDD speler	3,6	1,0	± 0,5 – 2	5 – 10
Flashspeler	1,5/3	1,1/2,8	± 0,1 – 1	50 – 75
Minidiskspeler	1,5/3	1,1/2,8	± 0,5 – 1,5	25 – 50
Cd-speler	1,5/3	1,1/2,8	± 0,5 – 1,5	50 – 100
Digitale radio	1,5/3	1,1/2,8	± 0,1 – 5	20 – 100
Dvd-speler	7,2	6,5	± 12 – 20	2 – 3
Digitale camera	2,4/3,6	2,0	± 1 – 5	2,5 – 3,5
Digitale videocamera	7,2	2,0	± 3 – 9	2 – 3
Mobiele telefoon	3,6	0,8	± 0,2 – 3	10 – 15
Spelcomputers	3,6	1,0	± 0,2 – 3	10 – 15
Handheld PC's	3,6	1,0	± 1 – 3	5 – 15
Tablet PC & laptop	14,4	3,5	± 18 – 30	2 – 3

Tabel 2.6: Elektrische kenmerken van voedingen en elektriciteitsverbruik van diverse draagbare elektronische producten.

Er valt op dat het vermogensverbruik van talloze producten vrij laag is. Dit kan verklaard worden doordat er voor draagbare consumentenelektronica veelal onderzoek wordt gedaan naar “power management”. Er wordt dan getracht het vermogensverbruik zo laag en efficiënt te houden, zodat men langer met het product kan omgaan, waarbij die kan variëren van tientallen uren tot een aantal weken (veelal bij constante actieve stand). Dit is niet altijd mogelijk, waardoor het gebruik ervan beperkt wordt tot een aantal uren, zoals het geval is met HDD spelers, dvd-spelers, digitale camera's en videocamera's, tablet pc's en laptops.

2.5.3. Conclusie

Er is gebleken dat er een onderscheid is te vinden in de diverse consumentenelektronica. Producten die weinig energie gebruiken tot circa 3 Watt, werken met penlight batterijen of interne accu's als energiebron. Meer geavanceerde producten als HDD spelers, mobiele telefoons, spelcomputers en PDA's hebben veelal een interne accu. Verder blijken ze door hun lage energieverbruik vrij lang gebruikt te kunnen worden, die enerzijds verklaard kan worden door de eenvoudige functionaliteit en anderzijds door toepassing van “power management”. De producten die meer energie gebruiken dan 3 Watt bevatten een interne accu die opgeladen wordt met een bijgeleverde adapter, veelal met een ronde plug. De toegepaste accu is meestal tegenwoordig van het type Li-ion, vanwege de lichte massa ervan.

2.6. Technische ontwerpoverwegingen

Veelal worden ontwerpkeuzes pas na het programma van eisen en wensen geformuleerd en overwogen, maar omdat dit voor een te open en ruim programma van eisen en wensen zorgt, worden er een aantal overwegingen hier vooraf gemaakt. Het betreffen voornamelijk overwegingen op het gebied van de technische aspecten van het ontwerp, waarbij de realiseerbaarheid van groot belang is.

Voor de elektriciteitsproductie zal er gebruik gemaakt worden van zonnecellen die al op industrieel en/of commercieel gebied verkrijgbaar zijn. Hiernaast zal er ook een accu ingebouwd worden, die extra elektrische energie kan opslaan voor het geval er geen elektronisch product wordt opgeladen. Dit zorgt voor een extra mogelijkheid om producten op te laden als de verlichtingscondities erg laag en waarbij de energieproductie door zonnecellen niet bruikbaar zijn. Hierdoor wordt er meer efficiënter omgegaan met de energieproductie van zonnecellen.

Door toevoeging van een accu worden er wel meer veiligheidseisen gesteld aan het technische ontwerp. Zo dienen er veiligheidsmaatregelen getroffen te worden om niet alleen het opladen van elektronische producten, maar ook de accu te beschermen van ongewenste situaties. Hierbij zal er meer gebruik gemaakt worden van elektronische circuits als laadregelaars en omzetters.

Verder dient er bepaald te worden voor welke elektronische producten er opgeladen dient te worden. Er zal getracht worden om alleen elektronische producten op te laden die een interne accu en een ronde aansluitmogelijkheid aan het product bezitten. Hierbij vallen de producten die werken op (voornamelijk primaire) penlight batterijen af, omdat ze meestal geen aansluitmogelijkheid bezitten. Hierbij dient er benadrukt te worden dat de interne accu van de elektronische producten voornamelijk van het type NiMh of Li-ion zijn.

Van de muzikspelers komen de HDD spelers hierbij goed van pas en wellicht kunnen er hierbij nog flashspelers en minidiskspelers aan toegevoegd worden, mits ze aan de eerder gestelde voorwaarden voldoen. Van de beeldopname apparatuur en de audiovisuele spelers zal er alleen gericht worden op digitale camera's van de standaard en compacte categorieën met een interne accu. Deze camera's hebben een vrij laag vermogensverbruik en zijn geschikt voor oplading met zonnecellen. De overige digitale camera's, digitale videocamera's en de dvd-spelers zijn door hun vrijwel hoge spannings- en vermogensverbruik niet geschikt en worden hier weggelaten. Voor de telecommunicatie en spelvermakende apparatuur zijn zonnecellen alleen geschikt voor mobiele telefoons en van de multifunctionele informatieverwerkingsapparatuur zal er alleen gericht worden op handheld computers.

De elektrische eisen die hieraan verder gesteld worden aan zonnemodules zijn de mogelijkheden om probleemloos producten tot een spanning van 3,6 Volt en een gebruiksvermogen van circa 3 Watt op te laden. Hierbij dient een stroom geproduceerd te worden die een waarde heeft van één keer de laagst gevonden stroomcapaciteit uit de diverse elektronische producten. In dit geval betreft het de stroomcapaciteit van mobiele telefoons met een waarde van 0,8 Ampère-uur. Dus de geproduceerde stroom bedraagt circa maximaal 0,8 Ampère. Er is gekozen voor deze maximale waarde, omdat er hiermee voorkomen wordt dat bepaalde elektronische producten met een lage stroomcapaciteit te snel en met een te hoge stroomsterkte opgeladen worden, waarbij er gevaarlijke situaties kunnen ontstaan.





3. Programma van eisen en wensen

Voordat er daadwerkelijk ideeën en ontwerpen opgesteld kunnen worden, dient er eerst een lijst gemaakt te worden van eisen en eventuele wensen die het product dient te voldoen. Hiermee wordt er een ontwerpkader opgegeven waardoor een compleet beeld gevormd wordt van alle aspecten die het ontwerp dient te bevatten. Hoewel de lijst met grote zorg is samengesteld, kan niet met absolute zekerheid vastgesteld worden dat die compleet en betrouwbaar is. Er dient hierbij rekening gehouden te worden dat een aantal eisen die kwantitatief van aard zijn, geschatte aannames van waarden kunnen bevatten. Daarnaast zijn er talloze eisen te vinden, waarvoor geen nauwgezette analyses vereist zijn en die ervoor dienen om de lijst te complementeren.

3.1. Ontwerpkader van te ontwerpen product

De eerste serie eisen en wensen hebben betrekking op het vorm te geven product zelf, namelijk een rugzak of een soortgelijk product. Er is hierbij aandacht besteed aan eisen die bepalen wat het product dient te bevatten en wat die dient uit te stralen. Ook zijn er gebruikersgerelateerde eisen omtrent ergonomie en veiligheid terug te vinden.

1). Algemene aspecten

- | | |
|-----|---|
| a). | De (buiten)afmetingen van de opbergruimte van het te ontwerpen product dienen maximaal 50 cm × 50 cm × 20 cm te zijn (hoogte × breedte × diepte). |
| b). | De totale massa inclusief de elektronische onderdelen, dient maximaal 1500 gram te zijn. |
| c). | Het te gebruiken materiaal is flexibel en buigzaam van aard met een minimale uitrekking van 10%. |
| d). | Het te gebruiken materiaal heeft een afdichtende werking tegen windstoten en (direct) zonlicht van buitenaf. |
| e). | Het te ontwerpen product dient minimaal 3 jaar mee te gaan. |

- | | |
|-----|--|
| a). | Het te ontwerpen product dient voldoende ruimte te bevatten voor het opbergen van allerhande goederen en dient daarnaast niet al te groot van formaat te zijn. |
| b). | Er dient voorkomen te worden dat het te ontwerpen product teveel bijdraagt aan de te dragen massa, wanneer er allerhande goederen meegedragen worden. |
| c). | Het te ontwerpen product dient zich aan te kunnen passen aan de afmetingen van de te dragen allerhande goederen. |
| d). | Dit dient ter bescherming van de te dragen allerhande goederen, die hier gevoelig zou kunnen zijn. |
| e). | Er dient te worden voldaan aan het gebruiksgemak van de gebruiker. |

2). Functionaliteitaspecten

- | | |
|-----|---|
| a). | Het te ontwerpen product dient allerhande goederen op te bergen, te dragen en te vervoeren. |
| b). | Het te ontwerpen product dient draagbaar te zijn met de hand(en) en om de schouders. |
| c). | Er dient efficiënt omgegaan te worden met het invullen van opbergruimtes en compartimenten in en om het product. |
| d). | Er dienen minimaal 2 afscheidbare grote opbergruimtes voor te komen. |
| e). | Er dienen minimaal 2 kleine en al dan niet open compartimenten voor te komen die zich in de grote opbergruimtes en/of om het product bevinden. |
| f). | Er dient minimaal 1 compartiment voor te komen voor elektronische producten. |
| g). | Het compartiment voor elektronische producten dient afmetingen te bevatten van minimaal 15 cm × 15 cm × 5 cm te zijn (hoogte × breedte × diepte). |
| h). | De verschillende grote opbergruimtes dienen van buitenaf afsluitbaar te zijn. |
| i). | De verschillende kleine compartimenten dienen al dan niet afsluitbaar te zijn. |

- a). Deze eis is afkomstig van de opdrachtomschrijving.
- b). Het te ontwerpen product dient op een ergonomische en minder belastende manier op te pakken en te dragen zijn.
- c). Hierdoor kunnen er meer (soorten) opbergmogelijkheden gecreëerd worden.
- d). Het te ontwerpen product dient een gebruiksvriendelijk opbergsysteem te bevatten.
- e). Hierdoor is het mogelijk om kleine goederen beter op te bergen, zonder dat ze bedolven worden onder grote goederen.
- f). Er dient ruimte te zijn voor het opbergen en opladen van elektronische producten, waarbij er goede aansluitingsmogelijkheden aanwezig zijn.
- g). De mee te nemen elektronische producten dienen erin te passen, waarbij een draagbare Cd-speler als maat is genomen (de afmetingen van een Cd zijn circa 12,5 cm × 12,5 cm (lengte × breedte)).
- h). Allerhande goederen dienen beschermd te worden van (weers)invloeden van buitenaf en ter voorkoming dat ze eruit vallen.
- i). De compartimenten zitten veelal ingeklemd en behoeven hierdoor meestal geen afsluiting.

3). Ergonomische aspecten

-
- a). De manier van dragen met een hand dient een gatgrootte te hebben van minimaal 12 cm × 6 cm (lengte × breedte).
-
- b). De manier van dragen om de schouders dient traploos verstelbaar te zijn in allerlei standen.
-
- c). De manier van dragen (zowel met de hand(en) als om de schouders) dient duidelijk en zichtbaar over te komen.
-
- d). Aan de voorkant van het product dienen de soort afsluitingen en al dan niet de (soort en/of hoeveelheid) compartimenten herkenbaar te zijn.
-

- a). Minstens 95% van de gebruikers dienen het te ontwerpen product op een ergonomische manier op te pakken en te dragen met een hand.
- b). Hierdoor kan de gebruiker de manier van dragen naar zijn of haar eigen wensen aanpassen.
- c). Hierdoor ontstaan er geen misstanden wanneer men telkens het te ontwerpen product gaat dragen.
- d). Dit is het standaardaanzicht dat veelal voorkomt bij het te ontwerpen product.

4). Veiligheidsaspecten

-
- a). Er dienen geen rondslingerende aanhangsels voor te komen die langer zijn dan 25 cm.
-
- b). Er dienen geen scherpe randen en allerlei soorten uitsteeksels voor te komen die een dikte hebben kleiner dan 0,0001 cm (= 0,1 mm).
-
- c). Beknellingen van ledematen en goederen dienen voorkomen te worden.
-
- d). Het materiaal dient temperaturen te kunnen verdragen tot circa 75°C.
-
- e). Het materiaal dient geen gevaar te leveren voor de volksgezondheid.
-

- a). Aanhangsels kunnen voor hinder en overlast zorgen door het constant aanstoten ervan.
- b). Er dient voorkomen te worden dat men zich verwondt.
- c). Er dient voorkomen te worden dat de gebruiker zich verwondt of dat de goederen beschadigd raken.
- d). Er dient voorkomen te worden dat er brand ontstaat en dat de gebruiker zich eraan brandt.
- e). Om te voorkomen dat de gebruiker en andere mensen die ermee in aanraking komen besmet of gewond raken.

5). Vormgevingsaspecten

-
- a). Het te ontwerpen product dient de associatiebepalingen na te komen.
-
- b). Kenmerken van de doelgroepcollage dienen terug te komen in het te ontwerpen product.
-
- c). Het product dient niet vele contrastvormingen te bevatten van verschillende kleuren.
-
- d). Het product dient niet met iets anders geassocieerd te worden dan waarvoor die ontworpen is.
-

- a). Het te ontwerpen product dient een bepaalde uitstraling te vertonen die niet afhankelijk is van de wijze van gebruik.
- b). Het te ontwerpen product dient aansluiting te vormen bij de opgestelde doelgroep.
- c). Er dient voorkomen te worden dat het te ontwerpen product te bontkleurig en druk van aard wordt en daardoor niet meer in de stijl van de doelgroep past.
- d). Het te ontwerpen product dient geproduceerd te worden voor het doel waarvoor die ontworpen is en dient geen uit de hand gelopen kunstzinnig of marketingproduct te zijn, die geen overeenkomsten vertoont met de doelgroepcollage.

6). Wensen ten aanzien van te ontwerpen product

-
- a). Het te ontwerpen product en het toegepaste materiaal is stof- en waterdicht.
 - b). Het toegepaste materiaal vertoont na veelvuldig gebruik geen rafels.
 - c). Het te ontworpen product bevat minimaal 1 los verwijderbare compartiment.
-

- a). Hierdoor worden te dragen allerhande goederen beschermd van invloeden van buitenaf.
- b). Er dient te worden voldaan aan het gebruiksgemak van de gebruiker.
- c). Het product dient een toegevoegde waarde te leveren aan de gebruiker.

3.2. Ontwerpkader technische aspecten van product

De tweede serie eisen en wensen gaat nader in op de toegevoegde functionaliteit die het te ontwerpen product heeft meegekregen, namelijk het opladen van elektronische producten. Eisen betreffende de zonnecellen en de aanvullende elektronicaonderdelen komen er aanbod. Naast gebruikersgerelateerde eisen zijn er ook een aantal omtrent de productie en vormgeving geformuleerd.

1). Algemene aspecten van elektriciteitsproductie

-
- a). Er dient gebruik gemaakt te worden van zonne-energie als elektriciteitsbron door middel van zonnecellen.
 - b). Er dient gebruik gemaakt te worden van commercieel verkrijgbare zonnecellen.
 - c). De beschikbare oppervlakte die het te ontwerpen product beschikbaar stelt voor de zonnecellen (inclusief omhulsel) is maximaal 900 cm² en hangt verder af van de uitgewerkte afmetingen van het te ontwerpen product.
 - d). De massa ervan bedraagt maximaal 15% van de totale massa, oftewel 225 gram.
 - e). De omzettingsefficiëntie bedraagt minimaal 12,5%.
 - f). De geleverde bruikbare spanning (V_{MPP}) van de zonnemodules bedraagt minimaal 3,6 Volt.
 - g). De geleverde bruikbare stroomcapaciteit van de zonnemodules bedraagt maximaal 0,8 Ampère-uur.
 - h). De geleverde bruikbare energie bedraagt minimaal $3,6 \times 0,8 \approx 2,9$ Wattuur.
-

- a). Deze eis is afkomstig van de opdrachtschrijving.
- b). Deze eis is afkomstig van de ontwerpoverwegingen.
- c). Het te ontwerpen product wordt beperkt door zijn eerder opgestelde afmetingen en dient hanteerbaar van formaat te zijn.
- d). De bijdrage aan de totale te dragen massa dient zo klein mogelijk te zijn om aan de gebruiksvriendelijkheid te kunnen voldoen.
- e). Er dient gebruik gemaakt te worden van hoogwaardige zonnecellen, zodat de benodigde oppervlakte enigszins beperkt kan blijven.
- f). Deze eis is afkomstig van de ontwerpoverwegingen.
- g). Deze eis is afkomstig van de ontwerpoverwegingen.
- h). Deze eis is afkomstig van de ontwerpoverwegingen.

2). Productietechnische aspecten

- a). De zonnecellen (inclusief omhulsel) dienen bevestigd te kunnen worden aan het materiaal van het te ontwerpen product.
- b). De bevestiging dient niet op een eenvoudige manier los te raken en/of losgemaakt te worden.
- c). De toegepaste productietechniek dient op grote productieschaal toegepast te kunnen worden.

- a). Deze eis is (impliciet) afkomstig van de opdrachtomschrijving.
- b). Om te voorkomen dat de zonnecellen eraf vallen en beschadigd raken.
- c). Hierdoor wordt de realiseerbaarheid ervan in de praktijk gehaald, waardoor het ook commercieel haalbaar wordt.

3). Algemene aspecten van elektronica

- a). De massa van alle elektronicaonderdelen bedraagt maximaal 15% van de totale massa, oftewel 225 gram.
- b). Er dient een mogelijkheid aanwezig te zijn voor elektriciteitsopslag.
- c). Er dient elektrische energietransport plaats te vinden van de zonnecellen naar het op te laden elektronische product(en) en de elektriciteitsopslag.
- d). De elektronische producten dienen aangesloten te kunnen worden aan zowel de zonnecellen als de elektriciteitsopslag.
- e). De afstand tussen de elektriciteitsproductie (zonnecellen) en de elektriciteitsafname (elektriciteitsopslag of elektronische producten) mag niet groter zijn dan 50 cm.
- f). Vermogensverliezen tijdens elektrische energietransport en de elektronicaonderdelen bedragen maximaal 3%.
- g). De elektriciteitsopslag met omringende onderdelen (elektronische circuits), heeft afmetingen die maximaal 20 cm × 10 cm × 5 cm bedragen (lengte × breedte × dikte).
- h). De elektriciteitsopslag dient een spanning te hebben die ongeveer nauwe overeenkomsten vertoont tussen die van zonnecellen en die van op te laden elektronische producten.
- i). De elektriciteitsopslag dient een stroomcapaciteit te bevatten van minimaal 1,5 Ampère-uur.
- j). Het opladen van de elektriciteitsopslag en de elektronische producten dient niet langer te duren dan 10 uur.
- k). De hoeveelheid aangesloten elektronische producten aan de zonnecellen is minimaal 1.
- l). De hoeveelheid aangesloten elektronische producten aan de elektriciteitsopslag is minimaal 1.
- m). De volgende elektronische producten dienen opgeladen te kunnen worden:
 - bepaalde muziekspelers met een interne accu tot een spanning van 3,6 Volt;
 - digitale camera's met een interne accu tot een spanning van 3,6 Volt;
 - mobiele telefoons met een interne accu tot een spanning van 3,6 Volt;
 - handheld computers met een interne accu tot een spanning van 3,6 Volt.

- a). De bijdrage aan de totale te dragen massa dient zo klein mogelijk te zijn om aan de gebruiksvriendelijkheid te kunnen voldoen.
- b). Deze eis is afkomstig van de ontwerpoverwegingen.
- c). Zonder transport is het niet mogelijk om de verkregen energie van de zonnecellen te kunnen gebruiken.
- d). Er dient te worden voldaan aan het gebruiksgemak van de gebruiker.
- e). Er dient voorkomen te worden dat er bij het transport teveel vermogen wordt verloren.
- f). Deze vermogensverliezen zijn nog tolereerbaar bij het doorlopen van het hele systeem.
- g). De elektriciteitsopslag dient te passen in het te ontwerpen product en dient hierbij niet al te veel ruimte in beslag te nemen dat bedoeld is voor het vullen van allerhande goederen.
- h). Er dient een meer compatibele overgang gevormd te worden, waarbij eventuele omzetting minder energie kost.
- i). Er dient te worden voldaan aan het gebruiksgemak van de gebruiker.

- j). Het opladen dient in een dag tijd te kunnen gebeuren, waarbij er vanuit gegaan wordt dat er dagelijks gemiddeld 12 uur licht is. Hierbij zal er onder dit gemiddelde gezeten worden, omdat dit gemiddelde niet dagelijks gehaald kan worden.
- k). Er dient een aansluitingsmogelijkheid te bestaan voor elektronische producten.
- l). Er dient een aansluitingsmogelijkheid te bestaan voor elektronische producten.
- m). Deze eis is afkomstig van de ontwerpoverwegingen.

4). Functionaliteitsaspecten

-
- a). Er dienen maatregelen genomen te worden wanneer de geproduceerde stroom van de zonnecellen een waarde vertoont lager dan 0,05C van de maximaal leverbare stroomsterkte van 800 milliampère, oftewel 40 milliampère.
-
- b). De zonnecellen dienen zowel binnen als buiten werkzaam te zijn (bij het opvangen van zonlicht).
-
- c). De zonnecellen dienen voornamelijk overdag werkzaam te zijn.
-
- d). Bij stroomsterktes lager dan 40 milliampère dient er gebruik gemaakt te kunnen worden van de elektriciteitsopslag.
-

- a). Een te lage stroomsterkte gebruiken voor het opladen is niet ideaal vanwege gebruiksvriendelijkheid en veiligheidsredenen.
- b). Hierdoor is men meer flexibeler in het gebruik van zonne-energie.
- c). Overdag zijn de verlichtingscondities beter dan 's nachts.
- d). Hierdoor is men in staat om te allen tijde beschikking te hebben over elektrische energie.

5). Ergonomische aspecten

-
- a). Er dient terugkoppeling gegeven te worden aan de gebruiker of de zonnecellen wel of geen elektrische energie produceren.
-
- b). Er dient terugkoppeling gegeven te worden aan de gebruiker over de laadstand van de accu (ontladen, opladen of ruststand).
-
- c). Er dient terugkoppeling gegeven te worden aan de gebruiker over de capaciteit van de elektriciteitsopslag.
-
- d). De elektriciteitsopslag dient duidelijke en heldere waarschuwingen en specificaties te bevatten over het gebruik ervan.
-

- a). Dit is bedoeld als gebruiksgemak, waardoor de gebruiker inzicht heeft of er genoeg licht op de zonnecellen valt voor elektriciteitsproductie.
- b). Dit is bedoeld als gebruiksgemak, zodat de gebruiker weet wat de accu uitvoert.
- c). Dit is bedoeld als gebruiksgemak, waardoor de gebruiker inzicht heeft over de hoeveelheid energie die de elektriciteitsopslag nog heeft.
- d). Dit is bedoeld als waarschuwing, waardoor de gebruiker inzicht kan verkrijgen over hoe er met de elektriciteitsopslag omgegaan dient te worden.

6). Veiligheidsaspecten

-
- a). De spanning van de zonnecellen dient compatibel gemaakt te kunnen worden voor het opladen van elektronische producten en de elektriciteitsopslag.
-
- b). Bij blootstelling aan de toegepaste materialen van zonnecellen dient er geen of nauwelijks gevaar op te leveren voor de volksgezondheid.
-
- c). Het opladen van elektronische producten dient op een automatisch gecontroleerde manier te gebeuren.
-
- d). De elektronicaonderdelen dienen zodanig opgeborgen te worden in het te ontwerpen product dat ze geen hinder vormen voor de gebruiker.
-
- e). Er dienen geen losstekende elektronicaonderdelen voor te komen.
-

f).	Beknellingen van de manier van elektrische energietransport en de elektriciteitsopslag dienen voorkomen te worden.
g).	Er dient een manier van warmteafvoer plaats te vinden voor zonnecellen en elektronicaonderdelen.
h).	De zonnecellen en de elektronicaonderdelen dienen afgeschermd te worden tegen stofdeeltjes, water en andere vloeibare substanties.
i).	De zonnecellen en de elektronicaonderdelen dienen afgeschermd en/of bestand te zijn tegen schokken/trillingen en windstoten.
j).	De elektronicaonderdelen dienen afgeschermd te worden tegen (direct) zonlicht.

- a). Hierdoor wordt het mogelijk om verschillende elektronische producten te kunnen opladen die verschillende eisen stellen aan spanning en vermogen.
- b). Om te voorkomen dat de gebruiker en andere mensen die ermee in aanraking komen besmet of gewond raken.
- c). Dit is bedoeld om de oplaadduur in goede banen te leiden en om te voorkomen dat er te lang wordt opgeladen (dat ernstige consequenties kan hebben voor de elektriciteitsopslag en/of het op te laden elektronische product).
- d). Er dient te worden voldaan aan het gebruiksgemak van de gebruiker.
- e). Om beschadigingen, beknellingen en oneigenlijk gebruik te voorkomen.
- f). Om beschadigingen hieraan te voorkomen.
- g). Er dient voorkomen te worden dat zonnecellen en elektronicaonderdelen oververhit en daardoor beschadigd raken.
- h). Er dient voorkomen te worden dat er kortsluiting ontstaat.
- i). Het te ontwerpen product wordt gebruikt onder verschillende bewegingsvormen in de buitenomgeving en dient hier aan te passen.
- j). Er dient voorkomen te worden dat er (over)verhitting en beschadigingen (door UV straling) ontstaan.

7). Vormgevingsaspecten

a).	De zonnecellen dienen passend te zijn bij de hele vormgeving van het product.
-----	---

- a). Er dient voorkomen te worden dat ze als een losstaand onderdeel worden gezien die er alleen dient voor de functionaliteit.

8). Wensen ten aanzien van de technische aspecten

a).	De vorm van de zonnecellen kan elke vorm aannemen dan alleen rechthoekige vormen.
b).	De zonnecellen zijn flexibel en buigzaam.
c).	De zonnecellen zijn verwijderbaar en vervangbaar.
d).	De elektriciteitsopslag is los verwijderbaar uit het te ontworpen product.
e).	De volgende elektronische producten kunnen opgeladen worden: ▪ spelcomputers met een interne accu tot een spanning van 3,6 Volt; ▪ batterijopladers (voor het opladen van secundaire batterijen) tot een spanning van 4,8 Volt.
f).	De gebruiker dient de mogelijkheid te hebben om de elektriciteitsopslag wel of niet op te laden.

- a). Hierdoor passen ze beter bij rondere vormen van het te ontwerpen product.
- b). Hierdoor dienen er geen extra maatregelen genomen te worden ten aanzien van de broosheid van de zonnecellen.
- c). In geval van defecten of beschadigingen kunnen ze vervangen worden met nieuwe exemplaren.
- d). Er dient te worden voldaan aan het gebruiksgemak van de gebruiker.
- e). Er dient te worden voldaan aan het gebruiksgemak van de gebruiker.
- f). Er dient te worden voldaan aan het gebruiksgemak van de gebruiker.





4. Vormgevingsontwerp van het product

Na het vastleggen van het ontwerpkader kan er een begin gemaakt worden met het ontwerp van het product. In deze sectie zal de vormgeving ervan nader uitgewerkt worden dat als volgt doorlopen zal worden. Eerst zullen er een aantal mogelijkheden geboden worden van oplossingen van bepaalde zaken van een tas, waarna het echte schetswerk aangedragen wordt. In het begin zullen er schetsen geleverd worden die het globale beeld van de tas dient vorm te geven. Wanneer de globale vorm bepaald is, zal er verder ingegaan worden op bepaalde detailleringen van de tas. Hierbij zal ook de toegepaste kleuren aan bod komen, die de tas een levendiger karakter bezorgt. Uiteindelijk wordt deze sectie afgesloten met een verdere invulling van de tas aan de binnenzijde gevolgd door een ontwerpconcept van de tas.

4.1. Vormgevingsmogelijkheden

Voordat er daadwerkelijk aan de vormgeving gedaan kan worden, zullen er eerst een aantal oplossingen gepresenteerd worden die denkbaar zijn bij het ontwerp. Hierbij zal er gebruik gemaakt worden van een overzicht, waarbij verschillende oplossingen gepresenteerd worden voor een bepaald aspect van het te ontwerpen product.

Voor een verwoording van de diverse oplossingen per ontwerpaspect wordt er verwezen naar bijlage G.

Ontwerpaspect	Oplossing 1	Oplossing 2	Oplossing 3	Oplossing 4
Wijze van dragen om de schouders				
Wijze van dragen met hand(en)				
Wijze van afsluiting				
Soort (kleine) compartiment				
Wijze van verstelbaarheid (bij dragen om de schouders)				

Tabel 4.1: Overzicht van oplossingen voor diverse ontwerpaspecten van de tas.

Het is nu nog niet met zekerheid vast te stellen voor welke oplossingen er verder ontworpen zal worden en de keuzes zullen gaandeweg het vormgevingsontwerp bepaald worden.

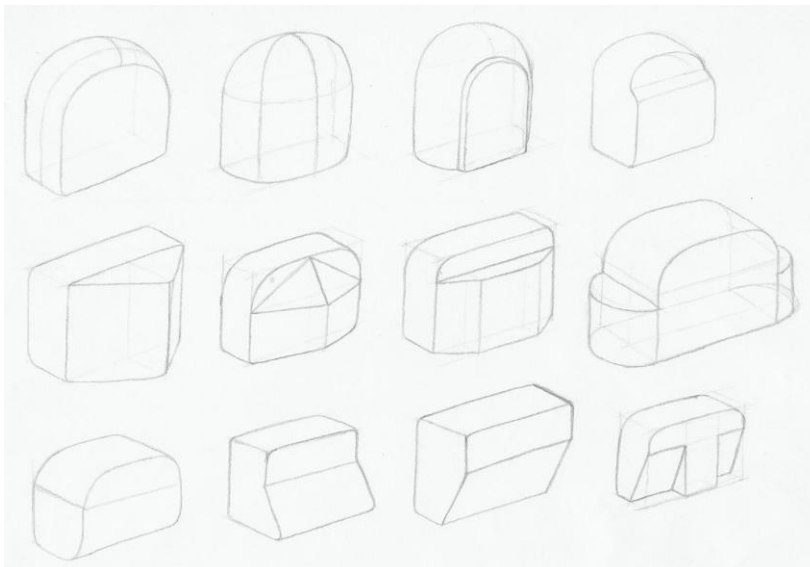
4.2. Globale vormschetsen van ontwerp

4.2.1. Eerste globale ontwerpschetsen

In het begin zijn er schetsen gemaakt van de verschillende vormen die de tas zou kunnen hebben. De vormen zijn veelal variaties van elkaar die de globale vorm van de tas dienen aan te geven, waarbij nog nauwelijks is gelet op compartimenten en afsluitingen ervan. Wel is er in de diversiteit van vormen te zien dat er geprobeerd is bepaalde vormen meer af te ronden. Dit is niet verwonderlijk, omdat uit het ontwerp van tassen is op te merken dat zulke afrondingen of ronde vormen vaak worden toegepast. Dankzij het gebruik van flexibel vezelachtig materiaal is dit mogelijk.



Figuur 4.1: Eerste ontwerpschetsen van de globale vorm van de tas.

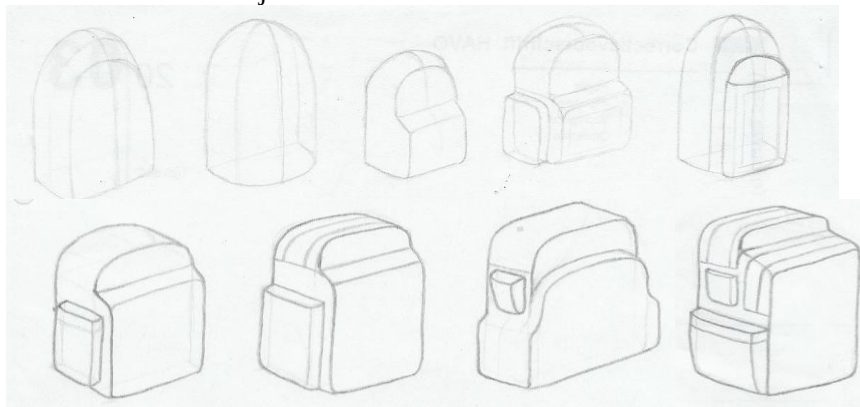


Figuur 4.2: Volgende groep ontwerpschetsen van de globale vorm van de tas.

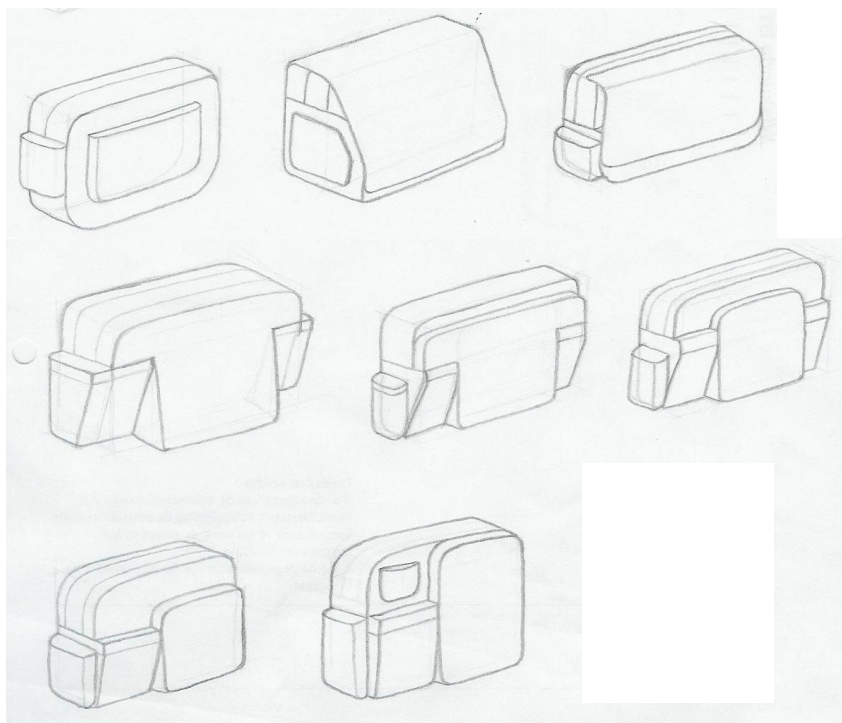
De volgende stap die is gezet, is een keuze te maken uit deze vormen. Hierbij is er een begin gemaakt met het maken van een keuze van de soort tas. Ontwerpen gebaseerd op een rugzak of een schoudertas zijn hier naar voren gehaald, omdat deze draagwijzen ervoor zorgen dat de tas groter uitgevoerd kan worden. Ze worden verder het meest geschikt geacht om zonnecellen mee te laten integreren en de benodigde elektronicaonderdelen erin te plaatsen. Dit komt door de ruimte die ze hieraan beschikbaar kunnen maken. Verder passen ze het beste bij de gekozen doelgroep, omdat dergelijke tassen het meest gebruikt worden voor werk en studie.

Het ontwerp van een draagtas (oplossing 3 van het eerste ontwerpaspect uit tabel 4.1) is hierbij niet erg geschikt, omdat deze tas meer gezien wordt als vrijetijdsartikel en door de wijze van dragen niet erg geschikt is voor het vervoeren van veel spullen. Ze komen hierbij over als een lichte tas voor het vervoer van weinig en vooral kleine spullen. Hierdoor zijn ze meestal klein opgezet, waardoor de beschikbare ruimte voor het toevoegen van zonnecellen en elektronicaonderdelen niet voldoende zal zijn.

In de volgende schetsen zijn er ontwerpen geleverd van een mogelijke schoudertas of een rugzak. Bij het maken van deze schetsen is er al een begin gemaakt met details als compartimenten en de toegepaste afsluitingen. Ook is er rekening gehouden met de eis dat er zonnecellen erop geplaatst dienen te worden door alvast ruimte vrij te houden hiervoor.



*Figuur 4.3:
Ontwerpschetsen van
rugzakken.*



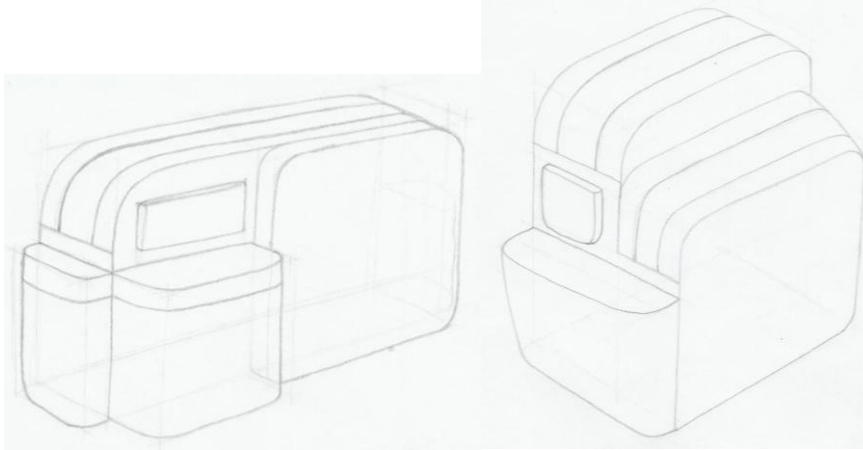
*Figuur 4.4:
Ontwerpschetsen van
schoudertassen.*

Om zo goed mogelijk gebruik te kunnen maken van zonlicht, zou het handig zijn om de zonnecellen op een schuin geordende oppervlak te plaatsen die naar boven gericht is. Met dit idee is er wel mee geëxperimenteerd, maar de resultaten zijn iets teleurstellend. De tassen beginnen dan meer op te vallen door de schuine vorm en lijken meer op grote uitsteeksels, die alleen dient om de zonnecellen zo efficiënt te laten werken. De vorm creëert hiermee ook meer ruimte om spullen op te bergen, maar schuine compartimenten zijn onhandig voor het plaatsen en opbergen van spullen.

Een andere mogelijkheid zou zijn om de zonnecellen op een horizontaal georiënteerde oppervlak te plaatsen. Hier is niet verder meegewerkt, omdat dit idee niet erg praktisch is. Het horizontale oppervlak dient hierbij groot gemaakt te worden, waardoor de tas er in de breedterichting gezien langwerpig wordt. De hele verschijningsvorm van de tas zou hierbij ook gaan veranderen, terwijl er als eis gesteld is dat de tas voor de gebruiker herkenbaar dient te zijn.

Om de verschijningsvorm van de tas (rugzak of schoudertas) herkenbaar te houden, zijn de zonnecellen op een verticaal georiënteerde vlak geplaatst. In de schetsen zijn hierbij de zonnecellen nog niet erin geschetst, omdat er in dit stadium nog niet met zekerheid is vast te stellen hoe de zonnecellen geplaatst dienen te worden.

In de diverse schetsen van rugzakken en schoudertassen blijkt steeds een bepaalde symmetrie terug te komen die van voren goed op te merken is. Symmetrie komt namelijk in het ontwerp van het uiterlijk van de tassen vaak voor. Bij het ontwerp van een schoudertas is deze symmetrie uiteindelijk doorbroken door de beschikbare ruimte voor de zonnecellen aan een kant te plaatsen, waarnaast ruimte is gecreëerd voor een compartiment. Er is gekozen voor een doorbreking hiervan, omdat het interessant lijkt om de tas een net iets andere verschijningsvorm te geven. Door de zonnecellen aan een kant te plaatsen, worden de afmetingen niet beperkt door andere zaken die aan weerszijden van de zonnecellen komen.



*Figuur 4.5:
Uiteindelijke
vormschetsen van een
schoudertas en een
rugzak.*

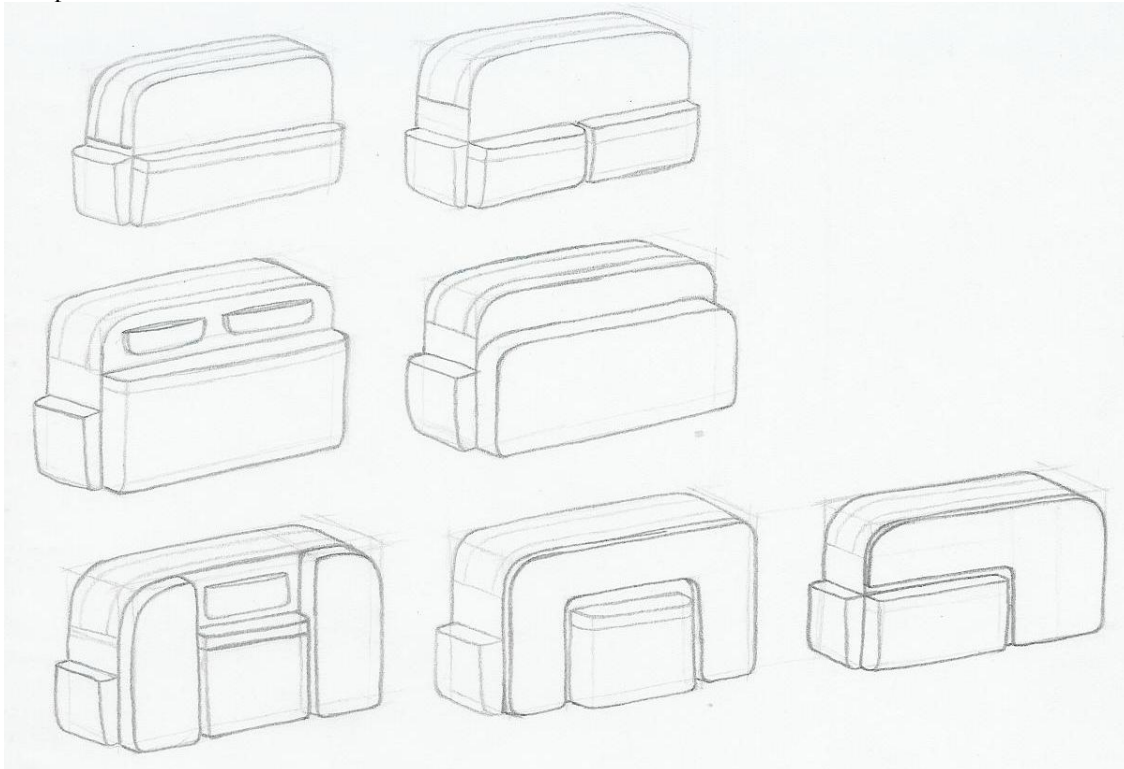
4.2.2. Keuze van globaal ontwerp

Uiteindelijk is er gekozen om verder te gaan met een ontwerp van een schoudertas. De keus hiervoor is gebaseerd op het idee dat een rugzak al een aantal keren is toegepast om zonnecellen erop te integreren. Een schoudertas daarentegen is een meer gewaagder ontwerp en is meer te vinden onder jongere mensen, waaronder ook de opgestelde doelgroep valt. Deze tas kenmerkt zich verder door een soort uitstraling te bieden van dat men het gebruikt voor school of werk en dan wordt er voornamelijk bedoeld met de groot gevormde tassen. Ze zijn dankzij hun manier van dragen geschikt om snel opgepakt en neergezet te worden, waarbij tijdens het dragen men eenvoudig bij de spullen terecht kan. Een rugzak echter kenmerkt zich veelal met reizen door de meestal zware bekleding. Daarnaast is het hiermee niet erg eenvoudig om spullen eruit te halen wanneer men onderweg is. Bovendien is er ook op gerekend dat de doelgroep waarschijnlijk de tas gebruikt om een laptop mee te vervoeren en dit is niet verwonderlijk, omdat er

studerende en werkende mensen zijn die ze nodig hebben. Een schoudertas is hiervoor een goede mogelijkheid om ze op te bergen, omdat ze hiervoor het meest worden toegepast.

Daarnaast is er bij het ontwerp van de schoudertas niet gebruik gemaakt van een dichtklappende flap, zoals dat vaak voorkomt. Er is hier niet voor gekozen, omdat in dit geval de zonnecellen op de flap komen te zitten, waaraan kabels vastzitten. Door het constant open en dicht klappen van de flap worden de kabels bij het omklappunt steeds gebogen. Daarnaast wordt de flap hierbij telkens tegen de tas geklapt, waardoor de zonnecellen beschadigd kunnen raken. In dit geval is de kans groter dat de zonnecellen en de kabels de minimale levensduur van de tas van drie jaar niet zullen halen (geformuleerd als eis).

Voordat er verder is ingegaan op de details van het ontwerp, zijn er nog een aantal andere configuraties bedacht en geschetst voor de schoudertas. Hierbij is er nagedacht over de plaatsing van de compartimenten en de zonnecellen.



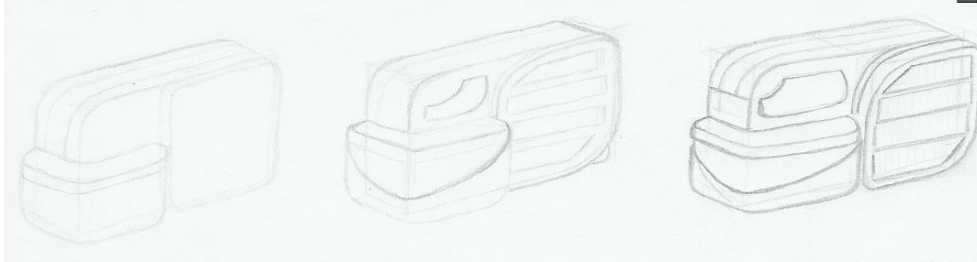
Figuur 4.6: Ontwerpschetsen van diverse configuraties van schoudertassen.

Deze ontwerpen gaven aan de ene kant veel ruimte aan de zonnecellen, waardoor de ruimte eromheen niet efficiënt kon worden ingevuld voor compartimenten. Aan de andere kant zijn er vooral in de laatste ontwerpen te merken dat de beschikbaar gestelde ruimte voor de zonnecellen niet voldoende is. Het idee om zonnecellen aan weerszijden van of om een compartiment te plaatsen levert ook beperkingen op aan de grootte van het compartiment.

Er is na deze schetssessie toch besloten om met het eerder opgestelde idee verder te gaan, omdat de plaatsing van de zonnecellen aan een kant minder beperkingen oplevert voor de plaatsing en de grootte van compartimenten ernaast. De globale vorm van de schoudertas staat nu vast en de uitwerking zal zich verder richten op detaillering ervan.

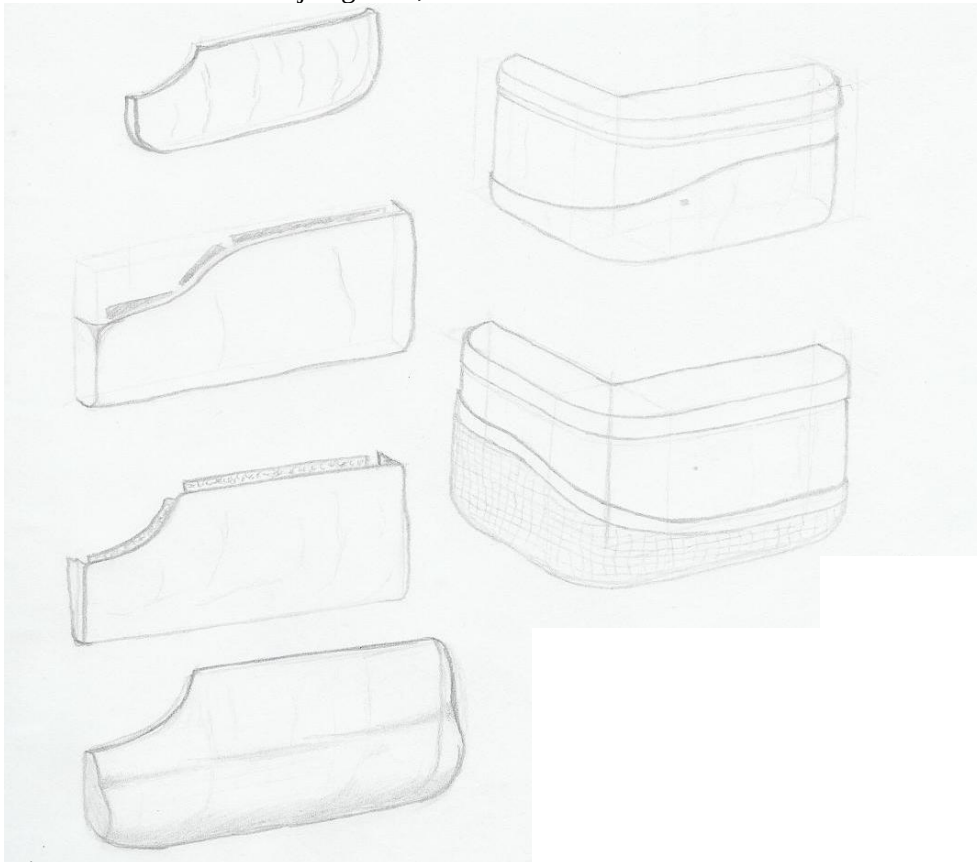
4.3. Detaillering vormschetsen van ontwerp

Het ontwerp van de schoudertas is verder gedetailleerd, waarbij niet alleen de globale vorm is aangepakt, maar ook is gelet op de plaats waarop de zonnemodule komt en de zichtbare compartimenten om de tas. Er dient hier opgemerkt te worden dat er in het vervolg onderdelen aan de tas te zien zullen zijn die zomaar naar voren gebracht lijken te zijn. Dit komt doordat er tegelijkertijd met de vormgeving en het technisch ontwerp gewerkt is. Er zal hier alleen beschreven worden wat de diverse geschetste onderdelen voorstellen en voor een verklaring hiervan wordt er verder verwezen naar het technisch ontwerp. In de eerste paar detailschetsen van de tas is er met iets nieuws naar voren gekomen door het voorste compartiment te laten doorverbinden met het linker compartiment.



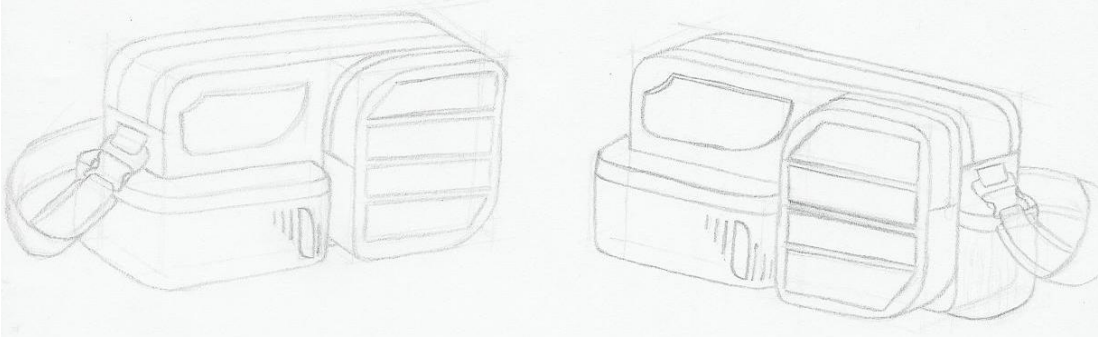
Figuur 4.7: Eerste detailschetsen van de schoudertas.

Voor een aantal compartimenten is hieronder al geprobeerd om ze meer vorm te geven, waarbij de plooien erin gezet zijn om de vezelachtige stof na te bootsen. De linker schetsen stellen de insteekhoes voor die linksboven aan de voorzijde gezien, komt te zitten aan de tas.



Figuur 4.8: Eerste detailschetsen van onderdelen.

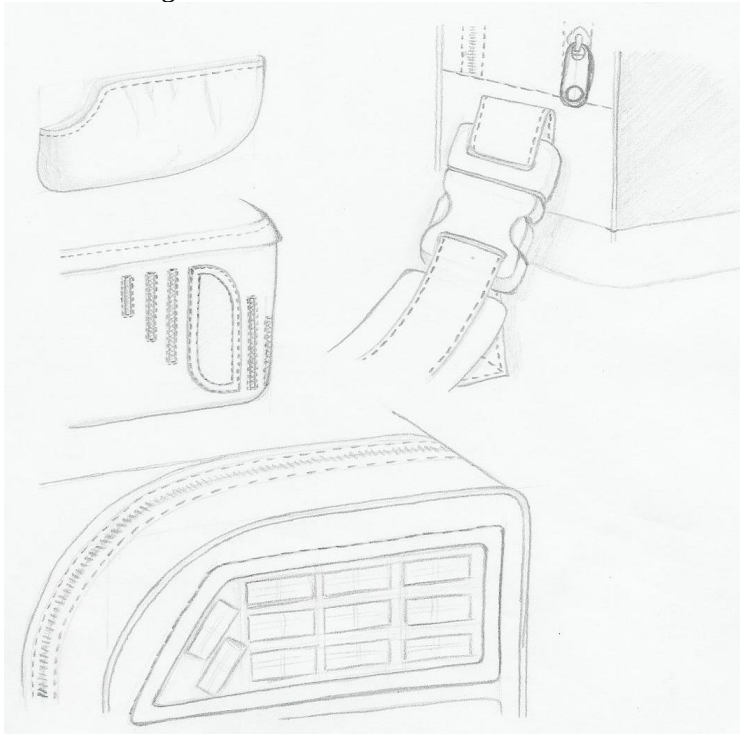
Hierna is er verder gegaan om de schoudertas verder uit te breiden, door een schouderband toe te voegen. Daarnaast is de tas nog van een ander gezichtspunt getekend, zodat er duidelijk gemaakt wordt dat er aan de rechterkant aan de tas een compartiment komt in de vorm van een net. De twee lijnen die boven langs de grote opbergruimte lopen en de lijn bovenlangs de plaats waarop de zonnemodule komt, stellen ritsafsluitingen voor.



Figuur 4.9: Tweede detailschetsen van de schoudertas.

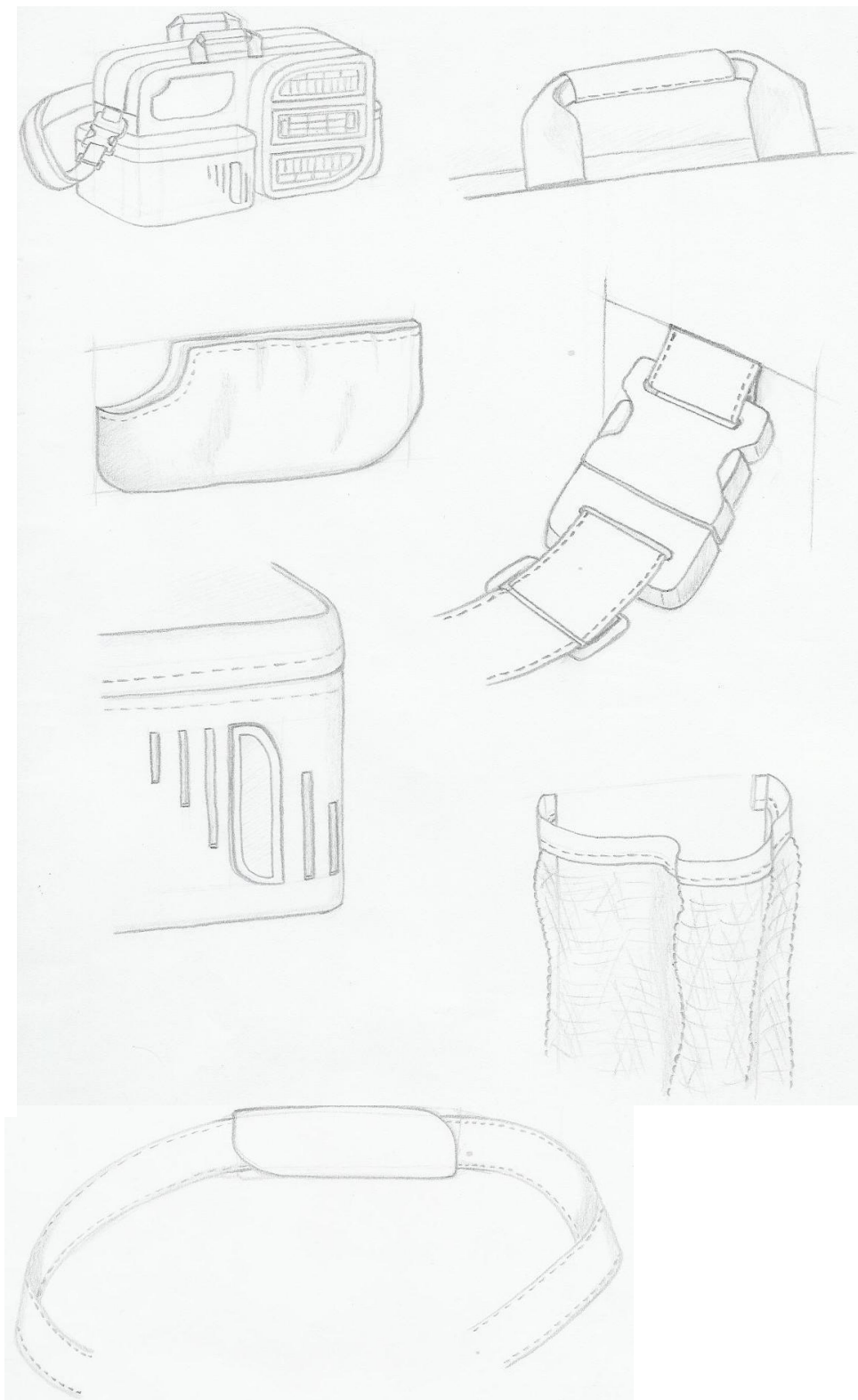
Van deze schetsen van de schoudertas is verder ingegaan op de volgende paar detailleringen (zie figuur 4.10). Vanaf linksboven gezien en met de klok mee zijn de volgende onderdelen geschetst:

- een insteekhoes die bedoeld is om als etui te dienen voor schrijfgerei;
- het linker klikmechanisme waarmee de schouderband vast komt te zitten aan de schoudertas en waarop ook een deel van de ritssluitingen te zien is van de grote opbergruimte;
- het bovenste deel van de zonnemodule met de afzonderlijke rechthoekige zonnecellen en waarop een deel van de ritssluiting is te zien;
- het rechterdeel van het onderste voorste compartiment van de tas, waarbij de afgeronde rechthoekige vorm duidt op doorzichtig plastic en de aan weerszijden geplaatste verticale stroken stellen ventilatiegaten voor.



Figuur 4.10: Tweede detailschetsen van onderdelen.

Tenslotte zijn de volgende laatste detailschetsen gemaakt, waarbij het definitieve ontwerp van de hele schoudertas is te zien met de toegevoegde handvaten er bovenop. Verder zijn er van een aantal onderdelen een detailtekening gemaakt en het spreekt voor zich wat ze voorstellen.

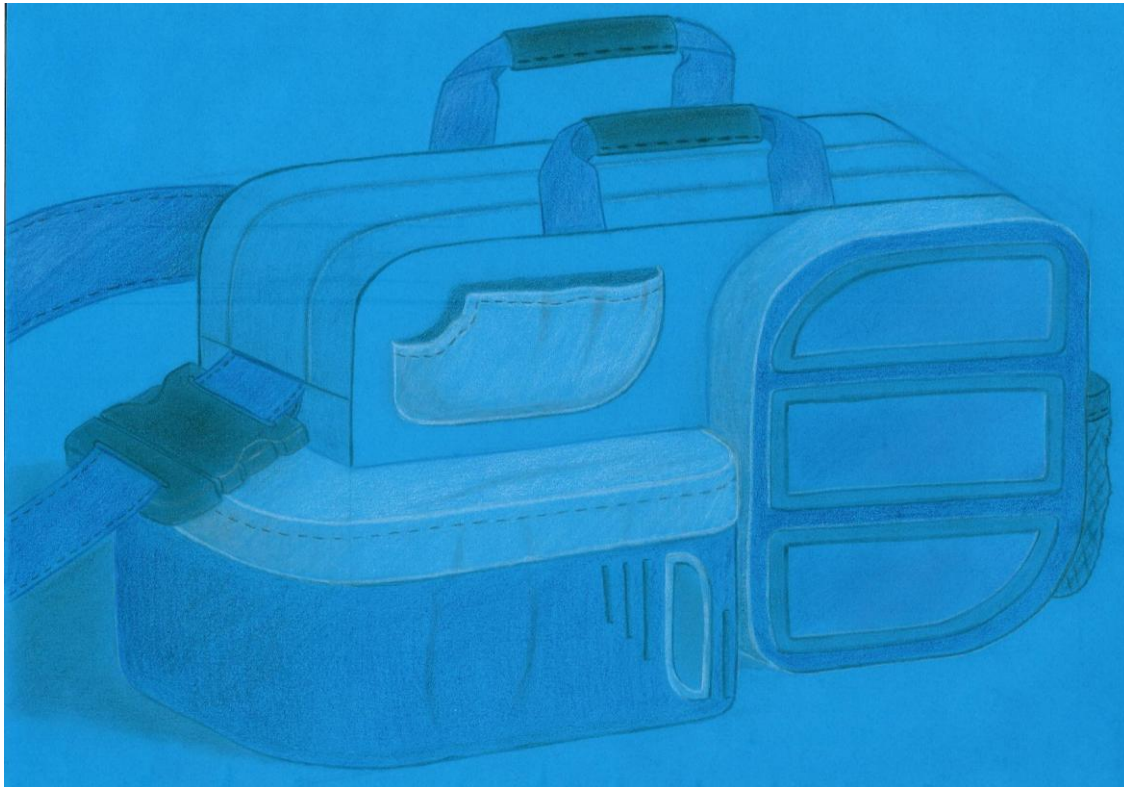


Figuur 4.11: Derde detailschetsen van schoudertas en onderdelen.

4.4. Kleurinvulling van ontwerp

Na de vorm van het product, zal er hier nog nader ingegaan worden op de kleuren die het ontwerp kan krijgen. Voor de kleur dient er hierbij rekening gehouden te worden dat het ontwerp niet al te zakelijk overkomt. Ook een te bont gekleurd ontwerp zal niet goed vallen, omdat dit niet zozeer zal passen bij de doelgroep. Eerst is er geprobeerd om een aantal kleurcombinaties op te stellen, door bepaalde onderdelen van de tas in te kleuren. De uitwerking hiervan is terug te vinden in bijlage H.

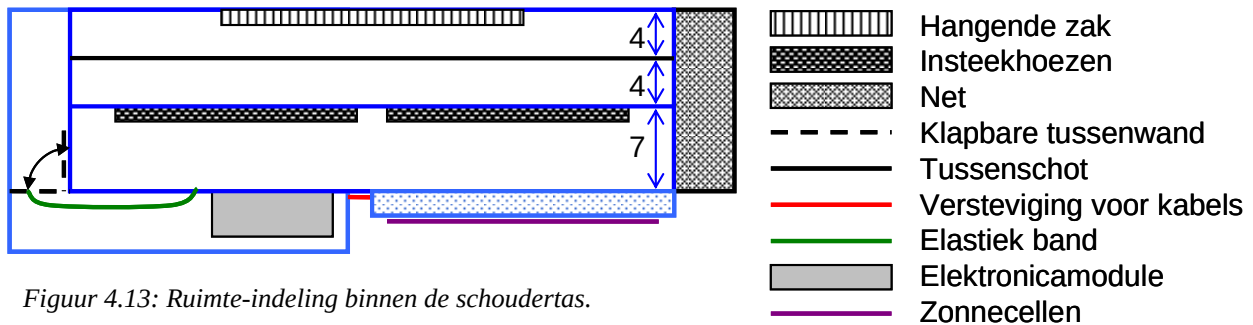
Uiteindelijk heeft het ontwerp een blauwe tint gekregen, die afgewisseld wordt met witte randen. Hiermee wordt er enige dynamiek in het kleurgebruik geïntroduceerd, dat bij het dynamische karakter hoort van de doelgroep. Er zijn in het ontwerp twee blauwe tinten terug te vinden, namelijk een lichtgekleurd blauw voor de grote opbergruimtes en een iets donkergekleurd blauw voor het voorste compartiment en de plaats waar de zonnemodule erop komt. Daarnaast heeft de kleine insteekhoes in de rechter bovenhoek een witte kleur gekregen. Hiermee krijgt de tas geen eentonige indruk en komen de verschillende onderdelen van de tas overzichtelijker over. De toegepaste zonnecellen zullen glanzend blauw van kleur zijn die veroorzaakt wordt door de antireflecterende laag en dit past goed bij de blauwe tinten van de tas. In de volgende kleuren tekening is het voorgaande afgebeeld, waarbij met kleurpotloden geprobeerd is om de vezelige structuur van de tas beter over te brengen.



Figuur 4.12: Product presentatietekening van schoudertas.

4.5. Ruimte-indeling van ontwerp

Het vormgevingsontwerp is grotendeels af en er dient nu nog ingegaan te worden op de invulling van de tas aan de binnenzijde. In figuur 4.13 (op de volgende pagina) is de bovenzijde afgebeeld van de tas, waarbij de indeling van opbergruimtes en compartimenten duidelijk is gemaakt (afmetingen binnen de grote opbergruimtes is hier aangegeven in centimeters).



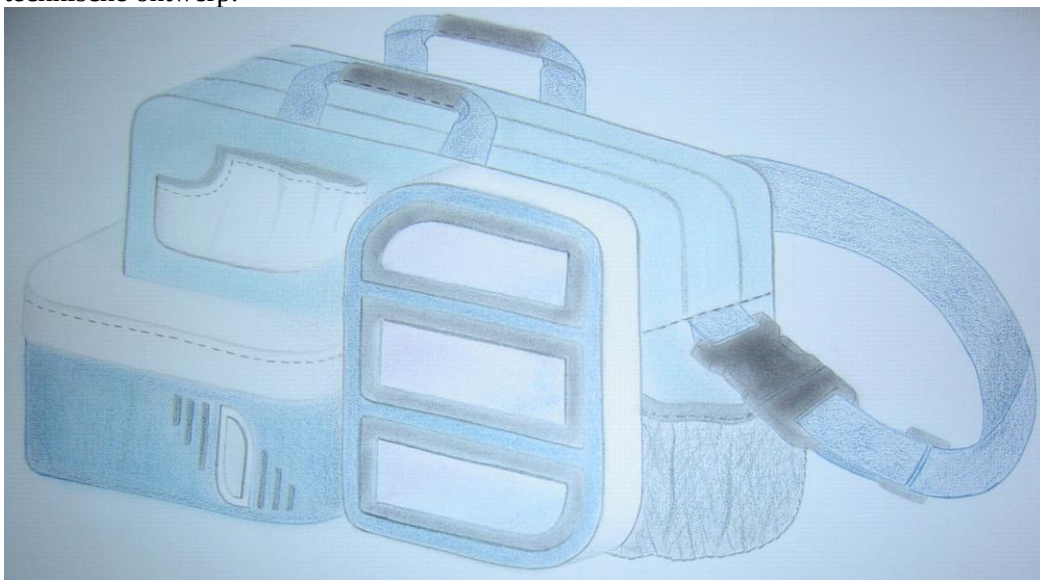
De zonnecellen komen bij de tas iets naar voren, waarbij de ruimte erachter alleen dient ter versterking van de zonnecellen en de bedrading. In eerste instantie was het de bedoeling om hierachter een extra compartiment te plaatsen, maar vanwege mogelijke grote belastingen tegen de zonnemodule is dit idee geschrapt. Hiernaast is er een dun (rood) strookje te vinden, die duidt op een kleine naar voren geplaatste versterking. Hierin zal de bedrading langsgaan naar het compartiment ernaast waar de elektronicamodule zich bevindt (dit module bevat de accu en de overige elektronicaonderdelen, waarover in het technische ontwerp nader wordt ingegaan).

In het betreffende compartiment bevindt zich ook een elastiek band om de elektronische producten vast te zetten. Dit elastiek band is aan een kant vastgemaakt aan een klapbare tussenwand. Hiermee kan het compartiment opgedeeld worden in twee delen. Er is voor de vastzetting van de producten voor een elastiek band gekozen, omdat het formaat van de diverse producten in afmetingen kan verschillen. Door gebruik te maken van een elastiek band kan er hier flexibel mee omgegaan worden.

Verder zijn er twee grote opbergruimtes te zien, waarbij de achterste (bovenste ruimte in figuur) een tussenschot bevat. Ook zijn er open insteekhoezen en een hangende zak in geplaatst voor kleine spullen. De hangende zak kan afgesloten worden met behulp van een ritssluiting.

4.6. Vormgevingsconcept van het product

Het uiteindelijke vormgevingsconcept van de tas is een ontwerp geworden van een schoudertas, waarbij zonnecellen in het ontwerp zijn geïntegreerd, zowel in vorm en kleur. Dit is duidelijk zichtbaar in de afgeronde hoeken van de zonnecellen. Voor de realisatie hiervan wordt er verder verwezen naar het technische ontwerp.



Figuur 4.14:
Uiteindelijke
ontwerp van
schoudertas.

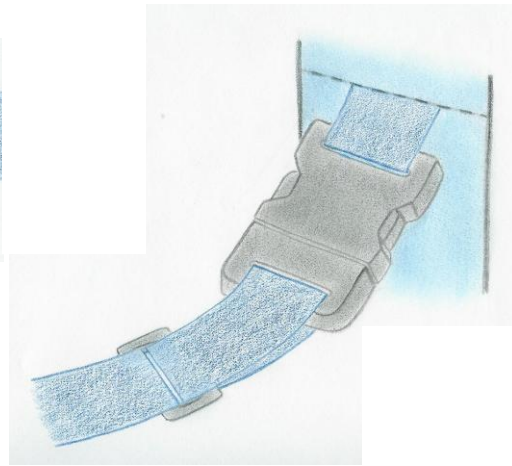


Figuur 4.15: Deel van de schouderband.

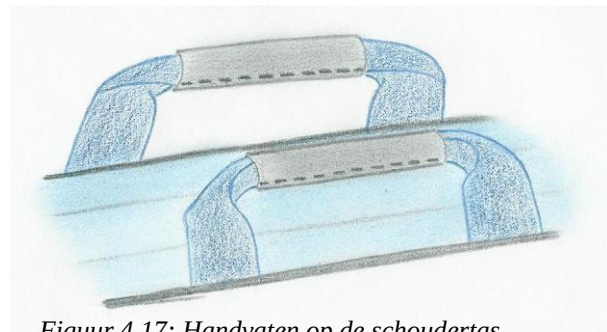
De tas kan om de schouders gedragen worden met de schouderband, die instelbaar is en afgehaald kan worden met de klikverbinding. In het midden van deze band bevindt zich nog een verdikking en die dient ervoor dat het dragen om de schouders comfortabel gaat, waardoor men minder last heeft bij langdurig dragen ervan.

Om oppakken van de tas te vergemakkelijken, zijn er handvaten bovenop de tas geplaatst die beide tegelijkertijd gebruikt worden. Op deze manier kan de tas op een evenwichtige manier opgepakt worden.

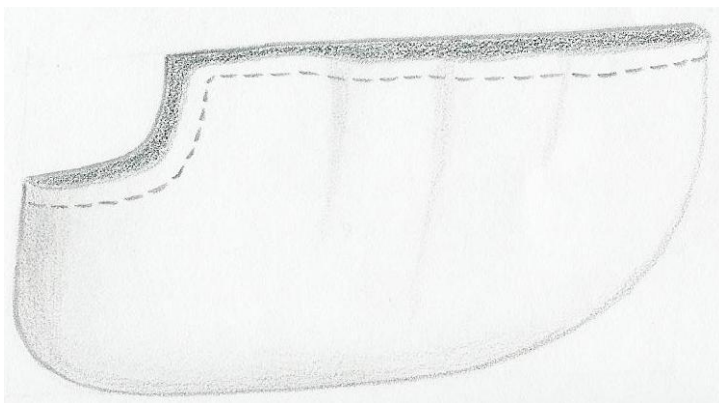
Verder is de tas voorzien van verschillende ruimtes voor het opbergen van spullen. Voor de grotere spullen wordt er gebruik gemaakt van de twee grote opbergruimtes, die afgesloten zijn met een ritssluiting. Hierin zijn er nog kleine compartimenten voor het opbergen van kleinere spullen. Aan de voorkant van de tas is rechts bovenin een insteekhoes te vinden die als etui kan fungeren voor schrijfgerei en die afgesloten wordt met klittenband (afgebeeld in figuur 4.18).



Figuur 4.16: Klikverbinding aan de schouderband.

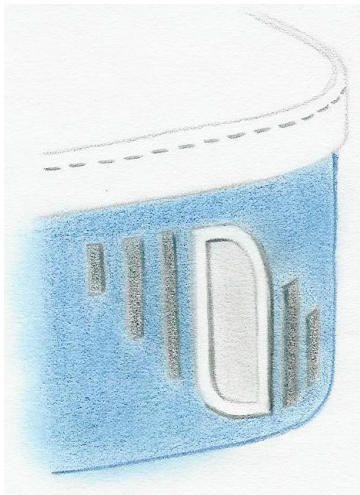


Figuur 4.17: Handvaten op de schoudertas.

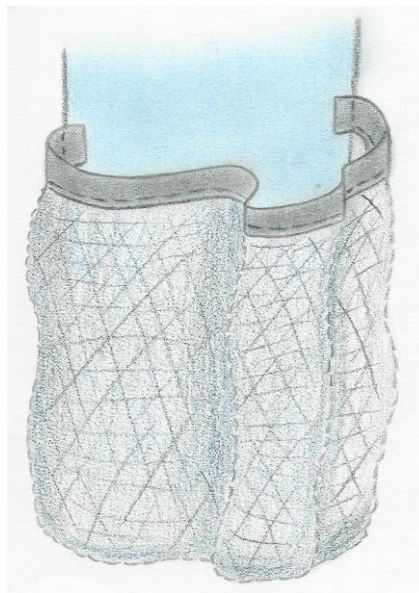


Figuur 4.18: Insteekhoes als etui.

Onder het etui is er een compartiment te vinden die van de zijkant naar de voorzijde loopt. Hierin zal de elektronikamodule zich bevinden en worden de elektronische producten geplaatst voor het opladen ervan met de daarnaast gelegen zonnemodule. Er is hiervoor gekozen, omdat het opbergen van producten in een grote ruimte achter de zonnemodule meestal onhandig is en hierbij kunnen er ergernissen optreden bij de plaatsing van de producten en het verbinden ervan met de elektronikamodule voor oplading. Daarnaast kan er door het transparante raampje naar de stand van het opladen gekeken worden (waarover later meer in de beschrijving van de *User Interface*). De aan weerszijden hiervan gelegen stroken dienen als een kleine ventilatierooster in geval de temperatuur in het compartiment hoog oplopen. Langs de bovenrand van het betreffende compartiment wordt er een ritssluiting toegepast die onder een klepje verborgen zit. Dit dient ervoor om de ritssluiting verborgen te houden, zodat men niet gauw het gevaar loopt dat iemand ongemerkt de sluiting wil openen. Ook dient het als een extra afdichting tegen (weers)invloeden. Tenslotte is er aan de rechterkant van de tas een netachtige insteekhoes geplaatst met een elastische band eraan, die gebruikt kan worden voor het plaatsen van een plastic drinkfles.



Figuur 4.19: Doorzichtig plastic rechts van onderste compartiment.



Figuur 4.20: Insteekhoes voor een drinkfles.





5. Technisch ontwerp van het product

Het te ontwerpen product in de vorm van een schoudertas heeft nu een vorm gekregen en de nadere technische invulling zal nu behandeld worden. Voordat hiermee een begin wordt gemaakt, zal er eerst een aantal nadere gebruiksaspecten besproken worden die van invloed kunnen zijn op het verdere ontwerptraject, waarna overwogen wordt welke type onderdelen er toegepast worden. Na deze eerste stappen zal het daadwerkelijke ontwerptraject doorlopen worden. Dit traject begint met het ontwerp van het hele systeem van zonnecellen tot het op te laden product, waarbij de elektrische kenmerken nader ingevuld worden. Vervolgens worden de afzonderlijke onderdelen in het systeem verder uitgewerkt en aan elkaar gekoppeld totdat de hele schakeling compleet is. Tegen het eind komen nog de gebruiksvriendelijke kenmerken en een globale productiewijze aan bod, waarna dit traject wordt afgesloten met een technische realisatie van het ontwerpconcept.

5.1. Gebruikersscenario's

Voor de bepaling en de verdere uitwerking van het technische ontwerp is het van belang om een globaal beeld te schetsen van de wijze waarop de doelgroep met het te ontwerpen product omgaat. Hiervoor zullen er twee scenario's opgesteld worden die betrekking hebben op twee verschillende soorten situaties en mensen uit de bepaalde doelgroep. Vervolgens volgt er nog aanvullende gebruiksaspecten met betrekking tot het opladen. Voor de gebruikersscenario's wordt er verder verwezen naar bijlage I.

In de twee scenario's is er telkens een situatie geschetst op het moment dat de tas het meest gebruikt wordt voor het opladen van elektronische producten. De gegeven situaties zullen niet dagelijks voorkomen en komen hooguit twee tot drie keer per week voor. Dit heeft te maken met de wijze en de mate van gebruik van de elektronische producten. Veelal kunnen deze producten na een volledige oplading van circa 2 tot 3 uur een paar dagen of zelfs een week mee. Het opladen van de meegeleverde accu in de tas kan in principe ook even lang duren. Hieruit kan men afleiden dat de energie van de zonnecellen dan het grootste deel van de tijd niet nuttig gebruikt kunnen worden, omdat er simpelweg niets mee opgeladen wordt. Ook als er vanuit gegaan wordt dat het elektriciteitsnet niet wordt toegepast, dan is dagelijks gebruik meestal niet haalbaar, tenzij men een handjevol elektronische producten bij zich heeft. De kans hierop is naar eigen inzicht gezien, vrij klein.

Een ander aspect is het gebruik van de meegeleverde accu voor het opladen van elektronische producten, wanneer de energie van de zonnecellen niet toereikend is. Voor incidentele gevallen als de overgang van dag naar nacht en omgekeerd en in donkere situaties, vormt de meegeleverde accu een welkome aanvulling. Echter het volledige gebruik ervan zal niet vaak voorkomen, tenzij de gebruiker vaak 's nachts onderweg is. Ook hier zal het probleem optreden van te weinig benutting. Dit wordt aan de ene kant veroorzaakt doordat men de producten overdag rechtstreeks oplaadt via de zonnecellen. Aan de andere kant speelt het opladen via het elektriciteitsnet ook een rol, aangezien bij beschikbaarheid ervan er eerder van daaruit wordt opgeladen. Als er echter vanuit gegaan wordt om niet gebruik te maken van het elektriciteitsnet, dan zal het gebruik ervan wel toenemen, waardoor ook de energie van de zonnecellen meer benut wordt voor het opladen van de meegeleverde accu.

Tenslotte dient er opgemerkt te worden dat de geproduceerde energie van de zonnecellen in geval van Nederland per seizoen verschilt. Buiten in de zomer kan er gemiddeld meer en langer energie opgewekt worden, waardoor het opladen sneller kan verlopen ten opzichte van de situatie in de winter. De verschillen tussen de zomer en de winter in geproduceerde energie is hierbij circa een factor vijf. Dit geldt ook ongeveer voor de situatie binnenshuis vlak achter het raam, wanneer men hierbij gebruik maakt van het invallende zonlicht. Wanneer alleen gebruik gemaakt zal worden van kunstmatige verlichting, zullen de zonnecellen hierbij niet voldoende energie leveren om producten mee op te laden.

5.2. Benodigde technische onderdelen

Voor de start van het technische ontwerp zal er eerst nader ingegaan worden op een aantal technische onderdelen. Hierbij worden ze uitvoerig belicht van positieve als negatieve kanten, waarna een keus gemaakt zal worden met behulp van een selectiematrix. Deze methode zal toegepast worden bij het maken van een keus van de zonnecellen, de bekabeling en de accu. Tenslotte volgt er een korte samenvatting van de benodigde onderdelen die toegepast zullen worden in het verdere ontwerpproces.

5.2.1. Analyse en bepaling van commercieel verkrijgbare zonnecellen

In deze sectie zal er een aantal typen zonnecellen nader geanalyseerd worden, waaruit een keus gemaakt wordt. Hierbij zal er alleen ingegaan worden op de commercieel verkrijgbare zonnecellen, namelijk de drie typen silicium zonnecellen, CdTe en CIS of CIGS zonnecellen (waarbij deels gebruik gemaakt is van de websites van “Photovoltaics” (U.S. Department of Energy, 2004), van Lenardic (2005) en van “Solar: Technology” (Global Solar Energy Inc., 2005)).

Monokristallijn silicium zonnecellen

De monokristallijne varianten van silicium zonnecellen hebben een goede stabiele vermogensproductie met een relatief goede omzettingsefficiëntie. Volgens een (deel van het) boek van Hegedus en Luque (Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2003) zijn in laboratoria efficiënties bereikt van circa 24% voor individuele zonnecellen tegenover circa 22% voor modules. In de praktijk zijn deze waarden respectievelijk circa 15% en 14%. Bovendien hebben dergelijke zonnecellen door hun hoge zuiverheid van minstens 99,9999% een vrijwel uniforme (kristal)structuur. Dit draagt bij aan de goede stroomgeleiding door het materiaal.

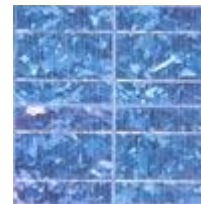


Figuur 5.1: Een monokristallijn silicium zonnecel.

Naast deze gunstige aspecten blijken er ook een aantal minpunten voor te komen. Voor de productie zijn er extreem hoge zuiverheden vereist, zodat de stroomgeleiding zo optimaal mogelijk wordt gemaakt. Dit vereist ook een vrij langdurig en kostbaar productieproces. Verder gaat er ook veel materiaal verloren door het zagen van het verkregen blok silicium in dunne plakken. Dit probleem wordt al bij een aantal fabrikanten voorkomen door gebruik te maken van een andere productietechniek die geen blokken silicium vormt, maar meteen dunne stroken, waardoor er minder gezaagd hoeft te worden. Het verkregen plak silicium blijkt stijf en breekbaar te zijn. Ook zijn ze relatief zwak in het absorberen van zonlicht, waardoor ze een bepaalde dikte vereisen van ongeveer 200 tot 300 micrometer (of 0,2 tot 0,3 millimeter).

Multikristallijn silicium zonnecellen

De multikristallijne varianten van deze zonnecellen hebben ook een goede vermogensproductie met een relatief goede omzettingsefficiëntie. Uit een (deel van het) boek van Hegedus en Luque (Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2003) bedraagt de verkregen efficiënties in laboratoria voor afzonderlijke zonnecellen ongeveer 20% tegenover ongeveer 15% voor modules. In praktijkgevallen zijn deze waarden respectievelijk circa 14% en 13%. Verder brengen deze typen zonnecellen lagere productiekosten met zich mee dan de monokristallijne varianten. Dit komt doordat het silicium geen hoge zuiverheid nodig heeft en het productieproces verloopt sneller en goedkoper, waarbij veelal gebruik gemaakt wordt van het gietproces van gesmolten silicium, waarbij er grote blokken gevormd worden die vervolgens in plakken worden gezaagd.

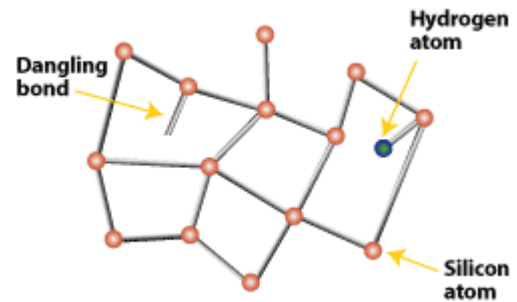


Figuur 5.2: Een multikristallijn silicium zonnecel.

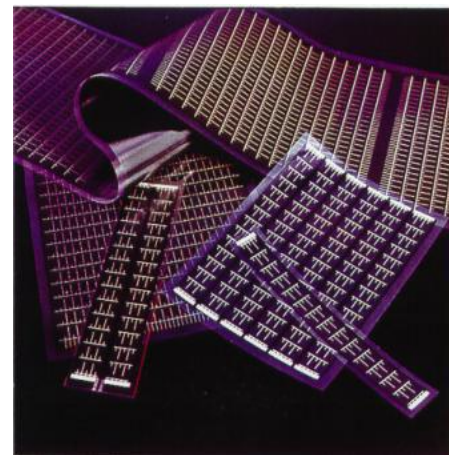
In tegenstelling tot monokristallijne varianten van dergelijke zonnecellen hebben ze lagere efficiënties. Dit wordt veroorzaakt door de onzuiverheden in de structuur van het materiaal, omdat het (materiaal)rooster hierbij niet één kristal vormt, maar meerdere. Daarnaast zijn er onregelmatigheden te vinden in de breukvlakken van de diverse kristallen. Verder heeft ook deze typen zonnecellen te kampen met materiaalverlies in het productieproces en zijn ze ook vrij stijf en breekbaar. Tenslotte vereisen ze ook een dikte van ongeveer 200 tot 300 micrometer, eveneens vanwege het lage absorptiegehalte van zonlicht.

Amorf silicium zonnecellen

Amorf silicium is tegenwoordig het meest toegepaste en verder ontwikkelde materiaalsoort voor toepassing als zonnecel. Doordat het materiaal geen bepaalde rangschikking vertoont in zijn structuur, heeft dit geleid tot veel losse covalentiebanden² in het materiaal. Dit draagt bij aan de zeer hoge absorptieniveaus van zonlicht, die 40 keer beter is dan die van kristallijne varianten. Hierdoor kunnen ze vrij dun geproduceerd worden die in de orde ligt van circa 1 à 2 micrometer. Bovendien brengt dit ook lage materiaalkosten met zich mee. Wat betreft de productie zijn ze goedkoper dan andere dunne film zonnecellen, doordat er bij dit proces geen hoge temperaturen vereist zijn. Ook kunnen amorf silicium zonnecellen in enige mate flexibel zijn, waardoor het aantal toepassingen ervan doet toenemen.



Figuur 5.3: Onregelmatige structuur van een amorf silicium zonnecel.



Figuur 5.4: Flexibele amorf silicium zonnecellen.

De losse covalentiebanden in amorf silicium blijken naast de genoemde gunstige eigenschap ook een slechte invloed te hebben op de stroomgeleiding, waarbij ze goede omstandigheden creëren voor de recombinatie van elektronen en “gaten”. Ook zorgen ze ervoor dat het materiaal niet gedoteerd kan worden. Deze problemen worden tegenwoordig opgelost door het materiaal te vergassen met waterstof, waardoor het grote aantal losse covalentiebanden vermindert. Daarnaast blijken deze zonnecellen een lage omzettingsefficiëntie te hebben, ondanks de zeer hoge absorptieniveaus. Dit is te wijten aan het Staebler-Wronski effect, die aangeeft dat de vermogensproductie (en efficiëntie van de zonnecel) afneemt in de tijd door blootstelling aan zonlicht. Dit zorgt voor een instabiliteit in de vermogensproductie, die pas na verloop van tijd stabiliseert. Hierbij kan er een reductie optreden van 15 tot 35% in omzettingsefficiëntie ten opzichte van de beginsituatie. Deze efficiënties kunnen bij modules (na stabilisatie) variëren van ongeveer 5 tot 8%. Het dunner maken van de zonnecel kan dit probleem gedeeltelijk bestrijden, maar dit heeft als nadeel dat het de algehele efficiëntie ervan doet afnemen.

Cadmiumtelluride (CdTe) zonnecellen

Volgens een wetenschappelijk artikel van Chopra e.a. (John Wiley & Sons Ltd., 2004) blijkt dit zonneceltype veelbelovends te zijn in het opwekken van elektriciteit, waarbij het vrij goede eigenschappen heeft op chemisch en thermisch gebied. Daarnaast heeft het een hoog absorptiegehalte om zonlicht op zich te nemen, dat resulteert in een zonnecel van dun formaat die circa 2 tot 8 micrometer dik kan zijn.

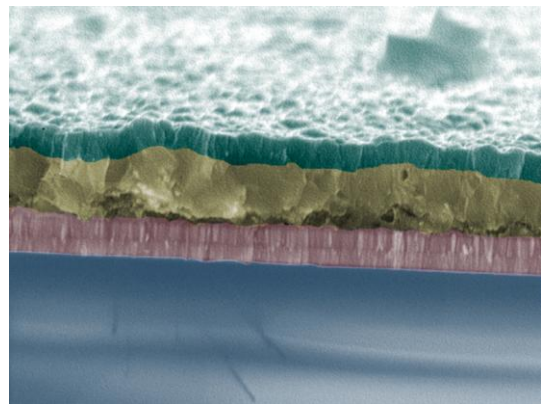
² Een covalentieband stelt de verbinding voor tussen twee atomen, waarbij aantrekkingskrachten op atoomniveau ervoor zorgen dat ze bijeen gehouden worden.

CdTe zonnecellen kunnen verder op diverse manieren geproduceerd worden zonder dat ze sterk verschillen in prestatie. Door toepassing van de meest simpele productiemethodes kunnen de productiekosten laag gehouden worden.

Ondanks deze gunstige eigenschappen dienen er nog allerlei obstakels verholpen te worden, voordat ze op grote schaal in productie genomen kunnen worden. Hoewel er al decennia onderzoeken gaande zijn, heeft men in het laatste decennium niet getracht de omzettingsefficiëntie van deze zonnecel met grote stappen omhoog te krijgen (in laboratoriumcondities). Huidige modules bereiken een efficiëntie van circa 6 tot 9% en men verwacht dat ze de komende jaren de 10% zullen overstijgen. Verder dient er bij het productieproces hoge temperaturen toegepast te worden en zijn deze processen nog niet geperfectioneerd voor productie op grote schaal. Dit is ook te wijten aan het feit dat deze zonnecellen bepaalde eisen stellen, zoals aan de elektrische contactpunten. Slechte contactpunten kunnen voor degradatie zorgen van de algehele prestaties van de zonnecel. Tenslotte is er één belangrijk aspect dat niet genegeerd mag worden en dat is de toxiciteit van de gebruikte stof cadmium. Het gevaar bestaat dat deze uiterst giftige stof vrij kan komen als de zonnecel scheurt of breekt en daarbij dient er voorzichtig mee omgegaan te worden bij de afdanking ervan.

Koperindium(gallium)diselenide (CIS) of (CIGS) zonnecellen

Uit het wetenschappelijke artikel van Chopra e.a. (John Wiley & Sons Ltd., 2004) vormen naast CdTe zonnecellen CIS of CIGS zonnecellen ook een goede dunne film zonneceltype. Het materiaal van deze zonnecel kan gelegeerd worden met allerlei andere materialen, waardoor de zonnecel beter in overeenkomst kan worden gebracht met het hele zonnenspectrum en hierdoor betere prestaties kan behalen. Dit verklaart ook de veelvoorkomende CIGS variant van deze zonnecel. Daarnaast blijken ze een zeer hoog absorptiegehalte te hebben voor het opnemen van zonlicht, waardoor ze een kleine dikte vereisen die kan variëren van circa 1 tot 3 micrometer. Verder blijkt het materiaal vrij gunstige elektrische eigenschappen te bezitten ondanks de structurele onzuiverheden. Hierdoor zijn deze zonnecellen minder gevoelig voor defecten en overgangen in de kristallijne structuur, waardoor de zonnecel stabiel overkomt in de opwekking van elektriciteit. Tenslotte heeft dit zonneceltype onder de dunne film zonnecellen relatief goede omzettingsefficiënties in de orde van ongeveer 7 tot 10%, waarbij er producenten zijn die beweren zonnecellen te hebben gecreëerd met een efficiëntie van boven de 10%.



Figuur 5.5: Een vergroting van de samenstelling van een CIS zonnecel.

Obstakels die hier overwonnen dienen te worden, zijn voornamelijk gerelateerd aan het productieproces van dit soort zonnecellen. Er is namelijk nog nauwelijks ervaring opgedaan met het fabriceren van dergelijke ingewikkelde zonnecellen. Door het gebruik van verschillende materiaalsoorten is de productie ervan zeer complex, waardoor er voor het proces intelligente systemen toegepast dienen te worden die nauwkeurig moeten werken. Verder wordt er gebruik gemaakt van schaarse materialen als indium en gallium, die hoge materiaalkosten met zich meebrengen³. Ook de hoge verwerkingstemperaturen bij het proces dragen bij aan een ophoging van de totale fabricagekosten.

³ Ter vergelijking (volgens de website "Periodieksysteem.com"): de wereldproductie van indium bedraagt ongeveer 230 ton per jaar en voor gallium bedraagt dit ongeveer 55 ton per jaar. Goud daarentegen heeft een wereldproductie van circa 2500 ton per jaar.

Overzicht typen zonnecellen

Een overzicht van de besproken zonneceltypen is hieronder weergegeven in een tabel, waarbij ook aanvullende gegevens zijn verschaft als de bandafstand energie en de kleur van een bepaalde zonnecel.

Type zonnecel	Soort junctie	Opbouw junctie	Bandafstand energie ⁴	Kleur(en) ⁵	Dikte	Efficiëntie ⁶
Monokr. Si	Homogeen p/n	Enkelvoudig	1,12 eV	Donkerblauw/zwart	200 – 300 μm	13 – 16%
Multikr. Si	Homogeen p/n	Enkelvoudig	1,12 eV	Blauw	200 – 300 μm	11 – 14%
Amorf Si	Pin	Meervoudig	1,75 eV	Rood/blauw/zwart	1 – 2 μm	5 – 8%
CdTe	Heterogeen nip	Enkelvoudig	1,44 eV	Donkergroen/blauw	2 – 8 μm	6 – 9%
CIS of CIGS	Heterogeen p/n	Enkelvoudig/meervoudig	1,0 eV	Zwart	1 – 3 μm	7 – 10%

Tabel 5.1: Overzicht van algemene kenmerken van diverse typen zonnecellen.

Aanvullende gegevens betreffende elektrische eigenschappen zijn hieronder weergegeven in een tweede tabel⁷. Er dient benadrukt te worden dat de gegevens alleen gelden onder standaard testcondities.

Type zonnecel	Spanningen (mV/cel)		Stroomsterktes (mA/cm ²)		Vermogen (mW/cm ²)
	V _{OC}	V _{MPP}	I _{SC}	I _{MPP}	P _{MPP}
Monokr. Si	≈ 605	≈ 500	≈ 32,5	≈ 29,5	≈ 14,75
Multikr. Si	≈ 610	≈ 500	≈ 32,0	≈ 29,5	≈ 14,75
Amorf Si	≈ 750	≈ 550	≈ 12,5	≈ 10	≈ 5,5
CdTe	≈ 700	≈ 450	≈ 17,5	≈ 14,0	≈ 6,3
CIS of CIGS	≈ 650	≈ 500	≈ 26	≈ 23	≈ 11,5

Tabel 5.2: Overzicht van elektrische kenmerken van diverse typen zonnecellen.

Keuze type zonnecel

Voor het ontwerp dient er een keuze gemaakt te worden uit de hierboven genoemde commercieel verkrijgbare zonnecellen. Hiervoor zal er gebruik gemaakt worden van een selectiematrix, waarbij er een aantal aspecten in acht genomen worden die bepalend zijn voor de keuze van het type zonnecel. Elk aspect krijgt daarnaast een gewicht met zich mee, die kan variëren van 1 tot 5. Een gewicht van 1 geeft aan dat een bepaald aspect zeer onbelangrijk wordt geacht, terwijl een gewicht van 5 zeer belangrijk is. Een gewicht van 3 ligt er juist tussenin en geeft een neutrale situatie aan. Door kruisjes te plaatsen kan er aangegeven worden dat een bepaald aspect van toepassing is op de betreffende zonnecel.

Met een dergelijke matrix kan er getracht worden om meer systematiek in het keuzeproces te brengen en geeft een goed beeld van de aspecten die hierbij zijn meegewogen. In de onderstaande tabel is de selectiematrix gegeven voor de keuze van een zonnecel. Een verantwoording van de toegepaste aspecten en hun gewichten is terug te vinden in bijlage J.1.

⁴ De gegeven bandafstand energie van de typen zonnecellen is van zonnecellen zonder extra toevoegingen van andere materiaalsoorten.

⁵ De kleur van de typen zonnecellen wordt veroorzaakt door de antireflectie laag die erop zit.

⁶ De efficiëntie geldt alleen onder standaard testcondities bij een stralingswaarde van 1000 W/m², een spectrum van AM1,5 en een temperatuur van 25°C.

⁷ De informatie is vooral afkomstig van diverse fabrikanten van zonnecellen. Voor amorf silicium zonnecellen zijn geen goede informatiebronnen te vinden betreffende de elektrische eigenschappen ervan en de gegeven waarden zijn geschat. Van CdTe en CIS zonnecellen zijn de gegevens verkregen van 1 bron.

Aspecten	Gewicht	Type zonnecellen				
		Monokr. Si	Multikr. Si	Amorf Si	CdTe	CIS/CIGS
Spanning ▲	5	×	×			×
Stroom ▲	5	×	×			
Vermogen ▲	5	×	×			
Efficiëntie ▲	5	×	×			
Stabiliteit ●	4	×				×
Massa ▼	1			×	×	×
Dikte ▼	3			×	×	×
Flexibiliteit ▲	4			×		×
Giftigheid ▼	5	×	×	×		
Schaarste ▼	3	×	×	×		
Productie ●	3	×	×	×		
Totaal	=	35	31	19	4	17

Tabel 5.3: Selectiematrix voor de keuze van de zonnecel.

De aspecten in de eerste kolom bevatten achterin een symbool, waarbij de volgende betekenissen eraan vastzitten:

- een omhoog gerichte driehoek (▲) duidt erop dat het om een aspect gaat met een hoge of grote aanduiding, bijvoorbeeld “Flexibiliteit ▲” duidt op een hoge flexibiliteit;
- een omlaag gerichte driehoek (▼) duidt erop dat het om een aspect gaat met een lage of kleine aanduiding, bijvoorbeeld “Schaarste ▼” duidt op een kleine schaarste;
- een cirkel (●) duidt erop dat een aspect goed van aard is, bijvoorbeeld “Stabiliteit ●” duidt op een goede stabiliteit.

Op het gebied van zonnecellen zal er op dit moment gekozen worden voor monokristallijnen silicium zonnecellen. Dit type zonnecel is tegenwoordig het meest effectiefst en verkrijgbaar op de commerciële markt. Ten opzichte van de dunne film typen zijn ze ook het meest onderzocht en ontwikkeld en productietechnieken zijn vrij betrouwbaar van aard.

Multikristallijnen silicium zonnecellen zijn in principe ook uitermate geschikt, maar vertonen door de verschillende kristallen in de structuur en de onzuiverheden een minder stabiele stroomgeleiding en daardoor iets lagere efficiëntie.

De overige dunne film typen worden verder niet beschouwd, hoewel ze de eigenschap hebben om enigszins flexibel te zijn, dat vrij handig is voor het ontwerp van een tas. Een voorkomend nadelig aspect van deze zonnecellen zijn nog de relatief lage omzettingsefficiënties. Hoewel er hiernaar veel onderzoek wordt gedaan, worden ze wel langzamerhand beter. Per type van dergelijke zonnecellen zijn de volgende ongunstige aspecten het belangrijkste probleem.

Een ongunstig aspect van amorf silicium zonnecellen wordt gevormd door de instabiele stroomproductie. Bij CdTe zonnecellen vormt de giftige stof cadmium een probleem die ertoe heeft geleid dat ontwikkelingen ervan vrij langzaam verlopen. Tenslotte zijn CIS of CIGS zonnecellen vrij duur van aard, vanwege het gebruik van schaarse materialen en de ingewikkelde productietechnieken.

5.2.2. Analyse en bepaling van typen accu's

Nu zal er in globale zin ingegaan worden op drie soorten accu's die geschikt zijn voor elektriciteitsopslag in het te ontwerpen product. Er zal een keuze gemaakt worden uit nikkelcadmium, nikkel metaalhydride en lithium-ion accu's (waarbij de informatie vooral afkomstig zijn van de websites “Technology Base” (MPower Solutions Ltd., 2004) en van die van Buchmann (2005)).

Nikkelcadmium (NiCd) accu's

Deze accu's zijn al ruim een eeuw geleden uitgevonden en hebben hun commerciële intrede gedaan in het begin van de jaren '60. Door hun kleine formaat zijn ze uitermate geschikt voor draagbare elektronische producten. Ze kunnen vrij diep ontladen worden en hebben een cyclusduur van circa 500 tot 1500 gebruikscycli. Daarnaast zijn ze werkzaam tot temperaturen van circa 70°C.

Naast deze gunstige aspecten blijken ze ook een aantal nadelen te hebben. Ten eerste lijden ze aan het geheugeneffect. Dit kan de gebruiksduur ervan erg verminderen en aantasten en dit probleem is deels aangepakt door nieuwe technieken. Ook blijken ze een lage spanningswaarde van 1,2 Volt en een lage stroomcapaciteit te bevatten. Een belangrijk punt tenslotte is de toxiciteit van deze accu's door het gebruik van de stof cadmium.

Nikkel metaalhydride (NiMh) accu's

Ten opzichte van hun NiCd varianten verschillen deze accu's door de toepassing van waterstof in plaats van cadmium, waardoor ze iets milieuvriendelijker overkomen. Sinds de jaren '80 is deze accu verder uitgewerkt en is nu een redelijk volwassen technologie geworden. Ze worden tegenwoordig veelal gebruikt als vervanging van de NiCd varianten in diverse soorten elektronische producten.

Net als NiCd accu's kunnen ze ook vrij diep ontladen worden, maar hebben een typische cyclusduur van ongeveer 500 gebruikscycli. Verder zijn ze meer robuuster van aard, doordat deze accu's de condities van het langer opladen en ontladen kunnen tolereren. Aan het geheugeneffect lijden ze in veel mindere en zwakkere mate.

Nadelige aspecten zijn de sterkere mate van zelfontlading en de verslechtering van de accu wanneer ze langdurig ongebruikt worden. Ook hebben ze een lage spanningswaarde van 1,2 Volt, terwijl ze een hogere stroomcapaciteit kunnen hebben dan NiCd accu's.

Lithium-ion (Li-ion) accu's

Het gebruik van Li-ion accu's is tegenwoordig het meest gangbare, vanwege de vele gunstige aspecten die deze accu's met zich meebrengen. In eerste instantie waren ze ontworpen om de veiligheidsproblemen van het uiterst reactiegevoelige lithiumpolaar te overwinnen. Ze zijn licht van gewicht en lijden niet aan het geheugeneffect. Daarnaast hebben ze een hoge spanningswaarde van 3,6 Volt, waardoor minder cellen nodig zijn. Ook kunnen deze accu's over hoge stroomcapaciteiten bezitten die kunnen variëren van 0,5 tot 1000 Ampère-uur.

De nadelen van deze accu's zijn er in mindere mate aanwezig. Ze blijken te degraderen bij hoge temperaturen vanaf ongeveer 40°C à 50°C en wanneer ze bij het ontladen een lagere spanningswaarde bereiken dan 2 Volt. Verder wordt er om veiligheidsredenen een laadregelaar toegevoegd om ongunstige situaties te voorkomen wanneer er langer dan gebruikelijk wordt opgeladen of ontladen.

Een variant van deze accu's zijn lithium-polymer accu's en ze verschillen van Li-ion accu's doordat ze geen gebruik maken van vloeibare elektrolyten⁸ en hierdoor minder hoge eisen stellen aan het omhulsel.

Overzicht typen accu's

In de onderstaande tabel zijn een aantal kenmerken van de hierboven beschreven typen accu's weergegeven.

Type accu	Spanning per accucel	Energie dichtheid	Cyclusduur	Mate van zelfontlading	Geheugeneffect
NiCd	1,2 V	45 – 80 Wh/kg	≈ 1500	15 – 20% per maand	Ja
NiMh	1,2 V	60 – 120 Wh/kg	300 – 500	30% per maand	Ja
Li-ion	3,6 V	110 – 160 Wh/kg	300 – 500	2 – 3% per maand	Nee

Tabel 5.4: Overzicht van algemene kenmerken van diverse typen accu's.

⁸ Een elektrolyt is (meestal) een opgelost zout die in positieve en negatieve ionen kan worden gesplitst en hierdoor stroom kan laten geleiden. Dit vormt het medium tussen de positieve en de negatieve contactpunten (elektroden) van een accu(cel).

De energiedichtheid van een accu kan beschouwd worden als een maat om aan te geven hoeveel energie ze bevatten en daarmee hoe hoog hun stroomcapaciteit ongeveer kan zijn.

Keuze type accu

Hieronder is de selectiematrix weergegeven voor de keuze van het type accu. In bijlage J.2 is de verantwoording van de aspecten en de bijbehorende gewichten weergegeven.

Aspecten	Gewicht	Type accu's		
		NiCd	NiMh	Li-ion
Spanning ▲	4			×
Stroomcapaciteit ▲	4		×	×
Zelfontlading ▼	3			×
Geheugeneffect ▼	5			×
Cyclusduur ▲	3	×		
Massa ▼	4		×	×
Giftigheid ▼	5		×	×
Totaal	=	3	13	25

Tabel 5.5: Selectiematrix voor de keuze van de accu.

Voor de soort accu zal er gekozen worden voor de Li-ion type. Deze accu blijkt veel gunstige aspecten te bevatten op elektrisch gebied. Hoewel die niet zo goed scoort op het aspect cyclusduur, zal dit aspect in dit ontwerp niet ontzettend zwaar meewegen. De cyclusduur is hierbij gemiddeld 500 cycli en dit past wel in een gemiddelde levensduur van het product van ongeveer drie jaar.

De andere typen zijn niet gekozen vanwege de iets ongunstige elektrische eigenschappen. Voor NiCd accu's vormen daarnaast het geheugeneffect en de giftigheid een rol hierbij. En voor NiMh accu's vormt vooral de sterke zelfontlading een belangrijk punt.

5.2.3. Analyse en bepaling van typen bekabeling

De soorten kabels die gebruikt kunnen worden voor transport van elektrische energie kunnen ingedeeld worden in gewone ronde kabels en platte lintkabels (in het Engels "ribbon cables" genoemd). Voor het ontwerp zijn alleen deze typen geschikt en ze zullen hier kort besproken worden, waarna een keuze volgt.

Gewone ronde kabels

Deze kabels worden het meest toegepast voor elektriciteitstransport en zijn vrij herkenbaar en bijna overal toegepast. De kabel bestaat meestal uit twee koperen aders waaromheen een kunststof omhulsel zit, die dient als isolatie. Ze zijn er in allerlei kleine diameters te verkrijgen en voor consumententoepassingen hebben ze meestal diameters kleiner dan 0,5 cm. Ze zijn erg flexibel van aard en kunnen driedimensionaal gezien naar alle kanten toe buigen.

Platte lintkabels (ribbon cables)

In tegenstelling tot het voorgaande type is deze kabel vrij plat van vorm, die eruit ziet als een lint. Ze zijn opgebouwd uit dunne kabels die parallel naast elkaar zijn geplaatst, waar aan de uiteinden brede uitgangen zitten. Deze kabels worden voornamelijk toegepast in applicaties die weinig ruimte bevatten en veel verbindingen nodig hebben. Hun voornaamste toepassing is te vinden in (consumenten)elektronica, waarbij ze meestal worden gebruikt om informatie te verzenden. Door hun enigszins flexibele gehalte zijn ze in de lengterichting buigzaam.



Figuur 5.6: Voorbeelden van platte lintkabels.

Keuze type bekabeling

Voor de keuze van de soort bekabeling is ook hier gebruik gemaakt van een selectiematrix, waarbij de verantwoording van de aspecten en de gewichten is te lezen in bijlage J.3.

Aspect	Gewicht	Type bekabeling	
		Gewone ronde kabels	Platte lintkabels
Dikte ▼	3	×	×
Stijfheid ▼	4	×	×
Ruimtelijke flexibiliteit ▲	5	×	
Beknellingsgevoelig ▼	5	×	
Benodigde ruimte ▼	4	×	
Grootte contactpunten ▼	3	×	
Totaal	=	24	7

Tabel 5.6: Selectiematrix voor de keuze van de bekabeling.

Uit de selectiematrix voor de keuze van de bekabeling zal er worden gekozen voor de gewone ronde kabels. Ze passen ook beter in het te ontwerpen product, omdat hierbij flexibiliteit en de gevoeligheid voor beknellingen van groot belang zijn, alsmede de lagere stijfheid. Ook bevat het te ontwerpen product meestal niet genoeg ruimte als er een aantal platte lintkabels worden toegepast. Verder is het hierbij van belang dat de ronde kabel niet al te dik is, waarbij gedacht kan worden aan een diameter van circa 0,3 centimeter.

De platte lintkabel daarentegen wordt voornamelijk toegepast om informatie te verzenden, die meestal gecombineerd gaat met energieoverdracht. Aangezien er hier alleen sprake is van energieoverdracht, is men waarschijnlijk beter en goedkoper uit met de gewone ronde kabel.

5.2.4. Soorten gelijkspanningsomzetters (DC–DC omzetters)

Van de omzetters zal er drie soorten nader beschouwd worden die hiervoor in aanmerking kunnen komen.

Buck converter (step-down converter)

Deze omzetter is in staat om de verkregen ingangsspanning te verlagen naar een lagere uitgangsspanning. Dit is vooral geschikt voor toepassingen die een lagere spanning vereisen dan dat ze via de ingang krijgen toegediend.

Boost converter (step-up converter)

In tegenstelling tot de hierboven beschreven omzetter dient deze omzetter gebruikt te worden voor het verhogen van de ingangsspanning naar een hogere uitgangsspanning. Dit is handig wanneer bepaalde toepassingen een hogere spanning vereisen, terwijl de ingangsspanning hiervoor te laag is.

Maximum power point tracker (MPPT)

Deze omzetter wordt toegepast om de meest optimale spanning te verkrijgen van een elektriciteitsbron. Er wordt hierbij gezocht naar de spanning die bij het maximale vermogenspunt ligt, waarna de omzetter omschakelt naar deze spanning. Hierdoor kan er het meest effectief omgegaan worden met de elektrische energie. Het verschil met de voorgaande twee omzetters is dat de verkregen elektrische energie in dit geval variabel is en dat het alleen toepasbaar is bij elektriciteitsbronnen die variaties vertonen in de elektriciteitsproductie.

5.2.5. Samenvatting van technische onderdelen

De keuze voor de diverse technische onderdelen die toegepast zullen worden in het ontwerp zijn hieronder weergegeven in een tabel.

Technisch onderdeel	Gemaakte keuze
Type zonnecellen	Monokristallijn silicium zonnecellen
Type accu	Lithium-ion (Li-ion) accu
Type bekabeling	Gewone ronde kabels

Tabel 5.7: Overzicht van gekozen typen onderdelen.

Er is in dit stadium nog geen keuze gemaakt voor de soort DC–DC omzetter, omdat er hierbij verder op ingegaan dient te worden op de verkregen spanningen en stromen in het hele systeem van zonnecellen tot consumentenelektronica. Wel is er alvast een drietal mogelijke opties gegeven die in dit ontwerp in aanmerking kunnen komen. In de volgende sectie zal er meer gericht worden op de opzet van het hele systeem, waarbij de keuze voor een DC–DC omzetter aan bod zal komen.

5.3. Opzet van systeemschakeling

5.3.1. Concepten en bepaling van systeemschakeling

Het technische ontwerp kan nu beginnen en er zal begonnen worden met het vaststellen van de schakeling van het hele systeem. Hierbij wordt er in eenvoudige blokschema's aangegeven hoe het hele systeem opgebouwd kan worden en hoe de energie van de zonnecellen naar de op te laden producten terecht kan komen. Er zullen hierbij verschillende mogelijkheden gepresenteerd worden die in aanmerking kunnen komen.

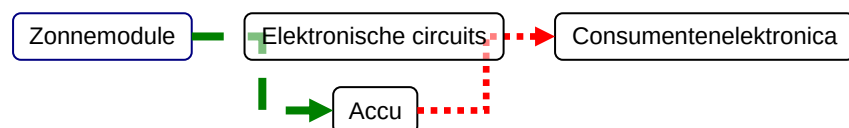
De systeemschakelingen bevatten de volgende (elektronica) onderdelen:

- de zonnecellen voor het produceren van elektrische energie;
- de accu voor het opslaan van niet-gebruikte geproduceerde energie van de zonnecellen;
- elektronische circuits als de laadregelaar en de DC–DC omzetter om de elektronica onderdelen en de op te laden producten te beschermen tegen ongewenste situaties en om ze zo optimaal mogelijk te kunnen opladen;
- de op te laden interne accu van elektronische producten.

Er zijn drie mogelijke systeemschakelingen bedacht die hieronder zijn weergegeven, waarna hun voor- en nadelen volgen. Uiteindelijk volgt de gemaakte keus voor een systeemschakeling.

Systeemschakeling 1

In het eerste systeem wordt de energie van de zonnemodule indirect via de accu geleid naar de consumentenelektronica. Wanneer er geen producten zijn aangesloten, wordt de accu opgeladen (als de zon voldoende schijnt). In geval er wel producten zijn aangesloten om op te laden, maar zonne-energie niet voorhanden is, wordt de accu gebruikt.

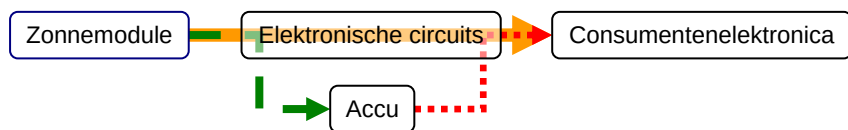


Figuur 5.7: Schema van systeemschakeling 1.

Voordelen	Nadelen
De accu dient als centraal verzamelpunt van de geproduceerde energie van de zonnecellen.	De geproduceerde energie wordt altijd door de accu geleid en wordt gezien als een extra barrière (elektrische weerstand).
Het geproduceerde vermogen dat de producten bereikt, is meer gereguleerd van aard.	De accu wordt op een oneigenlijke manier gebruikt als doorgeefluik, die de levensduur ervan sterk kan aantasten.
De accu heeft altijd voldoende energie voor het opladen van producten in donkere situaties.	De energie van de zonnecellen wordt in dit geval passief gebruikt voor het opladen van elektronische producten.

Systeemschakeling 2

In het tweede systeem worden de consumentenelektronica direct opgeladen van de zonnemodule, wanneer zonne-energie beschikbaar is. Als er geen producten zijn aangesloten, wordt de accu opgeladen in geval de capaciteit ervan niet vol is. Het opladen van producten kan hierbij ook met de accu gebeuren als de zonnemodule niet voldoende energie levert.

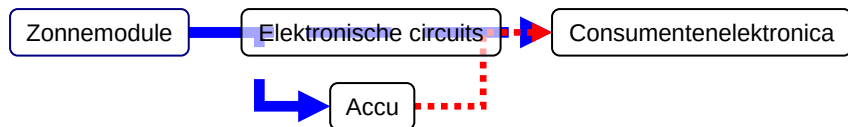


Figuur 5.8: Schema van systeemschakeling 2.

Voordelen	Nadelen
De accu wordt alleen gebruikt als opslagmedium van elektrische energie.	De accu kan leeg zijn, wanneer men in een donkere situatie toch producten wil opladen.
De energie van de zonnecellen kan direct gebruikt worden voor het opladen van producten.	De elektronische circuits zijn ingewikkelder van aard (t.o.v. systeemschakeling 1).
De geproduceerde energie kan volledig benut worden voor ofwel het opladen van de accu ofwel het opladen van producten.	

Systeemschakeling 3

Het derde systeem verschilt van het vorige systeem doordat hierbij tegelijkertijd de accu als de producten opgeladen kunnen worden met de zonnemodule, wanneer beide een lege of gedeeltelijk volle capaciteit vertonen. In geval van donkere situaties worden de producten opgeladen met de accu.



Figuur 5.9: Schema van systeemschakeling 3.

Voordelen	Nadelen
De accu wordt alleen gebruikt als opslagmedium van elektrische energie.	De geproduceerde energie moet in sommige gevallen gedeeltelijk benut worden voor het opladen van zowel de accu als de producten.
De energie van de zonnecellen kan direct gebruikt worden voor het opladen van producten.	De elektronische circuits zijn ingewikkelder van aard (t.o.v. systeemschakeling 1).
De accu heeft altijd voldoende energie voor het opladen van producten in donkere situaties.	

De betekenis van de diverse gekleurde pijlen uit de schema's van de drie systeemschakelingen is hieronder in de legenda weergegeven.

Legenda van pijlen

	Lege of gedeeltelijk volle accu opladen met zonne-energie.
	Lege of gedeeltelijk volle interne accu van consumentenelektronica opladen met accu, wanneer zonne-energie niet beschikbaar is.
	Lege of gedeeltelijk volle interne accu van consumentenelektronica opladen met zonne-energie.
	Lege of gedeeltelijk volle accu en interne accu van consumentenelektronica tegelijkertijd opladen met zonne-energie.

De keus gaat uit voor systeemschakeling 2, omdat deze schakeling de geproduceerde energie van de zonnecellen volledig kan benutten voor ofwel het opladen van de accu ofwel voor het opladen van elektronische producten. Het probleem dat men met een lege accu komt te zitten wanneer men in donkere situaties een product dient op te laden, is vrij klein. Er is eerder uit de gebruikaspecten al gebleken dat het grootste deel van de tijd overdag, de energie van de zonnecellen niet wordt gebruikt voor het opladen van elektronische producten en in die momenten wordt de accu opgeladen, indien die niet vol is.

De uitvallers zijn hierbij de schakelingen 1 en 3. Schakeling 1 is zeer ongeschikt en dit komt doordat de accu in dit geval naast de functie als reserve elektriciteitsbron voor donkere situaties, ook als doorvoerkanaal van elektrische energie wordt gebruikt. Dit belast de accu meer, waardoor de effectiviteit ervan sterk kan worden aangetast.

Schakeling 3 daarentegen is bijna equivalent aan schakeling 2, maar er is niet voor deze schakeling gekozen. Dit komt door de gedeeltelijke benutting van de energie van de zonnecellen in gevallen wanneer zowel de accu als de elektronische producten opgeladen dienen te worden. Dit zorgt ervoor dat het vermogen verdeeld wordt over meerdere producten, waardoor het ook langer duurt voordat ze opgeladen worden. Hoewel de kans op deze situatie klein kan zijn, komt naar eigen inzicht deze situatie vaker voor dan dat de accu leeg is in een donkere situatie (zie het nadeel van schakeling 2).

In navolging van de gemaakte keuze voor systeemschakeling 2 zal er hierbij bepaald worden om voor 1 elektronisch product per keer op te laden. Zoals al eerder is uitgelegd, is het opladen van meerdere elektronische producten niet ideaal.

5.3.2. Elektriciteitsaspecten van systeemschakeling

Voor het opladen van producten dient er gelet te worden op de spanning die erover staat en de stroom die door het product dient te lopen. Voor de oplaadspanning geldt er dat ze circa 1 à 2 Volt hoger ligt dan die van de accu (van het op te laden product), zodat de stroom het product ingeleid kan worden. Voor de oplaadstroom kan er op drie soorten manieren opgeladen worden, namelijk langzaam, snel en extra snel opladen (respectievelijk in het Engels “slow”, “quick” en “fast charge”). Hiervoor kan er geen keuze gemaakt worden voor een bepaalde manier, omdat de verkregen stroom van de zonnemodule varieert per dag.

Benodigde spanningen

Voor de spanningen is vastgelegd dat er elektronische producten tot 3,6 Volt mee opgeladen worden. Om deze producten te kunnen opladen met behulp van de zonnecellen, dienen de zonnecellen een optimale spanning te kunnen genereren van minimaal 5 Volt bij het maximale vermogenspunt. Deze spanningswaarde komt veelvuldig voor bij het opladen van (interne) accu's van 3,6 Volt en is het meest toepasbaar. Een probleem bij het gebruik van de spanningswaarde van 5 Volt is dat zonnecellen meestal

een andere spanningswaarde nemen voor het opladen. Dit probleem zal moeten worden opgevangen met een Maximum Power Point Tracker (MPPT). Deze omzetter zal de gegenereerde spanning bij het maximale vermogenspunt (V_{MPP}) laten liggen bij minimaal 5 Volt, waardoor er het meest efficiënt met de geproduceerde energie kan worden omgegaan.

Daarnaast zal er ook voor deze spanningswaarde gekozen worden voor het opladen van de Li-ion accu, waardoor de spanning ervan 3,6 Volt zal komen te bedragen. Hiervoor kan er gebruik gemaakt worden van dezelfde MPPT.

Het enige dat nog rest, is het opladen van elektronische producten met deze accu van 3,6 Volt. Als men de producten rechtstreeks van deze accu zou opladen, dan zullen ze niet helemaal opgeladen kunnen worden, omdat de spanning (bijna) gelijk kan zijn aan die van de elektronische producten. Om dit probleem op te vangen zal er tussen de accu en de producten een boost converter (step-up converter) geplaatst worden, die de spanning van 3,6 Volt omzet naar 5 Volt.

Benodigde stromen

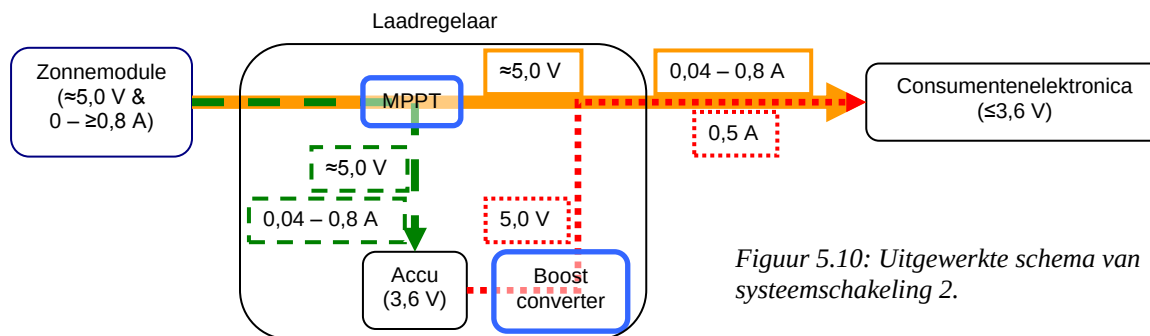
Voor de stroomsterktes is er als eis een maximumwaarde van 0,8 Ampère gesteld. Hiermee ligt de maximaal gegenereerde stroom van de zonnecellen vast. Er dient hierbij opgemerkt te worden dat deze waarde alleen bereikt zal worden bij ideale verlichtingscondities, waarbij een instraling van 1000 W/m^2 op aarde valt. In geval voor Nederland wordt deze waarde alleen bereikt op een klaarlichte dag in de zomermaanden.

Zonnecellen genereren al stroom wanneer er licht op valt, dus het werkbereik ligt ongeveer tussen 0 en 800 milliampère. In uitzonderlijke gevallen kunnen er hogere stroomsterktes bereikt worden, maar die duren meestal voor vrij korte tijd.

Voor het opladen van de Li-ion accu en de elektronische producten is er wel een minimale waarde van de stroomsterkte vereist. Opladen met een te kleine stroom kan in principe wel, maar is ongewenst. Aan de ene kant duurt het vrij lang voordat een accu opgeladen wordt en dit is niet ideaal als het product dagelijks gebruikt wordt. Aan de andere kant is het langdurig opladen onder een kleine stroomsterkte niet goed voor NiMh en Li-ion accu's. In zulke situaties kunnen de laadcircuits meestal niet goed detecteren wanneer de temperatuur sterk toeneemt, zodat ze kunnen ingrijpen. Ook als het maximale spanningsniveau is bereikt, gaat het opladen nog door, zodat de hele stroomcapaciteit benut wordt. Dit levert echter als gevolg op dat er langer wordt opgeladen dan gebruikelijk is, waardoor ongewenste chemische reacties kunnen optreden. Als minimumwaarde van de stroomsterkte is er al een eis gesteld van 0,05C van de maximaal haalbare stroomsterkte van 800 milliampère, oftewel 40 milliampère.

Uiteindelijk dient er nog bepaald te worden hoe groot de stroom is die uit de Li-ion accu loopt als er hiermee elektronische producten wordt opgeladen. Een accu levert in tegenstelling tot een zonnemodule een meer constante en gereguleerde stroomsterkte op. Er dient hier wel opgelet te worden dat de stroom die door de interne accu's van de producten wordt gestuurd, niet te hoog mag zijn waardoor ze beschadigd kunnen raken. Ook dient er rekening gehouden te worden dat er hierbij voor NiMh of Li-ion accu's opgeladen kan worden. NiMh accu's en Li-ion accu's worden in verschillende fasen opgeladen, maar ze verschillen door de chemische samenstelling ervan (waarbij dit afkomstig is van een ingenieursartikel van Dearborn (Microchip Technology Inc., 2004) en een deel van het boek "Nickel Metal Hydride" (Battery Technology Handbook, Quest Batteries; 2004). Beide typen accu's hebben een oplaadfase waarin er een constante stroom gebruikt kan worden en in principe kunnen ze hierbij ook met 1,0C opgeladen worden (in geval van een accu met een stroomcapaciteit van 0,8 ampère-uur). Dit wordt echter niet geadviseerd, omdat hierbij de chemische reacties in de accu erg snel kunnen verlopen, waardoor de temperatuur snel kan toenemen. Opladen met stroomwaarden tussen 0,5 en 1,0C is hierbij geschikt voor snel opladen en hier zal er gekozen worden voor een leverbare stroomsterkte van 500 milliampère uit de Li-ion accu, omdat hiermee de producten met de laagste stroomcapaciteit niet benadeeld worden.

De toegepaste spanningen en stromen in het hele systeem is op de volgende pagina samengevat in de gekozen systeemshakeling.



Figuur 5.10: Uitgewerkte schema van systeemschakeling 2.

5.4. Invulling van systeemschakeling

Het hele systeem staat nu vast en samen met de gekozen technische onderdelen wordt dit systeem nader gespecificeerd. Er zal hierbij niet alleen verder gericht worden op elektrische aspecten, maar ook op bepaalde productietechnische aspecten als de benodigde afmetingen.

5.4.1. Ontwerpoverwegingen van zonnecellen

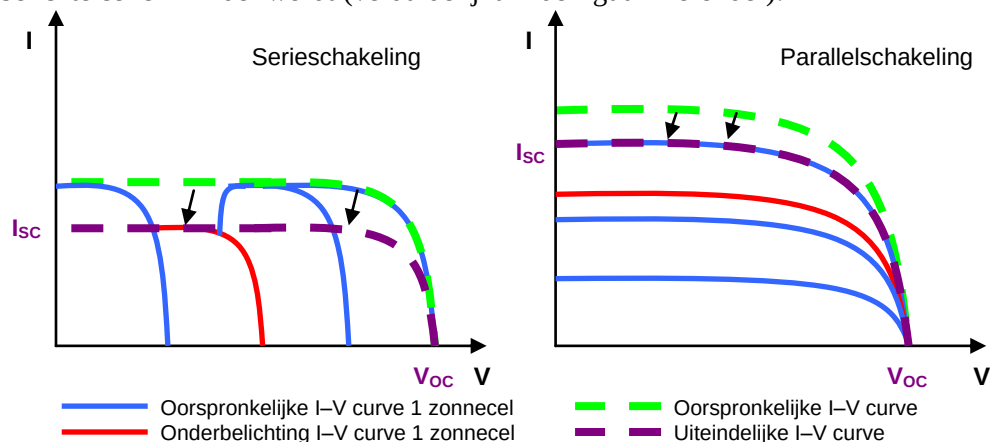
Er zal voor het ontwerp gebruik gemaakt worden van monokristallijn silicium zonnecellen. De voorgestelde efficiëntie zal 15% bedragen, omdat er hiermee een haalbaar compromis wordt bereikt. In de onderstaande tabel zijn de specificaties betreffende elektrische eigenschappen hieruit berekend bij een instraling van 1000 W/m^2 (bij het maximale vermogenspunt). Voor een nadere toelichting op de berekening hiervan wordt er verwezen naar bijlage K.1.

Efficiëntie	Vermogen/cm ²	Spanning/cel	Stroomsterkte/cm ²
15%	0,015 W/cm ²	0,5 V/cel	0,03 A/cm ²

Tabel 5.8: Overzicht van elektrische kenmerken van monokristallijn silicium zonnecel.

Configuratie zonnecellen tot zonnemodule

In eerste instantie dient er bepaald te worden hoe de afzonderlijke zonnecellen aan elkaar geschakeld worden. Dit kan gebeuren in serie, parallel of een combinatie van deze twee. Het probleem van een in serie geschakelde module is dat wanneer een of meerdere individuele zonnecellen een lagere lichtintensiteit ontvangen, er niet alleen minder stroom door deze zonnecellen lopen, maar dat de gehele module dan minder stroom doorheen laat lopen. In geval van een parallel geschakelde module zal de spanning over alle zonnecellen iets lager uitvallen, terwijl hierbij alleen de stroomsterkte van de minder belichte cellen minder wordt (verduidelijkt in de figuur hieronder).



Figuur 5.11: Voorbeelden van de verkregen I-V curves bij onderbelichting van een zonnecel.

Om deze problemen iets tegen te gaan, zal er voor een combinatie van een in serie en parallel geschakelde module gekozen worden. Hierbij wordt de volgende configuratie van de schakeling voorgesteld.

Er is een spanning vereist van minimaal 5 Volt, dus er dienen hierbij minstens 10 zonnecellen in serie aan elkaar geschakeld te worden. Aangezien elke zonnecel kleine variaties kan vertonen in de geproduceerde spanningswaarde, zal er een extra zonnecel hieraan in serie geschakeld worden, dus in totaal 11 zonnecellen in serie.

Daarnaast dient de maximaal te produceren stroom circa 800 milliampère te bedragen. Dit zal niet gerealiseerd worden in één serieschakeling van 11 zonnecellen, maar in drie parallel geschakelde serieschakelingen van 11 zonnecellen. Er is gekozen voor deze configuratie, omdat hiermee de geproduceerde stroomsterkte van de module zo optimaal verkregen kan worden, waarbij een onderbelichting van een serieschakeling de stroomproducties van de overige serieschakelingen nauwelijks aantasten. Ook kan deze configuratie ervoor zorgen dat de stof waarop de zonnecellen liggen iets flexibeler kan buigen, als er hierachter spullen worden geplaatst of uitgehaald. In dit geval worden elk van de drie serieschakelingen los van elkaar geproduceerd en op het te ontwerpen product geplaatst.

Er zal in de voorgestelde configuratie geprobeerd worden om de stroomsterkte van 800 milliampère in drie delen te splitsen, waarbij elke serieschakeling een stroomsterkte produceert van circa 267 milliampère. In een serieschakeling geldt dat de stroomsterkte gelijk blijft, dus elke zonnecel heeft eenzelfde stroomsterkte en in dit geval bedraagt dit circa 267 milliampère. Dit zal betekenen dat elke zonnecel een oppervlakte heeft van: $267/30 = 8,9 \text{ cm}^2$. Een dergelijke oppervlakte is moeilijk te verkrijgen en daarom zal er in dit geval voor een celoppervlakte gekozen worden van 9 cm^2 . Hieruit volgt dan:

- een zonnecel van 9 cm^2 groot en daarmee een hele serieschakeling van 11 zonnecellen levert een stroomsterkte van maximaal 270 milliampère;
- een zonnemodule van drie parallel geschakelde serieschakelingen levert een stroomsterkte van maximaal 810 milliampère.

Hieruit blijkt dat de geleverde stroom van de zonnemodule groter is dan maximaal is toegestaan. Er zal toch voor deze situatie gekozen worden, omdat er ook als eis gesteld is dat er circa 3% hiervan niet nuttig gebruikt kan worden vanwege verliezen tijdens het energietransport. 3% van 810 milliampère is ongeveer 24,3 milliampère en hierdoor blijft er een bruikbare stroomsterkte over van circa 785,7 milliampère. Deze waarde ligt onder het maximum, waardoor het systeem toch nog voldoet.

Wanneer er gekeken wordt naar de wintermaanden, waarbij de stralingswaarden rond de 100 W/m^2 liggen, dan verkrijgt men hierbij de volgende stroomsterktes (de berekening is uitgevoerd in bijlage K.2):

- een enkele zonnecel en een hele serieschakeling van zonnecellen levert een stroomsterkte op van ongeveer 28,4 milliampère;
- een zonnemodule levert dan een drie keer zo grote stroomsterkte van ongeveer 85,3 milliampère op.

Hierdoor is de geleverde stroom groter dan 40 milliampère, de laagste vastgestelde stroomsterkte die nog doorgelaten wordt, voordat die wordt afgekapt.

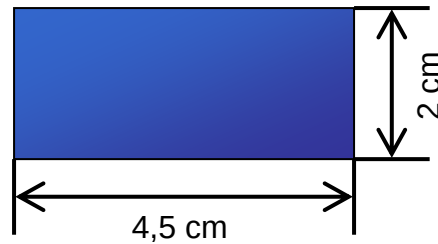
Benodigde afmetingen zonnecel tot zonnemodule

Nu dient er bekeken te worden hoe de zonnemodule gerealiseerd kan worden op het te ontwerpen product, waarbij de configuratie van de afzonderlijke zonnecellen aan bod komen.

Er wordt voorgesteld om een zonnecel van 9 cm^2 groot te realiseren met een lengte van 4,5 cm en een breedte van 2 cm. Uit diverse mogelijkheden is er voor deze afmetingen gekozen, omdat hiermee de oppervlakte op het te ontwerpen product efficiënter opgevuld kan worden. De bovenzijde van een zonnecel vormt de minpool en de onderzijde de pluspool. In bijlage K.3 zijn de overige mogelijkheden afgebeeld.

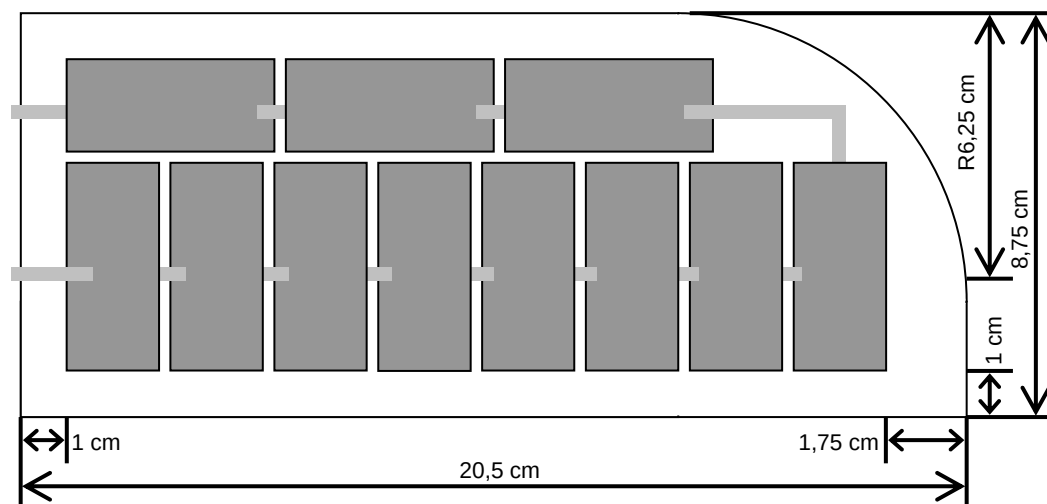
Na de voorgaande stap dienen er drie serieschakelingen van 11 zonnecellen geconfigureerd te worden. Uit het vormgevingsconcept is al besloten om de zonnemodule op een bepaalde manier te plaatsen, waarbij de drie serieschakelingen onder elkaar worden geplaatst. De configuratie van de bovenste en onderste serieschakeling dient aangepast te worden aan de afronding. De configuratie is dan als volgt gerealiseerd, waarbij de bovenste en onderste serieschakeling hetzelfde zijn, maar 180° ten opzichte van elkaar zijn gedraaid. Hierbij is er al rekening gehouden met de volgende aspecten:

- de ruimtes tussen de zonnecellen voor verbindingdraden en de scheiding van de zonnecellen;
- een rand om een serieschakeling van de zonnecellen heen, vanwege productietechnische aspecten;
- een extra rand om een serieschakeling van de zonnecellen heen die voor extra bescherming en vasthechting aan het oppervlak van het te ontwerpen product zorgt.



*Figuur 5.12:
Ware grootte
van het
vooraanzicht
van een
individuele
zonnecel.*

Het tweede aspect duidt op de inbedding van de zonnecellen in een kunststofhars, die de zonnecellen beschermt tegen invloeden van buitenaf. Het derde aspect geeft een rubberen rand aan die om de ingebedde zonnecellen wordt geplaatst. Hierbij zal de rand zo gemaakt zijn dat de ingebedde zonnecellen er van achteren in de rand past. Deze drie aspecten worden later nader toegelicht in de sectie die de productietechnische aspecten van de zonnemodule behandelt. In de volgende figuur is de configuratie te zien van de ingebedde zonnecellen met de afmetingen erbij.

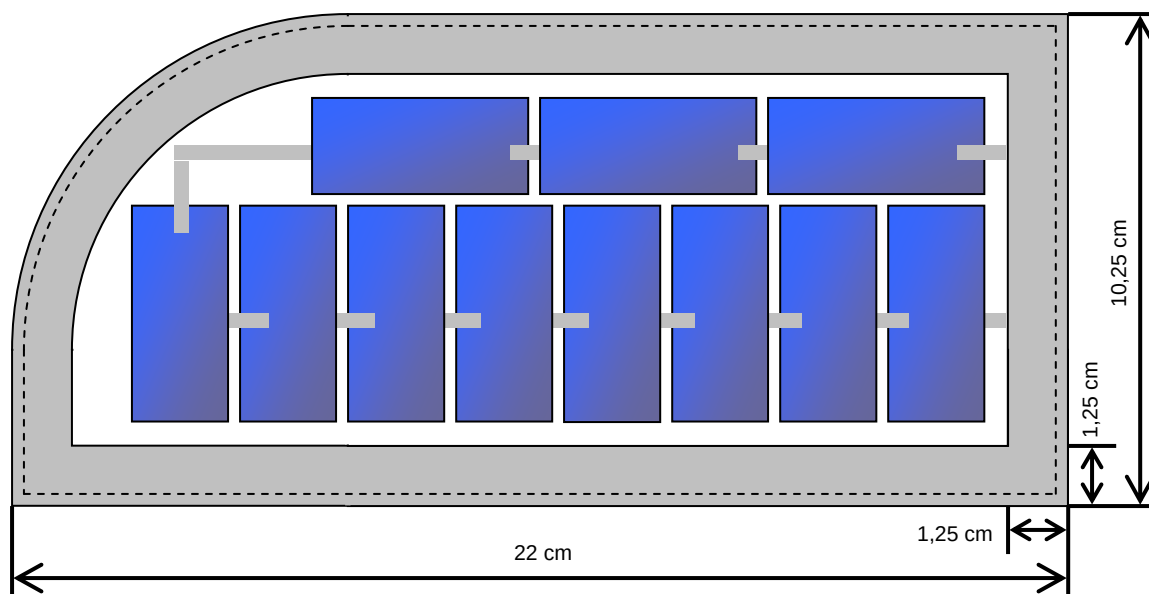


*Figuur 5.13:
Achteraanzicht
van een
ingebedde
serieschakeling
van zonnecellen
(met afronding).*

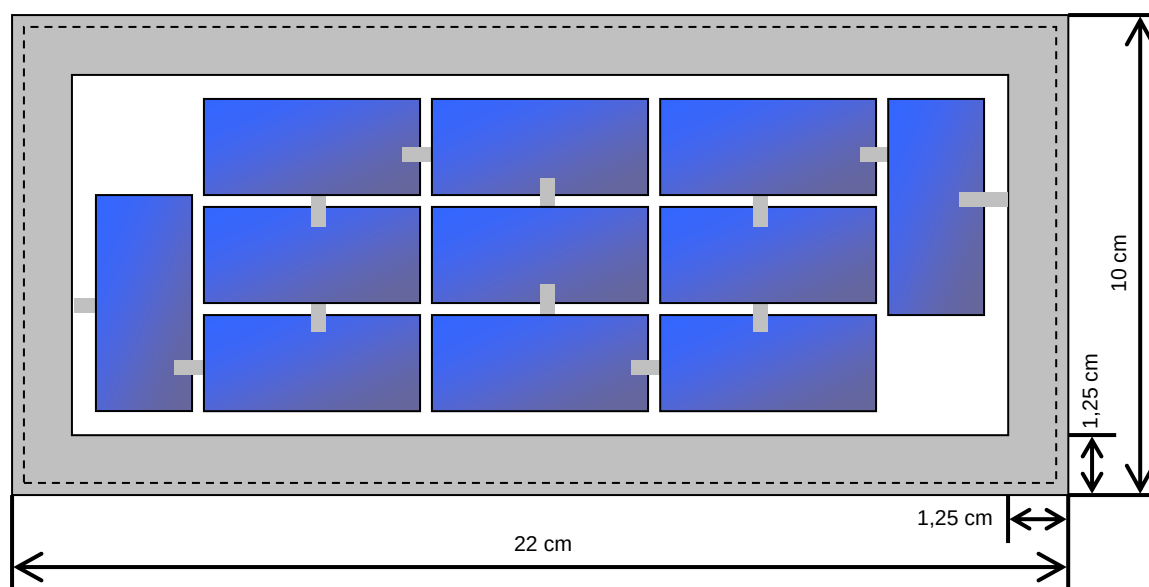
De zonnecellen zelf zijn elk van elkaar gescheiden met een tussenruimte van 0,25 cm.

De afmetingen van de rechthoekige ingebedde serieschakeling van zonnecellen (zonder rubberen rand) heeft een lengte van 20,5 cm en een breedte van 8,5 cm. De rand van glasvezels om de zonnecellen heen is hierbij ook 1 cm dik.

Om deze ingebedde zonnecellen heen komt een rubberen rand van 1,25 cm dik, waarbij een 0,5 cm ervan een deel van de glasvezelrand van de ingebedde zonnecellen bedekt. De overige 0,75 cm van de rubberen rand bevindt zich buiten de glasvezelrand. De hierdoor verkregen afmetingen zijn dan als volgt afgebeeld in de figuren 5.14 en 5.15, waarbij de gestreepte lijnen de naden voorstellen waarmee de serieschakelingen van zonnecellen op de tas vastgehecht worden. De serieschakeling met een afronding heeft een straal van 7 cm.



Figuur 5.14: Vooraanzicht van een verstevigde serieschakeling van zonnecellen (met afronding).



Figuur 5.15: Vooraanzicht van een verstevigde rechthoekige serieschakeling van zonnecellen.

Verkregen oppervlakte en massa van zonnecel tot zonnemodule

Het oppervlaktegebruik van de zonnemodule op het te ontwerpen product is in de volgende tabel weergegeven. Voor de achterliggende berekening wordt er verwezen naar bijlage K.4.

Benodigde oppervlakte	Serieschakeling met afronding (A)	Rechthoekige serieschakeling (B)	Zonnemodule (= 2×(A)+(B))
Alleen zonnecellen	99 cm ²	99 cm ²	297 cm ²
Ingebedde zonnecellen	171 cm ²	174,25 cm ²	516,25 cm ²
Verstevigde zonnecellen	215 cm ²	220 cm ²	650 cm ²

Tabel 5.9: Berekende soorten oppervlaktes die zonnecellen gaan innemen op het product.

Voor de massa van de zonnemodule zal de volgende schatting gemaakt worden. Er is hiervoor een echt silicium wafel genomen, waarop een laagje kunststofhars is uitgehard en vervolgens is hier de massa van bepaald. Er is hier niet voor een schone silicium wafel gekozen, omdat er rekening gehouden dient te worden dat de zonnecellen nog elektrische contactpunten bevatten en de totale massa hiervan wordt geschat door gebruik te maken van de hierboven genoemde wafel. De gemeten massa bedroeg circa 10 gram voor een silicium wafel met uitgeharde kunststofhars, die een oppervlakte heeft van ongeveer 45 cm². Hierna is deze waarde gebruikt om de massa van een individuele zonnecel en vervolgens een serieschakeling van zonnecellen te bepalen. In de volgende tabel zijn deze massa's uiteengezet, waarbij ook de totale massa van de zonnemodule is aangegeven. In bijlage K.5 is hierop een uitgebreidere toelichting te vinden.

Onderdeel	Geschatte massa
Enkele zonnecel	2 gram
Serieschakeling met ingebedde zonnecellen	42 gram
Serieschakeling met verstevigde zonnecellen	62 gram
Hele zonnemodule (met verstevigingen)	186 gram

Tabel 5.10: Aannames van diverse massa's van zonnecellen.

In eerste instantie was het de bedoeling om een parallelschakeling te creëren van vier serieschakelingen. Na enige berekeningen van de te verkrijgen totale afmetingen en de oppervlakte bleek dat dit ervoor zorgde dat het te ontwerpen product te groot werd. Dus werd er geprobeerd dit te verminderen door een serieschakeling weg te halen, waardoor het totale aantal toegepaste zonnecellen verminderd werd van 44 naar het huidige aantal van 33.

5.4.2. Ontwerpoverwegingen van accu en elektronische circuits

Li-ion accu

Er is eerder al gekozen voor een Li-ion accu en er zal hier verder gespecificeerd worden op bepaalde elektrische kenmerken ervan en de afmetingen.

Voor de accu is er al besloten voor een accuspanning van 3,6 Volt. Dit is het meest gangbare, omdat hierbij de Li-ion accu uit een enkele chemische accucel bestaat met de aangegeven spanningswaarde. Als er meerdere cellen in serie geplaatst worden, neemt de spanning toe waarbij elke cel een spanning heeft van 3,6 Volt. Aangezien de oplaadspanning afkomstig van de zonnecellen door de MPPT al wordt geconverteerd naar een waarde gelijk aan of tussen 5 en 5,5 Volt, blijft een accuspanning van 3,6 Volt als enige mogelijkheid over.

Voor de stroomcapaciteit dient er minimaal 1,5 Ampère-uur opgeslagen te zijn. Er zal echter worden gekozen voor een stroomcapaciteit van 2,5 Ampère-uur, omdat er aan de ene kant hiermee meer energie van de zonnecellen kan worden opgeslagen, waardoor er langer van gebruik gemaakt kan worden in donkere situaties. Aan de andere kant is er ook als eis gesteld dat de oplaadduur niet langer dan tien uur mag bedragen. Een accu met een stroomcapaciteit van 1,5 Ampère-uur doet hier, bij gemiddelde tot goede weersomstandigheden, ongeveer 2 tot 5 uur over. Het opladen van een accu met een stroomcapaciteit van 2,5 Ampère-uur duurt hierbij ongeveer 4 tot 8 uur. Voor een nadere toelichting over de oplaadduur van de accu wordt er verwezen naar bijlage K.6.

De afmetingen van een dergelijke accu met de voorgestelde specificaties dient hier geschat te worden, omdat hierover geen informatie te vinden is. Wel is bekend dat ze rechthoekig van aard zijn en een ordegrrootte hebben van ongeveer 7 cm × 5 cm × 0,5 cm (lengte × breedte × dikte). Het is verder niet

bekend of dit afhankelijk is van de stroomcapaciteit en daarom zal er ongeveer vanuit gegaan worden dat de accu afmetingen heeft van 10 cm × 7,5 cm × 1 cm (lengte × breedte × dikte).

Laadregelaar

Er dienen maatregelen genomen te worden die niet alleen de op te laden producten en de Li-ion accu beschermen tegen ongewenste situaties, maar ze dienen er ook voor dat er geen gevaarlijke situaties ontstaan voor de gebruiker zelf. Hierbij zullen de maatregelen gesplitst worden in een algemeen deel en een specifiek deel gericht op de Li-ion accu.

De laadregelaar dient ten eerste de volgende algemene beveiligingsmaatregelen te kunnen nemen ten behoeve van het opladen:

- de stroomrichting dient geblokkeerd te worden, wanneer er stroom vanuit de elektronische producten en/of de Li-ion accu de zonnecellen instroomt;
- bij stroomsterktes met een waarde tussen 0,8 en 1,0 Ampère, die voor een versnelling van de oplading en beschadiging kunnen zorgen voor de elektronische producten en de Li-ion accu, dient de stroomsterkte afgezwakt te worden tot aanvaardbare niveaus kleiner of gelijk aan 0,8 Ampère;
- bij stroomsterktes boven 1,0 Ampère veroorzaakt door kortsluiting of door extreem hoge stralingswaarden, dient de toevoer ervan gestopt te worden, wanneer deze stroomsterktes zich langere tijd voordoen (in termen van een tiental seconden).

De eerste maatregel komt in gebruik wanneer de tas zich in donkere situaties bevindt en waaraan elektronische producten verbonden zijn. Ook de Li-ion accu zelf kan in dergelijke gevallen stroom naar de zonnemodule sturen.

De tweede maatregel is voorgesteld, omdat de instraling van de zon af en toe hogere stralingswaarden kan vertonen die iets hoger zijn dan 1000 W/m². Hierbij kan de geproduceerde stroom van de zonnecellen hoger uitkomen dan het vastgestelde maximum van 800 milliampère.

De waarde van 1,0 Ampère bij de tweede en derde maatregel is voortgekomen uit de gedachte dat de Li-ion accu en/of de elektronische producten geen hogere stroomsterktes kunnen verdragen dan 1,0 Ampère. Dit kan namelijk bij bepaalde elektronische producten schade opleveren voor de laadcircuits en/of de (interne) accu.

Voor de beveiligingsmaatregelen die betrekking hebben op het opladen en ontladen van de Li-ion accu, zal er eerst aangegeven worden hoe het oplaadproces van dergelijke accu's verlopen.

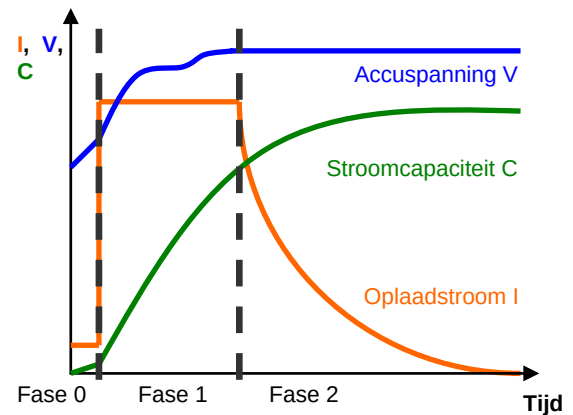
Voor het opladen van de Li-ion accu dient er op een speciale wijze gewerkt te worden. Dergelijke accu's worden grotendeels extra snel opgeladen met een snelheid van ongeveer 1,0C. De wijze hiervan verloopt iets gecompliceerder dan hier beschreven en daarom zal er hier ingegaan worden op het laadproces van een Li-ion accu (waarbij dit afkomstig is van een ingenieursartikel van Dearborn (Microchip Technology Inc., 2004)).

Elk type accu opereert (bij het ontladen en opladen) onder een bepaald spanningsinterval en dit verschilt per accu. In geval van een Li-ion accu liggen de spanningsgrenzen van normale operatie bij 2,8 en 4,2 Volt. Wanneer men onder of boven deze waarden terechtkomt (bij respectievelijk ontladen en opladen), wordt de cel instabiel vanwege ongewenste chemische reacties. Om dit te voorkomen is er zowel bij het ontladen als opladen speciale elektronische circuits nodig om alles in goede banen te leiden.

Bij het opladen van een lege Li-ion accu zal er als volgt te werk gegaan worden in de volgende fasen:

- Fase 0: alleen als de spanning van de accu lager is dan 2,8 Volt (in het geval na een diepe ontlading), wordt er een constante stroomsterkte van maximaal 0,1C gebruikt. Dit wordt gedaan om de accu langzaam op gang te brengen, waardoor de accu op normaal niveau opgeladen kan worden.

- Fase 1: bij een accuspanning groter dan 2,8 Volt wordt er opgeladen met een constante stroomsterkte die iets lager ligt dan 1,0C. De spanning en de stroomcapaciteit nemen hierbij snel toe, waarbij deze fase ongeveer een uur kan duren.
- Fase 2: wanneer de spanning van de accu 4,2 Volt heeft bereikt, wordt er overgestapt tot het opladen met een constante spanning van 4,2 Volt. In dit geval neemt de stroomsterkte langzaam af in de tijd. Dit wordt veroorzaakt door de toenemende weerstand die wordt ondervonden doordat de volle stroomcapaciteit bijna bereikt is. Uiteindelijk kan deze fase op twee manieren beëindigd worden, namelijk met behulp van een timer, het bereiken van een minimale stroomsterkte of door gebruik te maken van beide. De timer laat de accu nog circa twee uur extra opladen (nadat de spanning van 4,2 Volt is bereikt) en de tweede methode gaat hiermee door totdat een stroomsterkte tussen circa 0,07C en 0,1C is bereikt. Een grafische weergave van de voorgaande fasen is in de figuur hiernaast weergegeven.



Figuur 5.16: De oplaadfasen van een Li-ion accu.

De voorgaande aspecten uit de oplaadfasen zullen gereguleerd worden door de laadregelaar, waarbij de laatste fase beëindigd zal worden met het detecteren van een minimale stroomsterkte of met een timer van 30 minuten. Er is gekozen voor 30 minuten, omdat in sommige gevallen de accu een hoge stroomcapaciteit kan vertonen die echter niet 100% is en om te voorkomen dat de accu te lang wordt opgeladen dan gebruikelijk is.

Daarnaast worden er ook extra beveiligingscircuits toegevoegd die de temperatuur van de accu kunnen registreren. Als er buiten bepaalde waarden wordt getreden, zorgen de circuits ervoor dat het opladen wordt geannuleerd. In geval van Li-ion accu's, worden de grenzen gelegd bij 0°C en 40°C.

DC–DC omzetter

Er worden twee soorten omzetters toegepast en die zijn als volgt:

- een MPPT die de spanning van de zonnemodule verplaatst naar een meer optimale waarde tussen circa 5,0 en 5,5 Volt voor het opladen van de elektronische producten of de Li-ion accu;
- een step-up converter (boost converter) die de spanning van de Li-ion accu verhoogt tot 5 Volt voor het opladen van de elektronische producten.

De laadregelaar en de twee DC–DC omzetters zullen in dit geval in de vorm van printplaten en/of elektronische circuits toegepast en gecombineerd worden tot een compact geheel.

Elektronicamodule

Om al deze elektronicaonderdelen en de Li-ion accu goed op te kunnen bergen in het te ontwerpen product, zullen ze samen in een elektronicamodule gestopt worden, zodat de verbindingen beter aangelegd kunnen worden. Voor deze hele module worden de afmetingen geschat op circa 12 cm × 8 cm × 3 cm (lengte × breedte × dikte), waarin de afmetingen van de accu zijn meegenomen. Daarnaast zal er geschat worden dat deze hele module circa 200 gram zal zijn. Zelf hebben Li-ion accu's in bestaande producten een dergelijke massagrootte en daaraan dragen de printplaten een klein aandeel bij.

Aan de elektronica-module komen er twee aansluitingspunten te zitten, waaraan het ene aansluitingspunt wordt verbonden met de bedrading afkomstig van de zonnemodule en het andere aansluitingspunt verbonden kan worden met de elektronische producten. Het eerstgenoemde aansluitingspunt zal de mogelijkheid krijgen om losgekoppeld te worden van de elektronica-module. Hierdoor is het eenvoudiger om deze module te vervangen in geval van defecten. Voor de laatste aansluitingsmogelijkheid worden er een aantal pluggen bijgeleverd, waardoor de compatibiliteit met de diverse soorten elektronische producten gerealiseerd kan worden. Zoals eerder al aangegeven, hebben de meeste producten een rond aansluitingspunt, maar de diameter ervan verschilt nog. Er zal hierbij nog alleen gericht worden op elektronische producten met een rond aansluitingspunt, omdat dit soort aansluitingen tegenwoordig het meest voorkomen.

Verder wordt deze elektronica-module omhuld met een stevige kunststoffen behuizing die bestand is tegen schokken en trillingen en deze ook kan absorberen.

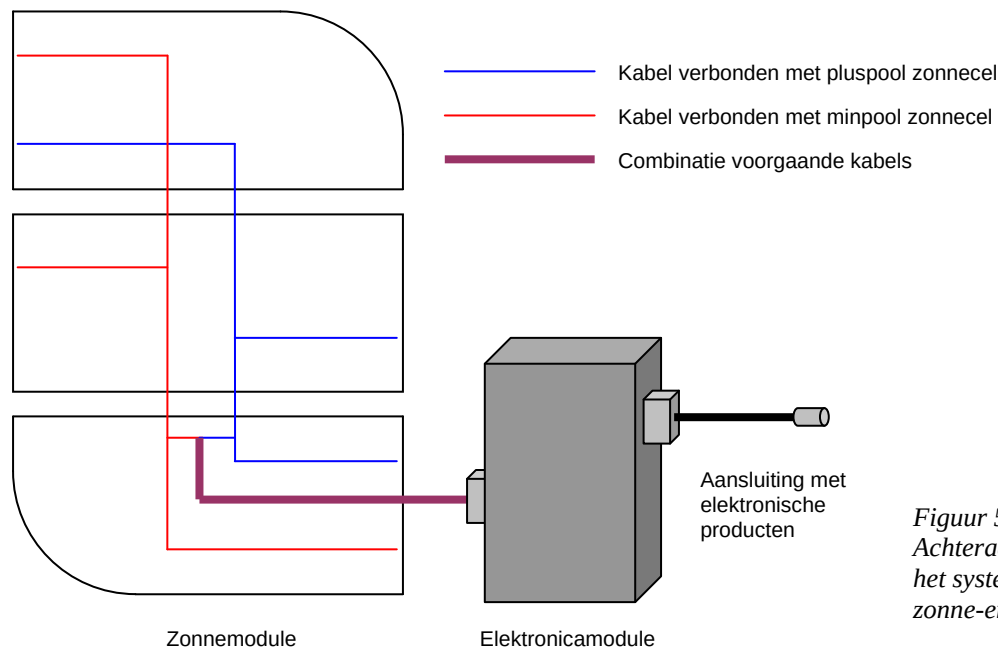
5.4.3. Ontwerpoeverwegingen van bekabeling

De bekabeling hangt van het ontwerp van de tas af, waarbij het van belang is om te weten hoever de Li-ion accu van de zonnecellen verwijderd is en hoe lang de verbindingen zijn tussen de aansluiting aan de zonnemodule en de op te laden producten.

Uit het vormgevingsontwerp is te merken dat de elektronica-module zich in een apart compartiment bevindt naast die van de zonnemodule. Hierdoor dient de bekabeling achterlangs de zonnemodule naar het compartiment geleid te worden. Er wordt hier geschat dat de benodigde kabel ongeveer 20 tot 25 cm lang is, waarbij er gerekend is vanaf het aansluitingspunt van de elektronica-module tot het punt waar de bedrading vanuit de zonnemodule bij elkaar komen om een parallelschakeling te realiseren. De bedrading vanuit de positieve als de negatieve pool van de zonnecellen zal elk geschat worden op 15 cm, waarbij er hier zes kabels nodig zijn.

Daarnaast is er een kabel nodig tussen het aansluitingspunt en de op te laden producten en omdat deze producten vlakbij liggen, zal een lengte van circa 10 cm voldoende zijn. Deze lengte is iets ruim genomen, aangezien het contactpunt van de elektronische producten niet altijd recht tegenover het aansluitingspunt ligt en doordat de producten niet altijd op deze wijze geplaatst kunnen worden.

In de figuur hieronder is het voorgaande visueel weergegeven.



*Figuur 5.17:
Achteraanzicht van
het systeem van
zonne-energie.*

Voor de dikte van de kabels zal er een diameter genomen worden tussen 0,1 tot 0,3 cm, omdat deze dikte het meest gebruikt wordt. Verder zullen ze een vrij kleine bijdrage leveren in de totale massa van het te ontwerpen product die in de orde grootte valt van ongeveer tientallen grammen.

5.4.4. Specificaties van technische onderdelen

Nu alle technische onderdelen zijn bepaald en nader zijn gespecificeerd, zal er hieronder een samenvatting volgen van alle onderdelen met hun specificaties. De specificaties die zijn gemarkeerd met een asterisk (*) duiden erop dat de betreffende waarde iets ruimer is genomen.

In de eerst volgende drie overzichten zijn er specificaties gegeven van de zonnemodule op het te ontwerpen product. De gegeven elektrische kenmerken gelden alleen bij een instraling van 1000 W/m^2 .

Specificaties enkele zonnecel	
Type	Monokristallijn silicium
Efficiëntie	15%
Spanning (V_{MPP}) per zonnecel	0,5 Volt per zonnecel
Stroomsterkte (I_{MPP}) per zonnecel	0,27 Ampère per zonnecel
Afmetingen (lengte $\times$ breedte)	4,5 cm $\times$ 2,0 cm

Specificaties van serieschakeling...	...met afronding	...die rechthoekig is
Aantal zonnecellen	11	
Totale spanning	5,5 Volt per serieschakeling	
Totale stroomsterkte	0,27 Ampère per serieschakeling	
Buitenafmetingen (lengte $\times$ breedte)	22,0 cm $\times$ 10,25 cm	22,0 cm $\times$ 10,0 cm
Buitenstraal afronding	7,0 cm	-
Totale oppervlakte	215 cm ²	220 cm ²
Totale massa *	65 gram (met rubberen rand)	

Specificaties zonnemodule	
Aantal zonnecellen	33
Aantal serieschakelingen met afronding	2
Aantal rechthoekige serieschakelingen	1
Totale spanning	5,5 Volt per module
Totale stroomsterkte	0,81 Ampère per module
Totale oppervlakte	650 cm ²
Totale massa *	200 gram (met rubberen randen)

De volgende vier overzichten geven de specificaties weer van de elektronicamodule van het te ontwerpen product.

Specificaties accu	
Type	Lithium-ion (Li-ion)
Aantal accucellen	1
Nominale accuspanning	3,6 Volt per accucel
Stroomcapaciteit	2,5 Ampère-uur
Gemiddelde oplaadduur	5 tot 8 uur
Stroomafgifte accu	0,5 Ampère-uur
Afmetingen (lengte $\times$ breedte $\times$ dikte)	10,0 cm $\times$ 7,5 cm $\times$ 1,0 cm

Soort functie		Funcities van de laadregelaar
Algemene functies		Blokkering van stroomrichting.
		Stroomsterkte detecteren tussen 0,8 en 1,0 Ampère en verlagen naar stroomsterktes $\leq 0,8$ Ampère.
		Stroomsterkte $> 1,0$ Ampère uitschakelen.
Accugerelateerde functies	Opladen	Accuspanning $< 2,8$ Volt detecteren en doorgelaten stroomsterkte verlagen naar 0,1C.
		Bij een accuspanning tussen 2,8 en 4,2 Volt de stroomsterkte verhogen naar 1,0C.
		Accuspanning $> 4,2$ Volt detecteren en vervolgens accuspanning constant houden op 4,2 Volt.
		Stroomtoevoer afkappen als stroomsterkte $< 0,1C$ of wanneer timer 30 minuten is verstreken.
		Temperatuur $< 0^{\circ}C$ en $> 40^{\circ}C$ detecteren en stroomtoevoer uitschakelen.
	Ontladen	Stroomafgifte van 0,5 Ampère reguleren.
		Accuspanning $< 2,8$ Volt detecteren en stroomafgifte uitschakelen.

Specificaties DC–DC omzetters		
Aantal DC–DC omzetters	2	
Type DC–DC omzetters	Maximum Power Point Tracker (MPPT)	Step-up (boost) converter
Ingangsspanning van:	Zonnemodule	Li-ion accu
Grootte ingangsspanning	0 – 5,5 Volt	2,8 – 4,2 Volt
Uitgangsspanning naar:	Li-ion accu & consumentenelektronica	Consumentenelektronica
Grootte uitgangsspanning	5,0 – 5,5 Volt	5,0 Volt

Specificaties elektronikamodule	
Afmetingen (lengte $\times$ breedte $\times$ dikte) *	12,0 cm $\times$ 8,0 cm $\times$ 4,0 cm
Massa	200 gram
Aantal aansluitingspunten met consumentenelektronica	1
Aantal aansluitingspunten afkomstig van zonnemodule	1

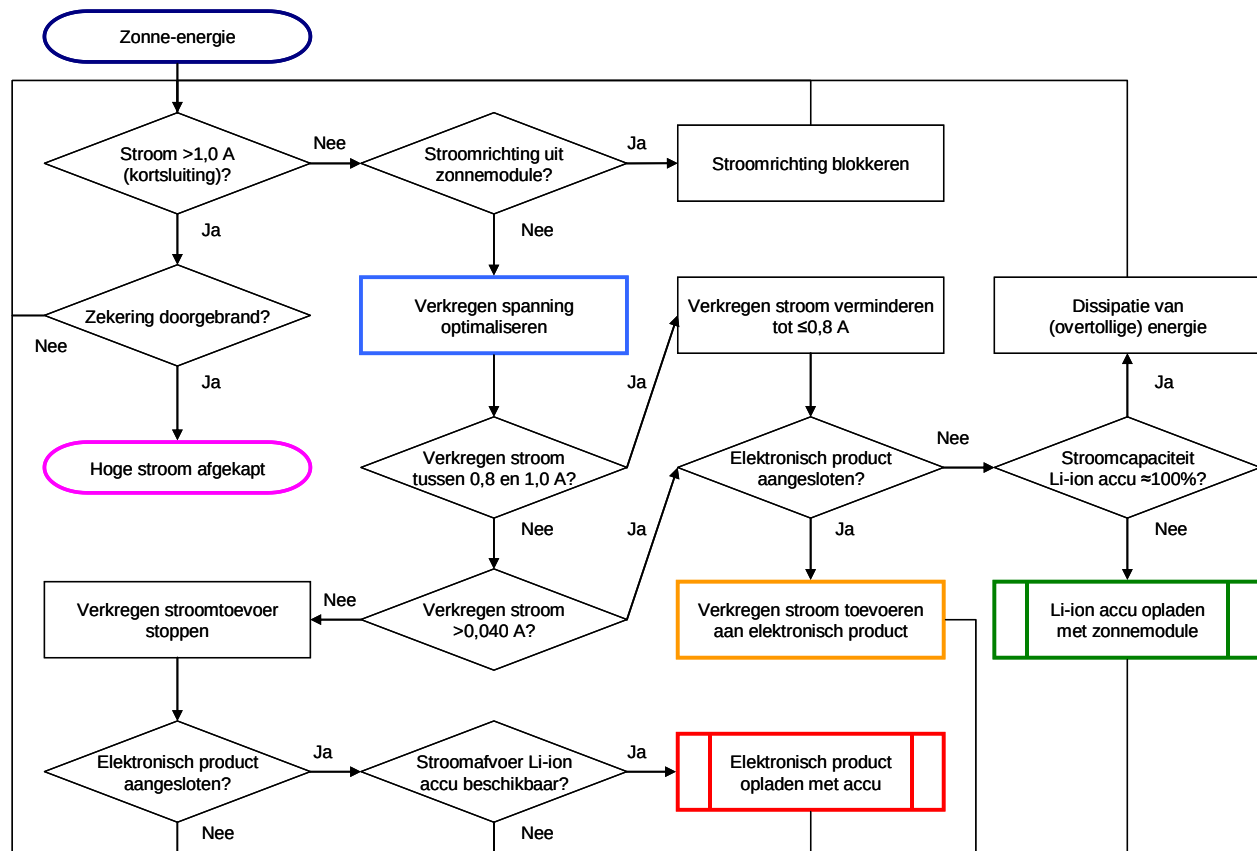
Het volgende overzicht geeft een aantal specificaties weer van de toegepaste bekabeling in het te ontwerpen product.

Specificaties bekabeling	Hoe	Aantal	Lengte	Diameter
Kabel tussen zonnemodule en elektronikamodule (a)	2 kabels in 1 omhulsel: van pluspool zonnemodule en naar minpool ervan.	1	20 – 25 cm	0,3 cm
Kabels afkomstig van serieschakelingen (b)	1 kabel: van pluspool serieschakeling of van minpool ervan.	6	10 – 15 cm	0,1 cm
Kabel tussen elektronikamodule en consumentenelektronica	2 kabels in 1 omhulsel: van pluspool elektronikamodule en naar minpool ervan.	1	10 cm	0,3 cm

Kabel (a) is gelijk aan de paars gekleurde kabel in figuur 5.17 en kabel (b) is hierbij de individuele blauwe en rode kabels in de desbetreffende figuur.

5.4.5. Stroomschema van systeemshakeling

Het opladen van elektronische producten en de Li-ion accu gaat niet vanzelfsprekend. De elektronische circuits doen hierbij al het werk. Om de functies ervan beter in beeld te brengen, is er een stroomschema opgesteld. Het stroomschema van het hele systeem is hieronder afgebeeld, waarbij de gegevens van de voorgaande onderdelen zijn verwerkt.



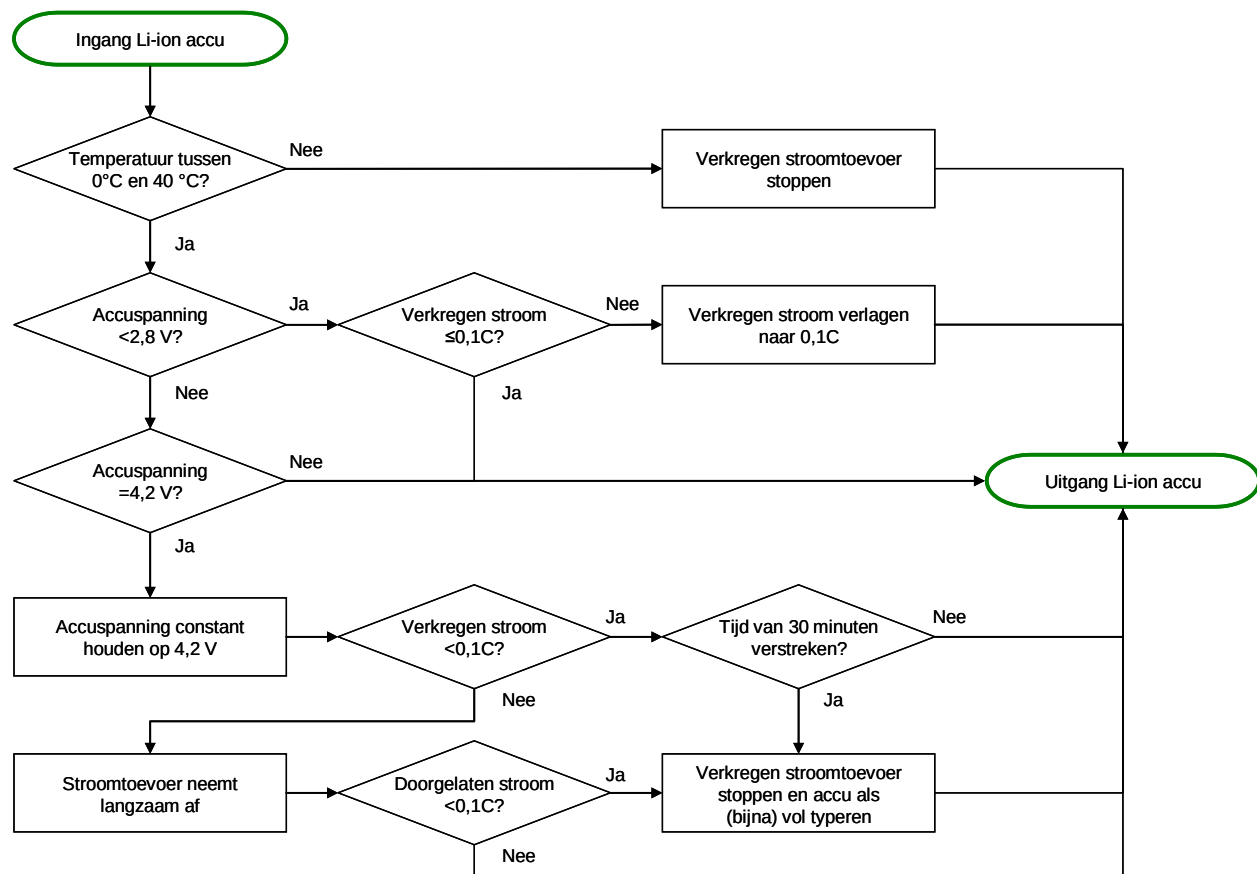
Figuur 5.18: Stroomschema van het systeem van zonne-energie.

Legenda van blokken

Soort blok	Benaming blok	Verklaring blok
	Label	Aanduiding van een bepaalde situatie of toestand aan het begin of eind van het stroomschema.
	Beslissing	Aanduiding om aan te geven of een bepaalde situatie of toestand waar of niet waar is.
	Actie	Aanduiding van een uit te voeren activiteit.
	Methode	Aanduiding van een meer gecompliceerder uit te voeren activiteit.

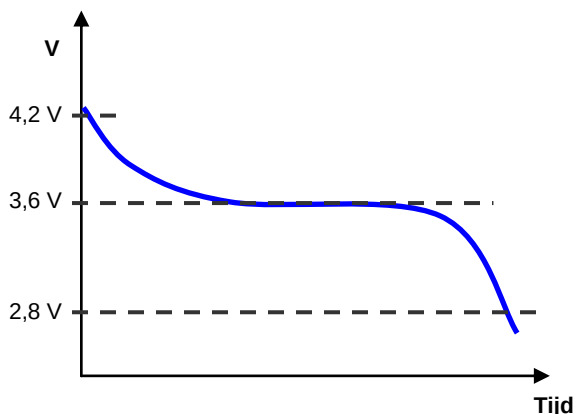
In het stroomschema komen de verschillende functies van de laadregelaar terug. De gebruikte kleuren van een aantal blokken geven de onderdelen en de pijlen aan die overeenkomen met het schema van de systeemshakeling in figuur 5.10. De blauwgekleurde actie duidt hierbij op een van de DC-DC omzetters, namelijk de MPPT.

Uit het stroomschema is gebleken dat er twee methoden aanwezig zijn. Het stroomschema van de methode voor het opladen van een Li-ion accu (met de zonnemodule) is hieronder afgebeeld, waarbij aspecten uit voorgaande onderdelen in acht is genomen.

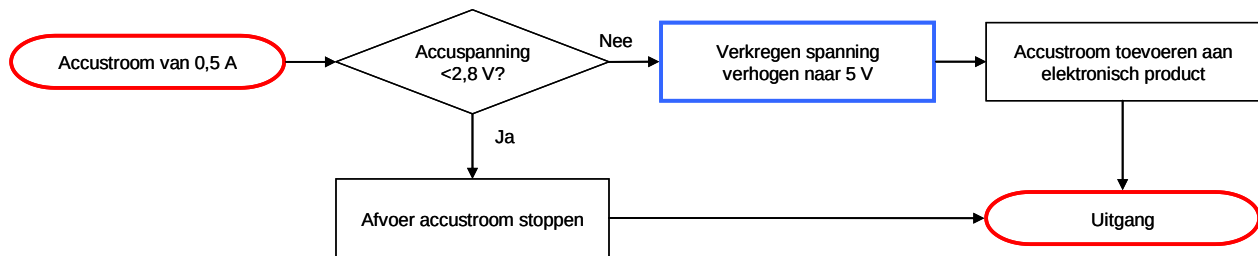


Figuur 5.19: Stroomschema van de methode “Li-ion accu opladen met zonnemodule”.

Hieronder is nog het stroomschema afgebeeld van de methode voor het opladen van elektronische producten met een Li-ion accu. Hierbij hoeven er weinig ingewikkelde circuits toegevoegd te worden. Het belangrijkste is dat er gelet dient te worden dat de spanning van de Li-ion accu zelf niet onder een spanning komt van 2,8 Volt. Voor het gemak is hiernaast nog een grafische weergave getoond van het ontladproces van een Li-ion accu, zoals dat veelal in de praktijk voorkomt. Bij specificaties van accu's wordt altijd de nominale spanning vermeld van 3,6 Volt, aangezien bij het gebruik de spanning grotendeels rond deze waarde ligt.



Figuur 5.20: Het ontladproces van een Li-ion accu.



Figuur 5.21: Stroomschema van de methode “Elektronisch product opladen met accu”.

Voor het opladen van de interne accu van de elektronische producten is geen extra elektronische circuits nodig, zoals dit het geval is voor het opladen van de Li-ion accu. Dit komt doordat de laadcircuits in de op te laden producten zitten. Het enige wat er hierbij dient te gebeuren, is dat er een gelijkspanning over en een gelijkstroom door de interne accu van de producten wordt gezet of gestuurd, waarna de laadcircuits in de producten het werk doen. Ook is het afkappen van de stroom als de elektronische producten zijn opgeladen niet opgenomen, omdat dit niet realiseerbaar is. Dit komt doordat de laadcircuits in de elektronische producten op zichzelf zijn ontworpen en werkzaam zijn en het is niet mogelijk om hieraan informatie uit te onttrekken over de stand van de accucapaciteit van de elektronische producten. Of ze volledig zijn opgeladen, dient aan de gebruiker overgelaten te worden door dit te controleren op het beeldscherm ervan (aangezien de elektronische producten tegenwoordig een beeldscherm bevatten).

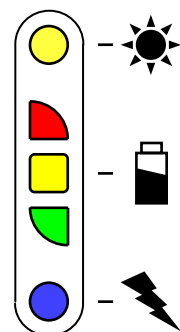
5.5. User Interface ontwerp

De technische aspecten van het ontwerp is grotendeels gereed en in deze sectie zal er nog ingegaan worden op een aantal gebruikersvriendelijke aspecten hieraan. Er zal dan vooral gekeken worden naar bepaalde terugkoppelingsaspecten die aan te pas kunnen komen bij het gebruik van de zonnemodule en de bijbehorende elektronikamodule.

Voor het ontwerp van de User Interface is het van belang om op een rij te krijgen welke functies die dient te bevatten en die is als volgt:

- aangeven of de zonnemodule genoeg vermogen produceert;
- aangeven hoe vol de accucapaciteit is;
- aangeven of de accu zich aan het ontladen, opladen of in de rusttoestand bevindt;
- aangeven of er elektronische producten opgeladen worden;
- de mogelijkheid om de elektronikamodule aan of uit te zetten.

De User Interface zal bestaan uit vijf LED lampjes die boven elkaar zijn geplaatst, waarnaast er in symbolen is aangegeven wat ze voorstellen (zie figuur 5.22). Het bovenste gele lampje dient om aan te geven of de zonnemodule wel of (bijna) geen stroom levert. De middelste drie lampjes geven de capaciteit van de accu weer, waarbij de kleuraanduidingen van de lampjes drie verschillende standen van de accucapaciteit aangeven. Het onderste blauwe lampje wordt gebruikt om aan te geven of er elektronische producten opgeladen worden.



Figuur 5.22: LED lampjes met de bijbehorende symbolen.

Naast deze lampjes worden er nog twee knoppen aan toegevoegd:

- een aan/uit schakelaar, waarmee de elektronikamodule in- of uitgeschakeld kan worden, zodat de energie van de zonnemodule of de accu gebruikt kan worden;
- een power knop, die bij een ingeschakelde elektronikamodule in bepaalde situaties de accucapaciteit kan aantonen (waarover later meer).

De aan/uit schakelaar is bedoeld om de schakeling compleet of incompleet te maken. Als de elektronicamodule eenmaal is aangezet via de aan/uit schakelaar, zal de hele schakeling actief zijn. Wanneer er voor bepaalde momenten hiervan niet gebruik gemaakt wordt, zal die zich automatisch na een korte tijd uitzetten (waarbij de schakeling als het ware standby wordt gezet, zonder dat de accu wordt gebruikt of leegloopt). Dit doet zich voor als de zonnemodule niet genoeg energie produceert en als er verder geen producten zijn aangesloten.

Wanneer de elektronicamodule is ingeschakeld, kunnen de lampjes in verschillende configuraties gaan oplichten. De oplichting van de verschillende LED lampjes is in tabel 5.11 weergegeven. In dit geval gaat het om de situatie wanneer de zonnemodule genoeg vermogen levert (aangegeven met een constant brandende geel lampje) en er geen of wel elektronische producten zijn aangesloten (respectievelijk aangeduid met een niet brandende of wel brandende blauw lampje).

Geel lampje	Accu lampjes			Blauw lampje	Aanduiding
	Rood lampje	Geel lampje	Groen lampje		
Aan	Aan	Aan	Knipperend	Uit	Accucapaciteit is bijna vol en is bezig met opladen.
Aan	Aan	Knipperend	Uit	Uit	Accucapaciteit is gemiddeld vol en is bezig met opladen.
Aan	Knipperend	Uit	Uit	Uit	Accucapaciteit is (nagenoeg) leeg en is bezig met opladen.
Aan	Uit	Uit	Uit	Uit	Accucapaciteit is vol en om energie te sparen, staan de accu lampjes uit.
Aan	Uit	Uit	Uit	Aan	Producten worden opgeladen.

Tabel 5.11: Overzicht van lampcoderingen in geval de zonnemodule werkzaam is.

Als de elektronicamodule net wordt aangezet met de aan/uit schakelaar, kunnen de voorgaande situaties zich voordoen, behalve de vierde situatie. In de praktijk zal dit niet kunnen plaatsvinden, omdat er bij de inschakeling van een elektronicamodule met een volle accu er altijd wel even wordt opgeladen, waarbij in dit geval de timer ervoor zorgt dat het opladen wordt beëindigd. Hierna kan de vierde situatie zich gaan voordoen. Verder valt er op dat de accu lampjes niet worden gebruikt wanneer er producten zijn aangesloten en worden opgeladen met zonlicht. Dit om aan te geven dat de accu hier niet bij betrokken is.

Nu zal er nog aangegeven worden wat er gebeurt wanneer de zonnemodule niet genoeg of geen vermogen levert, wanneer er wel elektronische producten zijn aangesloten. Al deze gevallen zullen zich wel kunnen voordoen direct na het inschakelen van de elektronicamodule.

Geel lampje	Accu lampjes			Blauw lampje	Aanduiding
	Rood lampje	Geel lampje	Groen lampje		
Uit	Aan	Aan	Aan	Aan	Producten worden opgeladen met een volle accu.
Uit	Aan	Aan	Uit	Aan	Producten worden opgeladen met een gemiddeld volle accu.
Uit	Aan	Uit	Uit	Aan	Producten worden opgeladen met een bijna lege accu.
Uit	Knipperend	Uit	Uit	Aan	Producten worden opgeladen, maar de accucapaciteit is bijna leeg en het opladen stopt na 30 seconden.

Tabel 5.12: Overzicht van lampcoderingen in geval de zonnemodule niet voldoende of geen vermogen levert.

In bepaalde situaties kan men de stand van de accucapaciteit laten zien door op de power knop te drukken, waarbij dit alleen kan gebeuren in de volgende drie gevallen:

- wanneer de zonnemodule genoeg vermogen levert & er elektronische producten zijn aangesloten om opgeladen te worden (bovenste gele en onderste blauwe lampje branden);
- wanneer de accu helemaal vol is (alleen bovenste gele lampje brandt);
- wanneer de zonnemodule niet genoeg of geen vermogen levert & er geen elektronische producten zijn aangesloten (alle lampjes branden niet).

In deze gevallen wordt de accucapaciteit voor een tijdsperiode van ongeveer 30 seconden weergegeven, waarna ze automatisch weer uitgezet worden. De diverse coderingen zijn hieronder aangegeven.

Accu lampjes			Aanduiding
Rood lampje	Geel lampje	Groen lampje	
Aan	Aan	Aan	De accucapaciteit is (nagenoeg) vol.
Aan	Aan	Uit	De accucapaciteit is gemiddeld vol.
Aan	Uit	Uit	De accucapaciteit is laag, maar nog niet leeg.
Uit	Uit	Uit	De accucapaciteit is zo goed als leeg.

Tabel 5.13: Overzicht van lampcoderingen om de stand van de accu weer te geven.

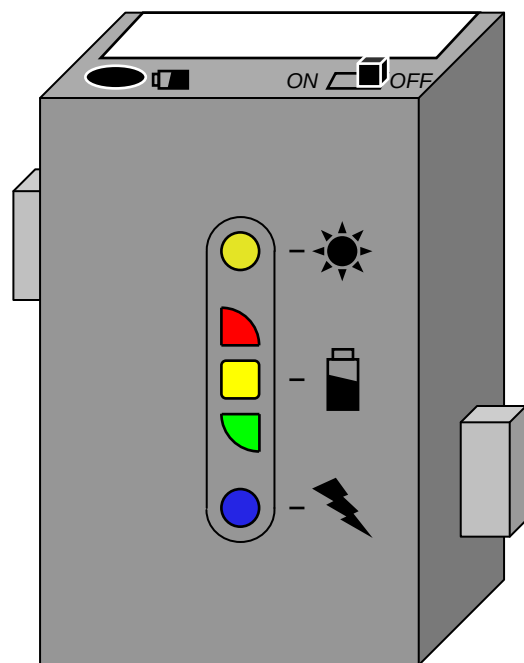
Verder is er nog een situatie die nadere uitleg nodig heeft, namelijk het geval wanneer alle vijf de lampjes niet branden, terwijl de elektronicamodule wel is ingeschakeld. Een van deze gevallen die hierboven al is aangegeven, is dat de accu leeg is in donkere situaties. Andere mogelijkheden zijn:

- kortsluiting, waarbij een zekering is doorgebrand;
- een fout in de elektronische circuits.

Om te controleren of er echt een defect is, dient de zonnemodule verlicht te worden door de zon of een andere heldere lichtbron, waarbij er gecontroleerd kan worden of het bovenste gele lampje wel brandt. Als dit niet het geval is, is de tas niet (goed) meer bruikbaar om elektronische producten mee op te laden en dient de tas teruggebracht te worden naar de winkel of de fabrikant.

Alle vijf de lampjes en de twee knoppen zullen geplaatst worden op de elektronicamodule, waarbij de plaatsing ervan in de figuur hiernaast is afgebeeld. Bovenop de elektronicamodule komt er nog een label (witte strook) die in het kort een aantal waarschuwingen aangeeft bij het gebruik van de elektronicamodule.

Om de lampjes op de elektronicamodule zichtbaar te maken vanaf de buitenkant, zal er een doorzichtig kunststof gebruikt worden op de tas, waardoorheen de lampjes met de symbolen zichtbaar zullen zijn. Van belang is hierbij dat de elektronicamodule met de lampjes naar het doorzichtige kunststof is gericht. Hierdoor kan de gebruiker in een oog opslag zien hoe vol de accu is en in welke laadstand die verkeert. Bovendien hoeft de gebruiker in dit geval niet in het compartiment te kijken, dat vrij onhandig is doordat de elektronicamodule bijgedraaid en de bovenste flap omgeklapt dient te worden. Door de lampjes aan de buitenkant zichtbaar te maken, kan deze situatie vermeden worden.



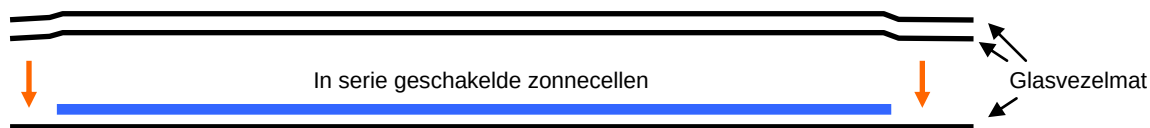
Figuur 5.23: Vooraanzicht van de elektronicamodule met de User Interface onderdelen.

5.6. Productietechnische aspecten van technisch concept

In deze sectie zal er aangegeven worden hoe de zonnemodule geproduceerd kan worden, waarbij diverse hierboven al genoemde aspecten aan te pas komen.

De productie van monokristallijn silicium zonnecellen inclusief de voorste en achterste contactpunten wordt overgelaten aan een gespecificeerde producent, waarbij er voorgelegd wordt welke afmetingen ze dienen te hebben. De kant en klare zonnecellen worden na de levering eerst aan elkaar verbonden met dunne verbindingdraden in de twee voorgestelde configuraties, namelijk een serieschakeling met een afgeronde hoek (waarvan er twee nodig zijn) en een rechthoekige serieschakeling. De volgorde van de verbindingen (tussen de zonnecellen) is in de figuren 5.14 en 5.15 al afgebeeld.

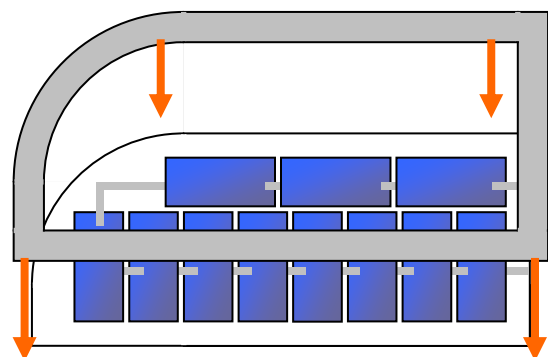
Wanneer de verbindingen gereed zijn, worden ze met de bovenkant naar onderen gericht op een glasvezelmatten geplaatst, waarna nog twee glasvezelmatten erbovenop worden gezet. De glasvezelmatten zijn hierbij op maat gesneden in de voorgestelde afmetingen voor de twee soorten configuraties. Vervolgens wordt deze opstapeling in de productieopstelling gezet op een gladde (glas)plaat en gelamineerd volgens de procedure die verder in de sectie van het practicum nader is beschreven.



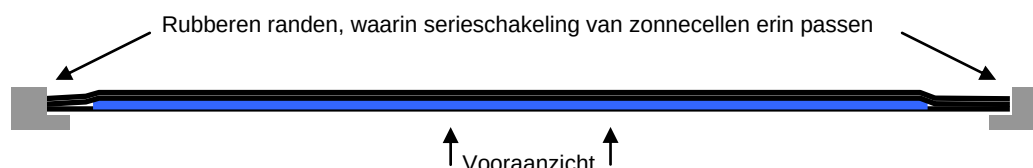
Figuur 5.24: Zijaanzicht van de plaatsing van de glasvezelmatten en de serieschakeling van zonnecellen voor het lamineerproces.

Met het lamineren van deze opstapeling worden de kwetsbare zonnecellen ingebed, die voor extra bescherming biedt tegen (weers)invloeden van buitenaf. Als de serieschakeling van de zonnecellen is gelamineerd, waarbij de zonnecellen inclusief de verbindingen zijn ingebed in glasvezels, wordt er nog een in maat geproduceerde rubberen rand omheen geplaatst. Deze rand is zo gemaakt dat de glasvezelversterkte zonnecellen er ingeklemd worden. Indien de ingebedde serieschakeling niet ingeklemd zit in de rand, wordt er nog enige lijm of hars gebruikt. Deze rand zorgt ervoor dat kwetsbare randen van de verharde glasvezelmatten niet afbreken en daarnaast zorgen ze ervoor dat de uiteindelijke gebruiker er niet aan verwondt, omdat deze glasvezelmatten vrij scherp kunnen zijn aan de randen.

Uiteindelijk wordt de verstevigde serieschakeling van de zonnecellen met draad vastgehecht aan de stof van het te ontwerpen product. Voor een nadere toelichting omtrent de toepassing van een rubberen materiaal, wordt er verwezen naar bijlage K.7. Het voorgaande is in figuren 5.25 en 5.26 gevisualiseerd.



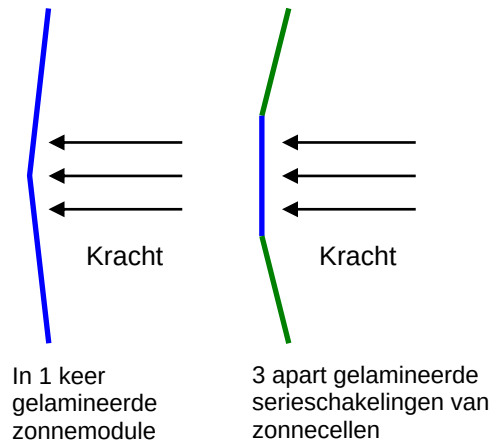
Figuur 5.25: Vooraanzicht van de plaatsing van de rubberen rand om de ingebedde serieschakeling van zonnecellen.



Figuur 5.26: Zijaanzicht van een verstevigde serieschakeling van zonnecellen.

Naar aanleiding van het practicum is gebleken dat het lamineren van zonnecellen een goede methode kan zijn voor versteviging van zonnecellen. Om deze methode ook toe te passen voor de bevestiging ervan aan de stof van het te ontwerpen product is volgens de voorgestelde configuratie van de zonnemodule niet haalbaar. Als de stof van de tas in de opstapeling wordt gebruikt, kan er tijdens het lamineren ook hars door deze stof vloeien, waarna die uithardt. Hierdoor is het niet meer mogelijk om de ingebedde zonnecellen met de stof aan de rest van het te ontwerpen product vast te hechten met draad.

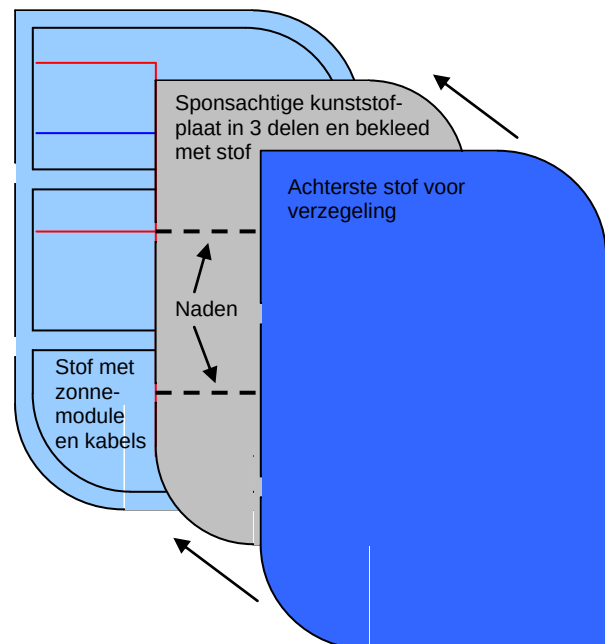
Daarnaast kan er gedacht worden om de stof waaraan de drie serieschakelingen van zonnecellen vastzitten, in een keer te lamineren. Dit is echter ook geen goed idee, omdat hierdoor de stof met de ingebedde zonnemodule uithardt tot een harde stijve plaat, waardoor die nog kwetsbaarder wordt. Wanneer de tas helemaal is volgeladen met spullen, kan er zich situaties voordoen waarbij de tas iets bol komt te staan. De voorste plaat met de zonnemodule komt dan sterk onder druk te staan, wanneer die uit één stijve plaat zal bestaan. Als deze situatie zich talloze keren herhaalt, kan de verstevigde plaat langzamerhand scheuren vertonen, die uiteindelijk de zonnecellen kunnen beschadigen. Deze situatie is voorkomen door de drie serieschakelingen van zonnecellen elk apart op de flexibele stof van de tas te plaatsen, waardoor ze meebuigen wanneer de tas helemaal is volgepakt en iets bol staat. Een visualisatie van het laatstgenoemde probleem is hiernaast afgebeeld.



Figuur 5.27: Verschil van buigzaamheid tussen een enkele gelamineerde zonnemodule van drie serieschakelingen en een drie keer afzonderlijk gelamineerde serieschakeling.

De in- en uitgang van de verbindingen aan de zonnecellen komen via de zijkant(en) uit de serieschakeling, waarna ze achter langs de serieschakeling door een gat van de stof gaan om vervolgens (achter de stof) aan elkaar verbonden te worden. Hierbij worden de positieve polen met elkaar verbonden en dit gebeurt eveneens met de negatieve polen, waarmee een parallelschakeling van drie serieschakelingen gerealiseerd wordt. In figuur 5.17 is dit al weergegeven.

Zoals is gebleken, zit de zonnemodule nu vast aan de stof van het te ontwerpen product. In dit geval zitten de drie verstevigde serieschakelingen van zonnecellen er nog iets los bij zonder enige ondersteuning aan de achterkant. Dit probleem wordt als volgt opgelost. Achter de stof waarop de drie serieschakelingen van zonnecellen zijn bevestigd en waar de bedrading uitkomt, wordt er een sponsachtige kunststofplaat neergezet waaromheen stof zit⁹.



Figuur 5.28: Versteviging achter de zonnemodule.

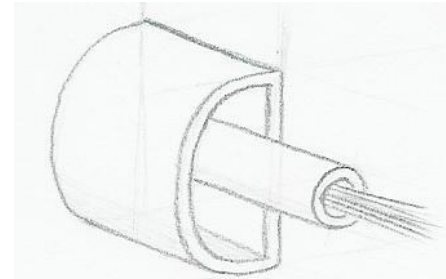
⁹ Het idee om gebruik te maken van een sponsachtige kunststofplaat is afkomstig van een tussenschot in een bestaande rugzak. Dit tussenschot, die omhuld is in stof, is flexibel en sponsachtig van aard en vandaar de benaming hiervoor. Om wat voor soort materiaal het werkelijk gaat, is niet duidelijk vastgesteld.

Deze plaat bestaat uit drie delen die elk achter de corresponderende drie serieschakelingen van de zonnecellen zitten. Om te voorkomen dat de bovenste twee platen naar beneden zakken, wordt de voorste en achterste deel van de stof, op de plekken tussen de platen, aan elkaar vastgehecht.

Na deze tussenplaat volgt er nog een lap stof aan de achterkant die alles verzegelt, waardoor de bedrading niet meer zichtbaar is en geen hinder meer zorgt. Deze stappen zullen wellicht in omgekeerde richting uitgevoerd worden (zie verder in deze sectie) en een visualisatie hiervan is in figuur 5.28 weergegeven.

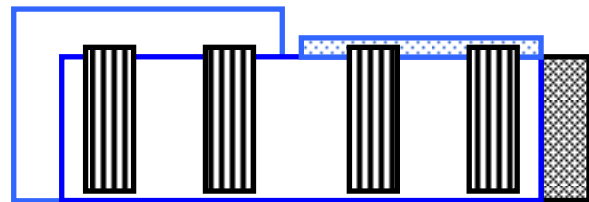
De bedrading wordt vervolgens via een verstevigde doorgang naar het compartiment geleid waar zich de elektronicamodule bevindt. De verstevigde doorgang is nodig, omdat er voorkomen dient te worden dat er bij een volgepakte tas de spullen tegen de bedrading worden aangedrukt (zie figuur 5.29).

De elektronicamodule die zich in het voorste compartiment bevindt, zit hier niet los in. Die wordt met behulp van elastische banden tegen de achterkant van het compartiment gedrukt. Vasthechten of plakken ervan tegen de stof is niet ideaal, omdat het voor kan komen dat gebruikers de elektronicamodule bewegen, waardoor bij talloze keren er scheuren kunnen ontstaan in de stof. De elektronicamodule zelf wordt verder overgelaten aan elektronicaconcerns die de hele module volgens de voorgestelde eisen in elkaar zetten.



Figuur 5.29: Verstevigde doorgang voor bekabeling.

Tenslotte dient de tas nog in productie genomen te worden. De tas wordt grotendeels gemaakt naar het vormgevingsontwerp, waarbij het deel waar de zonnecellen, de bedrading en de elektronicamodule worden ingezet, nog niet zijn dichtgehecht. Daarnaast zal de onderkant van de tas nog worden voorzien van vier extra rubberen ondersteuningspunten die ervoor zorgen dat de onderkant van de tas niet te gauw slijt. In bijlage K.8 is een nadere toelichting te vinden omtrent de toepassing van een deze rubberen ondersteuningspunten.



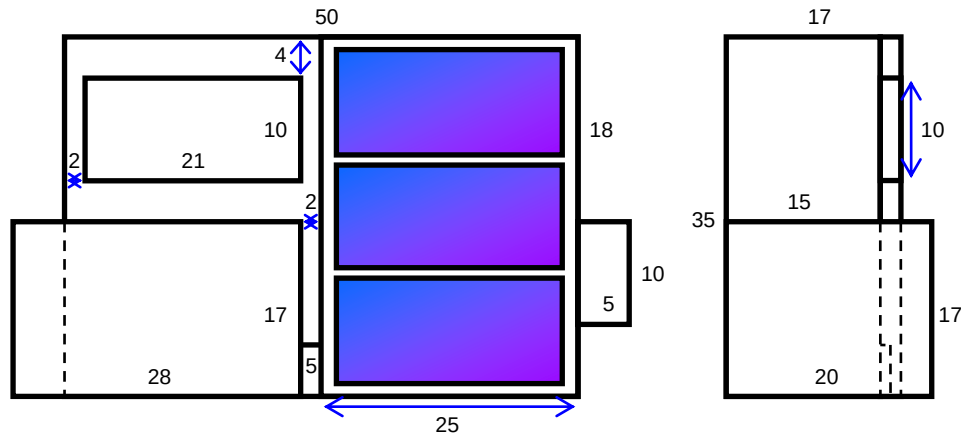
Figuur 5.30: Onderzijde van de schoudertas.

Alle onderdelen komen dan bij elkaar, waarna de bedrading door de goede ruimtes wordt geleid en wordt verbonden aan de elektronicamodule, nadat die is vastgezet in de elastische banden. Uiteindelijk wordt de stof met de drie serieschakelingen van zonnecellen vastgehecht aan de rest van de tas.

Om het ontwerp van de tas te realiseren, zijn de afmetingen ervan nodig. In figuur 5.31 op de volgende pagina zijn de globale afmetingen weergegeven, waarbij de afmetingen binnenin de ruimtes al in figuur 4.13 is aangeduid. Voor de eenvoud zijn de afrondingen weggelaten.

De twee tussenruimtes tussen de serieschakelingen van zonnecellen zal 1 cm bedragen. Verder heeft de versteviging voor de kabels tussen de plaats waarop de zonnemodule komt en het compartiment met de elektronicamodule hierbij een dikte van ongeveer 1 cm. De handvaten zullen een gatgrootte vertonen van ongeveer 6 cm × 12 cm en de schouderband krijgt een lengte van ongeveer 1 meter.

Uiteindelijk zal het ontwerp van deze tas uitgevoerd worden met kunstvezels als stofmateriaal. De tas van een dergelijke omvang zal hierbij een geschatte massa hebben van ongeveer 1 kilogram, waarbij de zonnemodule, de elektronicamodule en de bedrading niet zijn meegenomen. Deze schatting is gebaseerd op de massa van een echte tas, die eigenhandig is gewogen. De totale massa van de tas met alle onderdelen eraan zal hierbij circa 1,4 kilogram bedragen.



Figuur 5.31: Afmetingen van de schoudertas.

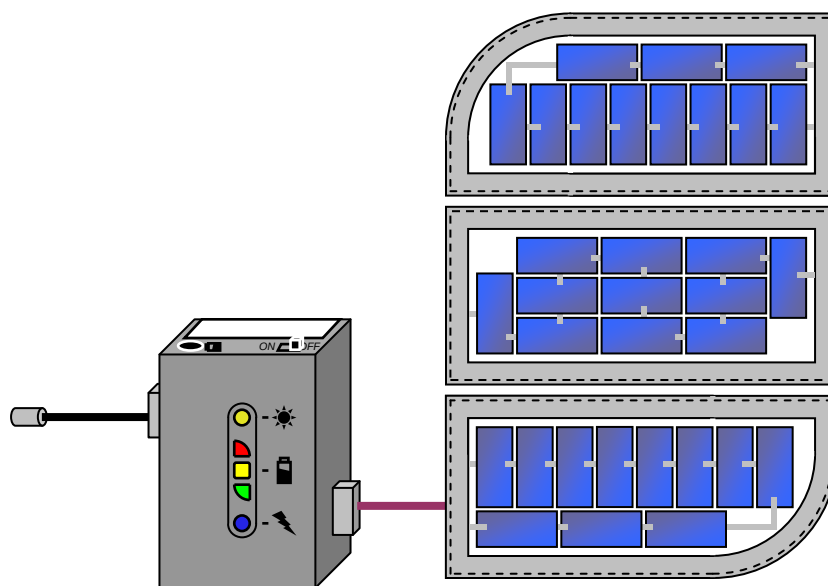
5.7. Technisch concept van het product

Het uiteindelijke technische concept van de tas maakt het mogelijk om bepaalde elektronische producten mee op te laden. Het gaat hierbij om consumentenelektronica van handformaat die vrijwel dagelijks gebruikt kunnen worden.

De toegepaste commercieel verkrijgbare zonnecellen zijn hier op een dergelijke manier aan elkaar verbonden, waardoor een zonnemodule gecreëerd wordt bestaande uit een parallelschakeling van drie serieschakelingen. Met behulp van een kabel is de zonnemodule verbonden met een elektronicamodule, waarin de accu en de elektronische circuits bevinden. De circuits dienen er niet alleen voor dat het gebruik van de energie van de zonnemodule veilig verloopt, maar zorgen ook voor een zo optimale energieoverdracht. Verder dient de accu als een reserve energiebron in geval van donkere situaties. Voor gebruiksgemak van deze elektronicamodule is er een User Interface opgesteld, zodat de gebruiker kan controleren hoe de elektriciteitsvoorziening ervoor staat.

Daarnaast is er een verbinding aangelegd van deze elektronicamodule naar de op te laden elektronische producten. Om een aansluiting hiermee mogelijk te maken, wordt de tas geleverd met een aantal verschillende soorten aansluitingspunten.

Een visualisatie kan al deze aspecten beter samenvatten en is hieronder weergegeven.



Figuur 5.32:
Vooraanzicht van het
systeem van zonne-
energie.





6. Practicumonderdeel: productietechniek met zonnecellen

6.1. Doelstelling en achtergrond

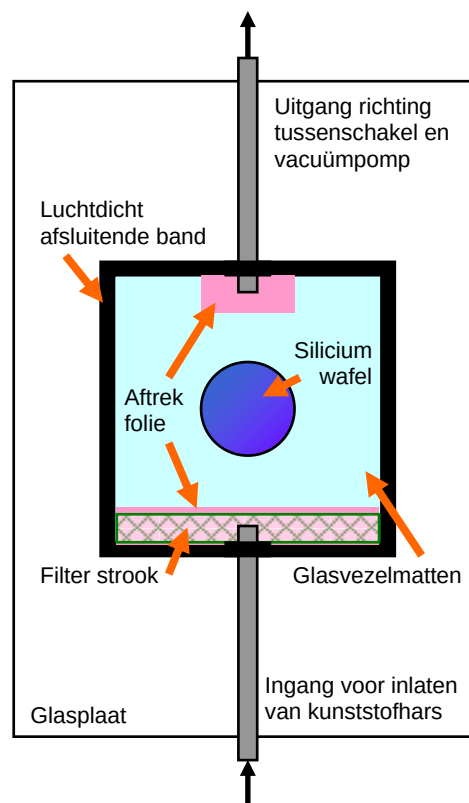
Het doel van het practicum is om inzicht te verkrijgen over het lamineerproces van zonnecellen. Hierbij worden ze gelamineerd aan een substraat met behulp van een kunststofhars, waarbij er gebruik gemaakt wordt van het vacuüm–injectieproces. Hiermee wordt er in feite bedoeld dat de zonnecellen met een kunststofhars als het ware vastgeplakt aan en ingebed worden in bijvoorbeeld vezelversterkte platen. Hierbij wordt het voorgestelde proces gebruikt om het kunststofhars in de platen en om de zonnecellen te krijgen. De uit te voeren experimenten zijn hierbij meer oriënterend van aard, waarbij gelet wordt op de bruikbaarheid en realiseerbaarheid van deze methode.

De experimenten zijn ontstaan uit de gedachte om de productie en toepassing van zonnecellen meer te automatiseren, waardoor productie op grote schaal mogelijk wordt. Tegenwoordig wordt de bevestiging van zonnecellen op applicaties veelal nog handmatig uitgevoerd, waarbij elke zonnecel met de hand op een ondergrond wordt verbonden en gelamineerd. Er zijn al nieuwe manieren bedacht om dit arbeidsintensieve proces te automatiseren en tegelijkertijd goede alternatieven te bieden. Een daarvan is het toepassen van het vacuüm–injectieproces en deze methode zal hier nader beoordeeld worden. Het idee achter het inbedden van zonnecellen is om ervoor te zorgen dat ze niet beschadigd en/of bevuild raken aan het oppervlak. Ze dienen dus als een soort barrière tegen (weers)invloeden van buitenaf.

6.2. Algemene meetopstelling en procedure

Voor de experimenten wordt telkens ongeveer dezelfde opstelling gebouwd. Het principe is als volgt: de proefopstelling bestaat uit een glasplaat, waarop de te lamineren proefmonsters zich bevinden. De glasvezelmat heeft hierbij een grootte van ongeveer 22 cm bij 22 cm. Hieromheen wordt alles luchtdicht geplakt met een soort plakband waarna er een doorzichtig folie erover heen komt. Voor en achter deze opstelling bevinden zich buizen, waarbij de voorste buis kunststofhars toedient vanuit een beker en de achterste verbonden is met een vacuümpomp, waarmee alles in het luchtdicht afgesloten gebied vacuüm gezogen kan worden. Tussen de achterste buis en de vacuümpomp wordt er nog een lege pot geplaatst. Deze dient als tussenschakel om te voorkomen dat er kunststofhars in de vacuümpomp terecht komt. In bijlage L.1 is er een foto toegevoegd van de hele opstelling in het lab.

Voordat het doorzichtige folie erover heen wordt gezet, worden er nog roze strookjes aftrekfolie geplaatst. Deze zorgen ervoor dat de uiteinden van de buizen en andere stroken (na het experiment) niet vast komen te zitten aan de glasvezelplaten. Ook is er aan de voorzijde vlak achter de uitgang van de voorste buis een groene kunststof filterstrook geplaatst over de hele breedte van het proefmonster (bovenop de aftrekfolie). Deze strook dient ervoor dat het kunststofhars uit de voorste buis egaal over het hele proefmonster kan stromen. De figuur hiernaast geeft het voorgaande beter weer.



Figuur 6.1: Bovenaanzicht van algemene opstelling van het lamineerexperiment (folie komt erover).

Wanneer de proefopstelling gereed is gemaakt, kan de vacuümpomp gestart worden. De proefopstelling wordt dan vacuüm gezogen totdat een bepaalde drukwaarde is bereikt. Hierbij is de voorste buis van te voren afgeklemd, zodat er geen lucht de opstelling instroomt. Door het vacuüm zuigen wordt de folie over de proefopstelling tegen het proefmonster gedrukt. Wanneer de drukwaarde bereikt is, wordt de afklemming in de voorste buis afgehaald, waarna het kunststofhars in de te lamineren proefmonster stroomt. Na een tijdje wanneer het geheel is gelamineerd, laat men de pomp nog even aan, zodat het geheel goed gevuld wordt met hars. Hierbij stroomt de achterste buis ook voor een deel vol met kunststofhars. Wanneer het lamineren achter de rug is en het kunststofhars voor een deel is uitgehard, wordt de gehele proefopstelling inclusief glasplaat en vastgekoppelde buizen in de oven geplaatst, zodat het kunststofhars sneller hard kan worden.

6.3. Soort experimenten

De experimenten die uitgevoerd worden, liggen niet van te voren vast. Na elk experiment wordt er bekeken welke verbeteringen er doorgevoerd en bedacht kunnen worden, zodat het lamineren in het volgende experiment verbeterd kan worden. Voor de experimenten worden er afgedankte silicium wafels gebruikt in plaats van echte zonnecellen, omdat ze ongeveer dezelfde eigenschappen vertonen en geen kosten met zich meebrengen. De gebruikte silicium wafels hebben een diameter van ongeveer 7,5 cm en een dikte van ongeveer 300 micrometer (of 0,3 millimeter). Ze zijn niet compleet rond, maar hebben een recht stuk eraan. Nadere achtergronden van een dergelijke wafel zijn terug te vinden in bijlage L.2.

De volgende soorten experimenten zijn toegepast, waarbij de keuze voor de toegepaste opstellingen later in deze sectie zullen worden behandeld.

In het eerste experiment worden er twee glasvezelmatten gebruikt met een nauwere structuur, waarop een silicium wafel is geplaatst met de bovenzijde naar boven gericht.

Voor het tweede experiment is er een glasvezelmat gebruikt, waarin een gat ter grootte van het silicium wafel is gemaakt. Voor de opstelling zijn er dan twee gewone glasvezelmatten gebruikt, waarop de glasvezelmat met het gat erop wordt geplaatst. In het gat wordt het silicium wafel gezet die ook met de bovenzijde naar boven is gericht. Hierbij gaat het nog steeds om glasvezelmatten met een nauwere structuur en zijn ze voor het experiment nog voorverwarmd in de oven.

In het derde experiment is er gebruik gemaakt van glasvezelmatten die een meer grovere structuur vertonen. Ook hier worden er eerst twee glasvezelmatten gebruikt, waarna een silicium wafel is geplaatst (met de bovenzijde naar boven gericht). Echter wordt er nu nog een glasvezelmat hierover heen gezet.

Voor het vierde experiment wordt de volgende configuratie toegepast: eerst worden er twee glasvezelmatten met een grovere structuur geplaatst, waarna een silicium wafel volgde die met de



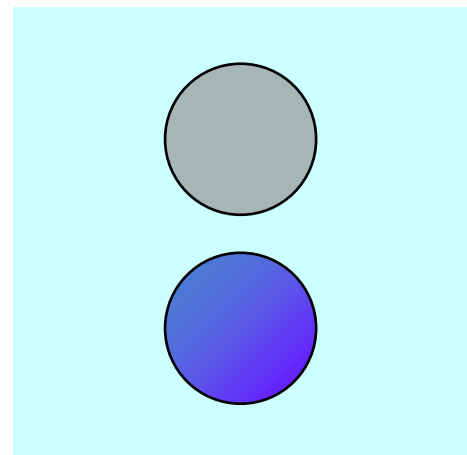
Figuur 6.2: Zijaanzicht van eerste lamineerexperiment.



Figuur 6.3: Zijaanzicht van tweede lamineerexperiment.



Figuur 6.4: Zijaanzicht van derde lamineerexperiment.



Figuur 6.5: Boven- en zijaanzicht van vierde lamineerexperiment.

bovenzijde naar beneden is gericht. Hierover heen wordt nog een glasvezelmat gezet, waarna een tweede silicium wafel is geplaatst die met de bovenzijde naar boven is gericht. Tenslotte wordt het geheel nog een keer afgedekt met een glasvezelmat. In dit experiment zijn er twee proefstukken tegelijkertijd gelamineerd, waarbij de voorzijde van beide naar een tegenovergestelde kant gericht is.

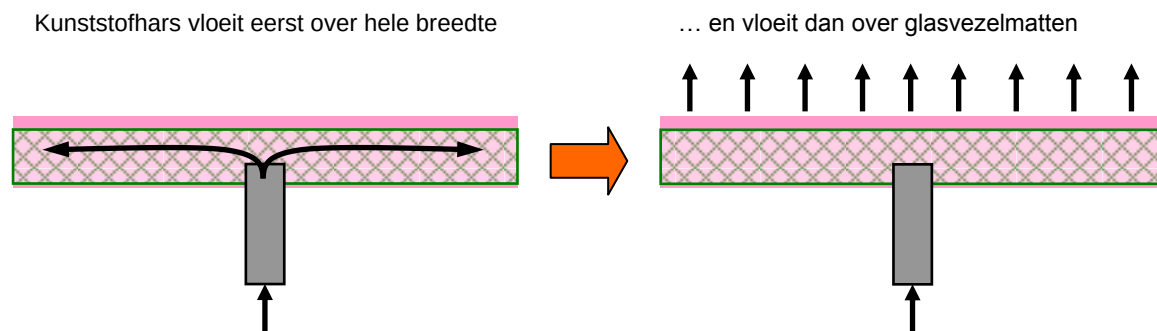
6.4. Resultaten

Voordat er per experiment wordt bekeken welke resultaten behaald zijn, zal er eerst kort ingegaan worden op aspecten die bij alle vier de experimenten voorkwamen tijdens het lamineerproces en bij de te verkregen uitgeharde proefstukken. Hierna volgen er meer specifieke resultaten per lamineerexperiment, waarna kort een aantal vergelijkende aspecten aan bod komen van de verkregen proefstukken. Voor de foto's van het lamineerproces en de verkregen resultaten wordt er verwezen naar bijlage L.3.

6.4.1. Algemene resultaten

Lamineerproces

Nadat de hele opstelling vacuüm is gezogen, wordt het lamineerproces gestart. In alle gevallen vloeit het kunststofhars eerst over de hele breedte van de filterstrook, waarna er een front van kunststofhars ontstaat die over de hele breedte van het te lamineren proefstuk stroomt. Dit front verloopt nagenoeg horizontaal, waarbij er af en toe kleine grillige vormen in het front kunnen ontstaan. In het begin verloopt dit proces vrij snel, waarna halverwege het proefstuk de stroomsnelheid sterk afneemt.



Figuur 6.6: Vloeipatroon van kunststofhars in het begin van het lamineerproces.

Uitgehard proefstuk

De verkregen resultaten bevatten een glasvezelversterkte ondergrond die erg transparant blijkt te zijn, waarbij de wafels zowel van de onderkant als de bovenkant van het proefstuk gezien goed zichtbaar zijn. De onderkant heeft een vrijwel egaal en glad oppervlak, terwijl de bovenkant de geribbelde vorm heeft aangenomen van de glasvezelmatten.

Verder hebben deze uitgeharde glasvezelmatten onafgewerkte en scherpe randen, waarbij de uitsteeksels gevaarlijk kunnen zijn.

Andere kenmerken die opgevallen zijn, is dat de structuur van de aftrekfolie in het proefstuk te herkennen is. Hierbij kan het ook nog voorkomen dat er nog resten van de aftrekfolie, de filterstrook of het plakband op het proefstuk blijven vastplakken.

6.4.2. Specifieke resultaten

Lamineerexperiment 1

Het eerste experiment is meer bedoeld als een proefopzet om te kijken hoe het lamineren verloopt. Het opbouwen ervan gaat goed, maar hierbij is de doorzichtige folie over de opstelling niet helemaal goed

gladgestreken. Er blijken een paar plooien in te zitten, waarvan een ervan langs de rechter onderkant loopt van de silicium wafel.

Als het lamineerproces wordt gestart, verloopt het front van het kunststofhars bijna horizontaal van de voorzijde van de opstelling naar de achterzijde ervan. Het kunststofhars blijkt in dit geval niet over de silicium wafel te stromen.

Het verkregen resultaat is een uitgeharde glasvezelmat waarop een silicium wafel vastzit. De wafel is alleen rechts onderin voor een klein deel overstromd met kunststofhars, vlak langs de plek waar de plooï loopt. Verder zijn de uitstekende plooïen duidelijk op te merken en is er in het gebied achter de wafel een aantal plekken met luchtbellen te zien.

Lamineerexperiment 2

Voor het tweede experiment is er verder gericht op een andere manier om de wafel te laten overstromen met kunststofhars en is er geprobeerd om de ondergrond vrij te maken van plooïen en luchtbellen. De gebruikte glasvezelmatten zijn door de verwarming krom getrokken, waardoor het opbouwen van de opstelling iets ingewikkelder verliep, omdat er in een hiervan een silicium wafel werd geplaatst. De wafel past hierbij precies in het gat, maar de bovenste helft ervan steekt iets uit boven de glasvezelmat.

Nadat de folie eroverheen is geplaatst en het lamineerproces is gestart, werd de hele opstelling tegen de glasplaat gedrukt en glad getrokken, waarbij de plooïen naar de randen werden geschoven met de hand. Het front van kunststofhars verloopt hier ook bijna horizontaal naar achteren toe en is de silicium wafel behalve aan de rand, nog steeds niet overstromd met kunststofhars.

Ten opzichte van het eerste experiment bevat de ondergrond dit keer geen luchtbellen. De plooïen zitten hierbij meer naar de randen toe, waardoor er geen onregelmatigheden voorkomen vlakbij de wafel.

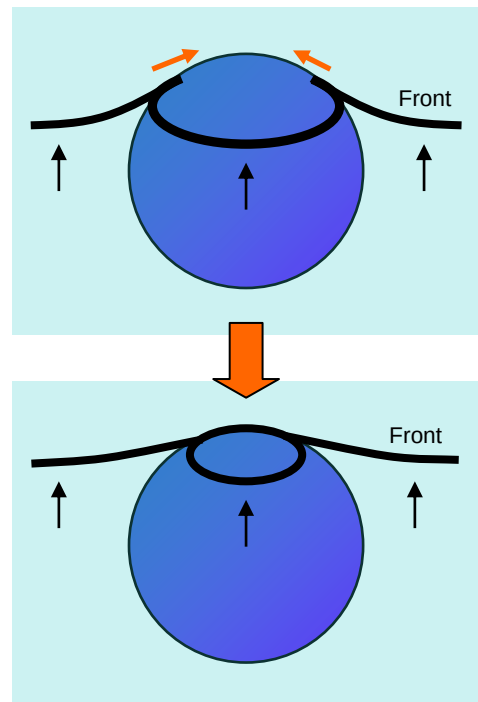
Lamineerexperiment 3

Het omstromen is nog steeds niet gelukt, dus is er voor het volgende experiment besloten om een glasvezelplaat over de wafel de plaatsen. Hierbij is er ook gebruik gemaakt van glasvezelmatten met een meer grovere structuur.

In dit lamineerproces verloopt het front van kunststofhars eerst bijna horizontaal naar achteren toe. Wanneer de silicium wafel is bereikt, blijkt dit front aan de rand van de silicium wafel sneller naar achteren te bewegen dan het deel van het front langs weerszijden van de wafel en over de wafel heen. Het front aan de rand van de wafel begint dan langzamerhand op te rukken, terwijl die over de wafel heen achterblijft, waarna tegen het eind van de wafel er een rond stuk overblijft, omsloten door hars. Dit stuk wordt uiteindelijk wel opgevuld, waarna het hele front weer bijna horizontaal verder gaat. Figuur 6.7 geeft dit beter weer.

Wanneer het lamineerproces bijna is afgelopen, beginnen er opeens luchtbellen te verschijnen over de hele opstelling en dit blijkt veroorzaakt te worden door een lek. Hoewel er geprobeerd is om de rand van de opstelling verder af te dichten, is de schade al niet meer ongedaan te maken.

Het resultaat hierbij is dat er dit keer wel kunststofhars over de wafel is gekomen. Maar aan de andere kant kan dit proefstuk als verloren beschouwd worden, omdat de ondergrond overal luchtbellen vertoont, zelfs over de wafel heen.

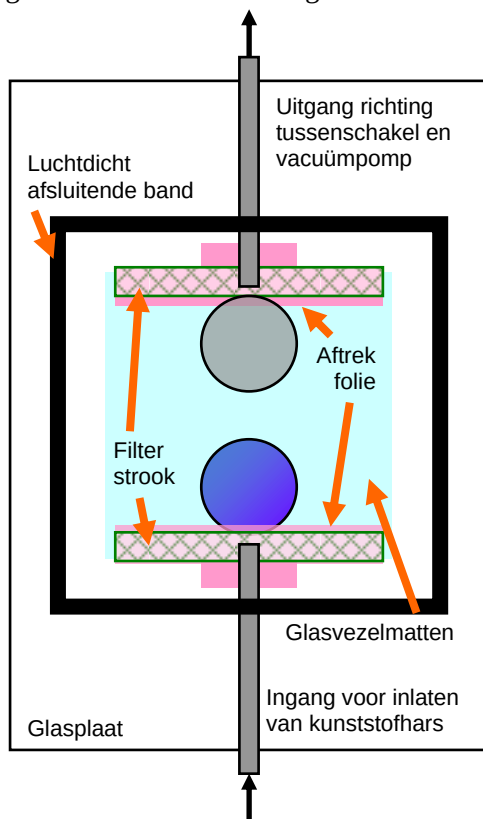


Figuur 6.7: Vloeifront over silicium wafel bij derde lamineerexperiment.

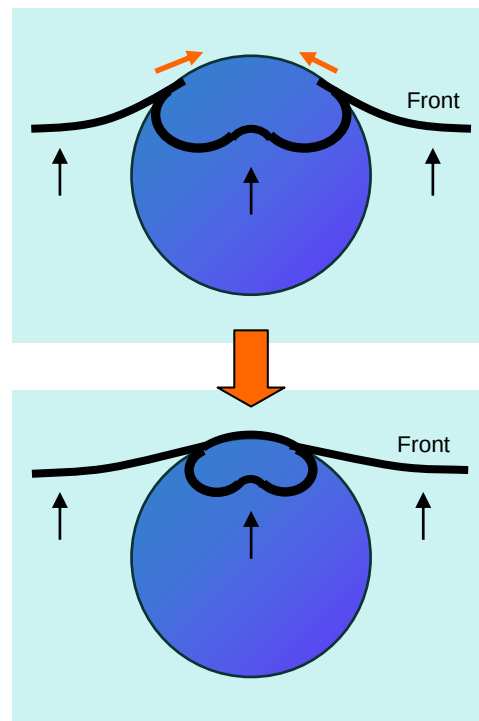
Lamineerexperiment 4

Voor het vierde experiment is er besloten om twee proeven tegelijk uit te laten voeren, waarbij er twee wafels geplaatst worden op de glasvezelplaten. De bovenste wafel is met de bovenzijde naar beneden gericht, zodat er bekeken wordt welk resultaat er verkregen kan worden bij een glad oppervlak over de wafel heen. Naar aanleiding van de lek in het vorige experiment, is er besloten om de opstelling iets aan te passen. Hierbij wordt er niet direct tegen de rand van de opstelling met plakband beplakt, maar een afstand van ongeveer 5 centimeter daarvandaan. Verder is er in dit geval nog een kunststof filterstrook geplaatst bovenin de opstelling, zodat het kunststofhars richting de achterste gelegen buis wordt geleid (afgebeeld in figuur 6.8).

Na de start van het lamineerproces begint het front zich al aan te passen door tegen de rand van de wafel sneller naar achteren te bewegen dan aan weerszijden en over de wafel heen. Ook hier ontstaat er tegen het eind van de wafel een rond onaangetast stuk op de glasvezelmat, dat vervolgens omsloten en gevuld wordt met hars. Hierna vervolgt het front van kunststofhars zich nagenoeg horizontaal, totdat de tweede silicium wafel wordt bereikt. Ook hier verloopt het hars langs de rand van de wafel sneller naar achteren en tegen het eind van de wafel blijft er in tegenstelling tot het voorgaande een andersoortig cirkelvormig stuk over. Figuur 6.9 geeft dit duidelijker weer. Vervolgens wordt dit stuk ook omsloten en gevuld, waarna het front weer ongeveer horizontaal verdergaat.



Figuur 6.8: Bovenaanzicht van opstelling van het vierde lamineerexperiment.



Figuur 6.9: Vloeifront over tweede silicium wafel bij vierde lamineerexperiment.

Verder valt er hierbij op dat het hars sneller naar achteren stroomt door de plooien in de folie en vertoont het front af en toe grillige vormen, die telkens weer recht getrokken worden.

Na het uitharden blijkt uit het resultaat dat het kunststofhars over beide wafels gestroomd is en de ondergrond geen luchtbellen bevat, hoewel er nog wel een aantal plooien tegen de rand te zien zijn.

6.4.3. Vergelijking resultaten van proefstukken

Wanneer de vier proefstukken naast elkaar gelegd worden, kan er het volgende aan opgemerkt worden. De eerste twee proefstukken die zijn uitgevoerd met glasvezelmatten met een nauwere structuur, blijken stijver en steviger aan te voelen dan de overige twee verkregen proefstukken. Ze zijn hierbij minder flexibeler van aard.

Bij de proefstukken waar een glasvezelmat over de wafel is geplaatst, komt de wafel iets uit boven de ondergrond en vormt een soort bult. Wanneer er meer glasvezelmatten eroverheen worden geplaatst, wordt deze bult iets minder. Dit is echter niet het geval wanneer er vanaf de onderzijde van de ondergrond naar gekeken wordt.

Daarnaast zijn plooien bij alle vier de experimenten terug te vinden en dit probleem zal zich altijd wel in enige mate voordoen. Luchtbellen daarentegen kunnen wel tegengegaan worden.

6.5. Conclusies uit experimenten

Het toepassen van het vacuüm–injectieproces om zonnecellen te lamineren op een ondergrond blijkt een goed haalbare alternatief te zijn om dit proces te automatiseren. In een dergelijk proces dienen de zonnecellen dan tussen glasvezelmatten geplaatst te worden, zodat ze helemaal ingekapseld kunnen worden tegen invloeden van buitenaf. Hierdoor kan dit proces in een keer uitgevoerd worden. Het beste resultaat kan verkregen worden door gebruik te maken van glasvezelmatten met een grovere structuur die eerst is voorverwarmd, zodat ze geen luchtbellen vasthouden tijdens het lamineren. De grovere structuur leidt ertoe dat de vezelversterkte zonnecellen meer flexibeler van aard zijn en hierdoor niet al te stijf overkomen en makkelijker met de stof van de tas kunnen meebewegen. Verder is het van belang dat het oppervlak van de glasvezelmat over de zonnecellen heen een glad oppervlak vertoont, zonder enige onregelmatigheden en verhogingen en dit kan gerealiseerd worden door een gladde onderplaat te gebruiken, waarna de glasvezelmat en de zonnecellen erop komen, waarbij de zonnecellen met de voorkant naar de gladde onderplaat is gericht.

Wat betreft het lamineerproces zijn er nauwelijks problemen te ontdekken. Het front van kunststofhars blijkt goed horizontaal te lopen van de voorzijde naar de achterzijde van de glasvezelmatten en het insluiten van een stuk glasvezelmat door het hars brengt geen problemen met zich mee.

Wel dienen de volgende nadelige aspecten in acht genomen te worden. Het plaatsen van de folie over de hele opstelling dient zorgvuldig te gebeuren, omdat er hierbij plooien kunnen ontstaan. Ze zorgen voor onregelmatigheden in het oppervlak van de glasvezelmat. Dit geeft in dit geval niet veel problemen met zich mee, aangezien het oppervlak van de glasvezelmat (die tegen de gladde ondergrond is gericht) toch mooi glad blijft. Er bestaat wel een kans dat ze ervoor zorgen dat er in het front van het kunststofhars (tijdens het lamineren) grillige vormen kunnen ontstaan, die luchtbellen achterlaten. Wanneer de luchtbellen boven de zonnecel verschijnen, kan dit ertoe leiden dat het zonlicht wordt afgebogen en gaat diffunderen.

Een ander probleem wordt gevormd door het luchtdicht maken van de hele opstelling. Wanneer dit niet goed is gebeurd, kunnen er tijdens het lamineren lekkages ontstaan, waardoor er luchtbellen in de opstelling terechtkomen.

Daarnaast is het handig om het luchtdicht plakken van de opstelling niet tegen de glasvezelmatten te laten plaatsvinden, maar eromheen. Hierdoor verkrijgt men geen restanten van plakband aan de randen van het resultaat. Toch zijn in dit geval de verkregen randen erg onafgewerkt die scherp overkomen.

Tenslotte dient er bij het werken met zonnecellen voorzichtig hiermee omgegaan te worden, omdat ze vrij bros en kwetsbaar zijn. Het is vooral van belang dat men de zonnecellen niet ingeklemd vastpakt. Dit zou ook een rol kunnen spelen wanneer de hele opstelling vacuüm wordt gezogen, waarbij de zonnecellen dan tegen de gladde onderplaat wordt gedrukt. Hier hoeft men waarschijnlijk geen rekening mee te houden, omdat de silicium wafels net zo dun zijn en bij de experimenten niet zijn gebroken.





7. Eindconclusie van het concept

Het uiteindelijk verkregen concept van het product is een schoudertas, waarop zonnecellen zijn geïntegreerd. Er is op het gebied van de vormgeving gericht op een jong volwassen doelgroep die dagelijks veel onderweg is en hierbij een aantal elektronische producten bij zich dragen. De tas biedt hierbij de nodige ruimte voor de mee te voeren spullen. Daarnaast vullen de zonnecellen door vorm en kleurgebruik de tas goed aan, waardoor ze er niet los van worden gezien. Door toepassing van drie hoofdkleuren zijn de diverse onderdelen van de tas meer duidelijker gemaakt, die de tas ook een meer dynamischer karakter meegeven.

Het vormgevingsconcept moet hierbij niet los gezien worden van de technische aspecten. De zonnecellen zijn hierbij op een dergelijke manier geconfigureerd dat ze met de vorm van de tas kunnen meelopen. Op technisch gebied blijken ze in Nederland vooral goed te functioneren tijdens de zomermaanden. Verder bevat de tas de nodige maatregelen op het gebied van versteviging van de zonnecellen en de gebruiksveiligheid van de elektriciteitsvoorziening door de zonnecellen. Aan de andere kant is er ook rekening gehouden met gebruikersgerelateerde aspecten, waardoor het gebruiksgemak bevorderd wordt. Niet alleen op het gebied van de User Interface, maar ook op het gebruik ervan in tijden wanneer het zonlicht niet voldoende energie levert voor het opladen van producten. Het laatste punt is gerealiseerd door toevoeging van een accu in het systeem.





8. Aanbevelingen van het concept

Op de eerste plaats dient er nader bepaald te worden of de voorgestelde zonnemodule wel voldoende presteert onder Nederlandse weersomstandigheden. In het grootste deel van de gevallen zal de geproduceerde stroom van de zonnemodule lager uitvallen dan de berekende waarde van 800 milliampère. In de zomermaanden is de geproduceerde stroom nog aanvaardbaar om elektronische producten mee op te laden. Zoals eerder in de vooranalyses al naar voren is gekomen, liggen de stralingswaarden hierbij ongeveer tussen de 500 en 1000 W/m² en de efficiëntie van de zonnemodule blijft constant te blijven. In de wintermaanden liggen deze waarden ongeveer tussen de 100 en 200 W/m². Daarnaast is het weer vaak bewolkt, waardoor deze waarden onder de 100 W/m² kunnen uitvallen. Hierdoor zal de efficiëntie van de zonnemodule langzamerhand afnemen, waardoor de geproduceerde stroom niet meer voldoende zal zijn.

Op de tweede plaats is het van belang om de elektrische aspecten van de diverse consumentelektronica beter op een rijtje te krijgen. Er is nog geen goed beeld gecreëerd of de interne accu's de verkregen stroomsterktes en spanningen wel aankunnen die verkregen worden van de zonnemodule (en de Li-ion accu). Daarnaast is het belangrijk om te onderzoeken hoe de aansluitingspunten van dergelijke producten eruit zien en welke soorten er bestaan. Hierdoor wordt het duidelijk hoeveel pluggen er meegeleverd moeten worden met de schoudertas, zodat zo min mogelijk elektronische producten worden uitgesloten.

Als derde punt dient er dieper gekeken te worden naar de elektronische aspecten in het product. Er is wel voorgesteld welke onderdelen er voorkomen als laadcircuits en DC-DC omzetter, maar er is niet ingegaan op de afzonderlijke elektronische onderdelen ervan in deze circuits, als toegepaste transistoren, weerstanden en diodes. Het kan voorkomen dat de voorgestelde functionaliteit van de diverse elektronische onderdelen aan de ene kant te groot gaat uitvallen voor de elektronicamodule en aan de andere kant te veel kosten met zich gaat meebrengen.

Als vierde punt is het misschien handig om de elektronicamodule meer vorm te geven. Deze heeft nu nog de vorm van een rechthoekige grijze doos, maar een andere meer gebruiksvriendelijke vorm kan meer recht doen aan de hele vormgeving van de schoudertas.

Als vijfde punt dient er verder onderzocht te worden welk effect de lagen kunststofhars en glasvezelmat hebben op de elektriciteitsproductie. Het is hierbij van belang om te kijken welke invloed de glasvezelmat en het kunststofhars heeft op het doorlaten van (zon)licht. Ook andere aspecten als de dikte en de oppervlakteruwheid van een laag kunststofhars en/of glasvezelmat kunnen hierbij een rol spelen. Deze aspecten kunnen verder uitgezocht worden door aanvullende experimenten uit te voeren.

Het zesde punt betreft het verder uitwerken van het idee hoe het lamineerproces op grote schaal gerealiseerd kan worden. Er is al wel vastgesteld dat dit proces goed bruikbaar kan zijn, maar dit moet nog verder uitgewerkt worden naar een proces dat meerdere serieschakelingen van zonnecellen tegelijkertijd kan lamineren. Of er dient gezocht te worden in de praktijk om te zien hoe dergelijke processen plaatsvinden en of het mogelijk is om de voorgestelde serieschakelingen in grote hoeveelheden te lamineren.

Verder is het nog handig om te controleren of de voorgestelde ondersteuning achter de zonnemodule wel voldoende is. De situatie van een volgepakte tas die bol gaat staan, dient dan bekeken te worden.

Het laatste punt betreft het opstellen van een kostenanalyse, zodat er een beeld gecreëerd kan worden hoeveel het uiteindelijke product zal gaan kosten. Er dient dan niet alleen rekening gehouden te worden met materiaalkosten, maar ook met productiekosten van allerlei onderdelen, namelijk van de schoudertas zelf, de elektronicamodule, de bedrading en de zonnecellen.



(Delen van) boeken

- Auteur onbekend, 2004, “Nickel Metal Hydride”, Battery Technology Handbook, Quest Batteries, Harding Energy Inc., <http://www.hardingenergy.com/techmanual.htm>.
- Groenewald-Froger, M. e.a., 2001, “Encyclopedie”, Het Spectrum BV, Utrecht (Nederland) en Standaard Uitgeverij NV, Antwerpen (België).
- Hegedus, S.S. en Luque, A., 2003, “1 Status, Trends, Challengers and the Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics”, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, John Wiley & Sons, Ltd.
- Pearsall, N.M., Hill, R., 2001, “Chapter 15, Photovoltaic modules, systems and applications”, Clean Electricity from Photovoltaics, Northumbria Photovoltaics Applications Centre, University of Northumbria, Newcastle, Verenigd Koninkrijk, <http://www.icpress.co.uk/books/physics/p139.html>.

Brochures

- Auteur onbekend, 1996, “Kunstlichtbronnen, stand van de techniek, 1996”, Novem-brochure (in opdracht van Ministerie van Economische Zaken (EZ)), Kris Kras Design BV, Utrecht, Nederland.
- Auteur onbekend, 2004, “Elektriciteit uit zonlicht”, Brochure, Organisatie voor Duurzame Energie (ODE) Vlaanderen, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, België.

Tijdschriftartikelen

- Auteur onbekend, 2002, “Organische zonnecellen”, Delft Integraal 2000.4 TU Delft, Archimedes, nummer 3, Nederland, <http://www.kennislink.nl/web/show?id=112441>.
- Deb, S.K., 1998, “Frontiers in photovoltaic materials and devices”, Solid State & Materials Science, nummer 3, p. 51 – 59.
- Lodewijks, E., e.a., 2005, “Test: dvd-spelers voor op de achterbank”, Kampioen, Jaargang 120, nummer 6, p. 86 – 89.

Wetenschappelijke (ingenieurs)artikelen

- Chopra, K.L., Paulson, P.D. en Dutta, V., 2004, “Thin-Film Solar Cells: An Overview”, “Progress in Photovoltaics: Research and Applications”, John Wiley & Sons, Ltd.
- Cremer, C., e.a., 2003, “Energy Consumption of Information and Communication Technology (ICT) in Germany up to 2010”, Summary of the final report to the German Federal Ministry of Economics and Labour, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (Fraunhofer ISI, Zwitserland), Centre for Energy Policy and Economics (CEPE, Duitsland).
- Dearborn, S., 2004, “Microchip, Power Management in Portable Applications: Charging Lithium-Ion/Lithium-Polymer Batteries”, Microchip Technology Inc.

- Fung, A.S., Aulenback, A., Ferguson, A. en Ugursal, V.I., 2002, “Standby power requirements of household appliances in Canada”, Dalhousie University, Canada.
- Ikink, H., 2004, “Polymere halfgeleider zit vol met excitonen”, Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM), Kennislink, Nederland, <http://www.kennislink.nl/web/show?id=111030>.
- Kan, S.Y., jaartal onbekend, “SYN-energy in solar cell use for consumer products and indoor applications”, Technische Universiteit Delft, Faculteit Industrial Design Engineering, Delft, Nederland.
- Reich, N.H., e.a., jaartal onbekend, “Weak light performance and spectral response of different solar cell types”, Nederland.

Websites

- Auteur onbekend, “Periodieksysteem.com”, <http://www.periodieksysteem.com>, geraadpleegd in juli 2005.
- Auteur onbekend, 2004, “Photovoltaics”, <http://www.eere.energy.gov/solar/photovoltaics.html>, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), Verenigde Staten, geraadpleegd in april/mei 2005.
- Auteur onbekend, 2004, “Solar Cell Technologies”, <http://www.solarbuzz.com/Technologies.htm>, Solarbuzz Inc., geraadpleegd in april/mei 2005.
- Auteur onbekend, 2004, “Technology Base”, <http://www.mpoweruk.com/technology.htm>, MPower Solutions Ltd., Schotland, Verenigd Koninkrijk, geraadpleegd in mei/juni 2005.
- Auteur onbekend, 2005, “Batteries.com”, <http://www.batteries.com/index.asp>, Batteries.com Inc., Verenigde Staten, geraadpleegd in juni/juli 2005.
- Auteur onbekend, 2005, “EuroBatteries.com”, <http://www.eurobatteries.com/>, EuroBatteries Co Ltd., Verenigd Koninkrijk, geraadpleegd in mei/juni 2005.
- Auteur onbekend, 2005, “Photovoltaic Fundamentals”, <http://www.fsec.ucf.edu/pvt/pvbasics/index.htm>, Florida Solar Energy Center (FSEC), Photovoltaics & Distributed Generation, Florida, Verenigde Staten, geraadpleegd in april/mei 2005.
- Auteur onbekend, 2005, “Solar: Technology”, <http://www.globalsolar.com/technology.htm>, Global Solar Energy Inc., Arizona, Verenigde Staten, geraadpleegd in april/mei 2005.
- Buchmann, I., 2005, “BatteryUniversity.com”, <http://www.batteryuniversity.com>, geraadpleegd in mei/juni 2005.
- Lenardic, D., 2005, “Pvresources.com, photovoltaic technologies and applications”, <http://www.pvresources.com/>, geraadpleegd in april/mei 2005.

Gebruikte zoekmogelijkheden op internet

- Auteur onbekend, 2005, “Google”, <http://www.google.nl/>, geraadpleegd in april – augustus 2005.
- Auteur onbekend, 2005, “Yahoo!”, <http://www.yahoo.com/>, geraadpleegd in april – augustus 2005.
- Auteur onbekend, 2005, “Full text bestanden”,
<http://hareapps.utwente.nl/ub/databases/article.shtml?pLanguage=nl&pArtikel=Full%20text%20bestanden&language=nl>, Universiteit Twente, ITBE Universiteitsbibliotheek, Nederland, geraadpleegd in april – juni 2005.





Bijlage A Analyse typen draagbare consumentenelektronica¹⁰

A.1 Afspeelapparatuur van (voornamelijk) muziek

Deze categorie zal ingaan op producten die spraak en/of muziek kunnen laten horen en meestal dienen om vermaak te leveren of als informatiebron te fungeren. Producten die hierbij besproken zullen worden, zijn draagbare muziekspelers met een ingebouwd of verwijderbaar geheugen en (digitale) radio's.

A.1.1 Draagbare muziekspelers met ingebouwd geheugen

In de laatste jaren is dit soort muziekspelers sterk in opkomst geraakt en zijn ze vrij bekend geworden bij het grote publiek. Deze markt is ontzettend groot en divers, waarbij talloze fabrikanten hun eigen merken presenteren. De muziekspelers worden de laatste tijd meestal MP3-spelers genoemd, maar MP3 is slechts een van de vele muziekformaten die tegenwoordig beschikbaar zijn en op de spelers afgespeeld kunnen worden. Voor het beluisteren van muziek wordt er gebruik gemaakt van de meegeleverde oordopjes. In deze groep is er een onderscheid te vinden in twee typen, namelijk de flashspelers en de harddiskdrives (HDD) spelers.

De flashspelers hebben een ingebouwde geheugenchip voor de opslag van muziekbestanden. Hun geheugencapaciteit varieert hierbij van 64 MB tot wel 2 GB, dat overeenkomt met respectievelijk circa 20 tot 1000 muziekbestanden. Verder zijn ze compact en licht in formaat die eenvoudig in de broekzak past. Met behulp van eenvoudige kleine beeldschermen kan er informatie gegeven worden van bijvoorbeeld muziktitels en de capaciteit van de accu of batterij. Bovendien bestaan er ook flashspelers die gegevens kunnen opslaan, waardoor ze als een soort USB-stick gaan fungeren en de toevoeging van andere functies als een FM-radio of een voicerecorder komen voor. Een voordeel van dergelijke spelers is dat ze geen bewegende onderdelen bevatten en hierdoor meer schokbestendig zijn. Een nadeel wordt echter gevormd door de beperkte opslagcapaciteit.



Figuur A.1: Een flashspeler (merk: Samsung).

Naast flashspelers beginnen HDD spelers een grote concurrent te vormen. Het kenmerkende van deze spelers is dat ze een eigen harde schijf bevatten voor de opslag van zowel muziek als andere gegevensbestanden. Hierdoor zijn ze uitermate geschikt voor andere doeleinden dan alleen het beluisteren van muziek, dat nog steeds de belangrijkste functie vormt. Een geheugencapaciteit van 10 of 20 GB is het meest gangbaar, maar spelers met capaciteiten van 40 of zelfs 60 GB komen langzaam op. Hiermee kunnen er duizenden muziekbestanden opgezet worden van de computer. Hun formaat is vergeleken met flashspelers aan de grote kant en dit wordt veroorzaakt door de toevoeging van een harde schijf en daardoor een grotere accu. Een gunstig punt echter zijn de grotere beeldschermen die van betere kwaliteit zijn en meer informatie kwijt kunnen. Hierdoor bevatten ze meer functionaliteit zoals de mogelijkheid om door de vele nummers te scrollen. Een nadelig aspect van deze spelers is de gebruiksduur, die ongeveer 5 tot 8 uur bedraagt, terwijl flashspelers daarentegen tot wel 5 keer langer gebruikt kunnen worden. Daarnaast zorgen de bewegende onderdelen in de harde schijf ervoor dat HDD spelers minder bestendig zijn tegen schokken.



Figuur A.2: Een harddisk drives (HDD) speler (merk: Samsung).

¹⁰ Delen van informatie afkomstig van krantenartikelen uit de Telegraaf.

A.1.2 Draagbare muzikspelers met verwijderbaar geheugen

Een andere groep draagbare muzikspelers wordt gekenmerkt door een verwijderbaar geheugen. De huidige situatie van deze muzikspelers ziet er niet gunstig uit, vanwege de sterke belangstelling van de hierboven genoemde muzikspelers in de laatste jaren. In deze groep zal er vooral nader ingegaan worden op de draagbare cd-spelers en de minidisks. Net als de muzikspelers met een ingebouwd geheugen zijn ze voorzien van oordopjes voor het beluisteren van muziek.

Zoals de naam al aangeeft, spelen draagbare cd-spelers cd's af en kunnen tegenwoordig ook bepaalde muziekbestanden afspelen als MP3 en bestaat de mogelijkheid om bepaalde cd-soorten af te spelen als CD-R/RW. Ze zijn sinds de introductie ervan weinig van vorm veranderd, die veelal rond is en vrij groot van formaat, aangezien een cd erin dient te passen. Verder is er in het aantal mogelijkheden en functies ervan weinig nieuws te vinden. Een nadeel van deze spelers is dat ze veelal niet schokbestendig zijn, maar dit probleem wordt tegenwoordig beter aangepakt door nieuwe technieken toe te passen die schokken kunnen absorberen.



Figuur A.3: Een Cd-speler (merk: Sony).

De tweede soort in deze categorie wordt gevormd door de minidisks. In de jaren '90 van de vorige eeuw zijn ze op de markt geïntroduceerd en er werd getracht een nieuw opslagmedium voor te stellen aan het publiek naast de cd. Deze muzikspelers worden gekenmerkt door een verwijderbare en herschrijfbare geheugenkaart voor de opslag van muziek en blijken meer opslagcapaciteit te hebben dan cd's. Het bestandsformaat is meestal zelf ontwikkeld door de fabrikanten en zijn daardoor niet te gebruiken in andere muzikspelers. Hiermee werd er getracht consumenten te trekken voor een bepaald merk, waardoor ze als het ware hieraan verbonden werden.



Figuur A.4: Een minidisk (merk: Sony).

A.1.3 Draagbare (digitale) radio's

Tenslotte kunnen er nog draagbare (digitale) radio's beschouwd worden. Deze groep producten wordt ook langzamerhand verdrongen door de hierboven genoemde muzikspelers en andersoortige producten die een radiofunctie bevatten. Tegenwoordig kunnen er hierin drie groepen onderscheiden worden: de grote draagbare "boom boxen", de draagbare antenneradio's en de compacte (zak)radio's met oordopjes. Op de eerste van de drie zal er niet nader ingegaan worden en er zal hier alleen gekeken worden naar compacte producten die in het te ontwerpen product kunnen passen.

Draagbare antenneradio's worden gekenmerkt door een uitschuifbare antenne voor het opvangen van radiosignalen en door de zichtbare grote luidspreker. Met behulp van draaiknoppen kan er dan naar bepaalde radiofrequenties gezocht worden en verdere functionaliteit is eenvoudig gehouden. Batterijen zijn de voornaamste energiebron van radio's, maar aansluiting op het elektriciteitsnet met behulp van een adapter is soms ook mogelijk. Bovendien bestaan er varianten die meerdere mogelijkheden bevatten als het afspelen van muziekcassettes, maar dit heeft als consequentie dat ze groter van formaat zijn die weliswaar nog altijd hanteerbaar gemaakt zijn.



Figuur A.5: Een antenneradio (merk: Sony).

Naast deze groep zijn er ook compacte (zak)radio's met meegeleverde oordopjes in opkomst. Door hun lichte en compacte formaat zijn ze eenvoudig mee te nemen en op te bergen. In deze groep zijn er vrij diverse varianten te vinden, die uiteen kunnen lopen van radio's die in een koptelefoon verstopt zitten, tot de gebruikelijke rechthoekige vormen met oordopjes eraan. Door deze compacte vormen bevatten ze vrij weinig mogelijkheden en is de bediening zo simpel mogelijk gehouden. Deze radio's halen hun energie vooral van een primaire batterij en door hun lage energieverbruik kunnen ze vrij lang gebruikt worden.

A.2 Beeldopname apparatuur en audiovisuele spelers

Na de besproken afspeelapparaten zal er hier ingegaan worden op beeldopname apparatuur en audiovisuele spelers. Deze categorie van producten omvat apparatuur als digitale camera's en (digitale) videocamera's voor de opname van (bewegende) beelden en draagbare dvd-spelers voor het afspelen van audiovisuele bestanden.

A.2.1 Digitale camera's

De huidige markt bevat talloze digitale camera's van verschillende merken. Ze zijn er niet alleen in diverse soorten maten en kleuren te verkrijgen, maar verschillen ook in de hoeveelheid functies en de moeilijkheidsgraad van het gebruik. Om een overzicht te creëren, zullen de verschillende soorten ingedeeld worden in een viertal categorieën, die afkomstig zijn van het rapport van Siaw (Vrije Opdracht, 2004).

Het meest voorkomende type wordt gevormd door de standaard digitale camera en vormt ongetwijfeld de grootste groep. Deze digitale camera's kunnen een groot assortiment aan functies bevatten en hebben een redelijk overzichtelijke gebruiksgemak. Het beeldformaat dat de genomen beelden kunnen hebben, loopt uiteen van circa 3 tot 5 megapixels en er kan tot ongeveer 3× optisch in het bereik ingezoomd worden. Deze digitale camera's zijn standaard uitgerust met een zoomlens, LCD scherm en flitser. Ook worden ze geleverd met een USB kabel en computersoftware, zodat foto's eenvoudig gekopieerd kunnen worden naar de computer en hierop bewerkingen uitgevoerd kunnen worden. Deze camera's zijn ook in staat om naast stilstaande beelden films met geluid op te nemen.

De tweede categorie omvat de professionele digitale camera, die uitblinkt door de vrij geavanceerde functies en mogelijkheden die erin verwerkt zijn. Dergelijke camera's hebben een beeldformaat die varieert tussen de 5 en 8 megapixels en het optische zoombereik kan oplopen van 3 tot 7×. In de laatste tijd zijn er zelfs camera's verschenen met beeldformaten in de orde van 10 tot 12 megapixels. Hun formaat daarentegen is iets groter dan de standaard digitale camera's en komt door de vele functies die de camera bevat.



Figuur A.6: Een zakradio (merk: Sony).

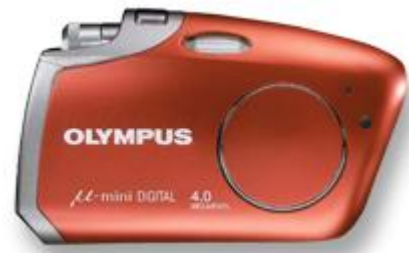


Figuur A.7: Een standaard digitale camera (merk: Olympus).



Figuur A.8: Een professionele digitale camera (merk: Olympus).

De categorie die de laatste jaren sterk is opgekomen, zijn de compacte digitale camera's. Hun formaat is meestal zo klein dat ze eenvoudig in een broekzak gestopt kunnen worden. Ze bevatten de meest belangrijke basisfuncties, waarbij hun beeldformaat kan variëren van ongeveer 1 tot 3 megapixels. Zoomfuncties komen weinig voor, maar wanneer ze ingebouwd zijn, loopt het zoombereik op tot circa 3×. Bovendien is duidelijk te merken dat er aan dergelijke camera's veel aan vormgeving is gedaan.



Figuur A.9: Een compacte digitale camera (merk: Olympus).

In de laatste jaren is ook een nieuwe categorie in opkomst, namelijk de speciale digitale camera's. Ze onderscheiden zich van de voorgaande categorieën door een bijzondere ingebouwde functie. Zo bestaan er camera's die onder water gebruikt kunnen worden of camera's die geïntegreerd zijn in een verrekijker. De functionaliteit en kwaliteit verschillen hier per type en worden beïnvloed door hun speciale functionaliteit.



Figuur A.10: Een verrekijker met een ingebouwde digitale camera (merk: Trust).

A.2.2 (Digitale) videocamera's en camcorders

Naast het opnemen van stilstaande beelden, kunnen er ook bewegende beelden opgenomen worden, waarbij dit het best kan gebeuren met behulp van een (digitale) videocamera. Deze markt is vrij divers, waarbij er onderscheid gemaakt kan worden van analoge en digitale videocamera's. Er zal hier voornamelijk ingegaan worden op digitale varianten, aangezien deze groep de analoge camera's bijna helemaal van de markt heeft gestoten. De digitale uitvoeringen kunnen grofweg ingedeeld worden in standaard en professionele varianten (waarbij de volgende informatie deels afkomstig is van de website "Digitale videocamera's" (FAN Media BV, 2005)).

Beide soorten digitale videocamera's verschillen voornamelijk in kwaliteit, functionaliteit en het aantal mogelijkheden. In beide typen kan er verder op verschillende manieren opgeslagen worden. De meest voorkomende is de opslag op zogenaamde mini-dv banden en de gewone VHS videobanden. De mini-dv banden zijn vergelijkbaar met de videobanden, maar de opslag is digitaal van aard. Daarnaast komen er ook andere opslagmedia in opkomst als opslag op dvd en op geheugenkaarten in de vorm van MPEG4. De betreffende videocamera's bevatten een duidelijke lens en een LCD scherm. De lens kan inzoomen tot een bereik van circa 10× en professionele varianten kunnen zelfs tot 25× inzoomen. Ook bevatten ze de mogelijkheid om foto's en geluidsbestanden (als spraak) op te nemen. Een nadeel van deze videocamera's is de gebruiksduur, dat gelimiteerd is tot circa een paar uur. Ze zijn weliswaar geleverd met een interne oplaadbare accu, maar de (vele) geavanceerde mogelijkheden en functies zorgen voor een groot vermogensverbruik, waarvan het LCD scherm er een van is.



Figuur A.11: Een standaard camcorder (merk: JVC).



Figuur A.12: Een professionele camcorder (merk: JVC).

A.2.3 Draagbare dvd-spelers

De markt van audiovisuele spelers is in opkomst en dit geldt ook voor de draagbare dvd-spelers. Hun formaat is meestal de helft van die van een draagbare computer en in veel uitvoeringen zijn ze geleverd met een opklapbaar beeldscherm, zodat ze minder vuil raken. Kenmerkend voor deze spelers is dezelfde soort toegepaste vormgeving van zilvergrijze kleuren en rechthoekige vorm en dezelfde soort functionaliteit als opvouwbare schermen, waardoor ze in een draagbaar formaat mee te nemen zijn. Verder zijn er (kleine) verschillen te vinden in beeldschermgrootte en bestaan er ook varianten die muziek kunnen afspelen en foto's kunnen tonen van cd's. Vele van hen zijn ook voorzien van een afstandsbediening. Voor het gebruik (achter) in de auto is er meestal ook nagedacht, door de dvd-spelers met een koppelmodule te leveren, waardoor ze achterop een stoelleuning bevestigd kunnen worden. Hierbij kunnen ze ook aangepast zijn aan verschillende lichtinvalshoeken (voor een optimale beeldkwaliteit) en trillingen, maar dit verschilt per merk. Een probleem van dergelijke spelers is de afspeeltijd, aangezien ze veel vermogen onttrekken van de interne accu. Dit leidt tot een afspeeltijd van circa 2 tot 3 uur, wanneer men gebruik maakt van de interne accu en dit is net genoeg voor het afspelen van één film (waarbij een deel van het voorgaande afkomstig is van Lodewijks (Kampioen, 2005)).



Figuur A.13: Een draagbare dvd-speler (merk: Philips).

A.3 Telecommunicatie en spelvermakende apparatuur

Deze categorie omvat apparatuur die betrekking heeft op communicatie en vermaak van mensen. Deze twee aspecten worden hier samengevoegd vanwege het sociale karakter ervan en doordat deze twee productgroepen steeds vaker gecombineerd terug te vinden zijn. Telecommunicatie komt naar voren in de markt van mobiele telefonie en (spel)vermaak is terug te vinden in draagbare spelcomputers. De eerste groep producten heeft als hoofdfunctie om mensen op korte als lange afstanden te bereiken, terwijl de tweede groep zijn ontworpen om digitaal vermaak te leveren.

A.3.1 Mobiele telefoons

Na de introductie ervan ruim tien jaar geleden is de markt van de mobiele telefonie flink uitgegroeid. Tegenwoordig zijn er vrij veel keuzemogelijkheden op het gebied van functionaliteit, multimediamogelijkheden, vormgeving en kwaliteit. Om het geheel overzichtelijk te houden, zullen de vele uitvoeringen van mobiele telefoons globaal onderverdeeld worden in een aantal categorieën, namelijk de cameratelefoon, de muzikatelefoon, de multimediatelefoon en de smartphone. Al deze soorten mobiele telefoons dienen niet geheel los gezien te worden, aangezien er tussen de verschillende varianten ook combinaties voorkomen als een smartphone gecombineerd met een camera. Eerst zal er een globaal beeld gevormd worden van de kenmerken van (gewone) mobiele telefoons.

Kenmerkend voor alle soorten mobiele telefoons zijn het compacte formaat, de toepassing van een LCD (kleuren)beeldscherm en de bijbehorende cijfertoetsen. Standaard zijn ze uitgerust met de gebruikelijke functies als een telefoonboek, digitale klok en diverse communicatiemogelijkheden als bellen en sms'en. Ook bevatten ze veelal draadloze verbindingsmogelijkheden om informatie uit te wisselen naar soortgelijke producten. Onder alle uitvoeringen kan er nog onderscheid gemaakt worden in standaarduitvoeringen met zichtbare beltoetsen en een scherm; opklapbare uitvoeringen, waarbij het

scherm op het paneel van de beltoetsen wordt geklapt en uitschuifbare uitvoeringen, waarbij de beltoetsen onder een schuifklep verborgen zitten. Bovendien maken ze voor hun energievoorziening gebruik van een interne accu die opgeladen wordt met een bijgeleverde adapter.

Cameratelefoon

In de laatste twee jaar is de cameratelefoon een grote hit en de verkoop ervan is zelfs groter dan die van de digitale camera's. De ingebouwde camerafunctie is vooral zichtbaar in de vorm van een lens op de achterkant van de mobiele telefoon, waarmee er in sommige varianten mee ingezoomd kan worden. Huidige cameratelefoons zijn soms vergevorderd in kwaliteit dat ze zelfs geduchte concurrenten vormen voor de compacte digitale camera's. Echter van de kwaliteit van bewegende beelden kan het voorgaande nog niet gezegd worden. Om goed gebruik te kunnen maken van de camerafunctie is een grote opslagcapaciteit geen overbodige luxe meer. Een bijkomend nadeel van de cameratelefoon is ongetwijfeld het hoge vermogensverbruik, waardoor bij veelvuldig gebruik de interne accu echter een paar uur kan meegaan.



Figuur A.14: Een cameratelefoon (merk: Nokia).

Muziektelefoon

Een minder voorkomende variant wordt gevormd door de integratie van een mobiele telefoon met een muzikspeler. Er wordt verwacht dat dergelijke mobiele telefoons de volgende hit zullen worden naast de cameratelefoon. De ingebouwde muzikspeler kan hierbij muziekbestanden afhalen van de computer of van het internet downloaden, aangezien draadloze internetaansluitingen meer ingebouwd worden. De geluidskwaliteit van dergelijke mobiele telefoons is nog niet al te best en fabrikanten zijn bezig om dit te verbeteren, zodat de concurrentie aangegaan kan worden met de muzikspelers. Daarnaast speelt de grootte van de opslagcapaciteit een grote rol, aangezien men bij het beluisteren van muziek zich niet wil beperken tot een aantal liedjes. Veelal wordt er nog gebruik gemaakt van uitneembare geheugenkaarten en de toevoeging van een harde schijf in een mobiele telefoon is nog nauwelijks terug te vinden.



Figuur A.15: Een muziektelefoon (merk: Sony Ericsson).

Multimediatelefoon

Een derde variant van mobiele telefoons wordt gekenmerkt door de multimediamogelijkheden die ermee geïntegreerd zijn. Met dergelijke toestellen kan er videobeelden en/of films bekeken worden, muziek beluisterd worden en op het internet gesurft worden. Ook is het veelal mogelijk om spelletje te spelen, waarbij er zelfs varianten bestaan die een combinatie zijn van een mobiele telefoon en een spelcomputer (zie ook *Draagbare spelcomputers* hieronder). Ook hier speelt het probleem van de korte gebruiksduur een grote rol, aangezien er voor het gebruik van de verschillende soorten multimediatoeepassingen veel energie nodig is.



Figuur A.16: Een multimediatelefoon (merk: Nokia).

Smartphone

De laatste variant van de mobiele telefoon wordt gevormd door de smartphone. Deze mobiele telefoons hebben de functionaliteit van een handheld computer in zich, waarbij er verschillende mogelijkheden zijn op het

gebied van dataverwerking. Naast de hoofdfunctie van telefoneren kan er teksten opgesteld worden, gesurft worden op het internet, mailberichten gelezen en geschreven worden, en dergelijke. Ze zijn daardoor ook in staat om bepaalde computerbestanden te lezen als Word, maar dan in een speciale versie geschikt gemaakt voor de mobiele telefoon.

Een verschil tussen smartphones en andere mobiele telefoons is het feit dat smartphones gebruik maken van een besturingssysteem, waarop losse software zonder beperkingen opgezet en afgedraaid kunnen worden, overeenkomstig met handheld computers. Andere mobiele telefoons die dit niet hebben, kunnen niet zomaar met nieuwe software worden uitgerust.

A.3.2 Draagbare spelcomputers

De markt van draagbare spelcomputers is de laatste jaren sterk op gang gekomen, waarbij verschillende fabrikanten zich hier op wagen. Nintendo is een van de belangrijkste fabrikanten, die jarenlang succes heeft gehad met de Gameboy en de opvolgers ervan. Tegenwoordig hebben fabrikanten als Sony en Nokia zich in deze markt gemengd. Door voortschrijdende technologieën is er aan de manier van het leveren van digitale vermaak nieuwe dimensies toegevoegd. Huidige nieuwe draagbare spelcomputers leveren 3D spellen en beschikken over de mogelijkheid om naast individuele spelletjes ook via draadloze netwerken met meerdere personen te spelen. Verder bestaan er spelcomputers die de mogelijkheid beschikken om te surfen op het internet en om multimedia af te spelen als videobestanden en muziek. Nokia heeft zelfs een combinatie van een spelcomputer en een mobiele telefoon op de markt gezet.

De kwaliteit van de spelers is tegenwoordig vrij goed en dit is te merken aan de verbeterde beeldschermkwaliteit, ingebouwde stereo luidsprekers en de toevoeging van een geheugenopslag. Ook zijn ze geleverd met een interne accu die bij gemiddeld gebruik ongeveer 10 uur kan meegaan.



Figuur A.17: Een smartphone (merk: Nokia).



Figuur A.18: Een draagbare spelcomputer (merk: Sony).

A.4 Multifunctionele informatieverwerkingsapparatuur

In deze categorie zal er nader ingegaan worden op producten die multifunctioneel van aard zijn in de zin van informatieverwerking. Hierbij kan men denken aan de functies die ook bij gewone computers voorkomen. Daarnaast bevatten ze ook een aantal functies die in voorgaande productcategorieën naar voren zijn gekomen als het afspelen van audiovisuele bestanden en het verschaffen van communicatie en vermaak.

A.4.1 Handheld computers

Deze multifunctionele apparaten van handformaat zijn tegenwoordig bekend als Personal Digital Assistants (PDA's) en palmtops. Bij de introductie ervan waren ze veelal nog vrij eenvoudig van opzet, die beschikten over een aantal knoppen en een groot zwart-wit beeldscherm, waarop men ook kon drukken met behulp van een stylus. Ze waren vooral uitgerust met agendafuncties en de bijbehorende mogelijkheden. Ze werkten



Figuur A.19: Een handheld computer (merk: Palm).

veelal nog met niet-oplaadbare batterijen en konden door het lage vermogensverbruik wel een maand mee. In het begin van dit millennium verliep de opkomst van deze apparaten vrij gestaag, maar de belangstelling hiernaar nam in 2002 iets terug, zowel onder consumenten als het bedrijfsleven. Bovendien is er in de laatste tijd ook hier een trend op gang gekomen om de handheld computers meer functioneler en aantrekkelijker te maken. De vrij kale rechthoekige varianten werden opgevolgd door meer fraai vormgegeven typen die een kleurenbeeldscherm kregen. Op het gebied van de functionaliteit werden ze uitgerust met meer mogelijkheden, als draadloze verbindingen en de grotere connectiviteit met andere producten. Tegenwoordig is er weer een stijging merkbaar in deze markt, voornamelijk veroorzaakt door de nieuwe mogelijkheden die ze meebrengen. Draadloos internetten, afspeken van multimedia en mobiel telefoneren met deze producten is geen uitzondering meer. Nadeel is echter wel dat hierdoor deze producten meer vermogen gaan verbruiken en sterke processors nodig hebben. Ingebouwde accu's worden nu veelal gebruikt om dit probleem aan te pakken, maar een lange gebruiksduur is hiermee drastisch gereduceerd tot tientallen uren ten opzichte van hun eerdere simpele varianten.

A.4.2 Draagbare computers oftewel laptops

Op de pc-markt beginnen laptops de laatste tijd een groot aandeel te veroveren en worden steeds gelijkwaardiger beschouwd met hun gewone bureauvarianten. Dit is grotendeels te danken aan de verbeterde processors die voor betere en snellere prestaties zorgen. Hierdoor wordt het tegelijkertijd draaien van verscheidene applicaties meer mogelijk en zijn ze beter in staat om bijvoorbeeld audiovisuele bestanden en 3D spellen af te spelen. Ook zijn er verbeteringen zichtbaar in de beeldschermkwaliteit en de opslagcapaciteit. Daarnaast zijn ze veelal uitgerust met dvd-spelers en dvd/cd branders worden ook meer toegepast. Laatste technologieën zijn verder geïntegreerd als USB 2.0 compatibiliteit en draadloze netwerkverbindingen om te kunnen internetten.

Laptops worden gekenmerkt door hun opklapbare beeldscherm en een touchpad, een soort ingebouwde muis die met de vinger te bedienen is. De standaard poorten die ook op gewone pc's voorkomen, verdwijnen langzaam uit het beeld door de opkomst van USB. Verder is het grootste deel ervan uitgerust met het besturingssysteem van Microsoft, tegenwoordig Windows XP. Ongunstige aspecten van laptops worden gevormd door de gebruiksduur en het grote gewicht. Door het grote vermogensverbruik is het gebruik ervan gelimiteerd tot circa 2 à 3 uur. Door toepassingen van betere accu's is tegenwoordig een gebruiksduur tot ongeveer 4 uur mogelijk geworden. Verder geven laptops veel warmte af en worden hierdoor zwaarder door de toevoeging van isolatiemateriaal en ventilatoren.



Figuur A.20: Een laptop (merk: Sony).

A.4.3 Tablet computers

Een minder bekende variant van de draagbare computer is de zogenaamde tablet computer. Deze computers verschillen van de bovenstaande groep door het beeldscherm, die een touchscreen blijkt te zijn. Hierdoor kan er met behulp van een tablet pen opgedrukt en geschreven worden. Hiermee kan men digitale aantekeningen en notities maken, zodat men niet alles hoeft over te typen. De mogelijkheden van dergelijke computers is verder gelijkwaardig te beschouwen aan de laptops. Wel zijn er twee hoofdgroepen te onderscheiden in deze groep.



Figuur A.21: Een tablet computer (merk: Acer).

De eerste is de combinatie van een laptop en een elektronisch schrijfblok. Het kenmerkende van deze computers is dat ze een draaiend beeldscherm hebben. Ze zijn net als een laptop opklapbaar, maar wanneer het scherm is uitgeklappt, kan men deze ook helemaal omdraaien en met het scherm naar boven toe op het toetsenbord klappen, waardoor er een soort digitaal schrijfblok ontstaat. Door het scherm in de gewone laptopstand te plaatsen, kan er mee getypt worden. Deze variant kent ook meer schokbestendige uitvoeringen, die er meer robuuster uit zien.

De tweede groep wordt gevormd door een computer die alleen een beeldscherm bevat en geen toetsenbord of touchpad. Deze computers maken uitsluitend gebruik van de touchscreen technologie om bijvoorbeeld door de bestanden te bladeren en te klikken. Ze zijn voornamelijk bedoeld om op te treden als een digitaal schrijfblok, maar gebruik maken van andere functies is min of meer ook mogelijk.

A.5 Andersoortige consumentenelektronica

Tenslotte zal er in deze categorie kort ingegaan worden op andersoortige elektronische producten die in de laatste jaren zijn opgekomen en nog niet wijdverbreid gebruikt worden, waarbij een aantal ervan nog vrijwel in het begin van hun marktintroductie zitten. Het beeld dat hier gegeven wordt van deze producten, geeft een indicatie van de mogelijke trends die kunnen optreden. Voor het verdere ontwerpproces zal er hier weinig aandacht aan besteed worden.

A.5.1 eBooks

Een van de producten waar in de laatste jaren mee geëxperimenteerd is, zijn de eBooks. Hiervan zijn er op de markt vrij weinig van te vinden en dit wordt grotendeels veroorzaakt door de vrijwel afwezige vraag naar hen. Deze producten kunnen beschouwd worden als een elektronisch boek, waarbij digitale versies van boeken, tijdschriften en andere (grote) tekstbestanden van de computer of het internet opgezet kunnen worden. Ze bevatten een groot beeldscherm en een aantal basisknoppen, waarbij het scherm nog alleen verkrijgbaar is in zwart-wit. Ook zijn er versies verkrijgbaar die andere multimediamogelijkheden bevatten. Een nadeel als met andere producten met een groot beeldscherm is het energieverbruik, dat gebruik alleen voor een paar uur mogelijk maakt.



Figuur A.22: Een eBook.

A.5.2 Fotoprinters

De digitale fotografie heeft ervoor gezorgd dat er op dit terrein een nieuw product is verschenen, namelijk de (draagbare) fotoprinters. Deze markt groeit de laatste jaren langzaam op en de producten worden steeds welbekender onder het publiek. Fotoprinters zijn voornamelijk bedoeld voor het afdrukken van foto's die gemaakt zijn met een digitale camera. Aangezien er verscheidene soorten camera's bestaan, zijn de fotoprinters uitgerust met kaartlezers voor diverse soorten geheugenkaarten. Het is ook mogelijk om camera's direct aan de fotoprinters te koppelen, maar meestal nog alleen van hetzelfde merk of fabrikant. Het grootste deel ervan werkt zonder tussenkomst van de computer, waardoor ze geschikt zijn om overal mee naartoe te nemen.



Figuur A.23: Een fotoprinter (merk: Canon).

A.5.3 Multimedia afspeelapparaten

De derde groep producten die de laatste tijd langzaam in opkomst zijn, wordt gevormd door de multimedia afspeelapparaten, in het Engels “personal videoplayers” of PVP (volgens de website “Click Kit”(BBCWorld, 2004)). Ze bevatten een klein scherm om videobeelden mee te bekijken en zijn daarnaast ook geschikt voor het tonen van foto’s en het afspelen van muziek. Ten opzichte van hun eerste varianten zijn ze in formaat kleiner geworden en sterk gestegen in opslagcapaciteit, terwijl de opslag ervan in gecomprimeerde bestandsformaten is verbeterd. Dergelijke apparaten zijn in staat om bestanden van de computer af te halen en sommigen daarvan beschikken ook over de mogelijkheid om direct gekoppeld te worden aan allerlei apparatuur als TV’s en camcorders. Een welbekend nadeel van deze producten is de beperkte gebruiksduur op de interne accu, die hooguit circa 10 uur kan bedragen.



Figuur A.24: Een personal videoplayer (merk: Creative).

A.5.4 Bluetooth headsets

Het laatste type product dat hier besproken zal worden, betreffen draadloze hoofdtelefoons (headsets) die gebruik maken van de draadloze Bluetooth technologie (waarbij de informatie afkomstig is van de website van Rowell (The Travel Insider, 2005)). Bluetooth is een nieuwe vorm van draadloze technologie, die draadloze (netwerk)verbindingen mogelijk maakt voor korte afstanden tot circa 10 meter. Deze producten zijn de laatste jaren sterk in opkomst geraakt en door de vele toepassingen van Bluetooth technologie in diverse elektronische producten als muziekspelers en mobiele telefoons, is het nu mogelijk om draadloos met dergelijke producten te verbinden. Huidige Bluetooth headsets zijn veelal ontworpen voor het dragen om een oor en kunnen erg fraai vormgegeven zijn. Voordelen hiervan zijn dat men geen gewone oordopjes hoeft te gebruiken die veelal met het elektronische product wordt verbonden met een kabel. Ook kan men de elektronische producten beter opbergen. Door de ingebouwde oplaadbare accu en het grote mate van gebruik onderweg zijn ze uitermate geschikt om opgeladen te worden met zonne-energie.



Figuur A.25: Een Bluetooth headset.

Literatuurlijst

Rapport

- Siaw, T.L., 2004, “Digitale camera voor jonge gebruikers”, Rapport Vrije Opdracht 2004, Enschede, Nederland.

Krantenartikelen

- Auteur onbekend, 12 maart 2002, “Meer kleur bij Palm”, rubriek “I-mail”, blz. T21, Telegraaf.
- Auteur onbekend, 26 maart 2002, “Variëteit in fotoprinters”, rubriek “I-mail”, blz. T21, Telegraaf.

- Monterie, A., 9 juli 2002, “Nieuwste generatie pocket-pc’s sneller”, rubriek “I-mail”, blz. T21, Telegraaf.
- Auteur onbekend., 24 september 2002, “Mobiele computer wint meer terrein”, rubriek “I-mail”, blz. T19, Telegraaf.
- Auteur onbekend, 11 februari 2003, “Bedrijfsleven afwachtend met aankoop handhelds”, rubriek “I-mail”, blz. T21, Telegraaf.
- Auteur onbekend, 2 oktober 2004, “Sms’en favoriet bij oudere kinderen”, rubriek “Mobile I-mail”, blz. T27, Telegraaf.
- Monterie, A., 30 oktober 2004, “Smartphone breekt door”, rubriek “Mobile I-mail”, blz. T25, Telegraaf.
- Monterie, A., 25 januari 2005, “Notebook eindelijk opgewassen tegen PC”, rubriek “I-mail”, blz. T22, Telegraaf.
- Monterie, A., 26 februari 2005, “Harde schijf voor muziek”, rubriek “Mobile I-mail”, blz. T23, Telegraaf.
- Monterie, A., 20 mei 2005, “Let op kwaliteit MP3-speler”, rubriek “Mobile I-mail”, blz. T12, Telegraaf.

Websites

- Auteur onbekend, 2004, “Click Kit”,
http://www.bbcworld.com/content/clickonline_archive_46_2004.asp?pageid=666&co_pageid=3, Click Online, BBCWorld, Verenigd Koninkrijk, geraadpleegd in april/mei 2005.
- Auteur onbekend, 2005, “Digitale videocamera’s”,
<http://www.dedigitalerevolutie.nl/toontext.asp?id=8008>, De Digitale Revolutie, FAN Media BV, Nederland, geraadpleegd in april/mei 2005.
- Rowell, D.M., 2005, “How to Choose a Bluetooth Headset”,
<http://www.thetravelinsider.info/roadwarriorcontent/bluetoothheadsets.htm>, The Travel Insider, geraadpleegd in april/mei 2005.





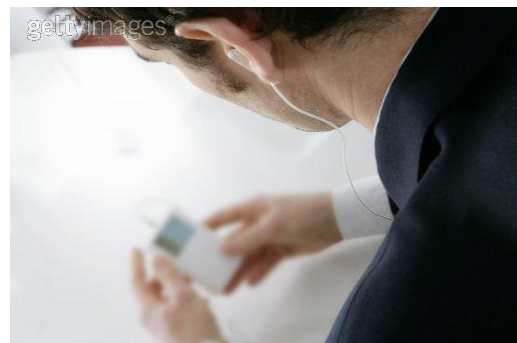
Bijlage B Gebruiksanalyse draagbare consumentenelektronica

B.1 Afspeelapparatuur van (voornamelijk) muziek

Volgens het krantenartikel van Monterie (Telegraaf, 2005) zijn muzikspelers (zowel met ingebouwde als verwijderbare geheugen) vooral populair onder een jong publiek van ongeveer 10 tot 35 jaar, waarbij vooral (jonge) mannen een dergelijk product hebben. Een groot deel van deze groep mensen is ofwel nog schoolgaand of studerend, terwijl er ook jonge werkende mensen hiertussen zitten. Muzikspelers worden tegenwoordig gebruikt voor het beluisteren van favoriete muziek en indien mogelijk ook voor het uitwisselen ervan met vrienden en kennissen. Beluisteren ervan gebeurt bijna overal en voornamelijk op momenten wanneer men zich bijvoorbeeld verplaatst van huis naar school of werk. Plaatsen waar dit veelal gebeurt, is in het openbaar vervoer en onder jongeren op de fiets. Ook thuis zitten mensen vooral met de oordopjes achterover te genieten van de muziek.

Een andere groep mensen die gebruik maakt van zowel muzikspelers als zakradio's zijn sportieve mensen. Tijdens het joggen of in het fitnesscentrum zijn er mensen te vinden die naast het verbeteren van hun conditie, hun tijd besteden door muziek te luisteren.

Tenslotte zijn er nog de antenneradio's, die tegenwoordig waarschijnlijk nog gebruikt worden door (jong)volwassenen. Dit kan variëren van mensen die veelal buiten zijn vanwege bijvoorbeeld werk tot mensen die vaak op reis zijn. Naast het beluisteren van muziek wordt deze radio voornamelijk toegepast als informatiebron, zodat men op de hoogte is van allerlei ontwikkelingen in de wereld.



Figuur B.1: Gebruik van een muzikspeler.

B.2 Beeldopname apparatuur en audiovisuele spelers

Zoals gebleken in bijlage A, blijken er veel verschillende soorten digitale camera's op de markt te bestaan, die elk voor een bepaalde doelgroep blijken te zijn ontworpen. De standaard digitale camera's zijn voor een groter publiek ontworpen, die kan variëren van beginners tot meer geavanceerde gebruikers die geen behoefte hebben aan dure varianten. Ze worden veelal incidenteel gebruikt voor het vastleggen van bijzondere momenten tot het gebruik ervan als hobby. De professionele digitale camera is vooral bestemd voor amateur-fotografen en professionals, die veelal het beste uit een camera willen halen. Ze worden gebruikt voor bijvoorbeeld fotoprojecten, fotosessies of voor mediatoeepassingen. Het zijn meestal mensen die er veel tijd mee doorbrengen en vrij ervaren gebruikers kunnen zijn. Tenslotte zijn er nog de compacte digitale camera's, die bedoeld zijn voor meer jonge mensen die geen belangstelling hebben in de veelzijdigheid aan functies, maar iets eenvoudigs willen. Het zijn meestal mensen die veel opschieten met vrienden en kennissen en altijd een camera bij de hand willen hebben om alledaagse (bijzondere) momenten snel vast te leggen. Ze zien de camera hierbij meer als een technisch speeltje voor alledaags gebruik, waarbij het hen vooral gaat om eenvoudig gebruik en het maken van foto's, waarbij niet zozeer op de kwaliteit wordt gelet.



Figuur B.2: Gebruik van een digitale camera.

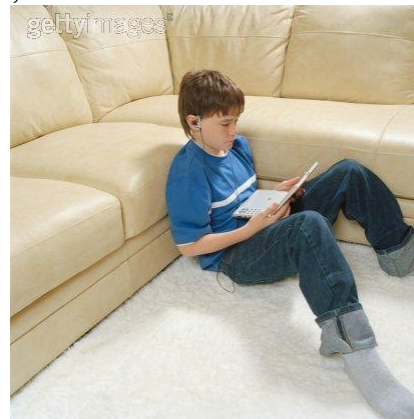
Een ander verhaal geldt voor de digitale videocamera. Het vastleggen van bewegende beelden wordt meestal gedaan door mensen die vaak op reis zijn en door gezinnen. De camera wordt dan meestal

incidenteel gebruikt voor het vastleggen van bijzondere momenten. Het kunnen verschillende soorten mensen zijn die variëren van gewone mensen met een gezin tot mensen die vaak erop uit gaan en sportief van aard zijn. Echter zijn er ook mensen die de camera gebruiken voor het maken van amateurfilmpjes en die dan ook veel tijd besteden aan het opmaken ervan achter de computer.

Tenslotte zijn er nog de draagbare dvd-spelers, die het mogelijk maken om films te kijken wanneer men lang onderweg is. Vooral onder gezinnen is het een leuk product om de kinderen op de achterbank van de auto de tijd door te laten brengen met een film, als de reis urenlang duurt. Ook de toepassing ervan op de vakantiebestemming kan een aangename uitkomst bieden, wanneer men even niets te doen heeft.



Figuur B.3: Gebruik van een camcorder.



Figuur B.4: Gebruik van een draagbare dvd-speler.

B.3 Telecommunicatie en spelvermakende apparatuur

Mobiele telefoons zijn te verkrijgen in vele varianten waar ieder wel iets vindt dat bij hem of haar past. Onder jongeren is vrij veel gebruikers te vinden die de mobiele telefoon veelal gebruiken om contact te houden met leeftijdsgenoten. Zij maken ook meer gebruik van sms'en en het spelen van spelletjes. Het sociale karakter ervan in de vorm van contact houden met andere mensen heeft hierbij een grote rol weggelegd.

De muzikalefoon en de multimediatefoon zijn voornamelijk gericht op jongeren en jongvolwassenen die een deel van hun tijd willen benutten met digitaal vermaak. Er worden dan muziekbestanden en videobestanden afgehaald van het internet of de computer, die vervolgens wordt afgespeeld of indien mogelijk uitgewisseld met vrienden en kennissen. Beluisteren van muziek gebeurt vrijwel op dezelfde plekken en bezigheden zoals dit het geval is met muzikspelers. Multimediaspelers worden vooral ook samen gebruikt met vrienden om bijvoorbeeld een videobestandje te bekijken.

Cameratelefoons zijn veel meer te vinden onder een grotere groep mensen van jongeren tot volwassenen. Altijd een camera op zak te hebben voor allerlei bijzondere onvoorziene momenten is grotendeels het belangrijkste argument. Het verzenden en ontvangen van vastgelegde beelden is juist meer populair onder jongeren en jongvolwassenen, waardoor het contact met anderen behouden blijft.

Tenslotte zijn er nog de smartphones, die voornamelijk bedoeld zijn voor zakenmensen en hogere beroepsbeoefenaars. De communicatiemogelijkheden spelen hier een grotere rol, waarbij naast het telefoneren ook veelal gebruik wordt gemaakt van internet en e-mail. Bovendien is



Figuur B.5: Gebruik van een mobiele telefoon.

het voor deze mensen ook van belang om in bepaalde omstandigheden tekstbestanden te lezen en op te stellen en is de toepassing als zakcomputer vrij nuttig.

Net als mobiele telefoons zijn draagbare spelcomputers vooral erg populair onder jongeren en jongvolwassenen. Op momenten van verveling en verplaatsing in het openbaar vervoer zijn ze uitermate geschikt om digitaal vermaak te leveren. De multimediamogelijkheden die grotendeels ook hierin zijn geïntegreerd, blijken net als multimEDIATELEFoons op bijna gelijke wijze gebruikt te worden. Echter dient er opgemerkt te worden dat vooral kinderen en jongeren hiervan het meest profiteren, die het apparaat voornamelijk thuis in de vrije tijd en op reis gebruiken, veelal met andere leeftijdsgenoten.



Figuur B.6: Gebruik van een spelcomputer.

B.4 Multifunctionele informatieverwerkingsapparatuur

Handheld computers, laptops en tablet computers worden grotendeels gebruikt door studerende en in grotere mate werkende mensen op hoge beroepsniveaus. Toepassingen zijn veelal gerelateerd aan studie en/of werk, waarbij grotendeels data wordt verwerkt. Denk hierbij aan het opstellen van rapportages en presentaties, het uitvoeren van ingewikkelde berekeningen en dergelijke. Door de toename van draadloze internetaansluitingen worden ze ook meer geschikt voor het onderhouden van contacten. Niet alleen via e-mail, maar ook videoconferenties zijn hierbij mogelijk. Bovendien worden de organizerfuncties het meest gebruikt bij de kleine handzame PDA's.

Een andere groep gebruikers wordt gevormd door voornamelijk jongvolwassenen. Veelal zijn ze bezig met hun studie of net begonnen met een baan. In tegenstelling tot hogere beroepsbeoefenaars maken ze ook veelvuldig gebruik van de vele multimediamogelijkheden, waaronder ook spellen kunnen vallen. Ook het creatief bezig zijn, zoals fotobewerkingen, filmmontages en webdesigns op laptops vindt zijn populariteit onder creatieve mensen, die dit doen in hun vrije tijd of voor hun werk.



Figuur B.7: Gecombineerd gebruik van een PDA en een laptop.

Literatuurlijst

Krantenartikel

- Monterie, A., 20 mei 2005, "Let op kwaliteit MP3-speler", rubriek "Mobile I-mail", blz. T12, Telegraaf.





Bijlage C Vormgevingsanalyse draagbare consumentenelektronica

C.1 Massagericht design

Deze vormgevingscategorie richt zich voornamelijk op een groot publiek die vooral voor kwaliteit en functionaliteit gaat. De vormgevingsstijl is vrij neutraal van aard, waarbij de functionaliteit ervan naar voren komt. Het formaat van de producten is vrijwel niet al te klein of groot en meestal vrij handzaam. Vormen vertonen grotendeels hoekige en blokvormige kenmerken, die afgewerkt zijn met afrondingen. Gebruikte kleuren zijn vrij neutraal en functioneel van aard, waarbij veelal gebruik wordt gemaakt van lichte zilvergrijze, chromen tinten en daaruit voortvloeiende kleuren. Sterke en heldere kleurcontrasten komen nauwelijks voor, maar het gebruik van kleurrijke tinten kan bepaalde onderdelen onderscheiden. Veelvoorkomende materiaalsoorten zijn metalen als aluminium en kunststoffen, die voornamelijk dof en licht glanzend kunnen zijn.



Figuur C.1: Voorbeelden van massagericht design.

C.2 Professioneel design

Voor meer ervaren en professionele gebruikers zijn er producten op de markt die zich onderscheiden door multifunctionaliteit en geavanceerdheid in het aantal mogelijkheden. Vormgevingsstijlen spelen hier handig op in door erg hightech over te komen.

Grootgevormde producten geven de indruk van geavanceerde mogelijkheden en betere kwaliteitseisen aan, terwijl kleine formaten de nadruk leggen op de verberging van de vele geavanceerde mogelijkheden. Ook hier worden meestal hoekige en blokachtige vormen gebruikt met goede afwerkingen. In tegenstelling tot het kleurgebruik van massagericht design, wordt er veelal gebruik gemaakt van donkere grijze tot zwarte tinten, waarbij voor de onderscheiding van bepaalde onderdelen lichtere grijze kleuren worden toegepast die voor meer contrast kunnen zorgen. Gebruik van heldere kleuren is hier uit den boze en tast het hoge hightech gehalte aan. Ook hier worden er gebruik gemaakt van de metalen en kunststoffen met een doffe tot licht glanzende uitstraling.



Figuur C.2: Voorbeelden van professioneel design.

C.3 Sportief design

De meer bewegende en erop uitgaande mens zoekt voor zijn producten meer in de sportieve stijl, die een vrij dynamische en schokbestendige uitstraling vertonen. Uitdaging is hier het toegepaste sleutelwoord voor vormgevingsstijlen. Het toegepaste formaat van vele productsoorten is vrijwel licht en compact, zodat ze met eenvoud meegenomen en/of gedragen kunnen worden. Het dynamische karakter komt terug door het gebruik



Figuur C.3: Voorbeelden van sportief design.

van veelal golvende en ronde vormen, die snelheid uitdrukken. Het kleurgebruik van deze producten is vrij licht en helder van tint, waarbij scherpe contrasten naar voren kunnen komen veroorzaakt door helder kleurgebruik die bepaalde afbakeningen aangeeft. Wit is meestal een kenmerkende kleur hiervoor. Tenslotte kan er over het materiaalgebruik gezegd worden dat er voornamelijk kunststoffen en rubber wordt toegepast, die een meer solide en robuuster karakter uitstralen waar glans vrijwel is uitgesloten.

C.4 Vrijtijdsdesign

De betreffende vormgevingscategorie is voornamelijk bedoeld voor de meer sociale en uitgaande vrijetijdsdopers. Een meer vrije en spelende uitstraling komen hier als vormgevingsstijl naar boven. De diverse productsoorten zijn voornamelijk compact en daardoor draagbaar van formaat, zodat men het altijd en overal bij zich kan hebben. Ten opzichte van massagericht design vertonen deze producten meer rondere en gestroomlijnde vormen, die veelal de hoofdlijnen volgen. Voor de verdere uitstraling in kleur kan er onderscheid gemaakt worden in vrij neutrale zilvergrijze en chromen tinten, terwijl er daarnaast ook hieraan lichtere en heldere kleuren worden toegevoegd, waardoor een meer opvallender karakter wordt gevormd. De materialen die hier toegepast worden, zorgen voor een meer glanzende uiterlijk, hoewel dofheid ook is te bespeuren.



Figuur C.4: Voorbeelden van vrijetijdsdesign.

C.5 Trendy design

Voor de mensen die meer uit het vrijetijdsdesign willen halen en de dynamische trends willen volgen, zijn er de meest creatieve producten te vinden. Een vormgevingsstijl die zich uitstraalt in het zetten van nieuwe trends en opvallendheid, waarbij er heel extreem te werk gegaan kan worden. Het formaat kan zich kleinschalig en compact voortdoen, maar veelal is het handformaat gebruikelijk. De gebruikte vormen kunnen hierbij sterk uiteenlopen van rechte en blokachtige vormen tot ronde en golvende structuren. De kleur speelt hier ook sterk op in door gebruik van lichte en heldere en meestal exotisch getinte kleuren, die het product verder doen opvallen. Kunststoffen worden hierbij het meest als materiaal toegepast, die zowel een dof als glanzende uitstraling kan hebben.



Figuur C.5: Voorbeelden van trendy design.

C.6 Zakelijk design

Tenslotte zijn er nog de meer ondernemende zakenlieden die een zelfbewuste en hooggeplaatste uitstraling willen vertonen. Een geordende en zakelijke vormgevingsstijl is hier van toepassing. Van de meeste producten is er niet bezuinigd op formaat, hoewel een grootte die eenvoudig in de hand ligt en handig leest voor de kleinere producten wel voor gemak zorgen. Ook hier zijn de



Figuur C.6: Voorbeelden van zakelijk design.

producten veelal rechthoekig en blokachtig van vorm, maar de nadruk wordt hierbij gelegd op een kleinere dikte. Net als het professioneel design zijn de producten meestal donker getint die varieert van lichte tot donkere grijze en zwarte kleuren. Wanneer er heldere kleuren worden gebruikt, zijn die meestal donker en blauwachtig van tint. Contrast kan gevormd worden door de lichte en donkere grijstinten te combineren bij het onderscheid van diverse onderdelen van een product. Met name (licht)glanzende materiaalgebruik is hierbij het meest voor de hand liggend, vanwege het dure en hooggeplaatste uitstralingsgehalte.





Bijlage D Aspecten omtrent licht

D.1 Natuurkundige aspecten van (zon)licht

Uit de “Encyclopedie” van Groenewald-Froger e.a. (2001) volgt dat (zon)licht een vorm van elektromagnetische straling is, die zich kan gedragen als golf of als zogenaamde energiepakketjes oftewel fotonen. De connectie tussen deze twee voorstellingswijzen wordt in de vergelijking van Planck duidelijk gemaakt, die de energie E van de fotonen voorstelt: $E = hc/\lambda$.

De termen hierin staan voor het volgende:

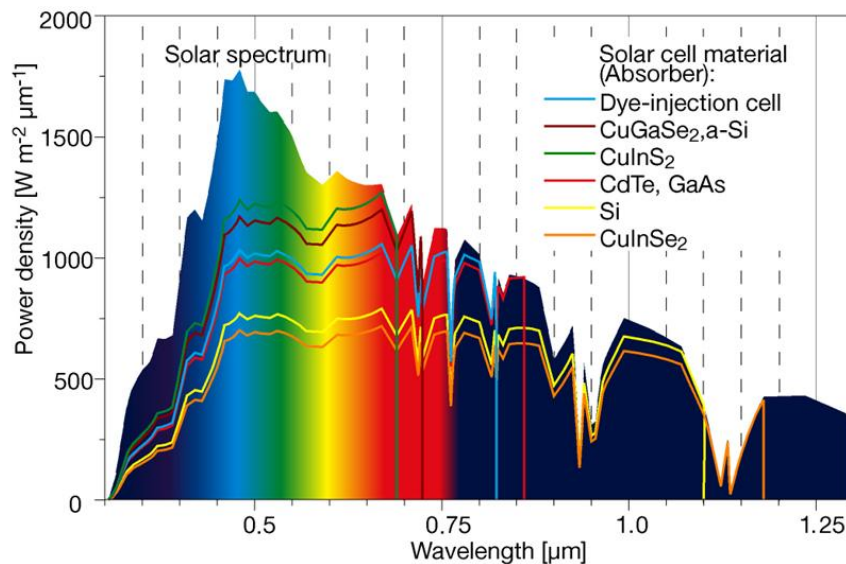
- h stelt de constante van Planck voor en heeft een waarde van $6,623 \times 10^{-34}$ Js;
- c is de lichtsnelheid en heeft een waarde van $2,998 \times 10^8$ m/s en
- λ is de golflengte van licht in m.

Het quotiënt c/λ in deze vergelijking is ook gelijk aan het frequentie f van licht (met de eenheid hertz (Hz) of trilling per seconde (s^{-1})).

De verkregen energie van de fotonen wordt meestal uitgedrukt in de eenheid elektronvolt (eV), waarbij 1 eV gelijk is aan $1,60219 \times 10^{-19}$ J.

Uit de vergelijking van Planck blijkt dat hoe kleiner de golflengte λ van het (zon)licht is, hoe groter de frequentie f en hoe groter de verkregen energie E ervan is.

Het zonnenspectrum en de lichtspectra van diverse typen zonnecellen is hieronder weergegeven. Elk type zonnecel vertoont hierbij een ander lichtspectrum en dit wordt veroorzaakt door het gebruik van de soort en hoeveelheid (halfgeleider)materiaal. Er dient hierbij nog opgemerkt te worden dat deze lichtspectra alleen in de open lucht geldt, aangezien er binnenshuis bepaalde factoren meespelen die de spectra aantasten. Er valt op dat de zonnecellen vanaf een bepaalde golflengte niet meer functioneren. Dit duidt erop dat vanaf die golflengte de potentiële energie van de zon niet hoog genoeg is om energieproductie mogelijk te maken in zonnecellen.



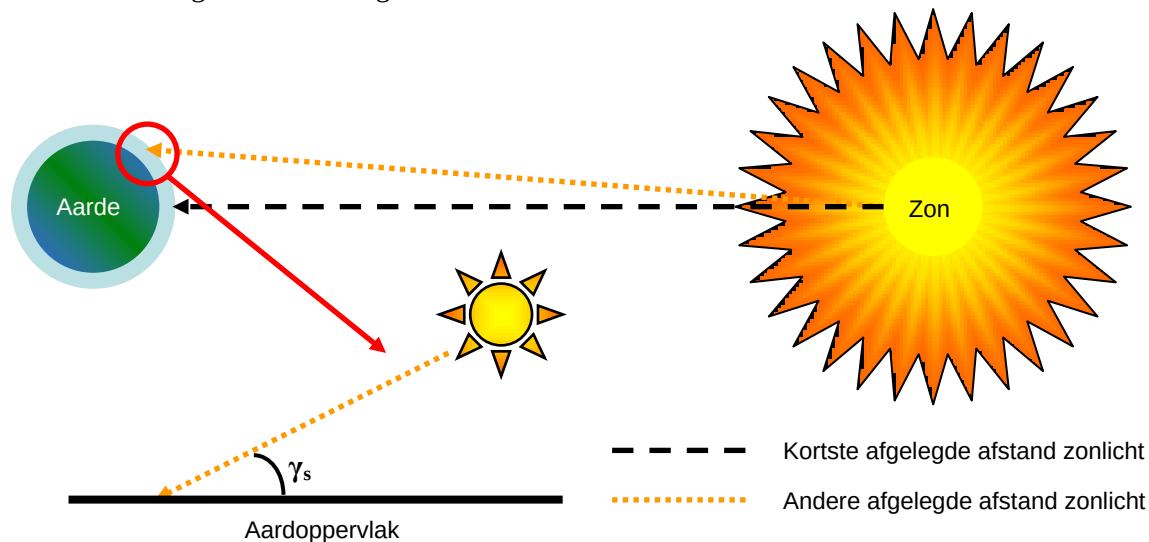
Figuur D.1: Zonnenspectrum en lichtspectra van diverse zonnecellen.

D.2 Zoninstraling op aarde

De verhouding tussen de afgelegde weg van zonlicht door de aardatmosfeer en de minimale afgelegde weg van zonlicht wordt luchtmassa oftewel air mass genoemd, afgekort tot AM. Deze verhouding kan als volgt berekend worden:

$$\text{Luchtmassa AM} = \frac{\text{Gegeven afgelegde afstand zonlicht}}{\text{Kortsteafgelegde afstand zonlicht}} = \frac{1}{\left(\frac{\text{Kortsteafgelegde afstand zonlicht}}{\text{Gegeven afgelegde afstand zonlicht}} \right)} = \frac{1}{\sin(\gamma_s)}.$$

Hierbij stelt γ_s de hoek (in graden) voor waarmee het zonlicht invalt op het aardoppervlak. In de onderstaande figuur is het voorgaande verklaard.

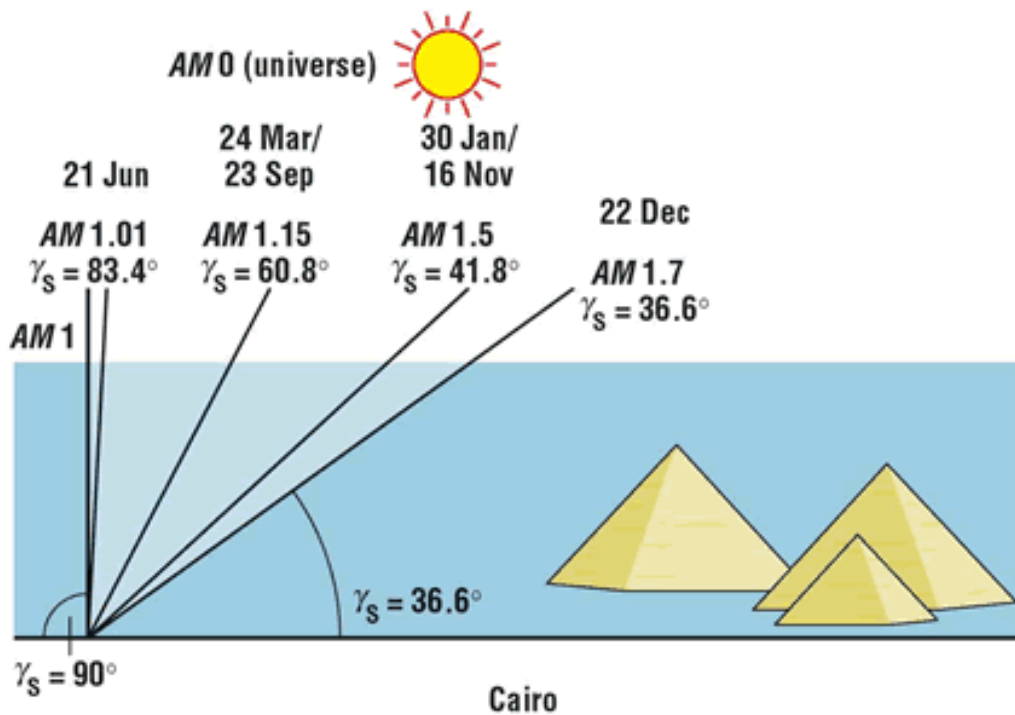
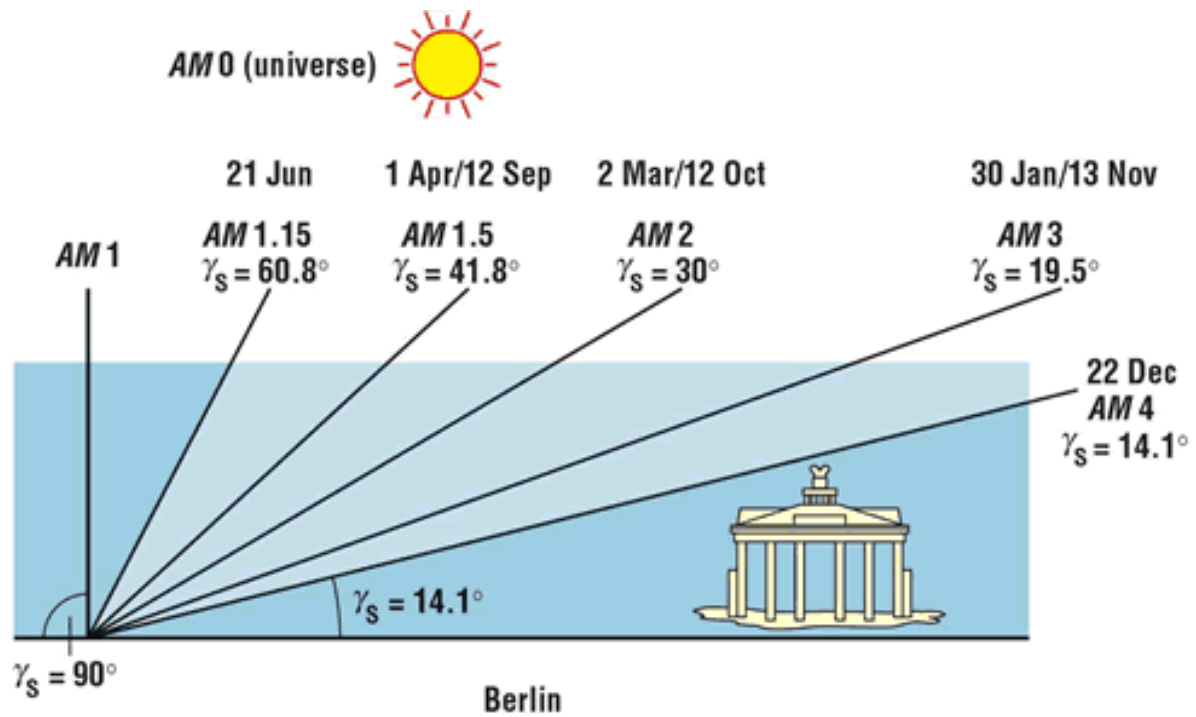


Figuur D.2: Visuele weergave van de luchtmassa (AM).

De luchtmassa gaat meestal gepaard met een bepaalde stralingswaarde van de zon. Wanneer het zonlicht met een hoek van 90° (oftewel loodrecht) invalt op het aardoppervlak, dan is er sprake van een luchtmassa van AM1, waarbij een stralingswaarde ontvangen wordt van 1000 W/m^2 . In andere gevallen legt het zonlicht een langere weg af, waardoor de AM-waarde toeneemt en de bijbehorende zonnestraling kleiner wordt. Een bijzonder geval hiervan is AM0 en dit is het ontvangen zonlicht buiten de aardatmosfeer, waarbij de stralingswaarde van de zon circa 1367 W/m^2 is. Deze luchtmassa wordt echter alleen toegepast voor ruimtevaarttoepassingen van zonnecellen.

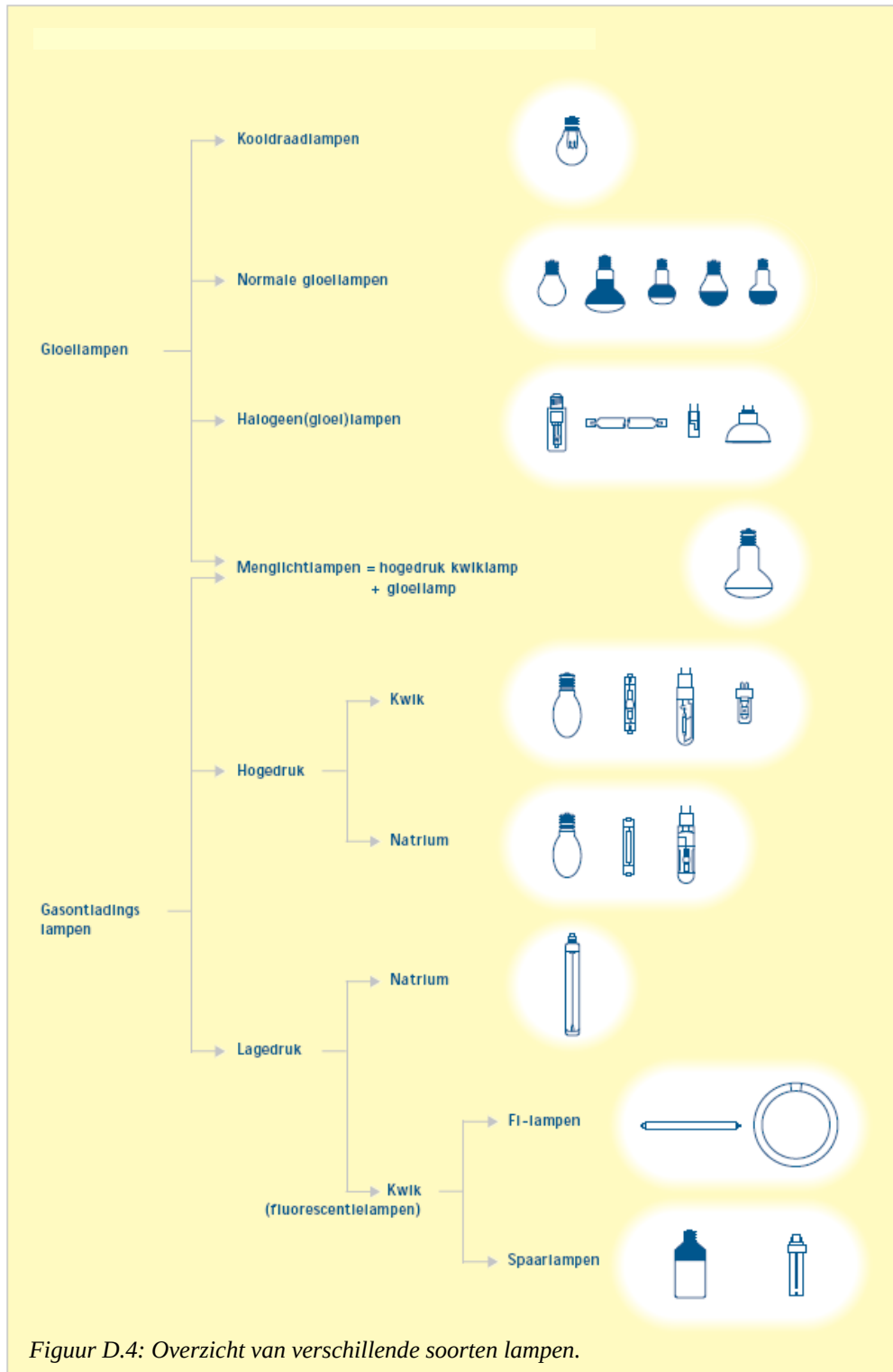
Wanneer zonnecellen worden getest, wordt er gebruik gemaakt van standaard testcondities bij een spectrum van AM1,5. In dit geval bevat de bijbehorende instraling van de zon een lagere waarde dan 1000 W/m^2 , die in de orde valt van ongeveer 970 W/m^2 (bij een globale instraling). Bij deze testcondities wordt de stralingswaarde van de zon toch genormaliseerd naar 1000 W/m^2 , omdat instraling altijd variaties vertoont (waarbij de voorgaande informatie grotendeels afkomstig is van de website van “Photovoltaics” (U.S. Department of Energy, 2004)).

De luchtmassa verandert continu per dag en verschilt ook per geografische locatie. In figuur D.3 op de volgende pagina is hiervan een voorbeeld gegeven in twee steden.



Figuur D.3: Luchtmassa's bij diverse data in twee steden.

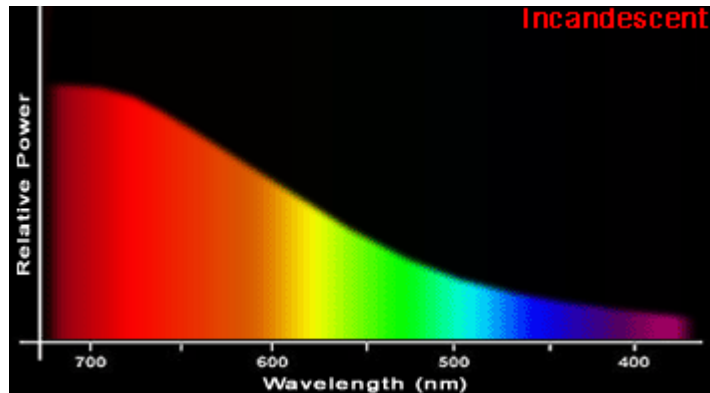
D.3 Soorten lampen¹¹



¹¹ Uit de website van "Types of lamp" (TIME Luminaries Sdn Bhd, 2000).

D.3.1 Eerste hoofdgroep: gloeilampen

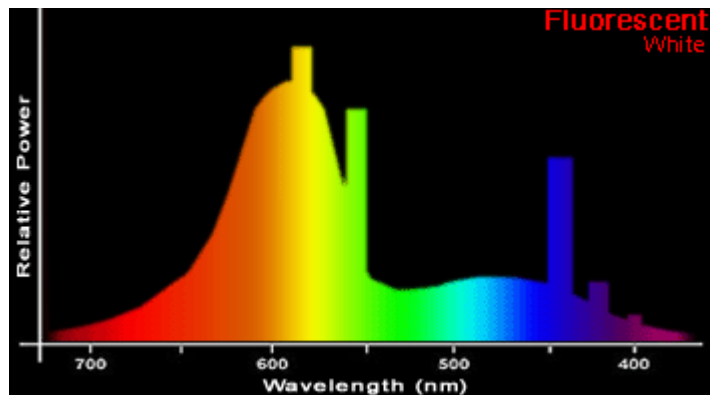
In een gloeilamp wordt licht geproduceerd door de verhitting van een wolfram metaaldradje, de gloeidraad. De bol is meestal gevuld met een gas als stikstof of argon. Halogeenlampen hebben hetzelfde werkingsprincipe, maar hun bol is gevuld met een halogeenachtige gas van jodide- of bromideverbindingen. Dit zorgt voor een langere levensduur van de lampen. Beide typen lampen vertonen een gelijksoortig stralingsspectrum, die hiernaast is weergegeven.



Figuur D.5: Stralingsspectrum van een gloeilamp en een halogeenlamp.

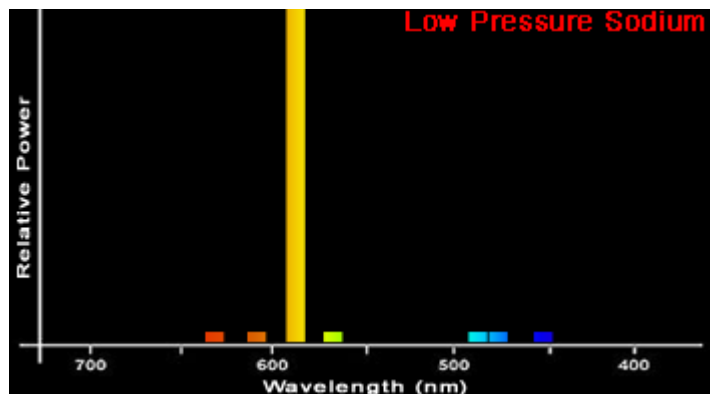
D.3.2 Tweede hoofdgroep: gasontladingslampen

De bekendste uit deze hoofdgroep zijn de lagedruk kwik lampen, ook wel de fluorescentielampen genoemd, waaronder de tl-buis en de spaarlampen vallen. Deze lampen bevatten buizen die gevuld zijn met edelgas(sen) en kwikdamp. Door de aanleg van een elektrische spanning kan het vulgas gaan ontladen, waarbij vooral UV licht wordt uitgestraald. Door de binnenzijde van de buizen te bedekken met een laagje fosfor, kan het UV licht omgezet worden in zichtbaar licht.



Figuur D.6: Stralingsspectrum van een lage druk kwiklamp (fluorescentielamp).

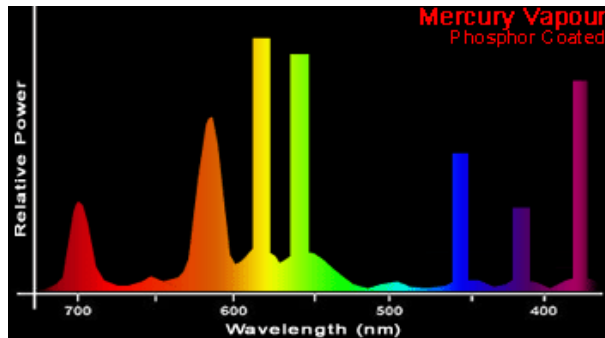
Het werkingsprincipe van lagedruk natriumlampen is ongeveer hetzelfde als de fluorescentielampen, maar de buis is nu gevuld met natriumdamp. Dit soort lampen worden voornamelijk gebruikt voor straatverlichting, vanwege de monochromatische uitstraling van geel licht.



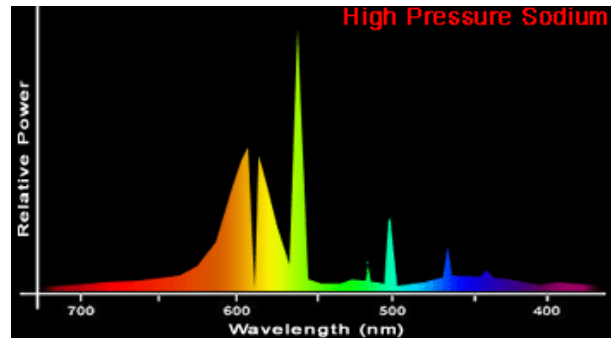
Figuur D.7: Stralingsspectrum van een lage druk natriumlamp.

Hogedruk kwiklampen stralen net als hun lagedruk varianten UV licht uit, maar doordat het vulgas in de buis in dit geval onder hoge druk is gezet, wordt een deel van het UV licht geabsorbeerd door het gas en weer uitgestraald als zichtbaar licht. Ook hier wordt er gebruik gemaakt van een laagje fosfor om de kleuruitstraling van de lamp te verbeteren.

Tenslotte zijn er nog de hogedruk natriumlampen. Het enige verschil met hun lagedruk varianten is dat het uitgestraalde licht meer kleur vertoont (de lamp straalt licht uit met meerdere frequenties).



Figuur D.8: Stralingsspectrum van een hoge druk kwiklamp.



Figuur D.9: Stralingsspectrum van een hoge druk natriumlamp.

Literatuurlijst

Boek

- Groenewald-Froger, M. e.a., 2001, “Encyclopedie”, Het Spectrum BV, Utrecht (Nederland) en Standaard Uitgeverij NV, Antwerpen (België).

Websites

- Auteur onbekend, 2000, “Types of lamp”, <http://www.neon-lighting.com/articles/Types%20of%20Lamps.htm>, TIME Luminaries Sdn Bhd, Maleisië, geraadpleegd in april/mei 2005.
- Auteur onbekend, 2004, “Photovoltaics”, <http://www.eere.energy.gov/solar/photovoltaics.html>, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), Verenigde Staten, geraadpleegd in april/mei 2005.

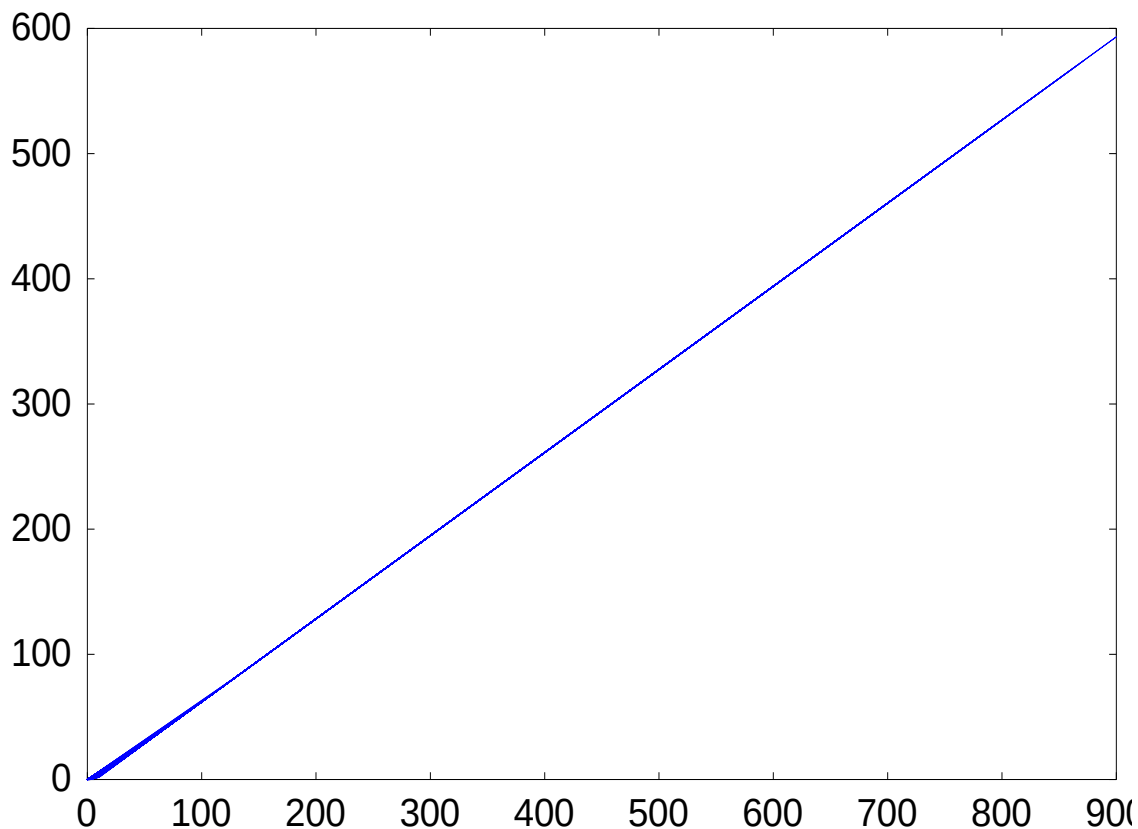




Bijlage E Aspecten omtrent zonnecellen

E.1 Voorbeeld lichtafhankelijkheid van efficiëntie zonnecellen

Bijna alle typen zonnecellen blijken een constant verloop van de omzettingsefficiëntie te vertonen tussen stralingswaarden van circa 100 en 1000 W/m^2 . In de onderstaande figuur is hiervan een voorbeeld gegeven van een monokristallijn silicium zonnecel.

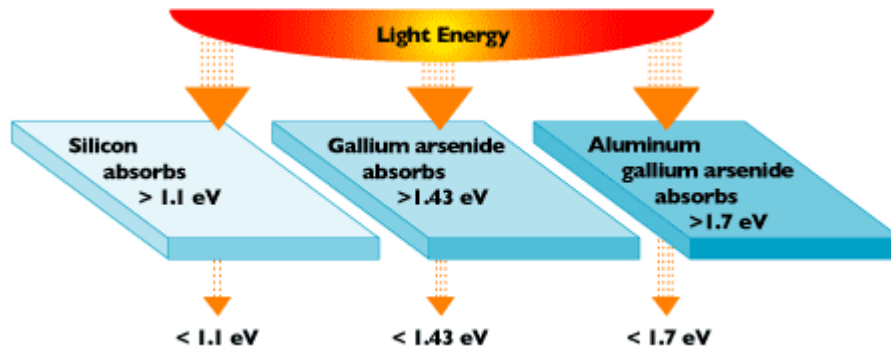


Figuur E.1: Opbrengst van een monokristallijn zonnecel in mW versus instraling in W/m^2 . Deze instralinggegevens van De Bilt zijn oorspronkelijk maanddata die hier geconverteerd zijn naar data per uur (uitgevoerd in het softwareprogramma "Insel").

Tussen de eerdergenoemde stralingswaarden blijkt de opbrengst van de zonnecel lineair te verlopen, dat erop duidt dat de efficiëntie nagenoeg constant is. Wanneer er echter naar stralingswaarden kleiner dan 100 W/m^2 wordt gekeken, dan blijkt de grafiek een verdikking te vertonen. Bij deze lage stralingswaarden is de efficiëntie niet meer constant en blijkt afhankelijk te zijn van de lichtintensiteit en daarmee de instraling.

E.2 Invloeden op werking van zonnecellen¹²

De golflengte van het zonlicht is een van de factoren en bepaalt de hoeveelheid potentiële energie van de fotonen. Alleen fotonen met een bepaalde minimale potentiële energie kunnen elektronen in de zonnecel losmaken en zo een elektrische stroom creëren. Hierbij dient de energie van de fotonen minstens even zo groot te zijn als de bandafstand energie van het (halfgeleider)materiaal, die aangeeft bij welke energiewaarde er elektronen losgemaakt kunnen worden van het atoom. De waarde van de bandafstand energie wordt ook aangeduid in elektronvolt (eV). Fotonen die teveel energie bevatten, kunnen wel elektronen vrijmaken, maar de overtollige energie wordt omgezet in warmte. Wanneer de fotonen te weinig energie hebben, kunnen ze geen elektronen vrijmaken en passeren door de zonnecel heen.



Figuur E.2: Bandafstand energieën van drie typen zonnecellen.

Een andere bepalende factor is de recombinatie van elektronen en “gaten”. Dit verschijnsel kan voorkomen als elektronen en “gaten” elkaar tegenkomen en met elkaar samenvoegen, voordat ze een bijdrage kunnen leveren aan de stroomproductie van de zonnecel. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen directe en indirecte recombinatie. De laatste wordt beïnvloed door bepaalde defecten of onzuiverheden in het materiaal van de zonnecel zelf, waardoor recombinatie vergemakkelijkt wordt.

Verder speelt de natuurlijke en elektrische weerstand een rol bij de elektriciteitsproductie. Natuurlijke barrières doen zich voor bij contactpunten en verbindingen met het elektrische circuit. Ook de omvang van de zonnecellen kan problemen opleveren, aangezien een groot formaat voor een langere afstand zorgen voor de elektronen om de elektrische contacten te bereiken.

De elektrische weerstand wordt bepaald door de grootte van de elektrische contacten aan de zonnecel en de bedrading. Hoe groter die zijn, hoe kleiner de weerstand ervan is, waar de stroom door heen moet.

Ook temperatuursinvloeden kunnen een bepalende factor zijn. Zonnecellen functioneren goed onder lage temperaturen van rond de kamertemperatuur, maar slechter als de temperatuur ervan toeneemt. Toenemende temperaturen worden vooral veroorzaakt door het opvangen van fotonen met teveel potentiële energie en door de stroomproductie.

Tenslotte is het van belang dat zoveel mogelijk zonlicht wordt opgevangen door de zonnecellen. Reflectie dient hierbij voorkomen te worden, want hoe meer licht er opgevangen wordt, hoe meer stroom er geproduceerd kan worden.

¹² Uit de website van “Photovoltaics” (U.S. Department of Energy, 2004).

E.3 Enkelvoudige en meervoudige juncties bij zonnecellen¹³

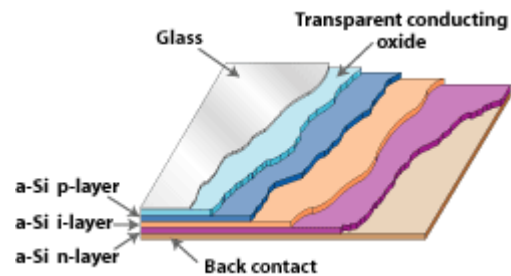
E.3.1 Enkelvoudige juncties

De eerste groep uit de enkelvoudige juncties zijn de homogene juncties oftewel verbindingen van twee lagen die beide uit dezelfde (halfgeleider)materiaal zijn gemaakt. Een (halfgeleider)materiaal wordt hierbij gedoteerd met ofwel atomen die een elektronentekort vertonen (p-laag) ofwel atomen met een elektronenoverschot (n-laag), waarna beide op elkaar gelegd worden. Aspecten die bepalend zijn bij homogene juncties zijn:

- de afstand van de bovenkant van de zonnecel tot de p/n junctie;
- de hoeveelheid en verdeling van doteringsatomen in beide lagen en
- de puurheid van het oorspronkelijke (halfgeleider)materiaal.

De tweede groep ervan wordt gevormd door heterogene juncties oftewel verbindingen van twee lagen die uit twee verschillende (halfgeleider)materialen bestaan. Deze (halfgeleider)materialen kunnen zowel gedoteerd worden tot een p-laag als een n-laag, terwijl dit voor andere samenstellingen veelal niet mogelijk is. De twee lagen spelen hier een andere rol dan dit het geval is bij homogene juncties. De bovenste laag is de zogenaamde “ruit” laag die ervoor dient om zoveel mogelijk licht de onderste laag te laten bereiken. Zelf heeft deze laag een hoge bandafstand energie. De onderste laag heeft daarentegen een lage bandafstand energie en kan daarmee veel licht absorberen.

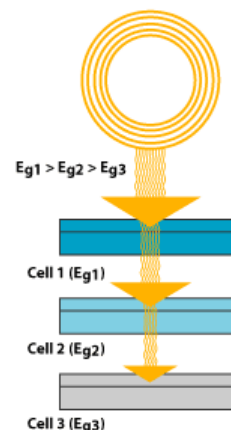
De pin en nip juncties zijn de derde groep verbindingen die mogelijk zijn bij enkelvoudige juncties. In tegenstelling tot de homogene juncties bevatten deze verbindingen tussen de p- en n-laag nog een intrinsieke laag (i-laag) die uit een niet-gedoteerde (halfgeleider)materiaal bestaat. De i-laag heeft als doel om licht te absorberen, waardoor elektronen vrijgemaakt kunnen worden. De drie lagen kunnen van hetzelfde materiaalsoort gemaakt worden, maar toepassing van verschillende materiaalsoorten is geen uitzondering. Een voordeel van deze configuratie is dat de elektronen en gaten al in het elektrisch veld ontstaan en daardoor minder met elkaar recombineren, aangezien ze door het veld gescheiden worden. De benaming pin en nip juncties duiden op de volgorde van de plaatsing van de drie lagen vanaf de bovenste laag gezien.



Figuur E.3: Voorbeeld van een zonnecel met een pin junctie.

E.3.2 Meervoudige juncties

De meervoudige juncties zijn afgeleid uit enkelvoudige juncties en bestaan uit een aantal individuele zonnecellen (volgens enkelvoudige juncties samengesteld) die op elkaar zijn gelegd, elk met een andere bandafstand energie. De zonnecel met de hoogste bandafstand energie vormt de bovenste laag, waarna een zonnecel volgt met een lagere bandafstand energie en dit gaat door tot de onderste laag, die uiteraard de laagste bandafstand energie bevat. Deze constructie heeft als doel om zoveel mogelijk licht te absorberen. Als licht niet in de bovenste laag geabsorbeerd



Figuur E.4: Schematische weergave van een zonnecel met een meervoudige junctie.

¹³ Uit de website van “Photovoltaics” (U.S. Department of Energy, 2004).

wordt, kan er getracht worden om die alsnog te absorberen in de onderste lagen. Hiermee kan een hogere omzettingsefficiëntie bereikt worden door de zonnecel.

Literatuurlijst

Website

- Auteur onbekend, 2004, “Photovoltaics”, <http://www.eere.energy.gov/solar/photovoltaics.html>, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), Verenigde Staten, geraadpleegd in april/mei 2005.





Bijlage F Aandachtspunten elektronicaonderdelen¹⁴

F.1 Aandachtspunten transport van elektrische energie

Volgens de website van Lenardic (2005) dient er bij het transport van elektrische energie zorgvuldig rekening gehouden te worden met de dikte en de lengte van de kabels. Om vermogensverliezen hierin tegen te gaan, dient de dwarsdoorsnede en de lengte zo optimaal mogelijk gekozen te worden, aangezien ze aan elkaar gerelateerd zijn bij de veroorzaking van vermogensverliezen. Een grotere dwarsdoorsnede van de kabel zorgt voor minder elektrische weerstand en door deze ook in de lengte gezien te verkorten, kunnen vermogensverliezen klein gehouden worden. Maximaal nog aanvaardbare verliezen zijn in de orde van 3%.

Naast het formaat en de lengte van de bekabeling spelen gebruikersgerelateerde invloeden ook een belangrijke rol. Voorbeelden hiervan zijn ombuigingen, beknellingen en oneigenlijk gebruik van kabels die grotendeels veroorzaakt worden door gebruikers. Deze problemen kunnen leiden tot een verkorting van de levensduur en een slechter energietransport.

Daarnaast vormen temperatuursinvloeden een ander aandachtspunt. Extreem lage en hoge temperaturen en sterke temperatuurschommelingen dienen in dit geval voorkomen te worden. Er kan aangenomen worden dat bij langdurig gebruik onder temperaturen lager dan -10°C en hoger dan 60°C vermeden dienen te worden. Ze kunnen namelijk van invloed zijn op de levensduur en de effectiviteit van kabels. Aangezien kabels tegenwoordig veelal goed geïsoleerd zijn, komen deze problemen niet veel voor. Wel dient er rekening gehouden te worden met kleine compacte ruimtes, waarin temperaturen hoog kunnen oplopen.

Een laatste aandachtspunt is de invloed van UV straling. De omhulsels van kabels zijn gemaakt van kunststof die voor een isolerende werking zorgen. Maar wanneer ze langdurig blootgesteld worden aan UV straling, kunnen de kunststoffen omhulsels beschadigd raken, waardoor de interne bedrading kwetsbaarder worden. Zoals al vermeld, speelt dit probleem alleen een rol wanneer de kabels constant en langdurig worden blootgesteld aan zonlicht in de orde van jaren en voorkoming ervan is goed te realiseren.

F.2 Aandachtspunten opslag van elektrische energie

De temperatuur is een belangrijk aandachtspunt voor de accu. Wanneer de accu onder (te) hoge temperaturen wordt opgeladen of ontladen, zorgt dit voor een versnelling van de chemische reacties, waardoor het opladen of ontladen van de accu sneller zal verlopen. Denk hierbij aan temperaturen vanaf ongeveer 40°C à 50°C. Dit kan gunstig uitwerken voor de energietoevoer naar de accu of het product, maar levert ook grotere negatievere consequenties met zich mee voor de levensduur ervan. Als deze situatie zich vaker voordoet, kan dit leiden tot een aantasting van de effectiviteit van de accu. Een opmerking hierbij is dat het oplopen van de temperatuur per accutype verschilt. Er zijn bijvoorbeeld accu's die nauwelijks heet worden bij het opladen en pas opwarmen als hun volle capaciteit wordt bereikt.

Een ander punt is de opbouw van druk in de accu, die grotendeels wordt veroorzaakt door een toename van de temperatuur. Een hogere interne druk zal de effecten veroorzaakt door hoge temperaturen verder doen toenemen. Daarnaast kunnen er mechanische defecten ontstaan in de accu, waardoor de effectiviteit aangetast kan worden. Ook hier geldt dat deze effecten pas voorkomen als deze situatie zich vaker voordoet en verder is de opbouw van interne druk alleen van toepassing in verzegelde accu's.

¹⁴ Uit de website van "Technology Base" (MPower Solutions Ltd., 2004).

Ook dient er rekening mee gehouden te worden met de mate van ontladen van de accu en het elektronische product. Het blijkt dat als er dieper wordt ontladen (oftewel als de accu wordt verbruikt totdat het energieniveau heel laag is), hoe sterker de levensduur achteruit kan gaan in de zin van de hoeveelheid gebruikscycli die de accu nog kan doorstaan. Hierbij kan gedacht worden aan ontladen totdat circa 10% tot 20% van de capaciteit nog over is. Dit heeft als kleine minpunt dat een accu niet al te lang ontladen mag worden, tenzij het elektronische product weinig energie gebruikt. Met een gebruikscyclus van een accu (of batterij) wordt er geduid op het aantal cycli dat een accu (of batterij) gebruikt kan worden voordat zijn nominale capaciteit is teruggelopen naar minder dan 80% van zijn aanvankelijk vastgestelde capaciteit.

Verder bestaan er accutypen die van tijd tot tijd af en toe helemaal ontladen dienen te worden, vanwege het geheugeneffect. Dit duidt erop dat de accu na een aantal gebruikscycli een bepaalde capaciteitsniveau gaat beschouwen als eindwaarde van de accucapaciteit, wanneer hierbij telkens op een bepaald niveau gestopt wordt met ontladen. Wanneer bijvoorbeeld telkens wordt opgeladen als de accu is ontladen totdat 30% van de accucapaciteit nog over is, dan zal die in het vervolg bij dit niveau aangeven dat de accu bijna leeg is.

Tenslotte is het van belang om te weten welke stroomsterkte er gebruikt wordt om de accu en de elektronische producten mee op te laden. De snelheid van het opladen en ontladen wordt meestal aangeduid met de hoeveelste deel van de stroomcapaciteit van de accu, bijvoorbeeld 0,1C, waarbij de C voor capaciteit staat. Een accu die een stroomcapaciteit bevat van 1000 milliampère en opgeladen wordt met 0,1C duidt erop dat de toegepaste stroomsterkte een tiende deel van de stroomcapaciteit bedraagt, dus in dit geval 100 milliampère. Dit duidt er niet op dat diezelfde accu ook daadwerkelijk in tien uur opgeladen wordt, maar net iets meer (dit heeft te maken met verliezen en onnauwkeurigheden die optreden).

De stroomsterkte waarmee opgeladen wordt, verschilt eigenlijk per accutype. Hierbij zijn er drie mogelijkheden aanwezig om ze op te laden:

- langzaam opladen (slow charge) met een stroomsterkte van circa 0,1C;
- snel opladen (quick charge) met een stroomsterkte van circa 0,3 tot 0,5C;
- extra snel opladen (fast charge) met een stroomsterkte groter dan of gelijk aan 1,0C.

Bij deze oplaadmogelijkheden dient er wel opgemerkt te worden dat hoe groter de C-waarde bij het opladen is, hoe sneller de temperatuur kan oplopen door versnelde chemische reacties en ook dit verschilt per accutype. Het opladen met waarden groter dan 1,0C wordt voor consumententoepassingen afgeraden, vanwege veiligheidsredenen en de grote kosten die verbonden zijn aan de toepassing van ingewikkelde elektronische beveiligingscircuits.

Een te lage C-waarde bij het opladen is voor een aantal typen accu's ook niet goed, aangezien het in dit geval moeilijk te detecteren is wanneer de accu dient te stoppen met opladen. Bij langdurig opladen met een lagere waarde dan 0,05C is het om veiligheidsredenen nodig om maatregelen te nemen.

F.3 Functies van laadregelaar¹⁵

Het blokkeren van de omgekeerde stroomrichting, dat ontstaat bij zelfontlading van de accu, is een van de functies van een laadregelaar. Wanneer de accu is aangesloten aan de zonnecellen, terwijl ze niet worden opgeladen (in geval van donkere situaties of in de nacht), kan er een kleine stroom gaan lekken uit de accu naar de zonnecellen toe. Deze situatie kan zich verscheidene keren voordoen als de accu of het elektronische product niet wordt ontkoppeld van de zonnecellen.

¹⁵ Uit het ingenieursartikel van Dankoff (Dankoff Solar Products Inc., 1999).

Naast het blokkeren van stroom dient ook voorkomen te worden dat er een te hoge stroom naar de accu of het elektronische product wordt gestuurd. Te hoge stromen die door kortsluiting ontstaan, kunnen onherstelbare schade aanrichten aan elektronische producten en de accu. Daarnaast kan er oververhitting optreden en in het ergste geval brandgevaar. Ook in dit geval heeft de laadregelaar een beschermende functie, die hoge stromen kan ontdekken en tegenhouden door bijvoorbeeld een zekering door te laten branden.

Een andere functie is ervoor zorgen dat de accuspanning bij het op- en ontladen binnen het gegeven spanningsbereik valt van de accu of het elektronische product¹⁶. Wanneer een accu verder wordt opgeladen dan zijn maximum, dan neemt de spanning over de accu toe, aangezien er dan nog steeds wordt getracht om stroom in de accu te laten lopen. Het gevaar hierbij is dat de temperatuur van de accu snel kan toenemen, waarbij die onherstelbare schade kan oplopen. In het ergste geval kan er oververhitting en zelfs brand ontstaan.

Naast een te hoge spanning, kan er ook een te lage spanning over de accu gaan staan. Dit verschijnsel doet zich voor in geval de accu zeer diep wordt ontladen. De schade die hier kan optreden, is minder gevaarlijk van aard. Echter kunnen er hierdoor ongunstige reacties optreden die de effectiviteit van de accu zwaar kan aantasten, waarbij die onbruikbaar kan worden.

Daarnaast kunnen laadregelaars een temperatuursensor bevatten, die de temperatuur van de accu kan controleren bij het opladen. Wanneer de temperatuur ervan vrij laag is, kan de laadregelaar ervoor zorgen dat er meer stroom naar de accu gaat stromen, waardoor oplading ervan versneld wordt. Bij te hoge temperaturen kan het stroomniveau verlaagd worden, om verdere temperatuurstoename te voorkomen. Ook kan de laadregelaar bij uitzonderlijk hoge temperaturen de stroomtoevoer afkappen, zodat de accu tijd heeft om af te koelen en wellicht later met het opladen kan hervatten.

Tenslotte is het mogelijk dat laadregelaars een “maximum power point tracker” (MPPT) bezitten. Deze mogelijkheid zorgt ervoor dat er bij het opladen naar het maximale vermogenspunt wordt gezocht van de zonnecellen. Hierdoor kan er het meest effectief gewerkt worden met de zonnecellen, waarmee het hoogst mogelijke rendement eruit gehaald kan worden. Bij het zoeken naar het maximale vermogenspunt wordt de bijbehorende spanning bepaald, waarover de accu zal worden opgeladen. Een MPPT is eigenlijk een soort DC–DC omzetter.

Literatuurlijst

Ingenieursartikel

- Dankoff, W., 1999, “What is a Charge Controller?”, Dankoff Solar Products Inc., Verenigde Staten, http://www.homepower.com/education/comp_cc.cfm.

Websites

- Auteur onbekend, 2004, “Technology Base”, <http://www.mpoweruk.com/technology.htm>, MPower Solutions Ltd., Schotland, Verenigd Koninkrijk, geraadpleegd in mei/juni 2005.
- Lenardic, D., 2005, “Pvresources.com, photovoltaic technologies and applications”, <http://www.pvresources.com/>, geraadpleegd in april/mei 2005.

¹⁶ Een (interne) accu werkt binnen een bepaald spanningsbereik die per accutype verschilt. Voor een nadere beschrijving hiervan wordt in de technische ontwerpfase verder op ingegaan.





Bijlage G Verwoording oplossingen ontwerpaspecten

Hieronder is eenzelfde tabel te vinden van het overzicht van oplossingen per ontwerpaspect. In plaats van foto's is er hier in woorden beschreven wat er op de foto's te zien is, aangezien op een aantal foto's niet goed herkenbaar is wat er precies wordt bedoeld.

Ontwerpaspect	Oplossing 1	Oplossing 2	Oplossing 3	Oplossing 4
Wijze van dragen om de schouders	Twee schouderbanden waarmee de tas op de rug gedragen wordt (rugzak).	Een draagband die om de schouders wordt gehangen of over de nek om de andere schouder (schoudertas).	Een draagband die met een uiteinde langs de (linker)schouder komt en het andere uiteinde langs je (rechter)zij (draagtas).	
Wijze van dragen met hand(en)	Aanhangsel aan de tas.	Handvat aan de tas.		
Wijze van afsluiting	Ritsafsluiting.	Klittenband afsluiting	Afsluiting door vasttrekken met touw.	Klikafsluiting.
Soort (kleine) compartiment	Een hangende zak in de tas.	Een insteekhoes in de tas.	Een elastische insteeknet buiten de tas.	
Wijze van verstelbaarheid (bij dragen om de schouders)	Traploze schuif & trek mechanisme.	Traploze klit mechanisme.		

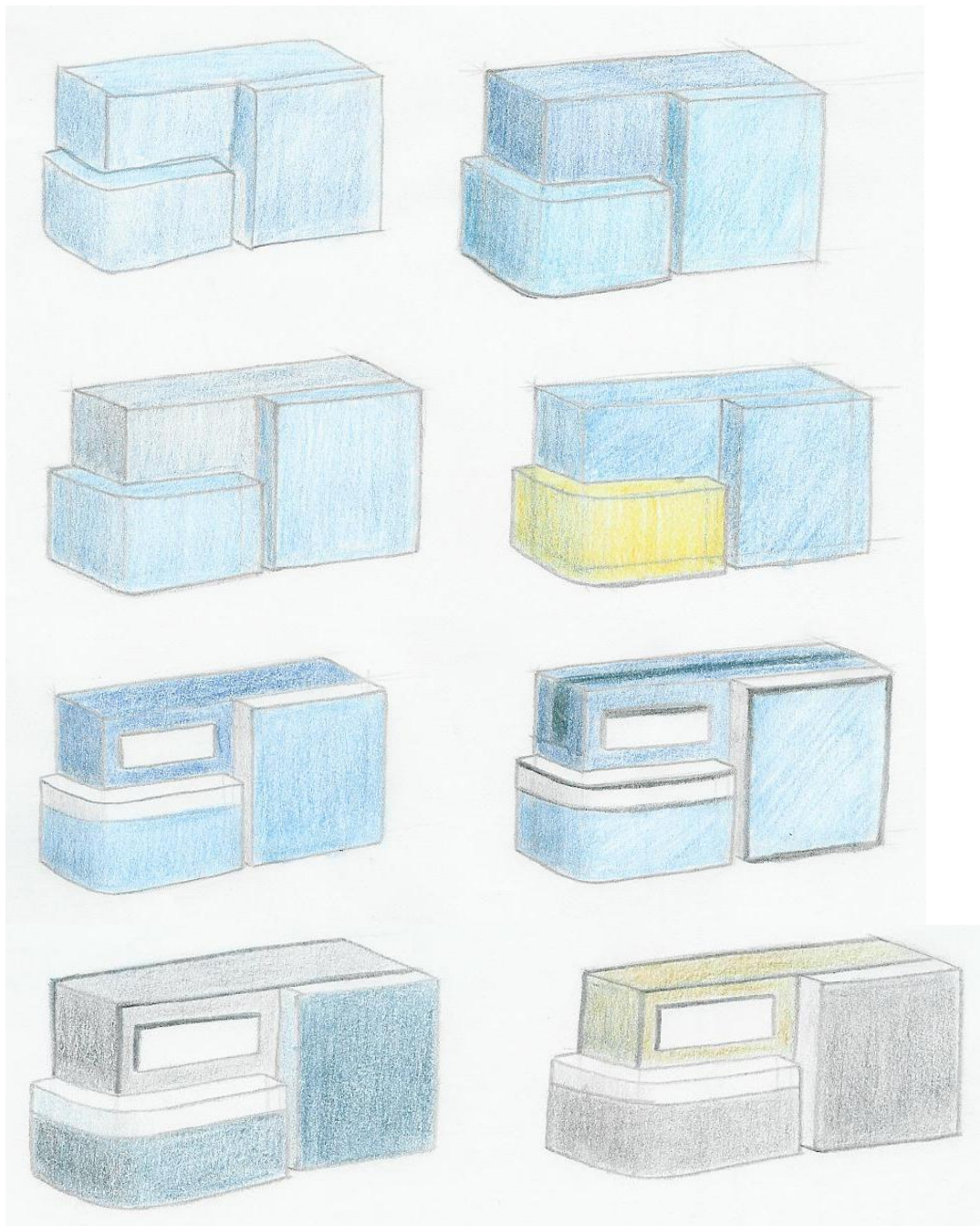
Tabel G.1: Verwoording van overzicht van oplossingen bij diverse ontwerpaspecten van de tas.





Bijlage H Uitwerking kleurinvulling van ontwerp

Voor de kleurinvulling is er gebruik gemaakt van vereenvoudigde globale schetsen van de tas, zodat men niet telkens opnieuw het hele ontwerp dient te tekenen. Deze tekeningen zijn dan gebruikt om verschillende kleurstellingen te realiseren. Hieronder zijn dan acht verschillende kleurinvullingen gegeven van het ontwerp van de schoudertas.



Figuur H.1: Kleurschetsen van het ontwerp van de schoudertas.





Bijlage I Opgestelde gebruikersscenario's

I.1 Scenario 1: Een dag in het leven van een student

Een universitaire student begint na een uitgerust zomerweekend thuis bij zijn ouders, weer met zijn wekelijkse treinreis naar de stad waar hij studeert. Nadat hij zijn ouderlijk huis heeft verlaten, gaat hij met de bus op weg naar het treinstation. In de bus neemt hij zijn mobiele telefoon ter handen en merkt dat de interne accu nagenoeg leeg is. Het blijkt dat hij het afgelopen weekend zijn mobiele telefoon grotendeels op standby heeft laten staan. Om niet zonder energie te zitten wanneer hij gebeld wordt, besluit hij de mobiele telefoon aan te sluiten op de zonnemodule van zijn tas. Hij merkt aan het terugkoppelingssysteem dat de zonnecellen energie produceren, waardoor de meegeleverde accu niet in werking hoeft te komen. Nadat hij het treinstation heeft bereikt en de juiste trein heeft gepakt, pakt hij zijn MP3-speler uit de tas en begint te genieten van zijn favoriete muziek. Om optimaal gebruik te kunnen maken van de energie van de zonnecellen, plaatst hij de tas voor het raam. Na een treinreis van ongeveer 3 uur bereikt hij zijn eindbestemming. Tegen die tijd merkt hij dat de interne accu van zijn MP3-speler ook bijna leeg is. Omdat hij geen zin heeft om dit product in zijn verblijfplaats op te laden, is hij van plan deze aan de zonnemodule van zijn tas vast te koppelen. Tegelijkertijd merkt hij op dat de accu van zijn mobiele telefoon is opgeladen en ontkoppelt die van de zonnemodule en koppelt zijn MP3-speler eraan. Nadat hij de bus heeft gepakt naar de universiteit en daar is aangekomen, stopt hij zijn tas in zijn kluis. De elektronica in de tas merkt op dat er geen licht meer valt op de zonnecellen en schakelt over op de energie van de meegeleverde accu, waardoor de accu van de MP3-speler alsnog door kan gaan met opladen. Wanneer hij twee uur later terugkomt om zijn tas op te halen, merkt hij op dat hij de MP3-speler helemaal was vergeten en kijkt hoever die is opgeladen. Het blijkt dat die helemaal is opgeladen en beseft dat de meegeleverde accu hiervoor verantwoordelijk was. Nu kan hij met een gerust hart naar zijn studieverblijfplaats gaan met de oordopjes in zijn oren, terwijl de meegeleverde accu wordt opgeladen met de laatste lichtstralen van de zon, voordat de avond valt.

I.2 Scenario 2: Een dag in het leven van een bedrijfsmedewerkster

Een jonge werkende vrouw heeft een drukke dag voor de boeg, aangezien ze een belangrijke afspraak heeft in een andere stad. Nadat ze alles de avond daarvoor al heeft ingepakt, controleert ze alles nog in haar tas en merkt dat de accu van haar mobiele telefoon bijna leeg is. Aangezien ze vroeg in de ochtend de deur uit moet om de trein te pakken, besluit ze haar mobiele telefoon aan te sluiten op de zonnemodule in de tas. Het blijkt midwinter te zijn en het is nog te donker om gebruik te kunnen maken van zonlicht. De elektronica in de tas schakelen daarom over op opladen via de meegeleverde accu. Het blijkt een heldere ochtend te zijn en ze besluit de fiets te nemen in plaats van het openbaar vervoer. Op weg naar het treinstation komt ze een paar hobbelige wegen tegen, maar de elektronica in de tas blijken bestand gemaakt te zijn tegen schokken. Wanneer ze aankomt op het station en de trein heeft gepakt, bereidt ze zich alvast voor op haar afspraak. Na een uur reizen komt de zon langzaam op en schakelen de elektronica in de tas over op energie van de zonnecellen. Als ze anderhalve uur later bijna haar eindbestemming heeft bereikt, merkt ze bij het inpakken van haar tas dat haar mobiele telefoon is opgeladen. Bij het ontkoppelen van de zonnemodule wordt er vervolgens overgeschakeld op het opladen van de meegeleverde accu. Na een lange dag gaat ze weer terug naar huis en merkt dat het niet alleen vroeg donker is geworden, maar dat het langzamerhand licht is gaan regenen. Voordat ze het gebouw verlaat, heeft ze haar PDA nog aangesloten aan de zonnemodule, aangezien de accu ervan bijna leeg is. Op weg naar het station wordt de meegeleverde accu gebruikt voor het opladen, terwijl ze probeert de regen te ontduiken. Wanneer ze het station bereikt en de trein heeft gepakt, maakt ze de zonnecellen nog even droog, hoewel ze door hun beschermende coating onaangetast blijken te zijn. Verder merkt ze in de trein dat er voor het opladen van haar PDA, energie van de zonnecellen worden gebruikt. Ze realiseert zich dat dit komt door de sterke verlichting in de trein. Met een drukke dag achter de boeg rust ze uit in de trein, die haar langzaam maar zeker naar huis brengt.





Bijlage J Verantwoording van gebruikte selectiematrices

J.1 Selectiematrix zonnecellen

Een verklaring van de gebruikte aspecten en de bijbehorende gewichten voor de keuze uit de typen zonnecellen is hieronder weergegeven in de tabel.

Aspecten	Gewicht	Verklaring
Spanning ▲	5	Deze elektrische aspecten geven aan hoe goed zonnecellen presteren en het is van belang dat deze aspecten een hoge waarde vertonen, waaronder ze minder oppervlak vereisen. De bijbehorende gewichten geven het hoge belang aan van deze prestaties.
Stroom ▲	5	
Vermogen ▲	5	
Efficiëntie ▲	5	
Stabiliteit ●	4	In dit geval betreft het hoe goed de stroom door de zonnecel geleidt, waarbij het van belang is dat het materiaal niet al te veel onzuiverheden en/of onregelmatigheden vertoont. Dit aspect is niet zeer belangrijk gevonden, aangezien een erg goede stabiliteit erg kostbaar is, maar er dient hier wel rekening mee gehouden te worden.
Massa ▼	1	Zonnecellen zijn op zichzelf erg dun en hebben hierdoor een kleine massa. Vandaar dat dit aspect zeer onbelangrijk wordt geacht.
Dikte ▼	3	Een dunnere zonnecel vergt minder kosten met zich mee en kan in meervoudige juncties toegepast worden. Echter de kwetsbaarheid is hierbij nog steeds aanwezig en vandaar de neutrale stand.
Flexibiliteit ▲	4	Een hoge flexibiliteit is uitermate geschikt voor het te ontwerpen product, maar is niet altijd noodzakelijk. Het hoge belang is hierbij toch terug te vinden in het gewicht.
Giftigheid ▼	5	Vanwege milieu- en gezondheidsredenen dient dit aspect zo klein mogelijk te zijn en dit wordt daarom zeer belangrijk geacht.
Schaarste ▼	3	Wanneer de zonnecel veel schaarse materialen bevat, lopen de kosten te hoog op. Als dit echter in kleine hoeveelheden wordt toegepast, kunnen de kosten bij massaproductie relatief laag uitvallen. In dit geval is het gewicht neutraal gehouden.
Productie ●	3	Hier gaat het erom dat de productie welbekend is en niet al te ingewikkeld van aard is. Dit kan verschillend uitvallen per productiemethode en daarom het neutrale gewicht.

Tabel J.1: Uitleg van toegepaste aspecten en gewichten voor de keuze van de zonnecellen.

J.2 Selectiematrix accu's

De verklaring van de aspecten en de bijbehorende gewichten voor een keus uit de typen accu's is hieronder weergegeven in de tabel.

Aspecten	Gewicht	Verklaring
Spanning ▲	4	Een hoge waarde is geschikt om meer soorten producten ermee op te kunnen laden, maar een te hoge waarde is niet meer compatibel met de spanning van de zonnecellen. Vandaar het iets hoge belang ervan.
Stroom-capaciteit ▲	4	Een hoge waarde zorgt voor extra opslag van zonne-energie, maar duurt langer om volledig opgeladen te worden. Het gewicht is hieraan aangepast met een belang voor een hoge waarde.
Zelfontlading ▼	3	Een lage waarde is beter voor de accu, maar daarnaast speelt dit aspect een kleine rol in dit ontwerp, aangezien de mogelijkheden voor opladen altijd aanwezig is. Vandaar de neutrale stand.
Geheugen-effect ▼	5	De accu kan in veel gevallen gedeeltelijk gebruikt worden en dit vergroot de kans op een geheugeneffect, indien de accu dit aspect bezit. Helemaal geen geheugeneffect is ideaal en daarom wordt dit aspect zeer belangrijk geacht.
Cyclusduur ▲	3	Een hoge waarde is van belang, zodat de accu tijdens de hele levensduur van de tas gebruikt kan worden. Maar een zeer hoge cyclusduur is niet noodzakelijk, vandaar de neutrale waarde van het bijbehorende gewicht.
Massa ▼	4	Dit aspect dient een zo kleine bijdrage te leveren aan de totale mee te dragen massa en wordt daarom belangrijk geacht.
Giftigheid ▼	5	Vanwege milieu- en gezondheidsredenen dient dit aspect zo klein mogelijk te zijn en dit wordt daarom zeer belangrijk geacht.

Tabel J.2: Uitleg van toegepaste aspecten en gewichten voor de keuze van de accu.

J.3 Selectiematrix bekabeling

Voor een verklaring van de gebruikte aspecten en de bijbehorende gewichten bij het maken van een keus van het type bekabeling, wordt er verwezen naar de onderstaande tabel.

Aspecten	Gewicht	Verklaring
Dikte ▼	3	Deze twee aspecten horen bij elkaar, aangezien een kleinere dikte voor een minder stijve kabel zorgt. De stijfheid heeft een hoger gewicht, aangezien het van belang is dat de kabel stevig dient te zijn.
Stijfheid ▼	4	
Ruimtelijke flexibiliteit ▲	5	Het derde aspect geeft aan hoe de kabel zich in driedimensionale zin kan verplaatsen. Een hogere flexibiliteit kan vaker bekneld worden in geval er diverse ruimtes doorlopen wordt. Ze worden hierbij zeer belangrijk geacht, omdat deze aspecten in een tas sterker voorkomen.
Beknellings-gevoelig ▼	5	
Benodigde ruimte ▼	4	In dit geval wordt er bedoeld dat de kabels weinig ruimte in beslag nemen. De ruimte in een tas is meestal beperkt, maar tussenruimtes zijn vaak toereikend. Daarom is dit niet zeer belangrijk geacht.
Grootte contactpunten ▼	3	Hiermee wordt aangeduid dat de grootte van de aansluitingspunten aan de kabels zo klein mogelijk is. Een groot aansluitingspunt zorgt voor een betere koppeling, terwijl een klein contact minder ruimte inneemt. Vandaar een neutraal gewicht hierbij.

Tabel J.3: Uitleg van toegepaste aspecten en gewichten voor de keuze van de bekabeling.





Bijlage K Ontwerpberekeningen technische onderdelen

K.1 Elektrische eigenschappen van zonnecel

De hieronder uitgevoerde berekening van de elektrische eigenschappen zijn gedaan onder standaard testcondities met een instraling van 1000 W/m^2 bij een AM1,5 spectrum en een temperatuur van 25°C . Deze situatie kan ongeveer vergeleken worden met een heldere zomerdag in Nederland.

Voor de berekening van de elektrische eigenschappen wordt er gebruik gemaakt van een monokristallijn silicium zonnecel die een efficiëntie heeft van 15%. Hieruit volgt dan dat het te gebruiken vermogen per vierkante centimeter bij een instraling van 1000 W/m^2 gelijk is aan:

$$\frac{1000}{100} \cdot 15\% = 150 \text{ W/m}^2 = \frac{150 \text{ W}}{10000 \text{ cm}^2} = 0,015 \text{ W/cm}^2.$$

Voor de spanning bij het maximale vermogenspunt V_{MPP} van een enkele zonnecel wordt er aangenomen dat die een waarde heeft van 0,5 Volt. Deze waarde is afkomstig van een eerder uitgevoerde analyse en die blijkt niet zozeer afhankelijk te zijn van de grootte van de zonnecel. De stroomsterkte bij het maximale vermogenspunt I_{MPP} per vierkante centimeter kan nu berekend worden uit de voorgaande gegevens, waarbij het elektrische vermogen gelijk is aan het product van spanning en stroomsterkte:

$$0,5 \cdot I_{\text{MPP}} = 0,015 \Rightarrow I_{\text{MPP}} = 0,015/0,5 = 0,03 \text{ A/cm}^2.$$

K.2 Elektriciteitsopwekking in de wintermaanden

Bij een stralingswaarde van 100 W/m^2 is het verkregen vermogen per vierkante centimeter als volgt:

$$\frac{100}{100} \cdot 15\% = 15 \text{ W/m}^2 = \frac{15 \text{ W}}{10000 \text{ cm}^2} = 0,0015 \text{ W/cm}^2.$$

Dus per zonnecel (van 9 cm^2) wordt er $0,0135 \text{ W}$ aan elektriciteit geproduceerd.

Bij de behandeling van de technische verantwoording is al naar voren gekomen dat de spanning van een zonnecel nauwelijks verandert bij lagere stralingswaarden. Veronderstel dat de spanning bij een stralingswaarde van 100 W/m^2 een afname vertoont van ongeveer 5% van de oorspronkelijke spanningswaarde van 0,5 Volt, waaruit een spanningswaarde volgt van 0,475 Volt. De verkregen stroomsterkte is dan als volgt berekend:

$$0,475 \cdot I_{\text{MPP}} = 0,0135 \Rightarrow I_{\text{MPP}} = 0,0135/0,475 = 0,0284 \text{ A/cm}^2.$$

K.3 Bepaling afmetingen van zonnecel

Er is aangenomen dat de toegepaste zonnecel een oppervlakte zal bevatten van 9 cm^2 , aangezien hiermee de afmetingen ervan beter bepaald kunnen worden. Hieronder zijn in een tabel verschillende mogelijkheden van afmetingen gepresenteerd, die hierbij mogelijk zijn. Het betreffen vooral afmetingen die hanteerbaar van formaat zijn, aangezien ze op een beperkte ruimte dienen te passen.

Afmetingen (lengte $\times$ breedte)	Ware grootte zonnecel
Configuratie 1: $6 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}$	

Configuratie 2: 4,5 cm × 2,0 cm	
Configuratie 3: 3,6 cm × 2,5 cm	
Configuratie 4: 3 cm × 3 cm	

Tabel K.1: Voorgestelde configuraties van afmetingen van een enkele zonnecel.

Er is uiteindelijk gekozen voor configuratie 2 en deze keuze is gebaseerd op een aantal zelf bedachte indelingen van de oppervlaktevulling van een rechthoekige serieschakeling aan zonnecellen. Dit is gedaan voor de eerste twee configuraties. Hierbij zijn de zonnecellen in een bepaalde indeling gezet in een serieschakeling en gekeken of de lengte en breedte ervan niet al te groot zijn uitgevallen, waarbij getracht is de oppervlaktevulling zo klein mogelijk te houden en dat die rechthoekig van aard is. Rechthoeken zijn namelijk goed in te passen in het te ontwerpen product, waarbij er diverse naast elkaar gezet kunnen worden.

Deze methode is niet uitgevoerd voor de laatste twee configuraties, aangezien er aan hun formaat al te merken is dat ze moeilijk te configureren zijn in een rechthoekige serieschakeling.

K.4 Oppervlaktegebruik van de zonnecellen

De zonnecellen worden in twee verschillende vormen van serieschakelingen geconfigureerd, namelijk een serieschakeling met een afronding en een rechthoekige serieschakeling.

Als er alleen gekeken wordt naar het oppervlaktegebruik van de zonnecellen zelf, dan blijkt er voor beide soorten serieschakelingen een oppervlakte nodig te zijn van:

$$11 \cdot 9 \text{ cm}^2 = 99 \text{ cm}^2.$$

Wanneer de zonnecellen zijn ingebed in glasvezels, blijkt het oppervlaktegebruik van beide soorten serieschakelingen verschillen te vertonen. De benodigde oppervlakte hiervan is in onderstaande tabel weergegeven.

Soort serieschakeling	Berekening van benodigde oppervlakte
Rechthoekig	$20,5 \cdot 8,5 = 174,25 \text{ cm}^2$
Met afronding	$20,5 \cdot 8,75 - \left(6,25^2 - \frac{1}{4} \pi \cdot 6,25^2\right) = 170,99 \text{ cm}^2$

Tabel K.2: Berekening van de oppervlaktes die ingebedde serieschakelingen van zonnecellen innemen op de tas.

De oppervlakte van de rechthoekige serieschakeling is simpelweg de lengte vermenigvuldigen met de breedte ervan. Voor de serieschakeling met de afronding is er eerst de oppervlakte berekend van de hele rechthoek (lengte $\times$ breedte), waarna een hoek is afgehaald. Deze hoek is gelijk aan een vierkant waarvan er een kwart cirkel is afgetrokken. Hierbij heeft de afronding (straal van de kwart cirkel) een straal van 6,25 cm.

Daarnaast is het interessant te weten hoeveel oppervlakte de serieschakelingen innemen als de rubberen randen eromheen geplaatst worden. Deze oppervlakte is namelijk van belang wanneer de serieschakelingen op de tas worden geplaatst. In de volgende tabel zijn de berekeningen weergegeven, waarbij net als hierboven is te werk gegaan. Hierbij is de straal van de afronding van de tweede genoemde serieschakeling uit de tabel gelijk aan 7 cm.

Soort serieschakeling	Berekening van benodigde oppervlakte
Rechthoekig	$22 \cdot 10 = 220 \text{ cm}^2$
Met afronding	$22 \cdot 10,25 - \left(7^2 - \frac{1}{4} \pi \cdot 7^2\right) = 214,98 \text{ cm}^2$

Tabel K.3: Berekening van de oppervlaktes die verstevigde serieschakelingen van zonnecellen innemen op de tas.

K.5 Massa van de zonnecellen

Een silicium wafel met uitgeharde kunststofhars die een oppervlakte heeft van ongeveer 45 cm^2 heeft een massa van circa 10 gram. Deze waarde zal gebruikt worden voor de bepaling van de massa van de zonnecel, aangezien de massa van een monokristallijn silicium zonnecel van een bepaalde grootte vergelijkbaar geacht kan worden met de hierboven genoemde silicium wafel.

De oppervlakte van een zonnecel (namelijk 9 cm^2) is vijf keer kleiner dan de oppervlakte van de gewogen silicium wafel met kunststofhars en hieruit volgt dat de massa van de zonnecel ongeveer 2 gram bedraagt.

Een enkele serieschakeling bevat 11 zonnecellen, dus de massa hiervan is 22 gram.

Verder wordt er aangenomen dat de uitgeharde glasvezels die om de ingebedde zonnecellen zitten een massa heeft van ongeveer 20 gram. Deze schatting is gebaseerd op de meting van de massa van een proefstuk van het experiment. Hieruit volgt dat ingebedde zonnecellen een massa heeft van circa 42 gram. Wanneer er een rubberen rand om de serieschakeling wordt geplaatst, zal deze massa toenemen tot 62 gram, waarbij eveneens een schatting is gemaakt hiervoor.

De hele zonnemodule met rubberen randen eromheen krijgt hierdoor een massa van 186 gram, oftewel drie keer de massa van 62 gram.

K.6 Oplaadduur van Li-ion accu

Bij gemiddelde tot goede weersomstandigheden wordt er geschat dat de zonnemodule tussen 300 en 800 milliampère aan stroom levert. Een accu met een stroomcapaciteit van 1,5 Ampère-uur die wordt opgeladen met een stroomsterkte rond de 700 en 800 milliampère doet er ongeveer 2 uur over. Wanneer de stroomsterkte rond de 300 en 400 milliampère ligt, wordt de accu opgeladen in ongeveer 5 uur. Aangezien de variaties in instraling overdag sterk kan variëren, ligt de oplaadduur hiervan tussen 2 en 5 uur.

Wanneer bij diezelfde weersomstandigheden een accu wordt opgeladen met een stroomcapaciteit van 2,5 Ampère-uur, ligt de oplaadduur tussen de 4 en 8 uur. Circa 4 uur wanneer de geleverde stroomsterkte tussen de 700 en 800 milliampère ligt en circa 8 uur wanneer die tussen de 300 en 400 milliampère ligt.

K.7 Rubber vastgehecht op textiel van tas

Het idee om gebruik te maken van een rubberen rand is afkomstig van een rugzak. Op bepaalde plaatsen werden er hierbij stevige rubberen plaatjes van enkele millimeters dik, gebruikt om iets vast te hechten aan de stof van de rugzak. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer een handvat aan de tas vastgehecht moet worden. Het blijkt dat deze plaatjes met gewoon draad zijn vastgehecht. Hieronder is een foto hiervan weergegeven voor de duidelijkheid.



*Figuur K.1:
Vasthechting van
rubberen plaatje aan
stof van een rugzak.*

K.8 Rubberen ondersteuningspunten onder tas

Rubberen ondersteuningspunten zijn bij grote tassen en rugzakken vaak terug te vinden, waarbij ze ervoor dienen dat slijtage aan de onderkant van de tas wordt voorkomen. Daarnaast worden ze toegepast om als verstevigde ondergrond te dienen voor spullen in de tas, zodat ze beter beschermd worden tegen schokken in geval de tas op de grond wordt gezet. Deze ondersteuningspunten blijken ook van een soort rubberachtige materiaal gemaakt te zijn van enkele millimeters dik en verder zijn ze ook met gewoon draad bevestigd aan de tas. Een voorbeeld hiervan is in de foto hieronder weergegeven.



*Figuur K.2: Rubberen
ondersteuningspunten
onder een rugzak.*

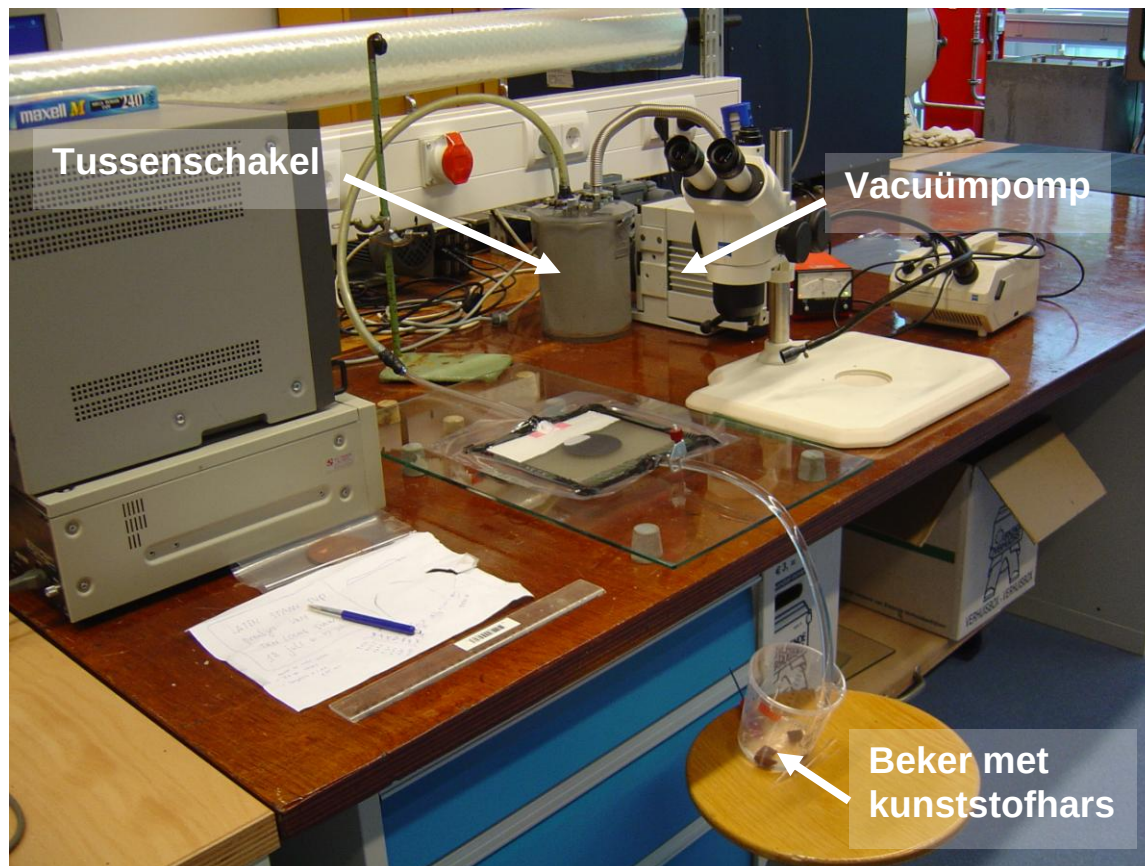




Bijlage L Onderdelen van het practicum

L.1 Foto opstelling lamineerexperiment

In de foto hieronder is de hele opstelling van het lamineerexperiment afgebeeld. In het midden van de foto is de glasplaat te zien, waarop de te lamineren proefstukken erop liggen. De voorste buis staat hierbij in verbinding met een beker gevuld met kunststofhars. De achterste buis loopt met een grote bocht naar de lege pot (de zogenaamde tussenschakel) en die is weer verbonden met de vacuümpomp (die achter een microscoop schuilgaat).



Figuur L.1: Experimenteeropstelling in het lab.

L.2 Silicium wafel

De silicium wafels zijn verkregen van een medewerkster die werkzaam is in de faculteit van Elektrotechniek Wiskunde & Informatica (EWI). Deze wafels worden daar ook gebruikt voor experimenten en zijn hierdoor na afloop niet meer bruikbaar voor de betreffende faculteit. In feite dienen ze afgedankt te worden, maar vele daarvan zijn bewaard gebleven voor belangstellenden en andere doeleinden.



Figuur L.2: Afgedankte silicium wafels.

De verkregen silicium wafels zijn opgebouwd uit één kristalstructuur en zijn erg kwetsbaar. Door kracht uit te oefenen met bijvoorbeeld een pincet loodrecht op het rechte stuk, breekt de wafel door de structuur kaarsrecht. De verkregen scherven zijn hierbij net zo scherp als glas en dienen met voorzichtigheid behandeld te worden.

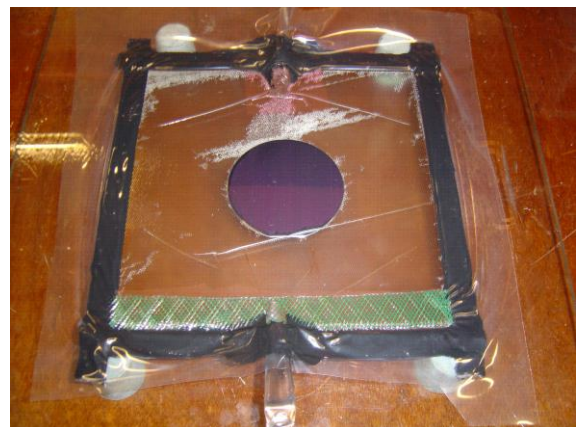
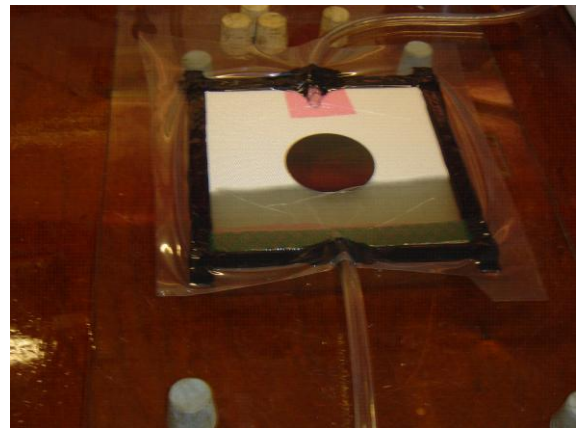
Verder hebben de wafels aan de bovenkant een sterk glanzend oppervlak die goudkleurig of blauwachtig kan zijn en het reflectieniveau is zo hoog dat ze als spiegel kunnen werken. De onderkant heeft een dof oppervlak met een grijze kleur.

L.3 Foto's van lamineerexperimenten

Van de eerste drie experimenten zijn er foto's genomen van het verloop van het lamineerproces en af en toe van het verkregen eindresultaat. Een selectie van de foto's is hieronder weergegeven. Het vierde experiment, waarvan geen foto's zijn genomen, is uitgevoerd op 26 juli 2005.

L.3.1 Foto's lamineerexperiment 1

In de eerste drie foto's is het lamineerproces te zien. De laatste foto geeft het eindresultaat weer nadat het proefstuk is uitgehard (experiment uitgevoerd op 27 juni 2005).



Figuur L.3: Foto's van het proefstuk tijdens en na het eerste lamineerexperiment.

L.3.2 Foto's lamineerexperiment 2

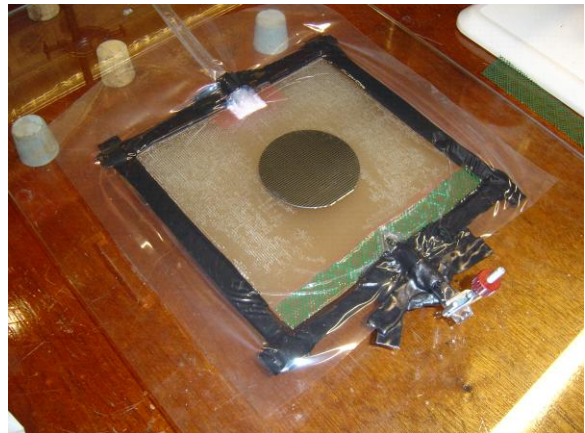
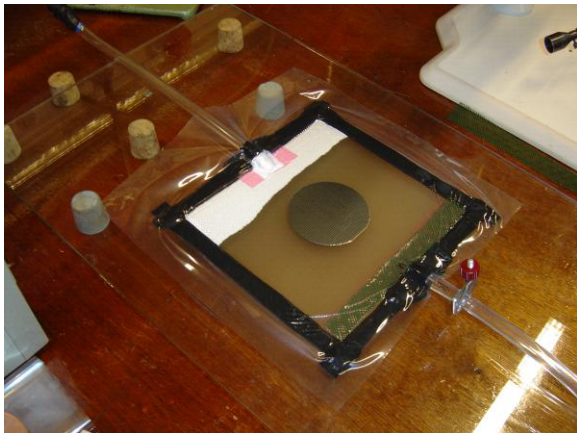
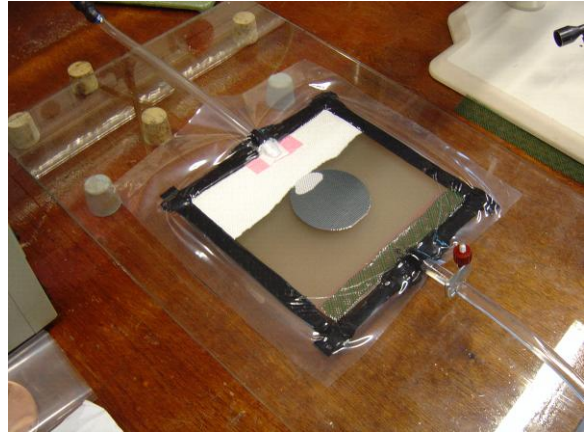
In de eerste drie foto's is het lamineerproces afgebeeld, waarna een foto volgt van een close-up van de silicium wafel (experiment uitgevoerd op 12 juli 2005).



Figuur L.4: Foto's van het proefstuk tijdens het tweede lamineerexperiment.

L.3.3 Foto's lamineerexperiment 3

De eerste drie foto's geven het lamineerproces weer, waarbij de laatste foto het resultaat weergeeft nadat de lekkage zich heeft voorgedaan (experiment uitgevoerd op 20 juli).



Figuur L.5: Foto's van het proefstuk tijdens het derde lamineerexperiment.