

Universiteit Gent
Faculteit Toegepaste Wetenschappen

Vakgroep elektronica en informatiesystemen

Voorzitter: prof. dr. ir. J. Van Campenhout

Onderzoeksgroep TFCG

**Ontwerp en realisatie van een efficiënt
belichtingssysteem voor microdisplays.**

door Wouter Vandavelde

Promotor: prof. dr. ir. Herbert de Smet

Begeleiders: ir. Dieter Cuypers, ir. Hüseyin Murat

Thesis ingediend tot het behalen van de academische graad van burgerlijk
elektrotechnisch ingenieur

Academiejaar 2003-2004

Universiteit Gent
Faculteit Toegepaste Wetenschappen

Vakgroep elektronica en informatiesystemen

Voorzitter: prof. dr. ir. J. Van Campenhout

Onderzoeksgroep TFCG

**Ontwerp en realisatie van een efficiënt
belichtingssysteem voor microdisplays.**

door Wouter Vandavelde

Promotor: prof. dr. ir. Herbert de Smet

Begeleiders: ir. Dieter Cuypers, ir. Hüseyin Murat

Thesis ingediend tot het behalen van de academische graad van burgerlijk
elektrotechnisch ingenieur

Academiejaar 2003-2004

Voorwoord.

Deze thesis is het beknopte resultaat van een leerrijke periode, die enkel mogelijk was dankzij de ondersteuning van vele mensen.

Mijn dank gaat in de eerste plaats uit naar de begeleiders ir. Dieter Cuypers en ir. Hüseyin Murat en mijn promotor prof. Herbert De Smet. Dankzij deze personen kon ik ideeën uitwisselen, kreeg ik feedback en kon ik kennis en ervaring opdoen in verschillende domeinen.

Mijn dank gaat ook uit naar proffen van cursussen die ik de jaren voordien heb gevolgd, en dan specifiek de cursus visualisatietechnologie van prof. P. De Visschere. Deze cursus gaf mij de aanleiding om deze thesis te kiezen en diende dan ook als basis, zoals verder zal blijken.

Verder bedank ik Barco Kuurne voor het verstrekken van literatuur omtrent projectiesystemen en de ondersteunende omgeving van de onderzoeksgroep TFCG onder leiding van prof. A. Van Calster, waarbij ik specifiek denk aan dhr. P. Seebrechts en ing. Wim Stuyck.

De thesis werd ingediend zowel in papieren versie als in elektronische versie. Deze elektronische versie bestaat uit een CD met de thesis op Microsoft Word 2000 formaat en een "pdf" formaat geschikt voor Adobe Acrobat Reader, en bijgevoegde documenten zoals datasheets.

De elektronische versie heeft vele voordelen, oa. de weblinks die direct kunnen worden bezocht en de bijgevoegde datasheets die meteen beschikbaar zijn.

Ik hoop dat de lezer na het doornemen overtuigd is enerzijds van de enorme mogelijkheden van projectiesystemen en LED's en anderzijds van het boeiende en intrigerende aan deze onderwerpen.

Het doet mij dan ook veel plezier te vernemen dat volgend academiejaar 2 nieuwe thesissen zijn uitgeschreven met als doel specifiek, gericht onderzoek van ideeën in deze thesis aangebracht.

"De auteur geeft de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de thesis te kopiëren voor persoonlijk gebruik.

Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie."

Overzicht.

Ontwerp en realisatie van een efficiënt belichtingssysteem voor microdisplays.

door Wouter Vandevelde

promotor: Prof. Dr. Ir. Herbert de Smet

Thesis ingediend tot het behalen van de academische graad van burgerlijk elektrotechnisch ingenieur

Academiejaar 2003-2004

Universiteit Gent

Faculteit Toegepaste Wetenschappen

Vakgroep elektronica en informatiesystemen

voorzitter: prof. dr. ir. J. Van Campenhout

onderzoeksgroep TFCG

olv. prof. dr. ir. A. Van Calster

Samenvatting.

De huidige hoogvermogenLED's halen een steeds hogere lichtopbrengst. We onderzoeken in deze thesis een aantal manieren om LED's als lichtbron toe te passen in projectiesystemen.

De doelstelling kan meer specifiek als volgt worden verwoord: "Opstellingen en aansturingen bestuderen die de algemene LED eigenschappen zoveel mogelijk benutten, en een specifieke opstelling realiseren."

Eerst volgt er een uiteenzetting van de algemene werkwijze, dan worden belangrijke begrippen uiteengezet, om tenslotte een typische projector te bespreken, per onderdeel en daaruit reeds de eerste ideeën te halen.

De daaropvolgende hoofdstukken wordt eerst een algemene structuur voor ideeën voorgesteld om uiteindelijk 2 specifieke ideeën uit te werken.

Trefwoorden: Luxeon, LED, projectiesystemen, etendue

Inhoudstafel.

INHOUDSTAFEL.....	I
GEBRUIKTE AFKORTINGEN EN SYMBOLEN.....	III
I INLEIDING.....	1
I.1 METHODIEK	1
I.2 VERLOOP VAN DE THESIS.	3
II BEGRIPPEN EN FORMULES.	4
II.1 LICHT: GROOTHEDEN EN EENHEDEN	4
II.1.1 Energetische grootheden:	4
II.1.2 Fotometrische grootheden:	4
II.2 LAMBERTSTRALER	6
II.3 VISUELE WAARNEMING.....	6
II.4 KLEUR EN KLEURWAARNEMING.....	8
II.5 BENODIGDE HOEVEELHEID LICHT.....	8
II.6 TELECENRICITEIT	9
II.7 ETENDUE.....	10
II.8 COLLECTIEEFFICIËNTIE.	11
II.9 COHERENTIE EN DIFFRACTIE	12
III BESCHRIJVING VAN EEN OPTISCH SYSTEEM.	14
III.1 BESCHRIJVING VAN EEN STANDAARD PROJECTOR.	14
III.2 BESPREKING VAN DE ONDERDELEN.....	15
III.2.1 Reflector.....	15
III.2.2 Lichtbron.....	16
III.2.2.1 inleiding	16
III.2.2.2 Luxeon: de huidige hoogvermogenLED.....	16
III.2.2.3 UHP en andere booglampen	23
III.2.3 Optische integrator	26
III.2.4 Lichtklep.....	26
III.2.4.1 inleiding	26
III.2.4.2 systeemendue, compactheid en kostprijs	27
III.2.5 Projectielens.....	28
III.2.6 Scherm.....	28
IV BESCHRIJVING VAN DE IDEEËN: TIJD EN RUIMTE.	31
IV.1 IDEE1, LINKERDIAGRAM:	32
IV.2 IDEE2, RECHTERDIAGRAM:	33
IV.3 DOORSNEDE VAN BEIDE DIAGRAMMEN?	34
V SIMULATIES EN VERKLARING VAN HET PATROON (RUIMTE).	35
V.1 TE VERWACHTEN WINST.....	35
V.2 ZEMAX EN WERKWIJZE.....	36
V.3 SC SIMULATIE.....	37
V.4 NSC SIMULATIE.....	40
V.5 VERKLARING VAN HET PATROON.	43

V.5.1	<i>Enerzijds via de geometrische optica;</i>	44
V.5.2	<i>Anderzijds via de diffractie-theorie;</i>	45
V.5.2.1	<i>theorie</i>	45
V.5.2.2	<i>coherentie</i>	45
V.5.2.3	<i>Zemax beperkingen</i>	47
V.5.3	<i>Consistentie?</i>	48
VI	ONTWERP VAN HET LEDWIEL (TIJD)	50
VI.1	<i>TE VERWACHTEN WINST</i>	50
VI.2	<i>ONTWERP EN REALISATIE VAN HET LEDWIEL</i>	54
VI.2.1	<i>Algemene werkwijze</i>	55
VI.2.2	<i>Mechanisch ontwerp en mechanische realisatie</i>	58
VI.2.3	<i>Elektronisch ontwerp</i>	60
VI.2.3.1	<i>Hoogniveau</i>	60
VI.2.3.2	<i>Laagniveau</i>	63
VI.2.4	<i>Opmerkingen over de gebruikte schakelingen</i>	69
VI.3	<i>UITMETING VAN DE LEVENSDUUR VERSUS “OVERSTURING” BIJ LED’S EN LUXEONS.</i>	71
VI.3.1	<i>Doelstelling en verloop</i>	71
VI.3.2	<i>Werkwijze</i>	73
VI.3.3	<i>Uitwerking</i>	77
VI.3.4	<i>Resultaten</i>	80
VI.3.5	<i>Tussenbesluiten</i>	81
VII	BESLUITEN	83
VIII	BRONVERMELDING EN REFERENTIES	84
IX	FIGUREN	86

Gebruikte afkortingen en symbolen.

2D	2 dimensionaal
ESD	Electrostatic Discharge
LCD	Liquid Crystal Display
LCoS	Liquid Crystal on Silicon
LDR	Light Dependent Resistor
LED	Light Emitting Diode
DC, DF	Duty Cycle of Duty Factor
OWL _V	Optisch Weglengteverschil
sr, str	Steradiaal

I Inleiding.

I.1 Methodiek

De titel “Ontwerp en realisatie van een belichtingssysteem voor microdisplays” geeft enkel een algemeen doel aan, dat op veel verschillende manieren kan worden bereikt.

Vermits het om een projectiesysteem gaat – waarvan veel soorten en types bestaan – wordt eerst algemene literatuur doorgenomen, om toch een zeker inzicht te krijgen in de opbouw en samenhang van “zo” een systeem.

Het betreft immers een complex systeem waarin zeer vele componenten en randvoorwaarden bepalend (kunnen) zijn op belangrijke kenmerken van het systeem.

Door die grote samenhang, kan een voorgedefinieerde voorwaarde van de lichtbron implicaties hebben op vele andere componenten in het systeem, zodat eigenlijk een totaal systeemontwerp nodig is. “Ontwerp van het belichtingssysteem” en “ontwerp van het totale projectiesysteem”, liggen daarom niet noodzakelijk ver uit elkaar.

Er moet dus een selectie gemaakt worden van componenten en randvoorwaarden waaraan we willen/kunnen wijzigen, en deze die we als “strikte, vaste” randvoorwaarde opvatten.

Als belangrijke randvoorwaarden worden onder andere beschouwd:

- zoveel mogelijk licht “output”
- zo compact mogelijk systeem
- “eenvoudig en goedkoop” realiseerbaar systeem.
- LED's gebruiken – geen lasers bvb., alhoewel ook deze voordelen hebben.

Deze randvoorwaarden zijn mogelijk strijdig, dit wordt nagegaan bij de verschillende “ideeën”.

Hoe de LED's best worden gebruikt, elektrisch en optisch, is niet aangegeven.

Dit onderzoeken vormt juist een van de belangrijkste doelstellingen van de thesis.

Zo wordt een optimale ruimtelijke schikking gezocht, en een optimale elektrische aansturing. Nochtans treedt hier soms een wisselwerking op; een optimale elektrische aansturing kan immers een bepaalde schikking vereisen.

Er is geen strikte voorwaarde op het type LED dat wordt gebruikt.

Deze thesis heeft immers niet als doel een strikt systeem te realiseren dat direct kan worden uitgevoerd, met een bepaald type LED's. De ontwikkeling van “power” LED's of “straffe” LED's, is bovendien nog volop bezig, en zelfs gedurende het verloop van deze thesis werden nog tal van nieuwe ontwikkelingen opgemerkt.

Wel wordt onderzocht welke mogelijkheden er zijn om LED's te gebruiken, obv de huidige beschikbare LED's en hun kenmerken, en de vereisten voor de LED's – nodige toekomstige ontwikkelingen - om dat systeem beter te maken.

Nochtans wordt er geen theoretische studie van LED's zelf gemaakt. Daarom worden de eigenschappen van de huidige beschikbare LED's op verschillende manieren nagegaan, ook om de consistentie te verzekeren van verschillende bronnen.

Enerzijds is er heel wat onderzoekwerk om verschillende LED's en hun datasheets te vinden – vooral nuttige, volledige datasheets. Anderzijds worden, oa. wegens de onvolledigheid van sommige datasheets, zelf korte metingen opgesteld voor de LED's. Deze metingen zijn kort en geven een eerste schets. Een van de thesissen uitgeschreven voor volgend academiejaar heeft juist als doel deze metingen te verfijnen om alzo de eigenschappen diepgaander te bestuderen.

Naarmate meerdere ideeën bovenkwamen en de samenhang van het systeem duidelijker werd, werd ook een algemene methodiek duidelijk voor het benaderen van ideeën, en deze in algemene strategieën in te delen. (zie verder; ruimte- en tijds multiplexering)

We splitsen het algemene ontwerp op. Er is een deel optisch ontwerp, en daarnaast een elektronisch ontwerp om de lichtbron aan te sturen.

Opmerking:

De methodiek lag niet vanaf het begin vast, oa. omdat er meer onbekenden dan bekenden waren. “Ontwerp” houdt hier dan ook een groot deel “studie en zoeken naar een methodiek” in.

1.2 Verloop van de thesis.

Uit de literatuurstudie, en met tips en voorstellen van ervaren begeleiders, worden concrete ideeën beschouwd, zowel voor het optisch als het elektronisch ontwerp van het belichtingssysteem.

Volgende belangrijke ideeën worden beschouwd en geïmplementeerd in deze thesis, naast het beschouwen van andere:

- Een eerste idee is de ruimtelijke spreiding van de LED's om tot een rechthoek te komen. Dit idee is gebaseerd op een lichtpatroon dat optreedt in bestaande projectoren.
- Een tweede idee is het gepulst aansturen van LED's om meer vermogen eruit te krijgen.

Vermits het eerste idee niet direct lukte na vele simulaties, werd eerst het tweede idee gerealiseerd, om daarna het eerste verder te onderzoeken.

In de laatste dagen van de thesis konden toch nog hoogvermogenLED's worden besteld. Deze werden kort bestudeerd na het afwerken van de thesis.

II Begrippen en formules.

II.1 *Licht: grootheden en eenheden*

Om de optica van een projectiesysteem te beschrijven zal uitvoerig gebruik gemaakt worden van de optische grootheden en eenheden. Hier volgt een overzicht van de belangrijkste en deze gebruikt in de verdere beschrijving, samen met de Engelse term en de notatie.

II.1.1 Energetische grootheden:

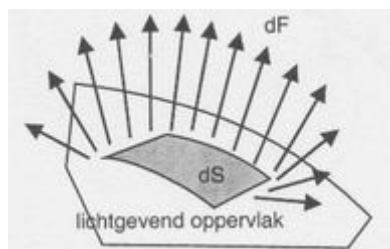
- Stralingsvermogen (radiant flux): F_e (W)

II.1.2 Fotometrische grootheden:

Figuren uit [optica I] p1.7-1.14.

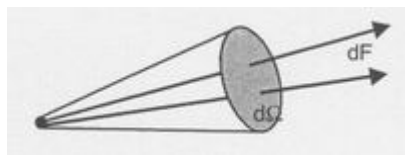
- Lichtvermogen (luminous flux): F_v lumen (lm)

- Lichtexitantie (luminous exitance): $M = \frac{dF}{dS}$ (lm/m²)



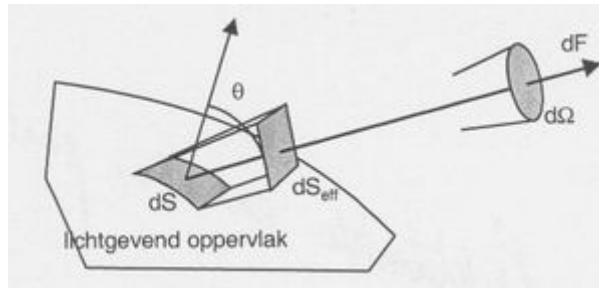
Figuur II-1 lichtexitantie.

- Lichtsterkte (luminous intensity) : $I = \frac{dF}{d\Omega}$ candela (cd)



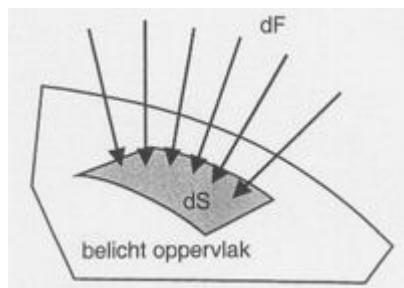
Figuur II-2 lichtsterkte.

- Luminantie (luminance): $L = \frac{dI}{dS \cos(\theta)}$ (cd/m² of nit)



Figuur II-3 luminantie.

- Belichtingssterkte (illuminance): $E = \frac{dF}{dS}$ (lm/m² of lux)



Figuur II-4 belichtingssterkte.

De energetische grootheden en de fotometrische grootheden worden in principe aangeduid met hetzelfde symbool, zoals te zien is bij de definitie van stralingsvermogen en lichtvermogen. Vandaar het subscript “e” voor energetische en “v” voor fotometrische grootheden. Indien echter duidelijk volgt uit de context over welke grootheid het gaat, wordt het subscript soms weggelaten.

In de verdere uiteenzetting zal van de energetische grootheden enkel het begrip stralingssterkte worden gebruikt. Het onderscheid met elektrische Watt kan uit de context gehaald worden.

Zoals de benaming aangeeft, beschrijft de lichtexitantie of emittantie hoeveel lumen een bepaald oppervlak uitstraalt per vierkante meter, wat wordt uitgedrukt in lm/m².

De belichtingssterkte daarentegen beschrijft hoeveel lumen een bepaald oppervlak “ontvangt” per vierkante meter. Hier wordt dan de benaming lux gebruikt.

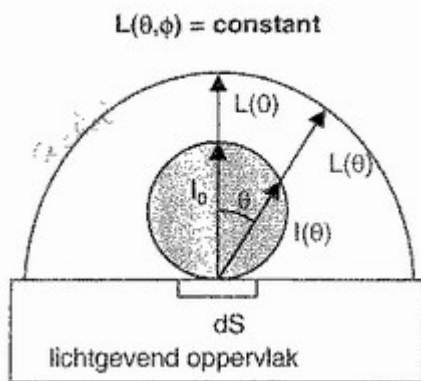
De hoek θ die optreedt in de definitie van luminantie is de hoek tussen de normaal op het stralend oppervlakje dS en de waarnemingsrichting, zie Figuur II-3.

De definitie van luminantie houdt dus rekening met de schijnbare oppervlakte van het stralend oppervlakje, naast de ruimtehoek waarbinnen gestraald wordt.

II.2 Lambertstraler

Dikwijls kan men een lichtbron als een Lambertstraler beschouwen. Een Lambertstraler is een stralend oppervlak waarbij de luminantie van een punt onafhankelijk is van de richting. Zie Figuur II-5 uit [optica I] p1.12.

Vaak worden berekeningen uitgevoerd in deze veronderstelling; nochtans dient nagegaan in hoeverre dit klopt. Zie III.2.2.2 over de Luxeon.



Figuur II-5 Lambertiaanse straler.

II.3 Visuele waarneming.

De fotometrische grootheden worden verkregen uit de energetische via een gewogen integratie van de spectrale dichtheid van een energetische grootheid. Op die manier tracht men rekening te houden met de spectrale gevoeligheid van het menselijk oog bij het meten van lichtgrootheden.

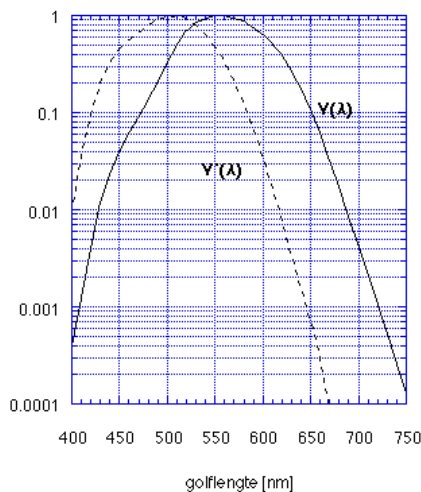
De weegfunctie stelt men voor door $K(\lambda) = K_m * V(\lambda)$ waarbij $V(\lambda)$ de spectrale helderheidsgevoeligheid is van het oog. Deze is vastgelegd als standaard.

De formule om een fotometrische grootte te berekenen luidt dan:

$$F_v = K_m \int F_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

Bij voldoende belichting (ca. 10^{-3} nit) geldt fotopisch zicht (waarbij vooral de 3 soorten kegeltjes in het netvlies gevoelig zijn); bij duisternis geldt skotopisch zicht (waarbij vooral de staafjes in het netvlies gevoelig zijn). Zie cursus [vistech] voor een verdere beschrijving.

De volgende figuur toont $V(\lambda)$ bij fotopisch en $V'(\lambda)$ skotopisch zicht. [vistech]



Figuur II-6 spectrale gevoeligheid van het oog.

In de verdere beschrijving veronderstellen we steeds fotopisch zicht.

Zoals te zien is op de figuur ligt de maximale gevoeligheid dan bij ca. 550nm. Dit is groen licht.

Bijgevolg zal een zelfde uitgestraald vermogen licht, als meest helder worden waargenomen indien de kleur groen is, en minder indien de kleur blauw of rood is.

Indien men een bepaald soort wit wil bekomen – men drukt dit dikwijls uit met de kleurtemperatuur bvb. wit met een kleurtemperatuur van 9000K, zie cursussen fysica, is er een bepaalde fluxbalans van kleuren nodig. Om wit met een kleurtemperatuur van 9000K te bekomen is dit ongeveer 70% groen, 25% rood en 5% blauw, [HighPowerLED_Illuminators]. De juiste balans hangt af van de definities van de kleuren,

cf. het uitgestraald spectrum van de bronnen. Groen (ca. 550 nm) zal dus de de bepalende factor zijn om een bepaalde totale intensiteit te bekomen. Dit zal verder worden gebruikt bij verschillende berekeningen. Zie ook III.2.2.2.

Opdat we de optische vermogens van verschillende bronnen algebraïsch mogen optellen, veronderstellen we geen coherentie tussen de bronnen.

II.4 Kleur en kleurwaarneming

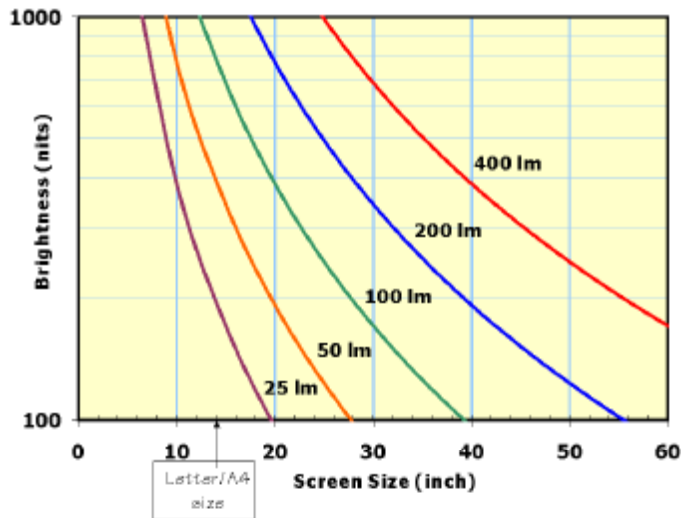
In de verdere beschrijving zal dikwijls het begrip “kleur” worden gebruikt. Dit begrip omvat echter verschillende aspecten van “waarneming”. Er bestaan dan ook verschillende definities en benamingen voor de beschrijving van “kleur”.

Voor een bondige beschrijving van kleur en kleurcoördinaten wordt verwezen naar [vistech] p. 22 en verder.

II.5 Benodigde hoeveelheid licht

Om een idee te krijgen van grootteorden van bovenvermelde grootheden, worden hier richtwaarden gegeven in een aantal omstandigheden.

- Voor comfortabel “kijken” is een scherm luminantie tussen 30 en 300 cd/m² of nit nodig, a.v. de omgevingsfactoren. [MaxBart] p.10.
- Bij retroprojectie met 50% schermtransmissie en een schermwinst van 3x, is 200 lumen emittantie reeds voldoende voor 30 inch (ca. 80 cm diagonaal). Zie III.2.6 voor verklaring van de gebruikte begrippen. Onderstaande figuur geeft een grafische voorstelling bij deze retroprojectie karakteristieken.[HighPowerLED_Illuminators] p.3 en [SID BA PAOLINI] p.15
- De aanbevolen belichtingssterkte voor woonruimte en kantoren is 500-1000 lux; in een woonruimte algemeen eerder 50-100 lux. [optica I] p. 1.15



Figuur II-7 luminantie ifv aantal lumen en schermgrootte.

II.6 Telecentriciteit

Telecentriciteit is een eigenschap van een lensstelsel waarbij alle “hoofdstralen” of “chief rays” evenwijdig zijn. Anders geformuleerd, ingangspupil en/of uitgangspupil liggen op oneindig. Zie Figuur II-8 uit

<http://www.edmundoptics.com/techsupport/DisplayArticle.cfm?articleid=261>. Voor de definitie van ingangspupil of uitgangspupil en “chief rays” wordt verwezen naar de cursussen optica en <http://astron.berkeley.edu/~jrg/Telescopes/node5.html>.

Zoals op <http://www.edmundoptics.com/techsupport/DisplayArticle.cfm?articleid=261> te lezen, bieden telecentrische systemen heel wat voordelen. Een daarvan is de eliminatie van de vervorming van een symmetrisch object tot een asymmetrisch beeld door bvb. cirkel op een ellips af te beelden.

Bovenal echter, kan dit leiden tot een heel uniforme belichting. Bij Lambertiaanse belichting op een vlak scherm – hier het microdisplay -, krijgt men voor de belichtingssterkte een $(\cos\theta)^4$ verloop. Zie [vistech] p.165 formule (8-2) voor het $(\cos\theta)^4$ verloop. Dit niet-uniforme verloop wordt vermeden met telecentrische belichting van het scherm. Men kan dit verklaren door de “chief rays” die allen een gelijke hoek met het scherm maken in het geval

van telecentrische belichting. Het is dan ook meestal gewenst dat de belichting van een microdisplay zoals LCD of LCoS, telecentrisch is.



Figure A
Telecentric lens drawing showing discrete object points being imaged.

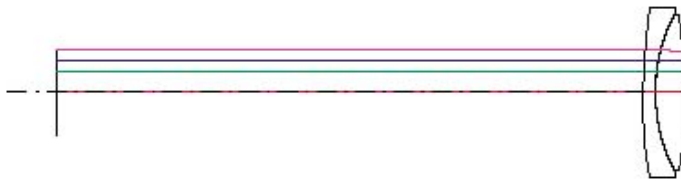


Figure B
Telecentric lens drawing showing chief rays for each object point. Note that the chief rays are parallel to the optical axis.

Figuur II-8 telecentriciteit en “chief rays”.

II.7 Etendue

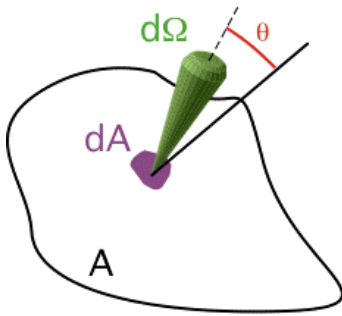
Etendue, ook wel gekend onder de benamingen “optical extent” ,“optical invariant”, “Lagrange invariant”, “geometric extent”, “throughput” etc..., is een begrip uit de geometrische optica. Uit het principe van Fermat kan men nl. afleiden dat de grootheid

$$d^2E = n^2 \cos\theta dA d\Omega$$

constant blijft. Het is een zuiver geometrische grootheid.

Hierin is n de brekingsindex, en de hoek θ is deze die $d\Omega$ maakt met de normaal op dA .

Zie Figuur II-9 uit [vistech].



Figuur II-9 etendue.

De macroscopische etendue kan dan worden gedefinieerd als

$$E_{lamp} = \int n^2 \cos \theta dA d\Omega$$

De etendue zegt dus iets over de ruimtehoek en de oppervlakte waaruit een bron licht straalt. De eenheid is bvb. str.mm². Verder worden enkele etenduewaarden berekend.

De systeem-etendue is de maximale etendue die kan worden gedragen door het systeem. Men kan dus geen bundel licht verliesloos door een systeem sturen, indien de etendue van de bundel groter is dan de systeem-etendue.

Lichtklep en projectielens bepalen de systeem-etendue. Deze zal uiteindelijk de hoeveelheid licht bepalen die door de projectielens kan worden opgevangen. Zie III.2.4.

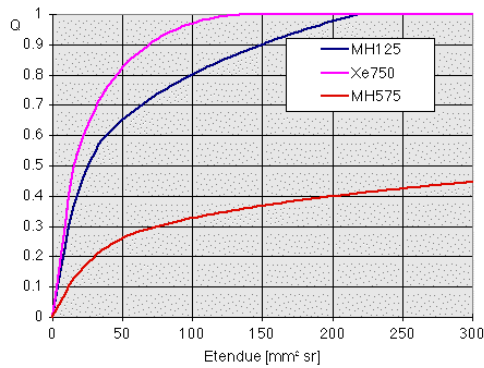
De wet van “behoud van etendue” zegt dat bij doorgang door een optisch systeem, de etendue van een bundel enkel kan toenemen, of gelijk blijven in het ideale geval. Dit geldt indien er geen deel van de bundel verloren gaat, en zekere opstellingen met spiegels buiten beschouwing gelaten. Zie verder [vistech].

Het begrip etendue en het volgende, collectie-efficiëntie, spelen een fundamentele rol bij het bestuderen van de toepasbaarheid van LED's.

II.8 Collectieefficiëntie.

Praktisch gezien is het niet zo nuttig om enkel maar de etendue van de uittredende bundel van bvb. een lichtbron te kennen. Uiteindelijk is het van belang te weten in hoeverre de etendue kan beperkt worden zonder al te veel lichtstroomverlies. Stel dat de etendue van een

bepaalde lichtbron 1 (str.m²) bedraagt, en dat dit overeenkomt met 1W optisch vermogen. Hoeveel vermogen van die bron zit er dan in een etendue van 0.9 (str.m²). Dit wordt aangegeven dmv een collectie-efficiëntie (Q) vs. etendue (E) karakteristiek [vistech] p. 175, hier weergegeven voor verschillende gasontladingslampen.



Figuur II-10 etendue vs. collectieefficiëntie.

II.9 Coherentie en diffractie

Voor de beschrijving van dit begrip en de gebruikte specifieke begrippen daaromtrent zoals coherentielengte, temporele en spatiale coherentie, diffractieverschijnselen en optisch weglengteverschil, wordt verwezen naar de cursus [optica I] en [fysica III]. Een overzicht kan worden gevonden op [optoweb] <http://www.intec.ugent.be/courses/opto/>. Via de keuze “Opto-electronica II”, Fourieroptica krijgt men een mathematische behandeling van diffractieverschijnselen.

Dikwijls kunnen de uitgezonden lichtstralen van een lichtbron als incoherent worden beschouwd, bvb. bij een gloeilamp. Aldus kunnen de vermogens van de verschillende stralen (algebraïsch) worden opgeteld. Bij wit zonlicht of een gloeilamp bekomt men slechts enkele micrometers coherentielengte [fysica III] p.197, en dit kan dus ook vaak als incoherent worden beschouwd.

Bij de veelgebruikte hogedruk-gasontladingslampen in projectoren, zoals bvb. de UHP lampen, zie III.2.2, is er echter een zekere coherentielengte mogelijk (cf. temporele coherentie). Alhoewel geen specifieke data werden gevonden en geen expliciete meting werd verricht op de coherentielengte, kan men benaderend stellen dat een UHP lamp met een

booglengthe (afstand tussen de 2 elektroden waartussen de ontlading plaatsvindt) van 1.3 mm en 150W, een coherentielengte van 100 micrometer of meer kan halen.

Om diffractieverschijnselen benaderd waar te nemen is perfecte coherentie meestal niet nodig; een zekere coherentiegraad volstaat. [fysica III] Aldus kunnen ook met een witte gasontladingslamp, coherentieverschijnselen optreden.

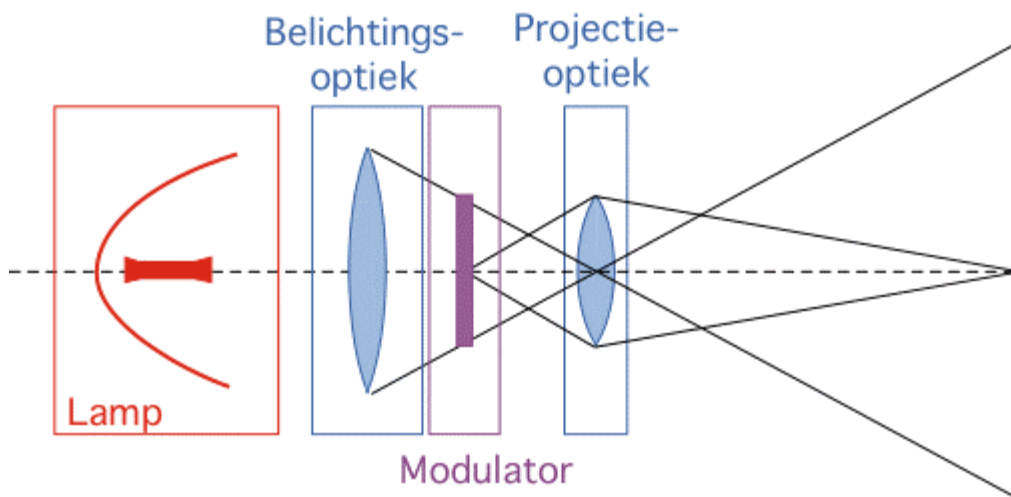
Dit gegeven is van belang in de verdere uiteenzetting, zie V.5.

III Beschrijving van een optisch systeem.

III.1 Beschrijving van een standaard projector.

De optische onderdelen die we tegenkomen bij het doorlopen van een (lichtklep) projectiesysteem vanaf de lichtbron tot aan het projectiescherm, beschrijven we hier. Er zijn nochtans tal van projectiesystemen mogelijk. We trachten dan ook de meest belangrijke componenten te vermelden.

Een figuur van een typisch projectiesysteem verduidelijkt de optische weg doorheen dit systeem. [vistech]



Figuur III-1 projector.

Sommige onderdelen zijn zeer bepalend voor de prestatie van de projector en vergen daarom een diepgaandere bespreking en dito ontwerp. In deze verdere besprekingen komen de eerste ideeën naar voor en worden de fundamenten voor de verdere ideeën gelegd. Er wordt gesteund op de eerder aangehaalde begrippen.

- Reflector

Er bestaan veel verschillende types reflectoren. Deze moeten het omnidirectionele licht in een richting sturen, bundelen. Meestal wordt de reflector samen beschouwd met de optische integrator om de efficiëntie te beschrijven.

- Lichtbron

reflector en lichtbron vormen samen de “lamp” in bovenstaande figuur.

- Optische integrator

Typisch ofwel een lichtpijp ofwel een lenzenmatrix, nodig om de belichting zo uniform mogelijk te maken.

- Collimator
- Polarisator

deze 3 onderdelen vormen samen de “belichtingsoptiek” in bovenstaande figuur.

- Lichtklep

Ook “microdisplay” of “light valve” genoemd. Kan een architectuur met 1 lichtklep zijn, evt. met sequentiële kleurdemodulatie, of een systeem met 3 lichtkleppen, voor elke kleur een.

- Analysator

deze 2 onderdelen vormen samen de “modulator” in bovenstaande figuur.

- Projectielens
- Scherm

III.2 Bespreking van de onderdelen.

III.2.1 Reflector.

Huidige veelgebruikte types zijn parabolöide en ellipsoïde reflectoren.

Bij de “nieuwe bronnen”, nl. LED’s, die over een 180 graden 2D hoek stralen tzt. vanuit een vlak oppervlak stralen, heeft men geen reflector nodig, maar wel collimatie optica. Men tracht dit zo efficiënt mogelijk te doen, bvb. op basis van totale interne reflectie, en met (quasi) behoud van etendue. Aldus zit hier een mogelijke winstfactor in van LED’s tov booglampen.

Voor een grafiek met de collimatie efficiëntie zie [HighPowerLED_Illuminators] p.2.

III.2.2 Lichtbron.

III.2.2.1 inleiding

Het uiteindelijke doel van deze thesis is het gebruik van LED's ipv de conventionele booglampen (gasontladingslampen) als lichtbron. Als booglamp denken we aan de wijdverspreide UHP lampen.

LED's hebben talrijke voordelen doch ook nadelen. We denken in eerste instantie aan Lumiled's Luxeon. [Lumiled]. Verder bekijken we deze recente LED's iets dieper.

Een (onvolledige) opsomming van voordelen en nadelen van LED's tegenover booglampen:

Voordelen:

- niet explosief, lage (normale) werkingsdruk
- lange levensduur (>10.000 uur) bij normaal gebruik
- lage voedingsspanning
- beschikbaar in de drie primaire kleuren, dus geen kleurenfilters nodig
- snel te schakelen, geen kleurenwiel nodig
- er wordt geen infraroodspectrum uitgezonden, dus geen IR filters nodig om de lichtklep te beschermen.
- geen UV
- milieuvriendelijker wegens minder schadelijke stoffen?

Nadelen:

- lichtopbrengst per LED op het ogenblik van deze thesis relatief laag; max. 5W LED en 130 lumen.
- grote temperatuursafhankelijkheid van lichtoutput en levensduur
- etendueproblemen, zie verder

III.2.2.2 Luxeon: de huidige hoogvermogenLED

a) *Rendement*

Ondanks wat dikwijls wordt beweerd, is het rendement van LED's niet zo hoog.

Voor de welbekende kleine laagvermogen LED's van enkele mWatt geldt wel dat ze efficiënter zijn dan de kleine gloeilampjes. Bovendien wordt er meestal een lens geplaatst die de uitgezonden bundel directief maakt, waardoor men een relatief hoog aantal candela kan halen, bvb. 10 candela bij 50 mA. (zie datasheets van de verschillende producenten van standaard 5mm LED's zoals [Liteon])

Voor de hogere vermogens (vanaf enkele Watts) haalt men nog lang niet de lichtopbrengst van de gebruikelijke booglampen in projectoren.

Zo haalt men momenteel (april 2003) 130 lumen voor 5W witte LED's [Lumiled] Luxeon V datasheet.

Dit is minder dan 30 lumen per Watt elektrisch toegevoerd vermogen.

b) Levensduur

Nochtans haalt men met dit verbruik een hoge levensduur ("operating life"): 50.000 uren en meer, onder randvoorwaarden als temperatuur, zie verder.

In verband hiermee moet worden opgemerkt dat blauwe LED's blijkbaar geen probleem meer hebben qua rendement en levensduur, toch indien men de datasheet van Lumiled bekijkt.

Om de levensduur van LED's uit te drukken definieert men een soort "behoudtijd".

Men gebruikt de Engelse term "lumen maintenance" om aan te geven welk percentage van de initiële hoeveelheid licht, na een bepaalde periode nog wordt uitgezonden. Men zou deze term in het Nederlands kunnen vertalen als "lichtbehoud".

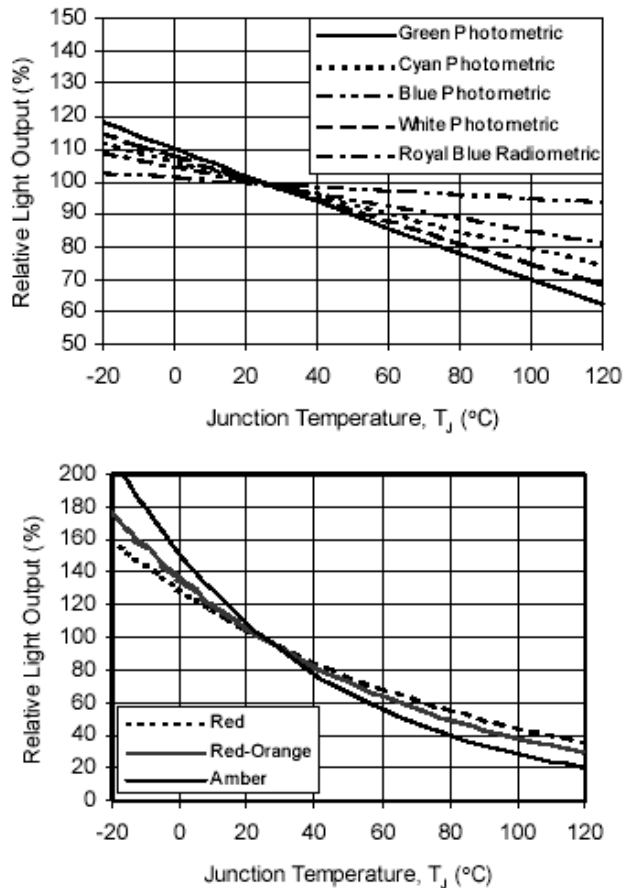
Zo staat in de datasheets van Lumileds:

"Lumileds projects that Luxeon products will deliver on average 70% lumen maintenance at 50,000 hours of operation. This performance is based on independent test data, Lumileds historical data from tests run on similar material systems, and internal Luxeon reliability testing. This projection is based on constant current 350 mA operation with junction temperature maintained at or below 90°C." [Lumiled] DS25.pdf p.10.

In VI.3 wordt verder ingegaan op de problematiek van levensduur.

c) Koeling

Zoals eveneens vermeld in diezelfde datasheet, dienen enkele randvoorwaarden steeds voldaan om deze levensduur, rendement etc... te halen. Een van de belangrijkste voorwaarden is de junctietemperatuur: deze mag niet hoger komen dan 90°C. Levensduur en rendement blijken zeer sterk afhankelijk van de temperatuur, zie onderstaande figuren uit [Lumiled] DS25.pdf p.6:



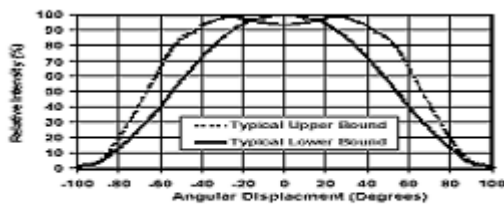
Figuur III-2 relatieve lichtoutput vs. junctie temperatuur.

Bijgevolg zal voldoende warmteafvoer een belangrijke eis van het ontwerp worden.

d) *Stralingspatroon en uniformiteit*

Zoals de datasheet van [Lumiled] DS25.pdf aangeeft en waaruit onderstaande Figuur III-3, zijn er met behulp van verschillende lenzen verschillende stralingspatronen mogelijk nl. een

zgn. vleermuispatroon (“batwing”), een zijstraler (“side emitting”) en een Lambertiaans patroon.



Typical Representative Spatial Radiation Pattern for Luxeon Emitter White, Green, Cyan, Blue

Figuur III-3 Lambertiaans stralingspatroon met lens.

Bekijken we nu de naakte chip, zonder lens.

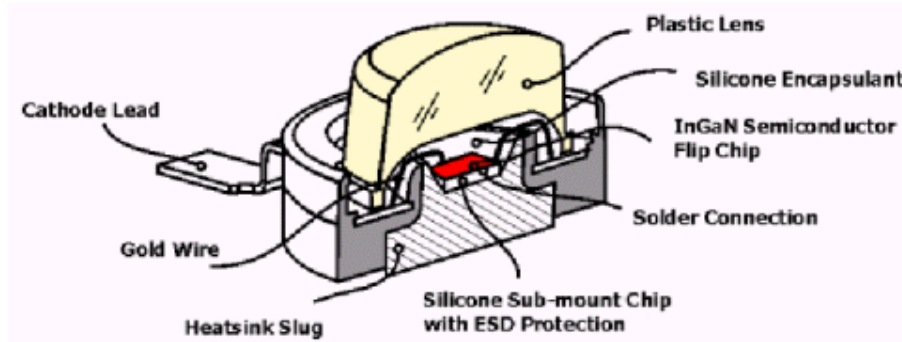
Voor de hoogvermogenLED wordt dikwijls benaderend een Lambertiaans patroon ondersteld. Als men echter de microscoopfoto bekijkt van een Luxeon III, waarvan het stralend oppervlak ongeveer 1.5 bij 1.5 mm meet, ziet men dode tzt. niet-stralende zones.

Deze kunnen de uniformiteit van de straling beïnvloeden. Bij de etendueberekeningen hierna zal het oppervlak als homogeen worden benaderd.

Bovendien is de vraag of bij sterk gepulste sturing, zoals 10x oversturing bij het wiel zie VI.3, de stroombanen tussen de 2 “bond wires” of verbindingsdraden van de chip met de buitenwereld, niet zullen wijzigen. Vanuit deze smalle “bond wires” wordt immers het hele chip oppervlak gevoed. Indien deze stroombanen zouden wijzigen, zou ook het stralingspatroon wijzigen.

Zoals vermeld, specifieke metingen en onderzoek op deze LED's zijn noodzakelijk maar vielen grotendeels buiten het bereik van de thesis. De nieuw uitgeschreven thesis voor volgend academiejaar heeft als doel verdere metingen te verrichten op zulke LED's. In VI.3 worden enkele korte metingen uitgevoerd.

Hieronder, Figuur III-4, een doorsnede van een Luxeon [Lumiled] DS25.pdf en microscoopfoto's van een Luxeon III, ingezoomd op het oppervlak in uit- en ontoestand. De “Luxeon III” is een 3 Watt Luxeons zonder extern koellichaam, een lens die een Lambertiaans stralingspatroon levert, zie Figuur III-3, en het stralend oppervlak is ca. 1.5 mm bij 1.5 mm.



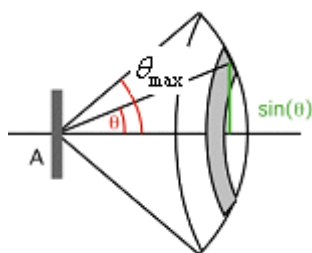
Figuur III-4 doorsnede en microscoopfoto van een Luxeon.

e) *Etendueberekening*

Een van de belangrijkste parameters van een lichtbron is de etendue, zie II Begrippen en formules.

Beschouwen we een Luxeon emitter zonder lens. Men kan immers aantonen dat de etendue na doorgang door een optisch systeem – in casu een lens - enkel kan stijgen. Zie [vistech] p.166 en verder.

De rechthoekige stralende chip zelf kunnen we onder bepaalde voorwaarden beschouwen als een Lambertiaanse straler, zie d) Stralingspatroon en uniformiteit. De etendue is volgens [HighPowerLED_Illuminators] p.2, zie ook onderstaande figuur uit [vistech] p. 173:



Figuur III-5 rechthoekig stralend 2D oppervlak.

$$E_{led} = n^2 \pi A_s \sin^2 \theta_{max}$$

waarbij

- n de brekingsindex van het medium waarin de stralen zich voortplanten, dit is ongeveer 1.5 voor de siliconegel bovenop het chipoppervlak.
- A_s de oppervlakte van de chip, bvb. $2 \times 2 \text{ mm}^2$ voor een 5W Luxeon emitter.
- θ_{max} de maximale hoek waarbinnen gestraald wordt zie Figuur III-5. Vermits we een Lambertiaans stralingspatroon hebben, zie Figuur III-3, is deze hoek 90° .

Aldus is dan $E_{led,5W} = 28 \text{ mm}^2\text{sr}$. In de verdere uiteenzetting zal de systeemetendue worden berekend, en deze zal blijken tussen 10 en $30 \text{ mm}^2\text{sr}$ te liggen bij huidige microdisplays, zie deel “lichtklep”.

Dit belangrijk resultaat leert ons oa. hetvolgende: strikt genomen kan slechts het licht van 1 5W LED worden ingekoppeld. Met de vernoemde typische lichtoutput van Luxeons, is duidelijk dat dit veel te weinig licht zal genereren voor een projectiesysteem. Hier komt het doel van deze thesis weer naar boven: trachten een schikking of aansturing te vinden die toch meer licht kan genereren met LED's.

Bovendien, als men de verschillende Luxeons bekijkt, ziet men dat bij stijgend vermogen de oppervlakte in ongeveer gelijke mate toeneemt. Een 3 Watt Luxeon heeft een afmeting van ca. $1.5 \times 1.5 \text{ mm}^2$; een 5 W meet $2 \times 2 \text{ mm}^2$. De verhouding van de oppervlaktes is als de verhouding van de vermogens. Als dit verband behouden blijft bij nog hogere vermogens, neemt de etendue toch toe en kan het extra licht van die hogere vermogens dus niet worden ingekoppeld zolang de systeemetendue gelijk blijft.

f) Verdere opvallende kenmerken van Luxeons

Reeds enkele kenmerken van Luxeons zijn beschreven, nochtans zijn er nog een aantal die verder onderzocht moeten worden. Specifieke metingen en onderzoek op deze LED's zijn dus noodzakelijk maar vielen meestal buiten het bereik van de thesis – zie VI.3, de beschrijving van testen op oversturing.

Bij de hiernavolgende opsomming staat het document vermeld van [Lumiled]; hieronder 2 tabellen uit DS25.pdf resp. DS45.pdf:

Parameter	Maximum		Units
	Red/Red-Orange/Amber	Green/Cyan/Blue/Royal Blue/White	
DC Forward Current	385	350	mA
Peak Pulsed Forward Current	550 (DF≤65%)	500 (DF≤70%)	mA
Average Forward Current	350	350	mA
Reverse Voltage ($I_r=100\mu A$)	> 5		V

Figure 32

Electrical Maximum Ratings (per LED).

Figuur III-6 Luxeon elektrische maximumwaarden.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	White/Green/Cyan/Blue/Royal Blue
DC Forward Current (mA) ^[1]	1000
Peak Pulsed Forward Current (mA)	1000
Average Forward Current (mA)	1000
LED Junction Temperature (°C)	135
Storage Temperature (°C)	-40 to +120
Soldering Temperature (°C) ^[2]	260 for 5 seconds max
ESD Sensitivity ^[3]	±16,000V HBM

Figuur III-7 Luxeon III maximumwaarden.

- AB12.pdf: p9 fig14: de grafiek “operation hours vs. light output” staat daar onder bepaalde omstandigheden, zoals drive current (stuurstroom) en temperatuur. In hoeverre zit daar statistische spreiding op en hoe verandert dat met andere voorwaarden?
- DS40.pdf: p8 onderaan: opvallend is de lage levensduur van de Luxeon Portable en de onzekerheid daaromtrent, vanwege het recent karakter van dit product.
- DS34.pdf en gelijkaardige datasheets: de elektrische “maximum ratings” zoals de gepulste maximum toegestane stroom, worden vermeld zonder DutyFactor DF (of Duty Cycle DC; de verhouding van de aan-tijd tot de aan- en uittijd samen);

wellicht veronderstelt men zoals de Luxeon een DF van 70 %. Bovendien wordt niet altijd een duidelijke aan-tijd gespecificeerd, alhoewel een DF niet voldoende is op zich. Zie ook VI.3.

- DS45.pdf: de Luxeon III (3 Watt dus), was eerst vermeld als een 2 Watt Luxeon op de website van [Lumiled]. Nu staan er in deze datasheet 2 aanstuurspecificaties: één die aanstuurt met ca. 2.5W en een andere met ca. 3.8W. De vooropgestelde levensduur varieert voor deze 2 aansturingen zeer drastisch: deze bij 3.8W is minder dan de helft dan bij 2.5W.
- DS25.pdf: Luxeon versus Luxeon III: om van 1 naar 3 Watt te gaan, neemt de stroom toe, van 350mA naar 1000mA.
- DS34.pdf: Luxeon V versus Luxeon III: om van 3 naar 5 Watt te gaan, neemt enkel de drempelspanning (fors) toe nl. een verdubbeling; de stroom blijft gelijk of daalt zelfs. We vermoeden dat de Luxeon V als een serieschakeling van 2 Luxeon III's wordt geïmplementeerd.
- Zoals op Figuur V-1 te zien, zijn de hoogvermogenLED's in verschillende kleuren verkrijgbaar. De levensduur vs. rendement en koeling, werden reeds vermeld, maar er zijn nog problemen met deze LED's. Zo zou de "kleurstabieleit" problemen geven. Het gaat om de absolute kleurcoördinaten waarop een vrij grote statistische spreiding zit enerzijds, en anderzijds om het verloop van het spectrum met de levensduur.

III.2.2.3 UHP en andere booglampen

a) Rendement en levensduur

Ter vergelijking staat hieronder een tabel met rendement en levensduur voor verschillende soorten booglampen. [vistech] p.174

type	MH	MH	Xe	UHP ^a	
Vermogen	125	575	750	100	Watt
Lichtstroom	7750	49000	23500	6000	lumen
Efficientie	62	85	31	60	lm/W
Levensduur	3000	3000	1000	>4000	uren
Electrodenafstand	2.4	7.0	1.65	1.4	mm
Z	2.79	7.0	1.02		mm
D	1.7	2.0	2.03		mm
Ω_0	5.75	5.75	8.08		sr
E_0	27.3	80.5	16.7		mm ² sr
D_r	1.42	1.5	1.1		mm

a. E. Schnedler, SID symp 1995, p.131.

Tabel 1 overzicht lampen.

Qua rendement kunnen we besluiten gemiddeld een factor 2 beter dan LED's; voor de populaire UHP lamp nl. 60 lm/W. Het aantal lumen/mm²sr, is grootteorden hoger dan bij LED's, voor UHP lampen een factor 50 en meer tov LED's. Dit maakt deze lampen zo geschikt voor projectiesystemen. Qua levensduur scoren deze lampen een grootteorde minder dan LED's, globaal gesproken, nl. een paar duizend uur.

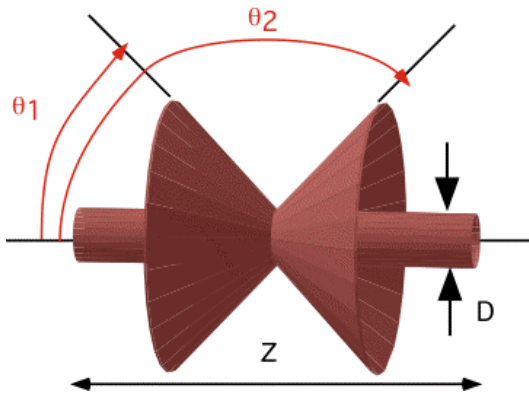
b) *Etendueberekening*

Beschouwen we hogedruk-ontladingslampen zoals deze vermeld in bovenstaande tabel en modelleren we het stralend oppervlak als een cilinderoppervlak, zie Figuur III-8 voorstelling gasontladingslamp uit [vistech].

Veronderstellen we bovendien dat de reflectorafmetingen veel groter zijn dan de lamp afmeting, dan kunnen de hoeken θ_1 en θ_2 uit de figuur als constant worden beschouwd, onafhankelijk van de plaats op het stralend cilinderoppervlak.

We kiezen de z-as van het assenstelsel volgens de lengte-as zoals aangeduid op de figuur; daaruit volgen de x en de y-as, nl. in het vlak loodrecht op de z-as. Aldus kunnen we nu verder bolcoördinaten gebruiken.

De factor $\cos \theta$ optredend in de basisformule voor etendue moet hier vervangen worden door $\cos(90 - \theta)$ of $\sin \theta$, vermits de hoek θ in die formule, volgens het hier gekozen assenstelsel overeenkomt met $90 - \theta$.



Figuur III-8 voorstelling gasontladingslamp.

Aldus:

$$E_{lamp} = \int_{(A, \Omega)} n^2 \sin \theta dA d\Omega$$

Hier geldt dat $n = 1$, bij benadering. De eenvoudigste integratie wordt bekomen door een elementaire ruimtehoek te beschouwen en de integraal over de stralende oppervlakte te berekenen. Deze is nl. steeds de schijnbare oppervlakte $ZD \sin \theta$ van de cilinder. De correctiefactor $\sin \theta$ om rekening te houden met de positie van de ruimtehoek is dus reeds aanwezig in de basisformule voor etendue. Er komt:

$$dE_{lamp} = d\Omega \int_{(A)} \sin \theta dA$$

$$\text{dus dit wordt } dE_{lamp} = d\Omega \sin \theta ZD$$

De integratie over A, de oppervlakte, gebeurt immers onafhankelijk van de hoek theta.

Integreren we nu over de ruimtehoek:

$$E_{lamp} = \int_{(\Omega)} ZD \sin \theta d\Omega = ZD \int_{(\Omega)} \sin \theta d\Omega$$

met in bolcoördinaten $d\Omega = 2\pi \sin \theta d\theta$ wegens symmetrie

volgens de ϕ as, indien de z-as volgens de lengteas van het stralend oppervlak wordt gekozen

$$\text{Aldus } E_{lamp} = ZD \int_{\theta_1}^{\theta_2} 2\pi \sin^2 \theta d\theta$$

$$\text{Dit geeft na integratie: } E_{lamp} = ZD\pi \left(\theta - \frac{\sin 2\theta}{2} \right) \Big|_{\theta_1}^{\theta_2}$$

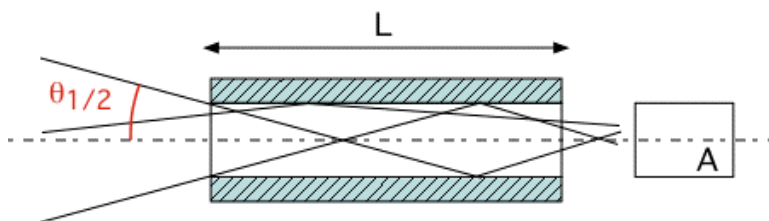
Typische waarden die met deze formule worden bekomen staan in bovenstaande tabel onder “E0”.

Bij gasontladingslampen slaagt men erin om binnen een beperkte etendue zeer veel licht te stralen. Bij LED's is dit (nog) niet het geval.

Anderzijds straalt de LED uniformer dan een booglamp, zie microscopiefotos van de Luxeon.

III.2.3 Optische integrator

Hier, Figuur III-9 uit [vistech], wordt het voorbeeld van een buisintegrator getoond. Typisch is deze een 15 cm lang en bestaat uit spiegels. Daar een gasontladingslamp als cilindervormig kan worden voorgesteld, en de courante schermratio 16:9 is, zal de integrator vaak vertrekken van vierkante vorm om rechthoekig te eindigen volgens de gewenste verhouding. Bij deze transformatie treedt echter energieverlies op, en etenduetoename. Dit geeft aanleiding tot het eerste ontwerpidee van deze thesis: kan men door LED's op bepaalde posities te plaatsen en een bepaalde intensiteitsverdeling te geven, een rechthoek bekomen met de gewenste vorm. Zie IV.2.



Figuur III-9 integrator.

III.2.4 Lichtklep

III.2.4.1 inleiding

Om de gedachten te vestigen beschouwen we een LCD (Liquid Crystal) of LCoS (Liquid Crystal on Silicon) display. Er zijn echter ook andere types mogelijk, zie [vistech] p. 177 voor een beschrijving.

Over het algemeen werkt een LCD in transmissie en een LCoS in reflectie. Dit verschil heeft zijn weerslag op de architectuur en het rendement van het systeem. Zo kan de lage

lichtoutput van een “hedendaagse” LED projector zoals een prototype op <http://optics.org/articles/ole/8/7/3/1> en [HighPowerLED_Illuminators] p.3 toch over meer dan een factor 2 variëren door een ander lichtkleptype met hoger rendement. Aldus kan dit de drempel van bruikbaarheid van LED projectoren bepalen.

III.2.4.2 systeemetendue, compactheid en kostprijs

De afmeting van de diagonaal is een belangrijke kenparameter. Een kleine lichtklep leidt tot compacte projectoren en lagere kostprijs. Vandaar dat de laatste jaren de typische grootte van een (LCD of LCoS) lichtklep geëvolueerd is van 2.5 inch (*1 inch = ca. 2.5 cm*) naar 0.7 inch vandaag.

Nochtans vermindert een kleinere lichtklep ook sterk de systeemetendue. Aldus moeten alle optische componenten in het projectiesysteem mee verkleinen indien de lichtklep dit doet. Dit stelt zware eisen aan de lichtbron. Dit is een cruciaal gegeven voor de toepasbaarheid van LED's, zie het onderdeel “lichtbron”.

Er is echter meer dan enkel de afmeting van de lichtklep. Ook de maximale hoek θ_{\max} waaronder men kan stralen doorheen de lichtklep, zonder dat er te veel artefacten optreden, bepaalt de systeemetendue (de “kleine” projectielens kan deze hoek ook mee bepalen). Immers geldt benaderd voor de etendue van een lichtklep [vistech] – cf. onderdeel “lichtbron” alwaar een figuur:

$$E_{\text{sys}} = n^2 \pi A_{LV} \sin^2 \theta_{\max}$$

De hoek θ_{\max} zal uiteindelijk de projectielens mee bepalen. Aldus kan men stellen dat de projectielens en de afmeting van de lichtklep de systeemetendue bepalen. Zie ook deel “projectielens”.

Met de veel voorkomende afmeting van 0.7” voor het microdisplay en een F-getal tussen 1.8 en 3,

kan men eenvoudig berekenen dat de systeemetendue ligt tussen 10 en 30 mm²sr [HighPowerLED_Illuminators] en [vistech] p.173. Cf. onderdeel “lichtbron” voor besluiten en cf. “projectielens” voor het “F-getal”.

Opmerking betreffende systeemétendue: Zoals uit de definitie volgt, kan deze beperkt worden door een bepaald onderdeel in het optisch pad. In het kader van deze thesis beschouwen we enkel de lichtklep als étendue-beperkend en -bepalend element.

III.2.5 Projectielens

Zoals vermeld in het onderdeel “lichtklep” bepaalt de lichtklep-oppervlakte samen met de projectielens de zgn. systeem-étendue.

Het F getal (F/#) van de projectielens drukt de sterkte van de lens uit.

Veel voorkomend is een F getal van 3 – verdere beschrijving in [vistech] p.169 en verder.

De voorgaande formule voor de systeemétendue kan worden omgevormd tot

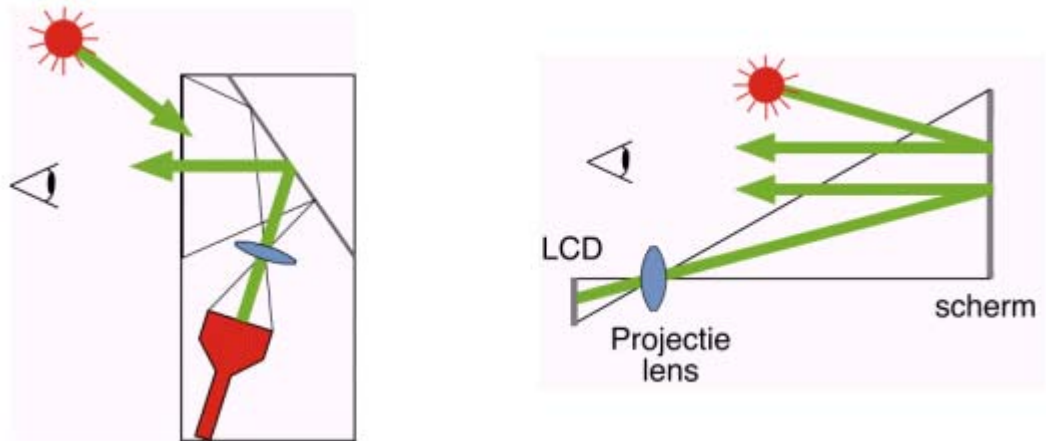
$$E_{sys} = \frac{\pi A_{LV}}{4F^2}$$

Besluiten met deze formule: zie “lichtklep”.

III.2.6 Scherm

Hier zijn ook tal van configuraties mogelijk, naargelang de toepassing. Belangrijke begrippen zijn kijkhoekafhankelijkheid, gain, oppervlakte en vlakheid van het scherm, zie [vistech] “projectieschermen”.

Dikwijls kan men kiezen tussen een retro- of een frontprojectie, cf. onderstaande figuren van [vistech].



Figuur III-10 retroprojectie en frontprojectie.

Een retroprojectie heeft als voornaamste voordeel dat de invloed van het omgevingslicht dat op het scherm valt, via een antireflectielaag sterk kan worden beperkt.

Nochtans nemen we ook het idee in beschouwing om bij frontprojectie een sterk golflengte afhankelijke reflectie te gebruiken: de (ongewenste) frequenties van het omgevingslicht worden dan doorgelaten en beïnvloeden minder de beeldvorming op het scherm. Dit idee lijkt nuttig bij toepassingen zoals frontprojectie op de voorruit in een auto.

De “gain” of winst van een scherm is een dimensieloos getal dat de eigenschap tot directionele (t.t.z. richtingsafhankelijke) verspreiding van het licht invallend op een scherm aangeeft, vergeleken met een perfecte “diffusor”. Perfect dwz. Lambertiaans.

(Een Lambertiaanse straler werd beschreven in het gedeelte “begrippen”).

Een hoge gain impliceert noodgedwongen een minder goede kijkhoekafhankelijkheid: het grootste deel van de optische energie zit dan immers geconcentreerd in een smalle bundel (kleine ruimtehoek). Dit is niet altijd toelaatbaar.

Indien wel kan er met weinig lumens toch een helder beeld worden bekomen.

Vandaar dat in de beschrijving van de “benodigde hoeveelheid licht” II.5, bij retroprojectie kan worden volstaan met relatief weinig licht (lumens). We denken dan aan 200 lumen voor 30 inch retroprojectie met de aldaarvermelde karakteristieken.

Op deze manier kan men zelfs met de LED's (Luxeons) van vandaag een projector bouwen voor een oppervlakte van ca 10 inch of meer. In dat verband wordt ook verwezen naar het

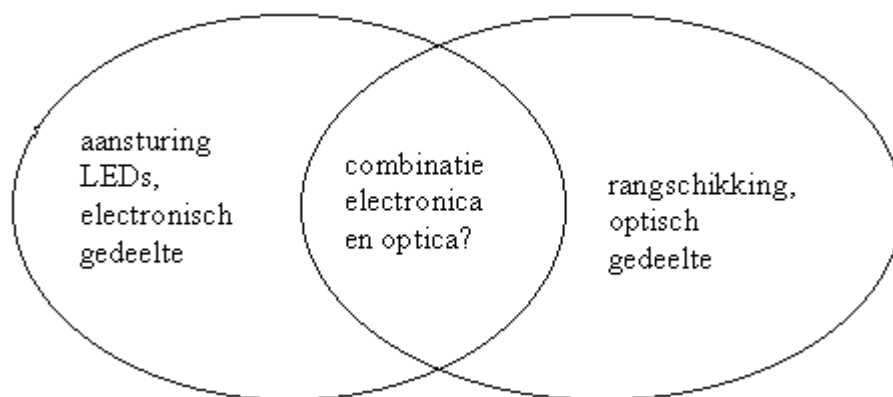
artikel van [H. Kaneko], waar een speciaal type scherm wordt gebruikt om een hoog aantal nits te halen.

Men moet dus in het oog houden dat de toepassing van LED's owv een compacte projector, niet leidt tot een “onhandelbaar” scherm, wat het probleem van compactheid (en kostprijs,...) zou verschuiven.

IV Beschrijving van de ideeën: tijd en ruimte.

Totnogtoe werden verschillende aspecten van projectiesystemen toegelicht. Tijdens de diepere uitwerking van sommige onderdelen, zoals het scherm en de lichtbron, vloeiden uit de uiteenzetting onmiddellijk enkele ideeën of aanpassingen voort om LED's “beter” te kunnen benutten, cf. de betreffende hoofdstukken.

In de volgende 2 hoofdstukken worden 2 ideeën verder uitgewerkt door bestuderen, simuleren en zelfs realiseren met een tastbaar model. Naarmate de thesis vorderde werd duidelijk dat de reeds voorgestelde methoden in een algemene structuur konden worden onderverdeeld. Dit was handig om ook nieuwe opduikende ideeën te kunnen beoordelen.



Figuur IV-1 idee diagram.

- Het linkerdiagram bevat alle methoden om de LED(s) in de tijd niet continu in DC mode aan te sturen, maar op een andere manier.
- Het rechterdiagram bevat alle methoden om de LED(s) zodanig te schikken in de ruimte met behulp van optische onderdelen, dat er meerdere LED's op een efficiënte manier kunnen worden benut.

(Een andere, triviale mogelijkheid om LED's “beter” te kunnen benutten, kan het verbeteren zijn van inefficiëntie onderdelen (bvb. cf. “Lichtklep” en “Scherm”), maar dit wordt hier niet beschouwd)

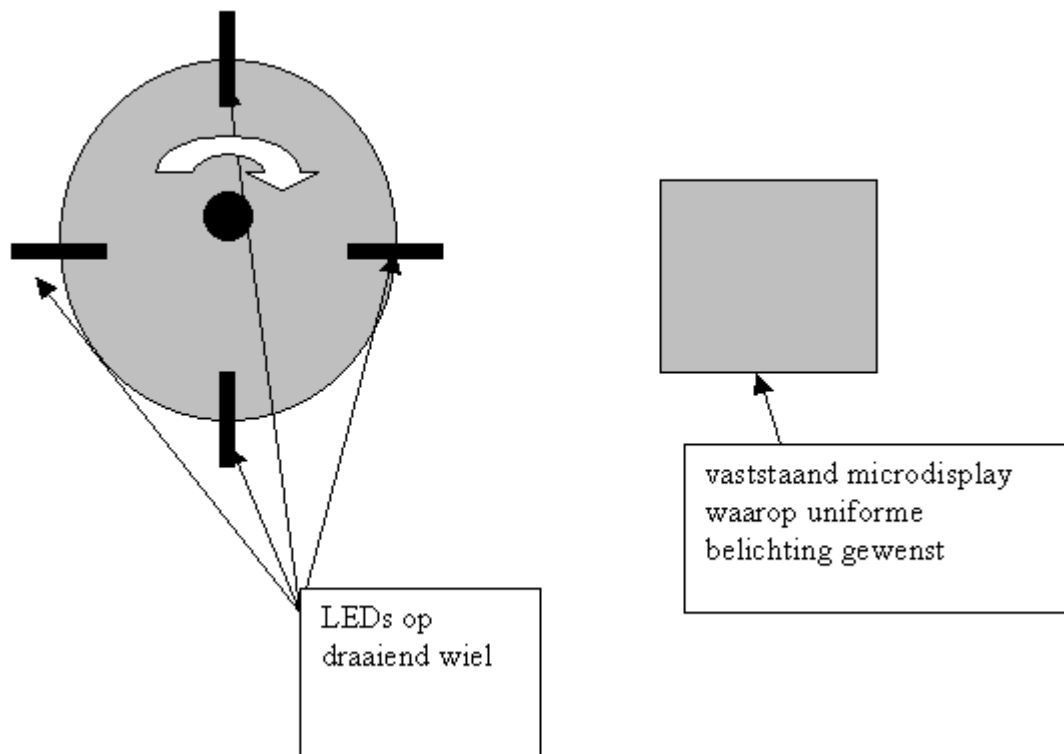
Ideaal zou zijn als men van linker- en rechterdiagram een idee vindt dat de lichtoutput aanzienlijk verhoogt, en dat deze ideeën “goed” te combineren zijn. “Goed” slaat hier op compactheid, kostprijs, levensduur,...

Dan zou men een maximale winst kunnen behalen door gebruik van LED's. Men bevindt zich dan in de doorsnede van beide diagrammen.

IV.1 Idee1, Linkerdiagram:

Het idee dat uitgewerkt wordt voor het linkerdiagram, is het gepulst aansturen van LED's. Door kort te oversturen kan er meer licht uit de LED worden gehaald, zonder dat de levensduur al te drastisch wordt beperkt. Door verschillende LED's op een draaiend wiel te plaatsen, trachten we bij elk “beeld” (frame) een LED te laten pulsen. Dit is het specifieke idee dat wordt uitgewerkt in VI Ontwerp van het LEDwiel (tijd). Merk op dat dit idee ook een bepaalde rangschikking van de LED's vereist, en een aantal mechanische eisen stelt. Zie onderstaande Figuur IV-2 LEDwiel.

Men zou op dit idee veel varianten kunnen beschouwen, zoals stilstaande LED's die reflecteren tegen een draaiend wiel, maar de uitwerking hiervan valt buiten de thesis. Bovendien bleek na afweging van alle varianten, de specifieke variant met LED's op een draaiend wiel, diegene die de meeste winst zou kunnen opleveren – alhoewel compactheid enigszins verloren gaat, en de complexiteit van het systeem toeneemt. Gezien de lichtbronnen zelf ronddraaien, is er ook meteen een zekere koeling. Dit is zeker gewenst, zie de sterke degradatiecurve van levensduur en lichtoutput in III.2.2.2. Zoals onderstaande figuur toont moeten de LED's oplichten als ze het scherm passeren.

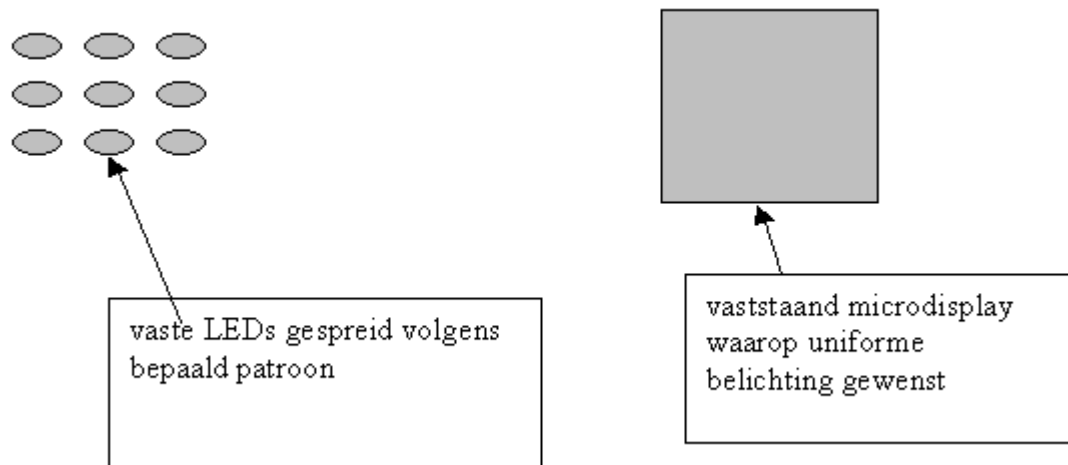


Figuur IV-2 LEDwiel.

Het algemene onderliggende idee is dus een spreiding in de tijd, ahw. “tijd-multiplexering”, waarbij niet het licht van 1 continu interval in de tijd (een oneindig lang ogenblik) wordt benut tzt in DC mode, maar van vele “punten in de tijd” tzt vele LED's die elk in een interval oplichten. Het microdisplay wordt steeds door 1 bron tzt. vanaf 1 bepaalde plaats beschenen.

IV.2 Idee2, Rechterdiagram:

In een reële openstaande projector was door de begeleider en promotor opgevallen dat er een discreet lichtpatroon optreedt na een aantal lenzen. Via dat patroon bekomt men een uniforme rechthoekige belichting, nodig voor het microdisplay. Het is een patroon dat bestaat uit een aantal kleine punten. Het eerste idee was om deze punten trachten te vervangen door LED's, omdat LED's compact kunnen zijn, ter grootte van zo'n punt. Zo zou een uniforme rechthoek kunnen worden bekomen, met inkoppeling van het licht van vele LED's. Zie Figuur IV-3.



Figuur IV-3 ruimtelijke spreiding van LED's.

Het algemene onderliggende idee is dus een ruimtelijke spreiding, ahw. “ruimte-multiplexering”, waarbij niet het licht van 1 punt in de ruimte wordt benut, maar van vele punten in de 3D ruimte.

IV.3 Doorsnede van beide diagrammen?

Beide specifieke ideeën zijn niet eenvoudig combineerbaar. Indien idee 2, 9 LED's zou vereisen, ruimtelijk gespreid, zou volgens idee 1, met bvb. 10 LED's op een draaiend wiel, elke van de 10 LED's moeten vervangen worden door 9 LED's. Het aantal LED's wordt dan onrealistisch hoog. Compactheid en robuustheid gaan dan verloren terwijl kostprijs en complexiteit toenemen.

V Simulaties en verklaring van het patroon (ruimte).

V.1 Te verwachten winst.

Via de ruimtelijke spreiding zou warmteafvoer – een belangrijk probleem cf. “Luxeon” – vergemakkelijkt kunnen worden.

Ook zou een uniform beeld worden bekomen, zonder dat expliciet een integrator nodig is.

Bovendien zou misschien meteen een rechthoek worden bekomen, evt. met schijfvormige bronnen. De Luxeons hebben een vierkant stralend oppervlak maar stralen een ronde spot vanwege de apertuurbepaalde (Lambertiaanse standaard-)lens.

In het begin werd gedacht dat extra licht zou kunnen worden ingekoppeld tov slechts 1 LED. Stel echter dat bvb. 10 LED's ruimtelijk worden gespreid, om samen een uniforme rechthoek te geven. De “wet van behoud van etendue” (zie begrippen) zegt dan dat als met 1 bepaald type LED een bepaalde etendue wordt bekomen, met die 10 identieke LED's samen, de etendue zal moeten toenemen tov die eerste LED.

Er kan dus wel degelijk meer licht worden ingekoppeld, maar dat zal gepaard gaan met een (bijna) even grote toename van de etendue. Zoals uiteengezet in III.2.2.2, is met één 5W Luxeon de systeem-etendue quasi bereikt. Met het licht van die 10 LED's kan door etenduebehoud dus niet 10 maal meer licht worden ingekoppeld met dezelfde systeem-etendue.

Wat wel kan, is dat van elke LED slechts een deel van het licht wordt benut – vrij inefficiënt dus, om zo een uniforme rechthoek te bekomen. De eerder opgesomde voordelen zoals uniformiteit blijven wel behouden.

Is die wet van etenduebehoud echt niet te omzeilen?

Deze wet kan wel strikt worden geïnterpreteerd, en aldus kan wel degelijk het licht van 10 LED's worden ingekoppeld zodat 10 maal of x-maal meer licht wordt ingekoppeld met dezelfde systeem-etendue.

Etenduebehoud geldt eigenlijk per golflengte. Indien men de 10 LED's allemaal een disjunct spectrum zou geven, kunnen deze, met een (ideale) optische component, worden gecombineerd tot een etendue van slechts 1 LED. Dit lijkt intuïtief logisch, en bovendien lijkt dit reeds te worden toegepast bij witte Luxeons, zie de figuur van het spectrum hieronder [Lumiled] DS25.pdf. Deze witte LED straalt breedbandiger en bijgevolg met een (iets) hoger vermogen.

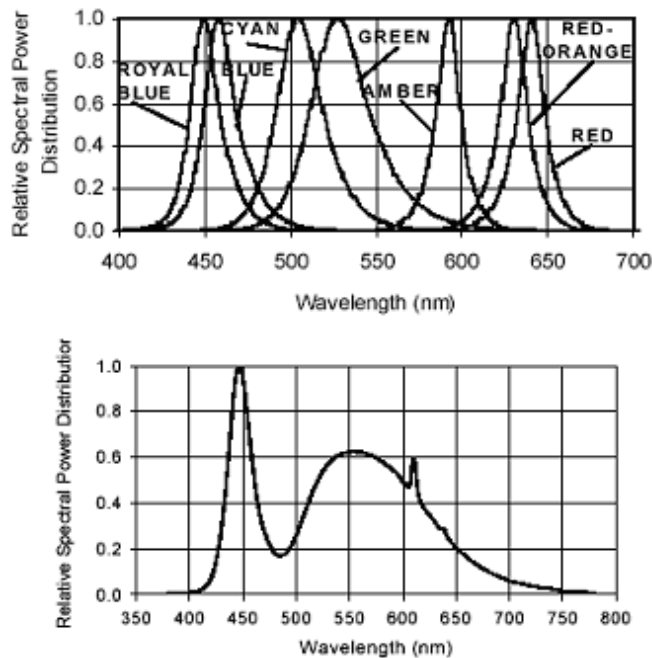


Figure a.
Relative Intensity vs. Wavelength.

Figure b.
White Color Spectrum of Typical CCT Part, Integrated Measurement.

Figuur V-1 spectrum van Luxeons.

V.2 Zemax en werkwijze.

Het softwareprogramma gebruikt voor het simuleren van een optisch systeem, in casu enkele projectorsimulaties waarin het optredend patroon kon worden bestudeerd, is ZEMAX.

Dit is in feite een zgn. raytracer – zie verder voor beperkingen en gevolgen daarvan. Men kan bvb. de invloed van bepaalde lenzen en aperturen nagaan op de beeldvorming.

Deze beeldvorming kan op verschillende manieren worden getoond. Men kan dan nagaan in hoeverre een uniforme belichting bekomen wordt op een bepaalde plaats en waar de zgn. “hot spots” zich bevinden. Dit is immers het gezochte resultaat: een rechthoekige uniforme belichting ter hoogte van het micro display. Er weze reeds opgemerkt dat meer nodig is dan

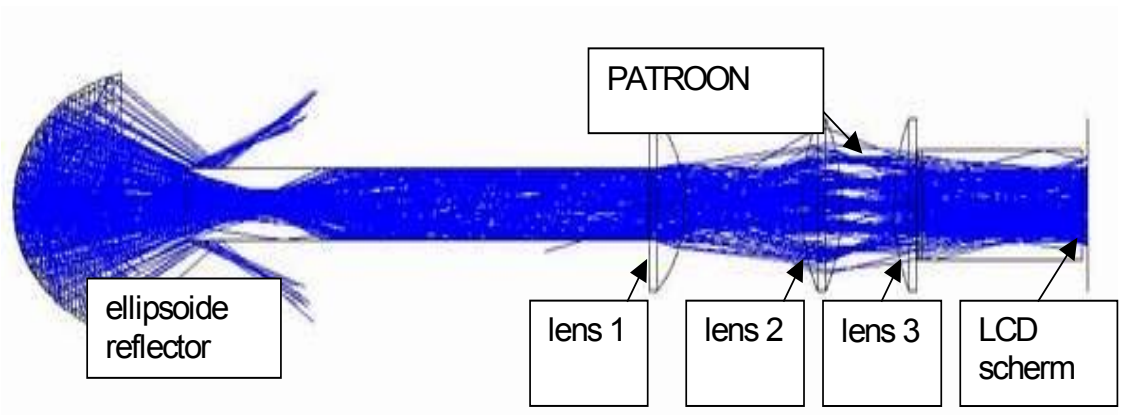
een uniforme belichting. De stralengang ter hoogte van het microdisplay moet ook telecentrisch zijn – zie begrippen, en die uniforme rechthoek moet ook over een redelijke afstand aanwezig blijven.

Eerst moest met Zemax leren omgegaan worden. Ook bij het verdere gebruik werden steeds nieuwe mogelijkheden van Zemax ontdekt en gebruikt. Zemax aanleren was dus een continue proces.

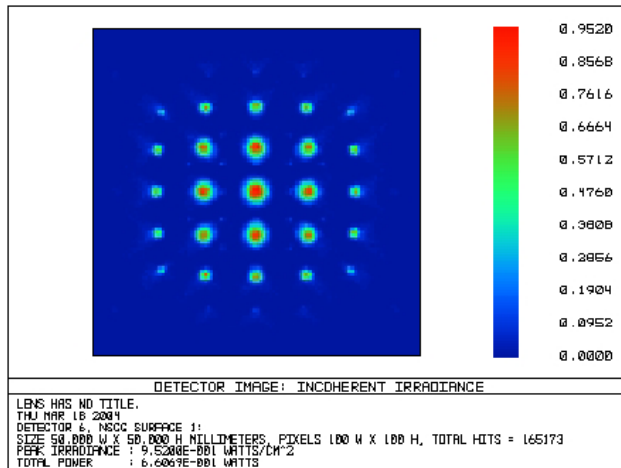
Zemax heeft 2 verschillende, “mengbare” modi: de Sequentiele (SC) en de Niet-Sequentiele Mode (NSC). Beide hebben hun voor- en nadelen.

V.3 SC simulatie.

We tonen hier eerst expliciet het patroon volgens de NSC simulatie, om de gedachten te vestigen. Dat patroon werd ook waargenomen in een openstaande projector met een 150W UHP lamp.



Figuur V-2: 3D layout projector met aanduiding van het patroon.



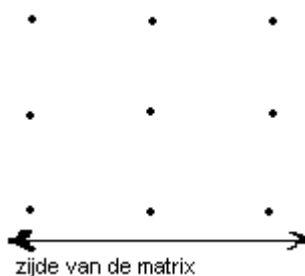
Figuur V-3: het volledige lichtpatroon.

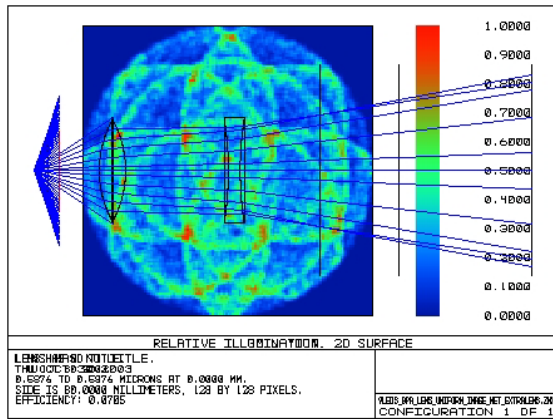
In het begin werd van een bepaald idee vertrokken omtrent het intensiteitpatroon dat optreedt in een projector– dat het sinc^2 was -, en er werd geprobeerd dit patroon na te bootsen in de SC mode om aldus een uniforme rechthoek te verkrijgen.

Verskillende bronnen (qua vorm en grootte, van puntbron tot uitgestrekte bron) werden bestudeerd, evenals een 3x3 opstelling – dit leek het meest logisch vermits enkel opstellingen met een middelste LED een “sinc” kunnen benaderen.

Deze pogingen in de SC mode mislukten allemaal, op een adhocrealisatie na. Hieronder enkele figuren.

gebruikte bron: 9 puntbronnen met zijde 40 mm.





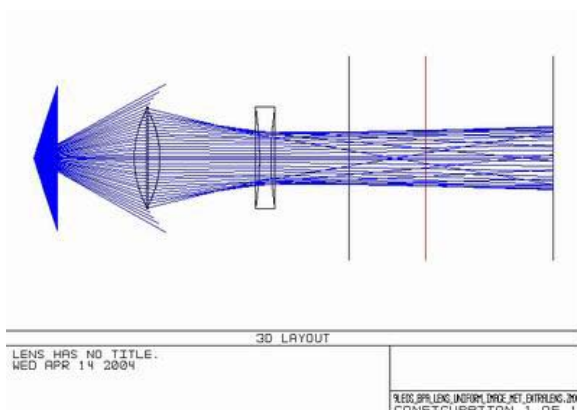
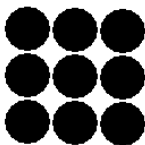
Figuur V-4 test in de SC mode.

Het beeld gevormd door deze 9 puntbronnen, is duidelijk niet uniform, er zijn wel enkele rechthoekige vormen te herkennen. Vermits in de SC mode werd gewerkt, stralen deze bronnen Lambertiaans.

(ad hoc realisatie)

De volgende figuur geeft het resultaat van 3x3 even heldere zeer uitgestrekte bronnen (tzv kleine afstand tussen elkaar tov afmeting vd bron zelf), met nog een extra concave lens.

“gebruikte bron:”

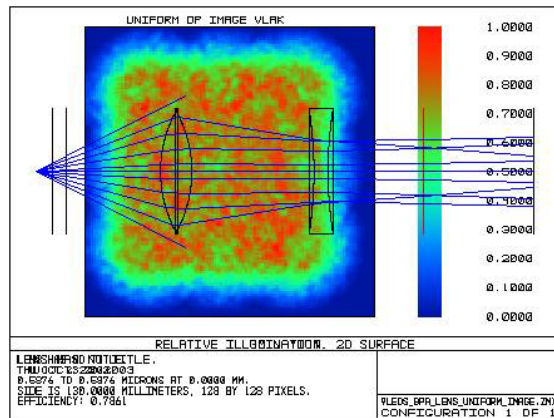


Figuur V-5 ad hoc opstelling.

Figuur V-5 ad hoc opstelling., toont de 3D layout in de SC mode, met in het rood de oppervlakte (hier een verticale lijn) alwaar het beeld werd waargenomen. Merk op dat de

uitgestrekte bron, vanwege de SC mode, als een puntbron wordt getekend, helemaal links op de figuur. Men moet deze opstelling dan ook ingeven in de NSC mode en het resultaat vergelijken.

Onder strikte voorwaarden werd onderstaand beeld bekomen.



Figuur V-6 beeld van de belichting in SC mode.

Dit beeld toont een uniforme rechthoek, toch in zekere mate.

Nochtans is er geen enkele garantie dat de stralen telecentrisch zijn – zie II.6. Bovendien blijkt de source size nu zeer kritisch, nl voor een zijde 40mm +/-1 mm; ook het waargenomen beeld is sterk afhankelijk van de plaats (+/-10mm).

Zoals opgemerkt, men moet deze opstelling ook ingeven in de NSC mode en het resultaat vergelijken. Dit ontwerp werd niet verder bestudeerd, maar kan wel nuttig zijn om de beelduniformiteit van LED's, naast elkaar geplaatst, te bestuderen.

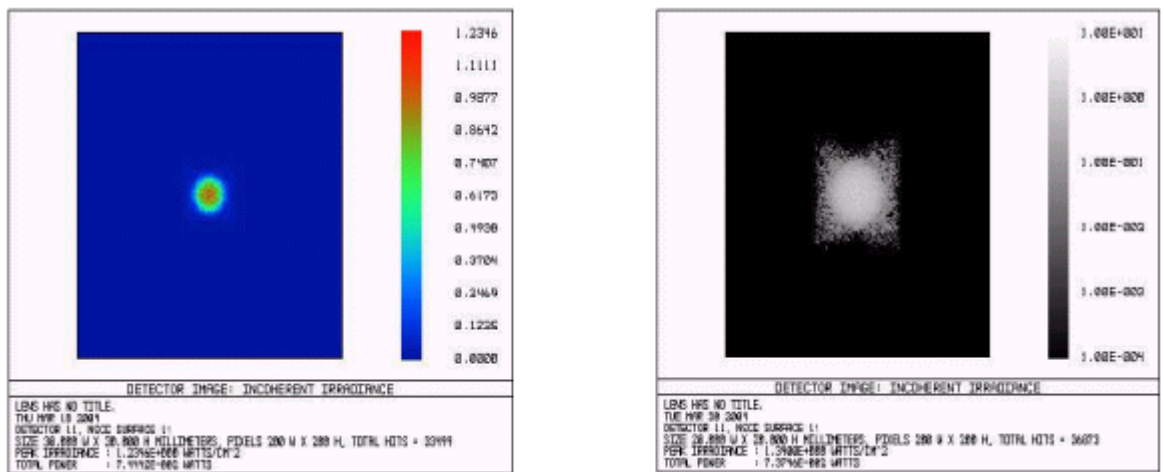
V.4 NSC simulatie.

De SC mode heeft vele beperkingen, zoals de moeilijkheid om een bepaald stralingspatroon toe te kennen aan een bron. We denken bvb. aan een gecollimeerde bundel. Ook de 3D layout van een uitgestrekte bron is niet mogelijk in de SC mode. Daarom werd overgegaan op de NSC mode. Ook de beeldvorming en uniformiteit kan gemakkelijker worden bestudeerd. Immers kan op de NSC detector, een logaritmische schaal worden gebruikt, wat toelaat patronen met een breed bereik aan intensiteiten te bestuderen, zie hieronder.

Bovendien was er een betere (juistere) projectorsimulatie beschikbaar in de NSC mode. De vorming van het patroon kon daar wel “juist” worden bestudeerd.

Er werd obv een projectormodel in de NSC simulatie, geprobeerd om het middelste punt in het patroon, zie Figuur V-7, qua intensiteit na te bootsen – via “slide” in Zemax. Er werden voor die slide een verschillende bronnen geplaatst, om alzo verschillende stralingspatronen toe te passen. De toegepaste stralingspatronen waren geïnspireerd op deze die in de 3D layout van het projectormodel te zien zijn, zie Figuur V-8 enkel het middelste punt stralend in de 3D layout. Er kon aldus een ruimtehoek gelijkaardig aan deze in de 3D layout worden ingegeven.

Geen van deze simulaties gaf opnieuw die uniforme rechthoek die wordt bekomen na lens 3 – zie Figuur V-2: 3D layout projector met aanduiding van het patroon - in de volledige projectorsimulatie.



Figuur V-7 het middelste punt van het patroon. Links op lineaire schaal in zgn. “false color”, rechts op logaritmsche schaal (log-5).



Figuur V-8 enkel het middelste punt stralend in de 3D layout.

Er werd gesimuleerd met een reeks mogelijke stralingspatronen voor een rechthoekige bron in de NSC mode. De stralingspatronen zoals vermeld in de ZEMAX manual, en toegepast met verschillende parameterwaarden in de simulaties:

1. alle stralen vertrekken uit 1 punt

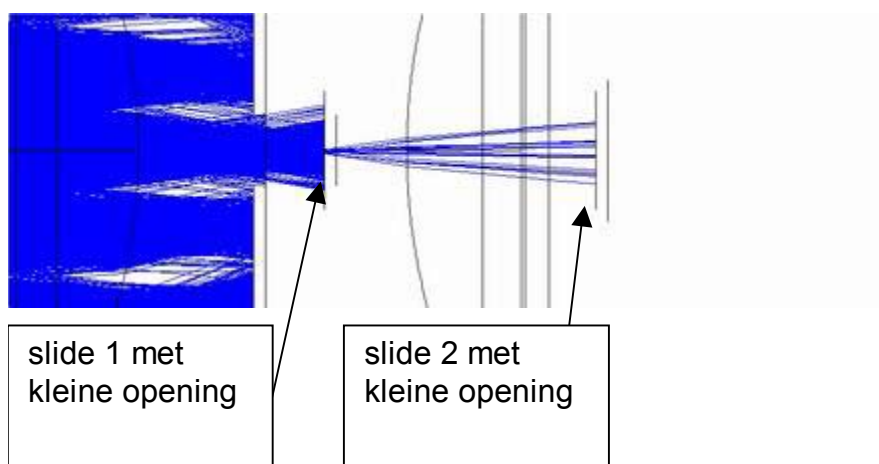
2. $I(\theta) \approx I_o (\cos \theta)^{Cn}$, met voor Cn=1 een Lambertiaans patroon.

3. $I(l, m) \approx I_o e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)}$, een Gaussiaanse distributie

Zie verder de Zemax manual [Zemax] p.317 voor meer informatie.

Er moet dus naast een bepaalde intensiteitsverdeling van elk punt, zoals te zien op Figuur V-7, ook een bepaalde richtingsverdeling zijn. Dit kan immers niet worden nagegaan via de detector. De detector geeft niet weer onder welke hoek bepaalde stralen invallen. Deze richtingsverdeling is zeker niet een van de 3 mogelijke uit de Zemax manual, ook geen schakering daarvan.

Deze verdeling kan in Zemax wel worden nagegaan via verschillende “kleine openingen”, resp. “slides” na elkaar te plaatsen, om alzo een idee over de distributie te krijgen, zie Figuur V-9 slide opstelling.



Figuur V-9 slide opstelling.

Dit bleek echter een bijzonder hoog aantal berekeningen te vereisen met bijhorende rekentijd. Op de figuur is trouwens ook reeds te zien dat meer stralen nodig zijn in de 3D

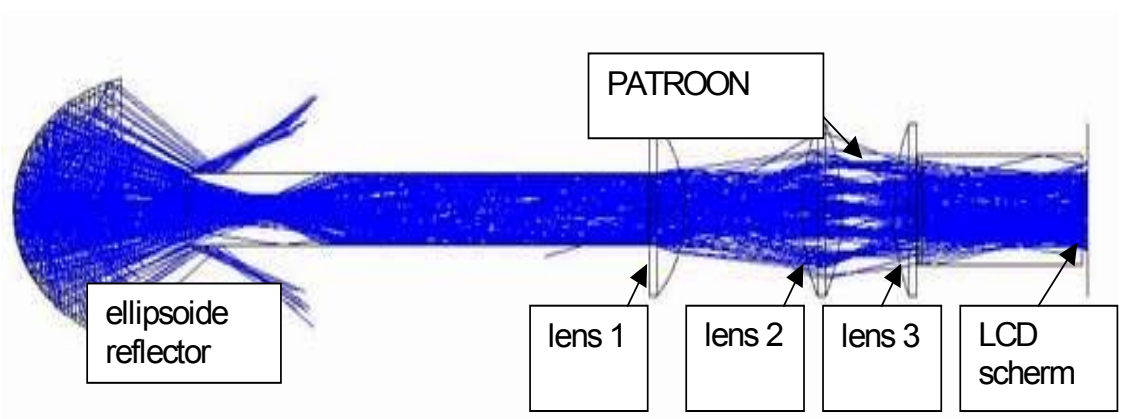
layout, om na slide 2 nog een aantal stralen over te houden. In de figuur gaat geen enkele straal door de kleine opening in slide2. Zemax laat echter niet meer dan 20.000 stralen toe in de layout. Dit kon daarom niet verder worden uitgetest.

Uiteindelijk komen we tot een zeer belangrijk besluit voor de thesis: het idee om via een positionering en een intensiteitsverdeling van verschillende LED's, een uniforme rechthoek te bekomen, gaat niet op basis van het patroon dat optreedt.

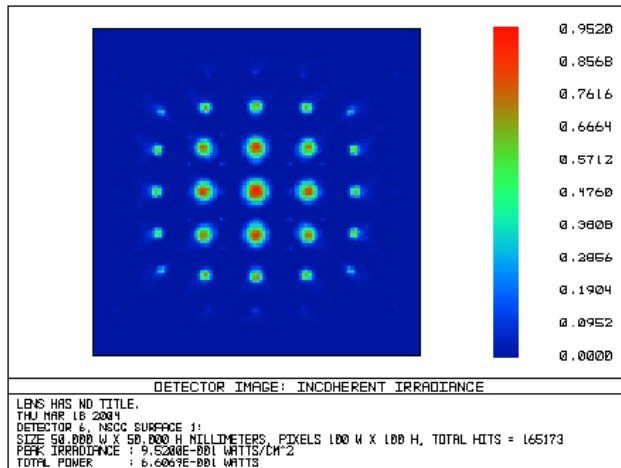
V.5 Verklaring van het patroon.

Alhoewel de NSC en de SC simulatie geen rechthoek opleverden, is het nuttig het optredende patroon enigszins te verklaren. Dit patroon was immers de aanleiding tot het idee om via een positionering en intensiteitsverdeling van LED's, een uniforme rechthoek te bekomen.

Het discrete patroon dat optreedt in een reele projector, kan op 2 verschillende manieren worden verklaard. Hieronder het simulatormodel ttz 3D layout van een bepaalde projector in de NSC mode. De plaats waar het patroon optreedt in de projector staat aangeduid. De figuur eronder staat het eigenlijke patroon, volgens een lineaire schaal op de detector.



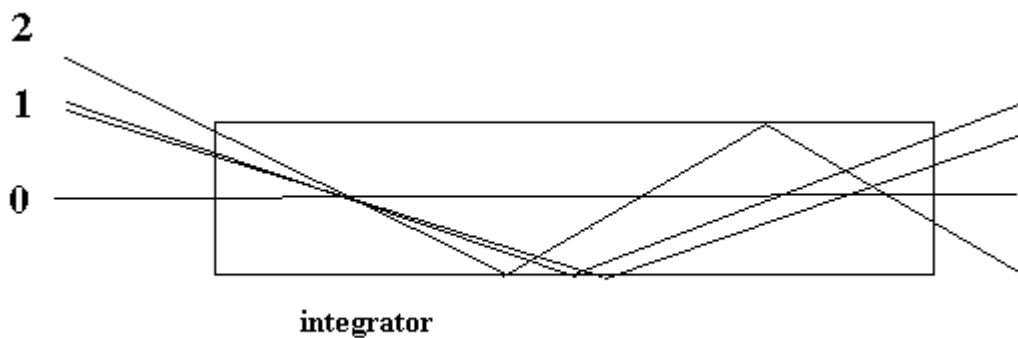
Figuur V-10 3D layout projector met aanduiding van het patroon.



Figuur V-11 het volledige lichtpatroon.

V.5.1 Enerzijds via de geometrische optica;

In de integrator wordt de bron – tzt. het beeld van het stralende oppervlak (cf. UHP lamp) na reflectie op de ellipsoïde reflector – onder verschillende hoeken gereflecteerd. Telkens wordt dus een beeld van de bron gevormd, maar onder een andere hoek. Zie figuur.



Figuur V-12 stralengang in een buisintegrator.

De Figuur V-12 stralengang in een buisintegrator toont de stralengang in de integrator, met rechts de uitgang van de integrator naar de lenzen en het display toe. Aan punt 1 in de figuur zal een spiegelbeeld van de bron worden gevormd, ontstaan door 1 reflectie in de integratorpijp. Aan punt 2 zal een spiegelbeeld ontstaan door 2 reflecties. Alle stralen in punt 1 hebben een invalshoek (of helling) links in de integrator die ongeveer gelijk is. Idem voor punt 0, punt 2 enz...

Via de eerste 2 lenzen – een planoconvexe en een biconvexe resp. lens 1 en 2 zie Figuur V-10 3D layout projector met aanduiding van het patroon – wordt een hoek-op-plaats afbeelding gemaakt van voornoemde reflecties, wat resulteert in het patroon. Elke waaier van ongeveer gelijke hellingen wordt dus op een punt afgebeeld.

Het is duidelijk dat stralen resulterend in punt 0 of de afbeelding daarvan, een veel kortere weg afgelegd hebben dan stralen van punt 1 of 2. Zoals te zien in Figuur V-11 het volledige lichtpatroon., is er inderdaad een intensiteitsverschil tussen de punten.

De laatste planoconvexe lens, lens 3, beeldt via een plaats-op-hoek afbeelding, elk punt van het patroon af op een deel van een rechthoek, dit is ter hoogte van het microdisplay. Deze delen stellen zich samen tot een uniforme rechthoek.

Dit wordt gesimuleerd met de NSC methode.

De laatste NSC simulaties tonen aan dat er echter ook een welbepaalde stralingsverdeling is, naast een intensiteit zoals het punt hieronder afgebeeld. Het gaat dus niet louter om een plaats-op-hoek afbeelding. Zie deel “NSC simulaties”.

V.5.2 Anderzijds via de diffractie-theorie;

V.5.2.1 theorie

Op het einde van de integratorpijp treedt een uniforme rechthoek op.

De diffractie-theorie zegt dat deze rechthoek, onder verschillende hoeken, wordt afgebeeld op een sinc^2 patroon. Elk discreet punt van het patroon, zie Figuur V-11 het volledige lichtpatroon., is een sinc^2 patroon, benaderd. Wegens de verschillende hoeken waaronder die uniforme rechthoek straalt, zijn er verschillende discrete punten in het patroon, onderling niet coherent wegens het optisch weglengteverschil.

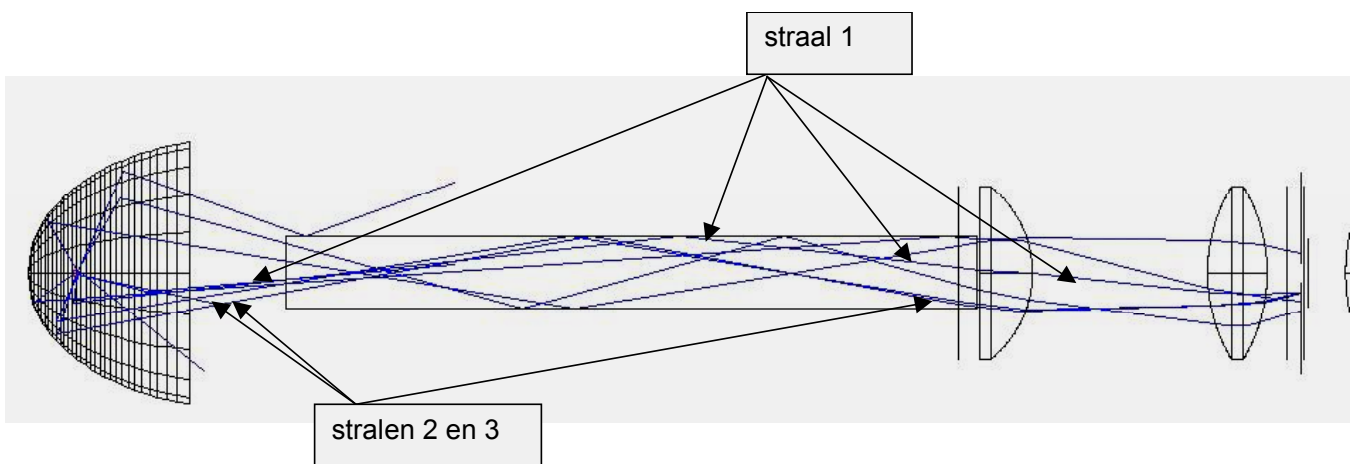
Elk punt in dit patroon, wordt via de laatste planoconvexe lens in de 3D layout, afgebeeld op een deel van de gewenste, uniforme rechthoek, overeenkomstig de fourieroptica zie [optoweb] .

V.5.2.2 coherentie

Is er voldoende coherentie om deze theorie [optoweb] “fourieroptica”, toe te passen?

De gebruikte UHP lamp heeft een “booglength” van slechts 1.3 mm. Als men dan het stralingsmechanisme van een gasontladingslamp in acht neemt [vistech] p.119, gasontladingen, lijkt het aannemelijk dat de coherentielengte meer bedraagt dan van bvb. wit zonlicht en dat een zekere spatiale coherentie mogelijk is. In II.9, wordt vermeld dat de UHP coherentielengte honderden micrometers kan bedragen.

Het patroon bestaat uit verschillende “lichtpunten” – zie figuur simulatie, en elk lichtpunt heeft een doormeter van ca. een millimeter. Het optisch weglengteverschil (OWLV) van de verschillende stralen om tot een bepaald punt te komen, kan beperkt zijn tot nauwelijks een millimeter. Dit kan worden nagegaan in de volgende figuur met nogmaals de 3D layout, maar dan slechts enkele stralen getekend:



Figuur V-13 enkele stralen in de 3D layout.

Het OWLV van 2 stralen die ongeveer in eenzelfde punt komen, zoals stralen 1 en 2, kan men schatten met de afmetingen van de integrator (en bij nagaan dat stralen 1 en 2 ongeveer in een vlak liggen):

zijde van de integrator: 20mm

lengte van de integrator: 200mm

bij nameting blijkt het verschil in OWL

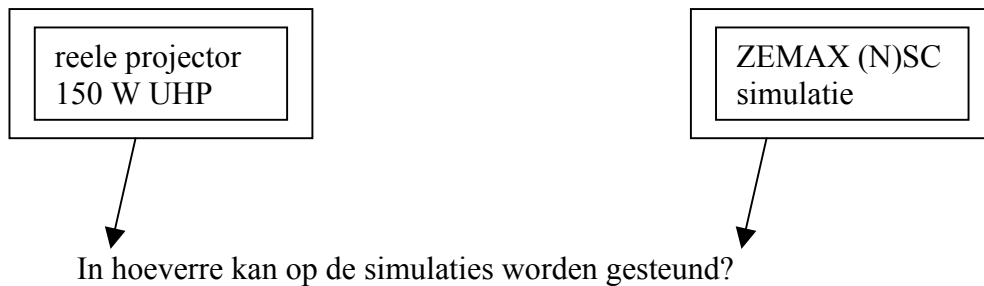
- kleiner dan 1.5mm tussen stralen 1 en 2

- kleiner dan 1.0mm tussen stralen 2 en 3

De kern van zo een lichtpunt kan dus net binnen de coherentielengte vallen.

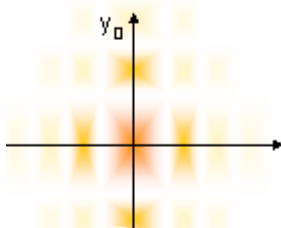
Bovendien is nnz. perfecte coherentie nodig. Een eerste orde benadering kan voldoende zijn; de rechthoek gevormd ter hoogte van de lichtklep is dan nnz scherp afgelijnd of perfect uniform, maar wel in benadering.

V.5.2.3 Zemax beperkingen



Nochtans kan voorgaande diffractietheorie niet nauwkeurig met de NSC mode worden gesimuleerd. Immers, een rechthoek geplaatst (vlak)voor een lens geeft bij belichting met “een bron” (vlakke golf), in het brandpunt van de lens geen “sinc²” als intensiteitspatroon.

Het sinc² patroon dat zou moeten worden bekomen ziet er als volgt uit, zie [optoweb] onder “fourieroptica, Fresnel en Fraunhofer, voorbeelden”:



Figuur V-14 sinc² intensiteitsverdeling.

De nullen in het patroon vormen een rechthoekig raster. Men kan via een eenvoudige eerste orde benadering aantonen dat het hoofdmaximum, rond het centrum verloopt volgens een hyperbool ttz. zones van gelijke intensiteit vormen een hyperbool.

De juiste schaling werd hier weggelaten. Men kan het getoonde vlak opvatten als een xy vlak waarin de intensiteit verdeeld is volgens onderstaande 2D sinc² functie. Hieronder staat eerst de 1D sinc² vermeld:

$$\sin c^2 x = \frac{\sin^2 x}{x^2}$$

$$\sin c^2 xy = \frac{\sin^2 x \sin^2 y}{x^2 y^2}$$

Zoals vaak beschreven in de Zemax help, rekent Zemax in de NSC mode nochtans standaard met coherente bronnen. De coherentie zou dus voldaan moeten zijn.

Alhoewel we niet precies te weten zijn gekomen hoe Zemax werkt, kan men wel stellen dat Zemax niet expliciet rekent met golffronten. Het is een raytracer die met coherente bronnen rekent, en het faseverschil berekent tussen verschillende stralen op een bepaald punt van een detector, via het optisch weglengteverschil. Verschijnselen als interferentie van 2 smalle spleten kunnen dus wel worden waargenomen.

DiffRACTIE, zoals Fresnel en Fraunhofer, steunen echter expliciet op golffronten (fasefronten). Ook de theorie van de fouriertransformatie eigenschappen van lenzen (zoals in [optoweb], slide voor een lens), steunt daarop: de lens veroorzaakt een fase-transformatie van de fronten. Dit wordt niet in rekening gebracht in Zemax.

Is ons probleem inherent verbonden aan raytracers? Dat hangt af van de definitie van raytracer.

Er bestaat immers een optionele module in Zemax in de SC mode die toelaat de diffractietheorie te bestuderen, maar het wordt dan veel complexer om een complete projector te simuleren, en valt buiten deze thesis.

V.5.3 Consistentie?

In hoeverre zijn deze 2 verklaringen van het patroon consistent, en bovendien niet in tegenspraak met de bekomen simulatieresultaten in de NSC mode?

De verklaring van het patroon zelf is ingewikkeld en vereist een diepe en brede theoretische achtergrond. Er werd getracht dit patroon zo goed mogelijk te vatten, maar anderzijds was dit niet het hoofddoel van de thesis.

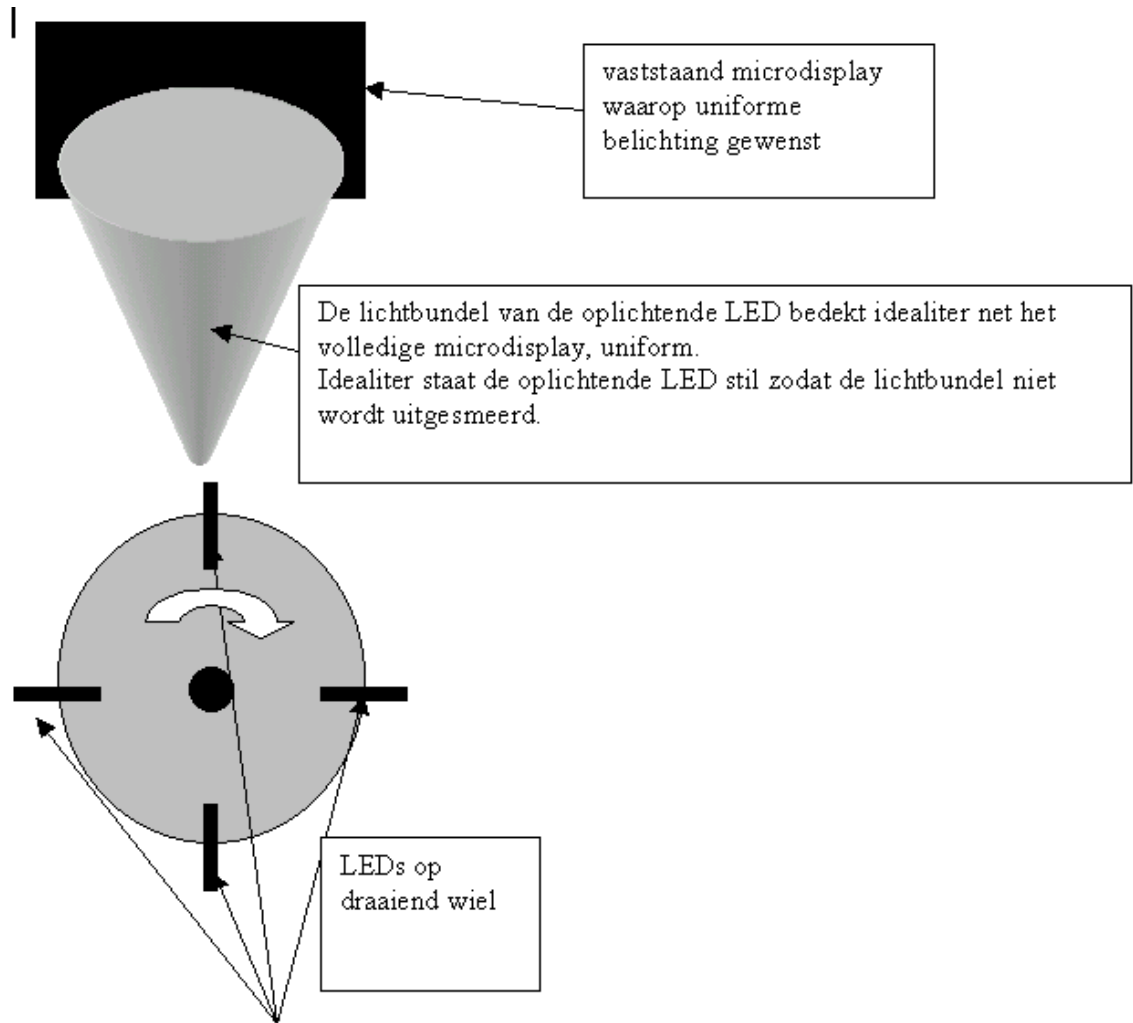
Er zou een continue overgang van het 100% coherente naar het 100% incoherente model zijn.

Men moet immers bedenken dat een uniform beeld wordt bekomen, niet alleen in de bestudeerde relatief kleine projector met een 150W UHP lamp, maar ook in de veel grotere uitvoeringen met lampen boven 500W. De coherentie-eisen resp. OWLV zijn daar nog veel sterker aanwezig. Zulk een grote projector was echter niet voorhanden; het patroon werd daar dus niet opgemerkt. Er wordt daar wel gebruik gemaakt van zeer gelijkaardige optische componenten en opstellingen (zoals de integratorpijp), en er wordt ook een zeer uniform beeld bekomen.

Het enige praktische wat voorhanden was tijdens deze thesis was Zemax om te simuleren, vandaar de nodige voorzichtigheid bij het trekken van besluiten. (Er zou bvb. een coherentiemeting op verschillende UHP lampen kunnen worden verricht)

VI Ontwerp van het LEDwiel (tijd).

VI.1 Te verwachten winst.



Figuur VI-1 illustratief, het LEDwiel.

Zoals getoond in bovenstaande illustratieve figuur, staat de LED die oplicht, met een ideaal LEDwiel (inclusief aansturing), op de juiste positie voor het microdisplay, en staat die oplichtende LED dan stil. Veronderstel om de gedachten te vestigen, dat het microdisplay met 50 beelden per seconde wordt aangestuurd.

Als de LED dan 10x overstuur wordt tov. nominale aansturing tijdens de oplichting (“het flashen”), zal er een zekere hoeveelheid extra licht worden gegenereerd, bvb. 5x meer dan nominaal.

Als bij het volgende beeld, de volgende LED in infinitesimale tijd op de juiste plaats komt en oplicht, zal er een factor 5 aan gemiddeld optisch vermogen gewonnen zijn.

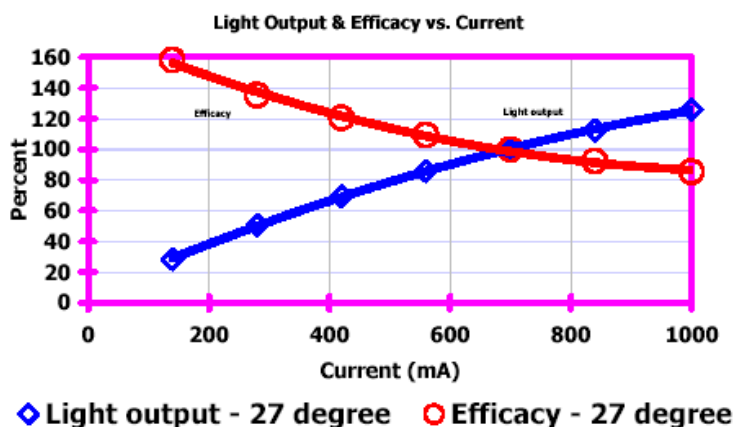
Als we rekenen met een typische lichtoutput van 130 lumen voor Luxeon V – zie III.2.2.2, zou dit bij 5x meer lichtoutput uit de bron, ca. 500 lumen opleveren.

Dit zou betekenen een lichtoutput van 50 lumen en meer uit een projectiesysteem met ca. 10% totale systeemefficiëntie. Deze systeemefficiëntie is de verhouding van de flux uit de projectielens tot de flux door de bron uitgestraald binnen de systeemmetendue.

Over de juiste factor licht die wordt gewonnen bij oversturing van LED's werden volgende artikels gevonden:

- Op http://www.ibsg-st-petersburg.com/LEDsGen/2led_pul.htm staat beschreven voor niet-Luxeons hoe de optische output varieert met de stroom en de pulsduur, met testresultaten.
- Op http://www.archenergy.com/lrp/advlight_tech/deliverable_2.3.1b_LED_evaluation_final_report.pdf [Archenergy]

staat volgende figuur voor Luxeon III:



Figuur VI-2 lichtoutput vs. efficiëntie voor Luxeon III.

Over Luxeons is nog te weinig informatie beschikbaar, zeker als het over gepulst aansturen gaat. Bovenstaande figuur gaat immers maar tot 1A aansturing. Zie verder VI.3

Voorgaand getallenvoorbeeld met factor 8 winst geldt echter enkel als de overgangstijd tussen 2 opeenvolgende beelden verwaarloosbaar is.

In werkelijkheid, indien men voor het microdisplay een “refresh rate” (de frequentie van opeenvolging van beelden) van 50 Hz neemt, duurt een beeld 20 ms, maar daar zit ook een overgangsverschijnsel bij.

Een LCD of LCoS display reageert immers niet ogenblikkelijk. Deze overgangstijd bedraagt typisch enkele ms, zie [Maxbart] p.12 figuur 10.

Dit overgangsverschijnsel geeft aanleiding tot “motion blurring”, maw. vervaging van bewegende beelden door het “trage” LCD. Het is dus nuttig tijdens dit overgangsverschijnsel de lichtklep niet te belichten.

Dit laat dan toe in een eindige tijd, enkele ms, de LED naar de juiste positie te bewegen.

Het gewonnen gemiddeld optisch vermogen neemt dan af met de verhouding van

$$\frac{t_{oplicht}}{t_{oplicht} + t_{draai}}$$

met

$t_{oplicht}$ = de tijd dat een LED oplicht

t_{draai} = de tijd dat een LED draait, binnen de duur van een beeld

Indien bvb. de LED evenlang oplicht als de “draaitijd” nodig om de LED in positie te brengen, geeft de formule een verhouding $\frac{1}{2}$. De winst met vorige getalwaarden qua oversturing, is dan niet factor 5 maar factor 2.5. Minder gemiddeld vermogen, maar ook minder motion blurring.

Er is echter meer. Volgens verschillende artikels voert het oog een soort integratie uit. Bij zekere frequenties vult de nawerking van het oog de openingen op tussen lichtpulsen. Aldus zou het oog niet zozeer de gemiddelde optische helderheid detecteren, maar wel iets tussen het gemiddelde en het maximum. De gerealiseerde winst zou dus hoger zijn dan de factor 2.5 in bovenstaand voorbeeld. Enkele bronnen zijn:

- <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND8067-D.PDF>
p1 onderaan
- http://www1.electusdistribution.com.au/images_uploaded/ledlaser.pdf

p2 bovenaan:

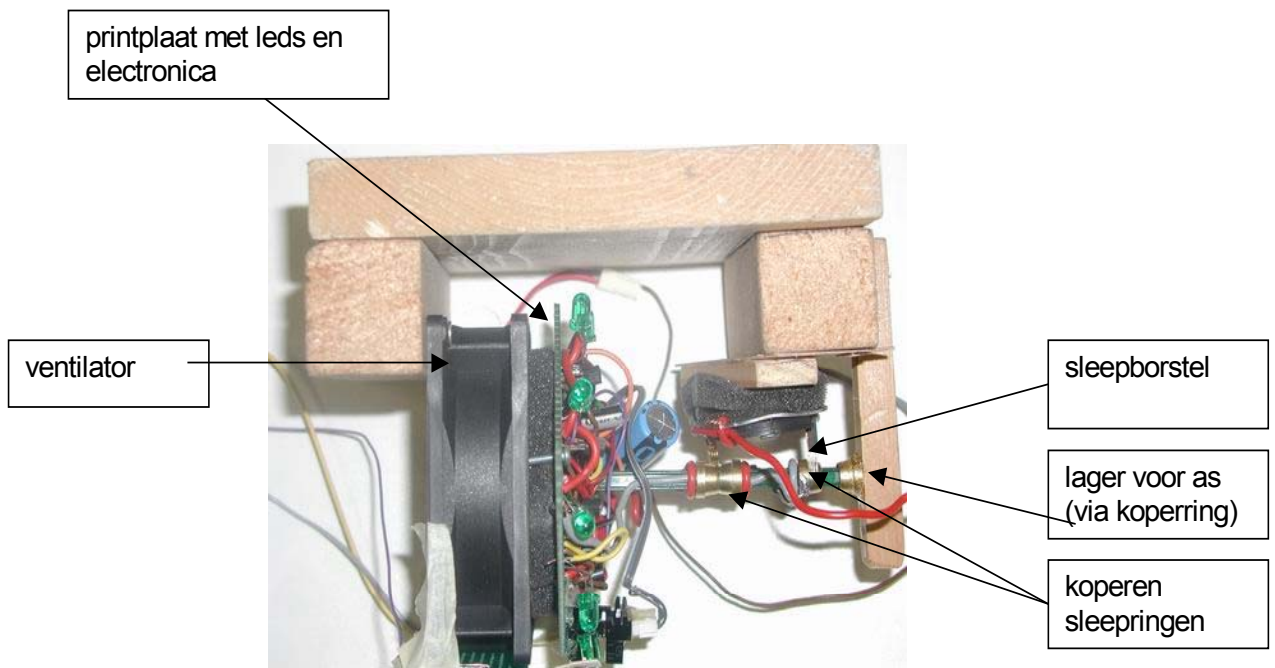
In addition, the human eye's persistence of vision tends to 'fill in the gaps' between the light pulses, providing the pulse repetition frequency is significantly higher than the eye's critical fusion frequency (CFF). So pulses at a frequency of 100Hz or more actually appear brighter than continuous light of the same average intensity.

Er is echter tegenspraak over de gevonden frequentie waarbij deze eigenschap geldt. Bovenstaand fragment spreekt over frequenties boven 100 Hz. Andere bronnen spreken over lage frequenties – zij vermelden dan de Blondel-Ray formule, geldig beneden 5 Hz, en de Talbot wet, geldig boven 10 Hz. Zie bvb. <http://www.caves.org.uk/led/foot4.pdf>

De vraag is bovendien: in hoeverre treedt er storende “flikker” op, zoals bij een CRT (dit is de techniek vóór de LCD schermen, zoals computerschermen; Cathode Ray Tube) aan 50 Hz beeldfrequentie. Er is dus specifiek onderzoek nodig op de perceptie van optische pulsen.

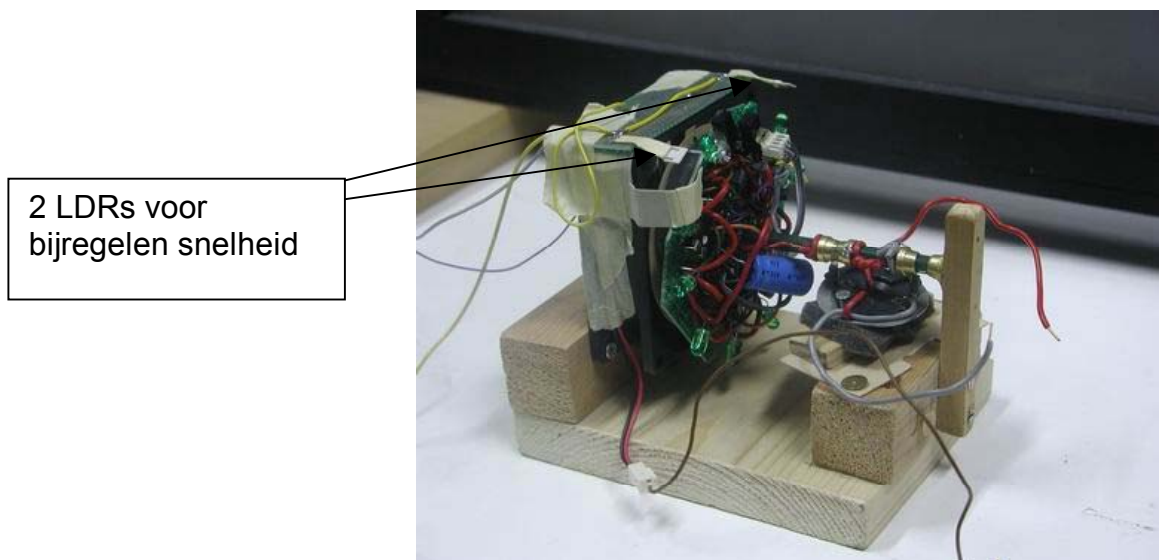
Er kan besloten worden dat indien hoogvermogenLED's kunnen overstuurd worden zoals laagvermogenLED's, met een gelijkaardige winstfactor in lichtoutput, de te behalen winst met het wiel hoog is, factor 3 tot 5 meer lichtoutput tov. 1 LED.

VI.2 Ontwerp en realisatie van het LEDwiel.



Figuur VI-3 zijaanzicht LEDwiel.

zijaanzicht van links naar rechts op houten statief: ventilator – (dun bevestigingsvlak) – spacer – printplaat met LED's en elektronica - as met sleepringen – spil voor as.



Figuur VI-4 diagonaal vooraanzicht LEDwiel.

VI.2.1 Algemene werkwijze.

Het algemeen geschetste idee kan op veel manieren worden uitgewerkt.

Zowel het aantal LED's op het wiel als de algemene sturing als de keuze van materialen heeft nog veel vrijheidsgraden.

Het aantal LED's kiezen we op een 10 tal, zie verder. De keuze van de materialen wordt ingegeven door de beperkte tijd (een 3 tal weken) waarin dit werd ontworpen en gerealiseerd. Het is niet de bedoeling om de meest realistische, compacte en robuuste realisatie te maken (wel qua theoretisch ontwerp). Dit kon niet binnen de voorziene tijd en met de voorziene materialen. Het resultaat geeft het idee weer, en daarop kan verder worden geredeneerd.

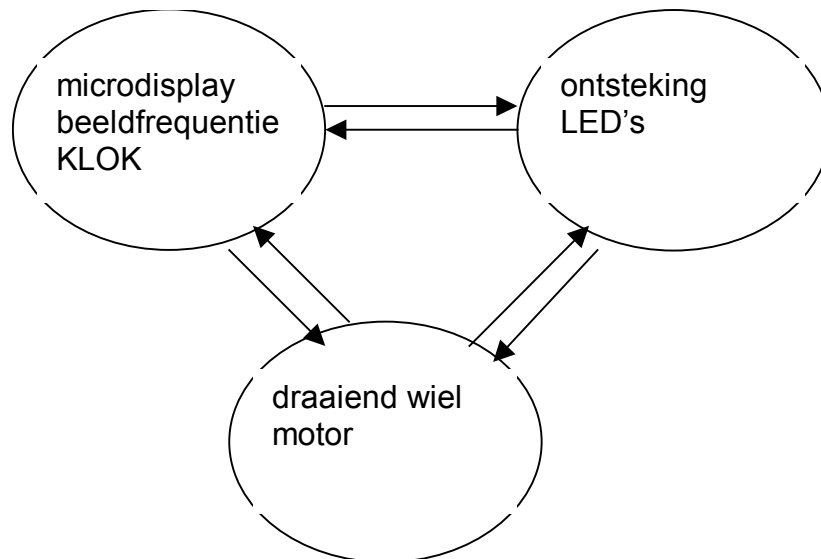
Voor de algemene sturing kan men verschillende mogelijkheden beschouwen. Belangrijk hierbij zijn volgende voorwaarden:

- maximaal 2 sleepringen, zonder commutatie

Deze dienen om de voeding voor de LED's over te brengen. Misschien kan later ook een systeem worden uitgewerkt zonder sleepringen. We denken aan inductieve overdracht van energie, of aan stilstaande vaste LED's met een ronddraaiende optische component die telkens het licht inkoppelt van een andere LED.

- goede synchronisatie mogelijk

Met synchronisatie wordt enerzijds bedoeld dat het wiel op de juiste snelheid moet draaien, en anderzijds het juist aansteken van de verschillende LED's. Er is dus feedback nodig tussen de verschillende delen, zie Figuur VI-5. Er is enerzijds het microdisplay dat wordt aangestuurd met een bepaalde beeldfrequentie, er zijn anderzijds de verschillende LED's die juist moeten ontstoken worden en er is tenslotte het wiel en het aandrijfcircuit van de motor. Deze koppelingen mogen geen extra sleepring vereisen.



Figuur VI-5 feedback tussen de verschillende delen.

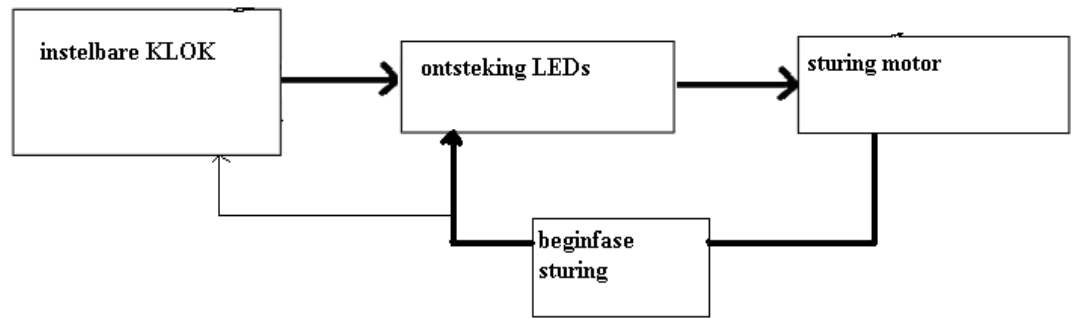
- dichtbij een realistische projectorimplementatie

In een realistische projector wordt het microdisplay aangestuurd vanuit bvb. een computer, eventueel met nog een aantal “interfaces” ertussen. Het microdisplay ontvangt dan de beeldsignalen, aan een bepaald tempo, de beeldfrequentie of refresh rate.

Het is obv. van dit idee dat we de koppelingen in bovenstaand schema, Figuur VI-5, uitwerken.

We kiezen voor een instelbare klok als “*master*” of “*meester*” die de LED’s ontsteekt, en in realiteit het display (beeldfrequentie) aanstuurt. De motor moet dit volgen zodat de LED’s juist worden gepositioneerd – dit is als ze ontstoken worden door de klok moeten ze voor het microdisplay staan. De motor is dus “*slave*” of “*slaaf*” want hij past zich aan aan de ontsteking van de LED’s. Opdat de sturing van de motor zo eenvoudig mogelijk zou zijn moeten we zorgen dat de LED’s gegarandeerd oplichten in een beperkt gebied, zelfs al is de motorsnelheid verkeerd. Daarom wordt een optische “beginfasesturing” ingebouwd.

We bekommen dan onderstaand algemeen schema. Zie verder “hoogniveau” van het elektronisch ontwerp.



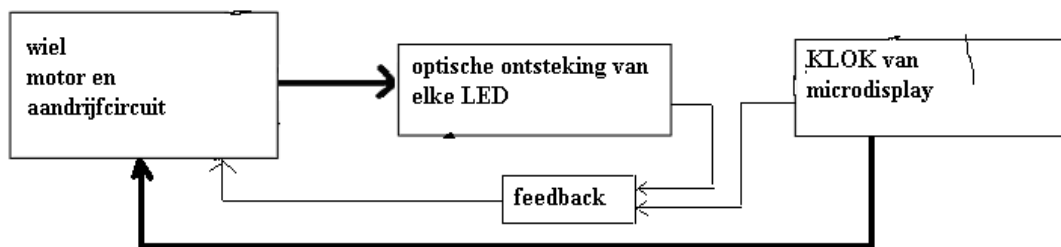
Figuur VI-6 algemene sturing.

- variabele beeldfrequentie mogelijk

In een projector is het over het algemeen zo dat verschillende beeldfrequenties mogelijk zijn, ca. 50 Hz tot 150 Hz.

Indien men wil veranderen van beeldfrequentie kan dit bvb. met een optische schakeling worden overgebracht naar de LED's (via LED en fotodiode). In eerste instantie kiezen we voor een manuele instelling van de klok, vooraf.

Een alternatieve sturing die net niet voldoet aan al deze voorwaarden is deze in Figuur VI-7 alternatieve sturing:



Figuur VI-7 alternatieve sturing.

Hier zou het draaiende wiel de LED's optisch ontsteken door bij elke LED een fotodiode te plaatsen. Via feedback zou de ontsteking van de LED's dan kunnen worden vergeleken met de klok van het microdisplay, om aldus de motor bij te sturen. Hier ligt juist de moeilijkheid van dit ontwerp. De eisen aan de dynamica van de motor zijn dan hoger of de regeling trager. Immers moet kunnen worden vastgesteld of de LED's te vroeg of te laat oplichten.

Op dat dit éénduidig kan zal de motor snel moeten kunnen bijsturen, ofwel moet de regeling trager worden gemaakt. Anderzijds kan een variabele frequentie eenvoudiger worden ingesteld met dit schema.

Uit de theoretische uiteenzetting tothiertoe blijkt dat een stappenmotor – zoals deze in printers om de printkop te bewegen – de beste keuze is. Immers zal dan de LED tijdens de oplichtingstijd als stilstaand kunnen benaderd worden, wat met een DC motor niet het geval is. Het is dan ook de bedoeling dat de idee van “gepulste sturing van LED’s op een LED wiel” wordt uitgetest met een stappenmotor. Dit kan niet binnen het tijds kader van de thesis worden gerealiseerd. Er is echter voor volgend academiejaar (2004-2005) een thesis uitgeschreven die als specifiek doel heeft een LEDwiel te realiseren met een stappenmotor.

Om een eenvoudig, groot bevestigingsvlak en een eenvoudige elektrische sturing te hebben, werd een standaard 12VDC voedingsventilator gekozen; deze zitten in elke computervoeding en zijn relatief goedkoop. Deze keuze heeft gevolgen voor het mechanisch en elektronisch ontwerp.

Het ontwerpen en realiseren namen beide veel tijd in beslag, zoals voorzien. Er moest een elektronisch en mechanisch ontwerp gebeuren. Nochtans zijn beide niet strikt gescheiden en kunnen invloed hebben op elkaar. Ook is het elektronisch ontwerp niet in een fase gebeurt; wel zijn verschillende ideeën eerst theoretisch beredeneerd, en enkele gerealiseerd op breadboard – een test met draaiend wiel kon dus pas na de “definitieve” soldering op printplaat gebeuren. Dikwijls werden de testen op een breadboard als feedback gebruikt om het ontwerp aan te passen, te verbeteren.

Het elektronisch gedeelte werd uiteindelijk gerealiseerd op een zgn. “Euroboard”, dit is een printplaat met eilandjes waarop kan worden gesoldeerd. Idealer is natuurlijk dat wordt overgegaan naar een SMD (Surface Mounted Device) realisatie met 1 of 2 lagen.

VI.2.2 Mechanisch ontwerp en mechanische realisatie.

In principe begint men best met de mechanische elementen te positioneren zodat elektronische componenten errond kunnen worden gebouwd. Nochtans vereist dit het op voorhand kennen van de componenten, zoals assen en printplaat, die zullen worden gebruikt. Dit is geenszins evident. Immers werd bvb. de grootte van de printplaat op het wiel, pas duidelijk nadat het elektronisch ontwerp erop was geplaatst – zonder dat evenwel te solderen.

Bovendien is het belangrijk dat bij ronddraaiende onderdelen, alles zo symmetrisch mogelijk wordt uitgevoerd, zodat de massatensor symmetrisch is, en aldus mechanische trillingen worden beperkt. Daarom ook werd gekozen voor 10 LED's en dus trage draaisnelheid – i.e. slechts enkele omwentelingen per seconde. Een eventuele moeilijk te vermijden asymmetrie is dan minder schadelijk, toch op korte termijn.

Op de schoepen en het centrale deel van de DC “fan” werd eerst een houten bevestigingsvlak geplaatst, met als bedoeling dat daarop de printplaat, met “spacers” en enkele symmetrisch aangebrachte schroeven, kon worden vastgemaakt. Zie foto van het wiel Figuur VI-3.

De “spacer” is eerst een laag schuim, maar wordt beter vervangen door soldeerpinnetjes omw koeling. Er staan immers ook enkele (vermogen)componenten op de achterzijde.

De elektronische componenten werden voorlopig geplaatst op de nog niet verzaagde printplaat.

Met deze voorlopige plaatsing konden de exacte grootte van de printplaat, aanduiding van 10 richtingen op de printplaat voor de LED's, bevestigingsplaatsen van de printplaat op het wiel, en positionering van de as worden uitgevoerd.

Daarna werd een keuze van de as vs. sleepringen gemaakt. De sleepringen zijn koperringen, die evt. kunnen worden ingesmeerd met grafiet. De 2 sleepringen moeten het vermogen naar de LED's op het wiel overbrengen. Er werd een kunststofas gevonden die reeds paste bij de ringen.

Er kwamen verschillende ideeën voor sleepcontacten, zoals de looper van een potentiometer. Uiteindelijk werden sleepcontacten van een krachtige, betrouwbare DC motor gekozen – uit een videorecorder.

Het voordeel van deze sleepcontacten is dat deze:

- enige veerkracht hebben en dus op deze wijze goed contact geven met de as, zelfs als deze een knik heeft.
- bij nader toezien reeds uit verschillende duurzame delen zijn opgebouwd, zoals het eigenlijke contact-deel dat wellicht uit platina bestaat.
- een relatief groot oppervlak hebben om zo de spanningsval bij hoge stromen (5A) te beperken.

In het gebruikte DC fantype zijn de sleepcontacten voor de motor zelf, reeds verdwenen, net zoals ze in een stappenmotor meestal kunnen worden weggelaten.

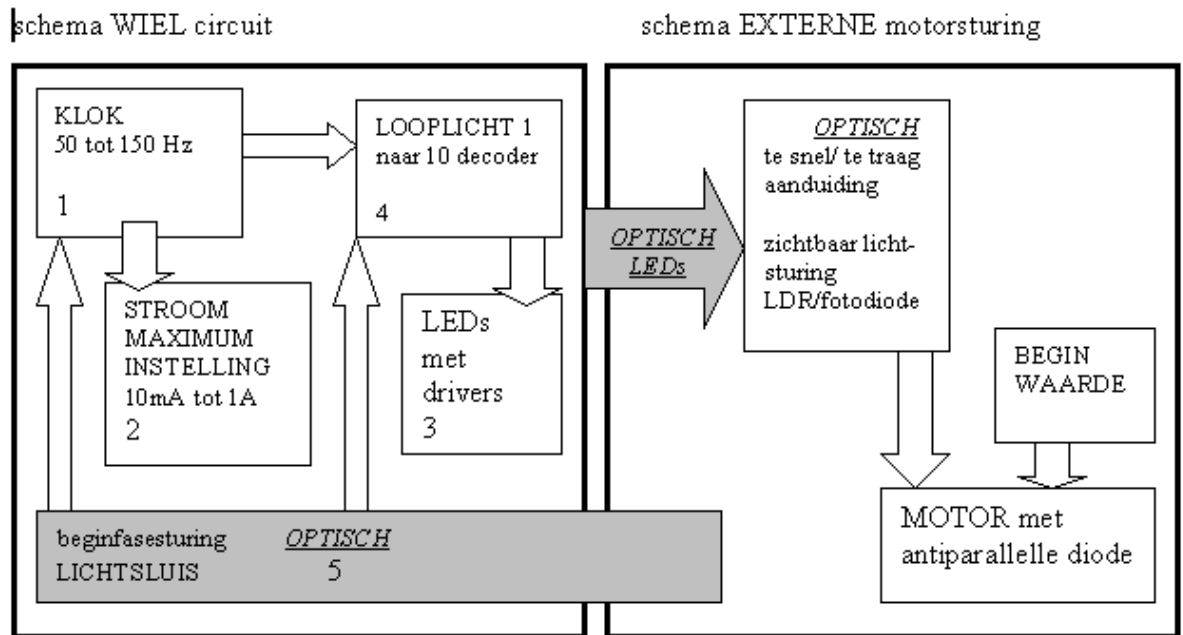
Er werd ook een houten statiefje voor ventilator en spil gebouwd, om zo toe te laten de LED's radiaal te laten schijnen – de fan moest immers hoger worden geplaatst, en de as kreeg via een spil en een lager enige stabiliteit.

VI.2.3 Elektronisch ontwerp.

Alhoewel de complexiteit beperkt was, werd op verschillende abstractieniveaus gewerkt. Zoals reeds eerder vermeld, werd niet onmiddellijk het finale ontwerp gevonden. Bovendien kon het laagniveau ontwerp een kleine aanpassing (feedback) van een abstracter niveau vergen.

VI.2.3.1 Hoogniveau.

Hieronder wordt het hoogniveau ontwerp getoond met een blokschema en vervolgens besproken.



Figuur VI-8 algemeen blokschema.

a) *circuit op het wiel*

Zoals reeds eerder vermeld, de klok die de LED's stuurt wordt onafhankelijk verondersteld, dus "master" tov de motorsnelheid die moet volgen, de "slave".

De klok stelt geen hoge vereisten qua nauwkeurigheid of frequentie, we hebben een instelbare frequentie nodig van 50 tot 150 Hz ongeveer. Wenselijk is dat zowel aan- als uittijd van de klok regelbaar zijn, desnoods niet volledig onafhankelijk maar wel compact. Zo kan zelfs met 10 LED's, een andere duty cycle (of Duty Factor; de verhouding van de aan-tijd tot de aan- en uittijd samen) dan 1/10 worden bereikt.

Deze klok stuurt het eigenlijke "looplicht" die de sturing voor elke LED bepaalt. Dit kan een eenvoudige 1-naar-10-decoder zijn.

Beide delen, klok en decoder, worden gereset door een zgn. "beginfasesturing", zie deel "koppeling".

Vermits de decoder een eenvoudige IC kan zijn, zullen aparte "drivers" nodig zijn voor elke LED, zeker als het om hoogvermogen Luxeons gaat. Deze moeten dus meerdere Ampères aankunnen.

De maximale stroom die door elke oplichtende LED wordt gestuurd moet instelbaar zijn over een redelijk breed bereik. Om de hogerbeschreven instelbare aan/uittijd van de klok te

kunnen benutten via een eenvoudige decoder, kan de klok best als sturing voor de maximumstroominstelling worden gebruikt, zie laagniveaubeschrijving. Vandaar de pijl van klok naar stroominstelling. Deze pijl werd pas duidelijk bij de laagniveaubeschrijving.

b) *externe sturing*

Via de optische koppeling wordt de motorsnelheid bijgeregeld. Nochtans is het wenselijk dat een regime wordt bereikt – in de zin dat geen sturing optreedt - indien de LED's juist gepositioneerd zijn door een juiste motorsnelheid. Vandaar dat een geheugenelement bruikbaar zal zijn. Owv de eenvoudige realisatie, zal een analoog ontwerp worden verkozen. Nochtans zal blijken dat dit niet ver van een digitale realisatie staat.

Ook een beginwaarde voor de ventilatorsnelheid is wenselijk.

c) *koppeling tussen de 2 delen*

Zoals te zien in het hoogniveau blokschema, zijn er 2 *koppelingen* tussen het externe circuit rechts, en het circuit op het wiel links.

Zoals eerder vermeld, verdienen optische koppelingen de voorkeur; aldus zijn maar 2 sleepringen – zonder commutatie – nodig, om het vermogen over te brengen.

De *bovenste koppeling*, grijs in het blokschema, ontstaat door de LED's zelf, waardoor deze koppeling in het zichtbare licht moet gebeuren en daarom omgevingslicht en strooilicht moeten beperkt worden. De regeling kan dus werken bij elke LED, waardoor de regeling snel naar evenwicht kan gaan.

Het is de bedoeling dat de DC motor (fan) de onafhankelijk ingestelde kloksnelheid volgt.

In het ontwerp werd, owv compactheid ed, slechts gebruik gemaakt van 2 *sensoren*, met beperkt oppervlak.

De ene sensor geeft een signaal als een LED “te vroeg oplicht”– ttz. op de verkeerde plaats, te veel naar links bvb, dus de fan *draait te snel*.

De andere sensor geeft een signaal als een LED “te laat oplicht” – tzt. op de verkeerde plaats, te veel naar rechts bvb, dus de fan *draait te traag*.

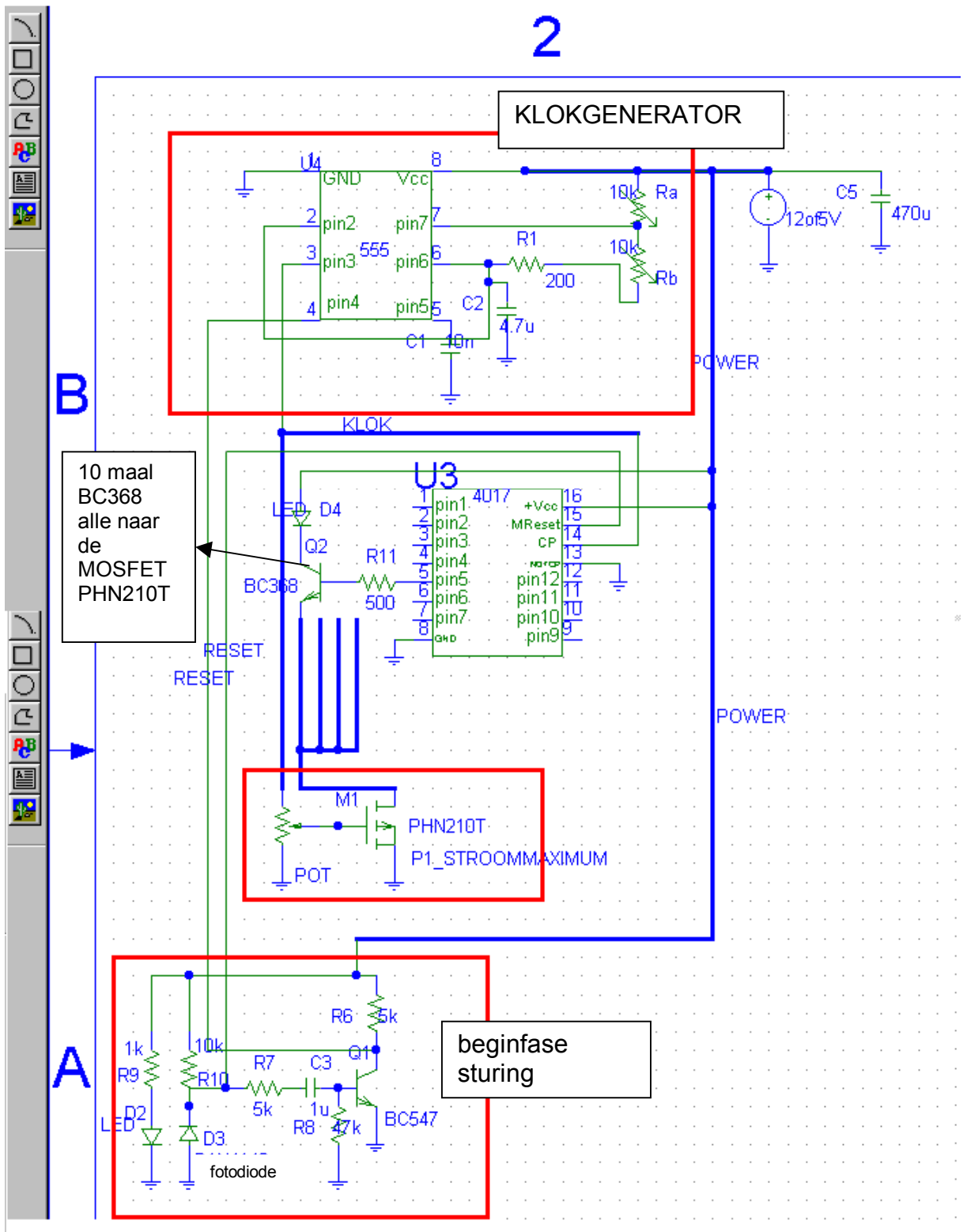
De gekozen sensoren zijn hier LDRs maar fotodiodes lijken even geschikt.

Bij verkeerde beginfase kan het zijn dat de snelheid van de fan wel overeenkomt met de kloksnelheid, maar dat de LED's telkens oplichten op een verkeerde plaats – de gewenste plaats is bovenaan.

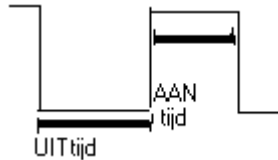
Om dit te vermijden werd de *onderste koppeling* ingevoerd; een lichtsluis (tzt LED-fotodiode combinatie waarin een lichtstraal wordt onderbroken door het passeren van een “object” bvb. een ondoorzichtig stuk kunststof). Deze sturing zorgt er dus voor dat, zelfs al is de snelheid van de fan volledig onovereenstemmend, na het passeren van het “object” door de lichtsluis, een voorafgedefinieerde eerste LED van het wiel, steeds bovenaan, op de gewenste plaats, oplicht. Dit heeft als gunstig gevolg dat op zijn minst enkele volgende LED's binnen het interval liggen van de sensoren. Aldus treedt steeds sturing op van de fansnelheid, indien nodig.

VI.2.3.2 Laagniveau.

a) *circuit op het wiel*



Figuur VI-9 circuit op het wiel.



Figuur VI-10 kloksignaal.

(de “Blokken” hieronder verwijzen naar het hoogniveau schema.)

Blok 1: Klokgenerator: De klok wordt gegenereerd door de schakeling rond het 555- timer IC.

Met de potmeters Ra en Rb, elk maximum 10kOhm, volstaat een elco van 4.7uF om de gewenste frequenties te genereren. Zelfs zonder aanduiding op de “standaard” potmeters, kan een ruwe regeling van aan/uittijd worden bekomen – dit blijkt na gedetailleerde uitmeting met de scoop.

De ingestelde frequentie is in ruime mate onafhankelijk van de voedingsspanning.

Via de datasheet van de 555 van Philips of National Semiconductor [wielcomponenten] kan worden nagegaan dat

$$aantijd _ t_1 = 0.7(R_a + R_b)C$$

$$uittijd _ t_2 = 0.7(R_b)C$$

Vermits C=4.7uF, kan via instelling van de Rb potmeter, eerst de gewenste uit-tijd worden ingesteld, en daarna de gewenste aan-tijd. Deze zijn niet onafhankelijk, maar voldoen wel en zijn compact in uitvoering.

Blok2: Maximumstroominstelling: De eenvoudigste maximumstroominstelling wordt bekomen via regeling van de gatespanning van een vermogenMOSFET, waarop de emitters van alle “drivers” (BC368) worden aangesloten, zie schema Figuur VI-9 circuit op het wiel.. Opdat tijdens de uit-tijd van de klok, geen LED oplicht moet dit een N-kanaals verrijkingsFET zijn. PHN210T voldoet daaraan, ook oww een relatief stabiele stroominstelling met eenvoudige spanningsdeler. Zie [wielcomponenten].

Er dient nochtans opgemerkt dat, zeker bij Luxeons, voldoende koeling nodig is (KOELPLAAT), ook opdat de ingestelde stroomwaarde via de gatespanning, behouden blijft. Immers wordt, bij een klok-uit-tijd ca. 0ms, een quasi continue stroom van orde 2A

gevoerd. Met een spanningsval van enkele volt over deze MOSFET, leidt dit al gauw tot ettelijke Watts dissipatie. Een oplossing tot reduceren van de warmteontwikkeling – zodat ook een kleine koelplaat volstaat – is het reduceren van de voedingsspanning over het circuit, zodat slechts de minimaal nodige spanning staat over de FET.

Blok3: Drivers: De drivers zijn BC368 transistoren. Deze blijken na opzoekingswerk op het web, nog net te voldoen aan de (vrij strenge) voorwaarden, zoals minimale stroomversterking factor 80, maximaal toegelaten collectorstroom >1A, gedissipeerd vermogen >500 mW, compacte behuizing zoals TO-92.

Idealer zou een verrijking (enhancement) MOSFET zijn – een aantal moeilijk te vervullen voorwaarden zoals stroomversterking en maximale stroom, worden dan veel eenvoudiger opgelost. Echter moet dan veelal overgegaan worden naar een SMD realisatie, en kunnen ESD problemen de kop op steken.

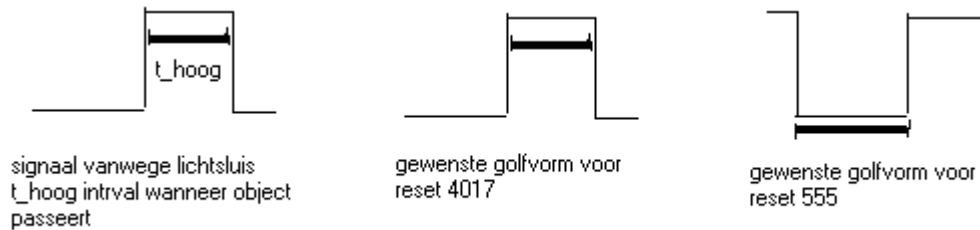
De bedoeling is dat deze (drivers)transistoren steeds in verzadiging staan indien ze stroom voeren, zodat ze laagvermogen versies kunnen zijn. Het 1-naar-10 decoder IC 4017, kan maximaal 10 mA per uitgang leveren, zie [wielcomponenten] “datasheet 4017 en family specifications HEF family Philips”.

Uit deze 2 vereisten, verzadiging en IC stroom, volgt de voorwaarde voor de minimale stroomversterking van de transistoren.

Hieruit volgt ook de waarde van de basisweerstand voor de BC368, ca 400 Ohm.

Blok4: 4017, 1-naar-10 decoder: staat beschreven in de datasheet in [wielcomponenten].

Blok5: Beginfasesturing: De zgn. beginfasesturing (zie hoogniveau, koppeling) werd hier gerealiseerd door een lichtsluis. Bij het passeren van het object door de lichtsluis treedt volgende, meest linkse golfvorm op:



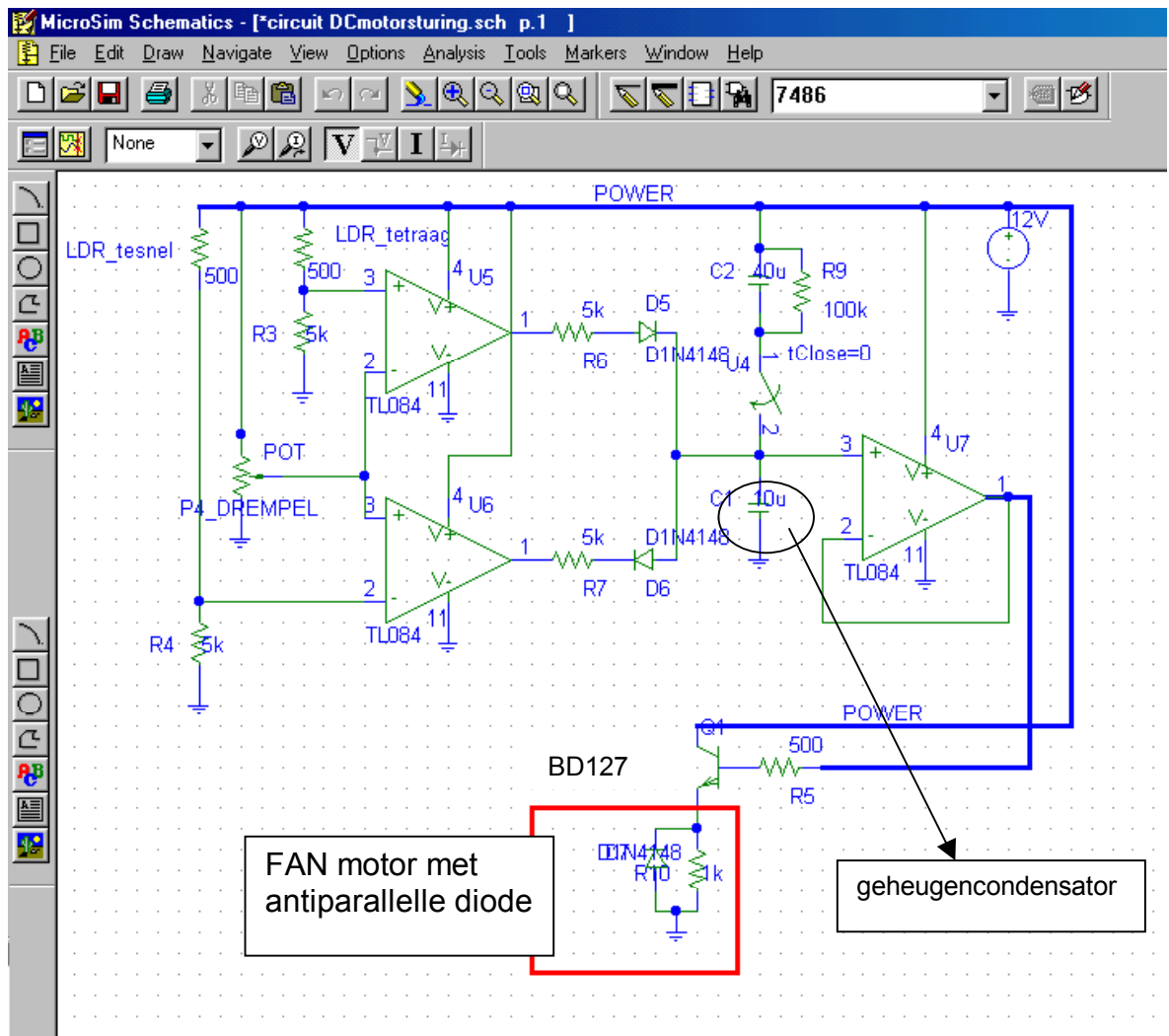
Figuur VI-11 resetsignalen.

Dit is wegens de grote ingangsimpedantie van de 4017 resetpin, en de spanningsniveaus, reeds voldoende om de reset van de 4017 aan te sturen. Voor de 555 is echter een invertor nodig om de gewenste golfvorm te bekomen. Daartoe wordt een transistor BC547 in GE (Gemeenschappelijke Emitter) gebruikt, zie schema. Zo wordt, zij het minder steil, de gewenste golfvorm voor de 555 bekomen, zijnde een negatieve impuls.

Via het RC netwerk R10, R7 en C3 met tijdconstante $(R10+R7)*C3$ kan de breedte van de puls bepaald worden, grosso modo, en een geschikte ontlaadtijd via $(R7+R8)*C3$.

De ontlaadtijd moet zo worden gekozen dat C3 ontladen is na een omwenteling. Bij een frequentie van 50Hz wil dit zeggen ca. 20ms, vandaar de keuze van R8. Een gedeeltelijk ontladen condensator is echter voldoende zolang de pulsbreedte voldoende is voor de vereisten van het 555IC.

b) *externe sturing*



Figuur VI-12 schema externe sturing.

De hier gebruikte motorsturing gebruikt een *condensator als geheugenelement*, en voert lading aan of af naargelang de LDR die wordt belicht, zie hoogniveau beschrijving “koppeling”.

De lek van een eenvoudige elco (elektrolytische condensator), aan een opamp met hoge ingangsimpedantie – zoals TL084 – geschakeld als spanningsvolger, blijkt bij nameting beperkt; nagenoeg geen lek over een half uur. De spanning daalt met minder dan 50mV, wat over zo’n tijdsinterval meer dan voldoende is voor de beoogde toepassing.

De opamps die de spanning van de LDRs vergelijken met een instelbare drempelwaarde (P4), zijn eveneens TL084 alhoewel een comparator kan volstaan. De instelbare drempelwaarde (P4) laat toe trage variatie van omgevingslicht en strooilicht te elimineren, in zekere mate.

Via de keuze van de weerstanden R6 en R7 kan de dynamica van het regelsysteem bijgesteld worden. Via een ladingsbalans en een regimesnelheid overeenstemmend met ca. 50 Hz voor de klok, kan worden geschat dat $R6=R7=45k\Omega$ voldoende snelle en voldoende nauwkeurige regeling geeft. Dit blijkt te kloppen na realisatie.

Het hier gebruikte ontwerp heeft gemiddeld gezien een “trade-off” nauwkeurigheid-snelheid van de regeling.

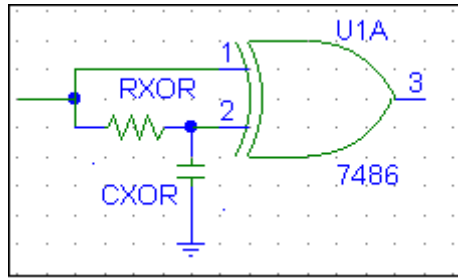
Via een drukschakelaar en condensator met ontladweerstand kan een beginlading op de “geheugen-condensator” worden gebracht, met als gevolg een beginsnelheid – nochtans zal blijken dat door de wrijving en asymmetrie de motor een duwtje nodig heeft om op gang te komen.

De “driver” van de motor zelf volstaat met een als spanningsvolger geschakelde (of Gemeenschappelijke Collector) BD127; de motorstroom blijkt bij belasting en 5V, beperkt tot maximaal 250mA, waardoor een BD127 met stroomversterking >20 voldoende is. De opamp TL084 kan immers maximaal ca. 30mA continu leveren.

Om problemen met de zelfinductie van de fan te beperken wordt een anti-parallelle diode voorzien.

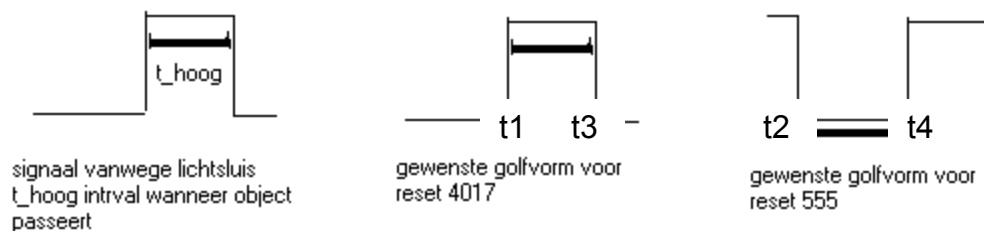
VI.2.4 Opmerkingen over de gebruikte schakelingen:

- De hoeveelheid aan/afgevoerde lading van de “geheugencondensator” bij de motorsturing is afhankelijk van de snelheid van de fan. Indien deze trager draait zal de LDR langer worden belicht en dus meer aan/afgevoerde lading, met als gevolg een afname van de nauwkeurigheid waarmee de snelheid wordt geregeld. Alhoewel deze regeling voldoende gaf, kan dit worden vermeden met een extra schakeling die de aan/afgevoerde lading onafhankelijk van de motorsnelheid maakt. Dit kan met een omgebouwde “slope detector” of “flankdetector”.



Figuur VI-13 flankdetector.

- ook de beginfasesturing met de lichtsluis, samen met de sensoren vergen enige theoretische behandeling. De 555 reset en de 4017 reset, zijn telkens LEVEL gestuurd, in de zin dat zolang de resetpin van de 555 laagstaat, de “dischargepin” aan blijft en dus de klok stopt. Zie datasheet van het 555 IC [wielcomponenten]. De breedte van het object dat door de lichtsluis passeert, bepaalt nu het verband tussen de 2 reset-ogenblikken zegge t_1 en t_2 , nl. het ogenblik waarop de 4017 reset hooggaat en t_2 het ogenblik waarop de 555 reset laaggaat, zie Figuur VI-14.



Figuur VI-14 resetsignalen ingezoomd.

Benaderend kan men stellen dat deze samenvallen, wegens een ontladen condensator C3. Bovendien bepaalt de breedte van het object ook t_3 en t_4 , het ogenblik waarop de reset van 4017 en 555 resp, weer naar hun oorspronkelijke toestand gaan. Benaderend kan men stellen dat ook deze samenvallen. Vanaf t_3 moet dan een “uit”tijd worden gewacht – dit volgt uit de klokschakeling, zie datasheet van het 555 IC - vooraleer de 4017 de volgende LED (LED2) aanstuurt. Bij een bepaalde snelheid kan de uit-tijd alzo de positie van de volgende oplichtende LED bepalen. Voor nauwkeurige sturing moet het gebruikte circuit worden aangepast.

VI.3 Uitmeting van de levensduur versus “oversturing” bij LED’s en Luxeons.

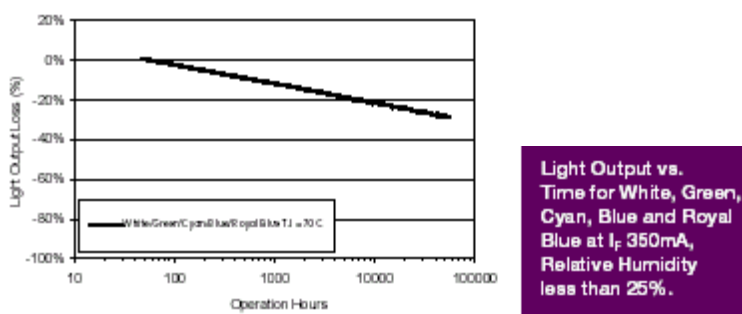
VI.3.1 Doelstelling en verloop.

Het “kleurenwiel” steunt op korte oversturing van LED’s, en dit met een bepaalde Duty Cycle.

Welke levensduur hangt samen met een bepaalde oversturing, bvb. 10x de nominale stroom, welke DF en welke aan-tijd horen daar bij? We definiëren de aan-tijd hier als de tijd dat de LED aanstaat, de uit-tijd is dan de tijd dat de LED niet aanstaat; beide begrippen per “cyclus” beschouwd.

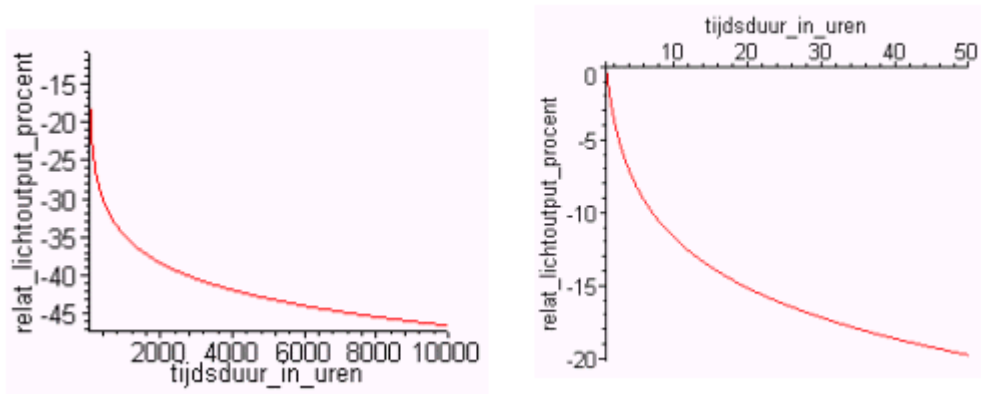
Indien we de Luxeon datasheets van Lumileds grondig bestuderen, merken we dat de elektrische stuurvoorwaarden en levensduur weinig nauwkeurig beschreven zijn, zie daartoe III.2.2.2 voor een beschrijving. Bovendien is de vraag op welke manier de grafieken (zie de betreffende paragraaf en onderstaande figuur) te interpreteren zijn.

Zoals vermeld op de datasheets zelf, werden sommige grafieken verkregen door extrapolatie van resultaten bij gelijkaardige componenten – andere LED’s zeg maar, de Luxeons zijn immers nog niet lang verkrijgbaar. Ook is er geen duidelijke vermelding van statistische spreiding op de grafieken, zoals deze bij levensduur en lichtoutput. Zie Figuur VI-15 uit [Lumiled] AB12.pdf.



Figuur VI-15 lichtoutput vs. levensduur bij een Luxeon.

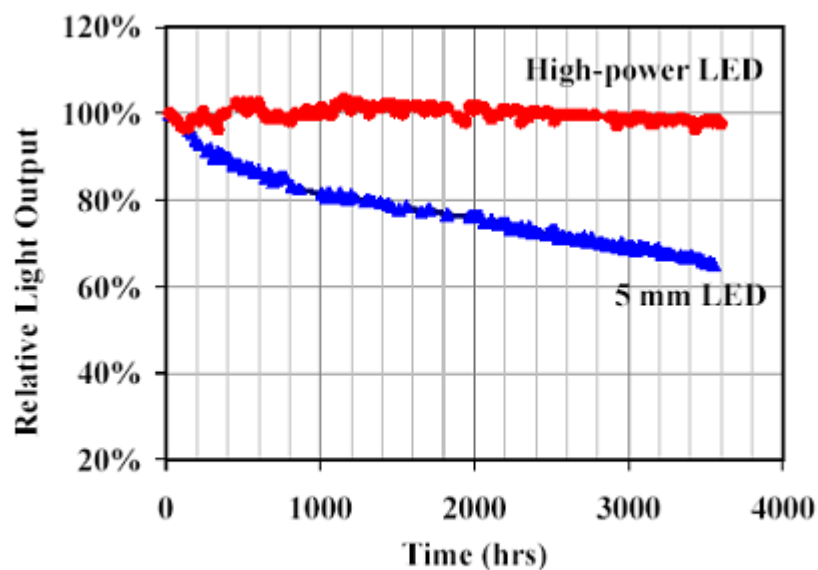
Deze figuur geeft op lineaire tijdschaal een logaritmisches dalend verloop:



Figuur VI-16 lineaire weergave van de degradatie van de lichtoutput.

In [Narend]

worden Luxeons en 5 mm LED's vergeleken qua levensduur bij bepaalde aansturing, zie onderstaande figuur. Het is zo'n grafiek die we wensen te meten, maar dan bij verschillende (gepulste) aansturingen.



Figuur VI-17 levensduur vs. relatieve lichtoutput voor 5mm LED en Luxeon.

Tijdens de thesis was er volop evolutie bij de “straffe LED’s”: de website van Lumiled veranderde regelmatig, om nieuwe producten aan te kondigen en nieuwe informatie beschikbaar te stellen.

Pas tegen het einde van de thesis konden dan toch Luxeon 3 LED's worden besteld – de maanden ervoor enkel vanuit Noord-Amerika.

Daarom werd eerst een werkwijze ontwikkeld en uitgetest op standaard “high brightness” groene 5mm LED's, die goedkoop zijn (0.20 € per LED) en makkelijk verkrijgbaar. Een serie- of productnummer was echter niet beschikbaar; de LED's blijven dus vrij onbekend en de tests daarop zijn dus louter om de werkwijze te ontwikkelen en uit te testen.

Tijdens de allerlaatste dagen van de thesis werden toch nog enkele korte tests gedaan op enkele Luxeon 3 emitters, nummer LXHL-PM09. Dit zijn 3 Watt Luxeons zonder koellichaam, Lambertiaans stralend, en het stralend oppervlak is ca. 1.5 mm bij 1.5 mm.

Zie zelfgemaakte fotos in III.2.2.2d).

Aldus zijn deze compact (ca. 1cm doormeter) en kunnen op het wiel worden gebruikt ipv de “gewone” LED's.

Bij het testen, apart, niet op het wiel, moet voldoende warmteafvoer worden voorzien. Er werd een koelplaat met bevestigingsmechanisme gerealiseerd om zo te kunnen testen bij oversturing met ca. 3A en meer. De testresultaten konden niet meer worden opgenomen in de thesis. Er is een aparte thesis uitgeschreven voor volgend academiejaar (2004-2005) die specifiek de oversturing van de LED's bestudeert.

VI.3.2 Werkwijze.

We gebruiken hetzelfde klokschema als dat van het wielcircuit, gebouwd rond het 555 IC, en passen dit aan.

We houden rekening met volgende voorwaarden:

- de maximum continue metingsduur is 2 dagen dus ca 50 uren. (DUUR)
- metingen moeten temperatuur en voedingspanning ongevoelig zijn, dus de fotodiode karakteristiek nachecken (PARAMETER ONAFHANKELIJK)
- we veronderstellen verder vochtigheidsgraad ea. voorwaarden constant. (PARAMETER ONAFHANKELIJK)
- er werd een email verstuurd voor uitgebreidere informatie maar Lumiled reageerde daar nog niet op. Enkel de datasheets zijn dus beschikbaar als richtwaarde (DATA)

- DF: vast op 1/10, anders wordt dit een te lange meting, en het kleurenwiel is zo uitgewerkt dat de DF ca. 1/10 is. (DF)
- metingen moeten reproduceerbaar zijn en iets vertellen over de “lichtoutput vs. tijd” bij verschillende oversturingen. (RESULTAAT)

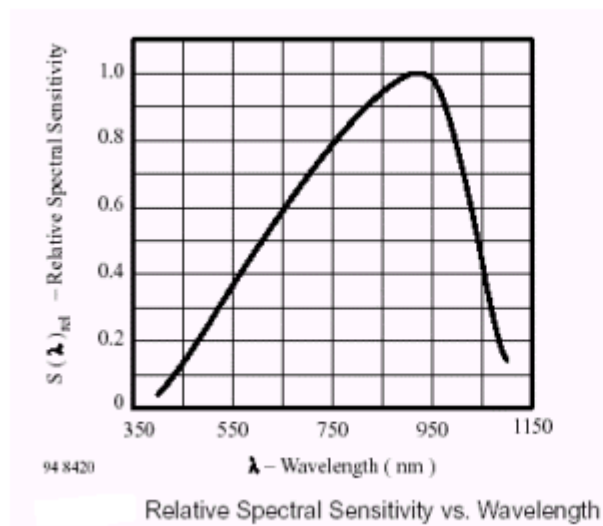
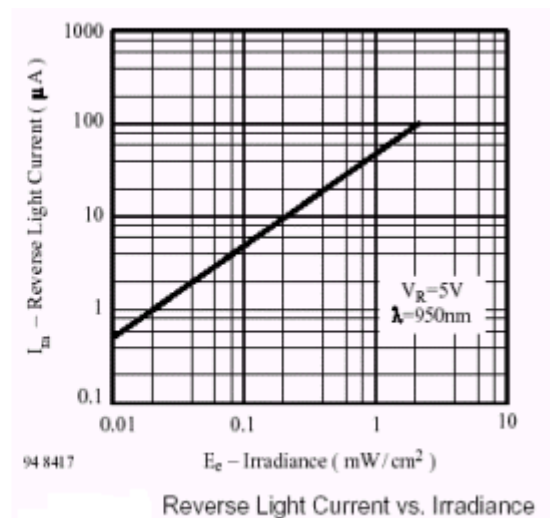
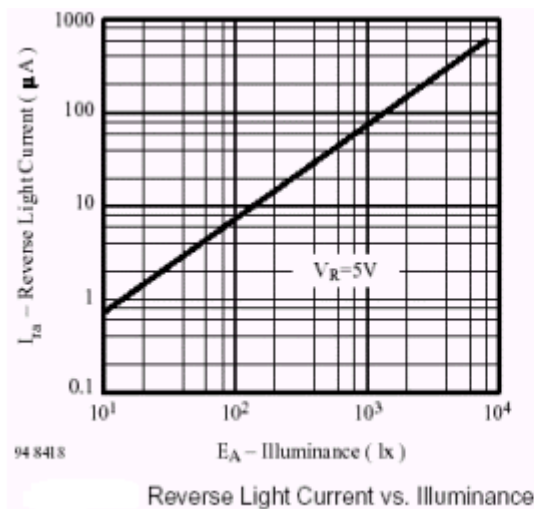
Zie in dat verband de bovenstaande figuur uit de datasheet, die het verloop van de lichtoutput met de tijd geeft, onder een specifieke (nominale) aansturing. Deze figuur is essentieel.

Daaruit blijkt dat reeds na 100 uur nominale werking, een afname met meer dan 10% te zien is. Dit legt een voorwaarde op aan de minimale meetnauwkeurigheid. We eisen dat een afname van de lichtoutput (verandering) met 10% nog te meten is. Zo kunnen we met een nauwkeuriger meting reeds een afname vaststellen na kortere tijd.

De volgende voorwaarden gelden bijgevolg voor de fotodiode:

- zowel Luxeon als gewone LED's kunnen testen; misschien verschillende fotodiode nodig.
- daglichtgevoelig vereist
- een gewone LED straalt ruw geschat tussen 40 millilumens bij 10 mA en 3.5 lumens bij hogere stromen uit, zie <http://www.gardasoft.co.uk/downloads/LEDLighting.pdf>, wat samen met de afmeting van de stralende LED een voorwaarde geeft voor de lichtgevoeligheid van de fotodiode.
- opdat voldoende uitmiddeling van een niet-uniforme straler bij meting van de totale lichtoutput, moet de fotodiode dichtbij de LED worden geplaatst en een groot oppervlak hebben
- fotodiode of fototransistor: ivm meetnauwkeurigheid en eenvoudigheid van de karakteristiek, liever een fotodiode.
- de eigendissipatie is gering; is OK bij fotodiode
- de sperspanning is liefst boven 12V, anders is de meting te onrobuust.

De gekozen fotodiode was uiteindelijk een BPW34, met een oppervlakte van 7.5mm²[BPW34], en onderstaande irradiantie- of illuminantie-response, 650nm op 60% relatieve gevoeligheid en 530nm (groene Luxeon) op 30% gevoeligheid enz...



Figuur VI-18 fotodiodekarakteristieken.

Volgens deze grafieken van de fotodiode, en bovenstaande ivm lichtoutput van Luxeons, moeten we een afname van de illuminantie met een 5tal procent, dit is na ca. 100 uur voor Luxeons, kunnen meten als afname in fotodiodesroom met een gelijk aantal procenten. Immers, als we de dubbellogaritmische schaal van de fotodiodesresponsie omzetten naar een dubbelineaire schaal bekomen we de volgende vergelijkingen:

de rechte in bovenstaande dubbellog grafiek:

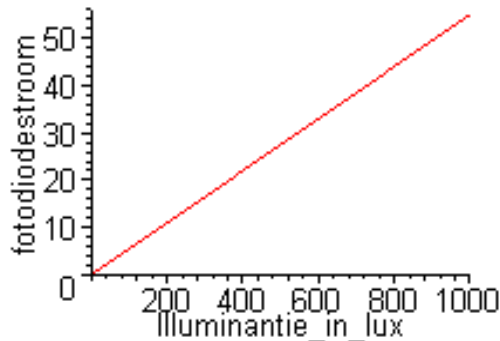
$$\log I_r = a \log E_a + b$$

met als waarde voor $a \sim 1$ en $b \sim -1.26$, zoals kan worden geschat uit de grafiek.

Bij het nemen van beide leden tot de macht 10 komt er:

$$I_r = E_a \cdot 10^b$$

dus weer een rechte (schaling eenheden weggelaten):



Figuur VI-19 lineair verloop fotodiodegevoeligheid.

Als we het verloop van de fotodiode stroom uitzetten ivf de tijd, krijgen we een idee over het verloop van de lichtoutput, zoals bovenstaande grafiek van Luxeons. Dan kunnen we zulke grafieken maken bij verschillende aansturingen – ie. oversturing met bepaalde DC enz.....

We veronderstellen dat het verloop van de lichtoutput van de Luxeon en van de respons van de fotodiode – zie grafieken, ook gelden bij onze aansturingen. Dit is bij een andere golflengte (groen licht, ca. 550 nm) en bij andere stroomsturing resp. belasting voor de LED's (gepulst ipv continue).

Voor de gewone LED's, waarop werd getest, blijkt uit onderstaande tabellen dat we een responsie hebben van ca. 2 uA. Dit geeft een idee waar we zitten in de grafiek van de fotodiodesresponsie.

Indien we nu heel sterk zouden oversturen, verwachten we dat de lichtoutput na enkele uren, sterk daalt met bvb. 30%. Dit betekent dat de fotodiode stroom zal dalen met vele procenten. Het is deze ruwe schatting die we zullen meten: indien bij een bepaalde oversturing (met randvoorwaarden) na 50 uren geen sterke lichtafname resp. fotodiode stroom afname optreedt, hebben we een eerste idee hoever we kunnen oversturen.

Verder onderzoek met verschillende aansturingen is nodig, maar valt, zoals gezegd, buiten dit thesiskader.

VI.3.3 Uitwerking.

- We oversturen één LED met een breed-instelbare stroomwaarde, bvb. nominale stroom tot 20x deze stroom. Instelling via een eenvoudige potmeter, zie schema.
- We houden de DF steeds op 1/10. Instelling via de klokgenerator, 2 potmeters.
- De aan-tijd van de LED kiezen we zoals een gemiddelde refresh rate van een scherm; een 15 ms dus.
- We meten de (totale) lichtoutput met de fotodiode, na 5 uur, na 10 uur, na 20 uur en na 40 uur gepulste oversturing van die LED, en meten dit bij nominale stroomsturing van de LED om also een eenvoudige, “trage” maar nauwkeurige DC meting te kunnen uitvoeren.
- Bij meten van de totale lichtoutput plaatsen we de LED vlak tegen de fotodiode – zoveel mogelijk krasjes vermijdend op de fotodiode. Aldus wordt het grootste deel van het LEDlicht opgevangen. Nochtans moeten we elke meting een 2 tot 5 tal keer doen, waarbij telkens de betreffende LED heel lichtjes anders wordt gepositioneerd – de meting blijkt daar gevoelig aan. Zo kunnen we de resultaten reproduceren, zie onderstaande tabel – en slechte metingen elimineren
- We gebruiken 3 referentieLED’s - deze sturen we niet aan, blijven hun beginwaarden behouden - om invloeden van temperatuur en voedingsspanning, maar ook meetfouten, te minimaliseren. De 4 LED’s nummeren we zodat geen verwarring mogelijk is. De referentieLED’s blijken een grote “statistische” spreiding qua lichtoutput te hebben tov elkaar; dit is op zich geen bezwaar, zolang die spreiding maar bekend is. We beschouwen bij elke meting dus de verhouding van de fotostroom tgv van de “test”LED tov de andere 3. Als deze verhouding sterk wijzigt, besluiten we dat er een verandering opgetreden is, een sterke veroudering. Zie onderstaande tabel met de responsie van de fotodiode.

LEDnummer	fotostroom (uA) na 30 sec	fotostroom (uA) na 1 minuut en “herschikking”
2 (testLED)	1.447	1.452
1	1.100	1.083
3	2.02	2.15
4	1.258	1.220

Tabel 2 LEDmetingen.

Deze fotostromen waren niet direct stabiel, wellicht door heel minieme opwarming van de LED's. Daarom werd 30 sec resp. 1 minuut gewacht bij elke meting om ietwat stabiel resultaat te hebben. Uit deze tabel blijkt alvast dat binnen 5% nauwkeurigheid kan worden gemeten, toch per LED.

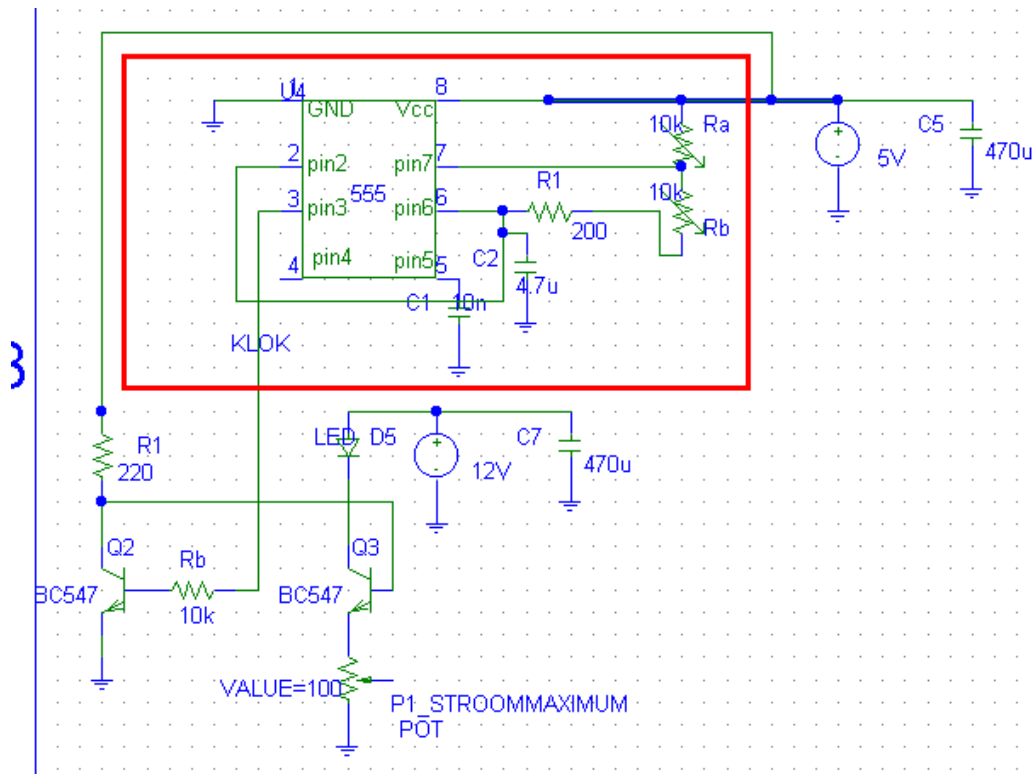
- De volledige schakeling stoppen we tijdens de meting in een schoendoos om invloed van stoorlicht en daglicht uit te sluiten; daarom wordt met een klein breadboard gewerkt.

De test wijst uit: 0.001 of 0.000 uA als fotostroom in de schoendoos

We kunnen dit als “een volledig donkere doos” beschouwen, zonder stoorlicht.

- De gebruikte multimeter die de fotodiode stroom meet is een Philips PM2521 en kan tot ca. 10 nA meten. Via de referentieLED's maakt het niet zoveel uit of dit een juiste absolute waarde is.

Het volgende circuit werd uiteindelijk gebruikt voor de LED testen:



Figuur VI-20 LEDtest circuit.

Tegenover het circuit op het wiel waren volgende aanpassingen nodig:

- de gewenste uit-tijd is nu ca. 10 maal de gewenste aan-tijd. Met R_a en R_b is zoals in de laagniveau-beschrijving van het wiel, enkel een aan-tijd mogelijk waarvoor $t_{aan} \geq t_{uit}$. Aldus is een extra inverterende trap nodig en is Q2 volgens GE (gemeenschappelijke emitter) geschakeld.
- om een (KLOK-) aan-tijd van ca. 150 ms en een uit-tijd van 15 ms te bekommen, en dus na inverteren een (LED-) aan-tijd van ca. 15 ms en een uit-tijd van 150 ms, volgt uit de formules

$$aantijd_t_1 = 0.7(R_a + R_b)C$$

$$uittijd_t_2 = 0.7(R_b)C$$

een R_a van 193 kOhm en een R_b van 21.5 kOhm. Alhoewel enkel met deze waarden wordt getest, wordt dit ingesteld met potmeters.

- de gewenste stroominstelling voor “gewone” LED’s is ca. 200 mA maximaal, vandaar een potmeter van maximaal 100 Ohm en voedingsspanningen van 5 en 12 V – immers staan enkele Volts over de LED.
- de schakeling werd enkel gebouwd op breadboard en nagemeten met de scoop.

VI.3.4 Resultaten.

De groene “onbekende” LED’s geven als resultaat volgende tabellen aan 186mA gepulst, een DF van 10% en t-aan = 15ms:

Na 3 uur

LEDnummer	fotostroom (uA) na 30 sec	fotostroom (uA) na 1 minuut en “herschikking”
2 (testLED)	1.277	1.356
1	1.134	1.130
3	2.18	2.16
4	1.240	1.248

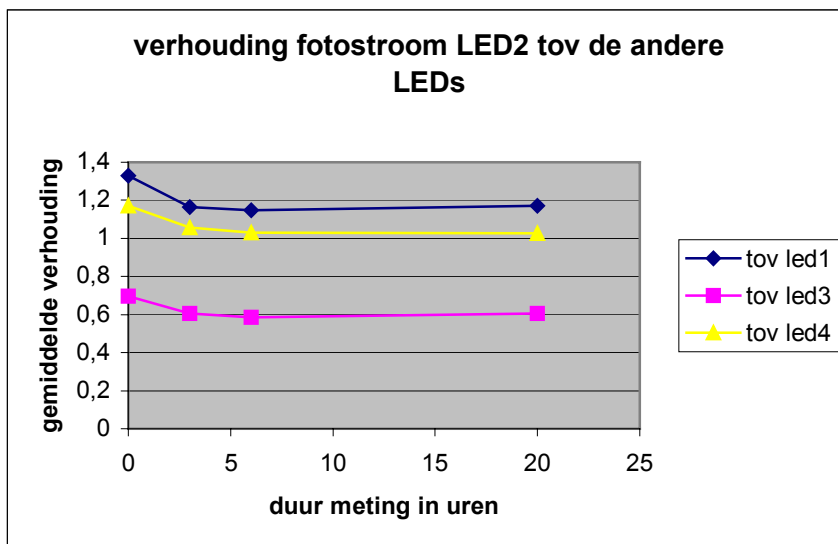
Na 3+3=6uur

LEDnummer	fotostroom (uA) na 30 sec	fotostroom (uA) na 1 minuut en “herschikking”
2 (testLED)	1.305	-
1	1.148	1.124
3	2.230	-
4	1.266	-

Na 6+13=ca.20 uur aan

LEDnummer	fotostroom (uA) na 30 sec	fotostroom (uA) na 1 minuut en “herschikking”
2 (testLED)	1.330	1.340
1	1.148	1.130
3	2.200	2.200
4	1.300	-

Tabel 3 LEDmetingen na aantal uren.



Figuur VI-21 verloop relatieve lichtoutput met gepulste aansturing.

Deze grafiek geeft de grafische voorstelling van de uitgemiddelde meetresultaten.

De meetnauwkeurigheid is zoals verwacht niet zeer goed, vermits tijdens de laatste periode zelfs een lichte stijging in de verhouding kan worden waargenomen, maar wel voldoende om enkele besluiten te trekken.

VI.3.5 Tussenbesluiten.

De onbekende groene LED's gepulst aan 186 mA, ca. een factor 9 overstuurd met bijna nominaal gemiddeld vermogen door een aangepaste DF van 10%, blijven na 20 uren met een relatief constante lichtoutput stralen. De eerste uren was er een daling van een 20% waar te nemen. De LED lijkt deze (sterke) oversturing dus goed te verdragen, en deze oversturing kan dus gebruikt worden op een LEDwiel.

Dit is slechts een ruw besluit, waarop veel diepgaander onderzoek nodig is, zoals eerder vermeld. Het gevonden verloop komt overeen met het verloop voorspeld door andere grafieken, zie VI.3.1 "doelstelling", Figuur VI-16 en het lineair verloop daarvan, en zie

http://www.ibsg-st-petersburg.com/LEDsGen/2led_pul.htm.

Of dit besluit eenvoudig zal kunnen worden doorgetrokken naar Luxeons is maar de vraag. We denken bvb. aan de hoge stroomdichtheden die optreden in de Luxeon. Als een Luxeon 3 nominaal met 700mA wordt aangestuurd, en dan 9 maal overstuurd wordt zoals de gewone

LED's, vereist dit een stroom van meer dan 6 A. Is een gewone Luxeon daarop voorzien, meer bepaald de "bond wires"?

De methode lijkt goed om toe te passen op Luxeons, alhoewel meer nauwkeurigheid steeds welkom is. Dit kan door bvb. een constante omgevingstemperatuur te waarborgen (soort broedstoof) en de voeding te stabiliseren – nu werd een computervoeding met eenvoudige weerstand als stroominstelling gebruikt, met uitmeting van de stroom met een multimeter. Een nauwkeurige stroominstelling is gewenst. Een vaste positionering van de LED en fotodiode tov elkaar is noodzakelijk voor nauwkeurige metingen en werd op het einde van de thesis uitgewerkt voor Luxeons.

Er is dus verdere studie nodig op Luxeons. Om een goed inzicht te krijgen van wat kan verwacht worden van de levensduur bij bepaalde aansturing, zal ook fundamenteel onderzoek nodig zijn. Verschillende artikels beschrijven de degradatie- of verouderingsmechanismen van LED's, zoals <http://www.ure.cas.cz/dpt170/zdanky/deggrad.pdf> [degrad]. Dit moet verder onderzocht worden voor hoogvermogen LED's, in casu Luxeons. De nieuw uitgeschreven thesis voor volgend academiejaar, die specifiek het oversturen van LED's bestudeert, kan een antwoord bieden op vele vragen.

VII Besluiten.

De ruimtelijke spreiding van LED's gebaseerd op een bestaand lichtpatroon om tot een uniforme rechthoek te komen, blijkt niet mogelijk. Nochtans tonen de eerste foto's dat het uniformiteitsprobleem bij LED's niet zo groot is als bij bepaalde types gasontladingslampen.

Er werd een model gerealiseerd van een "LEDwiel". Dit model laat toe het idee te illustreren en verder te ontwikkelen. Als dit verder ontwikkeld is, en Luxeons kunnen gepulst bvb. 5 maal meer licht genereren tov nominale aansturing, kan men een redelijke lichtoutput halen met 5W Luxeons nl. meer dan 50 lumen. Projectie op oppervlakken ter grootte van A4 worden dan voldoende helder voor niet al te sterk verlichte ruimten.

De hoogvermogenLED's hebben dus een veelbelovende toekomst.

VIII Bronvermelding en referenties.

Opmerking over het lezen van bestanden: om “pdf files” te bekijken kunt u het programma Acrobat Reader van [Adobe](#) gebruiken.

[Archenergy]

PIER Lighting Research Program, California Energy Commission, LED Evaluation Final Report, Deliverable 2.3.1b, *March 26, 2003* te vinden op http://www.archenergy.com/lrp/advlight_tech/deliverable_2.3.1b_LED_evaluation_final_report.pdf

[BPW34]

“81521.pdf”, datasheet bij de fotodiode BPW34, te vinden op <http://www.vishay.com/>

[degrad]

Degradation of commercial high-brightness GaP:N green light emitting diodes, K. Zdansky, J. Zavadil, and D. Nohavica, Institute of Radio Engineering & Electronics AV CR, Chaberska 57, 18251 Prague 8, Czech Republic en S.Kugler, Siemens AG, Regensburg, Germany; te vinden op <http://www.ure.cas.cz/dpt170/zdansky/degrad.pdf>

[fysica III]

Algemene Natuurkunde, Elektromagnetisme Deel III, Prof. Dr. W. Wieme, editie 1999.

[HighPowerLED_Illuminators]

“IDW02-HighPowerLED_Illuminators_for_data_and_video_projectors.pdf” te vinden op www.gerardharbers.com onder “publications”.

[H. Kaneko] H. Kaneko, SID 2002 Digest, 55.3, p.1418 tem 1421.

[Liteon]

“LTL2T3TGK6.pdf”, Liteon datasheet van een groene 5mm LED, te vinden op www.liteon.com

[Lumiled]

“DS25.pdf”, “DS34.pdf”, “DS40.pdf”, “DS45.pdf”, en “AB12.pdf”, Luxeon datasheets en application notes te vinden naast vele andere datasheets op www.lumiled.com

[MaxBart]

Seminar M-11, “Projection Displays”, B. Maximus, Barco Projection Systems, Kuurne, Belgium.

[Narend]

Narendran, N. and J. D. Bullough. 2001. Light emitting diodes as light sources. 9th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, Ithaca,

NY, August 12-16. Gebruikte figuur en aanvullende informatie te vinden op [Archenergy].

[optica I]

“syllabus Opto-electronica I” bij de gelijknamige cursus gedoceerd aan de Ugent, prof. R. Baets, editie 2001-2002

[optoweb]

<http://www.intec.ugent.be/courses/opto/> zowel optica I als optica II in slide-vorm, hier gebruikt voor de theorie van optica II.

[SID BA PAOLINI]

“SID-BA-Paolini.PDF”, een overzicht in slide-vorm over het toepassen van LED’s in projectoren, te vinden op www.lumiled.com onder “technical presentations”.

[vistech]

“cursus visualisatietechnologie”, prof. de Visschere, editie 2001-2002, 186 blzn.

Een elektronische versie is te vinden op <http://www.elis.rug.ac.be/~pdv/VisuT/index.html>

[wielcomponenten]

“BC368.pdf” te vinden op <http://www.fairchildsemi.com> onder “technical information”.

“PHN210T.pdf”, “HEF4017.pdf” en “NE_SA_SE555_C_2.pdf” te vinden op <http://www.semiconductors.philips.com/>

“LM555.pdf” te vinden op <http://www.national.com/>

“TL072.pdf” te vinden op <http://www.st.com/>

[Zemax]

“ZEMAX_Manual_2004-05-03.exe”, pdf versie van de Zemax Manual bij het programma Zemax, versie 3 mei 2004, te vinden op www.zemax.com onder “updates”.

IX Figuren.

Figuur II-1 lichtexitantie.	4
Figuur II-2 lichtsterkte.	4
Figuur II-3 luminantie.	5
Figuur II-4 belichtingssterkte.	5
Figuur II-5 Lambertiaanse straler.	6
Figuur II-6 spectrale gevoeligheid van het oog.	7
Figuur II-7 luminantie ifv aantal lumen en schermgrootte.	9
Figuur II-8 telecentriciteit en “chief rays”.	10
Figuur II-9 etendue.	11
Figuur II-10 etendue vs. collectieefficiëntie.	12
Figuur III-1 projector.	14
Figuur III-2 relatieve lichtoutput vs. junctie temperatuur.	18
Figuur III-3 Lambertiaans stralingspatroon met lens.	19
Figuur III-4 doorsnede en microscoopfoto van een Luxeon.	20
Figuur III-5 rechthoekig stralend 2D oppervlak.	20
Figuur III-6 Luxeon elektrische maximumwaarden.	22
Figuur III-7 Luxeon III maximumwaarden.	22
Figuur III-8 voorstelling gasontladingslamp.	25
Figuur III-9 integrator.	26
Figuur III-10 retroprojectie en frontprojectie.	29
Figuur IV-1 idee diagram.	31
Figuur IV-2 LEDwiel.	33
Figuur IV-3 ruimtelijke spreiding van LED's.	34
Figuur V-1 spectrum van Luxeons.	36
Figuur V-2: 3D layout projector met aanduiding van het patroon.	37
Figuur V-3: het volledige lichtpatroon.	38
Figuur V-4 test in de SC mode.	39
Figuur V-5 adhoc opstelling.	39
Figuur V-6 beeld van de belichting in SC mode.	40
Figuur V-7 het middelste punt van het patroon. Links op lineaire schaal in zgn. “false color”, rechts op logaritmische schaal (log-5).	41
Figuur V-8 enkel het middelste punt stralend in de 3D layout.	41
Figuur V-9 slide opstelling.	42
Figuur V-10 3D layout projector met aanduiding van het patroon.	43
Figuur V-11 het volledige lichtpatroon.	44
Figuur V-12 stralengang in een buisintegrator.	44
Figuur V-13 enkele stralen in de 3D layout.	46
Figuur V-14 sinc ² intensiteitsverdeling.	47
Figuur VI-1 illustratief, het LEDwiel.	50
Figuur VI-2 lichtoutput vs. efficiëntie voor Luxeon III.	51
Figuur VI-3 zijaanzicht LEDwiel.	54
Figuur VI-4 diagonaal vooraanzicht LEDwiel.	54
Figuur VI-5 feedback tussen de verschillende delen.	56
Figuur VI-6 algemene sturing.	57
Figuur VI-7 alternatieve sturing.	57
Figuur VI-8 algemeen blokschema.	61

Figuur VI-9 circuit op het wiel.	64
Figuur VI-10 kloksignaal.	65
Figuur VI-11 resetsignalen.	67
Figuur VI-12 schema externe sturing.	68
Figuur VI-13 flankdetector.	70
Figuur VI-14 resetsignalen ingezoomd.	70
Figuur VI-15 lichtoutput vs. levensduur bij een Luxeon.	71
Figuur VI-16 lineaire weergave van de degradatie van de lichtoutput.	72
Figuur VI-17 levensduur vs. relatieve lichtoutput voor 5mm LED en Luxeon.	72
Figuur VI-18 fotodiodekarakteristieken.	75
Figuur VI-19 lineair verloop fotodiodegevoeligheid.	76
Figuur VI-20 LEDtest circuit.	79
Figuur VI-21 verloop relatieve lichtoutput met gepulste aansturing.	81