

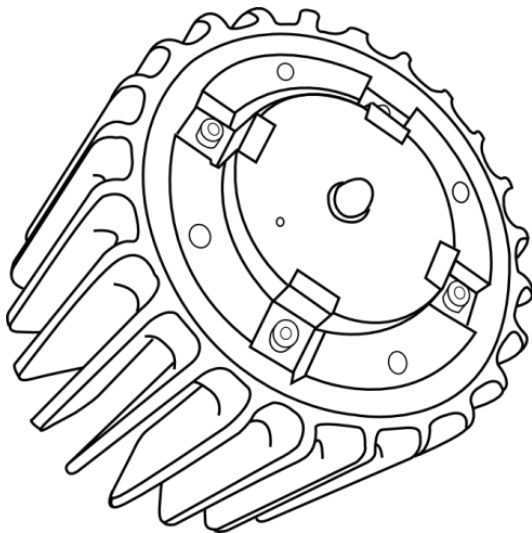
Erasmushogeschool – Departement RITS Brussel

3<sup>E</sup> BACHELOR PODIUMTECHNIKEN

# LIGHT EMITTING PLASMA

Kan LEP de huidige lichtbronnen in theater vervangen?

Jasper Bogaert



2012-13

# INHOUDSOPGAVE

1.	Dankwoord .....	c
1.1	Sponsors.....	3
2.	Inleiding.....	1
3.	Geschiedenis.....	2
3.1	Nikola Tesla .....	2
3.2	Fusion Lighting .....	5
3.2.1	Lightdrive™ .....	6
3.2.2	ByteLight™ .....	7
3.3	Elektrodeloze- of inductielampen.....	8
3.4	Luxim.....	9
3.4.1	LEP/LiFi .....	9
4.	Onderdelen en werking LEP .....	10
4.1	Onderdelen .....	10
4.1.1	Emitter.....	10
4.1.2	Voeding.....	10
4.1.3	RF Driver .....	10
4.1.4	RF Coax kabel.....	11
4.2	Werking.....	12
4.2.1	Brandstand .....	12
4.2.2	Principe lichtopwekking .....	13
4.2.3	Dimmogelijkheid.....	14
4.2.4	Sturen van de emitter.....	15
4.2.5	Re-strike.....	16
4.2.6	Elektrische voorziening.....	16
4.2.7	LEP ≠ LED .....	16
4.2.8	LEP versus andere elektrodeloze lampen .....	17
5.	Veiligheid.....	17
5.1	EMC, EMI en RFI of nadelen RF verlichting.....	17
5.2	Temperatuur .....	19
6.	Slijtage .....	19
6.1	Theoretische levensduur .....	19
6.2	Vervanging emitter puck.....	20
7.	Meting van de karakteristieken.....	20

7.1	Eigen metingen .....	20
7.1.1	Temperatuurmeting .....	20
7.2	Metingen in de VUB .....	23
7.2.1	Kleurweergave .....	23
7.2.2	Wet van Lambert .....	29
7.2.3	Emissie patroon .....	30
7.2.4	Absoluut vermogen .....	31
7.2.5	Verbruik/ Efficiëntie .....	31
8.	Conversie naar LEP .....	32
8.1	I.v.m. ontwerp .....	32
8.2	I.v.m. constructie .....	32
8.3	Fresnel spot .....	32
8.4	Profielspot .....	32
8.4.1	Optische bank .....	33
9.	In de praktijk .....	33
9.1	Handelsbeurs Concertzaal .....	33
9.2	Hive Lighting .....	34
9.3	Robe .....	35
10.	ModulLEP .....	36
11.	Conclusie .....	37
12.	Bibliografie .....	38
12.1	Documenten .....	38
12.2	Internet .....	38
12.3	Figuren .....	40
13.	Bijlagen .....	41
13.1	Metingen VUB .....	41
13.1.1	Extra foto's .....	41
13.1.2	Spectrumanalyse .....	43
13.1.3	Witpunten gedimde LEP .....	45
13.1.4	Goniometrische radiometer .....	46
13.2	Foto's Handelsbeurs Concertzaal .....	54

# 1. DANKWOORD

Graag wil ik iedereen bedanken die op een of andere manier heeft bijgedragen aan deze scriptie.

Bijzondere dank gaat daarbij uit naar mijn sponsors. Dankzij hun hulp was ik in staat om een *development kit* uit de V.S. aan te kopen waarmee ik het theoretische aspect in de praktijk kon omzetten. Hun bijdragen garandeerden dat ik aan dit onderzoek kon beginnen.

Bedankt aan Prof. Dr. Ir. Heidi Ottevaere van de VUB voor het openstellen van het fotonica lab voor de uitvoering van kleurenspectrum metingen en de geboden begeleiding.

Speciale dank aan mijn docent en begeleider Marc Vandermeulen.

Een speciale vermelding voor Ysco N.V., voor het op maat maken van inox onderdelen en Imes, voor het ter beschikking stellen van een IR thermometer.

Tot slot een dankjewel aan mijn ouders voor hun onvoorwaardelijke steun het voorbije jaar.

## 1.1 Sponsors

**LAIKA | THEATER DER ZINNEN**

**WILFRIED BLONTROCK**

**MATTHIAS BOGAERT**

**FAMILIE VERCRUYSSSEN-DU JARDIN**

**FAMILIE DU JARDIN - VAN LEUVEN**

**FALCO**

## 2. INLEIDING

Light Emitting Plasma (LEP™) is een vrij recente lichttechnologie, ontwikkeld in de jaren '90. Het is geïnspireerd op het werk van Nikola Tesla en voor de eerste keer ontwikkeld door Michael Ury, met zijn bedrijf Fusion Lighting. Enkele jaren na het uiteenvallen van dit Amerikaans bedrijf heeft Luxim de draad heropgenomen en deze compacte, doch krachtige lichtbron verder ontwikkeld en op de markt gebracht.

Het werkingsprincipe van LEP is gebaseerd op inductie. Met een versterker wordt een hoogfrequent elektrisch veld opgewekt. In dit veld bevindt zich een kwartslamp gevuld met metaalhaliden en andere gassen, ingebed in een keramische schijf. Vervolgens worden in de kwartslamp staande golven gecreëerd. Het elektrische veld is het sterkst in het midden van de lamp, waardoor de gassen ioniseren en gloeien. Het geïoniseerde gas gaat op zijn beurt de metaalhaliden opwarmen en verdampen. Hierdoor ontstaat een plasma-kolom in het midden van de lamp.

Met een lange levensduur, efficiënt energieverbruik, een nuttig uitgestuurd kleurenspectrum en de mogelijkheid om de lamp ook elektrisch te dimmen lijkt het een geduchte tegenspeler voor zowel de High-Intensity Discharge (HID) als Light-Emitting Diode (LED) lampen.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Luxim. "How LEP works." *Luxim*, g.d. <http://luxim.com/technology/how-lep-works> (benaderd 20 september, 2012).

## 3. GESCHIEDENIS

### 3.1 Nikola Tesla

De experimenten van Tesla met hoge spanningen en frequenties mogen als basis beschouwd worden voor de LEP technologie. Op het einde van de negentiende eeuw is men net kennis aan het maken met elektriciteit en magnetisme. Wat eerder onverklaarbaar was, wordt nu beetje bij beetje ontrafeld. Tesla realiseert zich dat het onder controle houden van de stroom het grootste probleem is bij het maken van een praktische lichtbron<sup>2</sup>. Het is één van de redenen waarom hij een



Figuur 1: Nikola Tesla

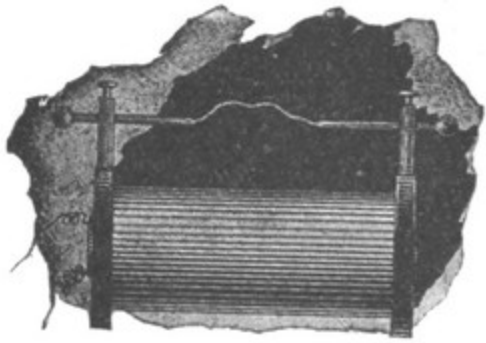
wisselstroomgenerator ontwikkelde die frequenties tot 33,3kHz aankon. Hij beschrijft hoe hij een stuk ijzer tegen een elektromagneet houdt. Vervolgens stuurt hij door deze schakeling een stroom waarvan hij de frequentie langzaam opdrijft. Tijdens dit experiment worden doorheen het stuk ijzer trillingen waargenomen. Steeds sneller en minder voelbaar, tot ze volledig lijken te verdwijnen. Hierna wordt een constante aantrekking vastgesteld, en belangrijker, een boog tussen de elektroden.

Bovendien experimenteert Tesla ook met gasontlading, een booglamp. Zo beschrijft<sup>3</sup> hij in zijn werk hoe de afstand van de ontsteker tot de lamp en de kabeldikte een belangrijke rol spelen, wat nog steeds een aandachtspunt voor hedendaagse gasontladingslampen is. Hij komt wel heel dicht bij moderne gasontladingslampen wanneer hij de verschillende stappen van zijn experimenten met licht beschrijft. Eerst een zwakke ontleding in de vorm van een dunne, zwak gekleurde draad. (Figuur 2) Wanneer de stroom vervolgens vergroot wordt, wordt de ontleding breder en sterker, tot er een witte vlamme boog ontstaat. (Figuur 3)

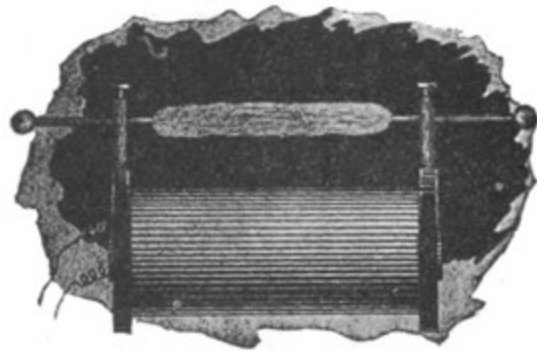
---

<sup>2</sup> Martin, Thomas Commerford. *The inventions, researches and writings of Nikola Tesla*. (New York: Press of Mcllroy & Emmet, 36 Cortlandt St., N. Y., 1894). <http://www.gutenberg.org/ebooks/39272> (benaderd 20 mei, 2012), 163.

<sup>3</sup> Martin, Thomas Commerford. *The inventions, researches and writings of Nikola Tesla*. (New York: Press of Mcllroy & Emmet, 36 Cortlandt St., N. Y., 1894). <http://www.gutenberg.org/ebooks/39272> (benaderd 20 mei, 2012), 165.



Figuur 2: zwakke ontlading



Figuur 3: sterkere boogontlading

Opmerkelijk is hoe hij zijn hand soms tussen de elektroden houdt. Dat hij dit zorgeloos kan doen, is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat hij vooral met hoge frequenties werkt. Men zou het ook kunnen verklaren met het *Skin Effect*. Stroom met hoge frequenties die eerder geneigd zijn over het oppervlak van een geleider te lopen in plaats van erdoor.<sup>4</sup>

Na een reeks experimenten met andere vormen van ontlading plaatst hij in een vacuüm glazen bol een koolstof filament, wat vuurvast materiaal is. Dit gaat vervolgens zeer fel gloeien en geeft op een eenvoudige manier behoorlijk wat licht. Hij denkt ook meteen aan een veel efficiënter ontwerp met twee vuurvaste materialen in een luchtledige bol. Door middel van hoge frequenties en spanning zou op die manier een veel grotere helderheid kunnen bereikt worden. (Figuur 4) Hij gaat zelfs een stap verder en heeft het over een nog efficiëntere lamp. Omdat hij hoogfrequente wisselstroom gebruikt, wordt het mogelijk om via inductie voldoende energie door het glas te sturen om een filament te doen oplichten, zonder draden van buiten af.<sup>5</sup>

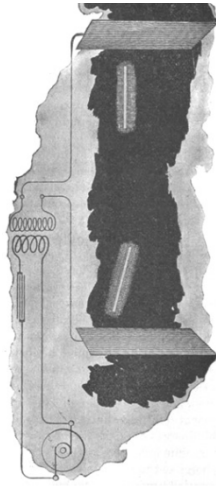


Figuur 4: een lamp van Tesla

<sup>4</sup> Charles Sullivan, "SKIN EFFECT, PROXIMITY EFFECT, AND LITZ WIRE", n.d., <http://www.dartmouth.edu/~sullivan/litzwire/skin.html> (benaderd 9 mei, 2013).

<sup>5</sup> Martin, Thomas Commerford. *The inventions, researches and writings of Nikola Tesla*. (New York: Press of Mclloy & Emmet, 36 Cortlandt St., N. Y., 1894). <http://www.gutenberg.org/ebooks/39272> (benaderd 20 mei, 2012), 193-197.

Hierdoor komt hij tot de conclusie dat nu ook lampen zonder elektroden gebruikt kunnen worden die nog steeds voldoende licht zullen produceren in combinatie met fosforescerende materialen<sup>6</sup>. Zo weet hij in een ruimte een systeem te installeren waarbij de lampen overal (tussen twee metalen platen) kunnen geplaatst worden en altijd zullen blijven branden. (Figuur 5)



**Figuur 5: buislampen die overal tussen de twee metalen platen zullen branden.**

Een laatste experiment van Tesla dat ik hier beschrijf, komt wel heel dicht bij wat nu bestaat inzake inductieverlichting. De vorm van de lamp alleen al doet spontaan denken aan zwavelplasma lampen.

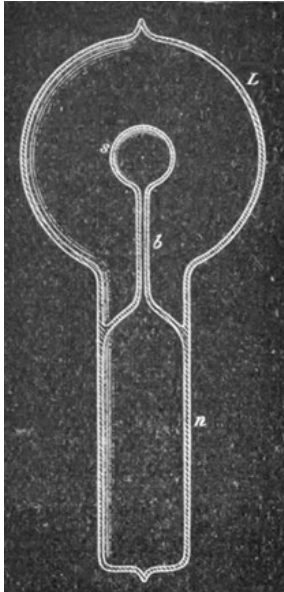
De lamp van dit experiment bestaat uit een glazen bol L met een nek n, voorzien van een buis b en een kleine bol s hieraan verzegeld.<sup>7</sup> (Figuur 6) De nek n is voorzien van een tinfoolie. Deze wordt verbonden met de generator en zorgt voor een inductieve reactie met het gas in de nek. De stroom gaat zo door de buis b naar de bol s, waar het op zijn beurt voor een inductieve reactie zorgt met het gas in de grotere bol L. Er wordt geen licht opgewekt wanneer de folie aan de inductiespoel wordt aangesloten. Dit gebeurt echter wel wanneer men de lamp vastneemt. Een intense fosforescentie verspreidt zich over de bol en verandert geleidelijk in een wit, diffuus licht. De illuminantie is eerst ongelijk, maar zal uiteindelijk de vorm aannemen zoals in Figuur 7.

---

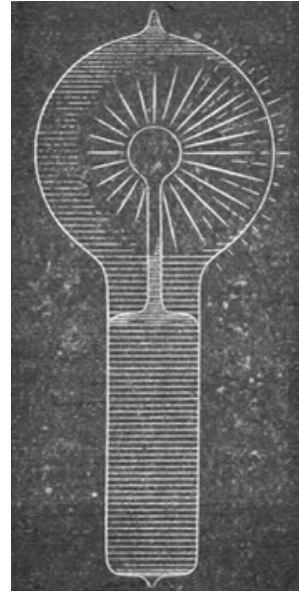
<sup>6</sup> Martin, Thomas Commerford. *The inventions, researches and writings of Nikola Tesla*. (New York: Press of Mcllroy & Emmet, 36 Cortlandt St., N. Y., 1894). <http://www.gutenberg.org/ebooks/39272> (benaderd 20 mei, 2012), 202.

<sup>7</sup> Martin, Thomas Commerford. *The inventions, researches and writings of Nikola Tesla*. (New York: Press of Mcllroy & Emmet, 36 Cortlandt St., N. Y., 1894). <http://www.gutenberg.org/ebooks/39272> (benaderd 20 mei, 2012), 244.





Figuur 6



Figuur 7: grafische representatie van de illuminantie

Met deze beknopte basis is het gemakkelijker te begrijpen hoe wetenschappers voortgebouwd hebben op de inductieverlichting waar Nikola Tesla reeds tientallen jaren geleden mee bezig was.

### 3.2 Fusion Lighting

De volgende belangrijke stap in het verhaal is dat van *Fusion Lighting Inc*, een Amerikaans bedrijf uit Rockville in de staat Maryland. Begin jaren '70 ontwikkelden zij een UV lamp die werkte op microgolven. Michael Ury was - samen met Lee Anderson - uiteindelijk de persoon die het idee achter inductielampen geperfectioneerd heeft met de ontwikkeling van plasmalampen. Zoekende naar een betere bron van UV licht ontdekten ze dat zwavel, onder invloed van microgolven of in een lamp gevoed door radiogolven, een bijzonder efficiënte bron van zichtbaar licht werd.<sup>8</sup> Een volledig nieuw concept wat lichtbronnen betreft. Een aantal grotere bedrijven hadden al enkele jaren inductielampen, maar dat waren in werkelijkheid fluorescentielampen zonder elektroden. Die werkten bovendien op veel lagere frequenties, waren groter en gaven niet zo veel licht. In hun zoektocht naar een markt om deze technologie te testen, botsten ze op Lee Anderson. Hij was vooral geïnteresseerd in het ecologische aspect van de technologie, gezien zijn werk voor het *U.S. Department of Energy's Office of Building Technology*, waar hij zich bezig hield met het evalueren van nieuwe lichtbronnen. Anderson zorgde ervoor dat op 2 locaties zwavellampen geïnstalleerd konden worden. Eén buiten aan zijn kantoor en drie in het *National Air & Space Museum*.

<sup>8</sup> National Museum of American History. "Experimental Sulfur Lamp." Educatief. *National Museum of American History*, g.d. [http://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah\\_995200](http://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_995200) (benaderd 11 december, 2012).

Ondertussen is er echter geen sprake meer van Fusion Lighting. Men ontdekte dat de lamp zelf langer meeding dan de magnetron die gebruikt werd om licht op te wekken. Men vond geen



Figuur 8: Lee Anderson en Michael Ury

goedkope magnetrons en in 2002 besloten ze de verkoop te staken.<sup>9</sup>

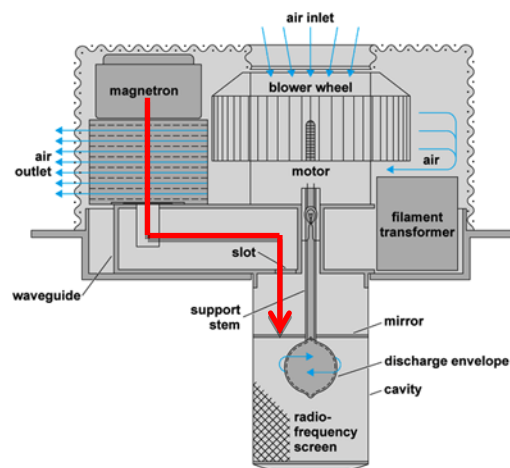
Eén van de vijf gemaakte modellen staat nu in het *National Museum of American History*. De andere vier werden na het weghalen terug in hun oorspronkelijke staat gebracht: industriële UV uithardingslampen.<sup>10</sup>

### 3.2.1 Lightdrive™

Er worden microgolven toegevoerd aan een volledig gesloten glazen ballon. Deze met argon gas gevulde ballon draait via een motor aan een snelheid van 20.000 rpm, zodat de temperatuur gelijk blijft over de gehele oppervlakte. Door de hoge temperatuur ontstaat er plasma. Hiermee wordt een krachtige bron van zichtbaar licht ontwikkeld, met weinig uitgezonden UV- en IR-straling.



Figuur 10: Lightdrive



Figuur 9: Doorsneede Lightdrive

Een minpunt is echter de nood aan een ventilator voor actieve koeling. Daarnaast is de levensduur van de magnetron lager dan die van de lamp zelf, wat de efficiëntie van het systeem naar beneden haalt.<sup>11</sup>

<sup>9</sup> Fusion Lighting Inc. "Home." *Fusion Lighting*, g.d.

<http://web.archive.org/web/20010209135028/http://www.fusionlighting.com/> (benaderd 11 december, 2012).

<sup>10</sup> Plasma International. "20th Century Inventors: Sulphur Lamp Electrodeless Plasma Lamps." *Plasma Light History*, g.d. <http://www.plasma-i.com/michael-ury.htm> (benaderd 10 december, 2012).

Tegenwoordig worden nog altijd vergelijkbare en verbeterde modellen geproduceerd door o.a. Lumartix, Plasma-international en Ceravision. (Figuur 11, Figuur 12 en Figuur 13)



Figuur 13: Lumartix, Lumixo



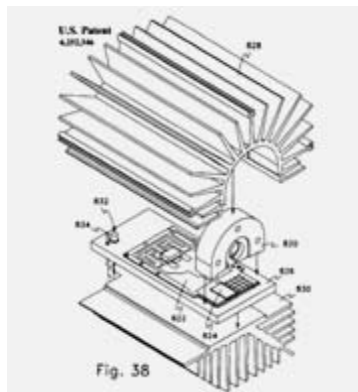
Figuur 12: Plasma International, A1300



Figuur 11: Ceravision, HEP (High Efficiency Plasma)

### 3.2.2 ByteLight™

Naast de zwavellampen, die over het algemeen vrij groot zijn, beslist men een compacte lichtbron uit te werken genaamd ByteLight. Deze lichtbron maakt geen gebruik van microgolven, maar van iets langere radiogolven. Men vond een efficiënte manier om de elektromagnetische energie te koppelen aan de lamp. Ze patenteerden ook een RF-vermogen oscillator met een zeer hoge efficiëntie. Met een chip bedoeld voor telecommunicatie in een zelfontwikkeld circuit, konden ze honderden watts aan RF-vermogen opwekken op 430MHz met een efficiëntie van 80%. Wat in die tijd ongezien was.<sup>12</sup>



Figuur 14: ByteLight patenttekening

Het vermogen wordt gekoppeld aan de lamp door middel van een spoel met slechts één winding. Deze lamp zit in een keramische reflector waardoor er geen licht verloren gaat en de warmte bovendien ook wordt afgevoerd. Bijzonder is dat er in dit keramische omhulsel een klein gaatje zit, waardoor het licht kan ontsnappen. Het was dus een tweede lichtbron zonder elektroden, maar toch met een grote helderheid, uitstekende kleurweergave en gebruikmakend van RF energie. Werkend op een vermogen tussen 100W en 200W. Men dacht in de eerste plaats aan gebruik in de medische sector, (toen nog) televisieschermen en de auto-industrie. Deze compacte lichtbron produceerde een licht dat dat van veel grotere booglampen evenaart en toch gelijkmatig bleef. Helaas waren deze

<sup>11</sup> National Museum of American History. "Experimental Sulfur Lamp." Educatief. *National Museum of American History*, n.d. [http://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah\\_995200](http://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_995200) (benaderd 11 december, 2012).

<sup>12</sup> Fusion Lighting Inc. "Technology." *Fusion Lighting*, n.d. <http://web.archive.org/web/20010330195320/http://www.fusionlighting.com/technology.htm> (benaderd 12 december, 2012).

compacte, doch sterke lichtbronnen nog in ontwikkeling toen Fusion Lighting ermee ophield. Het was dus bijna de eerste heldere, stabiele en compacte lichtbron in zijn soort.<sup>13</sup>

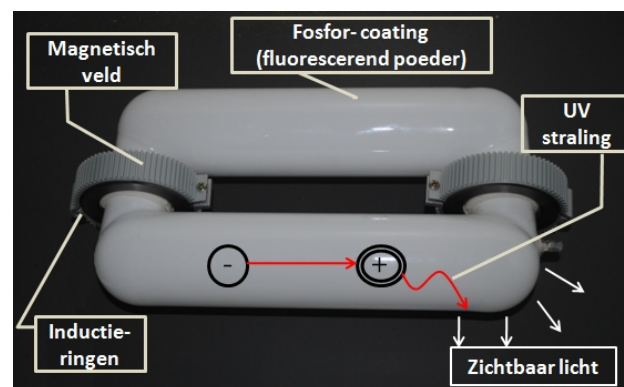
### 3.3 Elektrodeloze- of inductielampen

Zoals eerder al vermeld zijn inductielampen grofweg fluorescentielampen waaruit men de elektroden heeft weggehaald. Dit is misschien een grove veralgemening, maar er wordt gebruik gemaakt van dezelfde fosforlaag. In plaats van elektroden, die kunnen verslijten, gebruikt men echter elektromagnetische inductie om een gasontlading te verkrijgen. (Figuur 15)

Door geen elektroden te gebruiken, hebben inductielampen een groot voordeel t.o.v. traditionele lampen. Dit voordeel wordt duidelijk als we de werking ervan van nabij bekijken. De kathode heeft een speciale laag die de emissie van elektronen bevordert. Omdat de meeste lampen op wisselspanning werken, is een elektrode dus maar kathode voor een halve periode. De andere periode zal de elektrode elektronen ontvangen en dus een anode zijn. Samen met een voldoende hoge spanning zorgt dit ervoor dat de ruimte tussen de elektroden overbrugd wordt, wat een ontlading tot stand brengt. Telkens de lamp opgestart wordt, slijt de laag op de kathode wat verder, tot ze uiteindelijk volledig versleten is en de lamp niet meer zal starten. Op dat moment is het einde van de levensduur bereikt.<sup>14</sup> Bovendien vallen ook mogelijke problemen met de doorvoer van de elektroden door de glazen ballon weg. Dit is misschien wel het grootste probleem waarmee traditionele lampen te maken hebben. Het zijn de zwakke plekken van de lamp.

Men hoeft zich verder geen zorgen te maken over gesprongen lampen, door bijvoorbeeld een doorgebrand filament.

Voor de werking heeft men, zoals bij de meeste gasontladingslampen, een externe ballast nodig. Net als bij de standaard TL-buis verspreidt het licht zich in alle richtingen en is het dus geen ideale puntbron.



Figuur 15: Werking inductielamp

Volgens Escolit, een bedrijf uit Gent dat zich bezig houdt met deze verlichtingstechnologie, kan een inductielamp meer dan 100.000 uur meegaan. *Inductieverlichting.com* vermeldt dat de levensduur zo'n 50.000 tot 60.000 uur bedraagt voor inductielampen met een geïntegreerde ballast. Inductielampen

<sup>13</sup>Fusion Lighting Inc. "Special." *Fusion Lighting*, n.d.

<http://web.archive.org/web/20010330191647/http://www.fusionlighting.com/special.htm> (benaderd 12 december, 2012).

<sup>14</sup>Knisley, Joseph R. "RF Lighting Tunes Improved Illumination." *EC&M Electrical Construction & Maintenance*, 1 november, 2002. <http://ecmweb.com/content/rf-lighting-tunes-improved-illumination> (benaderd 14 december, 2012).

met een externe ballast gaan volgens hen 80.000 tot 100.000u mee.<sup>15</sup> De lichtkwaliteit zal na verloop van tijd echter afnemen.

Escolit is maar één van de bedrijven die dergelijke lampen produceert. Beter gekend is Philips, met het QL Induction Lighting System (Figuur 17) dat nu door QL Company voor hen geproduceerd wordt en Osram Endura. (Figuur 16) Maar het draait allemaal om hetzelfde principe waar Nikola Tesla al meer dan een eeuw geleden mee bezig was.



Figuur 17: QL Company 165W inductielamp



Figuur 16: Osram Endura 150W inductielamp

### 3.4 Luxim

De laatste stap in het verhaal vindt helemaal aan de andere kant van de V.S., in Sunnyvale, California, plaats. Dit is de plaats waar Luxim gesticht werd, die de volgende generatie van lichtbronnen zou (her)ontwikkelen.

#### 3.4.1 LEP/LiFi

Ook al staat het nergens echt opgeschreven, het lijkt wel duidelijk waar Luxim het idee vandaan heeft gehaald. De technologie die beschreven werd bij de Bytelight komt dan ook grotendeels overeen met deze LEP. Het grootste verschil is het vermogen. Met 280W zal deze modernere vorm meer licht opwekken. Bovendien is men bezig met de ontwikkeling van een LEP-bron die werkt met het dubbele van dat vermogen en daarmee meteen ook het lichtvermogen verdubbelt. De coaxiale connector aan deze LEP-emitter is van het N-type, waarmee frequenties tot 18GHz getransporteerd kunnen worden. De spoel werd echter vervangen door twee antennes die zo een elektromagnetisch veld opwekken. Bij de kwartslamp, die eveneens in een keramische schijf of *puck* ingebed zit, is er ook weer een gaatje, zoals te zien is op Figuur 18, om het licht dat in de onderkant van de puck gestraald wordt te laten ontsnappen.



Figuur 18: Luxim LiFi (light fidelity)

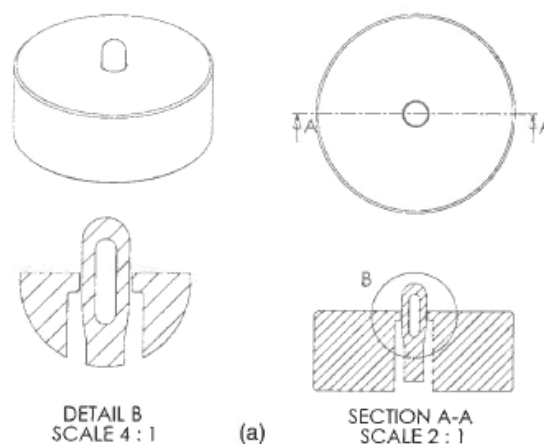
<sup>15</sup> Inductieverlichting.com, "Soorten en modellen", <http://www.inductieverlichting.com/soorten-en-modellen> (benaderd 16 mei, 2013).

## 4. ONDERDELEN EN WERKING LEP

### 4.1 Onderdelen

#### 4.1.1 Emitter

Op het eerste zicht lijkt de constructie van de emitter simpel. Een kwartsballon, ingebed in een keramische puck en op zijn beurt geklemd in een heatsink. Het zit echter veel moeilijker in elkaar. In die heatsink bevindt zich een antenne voor het opwekken van een staande golf en zo uiteindelijk het elektromagnetische veld. De positie van de kwartsballon is heel nauwkeurig daarop afgesteld. Er bestaan talloze documenten en patenten die het alleen maar hebben over die exacte positie. Deze documenten en artikels staan bovendien boordevol wiskundige formules.



Figuur 19: Plaatsing kwartsballon

Op de afbeelding hierboven is de kwartsballon zichtbaar, ingebed in de puck, die tevens dienst doet als resonator.

#### 4.1.2 Voeding

Luxim specificeert het gebruik van 2 voedingen, namelijk de Inventronics EUV-300S028ST of de Wall XAIS3531. Het model van Inventronics lijkt de beste keuze aangezien deze beschermingsgraad IP67 en een betere efficiëntie heeft, en op verschillende spanningen en frequenties kan werken. Zo hoeft men geen maatregelen te nemen als men naar de V.S. zou reizen, of omgekeerd.

De afstand tussen de voeding en de driver mag niet boven de 2,4m uitkomen.

#### 4.1.3 RF Driver

Een overzicht van alle kabelaan sluitingen.

Functie	Kleur	I/O	Beschrijving	Waarden
Vin	Rood	Input	Gelijkstroom toevoer	28V/9.5A
Pwr Gnd	Lichtblauw	Input	Massa van de lamp	28V/9.5A
Lamp TxD	Blauw	Output	Ontvangt signaal van een externe sturing	-
Lamp RxD	Oranje	Input	Stuurt status en feedback terug naar de externe	-

			sturing	
SCI / Occupancy	Wit	Input	Analoge input, te configureren met bvb. bewegingssensor.	0-24V
1-10V Dim	Violet	Input	Analoge dim kanaal	1-10V
+5	Bruin	Output	Extra gelijkstroom aansluiting	5V
Signal Gnd	Zwart	Input	Massa	

Dit maakt het mogelijk om een DMX sturing te maken waarmee de lamp opgestart kan worden en uitgezet, alsook elektronisch kan gedimd worden, weliswaar met het nadeel van kleurverschuiving. (Zie 4.2.3)

#### 4.1.4 RF Coax kabel

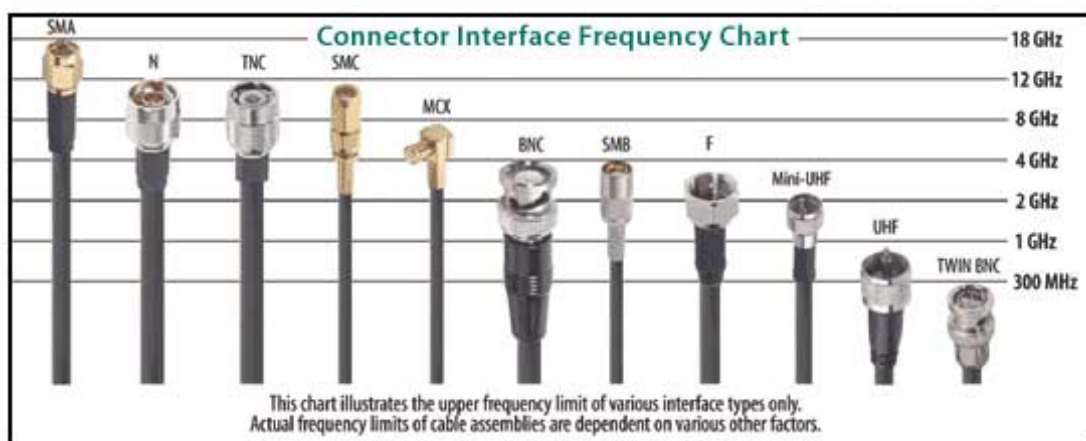
De kabel tussen de driver en de emitter maakt gebruik van een N type 50Ω coax connector.

In de HUBER+SUHNER catalogus<sup>16</sup> staan volgende eigenschappen genoteerd:

Impedantie:	50Ω
Frequentiebereik	
Flexibele kabels:	DC tot 11GHz
Semi stijve kabels:	DC tot 18GHz
Werkspanning:	≤10kV rms

SGV of Staande-golfverhouding (naargelang kabeltype)	
12,4GHz:	1.07 – 1.12
18GHz:	1.09 – 1.12

Met het onderstaande schema kunnen we alle coaxiale connectoren vergelijken. De N type connector staat hier aangegeven met een frequentie tot 12GHz, maar ondertussen is duidelijk dat ze net als SMA ook 18GHz aankunnen. (Zie bovenstaande tabel)

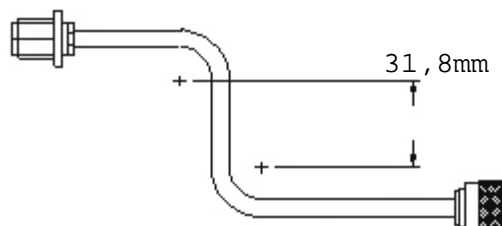


Figuur 20: Vergelijking van de coaxiale connectoren

<sup>16</sup> "HUBER+SUHNER Radio frequency", n.d., <http://ipaper.ipapercms.dk/hubersuhner/Technologies/Radiofrequency/RFConnectorsEN/> (benaderd 12 februari, 2013).

Deze kabel is bijzonder fragiel en heel belangrijk. Er zijn dan ook enkele voorschriften betreffende het gebruik ervan. Zo mag de kabel niet meer dan 180° worden gebogen. De straal van een bocht mag ook niet kleiner zijn dan 12,7mm en tussen twee bochten moet minstens 31,8mm zitten.

Met het oog op mijn conversie werd de vraag gesteld of deze kabel mocht verlengd worden en/of adapters, zoals een hoekadapter, gebruikt mochten worden. Het antwoord was echter kort en bondig, neen! De kabelafstand tussen de driver en emitter moet binnen 1 voet of dus 30cm blijven. Wat ook maar net het geval is, want de kabel zelf is 20cm en de overige 10cm hangt aan de emitter. Kris Knowles van Luxim wist mij te vertellen dat indien deze afstand niet gerespecteerd wordt, er veel ruis kan ontstaan met vermogensverlies tot gevolg. Er werd ook meteen aan toegevoegd dat indien de kabel te veel geplooid wordt, hij kan beginnen rafelen en slijten waardoor hij uiteindelijk beschadigd en onbruikbaar wordt.

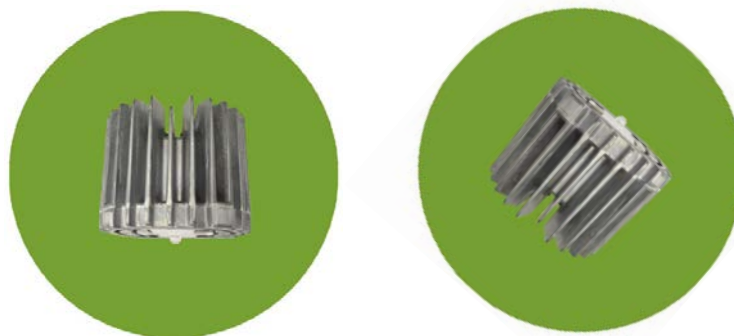


Figuur 21: Minimum afstand tussen twee bochten

## 4.2 Werking

### 4.2.1 Brandstand

De LEP die ik bezit, de STA-40-01, mag in elke mogelijk hoek branden.



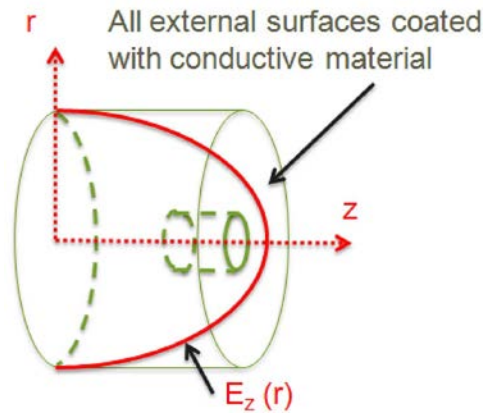
Figuur 22: De emitter mag van bepaalde versies in elke hoek branden



## 4.2.2 Principe lichtopwekking

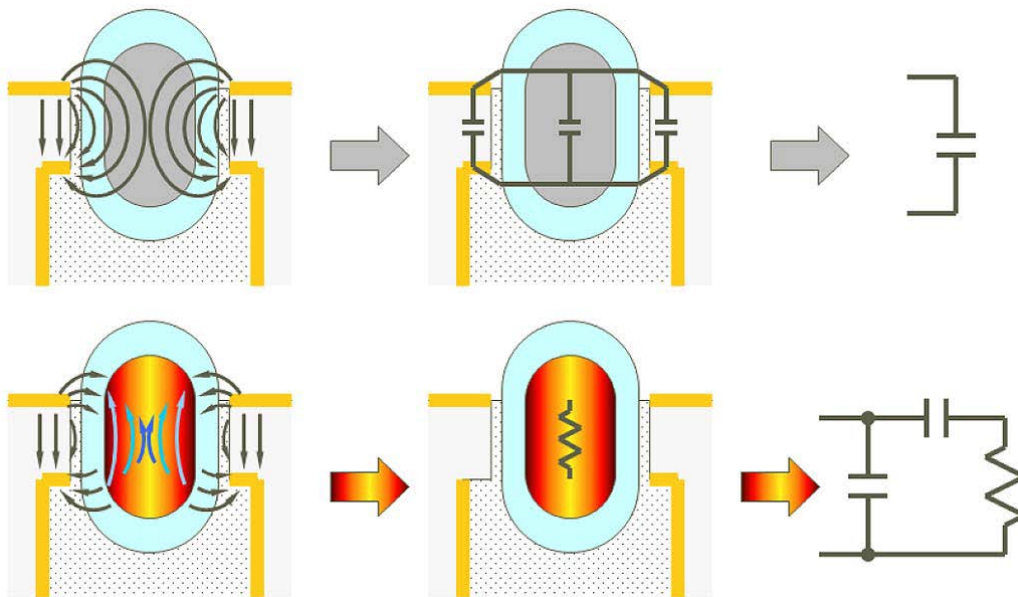
### 4.2.2.1 Werking resonantieholte

Zoals te zien is in 4.1.1 zit de kwartsballon in een puck of resonator, gecoat met een geleidende laag. Door het toevoegen van radiogolven wordt binnenin een staande golf opgewekt.



Figuur 23: Staande golf in de resonator

Het Joule-effect zorgt ervoor dat de energie wordt doorgegeven aan het geleidende plasma. Op deze plaats vertoont het elektrische veld een dip.<sup>17</sup> (zie 5.1, Figuur 28 en Figuur 29)



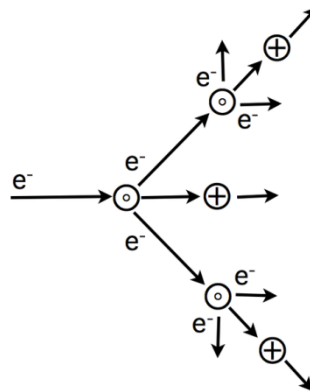
Figuur 24: Elektrische veld in de resonator voor en na plasma opwekking

<sup>17</sup> Richard P. Gilliard, Marc DeVincintis, Member, IEEE, Abdeslam Hafidi and Daniel O'Hare, Gregg Hollingsworth, "Operation of the LiFi Light Emitting Plasma in Resonant Cavity," IEEE Transactions on Plasma Science 39, no. 4 (april 2011): 8.

#### 4.2.2.2 Het plasma in “Light Emitting Plasma”

Plasma is een aggregatietoestand, waarbij de stof geheel of gedeeltelijk geïoniseerd is. De overgang van gas naar plasma gebeurt niet plots, maar eerder geleidelijk. In normale toestand bewegen elektronen zich rond de kern van een bepaald atoom. In geïoniseerde toestand komen ze los van die kern en kunnen ze een eigen baan volgen. Naarmate er meer dergelijke vrije elektronen voorkomen in het gas, wordt het meer en meer geleidend.

Een gas kan men ioniseren door vrije elektronen te laten botsen met andere atomen, zodat die op hun beurt elektronen kunnen loslaten. Hoe groter de snelheid van de elektronen, hoe groter de energie waarmee ze botsingen aangaan, en hoe meer nieuwe elektronen uit atomen kunnen vrijgemaakt worden. Als elk botsend elektron gemiddeld meer dan één ander elektron vrijmaakt, neemt het aantal vrije elektronen zeer snel toe en spreken we van het lawine-effect. Dit is ook wat gebeurt bij het overslaan van een gewone vonk. Opwarming van het gas helpt om het gemakkelijker te ioniseren.



Figuur 25: Lawine-effect bij ionisatie.

Bij een traditionele gasontladinglamp met elektroden brengt men de vrije elektronen op snelheid door een hoge spanning aan te brengen. De lichtopwekking gebeurt doordat sommige elektronen terugvallen uit aangeslagen toestand, en daarbij fotonen afgeven. Een LEP werkt volgens dezelfde principes, met het verschil dat de snelheid van de elektronen opgewekt wordt door een staande radiogolf. De elektronen worden in de buik van de staande golf snel heen- en weer bewogen, met genoemde botsingen, ionisatie en de vorming van plasma als gevolg. Op zijn beurt zorgt dit plasma voor de opwekking van licht. De opgewekte warmte helpt om het aandeel plasma in het gas langzaam uit te breiden. Dit verklaart de opstarttijd van 30 seconden.

Het aandeel plasma in het gas kan allerlei vormen aannemen, variërend van draden tot een duidelijke plasmakolom. De vorm wordt bovendien beïnvloed door het aanwezige magnetisch veld. Om de plasmakolom in stand te houden moet er natuurlijk steeds energie toegevoerd worden.<sup>18</sup>

#### 4.2.3 Dimmogelijkheid

Deze lichtbron kan elektronisch gedimd worden tot minimum 20% van zijn volledige sterkte. Deze mogelijkheid is zeer handig, maar waarschijnlijk niet meteen bruikbaar in onze sector, aangezien de kleur van het licht sterk mee verandert. Zie bijlage 13.1.2 Het kan een handige functie zijn voor

<sup>18</sup> "Plasma (physics)," *Wikipedia, the free encyclopedia*, January 11, 2013, [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Plasma\\_\(physics\)&oldid=532404209](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Plasma_(physics)&oldid=532404209) (benaderd 14 januari, 2013).

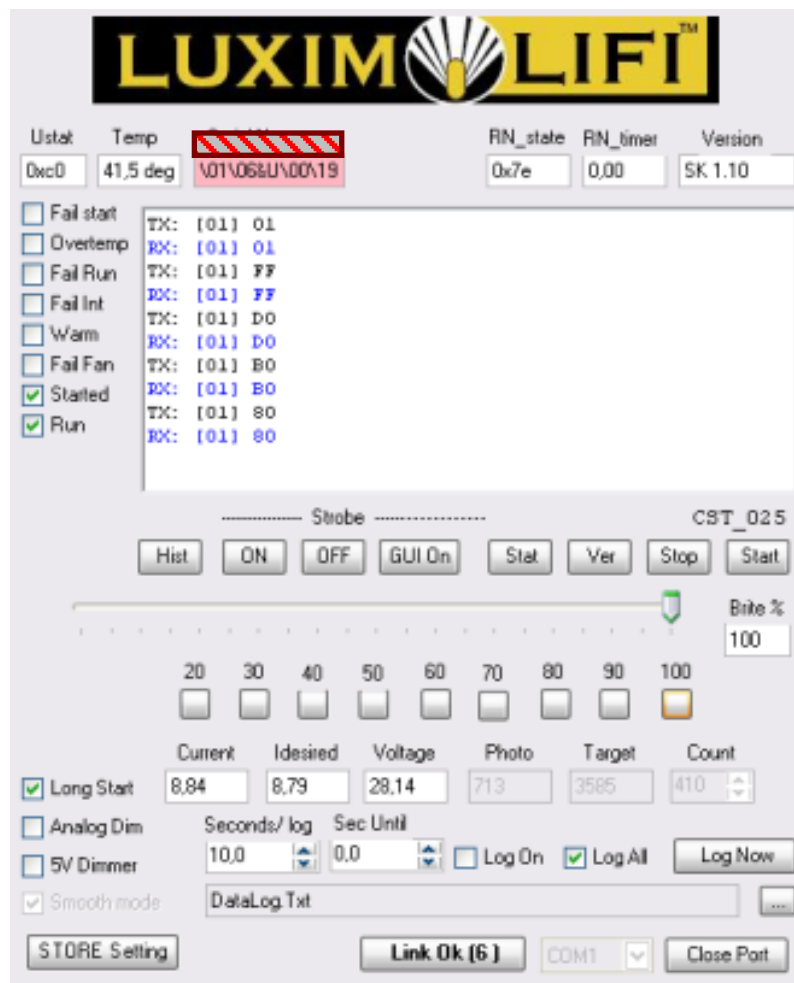
plaatsen die constant verlicht worden. Er kan dan bijvoorbeeld met een bewegingssensor gewerkt worden. Luxim vermeld ook dat de levensduur van de lamp verlengd wordt als de lamp op 20% brandt, aangezien ze dan minder warm zal worden. De vraag is echter of die 20% van het volledige vermogen wel echt bereikt wordt en hoe die 20% geïnterpreteerd dient te worden. In elk geval lijkt deze functionaliteit, gezien de waargenomen lichtsterkte en kleur, niet echt handig voor gebruik in theater. Een mechanische dimmer is dan ook een noodzaak. Bovendien weten we ondertussen dat er vereisten zijn om de plasmakolom in stand te houden. Daarom is het misschien niet vanzelfsprekend om zomaar tot 20% van het optische vermogen te dimmen.

Via de grafische gebruikersinterface kunnen we op een computer volgen wat er gebeurt als we de LEP dimmen. Zo kunnen we zien dat de stroom gevarieerd wordt:

	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Stroom	5 A	5,02 A	5,47 A	6,01 A	6,58 A	7,17 A	7,73 A	8,22 A	8,83 A

#### 4.2.4 Sturen van de emitter

Een groot voordeel van de LEP driver, is de mogelijkheid tot digitale communicatie. Zo kan (standaard) via een computer met RS232 aansluiting de LEP aangestuurd worden via een Grafische User Interface (GUI).



Figuur 26: GUI om LEP te sturen

Zoals te zien is, worden nog veel andere parameters uitgelezen van de driver en doorgegeven naar het programma. We kunnen o.a. de temperatuur, spanning en stroom aflezen. Daarnaast is er de mogelijkheid om van 20% tot 100% elektronisch te dimmen. Wanneer we dit doen, zien we de stroom over de emitter variëren. Ook een belangrijke eigenschap is het aan- en uitschakelen op afstand. Zoals besproken in 4.1.3 bestaat dus de mogelijkheid om een DMX-interface te maken. Met RDM zou ook de feedback doorgespeeld kunnen worden.

#### 4.2.5 Re-strike

De LEP heeft slecht 30 seconden nodig om volledig op te warmen en zal na het uitschakelen ongeveer 60 seconden later opnieuw opgestart kunnen worden. Dit is een wereld van verschil met standaard gasontladingslampen. Een lage druk natriumlamp heeft 5 à 10 minuten nodig om op te warmen, maar kan onmiddellijke herstart worden. Bij een metaalhalide lamp kan het opwarmen oplopen tot 15 minuten. Ook het wachten voor men kan heropstarten ligt rond de 15 minuten.<sup>19</sup> De LEP vaak heropstarten of slechts voor een korte tijd laten branden heeft bovendien geen invloed op de totale levensduur van de lamp, wat wel het geval is met de meeste andere lampen.

#### 4.2.6 Elektrische voorziening

De LEP heeft een gelijkspanningsvoeding van 28V nodig die minstens 9.5A kan leveren. Als twee bronnen zich dicht genoeg bij elkaar bevinden, kan er één voeding gebruikt worden voor beiden.

#### 4.2.7 LEP ≠ LED

Ondanks een letter verschil heeft LEP helemaal niets te maken met LED. Het heeft, zoals nu ondertussen wel duidelijk zal zijn, veel meer te maken met gasontladingslampen. Maar net als LED komt er wel solid-state elektronica aan te pas. LEP gebruikt de solid-state elektronica om radiogolven te genereren in de driver, die op hun beurt voor de nodige energie zorgen om het gas om te vormen naar een plasma lichtbron.

LEP technologie deelt wel enkele voordelen van LED, maar heeft ook enkele belangrijke verschillen wat de prestaties betreft. Gelijkenissen met LED zijn de solid-state elektronica, directionaliteit van de bron en de mogelijkheid om elektronisch te dimmen. Grootste verschillen in het voordeel van LEP zijn de hoeveelheid uitgezonden licht, een volledig kleurenspectrum met een CRI tot 94 en een betere efficiëntie.

---

<sup>19</sup> Rensselaer Polytechnic Institute, "Lighting answers", March 2005, <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/mwmhl/restrikeTimes.asp> (benaderd 16 mei, 2013).

### 4.2.8 LEP versus andere elektrodeloze lampen

LEP en andere elektrodeloze lichttechnologie, zoals inductielampen, delen een belangrijke eigenschap. Er zijn geen elektroden nodig. Hierdoor is de lamp zelf volledig afgesloten, zonder verzwakte plaatsen of speciale coatings, wat de levensduur bevordert. Maar LEP is ook nog eens sterk verschillend van andere elektrodeloze lampen. Die laatste maken namelijk vooral gebruik van lage druk lampen en hebben fosforescerende coatings nodig om licht op te wekken. Hierdoor is er een beperkte helderheid en kleurspectrum. LEP maakt gebruik van een diëlektrische resonantieholte (zie 4.1.1 en 4.2.2.1) om het vermogen van de versterker efficiënt te koppelen aan de kwartslamp. Daarom heeft LEP een hogere lumendichtheid, is het compacter, efficiënter en beschikt het over een ruimer kleurspectrum dan andere elektrodeloze verlichting. Het is een puntbron en zal net als LED het licht in een Lambertiaans patroon naar voren uitzenden.



Figuur 27: Een LEP kwartsballon

## 5. VEILIGHEID

### 5.1 EMC, EMI en RFI of nadelen RF verlichting

In 2002 schreef Steve Stroh, auteur en editor voor het *Focus on Broadband Wireless Internet Access* magazine, een artikel<sup>20</sup> over de problemen die RF verlichting (toen nog van Fusion Lighting) zou kunnen opleveren. Hij heeft het vooral over de interferentie met bestaande netwerken. De frequentie van de gebruikte oscillators gaat immers tot 2,45GHz en dat is nu ook net de frequentieband van WiFi of WLAN verbindingen. Tegenwoordig vertrouwen we steeds meer op apparaten met een draadloze verbinding. Dit is niet alleen in de particuliere wereld een feit, met het toenemende gebruik van smartphones en tablets. Ook in onze sector gaat men steeds meer op 'draadloos' vertrouwen. Draadloze audio is al lang een feit en ook steeds meer draadloze DMX netwerken steken de kop op.

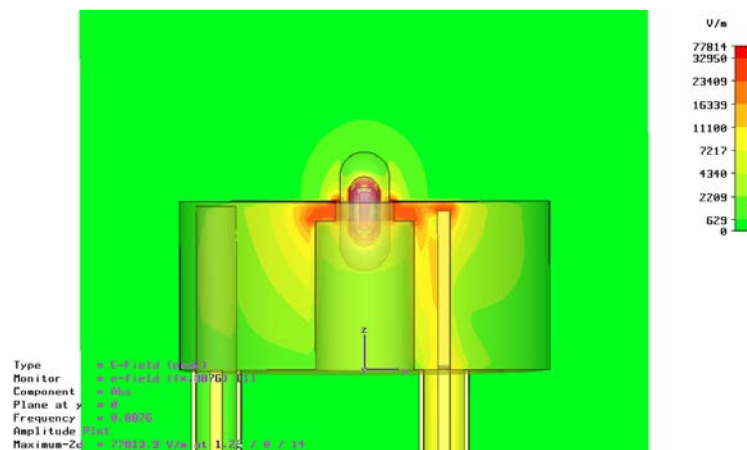
---

<sup>20</sup> Stroh, Steve. "Unintended Consequences of High-Efficiency Lighting." *Broadband Properties Magazine*, april 2002. <http://www.broadbandproperties.com/2002%20issues/april%2002/rf%20lighting.htm> (benaderd 14 december, 2012).

Over het algemeen is dit volgens Luxim geen groot probleem. Ze suggereren zelfs twee methodes om ongewenste interferentie te vermijden. Een eerste is het plaatsen van een EMI mesh voor de lamp, waardoor de emissie geblokkeerd wordt. Een tweede mogelijkheid is om in samenspraak met Luxim de optica zo te ontwerpen dat de elektromagnetische interferentie de behuizing in principe niet kan verlaten. Men zegt eveneens dat de LEP minder uitstraalt dan de gemiddelde GSM. Dus met het juiste ontwerp hoeft men zich geen zorgen te maken.

Het is dus voorlopig een raadsel hoe een grid vol LEP verlichting draadloze netwerken zou beïnvloeden. Moest dit daadwerkelijk een probleem opleveren, dan wordt het plan met alle draadloze verbindingen op evenementen enkel groter.

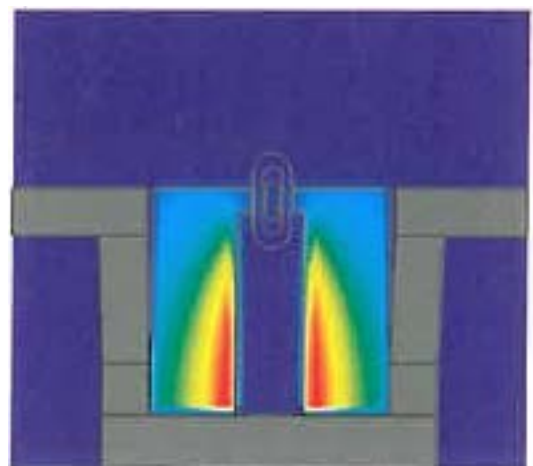
Op de afbeeldingen hieronder is het resultaat te zien van een elektrisch veld meting<sup>21</sup>. Meteen naast de kwartslamp is te zien dat het elektrische veld heel sterk is. Op de meting van het magnetische veld is te zien dat lekken hier beperkt zijn.<sup>22</sup>



Figuur 30: Meting die het elektrische veld weergeeft



Figuur 29: Nog een meting die het elektrische veld weergeeft



Figuur 28: Meting die het magnetische veld weergeeft

<sup>21</sup> Abdeslam Hafidi, "Increased collection efficiency of LIFI high intensity electrodeless light source" (San Jose convention center, January 22, 2008), <http://www.lifi.com/pdfs/LUXIM-SPIE08.pdf> (benaderd 13 mei, 2012).

<sup>22</sup> Richard P. Gilliard, Marc DeVincentis, Member, IEEE, Abdeslam Hafidi and Daniel O'Hare, Gregg Hollingsworth, "Operation of the LiFi Light Emitting Plasma in Resonant Cavity," IEEE Transactions on Plasma Science 39, no. 4 (April 2011): 8.

## 5.2 Temperatuur

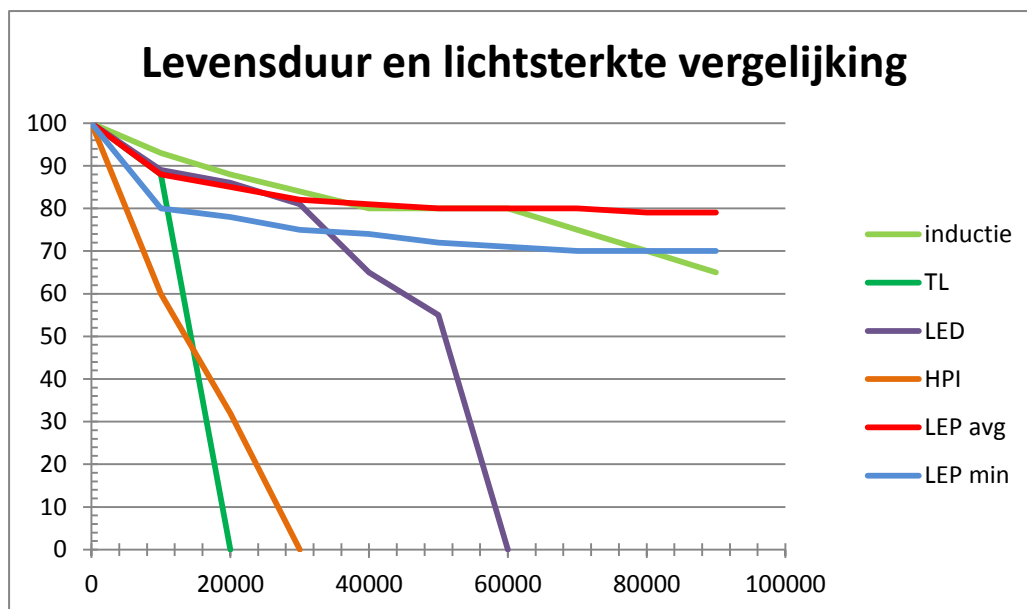
Volgens de fabrikant, Luxim, zijn er geen speciale behoeften wat de koeling betreft. Volgens hen volstaat de heatsink van zowel de emitter en driver om beiden te koelen zonder een actieve koelschakeling. In de development kit heeft de driver een heatsink. Als de driver echter thermisch gekoppeld is aan de behuizing is die heatsink niet meer nodig. De LEP zou dan ook veel efficiënter zijn dan de meeste bronnen. Er zal dus niet zo veel vermogen verloren gaan aan warmte. Om deze beweringen aan de tand te voelen, heb ik een vergelijking gemaakt tussen de LEP emitter in een fresnel behuizing, en een standaard 1kW halogeen fresnel. Zie 7.1.1.

## 6.SLIJTAGE

### 6.1 Theoretische levensduur

LEP emitters en dan specifiek de LiFi-STA-41-01 serie, zijn volgens Luxim goed voor 50.000 branduren<sup>23</sup>. Bij 50.000 branduren is de lichtsterkte dan gemiddeld gezakt naar een 65% van het oorspronkelijke lichtvermogen. Zij veronderstellen dan ook een vervanging wanneer de emitter aan 70% van de originele output zit. Ze spreken zichzelf wel tegen door te zeggen dat dit punt aan 50.000 branduren ligt. Luxim wil ook benadrukken dat branduur en de oriëntatie geen invloed hebben op de levensduur. Als vergelijking nemen ze hiervoor een 400W metaalhalide lamp die een levensduur van 18.000 uren heeft. Die levensduur wordt voor 25% beïnvloedt door de oriëntatie en tot 50% door de lamp vele malen kort te gebruiken.

Op de site van Escolit, een fabrikant van inductieverlichting zoals vermeld in 3.3, vond ik een vergelijking van verschillende lichtbronnen.<sup>24</sup> Wanneer ik die samenvoeg met de curve van LEP<sup>25</sup> krijg ik volgende grafiek:



<sup>23</sup> Luxim, "Plasma Lighting FAQ," Technology, <http://luxim.com/technology/plasma-lighting-faq> (benaderd June 7, 2012).

<sup>24</sup> Escolit, "Escolit Technologie, vergelijking lichtbronnen", <http://www.escolit.com/nl/technologie/vergelijking-lichtbronnen> (benaderd 14 december, 2012).

<sup>25</sup> Luxim, "Luxim Brochure Clean Lighting Solutions", <http://www.luxim.com/downloads/lep-brochure.pdf> (benaderd 12 april, 2013).

Het feit dat zowel inductieverlichting als LEP zich onderscheiden van de andere bronnen springt meteen in het oog. Als we goed kijken, zien we echter dat de gemiddelde levensduur van LEP rond die van inductieverlichting blijft hangen en verder niet mee gaat dalen vanaf 65.000 uren. Er is wel een verlies van 20% ten opzichte van het oorspronkelijke vermogen. Of dit vermogensverlies dan inderdaad stabiel wordt en hoe de kleurweergave er uitziet na die 65.000 uren is eigenlijk moeilijk te voorspellen. Wat zijn uiteindelijk de zaken die slijten wanneer men plasma artificieel gaat opwekken?

## 6.2 Vervanging emitter puck

De verschillende componenten zorgen ervoor dat bij een defect niet alles weggegooid moet worden. Zo is het mogelijk om de keramische puck, met de ingebedde kwartsballon, te vervangen. Het feit dat er geen elektroden zijn, wil ook zeggen dat er geen kabels zijn en de puck dus heel snel vervangen kan worden.

# 7. METING VAN DE KARAKTERISTIEKEN

## 7.1 Eigen metingen

### 7.1.1 Temperatuurmeting

De temperaturen werden gemeten met een high-end IR thermometer van SKF, de TKTL20. Deze thermometer kan zowel via infrarood meten als via een sonde. Ik heb vooral gebruik gemaakt van de sonde. De gemeten waarden zijn zo nauwkeuriger dan met IR metingen. Er is immers een directe thermische koppeling.

**LEP:** brandende LEP met een kleine openingshoek

**LEP2:** met een grote openingshoek

**LEP uit:** meten na het uitschakelen van de LEP

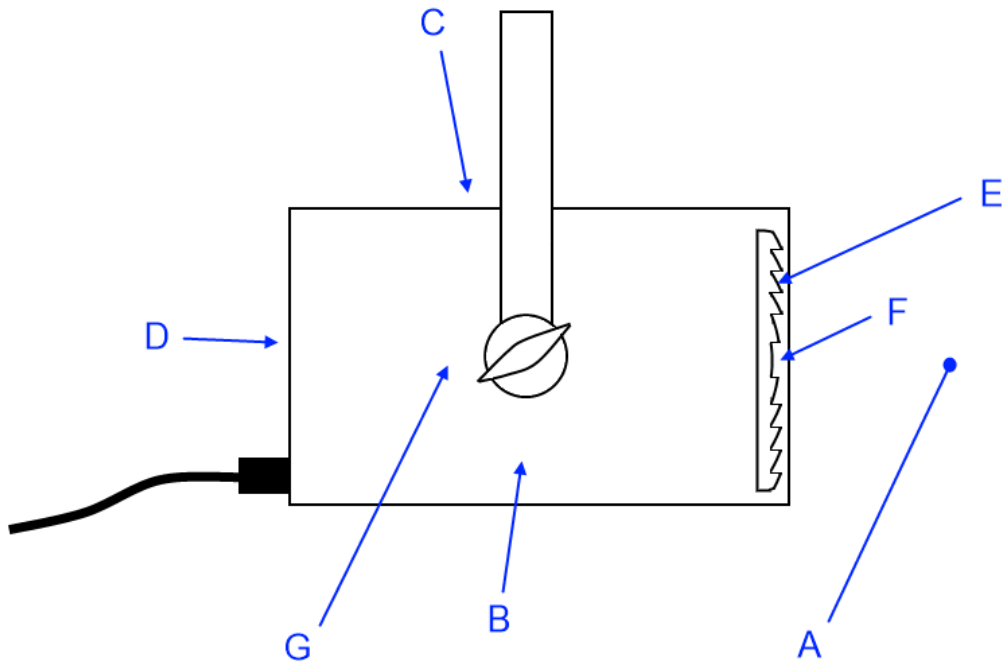
**1kW Fresnel:** brandende fresnel spot

**Fresnel uit:** meten na het uitschakelen van de fresnel spot.

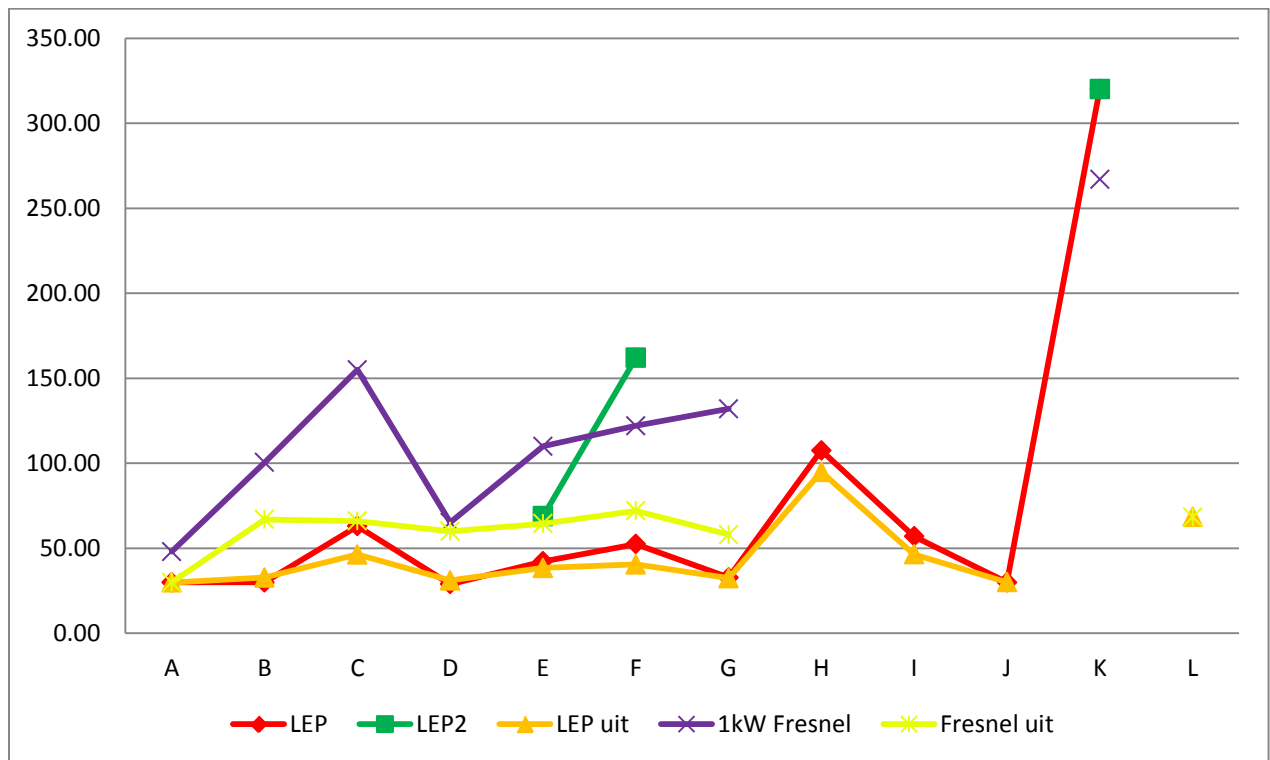
	LEP	LEP2	LEP uit	1kW Fresnel	Fresnel uit	
10cm voor lens	30,00		29,90	48,00	30,00	A
zij-onderkant	30,00		32,80	100,50	67,00	B
top	63,00		46,30	155,00	66,00	C
achterkant	28,90		31,10	65,20	60,00	D
lens	42,30	68,8	38,40	110,00	64,50	E
lens center	52,50	162	40,50	122,00	72,00	F
zijkant	32,80		32,40	132,00	58,00	G
emitter heatsink	107,50		94,90			H
driver	57,00		46,40			I
voeding	30,00		30,10			J
lamp meteen na uit	320,00	320,00		267,00		K
lamp 5 min uit			68,60		68,30	L

Alle waarden zijn in graden Celsius.





Bovenstaande afbeelding toont de precieze locatie van de meetpunten.

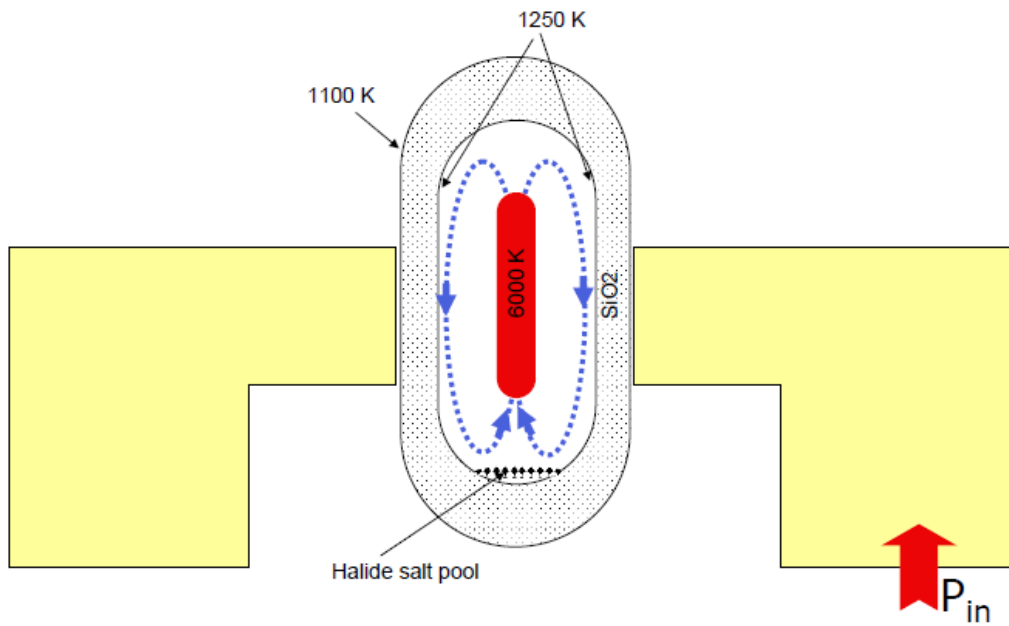


Deze grafiek is een grafische representatie van de waarden.

Meteen valt op dat de behuizing veel minder opwarmt. Een duidelijk bewijs dat de bron veel efficiënter is dan 1kW halogeen en er dus ook minder warmte gedissipeerd wordt.

Wat niet zo goed te meten viel, zijn de temperaturen van de brandende lampen. De LEP zou immers in de lamp zelf een temperatuur van 6000K krijgen. Aangezien er sprake is van een plasma kolom, is dit niet verwonderlijk.

De afbeelding hieronder toont de thermodynamica binnenin de kwartslamp. Het toont ook meteen wat ik niet heb kunnen meten, een oppervlaktetemperatuur van 1100K of 826,85°C.



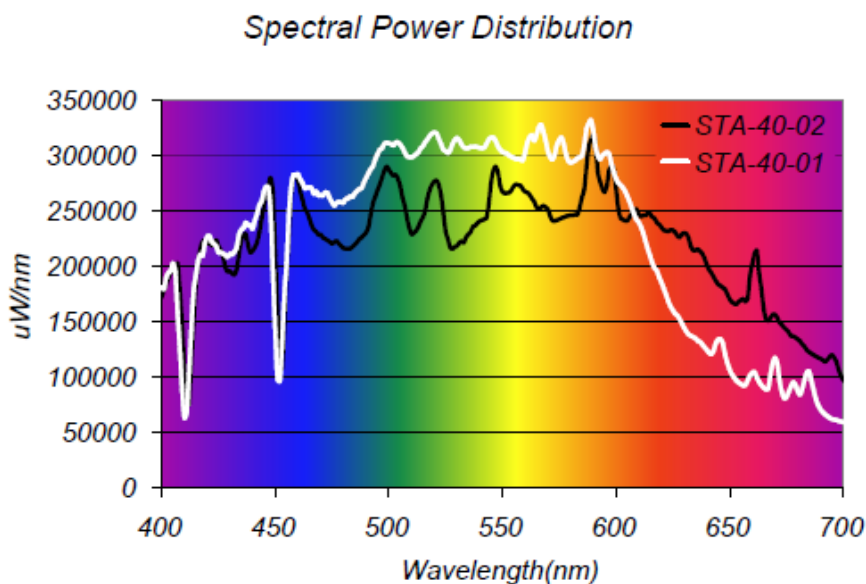
Figuur 31: De thermodynamica binnenin de LEP

## 7.2 Metingen in de VUB

In februari mocht ik gedurende twee dagen gebruik maken van het fotonica labo in de VUB campus te Etterbeek. Dit onder begeleiding van Prof. Dr. Ir. Heidi Ottevaere. Zo kon ik bepaalde gegevens die de fabrikant opgeeft, trachten te verifiëren. De metingen die ik heb uitgevoerd, focussen zich vooral op het kleurspectrum. De gebruikte toestellen zijn een *integrated sphere*, een lumimeter en een goniometrische radiometer.

### 7.2.1 Kleurweergave

Allereerst bekijken we even de spectrale analyse van de fabrikant zelf, weergegeven op onderstaande plot. Voor alle duidelijkheid, het model waar ik over beschik en waarmee ik getest heb is de STA-40-02.



**Figuur 32:** Spectrumanalyse Luxim

### Spectral Workbench

Nog voor ik in contact kwam met de afdeling fotonica van de VUB, heb ik geprobeerd om zelf relatieve kleurmetingen te doen. Hiervoor vind je op het internet allerlei creatieve manieren terug die gebruik maken van eenvoudige CD's. De smalle opeenvolgende sporen breken het licht immers op in verschillende golflengten. Dit is het typische regenboog effect dat we zien als we de data kant van een cd bekijken. Ik heb mij voor deze testen een handspectroscoop aangekocht.

Veel interessanter is echter Spectral Workbench, die spectrometrie naar het volk brengen door hun simpele methode om relatieve metingen te doen. Voor een lage prijs kun je een zelfbouwkit bestellen uit de VS met een USB camera. Ze verkopen zelfs een kartonnen kit, zodat je metingen kunt doen met de camera van een smartphone. Er is bovendien een sociaal platform, waar men metingen met elkaar kan delen.

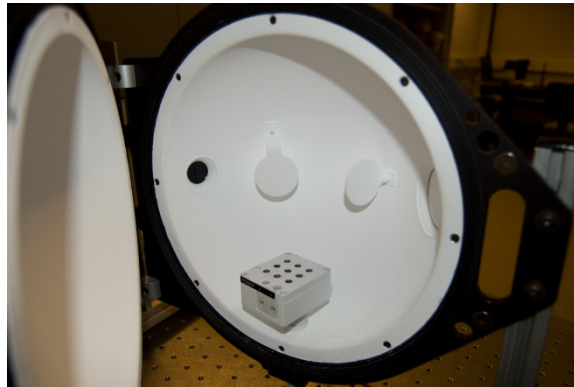
### Spectro(radio)meter

Om de kleurweergave te meten, hebben we een spectro(radio)meter nodig. Dit toestel bestaat uit een monochromator en een fotodetector. De monochromator wordt gebruikt om het invallende licht op te splitsen in een spectrum, zodat golflengtes geïsoleerd kunnen worden. Dit gebeurt met een

bewegend spreidingselement (een rooster of *grating* in het Engels), dat ervoor zorgt dat de straling van elke golflengte over de fotodetector komt te staan, zodat die gemeten kan worden. De spectrometer die gebruikt werd, is van Avantes. Deze spectrometer heeft een bereik van 350nm tot 1100nm (zichtbare licht tussen 400nm en 700nm) met een resolutie van 2,4nm. Parameters die een rol spelen op deze resolutie zijn de grootte van de spleet en de nauwkeurigheid van het spreidingselement dat het licht breekt in de verschillende golflengten. Dit betekent dat de resolutie bepaalt wat het bereik zal zijn. Het is bovendien noodzakelijk om de fotodetector uniform te belichten. Dit kan worden verwezenlijkt door het licht te verspreiden.<sup>26</sup> Hier is de integrated sphere, of integrerende sfeer voor nodig.

### Integrerende sfeer

Uit de naam kan men al afleiden dat het een bol is, waarin de lamp geplaatst wordt. Deze bol is aan de binnenkant gecoat met een speciale witte laag die het licht goed verspreidt. Het doel van deze vorm is ervoor te zorgen dat er geen direct licht gemeten kan worden. Binnenin zijn plaatjes



Figuur 33: Integrerende sfeer

bevestigd voor het punt waar de fiber optische kabel bevestigd is. Indien het gaat om grotere lampen, kunnen die, dankzij openingen, ook aangesloten worden. Men moet er echter altijd voor zorgen dat er geen licht lekt. Er bestaan ook grotere varianten met een diameter tot 2m. De fiber optische kabel loopt dan naar een spectrometer. Om de LEP in de integrated sphere te krijgen, moest er een poort op maat gemaakt worden voor de coaxkabel die van de driver naar de emitter loopt. Om de kleinere openingen tussen de poort en de kabel weg te werken, wordt gebruik gemaakt van zwarte tape.

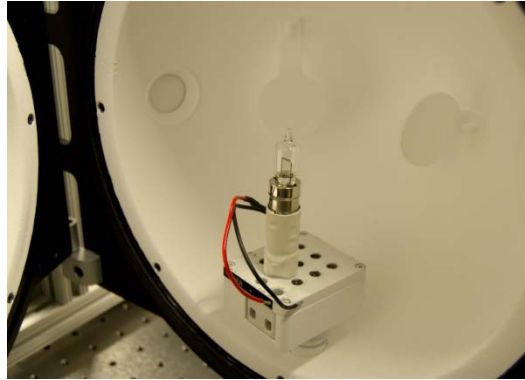
### Interface

De spectrometer wordt met een standaard USB kabel aangesloten op een laptop of computer. In de software (Avantes) moet eerst een *dark reference* gemaakt worden, een meting zonder licht in de sphere. Nu kan men aan de slag. Om een juiste meting uit te voeren moet een integratietijd ingesteld worden, zeg maar een sluitersnelheid. Staat deze te hoog, dan zal de spectrometer een verzadigd signaal hebben, dit is vergelijkbaar met een audio signaal dat clipt. Te laag zal een te zwakke meting opleveren.

<sup>26</sup> J. R. Coaton, M. A. Cayless, and Alfred Michael Marsden, "Lamps and lighting," in *Lamps and lighting* (Arnold, 1997), 74.

## Kalibratie

Eerst plaatsten we een kalibratielamp in de integrerende sfeer (Figuur 34). Dit is een halogeenlamp, waarvan alle gegevens bekend zijn. Voor de meting van deze lamp wordt vijftien à twintig minuten gewacht, om de lamp voldoende te laten opwarmen. Vervolgens worden de meetgegevens van deze lamp later verwerkt in de berekeningen.



Figuur 34: Kalibratielamp C64

## Uiteenzetten resultaten

Een meetresultaat – met een nauwkeurigheid van 1nm – bevat per golflengte ( $x$ -as) een aantal *counts* ( $y$ -as). Wanneer deze counts gedeeld worden door de integratietijd, hebben we het aantal counts per seconde. Tijdens het berekenen stootten we meermaals op enkele fouten. Om onze berekeningen te maken, hadden we verschillende waarden nodig. Eén van de getallen die we nodig hadden, was de kalibratiefactor. Dit getal wordt berekend door de referentie van de fabrikant te vermenigvuldigen met het aantal counts per seconde van de gebruikte kalibratielamp. Als we die kalibratiefactor vermenigvuldigen met het aantal counts, en dat vervolgens delen door de integratietijd, kwamen we uit op het optisch vermogen per golflengte.

## Problemen betreffende kalibratiewaarden

Dit optische vermogen per golflengte bleek uiteindelijk bijzonder hoog te liggen. Hierdoor waren we niet in staat om het absolute vermogen te berekenen, aangezien dat ook ver buiten proportie lag. We moesten het vermogen per golflengte dus op een andere manier berekenen. De oplossing was om de fabrikantsreferentie te delen door het aantal counts per seconde van de kalibratielamp, en dit resultaat vermenigvuldigen met het aantal counts per seconde van de meting. In elk geval konden we de gegevens nu plotten. De absolute waarden kloppen misschien niet helemaal, maar het verloop is wel juist. Prof. Ottevaere is zelf nog steeds op zoek naar de juiste gegevens van de fabrikant.

## Trichromatische waarden of witpunt

Het resultaat konden we nu gebruiken om het aantal lumen per golflengte te bepalen, alsook de locatie van het wit-punt op de CIE driehoek. We hebben zowel de driehoek van 1931 als die van 2006 bekeken en de verschillen waren vrij miniem. Daarom zijn de witpunten die ik berekend heb volgens de CIE van 2006, omdat die een nauwkeurigheid heeft van 1nm i.p.v. 5nm.

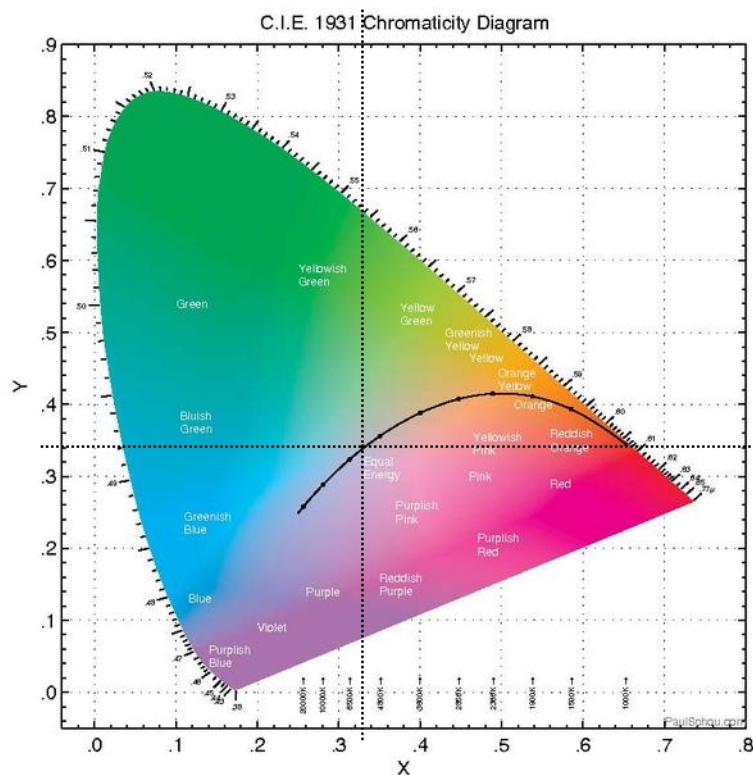
We zoeken nu drie waarden: X, Y en Z. Om deze te berekenen, moest ik de waarden van de metingen in een door de VUB verschaft Excel document invullen. Als we alle Y-waarden optellen, verkrijgen we in principe het totale optische vermogen in lumen. De volgende en meteen laatste stap berekent de coördinaten van het witpunt x, y en z of de trichromatische waarden. Voor het berekenen van x moet X worden gedeeld door de som van X, Y en Z. Zo gaat het ook voor de overige waarden.<sup>27</sup>

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad \text{met } z = 1 - x - y$$

$S(\lambda)$  is hierbij het gemeten spectrum en de berekeningen werden gedaan van 390 tot 830nm, het zichtbare spectrum.

Hieronder zien we het witpunt van LEP. De trichromatische waarden zijn:

$$x = 0,33 \quad y = 0,34 \quad (z = 0,32)$$



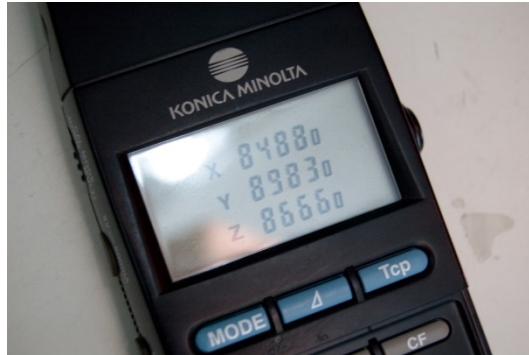
Figuur 35: CIE driehoek met de lijnen die het LEP witpunt aanduiden.

<sup>27</sup> W. Meulebroeck, "Laboratories in Photonics Research, MO 3&4: Optical Components", 2012 2011.

Ik heb eveneens de witpunten berekend van de gedimde meetwaarden, dus bij 20, 30, 40, 60, 70, 80 en 90%. Het resultaat hiervan kunt u bekijken in de bijlagen (13.1.3).

### Lumimeter

Een andere manier om die coördinaten te verkrijgen en de berekeningen grotendeels over te slaan, is het gebruik van een lumimeter. Deze geeft immers meteen X, Y en Z waarden, maar de fotosensor van deze meter kan nooit zo goed het licht opvangen als in de integrerende sfeer het geval is. De



Figuur 36: Lumimeter met gemeten waarden

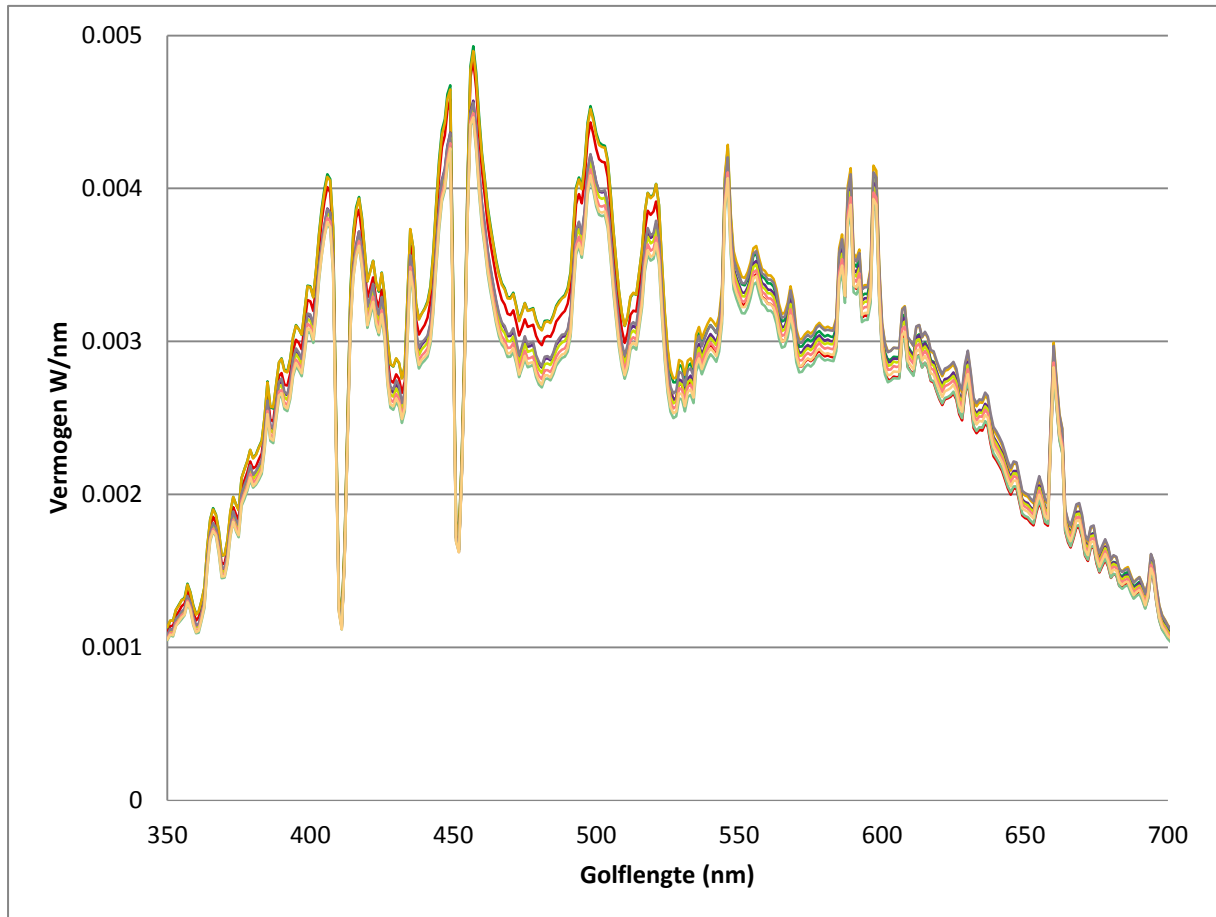
waarden dienen dus enkel als relatief te worden beschouwd. We kunnen ze naast de waarden uit de integrerende sfeer leggen. Met de resultaten zoals te zien op Figuur 36,  $X = 8488$   $Y = 8983$   $Z = 8666$ , verkrijgen we volgende trichromatische waarden:  $x = 0,33$   $y = 0,34$   $z = 0,33$ . Wat bijna volledig hetzelfde is als de meer uitgebreide berekening.

## Het spectrum

Laat ons nu daadwerkelijk naar het spectrum kijken. Dat ziet er overigens heel goed uit. Het verloop van het spectrum is quasi identiek te noemen met het resultaat dat Luxim ons geeft.

Wat wel opviel was het fluctueren van de waarden, wat soms gepaard ging met zichtbare sprongen in het licht.

Deze grafiek toont die fluctueringen in het spectrum.

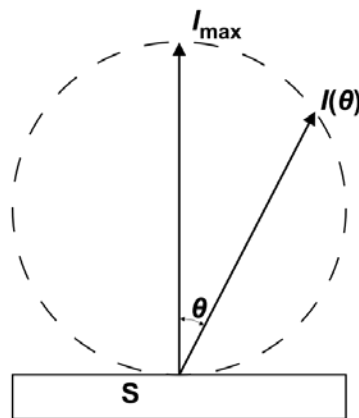


In de bijlagen (zie 13.1) kunt u nog meer foto's vinden, alsook meerdere plots.



### 7.2.2 Wet van Lambert

Net als bij een LED straalt een LEP uit volgens een Lambertiaans patroon. Dit patroon volgt uit de Wet van Lambert.

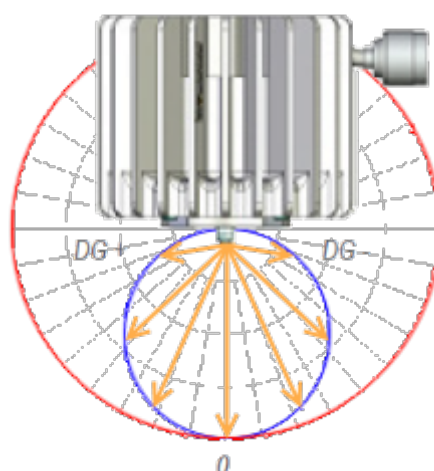


**Figuur 37: Wet van Lambert**  
S=lichtbron,  $\theta$ =hoek,  
 $I(\theta)$ =stralingssterkte

Indien de intensiteit van één oppervlakte-deeltje loodrecht op de oppervlakte bekeken gelijk is aan  $I$ , dan is de intensiteit bekeken onder een hoek  $\theta$  tegenover een loodlijn gelijk aan  $I(\theta)$ . Door perspectiefffecten lijkt je een kleinere oppervlakte waar te nemen als je onder een hoek naar een blad papier kijkt, dan wanneer je er loodrecht op kijkt. Hoeveel kleiner is recht evenredig met de cosinus van de hoek waarin je kijkt. Kijk je recht op de rand, dan zie je geen oppervlakte meer, dat is onder een hoek van  $90^\circ$ , en de cosinus daarvan is 0.

$$\frac{I(\theta)}{A \cos(\theta)} = L$$

Deze formule berekent de luminantie van het oppervlak. Het is de verhouding tussen de stralingssterkte en het, in de kijkrichting geprojecteerd, gereduceerde oppervlak.<sup>28</sup>



**Figuur 38: Lambertiaans patroon**

<sup>28</sup> "Wet van Lambert," Wikipedia, December 19, 2012, [http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Wet\\_van\\_Lambert&oldid=34047862](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Wet_van_Lambert&oldid=34047862) (benaderd 14 januari, 2013).

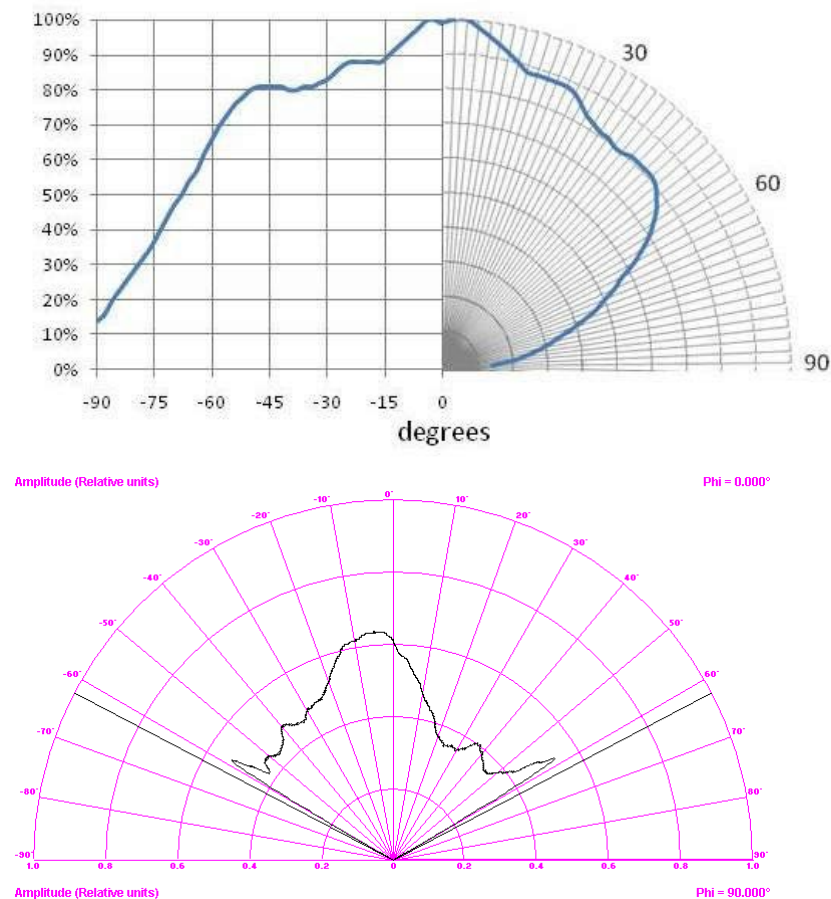
### 7.2.3 Emissie patroon

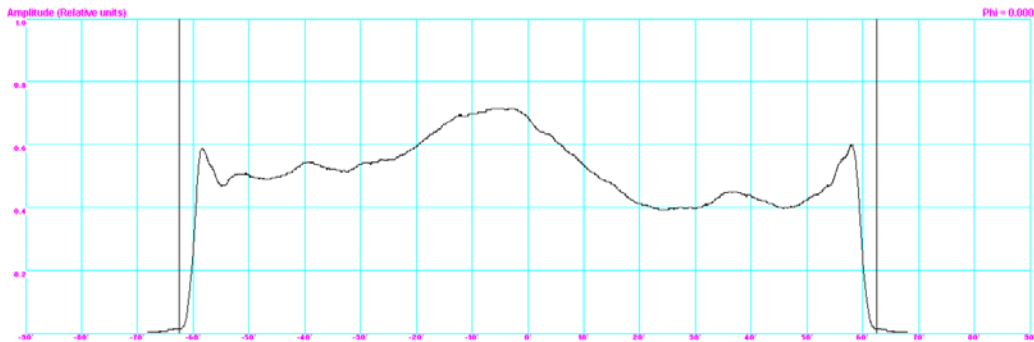
Voor het meten van het emissie patroon of far-field patroon, wordt gebruik gemaakt van een goniometrische radiometer. Zoals te zien op de afbeeldingen, wordt de lichtbron voor een smalle opening geplaatst. Hoe dichter, hoe beter. De afstand tot deze opening moet vervolgens in de software worden opgegeven, zodat de gemeten lichtsterkte hiermee in verhouding staat. Net als bij de spectrometer mag het signaal niet verzadigd worden en wordt er dus een gain (in dB) ingesteld. De smalle opening draait steeds 90°, om zo de spreiding in alle hoeken te meten. Bij het opmeten moeten mogelijk nog kleine positiewijzigingen gedaan worden met de bron, zodat beide signalen symmetrisch zijn.



**Figuur 39: Goniometrische radiometer**

Hieronder de data van Luxim vergeleken met één van de meetresultaten:





Het is duidelijk dat beide emissiepatronen niet meteen overeenkomen. Het gemeten emissiepatroon is niet helemaal symmetrisch en vertoont niet dezelfde vorm als de verstrekte informatie. De hele grote openingshoek kon echter niet goed gemeten worden aangezien een kleine hoeveelheid van het uitgezonden licht niet naar voren, maar naar opzij wordt gestraald.

We hebben in totaal vier metingen gedaan, waarvan de gegevens kunnen worden bekeken in de bijlagen (13.1.4).

### 7.2.4 Absoluut vermogen

Zoals hierboven bij kleurweergave staat aangegeven, kunnen we door het optellen van alle Y-waarden het absolute optische vermogen achterhalen. We waren echter niet zeker van onze resultaten, omdat deze nooit in verhouding waren. Niet met de kalibratielamp, noch met de specificaties van de fabrikant.

Volgens Luxim heeft LEP een gemiddelde lumendichtheid van 23000lm, wat bijzonder veel is voor een kwartslamp van klein formaat (dit zal sterk verschillen van model tot model). Om deze lichtsterkte te evenaren, heeft men al snel een grote gasontladingslamp nodig, of een LED engine met behoorlijk wat LEDs. Bovendien is het nodig te vermelden dat deze technologie zich nog steeds verder aan het ontwikkelen is. Men is dan ook al bezig om een LEP met het dubbele van dit vermogen te ontwikkelen. De STA-75-01, met een vermogen van 500W en een lichtsterkte van 45000lm! De toekomst zal uitwijzen of er nog sterkere varianten op de markt gebracht zullen worden.

### 7.2.5 Verbruik/ Efficiëntie

Luxim plaatst de doeltreffendheid van verschillende bronnen op een rij, en geeft ons volgende tabel:

Lichtbron	Efficiëntie in lm/W	CRI	Levensduur in uren
LiFi of LEP	115	80	50000
Metaalhaliden	85	75	18000
Keramische metaalhaliden	100	90	15000
LED	110	75	50000
Hoge druk natrium	125	20	24000
Lage druk natrium	180	<20	16000

Deze resultaten moeten terug genuanceerd worden, want er bestaan immers verschillende types van alle genoemde lampen. Zelfs Luxim heeft verschillende LEP modellen waarvan de CRI en de efficiëntie zullen verschillen. Maar op het eerste zicht is het duidelijk dat LEP op lange termijn de overhand haalt.

## 8. CONVERSIE NAAR LEP

### 8.1 I.v.m. ontwerp

Het is nu wel duidelijk dat LEP verschilt van traditionele HID lampen. De solid-state elektronica en het ontbreken van elektroden zijn dan ook de voornaamste voordelen. De kleine kwartslamp is daardoor meteen veel robuuster. Bovendien is het licht meer gericht. Er is ook veel minder licht dat in de armatuur zelf straalt, waardoor de temperatuur van de spot niet in die mate toeneemt als bij halogeen. Het kan in principe ook nog eens elektronisch gedimd worden. Het heropstarten van de lamp gebeurt vrij vlot en ze kan in elke positie georiënteerd worden. Al deze voordelen betekenen dat we geen rekening hoeven te houden met beperkende eigenschappen als we over een ontwerp gaan nadenken.

### 8.2 I.v.m. constructie

Zoals beschreven in hoofdstuk 4 wordt al het licht naar voren, in een Lambertiaans patroon, uitgestraald. Hierdoor is het veel efficiënter dan de meeste lichtbronnen. Dit alleen al is goed voor een lichttoename van 30%. Het zorgt voor veel voordelen wat de constructie betreft. Omdat de bron kleiner is, zijn ook kleinere lenzen en reflectoren mogelijk. Toch kan een grote opbrengst gerealiseerd worden. In sommige armaturen met grote lampen kan de efficiëntie verdubbeld worden door het installeren van een LEP. Bovendien kan de productiekost en de energiekost ook naar beneden gehaald worden door deze kleinere, doch efficiëntere bron.

### 8.3 Fresnel spot

Een fresnel spot ombouwen is in principe snel gebeurd. De halogeenlamp moet eruit en de LEP erin. Omdat de LEP een zeer goede puntbron is, is een reflector niet meteen nodig. Zo kan de LEP in theorie tot heel dicht bij de lens geplaatst worden. Voor korte brandperiodes kan dit niet meteen kwaad, maar bij langere brandtijden kan de temperatuur ons toch parten gaan spelen. Het grootste probleem is echter de driver en voeding in het ontwerp integreren. De afstand tussen de emitter en de voeding is zeer klein, waardoor er moeilijk flexibel gewerkt kan worden.

### 8.4 Profielspot

Eerst leek het me niet echt mogelijk om de profielspot die ik had gekregen uit te rusten met mijn LEP. Na veel met de fresnel spot bezig te zijn geweest en na wat frustratie, ben ik er dan toch mee aan de slag gegaan. Tot mijn verbazing was ik in staat om alle onderdelen netjes in te bouwen, met uitzondering van de driver en voeding. Een oplossing hiervoor vinden vraagt wat meer tijd. Ik kon er zelfs een reflector in monteren. Ik was heel enthousiast dat dit tot dusver allemaal gelukt was. Toen ik de profielspot ook ging uitproberen, bleek dit eerder een koude douche te zijn. De lichtvlek was niet echt nuttig te noemen. Ik realiseerde mij dan ook dat dit optische systeem niet op elkaar afgestemd was. Ik heb dan ook meteen een mail gestuurd naar Prof. Ottevaere met de vraag of zij mij niet verder kon helpen. Op de afdeling fotonica beschikt men namelijk over de nodige software om optische systemen te simuleren. Hiervoor moest ik alle beschikbare gegevens doorsturen, waaronder de brandpuntsafstanden van de lenzen. Deze heb ik berekend met behulp van mijn zelfgemaakte optische bank. Helaas kon men mij niet verder helpen aangezien ze geen specifieke data hebben over de emitter. Een professional zou mij wel verder kunnen helpen, maar dit zou geld en vooral tijd gaan kosten. Pas in juni zou deze persoon hier tijd aan kunnen besteden.



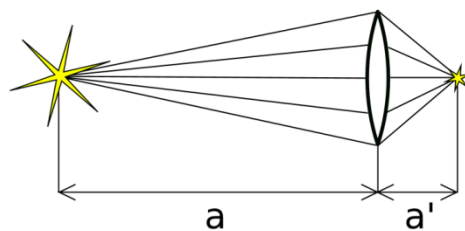
Figuur 40: Profielspot uitgerust met LEP

### 8.4.1 Optische bank

Al redelijk vroeg in mijn onderzoek heb ik deze optische bank in elkaar gestoken, met behulp van kleine aluminium profielen van Makerbeam. Mijn bedoeling was hier de lenzen van de gekregen profielspot op te plaatsen en kijken wat dit oplevert. Ik ben daar echter nooit verder ingegaan en had deze optische bank al snel aan de kant geschoven. Tot bleek dat ik de brandpuntsafstand van de lenzen moest bepalen. Op de afbeelding hieronder is mijn werkmethode te zien alsook de gebruikte formule.



Measuring focal length



Twibright Labs

Figuur 41: Brandpuntsafstand berekenen

## 9. IN DE PRAKTIJK

### 9.1 Handelsbeurs Concertzaal

Tijdens mijn stage in het eerste semester heb ik mijn LEP meegenomen naar de Handelsbeurs Concertzaal in Gent. Ik heb ze niet meteen kunnen gebruiken tijdens een concert, maar in de periode dat hij daar stond, kon er vergeleken worden met een traditionele 1kW halogeen fresnel.

In de bijlagen kunt u dan ook enkele foto's zien die het verschil kunnen aantonen.

## 9.2 Hive Lighting

Dit Amerikaans bedrijf is gespecialiseerd in filmbelichting, gebruikmakende van Luxims LEP. Zij hebben reeds verschillende ontwerpen uitgedacht, waaronder ook een fresnel. Ze maken echter ook een PAR en zelfs clusters van meerdere LEP emitters om zo een enorm grote lichtopbrengst te hebben, wat al dan niet vereist is in de filmwereld. Ze beweren zelf dat de LEP met zijn 280W een groter lichtvermogen levert dan een 2kW halogeenspot!! LEP heeft zich m.a.w. al een weg gevonden naar Hollywood. Al valt me wel op dat ook zij soms moeite hebben om de driver en voeding te integreren in een ontwerp.



Figuur 43: Hornet Plasma Fresnel



Figuur 42: Wasp PAR

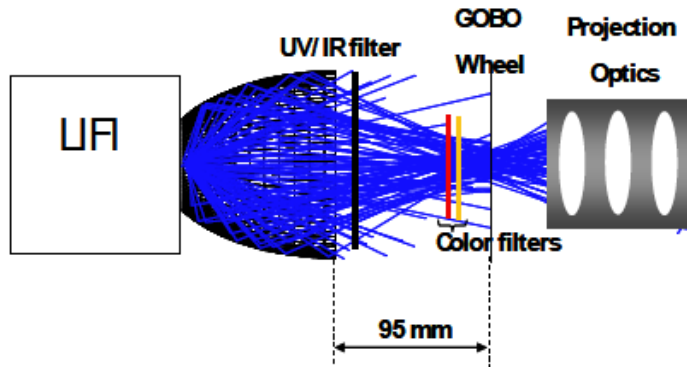


Figuur 44: Killer 4-light Maxi

De 4 lampen in de Killer 4-Light Maxi hebben een gecombineerd verbruik van 1kW, maar geven meer licht dan een 6kW halogeenspot.

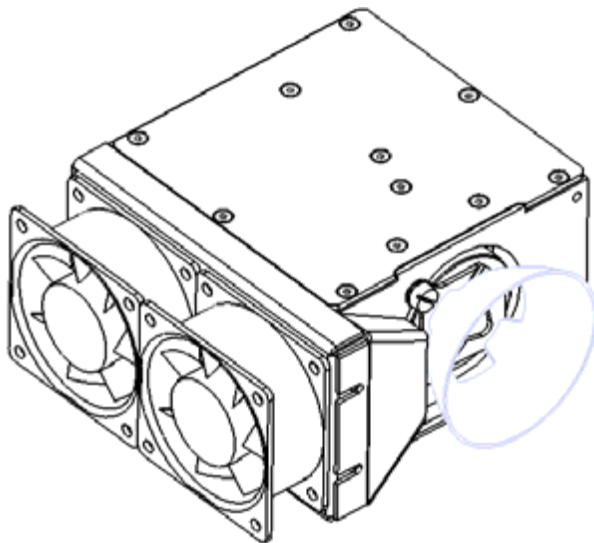
### 9.3 Robe

In 2008 bracht Robe in samenwerking met Luxim een moving head op de markt die gebruik maakt van een speciaal ontworpen plasma lamp: de LiFi-ENT 30.<sup>29</sup>



Figuur 45: Optisch pad moving head met LEP

Figuur 45 toont de speciaal ontworpen reflector om het licht optimaal te bundelen en door het optische pad van de moving head te sturen. Figuur 46 hieronder toont de eigenlijke emitter.



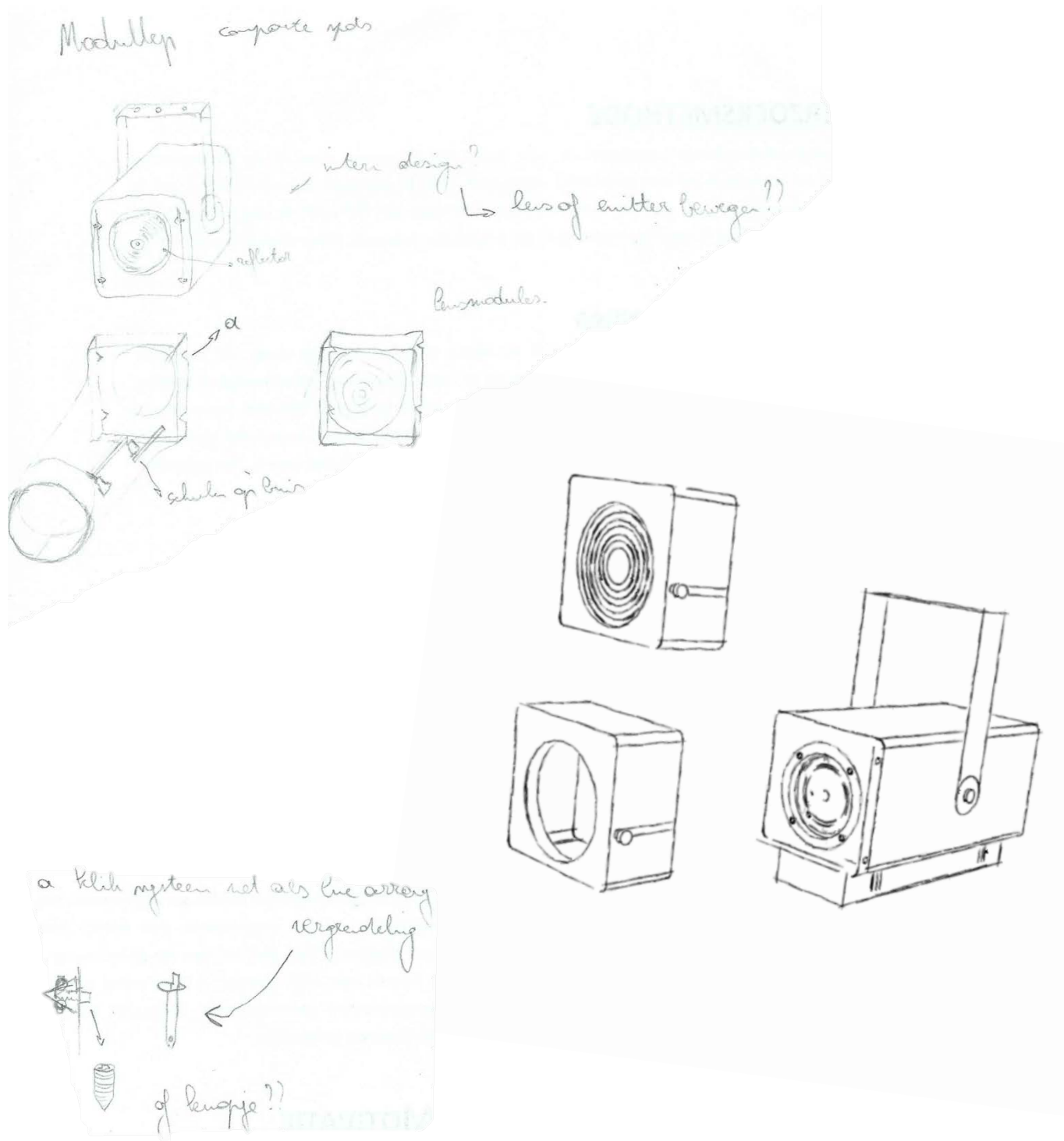
Figuur 46: LIFI-ENT 30

Deze is, zoals eerder vermeld, speciaal ontworpen voor de Robe Robin 300 Plasma serie. Luxim stelt zelf dat ze graag samen tot een ontwerp komen voor een nieuwe toepassing. Zo zijn er bij deze versie namelijk meer maatregelen nodig. De actieve koeling is daar een goed voorbeeld van. Deze moving head wordt ondertussen niet meer geproduceerd aangezien Robe zich ten volle wil bezighouden met LED, wat natuurlijk verstaanbaar is als we de markt bekijken.

<sup>29</sup> Luxim, "LIFI-ENT- 30 SOLUTION FOR ENTERTAINMENT LIGHTING (MOVING HEAD)", 1 april, 2008, [http://www.lifi.com/pdfs/AN005\\_EntertainmentLighting.pdf](http://www.lifi.com/pdfs/AN005_EntertainmentLighting.pdf) (benaderd 13 mei, 2013).

# 10. MODULLEP

Tijdens mijn scriptieproces heb ik meerdere keren stilgestaan bij het ontwerpen van een compacte, maar toch enorm krachtige lichtbron met een variërende openingshoek. Op sommige momenten heb ik mijn gedachten de vrije loop laten gaan en ben ik met het volgende concept op de proppen gekomen: "ModulLep". Het zit al wat verborgen in de naam. Een spot die, naargelang de configuratie, voor verschillende doeleinden kan gebruikt worden. Het zou natuurlijk mooi zijn moest ik hier effectief iets mee kunnen doen. Hieronder wat concepttekeningen en schetsen.





## 11. CONCLUSIE

“Kan LEP de huidige lichtbronnen in theater vervangen?” Daarop is niet meteen een eenduidig antwoord te vinden. Mijn onderzoek heeft wel aangetoond dat LEP ongetwijfeld gebruikt kan worden in een theateromgeving. De lichtkwaliteit is bijzonder goed. Misschien kan het in de toekomst inderdaad verschillende andere lichtbronnen vervangen, al dan niet door gebruik te maken van filters. Voorlopig kunnen we het echter beschouwen als een nieuwe mogelijkheid, die we bovendien nog moeten verkennen, zeker hier in Europa. De toekomst zal uitwijzen wat deze bron ons echt te bieden heeft. Het feit dat het zich een weg gebaad heeft naar menig TV- en filmstudio (in de V.S.) bewijst dat de nodige kwaliteiten er zeker zijn.

Ik kan besluiten dat deze technologie nog jong is, maar zonder meer veelbelovend. Meer licht, voor een lager verbruik kan niet anders dan goed onthaald worden.

## 12. BIBLIOGRAFIE

### 12.1 Documenten

Abdeslam, Hafidi. "Increased Collection Efficiency of LIFI™ High Intensity Electrodeless Light Source." SPIE08, San Jose, 22 januari, 2008.

Coaton, J. R., M. A. Cayless, and Alfred Michael Marsden. *Lamps and lighting*. Arnold, 1997.

Gilliard, Richard. DeVincentis, Marc. Hafidi, Abdeslam. O'Hare, Daniel. Hollingsworth, Gregg. "Longitudinally mounted light emitting plasma in a dielectric resonator" *Journal of Physics D: Applied Physics* 44: 1

Luxim. "AN005 LIFI-ENT-30 Solution For Entertainment Lighting (Moving Head)." [http://www.lifi.com/pdfs/AN005\\_EntertainmentLighting.pdf](http://www.lifi.com/pdfs/AN005_EntertainmentLighting.pdf)

Luxim. "Clean Lighting Solutions." <http://luxim.com/downloads/lep-brochure.pdf>

Martin, Thomas Commerford. *The inventions, researches and writings of Nikola Tesla*. New York: Press of Mclloy & Emmet, 36 Cortlandt St., N. Y., 1894. <http://www.gutenberg.org/ebooks/39272> (benaderd 20 mei, 2012).

Meulebroeck, W. "Laboratories in Photonics Research, MO 3&4: Optical Components", 2012 2011.

Richard P. Gilliard, Marc DeVincentis, Member, IEEE, Abdeslam Hafidi, and Daniel O'Hare, Gregg Hollingsworth. "Operation of the LiFi Light Emitting Plasma in Resonant Cavity." *IEEE Transactions on Plasma Science* 39, no. 4 (April 2011): 8.

Stroh, Steve. "Unintended Consequences of High-Efficiency Lighting." *Broadband Properties Magazine*, april 2002. <http://www.broadbandproperties.com/2002%20issues/april%2002/rf%20lighting.htm> (benaderd 14 december, 2012).

Walker, Dale S. "Lamp Apparatus With Reflective Ceramic Sleeve Holding A Plasma That Emits Light." U.S. Patent 5.949.180. Ingediend 20 december, 1996. Uitgereikt 7 september, 1999.

### 12.2 Internet

Fusion Lighting Inc. "Home." *Fusion Lighting*, n.d. <http://web.archive.org/web/20010209135028/http://www.fusionlighting.com/> (benaderd 11 december, 2012).

Fusion Lighting Inc. "Special." *Fusion Lighting*, n.d. <http://web.archive.org/web/20010330191647/http://www.fusionlighting.com/special.htm> (benaderd 12december, 2012).

Fusion Lighting Inc. "Technology." *Fusion Lighting*, n.d.

<http://web.archive.org/web/20010330195320/http://www.fusionlighting.com/technology.htm> (benaderd 12 december, 2012).

"HUBER+SUHNER Radio frequency", n.d.

<http://ipaper.ipapercms.dk/hubersuhner/Technologies/Radiofrequency/RFConnectorsEN/> (benaderd 12 februari, 2013).

Inductieverlichting.com. "Soorten en modellen", <http://www.inductieverlichting.com/soorten-en-modellen> (benaderd 16 mei, 2013).

Knisley, Joseph R. "RF Lighting Tunes Improved Illumination." *EC&M Electrical Construction & Maintenance*, November 1, 2002. <http://ecmweb.com/content/rf-lighting-tunes-improved-illumination> (benaderd 14 december, 2012).

Luxim. "How LEP works." *Luxim*, n.d. <http://luxim.com/technology/how-lep-works> (benaderd 20 september, 2012).

Luxim. "Plasma Lighting FAQ." *Technology*, n.d. <http://luxim.com/technology/plasma-lighting-faq> (benaderd 7 juni, 2012).

National Museum of American History. "Experimental Sulfur Lamp." Educatief. *National Museum of American History*, n.d. [http://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah\\_995200](http://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_995200) (benaderd 11 december, 2012).

Plasma International. "20th Century Inventors: Sulphur Lamp Electrodeless Plasma Lamps." *Plasma Light History*, n.d. <http://www.plasma-i.com/michael-ury.htm> (benaderd 10 december, 2012).

"Plasma (physics)." *Wikipedia, the free encyclopedia*, January 11, 2013. [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Plasma\\_\(physics\)&oldid=532404209](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Plasma_(physics)&oldid=532404209) (benaderd 14 januari, 2013).

Rensselaer Polytechnic Institute. "Lighting answers", March 2005. <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/mwmhl/restrikeTimes.asp> (benaderd 16 mei, 2013).

Sullivan, Charles. "SKIN EFFECT, PROXIMITY EFFECT, AND LITZ WIRE", n.d. <http://www.dartmouth.edu/~sullivan/litzwire/skin.html> (benaderd 9 mei, 2013).

"Waves in plasmas." *Wikipedia, the free encyclopedia*, December 14, 2012. [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Waves\\_in\\_plasmas&oldid=489538487](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Waves_in_plasmas&oldid=489538487) (benaderd 14 januari, 2013).

"Wet van Lambert." *Wikipedia*, December 19, 2012.

[http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Wet\\_van\\_Lambert&oldid=34047862](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Wet_van_Lambert&oldid=34047862) (benaderd 14 januari, 2013).

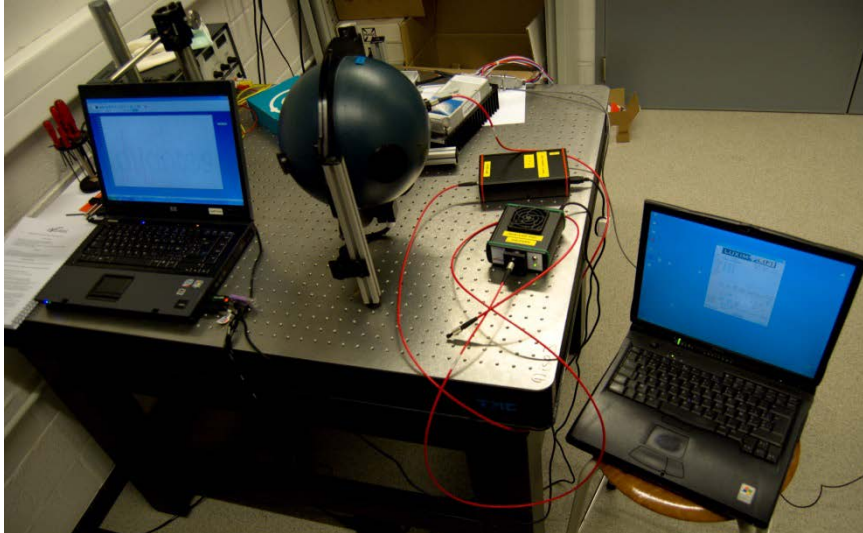
## 12.3 Figuren

FIGUUR 1: NIKOLA TESLA .....	2
FIGUUR 2: ZWAKKE ONTLADING .....	3
FIGUUR 3: STERKERE BOOGONTLADING .....	3
FIGUUR 4: EEN LAMP VAN TESLA .....	3
FIGUUR 5: BUISLAMPEN DIE OVERAL TUSSEN DE TWEE METALEN PLATEN ZULLEN BRANDEN. ....	4
FIGUUR 6 .....	5
FIGUUR 7: GRAFISCHE REPRESENTATIE VAN DE ILLUMINANTIE .....	5
FIGUUR 8: LEE ANDERSON EN MICHAEL URY.....	6
FIGUUR 10: DOORSNEDE LIGHTDRIVE .....	6
FIGUUR 9: LIGHTDRIVE.....	6
FIGUUR 11: CERAVISION, HEP (HIGH EFFICIENCY PLASMA).....	7
FIGUUR 12: PLASMA INTERNATIONAL, A1300 .....	7
FIGUUR 13: LUMARTIX, LUMIXO.....	7
FIGUUR 14: BYTELIGHT PATENTTEKENING.....	7
FIGUUR 15: WERKING INDUCTIELAMP.....	8
FIGUUR 16: OSRAM ENDURA 150W INDUCTIELAMP .....	9
FIGUUR 17: QL COMPANY 165W INDUCTIELAMP .....	9
FIGUUR 18: LUXIM LiFi (LIGHT FIDELITY) .....	9
FIGUUR 19: PLAATSING KWARTSBALLON .....	10
FIGUUR 20: VERGELIJKING VAN DE COAXIALE CONNECTOREN.....	11
FIGUUR 21: MINIMUM AFSTAND TUSSEN TWEE BOCHTEN.....	12
FIGUUR 22: DE EMITTER MAG VAN BEPAALDE VERSIES IN ELKE HOEK BRANDEN .....	12
FIGUUR 23: STAANDE GOLF IN DE RESONATOR.....	13
FIGUUR 24: ELEKTRISCHE VELD IN DE RESONATOR VOOR EN NA PLASMA OPWEKKING .....	13
FIGUUR 25: LAWINE-EFFECT BIJ IONISATIE. ....	14
FIGUUR 26: GUI OM LEP TE STUREN.....	15
FIGUUR 27: EEN LEP KWARTSBALLON .....	17
FIGUUR 30: METING DIE HET MAGNETISCHE VELD WEERGEeft.....	18
FIGUUR 29: NOG EEN METING DIE HET ELEKTRISCHE VELD WEERGEeft .....	18
FIGUUR 28: METING DIE HET ELEKTRISCHE VELD WEERGEeft .....	18
FIGUUR 31: DE THERMODYNAMICA BINNENIN DE LEP .....	22
FIGUUR 32: SPECTRUMANALYSE LUXIM.....	23
FIGUUR 33: INTEGRERENDE SFEER.....	24
FIGUUR 34: KALIBRATIELAMP C64 .....	25
FIGUUR 35: CIE DRIEHOEK MET DE LIJNEN DIE HET LEP WITPUNT AANDUIDEN. ....	26
FIGUUR 36: LUMIMETER MET GEMETEN WAARDEN .....	27
FIGUUR 37: WET VAN LAMBERT $S$ =LICHTBRON, $\theta$ =HOEK, $I(\theta)$ =STRALINGSSTERKTE .....	29
FIGUUR 38: LAMBERTIAANS PATROON .....	29
FIGUUR 39: GONIOMETRISCHE RADIOMETER.....	30
FIGUUR 40: PROFIELSPOT UITGERUST MET LEP .....	33
FIGUUR 41: BRANDPUNTSAFSTAND BEREKENEN.....	33
FIGUUR 42: WASP PAR.....	34
FIGUUR 43: HORNET PLASMA FRESNEL.....	34
FIGUUR 44: KILLER 4-LIGHT MAXI.....	34
FIGUUR 45: OPTISCH PAD MOVING HEAD MET LEP .....	35
FIGUUR 46: LiFi-ENT 30.....	35

## 13. BIJLAGEN

### 13.1 Metingen VUB

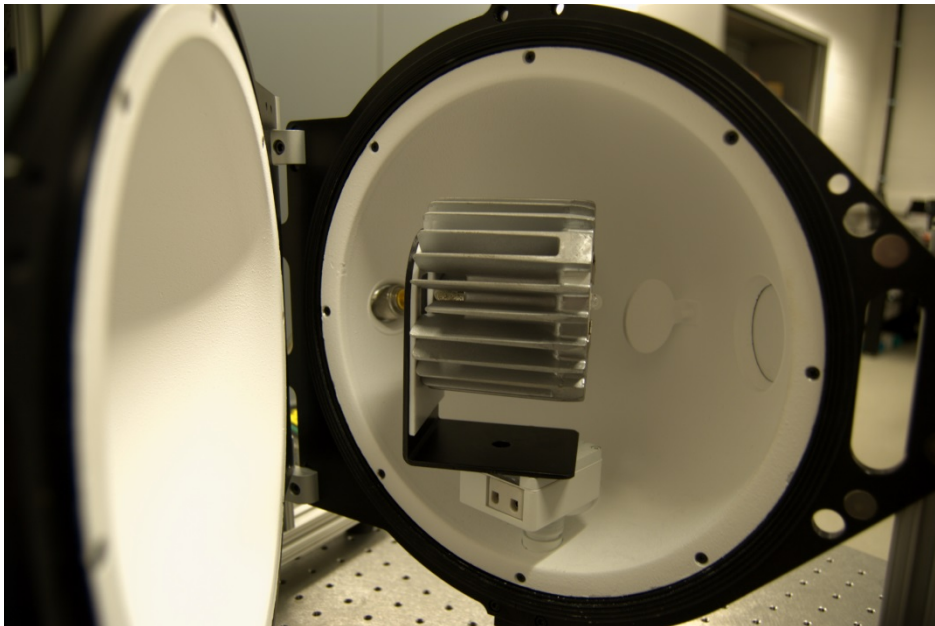
#### 13.1.1 Extra foto's



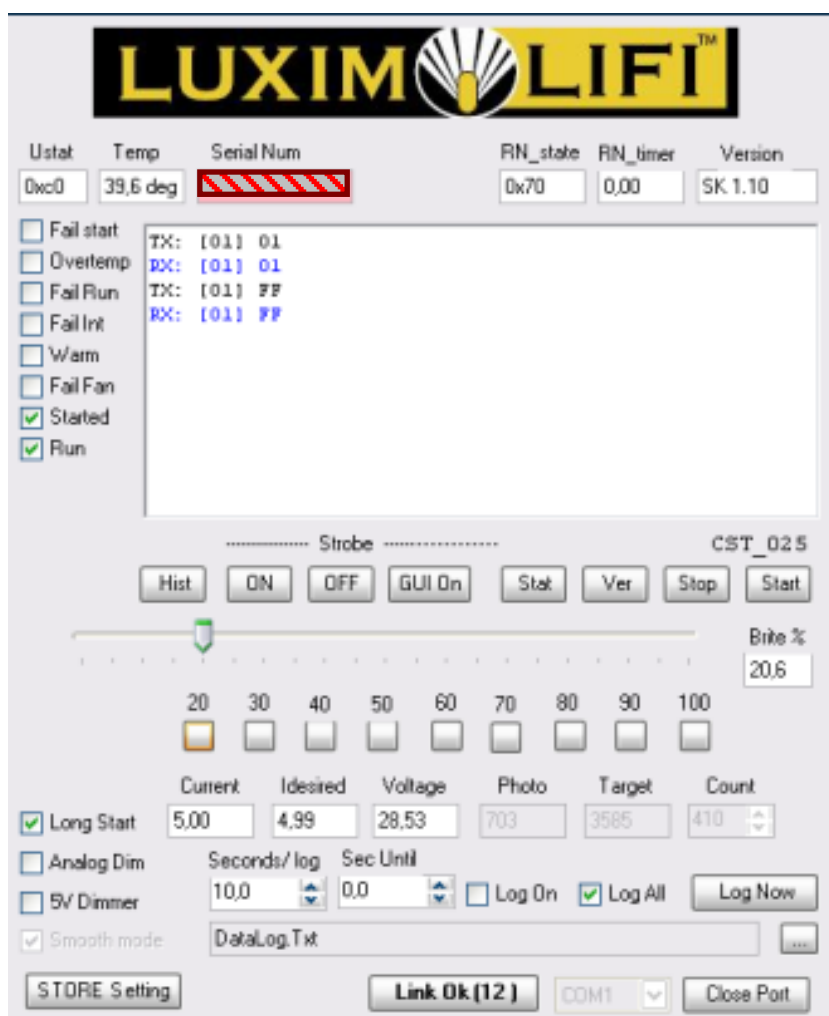
Mijn werkopstelling in een van de fotonica labo's. Links de laptop die verbonden is met de spectrumanalyser. Rechts de laptop die de LEP aanstuurt. In het midden de integrated sphere. Een relatief klein model aangezien de afdeling fotonica vooral met lasers, LEDs en fiber optische kabels werkt.



Op bovenstaande afbeelding is links de poort te zien waar de coaxiale kabel door moet. Rechts daarvan zit de poort met de fiber optische collector, daarvoor zit een plaatje, zodat direct licht niet kan invallen.

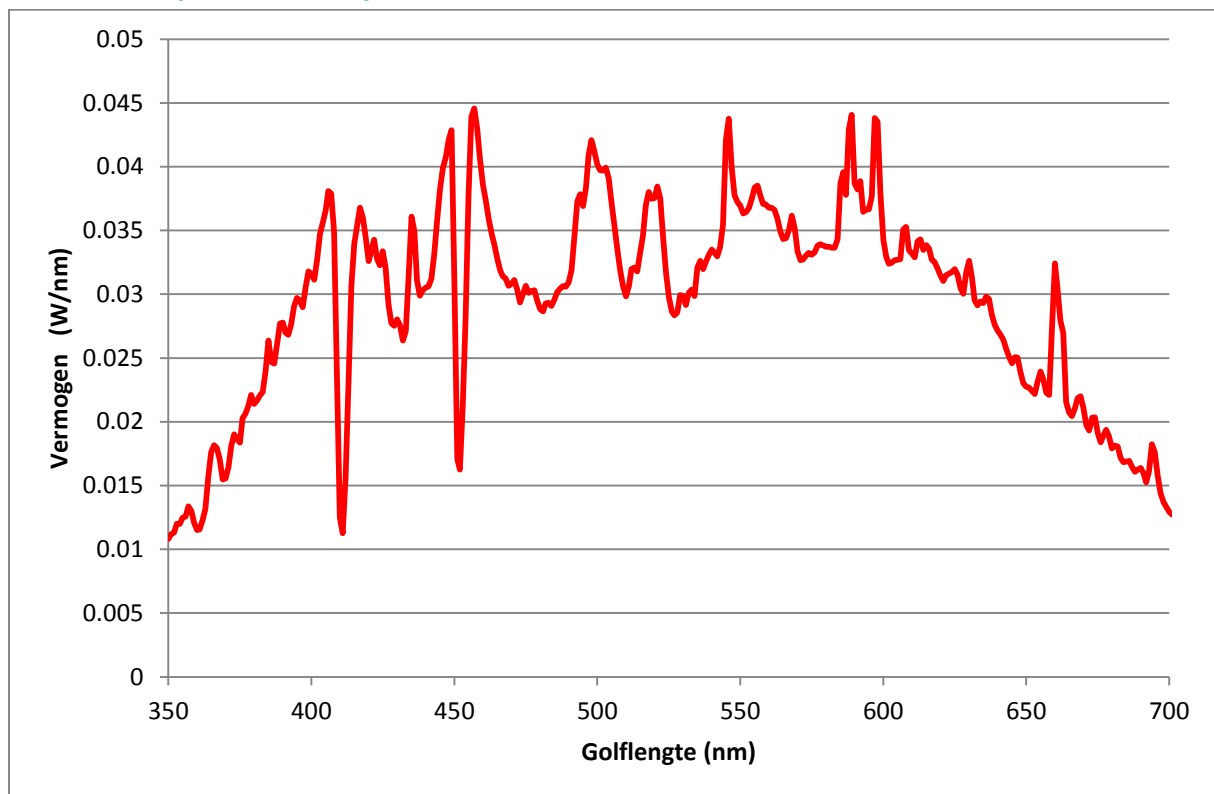


De LEP emitter in de integrated sphere.

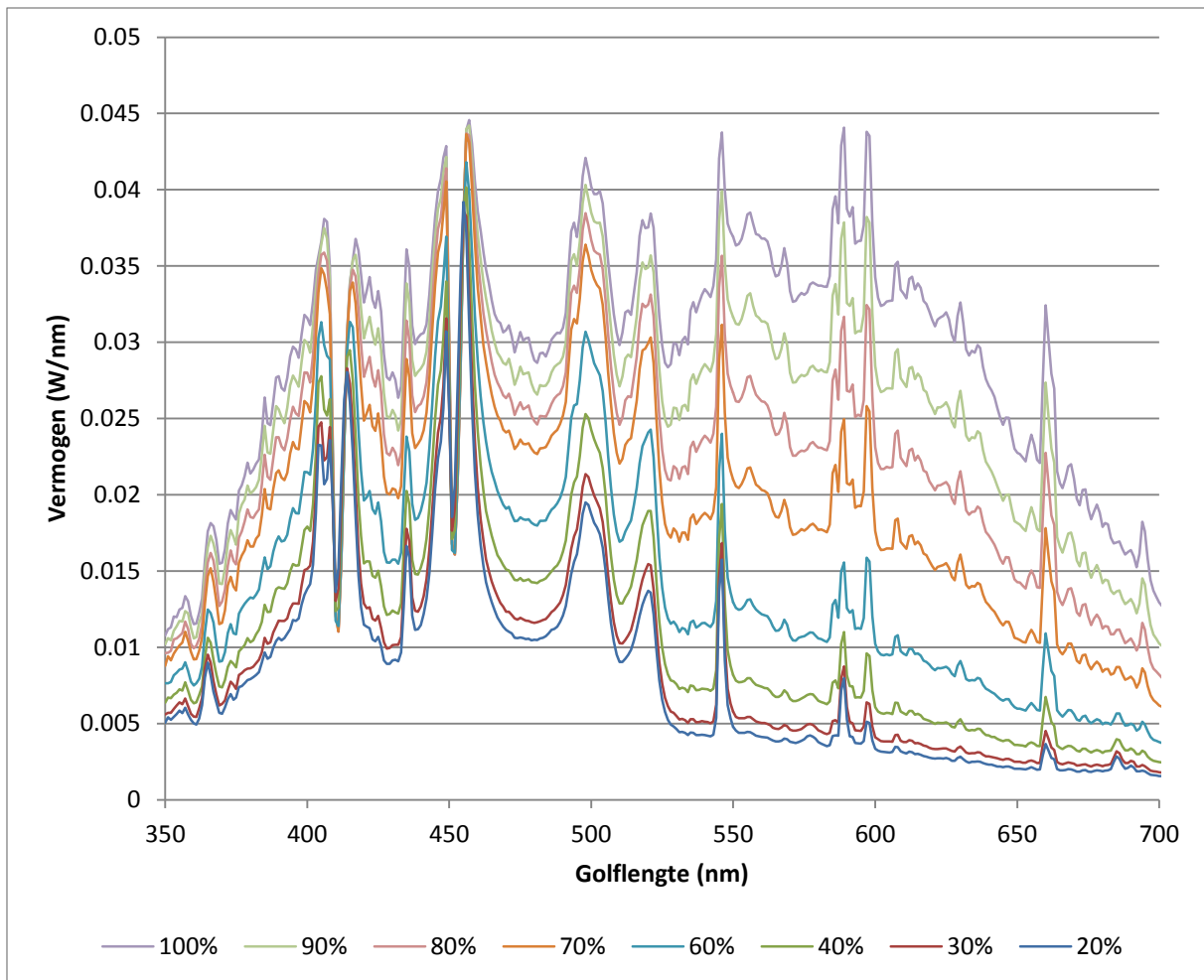


Nog eens een extra screenshot van het programma waarmee de LEP aangestuurd kan worden.

### 13.1.2 Spectrumanalyse



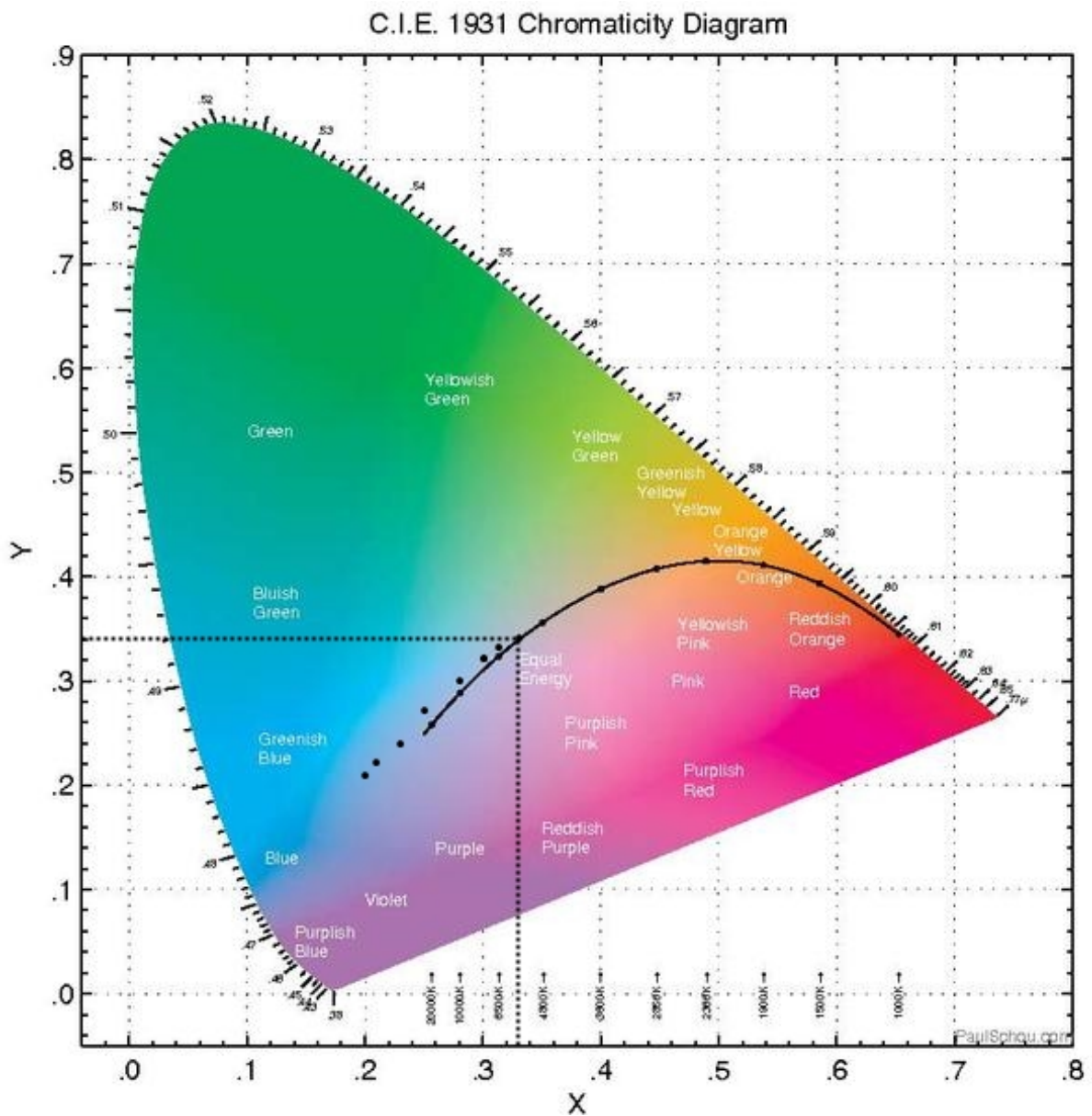
Deze grafiek toont het spectrum van één meting en dus niet de fluctueringen...



Deze grafiek vergelijkt de verschillende spectra, wanneer de LEP gedimd wordt. Zo is te zien dat er toch een lineair verloop in zit.

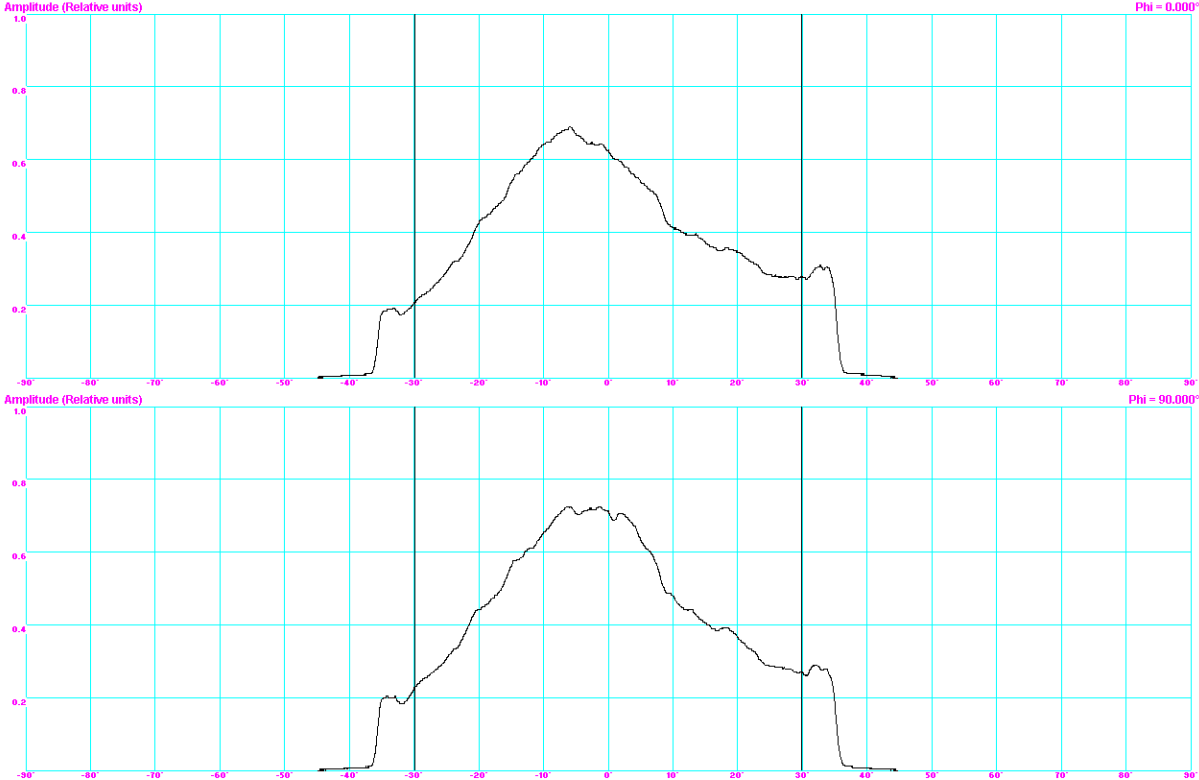


### 13.1.3 Witpunten gedimde LEP

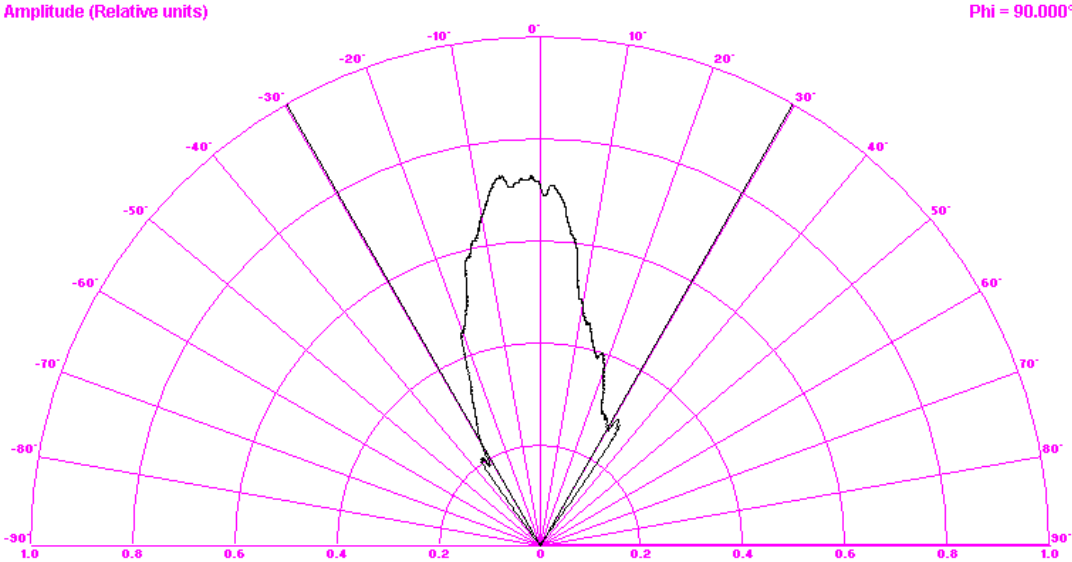
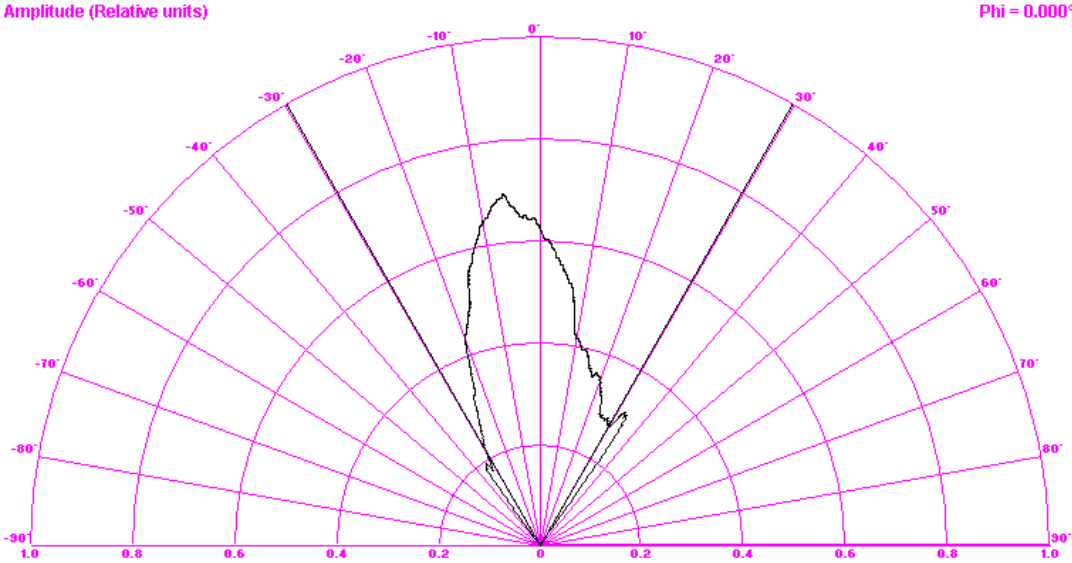


Er is duidelijk te zien dat als men de LEP elektronisch gaat dimmen men snel aan een kleurtemperatuur van 10000K zit. Van 20% tot 60% zit de LEP zelfs aan waarden die kleiner of gelijk zijn aan 20000K

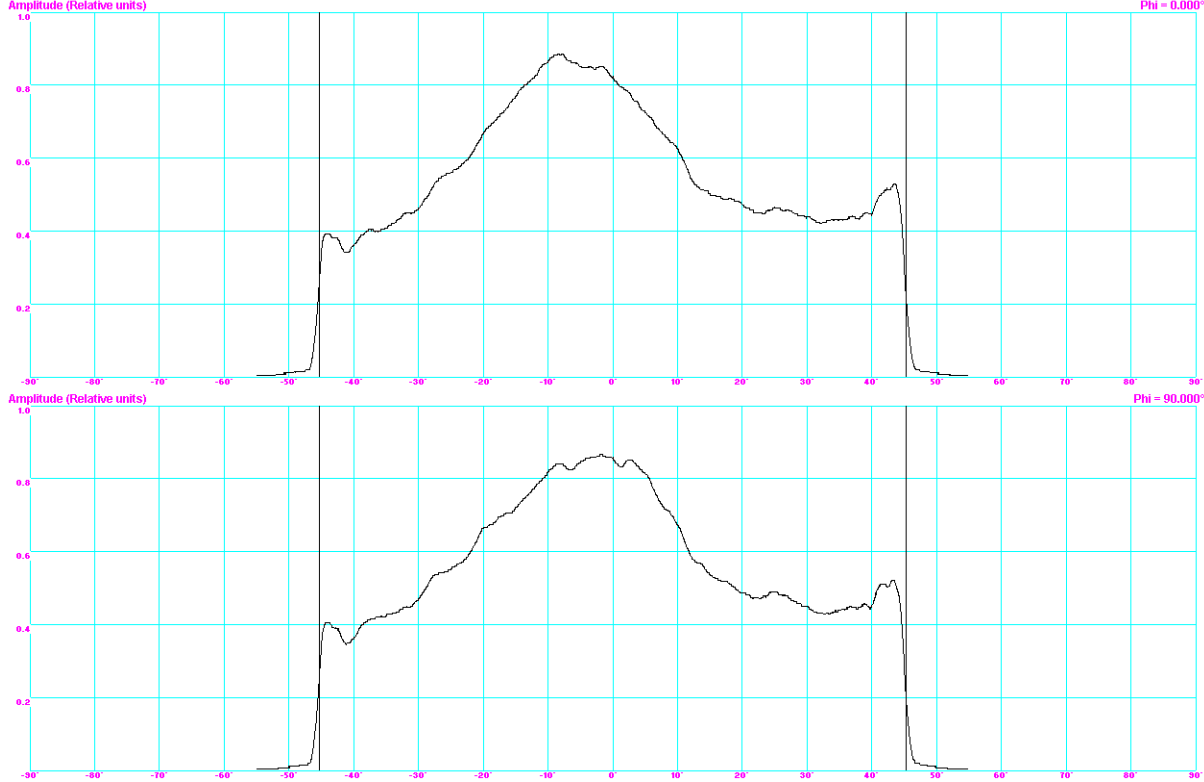
### 13.1.4 Goniometrische radiometer



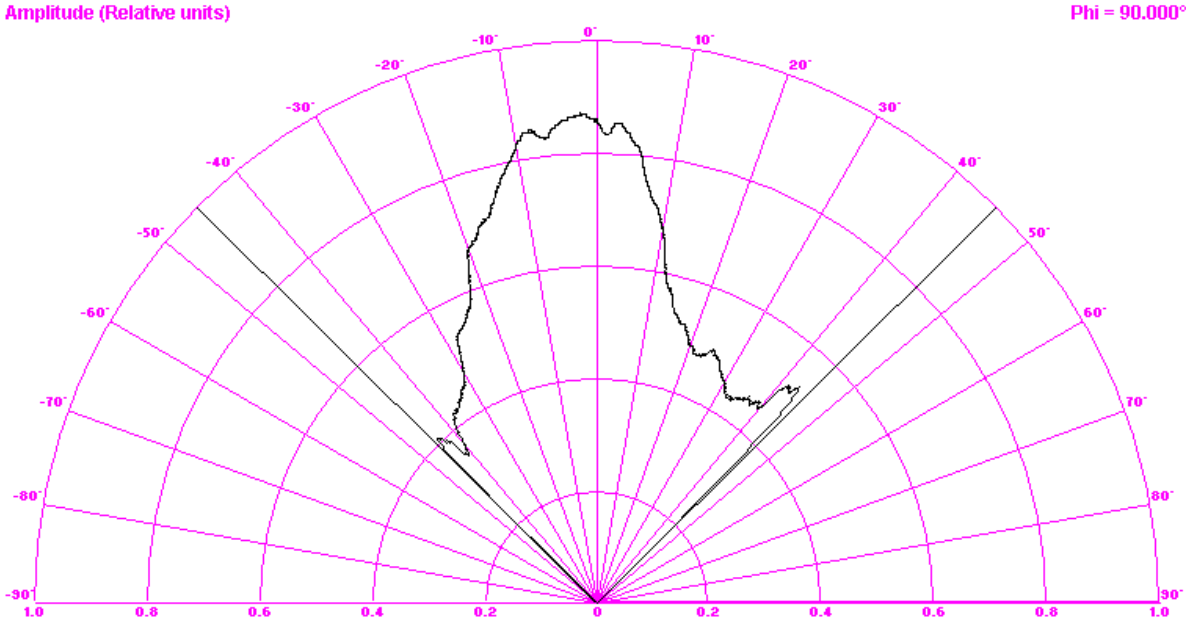
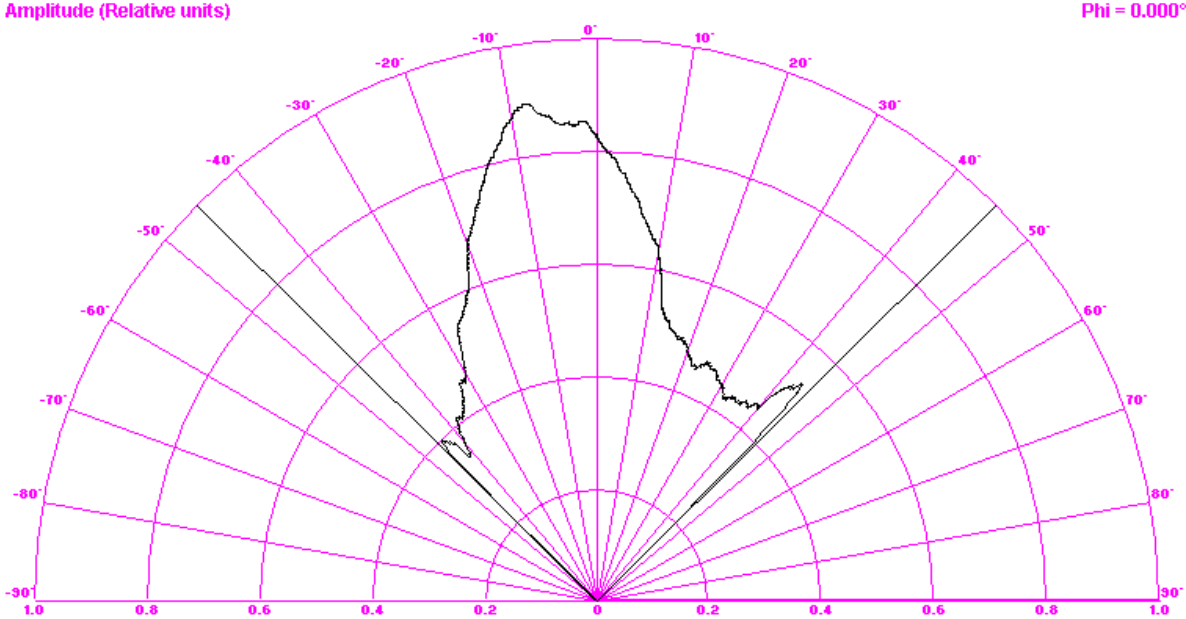
Op 5,5 cm, 40dB gain



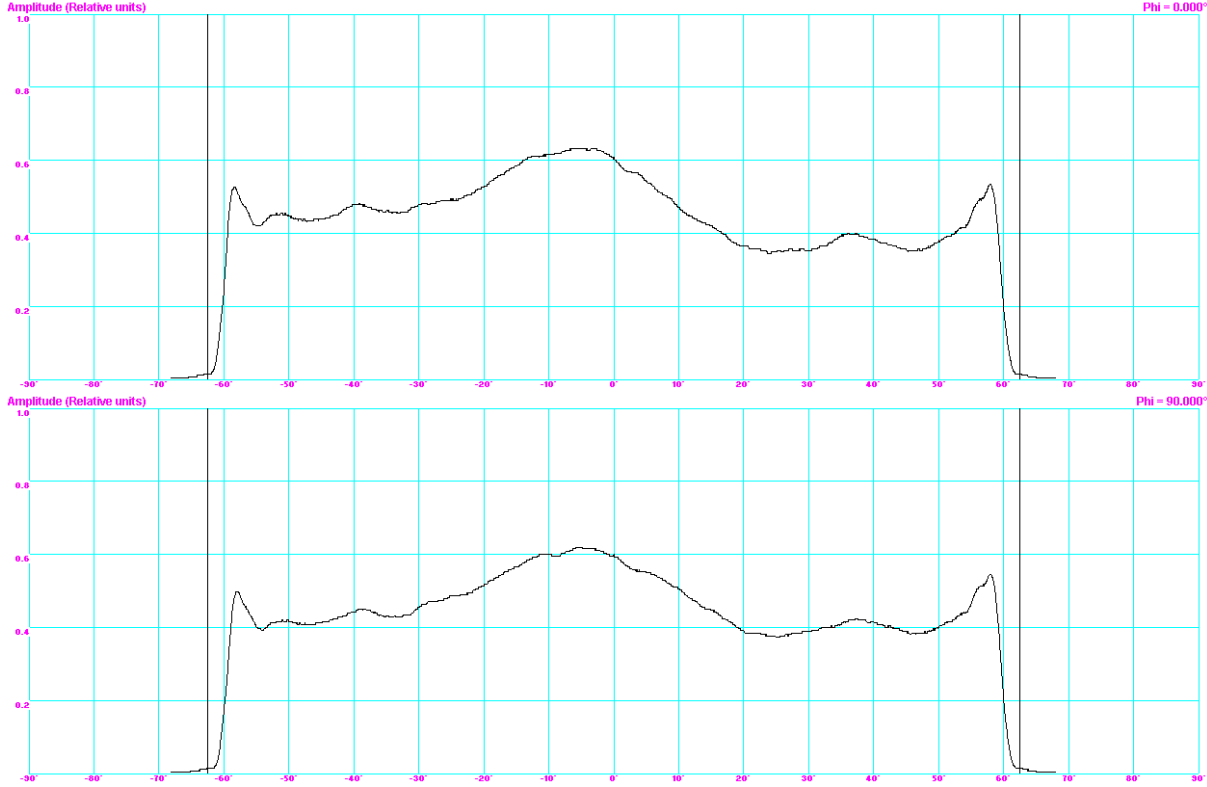
Op 5,5 cm, 40dB gain



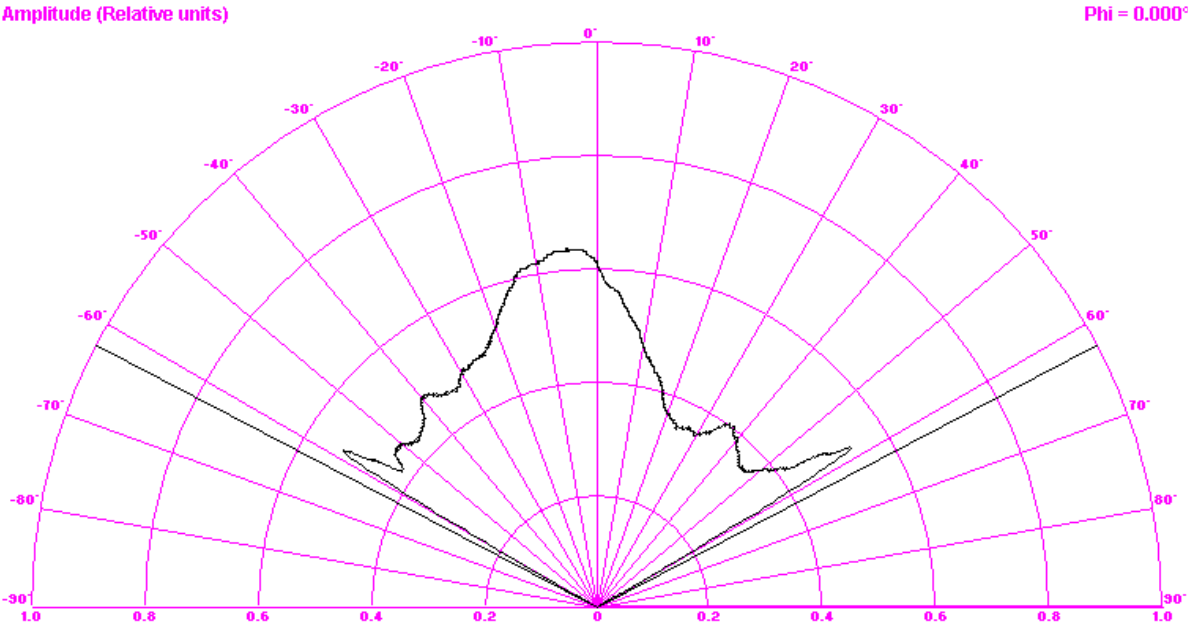
Op 3,5 cm, 40dB gain



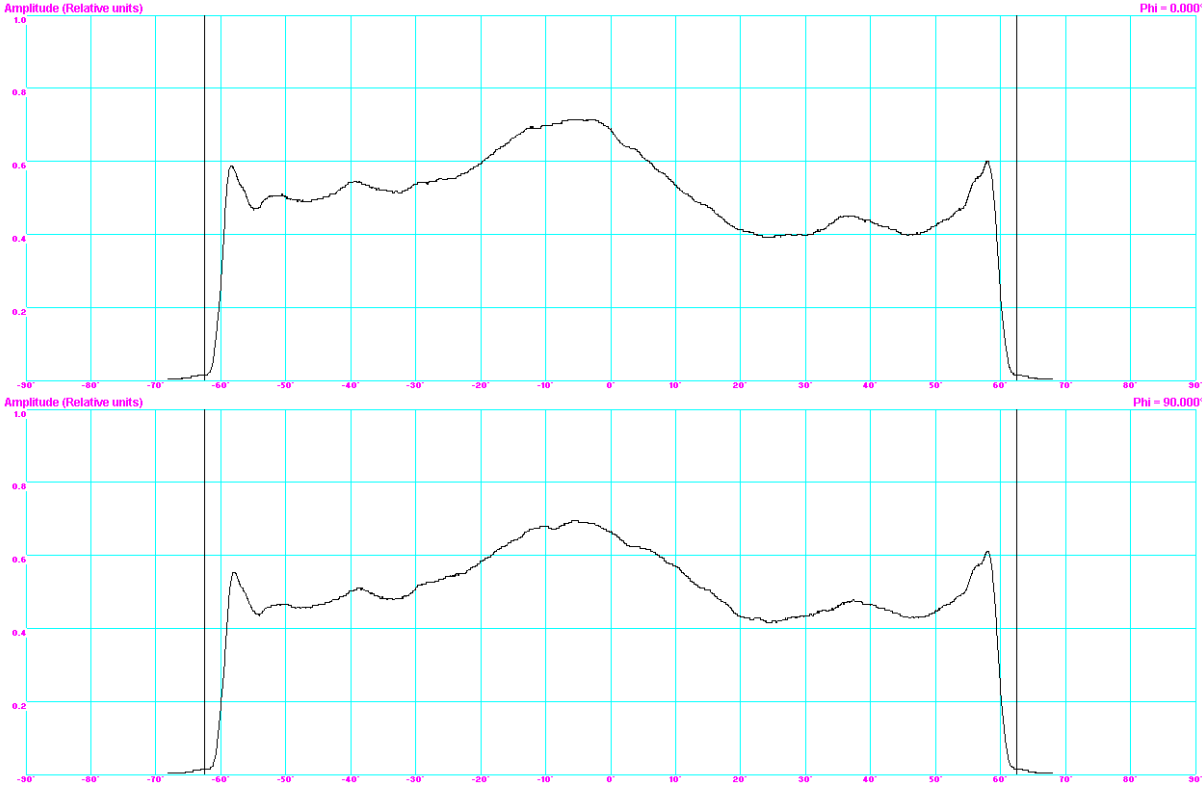
Op 3,5 cm, 40dB gain



Op 1,5 cm, 35dB gain

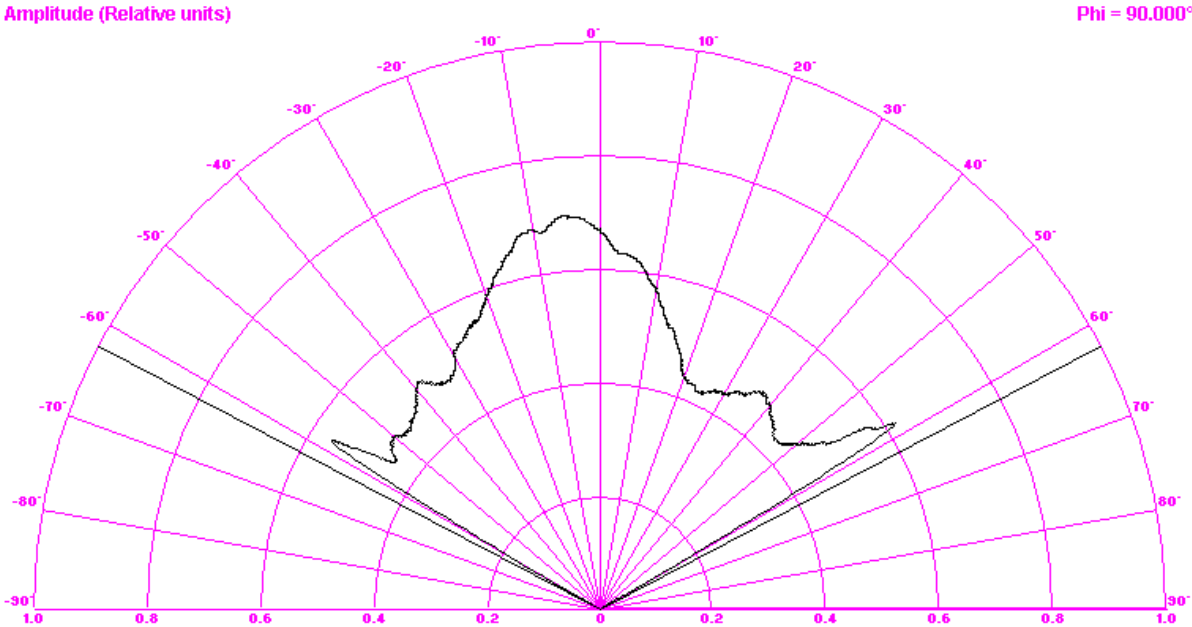
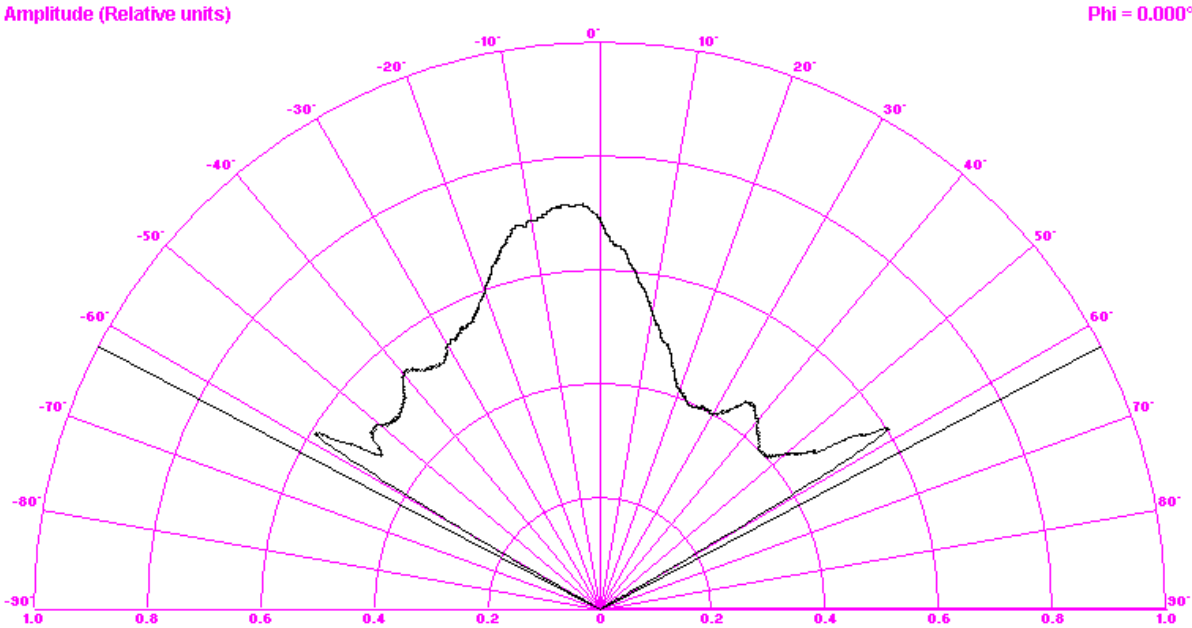


Op 1,5 cm, 35dB gain



Op 1,5 cm, 36dB gain





Op 1,5 cm, 36dB gain

### 13.2 Foto's Handelsbeurs Concertzaal



