

Lumenus



Lumenus reeks, deel 1

# Lumenus

Bart van der Lugt

eerste druk 2014  
tweede druk 2017

ISBN: 978-94-02110-59-3  
coverfoto: Joris van der Lugt  
© D.B. van der Lugt

# inhoud

waarom? .....	7
licht .....	8
het menselijk gezichtszintuig .....	12
psycho-optica .....	21
de vier basisgrootheden .....	27
óók wel handig om te weten .....	38
lampen .....	52
verlichtingsarmaturen .....	66
lichtmasten .....	74
het ontwerpen van een verlichtingsinstallatie .....	81
uit het leven van een lichtontwerper .....	94
het getemde licht .....	105
beheer en onderhoud .....	114
aansprakelijkheid .....	121



## waarom?

Waarom zou u juist dít boek moeten lezen? Wel, mocht u 't nog niet weten, de mensheid bestaat niet zoals zo velen onder ons nog steeds schijnen te denken uit twee 'ondersoorten' . . . maar uit drie; alfa's, bèta's en gamma's. Een 'alfa' is de benaming voor iemand die zich vooral bezighoudt met talen, geschiedenis en filosofie. Deze alfawetenschappen worden ook wel de geesteswetenschappen genoemd; een begrip dat in de negentiende eeuw werd geïntroduceerd door de Duitse historicus, psycholoog, socioloog en filosoof Wilhelm Dilthey. Hij beschouwde ze als tegenpool van, maar toch ook als aanvulling op de bètawetenschappen; die delen van de wetenschap die gebaseerd zijn op natuurwetten en waarvan de beoefenaars zich juist bezig houden met wiskundige modellen, logica en experimenten. En tussen deze twee tegenpolen bevinden zich de zogenaamde gammawetenschappen; de wetenschappen zoals sociologie, economie, rechten en psychologie, die zich richten op het gedrag van mensen in een maatschappij.

Dit boek over het overduidelijk technische onderwerp openbare verlichting richt zich dan ook bewust op de alfa's en de gamma's onder u. Dat wil zeggen dat de diverse onderwerpen vooral in beschrijvende zin ten tonele worden gevoerd waardoor dit boek gelezen kan worden als ware het een roman. Maar ik ben er van overtuigd ben dat ook de bèta's hierin voldoende interessante zaken zullen tegenkomen.

Bart van der Lugt

# licht

Wat is licht? Deze vraag heeft de wetenschap al vele, vele eeuwen lang bezig gehouden. In de 17<sup>e</sup> eeuw was de Nederlandse natuurkundige Christiaan Huygens, nadat hij het gedrag van licht had vergeleken met het gedrag van water, ervan overtuigd dat licht een golfverschijnsel moest zijn. Zijn hierop gebaseerde theorie beschrijft in wezen de richting waarin lichtdeeltjes, de fotonen, zich bewegen. Immers, aangezien hun massa nu eenmaal bijzonder klein is en hun snelheid bijzonder groot, is het op een zeker moment wel mogelijk hun bewegingsrichting vast te stellen maar niet hun exacte positie.

Rond die zelfde tijd concludeerde de Britse wis-, natuur- en sterrenkundige sir Isaac Newton dat licht het beste gezien kon worden als een verzameling zeer kleine energiedeeltjes die zich met grote snelheid verplaatsen. En hoewel beide theorieën elkaar eigenlijk leken uit te sluiten, bleek in later jaren dat het ene lichtverschijnsel alleen kon worden beschreven met behulp van de Huygens golftheorie, terwijl een ander verschijnsel juist weer alleen kon worden verklaard met behulp van Newton's deeltjestheorie. Goede raad was duur, en bleef óók nog eens langdurig uit want pas in het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw slaagden de Duitse natuurkundigen Albert Einstein en Max Planck er in om beide lichttheorieën met elkaar in overeenstemming te brengen. Beide theorieën bleken elkaar eigenlijk gewoon aan te vullen.

De bevindingen van Einstein en Planck vormden eveneens de basis voor de kwantumfysica. Voor de juiste uitleg van de samenhang van beide lichttheorieën zou het dus eigenlijk nodig zijn, eerst een aantal colleges hogere fysica te volgen . . . en dat zou voor dit boek een beetje te ver gaan. Maar uiteraard wil ik u niet geheel zonder uitleg laten zitten. Het onderstaande voorbeeld is weliswaar niet helemaal (of wellicht helemaal niet) wetenschappelijk verantwoord maar beschrijft de samenhang tussen beide theorieën toch op een hopelijk voldoende illustratieve manier.



*Stelt u zichzelf eens een lange rechte spoorweg voor, waarlangs over een grote afstand een twee meter hoog wit doek is gespannen. De spoorweg strekt zich weliswaar in horizontale richting in één rechte lijn uit, maar beweegt zich over een golvend traject voort. Aan het begin van deze spoorweg staat een lorrie met daarop een lamp. Deze lamp schijnt richting het witte doek en het licht is aan de andere kant van het doek te zien. Op deze lorrie zit sir Isaac Newton en hij ziet dus als het ware een deeltje voor zich (de ingeschakelde lamp) dat, op het moment dat de lorrie langs de spoorbaan gaat bewegen, gezien vanuit zijn positie niet beweegt.*

*Ergens langs die spoorbaan staat, gezien vanaf de spoorlijn aan de andere kant van het witte doek, Christiaan Huygens. Hij heeft dus niet in de gaten wat er zich precies achter het doek afspeelt. Hij ziet alleen het bewegende lichtpunt; de projectie van Newton's deeltje. En dankzij de combinatie van de voortgaande beweging én de golvende spoorweg ziet hij het licht niet als één lichtpunt maar als een op het doek geprojecteerde, voortbewegende golf. De deeltjestheorie en de golftheorie aan weerszijden van het zelfde doek; twee zijden van dezelfde medaille.*

Een natuurlijke lichtbron zoals onze zon, staat haar energie af aan haar omgeving in de vorm van straling. De (binnen de kaders van dit boek) voor ons belangrijkste vorm hiervan is de elektromagnetische straling, waaronder zich ook het gedeelte bevindt dat wij uiteindelijk zullen gaan interpreteren als 'licht'. En hoewel het natuurlijk niet de bedoeling is u als lezer in een bepaalde richting te duwen (of de indruk te wekken als Nederlandse schrijver tóch een beetje chauvinistisch te zijn) is het, om het karakter van licht wat beter te leren kennen, het meest praktisch om even door te gaan met de golftheorie van Christiaan Huygens. Voor de beeldvorm stellen we ons daarom, vanaf nu, voor dat de elektromagnetische straling zich in de vorm van golven voortbeweegt. En het eerste dat we vervolgens kunnen constateren is dat alle elektromagnetische golven zich met dezelfde snelheid voortbewegen, maar dat zij toch niet aan elkaar gelijk zijn; het

verschil zit 'm in hun lengte. Röntgenstraling bestaat bijvoorbeeld uit veel kortere golven dan die, uitgezonden door een radarinstallatie. Het totaal van alle elektromagnetische golven wordt het elektromagnetisch spectrum genoemd. En om een en ander wat te verduidelijken volgt er wéér een voorbeeld dat waarschijnlijk bij sommigen van u de wenkbrauwen wat zal doen fronsen. Maar hopelijk wordt het gedrag van de elektromagnetische golven er toch wat duidelijker door.

*Christiaan Huygens zit aan de oever van een meer, en kijkt uit over het water. Op een gegeven moment begint sir Isaac Newton steentjes in het water te gooien. Sir Isaac probeert daarbij zijn steentjes op precies dezelfde plek het water te laten raken. Christiaan ergert zich echter niet aan het gedrag van zijn collega; integendeel. Hij kijkt gefascineerd naar het wateroppervlak, waar hij een aantal opeenvolgende cirkelvormige golfjes ziet ontstaan. Sir Isaac heeft, begrijpelijkerwijs, even wat tijd nodig om handigheid in 't gooien te krijgen. Hierdoor is zijn 'gooisnelheid' in eerste instantie laag waardoor er in eerste instantie relatief veel ruimte ontstaat tussen de opeenvolgende golfjes. Na enige tijd begint hij er echter handigheid in te krijgen, waardoor zijn gooisnelheid begint toe te nemen. Christiaan ziet, nog steeds gefascineerd door het schouwspel, dat de golven in een sneller tempo beginnen te ontstaan en dat de afstand tussen de golven kleiner wordt.*

Vertaalt naar het elektromagnetisch spectrum betekent dit experiment dat, als de gooisnelheid (de frequentie) toeneemt de afstand tussen de opeenvolgende golftoppen (de golflengte) afneemt. Voor het tempo waarmee de golven zich bewegen tussen het 'inslagpunt' van sir Isaac's steentjes en de oever van het meer maakt het overigens niets uit. De snelheid van zowel de snel opeenvolgende golven als die van de golven waar zich een stuk meer ruimte tussen bevindt is (we hebben het hier immers over licht) gelijk aan de lichtsnelheid. En die is onder álle omstandigheden gelijk aan bijna 300.000 kilometer per seconde.

Een klein deel van het elektromagnetisch spectrum is voor ons van bijzonder grote betekenis, namelijk het gedeelte dat wij zichtbare straling noemen. Zichtbare straling is namelijk in staat om de lichtgevoelige cellen in onze ogen zódanig te stimuleren dat wij uiteindelijk onze omgeving kunnen waarnemen. Zichtbare straling is echter nog géén licht. Om de uiteindelijke transformatie van zichtbare straling in licht te kunnen begrijpen, is het noodzakelijk allereerst eens wat nader te gaan kijken naar onze ogen en naar de plaats die zij in dit proces innemen.

# het menselijk gezichtszintuig

Wij beschikken over het vermogen onze omgeving waar te nemen met behulp van ons gezichtszintuig. Dit zintuig bestaat uit onze ogen, het gezichtscentrum in de hersenen en de zenuwbanen die hen onderling verbinden. Het geheel is eigenlijk het beste te vergelijken met een televisiecamera (de ogen) die door middel van signaalkabels (de zenuwbanen) het gefilmde beeld met behulp van een televisietoestel (het gezichtscentrum) zichtbaar maakt.

Zowel de televisiecamera als het oog beschikken over een systeem dat voor een scherp en zuiver beeld zorgt. De vorm van de in het oog aanwezige lens kan, met behulp van spiertjes, worden aangepast aan de afstand tot het waar te nemen voorwerp; ver zien vereist een platte, en dichtbij zien een bolle lens. Evenals bij een camera zal voor een goed en scherp beeld de hoeveelheid binnentredend licht geregeld moeten worden, anders raakt de 'film' immers overbelicht. Deze lichtregeling gebeurt, aangestuurd vanuit onze hersenen, met behulp van de pupil die net als bij het diafragma van een camera groter en kleiner gemaakt kan worden. Het voorwerp vóór ons wordt in de oogbol geprojecteerd op het netvlies; de licht- en kleurgevoelige film van onze 'oogcamera' dat een aantal soorten lichtgevoelige cellen bevat.

Het netvlies bevat overigens, zoals lang werd aangenomen, geen twee maar drie soorten lichtgevoelige cellen. In 2002 ontdekte David Berson van de Amerikaanse Brown University namelijk in de ogen van zoogdieren een nieuw soort lichtgevoelige cel. Deze cellen vormen een netwerk dat parallel werkt aan de overige lichtgevoelige cellen en zijn onder andere verantwoordelijk voor het adapteren van de ogen. Zij schijnen echter géén directe rol te spelen bij het waarnemingsproces zelf. De twee vanouds bekende cellen, de kegeltjes en de staafjes, zetten het geregistreerde beeld echter om in elektrische signalen; signalen die vervolgens naar het gezichtscentrum in onze hersenen worden gestuurd. De kegeltjes zijn gevoelig voor de verschillende golflengten (kleuren) van de

zichtbare straling. Het zijn dan ook deze cellen die ons overdag in staat stellen om, behalve vormen ook kleuren waar te nemen. Naarmate de duisternis invalt, neemt de werking van de kegeltjes echter af totdat zij uiteindelijk helemaal niet meer functioneren. Het zijn nu alleen nog de staafjes die actief zijn. Deze staafjes zijn nauwelijks gevoelig voor kleuren, maar zijn des te meer geschikt voor het waarnemen van contrasten; variaties van grijstinten. De kegeltjes zijn hoofdzakelijk geconcentreerd op een locatie recht achter de ooglenzen; de gele vlek. De staafjes zijn gelijkmatig verdeeld over de rest van het netvlies, met uitzondering van de blinde vlek; de plaats waar de oogzenuwen de oogbol verlaten.

De oogbol is gevuld met een heldere substantie die het glasachtig lichaam wordt genoemd. Echter, zoals ons gehele lichaam zijn ook onze ogen in de loop der tijd aan slijtage onderhevig. Behalve het minder flexibel worden van de ooglenzen zal, met het verstrijken van de jaren, ook het glasachtig lichaam als gevolg van het afsterven van cellen minder doorzichtig worden. Na het passeren van de leeftijd van veertig jaar zal de gemiddelde Nederlander dan ook (veel) meer licht nodig gaan hebben om hetzelfde te kunnen waarnemen. Illusterend hiervoor is de procentuele hoeveelheid licht die een mens van een bepaalde leeftijd gemiddeld nodig heeft voor het lezen van een gedrukte tekst; in dit geval een tekst met een lettergrootte van 3 inch en een contrast tussen letters en papier van 95%. Als het lichtniveau dat een gemiddelde veertigjarige hiervoor nodig heeft wordt gesteld op 100%, wordt het duidelijk dat de kwaliteit van onze ogen in de loop der jaren behoorlijk achteruit gaat. Iemand van vijftig heeft bijvoorbeeld, gemiddeld uiteraard, zo'n twee maal méér licht nodig om te kunnen lezen. En iemand van zestig moet, bij het veertigjarige lichtniveau en volgens de statistieken tenminste, toch maar gaan denken aan lampen die een véél grotere hoeveelheid licht produceren, of aan de aanschaf van een luisterboek. Gelukkig is het verschil in waarneming buiten op straat minder dramatisch. Het is echter niet te vermijden dat de vergrijzende samenleving hogere eisen zal gaan stellen aan de kwaliteit van de openbare verlichting . . . en aan diens ontwerper.

Ons oog heeft verder de mogelijkheid zich aan te passen aan lichte en donkere situaties. Dit gebeurt door de aanpassing van de grootte van de pupil. Deze aanpassing heeft een tweetal functies. In een omgeving met veel licht is het van belang dat, in verband met het moeten kunnen onderscheiden van kleuren, het het oog binnentredende licht zoveel mogelijk wordt geconcentreerd op de gele vlek. Verder fungeert de in dat geval kleine pupil als een soort overbelichtingbeveiliging. In een omgeving met weinig licht is het juist van belang dat er zoveel mogelijk licht het oog binnen kan treden. Het licht wordt in dit geval, na het passeren van de véél grotere pupil, met behulp van de ooglenzen zo goed mogelijk verspreid over het netvlies om op deze wijze zoveel mogelijk staafjes te kunnen bereiken. Bij een wisselend verlichtingsniveau zal de diameter van de pupil zich dus regelmatig moeten aanpassen. Het aanpassen vanuit een donkere aan een lichte situatie gaat bijzonder snel; binnen een fractie van een seconde. Als u zich vanuit een donkere naar een lichte omgeving begeeft, zullen uw pupillen zich bijzonder snel aanpassen. Het oog moet zichzelf immers beschermen tegen de mogelijk schadelijke gevolgen van het hoge lichtniveau. Bij het gaan van een lichte naar een donkere omgeving neemt de aanpassing echter véél meer tijd in beslag; er is immers geen enkel gevaar voor beschadiging.

Probeer u het 's avonds maar eens uit in uw slaapkamer. Het is hierbij overigens wel verstandig de gordijnen dicht, en het ganglicht uit te doen. Schakel nu allereerst de hoofdverlichting in, en geef uw ogen rustig de tijd om zich aan het hoge verlichtingsniveau aan te passen. Concentreer uw aandacht hierbij op alle voorwerpen (het bed, de stoel waarop u straks uw kleren zult leggen en wat er verder nog voor interessante dingen rondslingeren) en doe dan de hoofdverlichting uit. Voor het ultieme effect kunt u dit ook plotseling door iemand anders laten doen. U zult merken dat uw omgeving plotseling inktzwart is geworden, én u zult merken dat het even duurt vóórdat de contouren van het bed, de stoel en dergelijke zich weer langzaam aan u gaan openbaren. Dit langzame openbaren is het adaptatieproces 'van licht naar donker'. Natuurlijk kunt u daarna ook het tegenovergestelde proces nog even uitproberen.