

lumenus

Lumenus

een verzameling essays,
boek reviews en verhalen
over licht en openbare verlichting

Bart van der Lugt

schrijver en coverontwerp: Bart van der Lugt
uitgave: 2018
ISBN: 978-94-02179-21-7
© Bart van der Lugt

Het Boek Lumenus

2

licht en stroom

95

elementary

282

de Huygens-Newton paradox

312

boek reviews

354

literatuur overzicht

448

Het Boek Lumenus

Voor 't geval u het nog niet mocht weten, de mensheid bestaat niet 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 daarom ook wel de geesteswetenschappen genoemd en worden over 't algemeen beschouwd als de tegenpool, maar toch ook wel een beetje 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.

Openbare verlichting vind haar oorsprong overduidelijk binnen de bètawetenschappen; het is in zichzelf immers een praktische toepassing van elektriciteit, licht en optica. Maar iemand die iets verder kijkt ziet al snel dat diezelfde praktische toepassing eveneens psychologische, economische én juridische gevolgen kan hebben. Deze brede basis en nog bredere invloedssfeer was voor een goede kennis van me ooit eens de reden om zich, al zuchtend, af te vragen waarom er nu eigenlijk niet iets beschikbaar was waardoor hij zich de basisvaardigheden van dit vakgebied eigen kon maken 'zónder al die formules en moeilijke definities'. En op zich had hij wel een beetje gelijk, want voordat u zich kunt gaan verdiepen in bijvoorbeeld de werken van William Shakespeare (van harte aanbevolen, overigens!) ontkomt u er niet aan om allereerst het alfabet en het gebruik van de daar in opgenomen letters 'onder de knie' te krijgen. En zo is het eigenlijk ook met licht en verlichting. Voordat u zich met de verlichtingspraktijk of met de wetenschappelijke achtergronden daarvan bezig kunt gaan houden, zult u toch écht eerst moeten weten wat bijvoorbeeld een 'lumen' is. Ook is het bést handig als u, op het moment dat uw gesprekspartner het woord 'lux' in de mond neemt, zich niet direct af hoeft lopen te vragen waarom hij of zij het opeens over een stuk zeep heeft. En het is bést plezierig als dat verwerven van die basisvaardigheden op een wat geleidelijke manier kan plaatsvinden. Dat is dan ook de reden waarom de diverse onderwerpen vooral in beschrijvende zin ten tonele worden gevoerd. Het zou dus als het ware gelezen kunnen worden als ware het een roman, waardoor het, hopelijk ook voor u de wonderlijke en fascinerende wereld van licht en verlichting zal ontsluiten.

inhoud

licht	4
het menselijk gezichtszintuig	6
psycho-optica	12
de vier basisgrootheden	16
óók wel handig om te weten	24
lampen	35
verlichtingsarmaturen	46
lichtmasten	51
het ontwerpen van een verlichtingsinstallatie	57
uit het leven van een lichtontwerper	66
het getemde licht	74
beheer en onderhoud	81
aansprakelijkheid	86

licht

Wat is licht? Deze vraag heeft de wetenschap al vele, vele eeuwen lang bezig gehouden. In de 17e 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. Echter, 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 20e 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 zelfde 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 deze 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

adapten 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 zelf 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.

Verder heeft ons oog 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 verspreidt 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. Probeert u het 's avonds bijvoorbeeld 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.

Ook buiten op straat kan dit effect merkbaar zijn. In het geval dat de lichtmasten zodanig staan opgesteld dat het verlichtingsniveau sterk wisselt zal de weggebruiker dus, na het passeren van een lichtmast, eventjes iets minder kunnen zien. In die gevallen waarin zelfs onverlichte stukken tussen de masten ontstaan, zal hij of zij zelfs even het idee krijgen in een 'zwart gat' terecht te zijn gekomen . . . en dat kan, als de weggebruiker een automobilist is, bijzonder vervelende gevolgen hebben voor bijvoorbeeld een ter plaatse overstekende voetganger. Uiteraard helpen de autolantaarns een handje om dit effect wat te verzachten, maar het feit blijft dat de automobilist op zo'n moment zijn omgeving probeert waar te nemen met behulp van twee optische instrumenten die eventjes niet op hun taak berekend zijn. Het door de autolantaarns beschenen gedeelte van de weg is dan weliswaar zichtbaar, maar de directe omgeving niet. En de automobilisten onder u zullen best wel eens hebben ervaren dat de wereld op zo'n moment even bijzonder klein lijkt te zijn geworden. Bij het ontwerpen van een verlichtingsinstallatie is het dus zaak, licht-donker overgangen, veroorzaakt door bijvoorbeeld een goed verlicht

kruispunt abrupt te laten volgen door een ónverlichte weg, zo veel mogelijk te vermijden. Het adaptievermogen kan verder eveneens gevolgen hebben voor onze gezichtsscherpte. Bij te lage verlichtingsniveaus zullen we minder scherp kunnen zien, waardoor de kans bestaat dat kleinere details ons zullen ontgaan.

Maar op zich 'zien' onze ogen natuurlijk niets. Zij zijn slechts de ontvangers van signalen vanuit onze omgeving; signalen die uiteindelijk in de visuele cortex in onze hersenen worden omgezet in beelden. Toch zijn onze ogen onontbeerlijk voor het waarnemen van onze omgeving, aangezien deze waarneming valt of staat met wat er aan informatie wordt opgevangen en doorgegeven. Hierbij wordt een bepalende rol gespeeld door het zichtbare spectrum; het bijzonder kleine golflengtebereik tussen 380 en 780 nm waar de lichtgevoelige kegeltjes en staafjes in ons netvlies op reageren. Toch worden niet al deze golflengten op de zelfde manier gewaardeerd. Onderzoek heeft uitgewezen dat, bij daglicht, het oog het meest gevoelig is voor zichtbare straling met een golflengte van zo'n 555 nm; dus voor de kleuren geel en oranje. 's Nachts is ons oog echter meer gevoelig voor zichtbare straling met een golflengte van ongeveer 507 nm; de blauw-groene kleuren. Dit effect is het gevolg van het, bij lage(re) verlichtingsniveaus niet of nauwelijks meer functioneren van de kegeltjes. De wijze waarop ons oog reageert op de diverse golflengten is dan ook een direct gevolg van de bij een bepaald verlichtingsniveau (nog) functionerende combinatie van kegeltjes en staafjes. Bij daglicht functioneren zij beide optimaal; we spreken in dit geval van fotonisch zien. Echter, bij het licht van de maan functioneren enkel nog de staafjes; in dit geval spreken we van scotopisch zien. Het tussenliggende gebied wordt aangeduid als het mesopisch gebied. Deze verschuiving staat tegenwoordig bekend als het Purkinje-effect; vernoemd naar de Tsjechische fysioloog Johannes Purkinje die dit effect als eerste waarnam en beschreef. In 1825 constateerde hij dat, bij een afnemend lichtniveau, de gevoeligheid van het menselijk oog voor rode kleuren sneller afnam dan die voor blauwe kleuren. Purkinje had namelijk de gewoonte om lange wandelingen te maken in de velden van zijn Boheemse geboortestreek, en tijdens deze wandelingen constateerde hij op een gegeven moment dat zijn favoriete rode bloemen op een zonnige namiddag veel helderder leken te zijn dan bij het ochtendgloren. Verder leken in de vroege ochtend bloemen met een blauwe kleur juist veel helderder te zijn dan in het volle zonlicht. Purkinje veronderstelde dan ook dat het menselijk oog twee verschillende waarnemingssystemen zou moeten bevatten; één voor hoge, en één voor lage lichtniveaus.

Dit overschakelen van het ene systeem naar het andere wordt tegenwoordig het Purkinje-effect genoemd. De hieraan ten grondslag liggende theorie werd zo'n 40 jaar na Purkinje's bevindingen ontwikkeld en uiteindelijk, in 1924, door de Commission Internationale d'Eclairage (CIE) vastgelegd in twee ooggevoeligheids-

krommen; de fotopische dag- en de scotopische nachtkromme. De meeste lampen waar we binnen de openbare verlichting mee te maken hebben veroorzaken echter verlichtingsniveaus die zich binnen het mesopische gebied bevinden. Een leuke bijkomstigheid is overigens, dat ervoor is gekozen juist de fotopische ooggevoeligheidskromme als referentie te gaan gebruiken voor het vaststellen van de hoeveelheid door een lamp geproduceerde zichtbare straling. En deze kromme is dus van toepassing bij daglicht; bij verlichtingsniveaus waarvan we bij de openbare verlichting alleen maar kunnen drómen! De bevindingen van Purkinje lijken overigens een oplossing te bieden voor een, heden ten dage, bijzonder actueel probleem. Onder andere de toenemende milieuproblematiek zorgt ervoor dat verlicht Nederland in toenemende mate haar aandacht richt op het zo efficiënt mogelijk verlichten van de openbare ruimte. Het (bij een voldoende hoog verlichtingsniveau optredende) effect van de zichtbare straling van de lagedruk natriumlamp op onze waarneming is reeds lang bekend. Uitgaande van dit gegeven zou een nieuwe (of dus eigenlijk een al zeer oude) invalshoek kunnen zijn, ook bij lage verlichtingsniveaus bewust gebruik te gaan maken van de golflengte (en dus de kleur) van het uitgestraalde licht. Een snelle blik richting de ooggevoeligheidskromme doet immers vermoeden dat, bijvoorbeeld bij lage verlichtingsniveaus, 'groen' licht wel eens bijzonder efficiënt zou kunnen zijn. Hierbij zit er echter één 'addertje onder 't gras'.

In het oude, pre-energiebesparingstijdperk waren vooral de op snelwegen gebruikte verlichtingsniveaus bijzonder hoog; zeker zo'n twee maal zo hoog als nu. De ogen van de toenmalige automobilisten stonden dus als het ware bijna in de daglichtstand. De ooggevoeligheidskrommen waren inmiddels een bekend fenomeen, dus probeerde men lampen te maken waarvan de golflengte zo dicht mogelijk bij de 555 nm lag; de top van de (dag) ooggevoeligheidskromme. Het meest bekende voorbeeld hiervan is het oranje licht van de lagedruk natrium (SOX) lamp. De SOX-lamp straalt namelijk bijna al zijn energie uit bij een golflengte van 589 nm. Vergeleken met de dagkromme, komt dit overeen met een gevoeligheid van bijna 80%. Wordt het lichtniveau echter te laag, dan zal de (dag) ooggevoeligheidskromme als gevolg van het Purkinje-effect gaan verschuiven richting de positie van de nachtkromme. De gevoeligheid van het oog voor het lagedruk natriumlamp zal dan afnemen tot zo'n 10 %. De gevolgen hiervan werden vooral merkbaar in de jaren '70 van de 20e eeuw. De in die jaren heersende oliecrisis maakte het namelijk noodzakelijk zuinig om te gaan met de schaarse brandstoffen en de volgens menigeen energie slórpemde openbare verlichting werd dan ook al snel een 'doorn in 't oog' . . . tótdat er iemand op een naar eigen idee lumineus idee kwam. De menselijke ogen waren immers het meest gevoelig voor het oranje licht van de lagedruk natriumlamp. Dé oplossing zou dan ook zijn het

toepassen van lagedruk natriumlampen met lage vermogens. Zo had je een lamp die én de waarneming optimaal ondersteunde én ook nog eens bijzonder weinig energie zou verbruiken. Hele woonwijken werden dan ook vol gezet met verlichtingsarmaturen voorzien van de SOX 18 Watt lamp. Het gevolg was weliswaar een laag energieverbruik, maar eveneens een nachtelijke openbare ruimte waarin men, als gevolg van het Purkinje-effect, bijna geen hand voor ogen meer kon zien.

De hedendaagse technologie maakt het ons mogelijk om lampen te maken die monochromatisch licht van elke gewenste golflengte kunnen produceren. Deze lampen stimuleren dus, uiteraard bij het juiste verlichtingsniveau, ons visueel systeem altijd op de meest optimale wijze. Maar juist dit visuele systeem is in deze theorie het zwakke punt. In de openbare ruimte is immers slechts een deel van het licht dat onze ogen bereikt afkomstig van de openbare verlichting. Allerlei secundaire verlichting, zoals autolantaarns, verlichte reclame, verlichte etalages, de 'lamp bij de voordeur', leveren hieraan eveneens hun bijdrage. Deze bijdrage kan, bijvoorbeeld in de vorm van het schijnsel van een tegemoet komende auto, er voor zorgen dat de 'instelling' van onze, aan het verlichtingsniveau van de straatverlichting geadapteerde, ogen tijdelijk 'doorschiet' van de mesopische kromme naar een kromme die behoort bij dit (veel) hogere verlichtingsniveau. De adaptatie naar een lichtere situatie is immers zó gebeurd.

Bij de hogere verlichtingsniveaus zal er waarschijnlijk niet veel verschil bestaan tussen de golflengten van de mesopische en de fotopische ooggevoeligheidskromme. Ons waarnemingsvermogen zal in zo'n geval niet al te veel worden beïnvloed én zal zich, nadat de extra verlichting weer verdwenen is, zónder problemen te veroorzaken weer snel herstellen. Een monochromatische lichtbron die wordt gebruikt om hoge verlichtingsniveaus te creëren zal ons dus ook bij deze tijdelijke variatie in verlichtingsniveau in staat blijven stellen onze omgeving waar te nemen. Het gebruik van een monochromatische lamp voor lage verlichtingsniveaus is echter een stuk risicovoller. Ook in deze situatie wordt als gevolg van de invloed van de secundaire verlichting de aanwezige mesopische kromme tijdelijk vervangen door een hogere mesopische of zelfs de fotopische kromme. De gevolgen van zo'n verschuiving zijn echter véél groter. De monochromatische verlichting zal in dat geval namelijk het grootste deel van zijn invloed op de, op dat moment aan het hogere verlichtingsniveau geadapteerde, ogen hebben verloren. En als de invloed van de secundaire verlichting vervolgens is verdwenen hebben we dus, dankzij het relatief langzame adaptieproces van licht naar donker, voor enkele momenten te maken met een situatie waarin de monochromatische verlichting géén of slechts een bijzonder klein effect heeft op ons waarnemingsvermogen . . . met alle mogelijke gevolgen van dien.

Theoretisch zou, bij lage verlichtingsniveaus, verlichting kunnen worden toegepast die zich qua golflengte in het blauw-groene gedeelte van het zichtbare spectrum bevindt. Een wandelaar, wiens ogen volledig zijn aangepast aan het aangename groene licht en die tijdens zijn wandeling op een gegeven moment wordt geconfronteerd met een andere (véél fellere) lichtbron, kan dus op dat moment een bijzonder groot probleem hebben. Afhankelijk van de felheid van deze lichtbron zullen de kegeltjes immers meer gaan functioneren en er voor zorgen dat de instelling van zijn ogen veranderd. Maar als de andere lichtbron weer is verdwenen, wordt onze voetganger even geconfronteerd met een situatie waarin de aanwezige blauw-groene lichtkleur voor hem volledig onbruikbaar is. Gedurende de tijd die zijn ogen nodig hebben om te adapteren naar de oorspronkelijke instelling (u hebt dat zojuist, tijdens het experiment in uw slaapkamer, kunnen ervaren) bevindt hij zich in een situatie waarin hij, op z'n goed Hollands gezegd, even geen fluit kan zien. De eerst zo plezierige omgeving kan er dan toch even iets minder aangenaam uit gaan zien. Dit effect zal echter over het algemeen gelukkig niet zo dramatisch zijn als wellicht uit het voorgaande zou kunnen worden opgemaakt. Het met behulp van de SOX-lamp geïllustreerde effect van 75% naar 10% gevoeligheid treedt alléén maar op als de lichtniveaus écht sterk gaan wijzigen. Het succesvol toepassen van bijvoorbeeld groen licht zal dus afhangen van de mate waarin onze eenzame wandelaar geconfronteerd kan worden met felle buitenlampen, autolantaarns, reclameborden en dergelijke, die ook nog eens direct in zijn of haar ogen schijnen. Uiteraard speelt hierbij ook de aanwezigheid, of eigenlijk juist het ontbreken van afwisseling een rol. Iemand die zich in een soort van flipperkast gaat wanen (fel licht, groen licht, fel licht etc.) kan zijn of haar verblijf in de openbare ruimte wel eens als zó onprettig gaan ervaren dat 'ie 's avonds eigenlijk maar liever thuis blijft . . . en dan zijn wij ons doel tóch een beetje voorbij gestreefd.

Overigens, ik ben u nog steeds het antwoord schuldig op de vraag 'wat ís licht'. Wel, licht is gewoon zichtbare straling gewaardeerd naar de gevoeligheid van het menselijk oog.

☐

psycho-optica

Waarom (en vooral, hoe) worden mensen beïnvloed door de openbare verlichting. Wel, het komt hierop neer. Het waarnemen van onze omgeving begint met het proces dat zich afspeelt in ons gezichtszintuig. Ons vermogen om waar te nemen is echter gebaseerd op véél meer dan de omzetting van elektrische signalen alleen. Om een duidelijk antwoord te krijgen op deze vraag, zullen we ons moeten gaan verdiepen in psychofysica; de manier waarop invloeden vanuit onze omgeving ons

gevoelsleven en ons functioneren beïnvloeden. Laat mij u dan ook laten kennismaken met een specifieke tak van psychofysica; psycho-optica.

Sinds het begin der tijden, hebben mensen het verlichten van hun omgeving gebruikt om zichzelf 's nachts op hun gemak te voelen. En terwijl de fakkel, olielampen, gaslampen en elektrische lantaarns elkaar in een steeds sneller tempo opvolgden, hebben we ons in al die tijd eigenlijk nooit zo bezig gehouden met de kleur van het licht. Of, om precies te zijn, met de wijze waarop al deze lichtbronnen ons in staat stellen om kleuren waar te nemen. In eerste instantie werd het ontwerp van de elektrische openbare verlichting dan ook uitsluitend gebaseerd op de mate waarin er contrasten konden worden waargenomen. En da's op zich niet zo vreemd, want in die dagen ging de aandacht vooral uit naar de veiligheid van het snel (in snelheid) toenemende gemotoriseerd verkeer. Dit is dan ook de belangrijkste reden waarom de wegen werden verlicht door de karakteristieke oranje gloed van lagedruk natriumlampen. Immers, bij voldoende hoge verlichtingsniveaus, stimuleert het licht van deze lampen de lichtgevoelige cellen in onze ogen op de meest optimale manier. Het grote nadeel van dit type lamp (het éénkleurige of monochromatische karakter van het licht dat ervoor zorgde dat elke kleur werd getransformeerd in een variant van oranje) speelde hierbij eigenlijk geen enkele rol.

Dit alles veranderde in de laatste decennia van de 20e eeuw. Vanaf het eerste moment dat het openbare leven zich 's nachts ook buitenshuis begon af te spelen, deed de uitdrukking 'sociale veiligheid' z'n intrede. Het is wellicht het beste te omschrijven als de persoonlijke veiligheid in een openbare ruimte. En vanaf dat moment begonnen de, op zichzelf zeer efficiënte lagedruk natriumlampen bijna ongemerkt uit de gratie te vallen. De belangrijkste reden hiervoor was dat, op het moment dat we ons kwetsbaar voelen, wij mensen vooral instinctief reageren op alles wat we voor ons zien. En onze reactie kan bijzonder intensief zijn, als de kleuren die we voor ons zien verschillen van de kleuren die we in ons geheugen aan een bepaalde gebeurtenis, voorwerp of persoon hebben gekoppeld. Geconfronteerd met een potentiële vijandige situatie, kan het ontbreken van die bekende kleuren onze gevoeligheid voor echte of denkbeeldige bedreigingen namelijk drastisch verhogen. Een typisch voorbeeld hiervan, is onze reactie op het moment dat iemand die ons vertrouwd is wordt belicht met monochromatisch licht. Dit éénkleurige licht kan er namelijk voor zorgen dat zelfs het uiterlijk van onze meest geliefde grootvader drastisch wordt veranderd . . . en niet op een positieve manier. Maar we moeten hierbij ook beseffen dat ons gevoel van veiligheid niet alléén wordt bepaald door de manier waarop het licht kleuren zichtbaar maakt. Immers, een enge omgeving wordt niet minder eng als deze op een kleurrijke manier verlicht is. En onze instinctieve reactie gaat helemáál een hoofdrol spelen als, dankzij de ons omringende duisternis, onze omgeving een stuk kleiner geworden is dan overdag.

Want je weet immers maar nóóit wat er, daar in het duister, allemaal op de loer ligt. Wist u bijvoorbeeld, dat we iets pas écht kunnen herkennen wanneer de via onze ogen ontvangen beeltenis kan worden gecombineerd met een betekenis? Onze hersenen vergelijken namelijk elke ontvangen beeltenis met degenen die in ons geheugen zijn opgeslagen. Alleen op het moment dat van zo'n waargenomen object, situatie of persoon kan worden geconstateerd dat het, binnen redelijke twijfel, te vergelijken is met een opgeslagen beeltenis, kunnen wij aan onze waarneming een betekenis. Want vraagt u zich het volgende eens af; waarom herkennen we een horizontale houten, metalen of kunststof plaat met daaronder een aantal smalle verticale stukken hout, metaal of kunststof eigenlijk als een 'tafel'? Wel, de eenvoudige reden hiervoor is dat wij sinds onze jeugd zijn geconditioneerd om zo'n constructie met dit woord te associëren. Daarom is de belangrijkste functie van ons geheugen het opslaan van eerdere observaties en hen weer beschikbaar maken op het moment dat dit nodig is. Echter, wanneer een in ons geheugen opgeslagen situatie keer op keer door onze waarneming wordt bevestigd, kúnnen we in een wel heel vreemde situatie terecht komen op het moment dat die situatie ingrijpend wordt veranderd. Komt dít u wellicht bekend voor?

U bevindt zich in uw auto en rijdt van uw woonplaats naar de plek waar u tijdens de werkuren uw tijd doorbrengt. Het is een route die u dag in dag uit aflegt, en na een tijdje kent u élk detail van deze route als uw broekzak. U zou als het ware in staat zijn om deze weg geblinddoekt af te leggen, en onbewust verwacht u dan ook dat álle details zullen verschijnen op hun door u veronderstelde positie. Maar dán wordt er aan uw route bijvoorbeeld een rotonde toegevoegd. Nu komt de feitelijke situatie níét meer overeen met de voorstelling die zich in uw geheugen bevindt. En op het moment dat u voor de eerste keer met deze nieuwe situatie wordt geconfronteerd, kunt u zich opmaken voor de schrik van uw leven.

Maar er zijn natuurlijk ook situaties waarin het aantal waarneembare gegevens veel te wensen overlaat. En als de ontvangen beeltenis eigenlijk te weinig details bevat om herkenning mogelijk te maken (bijvoorbeeld omdat het grootste gedeelte van het object niet voldoende contrast met de achtergrond heeft of omdat er géén of onvoldoende kleuren herkenbaar zijn) gaan onze hersenen tóch op zoek naar een beeltenis die 'er zoveel mogelijk op lijkt'. Bijvoorbeeld 's nachts kan zich dan ook gemakkelijk zo'n situatie voordoen. Een object is té slecht verlicht waardoor er te weinig details beschikbaar zijn voor het samenstellen van een waarheidsgetrouwe beeltenis. Toch zien wij de wél beschikbare details niet als afzonderlijke beelden; onze hersenen zijn dit gewoon niet gewend. Hoe dan ook zullen zij ervan uit gaan

dat de details op de één of andere manier één geheel vormen. En om tóch die vergelijking te kunnen maken, zullen onze hersenen de niet zichtbare details onwillekeurig gaan aanvullen op basis van waarschijnlijkheid. 'Verbindt de punten en kleur het plaatje verder in', als het ware. Dit kan echter, zeker in het verkeer, tot grote vergissingen leiden want het kan immers zó maar gebeuren dat onze hersenen er faliekant naast zitten. Mocht u hier méér over willen weten, deze eigenschap behoort tot de 'gestaltpsychologie'.

Een waarnemer kan overigens niet waarnemen, als er niets waar te nemen vlt. Het linkt logisch, maar ik ben ervan overtuigd dat er situaties zijn waarin u er van overtuigd was dat u te maken had met precies het tegenovergestelde. Laten we, om hier wat meer duidelijkheid in te brengen, dus eerst maar eens aannemen dat waarneming een proces is, dat zich afspeelt tussen een waarnemer en het waargenomene; dat wat waargenomen wordt. Dit suggereert dat er tussen beide een zekere relatie moet bestaan. En als we aannemen dat het waargenomene óf een levenloos object is óf niet in de gaten heeft dat het waargenomen wordt, dan zal deze relatie aan de zijde van de waarnemer een subjectief, een aan de zijde van het waargenomene een objectief karakter hebben. Met andere woorden, het waargenomene zal bij de waarnemer een soort van emotie oproepen maar daar zelf niet door worden beïnvloed of veranderd. Een illustratief voorbeeld hiervan is het bekijken van een schilderij. De ene waarnemer zal het ademloos bewonderen, omdat het schilderij hem op een positieve manier beïnvloed of 'raakt'. Echter, op hetzelfde moment zou een andere waarnemer het schilderij juist vrselijk kunnen vinden, terwijl een derde waarnemer er alleen maar zijn schouders bij zal ophalen omdat het schilderij hen niets doet. Blijkbaar kan zo'n schilderij voor elke waarnemer een ándere betekenis hebben en daardoor tegelijkertijd verschillende reacties oproepen. Echter, het feit dat het tegelijkertijd zowel geprezen als verguisd wordt heeft op het schilderij zlf geen énkele invloed; het blijft immers wat het is. De reactie van de waarnemer is dus afhankelijk van de status die hij, door ervaring of geleerd of geconditioneerd gedrag, aan de waargenomene toekent. Dit betekent echter ook dat we onbewust aannemen dat het waargenomene ook werkelijk zal bestaan. Onder geschikte omstandigheden, kan deze aanname echter ook gebaseerd zijn op een optische illusie, zoals bijvoorbeeld een fata morgana in de woestijn. Gedreven door dorst en uitputting, zult u maar al te graag willen geloven dat u in de verte een oase ziet opdoemen. Een waarnemer zal echter gaan twijfelen aan wat hij ziet als, in zijn ervaring, de waargenomen niet echt kn zijn. Zelf had ik een dergelijke ervaring toen ik op een dag in mijn auto zat en het laatste deel van mijn route controleerde.

Ik had mijn auto even aan de kant van de weg geparkeerd, keek op mijn kaart en vervolgens naar buiten. Halfbewust, zag ik een jongedame naderen die was gekleed in een blauw trainingspak. Vervolgens ging mijn aandacht terug naar mijn kaart, en na een paar minuten keek ik weer naar buiten. Tot mijn stomme verbazing zag ik diezelfde jongedame naderen op exact dezelfde plaats als daarvoor. U kunt zich voorstellen dat ik op dat moment mijn ogen niet geloofde. Uiteindelijk bleek dat deze jongedame langs dat deel van de weg heen en weer aan het joggen was en ik haar toevallig twee keer gezien had op exact dezelfde plek.

Trouwens, wist u dat dit alles vreemd genoeg minder een probleem zal zijn op het moment dat we ons hebben omhult met de stalen romp van onze auto? Vreemd genoeg gaan we ons dan namelijk anders gedragen; we houden eigenlijk eventjes op een kwetsbaar mensje te zijn en ‘worden’ als het ware een beetje een auto. Let u bijvoorbeeld maar eens op het taalgebruik dat een automobilist doorgaans ongemerkt gebruikt; en we hebben het dan natuurlijk niet over de bijzónder kleurrijke wijze waarop sómmige automobilisten elkaar menen te moeten wijzen op ‘the error of their ways’. ‘Ik reed gisteren over de A12 richting Arnhem en toen zat die (en hier volgt dan meestal zo’n kleurrijk woord dat u als lezer waarschijnlijk een blosje op de kaken zal bezorgen) bijna continue op m’n achterbumper’ . . . herkent u het ? U bent echter niet degene die ‘reed’ (u hebt immers geen wielen) en ik kan me ook niet voorstellen dat u als mens een ‘achterbumper’ hebt. Het lijkt misschien een beetje een flauw voorbeeld, maar het is een feit dat deze ‘vereenzelviging’ met ons voertuig helaas in sómmigen van ons het slechtste naar boven haalt. Het wordt echter een heel andere zaak als wij ’s avonds over straat lopen. We zijn, én voelen, ons in zo’n geval kwetsbaar; alle, al dan niet ingebeelde bedreigingen in onze omgeving kunnen ons dan, letterlijk en figuurlijk, raken. We hebben hierdoor dan ook alle informatie en indrukken nodig om ons toch in enige mate veilig te voelen . . . of, in een overduidelijk ónveilige situatie, in staat te zijn te máken dat we wegkomen.

☒

de vier basisgrootheden

Helaas . . . u ontkomt er nu toch écht niet meer aan. Zoals al in het voorwoord aangegeven zult u zich, vóórdát u zich daadwerkelijk met licht en verlichting bezig kunt gaan houden, éérst een hoeveelheid basisinformatie eigen moeten maken. En, net zoals bij het leren van het alfabet is ook dit gewoon een kwestie van leren . . . hoewel er in dit hoofdstuk wel alles aan gedaan is om het zo leuk en begrijpelijk mogelijk te houden. Het begrijpen van de lichttechnische grootheden en eenheden

is namelijk niet in alle gevallen even gemakkelijk. Immers, licht is niet tastbaar en daardoor is het niet altijd even gemakkelijk ons de diverse begrippen voor te stellen. Dit is dan ook de reden dat ik, om u in de gelegenheid te stellen de lichtstroom, lichtsterkte, verlichtingssterkte en luminantie wat gemakkelijker in de vingers te kunnen krijgen, een vergelijking heb gemaakt met het gedrag van water. Christiaan Huygens deed het immers ook, nietwaar? Het tweede gedeelte van dit hoofdstuk bevat een overzicht van de wijze waarop deze vier binnen de openbare verlichting worden gebruikt.

lichtstroom: Stelt u zich om te beginnen eens zo'n rode Amerikaanse brandkraan voor. Wat zou er gebeuren als u alle afsluiters van zo'n ding tegelijkertijd open zou zetten. Wel, het is niet moeilijk voor te stellen dat het water dan uit alle openingen in alle mogelijke richtingen in 't rond zou gaan spuiten. Hetzelfde gebeurt als bijvoorbeeld een ouderwetse gloeilamp wordt ingeschakeld. Ook deze lamp zal in dat geval zijn zichtbare straling in alle mogelijke richtingen gaan uitstralen. Deze 'in 't rond stralende' hoeveelheid wordt de lichtstroom genoemd. Het symbool voor de lichtstroom is de Griekse letter phi, en de hoeveelheid wordt uitgedrukt in de eenheid lumen . . . 't is maar dat u het weet.

En nu we het toch over de lichtstroom hebben. Het volgende gebeurde tijdens een vakantie op het Nederlandse eiland Ameland. M'n vrouw hééft het me toen nog zo gezegd . . . 'JE BENT MET VAKANTIE !!!', maar ik kon het toch weer niet laten. Ook op dit Nederlandse eiland kom je ze namelijk in alle soorten en maten tegen. Sommige zijn wat conservatiever uitgevoerd, en anderen weer modern. Sommige bezitten een zodanige slankheid dat ze volgens mij zelfs de meest bevlogen modeontwerper in vervoering zullen brengen; anderen hebben zodanig weelderige vormen dat Rubens himself ze met genoeg op het doek zou hebben vastgelegd. U begrijpt natuurlijk direct dat ik het over lichtmasten heb. Er was er echter ééntje die me bijzonder interesseerde. Dat was er, volgens een informatiebord tenminste, eentje met maar liefst 4.400.000 kaarsen. U begrijpt natuurlijk dat ik graag eens zoveel kaarsen bij elkaar wilde zien, dus ondernam ik de tocht naar boven. Gedurende het beklimmen van de 1200 treden begon ik me echter steeds meer af te vragen (het ding werd namelijk steeds smaller) waar ze in hemelsnaam al die kaarsen onder hadden gebracht; zo'n aantal neemt immers nogal wat ruimte in beslag. Bovengekomen bekwam me dan ook tegelijkertijd een gevoel van triomf (ik had het toch maar weer gehaald) en een gevoel van teleurstelling. De lichtbron bleek niet te bestaan uit een woud van 4,4 miljoen kaarsen maar uit één enkele gasontladingslamp (voor de kenners onder u, een HPIT 2000 W) die evenveel lichtstroom produceerde als

4.400.000 kaarsen. Maar hoewel uiteindelijk een beetje teleurgesteld, was de tocht naar boven tóch niet helemaal voor niets geweest. Het uitzicht was namelijk schitterend én het bood me (je moet je al klimmende en dalende toch érgens mee bezig houden) de gelegenheid om uit te rekenen dat één Amelandse kaars een lichtstroom produceert van bijna 43 minilumen. Ergens ben ik trouwens blij dat ze toen hebben besloten om die 4.400.000 kaarsen te vervangen door één enkele gasontladingslamp. Het mag dan misschien wat minder spectaculair, nostalgisch en romantisch zijn, maar het bouwen van vuurtorens wordt er een stuk eenvoudiger door.

lichtsterkte: Als een brandweerman een brand gaat blussen, richt hij het uiteinde van z'n slang op de vuurhaard. Het uitspuitende water zal zich vervolgens vanuit de brandslang gaan verspreiden. U kunt zich hierbij waarschijnlijk voorstellen dat het water zich gaat verspreiden in een ruimtelijke vorm die we ons het beste voor kunnen stellen als een kegel. Iets soortgelijks zien we voor ons als we de zichtbare straling gaan bekijken die door een lamp in een bepaalde richting wordt uitgestraald. We kunnen ons ook dit dan ook het beste voorstellen als licht, uitgestraald binnen een ruimtelijke figuur; binnen een ruimtelijke hoek. Voor de duidelijkheid wordt ook deze ruimtelijke figuur meestal afgebeeld in de vorm van een kegel, maar deze kan elke willekeurige vorm hebben. Deze in een bepaalde richting uitgestraalde lichtstroom wordt de lichtsterkte genoemd. Het symbool voor de lichtsterkte is de hoofdletter I; de eenheid wordt candela genoemd.

verlichtingssterkte: Stel, u gaat uw huis opnieuw inrichten. In uw huiskamer legt u een hoogpolig tapijt, in het eetgedeelte parket en in de keuken komen plavuizen te liggen. Elk gedeelte van uw huis heeft hierdoor een vloerbedekking gekregen met elk een andere oppervlaktestructuur. Maar dan laat u, voordat u met vakantie gaat, per ongeluk een kraan openstaan en blijkt bij thuiskomst dat de gehele benedenverdieping onder water staat. Maar, bijgekomen van de eerste schrik, valt het u dan opeens op dat, ondanks de verschillende oppervlaktestructuren van uw vloerbedekking, het water overall even hoog staat. Het water dat op uw vloerbedekking terecht is gekomen heeft zich blijkbaar, tijdens het verspreiden, niets aangetrokken van hetgeen er op de grond ligt.

Precies zoiets gebeurt als de door een lamp uitgestraalde lichtstroom zich over een te verlichten oppervlak gaat verspreiden. De wijze waarop dit gebeurd is alleen maar afhankelijk van de positie van de lamp; ook in dit geval heeft de structuur van het oppervlak hierop geen enkele invloed. De hoeveelheid lichtstroom op het oppervlak wordt de verlichtingssterkte genoemd. En aangezien de lichtstroom over het algemeen niet gelijkmatig verdeeld zal zijn, wordt voor het

bepalen van de verlichtingssterkte uitgegaan van het gemiddelde. Deze is gelijk aan de hoeveelheid lichtstroom die over het oppervlak wordt verspreidt, gedeeld door het aantal vierkante meters dat het oppervlak groot is. Het symbool voor de verlichtingssterkte is de hoofdletter E; de eenheid (eigenlijk 'lumen per vierkante meter') wordt voor 't gemak lux genoemd.

luminantie: Stelt u zich eens voor dat u, in gedachten verzonken, aan de rand van een weg staat. Aangezien het net geregend heeft, is er een hoeveelheid water op de weg terechtgekomen. In de verte nadert een auto die, als hij u passeert, ervoor zorgt dat een deel van het water wordt opgespat. U loopt hierbij een zeker risico dat u het er niet droog vanaf brengt; uw kans op het halen van een nat pak is echter afhankelijk van een aantal factoren. Om te beginnen moet er uiteraard voldoende water op de weg gevallen zijn én het wegdek mag hiervan niet te veel hebben geabsorbeerd. Water dat niet aanwezig is kan immers niet worden opgespat, nietwaar? Verder is ook de afstand tussen u en de weg van belang. Hoe groter deze afstand, des te groter de kans dat het opspattende water u niet zal kunnen bereiken.

De hoeveelheid water op de weg staat model voor de verlichtingssterkte. Een deel van de op het wegdek vallende lichtstroom zal worden gereflecteerd (opgespat) in de richting van onze ogen. Deze lichtsterkte, de lichtstroom wordt immers in een bepaalde richting gereflecteerd, vormt de basis voor de luminantie; de helderheid van het wegdek en alle zich daarop bevindende voorwerpen. In tegenstelling tot de verlichtingssterkte, is de grootte van de luminantie dus wél afhankelijk van de structuur van het oppervlak. Een donker vlak weerkaatst immers (véél) minder licht dan een vlak dat lichter van kleur is. Het symbool voor de luminantie is de hoofdletter L; de eenheid wordt uitgedrukt in candela per vierkante meter.

horizontale en verticale verlichtingssterkte: De horizontale verlichtingssterkte is de verlichtingssterkte op de (horizontale) rijweg. De grootte hiervan is alleen maar afhankelijk van de afstand tussen de lamp en het wegdek, èn van de lichtsturing door het verlichtingsarmatuur. En aangezien het overgrote deel van de openbare verlichtingsarmaturen hun licht ten opzichte van het wegdek symmetrisch uitzenden, is de lichtverdeling over het wegdek aan beide zijden van de lichtmast over het algemeen gelijk. Deze symmetrische verdeling is het grote verschil met de wegdek luminantie waarbij de verdeling ten opzichte van de lichtmasten juist niet symmetrisch is. Het hoe en waarom wordt u straks uitgelegd. En aangezien de horizontale verlichtingssterkte niet overal op het wegdek even groot is, wordt bij het ontwerpen van een verlichtingsinstallatie gewerkt met het gemiddelde hiervan.

De verticale verlichtingssterkte is de verlichtingssterkte op bijvoorbeeld een (verticale) gevel. Ook de grootte van de verticale verlichtingssterkte is enkel afhankelijk van de afstand tussen de lamp en de gevel en van de wijze van lichtsturing van de (in geval van het aanlichten van een gevel) schijnwerpers. En aangezien ook de verticale verlichtingssterkte niet overal even groot is, wordt tijdens het ontwerpen eveneens uitgegaan van de gemiddelde verticale verlichtingssterkte.

halfcilindrische verticale verlichtingssterkte: Vooral als kwetsbare voetganger of fietser zult u zich, zo 's nachts op straat, weleens onveilig hebben gevoeld. Je weet immers maar nooit wat of wie er zich, daar in het donker, op zou kunnen houden. Om dit gevoel van onveiligheid tegen te gaan is een overzichtelijke weg en een goede verlichting van het grootste belang. Vooral woonwijkverlichting moet mensen dus in staat stellen om iemand die zij op straat tegenkomen over een voldoende grote afstand te kunnen herkennen. Dan is er namelijk nog voldoende tijd om, mocht dit nodig zijn, het hazenpad te kiezen. Hiervoor is echter een lichttechnische grootte nodig die het verband aangeeft tussen deze afstand en de, voor het herkennen benodigde verlichtingssterkte. Uit onderzoek met een groot aantal proefpersonen is gebleken dat bij het herkennen van iemand vooral gekeken wordt naar het gezicht. En aangezien het menselijk gezicht duidelijke overeenkomsten vertoont met een halve cilinder, is gekozen voor de halfcilindrische verticale verlichtingssterkte op ooghoogte. Dankzij een, mede op deze verlichtingsgrootte gebaseerde, verlichtingsinstallatie bent u in staat op een voldoende grote afstand tegemoetkomende personen (en vooral hun bedoelingen!) te kunnen herkennen. En da's belangrijk, want juist deze herkenning is bepalend voor uw daaropvolgende reactie.

relaties volgens Edward: Uit de studies van de Amerikaanse antropoloog Edward T. Hall is gebleken dat mensen ten opzichte van elkaar onbewust een bepaalde afstand bewaren; een afstand die afhankelijk is van hun onderlinge relatie. Mensen die een intieme relatie met elkaar onderhouden hebben er over het algemeen geen énele moeite met een onderlinge afstand van een halve meter . . . en soms zelfs véél minder. Maar bij iemand waarmee u een persoonlijke relatie onderhoudt is over het algemeen een afstand van een meter al dichtbij genoeg, en zakelijke contacten spelen zich meestal al op een nóg grotere afstand. Met de meeste mensen die we op straat tegenkomen hebben we over 't algemeen echter geen enkele relatie. En vooral in die situaties gaat, volgens Edward tenminste, de voorkeur uit naar een afstand van tenminste een meter of vier. Vooral woonwijkverlichting moet mensen dus in staat stellen om iemand die zij op straat tegenkomen, en waarmee zij

dus hoogstwaarschijnlijk geen énkele vorm van relatie hebben, over een afstand van minimaal vier meter te kunnen herkennen. En het bewijs? Wel, let u de eerstvolgende keer dat u gebruik gaat maken van een lift maar eens op uw medeliftgebruikers . . . vooral als het aantal wachtenden groter wordt dan vier. Laten we eens uitgaan van een situatie waarin, in eerste instantie, vier (liefst onderling onbekende) personen staan te wachten op het arriveren van de (lege) lift. De stemming is ontspannen; iets dat veranderd op 't moment dat er zich een vijfde wachtende aandient. De lampjes geven aan dat het arriveren van de lift aanstaande is, en u zult zien dat de wachtenden onbewust wat gespannen raken en proberen dichter bij de liftdeuren te komen. Op het moment dat deze zich openen, schieten de eerste vier personen naar binnen, en positioneren zich in de vier hoeken van het kleine vertrek. De ruggen zijn gericht naar de vier hoeken (rugdekking) en de armen worden meestal over elkaar geslagen. De vier hebben zich opgemaakt voor een kortdurend verblijf, waarin zij gedwongen ('t ding is nu eenmaal niet groter) een onderlinge afstand moeten accepteren die véél kleiner is dan die, welke beter zou passen bij hun onderlinge relatie. Wachtende nummer vijf heeft echter pech. Ook hij of zij betreedt de lift, maar alle mogelijkheden tot rugdekking zijn al bezet. Er rest haar of hem dus niets anders dan zich (midden!) in de lift op te stellen en, met een bijzonder ongemakkelijk gevoel, het moment af te wachten dat 'ie de lift, met een zucht van verlichting, weer kan verlaten. En mochten ze aanwezig zijn, dan zult u zien dat (zéker voor onze vijfde) de lampjes die het passeren van de etages aangeven, opeens bijzónder interessant blijken te zijn.

Edward's theorie deed ons uiteraard denken 'da's wel leuk, maar zou dit nu ook in Nederland van toepassing zijn'. Iets 'zomaar' aannemen heeft immers nooit in onze volksaard gezeten, en ook wij beschikten over een flinke dosis van deze Hollandse koppigheid . . . of eigenwijzigheid; 't is maar hoe u 't bekijkt. Wij wilden dan ook de proef op de som nemen, en positioneerden ons op één van de perrons van het Arnhemse centraal station. Het is al even geleden ('Indiana Jones and the last Crusade' draaide in de bioscopen, dus het zal in 1989 geweest zijn) maar dit was hetgeen zich na enige tijd wachten voor onze ogen en voor de meegebrachte fotocamera afspeelde.

Het tot dan toe lege perron werd betreden door twee jongens; gezien de tijd en gezien hun bagage overduidelijk een tweetal scholieren op weg naar huis. Ze waren in een geanimeerd gesprek gewikkeld, dus het kon gewoon niet anders dan dat zij elkaar móesten kennen. Na even wat rondgedrenteld te hebben (komt die trein nu nóg niet?) besloten ze te gaan zitten op één van de lange houten banken die in die tijd de Arnhemse perrons sierden. Op een gegeven moment leek het tweetal door hun gesprekstof heen te zijn, en verlegden zij hun

aandacht van elkaar naar hun directe omgeving. Op zo'n 'in de verte starend' moment neem je meestal, wat betreft je houding en positie ten opzichte van anderen, onwillekeurig de voor jou meest comfortabele positie in . . . zo ook deze twee. Toen zij dus op deze wijze een 'natuurlijke' afstand tot elkaar ingenomen hadden, telden wij ongemerkt het aantal trottoirtegels dat zich op dat moment tussen hen bevond. Het bleken er drie te zijn; een afstand van drie maal dertig centimeter . . . ongeveer een meter dus. Volgens Hall's theorie zouden deze jongens dus een persoonlijke relatie met elkaar moeten onderhouden; iets dat volledig overeenstemde met onze eigen observaties. Maar het werd nog mooier.

Na enige tijd dook er uit de catacomben onder het station een derde jongeman op. Deze was voorzien van een bakje patat, en uit het totale gebrek aan wederzijdse herkenning meenden wij op te kunnen maken dat hij het andere tweetal niet kende. Staand eten is ook niet je dat, dus de jongeman besloot na enige tijd eveneens op de bank plaats te nemen. Nu waren die banken behoorlijk lang, maar volgens deze jongeman duidelijk nog niet lang genoeg. Hij ging namelijk op het uiterste (van ons uit gezien rechter) puntje van de bank zitten, en uit zijn hele houding (voorover gebogen, voeten gekruist) sprak duidelijk dat hij zich in 't geheel niet op z'n gemak voelde. Wellicht nog het meest illustratief, was zijn intense interesse in zijn bakje patat . . . want zó interessant zijn die dingen immers óók weer niet. Een snelle telling (zo'n zes maal dertig centimeter) toonde aan waarom deze jongeman zich zo ongemakkelijk voelde. Hij was, door de afmetingen van de bank, gedwongen ten opzichte van de meest rechtse jongeman, iemand waarmee hij duidelijk geen enkele relatie had, te gaan zitten op een afstand van minder dan twee meter. En da's een stuk minder dan de vier meter waar hij, volgens Edward, waarschijnlijk een stuk meer tevreden mee zou zijn geweest.

De validiteit van Hall's theorie werd uiteindelijk voor ons bevestigd door het op het perron arriveren van een dame. Ook zij was, na enig rondlopen, gedwongen op een voor haar ten opzichte van de meest links gezeten jongeman duidelijk onprettig korte afstand te gaan zitten. Zij perste haar rechterheup als het ware tegen de metalen beugel, die de leuning van de bank vormde, zette haar tas (eveneens stevig tegen zich aangedrukt) tussen haar en de jongeman in, sloeg haar benen op ferme wijze over elkaar heen, kortom . . . ze deed alles wat maar mogelijk was om zichzelf te beschermen tegen zijn nabijheid. Pas toen ook haar aandacht zich verplaatste van haar directe naar de wat ruimere omgeving (we realiseerden ons wat ongemakkelijk dat het er op leek dat zij nu naar óns zat te kijken) ging ze ongemerkt wat

gemakkelijker zitten. Wij maakten, voor de zekerheid, maar snel dat we wegkwamen.

wegdek luminantie: Als een automobilist, 's nachts rijdend over een verlichte weg, niet wordt afgeleid dan zal zijn blik zich onwillekeurig richten op het wegdek dat zich van zo'n 60 tot 160 meter voor zich uit strekt. Dit is het gevolg van de hoogte waarop diens ogen zich op dat moment bevinden (zo'n anderhalve meter boven het wegdek) en de beperkingen van het zicht door de voorruit. Het zal u duidelijk zijn dat dit is gebaseerd op de 'gemiddelde' personenauto. Het effect voor de hoger en lager gezeten bestuurders van bijvoorbeeld vrachtwagens en sportauto's is overigens niet merkbaar anders.

Bij het berekenen van de, door de openbare verlichting gerealiseerde wegdek luminantie (u raad het al, de luminantie van het verlichte wegdek) richten de diverse berekeningsprogramma's zich dan ook op dit vlak. Aangezien de reflectie van het wegdek niet overal even groot is, en niet elk stukje van de weg zich even prominent in het gezichtsveld van de automobilist bevindt, krijgt u over 't algemeen de gemiddelde wegdek luminantie gepresenteerd; uitgedrukt in cd/m^2 . Als uitgangspunt voor de berekening wordt uitgegaan van het optisch midden van het 60 tot 160 meter vlak. Enige handigheid met potlood, liniaal en het toepassen van onze kennis van de meetkunde leert ons dat dit optisch midden zich op zo'n 90 meter afstand van de automobilist bevindt. Rond dit optisch midden wordt, gebaseerd op een vlak met een lengte van de gekozen onderlinge afstand tussen de lichtmasten, de gemiddelde wegdek luminantie berekend. Bij deze berekening wordt bovendien rekening gehouden met de aanwezigheid van nog eens vier lichtmasten aan weerszijde van dit vlak. Daarnaast is echter ook nog de positie van de automobilist ten opzichte van de weg van belang. Dankzij de constructie van de Nederlandse wegen en de breedte van de hierop rijdende auto's bevindt deze zich (tenminste, bij het rijgedrag dat van hem of haar wordt verondersteld) op zo'n halve meter van de as van de weg.

Maar als we er zo over nadenken, dan is het toch eigenlijk een beetje vreemd dat wij, voor het beschrijven van het verlichtingsniveau, gebruik maken van twee verschillende grootheden. Immers, beide kunnen immers worden gebruikt om een indruk te geven van de gerealiseerde verlichtingskwaliteit. Wel, hiervoor bestaat een héél praktische reden. Om te beginnen nemen wij onze omgeving áltijd waar dankzij het luminantie principe; een voldoende groot verschil in gereflecteerde zichtbare straling stelt ons in staat de voorwerpen in onze omgeving waar te nemen. Het geniepige zit 'm echter in de wijze waarop de luminantie gemeten en dus berekend wordt; in het 60 tot 160 meter gebied en uitgaande van de specifieke positie van de waarnemer ten opzichte van dit gebied én ten opzichte van de as van

de weg. Dit houdt dus in, dat zowel de positie als de kijkrichting van de waarnemer exact gedefinieerd zijn. In het geval van een rechte autoweg is hierbij nog wel iets voor te stellen maar wat hebben we, bijvoorbeeld in een woonwijk of een stadscentrum, voor het krijgen van een beeld van de verlichtingskwaliteit, eigenlijk aan zoiets als de wegdek luminantie? Wel, eerlijk gezegd, eigenlijk helemaal niets. De positie van de waarnemer (over welke voetganger of fietser hebben we het dan eigenlijk?) laat staan zijn of haar kijkrichting is in een woonwijk immers niet eenduidig vast te stellen. En verder lijken de lichtmasten wel met gulle hand over het terrein uitgestrooid te zijn in plaats van dat zij strak in 't gelid staan, dus over dat 60 tot 160 meter gebied zullen we het maar helemáál niet meer hebben. Eigenlijk wordt, wat dit betreft, de situatie in een verblijfsgebied het meest fraai afgebeeld in de wereldberoemde litho 'relativity' uit 1953, van de hand van grafisch kunstenaar M.C. Esher. Maar ook binnen al die woonwijken en stadscentrums, die met z'n allen ook wel verblijfsgebieden worden genoemd, wordt er uiteraard waargenomen dankzij het luminantie principe. Maar aangezien het hier gewoonweg niet mogelijk is om de positie en kijkrichting van de weggebruikers en dergelijke te bepalen, beperken we ons noodgedwongen tot het realiseren van een afdoende horizontale verlichtingssterkte. Want, zolang vaststaat dat de op het wegdek vallende lichtstroom voldoende is, hoeven we ons over de hoeveelheid die richting ons oog gereflecteerd zal worden in principe géén zorgen te maken.

gefeliciteerd: Na het beëindigen van dit hoofdstuk hebt u zich door het taaiste gedeelte van dit boek heen weten te worstelen. Zoals in het begin al aangegeven moet u zich nu eenmaal eerst het nodige aan feitenkennis eigen hebben gemaakt; iets dat u door het lezen van dit hoofdstuk voor elkaar heeft gekregen. Maar het kan natuurlijk helemáál geen kwaad het zo af en toe toch nog eens even open te slaan. Maar één ding is zeker; de achterliggende theorie van de openbare verlichting heeft voor u, vanaf nu, géén geheimen meer.

☒

óók wel handig om te weten

gelijkmatigheid: Naast een acceptabel verlichtingsniveau, heeft een weggebruiker vooral behoefte aan een zo egaal mogelijk verlichte (rij)weg. Iedereen kent immers wel, uit eigen ervaring, het door een slecht ontworpen verlichtingsinstallatie veroorzaakte licht-donker-licht-donker patroon (en het is verbazingwékkend hoe vaak een obstakel zich nu nét in zo'n donker gedeelte bevindt). Hoe egalder de weg dus is verlicht, des te beter de weggebruiker het wegdek voor zich kan waarnemen en hoe eerder hij of zij kan reageren op onverwachte situaties. Deze egaalheid

wordt de gelijkmatigheid genoemd, waarbij er twee vormen zijn te onderscheiden; de algehele en de langsgelijkmatigheid.

De algehele gelijkmatigheid is, uitgaande van een verlichte terrein, de verhouding tussen de kleinst optredende waarde van de verlichtingssterkte (of de luminantie) en de gemiddelde waarde. Een goede algehele gelijkmatigheid stelt ons dus in staat een twee dimensionaal terrein (twee dimensionaal in de zin van lengte en breedte) goed te overzien. Dit in tegenstelling tot een ééndimensionale rijweg waar onze aandacht zich eigenlijk hoofdzakelijk op de lengte, en slechts in mindere mate op de breedte van de weg richt. Een goede algehele gelijkmatigheid komt ons dus vooral goed van pas in bijvoorbeeld een verblijfsgebied. De langsgelijkmatigheid daarentegen is de verhouding tussen de kleinste en de grootste luminantie waarde, gemeten op één rechte lijn in de lengterichting van de (rij)weg. De langsgelijkmatigheid is hierdoor vooral van belang op auto(snel)wegen. Immers, zeker op snelwegen is wat er in de berm gebeurt een stuk minder interessant, en ook de kans op plotseling haaks op de rijrichting opduikende medeweggebruikers is hier een stuk kleiner. Wat hier echter wél van belang is, is tijdig te kunnen waarnemen of er objecten op de rijweg liggen of wat de automobilisten vóór en achter ons aan het uitspoken zijn. De hoge snelheden laten immers weinig ruimte en tijd om ons eerst uitgebreid af te gaan zitten vragen wat er voor ons nu eigenlijk aan de hand zou kunnen zijn.

lichthinder: Lichthinder is een onderwerp dat zich in een brede belangstelling mag verheugen. De urgenter wordende milieuproblematiek leidt bijvoorbeeld tot een kritische houding ten opzichte van het gebruik, en vooral ten opzichte van het misbruik van licht. Dit is op zich natuurlijk een goede zaak, want ook de productie van licht dat ons niet helpt maar hindert vergt immers de nodige energie. Lichthinder moet dus, in ál z'n verschijningsvormen, zoveel mogelijk worden verminderd of vermeden. Een veelgebruikte definitie van lichthinder is de volgende. Lichthinder is de overlast veroorzaakt door kunstlicht bij mens en dier, als regelrechte verblinding, als verstorende factor bij het verrichten van avondlijke of nachtelijke activiteiten, of als bron van onbehagen. Iets praktischer kan lichthinder worden beschouwd als een verzamelnaam voor een drietal verschijningsvormen. Zo hebben we het bij verblinding over het licht dat direct in onze ogen schijnt en is lichtoverlast vooral het gevolg van licht dat terecht komt op plaatsen waar het niet noodzakelijk is of waar we het gewoonweg niet willen hebben. Denk hierbij bijvoorbeeld aan woonkamers, slaapkamers en natuurgebieden. Lichtvervuiling tenslotte, is het licht dat rechtstreeks of via reflectie richting de hemel wordt gestraald.

verblindings: Wat we in z'n algemeenheid verstaan onder verblindings is, biologisch gezien, niets anders dan een onnatuurlijk sterke prikkeling van ons gezichtszintuig. Dit wordt veroorzaakt doordat het direct in de oogbol invallende licht de zogenaamde sluier luminantie veroorzaakt; het reflecteren van het licht op de imperfecties in het glasachtig lichaam. Zoals bekend nemen wij onze omgeving waar als gevolg van een verschil in lichtreflectie van voorwerpen en hun achtergrond. Als het contrast tussen beide voldoende groot is, is ons gezichtszintuig in staat om voorwerpen en hun achtergrond van elkaar te onderscheiden. Als de hoeveelheid direct in het oog vallend licht, en de daardoor veroorzaakte sluier luminantie, echter te groot is kan ons waarnemingsvermogen behoorlijk worden tegengewerkt. De sluier luminantie overstemt als het ware het verschil tussen de luminantie van de zich voor ons bevindende voorwerpen en hun achtergrond.

Uiteraard wordt verblindings ook op andere manieren veroorzaakt dan door de openbare verlichting alleen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan (felle) reclameverlichting of de reflectie van een (te overdadig) aangelicht gebouw. Maar aangezien dit boek de openbare verlichting als onderwerp heeft, zijn vooral de in woongebieden toegepaste paaltoparmaturen een geschikt voorbeeld van lichthinder. Deze armaturen zijn over 't algemeen geplaatst op een hoogte van drie tot vier meter; een keuze die veelal wordt ingegeven door esthetische redenen. De combinatie van lichtmast en verlichtingsarmatuur moet immers, zowel qua verlichtingspatroon als qua uiterlijk, passen in de openbare ruimte. Een andere reden is strikt lichttechnisch. De armaturen zijn zodanig geconstrueerd dat zij een zo groot mogelijk deel van hun omgeving kunnen verlichten. Aangezien zij over het algemeen zijn uitgerust met een niet ál te groot lampvermogen, en zij in staat moeten zijn met name voetgangers en fietsers ten opzichte van elkaar in voldoende mate zichtbaar te maken, leidt dit automatisch tot een lage(re) lichtpunthoogte. Deze onderlinge herkenning is, zoals we inmiddels weten, vooral het gevolg van het zichtbaar zijn van het gezicht aangezien dát over het algemeen het gedeelte van het lichaam is waaraan wij elkaar, én elkaars bedoelingen kunnen herkennen. Het direct verlichten van het gezicht leidt echter onherroepelijk tot een bepaalde mate van verblindings; 't een kan nu eenmaal niet zonder 't ander.

De mate van verblindings als gevolg van een verlichtingsarmatuur is afhankelijk van de samenstelling en opstelling van de verlichtingsinstallatie; het lampvermogen, de masthoogte en de onderlinge mastafstand. Enige creativiteit kan echter een groot verschil maken wat betreft de grootte van de verblindings. Als voorbeeld: Het verlichten van een woonstraat met behulp van op vier meter hoogte geplaatste paaltoparmaturen leidt, uitgaande van een verlichtingsniveau van gemiddeld 3 lux, tot een verblindingswaarde (in dit geval de Threshold Increment) van maar liefst 35%. Het realiseren van hetzelfde verlichtingsniveau met behulp

van op zes meter hoogte geplaatste uithouderarmaturen verminderd de verblindingswaarde tot bijna 14%. Een ander, bijzonder herkenbaar voorbeeld is de situatie die soms wordt aangetroffen bij een verkeersdruppel midden in de weg; zeker als deze onderdeel uitmaakt van een voetgangersoversteekplaats. Hier wil men wel eens, op deze druppel, een drie of vier meter hoge lichtmast met een rondstralend paaltop armatuur neerzetten. Zo'n ding valt immers goed op, zo midden op de weg, en de gehele omgeving wordt er door verlicht; beter kan niet, zou je denken. Niets is echter minder waar. Het paaltoparmatuur kan namelijk dankzij z'n grote verblinding, iets dat een overzichtelijke situatie zou moeten zijn juist veranderen in een ónoverzichtelijk geheel. Zo'n situatie is meer gebaad bij een tweetal (hogere) uithoudermasten. De combinatie van een lage verblinding en een van twee zijden worden aangestraald biedt de voetganger immers een veilige overgang. Lichthinder moet dus eigenlijk worden beschouwd als een onvermijdbaar neveneffect van het met behulp van de openbare verlichting bevorderen van de persoonlijke en sociale veiligheid. Het is hierdoor niet te voorkomen, maar er kan wel worden gezorgd dat het tot een minimum beperkt blijft.

lichtoverlast: Ook lichtoverlast is een neveneffect van het verlichten en het door middel van licht verfraaien van de openbare ruimte. In tegenstelling tot verblinding kan lichtoverlast echter wél worden tegengegaan. Het is namelijk een direct gevolg van de gekozen verlichtingsarmaturen en van de wijze waarop deze worden neergezet. Licht hoeft immers, zeker in woonwijken, niet strikt beperkt te blijven tot de straat. Het kan in sommige gevallen zelfs best hándig zijn om ook op het eigen terrein van de openbare verlichting te kunnen profiteren. Denkt u hierbij alleen maar eens aan het 's nachts kunnen vinden van het sleutelgat in uw voordeur. Waar wij over het algemeen echter géén prijs op stellen is het door de openbare verlichting meeverlichten van onze huis- of slaapkamer. Bewoners zijn, voor het voorkomen hiervan, overigens al lang niet meer afhankelijk van de goodwill van de gemeente of de wegbeheerder. Voor het tegengaan van lichtoverlast bestaat tegenwoordig regelgeving en dankzij de beschikbare jurisprudentie kunnen maatregelen desnoods worden afgedwongen. Uiteraard begint het voorkomen van lichtoverlast bij een goed lichttechnisch ontwerp, maar gelukkig wordt ook door de diverse fabrikanten op dit neveneffect ingespeeld. In die gevallen waarin overlast dreigt op te treden kan dan bij vele typen verlichtingsarmaturen een deel van het uitgestraalde licht worden afgeschermd.

Behalve door de openbare verlichting kan lichtoverlast eveneens worden veroorzaakt door aangelichte panden en objecten én door winkels en de horeca en dergelijke die licht gebruiken om hun waren aan de man te brengen. Gemeenten nemen dan ook in toenemende mate in hun beleidsnota's op dat deze toepassingen

van licht géén hinder mogen veroorzaken. Hierbij wordt in de meeste gevallen ook de tijdsperiode waarbinnen deze vormen van verlichting worden toegepast aan banden gelegd. Buiten deze periode kan door de gemeente worden geregeld dat de verlichting óf uitgeschakeld wordt óf teruggebracht tot een minimaal, niet hinderlijk niveau. Maar soms gaat men echter wel héél ingenieus te werk om de lichthinder van verlichtingsarmaturen tegen te gaan.

Zo had ik eens met één van mijn collega's afgesproken een verlichte situatie te gaan bekijken. En aangezien het daarvoor natuurlijk donder moet zijn, besloten we eerst maar eens een terrasje op te zoeken om daar onder het genot van een kop koffie het naderende duister af te wachten. Eén terras viel ons daarbij direct op. De straat waar dit terras aan grensde werd namelijk verlicht door paaltoparmaturen die, op z'n zachts gezegd, niet bepaald bijdroegen aan de gemoedelijke sfeer waar zo'n terras het nu eenmaal van moet hebben. De uitbaatster van het cafeetje had dan ook, met behulp van een oud stuk gordijn, de recht tegenover haar terras geplaatste lichtmast omgetoverd in een bijzonder originele schemerlamp.

lichtvervuiling: De meest herkenbare vorm van lichthinder is nog altijd lichtvervuiling; het boven een stad, een industriegebied of een verzameling kassen ontstaan van een koepel van licht. Deze lichtkoepel is het gevolg van licht dat óf direct naar boven wordt uitgestraald óf door de verlichte oppervlakken wordt gereflecteerd. Dit licht reflecteert vervolgens op waterdamp en stofdeeltjes in de lucht en veroorzaakt op deze wijze het beeld dat vooral van uit de ruimte goed zichtbaar is.

Vooraf bij het aanlichten van gebouwen en dergelijke kan er in een extreme mate sprake zijn van lichtvervuiling. Niet zo vreemd uiteraard, want de toegepaste schijnwerpers worden immers bewust naar boven gericht. En hoewel het licht van deze schijnwerpers het te verlichten gebouw háárscherp afbeelden ten opzichte van de zwarte achtergrond, betekent dit niet dat er náást het gebouw geen licht verloren gaat. Dat licht is er weldegelijk, maar is voor ons niet zichtbaar omdat er niets is waarop het zou kunnen reflecteren. In dit geval kan de lichtvervuiling worden teruggebracht door de keuze voor de juiste schijnwerpers en een zorgvuldig verlichtingsontwerp. De toe te passen schijnwerpers moeten over zodanig smalle lichtbundels en afschermingen beschikken dat het licht uitsluitend, of in ieder geval zoveel mogelijk, op het aan te lichten object kan worden geconcentreerd. Waar mogelijk kan gekozen worden voor de combinatie met accentueringsverlichting, verlichting vanuit het object of gebouw zelf of een andere creatieve oplossing. Verder moeten we ons realiseren dat zo'n aangelicht gebouw

over het algemeen wordt bekeken ten opzichte van de nachtelijke, dus donkere hemel. Er is dus, in termen van contrast, meestal maar relatief weinig licht nodig om, ten opzichte van deze donkere achtergrond een gebouw mooi op te laten vallen. De, behalve door plaatselijke verordeningen natuurlijk, meest oncontroleerbare vorm van lichtvervuiling (én lichthinder én lichtoverlast) wordt veroorzaakt door de meer extravagante vormen van reclameverlichting. En vergist u zich niet. Zelfs een volgens de reclamemakers matig verlicht reclamebord kan ten opzichte van de openbare verlichting nog een behoorlijk grote helderheid hebben; zeker als het licht rechtstreeks in uw ogen schijnt. Hierbij moeten we ons eigenlijk gewoon afvragen of de overlast van deze vorm van verlichting in verhouding staat tot het doel dat ermee wordt nagestreefd.

upward light ratio: De openbare verlichting is mede verantwoordelijk voor de boven Nederland veroorzaakte lichtvervuiling. Dit wordt vooral veroorzaakt door lichtreflectie, maar eveneens door verlichtingsarmaturen die vooral vanwege hun uiterlijke kenmerken zijn gekozen. In dergelijke gevallen kan het zelfs (volgens de betreffende fabrikant, tenminste) noodzakelijk zijn om een deel van het licht naar boven uit te stralen om op deze wijze ook 's avonds en 's nachts het silhouet van het armatuur zichtbaar te laten zijn. Maar hiervoor is straat (!) verlichting eigenlijk helemaal niet bedoeld. Maar vergist u zich niet, ook verlichtingsarmaturen voor primair een functioneel gebruik kunnen lichtvervuiling veroorzaken. De vraag is dus hoe we kunnen bepalen of een verlichtingsarmatuur wel of geen (ernstige) lichtvervuiling veroorzaakt, en het liefst vóórdat het op z'n lichtmast staat te pronken. Er zijn bijvoorbeeld berekeningsprogramma's die standaard aangeven hoeveel licht er boven de negentig graden (de horizontaal) nog wordt uitgestraald en boven welke hoeveelheid graden het helemaal gedaan is met het naar boven uitgestraalde licht. Er is echter een nog snellere methode. Met behulp van het al lang bekende polair diagram kan namelijk op eenvoudige wijze worden bepaald of een verlichtingsarmatuur wel of géén lichtvervuiling veroorzaakt. Het boven de horizontale lijn uitstekende deel van de grafiek representeert het gedeelte van het licht dat naar boven wordt uitgestraald.

Om lichtuitstraling naar boven wat concreter aan banden te kunnen leggen is de upward light ratio (ULR) geïntroduceerd. Deze grootte geeft aan welk percentage van het uitgestraalde licht boven het verlichtingsarmatuur wordt uitgestraald. De ULR geeft dit percentage als de verhouding tussen de hoeveelheid naar boven uitgestraald licht (ULOR : upward light output ratio) en de som van de ULOR en de hoeveelheid naar beneden uitgestraald licht (DLOR : downward light output ratio).

thresholt increment: Om een, door een lamp verlicht voorwerp te kunnen waarnemen is een bepaalde hoeveelheid door dit voorwerp gereflecteerd licht nodig. Het contrast tussen het reflecterende voorwerp en diens reflecterende achtergrond maakt het voorwerp immers voor ons zichtbaar. De minimale hoeveelheid licht waarbij het voorwerp, zonder directe verblinding door de lamp, nog net scherp kan worden waargenomen, wordt de drempelwaarde genoemd. Naast het door het voorwerp gereflecteerde licht schijnen de aanwezige lampen echter ook rechtstreeks in onze ogen. Als gevolg hiervan ontstaat in de oogbol de sluier luminantie (het reflecteren van het licht op de imperfecties in het glasachtig lichaam) dat de luminantie van het voorwerp als het ware tegenwerkt. We zijn daardoor niet meer in staat om het voorwerp scherp waar te nemen. We zouden het voorwerp echter weer met de oorspronkelijke scherpte kunnen waarnemen als we er in zouden slagen de luminantie van het voorwerp te verhogen. De oorspronkelijke drempelwaarde wordt hierdoor dus met een bepaald percentage verhoogd. Deze procentuele verhoging wordt de drempel (thresholt) waarde verhoging (increment) genoemd. Het symbool voor de thresholt increment zijn de hoofdletters TI, en de waarde wordt uitgedrukt in procenten.

Revealing Power: Een belangrijke voorwaarde voor een verlichtingsinstallatie is, dat deze in staat moet zijn om hetgeen er op de rijweg gebeurt voor de weggebruikers voldoende zichtbaar te maken. Dit is een punt dat niet genoeg kan worden benadrukt (en ik zal het dan ook niet laten). De waarde van de wegdek luminantie, de gelijkmatigheden en de mate van verblindingshinder zijn dus geen individuele grootheden die, elk afzonderlijk, gerealiseerd moeten worden maar vertegenwoordigen gezamenlijk een bepaalde verlichtingskwaliteit, die op zijn beurt weer garant staat voor een bepaalde mate van zichtbaarheid. Het verlichten van een weg, en het daardoor creëren van zichtbaarheid, omvat dus héél wat meer dan alleen 'het realiseren van getallen'. Maar hoe weten we wat in een bepaalde situatie de 'grootte van de zichtbaarheid' is.

Deze vraag is overigens niet nieuw, want al in de dertiger jaren van de twintigste eeuw kreeg de Britse wetenschapper John Waldram van het Britse Ministerie van Transport de opdracht om een methode te ontwikkelen om zichtbaarheid meetbaar te maken. Hij ontwikkelde hiertoe het begrip revealing power; het vermogen van een verlichtingsinstallatie om voorwerpen op het wegdek zichtbaar te maken door hen ten opzichte van de achtergrond te onthullen. Waldram's methode laat zich het beste illustreren aan de hand van het volgende experiment. Stelt u zich eens een wegdek voor, met daarop een twintigtal kubussen; elk met zijden van zo'n twintig bij twintig centimeter. De kleuren van deze kubussen variëren van lichtgrijs tot donkergrijs en vertegenwoordigen op deze

wijze alle mogelijke reflectiefactoren. In de meest ideale situatie bent u, dankzij een goede combinatie van wegdekreflectie, gelijkmatigheid en (de afwezigheid van) verblinding, in staat alle kubussen waar te nemen. De revealing power bedraagt in dit geval 100%. Op een verlicht wegdek zullen echter in de meeste gevallen slechts een deel van de kubussen zichtbaar zijn. Het waarnemen van 12 van de 20 kubussen betekent bijvoorbeeld een revealing power van 60% en in de meest slechte situatie zijn er uiteraard weinig tot geen kubussen te herkennen. Als we nu het aantal kubussen vervangen door het aantal details dat u waarneemt, dan zal u duidelijk zijn op welke wijze de revealing power een beoordelingscriterium zou kunnen vormen voor de, door de openbare verlichting gerealiseerde mate van zichtbaarheid.

De revealing power wordt in belangrijke mate beïnvloed door de wegdek luminantie. Bij een laag niveau (tot zo'n 0,5 cd/m²) kunnen slechts enkele details worden waargenomen. In het gebied tussen 0,5 en 2 cd/m² neemt de revealing power sterk toe. Bij het realiseren van waarden, groter dan 2 cd/m² is de toename van het aantal waargenomen details gering. Maar ook de algehele gelijkmatigheid en de verblindingshinder zijn bepalend voor de mate van zichtbaarheid. Zowel een afname van de gelijkmatigheid (bijvoorbeeld door het kiezen van een grotere mastafstand) als een toename van de verblindingshinder (bijvoorbeeld door het kiezen van verlichtingsarmaturen die hun licht onder een meer horizontale hoek uitstralen) beïnvloeden de revealing power op een negatieve wijze. En mocht u er direct mee aan de slag willen, proefondervindelijk is bepaald dat het waarnemen van zo'n 75% van alle details over het algemeen voldoende is om een persoon of object met 'aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid' te kunnen herkennen.

Een, helaas bijzonder tragisch praktijkvoorbeeld rond de Revealing Power speelde zich af op één januari 2013 in klein dorpje in de provincie Fryslân. In dit dorpje was het gebruikelijk het nieuwe jaar feestelijk in te luiden met een vreugdevuur. Dit vuur werd gestookt in een container die, net buiten de rand van het dorp, in de berm van een doorgaande weg was geplaatst. Een groep van zo'n veertig mensen van alle leeftijden had zich rond de container verzameld, Het regende die nacht waardoor de berm drassig was. Een aantal van de omstanders stond hierdoor op het wegdek van de doorgaande weg. Op een gegeven moment doemde er uit het duister een auto op die, zonder te remmen, vol op hen inreed. Later werd er geconstateerd dat er géén opzet, en géén alcohol in het spel waren. Het was volgens de nieuwsdiensten dan ook een raadsel waarom de automobilist de mensen op de rijweg niet had gezien. Echter, voor de nieuwsdiensten mag het dan een raadsel zijn geweest; voor ons is het volledig verklaarbaar.

Allereerst kunnen we ons afvragen of het voor deze automobilist eigenlijk wel mogelijk was geweest de auto tot stilstand te brengen. Wel, de maximum snelheid op de doorgaande weg bedroeg 60 km/uur en er werd aangenomen dat de automobilist zich keurig hieraan heeft gehouden. Onder ideale omstandigheden (volledige concentratie op de weg, droge weersomstandigheden, een adequate reactietermijn en géén afleiding) zou de remweg dan in theorie zo'n 35 meter zijn geweest. De omstandigheden waren echter verre van ideaal. Het regende, en de automobilist werd geconfronteerd met een vuurhaard die een verblindend effect veroorzaakte en zich ook nog eens vlak naast de rijbaan bevond. Zo'n vuurhaard vormt hierdoor een directe bedreiging voor de automobilist, waardoor een deel van diens aandacht onherroepelijk gericht zal zijn geweest op het zo veilig mogelijk om deze vuurhaard heenrijden. Verder moeten we ons realiseren dat de remweg van een auto niet alleen maar bestaat uit de afstand die de auto nog aflegt op het moment dat het rempedaal volledig is ingetrapt. Er gaat immers eveneens wat tijd verloren tussen het moment dat de automobilist de aanwezigheid van de mensen op de rijweg had gedetecteerd en hen als zodanig had herkend en het moment van remmen. Dit alles in overweging genomen zou de remweg zeker zo'n 60 á 62 meter zijn geworden. Normaliter verlichten de autolantaarns het wegdek voor een auto over een afstand van zo'n zestig meter. Het zou er dus om hebben gespannen.

Er is echter nóg een factor die meespeelde. De tijd die dit detecteren en herkennen in beslag neemt, is direct afhankelijk van de verlichtingscondities ter plaatse. Om te beginnen speelde dit drama zich af op een niet verlichte weg. De mensen op de rijweg, die zelf uiteraard geen verlichting bij zich droegen, moesten dus grotendeels worden waargenomen tegen een donkere achtergrond; een situatie met bijzonder weinig contrast. Verder werd de automobilist geconfronteerd met een combinatie van een lage wegdek luminantie, een goede gelijkmatigheid en een uiterst sterke verblinding (en daardoor geadapteerde pupillen) door het vuur direct naast de weg. Zelfs zonder hieraan te rekenen is het duidelijk dat deze combinatie een Revealing Power oplevert van ten hoogste enkele procenten. De aanwezigheid van deze uiterst slechte waarnemingscondities worden bevestigd door de constatering dat de automobilist helemaal niet aan remmen is toegekomen. Dit ongeluk was dus eigenlijk onvermijdelijk.

bermfactor: De bermfactor geeft de verhouding aan tussen de gemiddelde verlichtingssterkte op een strook met een breedte van een meter of vijf aan de rand van de weg, en de gemiddelde verlichtingssterkte op de weg zelf. De gedachte hierachter is om, naast de weg zelf, ook een gedeelte van de directe omgeving enigszins te verlichten om zo het blikveld van de weggebruiker wat te verbreden.

Hij of zij kan zo sneller reageren op overstekend wild (in welke vorm dan ook) of andere weggebruikers die vanuit het duister de weg (willen) opkomen.

Dit is vooral van belang in een situatie waarin bijvoorbeeld fietsers een goed verlichte rijweg over willen steken. De fietser wil in zo'n geval wel eens denken 'de weg is goed verlicht, ze zien me dus wel', maar realiseert zich meestal niet dat de naderende automobilist onbewust te kampen heeft met een handicap. Diens ogen zijn namelijk ingesteld op het gemiddelde verlichtingsniveau waarmee de weg verlicht is, waardoor de donkere omgeving van de weg ongemerkt een paar tintjes duisterder is geworden. De kans dat de automobilist de fietser aan de kant van de weg opmerkt is hierdoor een héél stuk kleiner geworden, en het zou zo maar kunnen gebeuren dat de fietser pas wordt opgemerkt als deze uitgestrekt op de rijweg ligt. Het verbreden van het gezichtsveld van de automobilist is dus, zeker op die punten waar dergelijke passages mogelijk zijn, helemaal nog niet zo'n slecht idee. Het vestigt zijn of haar aandacht op een mogelijk, zeker voor de passerende fietser, gevaarlijk punt en kan daardoor héél wat leed voorkomen.

kleurtemperatuur: De kleur van het, door een lichtbron uitgestraalde licht kan voor ons gevoel overkomen als warm of juist koel; hoe witter het licht, hoe koeler de kleur overkomt. Deze eigenschap wordt de kleurtemperatuur genoemd. Als symbool voor de kleurtemperatuur is gekozen voor de hoofdletter T, met als toevoeging de kleine letter k (Tk); de kleurtemperatuur wordt uitgedrukt in Kelvin (K). In eerste instantie lijkt er echter een wat onlogische relatie te bestaan tussen de kleurtemperatuur zelf, en de associatie die de lichtkleur bij ons oproept. Als voorbeeld: de lagedruk natriumlamp produceert oranje licht, een kleur die door ons al sinds mensenheugenis wordt geassocieerd met warmte, comfort en gezelligheid. Het witte licht van een fluorescentielamp of een hogedruk kwiklamp, wordt door ons echter meestal verbonden met het begrip koude. Toch heeft de lagedruk natriumlamp slechts een kleurtemperatuur van 1800 K, en dat is toch héél wat minder dan bijvoorbeeld de kleurtemperatuur van een koude kwiklamp. Deze bedraagt namelijk maar liefst 5.000 K.

Voor het verklaren van deze vreemd lijkende tegenstelling tussen de kleurtemperatuur en de lichtkleur, moeten we terug naar het moment dat de eerste mensachtigen op aarde verschenen. Op een gegeven moment ontdekte onze voorouders hoe zij vuur konden gebruiken voor het bereiden van hun voedsel, het buiten de deur houden van gevaarlijke dieren, en zich in de winter warm te houden. De oranje kleur van het houtvuur werd hierdoor geassocieerd met begrippen als bescherming en warmte. Denkt u bijvoorbeeld zélf maar eens terug aan al die genoeglijke uurtjes bij het haard- of kampvuur. De associatie wit – koude ontstond waarschijnlijk als gevolg van het in een besneeuwde omgeving moeten jagen op een

prooi. En da's nu eenmaal bepaald géén pretje als je enige bescherming tegen de koude bestaat uit een beestenvelletje.

De toekenning van de kleurtemperatuur is gebaseerd op de kleurverandering die de gloeidraad van een gloeilamp doorloopt als deze, door het verhogen van de toegevoerde hoeveelheid energie, warmer en warmer wordt. Bij een lage energietoevoer zal de gloeidraad een rood-oranje gloed uitstralen; vergelijkbaar met het licht van een lagedruk natriumlamp. De temperatuur van de draad is dan echter nog relatief laag. Naarmate de energietoevoer wordt verhoogd, zal de kleur, via geel, wijzigen in wit; de gloeidraad is dan letterlijk witheet. En mocht dat u meer aanspreken, het zelfde proces speelt zich af als een smid een stuk ijzer gaat verhitten tot een 'smeedbare' temperatuur.

kleurweergave index en spectrale energieverdeling: Een lamp is, afhankelijk van zijn samenstelling, in meer of mindere mate in staat om kleuren herkenbaar te maken. Om te beoordelen hoe goed of slecht de weergave van de kleuren is, wordt de lamp vergeleken met een temperatuurstraler; een natuurlijke lichtbron zoals een gloeilamp of een kaars. Deze zijn namelijk in staat om alle kleuren uit het zichtbare gedeelte van het elektromagnetisch spectrum weer te geven. De kleurweergave index van een lamp geeft dan ook aan, hoeveel procent van de kleuren van het zichtbare gedeelte van het spectrum deze gemiddeld weer kan geven ten opzichte van het door een temperatuurstraler weergegeven kleurenspectrum. De maximum waarde van de kleurweergave index is gesteld op 100 (%). Het symbool is de hoofdletter R, met als toevoeging de kleine letter a (Ra).

Echter, de kleurweergave index vormt slechts het gemiddelde van de weergave van de kleuren uit het spectrum. Enkel op basis van de kleurweergave indices van lampen kan er dus eigenlijk géén conclusie getrokken worden over de weergave van één enkele specifieke kleur. Verder is de kleurweergave index gegeven voor één bepaalde kleurtemperatuur. Het vergelijken van de kleurweergave indices van lampen met verschillende kleurtemperaturen geeft dus eveneens een vertekend beeld. De beste manier om een goed beeld te krijgen van de wijze waarop een lamp kleuren al dan niet zichtbaar en herkenbaar kan maken is, te kijken naar diens spectrale energieverdeling; de wijze waarop de door de lamp geproduceerde zichtbare straling is verdeeld over het zichtbare spectrum. Een natuurlijke lichtbron beschikt bijvoorbeeld over een continu spectrum; de uitgestraalde energie is verdeeld over alle golflengten binnen het zichtbare spectrum. De wijze van verdelen bepaald trouwens eveneens of de uitgestraalde zichtbare straling wordt geïnterpreteerd als warm of koud. Bij een lichtbron met een lage kleurtemperatuur, waarvan het licht wordt geïnterpreteerd als warm, wordt er gemiddeld meer energie uitgestraald binnen de rode en oranje golflengten

dan in het blauwe gebied. Bij een lichtbron met een hoge kleurtemperatuur, waarvan het licht wordt geïnterpreteerd als koud, is dit nét andersom. De meeste openbare verlichtingslampen hebben echter geen continue- maar juist een discontinu spectrum. Kijkend naar hun spectrale energieverdeling zien we dat bij sommige lampen (denk bijvoorbeeld aan de fluorescentielampen) bij enkele, en bij andere lampen (denk bijvoorbeeld aan de hogedruk natriumlamp) bij meerdere golflengten géén energie wordt uitgestraald. In een door middel van fluorescentielampen verlichte straat is het aantal vergeten golflengten zó klein dat het verschil met een continu spectrum ons eigenlijk niet opvalt. Bij de hogedruk natriumlamp merken we het ontbreken van golflengten echter wel. Kleuren zijn op zich nog wel een beetje te herkennen ('t houdt echter niet over) maar de algehele indruk is die van een overwegend gelige omgeving. Ook zijn er lampen, zoals de lagedruk natriumlamp, wiens stralingsenergie slechts is verdeeld over één of enkele golflengten. De reden hiervoor heeft alles te maken met het kunnen produceren van hoge verlichtingsniveaus, en vooral met de wijze waarop ons waarnemingsvermogen wordt gestimuleerd.

specifieke lichtstroom: Iedereen wil waar voor z'n geld. Soms wordt dit omschreven als 'het streven naar een optimale prijs-prestatieverhouding', maar in gewoon Nederlands betekent dit (wat ons betreft, tenminste) gewoon dat we met behulp van zo weinig mogelijk energie zoveel mogelijk lichtstroom uit een lamp willen krijgen. Dit rendement van de lamp wordt doorgaans beschreven als de verhouding tussen de lichtstroom (lumen) en het vermogen van de lamp (Watt); lumen per Watt, dus.

lampen

Lampen (of, iets algemener, lichtbronnen) kunnen in z'n algemeenheid worden onderscheiden in temperatuurstralers, gasontladingslampen en halfgeleiders. Temperatuurstralers zijn lichtbronnen waarbij (bijvoorbeeld door middel van verbranding of verhitting) materie omgezet wordt in, onder andere, zichtbare straling. Voorbeelden hiervan zijn de oude vertrouwde gloeilamp, de kaars en natuurlijk onze zon. Gasontladingslampen produceren licht door het tot ontlading brengen van een gas, en de halfgeleiderlampen werken volgens hetzelfde principe als de halfgeleider-diode. De lampen welke bij uitstek geschikt zijn (of waren) voor toepassing in de openbare verlichting zijn de fluorescentielamp, het QL lampsysteem, de hoge- en lagedruk natriumlamp en de light emitting diode. Let wel, ik heb het hier natuurlijk over de lichttechnische eigenschappen en niet over de energie huishouding van de lampen . . . da's een ander hoofdstuk uit een ander boek.

gasontladingslampen: Afhankelijk van hun vorm, en hierdoor van de mogelijkheden om het uitgestraalde licht te sturen, worden gasontladingslampen onderscheiden in bolvormige-, puntvormige- en langwerpige lampen. Een andere manier om het te onderscheiden is door het ontladingsgas dat wordt toegepast. Wat zij echter met elkaar gemeen hebben is dat zij zichtbare straling produceren door het tot ontlading brengen van een gas. En dát gaat als volgt in z'n werk. Een gasontladingslamp is eigenlijk niets anders dan een gesloten glazen buis, waarin een gas is ondergebracht. Aan de beide uiteinden van de buis bevinden zich, aan de buitenzijde, aansluitpunten die verbonden zijn met in de buis aangebrachte elektroden. Als er tussen beide elektroden een voldoende groot potentiaalverschil bestaat zullen elektronen zich, op gang gebracht door een starter, van de ene naar de andere elektrode gaan bewegen. Tijdens deze reis komen de elektronen in botsing met de in de buis aanwezige gas-atomen. Deze botsing kan zo heftig zijn dat er een gas-elektron in een hogere baan rond de atoomkern wordt gestoten. Het atoom is nu onstabiel geworden en zal er voor zorgen dat het elektron weer in z'n oude stabiele baan wordt gebracht. Het elektron zal hierbij zijn, door de botsing ontvangen energie weer afstaan in de vorm van een foton die, al dan niet met behulp van een fluorescentiepoeder, wordt omgezet in zichtbare straling.

Om dit proces goed te laten verlopen, is een voorschakelapparaat van wezenlijk belang. Alleen de gasontladingsbuis zelf is namelijk niet voldoende om zichtbare straling te produceren. Direct aangesloten op een elektrische spanning doet een gasontladingsbuis namelijk . . . helemaal niets. Als de elektronenstroom nog niet op gang is gekomen, heeft de ontladingsbuis namelijk een bijzonder hoge weerstand. Er is dus een bepaalde mate van motivatie nodig om de elektronen ertoe te bewegen aan hun reis te gaan beginnen. Hiervoor is een verlichtingsarmatuur eveneens uitgerust met een voorschakelapparaat. Hiermee wordt rond één van de elektroden een zódanige lading opgebouwd, dat er tussen beide elektroden een bijzonder hoog spanningsniveau ontstaat. Uiteindelijk is er slechts een kleine stimulans nodig om de elektronen tussen beide elektroden te laten overspringen. Op het moment dat de elektronenstroom volledig op gang is gebracht, ontstaat er echter een nieuw probleem. De weerstand van de gasontladingsbuis is nu zó laag geworden dat, als hier geen grenzen aan gesteld worden, de spanningsbron uiteindelijk wordt kortgesloten. En het zal niemand verbazen dat het op dat moment ook met de verlichting een aflopende zaak is. De stroom door het elektrische circuit moet dus worden beperkt, en laat dát nu net de tweede taak van het voorschakelapparaat zijn.

Hoewel van oudsher uitgevoerd als zelfinductie (een 'spoel') bestaat het voorschakelapparaat tegenwoordig uit een verzameling elektronische componenten. De reden voor deze vernieuwing was allereerst het besef dat het

oude voorschakelapparaat, ook wel aangeduid als magnetisch of m-vsa, in verhouding tot de lamp zelf toch wel erg veel energie verbruikte. Verder kon het m-vsa zorgen voor een grote faseverschuiving; het verschil in de momenten waarop de sinusvormige spanning en stroom van positief negatief worden en omgekeerd. Zoiets wordt door de beheerders van het elektriciteitsnet niet écht op prijs gesteld, dus deze faseverschuiving moest dus weer met behulp van condensatoren tot acceptabele proporties worden teruggebracht. Tenslotte was de wijze waarop de doorslag in de gasontladingsbuis tot stand werd gebracht, op termijn niet ál te bevorderlijk voor de toestand van de elektroden in de gasontladingsbuis.

Het elektronische, ook wel als e-vsa aangeduide voorschakelapparaat brengt het ontladingsproces in de gasontladingslamp op een stuk vriendelijkere wijze tot stand. Het e-vsa bestaat uit een elektronisch circuit met behulp waarvan een hoogfrequente spanning wordt opgewekt. Als gevolg van deze hoge frequentie kan het geleidingsproces van de elektronen in de ontladingsbuis met minder energie tot stand worden gebracht, en in stand worden gehouden. De lamp heeft als gevolg hiervan minder energie nodig om dezelfde hoeveelheid licht te produceren (bij een PLL 24 Watt bedraagt het verschil in energieverbruik tussen een m- en een e-vsa bijvoorbeeld zo'n 20%) en het proces is bovendien een stuk vriendelijker voor de elektroden. En dit laatste zorgt er weer voor dat de levensduur van de gasontladingslamp met een procent of dertig wordt verlengd. En die faseverschuiving? Wel, dat is nu een voordeel van elektronica, want door een juiste instelling kan deze op een waarde worden gehouden die véél gunstiger is dan dat wat door de beheerders van het elektriciteitsnet wordt geëist. Maar ook het e-vsa bleek al snel niet van alle smetten vrij te zijn. De hierin ondergebrachte elektronische componenten kunnen namelijk een behoorlijk nadelige invloed hebben op de kwaliteit van de energievoorziening.

de fluorescentielamp: Hij veroorzaakt een kleurweergave tussen de 66 en de 98%, heeft een breed scala aan vermogens en is bovendien óók nog eens dimbaar. Dit alles maakt de fluorescentie (PLL) lamp uitermate geschikt voor het verlichten van gebieden waar het van belang is om kleuren te kunnen herkennen. Verder is het met behulp van deze lamp ook mogelijk om de sfeer in het verlichte gebied een beetje te beïnvloeden. De lamp is namelijk leverbaar in meerdere lichtkleuren, zoals 2700 K (extra warmwit), 3000 K (warmwit) en 4000 K (wit). Dit effect moet overigens wél met een korreltje zout genomen worden. Iemand die er oog voor heeft zal dit verschil wel opvallen, maar het zal de gemiddelde voorbijganger waarschijnlijk volledig ontgaan.

De PLL-lamp bestaat uit een tweetal parallelle glazen buizen; aan één zijde voorzien van een lampvoet. Naast de langwerpige PLL-lamp zijn er overigens ook PL-lampen beschikbaar in een meer compacte uitvoering. Dit maakt hen geschikt voor toepassing in kleinere en/of decoratieve verlichtingsarmaturen. Eén van de nadelen van de PLL-lamp is overigens zijn temperatuur gevoeligheid. De elektronenstroom moet namelijk, vooral bij de exemplaren met hogere vermogens, nogal een lange weg afleggen van elektrode naar elektrode. Een lage omgevingstemperatuur heeft hierdoor vooral invloed op dat deel van de lamp dat zich op de grootste afstand van de elektroden bevindt; het deel waar de uiteinden van de beide parallelle buizen met elkaar verbonden zijn. Zeker in de winter is, als we hiertoe geen maatregelen treffen tenminste, de invloed van de lage temperatuur op straat zichtbaar. De lampen zijn daarom op die plaats voorzien van een isolatiekapje. Dit kapje beïnvloedt de uitgestraalde lichtstroom niet of nauwelijks, maar doet wonderen voor (of eigenlijk, tegen) de temperatuur gevoeligheid van de lamp.

de hogedruk natriumlamp: De hogedruk natriumlamp produceert een grote hoeveelheid lichtstroom tegen een relatief gering opgenomen vermogen. De mate van kleurherkenning varieert tussen de 26 en de 60% en is daardoor niet ál te groot. Dit hoeft op zich echter geen nadeel te vormen, aangezien de lamp alleen in relatief hoge vermogens leverbaar is. Hierdoor produceren zij een grote hoeveelheid lichtstroom, en iedereen die zich het verhaal over het Purkinje-effect nog weet te herinneren weet wat de voordelen zijn van de combinatie van het hoge verlichtingsniveau en het door de hogedruk natriumlamp geproduceerde gele licht. En hoewel het binnenwerk exact gelijk is, is de hogedruk natriumlamp toch beschikbaar in twee uitvoeringen; de bolvormige SON-lamp en de buisvormige (tubulaire, vandaar die "T") SON-T lamp. U moet weten dat de mogelijkheden het licht van een lichtbron te sturen, zeer sterk samenhangen met diens brandpunt; het kleinste lichtgevende gedeelte. Hoe kleiner dit brandpunt, des te beter zijn we, met behulp van een geschikte lichtsturing, in staat het licht dáár te krijgen waar we 't hebben willen.

Zowel bij de SON- als bij de SON-T lamp wordt de lichtstroom geproduceerd in een klein ontladingsbuisje. Dit ontladingsbuisje bevindt zich echter, in 't geval van de SON-lamp, in een buitenballon die aan de binnenzijde is voorzien van een fluorescentiepoeder. Hierdoor wordt het brandpunt van de SON-lamp gevormd door de lamp zelf, en zie dáár maar eens een geschikte optiek voor te ontwerpen. En om het, optisch, nóg erger te maken presteerde men het in vroeger jaren ook nog eens om niet één, maar zelfs twéé van deze lampen in een verlichtingsarmatuur te stoppen. De gedachte hierachter was overigens niet verkeerd. Een SON lamp produceert nu eenmaal nogal wat lichtstroom, en het was dus eigenlijk best handig

op de op een zeker moment niet meer noodzakelijke hoeveelheid terug te kunnen brengen. De gewenste lichtstroomreductie werd tot stand gebracht door eenvoudigweg één van de lampen uit te schakelen. De reductie van de energiekosten bedroeg hierdoor weliswaar vijftig procent (natuurlijk óók niet verkeerd) maar de gevolgen voor de verlichtingskwaliteit waren op z'n minst interessant (of, iets minder diplomatiek, rampzálig) te noemen. Het maken van een effectieve optiek voor één bolvormige lamp was immers al moeilijk genoeg; laat staan als je iets moet bedenken waarmee je het licht van twee vlak naast elkaar geplaatste bollen richting het wegdek moet zien te krijgen. En als er dan óók nog ééntje uitgeschakeld wordt, blijven we uiteindelijk zitten met een optiek, geschikt voor twee lampen, waarmee het licht van één lamp moet worden gestuurd die ook nog eens niet in het midden zit óók. Kunt ú zich voorstellen wat voor interessante verlichtingspatronen dit opgeleverd moet hebben ?

Het verschil tussen de SON en de SON-T lamp komt vooral tot uiting als, in eenzelfde verlichtingsinstallatie, het SON-armatuur wordt vervangen door een armatuur dat is voorzien van een SON-T lamp met hetzelfde vermogen. Dit kan namelijk zómaar een procent of 20 tot 25 méér lichtstroom op het wegdek opleveren. Het is overigens wél verstandig dit verwisselen allereerst even uit te proberen in een berekeningsprogramma en er niet direct met de hoogwerker op uit te trekken. Deze haast wonderbaarlijke vermeerdering is het directe gevolg van de constructie van de SON-T lamp. De lamp is namelijk voorzien van een heldere buisvormige buitenballon, waarin het ontladingsbuisje gewoon zichtbaar is. Deze constructie (het brandpunt van de lamp is nu immers gereduceerd tot de afmetingen van het ontladingsbuisje) maakt het mogelijk de geproduceerde lichtbundel behoorlijk nauwkeurig te sturen. En met behulp van elektronische voorschakelapparatuur kan de lamp ook nog eens gedimd worden. Dit alles maakt de SON-T lamp bij uitstek geschikt voor het verlichten van (auto)wegen én . . . voor het aanlichten van gebouwen en objecten. Het is echter, in dit laatste geval, wél verstandig het aanlichten te beperken tot histórische gebouwen en objecten. Het effect van het gele licht van de hogedruk natrium lamp imiteert namelijk bij uitstek de middeleeuwse flambouwen die in vroeger dagen onze kastelen van (spaarzaam) licht voorzagen. Het met behulp van hogedruk natrium lampen aanlichten van een, bij daglicht strak wit gebouw zou namelijk z'n doel wel eens voorbij kunnen schieten.

Trouwens, de bolvormige hogedruk natriumlamp vormde, op een zeker moment in z'n bestaan, de bron voor een groot mysterie dat lichttechnisch Nederland aardig wat slapeloze nachten heeft bezorgd. In vroeger jaren vormde, ook binnen de openbare verlichting, de TL-buis de voornaamste bron van wit licht. Er waren echter situaties waarvoor zelfs de állergrootste TL-buis niet genoeg

lichtstroom opleverde. In zo'n geval werd in de behoefte aan wit licht voorzien met behulp van de hogedruk kwiklamp. Deze produceerde weliswaar de gevraagde hoeveelheid lumen, maar had daar héél wat elektrische energie voor nodig. Nu wilde 't toeval dat de hogedruk kwiklamp, onder de oud gedienden beter bekend als de HPLN, ongeveer de zelfde vermogensreeks had als de SON-lamp én ook nog eens dezelfde vorm en afmetingen. Het leek er dus op dat de SON-lamp (die verhoudingsgewijs héél wat meer lichtstroom produceerde) zómaar in een HPLN-armatuur gedraaid kon worden. Het vermogen was immers ongeveer hetzelfde, en ook de lichtverdeling zou er niet wezenlijk anders door worden. Wat wil een mens nog meer dus, zo gedacht, zo gedaan. Maar al snel bleek dat de SON-lampen wel een bijzonder korte levensduur begonnen te krijgen. Het door de fabrikanten gegarandeerde aantal branduren bleek bij lánge na niet gehaald te worden. De oorzaak van dit mysterie bleek echter een bijzonder praktische te zijn. De door het voorschakelapparaat van de kwiklamp (dat uiteraard in het armatuur bleef zitten) veroorzaakte ontladingsstroom was echter véél groter dan die van de natriumlamp. De arme SON-lampen werden hierdoor dus in feite binnen korte tijd inwendig opgeblazen.

de lagedruk natriumlamp: De lagedruk natriumlamp is, wat betreft het ons mogelijk te maken om waar te nemen, op de zon na (maar die schijnt nu eenmaal 's nachts niet) de beste lichtbron die we ooit gehad hebben en waarschijnlijk ooit zullen krijgen . . . op die éne 'misser' met de SOX 18 na natuurlijk. De lamp heeft echter een nadeel dat hier direct verband mee houdt; het is onmogelijk om, verlicht door deze lamp, kleuren waar te nemen. Maar aangezien de lagedruk natriumlamp vooral op auto(snel)wegen wordt toegepast, vormt dit voor de gemiddelde automobilist geen énkél probleem. Ik heb er in ieder geval nog nóóit eentje over horen klagen. De lagedruk natriumlamp produceert een grote hoeveelheid lichtstroom tegen een, verhoudingsgewijs, gering opgenomen vermogen. Deze lamp is hiermee de lichtbron met de hoogste specifieke lichtstroom van alle, binnen de openbare verlichting toegepaste lichtbronnen. Nadelen zijn het, bij toepassing van deze lamp volledig ontbreken van enige mogelijkheid tot kleur herkenning en natuurlijk de grootte; een SOX 135 W is bijvoorbeeld méér dan een meter lang.

Een prachtig voorbeeld van het nadeel van deze grootte is het verhaal van het verlichten van een snelweg, ergens midden in 't land. De autosnelwegen worden bij voorkeur verlicht vanuit de middenberm; mits daar ruimte voor is, natuurlijk. Bij deze, zich door een natuurgebied kronkelende snelweg was deze ruimte er niet, en men besloot dus de weg vanaf de zijkant te verlichten. De meest ideale oplossing zou zijn het éézijdig plaatsen van 18 tot 20 meter hoge masten met een instelbaar SON-T armatuur. Een dergelijk armatuur heeft namelijk zódanige instel-