

Ser. 4  
S123

2<sup>e</sup> ex.

**SZW**

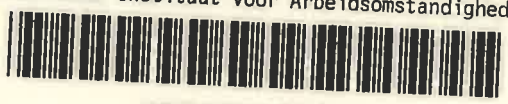
Ministerie van Sociale Zaken  
en Werkgelegenheid

# Nadelige effecten van fluorescentieverlichting op gezondheid en welbevinden?

Een literatuurstudie

**— S 123**

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



\*NIA0047821\*

# Nadelige effecten van fluorescentieverlichting op gezondheid en welbevinden?

Een literatuurstudie

**P. Padmos**

Nederlands Instituut voor  
Arbeidsomstandigheden NIA  
bibliotheek-documentatie-informatie  
De Boelelaan 32, Amsterdam-Buitenveldert

ISN-nr.  
plaats  
datum

6403  
Ser. 4, S 123 (2<sup>e</sup> lce.)  
16 JULI 1991

Literatuurstudie uitgevoerd in opdracht van het  
Directoraat-Generaal van de Arbeid door het  
Instituut voor Zintuigfysiologie TNO

juli 1991

## **CIP-gegevens Koninklijke Bibliotheek, Den Haag**

Padmos, P.

Nadelige effecten van fluorescentieverlichting op gezondheid en welbevinden? / P. Padmos. - Den Haag: Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. - Ill. - ([Studie] / Directoraat-Generaal van de Arbeid, [Arbeidsinspectie], ISSN 0921-9218 ; S 123)

Manuscript voor DGA publicatie, 14-5-1991. - Met lit. opg.

- Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-5307-180-6

Trefw.: fluorescentieverlichting en gezondheid.

<b>INHOUD</b>	<b>blz</b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>5</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>6</b>
<b>1 INLEIDING</b>	<b>7</b>
<b>2 FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN FLUORESCENTIEVERLICHTING</b>	<b>8</b>
2.1 Lichtniveau en ruimtelijke verdeling	8
2.2 Spectrale verdeling	9
2.3 Lichtflikkeringen	11
<b>3 MOGELIJKE NADELIGE EFFECTEN VAN DE SPECTRALE VERDELING</b>	<b>14</b>
3.1 Directe invloeden op huid en ogen	14
3.2 Niet-specifieke invloeden via het oog	15
3.2.1 Waardering	16
3.2.2 Licht-stress	17
3.2.3 Overige invloeden	19
3.3 Visuele problemen	20
<b>4 MOGELIJKE NADELIGE EFFECTEN VAN DE LICHTFLIKKERINGEN</b>	<b>23</b>
4.1 Epileptische toevallen	23
4.2 Fysiologische reacties	24
4.3 Visuele prestatie en oogvermoeidheid	25
<b>5 CONCLUSIES</b>	<b>30</b>
<b>DANKWOORD</b>	<b>31</b>
<b>REFERENTIES</b>	<b>32</b>

# **Nadelige effecten van fluorescentieverlichting op gezondheid en welbevinden? Een literatuurstudie.**

P. Padmos

## **SAMENVATTING**

Naar aanleiding van berichten over nadelige effecten van fluorescentieverlichting op de gezondheid is een literatuurstudie uitgevoerd. Ten eerste werden de mogelijke effecten van de spectrale verdeling op o.a. huidkanker, lichtstress, algemene gezondheid, en oogvermoeidheid beschouwd. Vervolgens werd bezien of de lichtrimpel of -flikker veroorzaker kan zijn van o.a. hoofdpijn of oogvermoeidheid.

Geconcludeerd wordt dat er geen wetenschappelijke evidentie is voor noemenswaardig risico ten gevolge van de spectrale verdeling. Wel zijn er enige aanwijzingen dat de 100 Hz- of 50 Hz rimpel in fluorescentielicht het optreden van hoofdpijn en oogvermoeidheid kan bevorderen. Nader onderzoek hierover wordt aanbevolen.

# **Adverse effects of fluorescent lighting on health and well-being? A literature survey.**

**P. Padmos**

## **SUMMARY**

Because of reports on adverse health effects of fluorescent lighting a literature survey has been done. Firstly, the possible effects of the spectral distribution on a.o. skin cancer, light stress, general health and visual fatigue were looked at. Then it was considered whether the light ripple or flicker could cause a.o. headache or visual fatigue.

It was concluded that there is no scientific evidence for appreciable risk as a result of the spectral distribution. However, there are some indications that the 100 Hz or 50 Hz ripple in fluorescent lighting may enhance the incidence of headache and visual fatigue. Further research on the latter subject is recommended.

## 1 INLEIDING

Veel kantoorwerkers hebben klachten over hun gezondheid, zoals oogvermoeidheid, hoofdpijn, klachten over inwendige organen, lusteloosheid, en nervositeit. Het vermoeden bestaat dat een aantal van deze klachten heeft te maken met (fysische) omstandigheden die min of meer specifiek zijn voor kantoren, zoals droge lucht, tocht, toxische stoffen, laagfrequente mechanische trillingen, en verlichtingsomstandigheden. In dit verband wordt wel van het "Sick Building Syndrome" gesproken. Dit is echter een enigzins omstreden begrip, met name omdat verbanden tussen het optreden van klachten en de fysische omstandigheden op de werkplek in het algemeen niet sterk zijn. Het optreden van gezondheidsklachten wordt mede beïnvloed door de ervaren werkdruk en -sfeer, en door individuele eigenschappen (Pot e.a., 1986).

Veel (kantoor-) werkers verrichten hun taak gedurende een groot deel van de tijd bij (buisvormige) fluorescentieverlichting. Verschillende publicaties wijzen op de schadelijke invloeden die deze soort verlichting kan hebben op de gezondheid (zie onder andere Hermans, 1953; Hollwich e.a., 1977; de literatuur genoemd door Rey en Rey (1963); Tibbs, 1981; Wilkins e.a., 1988; en vele berichten in de pers). De schade die wordt genoemd loopt uiteen van klachten van voorbijgaande aard, zoals oogvermoeidheid en hoofdpijn, tot ernstiger problemen zoals epileptische aanvallen, stress en huidkanker. Het veelvuldig vóórkomen van gezondheidsklachten, waarvan een deel in verband zou kunnen staan met fluorescentie-verlichting, was voor het Directoraat Generaal van de Arbeid aanleiding het IZF opdracht te geven over dit onderwerp een literatuurstudie uit te voeren.

Bij het zoeken naar literatuur is gebruik gemaakt van een (nooit gepubliceerde) CIE-bibliografie over "Actinic effect of optical radiation", met ruim 10 000 referenties, vooral uit de jaren 1960 - 1978. Ook zijn, met hulp van het Centrum voor Informatie en Documentatie TNO, de grote internationale computerbestanden "Medline" (periode 1966 - 1987) en "Inspec" (periode 1969 - 1987) geraadpleegd. Hieruit zijn ca. veertig titels geselecteerd, die aangevuld zijn met ca. dertig uit verschillende andere bronnen verkregen referenties.

In dit rapport worden eerst de verschillen tussen fluorescentie-licht en daglicht of gloeilamplicht besproken. Daarna wordt achtereenvolgens ingegaan op de mogelijke invloeden van spectrale verdeling en lichtflikkeringen op gezondheid en welbevinden van de mens. Tenslotte worden conclusies getrokken over de gezondheidseffecten die gevoeglijk te verwaarlozen zijn, en die welke nadere aandacht behoeven.

## 2 FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN FLUORESCENTIEVERLICHTING

Als men het over de voor- of nadelen van fluorescentieverlichting heeft dan wordt meestal een vergelijking getrokken met de twee andere gangbare soorten verlichting: daglicht en gloeilamplicht. Omdat de mogelijke gezondheidseffecten van fluorescentieverlichting doorgaans in verband worden gebracht met de fysische eigenschappen, zal op deze plaats worden ingegaan op de verschillen in fysische eigenschappen tussen enerzijds fluorescentielicht en anderzijds gloeilamp- of daglicht. Achtereenvolgens komen ter sprake het lichtniveau en de ruimtelijke verdeling, de kleur en de spectrale verdeling, en de lichtflikkeringen of rimpel in het lichtniveau.

In het kort wordt hierbij ook reeds ingegaan op de visuele indruk die gepaard gaat met deze eigenschappen, maar meer gegevens daarover komen in de volgende hoofdstukken ter sprake.

### 2.1 Lichtniveau en ruimtelijke verdeling

Het gangbare lichtniveau dat met fluorescentieverlichting wordt gemaakt (200 - 800 lux) is hoger dan het gebruikelijke niveau van gloeilamplicht (300 lux of minder). Maar het is aanzienlijk lager dan de over het algemeen heersende daglichtniveaus buiten (3 - 70 klux). Hoe fluorescentielicht zich verhoudt tot daglicht dat in werkruimten toetreedt via vensters, is uiteraard sterk afhankelijk van o.a. de weersgesteldheid en zonnestand, de grootte en oriëntatie van de vensters en de afstand tot het venster.

De lichtverdeling van fluorescentielicht is vaak gelijkmatiger en minder gericht dan die van gloeilamplicht. Dit komt door de veel grotere ruimtelijke uitgestrektheid van fluorescentielampen en door de vaak hogere bevestiging. In moderne armaturen worden soms optische systemen toegepast om toch een zekere mate van gerichtheid van het fluorescentielicht te verkrijgen. Daglicht vertoont in het vrije veld een wisseling van zeer homogeen bij zwaar bewolkte lucht tot zeer gericht, met wisselende invalrichting, bij zon. In werkruimten worden meestal maatregelen getroffen tegen direct zonlicht; de vensters zorgen voor een zekere mate van gerichtheid van het daglicht.

Het lichtniveau is uiteraard van invloed op de zichtbaarheid van taken die mensen uitoefenen, hoewel deze invloed gering is bij de niveaus vanaf ca. 200 lux, die gebruikelijk zijn bij de meeste soort werkzaamheden (Van Bergem-Jansen en Padmos, 1989). In het algemeen zijn de verdeling van de invalrichtingen van het licht en de helderheid van de lichtbronnen, van veel grotere invloed op de zichtbaarheid, en daarmee op de visuele belasting. Dit komt door de hiermee gepaard gaande effecten van ongelijkmatigheid, schaduw, glans en



verblinding. Deze effecten komen natuurlijk tot stand in samenhang met allerlei taakeigenschappen (bv. detailgrootte, contrast, reflectie-eigenschappen).

Dat de ruimtelijke lichtverdeling ook sterk kan bijdragen aan de sfeerwerking die de verschillende lichtsoorten hebben, is algemeen bekend. Op deze sfeerwerking wordt teruggekomen in par. 3.2, waar de invloed van de kleur wordt behandeld.

Het behoeft geen betoog dat de visuele belasting en de sfeer die een verlichting teweegbrengt gezondheid en welbevinden kunnen beïnvloeden. Over de wijze waarop lichtniveau en -verdeling de visuele belasting en de sfeer beïnvloeden bestaat een grote kennis, die zijn weerslag vindt in vele handboeken en aanbevelingen over verlichting (Handbuch für Beleuchtung, 1975; NSVV, 1981). Of de gekozen criteria voor lichtniveau en -verdeling worden gerealiseerd door fluorescentielicht of door een andere lichtsoort is daarbij van ondergeschikt belang. Daarom wordt in dit rapport niet verder ingegaan op dit soort invloeden en de daarmee samenhangende criteria, hoewel ze op zichzelf genomen van niet te onderschatten belang zijn.

## 2.2 Spectrale verdeling

De spectrale verdeling van licht, dat wil zeggen de verdeling van de uitgezonden (relatieve) energie over de golflengten van het elektromagnetisch spectrum, is in het zichtbare deel van dat spectrum bepalend voor de waargenomen kleur van het licht en voor de kleurweergave-eigenschappen. De begrippen lichtkleur en kleurweergave worden hierna nader toegelicht. Verder is het nabije ultraviolet (UV) nog van belang in verband met mogelijke effecten op de huid. Het infrarode deel van het spectrum en de warmtestraling komen niet aan bod in dit rapport, omdat deze niet in verband worden gebracht met gezondheidseffecten van fluorescentielicht.

Dat de spectrale verdeling van fluorescentielicht aanzienlijk verschilt van die van daglicht en gloeilamplicht, blijkt uit Fig. 1.

Het meest opvallende verschil vormen de spectrale lijnen van het fluorescentielicht, die worden veroorzaakt door de kwik-ontlading. In feite bestaan deze lijnen uit zeer nauwe golflengte-gebiedjes, en daarom heeft de afgebeelde hoogte slechts betekenis in samenhang met de breedte van het golflengte-interval waarover steeds de straling is gemiddeld: de energie per lijn is hoogte maal breedte. Dit wordt nogal eens over het hoofd gezien in beschouwingen over mogelijk schadelijke werking van deze stralingspieken!

Verder is ook de vorm van de spectrale verdeling van het fluorescentielicht, afgezien van de kwiklijnen, meer gepiekt dan die van de andere twee lichtsoorten. Dit komt door de toegepaste fluorescentiepoeders, waarvan de spectrale

eigenschappen zo zijn gekozen dat een optimale combinatie wordt verkregen van lichtopbrengst, kleur en kleurweergave. De afgebeelde spectrale verdeling is van een "driebanden-lamp"; de oudere typen hebben fluorescentiepoeders met minder uitgesproken spectrale pieken.

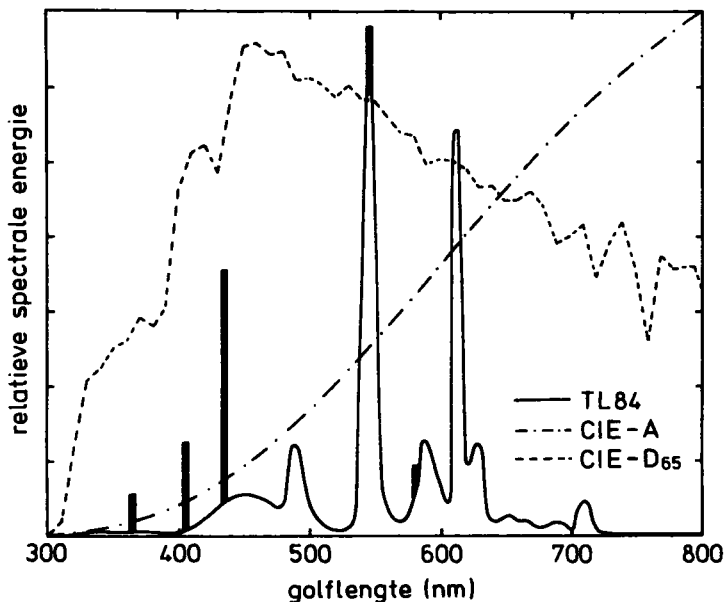


Fig. 1. De relatieve spectrale energieverdelingen van representatieve soorten fluorescentielicht (Philips, kleur 84), gloeilamplicht (CIE standaard lichtsoort A) en daglicht (CIE standaard lichtsoort D<sub>65</sub>). De kwiklijnen worden voorgesteld door zwarte balken, waarvan het oppervlak evenredig is met de energie.

Men bedenke echter dat de in Fig. 1 afgebeelde relatieve spectrale energieverdelingen geen beeld geven van de werkelijke energieën. Zeker in het vrije veld, maar ook in werkruimten in de buurt van vensters, is het verlichtingsniveau, en daarmee ook de absolute spectrale energie, van daglicht vele malen hoger dan die van fluorescentie- en gloeilamplicht (zie ook par. 2.1).

Voor het waarnemen zijn de lichtkleur (de kleur van het uitgezonden licht zelf) en de kleurweergave (de mate waarin kleuren van objecten natuurgetrouw worden weergegeven) van de lichtbron van belang. Lichtkleur en kleurweergave hangen samen met de spectrale verdeling. Verschillende lichtkleuren komen tot stand door verschillende spectrale verdelingen. Maar, anderzijds, kan één en dezelfde lichtkleur worden teweeg gebracht door vele verschillende spectrale verdelingen (metamerisme), die dan echter wel verschillende kleurweergeve-eigenschappen kunnen hebben. Op zichzelf is de lichtkleur van een soort verlichting van minder belang omdat het oog zich hieraan aanpast: een wit vel papier blijft er wit uitzien, of het nu bij gloeilamplicht of bij daglicht wordt

bekeken, terwijl beide lichtkleuren heel duidelijk verschillen. Wel wordt de lichtkleur van belang als men verschillende lichtsoorten tegelijkertijd of kort na elkaar ziet. Het "valse" licht dat in een vertrek kan ontstaan als een gloeilamp wordt aangestoken bij avondschemering is hiervan een voorbeeld. Het voert te ver om op deze zaken dieper in te gaan; voor meer informatie zij verwezen naar het leerboek van Ouweltjes (1978). Op de waardering van de verschillende lichtkleuren wordt teruggekomen in par. 3.2.

Voor verschillende toepassingen zijn verschillende kleurtypen van fluorescentielampen in omloop (Philips, 1977), waarvan de kleur varieert van "warm wit" (meer langgolvig, gelig licht; lijkt op gloeilamplicht), via "fris wit" (neutraal; de afgebeelde kleur 84 is uit deze categorie, die bij kantoorverlichting veel wordt toegepast) tot "koel wit" (meer kortgolvig, blauwig licht; de kleur lijkt op daglicht van de noordelijke hemel). Vergeleken met gloeilamplicht bevat fluorescentielicht in het algemeen meer straling uit het nabij-UV en het blauw, en minder rode en infra-rode straling. Vergeleken bij daglicht bevat fluorescentielicht zowel minder (nabij-) UV als minder (infra)rood.

Hoewel de kleurweergave van sommige vroeger veel toegepaste typen fluorescentielampen nog wel eens te wensen overliet, waardoor bijvoorbeeld de huid een blauwig, of koffie een groenig, uiterlijk kregen, is de kleurweergave van de tegenwoordig gangbare fluorescentielampen heel redelijk te noemen (Philips, 1977).

### 2.3 Lichtflikkeringen

Fluorescentielampen zowel als gloeilampen worden in het algemeen gevoed vanuit het elektrisch net, met een 50 Hz wisselspanning. Als gevolg hiervan gaat het lichtniveau van beide lichtsoorten op en neer, waarbij de belangrijkste frequentiecomponent 100 Hz is. Maar bij fluorescentielicht is deze "rimpel" groter dan bij gloeilamplicht. Tabel I geeft een overzicht van de verschillende groottes van de lichtrimpel, uitgedrukt in "% modulatie diepte", M. Deze is gedefinieerd als:

$$M = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min}) \times 100 \%,$$

waarbij  $L_{\max}$  en  $L_{\min}$  achtereenvolgens het maximum en het minimum lichtniveau zijn, gerekend over één 50 Hz periode.

De verschillende waarden van M bij fluorescentielicht worden bepaald door de nalichttijden van de gebruikte fluorescentiepoeders. De blauwe poeders hebben een aanzienlijk kortere nalichttijd dan de groene en rode. Ook zijn er aanzienlijke verschillen per merk. De verschillende nalichttijden van de fluorescentiepoeders hebben ook tot gevolg dat er een wisseling van de lichtkleur optreedt

met 100 Hz frequentie. Maar voor kleur-flikker is het oog zeer ongevoelig, zodat deze verder buiten beschouwing blijft.

Tabel I. Modulatiediepte van de lichtrimpel, naar gegevens van Brundrett (1974), Eysel en Burandt (1984), Hermans (1953), IES (1972), Philips (1977) en Sturm (1974). Fluorescentielampen worden aangeduid met "flu".

lichtbron	modulatiediepte (%)
gloeilamp (220 V)	5 - 20 (kleine M bij groot vermogen)
flu-enkel <sup>1</sup> warm wit	14 - 27
fris wit	17 - 44
koel wit	23 - 58
anders	53 - 73 (kleur niet gespecificeerd)
flu-duo <sup>1</sup>	ca. de helft van enkel
flu-3-fase <sup>1</sup>	0,5 - 1 (bij 300 Hz is M ca. 7 %)

De rimpel van fluorescentielicht bevat ook een component van 50 Hz. Volgens Brundrett (1974) hangt de modulatiediepte hiervan samen met de brandtijd (totaal aantal uren gebrand) van de lamp. Bij een steekproef van ruim 600 lampen vond hij dat, bij lampen met een brandtijd van minder dan 8500 uur, 75 % een 50 Hz modulatiediepte had van minder dan 1 %, terwijl 5 % van de lampen een 50 Hz modulatiediepte van meer dan 3 % vertoonde. In de brandtijdgroep 8500 - 16 500 uur had nog maar 43 % van de lampen een 50 Hz rimpel < 1 %, en 20 % een 50 Hz rimpel > 3 %. Binnie e.a. (1979) rapporteren dat 3 van de 64 onderzochte lampen van hun Instituut een 50 Hz rimpel hadden van 20 - 30 %. Volgens Brundrett (1974) gaven de uiteinden van oudere typen fluorescentielampen soms een niet te verwaarlozen 50 Hz rimpel. Bij de modernere lampen is deze sterk verminderd, door het toepassen van een ringvormig scherm bij de gloeidraad. Ook worden vaak armaturen met meerdere lampen toegepast, waarin de lampen elkaars rimpel verzwakken.

---

<sup>1</sup> toelichting: Met flu-enkel wordt bedoeld een afzonderlijke fluorescentielamp, met de gebruikelijke inductieve ballast. Met flu-duo wordt bedoeld een, zeer gebruikelijke, combinatie van twee fluorescentielampen, waarbij er door de ballast-schakeling voor wordt gezorgd dat de rimpel van de ene lamp 180° voorloopt op die van de andere, waardoor beide rimpels elkaar gedeeltelijk opheffen. Bij flu-3-fase brandt steeds een combinatie van drie lampen, waarbij de rimpels van deze drie onderling 120° in fase verschillen. Zie bv. IES (1972) en Philips (1977).

Uit een en ander wordt duidelijk dat bij goed gebruikte en goed onderhouden fluorescentieverlichting de 50 Hz rimpel klein is. Maar natuurlijk is dat niet altijd het geval, met name wanneer de strategie wordt gevolgd om lampen pas te verwisselen als ze hinderlijk flikkeren (of knipperen, wat ook door defecte starters kan worden veroorzaakt). In dit geval is de hinder eerder te wijten aan verkeerd onderhoud dan aan het fluorescentielicht als zodanig.

Rimpels van 100 Hz in het licht zijn voor de mens niet of nauwelijks waarneembaar, zelfs niet bij 100% modulatie diepte (Brundrett, 1974; Van der Zee en Van der Meulen, 1982).

Rimpels van 50 Hz kunnen daarentegen worden waargenomen, vooral vanuit de ooghoeken, of indien grote oppervlakken van hoge luminantie worden waargenomen. Brundrett (1974) mat de minimum modulatie diepte waarbij de rimpel nog net kan worden waargenomen, voor een met 50 Hz flinkerend vlak, dat een visuele hoek van 45° beslaat, en een luminantie van 375 cd/m<sup>2</sup>. Deze bedraagt voor jongeren (ca. 17 jr) gemiddeld 7,5 %, standaarddeviatie 3 %; voor ouderen (52 ± 10 jr) is de net waarneembare 50 Hz modulatie diepte onder deze omstandigheden gemiddeld 10,7 %, standaarddeviatie 3 %. Velden groter dan 45° leiden tot minimum waarneembare modulatie diepten van ca. 3 %.

De net waarneembare 50 Hz modulatie diepten gemeten door Rinzeema en Van Vliet (1988) behoren tot de laagste in de literatuur. Zij meten in een voor de waarneming van lichtflikkeringen kritische situatie (verlichting met luminanties van het hele bureaublad tot 120 cd/m<sup>2</sup>), dat een modulatie diepte van 3 % reeds wordt waargenomen door de helft van de 55 proefpersonen (leeftijd 19 - 59 jr). Bij rechtstreeks in de lamp kijken was de flikkergevoeligheid minder.

Maar de grens van "net oncomfortabel" is volgens door Brundrett (1974) aangehaalde data van Collins vele malen hoger; slechts 2 % van de onderzochte populatie vindt 3 % modulatie diepte van 50 Hz "net oncomfortabel".

Op grond van bovenstaande gegevens kan worden geconcludeerd dat in de praktijk, bij een goede onderhoudstoestand van de verlichtingsinstallatie (max. 8500 branduur), het aantal mensen dat een rimpel van 50 Hz in de installatie kan waarnemen niet groter zal zijn dan 5 %, en dat nog veel minder mensen deze flikker oncomfortabel zullen vinden. De 100 Hz rimpel wordt door niemand waargenomen.

### 3 MOGELIJKE NADELIGE EFFECTEN VAN DE SPECTRALE VERDELING

Nadelige invloeden die te maken zouden kunnen hebben met de spectrale verdeling van fluorescentielampen kunnen worden verdeeld in drie groepen, die in de volgende paragrafen achtereenvolgens worden behandeld: directe invloeden van bestraling van huid en ogen; niet specifieke invloeden op gezondheid en welbevinden die via de visuele waarneming tot stand komen; het bevorderen van oogvermoeidheid door problemen met de visuele waarneming.

#### 3.1 Directe invloeden op huid en ogen

Onder directe invloeden worden de directe gevolgen van de fysische en/of chemische werking van de opvallende straling verstaan, die zich veelal ook manifesteren op de plaats van inwerking. De directe invloeden zullen maar kort worden behandeld, vooral omdat in enkele degelijk aandoende literatuur-overzichten de conclusie wordt getrokken dat de hiermee verbonden risico's van fluorescentielicht vrijwel te verwaarlozen zijn, zeker vergeleken bij de risico's die worden gelopen bij relatief korte blootstelling aan zonlicht (Van der Drift en Bogaerts, 1979; CIE, 1988).

Fluorescentielampen zenden elektromagnetische straling uit met golflengten in en nabij het zichtbare gebied (300 - 800 nm, zie par. 2.2, Fig. 1). De schadelijke effecten aan het oog die kunnen optreden bij blootstelling aan hoge doses van deze straling zijn onder meer: ontsteking van hoornvlies en bindvlies (fotokeratitis en -conjunctivitis), lenstroebelings of staar (cataract), en foto-chemische schade aan het netvlies. Schadelijke huideffecten zijn onder meer zonnebrand (erythema solare) en huidkanker (maligne melanoom) (Gezondheidsraad, 1978, 1986). Zowel in huid als oog kan bij zeer hoge bestralingssterkten ook verbranding optreden.

De meeste van deze effecten kunnen zonder meer uitgesloten worden voor fluorescentielicht, omdat de ontvangen doses van deze straling ver beneden de door de Gezondheidsraad (1978, 1986) vastgestelde veiligheidsnorm ligt. Bovendien is de bestralingssterkte in daglicht, en in het bijzonder in direct zonlicht, in het meest schadelijke gebied van 300 - 400 nm (UV-A en UV-B) zo'n 500 - 5000 maal groter dan in fluorescentielicht (Van der Drift en Bogaerts, 1979). Desondanks wordt hier kort ingegaan op twee mogelijke effecten, omdat hierover zeer recent enkele publicaties verschenen waarin enige nuances worden gezet bij de volledige afwezigheid van risico.

Het eerste effect dat mogelijk enig risico heeft, is de fotochemische schade aan het netvlies. Deze kan ontstaan bij het langdurig kijken naar oppervlakken van grote helderheid (bv. door de zon beschenen strand). Vos (1987) geeft een

grafiek met het verband tussen de blootstellingsduur bij juist waarneembare netvliesschade als functie van de luminantie (helderheid) van het object waarnaar gekeken wordt. Deze is gebaseerd op het recente (literatuur-) onderzoek van Kremers en Van Norren (1988). Hieruit kan worden geconcludeerd dat men bij een uur lang rechtstreeks kijken naar een fluorescentielamp (luminantie 10 - 15 kcd/m<sup>2</sup>; bij de oudere typen 4 - 7 kcd/m<sup>2</sup>) in de gevarenzone komt. In (veel) sterkere mate geldt dit trouwens voor het kijken naar een gloeilamp (luminantie 30 - 7000 kcd/m<sup>2</sup>). Bij de gebruikelijke verlichtingssterkten tot 1000 lux, en de daarmee gepaard gaande luminanties van het papier van maximaal 300 cd/m<sup>2</sup>, loopt het netvlies echter geen gevaar. Dit bevestigt de conclusies van Van der Drift en Bogaerts (1979).

Weliswaar moet hierbij worden aangetekend dat een deel van de literatuur waarop de schadegrenzen van Kremers en Van Norren zijn gebaseerd proeven met ratten betreffen, waarvan de relevantie voor de mens nog niet geheel duidelijk is.

Het tweede nader te noemen effect is dat van huidkanker. Beral e.a. (1982) vonden op grond van hun onderzoek een statistisch significante relatie tussen het optreden van huidkanker bij vrouwelijke kantoorwerkers in Australië en de duur van het beroepsmatig blootgesteld zijn aan fluorescentieverlichting. Dit gaf een grote opschudding, niet alleen in de pers maar ook in de wetenschappelijke wereld. Vijf andere studies zijn sindsdien uitgevoerd teneinde deze relatie te verifiëren. Een uitvoerige bespreking van deze studies is onlangs gepubliceerd door een Technische Commissie van de CIE (1988). Hoewel geen van de follow-up studies een vergelijkbaar effect als dat van Beral e.a. vonden, concludeerde de CIE dat een risico niet volledig kon worden uitgesloten. En, met de vereenvoudigende aanname dat het risico evenredig is met de totale blootstelling aan nabij-UV, werd ook geconcludeerd dat het risico, bij een volledige dagtaak onder 500 lux fluorescentieverlichting, 5 % is van het risico dat ontstaat als gevolg van de gemiddelde jaarlijkse blootstelling aan zonlicht van mensen met bezigheden binnenshuis. Dit is weliswaar een vrijwel te verwaarlozen risico, maar toch wordt gepleit om de UV-straling van lampen niet te laten toenemen boven het huidige lage niveau.

Een argument hiervoor is ook de dermatologische studie van Harber e.a. (1985) waarin wordt geconcludeerd dat fluorescentieverlichting in het algemeen veilig is, maar dat de lage dosis UV-A bij sommige overgevoelige personen toch een verhoogd risico van allergische huidreacties (dermatitis en urticaria solaris) geeft.

### **3.2 Niet-specifieke invloeden via het oog**

Met niet-specifieke invloeden via het oog wordt bedoeld de invloeden die via het oog werken op algemene gezondheid en welbevinden. Dit in tegenstelling tot de in de volgende paragraaf te behandelen visuele vermoeidheid en hoofdpijn, die

kunnen ontstaan door problemen met het zien. Eerst zal worden besproken de waardering van fluorescentieverlichting ten opzichte van gloeilamplicht of daglicht.

### 3.2.1 *Waardering*

Het verschil in waardering van kunstlicht (dit zal overwegend fluorescentielicht zijn geweest), ten opzichte van daglicht, is voor kantoorwerkers onderzocht door Cuttle (1983). Hij vond hierbij dat slechts 2 % van de ondervraagden een voorkeur had voor kunstlicht, 86 % een voorkeur had voor daglicht; 12 % had geen voorkeur. Degenen die een voorkeur voor daglicht hadden werd een lijst met vijf voorgedrukte redenen voorgelegd. Daarvan moesten zij eerst de redenen schrappen die zij als ongeldig beschouwden, waarna zij de rangorde moesten aangeven waarin ze de uitspraken toepasselijk vonden. De redenen, (met gemiddeld rangnr.), waren: daglicht geeft minder oogvermoeidheid of hoofdpijn dan kunstlicht (3,4); daglicht is meer comfortabel en ontspannen dan kunstlicht (2,8); daglicht geeft minder achteruitgang van de ogen dan kunstlicht (2,4); daglicht is gezonder dan kunstlicht (1,8); bij daglicht kun je beter werken (0,9). Het "percentage ongeldig" leverde vrijwel hetzelfde beeld: daglicht is niet alleen comfortabeler dan kunstlicht; het is ook minder schadelijk voor de ogen en de algemene gezondheid.

Gezien het interpretatieve karakter van de aangegeven redenen, is het zeer wel mogelijk dat de betrokkenen hun mening meer op horen zeggen baseerden dan op eigen observaties. Maar, zelfs als de meeste uitspraken gebaseerd zijn op suggestie, dan kan deze suggestie wel degelijk het welbevinden, en op langere termijn ook de gezondheid, bij het werken bij fluorescentielicht ongunstig beïnvloeden.

Het lijkt aanbevelenswaardig om na te gaan waar deze houding vandaan komt. Krochmann (1971) suggereert dat de positieve waardering van daglicht gekoppeld is aan het vóórkomen van vensters. Deze gaan het "bunker-gevoel" tegen, geven contact met de buitenwereld, en versterken bij voldoende grootte een gevoel van in de buitenlucht te verkeren. Daglicht, en speciaal ook zonlicht, geven bij velen ongetwijfeld ook associaties aan vrije tijd en vakantie (Hartmann, 1983). Daarnaast zou ook het wisselende karakter van het verlichtingsniveau en de kleur van daglicht een stimulerende invloed hebben.

Wegens hun relatief grote lichtopbrengst werd enkele decennia geleden vaak gekozen voor fluorescentielampen waarvan de kleur niet erg "natuurlijk" en de kleurweergave matig was; noch gloeilamplicht noch daglicht werd in dezen geëvenaard. Het is daarom niet zeker of de oudere publicaties over de waardering van de kleur van fluorescentielicht ook nu, met de verbeterde kleuren en desondanks nog grotere lichtopbrengst, nog helemaal gelden. Hermans (1953) noemt het deprimerende aspect van de "daglicht"-fluorescentie kleuren. In het overzicht van La Toison (1972), wordt gemeld dat de koelere fluorescentiekleu-



ren in Europa minder worden gewaardeerd naarmate men in noordelijker streken woont. Ook blijken daglichtkleuren in onze streken slechts bij zeer hoge verlichtingsniveaus (>3000 lux) aangenaam wordt gevonden.

Gloeilamplicht wordt veel gebruikt in het privé- en uitgaansleven. Hierdoor kan ook deze lichtsoort tot positievere associaties leiden dan fluorescentielicht (Hartmann, 1983). Uit beoordelingsproeven met schaalmodellen van Bennet e.a. (1985) bleek echter dat, als proefpersonen niet verteld werd of zij fluorescentie ("koel wit")- of gloeilamplicht zagen, en ook de vorm van de armaturen onafhankelijk van de lichtsoort werd gevarieerd, er geen verschil in waardering tussen deze lichtsoorten was. De auteurs verzuimden echter te vermelden wat de kleurtemperatuur en de kleurweergave-index van het fluorescentielicht waren.

### 3.2.2 *Licht-stress*

In het eind van het vorig decennium veroorzaakten Hollwich e.a. (1977; zie ook Hollwich en Dieckhuess, 1980) veel opschudding met hun publicaties over de stress-veroorzakende werking van fluorescentieverlichting. Zij hadden een proef uitgevoerd waarbij zij 18 proefpersonen gedurende 14 dagen in een proefstation blootstelden aan uitsluitend fluorescentieverlichting. Dagelijks werd er 10 uur onder het ongebruikelijk hoge niveau van 3500 lux gewerkt; in de overige vertrekken was 1000 lux voorhanden. Voor en na deze periode werden hormoonspiegels (ACTH, cortisol, testosteron) in het bloed gemeten. Daarna volgde een periode van 14 dagen waarin de proefpersonen zich ophielden onder "normale" daglichtcondities (de auteurs specificeerden niet wat deze condities precies inhielden). Na deze periode werden weer de hormoonspiegels gemeten. Uit het feit dat de hormoonspiegels en met name die van het cortisol, na de 14-daagse blootstelling aan fluorescentielicht significant hoger waren dan daarvoor en na de daglichtperiode, concludeerden de auteurs dat het fluorescentielicht "licht-stress" bij hun proefpersonen veroorzaakte. Deze licht-stress zou ontstaan via het zogenoemde "energetische deel" van de visuele baan in het oog-hersensysteem, te onderscheiden van de "optische baan" die tot visuele waarneming leidt. Dit energetische deel van de baan leidt naar de hypothalamus (een hersenkern van waaruit allerlei biologische regelmechanismen worden gestuurd).

Als mogelijke oorzaken van dit effect noemen Hollwich e.a. (1977) de verschillen tussen het "kunstmatige" fluorescentielicht en het "natuurlijke" daglicht (zie ook Hoofdstuk 2), waarbij de nadruk ligt op de gepiekte spectrale samenstelling van fluorescentielicht. In een later artikel publiceren Hollwich en Dieckhuess (1980) gegevens uit een vervolg-experiment, waarin werd getoond dat een 14 dagen durend verblijf onder een speciale fluorescentieverlichting, die meer kortgolvlige en langgolvlige straling geeft dat de eerder gebruikte koel-witte lampen, geen significante verandering van de ACTH- en cortisol-spiegels gaf. De zeer gebrekkige wijze van rapporteren van dit controle-experiment maakt echter dat dit niet serieus kan worden genomen.

Overigens noemt Hollwich (1976) in een eerdere publicatie juist het te veel aan kortgolvig (blauw) licht en te weinig aan langgolvig (rood) licht, vergeleken bij gloeilamplicht én daglicht (!), als bijdragen aan de problemen met fluorescentielicht.

Erikson en Küller (1983) rapporteerden eveneens over de effecten op de hormoonspiegels (cortisol en melatonine) van "gewoon" fluorescentielicht en een fluorescentie-lichtsoort die meer de spectrale verdeling van het natuurlijk daglicht zou imiteren (vermoedelijk gaat het hier om de lampen die als "Vita-Lite" en "True-Lite" in de handel zijn). Zij vonden geen duidelijke hoofdeffecten, wel allerlei merkwaardige interacties waarvoor geen verklaring is. Wel was er meer optreden van oogvermoeidheid en een lagere score op sommige psychologische stemmingsschalen bij het gewone fluorescentielicht. De vergelijking was echter gedaan tussen twee kantoren, waardoor natuurlijk allerlei andere factoren een rol gespeeld kunnen hebben. Ook bleef specificatie van kleur en kleurweergave van de onderzochte lichtsoorten achterwege. Daarom zijn de in deze publikatie genoemde negatieve effecten van het "gewone" fluorescentielicht niet betrouwbaar.

Als reactie op bovengenoemde artikelen van Hollwich en Dieckhuess, publiceerde het Duitse Lichttechnische Gesellschaft een stellingname over de werking van fluorescentieverlichting (Hartmann en Müller-Limmroth, 1981). Zie ook Hartmann (1983). De belangrijkste constatering hieruit is dat alle informatie van licht die via het oog naar de hersenen gaat, ook de niet-visuele informatie die rechtstreeks het vegetatieve zenuwstelsel en de hormoonhuishouding beïnvloedt, via de absorptie van licht door de receptoren in het netvlies tot stand komt. En uit het receptorsignaal is geen eenduidige informatie over de spectrale samenstelling te halen, alleen nog over de lichtkleur en de kleurweergave (zie ook par 2.2). Dus kunnen van fluorescentielicht en gloeilamplicht of daglicht, als kleur, kleurweergave en lichtniveau gelijk zijn, geen verschillende effecten via het oog tot stand komen. Componenten uit het nabij-UV en infra-rood worden niet door de receptoren geabsorbeerd, zijn dus onzichtbaar, en zijn dus ook niet van belang voor de vegetatieve, hormonale of psychische functies van licht. Eenzelfde redenering komt men tegen bij Corth en Hoffman (1973).

Met de vraag hoe bij Hollwich e.a. dan stress kon worden gemeten bij blootstelling aan fluorescentielicht, rekenen Hartmann en Müller-Limmroth (1981) en Hartmann (1983) krachtig af. Ten eerste wordt stress veroorzaakt door een veelheid van factoren, waardoor het uiterst moeilijk is om de werking van één van deze factoren (stressoren) te isoleren. Het verloop van het gehalte aan cortisol en de andere hormonen zou heel wel kunnen zijn veroorzaakt door het verminderde humeur van de proefpersonen, tengevolge van het 14 dagen zonder vensters opgesloten zijn, of door mogelijke verblinding die vrijwel onvermijdelijk is bij het realiseren van de buitengewoon hoge kunstlichtniveaus. Ten tweede bleken de beschreven veranderingen van de hormoonspiegels, ook al waren ze significant, geheel binnen het als normaal te beschouwen gebied te liggen. Ook

Van der Drift en Bogaerts (1979) argumenteren dat de gehaltenes ACTH en cortisol in de proeven van Hollwich e.a. niet duiden op de aanwezigheid van stress. Overigens vestigt Hartmann (1983) er de aandacht op dat een zekere mate van stress, de zogenoemde eustress, nodig is om prestaties te leveren. Licht, of het nu daglicht of kunstlicht is, kan dit optreden van eustress bevorderen. Problemen komen er pas bij een overmaat aan stress, de zogenoemde distress (zie ook Gaillard, 1988).

### 3.2.3 Overige invloeden

Ook in de Verenigde Staten is in de zeventiger jaren beroering ontstaan over de mogelijke nadelige invloeden van de spectrale verdeling van fluorescentielicht op de gezondheid. Het boek van Tibbs (1981) geeft hiervan een overzicht. Ook in deze publicatie wordt uitvoerig ingegaan op de niet-visuele werking van licht op de hersenen, die via het oog tot stand komt. Tibbs (1981) vestigt de aandacht op een oudere publikatie (Becher, 1955) waarin het bestaan wordt gemeld van lichtreceptoren in het netvlies die zouden zijn gespecialiseerd in niet-visuele signalen. In de moderne, gezaghebbende literatuur over het netvlies (bv. Dowling, 1987) is deze gedachte echter niet terug te vinden. Vooral het gemis aan nabij-UV in fluorescentielicht, maar ook het gepiekte karakter van de spectrale verdeling, zouden belangrijk zijn. De heilzame invloeden van lage intensiteiten van nabij-UV, zouden vooral tot hun recht komen wanneer dit is ingebed in een sterkere bron van wit licht, zoals dat bij daglicht het geval is. Veel van deze gedachten zijn gebaseerd op de publicaties van John Ott (o.a. Ott, 1974), waarin ook nog wordt gewaarschuwd voor de röntgenstraling die afkomstig zou zijn van de uiteinden van fluorescentiebuizen! Deze laatstgenoemde auteur heeft ook sterk het gebruik gepropageerd van UV-doorlatende zonnebrillen en een met nabij-UV verrijkte soort fluorescentielamp, die in de handel is onder de namen True-Lite en Vita-Lite.

Veel van de gerefereerde studies, waarop bovengenoemde uitspraken zijn gebaseerd, zijn niet gepubliceerd in gerefereerde tijdschriften, of gingen over effecten op dieren of planten. Bij het testen van de effecten van licht van verschillende spectrale verdelingen moet men rekening houden met de spectrale gevoeligheden van te onderzoeken systeem. Deze kunnen bij dieren, en zeker bij planten, sterk afwijken van die van de mens. In de publicaties van Ott wordt hierover met geen woord gerept, maar Corth en Hoffman (1973) geven een treffende illustratie van de misvattingen die kunnen ontstaan door verwaarlozing van dit aspect.

Van de gezondheid-bevorderende effecten van UV, is de productie van vitamine D3 in de huid goed gedocumenteerd (Gezondheidsraad, 1986). Een tekort aan vitamine D geeft problemen bij de botvorming bij kinderen (rachitis, of Engelse ziekte) en, wellicht, ontkalking van het bot bij ouderen (osteoporose). Maar andere positieve effecten van UV straling op de gezondheid zijn niet goed wetenschappelijk vastgesteld. Er kan verwacht worden dat een deel van de gunstige gezondheidseffecten van UV, die in publicaties van de afgelopen 50 jaar

zijn gemeld, hebben te maken met de vitamine D productie. Uit de publicatie van de Gezondheidsraad (1986) is af te leiden dat in Nederland de blootstelling aan UV afkomstig van daglicht zodanig is dat, ook bij binnenshuis werkenden, de vitamine D productie in het algemeen voldoende is.

Met betrekking tot de gezondheidsinvloeden van de spectrale verdeling die via het oog tot stand zouden komen, wordt herhaald wat naar aanleiding van de stress-effecten van fluorescentielicht is uiteengezet: afgezien van mogelijke verschillen in waardering met betrekking tot kleur en kleurweergave (zie par. 3.2.1) is er geen effect van de spectrale verdeling. Voor wat betreft de invloed van nabij-UV is hiertegen nog als extra argument aan te voeren dat de ooglenzen deze straling sterk verzwakt; Weale (1988) mat een verzwakkingsfactor 30 voor een 30-jarige, die opklimt met de leeftijd; volgens Van Norren en Vos (1974) is de verzwakkingsfactor groter dan 100. Dit maakt de beweerde heilzame werking van de "Vita-Lite" fluorescentielampen, met toegevoegd UV ten opzichte van de gebruikelijke fluorescentielampen, uiterst onwaarschijnlijk.

Twee oudere experimenten over de effecten van deze lampen, één over het verminderen van vermoeidheid (Maas e.a., 1974), en één over het bestrijden van hyperactiviteit van kinderen (Mayron e.a., 1974), zijn daarom ook niet overtuigend, mede omdat zij onvolledig zijn gerapporteerd en ernstige methodologische tekortkomingen hebben. De laatstgenoemde bevinding kon ook niet worden gereproduceerd in een beter gecontroleerd experiment (O'Leary e.a., 1978a en 1978b; zie ook Mayron, 1978, voor repliek).

Ook een recenter overzichtsverhaal over de heilzame werking van natuurlijk licht en de Vita-Lite (Hughes, 1983<sup>2</sup>) heeft geen overtuigingskracht. De experimenten, over vergelijking van de effecten van gewoon fluorescentielicht en Vita-Lite op subjectieve waardering, kantoorwerk, en sportbeoefening, zijn zeer summier beschreven (bv. zijn kleur en kleurweergave van het gewone fluorescentielicht niet gespecificeerd); er wordt niet verwezen naar artikelen in gerefereerde tijdschriften.

### 3.3 Visuele problemen

In verschillende publicaties wordt ingegaan op de problemen met het zien, die zouden kunnen ontstaan door de spectrale samenstelling van fluorescentieverlichting. Deze visuele problemen zouden dan leiden tot hoofdpijn en visuele vermoeidheid, dwz. klachten als: onscherp of wazig of dubbel zien, een vermoeid of gespannen gevoel in of achter de ogen, prikkende, jeukende of "droge" ogen, rode of tranende ogen. Weliswaar is in de vorige paragraaf reeds uitgelegd dat

---

<sup>2</sup> Hughes is directeur bij de firma Duro-Test in North Bergen, New Jersey, die de Vita-Lite en de True-lite lampen produceert.

bij eenzelfde kleur er geen effect van de spectrale samenstelling kan zijn op het waarnemen, maar hierbij moet een kleine nuance worden aangebracht. Omdat de breking van de oogmedia (hoornvlies en ooglens) golflengte-afhankelijk is (chromatische aberratie), vestigen verschillende auteurs er de aandacht op dat de gepiekte spectrale verdeling van fluorescentieverlichting aanleiding zou kunnen geven tot problemen met de accommodatie (het scherpstel-mechanisme van het oog) (Hermans, 1953; Hartmann, 1983). Dat hiervoor toch geen concrete aanknopingspunten zijn, wordt in het volgende uiteengezet.

Over het golflengtegebied van 430 - 610 nm, waarbinnen zich de voor het zien belangrijkste pieken in de spectrale verdeling van fluorescentielicht bevinden, bedraagt het verschil in breking van de oogmedia het equivalent van ongeveer 1,5 dioptrie<sup>3</sup> (Van Meeteren, 1974; Campbell en Durden, 1983). Dit betekent dat als men een voorwerp op, zeg, 50 cm bekijkt, men bij rood licht een 1,5 dioptrie grotere accommodatie-inspanning moet plegen dan bij blauw licht om het voorwerp scherp te zien. Het fluorescentielicht, vooral van de moderne driebanden lampen, kan men beschouwen als een mengsel van drie lichtsoorten die ieder bij benadering monochromatisch (van één golflengte) zijn. Verschillende auteurs veronderstellen dat het accommodatie-mechanisme zou kunnen gaan oscilleren tussen de instellingen die bij de drie pieken horen, wat tot visuele vermoeidheid aanleiding kan geven (o.a. Hermans, 1953).

Over onderzoek naar het optreden van accommodatie-fluctuaties bij fluorescentielicht is geen publicatie gevonden, met uitzondering van Hartmann (1983), die slechts meldt dat hij in zijn proeven geen aanknopingspunt heeft gevonden voor vergrote accommodatie-fluctuaties onder fluorescentielicht (ook zonder fluorescentielicht treden accommodatie-fluctuaties op). Hartmann bevestigde mij dit in een in 1988 geschreven brief. Campbell en Durden (1983) vonden geen accommodatie-fluctuaties wanneer objecten werden bekeken die ieder met een verschillende kleur werden belicht. Zij verklaren dit door de volgende feiten: de accommodatie stelt zich in op een punt dat midden tussen de twee uitersten ligt, en de scherptediepte van het oog overbrugt de resterende brekingsverschillen.

De hierboven beschreven chromatische aberratie heeft ook tot gevolg dat contouren van verschillende golflengten iets zijwaarts op het netvlies zijn verschoven. Dit verschijnsel draagt er toe bij dat men verschillend gekleurde contouren op verschillende diepten lijkt waar te nemen (kleur-stereoscopie, zie bv. Walraven, 1985). Uit Van Meeteren (1974) valt af te leiden dat de verschuiving, die optreedt als gevolg van de 1,5 D brekingsverschil tussen 430 en 610 nm, overeenkomt met een visuele hoek van 1,5 boogminuut, of 0,044 prisma-dioptrie<sup>4</sup>. Op de normale convergentie van beide ogen, die ca. 12 prisma-dioptrie

---

<sup>3</sup> De dioptrie, D, is gedefinieerd als  $D = 100 / a$ , waarbij a de kijkafstand in cm is waarop een object zich bevindt dat scherp wordt afgebeeld op het netvlies.

<sup>4</sup> Een prisma-dioptrie is een hoekmaat die overeenkomt met een dwarsafstand van 1 cm op 1 m afstand van het oog.

bedraagt bij het kijken naar een contour op 50 cm afstand, is de bovengenoemde contourverschuiving als gevolg van de chromatische aberratie zo klein dat hierdoor in elk geval geen problemen kunnen ontstaan met de oog samenwerking. Afwijkingen van de ideale oogbalans tot 4 prisma-dioptrie behoren nog tot het normale gebied. Volgens het onderzoek van Meslin en Obrecht (1988) wordt de gezichtsscherpte door deze contourverschuiving slechts verminderd met 5%; dit is 1/5 van de normale regelafstand op de leeskaart van de oogarts, en dus niet van praktisch belang.

Dat het gepiekte spectrum van fluorescentieverlichting, door de chromatische aberratie van het oog, een verminderde gezichtsscherpte zou geven ten opzichte van gloeilamp- of daglicht, is nooit aangetoond. Integendeel, Solandt e.a. (1952) toonden aan dat de gezichtsscherpte niet significant verschilde bij verlichting door zeven "witte" lichtsoorten met zeer uiteenlopende spectrale verdeling, waaronder een gloeilamp, een fluorescentielamp, en een, zeer "gepiekte", kwikbooglamp. Dat ook duidelijk gekleurde lichtsoorten, met uitzondering van monochromatisch blauw, geen invloed hebben op gezichtsscherpte of leesprestatie, is meermalen aangetoond (Hartmann e.a., 1980; Legge en Rubin, 1986; Campbell en Durden, 1983). De bevinding uit het in par. 3.2 genoemde onderzoek van Maas e.a. (1974), dat koel-wit fluorescentielicht een mindere gezichtsscherpte geeft dan het "Vita-Lite" licht, wordt door het bovenstaande wel zeer ongeloofwaardig.

Soms wordt wel eens de zorg geuit dat het blauwige karakter van fluorescentielicht mensen effectief wat bijziend (myoop) zou maken (Hermans, 1953; Hartmann, 1983; Hollwich, 1976). Schober (1950) berekent hiervoor de kleine waarde van 1/3 dioptrie. Dit kan het zien op afstand wellicht iets bemoeilijken; het nabijzien, dat op kantoren het meest voorkomt, wordt hierdoor eerder iets bevorderd dan benadeeld. Overigens zal het gebruikelijke fluorescentielicht zich in dit opzicht niet ongunstig onderscheiden van het, eveneens blauwige, daglicht. Bovendien is in de literatuur de hinder door zo'n lichte vorm van bijziendheid niet experimenteel aangetoond. Uit proeven van Murch (1983) blijkt dat de accommodatie-effecten van lichtsoorten die bestaan uit combinaties van twee beeldscherm-fosforen, en die dus nog tot de zeer uitgesproken kleuren (geel, magenta, cyaan) behoren, te verwaarlozen zijn. En ook het eerder genoemde feit, dat de accommodatie zich instelt in het midden van de aangeboden spectrale verdeling, en het onderzoek van Krueger e.a. (1982) naar het accommodatiegedrag bij onverzadigde kleuren ondersteunen de aanname dat het bijziendmakend effect van fluorescentieverlichting van geen betekenis is.

## 4 MOGELIJKE NADELIGE EFFECTEN VAN DE LICHTFLIKKERINGEN

In par. 2.3 werd opgemerkt dat de 100 Hz component van de lichtflikkeringen (rimpel) van fluorescentielampen niet waarneembaar is. De 50 Hz component is slechts bij een deel van de lampen, vooral na langere brandtijd, min of meer waarneembaar. Het storende onregelmatige knipperen is te bestrijden door vervanging van defecte lampen of starters, en blijft daarom verder buiten beschouwing.

Toch komt men vaak de veronderstelling tegen dat lichtflikkeringen (mede) oorzaak zouden kunnen zijn van gezondheidsklachten die in verband worden gebracht met fluorescentielicht (bv. Hermans, 1953; Hollwich, 1976; Tibbs, 1981). Hierna worden achtereenvolgens behandeld epileptische aanvallen, fysiologische effecten en effecten op prestatie en vermoeidheid.

Soms wordt zorg geuit over de mogelijke nadelige invloeden van het stroboscopisch effect, dat is het zien van meervoudige contouren van een zich snel bewegend voorwerp dat wordt gezien bij flikkerend licht. Dit kan bij periodiek bewegende machinedelen inderdaad wel eens tot een vorm van "gezichtsbedrog" leiden. Ook kan het bij het uitvoeren van snelle bewegingen, zoals bij sport, soms tot ongewenste visuele effecten leiden. Het is echter niet voorstelbaar hoe dit de gezondheid zou kunnen schaden. Ook het onverhoopt in draaiende raderen grijpen, vanwege het schijnbaar stilstaan, is uitgesloten. Door het sinusvormig verloop van de luminantie worden de bewegende contouren zo onscherp afgebeeld dat men zich niet kan vergissen (Hartmann, 1983).

### 4.1 Epileptische toevallen

Naar schatting lijdt 0,5 % van de bevolking aan epilepsie, en daarvan weer 3 % (dus over het totaal genomen 15 op de 100 000 personen) aan een vorm waarbij toevallen door lichtstimulatie kunnen worden opgewekt. Zulke toevallen variëren van een korte periode van verminderd bewustzijn ("petit mal" of "absentie") tot de ernstige "grand mal" of "tonisch-clonisch" toevallen, waarbij de patiënt, na een volledig bewustzijnsverlies en verstijving, ritmische, rukkerige spiersamentrekkingen en -ontspanningen heeft (Steinkruger, 1985). Toevallen kunnen worden opgewekt door televisie kijken, maar ook door flakkerende lichtbronnen zoals zonlicht dat ritmisch door bomen wordt onderbroken. Ook zijn toevallen door het knipperen van defecte fluorescentielampen gerapporteerd (Hess e.a., 1974).

De enige gevonden publicatie over de invloed van gewone fluorescentieverlichting op epilepsie is afkomstig van Binnie e.a. (1979). Deze auteurs vermelden dat slechts 4 % van de lichtgevoelige epileptici reageert op frequenties boven 65 Hz, en dat er geen reacties bekend zijn op de 100 Hz rimpel. Wel vertoont 45 % van deze patienten een reactie op 50 Hz rimpel, in de vorm van een zgn. paroxysma-

le (dwz. de vaak met toevallen gepaard gaande) activiteit in het elektro-encefalogram (EEG, de met elektroden op de schedel afgeleide hersenpotentialen). Binnie e.a. (1979) onderzochten bij lichtgevoelige epilepsie-patienten hoe het EEG reageerde op het rechtstreeks kijken in speciale fluorescentie-armaturen, waarin het licht flikkerde met 50 Hz, met een regelbare modulatie diepte M (zie par 2.3 voor definitie). Slechts 8 van de 20 onderzochte patienten reageerden op deze vorm van stimulatie, maar slechts indien M groter was dan 50 - 70 %. Bij geen van deze lichtgevoelige epileptici reageerde het EEG overigens op normaal functionerende fluorescentieverlichting. Als dit resultaat wordt vergeleken met de in par. 2.3 genoemde waarden van M in de praktijk, dan is het onwaarschijnlijk dat fluorescentielicht, en zelfs dat van lampen met grote brandtijd, een speciale bedreiging vormt voor lichtgevoelige epileptici.

#### 4.2 Fysiologische reacties

De snelheid van saccaden (oogsprongen) bij een leestaak werd door Wilkins (1986) gemeten bij 15 proefpersonen. De verlichting bestond in de ene conditie uit gewoon fluorescentielicht (100 Hz,  $M = 36\%$ ; geen 50 Hz component); in de andere conditie werd fluorescentielicht gebruikt dat door een speciale voeding met een frequentie van 20 kHz was opgewekt. In deze laatste conditie kan het licht als (vrijwel) continu worden beschouwd<sup>5</sup>. Het bleek dat de saccaden iets (ca. 4%) groter waren bij de 100 Hz belichting dan bij de continue, wat volgens de auteur zou duiden op een iets grotere moeilijkheid bij het lezen. Boschman e.a. (1985) vinden echter dat de saccade-grootte afneemt bij een moeilijker visuele taak.

Belangrijker is echter dat dit er op duidt dat de 100 Hz lichtmodulatie op een bepaald niveau van het oog-hersen systeem nog doorkomt, hoewel deze niet bewust wordt gezien.

Een heel duidelijke aanwijzing dat bij de mens lichtflikkeringen met frequenties boven 100 Hz worden doorgegeven door de receptoren van het netvlies, is afkomstig van Brindley (1962). Deze vond dat flikkerend licht met frequenties tot 120 Hz zichtbare zwevingen in de lichtgewaarwording opriepen, wanneer tegelijkertijd een elektrische wisselspanning, met een frequentie die hiervan 1 Hz verschilde, op het oog werd gezet.

Meer bewijsgrond voor dit doorkomen van de 100 Hz lichtmodulatie van fluorescentielicht, zij het in het visuele systeem van de kat, dat niet zonder meer te

---

<sup>5</sup> Deze hoge frequenties van de voedingsspanning geven een te verwaarlozen lichtrimpel, door de nalichttijd van de fosforen en door de ongevoeligheid van het oog voor deze frequenties. Soms kan er toch nog een kleine 100 Hz component in de rimpel overblijven, afhankelijk van de eigenschappen van de voorschakel-apparaatuur.



vergelijken is met dat van de mens, wordt geleverd door Eysel en Burandt (1984). Een fluorescentielamp zorgde voor een met 100 Hz of 120 Hz gemoduleerde verlichting ( $M = 0,53$ ), met een gemiddelde sterkte die op kantoren gebruikelijk is (500 lux). De ontladingen van afzonderlijke zenuwcellen in het visuele systeem in de hersenen van de kat (Tractus Opticus, Corpus Geniculatum Laterale, Optische Radiatie) werden met micro-electroden gemeten.

Het bleek dat alle cellen in de Tractus Opticus, en de meeste cellen in de andere hersengedeelten, een responsie vertoonden die duidelijk fase-gekoppeld was met de lichtmodulatie. Op gloeilamplicht van dezelfde frequentie, maar met  $M = 0,14$ , reageerden de zenuwcellen niet of nauwelijks. Verlichting met 160 Hz modulatie gaf evenmin respons. De auteurs vermelden nog dat uit ongepubliceerde experimenten blijkt dat een verminderde modulatie diepte (20 - 40 %) die met duo-schakeling wordt bereikt (zie par. 2.3) nog steeds een responsie in de Tractus Opticus teweegbrengt.

Brundrett (1974) haalt enkele studies op mensen aan waaruit blijkt dat responsies van het EEG worden gemeten bij frequenties die boven de flikkerfusiefrequentie liggen. Hartmann (1988) heeft ook, bij 15 proefpersonen, EEG responsies op flikkerend licht gemeten. Daarbij bleek dat het EEG de frequentie volgde tot een modale waarde van 90 Hz, met uitersten van 82 en 110 Hz.

Brundrett zelf (1974) mat EEG responsies op licht dat met 5 tot 90 Hz was gemoduleerd, op (slechts) vijf mensen die klaagden over visuele vermoeidheid en/of hoofdpijn tijdens het werken onder fluorescentielicht, en een controle groep van vijf niet-klagers. Hij vond een significant verband tussen klagen en het minder steil afvallen van de EEG-responsie bij hogere frequenties. Dit vormt een, zij het beperkte, aanwijzing dat dit soort klachten iets met de gevoeligheid voor rimpel in het fluorescentielicht te maken hebben.

Overigens vond Brundrett (1971) ook een verband tussen de score op de Maudsley persoonlijkheidsschaal en de EEG-gevoeligheid voor hoge modulatiefrequenties: een hoge score voor neuroticisme was gekoppeld aan een minder steile afval van de EEG-responsie bij hoge frequentie. Het blijft te bezien of deze vinding relevant is voor het mogelijke verband tussen klachten en flikkergevoeligheid. Brundrett (1974) vermeldt hierover niets.

Uit deze resultaten kan worden geconcludeerd dat het niet onmogelijk is dat lichtrimpels van frequenties die zo hoog zijn dat ze niet meer worden waargenomen, toch leiden tot gezondheidsklachten.

### 4.3 Visuele prestatie en oogvermoeidheid

Er werden geen publicaties gevonden waarin rechtstreekse invloeden zijn aangetoond van lichtflikkeringen, met frequenties en modulatie diepten zoals die

bij fluorescentielicht voorkomen, op visuele waarnemingsfuncties, zoals gezichtscherpte en contrastgevoeligheid.

Veel van de oudere literatuur (1950 - 1968) waarin verbanden zijn onderzocht tussen flikkeringen of rimpel van fluorescentieverlichting en vermoeidheid of prestatie, is besproken door Rey en Rey (1963) en Brundrett (1974). Gewone fluorescentieverlichting werd daarbij vergeleken met gloeilamp- of daglicht Frühauf (1956), of met fluorescentielampen in duo- of 3-fase schakeling (Segal, 1950; zie ook par. 2.3), of met fluorescentieverlichting met gelijkstroom- of hoogfrequent-voeding (Floyd, 1956; Zaccaria en Bitterman, 1952). De condities van de experimenten (bv. de modulatie diepten van de 50 Hz en 100 Hz componenten) en de toegepaste procedures zijn in deze onderzoeken vaak gebrekkig vermeld; de vermelde resultaten zijn nogal eens tegenstrijdig. Toch concluderen genoemde auteurs dat de rimpel van fluorescentielampen een vermoeiend of prestatie-verminderend effect lijkt te hebben, al lijken de effecten klein in verhouding tot de vermoeidheid die toch al door de taak optreedt.

Men realiseert zich dat bij deze proeven vaak "objectieve (oog)vermoeidheidsmaten" zijn gebruikt, zoals (verandering van) accommodatie-amplitude of flikkerfrequentie, waarvan het allerm minst vaststaat dat er iets wordt gemeten dat correleert met de uitingen van (oog-) vermoeidheid zoals die in par. 3.3. zijn omschreven (Padmos, 1988; Pluymen, 1981).

Een voorbeeld van zo'n onderzoek is dat van Le Grand en Baumgardt (1956). In dit onderzoek is sprake van een degelijke opzet: 11 proefpersonen, ieder 20 sessies van 4 uur sorteertaak, fris-witte fluorescentieverlichting, 230 lux, met afwisselend gelijkspanningsvoeding ("vlak licht") of 100 Hz modulatie  $M = 35\%$  ("100 Hz licht"). De modulatie diepten van de 50 Hz component in beide condities was niet vermeld. Twee "vermoeidheids"-tests, waarmee de verandering (voor - na werk) van achtereenvolgens de volgende grootheden werd gemeten: I - snelheid van herstel van gezichtsscherpte na verblinding, II - minimum scherpstel-afstand.

Test I gaf geen effect van 100 Hz- vs. vlak licht; test II gaf een significant ( $p = 0,03$ ) grotere "vermoeidheid" bij de 100 Hz licht conditie, zij het dat het effect heel klein was: het verschil in verandering van de scherpstel-afstand bedroeg gemiddeld slechts 4 % van deze afstand.

Afgezien van het kleine effect, is het volstrekt onbewezen dat hier van een effect op vermoeidheid sprake was. Ten eerste omdat de vermoeidheidsmaten nooit zijn geijkt in termen van de subjectieve vermoeidheids-ervaring. Ten tweede omdat, als de verandering van minimum scherpstel-afstand al geïnterpreteerd zou worden als vermoeidheidsmaat, het effect er op neer kwam dat de vermoeidheid na werk bij 100 Hz licht gemiddeld nul was (voor en na werk dezelfde minimum scherpstel-afstand), terwijl deze na werk bij vlak licht gemiddeld negatief was (na werk een kleinere minimum scherpstel-afstand dan voor werk)!

De studie van Rey en Rey (1963) maakt ook een vrij degelijke indruk. Hier is het effect van fluorescentielicht met 100 Hz modulatie (M niet gespecificeerd, evenmin als de aanwezigheid van een 50 Hz component) vergeleken met fluorescentielicht gevoed vanuit een 100 kHz bron, dus effectief vlak. Er waren vijf proefpersonen, die ieder in 24 sessies van 45 min als visuele taak een Bourdon-test uitvoerden (aanstrepen van lettercombinaties op pagina's tekst). Van de gebruikte "vermoeidheidsmaten" - flikkerfusie-frequentie, motorische reactietijd, onregelmatigheid in ritmisch een Morse-sleutel indrukken - vertoonden de eerste twee een significant ( $p < 0,05$ ) maar niet groot (1 - 5 % van de meetwaarden) effect van "vlak vs. 100 Hz". Ook was het gemiddeld aantal gemaakte fouten in de taak zelf, significant ( $p < 0,01$ ) groter in de 100 Hz conditie dan in de vlakke conditie (over het verschil in taaksnelheid zijn geen gegevens). Echter werden noch de prestaties op de vermoeidheidstest, noch die op de taak zelf, significant beïnvloed door het verlichtingsniveau, dat, voor de beide condities "vlak" en "100Hz", was gevarieerd tussen 50 lux en 1000 lux. Dit leidt tot de, onverwachte, aanwijzing dat het effect van wel of geen rimpel belangrijker lijkt te zijn dan het effect van de zo sterk uiteenlopende verlichtingsniveaus.

Brundrett e.a. (1973) maten geen verschil in subjectief welbevinden tijdens halve dagen werken bij fluorescentielicht gevoed met gelijkspanning of 50 Hz wisselspanning, waarbij de proefpersonen niet geïnformeerd waren over de aard van de twee condities.

Brundrett (1974) vond in een veldstudie bij 600 werkers, verdeeld over vele kantoren, dat het percentage klachten over oogvermoeidheid en hoofdpijn een significant ( $p < 0,05$ ) verband had met meldingen van het kunnen zien van de rimpel van de fluorescentieverlichting waarbij gewerkt werd. Ook was de mate van tevredenheid met de verlichting duidelijk gecorreleerd met het kunnen zien van de rimpel. Het aantal werkers dat zei de rimpel te kunnen zien was 24 % als in de lamp werd gekeken; 10 % zag dat nog steeds als zij op het werk keken. Gezien het in par. 2.3 geschatte aantal van maximaal 5 % van de populatie die de rimpel van fluorescentielicht kunnen zien op kantoren met een goed onderhouden verlichtingsinstallatie, zijn de in dit onderzoek gevonden percentages verrassend hoog. Een aanwijzing voor de betrouwbaarheid van de responsies is echter, dat het percentage dat zei de rimpel te zien bleek af te nemen met de leeftijd, hetgeen in overeenstemming is met de bekende afname van flikkergevoeligheid met de leeftijd (zie par. 2.3). Mogelijk liet de gemiddelde onderhoudstoestand van de verlichting in deze veldstudie te wensen over. In ieder geval duiden deze cijfers er op dat het in grote meerderheid zal gaan om het waarnemen van 50 Hz rimpel, en niet om 100 Hz rimpel.

Brundrett (1974) verbindt hieraan de suggestie dat het zien van deze 50 Hz rimpel dan ook gekoppeld zou zijn aan het vóórkomen van gezondheidsklachten, en beveelt aan om deze rimpel zo klein mogelijk te houden, door armaturen met meerdere lampen te gebruiken, maar zeker ook door een goed vervangingsschema toe te passen. Het is echter op grond van deze proeven niet uit te sluiten dat de oogvermoeidheid of hoofdpijn, die gepaard ging met een grotere gevoeligheid

van individuen voor het waarnemen van de 50 Hz rimpel, toch werd veroorzaakt door de 100 Hz rimpel.

Na de publicatie van Brundrett (1974) bleef het een tijdlang stil over dit onderwerp, totdat er de laatste paar jaar weer enkele publicaties verschenen.

Lindner e.a. (1985) vergeleken, bij licht debiele kinderen, de prestatie op een concentratie-test. De fluorescentieverlichting (400 lux) werd in verschillende condities gevoed vanuit het 50 Hz net, zowel éénfasig als driefasig, en hoogfrequent (>25 kHz). In beide laatstgenoemde condities is de 100 Hz rimpel volgens verwachting (vrijwel) niet meer aanwezig; de 100 Hz modulatie diepten in de verschillende condities werden echter niet vermeld. In de éénfasige conditie werd ook de verlichtingssterkte gevarieerd, in stappen van 100, 400 en 1000 lux.

Men vond een significante toename van de concentratie bij het flikkervrije licht en bij de hoogste verlichtingssterkte. De publicatie is echter slordig, met fouten (bv. reactietijden van 25 - 30 ms), en weglating van belangrijke gegevens over de proeven (o.a. volgorde- en herhalingschema van de afgenomen testen). Hierdoor kan er geen grote betekenis aan worden toegekend.

Lindner (1988), in een degelijker aandoende studie dan de hiervoor genoemde (hoewel het symposium verslag te beknopt is voor een zeer gefundeerd oordeel), onderzocht de invloed van enkele uren werken onder gewone fluorescentieverlichting en onder eenzelfde verlichting met hoogfrequent voeding. De toegepaste tests waren: contrastgevoeligheid, dynamische gezichtsscherpte, prestatie op een concentratie-test en visueel-motorische prestatie. Bovendien werd de subjectief ervaren belasting gemeten, alsmede de flikkerfusiefrequentie, ooglid-knipperfrequentie en visuele reactietijd ("objectieve vermoeidheidsmaten"). Proefpersonen waren ingedeeld in een groep met visuele problemen bij fluorescentieverlichting ("probleem", n = ca. 13) en een even grote groep "normalen". Zij wisten niet in welke verlichtingsconditie zij zich bevonden.

Er werden een aantal positieve invloeden gemeten van de hoogfrequent voeding, vooral bij de "probleem"-groep. De belangrijkste invloed bij deze groep was dat bij de gewone fluorescentieverlichting het werk subjectief als meer belastend werd ervaren. Er werden corresponderende, zij het kleinere, effecten gemeten op de flikkerfusiefrequentie en de ooglid-knipperfrequentie. Bovendien werd de dynamische gezichtsscherpte aangetast. Maar ook bij de "normalen" was er een vergroting van de subjectieve belasting.

Tenslotte is er nog één onderzoek waaruit een rechtstreekse, zij het niet geheel waterdichte, aanwijzing komt dat de 100 Hz rimpel van fluorescentieverlichting in verband staat met klachten over hoofdpijn en oogvermoeidheid in de praktijk. Wilkins e.a. (1989) voerden een zeer degelijk opgezette veldstudie bij kantoorwerkers uit, waarbij klachten over hoofdpijn en oogvermoeidheid dagelijks werden ingevuld op vragenlijsten. Zij maten het effect op de klachten van het aanbrengen van een hoogfrequent-voeding (32 kHz) voor de bestaande fluores-

centieverlichting. De controle-conditie was de gewone fluorescentieverlichting, met een rimpel van 100 Hz, M = 40 - 50 %, plus 50 Hz, M = 0 - 2 %. Een deel van de werkers (n = 22) kreeg eerst de hoogfrequent- en daarna de controle-conditie, bij een ander deel (n = 20) was de volgorde omgekeerd, bij een derde deel van de werkers (n = 58, waarvan 54 in de controle-conditie en 4 met hoogfrequent fluorescentielicht) veranderde er niets. De werkers waren er niet van op de hoogte wat de verlichtingsconditie was en wanneer de verandering plaatsvond. Vragenlijsten werden ingevuld gedurende 19 weken voor de wisseling en 9 weken erna.

Het bleek dat de hoofdpijn- en oogvermoeidheidsklachten in de 100 Hz conditie ongeveer twee maal zo vaak voorkwamen als in de hoogfrequent conditie. De auteurs concluderen: "Perhaps conventional fluorescent lighting contributes to building sickness".

Hoewel er bij de proeven dus allerlei voorzorgen waren genomen om de invloed van oneigenlijke effecten (bv. vooringenomenheid met één soort verlichting, seizoensfluctuaties in klachten) uit te schakelen, lijkt de voorzichtige wijze van formuleren van de conclusie door de auteurs terecht. Er blijken namelijk toch haken en ogen te zitten aan dit experiment (zie Padmos (1990) voor een meer uitvoerige behandeling van het werk van Wilkins over flikker van fluorescentielicht). Ten eerste zijn de kritische condities maar uitgevoerd met weinig werkers. Verder zitten er nogal wat eigenaardigheden en asymmetrieën in de gepubliceerde klachten-frequenties van de verschillende deelgroepen en in de voor- en na-perioden. De toegepaste statistische analyses houden hiermee onvoldoende rekening. Dit ondergraaft enigzins de statistische betrouwbaarheid van sommige uitspraken. Bij enkele bevindingen die de auteurs aanhalen als ondersteuning van hun conclusie (het afnemen van klachten op hogere verdiepingen, met meer daglicht-toetreding, en het vaker gebruiken van de hoogfrequent-verlichting) zijn nog ernstiger kanttekeningen te maken. Uit de data is niet veel méér af te leiden dan dat voor sommige mensen de lichtrimpel een mogelijke oorzaak van hoofdpijn- en oogvermoeidheids-klachten is.

Ondanks de gebreken die in meer of mindere mate aan de hierboven genoemde studies kleven, vormen zij toch een niet te veronachtzamen aanwijzing dat de rimpel van fluorescentieverlichting het optreden van hoofdpijn en/of oogvermoeidheid kan bevorderen. Het lijkt daarom zinvol dit verschijnsel in een vervolgstudie nader te onderzoeken. Het belang van zo'n studie wordt vergroot doordat sinds enkele jaren hoog-frequent fluorescentielicht uit energie-besparende overwegingen wordt toegepast. Hierdoor neemt de mogelijkheid toe om de mogelijk klachten veroorzakende rimpel te onderdrukken.

## 5 CONCLUSIES

1. **Gezondheid en welbevinden bij het werk kunnen worden beïnvloed door vele factoren, waarvan de verlichting er één is. Dit rapport concentreert zich op de mogelijke nadelige effecten op gezondheid en welbevinden die te maken zouden hebben met de spectrale verdeling en de 50 Hz en 100 Hz lichtrimpel van fluorescentieverlichting. Hierbij wordt voorbijgegaan aan effecten van lichtniveau en ruimtelijke verdeling, hoe belangrijk deze ook kunnen zijn.**
2. **De spectrale verdeling van fluorescentielicht is veel gepiektter dan die van gloeilamplicht en daglicht. Een mindere kleurweergave is hiervan soms het gevolg, vooral bij oudere typen lampen. Daarnaast heeft fluorescentielicht meer kortgolvlige en minder langgolvlige straling dan gloeilamplicht. Vergeleken bij daglicht heeft fluorescentielicht zowel minder nabij-UV als minder langgolvlige straling. De kleur van de voor werkverlichting meest gangbare fluorescentie-soorten ligt tussen het gelige gloeilamplicht en het blauwige daglicht. Voor de verschillende toepassingen is er echter een scala van "witte" kleuren fluorescentielicht verkrijgbaar.**
3. **Risico's van fluorescentielicht ten gevolge van de werking van nabij-UV straling op de huid (o.a.huidkanker) zijn vrijwel te verwaarlozen vergeleken bij de normale blootstelling aan zonlicht. Ook is er geen risico voor netvlieschade, behalve wellicht in de extreme situatie van gedurende meer dan een uur rechtstreeks kijken in de lamp.**
4. **Voor het wijd verbreid geloof dat daglicht gezonder is dan TL-licht is, voor wat betreft de spectrale verdeling, geen wetenschappelijke grond. De productie van vitamine D in de huid is weliswaar bij fluorescentielicht minder, maar deze productie is echter bij de gebruikelijke daglicht-blootstelling ruim voldoende.  
Wel brengen daglicht en vensters positieve associaties teweeg (vrijheid, contact buitenwereld, frisse buitenlucht), evenals gloeilamplicht (gezelligheid). Dit kan de relatief negatieve houding, en daarmee de grotere frequentie van gezondheidsklachten bij fluorescentielicht, bevorderen.**
5. **Afgezien van mogelijke effecten van lichtkleur en kleurweergave, zijn de gezondheidseffecten (lichtstress) die in verband worden gebracht met de spectrale verdeling, en met name met een tekort aan nabij ultra-violet of met een gepiekt karakter van de verdeling, uiterst onwaarschijnlijk. De aangevoerde bewijsgrond voor deze effecten is bovendien zeer aanvechtbaar. Er kan daarom ook geen waarde worden toegekend aan de beweerde heilzame werking van met UV verrijkte fluorescentielampen ("Vita-Lite" en "True-Lite").**

Evenmin blijkt er een betrouwbare aanwijzing te zijn voor oogvermoeidheid door mogelijke storingen van het scherpstel-mechanisme (chromatische aberratie, accommodatie-fluctuaties, verminderde gezichtsscherpte).

6. Bij fluorescentielicht is er een 100 Hz rimpel en, in mindere mate, een 50 Hz rimpel, waarvan de modulatie diepten afhankelijk zijn van de wijze van schakeling. Bij goede onderhoudstoestand (lampen na 8500 branduren vervangen) zal niet meer dan 5 % van de mensen de 50 Hz rimpel waarnemen, en niemand de 100 Hz rimpel. Wel kan een rimpel van 100 Hz door het oog worden doorgegeven aan de hersenen.
7. Er zijn aanwijzingen dat de rimpel van fluorescentieverlichting het optreden van oogvermoeidheid en hoofdpijn bevordert, waarbij er aanzienlijke verschillen in individuele gevoeligheid lijken te zijn. Of hierbij de 50 Hz- of de 100 Hz rimpel de veroorzaker is, is niet geheel duidelijk. Evenmin is duidelijk wat de afhankelijkheid is van de modulatie diepte. Een fysiologisch mechanisme voor het effect is niet bekend.  
Bij epileptici zijn slechts toevallen door het knipperen van defecte lampen of starters gemeld.
8. Het lijkt zinvol om door middel van een laboratorium- en/of veld-experiment het verband tussen rimpel van fluorescentieverlichting en oogvermoeidheid en hoofdpijn te verifiëren. Mocht het verband worden bevestigd dan zou dit kunnen leiden tot aanbevelingen over toe te passen rimpel-reducerende voedingen en/of langer nalichtende fosforen. De rimpel kan effectief worden gereduceerd bij de, uit energiebesparings-overwegingen sinds enkele jaren steeds meer toegepaste, hoogfrequent voedingen voor fluorescentielicht.

## DANKWOORD

De Heer A.B. de Graaff te Nuenen wil ik bij dezen graag danken voor de zeer uitvoerige en deskundige wijze waarop hij commentaar heeft geleverd bij het concept van dit rapport.

## REFERENTIES

- Becher, H. (1955). Ueber ein vegetatives Kerngebiet und neurosekretorische Leistungen der Ganglienzellen der Netzhaut. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 23, 1.
- Bennett, C.A., Perecherla, A., Z.K. Chowdhury, Z.K. and Prabhakaran, R. (1985). Three Comparisons of Incandescent and Fluorescent: Color or Luminaire? *Proc. Human Factors Soc. - 29th Annual meeting*, 594-597.
- Beral, V., Evans, S., Shaw, H. and Milton, G. (1982). Malignant melanoma and exposure to fluorescent lighting at work. *The Lancet*, 290-293.
- Binnie, C.D., de Korte, R.A. and Wisman, T. (1979). Fluorescent Lighting and Epilepsy. *Epilepsia*, 20, 725-727.
- Boschman, M.C., Leermakers, M.A.M. and Roufs, J.A.J. (1985). The effect of video bandwidth on the judgement of comfort, visual performance and eye movements using visual display units. *IPO ann. progr. rept.* 20, pp. 73-79. Institute for Perception Research, Eindhoven.
- Brindley, G.S. (1962). Beats produced by simultaneous stimulation of the human eye with intermittent light and intermittent or alternating electric current. *J. Physiol.* 164, 157-167, London.
- Brundrett, G.W. (1971). Flicker and personality. *Proc. Flashing Lights Symp.* 391-396. Hilger ltd., London.
- Brundrett, G.W. (1974). Human sensitivity to flicker. *Lighting Res. Technol.* 6, 127-143.
- Brundrett, G.W., Griffiths, I.D. and Boyce, P.R. (1973). Subjective responses to a.c. and d.c. fluorescent lighting. *Light. Res. Technol.* 5, 160-162.
- Bureau of Radiol. Health (1977). Visual effects from high intensity fluorescent light being studied. *Bureau of Radiol. Health Bull.* XI (19), 1.
- Campbell, F.W. and Durden K. (1983). The visual display terminal issue: A consideration of its physiological, psychological and clinical background. *Ophthal. Physiol. Opt.* 3, 175-192.
- CIE (1988). Malignant melanoma and fluorescent lighting. *CIE Journal* 7, 29-33.
- Corth, R., Hoffman, R.A. (1973). Does artificial light affect man's health? Probably not. *Lighting Des. Appl.* 3, 30-36.
- Cuttle, K. (1983). Attitudes toward windows in offices. *Proc. CIE 20th Session '83, Poster Paper, E05/1-2.* Commission Internationale de l' Eclairage, Wenen.
- Dowling, J.E. (1987). The retina, an approachable part of the brain. The Belknap press of Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
- Erikson, C. and Küller, R. (1983). Non-visual effects of office lighting. *Proc. CIE 20th Session, D602/1-4.* Commission Internationale de l' Eclairage, Wenen.
- Eysel, U.Th. and Burandt, U. (1984). Fluorescent tube light evokes flicker responses in visual neurons. *Vision Res.* 24, 943-948.
- Floyd, W.F. (1956). Some effects of filament and fluorescent lighting on visual performance. *Light and Lighting* 49, 212-213.
- Frühauf, K. (1956). Ueber unterschiedliche "Ermüdungswirkung" von Leuchtstofflampen- und Glühlampenbeleuchtung. *Z. für Psychol.* 159, 130-145.
- Gaillard, A.W.K. (1988). Stress tussen cognitie en energie. Oratie Katholieke Universiteit Brabant, Sneldrukkerij Enschede, Enschede.



- Gezondheidsraad (1978). Advies inzake aanvaardbare niveaus voor elektromagnetische straling in het golflengtegebied tussen 100 nm en 1 mm. Nr. 1978/6, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Gezondheidsraad (1986). UV straling. Blootstelling van de mens aan ultraviolette straling. Nr. 09, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Handbuch für Beleuchtung (1975). 4. Aufl. Girardet, Essen.
- Harber L.C., Whitman, G.B., Armstrong, R.B. and Deleo, V.A. (1985). Photosensitivity Diseases Related to Interior Lighting. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 453, 317-327.
- Hartmann, E. (1983). Das Für und Wider der Arbeitsplatzbeleuchtung mit Leuchtstofflampen. *Moderne Unfallverhütung* 27, 51-54.
- Hartmann, E. (1988). Flimmern von Leuchtstofflampen. Samenvatting, in: *Licht '88, Tagungsbericht 8. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften*, Bd. 1, p. 312. Lichttechn. Gesellsch., Berlin.
- Hartmann, E., Scheffzyk-Hagl, A., und Lachenmayr, B. (1980). Der Einfluss von Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte, Kontrast und Farbe auf das Sehvermögen von Patienten mit leichter bis hochgradiger Sehbehinderung. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 177, 304-318.
- Hartmann, E. und Müller-Limmroth, W. (1981). Stellungnahme zur Frage der Verträglichkeit des Leuchtstofflampenlichtes. *Technisch-Wissenschaftlichen Ausschusz der Lichttechnischen Gesellschaft*, Berlin.
- Hermans, R. (1953). Les effets physiologiques de l'éclairage fluorescent. *Arch. Belges. Med. Soc. Hygiene, Med. Trav. Med. Leg.* 28-38.
- Hess, R.F., Harding, G.F.A. and Drasdo, N. (1974). Seizures induced by flickering light. *Amer. J. Optom. Physiol. Opt.* 51, 517-529.
- Hollwich, F. (1976). Leuchtröhrenlicht. *Dtsch. Med. Wschr.* 101, 678-679.
- Hollwich, F., Dieckhues, B. and Schrameyer, B. (1977). Die Wirkung des natürlichen und künstlichen Lichtes über das Auge auf den Hormon- und Stoffwechselhaushalt des Menschen. *Klin. Monatsbl. Augenheilk.* 171, 98-104.
- Hollwich, F. and Dieckhues, B. (1980). The Effect of Natural and Artificial Light via the Eye on the Hormonal and Metabolic Balance of Animal and Man. *Ophthalmologica*, Basel 180, 188-197.
- Hughes, Ph.C. (1983). An examination of the beneficial action of natural light on the psychobiological system of man. *Proc. CIE 20th session, D603/1-4, Commission International de l' Eclairage*, Wenen.
- IES (1972). *Lighting Handbook. Flicker and Stroboscopic Effect*. Illuminating Engineering Society, New York.
- Kremers, J.J.M. and Van Norren, D. (1988). Two classes of photochemical damage of the retina. *Lasers Light Ophthalmol.* 2, 41-52.
- Krochmann, J. (1971). Tageslicht im Arbeitsraum. *Lichttechnik* 23, 307-312.
- Krueger, H., Hessen, J. and Zülch, J. (1982). Bedeutung der Akkommodation für das Sehen am Arbeitsplatz. *Z. Arb. wiss.* 1982/3, 159-163.
- La Toison, M. (1972). Couleur des lampes fluorescentes et psychologie. *Lux*, 254-256.
- Le Grand, Y. et Baumgardt, E. (1956). Eclairage par fluorescence et fatigue visuelle. *Extrait de Annales d'Oculistique* 189, 829-835.
- Legge, G. E. and Rubin, G.S. (1986). Psychophysics of reading. IV. Wavelength effects in normal and low vision. *J. Opt. Soc. Am. A* 3, 40-51.

- Lindner, H., Pilz, E. und Grosze, A. (1985). Nichtvisuelle Einflüsse der künstlichen Beleuchtung auf die Leistung behinderter Kinder. *Augenoptik-Berlin* 102, 176-179.
- Lindner, H. (1988). Lichtwelligkeit von Lampen - Sehbeschwerden bei Gasentladungslampenlicht? In: *Licht '88, Tagungsbericht 8. Gemeinschaftstagung der lichttechnischen Gesellschaften, Band 1*, 303-311.
- Maas, J.B., Jayson, J.K. and Kleiber, D.A. (1974). Effects of spectral differences in illumination on fatigue. *J. Appl. Psychol.* 59, 524-526.
- Mayron, L.W. (1978). Hyperactivity from fluorescent lighting - fact or fancy: a commentary on the report by O'Leary, Rosenbaum and Hughes. *J. Abnorm. Child. Psychol.* 6, 291-294.
- Mayron, L.W., Ott, J.N., Nations, R. and Mayron, E.L. (1974). Light radiation and academic behavior: Initial studies on the effects of full-spectrum lighting and radiation shielding on behavior and academic performance of school children. *Academic Therapy* 10, 33-47.
- Meslin, D. and Obrecht, G. (1988). Effect of chromatic dispersion of a lens on visual acuity. *Am. J. Opt. Physiol. Optics* 65, 25-28.
- Murch, G.M. (1983). Visual accommodation and convergence to multichromatic visual-display terminals. *Proc. of the SID*, 24/1, 67-71.
- NSvV (1981). *Aanbevelingen voor binnenverlichting. Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde, Arnhem.*
- O'Leary, K.D., Rosenbaum, A. and Hughes, P.C. (1978a). Fluorescent lighting: a purported source of hyperactive behavior. *J. Abnorm. Child Psychol.* 6, 285-289.
- O'Leary, K.D., Rosenbaum, A., Hughes, P.C. (1978b). Direct and systematic replication: A rejoinder. *J. Abnormal Child Psychol.* 6, 295-297.
- Ott, J. (1974). The eyes' dual function. *Eye, ear, nose and throat* 53, 276-281, 288, 309-316, 377-381.
- Ouweltjes, J.L. (1978). *Het zien van kleuren. Kluwer, Deventer.*
- Padmos, P. (1988). Visual fatigue with work on visual display units - the current state of knowledge. In: Van der Veer, G.C. and Mulder, G. (eds). *Human-computer interaction: Psychonomic aspects. Springer-Verlag, Berlijn.*
- Padmos, P. (1990). Review of Wilkins' evidence for harmful effects of fluorescent light flicker. *Rapport IZF 1990 C-22, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.*
- Philips (1977). "TL" Fluorescentielampen-3. Philips Nederland b.v., Eindhoven.
- Pluymen, J. (1981). *Visuele vermoeidheid. Doctoraal scriptie Rapport. NI 8101, Vakgroep Psychofysiologie, Universiteit van Amsterdam.*
- Pot, F.D., Padmos, P. en Brouwers, A.A.F. (1986). *Achter de schermen - samenhangen tussen functie-inhoud, ergonomische kondities, gezondheid en welbevinden bij beeldschermwerk op kantoren. Rapport ISBN 90 363 9595x, Min. Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 's-gravenhage.*
- Rey, P. et Rey, J.P. (1963). Les effets comparés de deux éclairages fluorescents sur une tache visuelle et des tests de "fatigue". *Ergonomics* 6, 393-401.
- Rinzema, G. and Van Vliet, J.A.J.M. (1988). *Perceptibility of 50 Hz fluctuations in metal-halide lamps. Proc. Natl. Lighting Conf. Cambridge. Chartered Inst. Buildings Serv. Engin., London.*

- Schober, H. (1950). Die angeblichen Sehstörungen bei Beleuchtung durch Entladungslampen. *Lichttechnik* 2/4, 103-105.
- Segal, J. (1949). Les effets de l' éclairage par tubes a fluorescence sur la fatigue visuelle. *Cahiers du centre scientifique et technique du batiment*, 2e trim. nr. 8, 1-8.
- Solandt, D.Y., White, R.E. and Rosen, P.S. (1952). Visual importance of the spectral components of white light. *Illum. Engin.* August, 435-444.
- Steinkruger, M. (1985). Photosensitive epilepsy. *J. Neurosurg. Nurs.* 17, 355-361.
- Sturm, C.H. (1974). *Vorschaltgeräte und Schaltungen für Niederspannungs-Entladungslampen*. Verlag Girardet, Essen.
- Tibbs, H. (1981). *The future of light*. Watkins publ., Dulverton, Somerset.
- Van Bergem-Jansen, P.M. en Padmos, P. (1989). Een andere kijk op aanbevelingen voor verlichtingssterkte bij binnenverlichting. Publikatie S 72, Directoraat-Generaal van de Arbeid, Voorburg. Ook verschenen als rapport IZF 1989 C-2, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Van der Zee, E. and Van der Meulen, A.W. (1982). The influence of field repetition frequency on the visibility of flicker on displays. *IPO ann. progr. rept.* 17, Instituut voor Perceptie Onderzoek, Eindhoven.
- Van der Drift, A.C.M. en Bogaerts, W.J.C. (1979). Invloed van TL-verlichting op de mens. Rapport MBL 1979-4, Medisch Biologisch Laboratorium TNO, Delft.
- Van Norren, D. and Vos, J.J. (1974). Spectral transmission of the human ocular media. *Vision Res.* 14, 1237-1244.
- Van Meeteren, A. (1974). Calculations on the optical modulation transfer function of the human eye for white light. *Optica Acta* 21, 395-412.
- Vos, J.J. (1987). Het nut van een zonnebril, in het bijzonder bij buitensport. *Visus* 3, 4-7.
- Waliaven, J. (1985). The colours are not on the display: a survey of non-veridical perceptions that may turn up on a colour display. *Displays*, January, 35-41.
- Weale, R.A. (1988). Age and the transmittance of the human crystalline lens. *J. Physiol.* 395. 577-587, London.
- Wilkins, A. (1986). Intermittent illumination from visual display units and fluorescent lighting affects movements of the eyes across text. *Hum. Factors* 28, 75-81.
- Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I., Slater A.I. and Bedocs, L. (1989). Fluorescent lighting, headaches and eye-strain. *Lighting Res. Technol.* 21, 11-18.
- Zaccaria, A. and Bitterman, M.E. (1952). The effect of fluorescent flicker on visual efficiency. *J. Appl. Psychol.* 36, 413-416.