KU LEUVEN UNIVERSITEIT GENT UNIVERSITEIT ANTWERPEN VU BRUSSEL

**INTERUNIVERSITAIRE GGS-OPLEIDING JEUGDGEZONDHEIDSZORG**

# ONDERZOEK NAAR DE WAARDE VAN EEN VERKORTE ISHIHARA-TEST BIJ DE OPSPORING VAN KLEURZINAFWIJKINGEN BIJ KINDEREN VAN HET EERSTE LEERJAAR.

**Dr. Desseyn Els**

**Promotor: Prof. Dr. K. Hoppenbrouwers**
**Co-promotor: Dr. C. Guérin**

**Verhandeling voorgedragen tot het behalen van de graad van Gediplomeerde in de Gespecialiseerde Studies in de Jeugdgezondheidszorg**

**September 2006**

## Voorwoord

Na het werken als huisarts gedurende 6 jaar in West-vlaanderen, Vlaams-Brabant en terug West-Vlaanderen heb ik de stap gezet naar de Jeugdgezondheidszorg, en ik ben blij dat ik de overstap gewaagd heb. Het werk als CLB-arts is bij momenten erg intensief, maar vooral ook heel interessant. De opleiding in de jeugdgezondheidszorg is kwaliteitsvol en nauw aansluitend bij de praktijk. Het combineren van het werk als CLB-arts, het volgen van het tweede jaar jeugdgezondheidszorg en het tot een goed einde brengen van dit eindwerk vergden heel wat bloed, zweet en tranen.
Dat ik er uiteindelijk toch in geslaagd ben om deze opdracht tot een goed einde te brengen, heb ik aan een aantal mensen te danken.

Vooreerst wil ik mijn promotor, Prof. Dr. Karel Hoppenbrouwers van de dienst Jeugdgezondheidszorg van de KUL, danken voor zijn uitstekende begeleiding in het tot stand brengen van dit fiks uit de kluiten gewassen eindwerk, wat oorspronkelijk in opzet opgevat was als een beperkt onderzoek. Zijn correcties, zijn aanwijzingen en zijn steun waren onmisbaar.

Daarnaast wil ik ook Dr. Cécile Guérin, wetenschappelijk medewerkster van de Vlaamse Wetenschappelijke Vereniging voor Jeugdgezondheidszorg (VWVJ), van harte danken voor haar onvermoeibare inzet en steun. Haar mails met vlugge tekstcorrecties, excelltabellen en mentale steun hebben ervoor gezorgd dat dit eindwerk tot stand is kunnen komen. Zij heeft ook het hoofdstukje over de Ishihara-testen verzorgd, waarvoor grote dank.

De collega's van de dienst Ophtalmologie van het UZ Gent, Dr. Bart Leroy en Dhr. Uvijls wil ik danken voor de aangename en vlotte samenwerking en in het bijzonder Dhr. Uvijls die speciaal een aantal dagen voor dit onderzoek uit zijn pensioen terugkeerde om zijn unieke en onschatbare ervaring in het vaststellen van de kleurzinstoornissen ten dienste te stellen.

Vanzelfsprekend gaat er een grote dank uit naar de collega's van de CLB-centra te Gent: het Vrij CLB-Gent vestiging Marialand (waar ik ook tijdelijk werkzaam was), het Vrij CLB-Gent vestiging Halve Maanstraat en het CLB van het Gemeenschapsonderwijs Gent, zonder wiens hulp het onderzoek nooit mogelijk zou geweest zijn. Ook de talrijke verpleegkundigen die de Ishihara-testen hebben afgenomen wil ik via deze weg een pluim geven voor hun steun.

Als laatste wil ik ook mijn kinderen en mijn echtgenoot danken voor het feit dat zij mij zo moreel gesteund hebben in het maken van deze thesis, de kinderen vooral in het aanvaarden van het feit dat hun mama vele weekends al werkend diende door te brengen.

## Inhoudsopgave

**Voorwoord**……...1
**Inhoudsopgave**……...2
**Samenvatting**……..4
**Inleiding**……6
**Basisprincipes ivm kleurzin en kleurzinstoornissen**……...8

**DEEL 1**: **Literatuuronderzoek**……...11

1. Inleiding……...11
2. Methode……..11
3. Resultaten……..12
    3.1 Inleiding……12
    3.2 Invloed van kleurzinstoornis op denotatieve kleurtaken……..13
        3.2.1 Kleur als herkenningsmiddel……13
        3.2.2 Kleur op school……...14
        3.2.3 Kleur als organiserend element bij complexe displays……16
        3.2.4 Kleur als zoekstrategie……..17
        3.2.5 Kleur in sport……...18
    3.3 Invloed van kleurzinstoornis op connotatieve kleurtaken……19
        3.3.1 Signaallichten……19
            3.3.1.1 Maritieme signalen……20
            3.3.1.2 Treinsignalen……..21
            3.3.1.3 Luchtverkeersignalen……23
            3.3.1.4 Wegverkeersignalen……26
        3.3.2 Oppervlakte kleurcodes……29
            3.3.2.1 Natuurlijk voorkomende oppervlaktekleuren……29
            3.3.2.2 Oppervlakte kleurcodes door de mens geschapen……..32
            3.3.2.3 Oppervlakte kleurcodes op een computermonitor……34
            3.3.2.4 Chemische oppervlaktekleurcodes……36
    3.4 Invloed van kleurzinstoornis op vergelijkende kleurtaken……...37
    3.5 Invloed van kleurzinstoornis op esthetische kleurtaken……...38
    3.6 Literatuurstudie met betrekking tot de Ishihara-test……41
        3.6.1 Inleiding……41
        3.6.2 Aanbevelingen van de auteur i.v.m. de verschillende edities van de Ishiharatest……42
        3.6.3 Gedocumenteerde testeigenschappen van de verschillende Ishihara-edities……..43
        3.6.4 Bijkomende aandachtspunten bij de afname en de interpretatie van de Ishiharatest……44
        3.6.5 Verkorte Ishihara-test voor screeningsdoeleinden……...46
        3.6.6 Besluit……..47
4. Besluit en aanbevelingen voor het CLB ……48

**DEEL2: Eigen Onderzoek**……..52

1. Inleiding……...52
2. Probleemstelling en onderzoeksvragen……52
    2.1 Probleemstelling……52
    2.2 Doel van het onderzoek……52
    2.3 Onderzoeksvraag……...52
3. Methode……..53
    3.1 Fase 1……..53
        3.1.1 Onderzoekspopulatie en steekproeftrekking……53
        3.1.2 Test, testprocedure en omstandigheden van testafname……...54

3.1.3 Registratieformulieren……...55
3.1.4 Databeheer……56
3.1.5 Ethische commissie……...56
3.2 Fase 2……..56
3.2.1 Onderzoekspopulatie……56
3.2.2 Test en testprocedure……...57
3.2.3 Databeheer……57
4. Onderzoeksresultaten……..58
4.1 Fase 1……..58
4.1.1 Onderzoekspopulatie……58
4.1.2 Werkwijze……58
4.1.3 Testresultaten……59
4.1.4 Vergelijking met resultaten op Ishihara 13 platen bij leerlingen uit het 5e leerjaar……62
4.2 Fase 2……..66
4.2.1 Onderzoekspopulatie……66
4.2.2 Werkwijze……67
4.2.3 Testresultaten……68
4.2.4 Vergelijking testresultaten fase 1 en fase 2……..69
5. Bespreking van de onderzoeksgegevens……70

**Conclusies en aanbevelingen**……...78
**Figuren**.....81
**Bijlagen**……...95
**Literatuurlijst**……...115

## Samenvatting

Deze thesis bestaat uit twee grote delen. Het **eerste deel** is een uitgebreide literatuurstudie die op zijn beurt uit twee onderdelen bestaat, nl. vooreerst over de handicap die het hebben van een kleurzinstoornis kan betekenen, en ten tweede over de Ishihara-test en zijn testeigenschappen.

Het **tweede deel** omvat een eigen onderzoek ivm het gebruik van de Ishihara-test in de centra voor leerlingenbegeleiding.

Het hebben van een kleurzinstoornis kan beperkingen inhouden wat betreft de schoolse loopbaan, het beroepsleven, de vrijetijdsbesteding, kortom kleurzin speelt een rol in alle facetten van het dagelijkse leven. Uit de literatuurstudie blijkt dat we een onderscheid kunnen maken tussen een 4-tal kleurtaken die in het dagelijkse leven van belang zijn: 1/ kleur kan gebruikt worden als identificatiemiddel (denotatieve kleurtaken), 2/ of als middel om informatie te coderen (connotatieve kleurtaken); 3/ kleur kan ook aangewend worden op een esthetische manier (esthetische kleurtaken); 4/ en tenslotte kunnen kleuren met elkaar vergeleken worden (vergelijkende kleurtaken).

Deze kleurtaken duiken op in het dagelijks leven, de schoolse loopbaan en het professionele leven. Zij kunnen ook maken dat iemand met een bepaalde kleurzinstoornis begrensd wordt in zijn mogelijkheden. Denken we maar aan wettelijke vereisten wat betreft kleurzinvermogen bij piloten, officieren ter lange omvaart of spoorwegpersoneel met een veiligheidsfunctie. In mindere mate ondervinden bijvoorbeeld ook electriekers, artsen, schilders, chauffeurs e.a. problemen door hun kleurzinstoornis, alhoewel zij niet door wetten worden verhinderd om hun job of hobby uit te oefenen.

De Ishihara-test is de meest gebruikte screeningstest voor kleurzinstoornissen. De meest complete editie omvat 38 platen, alhoewel men bij screening veelal een beperkte selectie van platen gebruikt. De Ishihara-handleiding beveelt een selectie van 13 of 6 platen aan. In het CLB wordt momenteel de 13-platen versie gehanteerd. Uit de literatuur en uit een vorig onderzoek (1) bleek dat deze 13-platen versie een aantal gebreken vertoont, vooral bij afname op jonge leeftijd. Een betere optie is misschien een kortere versie te gebruiken als screeningstest. Een aantal praktische tips om Ishihara-platen af te nemen en te interpreteren worden beschreven.

In een eigen onderzoek werd vervolgens de bruikbaarheid en betrouwbaarheid van een verkorte Ishihara-test - bestaande uit 7-platen - als screeningsinstrument voor kleurzinstoornissen in het CLB onderzocht. Dit onderzoek werd uitgevoerd bij 481 kinderen (230 jongens en 251 meisjes) uit het eerste leerjaar in de regio Gent. In een eerste fase werden alle leerlingen door CLB-verpleegkundigen in het kader van het klassieke CLB-onderzoek in het eerste leerjaar gescreend met een verkorte 7-platen Ishihara-test. Honderd

en vier (21,6%) van de 481 gescreende kinderen maakten hierop één of meerdere fouten, waarvan 55 jongens en 49 meisjes. Deze kinderen en hun ouders werden uitgenodigd om mee te werken aan de tweede fase van het onderzoek.

Dertig (14 jongens en 16 meisjes) werkten mee aan deze tweede fase en werden door Dhr. A. Uvijls en Dr. Bart Leroy van het UZ-Gent onderzocht met behulp van een uitgebreide testbatterij van kleurzintesten (gouden standaard onderzoek voor diagnose van congenitale dyschromatopsie).

Van deze 30 kinderen bleken zes jongens kleurgestoord te zijn.

Uit de overige resultaten van dit onderzoek blijkt dat de gebruikte selectie van 7 Ishihara-platen bruikbaar kan zijn als CLB-screeningsinstrument, mits aandacht voor een aantal punten:

1/ de manier van testafname moet beter vastgelegd worden; 2/ de leeftijd van afname moet herbekeken worden: in het eerste leerjaar zijn de cijfers nog niet goed gekend bij alle leerlingen en worden er veel fouten gemaakt die niet te wijten zijn aan een kleurzinstoornis. De 7-platenselectie blijkt alleszins een beter screeningsinstrument op jonge leeftijd te zijn dan de huidige 13-platenselectie; 3/ een cut-off waarde voor de 7-platenselectie moet vastgelegd worden om normaal kleurzienden en vermoedelijke kleurgestoorden van elkaar te onderscheiden. Uit de literatuur blijkt dat het bijzonder moeilijk is om een duidelijk afkappunt te definiëren. Uit de analyse van onze onderzoeksgegevens wordt wel duidelijk dat men hierbij vooral met de fouten, die als typisch voor personen met een kleurzinstoornis worden beschouwd, zal moeten rekening houden.

## Inleiding

Een aangeboren kleurzinstoornis komt in Westerse populaties relatief frequent voor: 8% van de mannen en 0,4% van de vrouwen bezit deze afwijking. Het merendeel van de kleurzingestoorde mensen geven aan dat zij geen al te grote problemen ondervinden in het dagelijkse leven. Zij ontwikkelen copingstrategieën om met de beperkingen van hun kleurzinstoornis om te gaan en worden hierdoor weinig gehinderd.

Het hebben van een kleurzinstoornis kan hen echter door middel van wetten of door praktische problemen de toegang tot bepaalde beroepen ontzeggen. Zo kunnen mensen met een niet adequate kleurzin bv. geen 'Officier ter lange omvaart' (zeg maar kapitein of stuurman op een schip) worden. Verscheidene andere functies of jobs, waarin het hebben van een kleurzinstoornis een gevaar kan inhouden voor andermans of eigen lijf en leden, zijn voor personen met een kleurzinstoornis niet toegankelijk. Ook in andere jobs kunnen zij praktische moeilijkheden ondervinden, zoals een elektrieker die moeilijkheden heeft bij het onderscheiden van kleurgecodeerde weerstanden op een printplaat.

Daarom is het belangrijk dat men zich vroegtijdig van een aangeboren kleurzinstoornis bewust is, met name op het ogenblik dat men zich oriënteert naar een bepaalde studiekeuze en/of beroepskeuze. Zo kan men mislukkingen en ontgoochelingen in een later stadium voorkomen en al in een vroeg stadium strategieën leren ontwikkelen om met deze beperking adequaat om te gaan.

Een CLB is de aangewezen setting om alle kinderen systematisch op jonge leeftijd te screenen op een kleurzinstoornis. Momenteel wordt hiervoor gebruik gemaakt van de Ishihara-test.

Van deze test zijn er verschillende versies beschikbaar, waarvan deze met 38 platen de meest complete editie is. In het CLB wordt een verkorte editie gebruikt, bestaande uit een selectie van 13 platen. Volgens de richtlijnen ontwikkeld door de VWVJ dienen alle leerlingen uit het eerste leerjaar aan deze verkorte versie van de Ishihara-test onderworpen te worden.

In dit eindwerk wordt in een literatuurstudie nagegaan in hoeverre het hebben van een kleurzinstoornis een handicap betekent in het dagelijkse leven en in het beroepsleven. Daarna volgt een uitgebreide bespreking van de verschillende Ishihara-edities (hoofdstuk opgesteld door Dr. Cécile Guérin).

In het onderzoeksdeel van deze thesis wordt vervolgens bekeken in hoeverre men een andere verkorte Ishihara-versie - bestaande uit slechts 7-platen - zou kunnen aanwenden als screeningsinstrument in het eerste leerjaar. Deze verkorte Ishihara-test wordt dan vergeleken met een gouden standaard, namelijk een testbatterij van 5 kleurtesten afgenomen in het UZ-Gent door specialisten op het vlak van kleurzinstoornissen. De bevindingen van ons onderzoek worden beschreven en besproken.

Tot slot proberen we conclusies te trekken uit de voorgenoemde gegevens en nieuwe aanbevelingen te formuleren voor het screenen op kleurzinstoornissen in de CLB's.

## Basisprincipes ivm kleurzin en kleurzinstoornissen

In dit eindwerk wordt een aantal basisbegrippen rond kleuren en kleurzinstoornissen gebruikt. Daarom worden deze hier nog eens kort toegelicht. Het is een samenvatting uit de literatuurstudie van Meredith Verlooy, die vorig jaar een eindwerk over dit onderwerp maakte (1). In onderstaande tekst wordt regelmatig naar de resultaten van deze studie verwezen.

Een **kleur** wordt gekarakteriseerd door 3 kenmerken:

- Helderheid: De hoeveelheid energie die uitgaat van een kleur (zijnde een lichtbron of een object dat licht reflecteert) bepaalt de helderheid (of luminantie) ervan.
- Kleurtint: Deze wordt bepaald door de dominerende golflengte van een kleur.
- Saturatie: Dit komt overeen met de term zuiverheid. Een kleur heeft de hoogste saturatie wanneer zij bestaat uit één golflengte: dan is er sprake van een zuiver spectrale kleur. Wanneer er meerdere golflengten (of meer wit licht) aan toegevoegd worden, daalt de saturatie.

De **kleurendriehoek** geeft een voorstelling van alle kleuren in een plat vlak en werd in 1931 door de Commision Internationale de l'Eclairage (CIE) gestandaardiseerd. Hiervoor werd voor elke bestaande kleur genoteerd hoeveel van de drie primaire kleuren (rood, groen en blauw) nodig was om ze na te maken. Door wiskundige omzettingen van deze hoeveelheden konden alle kleuren geplot worden op een kleurendiagram (zie fig. 1). Op deze zogenaamde kleurendriehoek liggen alle zuivere spectrale kleuren op een paraboolvormige spectrumkromme terwijl alle kleuren binnen deze kromme mengkleuren zijn. In het centrum is het witte licht aangegeven, ook C-licht genoemd (komt overeen met gemiddeld daglicht).

Het menselijke **kleurzinvermogen**:

Het netvlies is het lichtgevoelige element van het oog en kan eigenlijk beschouwd worden als een deel van de hersenen: aan de achterkant van het netvlies liggen de lichtgevoelige cellen (fotoreceptorcellen).

Er bestaan twee soorten fotoreceptorcellen: de staafjes en de kegeltjes. De staafjes zijn het meest gevoelig voor activatie door lichtstralen en zijn verantwoordelijk voor het zicht bij zeer zwakke verlichting. De kegeltjes zijn veel minder gevoelig voor activatie door lichtstralen, maar zijn verantwoordelijk voor het scherpe zicht en voor het waarnemen van kleuren.

De kegeltjes kunnen onderverdeeld worden in drie types, die elk door licht van een andere golflengte wordt geactiveerd.

- Blauwe kegeltjes: activatie door licht van 430 nm golflengte (blauw licht).
- Groene kegeltjes: activatie door licht van 530 nm golflengte (groen licht).

- Rode kegeltjes: activatie door licht van 560 nm golflengte (rood licht).

Iedere kleurtint binnen het zichtbare licht is samengesteld uit de drie primaire kleuren.
Bij een normaal kleurziend persoon (ook trichromaat genoemd) kan gelijk welke kleur door de hersenen waargenomen worden door de relatieve bijdrage van activatie door de blauwe, groene en rode kegeltjes op te tellen.

Bij **kleurzinstoornissen of dyschromatopsieën** kan de persoon moeilijk onderscheid maken tussen verschillende kleuren doordat het oog minder gevoelig of totaal ongevoelig is voor één of meerdere primaire kleuren.
Men kan het trichromatisch systeem voorstellen door de symbolen R (rood), G (groen) en B (blauw) voor de drie primaire kleuren. In geval van verminderde gevoeligheid voor een bepaalde kleur, wordt dit aangeduid met een kleine letter, in tegenstelling tot een hoofdletter wanneer het normaal is, en een "-" in geval van ongevoeligheid.
We kunnen onderscheid maken tussen twee groepen afwijkingen, namelijk de congenitale en de verworven kleurzinstoornissen.
Hierbij bekomen we de volgende indeling:

**1. congenitale dyschromatopsieën (Tabel 1):**

Personen met de *complete vorm van achromatopsie* nemen totaal geen kleuren waar. Zij zien de wereld als in een zwart-wit film, waarbij de kleuren enkel waargenomen worden als zwart, wit en een gamma van grijstinten. Typische achromatopsie gaat ook gepaard met een verminderde visus tot ongeveer 1/10, nystagmus en fotofobie.

*Monochromaten* kunnen slechts één primaire kleur waarnemen. Er zal een kleurenspectrum bestaan tussen de waargenomen kleur (rood, groen of blauw) en grijs.

*Dichromaten en anomale trichromaten* worden gekenmerkt door het feit dat bij hen één type van kegeltjes helemaal niet of onvoldoende geactiveerd wordt. Hierdoor zien ze één van de drie primaire kleuren (hetzij rood, groen of blauw) op een min of meer abnormale wijze. Bij het waarnemen van mengkleuren wordt de betrokken primaire kleur niet of onvoldoende vertegenwoordigd, hetgeen leidt tot het waarnemen van een andere tint. Daardoor maken zij kleurverwisselingen binnen het hele spectrum, eigen aan hun type: een anomale trichromaat vergist zich met onverzadigde kleuren (=kleuren waarbij naast de dominante golflengte ook wit licht gemengd is), terwijl dichromaten ook moeilijkheden ondervinden bij verzadigde kleuren (zuiver spectrale kleuren).

De manier waarop personen met verschillende kleurzinstoornissen het kleurenspectrum waarnemen, is geïllustreerd in figuren 2 en 3.

Tabel 1: samenvatting van de verschillende types congenitale dyschromatopsieën

| | **Anomale trichromaten** | **Dichromaten** | **Monochromaten** | **Achromaten** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Incomplete vorm | Complete vorm |
| **Protanstoornis (rood)** | Protanomalie (r,G,B) | Protanopie (-,G,B) | Rode kegel-monochromaten (R,-,-) | (r,-,-) | (-,-,-) =kleuren-blindheid |
| **Deutanstoornis (groen)** | Deuteranomalie (R,g,B) | Deuteranopie (R,-,B) | Groene kegel-monochromaten (-,G,-) | (-,g,-) | |
| **Tritanstoornis (blauw)** | Tritanomalie (R,G,b) | Tritanopie (R,G,-) | Blauwe kegel-Monochromaten (-,-,B) | (-,-,b) | |

**2. Verworven dyschromatopsieën:**

Naast congenitale dyschromatopsieën kunnen talrijke oogaandoeningen ook gepaard gaan met veranderingen in het kleurenzicht. Volgens de zogenaamde Verriest-classificatie kunnen deze kleurzinstoornissen in drie types ingedeeld worden:.

- Type I: Verworven rood-groenstoornis bij retinale aandoeningen
- Type II: Verworven rood-groenstoornis bij aandoeningen van de nervus opticus
- Type III: Verworven blauw-geelstoornis bij retinale aandoeningen

In tegenstelling tot de congenitale vormen zijn bij de verworven kleurzindefecten de afwijkingen voor blauw-geel meer frequent dan voor rood-groen.

Verworven kleurzinstoornissen kunnen ook aan één oog voorkomen, terwijl de congenitale vormen steeds bilateraal zijn.

# DEEL 1: LITERATUURONDERZOEK

## 1. Inleiding

Bedoeling van dit literatuuronderzoek is om na te gaan wat de invloed is van een kleurzinstoornis in het dagelijkse leven. Het dagelijkse leven omvat de schoolse loopbaan, het functioneren in de maatschappij, in het beroepsleven en ook in de vrijetijdsbesteding. Vragen hierbij zijn: 1/ welke invloed heeft de beperking van kleuren zien bij iemand en in welke mate deze beperking ook een echte handicap kan vormen; 2/ welke grenzen worden er gesteld aan personen met dergelijke beperking (bvb op het professionele vlak), en zijn deze maatregelen voldoende wetenschappelijk onderbouwd; 3/ welke wetenschappelijke literatuur bestaat er over de invloed van kleurzinstoornissen, bvb wat betreft het besturen van een auto of een vliegtuig, het uitoefenen van belangrijke functies zoals arts, brandweerman, elektrieker,…

Omdat in het CLB sinds decennia Ishihara-tests worden gebruikt voor de bepaling van kleurzin bij schoolkinderen, en de 13- en 7-platenversies voorwerp zijn van eigen onderzoek, werd bijkomend literatuuronderzoek verricht over de testeigenschappen van de Ishihara-test in zijn verschillende versies. Dit onderdeel van het literatuuronderzoek werd verricht door Cécile Guérin in het kader van de implementatie van de standaard visus. Dit is complexe materie, die de oorsponkelijke doelstelling van dit eindwerk overstijgt, maar wel essentieel is om de eigen onderzoeksgegevens kritisch te kunnen evalueren. Daarom werd het resultaat van haar literatuuronderzoek integraal in dit eindwerk opgenomen.

## 2. Methode

Voor het uitvoeren van deze literatuurstudie werd gebruik gemaakt van Medline en in beperkte mate ook van ERIC (=Education Resources Information Center (www.eric.ed.gov)). Voor het opzoeken van bepaalde stukken Belgische wetgeving werd beroep gedaan op de Kruispuntbank Wetgeving. Sommige artikels die teruggevonden werden in referenties van andere artikels en moeilijk te vinden waren in bovengenoemde databases werden ook via Google-wetenschap opgezocht. Soms werd er ook gezocht naar specifieke rapporten in de database van het Office of Aerospace Medicine.
Medline werd geraadpleegd deels via Pubmed maar ook deels via de Medline van de biomedische bibliotheek van de K.U.Leuven, via Internet en in de biomedische bibliotheek van de K.U.Leuven zelf. Dit had als voordeel dat dadelijk zichtbaar was waar de geselecteerde

artikels zich bevonden. Tegelijkertijd konden sommige artikels ook rechtstreeks gedownload worden.
In tweede tijd werd hiervoor ook een stuitercode aangevraagd, waarmee alle artikels die elektronisch toegankelijk zijn via de biomedische bibliotheek van de K.U.Leuven van thuis uit geraadpleegd konden worden. Dit paswoord geeft toegang tot alle artikels uit Pubmed die gemarkeerd zij met “full text available at MGAS”, als je de Pubmed-versie raadpleegt van de biomedische bibliotheek van de K.U.Leuven, die gesitueerd is in UZ Gasthuisberg. Om artikels op te zoeken die niet in Gasthuisberg aanwezig waren, werd gebruik gemaakt van het programma Antilope, een database met daarin alle tijdschriften en de plaats waar zij zich bevonden.
ERIC is een zoekmachine op het internet, vergelijkbaar met Pubmed, waarvan de database echter enkel artikels van tijdschriften aangaande onderwijs bevat.
Een derde online database die gebruikt werd was de kruispuntbank wetgeving op www.juridat.be.
Op de campus van UZ-Gent werd er ook gezocht op computers van de centrale medische bibliotheek en werden de artikels opgehaald op de lokale bibliotheken van de verschillende campussen (oftalmologie, neurologie,…).
Aanvankelijk werd er een tijdslimiet tot 1980 gehanteerd, die in tweede search echter werd verlaten om ook oudere interessante artikels in de literatuurstudie te kunnen includeren.
De volgende “keywords” werden gebruikt: ‘color blindness’, ‘abnormal color vision’, ‘color vision and handicap’, ‘color and profession’ en “colour vision deficit”.
Er werden ook artikels opgezocht aan de hand van referenties in andere artikels. Verder werden in Pubmed interessante artikels opgezocht via de functie ‘related articles’.
Een aantal artikels werd op de website van het tijdschrift zelf in “full text” opgehaald (o.a. Clinical Experimental Optometry BMJ).

## 3. Resultaten

### 3.1 Inleiding

In 1988 onderzochten Steward en Cole welke problemen kleurzingestoorden ondervinden (2) (figuur 4). Zij ondervroegen 102 mensen met een kleurzinstoornis en vergeleken deze met 102 mensen met een normale kleurzin. Negentig procent van de dichromaten en tot 2/3 van de anomale trichromaten verklaarden problemen in het dagelijkse leven te ervaren met taken die aanspraak maken op hun kleurzin. Bijna de helft van de dichromaten en ongeveer 1/5 van de anomale trichromaten gaf problemen te hebben met verkeerslichten, en een even grote

groep maakte melding van moeilijkheden in hun huidige werksituatie. Een groot aantal respondenten gaf aan dat de kleurzinbeperking hun carrièrekeuze had bepaald (bij 43% van de dichromaten en bij 29 % van de anomale trichromaten) en dat het hen ook had uitgesloten van bepaalde jobs (bij 24% van de dichromaten en bij 23% van de anomale trichromaten). De auteurs besloten hieruit dat screening op school en carrièreconsulting bij kleurzingestoorde personen aangewezen is. De hoeveelheid problemen die de kleurzingestoorde ondervraagde personen ondervonden was gerelateerd aan de ernst van hun kleurziendefect. De klinische tests, zoals de Farnsworth D15 en de Nagel-anomaloscoop, waren echter geen perfecte prediktoren voor het al dan niet ervaren van problemen in het dagelijkse leven.

In deze literatuurstudie willen we ons beperken tot een bespreking van de kleurtaken die in het dagelijkse leven van belang zijn, met name: 1/ denotatieve kleurtaken (waarbij kleur een identificatiemiddel vormt, bvb kleurrijke tenues van sportteams), 2/ connotatieve kleurtaken (waarbij kleur gebruikt wordt om bepaalde informatie te coderen, bvb signaallichten), 3/ vergelijkende kleurtaken (gebaseerd op fijne kleurziendiscriminatie, bvb bij verf mengen en matchen) en 4/ esthetische kleurtaken (bvb decoratie of kunstschilder). Deze taken komen voor zowel in het dagelijkse leven als in het beroepsleven, en ze kunnen botsen met de beperking van een kleurzinstoornis.

De gepubliceerde studies zijn soms moeilijk vergelijkbaar en leveren soms tegenstrijdige resultaten. Mijns inziens kan dit grotendeels verklaard worden door de verschillen in samenstelling van de steekproef, met wisselende vertegenwoordiging van de verschillende types en ernst van kleurzinafwijkingen bij de deelnemers. Daarenboven bestaan er interindividuele verschillen in sensibiliteit voor helderheid, die verantwoordelijk zijn voor een grote waaier aan klinische beelden bij kleurzingestoorden.

## 3.2 Invloed van een kleurzinstoornis op denotatieve kleurtaken

### 3.2.1 Kleur als herkenningsmiddel

Kleur wordt vaak gebruikt op een denotatieve manier om een object te identificeren bijv. “de rode wagen is mijn wagen”, of “steek dit papier in het gele dossier”. In die zin dient men kleuren te kunnen benoemen en herkennen om ze gebruiken als identificatiemiddel. Personen met een abnormale kleurzin kunnen moeilijker op een betrouwbare manier kleurnamen associëren met gekleurde objecten, voornamelijk omdat vele kleuren er voor hen hetzelfde uitzien. Voor Dalton leek meer dan 200 jaar geleden de kleur van de rode stopwas hetzelfde

als het geelgroen van een laurierblad. Bovendien hebben personen met een kleurzinstoornis het bijkomende probleem dat het uitzicht van een kleur op een dramatische manier kan veranderen onder invloed van de belichting. Voor Dalton leek de kleur van de bloemen van de Pelargonium Zonale hemelsblauw bij daglicht, maar bij kaarslicht veranderde de kleur van de bloemen in geel met een schijntje rood erin (3).
Een verandering van belichting van daglicht naar kaarslicht kan voor de dichromaten betekenen dat zij blauwe kleuren als geel gaan zien. Dit zorgt ervoor dat zij kleur niet op een betrouwbare manier kunnen gebruiken als identificerend kenmerk. Kleur wordt bijv. ook gebruikt als een identificeerder in politiewerk. Cole beschrijft hoe een arts van de Los Angeles Police Department hem een brief stuurde met daarin de antwoorden van vier kandidaten voor een job bij de politie. Allen hadden een abnormale kleurzin en hij had hen onderworpen aan een praktische test wat betreft hun capaciteiten om kleuren te benoemen. Hij ging samen met hen in daglicht door de straten wandelen en zij moesten hem de kleuren geven van de wagens, kledij en gebouwen. De vier kleurzingestoorde aspirant-politieagenten maakten verscheidene fouten. Zij benoemden zwart als donkergroen, grijs als groen of roze, lichtgroen als grijs of zilver, lichtbruin werd als groen benoemd en donkergroen als zwart. Zelfs blauw, een kleur waarvan men zou verwachten dat ze minder moeilijk te benoemen is, werd benoemd als zilver of groen (4).

### 3.2.2 Kleur op school

Kleur wordt vaak gebruikt als een **didactisch middel** op school. Soms wordt het gebruikt om iets te identificeren, in andere omstandigheden om een aantal objecten te groeperen, of om bijv. structuur aan te brengen in de inhoud die men wil doorgeven. Het wordt ook aangewend om objecten van eenzelfde groep aan te duiden in dezelfde kleur, zoals bijvoorbeeld frequent wordt toegepast in de wiskunde. Gattegno populariseerde het gebruik van kleuren bij elementaire wiskunde door het ontwikkelen van een methode, waarin gekleurde lijnen worden gebruikt om getallen en mathematische relaties aan te duiden. Het is te verwachten dat kinderen met een abnormale kleurzin problemen zullen hebben met kleurzien op school en het is ook goed mogelijk dat deze problemen het leren op een negatieve manier beïnvloeden (4).
Wilkinson maakte een literatuuroverzicht van de eventuele **cognitieve en de sociaal-emotionele ontwikkelingsproblemen** van kleurzingestoorde kinderen. De meeste, door hem geïnventariseerde studies, waren echter beperkt qua opzet. Sommige studies vertoonden verschillen in intellectueel en emotioneel functioneren tussen kinderen met en zonder kleurzinstoornis. In andere studies werd geen verschil gevonden. In het artikel van Wilkinson werd o.a. verwezen naar een ander studie van Cobb uit 1980 waar elf kinderen met een

kleurzinstoornis uit het 4de leerjaar werden vergeleken met elf kinderen zonder kleurzinstoornis. Zij werden vergeleken wat betreft neurotisme en extraversie, introversie, met behulp van de Eysinck Personality Inventory. Cobb vond geen verschillen tussen beide groepen (5). Je kan je ook afvragen of deze groepen wel groot genoeg waren om dergelijke verschillen in de persoonlijkheid op een betrouwbare manier te kunnen detecteren. Cobb was bang voor de negatieve consequenties wanneer het voor gans de klas duidelijk zou worden dat een bepaald kind een kleurzinstoornis zou hebben. Dit zou eventueel kunnen leiden tot pestgedrag en het zelfbeeld van het kind kunnen beschadigen. In een oudere studie van Espinda uit 1973 werd gevonden dat kleurdeficiënte kinderen gemakkelijker dan normaalziende kinderen geplaatst werden in klassen voor emotioneel moeilijke kinderen (Cobb, 1980; Espinda, 1973).(4;6;7)

Er bestaan ook nog andere studies rond het **schools en academisch presteren** van kleurzingestoorde kinderen. Gallo beschrijft in zijn artikel in '98 hoe hij in Liguria, Italië, een onderzoek deed op 3.124 jonge kinderen van het lager secundair onderwijs. Hij testte de leerlingen met de Ishihara-test en de Farnsworth-D15-test. Hiervan bleken 152 (4,87 %) leerlingen kleurzingestoord te zijn. Hij vergeleek 82 van deze 152 kleurzingestoorde proefpersonen met 82 normaal kleurziende proefpersonen en hij paarde ze volgens leeftijd. Er werden significante verschillen in schoolresultaten gevonden voor Italiaans, geschiedenis, aardrijkskunde, wiskunde, fysica, technische vakken, vreemde talen en muziek, doch er was geen verschil wat betreft de vakken plastische opvoeding en lichamelijke opvoeding. Dit laatste is natuurlijk wel ongewoon en onverwacht. Gallo verklaart dit gebrek aan verschil vanuit het idee dat in het vak plastische opvoeding vooral punten gegeven worden op basis van het concept originaliteit, en de herkenning van kleuren op zich niet getoetst wordt (8).

Lampe en zijn collega's vergeleken 7000 kinderen uit de kleuterklas en het eerste leerjaar uit Denver, V.S., met behulp van de Stanford Achievement tests waarbij taal, rekenen en andere schoolse vaardigheden werden getest. Op geen enkele subtest scoorden de kleurzingestoorde kinderen (n=87) verschillend van de normaal kleurziende kinderen (9).

In een cohorte-studie van Cumberland uit 2004 werd een groot Brits schoolcohort (geboren in 1958) onderzocht (n=12.534). In deze studie waren 431 van de 6.422 jongens en 68 van de 6.112 meisjes kleurzingestoord. Er werd gecontroleerd voor geboortewicht, sociale klasse bij geboorte, gezinsgrootte en opleiding van de ouders. Na controle bleek dat kleurzingestoorde kinderen het even goed deden op het gebied van leren zowel tijdens hun schoolperiode als ook erna. Blijkbaar ontwikkelen volgens Cumberland en collega's de meeste kleurzingestoorde proefpersonen **effectieve adaptieve strategieën**, zodat zij kunnen omgaan met mogelijke beperkingen in hun professionele en schoolse loopbaan die het gevolg zijn van hun kleurzindefect (10).

In een anekdotisch verslag van Snyder, komt wel naar voor dat de auteur het gevoel heeft dat de **ontwikkeling van zijn zelfbeeld** bemoeilijkt werd door zijn kleurzinstoornis. Hij beschreef zijn ervaringen als een kleurzingestoorde kleuter, die door de peuterjuffrouw gedrild werd om de namen van de kleuren te leren. Deze kleuterjuffrouw was zo gefrustreerd in haar gebrek aan succes, dat ze hem angstig deed voelen. De auteur was erg blij dat zijn kleurzinstoornis vroeg gediagnosticeerd werd in de kleuterschool en dat hij snel andere "cues" leerde te gebruiken om kleuren correct aan te duiden. Hij leerde bijvoorbeeld snel dat de kleur van gras bruin was in de winter en groen in de zomer alhoewel hijzelf het verschil niet kon zien (11).

### 3.2.3 Kleur als organiserend element bij complexe displays

Kleur wordt vaak op een denotatieve manier gebruikt om complexe visuele displays te organiseren. Bij deze toepassingen wordt er geen individuele specifieke betekenis met de kleur geassocieerd, maar dient de kleur enkel en alleen om te organiseren, af te lijnen of bepaalde elementen van de display te benadrukken. Complexe visuele voorstellingen kunnen zowel voorkomen op papier, waarbij kleur gebruikt kan worden om bepaalde tekstvakken te omlijnen, of waarbij kleur kan gebruikt worden om bepaalde onderwerpen die gegradeerd zijn aan elkaar te linken. Kleur wordt bijvoorbeeld zo aangewend bij complexe visuele displays op voorstellingen op computerschermen. De elektronische vluchtinstrumentsystemen die gebruikt worden in de luchtvaart zijn kleurgecodeerd maar niet noodzakelijk met een toegewezen betekenis. De kleur wordt gebruikt als een **redundante of surplus aanbrenger van informatie**. Met redundantie bedoelt men dat informatie op meer dan één manier gecodeerd en weergegeven wordt, zodanig dat als je de informatie van een rood verkeersstoplicht bv. niet kan afleiden van de kleur rood omdat je de kleur niet kan onderscheiden, dat je dan nog beseft dat je moet stoppen omdat het het bovenste licht is van de drie dat brandt.
Bij sommige vluchtinstrumenten, zoals displays van navigatievluchtinstrumenten, vermindert deze procedure het maken van fouten en versnelt het ook de responstijd om informatie af te leiden uit complexe displays.
Cole en Mac Donald toonden in een onderzoek met 18 proefpersonen met een kleurzinstoornis en 24 kleurziende proefpersonen aan, dat de kleurzingestoorde proefpersonen significant meer fouten maakten en ook trager waren dan normaal kleurziende proefpersonen bij dergelijke taken. Dit suggereert dat kleurzingestoorde proefpersonen trager zijn en meer fouten zullen maken wanneer zij informatie moeten afleiden van complexe visuele displays die georganiseerd worden met behulp van kleur (12).

### 3.2.4 Kleur als zoekstrategie

Het is duidelijk dat kleur een hulpmiddel kan zijn bij het visueel zoeken van een voorwerp. Soms komt het voor dat een gekleurd object er bij een complex visueel tafereel door zijn kleur duidelijk uitspringt en duidelijk herkenbaar is. Men denkt dat dit te maken heeft met de parallelle verwerking van kleur en vorm. Het is dan ook te verwachten dat personen met een kleurzinstoornis minder goed zullen zijn bij het visueel zoeken wanneer kleur één van de kenmerken is van het te zoeken voorwerp.

O'Brien en collega's toonden aan dat deuteranopen minder gemakkelijk kleurgecodeerde **wegsignalen** konden onderscheiden dan normale kleurziende proefpersonen. Aan proefpersonen werden foto's getoond van wegsituaties. Zij merkten minder gemakkelijk rode, oranje en groene wegsignalen op, in vergelijking met normaal kleurziende proefpersonen, maar gele en blauwe wegsignalen werden even vaak opgemerkt. Het is ook consistent met het inzicht dat deuteranopen geel en blauw wel degelijk kunnen zien, zodat wegsignalen gemarkeerd met deze kleuren even gemakkelijk worden opgemerkt door hen als door normale kleurziende proefpersonen (13).

Cole, Maddocks en Sharp vergeleken 6 normaal kleurziende proefpersonen met 29 kleurzingestoorde proefpersonen. Zeven waren protanoop, 6 waren deuteranoop, 7 waren protanomaal en 9 waren deuteranomaal. De proefpersonen werden geïnstrueerd om een **diamantvormig object te vinden** in een achtergrond van 138 afleidende karakters met verschillende vormen, en om zo snel mogelijk zijn positie aan te geven (Fig.5). Het op te sporen doel-karakter, de diamant was redundant kleurgecodeerd met rood, geel, groen, blauw of wit. De karakters, de vormpjes die als afleiders fungeerden hadden dezelfde kleuren, in verschillende combinaties. Het op te sporen diamantje was in sommige presentaties hetzelfde kleurgecodeerd als de afleiders en in andere presentaties had het diamantje en de afleidende objecten verschillende kleuren. Soms hadden de afleiders één verschillend kleurtje, soms meerdere. In het eerste soort experimenten werd de voorstelling gedurende 20 seconden gepresenteerd en werd de zoektijd voor het diamantje gemeten. In het tweede experiment was de toontijd 500 milliseconden en werd er gemeten welke proportie van diamantjes er correct werd benoemd. Wanneer het doel een unieke kleur had, verminderde de zoektijd significant, maar dit voordeel verdween wanneer sommige van de afgelijnde objecten dezelfde kleur hadden als het doel. Proefpersonen met een kleurzinstoornis hadden aanzienlijk langere zoektijden nodig en de gekleurde proportie van doelen werden minder goed opgemerkt in vergelijking met normaal kleurziende proefpersonen. De unieke kleurcodering hielp hen wel in hun zoeken vooral wanneer de te zoeken doelen rood, wit of blauw gekleurd waren. De auteurs besluiten dat personen met een abnormale kleurzin niet

zouden tewerkgesteld mogen worden in beroepen waar visuele zoekstrategie wordt gebruikt als een belangrijke taak (14).
Ook bij het bestrijden van **bosbranden** wordt kleur soms gebruikt als zoekstrategie. Kleur als zoekstrategie is belangrijk om de rode brandvoertuigen terug te vinden tussen de groene en bruine boskleuren. Een belangrijke factor in het omkomen van brandweermannen bij bosbranden is het verlies van visueel contact met de brandweerwagen. In die zin is het ook belangrijk dat brandweermannen een normale kleurzin hebben (15).

### 3.2.5 Kleur in sport

Kleur wordt vaak gebruikt in sport om bijv. de spelers van een ploeg aan te duiden door het dragen van hetzelfde kleur van hun sportkledij. Sommige snookerballen zijn ook verschillend gekleurd en de kleur van de bal kan in sommige sporten (bv. cricket, golf of voetbal) bepalen in hoeverre een bal gezien wordt t.o.v. zijn achtergrond.
In een studie van Steward en Cole uit 1989 beschrijft 1 op 4 van de kleurzingestoorde proefpersonen problemen met **sportactiviteiten**. Typische problemen waren het verwisselen van personen tussen de teams omdat sporters met een kleurzinstoornis de kleur van de uniformen van beide teams niet van elkaar konden scheiden. Andere problemen waren het uit het zicht verliezen van oranje golfballen in het gras en het verwisselen van rode voor bruine snookerballen (2).
Goddard en Coull screenden 280 **cricket**spelers uit de Engelse eerste klasse met de Ishihara test en vonden dat slechts 12 spelers (4 %) een abnormale kleurzin hadden. Dit is significant verschillend van de te verwachten 8% bij blanke, Caucasische mannen. Dit is suggestief voor een proces van zelfselectie. Er was ook een trend naar een lager slaggemiddelde voor de kleurzingestoorde cricketspelers maar het verschil was niet significant. Goddard was gemotiveerd om het onderzoek te doen omdat hij zelf kleurzingestoord is en vooral met cricket problemen ondervond, maar niet bij andere balsporten (16).
Harris en Cole beschrijven de problemen bij 5 cricketspelers die allen een milde deuteranomalie hadden. Alle 5 rapporteerden voorvallen waarbij zij het zicht op de rode bal hadden verloren tegen de achtergrond van het groene gras (Fig. 6). Eén van hen beschrijft het verliezen van een punt omdat hij het zicht op de rode bal verloren was tegenover de achtergrond van een groen truitje. Een andere speler beschrijft hoe het voor hem moeilijker was om te spelen in Engeland in vergelijking met in Australië, en hij wijt dit aan het feit dat de velden in Engeland groener zijn (17).
De Medmont C100-test meet de relatieve helderheid van rood licht en wordt gebruikt om een klinisch onderscheid te maken tussen protans en deutans. Deze test kan ook gebruikt worden

om dragers te identificeren van het protan-gen door **Schmidt's sign** te detecteren. Dit is een klinische reductie in relatieve helderheid van rood licht die voorkomt bij dragers van het protan-gen. Met behulp van deze test kon bij Bill Ponsford (één van Australië's grootste cricketspelers), via het opstellen van een genogram en het testen op de aanwezigheid van het Schmidt's sign bij een aantal van zijn nog in leven zijnde familieleden, uitgemaakt worden dat hij een protan-kleurzingestoorde persoon was. Dit verhinderde hem echter niet om op hoog niveau te blijven functioneren. Bill Ponsford verklaarde bij leven ooit zelf dat hij nooit de kleur had opgemerkt van de cricketbal alleen de grootte (18).

## 3.3 Invloed van kleurzinstoornis op connotatieve kleurtaken

Met connotatieve kleurtaken bedoelen we kleurtaken waarbij aan kleuren een bepaalde betekenis toegewezen wordt, of waar kleur gebruikt wordt om bepaalde informatie te coderen. Voorbeelden zijn kleuren van signaallichten, kleuren van elektrische bedrading of kleuren als eindpunt van een chemische test. Hieronder vallen ook bijv. de lichaamskleur als teken van een onderliggende ziekte, de kleuren van fruit die rijpheid aanduiden,...

### 3.3.1 Signaallichten

Het testen van kleurzien voor matrozen en spoorwegpersoneel gebeurde voor het eerst in de jaren 1870. **Lantaarntesten** die signaallichten nabootsten werden gebruikt vanaf de jaren 1890. De meeste kleurzingestoorden maken fouten tegen het herkennen van kleuren in signaallichten. In een onderzoek van Vingrys met 100 kleurzingestoorden en 100 normaalzienden bleek 98% van de mensen met een kleurzinafwijking te falen op de Holmes-Wright type B-lantaarntest [1] die de rode-, witte- en groene navigatielichten simuleert van een schip. Zestien procent van de proefpersonen slaagden op de Holmes-Wright type A lantaarntest (19). In een onderzoek van Birch faalden 118 van de 138 mensen met een kleurzinstoornis op de Holmes-Wright type A- lantaarntest (20).
In die zin is het te verwachten dat personen met een kleurzinstoornis meer fouten maken tegen gelijk welk systeem dat signaallichten gebruikt. Maar om hun kleurzinstoornis te compenseren, gebruiken ze meestal ook andere "cues" (bvb de respectievelijke locatie van groene en rode verkeerslichten), wat hen toch in staat stelt om hun kleurzinstoornis te

[1] De Holmes-Wright type-A lantaarntest toont paren van kleuren, verticaal gegroepeerd , terwijl in de Holmes-Wright type-B lantaarntest de kleurenparen horizontaal van elkaar gescheiden zijn. Beiden worden gezien op een afstand van 6 meter. De Holmes-Wright type-A laantaarntest wordt gebruikt door het Engelse leger en de Engelse burgerlijke luchtvaartautoriteiten. De Holmes-Wright type-B lantaarntest wordt gebruikt door de Britse marine en kustwacht.(109)

compenseren en om de signaallichten juist te kunnen interpreteren. Maritieme, trein-, vliegtuig- en autoverkeersignalen zijn vier voorbeelden van signaallichten waarbij kleuren wordt gebruikt. Experimentele studies in nagebootste milieus hebben bevestigd dat kleurzingestoorde personen beduidend trager zijn en meer fouten maken dan normale personen in het identificeren van de kleuren van signaallichten. Dit is nog meer het geval bij lagere lichtintensiteit, grotere afstand of wanneer de observatietijd korter is (21).

*3.3.1.1 Maritieme signalen*

Ondanks de huidige elektronische navigatiehulpmiddelen zoals GPS en radar, is het herkennen van signaallichten van havens, kusten en andere schepen nog steeds onmisbaar. **Signaallichten op zee** hebben dikwijls een lage helderheidsgraad (1 tot 10 microlux) en zij moeten van op een grote afstand, onder verminderde zichtbaarheidsomstandigheden herkend worden. Dit maakt dat het zelfs voor normaal scheepspersoneel vaak lastig is om maritieme signaallichten te herkennen.

Uit onderzoeken met lantaarntesten die rode, groene en witte maritieme signalen simuleren, blijkt dat de geteste kleurzingestoorden meer fouten maakten bij het herkennen van maritieme signalen, met uitzondering van een aantal deuteranomalen (19;20). In de hoger vermelde studie van Vingrys bleek 1/3 van de kleurzingestoorde proefpersonen te slagen in de Farnsworth Lantaarntest en 1/6 in de Holmes-Wright A-Lantaarntest. Slechts twee van de honderd milde deuteranomale proefpersonen slaagden in de Holmes-Wright B-Lantaarntest, in vergelijking met 92 van de honderd normale kleurziende proefpersonen (19). In de studie van Birch slaagden 20 van de 138 kleurzingestoorde proefpersonen in de Holmes-Wright A – Lantaarntest (20).

Dit werd bevestigd in een studie van Kinney, Baulson and Behre, die het herkennen van maritieme lichtsignalen onderzochten bij 81 kleurzingestoorde proefpersonen (28 protans en 53 deutans) onder realistische zeecondities en bij nacht. Zij werden vergeleken met 24 normaal kleurziende proefpersonen. Zij moesten witte, rode, en groene lichtsignalen herkennen van op schepen die zich op één, twee en drie zeemijlen van de kust bevonden. De protangestoorde proefpersonen scoorden over het algemeen minder goed dan de deutans. Het grootste deel van hun fouten kwam voort uit hun onvermogen om de verder afgelegen (zwakkere) rode signalen te zien (Fig. 7). De tweede meest voorkomende fout bij protans was het verwarren van groene en witte lichtsignalen. De individuele verschillen tussen de protancategorieën onderling waren niet zo groot als bij de deutancategorieën. Sommige deutans, zelfs dichromate deutans, konden de tests bijna perfect doen terwijl anderen maar een 50 % of minder correcte score haalden. Dit heeft vermoedelijk te maken met het **interindividuele verschil in sensibiliteit voor helderheid**. Veertig procent van de deutans

en 14 % van de protans deden het even goed als de slechtst scorende normale proefpersonen (22).

Over het algemeen worden kleurzingestoorde personen uitgesloten van wacht te lopen op het dek van een schip, in commerciële context of in de context van het vervullen van een militaire opdracht. David Cockburn, een deuteranomale Australische optometrist, werd tijdens de WOII uitgesloten van het doen van dekwacht bij de Royal Australian Navy op basis van een lantaarntest. Hij had nochtans zijn best gedaan om de Ishihara-screeningtest op voorhand van buiten te leren, doch men had een aantal platen van deze eerste screeningstest verwisseld, zodat hij toch nog een secundaire test moest doen. Later ontwikkelde hij echter een obsessie voor zeilen. Door zijn kleurzinstoornis zonk hij bijna met zijn zeilboot toen hij de rode sector van de Cape Byron-vuurtoren ongemerkt invoer. Hij had het switchen van het licht van de vuurtoren van wit naar rood licht niet opgemerkt en hij had gedacht dat het beperkte verschil in uitzicht van het licht te maken had met een verschil in helderheid te wijten aan de mist. Ook vermeldde hij dat hij bij het uitoefenen van zijn hobby als zeiler, het 's nachts moeilijk heeft om langs een schip te varen op basis van de specifieke posities van de rode en groene signaalzeillichten op het andere schip. In die zin geeft hij de Royal Australian Navy gelijk om hem 's nachts onderdeks te houden (23).

Het lijkt toch wel veiliger om personen die op wacht staan op een schip 's nachts een kleurbatterij-test te laten ondergaan, om te zien wie signaallichten goed kan onderscheiden en wie niet. Alle patiënten met een kleurzinstoornis dienen verwittigd te worden, dat zij eventueel uitgesloten kunnen worden van werk binnen de scheepvaart en dat zij ook fouten zullen maken t.o.v. maritieme signaallichten bij recreationeel varen.

**In België** gelden volgende regels voor schippers, bootsmannen, stuurmannen en matrozen*: 'De kleurzin is voldoende indien de kandidaat normaal de pseudo-isochromatische platen van Ishihara leest of, indien deze test negatief uitvalt, hij correct de platen 12 tot 20 van de Hardy, Rand en Rittlertest (H.R.R. ) leest. Kandidaten die deuteranomaal worden bevonden en die niet voldoen aan bovenvermelde eisen, worden evenwel als geschikt aangezien indien zij met de anomaloscoop een quotiënt vertonen gelegen tussen 0.7 en 3.(24)* ***(KB 02/07/79)***

*3.3.1.2 Treinsignalen*

Treinbestuurders en ook andere spoormensen die betrokken zijn bij treinbewegingen, moeten in staat zijn om rode, gele en groene signalen te onderscheiden van op een afstand tot 1 km, soms onder moeilijke zichtbaarheidsomstandigheden zoals regen of mist (25).

Treinsignalen juist interpreteren is belangrijk voor een veilig treinverkeer. In vergelijking met maritieme lichtsignalen worden treinlichtsignalen waargenomen van op een kortere afstand en hebben zij een grotere helderheid, wat het gemakkelijker maakt voor kleurzingestoorden. Ze

worden echter ook overdag gebruikt tegen de achtergrond van een heldere lucht wat de zichtbaarheid vermindert. Er is ook weinig of geen redundantie aanwezig. De onfortuinlijke keuze van rood en groen als signaalkleuren kan niet zo gemakkelijk veranderd worden. De keuze voor deze kleuren is historisch bepaald en voortvloeiend uit puur technische problemen die men vroeger had om blauwe signalen te genereren met de nodige helderheid (26). Kort na de introductie van het systeem van lichtsignalen bij de spoorwegen vonden ook de eerste **ongevallen** plaats **met treinen**, veroorzaakt door personen met een kleurzinstoornis. In 1897 werd een man betrokken in een treinongeval. Nadien bleek dat hij onderworpen was geweest aan de inefficiënte kleurzintest (met name de Holmgren Wool-test). Later werden meer en meer de Holmes-Wright lantaarntesten gebruikt. Nettleship beschrijft in zijn boekje uit 1913 hoe een Zwitserse treinbestuurder uit de 1870-jaren, die kleurzingestoord was, alleen maar rode signalen kon interpreteren met behulp van zijn stoker. Indien zijn stoker ook kleurzingestoord was, had hij een serieus probleem. Hij leidde de kleur van de signaallichten af met behulp van de lengte van de wiek van zijn olielamp en hij vergeleek hierbij de helderheid van zijn olielamp met die van het signaallicht (27;28).

Hovis en Oliphant vonden dat alle proefpersonen met een kleurzinstoornis (n=74 vs n=81 nl) meer fouten maakten dan de slechtst scorende normaal kleurziende proefpersonen (met uitzondering van een beperkt aantal milde deuteranomalen) wanneer hen gevraagd werd **gesimuleerde treinlichtsignalen** te herkennen op een afstand van 800 m overdag. In een recent onderzoek uit 2000 valideerden Hovis en Oliphant de CNLAN (welke een speciaal voor de spoorwegindustrie ontworpen test is om hun personeel aan een functionele beoordeling te onderwerpen wat betreft hun kleurzindiscriminatie) t.o.v. een gesimuleerde veldtest. Wanneer als cut-off score de slechtste prestatie van de normaal kleurziende proefpersonen (n=81) werd genomen, dan slaagden 97% van de kleurzingestoorde proefpersonen (n=74) niet in de CNLAN en de gesimuleerde veldtest (29).
In een ander, iets ouder onderzoek van dezelfde auteurs werd de Holmes-Wright type A Lantaarntest gevalideerd t.o.v. dezelfde gesimuleerde veldtest. Vierennegentig procent van de kleurzingestoorde proefpersonen (n=70 vergeleken met 81 normaal kleurziende personen) faalden in beide testen. Als cut-off werd hier ook de slechtste score gebruikt van de normale kleurziende proefpersonen (25). De auteurs concludeerden in de twee studies dat de Holmes-Wright type A-lantaarntest en de CNLAN-test goede prediktoren waren om (onveilige) kleurzingestoorde proefpersonen eruit te halen, net zoals de Ishihara-screeningtest wanneer men hierbij 10% fouten als cut-off waarde hanteert.
Over het algemeen worden kleurzingestoorde personen niet aangenomen voor de meeste veiligheidsjobs binnen de spoorwegindustrie (30). In Finland worden de machinisten en ander spoorwegpersoneel getest met de polychromatische platen van Velghagen.

Ook **in België** worden alle personeelsleden van de NMBS met een veiligheidsfunctie gescreend op het al dan niet hebben van een kleurzinstoornis door de arbeidsgeneeskundige dienst van de NMBS in de Frankrijklei te Brussel.

*3.3.1.3 Luchtverkeersignalen*

De belangrijkste signaalkleuren in het luchtverkeer zijn rood, groen en wit, met blauw en geel als supplementaire kleuren. Bij **landings- of startbanen** wordt groen gebruikt om het begin van de baan aan te duiden, wit voor de laterale randen ervan en rood voor het einde van de baan. Blauw wordt gebruikt om **taxibanen** af te lijnen, soms met een groene middellijn. Rood wordt gebruikt om hoge obstakels aan te duiden dicht bij de luchthavens. Rood, groen en wit worden ook gebruikt als **navigatielichten** op een vliegtuig, op dezelfde manier als bij schepen. De meeste piloten baseren zich zelden op de navigatielichten van een vliegtuig om de richting en de oriëntatie van een bepaald vliegtuig in te schatten (31).
Laboratoriumsimulaties van luchtverkeersignalen tonen duidelijk aan dat kleurzingestoorde proefpersonen vaker fouten maken in het herkennen van deze signalen (32).(33;34)
Wanneer het radiocontact verbroken is, kan men vanuit de controletoren ook communiceren met het vliegtuig met behulp van een **signaallamp** die een rood, groen of wit signaal uitzendt. De meerderheid van de kleurzingestoorde personen kan de kleursignalen van het signaaltoestel van de controletoren niet onderscheiden (35). Dit wordt echter zelden gebruikt en alleen in noodgevallen (!), wanneer de andere technische hulpmiddelen het laten afweten. Slechts 40% (2 van de 5 onderzochte lampen) van deze signaallampen op 5 luchthavens blijken bij controle goed te functioneren in de studie van Hovis, Casson en Delpero (36). De auteurs betwijfelen het nut van deze lampen gezien het onfrequente gebruik. Er is ook een **grote redundantie** aan informatie aanwezig bij luchtverkeersignalen. Er zijn vaak vorm- en oriëntatie-cues, bijv. bij startbaan- en landingsbaansignalen. Elektronische hulpmiddelen aan boord, radiocontact en informatie vanuit de luchtverkeersleiders verminderen de afhankelijkheid van de visuele lichtsignalen. Deze redundantie is erg belangrijk en verhoogt ook bij kleurziende personen de veiligheid. Piloten met een gestoorde kleurzin beroepen zich op deze redundantie om niet uitgesloten te worden van een vlieglicentie door de standaarden voor het luchtverkeer.
Deze redundantie wordt verminderd wanneer de kleurcodes verdwijnen. Het systeem wordt hierdoor minder veilig. Mc Kelvey deed een studie bij kleurziende piloten en vroeg hen om beslissingen te nemen op basis van kleurenfoto's en van zwart-wit foto's, gemaakt tijdens verschillende fases van een operationele vlucht. Alleen de signalen van de controletoren bleken van groot kleurenbelang te zijn (37).

Er zijn twee belangrijke luchtverkeersignalen waarbij het hebben van een kleurzinbeperking een belangrijke handicap kan vormen. Vooreerst zijn er de **rode lichtsignalen die hoge obstakels** aanduiden in de buurt van luchthavens. Het is vanzelfsprekend dat het belangrijk is dat deze gezien en herkend worden. Protans met hun verminderde sensitiviteit voor rood licht, kunnen hierin gemakkelijk falen. De rode kleur moet ook kunnen onderscheiden en herkend worden van andere lichten, geproduceerd door straat- of huisverlichting.
Het tweede belangrijke lichtsignaal is het PAPI of het **Precision Approach Path Indicator** systeem (Fig. 8 en 9), welke op alle moderne luchthavens van enige betekenis gebruikt wordt, om aan te geven of men op een correct landingstraject zit, en of men niet te hoog of te laag aan het landen is. Het bestaat uit een viertal signaallichten op een horizontale lijn. De eerste twee signaallichten zijn wit, de volgende twee zijn rood. Wanneer het vliegtuig te hoog zit, boven zijn correct landingstraject, kunnen de twee laatste van de vier lichten, die normaal rood zijn, wit worden. Wanneer het vliegtuig te laag zit, dan worden de eerste twee witte lichten rood. Het is dus belangrijk dat een piloot onderscheid kan maken tussen rode en witte kleursignalen en kan beseffen dat wanneer de vier lichten wit zijn, dat hij dan veel te hoog zit, boven zijn landingstraject. Zo dient hij ook te beseffen dat wanneer de vier lichten op een rij rood zijn, dat hij dan veel te laag zit met groot risico voor een crash. Cole en Maddocks toonden aan dat het merendeel van hun kleurzingestoorde proefpersonen onder realistisch nagebootste omstandigheden grote fouten maakten, tegenover het interpreteren van dit PAPI-systeem (38). Zoals verwacht slagen protans er niet in om de rode signalen te herkennen.

Onderzoeken hebben ook aangetoond dat kleurzingestoorde piloten **meer ongevallen** veroorzaken. Vingrys baseert zich hiervoor op een analyse van de US General Aviation ongevallen-incidentie van de jaren 1963, 1974, 1975 en 1976. De kleurzingestoorde piloten hadden in elk van de geanalyseerde jaren ongeveer tweemaal zoveel ongevallen als de piloten uit de controlegroep. Het verschil tussen de twee groepen was voor de vier jaren telkens duidelijk statistisch significant ($p<0.001$) (39). Piloten moeten dus best een normale kleurzin hebben of zij moeten kunnen aantonen dat zij de kleursignalen van het luchtverkeer kunnen herkennen via een lantaarntest. Protans zouden best uitgesloten worden. De C.I.E. (Commission Internationale de l'Eclairage) raadt dit ook aan voor lijnvluchtpiloten, vrachtpiloten en voor piloten die personen vervoeren (4).
**In België** moet de kleurzin van het stuurpersoneel bij de burgerluchtvaart normaal zijn:
*"De kleurzin wordt als normaal aanzien als de aanvrager met de test van Ishihara of de anomaloscoop van Nagel normaal trichromaat wordt bevonden. De aanvrager moet een normale kleurzin hebben. De kleurzin kan als aanvaardbaar bevonden worden, indien de aanvrager, die faalt in de Ishihara-test, slaagt in een grondig onderzoek volgens een methode goedgekeurd door de SLG (Sectie Luchtvaart Geneeskunde) (anomaloscopie of lantaarn met*

*gekleurde schijven). De test van Ishihara (uitgave 24 platen) is geslaagd indien alle platen correct worden gelezen, zonder twijfel of aarzeling (minder dan 3 seconden per plaat). Men raadpleegt de voorschriften van het Handboek voor de belichtingsnormen.*
*De kandidaat die mislukt in de test van Ishihara wordt onderzocht met behulp van:*
*1° hetzij de anomaloscoop van Nagel of een equivalent toestel. Deze test is geslaagd indien het afstemmen van de kleuren trichromatisch is en indien de vergissing bij het afstemmen van de kleuren gelijk is of kleiner dan 4 schaaleenheden;*
*2° hetzij de test met de lantaarn. Deze test is geslaagd indien de betrokkene zonder vergissing een test uitvoert met een lantaarn goedgekeurd door het medisch subcomité van J.A.A. – FCL (Joint Aviation Authorities-Flight Crew Licence, of opleiding privaat piloot volgens de Europese luchtvaartautoriteiten, zoals vertaald op een Nederlandse website), zoals de lantaarn van Holmes-Wright, de lamp van Beyne of de lantaarn Spectrolux (40) (KB 21/06/2002)".*

Wat zegt de literatuur ons over de **te gebruiken tests bij de selectie** van piloten? Squire en collega's vergeleken de resultaten die ze verkregen van de Nagel-anomaloscoop, de Holmes-Wright type A-lantaarntest, de Spectroluxe-lantaarntest, Beyne-lantaarntest en de Ishihara-test. De Joint Aviation Requirements (soort standaarden) opgesteld door de Joint Aviation Autorities (uit verschillende landen) hebben in het verleden specifieke cut-off limieten voor de Ishihara-test en deze vier secundaire tests vastgelegd. In het onderzoek van Squire werden 55 kleurzingestoorde proefpersonen samen met 24 normaal kleurziende personen onderworpen aan de Ishihara-test, de Nagel-anomaloscoop-test en de drie lantaarntesten. De proefpersonen waren allemaal aspirant-piloten. Van de kleurzingestoorde aspiranten slaagden alleen deuteranomale trichromaten in meer dan één van de vier secundaire testen, maar één secundaire test voorspelde niet het slagen in een andere test. Drie van de negen protanomale trichromaten slaagden in de Nagel-anomaloscooptest maar faalden bij de lantaarntesten. Van de normale proefpersonen faalden er 12 in de anomaloscoop- en 12 in de Beyne-lantaarntest. Er was dus een **grote variabiliteit in de uitslag van deze tests** die volgens de auteurs kon verklaard worden door andere factoren (zoals bv. het lettertype van de cijfers van de Ishihara en de interpretatie van de afnemer die een antwoord al dan niet goedkeurt bij bijvoorbeeld aarzeling of onzekerheid van de proefpersoon), losstaand van het verlies van chromatische sensitiviteit. Normalen kunnen in die Ishihara-screeningtest en in de secundaire testen ook kopje ondergaan (100% sensitiviteit en 70,8% specificiteit voor de Ishihara). De vereiste secundaire testen verschillen van land tot land. Hier dringt zich een uniformisering op van de standaarden van het vluchtwezen en de secundaire testen waarop men zich hiervoor baseert (41).

**On-site-tests** zijn gebaseerd op levensechte situaties van kleurzienvereisten. Deze tests lijken intuïtief erg aantrekkelijk, maar zijn nog onvoldoende gevalideerd. Een combinatie van klinische en praktische parameters lijkt in de toekomst aangewezen om de publieke veiligheid en de individuele rechten van een persoon om op een correcte manier geëvalueerd te worden wat betreft zijn bekwaamheid om te vliegen, met elkaar te verzoenen, aldus Delpero en zijn collega's. Dezelfde auteurs meldden ook dat men eventueel in het voordeel van kleurzingestoorde piloten de redundantie kan verhogen, zoals bijv. gebeurt door de recente invoering van het diagram landingsinformatie-systeem (een systeem dat vooral gebruikt wordt bij nieuwe landingssystemen). Vliegtuigen worden meer en meer geïnformatiseerd, maar de humane factor zal altijd een belangrijke component blijven spelen (42).

*3.3.1.4 Wegverkeersignalen*

Wegverkeersignalen worden gezien van op veel kortere afstand en hebben hierdoor een veel grotere helderheid. In die zin zullen zij gemakkelijker herkend worden door een kleurzingestoorde persoon. Er is ook hier een zekere redundantie aanwezig van de informatie, zoals de positie van het lichtsignaal en de relatieve helderheid van het signaal. Volgens Verriest maken kleurzingestoorde personen een drietal belangrijke fouten. Vooreerst is er een vertraagde herkenning aanwezig van kleursignalen. Ten tweede verwarren zij ook kleursignalen en ten derde zijn sommige kleurzingestoorde personen, nl. protans, niet in staat sommige rode signalen te zien tengevolge van de inkorting van het rode uiteinde van hun kleurenspectrum (21;43;44).

Wat leert de literatuur ons over de **problemen** die kleurzingestoorde personen in het wegverkeer ondervinden?
Dertig procent van de kleurzingestoorde (n=102) personen heeft regelmatig problemen met verkeerssignalen zoals blijkt uit een onderzoek van Steward uit 1980 (2). De positie en de relatieve helderheid van de signaallichten werden gebruikt als secundaire cues. Een op drie verwisselde straatlichten met verkeerslichten. Verschillende kleurzingestoorde personen voelden zich erg onzeker wanneer ze 's nachts reden, vooral bij kruispunten waar er een overmaat was aan verlichting van boven hun hoofd. Ook het merendeel van de 152 kleurzingestoorde personen (in vergelijking met 302 normaal kleurziende personen) uit de studie van Tagarelli, vermeden om 's nachts te rijden omdat ze moeite hadden om wegreflectoren te herkennen, en ze te onderscheiden van achterlichten van de wagens die voor hen reden (45). Zij voelden zich ook aanzienlijk onzekerder 's nachts.

Verriest deed ook een aantal experimenten die de **verkeerscondities zo realistisch mogelijk** nabootsten bij kleurzingestoorde proefpersonen (n=36). Deze experimenten deed hij in 1977 en 1978 met behulp van de Rijkswacht bij rood-groen kleurzingestoorde proefpersonen en normaal kleurziende proefpersonen. De tests werden deels uitgevoerd op een landingsbaan van een reserveluchthaven en deels op een snelweg onder constructie. Hij deed vijf bevindingen:

1. Het octagonale rode stopteken werd pas op gemiddeld 53 % van de normale afstand opgemerkt door de kleurzingestoorde proefpersonen;
2. De stoplichten (vooral bij helder zonlicht) werden pas op 39 tot 73 % van de normale afstand waargenomen door de protans, en voor de deutans was dit op 50 tot 100 % van de normale afstand;
3. Rode achterlichten werden 's nachts door protans op 60 % van de normale afstand gezien en 's nachts door deutans op 90 % van de normale afstand;
4. Wat betreft kleuren onderscheiden voor staartlichten, scoorden deutans tweemaal zoveel fouten als protans;
5. In een tweede reeks experimenten konden de auteurs aantonen dat deutans evenveel of zelfs meer beperkingen ervaarden dan protans bij het herkennen van de kleuren van verkeerslichten, en dat de deutans en protans in de praktijk ook verschillende andere cues gebruikten voor het herkennen van de signalen zoals bijv. de posities van de signaallichten (21).

In zijn overzichtsartikel uit 2004 (4) bespreekt Cole een drietal studies (46-48) die wegverkeersignalen simuleerden (Fig. 10). Hieruit bleek vooral het belang van het gebruik van wegverkeersignalisatie met kleursignalen die binnen de grenzen van de **CIE-klasse A** blijven. De CIE heeft in haar aanbevelingen voor de kleuren van signaallichten uit 2001 een aantal kleurdomeinen afgebakend op het CIE-diagram van 1931.(Fig. 11). Deze komen niet overeen met de Europese standaarden (Fig. 12, 13 en 14). De verwarring tussen kleursignalen was aanwezig doch deze kon beperkt worden als men zich houdt aan klasse-A-CIE-signalen. In een studie van Nathan uit 1984 gebruikte men geen CIE-klasse A-groen maar CIE-klasse B-geelgroen (47). Het resultaat was dat dit CIE-klasse B-geelgroen verward werd met geel of zelfs rood door diegenen met een rood-groen dichromasie of zelfs door diegenen met een ernstige anomale trichromasie. Moderne signaallichten gebruiken nu tegenwoordig CIE-klasse A-groen en <u>geen</u> klasse B-geelgroen. In een studie van Atchinson uit 2003 (46) (49 kleurgestoorde en 20 normaal kleurziende proefpersonen worden met elkaar vergeleken) werd er CIE-klasse B-rood gebruikt, wat eigenlijk een oranje-rood is dat door de kleurzingestoorde proefpersonen gemakkelijk verward werd met rood. Bovendien werd er een geel gebruikt dat tegen de grens met het rood aanlag, wat resulteerde in meer fouten. Het is

dus belangrijk dat men voor wegverkeersignalen of lichtsignalen in het algemeen, CIE-klasse A-kleuren gebruikt. De kleurzingestoorde personen hadden ook langere reactietijden, net zoals in de hoger vermelde studie van Verriest. Zij reageerden 50 tot 250 milliseconden later, wat op zichzelf wel beperkt is, maar wat resulteerde in een 4 tot 8 meter langere stopafstand bij een snelheid van 60 km/u.

Er bestaat voor protans ook zoiets als het **protandilemma** voor de rode signaallichten. Protans hebben een relatieve ongevoeligheid voor rood licht, zodat de visuele actieradius voor signalen aanzienlijk gereduceerd is. Zij hebben een visuele actieradius voor rode lichtsignalen die maar 40 tot 60 % bedraagt van die van de normale kleurzienden. Niet alleen de protanopen maar ook protanomalen kennen deze beperkingen (49). Voor een heldere hemel met $3*10^4$ Ft-L luminantie, zouden verkeersstoplichten minimum een intensiteit moeten hebben van 160 tot 260 CD of Candela. Protanope bestuurders hebben volgens een studie van Cole uit 1966 verkeersstoplichten nodig met een intensiteit van minimum 600 CD, om deze te kunnen zien (50). Moderne verkeerslichten beantwoorden aan deze voorwaarden: ze hebben een hogere intensiteit en zijn dus van op een grotere afstand beter zichtbaar, zodat het probleem van het beperkte visuele bereik voor rood bij protans enkel nog een probleem vormt bij een achtergrond van een heel heldere hemel. Het vormt ook nog een probleem bij rode signalen met een lage lichtintensiteit, zoals bij staartlichten, lichtsignalen op tijdelijke wegversperringen en bij rode reflectoren. Wanneer de intensiteit van het rode licht echter te groot is, dan wordt het door protans gezien als geel licht. Is de intensiteit te laag dan wordt het door protans waarschijnlijk te laat gezien. Dit kan je benoemen als het protandilemma voor rood licht. Deze verwarring van rood met geel bij een grotere intensiteit werd ook waargenomen in verschillende studies (48;51).

Veroorzaken kleurzingestoorde personen **méér verkeersongevallen?**

De meningen van wetenschappers zijn hierover verdeeld (4;21;44;52;53). Kleurzingestoorde personen zijn zich waarschijnlijk bewust van hun handicap en zijn hierdoor extra voorzichtig in hun rijgedrag en mijden een aantal gevaarlijke situaties, zoals ’s nachts rijden (Tagarelli, 2004 en Steward, 1989)(2). Vooral protans lopen waarschijnlijk een groter risico op een verkeersongeval (52). Uit een onderzoek van Marré blijkt ook dat zij meer staartaanrijdingen veroorzaken (Marré, 1978(21)). Volgens Cole is het risico op een ongeval geassocieerd aan een protan-kleurzinstoornis vergelijkbaar met dat van een alcoholintoxicatie van de grootte-orde van 0.05 tot 0.08 promille (52).

Zouden bestuurders op de weg toelatings**kleurzintesten** moeten ondergaan?

De CIE heeft aangeraden dat professionele chauffeurs het best een lantaarntest ondergaan en best geen protans zouden zijn. In Amerika en Canada bestaat er veel discussie over de

kwestie of kleurzien standaard noodzakelijk is en of deze standaard moet getest worden voor men een licentie toekent. In Canada is 50 % van de gerechtelijke uitspraken ten voordele van zo'n standaard. In de Verenigde Staten slechts 25 % (54). Desondanks wordt er in 42 van de 50 Amerikaanse staten getest op een kleurzinstoornis bij het behalen van een rijbewijs. De capaciteit om adequaat te reageren op kleurenverkeersignalen is vereist om een rijbewijs te krijgen voor commerciële voertuigen (55).
**In België** worden voor geen enkele categorie of subcategorie vereisten gesteld wat betreft kleurzin voor het verkrijgen van een rijbewijs (56) (KB van 23/03/98 aangaande het rijbewijs).

**Een aantal aanpassingen** aan lichtsignalen zou kunnen gebeuren om kleurzingestoorde personen te helpen. Vooreerst zou men altijd klasse A CIE-kleursignalen kunnen gebruiken. Daarnaast zou men ook rode stoplichten en/of oranje waarschuwingslichten kunnen laten knipperen. In Zwitserland wordt de vorm van het kleursignaal veranderd door er een driehoekig of een vierkant masker voor te zetten. De rode signalen kunnen ook beter zichtbaar gemaakt worden door ze aanzienlijk te vergroten en door hen te omgeven met een sterk contrasterend materiaal zoals een zwart bord, wat momenteel gangbaar is. Ook de achterkant van de wagens kan beter aangeduid worden door extra reflecterende stroken of extra staartlichten. Het is ook opletten geblazen met zonnebrillen of getinte windschermen of zonneschermen bij chauffeurs met een kleurzinstoornis omdat hierdoor de kleurdiscriminatie nog vermindert (21).

### 3.3.2 Oppervlakte kleurcodes

Oppervlaktekleur geeft informatie in de natuur, zoals over de rijpheid van een bepaald stuk fruit, versheid van voeding, de verandering van de seizoenen, en het geeft ook tekens weer van lichamelijk ziek zijn. Oppervlaktekleur wordt ook gebruikt om informatie door te geven in door de mens verzonnen systemen, zeker nu kleurschermen bij computers en kleurenprinters gebruikt worden.

#### *3.3.2.1 Natuurlijk voorkomende oppervlaktekleuren*

Personen met een kleurzinstoornis zien soms fruit niet hangen aan bomen, of zijn onzeker over de rijpheid van een stuk fruit. Deze capaciteiten kunnen de natuurlijke selectie in de hand gewerkt hebben. De prevalentie van abnormaal kleurzien is erg laag in jagers-verzamelaars gemeenschappen, de prevalentie wordt groter in agrarische gemeenschappen en zij is het grootst in industriële gemeenschappen. Men schrijft dit toe aan het mechanisme van de

**Darwiniaanse selectie**, gezien het kleurzien veel belangrijker is in jagersverzamelaars gemeenschappen in vergelijking tot agriculturele gemeenschappen (57).
Trichromatische kleurenvisie zou zich ontwikkeld hebben omdat het voordelen biedt om rijp fruit te detecteren: de kleurenvisie van sommige primaten is goed aangepast aan het detecteren van fruit tussen het gebladerte (58).
Voorbeelden van hoe personen met een kleurzinstoornis de natuur rondom hen zien, is te bewonderen in digitaal bewerkte foto's in het tijdschrift Nature van 13 juli 1995 (59).
In het reeds geciteerde artikel van Steward en zijn collega's uit 1989 bleek dat ongeveer 30 % van de mensen met een kleurzinstoornis zeiden dat ze problemen hadden met de beoordeling van de rijpheid van fruit, het detecteren van bloemen en het beoordelen van het gaar worden van vlees (2).
Soms moet men beroep doen op oppervlaktekleuren om goed te kunnen functioneren. Dit is bvb het geval bij **artsen in het algemeen**. Eén van de beroemdste artsen met een kleurzinstoornis, John Dalton, gaf ook zijn naam aan Daltonisme. Een arts, Anthony Spalding uit het graafschap Surrey, publiceerde hierover verscheidene artikels. Hij was zelf een huisarts met deuteranopie (60) en toonde aan dat 40 tot 60 % van zijn kleurzingestoorde proefpopulatie (n=40, waarvan 37 huisartsen) van artsen problemen had met oppervlaktekleuren, gaande van het herkennen van ernstige bleekheid van het lichaam tengevolge van anemie, geelzucht, cyanose, tot het herkennen van erytheem van de huid, rashes, problemen bij het interpreteren van een fundoscopie, problemen bij het interpreteren van beelden uit een otoscoop en ook problemen bij het herkennen van bijv. bloed of gal in braaksel, urine, faeces (61;62). Zelf gaf hij in zijn artikels ook toe dat hij ooit eens de bleekheid van een ernstige anemie gemist had met bijna fatale gevolgen (63).
Samen met zijn collega John Campbell en andere collega's onderzocht de auteur in hoeverre artsen met een kleurzinstoornis aan de hand van 9 foto's de omtrek van een rash konden aantonen of de omtrek van bloed in braaksel of stoelgang. Hieruit bleek dat de artsen met een kleurzinstoornis (22 proefpersonen werden vergeleken met 10 normaal kleurziende artsen) moeite hadden bij het evalueren van de aanwezigheid en de uitgebreidheid van de gekleurde klinische tekens (64).
Dezelfde auteurs deden een soortgelijke studie bij kleurzingestoorde artsen (23 kleurgestoorden en 28 normaal kleurzienden) met 38 foto's van klinische presentaties die je vaak ziet in algemene geneeskunde (gaande van huiduitslag tot urinestalen, braaksel, stoelgangstalen, foto's van optische fundussen en otoscopische beelden). Ook dienden zij een verkleuring van het lichaamsoppervlak te kunnen herkennen aan de hand van een foto. Verschillende van de dokters met een kleurzinstoornis hadden problemen om aan de hand van de foto's, correcte klinische interpretaties te doen. Ook waren zij aanzienlijk meer onzeker over hun interpretatie, zeker nu ze niet meer konden rekenen op andere cues, zoals

anamnese en andere visuele hulpmiddelen om hun diagnose te stellen (65). Uit een soortgelijke studie van Reiss en collega's uit 2001 bleek ook dat kleurzingestoorde proefpersonen uit het medisch vakgebied (10 kleurzingestoorden versus 20 normaal kleurzienden) aanzienlijk meer problemen hadden om aan de hand van 94 foto's van urine, stoelgang en sputum, bloed te herkennen in die lichaamsvochten (66). Campbell, Spalding en Mir onderzochten ook in hoeverre 23 kleurzingestoorde huisartsen lichamelijke tekens van ziekte konden herkennen op 11 foto's. Zij werden vergeleken met 23 normaal kleurziende huisartsen. Zij bleken minder capabel te zijn en minder zelfvertrouwen te hebben bij het detecteren van lichamelijke klinische tekens en in het benoemen van de kleuren (67).

Ook **chirurgen** die een kleurzinstoornis hebben, kunnen het moeilijk hebben met het herkennen van de oppervlaktekleuren in hun job. Zo beschrijft een arts uit Groningen, hoe hij het tijdens zijn stage chirurgie erg moeilijk had om spierweefsel van peesweefsel te onderscheiden (68).

Ook oppervlaktekleuren van **endoscopische beelden** kunnen voor kleurzingestoorde personen moeilijk te interpreteren zijn (69). Bij endoscopische oppervlaktekleuren heeft men echter het geluk dat men de beelden fel vergroot kan weergeven op een monitor. Kleurinformatie is erg belangrijk in het geval van endoscopie omdat het informatie bevat over de aard van het letsel en over plaats waar men een biopsie moet nemen (70). In een onderzoek van Köningsberger werden 139 gastro-enterologen onderzocht op het hebben van een kleurzinstoornis tijdens het lentecongres van de Nederlandse Gastro-enterologen vereniging in 1992. Vijftien artsen waren kleurzingestoord, 124 niet. De artsen kregen negen videofragmenten te zien van endoscopische situaties. Op slechts één videofragment scoorden de kleurzingestoorde artsen slechter dan de normale kleurziende artsen: een fragment van een groene erwt ter hoogte van de klep van Bauhin. Dit onderzoek toonde dus niet aan dat een kleurzinstoornis een effect heeft op het stellen van een endoscopische diagnose. De prevalentie van een kleurzinstoornis bij deze subpopulatie was vergelijkbaar met die van de Nederlandse populatie (71).

Cockburn, een optometrist met extreme deuteranomalie, vermeldde problemen in het zien van de roodheid van ontstoken ogen, het herkennen van huiduitslag en problemen in het differentiëren tussen retinale pigmenten en retinale bloedingen (23).

Spalding raadt het **screenen** voor een kleurzinstoornis aan bij iedereen die een **artsstudie** aanvangt, zodat iedereen zich bewust is van zijn eigen beperking en er ook beter rekening kan mee houden. Spalding schat dat er in het jaar 1994 ongeveer 5800 huisartsen in de U.K. praktiseren met deze deficiëntie. Alleen aan de universiteit van Belfast worden momenteel artsen gescreend voor een kleurzinstoornis. Tot 1992 weerden verschillende universiteiten in Japan kleurzingestoorde medische studenten, vermoedelijk onder invloed van prof. Ishihara,

en in Taiwan test minstens één medische universiteit studenten met de Farnsworth-D15-test (60).

**In België** worden artsen voor of tijdens hun opleiding niet onderzocht wat betreft het hebben van een kleurzinstoornis, en het hebben ervan is noch een belemmering voor het volgen van een opleiding, noch voor het uitoefenen van het beroep. Wel zijn personen die werken als ambtenaar bij de Inspectie der Eetwaren verplicht een normale kleurzin te hebben (72) (Ministerieel besluit 04.06.1998).

*3.3.2.2 Oppervlakte kleurcodes door de mens geschapen*

Meestal worden oppervlaktekleurcodes gebruikt in redundantie met andere reeds bestaande coderingen, zoals symbolische codering of alfanumerieke codering. Dit is onder meer het geval wanneer men van op een grote afstand informatie moet kunnen afleiden. Zo hebben bijv. gascilinders een bepaalde oppervlakte kleurcode om hun inhoud aan te duiden. Net zoals bepaalde pijpleidingen of brandblussers, of Sprinklerkoppen. Dit maakt dat leden van de brandweer een Ishihara-test moeten afleggen en bij het falen ervan ook een Farnsworth-D15-test (15).

In sommige gevallen echter is een oppervlakte kleurcode de enige manier om informatie te coderen en over te brengen. Een voorbeeld hiervan vind je in de elektronica, waar weerstanden en condensatoren aparte oppervlakte kleurcodes hebben (Fig. 15). Ook in de wereld van de elektriciteit hebben verschillende bedradingen soms verschillende oppervlakte kleurcodes.

Wanneer we oppervlakte kleurcodes praktisch willen gebruiken, dan betekent dit ook dat we de kleuren zodanig moeten kiezen dat iedere observator op een betrouwbare manier een naam kan geven aan elke kleur, zelfs wanneer de kleur gezien wordt los van de andere kleuren. De CIE heeft hiervoor internationale aanbevelingen gepubliceerd voor de **chromaticiteitsdomeinen en de helderheidsfactor voor de 9 oppervlakte kleurcodes** bij gebruik in visuele signalen, met name voor rood, oranje, geel, groen, blauw, purper, wit, grijs en zwart. Bruin wordt soms als 10de kleur gebruikt, alhoewel het CIE het alleen aanbeveelt als een redundante code. Personen met een kleurzinstoornis zouden het in principe moeilijk kunnen hebben met het benoemen en onderscheiden van dit groot aantal oppervlakte kleurcodes. Zij worden echter wel geholpen door de verschillen in helderheid tussen de kleuren en ook door het feit dat de oppervlaktekleuren meestal een grotere oppervlakte bestrijken dan bijv. signaallichten (73).

Hierrond werden verschillende **onderzoeken** verricht. Cole en Orenstein onderzochten 102 kleurzingestoorde proefpersonen en vergeleken ze met 102 normale kleurziende

proefpersonen in het herkennen van de 10 hoger vermelde kleuren op basis van verf, katoendraad en ander materiaal. Ongeveer 50 % van diegenen met een abnormale kleurzin konden onder goede condities van zichtbaarheid de voornaamste kleuren correct benoemen. Twee derde van de anomale trichromaten die slaagden in de Farnsworth-D15-test, konden de kleuren even goed benoemen als slecht scorende normale kleurziende proefpersonen. Zij besloten ook dat de Farnsworth-D15 niet aangewezen is om te gebruiken als een enkelvoudige test voor selectie voor beroepsdoeleinden omdat het 20 % van de personen zou doen slagen, die niet correct de oppervlaktekleuren kunnen herkennen en omwille van het feit dat deze test ook 30% van de mensen uitsluit die het eigenlijk wel kunnen (74).

Ook uit ander onderzoek bleek dat ongeveer 1/3 van de kleurzingestoorde proefpersonen de 10 kleurcodes evengoed kan onderscheiden op weerstanden als de slechtst scorende normaal kleurziende proefpersoon (43;75).

Verriest en Uvijls rapporteerden in '79 dat 15% van hun 90 proefpersonen met een kleurzinstoornis evengoed scoorden als de 27 normale kleurziende proefpersonen in het noemen van kleurcodes van verschillende types van weerstanden en condensatoren. De dichromaten hadden het ook gemakkelijker met het benoemen van kleuren op condensatoren dan op weerstanden, omwille van het feit dat de kleuroppervlakken over het algemeen groter zijn op condensatoren (43).

Ricklefs rapporteerde echter in zijn artikel uit '66 dat geen van hun 25 kleurzingestoorde (10 protans en 15 deutans) proefpersonen de kleurcodes van een weerstand correct kon benoemen (76).

Ook de telecommunicatie - en elektriciteitskabels hebben een zekere oppervlaktekleurcode. Voke ondervond dat geen van haar 23 anomale trichromate proefpersonen fouten maakte in het benoemen van acht kleuren van enkelvoudige telecommunicatiedraden en dat ongeveer 60 % van hen geen fouten maakte in het selecteren van gekleurde draden. De dichromaten (n=21) maakten echter meer fouten in haar studie (75).

Luchtverkeersleiders moeten ook oppervlakte kleurcodes kunnen herkennen. Het onderscheid moet in het kader van de vluchtveiligheid snel en goed gebeuren. Eén van de meest kritische taken waarbij oppervlakte kleurcodes gebruikt worden, is het onderscheid tussen rood en zwart op beige vluchtstrips (Fig. 16). Zowel in het onderzoek van Kuyck (9 protans vs 78 normaal kleurzienden) als in het onderzoek van Adams (4 protans, vs 3 normaal kleurzienden) bleek dat protan-kleurzingestoorde proefpersonen niet betrouwbaar waren in het op een veilige manier herkennen van deze oppervlakte kleurcodes (77;78).

Ongeveer 24% van de anomale trichromaten in de studie van Mertens en Milburn kon deze rode en zwarte kleurcodes zonder fouten herkennen op de vluchtverloopstrips bij een belichting van 59 lux (79). Alle dichromaten, uitgezonderd één deuteranoop, maakten fouten. Normaal kleurziende proefpersonen maakten geen fout. Een belichting van 59 lux komt

ongeveer overeen met de lichtsterkte die ook Adams en collega's aangeven als representatief voor de realistische werkcondities waaronder deze vluchtverloopstrips moeten gelezen worden (78). Wanneer in de studies van Mertens en Milburn de lichtsterkte daalde tot 40 lux, de laagste representatieve belichting, daalde het percentage van de anomale trichromaten die foutloos de rode en zwarte vluchtverloopstrips konden lezen van 24 % naar 15 % (79).

Onder een **zwakkere belichting** maken proefpersonen met een beperkte kleurzinstoornis, die betrouwbare kleurcodes herkennen, toch meer fouten dan degene met een normale kleurzin. Hoe ernstiger de kleurzinstoornis, hoe meer fouten er gemaakt worden tegen het herkennen van oppervlakte kleurcodes.(74;77).

*3.3.2.3 Oppervlakte kleurcodes op een computermonitor*

De allereerste computermonitoren in de jaren '70 en midden de jaren '80 waren monochroom en toonden alleen groene of alleen oranje symbolen. Vanaf midden de jaren '80 tot begin 21$^{e}$ eeuw veranderde het gebruik van monochrome CRT-schermen naar kleurenschermen. Tot 2003 waren de meeste monitoren CRT-schermen die net als een televisie als een elektronenbuis werkten. Later ging men over op LCD-schermen. Verbeterde vormen van LCD-schermen zijn TFT-schermen. Bij een computermonitor kunnen $256^3$ kleuren mogelijk zijn. Gelukkig zijn webdesigners overeengekomen om een **websafe kleurenpalet** te gebruiken dat beperkt is tot 216 kleuren. Een websafe-kleurenpalet en hoe iemand met een kleurzinstoornis een websafekleurenpalet ziet, zie je op figuur 17 achteraan (Fig. 17). In die zin is er een zekere beperking in de diversiteit van de kleuren die gebruikt worden. De komst van kleurcomputermonitors heeft ervoor gezorgd dat er meer oppervlakte kleurcodes kunnen gebruikt worden in de codering van informatie op computerschermen. Gezien computerschermen meer en meer opduiken om allerlei toestellen te besturen, kent het gebruik van oppervlakte kleurcodes een duidelijke uitbreiding. Het is duidelijk dat personen met een gestoorde kleurzin verschillende problemen zullen ervaren wanneer ze geconfronteerd worden met de kleuren van computerschermen. Bij de vluchtcontrole (Air Traffic Control) worden momenteel alle basiskleuren en verschillende niet-basiskleuren gebruikt op computerschermen. Kleuren worden gebruikt met drie bedoelingen: om de aandacht te trekken, om informatie te coderen en om informatie te onderscheiden. Het gebruik van kleur in displays in ATC-torens is momenteel veel uitgebreider dan vroeger en dit vereist volgens Xing en Schroeder van het Civil Aerospace Medical Institute nieuwe kleurzintesten (80). Ook hierrond werden verscheidene **onderzoeken** verricht: Cole en MacDonald toonden aan dat observatoren met een kleurzinstoornis (n= 18, waarvan 6 deuteranomalen, 6 protanopen en 6 deuteranopen) een tragere responstijd hadden en meer fouten maakten dan normale

kleurziende proefpersonen in het uitvoeren van taken gebaseerd op het aflezen van informatie van computerschermen van elektronische vluchtinstrumenten. Hun reactietijd en hun foutenpercentage was echter wel te vergelijken met dat van normale kleurziende personen voor een monochrome monitor. Ze waren echter niet benadeeld wanneer de kleur blauw was gebruikt als een oppervlakte kleurcode (12).

Mahon en Jacobs vonden dat hun kleurzingestoorde proefpersonen, met uitzondering van een aantal milde deutane kleurzingestoorde proefpersonen die in de D15-test slaagden, ongeveer 30 tot 40% fouten maakten in het benoemen van 6 kleuren die gebruikt werden bij elektronische computerschermen voor vluchtinstrumenten (wit, rood, groen, amber, blauw en argenta) (81).

In een studie van Mertens en Milburn moesten de proefpersonen (123 kleurgestoorden versus 121 normaal kleurzienden) ook op een gekleurd computerscherm van een radar (Fig. 18) het weer kunnen aflezen. Zij vonden dat slechts 2% van de protanomalen zonder fouten de kleuren konden benoemen op het computerscherm van de weerradar. Ongeveer 43% van de deuteranomalen en 10 % van de deuteranopen konden het wel, dankzij het feit dat de kleuren die gebruikt werden op het radarcomputerscherm licht- en donkergroen waren, licht- en donkergeel en licht- en donkerrood (79). In Australië worden meer en andere kleuren gebruikt voor computerradarschermen (4).

Ook Verriest en Uvijls bestudeerden in 1985 de visuele performantie op een multikleuren Video Display Unit (43). Tweeënzeventig normaal kleurziende proefpersonen werden vergeleken met 14 protanomalen, 14 protanopen, 16 deuteranomalen en 15 deuteranopen. Zij moesten verschillende tests afleggen met het gebruik van 14 kleuren voortgebracht door een beeldscherm. Op de twee kleurenbenoemingstests waren de performanties van de kleurzingestoorden veel armer. De twee kleurzinonderscheidingstests toonden dat verschillende kleuren frequenter gelijk benoemd worden door de dichromaten dan door de anomale trichromaten. In vergelijking met de niet kleurzingestoorde proefpersonen vertoonden de kleurzingestoorde personen meer problemen wat betreft het benoemen, het onderscheiden en het matchen van kleuren op commerciële multicolor video display units.

In een studie van Scholz en zijn collega's werd de performantie van kleurzingestoorde proefpersonen vergeleken met normale proefpersonen wat betreft het herkennen van naderende, stilstaande en zich verwijderende schepen op een computerscherm wat deel uitmaakte van een soort sonarradar. Schepen die stilstonden werden voorgesteld in het geel, schepen die naderden werden voorgesteld in het rood en schepen die zich verder van het sonarobject verwijderden werden voorgesteld in groen. Een groep van 46 normaal kleurziende proefpersonen werd vergeleken met 184 kleurzingestoorde proefpersonen. Van de normaal kleurziende proefpersonen konden ongeveer 73% alle signalen detecteren binnen de 32 sec. Van de deuteranope proefpersonen konden er dit slechts 16%, van de deuteranomale

proefpersonen konden dit er 33%, van de protanope proefpersonen slechts 16,2% en van de protanomale individuen 37,6%. Een groot deel van de kleurzingestoorde proefpersonen konden dus geen onderscheid maken tussen de verschillende kleuren die gebruikt werden om naderende, zich verwijderende en stilstaande schepen te onderscheiden (82).
Ramaswamy en Hovis testten de performantie van kleurzingestoorde proefpersonen in het gebruik van computerschermen voor de controle van treinbewegingen. Van de 52 kleurzingestoorde proefpersonen faalden ongeveer 58% in de praktijkgebonden test.
Zij vergeleken deze test met de Farnsworth-D15, de Adams Desaturate D15 en de Ridgemont HHHRR D15-test. Deze drie tests hadden een hoog aantal valse negatieven (9,5 tot 35%) zodat deze praktische test nog steeds nodig is om de kleurzingestoorde proefpersonen, die niet betrouwbaar een computerscherm kunnen aflezen in een rangeerstation, eruit te kunnen pikken. De kleuren die gebruikt werden waren rood, geel, groen, blauw, purper, wit en grijs (83).

*3.3.2.4 Chemische oppervlaktekleurcodes*

Er zijn verschillende chemische tests die gebaseerd zijn op een kleuromslag om te signaleren dat een eindpunt van een chemische reactie heeft plaatsgevonden. Men noemt dit ook een omslagkleur. Spalding, de kleurzingestoorde huisarts uit Surrey (Engeland) die hierover verschillende onderzoeken bij artsen publiceerde, beschrijft hoe hijzelf nooit zeker was of de kleurverandering nu al of niet had plaatsgegrepen tijdens zijn practica chemie (60). Tweeëntwintig van de 40 kleurzingestoorde artsen die hij ondervroeg in zijn studie gaven aan dat zij problemen hadden met het aflezen van teststrips voor bloed en urine. Een 7-tal van de 40 dokters hadden het lastig met het aflezen van **eindpunten in chemische practica** alsook wanneer zij de kleur van andere chemische tests moesten aflezen, zoals bijv. spectroscopie of vlamfotometrie (61). Ook Cockburn beschreef zijn probleem met de titraties in de practica chemie (23).
Campbell beschrijft dat artsen met een kleurzinstoornis (23 kleurgestoorden vs 28 normaal kleurzienden) significant meer fouten maken in het aflezen van de **glucose-sticktest**. Vooral histopathologen zijn gevoelig voor het maken van fouten wanneer zij aan een kleurzinstoornis lijden (84). **Histopathologen** gebruiken verschillende kleuren om microscopische coupes beter te differentiëren.
In een studie van Poole - gepubliceerd in de BMJ in 1997 - werden 28 kleurzingestoorde histopathologen vergeleken met 242 normaal kleurziende histopathologen. Ze werden onderworpen aan 20 dia's van histopathologische coupes. De coupes waren zo gekozen dat zij kleuren bevatten die verwacht werden problemen te zullen veroorzaken. Diegenen met een kleurzinstoornis maakten gemiddeld 2,8 fouten op de 20 dia's in vergelijking met gemiddeld

0,8 fouten voor de normaal kleurziende proefpersonen. Hoe ernstiger het kleurzindefect hoe meer fouten er werden gemaakt. De auteur raadde aan dat toekomstige histopathologen getest zouden worden op hun kleurzinstoornis en hierbij geholpen worden teneinde op een veilige manier diagnoses te kunnen stellen (85). Hierop werd gereageerd (ook in de BMJ) door Goudie, een professor in histopathologie, met een ernstige rood-groen kleurzinstoornis. Hij had nooit meer dan een klein ongemak ervaren in zijn histopathologische praktijk. Wanneer professor Goudie problemen had in bepaalde histopathologische coupes dan vroeg hij gewoon de hulp van een collega met een normaal kleurzien. Prof. Goudie beschreef ook dat twee van zijn collega's van de universiteit van Glasgow kleurzingestoord waren en noemt het overroepen dat een kleurzinstoornis een ernstige handicap is voor het uitbouwen van een carrière in deze specialiteit (8;16;86). Ook dokter Bogman van het departement histopathologie van de universiteit van Nijmegen beschrijft dat zijn eerste leermeester in de histopathologie (die hij omschrijft als een erg accurate histopatholoog) ook kleurzingestoord was, wat hem enkel problemen bezorgde in het zoeken van zuurvaste bacillen met de Ziehl-Neelsenkleuring (87).

In een studie van Campbell uit 2005 werden 22 artsen met een kleurzinstoornis vergeleken met 17 artsen met een normale kleurzin. Zij kregen 10 foto's te zien waaronder één foto van een histopathologisch preparaat van sputum, geprepareerd volgens de Ziehl-Neelsenmethode. De artsen met een kleurzinstoornis identificeerden significant minder TBC-bacillen dan de controle personen. (37,2 gemiddeld versus 22,3 bij de kleurzingestoorde) (64).

De routine kleuringsmethode gebruikt in diagnostische histopathologie is die met hematoxilline en eosine welke een kleurenpalet voortbrengt van donkerblauw tot purper, tot felrood. Mensen met een kleurzinstoornis verwisselen normaal gezien niet zo gemakkelijk blauw en rood. Er zouden meer problemen ontstaan in de histopathologie wanneer een rood-geelgroene **kleuringsmethode** zoals de Masson-trichroomkleuringsmethode zou gebruikt worden voor het stellen van een diagnose. Volgens een editoriaal van The Lancet van 1991 zorgen de kleurverschillen vnl. voor redundante informatie in histopathologische slides en kan de histopathologische diagnose grotendeels al bepaald worden op monochrome slides. De diagnose is niet alleen een vraag van accurate observatie maar ook van kennis en goede wil. Volgens dit editoriaal vormt een kleurzinstoornis geen grote zorg in de selectie en training van histopathologen (88).

## 3.4 Invloed van kleurzinstoornis op vergelijkende kleurtaken

Vergelijkende kleurtaken zijn taken waarin men twee objecten moet matchen, qua kleur vergelijken, of waarbij men moet oordelen of twee voorwerpen verschillen qua kleur.

Voorbeelden hiervan zijn bijv. het maken van verf om een huis te schilderen, waarbij men een verf dient te mengen tot deze dezelfde kleur heeft als een reeds bestaande verf. Dit komt ook voor in de textielsector, de verfsector en de plastiekindustrie. Alle mensen met een kleurzinstoornis hebben verminderde kleurzindiscriminatie, wat het voor hen moeilijk maakt om kleinere kleurverschillen te onderscheiden. Dit is het meest uitgesproken bij dichromaten. Ook anomale trichromaten lijden hieronder, zeker in vergelijking met personen met een normaal kleurzien. Personen met een kleurzinstoornis dienen ingelicht te worden over deze beperking en de invloed op bijv. hun jobkeuze. In sommige jobs komt de kleurzinstoornis maar tussen in een beperkt onderdeel van hun opdracht, bijv. bij een huisschilder en een tandarts. Een **huisschilder** kan bijv. de subtaak 'verf mixen en matchen' overlaten aan een collega of werknemer. Een tandarts kan, voor zover hij niet alleen werkt, het matchen van de kleur van valse tanden overlaten aan een van zijn assistenten of zijn praktijkassistente. Uit onderzoek blijkt dat **tandartsen** met een kleurzinstoornis significant meer fouten maken in het matchen van de kleurtint en de kleursaturatie, maar niet wat betreft de helderheid van de kleur van tanden (89). David Cockburn, een optometrist met een ernstige deuteranomalie, beschrijft hoe hij reeds na één dag werd ontslagen als laborant in opleiding, toen duidelijk werd dat hij bepaalde kleurstoffen moest mengen voor een industriële fabrikant. Zowel zijn werkgever als hijzelf begrepen al snel dat het beter was voor de economische toekomst van de fabriek dat hij zijn job niet meer verder zette (23).

## 3.5 Invloed van kleurzinstoornis op esthetische kleurtaken

Er zijn talrijke beroepen en vrijetijdsbestedingen waarbij kleur wordt gebruikt op een esthetische manier. Soms moet men kleur gebruiken in een harmonieuze combinatie, soms kunnen kleuren bepaalde stemmingen oproepen. Het is dus ook duidelijk dat personen met een kleurzinstoornis op dit vlak ook een zeker nadeel moeten ondervinden, vooral dichromaten omdat deze juist minder kleuren kunnen onderscheiden. Er is slechts weinig onderzoek gebeurd naar het nadeel dat personen met een kleurzinstoornis kunnen ondervinden in een appreciatie van kunstwerken, van grafisch design, van architectuur of binnenhuis-architectuur of allerhande problemen die zij kunnen ondervinden wanneer zij zelf beginnen te schilderen of hun interieur beginnen te decoreren. In de studie van Steward en Cole rapporteren ongeveer 75% van hun kleurzingestoorde proefpersonen dat zij problemen hadden in het uitkiezen van de kleuren van kledij en het uitkiezen van de kleuren voor verf (2).

**Onderzoek** van praktiserende kunstenaars in Dresden toonde een incidentie van 9% voor wat betreft kleurzinstoornissen bij mannelijke kunstenaars, wat vergelijkbaar is met de incidentie in

de algemene populatie. Zelfs al waren er een aantal milde anomale trichromaten aanwezig in deze populatie, toch zijn er waarschijnlijk ook verschillende dichromaten aanwezig. Je zou verwachten dat deze artiesten een ander kleurenpalet zouden gebruiken en dat hun werken zouden opvallen tussen de kunstwerken van normaal kleurziende artiesten, doch dit was zelden het geval (90). Pickford onderzocht 223 Schotse studenten die in het eerste of het tweede jaar van een kunstschool zaten. Van de 223 studenten bleken één vrouw en 6 mannen kleurzingestoord te zijn. De 6 mannen (5,36%) uit deze steekproef waren niet significant minder vertegenwoordigd op de kunstschool dan in de algehele populatie van West-Schotland (7,8%). Ook voor de dames was het verschil niet significant. Vijf mannen waren deuteranomaal, één man was deuteranoop en de dame bleek protanomaal te zijn. Het bleek voor hen geen grote handicap te zijn al was hun kleurenpalet af en toe wat anders (91).
We willen toch nog het artikel van Gallo in herinnering brengen waaruit bleek dat de 82 kleurzingestoorde lagere schooljongens in vergelijking met hun 82 normale kleurziende klasgenoten evengoed scoorden op het vak plastische opvoeding (8).

James Ravin, Nancy Anderson en Filip Lantony beschrijven in hun artikel uit 1995 in Survey of Opthalmology hoe de artiest **Charles Meryon** omging met zijn kleurzinstoornis. Uit de brieven die hij schreef met zijn vader, een arts, viel af te leiden dat hij een belangrijke kleurzinstoornis had. Zelfs Meryon startte in 1837 in de Officierenschool van de Marine, om later een carrière in de kunst te beginnen. In die tijd werden personen die een zeevaartopleiding volgden nog niet getest voor een kleurzinstoornis. Aanvankelijk schilderde hij vooral olieverfschilderijen zoals het Ghost Ship wat momenteel in het Louvre hangt (Fig. 19). De schilder vermeed rood en groen en zag de wereld vooral in blauw en gele kleuren. Het schilderij Ghost Ship is ook vooral in gele en blauwe kleuren gemaakt. De hemel heeft een ongewoon uitzicht omwille van het feit dat de lucht geeloranje is en de zee is te blauw omdat de zee ook de normale groene component als kleur mist. Ondanks zijn kleurzindefect was Meryon in staat om contrasten tussen licht en duisternis weer te geven. In zijn latere carrière schakelde Meryon over op etsen omdat dat in zwart-wit gebeurt, wat zijn manier was om om te gaan met zijn kleurzinstoornis (92).
Een andere schilder die gekend is met deuteranopie is **Jens Johannsen**. Deze Amerikaan werkt momenteel te Parijs en is een deuteranoop. Hij maakt aantrekkelijke semi-abstracte landschappen, maar zijn kleurpalet is beperkt tot blauw, geel en wit. Dit is waarschijnlijk ook de manier hoe Johannsen de gekleurde wereld ziet. Jens Johannsen heeft het ook moeilijk om rood en groen te onderscheiden. Hij was zich als kind al bewust van zijn kleurzinstoornis (90). Jens gebruikt vooral een tweekleuren palet met blauw of blauwgrijs als zijn basiskleur met welke hij vooral contrasteert met geel of amber. Het is bijna zeker dat verschillende

kunstenaars over de eeuwen heen, kleurendeficiënt zijn geweest, gegeven het frequent voorkomen van deze genetische abnormaliteit in de mannelijke populatie.
Cole beschrijft ook een kunstschilder met een extreme deuteranomalie. Het betreft een collega oftalmoloog van Cole. Deze man rapporteerde dat hij vooral problemen had om onderscheid te maken tussen verschillende intonaties van de grijze kleur. De man zelf is nog altijd verwonderd wanneer vrienden hem opmerken welke mooie kleuren hij heeft gebruikt in zijn werk. Voor hem lijken al zijn kleuren ongeveer hetzelfde. Zijn gemengde groene kleuren hebben de neiging meer blauw in zich te hebben dan gewoonlijk net zoals zijn schaduwen die ook meer blauw zijn dan gewoonlijk. In feite is groen eigenlijk een kleur die hij zelden gebruikt. Hij limiteert zijn palet vooral tot korte golf blauw en blauwgroen en lange golf geel, oranje en rood. Hij vermijdt het gebruik van geelachtige groenen waarvan hij onzeker is. In het begin van zijn carrière als kunstenaar maakte deze oftalmoloog vooral monochroomachtige schilderijen maar in zijn latere werk is hij er toch in geslaagd om warme kleurvolle effecten te bekomen met een gelimiteerd palet (93). De artiest met een deuteranopie vermijdt vooral groen met een dominante golflengte van 500 nanometer omdat hij dit groen vooral soms verwart met wit. Een extreme deuteranomale kunstenaar heeft de neiging om bleekgroen te verwarren met wit en diepgroen te zien als iets met weinig kleur in zich (93).

Liebreich gaf zijn naam aan het **Liebreich-teken**. Liebreich merkte tijdens een Londense kunstexhibitie in 1871 op dat sommige kleurzingestoorde artiesten rode objecten, zoals daken, rood kleuren aan de belichte kant van het object en groen aan de schaduwkant van het object. Dit werd gedacht een indicatie te geven van het feit dat de artiest een kleurzinstoornis had en het werd bekend als het “Liebreich-teken” (94) (90). Noch Jens Johannsen noch de kunstzinnige oftalmoloog uit de casus van Cole vertoonden het Liebreich-teken (93).

Kunstenaars met een ernstige kleurzinstoornis hebben verschillende **opties**. Een eerst optie is een carrière buiten de visuele kunsten. Een tweede optie is om over te schakelen naar een kunstrichting waar de expressie geen gebruik maakt van kleur zoals fotografie, zwart-wit fotografie, etsen en beeldhouwen, net zoals Charles Meryon.
Een derde optie is om het kleurenpalet te beperken tot korte golf blauw en lange golf geel, oranje en rood en om te werken met de variaties in saturatie en helderheid binnen dit gelimiteerde palet. Dit is een strategie die door Jens Johannsen wordt gebruikt en ook door de deuteranomale oftalmoloog van Cole.

## 3.6 Literatuurstudie met betrekking tot de Ishihara-test

### 3.6.1 Inleiding

De Ishihara-test is wereldwijd de meest gebruikte screeningstest voor kleurzinstoornissen. Deze test werd voor het eerst in 1917 gepubliceerd door Dr. Shinobu Ishihara (Igaku-Shoin, Tokyo), en werd sindsdien vele malen herdrukt. Hij bevat pseudo-isochromatische (PIC) platen en is geschikt voor het opsporen van congenitale of verworven kleurzinafwijkingen van het type protan (rood) en deutan (groen). De Ishihara PIC-platen zijn opgebouwd uit bolletjes van verschillende grootte en kleurtint, waarin de waarnemer al dan niet een cijfer kan herkennen. Daarnaast zijn er ook aangepaste platen voor kinderen die moeilijk cijfers lezen. Deze platen zijn voorzien van kronkelende lijnen (de zogenaamde Ishihara-'slangetjes') die met een penseel overtekend moeten worden.

De uitstekende reputatie van de Ishihara-test is gebaseerd op een goed gedocumenteerde combinatie van zeer hoge specificiteit én sensitiviteit bij het opsporen van kleuzinafwijkingen. In de literatuur wordt deze test daarom beschouwd als de gouden standaard op het gebied van screening voor rood-groen afwijkingen (95). Met de Ishihara test kunnen de (uiterst zeldzame) blauw-geeldefecten echter niet opgespoord worden - omdat de test hiervoor geen platen bevat – en hij laat niet toe om met zekerheid het type noch de graad van de afwijking te bepalen. Voor het stellen van een precieze diagnose van kleurzinstoornis wordt de anomaloscoop door de meeste auteurs als gouden standaard beschouwd.

De meest complete editie van de Ishihara-test bevat 38 platen, maar er zijn ook verschillende kortere versies van de test verkrijgbaar (selectie van 24, 16, 13 of zelf 6 platen uit de 38). Volgens de handleiding zijn verkorte edities beter geschikt voor screeningsdoeleinden, en mag men - mits het respecteren van enkele simpele richtlijnen - zelf een selectie van een klein aantal platen maken. Hierbij rijst echter de vraag of de afname van een verkorte Ishihara-editie de teisteigenschappen van het instrument niet in negatieve zin beïnvloedt. Zouden de verschillende combinaties van platen even goed discrimineren tussen normaal en gestoord kleurzien, of zijn bepaalde platen te verkiezen boven andere?

Bij deze zoektocht naar de optimale samenstelling van een CLB-screeningsinstrument voor de opsporing van kleurzinafwijkingen werd een uitgebreid literatuuronderzoek verricht over de Ishihara-test. Hieronder een samenvatting van de beschikbare gegevens over volledige én verkorte Ishihara-edities (deels gebaseerd op studie van M. Verlooy (1) en aangevuld met bijkomend literatuuronderzoek door C. Guérin).

3.6.2 Aanbevelingen van de auteur i.v.m. de verschillende edities van de Ishihara-test

De verschillende platen van de Ishihara-test zijn telkens ontworpen volgens een welbepaald principe en kunnen aan de hand hiervan in vijf groepen onderverdeeld worden (nummering naar de 38-platen editie, cfr platenoverzicht in bijlage 1: *demonstratie* (1), *transformatie* (2-9), *vanishing* (10-17), *hidden digit* (18-21), *classificatie* (22-25). De handleiding van de Ishihara-test bevat zeer nuttige informatie over de verschillende mogelijkheden van het aantal te gebruiken platen, de keuze ervan en de aanbevolen cut-off waarden.

- **38-plateneditie**
  - Bij de 38-platen editie zijn de eerste 21 platen bedoeld om een onderscheid te maken tussen personen met een normaal en een abnormaal kleurenzicht. Hiervoor hoeven de 4 volgende diagnostische (of classificatie) platen dus niet getoond te worden. De resterende platen (26 t.e.m. 38) zijn de zogenaamde Ishihara-'slangetjes', speciaal ontworpen voor jonge kinderen die nog niet in staat zijn om cijfers te herkennen.
  - Volgens de handleiding dient het resultaat als normaal beschouwd te worden wanneer minimum 17 van de eerste 21 platen correct gelezen worden, en als abnormaal wanneer slechts 13 platen (of minder) herkend worden.
  - De personen die tussen de 14 en de 16 platen juist lezen zijn zeldzaam. Om deze personen te klasseren moet men ze onderzoeken met een anomaloscoop.

- **Verkorte edities van de Ishihara-test**
  - In de 24-platen editie laten de 15 eerste platen toe om een kleurzinafwijking op te sporen. Zoals bij de 38-platen editie hoeven de classificatie platen (16 en 17) niet getoond te worden als men enkel een onderscheid wil maken tussen personen met een normaal en een afwijkend kleurenzicht, en bieden de 7 resterende platen slangetjes aan.
  - De 6de editie (1932) van de Ishihara-test is een editie die 13 platen met cijfers bevat en 3 met slangetjes De selectie van 13 platen aanbevolen in de standaard visus van de VWVJ is gebaseerd op deze editie (96).
  - Met de 14-platen editie wordt bedoeld plaat 2 tot 15 van de 24 platen editie (plaat n° 1, de demonstratieplaat wordt niet meegeteld). Hierbij wordt een persoon als normaal beschouwd als hij 12 van de 14 platen juist leest (97).
  - Volgens de handleiding kan men zich voor eenvoudige screening beperken tot de afname van **6 platen**. Hierbij mag men volgens Ishihara zelf een selectie maken: demonstratieplaat n°1 en één plaat van elk van de volgende groepen: 2-5, 6-9, 10-13, 14-17 en 18-21 (cf. vetomkaderde celgroepen op platenoverzicht in bijlage 1). Het juist

lezen van de 6 geselecteerde platen voor screening laat toe om een persoon te klasseren als normaal. In geval van fout lezen van één van deze 6 platen presenteert men de volledige reeks platen (n°2 tem 25 van de 38-plateneditie) alvorens te besluiten tot een rood-groen afwijking.

### 3.6.3 Gedocumenteerde testeigenschappen van de verschillende Ishihara-edities

Vele studies hebben zich gebogen over de waarde van de Ishihara-test (volledige of verkorte versies) als screeningsinstrument. De meest recente gegevens komen uit studies opgezet om nieuw ontwikkelde kleurzintests te valideren. Hierbij fungeert de Ishihara-test als referentie en 'gouden standaard' op vlak van screeningsinstrument. Alleen de publicaties waarbij naast de Ishihara-test ook een onderzoek met de anomaloscoop afgenomen werd (bij wijze van gouden standaard voor diagnose van kleurzinstoornis), werden weerhouden.

Alle bruikbare gegevens over de testeigenschappen van de Ishihara-test, die dit literatuuronderzoek leverde, vindt men samengevat in tabel 2. Hieruit blijkt dat de bekomen waarden voor sensitiviteit en specificiteit in alle geciteerde studies in dezelfde grootteorde liggen, doch wel verschillen naargelang de cut-off waarden (aantal getolereerde fouten) die gehanteerd worden. Om een kritische analyse van deze resultaten mogelijk te maken, werd informatie over deze én andere beïnvloedende factoren - zoals omvang van de studie, samenstelling van de onderzoekspopulatie en gebruikte platen – steeds bij het overzicht vermeld.

Tabel 2: Overzicht van literatuurgegevens over testeigenschappen van verschillende Ishihara-edities, met anomaloscopie als gouden standaard.

| Publicatie: Auteur (ref) | Studie-omvang | Samenstelling van onderzoekspopulatie | Geteste editie (afgenomen platen) | Cut-off waarde | Gevonden sensitiviteit | Gevonden specificiteit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Littlewood(97) | N = 400 | Volwassenen (voornamelijk mannen) | 38-plateneditie (1-21) | ≥ 5 fouten | 99% | 82% |
| Mantyjarvi(98) | N = 283 | Schoolgaande kinderen en studenten | 38-plateneditie (1-21) | ≥ 5 fouten | 76,9% | 100% |
| Birch(99) | N = 879 | 471 normale kleurziende mannen + 401 kleurzingestoorden | 38-plateneditie (1-21) | ≥ 8 fouten | 80,5% | 100% |
| Birch(99) | N = 879 | 471 normale kleurziende mannen + 401 kleurzingestoorden | 38-plateneditie (1-21) | ≥ 6 fouten | 94% | 95,4% |
| Birch(99) | N = 879 | 471 normale kleurziende mannen + 401 kleurzingestoorden | 38-plateneditie (1-21) | ≥ 3 fouten | 98,7% | 94,1% |
| Aarnisalo(100) | N = 150 | 100 normale volwassenen + 50 kleurzingestoorden | 38-plateneditie (1-21) | ≥ 1 fout | 100% | 67% |
| Mollon(101) | N = 81 | 39 normale kleurziende volwassenen + 42 kleurzingestoorden | 13-plateneditie (1-13) | ≥ 1 fout | 100% | 100% |
| Cotter(102) | N = 62 | 41 normale kleurziende volwassenen + 21 kleurzingestoorden | 13-plateneditie (1-13) | ≥ 1 fout | 100% | 90,5% |
| Dain(103) | N = 126 | + 68 normale adolescen-ten en volwassenen + 58 kleurzingestoorden | 13-plateneditie (1-13) | ≥ 2 fouten | 100% | 98% |

3.6.4 Bijkomende aandachtspunten bij de afname en de interpretatie van de Ishihara-test

- **De volgorde van de platen** bij afname van de test blijkt niet onbelangrijk. Volgens Littlewood en Hyde (104) is het aanbevolen om slechts één plaat van hetzelfde type te selecteren. Zo wordt enerzijds vermeden dat kleurzingestoorden ontmoedigd worden (falen bij verschillende platen van hetzelfde type achter elkaar), en anderzijds dat ze compensatiemechanismen ontwikkelen (bvb herkenning van het juiste cijfer op basis van helderheid i.p.v. kleur).

- In de literatuur wordt aangegeven dat er een onderscheid kan gemaakt worden tussen **echte fouten en vergissingen** bij het lezen van de cijferplaten.
  - Met echte fouten worden hier enkel bedoeld de fouten die typisch zijn voor kleurzingestoorden, met andere woorden het niet kunnen lezen van vanishing-type platen en het lezen van de verborgen cijfers in transformation-type platen. Andere fouten kunnen “vergissingen” genoemd worden op voorwaarde dat het niet gaat om typische fouten. Zo zou men een cut-off van 6 “vergissingen” op 21 platen nog als normaal kunnen beschouwen (99).

- Lakowski beschrijft in een review van de theorie en praktijk van kleurenzintesting dat het gemiddeld aantal fouten dat wordt gelezen door normale proefpersonen sterk afhankelijk is van de leeftijd. Jonge en oudere proefpersonen maken het meeste fouten bij het lezen van de Ishihara-test; het minst aantal fouten wordt gemaakt door personen in de vierde leeftijdsdecade. Zeer opvallend is het feit dat specifiek het kunnen lezen van een hidden-digit type plaat door normaal kleurenzienden vooral voorkomt in de derde leeftijdsdecade en zelden bij personen ouder dan 50 jaar. Over het algemeen zouden het grootst aantal fouten worden gemaakt bij het vanishing-type plaat en in mindere mate bij het transformatie-type.
- In dit verband stelt Lakowski dat het vaststellen van een cut-off waarde voor classificatie normaal-abnormaal onder andere afhankelijk moet zijn van de samenstelling van de testgroep, doch is hij zich ervan bewust dat het vaststellen van deze cut-off allesbehalve gemakkelijk is (105). Het is immers duidelijk dat personen met een ernstige afwijking zeer veel fouten maken, maar personen met een matig tot lichte afwijking kunnen zowel zeer veel als zeer weinig fouten maken, waardoor men bij een laag aantal fouten te maken heeft met een continuüm aan waarschijnlijkheden of een persoon al dan niet normaal is.
- Een recente publicatie beschrijft de prevalentie van “vaak gemaakte fouten” per plaat in een cross-sectionele studie (106) gebaseerd op een grootschalige steekproef (1.735 zesjarigen) representatief voor de Australische populatie. Uit dit onderzoek blijkt dat 75,8% van de normaal kleurziende kinderen één of meerdere fouten maakte op de Ishihara 24-platen editie. Bij deze homogene jonge leeftijdsgroep kon geen correlatie met de leeftijd aangetoond worden. Normaal kleurziende kinderen maakten vooral fouten bij platen 3 (48,4%) en 5 (40,8%) (cf. details in tabel 3). Het meest vervelend hierbij is dat sommige van deze “vaak gemaakte fouten” overeenkomen met de fouten die net als typisch voor kleurzingestoorden dienen beschouwd te worden. Deze gegevens bevestigen dus het nut van een verkorte Ishihara-editie voor screeningsdoeleinden, waarbij de selectie van platen gebaseerd is op recente onderzoeksgegevens bij jonge kinderen.

### 3.6.5 Verkorte Ishihara-test voor screeningsdoeleinden

De Ishihara-handleiding beschrijft hoe men een minimum van 6 platen voor screeningsdoeleinden dient uit te selecteren. Volgens deze richtlijnen kunnen zeer veel verschillende platencombinaties gebruikt worden.
In de literatuur worden de testeigenschappen van de verschillende verkorte Ishihara-versies echter onvoldoende gedocumenteerd. Er werd slechts één studie gevonden, waarbij onderzocht werd of het slagen voor de test met een Farnsworth Lantern kon voorspeld worden door de uitslag op 14 of 6 Ishihara-platen. Hierbij werden 2 reeksen van 6 platen uitgetest (elk bij een verschillende steekproef van 200 volwassenen) en het resultaat ervan werd vergeleken met de uitslag op de 14-platen Ishihara-editie en op de Farnsworth Lantern. Uit dit onderzoek blijkt dat alle beschreven testprocedures vergelijkbare resultaten geven, met een perfecte overeenkomst tussen de resultaten op de 6- versus 14-plateneditie. In dit onderzoek werden de 2 reeksen van 6 platen spijtig genoeg niet met elkaar vergeleken en er werd ook geen controle-onderzoek met de anomaloscoop verricht. Dit laatste verhindert ons om de testeigenschappen van de verschillende screeningsmethodieken ten opzichte van het gouden standaard onderzoek te berekenen.

Gelukkig werden enkele studies in de literatuur gevonden, die bruikbare en goed gedocumenteerde informatie over de testeigenschappen van sommige individuele Ishihara-platen aan het licht brengen (100) (101).
In tabel 3 vindt u een overzicht van deze gegevens. Naast de vermelding van sensitiviteit en specificiteit voor elk van de 13 platen die momenteel in het CLB afgenomen worden (selectie gebaseerd op de 6° Ishihara-editie), wordt ook alle informatie samengevat die enerzijds uit de literatuur en anderzijds uit eigen onderzoek in het CLB werd verzameld, namelijk: het type plaat, de fouten die als “typisch” kunnen beschouwd worden en de prevalentie van zowel “typische”, als “niet typische” en “vaak gemaakte fouten” (cfr definities in §3.6.4).

Tabel 3: Gedocumenteerde testeigenschappen van individuele Ishihara-platen (13 platen uit 6° Ishihara-editie).

| N°plaat (13platen -editie) | Type plaat (✱) | Gelezen bij normaal vs Prot/Deut | Wordt als typische fout beschouwd (1) | Prevalentie "niet typische fouten" (N=166+129) (1) | Prevalentie "typische fouten" (N=166+129) (1) | Prevalentie "vaak gemaakte fouten" (N=1735)(106) | Sensitiviteit per plaat (N=81+150) (100;101) | Specificiteit per plaat (N=81+150) (100;101) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | D | 12 → 12 | - | 0% | 0% | 0,2% | 100% | 100% |
| 2 | T | 8 → 3 | 3,- | 0% | 0,8 - 2,4% | 0,1% | 70-83% | 100% |
| 3 | T | 29 → 70 | 20,70,79, 10,71,90,- | 0,8 - 1,8% | 6 - 24,8% | 48,4% | 64-85% | 100% |
| 4 | T | 5 → 2 | 2,- | 1,2% | 1,6 - 4,2% | 0,2% | 86-93% | 100% |
| 5 | T | 74 → 21 | 71,24,21,- | 0,6 – 1,6% | 48,1% | 40,8% | 90-96% | 94-100% |
| 6 | V | 6 → - | - | 1,2 – 5,4% | 4,2 - 7% | 6,5% | 76-89% | 100% |
| 7 | V | 45 → - | - | 1,8 – 6,9% | 5,4 - 8,5% | 3,4% | 64-87% | 100% |
| 8 | V | 5 → - | - | 0,6 – 0,7% | 2,3 - 4,2% | 2,2% | 70-91% | 100% |
| 9 | V | 7 → - | - | 0 - 1,6% | 3,9 - 4,2% | 0,4% | 72-87% | 100% |
| 10 | H | - → 5 | 5 | 0 - 0,8% | 0,8 - 1,8% | -(*) | 74% | 99% |
| 11 | H | - → 45 | 45,15 | 0 - 1,3% | 2,4 - 4,7% | -(*) | 44% | 98% |
| 12 | C | 26 → 6/2 | 2,6,-,8 | 3,0 - 13,9% | 6,6 - 14,7% | 10,1% | NVT | 100% |
| 13 | C | 42 → 2/4 | 4,2,- | 0 - 1,5% | 2,3 - 4,2% | 0,9% | NVT | 100% |

**Legenda:**
- (✱) Type plaat: D = *Demonstratie* – T = *Transformatie* – V = *Vanishing* – H = *Hidden digit* – C = *Classificatie*
- Vet omkaderde celgroepen verwijzen naar de richtlijnen van Ishihara zelf voor de selectie van een beperkt aantal platen (één plaat van elke groep uitselecteren)
- Achtergrondkleur:
  - Grijs: plaat die weerhouden werd bij de selectie van 7 platen voor pilootonderzoek in het CLB (zie verder: § besluit en hoofdstuk "Opzet van het onderzoek")
  - Wit: plaat die niet weerhouden werd bij de selectie van 7 platen voor pilootonderzoek in het CLB

-(*): Niet getest
-NVT: Niet van toepassing

### 3.6.6 Besluit

Volgens Littlewood en Hyde is het gebruik van een verkorte versie van de Ishihara-test, die slechts één plaat van elk type bevat, te verkiezen boven de afname van de gehele test in het kader van screening naar kleurzinafwijkingen (104). De Ishihara-handleiding bevestigt dat verkorte Ishihara-tests beter geschikt zijn voor screeningsdoeleinden en beschrijft hoe men hiervoor een minimum aan 6 platen dient uit te selecteren. In zijn literatuurreview van kleurzintesten (2004) geeft Dain aan dat de sensitiviteit en specificiteit van de hele Ishihara-test de 100% benaderen, terwijl sensitiviteit en specificiteit van de individuele Ishihara-platen tussen 85 en 95% liggen. Volgens hem kan uit de literatuur besloten worden dat de verkorte versies van de Ishihara-test een vergelijkbare screeningswaarde hebben als de volledige test. Recent onderzoek heeft echter aangetoond dat het design van sommige Ishihara-cijfers (voornamelijk de cijfers 4, 5, 6 en 7) vaak aanleiding geeft tot "vergissingsfouten", en dit vooral bij jonge kinderen (106) (1). Mogelijks kan dit verklaard worden door het feit dat jonge

kinderen niet vertrouwd zijn met het lettertype van de Ishihara-cijfers en met het lezen van dubbele cijfers. Het feit dat sommige van deze vaak gemaakte fouten overeenkomen met de fouten die typisch zijn voor kleurzingestoorden bij bepaalde platen, is natuurlijk bijzonder vervelend. Gezien de negatieve gevolgen van die knelpunten op de testeigenschappen van het screeningsinstrument (namelijk groot aantal vals-positieve resultaten), dient men hiermee rekening te houden bij de optimale samenstelling van een verkorte Ishihara-test voor het CLB.

In afwezigheid van beschikbare gegevens over de testeigenschappen van zeer korte Ishihara-tests - en na grondige analyse van alle beschikbare informatie - werden de 7 platen, die in tabel 3 met een grijze achtergrond gemarkeerd zijn, uitgekozen als mogelijk meest geschikt voor gebruik in het CLB en weerhouden voor een CLB-pilootonderzoek (zie verder: 'opzet van het onderzoek'). Bij deze selectie werd naast de Ishihara-richtlijnen en de gedocumenteerde testeigenschappen in die respectievelijke volgorde voorkeur gegeven aan 1/ een plaat met slechts één cijfer, 2/ een plaat zonder designmoeilijkheid, 3/ een plaat waar weinig vergissingsfouten voorkwamen en 4/ een plaat waar onderzoek in het CLB naar gebeurd was (1). Hierbij werd rekening gehouden met de onderzoeksresultaten (proportie correcte versus foutieve antwoorden per plaat). Op expertenadvies (A. Uvijls) werd nog één extra-plaat uit de groep "classificatie" toegevoegd. Of deze selectie van 7 platen als dusdanig een beter CLB-screeningsinstrument vormt dan de huidige 13-platenselectie zal uit het volgende onderzoek moeten blijken.

## 4. Besluit en aanbevelingen voor het CLB

Uit deze literatuurstudie blijkt dat een kleurzinstoornis een zekere impact heeft op verscheidene levensdomeinen. In een recent onderzoek van Steward en Cole gaf een groot deel van de geïnterviewde personen met een kleurzinstoornis aan dat hun carrièrekeuze door de kleurzinstoornis bepaald werd (2). Bovendien bleek in dezelfde studie dat hoe ernstiger de graad van kleurzinstoornis was, hoe meer problemen dit in het dagelijkse leven met zich meebracht.
De gevolgen van een dyschromatopsie voor het dagelijkse én professionele leven kunnen als volgt samengevat worden:

Op school, waar **denotatieve kleurtaken** regelmatig terugkomen, blijken leerlingen met kleurzinstoornissen over het algemeen niet met al te grote moeilijkheden geconfronteerd te worden (10). Wanneer de omgeving geen kennis heeft van de dyschromatopsie, kan het kind zich echter onbegrepen voelen terwijl het zelf ook geen inzicht heeft in zijn kleurzinstoornis. Veelvuldige correcties door leerkrachten die het probleem niet herkennen, kan leiden tot een negatief zelfbeeld zoals de wetenschapper Snyder het zelf meemaakte (11). Het tijdig opsporen en onderkennen van de kleurzinstoornis maakt het mogelijk voor het dyschromate kind om effectieve adaptieve strategieën te ontwikkelen, en zodoende de impact van de kleurzinstoornis zo klein mogelijk te maken.
Wanneer kleur aangewend wordt als zoekstrategie, zoals bij complexe visuele displays, blijken kleurzingestoorden een duidelijke vertraagde reactietijd te vertonen. Dit kan een handicap vormen bij het uitvoeren van bepaalde taken waarbij de snelheid van de reactie een beslissende impact heeft op het eindresultaat (bv veiligheidsfuncties) (14). Bij sommige sportactiviteiten, waarin kleur een rol speelt (bv voor cricketspelers), ondervinden kleurzingestoorde personen slechts beperkte hinder.

Ook **connotatieve kleurtaken**, zoals signaallampen in de scheepvaart, de luchtvaart, het treinverkeer en het wegverkeer, kunnen bij dyschromate proefpersonen voor problemen zorgen. Omdat in deze professionele domeinen de veiligheid van anderen primeert, werden in wetten, en Koninklijke en Ministeriële Besluiten, beperkingen opgelegd aan kleurzingestoorde personen om bepaalde beroepen met een groot veiligheidsrisico in de scheep- en luchtvaart uit te oefenen (24;40). Voor het besturen van een auto bestaan er daarentegen momenteel geen wettelijke beperkingen. De hindernissen van kleurzingestoorde bestuurders kunnen tot een minimum beperkt worden door kleuren van specifieke golflengtes te gebruiken waardoor de verschillende verkeerslichtsignalen gemakkelijker van elkaar kunnen onderscheiden worden. De CIE heeft hiervoor richtlijnen uitgevaardigd (73).

Het uitoefenen van het beroep van arts kan gehinderd worden door een kleurzinstoornis, wat echter kan gecompenseerd worden door extra aandacht te schenken aan informatie die - los van de kleurtint - kan gehaald worden uit secundaire cues van lichamelijke symptomen. Aan geen enkele Belgische universiteit wordt het kleurzinvermogen getest alvorens men aan de studie van arts kan beginnen.
Wel zijn er bepaalde beroepen waarbij dyschromaten een zekere mate van handicap ondervinden. Zo is het voor kleurzingestoorde elektriekers moeilijk om hun job uit te oefenen, bv. omdat de weerstanden en de condensators kleurgecodeerd zijn (43).
Ook luchtverkeersleiders die dyschromaat zijn, hebben problemen bij het correct aflezen van de vluchtverloopstrips, waardoor deze functie terecht aan strikte voorwaarden vwb het kleurzinvermogen onderworpen wordt (79).
Tenslotte maken kleurzingestoorde proefpersonen meer fouten bij het aflezen van gekleurde computerschermen dan normaal kleurzienden. Dit is vooral van belang wanneer informatie snel en correct via dergelijke computerschermen moet afgelezen worden.

Bij het uitoefenen van **vergelijkende kleurtaken** kan een kleurzinstoornis hinderend zijn, bv. om twee mixverven van identieke kleur te bekomen, of om de kleur van twee voorwerpen (zoals kunsttanden) te matchen. Dyschromaten kunnen dit probleem omzeilen door zich te laten bijstaan door iemand anders die normaal kleurziend is.

Bepaalde **esthetische kleurtaken** zullen ook probleem stellen voor iemand met een kleurzinstoornis. Een dyschromatopsie vormt echter geen onoverkomelijke handicap om het tot gewaardeerd kunstenaar te schoppen (90). Bij dyschromate kunstschilders valt echter op dat zij soms een ander en wat ongewoon kleurenpalet gebruiken (93).

Uit deze literatuurstudie blijkt dat het van belang is om dyschromate kinderen en hun omgeving tijdig te informeren over de kleurzinstoornis. Leerkrachten én ouders kunnen dan op een adequate manier mogelijke emotionele problemen bij het kind vermijden, en effectieve adaptieve strategieën bij het kind helpen ontwikkelen. Om deze redenen blijkt het een belangrijke **opdracht voor het CLB** om kleurzinstoornissen op te sporen. In geval van dyschromatopsie kan het CLB de leerling op oudere leeftijd begeleiden bij het maken van een beroepskeuze. Door gerichte informatie tijdig te verstrekken, kan vermeden worden dat het dyschromate kind voor een baan of studierichting kiest, waarbij zijn kleurzinbeperking zich in een werkelijke handicap bij de uitoefening van zijn beroep zal vertalen (zoals bv. piloot, elektrieker, treinbestuurder,…).

De **Ishihara-test** is de meest gebruikte screeningstest om kleurzinstoornissen op te sporen. Van de Ishihara-test 38-plateneditie bestaan verschillende kortere versies (selecties van 24, 16, 13 of 6 platen uit de 38). Bij de afname van de Ishihara-test kan een onderscheid gemaakt worden tussen echte fouten – die typisch zijn voor kleurzingestoorde personen - en andere vergissingen of veel gemaakte fouten door normaal kleurziende kinderen. In afwezigheid van beschikbare gegevens over de testeigenschappen van zeer korte Ishihara-versies en na grondige analyse van alle beschikbare informatie over de sensitiviteit en specificiteit van individuele Ishihara-platen, werden 7 platen uitgekozen als mogelijk meest geschikt voor gebruik in het CLB en weerhouden voor een CLB-pilootonderzoek. Hierbij werd ook rekening gehouden met de informatie die verzameld was bij een vorig onderzoek in het CLB (1).

# DEEL 2: EIGEN ONDERZOEK

## 1. Inleiding

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat vroegtijdige opsporing van kleurzinafwijkingen bij schoolgaande kinderen zinvol is om enerzijds mogelijke emotionele en psychologische problemen tijdens de schooloopbaan te vermijden, en anderzijds een correcte studie- en beroepsoriëntering binnen de eigen mogelijkheden te garanderen.
In onderstaand onderzoek willen we een bijdrage leveren om dergelijke screening op een haalbare en effectieve manier te kunnen uitvoeren in het CLB.

## 2. Probleemstelling en onderzoeksvragen

### 2.1 Probleemstelling

In de "Standaard visusonderzoek voor 3- tot 18-jarigen in het CLB" (die de geldende aanbeveling is voor goede medische praktijk in de CLB) wordt voor de screening naar kleurzinafwijkingen aanbevolen om een selectie van 13 platen uit de Ishihara-test (Tabel 4) af te nemen bij kinderen van het eerste leerjaar. Volgens deze richtlijn is er vanaf één fout gelezen plaat sprake van een afwijkend testresultaat.

Uit een vorig onderzoek blijkt echter dat sommige van deze 13 platen bij jonge kinderen moeilijk af te nemen zijn (1).
Dit zou oa. te wijten zijn aan problemen met het herkennen van cijfers met een verouderd design en aan een te hoge moeilijkheidsgraad bij het lezen van dubbele cijfers. Hierdoor leidt het strikt toepassen van de aanbevolen criteria tot een groot aantal verwijzingen, wat in de praktijk noch haalbaar noch wenselijk is. De vraag is dus of een andere, of een beperktere, selectie van platen tot een beter screeningsinstrument voor de CLB kan leiden.

### 2.2 Doel van het onderzoek

Doelstelling van dit onderzoek is het bepalen van de waarde van een verkorte versie van de Ishihara-test bij de vroegtijdige opsporing van kleurzinafwijkingen bij kinderen door het CLB. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een selectie van 7 (uit de 13 gebruikelijke) PIC-platen.

Deze keuze is gebaseerd op de gedocumenteerde testeigenschappen van elke plaat, op expertadvies en op de resultaten van vorig onderzoek (cf. Literatuuronderzoek §3.6.5).

## 2.3 Onderzoeksvraag

Is de verkorte versie van de Ishihara-test, bestaande uit 7 geselecteerde platen, bruikbaar als screeningstest naar kleurzinstoornissen in het CLB?

Met andere woorden:
Welke zijn de testeigenschappen van dit instrument bij de opsporing van kleurzinafwijkingen in de context van een preventief CLB-consult bij kinderen van het eerste leerjaar?

# 3. Methode

Het onderzoek bestaat uit 2 fasen: In een eerste fase werd de Ishihara-test met 13 platen (zoals aanbevolen in de Standaard Visus) afgenomen en geregistreerd bij leerlingen van het 1e leerjaar tijdens het CLB-onderzoek. Daarna werden uit die groep, leerlingen geselecteerd om in een tweede fase deel te nemen aan een gouden standaard kleurzinonderzoek in het UZ-Gent.

## 3.1 Fase 1

### 3.1.1 Onderzoekspopulatie en steekproeftrekking

De doelgroep van dit onderzoek bestaat uit **leerlingen van het eerste leerjaar**. Alle leerlingen, waarbij een kleurzinonderzoek in twee Gentse CLB's tussen november 2005 en januari 2006 werd uitgevoerd tijdens het preventief gericht consult op school, kwamen in aanmerking voor deelname aan fase 1 van het onderzoek. Volgende centra hebben hun actieve medewerking bij dit onderzoek verleend: 3 Gentse CLB-vestigingen uit 2 netten (het Vrij CLB-Gent vestiging Marialand, het Vrij CLB-Gent vestiging Halve Maanstraat en het CLB van het Gemeenschapsonderwijs Gent).

### 3.1.2 Test, testprocedure en omstandigheden van testafname

Bij alle leerlingen die in het onderzoek werden opgenomen, werd de Ishihara-test met 13 platen (zie tabel 4 en bijlage 2) afgenomen, zoals aanbevolen in de "Standaard Visusonderzoek" voor deze leeftijdsgroep. Tabel 4 geeft deze 13 platen weer met vermelding van het type plaat (zie bijlage 1), en wat normaal kleurzienden en kleurgestoorden hierop kunnen lezen. In de laatste kolom wordt per plaat vermeld welke fouten als "typisch" voor dyschromaten kunnen beschouwd worden. De cellen met grijze achtergrondkleur geven de platen aan die weerhouden werden in de 7-platenselectie (cf. literatuuronderzoek § 3.6.5)

Tabel 4: 13-platenversie van de Ishihara-test, met vermelding van type plaat, wat normaal kleurzienden en kleurgestoorden hierop lezen en welke fouten typisch zijn voor dyschromaten

| N°plaat (13platen-editie) | Type plaat (*) | Gelezen bij Normaal vs Protan/Deutan | | | Wordt als typische fout beschouwd (1) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Demonstratie | 12 | → | 12 | - |
| 2 | Transformatie | 8 | → | 3 | 3, - |
| 3 | Transformatie | 29 | → | 70 | 20, 70, 79, 10, 71, 90, - |
| 4 | Transformatie | 5 | → | 2 | 2, - |
| 5 | Transformatie | 74 | → | 21 | 71, 24, 21, - |
| 6 | Vanishing | 6 | → | - | - |
| 7 | Vanishing | 45 | → | - | - |
| 8 | Vanishing | 5 | → | - | - |
| 9 | Vanishing | 7 | → | - | - |
| 10 | Hidden Digit | - | → | 5 | 5 |
| 11 | Hidden Digit | - | → | 45 | 45, 15 |
| 12 | Classificatie | 26 | → | 6 / 2 | 2, 6, -, 8 |
| 13 | Classificatie | 42 | → | 2 / 4 | 4, 2, - |

(*): Beschrijving type plaat (voor gedetailleerd uitleg, zie bijlage 1)

Achtergrondkleur: - Grijs: Plaat die weerhouden werd bij selectie van 7 platen voor pilootonderzoek in het CLB

- Wit: Plaat die niet weerhouden werd bij selectie van 7 platen voor pilootonderzoek in het CLB

In het kader van dit onderzoek werden de klassieke testomstandigheden als volgt aangepast:

**A/** De platen werden in een **andere volgorde** afgenomen:

Bij de afname van de test in het CLB werden die 7 geselecteerde platen steeds als eerste aan de leerling aangeboden, om de invloed van de andere platen te beperken.

Hiervoor werd aan de verpleegkundigen gevraagd de volgorde van de platen in het boekje met de Ishihara-platen te veranderen, maar er werd niet meegedeeld welke (noch hoeveel) platen voor onze studie van belang waren. Zo kon de verpleegkundige onbevooroordeeld de test afnemen en de resultaten beoordelen.

**B/** Er werd voor **optimale belichtingsomstandigheden** gezorgd:
Dit gebeurde door middel van draagbare verlichtingsapparatuur. Zoals in de standaard Visus aanbevolen, werd de test plat op tafel gelegd onder een TL lamp Philips TLD 86, 18W gemonteerd op een statief op 42 cm hoogte. Deze verlichtingsapparatuur was noodzakelijk, maar niet altijd praktisch op school (relatief groot en fragiel, noodzaak van een stopcontact in de buurt of verlengkabel).

**C/** Voor kinderen die moeilijk cijfers kunnen benoemen, werd ook een **kaart** (bijlage 3) ter beschikking gesteld **met alle testcijfers** op afgebeeld. Kinderen konden zo nodig op de kaart het cijfer aanwijzen dat zij bij het aanbieden van een testplaat meenden te zien (=matching-principe). Bedoeling hierbij was een oplossing te bieden voor leerlingen die in het eerste trimester van het schooljaar de cijfers nog niet goed kennen of voor anderstaligen die moeite hebben met het benoemen van cijfers.

**D/** Enkel indien zowel bij lezen als bij matchen de eerste 7 platen te moeilijk bleken te zijn, werden de '**slangetjes**' afgenomen.

### 3.1.3 Registratieformulieren

Om de antwoorden te noteren werd het registratieformulier, voorgesteld in de standaard Visus, aangepast (bijlage 4). Alle gelezen of gematchte cijfers werden genoteerd voor elke plaat. Apart gelezen cijfers (bij platen met dubbele cijfers) werden geregistreerd met een 'komma' ertussen. Twaalf verpleegkundigen waren betrokken bij de testafname en kregen een blad (bijlage 5) met informatie over de manier van registreren op het registratieformulier, nadat de verantwoordelijke artsen mondeling geïnformeerd waren over het onderzoek.

Bij dit onderzoek werden **geen specifieke richtlijnen gegeven over de interpretatie van de testuitslagen**. Er werd wel aan de CLB-medewerkers gevraagd om hun besluit op het registratieformulier te noteren (normaal; gestoord; twijfelachtig; onbetrouwbaar). Bij 'twijfelachtig' of 'onbetrouwbaar' werd ook de reden en de vervolgactie (bvb hernemen 3$^{e}$ trimester; hernemen 3$^{e}$ leerjaar; folder meegeven...) genoteerd. Er was ook plaats voorzien voor extra opmerkingen (vb: 'heel traag'; 'heel verstrooid'...). Naast de testresultaten werden ook een aantal bijkomende gegevens geregistreerd (zie verder §3.1.4 'databeheer').

Zoals gewoonlijk gebeurt naar aanleiding van een CLB-consult, werden de ouders van de kinderen met een afwijkend resultaat per brief op de hoogte gebracht van een mogelijke

kleurzinafwijking bij hun kind. Bij deze brief werd een informatiebrochure gevoegd met uitleg over kleurzinstoornissen, de mogelijke impact ervan op de schoolloopbaan en de beroepskeuze, en adviezen voor eventueel bijkomend onderzoek (folder in bijlage 6).

### 3.1.4 Databeheer

Alle informatie verzameld op de registratieformulieren werd vervolgens **geanonimiseerd** en ingebracht in een Excel-tabel waarbij al de relevante gegevens werden opgeslagen (zijnde de code, het geslacht en geboortedatum van de leerling, de school en klas, onderzoeksdatum, onderzoeker, besluit en opmerkingen en uiteraard de gegeven antwoorden op alle aangeboden Ishihara-platen).
Deze gegevens werden verder statistisch verwerkt met behulp van het invoegprogramma Analysis ToolPack van MS Office XP voor Excel 2002.

### 3.1.5 Ethische commissie

Een aanvraag voor het onderzoek werd ingediend bij de ethische commissie van Universitaire ziekenhuizen KUL. Hiervoor werd de procedure doorlopen en een volledig studieprotocol opgemaakt en opgestuurd (bijlage 7). Er werd uiteindelijk een gunstig advies toegekend en dit werd schriftelijk bevestigd door de Ethische commissie (bijlage 8).

## 3.2 Fase 2

### 3.2.1 Onderzoekspopulatie

Alle kinderen die tijdens dit CLB-onderzoek een afwijkend testresultaat (d.w.z. minimum 1 fout) hadden op de verkorte Ishihara-test (7-platenversie), werden gecontacteerd voor deelname aan een bijkomend gespecialiseerd kleurzinonderzoek in de dienst Oftalmologie van het UZ-Gent. Zij werden via de eigen CLB-arts schriftelijk en/of telefonisch uitgenodigd voor bijkomend kleurzinonderzoek volgens een ‘gouden standaard’-procedure (cf. § 3.2.2). Een model van uitnodiging- en toestemmingsformulier is te vinden in bijlage 9. Bij sommige anderstaligen werd de leerkracht en/of tolk van de school ingeschakeld om bijkomende uitleg te geven aan de ouders.
Het gespecialiseerde kleurzinonderzoek vond plaats in de week van 3 tot 8 april 2006 (1$^{e}$ week van de paasvakantie), met een bijkomende zitting op donderdag 29 juni 2006.

### 3.2.2 Test en testprocedure

Aan de ouders van de geselecteerde kinderen werd gevraagd schriftelijk toestemming te geven voor deelname van hun kind aan fase 2 van het onderzoek.

Het **gouden standaardonderzoek** zoals opgesteld en uitgevoerd door Dr. B. Leroy en De Heer A. Uvijls in het UZ-Gent omvatte de volgende kleurzintesten:

1. Pseudo-isochromatische platen van Ishihara (editie met 13 platen)
2. Tritan plate van Farnsworth
3. American Optical Hardy, Rand Rittler test (AO-HRR 1$^{ste}$ editie)
4. Panel D-15 van Farnsworth
5. Nagel Anomaloscopie met de Oculus Anomaloscoop

De selectie van pseudo-isochromatische platen in dit gouden standaardonderzoek verschilt enigszins met de 13-platenselectie in fase 1 van het onderzoek: 3 platen van de gouden standaard komen niet overeen met die van de Ishihara van fase 1 en zijn afkomstig van de 38-plateneditie:

a. Plaat 3 van fase 2 komt overeen met plaat 3 uit de 38-plateneditie
b. Plaat 5 van fase 2 komt overeen met plaat 10 uit de 38-plateneditie
c. Plaat 11 van fase 2 komt overeen met plaat 19 uit de 38-plateneditie

De Ishihara-test werd hier afgenomen met elk oog afzonderlijk om verworven kleurzinstoornissen (die dikwijls maar in 1 oog aanwezig zijn) te detecteren. Daarnaast gebeurde bij iedereen een oogonderzoek en een fundoscopie (ongedilateerd). Het onderzoek in deze 2$^{e}$ fase gebeurde **blind** voor het resultaat van fase 1 (informatie over aantal en type fouten werd niet ter beschikking gesteld), en werd uitgevoerd door Dr. Bart Leroy, oogarts-geneticus en Dhr. André Uvijls, kleurzindeskundige. Dit onderzoek vond plaats op de dienst Oftalmologie van het Universitair Ziekenhuis Gent.
Alle gegevens werden per kind op standaardregistratieformulieren genoteerd (bijlage 10).

### 3.2.3 Databeheer

Al deze gegevens werden achteraf door Dhr. André Uvijls in een tabel samengevat waarbij het resultaat van elk kind afzonderlijk per kleurzintest werd genoteerd en waarbij ook de uiteindelijke diagnose werd vermeld.
Deze gegevens werden door ons geanonimiseerd en ingevoerd in de reeds bestaande databank, opgesteld naar aanleiding van de 1$^{e}$ fase van het onderzoek.

## 4. Onderzoeksresultaten

### 4.1 Fase 1

#### 4.1.1 Onderzoekspopulatie

In totaal werden **481 leerlingen onderzocht**, waarvan 230 (47,8%) jongens en 251 (52,2%) meisjes. De gemiddelde leeftijd van de leerlingen was 6 jaar en 8 maanden (standaard deviatie, 6 maanden), met een maximumleeftijd van 9 jaar en 6 maanden en een minimumleeftijd van 5 jaar en 3 maanden.
Er werd op 17 scholen getest. In tabel 5 vindt u de verdeling volgens de onderzoeksplaats met telkens per school het aantal onderzochte leerlingen en het percentage dat dit van het totaal aantal onderzochte leerlingen vertegenwoordigt.

Tabel 5: Verdeling van aantal en percentages leerlingen naar onderzoeksplaats

| Locatie | Aantal onderzochte leerlingen (N=481) | Percentage onderzochte leerlingen op de totale steekproef |
|---|---|---|
| ASS ZELZAT | 32 | 6,7% |
| BEERVELDE | 18 | 3,7% |
| BIEBUYCK | 40 | 8,3% |
| BOTTELARE | 16 | 3,3% |
| DEST KERKH | 34 | 7,1% |
| DESTELDEKL | 11 | 2,3% |
| DORP ZAFF | 36 | 7,5% |
| MARIAKERK | 81 | 16,9% |
| MOZAÏEK | 39 | 8,1% |
| OLV | 36 | 7,5% |
| OOSTAK VO | 13 | 2,7% |
| PAT ZELZAT | 34 | 7,1% |
| ST-PAULUS | 17 | 3,5% |
| VOSKENSGO | 12 | 2,5% |
| WACHT DOR | 15 | 3,1% |
| WACHT OVE | 16 | 3,3% |
| ZEVENEKEN | 31 | 6,4% |
| **Eindtotaal** | **481** | **100%** |

#### 4.1.2 Werkwijze

Van de 481 leerlingen waren er **291 leerlingen (60%) die de cijfers voldoende kenden** om ze te lezen. 183 (=38%) kinderen hadden het nodig om in meer of mindere mate naast het lezen soms ook te matchen met een cijferkaart. Bij 1 kind werd gelezen en de slangetjes afgenomen, bij 3 anderen enkel gematcht en bij nog 3 andere leerlingen gematcht en de

slangetjes afgenomen. Dus bij **477 (=99,2%) kinderen kon een testresultaat aan de hand van ofwel lezen ofwel matchen bekomen worden**. Vier leerlingen konden de test slechts succesvol afleggen door het aanduiden van de slangetjes. Voor de voorstelling van de resultaten zal verder de term “lezen” gebruikt worden ongeacht de aangewende afnamemethodiek (“lezen” en/of “matchen”).

4.1.3 Testresultaten

- *Scores op selectie van 13 platen*:

Voor de analyse van de resultaten op de Ishihara-test werd 1 punt per juist gelezen plaat toegekend. Zodoende kon een leerling een score van 1 tot 13 behalen op de test. Score 1 wil zeggen dat slechts 1 plaat correct werd gelezen en score 13 dat alle platen juist werden gelezen. Score 0 bestaat niet aangezien de demonstratieplaat (plaat 1) door alle kinderen correct moet kunnen gelezen worden, en ook correct werd gelezen.
Tabel 6 is een weergave van de scores bij afname van de 13 platen: Slechts **112 kinderen (23,3%) slaagt erin een foutloze test** af te leggen.

Tabel 6: Frequentieverdeling van de scores op selectie van 13 Ishihara-platen

| SCORE op 13P | Aantal kinderen (N=481) | % |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 0,4 |
| 2 | 3 | 0,6 |
| 3 | 5 | 1,0 |
| 4 | 1 | 0,2 |
| 5 | 2 | 0,4 |
| 6 | 2 | 0,4 |
| 7 | 5 | 1,0 |
| 8 | 9 | 1,9 |
| 9 | 24 | 5,0 |
| 10 | 57 | 11,9 |
| 11 | 137 | 28,5 |
| 12 | 122 | 25,4 |
| 13 | 112 | 23,3 |
| Eindtotaal | 481 | 100 |

Deze selectie van 13 platen, zoals beschreven in de Standaard Visus, wordt momenteel standaard afgenomen door de CLB’s. Volgens deze richtlijn is er vanaf 1 fout gelezen plaat sprake van een afwijkend testresultaat, met uitzondering voor plaat 5 waarbij heel veel designfouten voorkomen (wanneer enkel plaat 5 fout wordt gelezen, wordt dit nog als een normaal resultaat beschouwd).

Wanneer we de hogervermelde richtlijnen van de Standaard Visus zouden toepassen op de testresultaten van alle kinderen, zouden 290 (60,3%) een afwijkend testresultaat hebben.

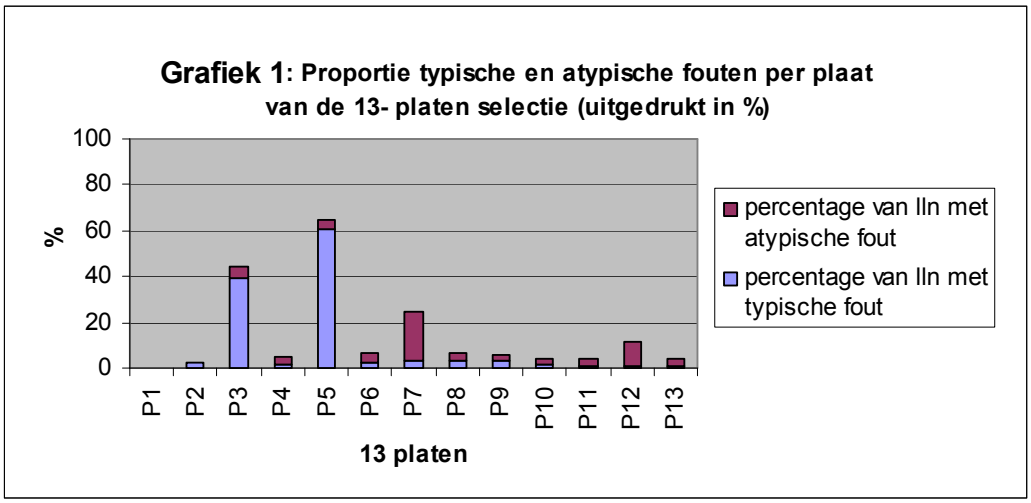
*- Type fouten op selectie van 13 platen:*

Tabel 7 geeft voor elk van die 13 platen weer hoeveel kinderen hierop een fout maakten. Opvallend is dat respectievelijk 212 (=44,1%) en 313 (=65,1%) leerlingen plaat 3 en plaat 5 fout lazen.
Daarnaast wordt ook weergegeven welk aandeel van die fouten typische zijn en welke atypische. Onder typische fouten verstaan we alle fouten die uitgelokt worden door de opmaak van de plaat en dus typisch worden gemaakt door personen met een kleurzinstoornis.
Uit deze resultaten blijkt dat opnieuw plaat 3 en plaat 5 zeer problematisch zijn, daar respectievelijk 190 (=39,5%) en 293 (=60,9%) kinderen hierop een typische fout maakten.

Tabel 7: Aantal en proportie typische versus atypische fouten per plaat bij de 13-platenselectie.

| Plaat | Aantal lln met fout (en percentage op de totale steekproef) (N=481) | Aantal lln met typische fout (en percentage op de totale steekproef) (N=481) | Aantal lln met atypische fout (en percentage op de totale steekproef) (N=481) | Proportie atypische fouten op totaal aantal fouten (per plaat) |
|---|---|---|---|---|
| P1 | 0 (=0,0%) | 0 (=0,0%) | 0 (=0,0%) | - |
| P2 | 12 (=2,5%) | 11 (=2,3%) | 1 (=0,2%) | 8,3% |
| P3 | 212 (=44,1%) | 190 (=39,5%) | 22 (=4,6%) | 10,4% |
| P4 | 24 (=5,0%) | 8 (=1,7%) | 16 (=3,3%) | 66,7% |
| P5 | 313 (=65,1%) | 293 (=60,9%) | 20 (=4,2%) | 6,4% |
| P6 | 33 (=6,9%) | 10 (=2,1%) | 23 (=4,8%) | 69,7% |
| P7 | 117 (=24,3%) | 14 (=2,9%) | 103 (=21,4%) | 88,0% |
| P8 | 32 (=6,7%) | 17 (=3,5%) | 15 (=3,1%) | 46,9% |
| P9 | 29 (=6,0%) | 14 (=2,9%) | 15 (=3,1%) | 51,7% |
| P10 | 20 (=4,2%) | 8 (=1,7%) | 12 (=2,5%) | 60,0% |
| P11 | 18 (=3,7%) | 4 (=0,8%) | 14 (=2,9%) | 77,8% |
| P12 | 56 (=11,6%) | 6 (=1,2%) | 50 (=10,4%) | 89,3% |
| P13 | 20 (=4,2%) | 4 (=0,8%) | 16 (=3,3%) | 80% |

Achtergrondkleur: - Grijs: plaat die weerhouden werd bij de selectie van 7 platen voor het pilootonderzoek
- Wit: plaat die niet weerhouden werd bij de selectie van 7 platen voor het pilootonderzoek




- *Scores op selectie van 7 platen*

Tabel 8 toont een overzicht van de scores op de selectie van 7 platen. Zo zien we dat 377 leerlingen **(78,4%) de 7 platen foutloos** konden lezen. Dit betekent dat 104 (**21,6%) leerlingen 1 of meerdere fouten op die 7 geselecteerde platen** maakten (=selectiecriterium voor fase 2 van het onderzoek). Daarvan waren 55 jongens (55/230 jongens=23,9%). Wanneer we nu enkel met de typische fouten rekening houden, zien we dat **30 leerlingen (=6,2%) 1 of meerdere typische fouten op de 7 platen** maakten waarvan 22 jongens (22/230 jongens=9,6%) en 8 meisjes (8/251=0,03% meisjes).

Tabel 8: Frequentieverdeling van de scores op de selectie van 7 platen van de Ishihara-test

| SCORE op 7P | Aantal kinderen (N=481) | % |
|---|---|---|
| 1 | 3 | 0,6 |
| 2 | 6 | 1,3 |
| 3 | 4 | 0,8 |
| 4 | 4 | 0,8 |
| 5 | 14 | 2,9 |
| 6 | 73 | 15,2 |
| 7 | 377 | 78,4 |
| Eindtotaal | 481 | 100 |

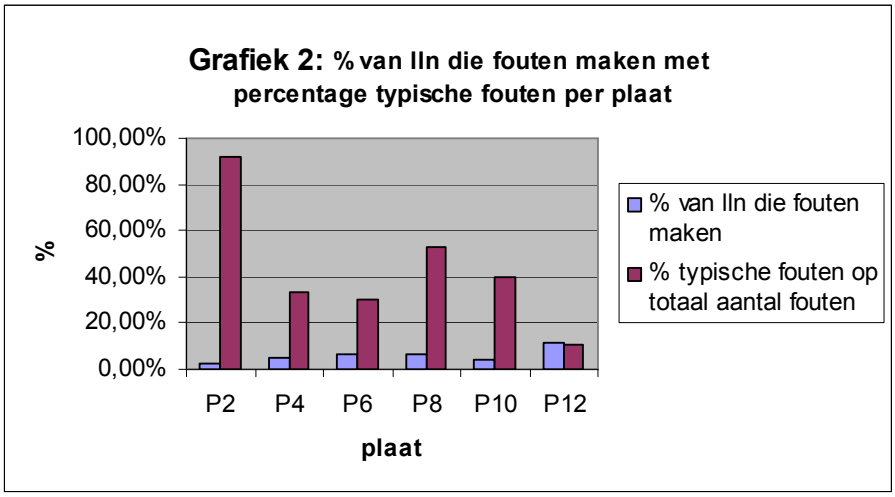
- *Type fout op selectie van 7 platen*:

Tabel 9 geeft het aantal fouten weer per plaat en de verhouding tussen het aantal typische en atypische fouten. Hier ziet men dat bij het fout lezen van plaat 2 (wat slechts bij 2,5% van de kinderen gebeurde), het in 91,7% (11 van de 12) van de gevallen om een typische fout ging.

In tegenstelling hiervan werd plaat 12 vaak fout gelezen (56=11,6% van de kinderen), met opvallend veel atypische fouten (50=89,3%). P12 is de enige plaat met een dubbel cijfer.

Tabel 9: Aantal en proportie van kinderen die een fout maakte (waarvan telkens aantal en percentage typische fouten) per plaat van de 7 platenselectie

| Plaat | Aantal kinderen met fout | Percentage kinderen met fout | Aantal kinderen met typische fout | % kinderen met typische fout op totaal aantal kinderen met fout |
|---|---|---|---|---|
| P2 | 12 | 2,5% | 11 | 91,7% |
| P4 | 24 | 5,0% | 8 | 33,3% |
| P6 | 33 | 6,9% | 10 | 30,3% |
| P8 | 32 | 6,7% | 17 | 53,1% |
| P10 | 20 | 4,2% | 8 | 40,0% |
| P12 | 56 | 11,6% | 6 | 10,7% |




4.1.4 Vergelijking met resultaten op 13 Ishihara-platen bij leerlingen uit het 5e leerjaar

We vergelijken nu onze resultaten met de resultaten uit het onderzoek van Meredith Verlooy vorig schooljaar (1). In haar onderzoek werden 317 leerlingen uit het vijfde leerjaar onderzocht met twee exemplaren van de 13-platenversie van de Ishihara-test. De tests werden afgenomen door twee onderzoekers (Meredith en Patricia) die elk gebruik maakten van een oude test (uit 1960 versus 1967) én een nieuwe test (beide uit 2004). Hierdoor was sprake van twee onderzoeksgroepen: “groep Meredith” en “groep Patricia”.
Hieronder worden de resultaten van de nieuwe test vergeleken met de resultaten bekomen in ons onderzoek.

*- Percentages correcte antwoorden per plaat*

Het percentage kinderen in ons onderzoek (hier ”Groep Els” genoemd) dat de 13 Ishiharaplaten foutloos kon lezen, wordt vergeleken met de resultaten van beide groepen van het vorig CLB-onderzoek (1)(”Groep Patricia” en “Groep Meredith”).

Dit wordt samengevat in tabel 10. In elke kolom van deze tabel wordt voor een bepaalde plaat, en voor de drie groepen, het percentage leerlingen weergegeven dat de betreffende plaat correct kon lezen.

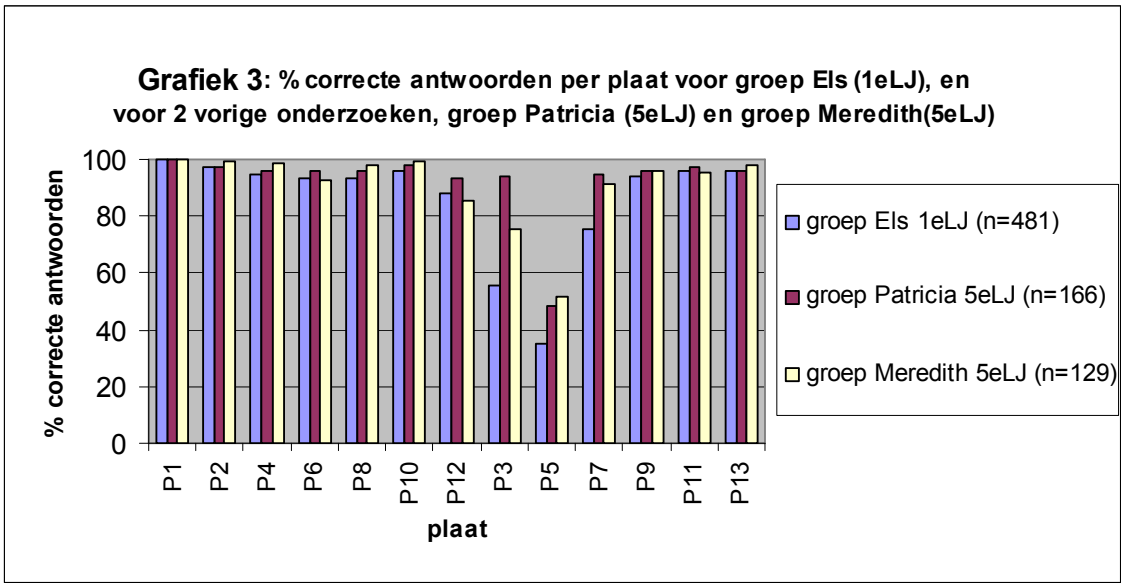
Belangrijk verschil tussen de groepen “Meredith” en “Patricia” enerzijds, en ons onderzoek anderzijds, is dat beide eerste groepen betrekking hadden op leerlingen van het 5$^{e}$ leerjaar, terwijl ons onderzoek in het eerste leerjaar plaatsvond.

De percentages fout gelezen platen uit de 7-platen Ishihara (dit is onze uitgeteste selectie) zijn grotendeels **vergelijkbaar tussen de groepen, met telkens een iets lager percentage** voor de groep van het eerste leerjaar ten opzichte van de 2 oudere leeftijdsgroepen.

De resultaten van de laatste 6 platen daarentegen, zijn in de 3 groepen zeer uiteenlopend, vooral voor wat betreft de platen 3, 5 en 7. Plaat 3 en plaat 5 zijn ook de 2 platen waar het meest fouten werden bij gelezen (zie grafiek 3).

Tabel 10: Percentages correcte antwoorden per plaat bij huidig onderzoek (groep Els) en bij vorig onderzoek 5$^{e}$ leerjaar (groep Patricia en groep Meredith)

| Foutloos gelezen Plaat % | **P 1** | **P 2** | **P 4** | **P 6** | **P 8** | **P 10** | **P 12** | P 3 | P 5 | P 7 | P 9 | P 11 | P 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Groep Els (N=481) **1°LJ** | 100,0 | 97,5 | 95,0 | 93,1 | 93,3 | 95,8 | 88,4 | 55,9 | 34,9 | 75,7 | 94,0 | 96,3 | 95,8 |
| Groep Patricia (N=166) **5°LJ** | 100,0 | 97,6 | 95,8 | 95,8 | 95,8 | 98,2 | 93,4 | 94,0 | 48,2 | 94,6 | 95,8 | 97,6 | 95,8 |
| Groep Meredith (N=129) **5°LJ** | 100,0 | 99,2 | 98,4 | 93,0 | 97,7 | 99,2 | 85,3 | 75,2 | 51,9 | 91,5 | 96,1 | 95,3 | 97,7 |




Wanneer we kijken naar het percentage van de leerlingen met een normaal resultaat op de volledige test van 13 platen, dan zien we dat bij het onderzoek in het 5e leerjaar 46,4% van de leerlingen correct scoren, terwijl het slechts het geval is voor 112 kinderen (23,3%) van onze groep uit het eerste leerjaar (zie tabel 6).

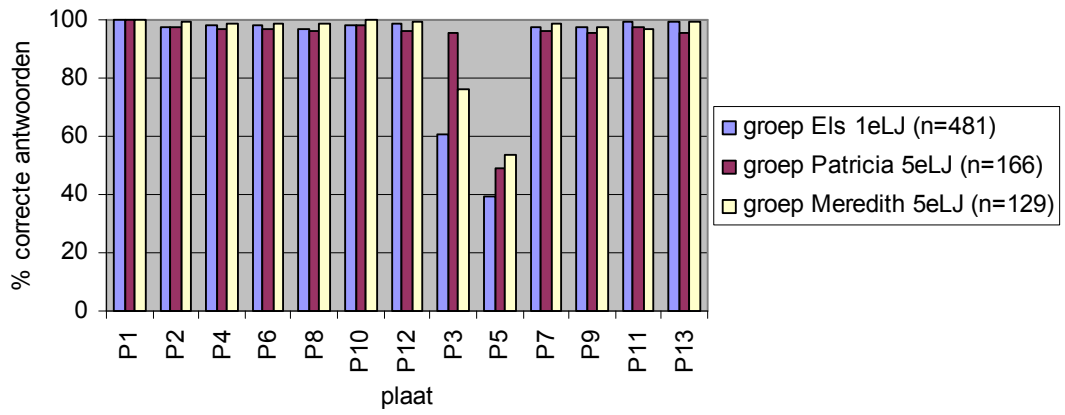
- *Percentages correcte antwoorden per plaat enkel rekening houdend met de typische fouten*

De percentages correcte antwoorden per plaat, enkel rekening houdend met de typische fouten, werd opnieuw vergeleken met vorig onderzoek in het CLB (tabel 11).
In elke kolom wordt voor een bepaalde plaat weergegeven welk percentage van de kinderen geen typische fouten maakten. Voor wat betreft de eerste 7 platen zijn de percentages hier vergelijkbaar voor de groep van het eerste leerjaar en de 2 andere groepen van het 5e leerjaar.
Terwijl de resultaten van de platen 3 en 5 opnieuw een grote variabiliteit tussen de drie groepen vertonen.

Tabel 11: Percentages correcte antwoorden (inclusief atypische fouten) per plaat voor dit onderzoek (groep Els), voor vorig onderzoek 5e leerjaar (groep Patricia en groep Meredith), enkel rekening houdend met de typische fouten.

| Geen typische fout gelezen (%) | **P1** | **P2** | **P4** | **P6** | **P8** | **P10** | **P12** | P3 | P5 | P7 | P9 | P11 | P13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Groep Els (n=481) 1°LJ | 100 | 97,7 | 98,3 | 97,9 | 96,5 | 98,3 | 98,8 | 60,5 | 39,1 | 97,1 | 97,1 | 99,2 | 99,2 |
| Groep Patricia (n=166) 5°LJ | 100 | 97,6 | 97,0 | 97,0 | 96,4 | 98,2 | 96,4 | 95,8 | 48,8 | 96,4 | 95,8 | 97,6 | 95,8 |
| Groep Meredith (n=129) 5°LJ | 100 | 99,2 | 98,4 | 98,4 | 98,4 | 100 | 99,2 | 76,0 | 53,5 | 98,4 | 97,7 | 96,6 | 99,2 |

**Grafiek 4: % correcte antwoorden per plaat voor groep Els (1eLJ) en voor twee vorige onderzoeken, groep Patricia (5eLJ) en groep Meredith (5eLJ), enkel rekening houdend met de typische fouten**



## 4.2 Fase 2

### 4.2.1 Onderzoekspopulatie

De inclusiecriteria voor fase 2 van dit onderzoek waren als volgt gedefinieerd: "Leerlingen die, bij de afname van de Ishihara-test in fase 1, één of meerdere fouten op de selectie van 7 platen maakten".

Op basis van dit criterium werden **104 van de 481 leerlingen**, zijnde 21,6% van de steekproef, **uitgenodigd voor fase 2** van het onderzoek. Dit is de doelpopulatie voor dit deel van het onderzoek. Daarvan waren er **55 jongens (=52,9%).**

In tabel 12 vindt u de verdeling **volgens de onderzoeksplaats** met telkens het aantal leerlingen die uitgenodigd werden voor fase 2 met het bijhorende percentage t.o.v. het totaal onderzochte leerlingen op die locatie. Het percentage uitnodigingen voor fase 2 verschilt sterk van school tot school: van 0% tot 50%.

Tabel 12: Aantal en proportie van leerlingen uitgenodigd voor fase 2 naargelang de locatie

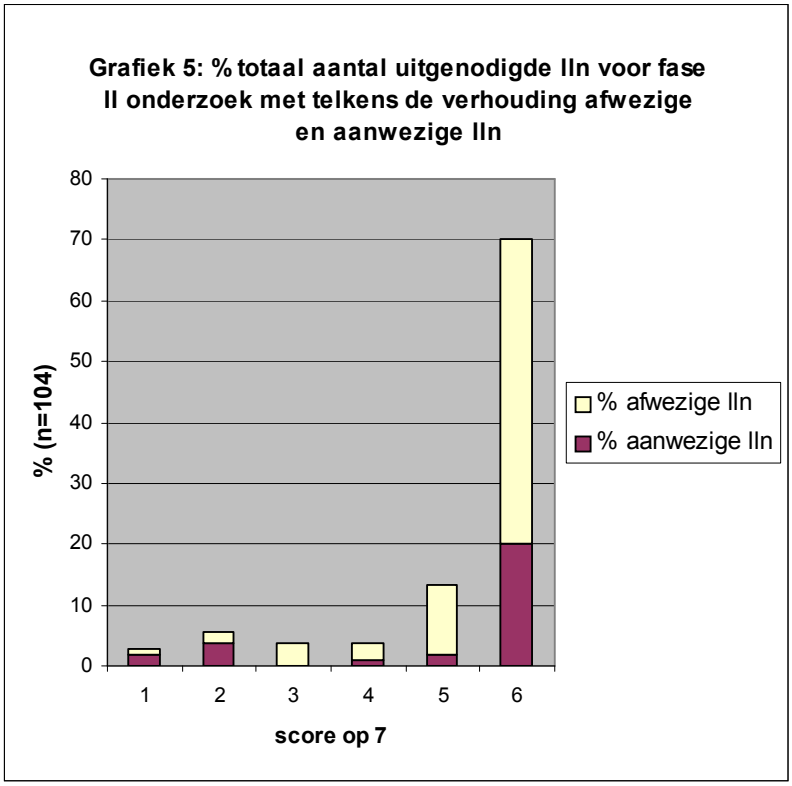
| Locatie | Aantal onderzochte leerlingen | Aantal leerlingen uitgenodigd voor fase 2 | % leerlingen uitgenodigd voor fase 2 |
|---|---|---|---|
| ASS ZELZAT | 32 | 10 | 31 |
| BEERVELDE | 18 | 5 | 27 |
| BIEBUYCK | 40 | 12 | 30 |
| BOTTELARE | 16 | 4 | 25 |
| DEST KERKH | 34 | 2 | 6 |
| DESTELDEKL | 11 | 0 | 0 |
| DORP ZAFF | 36 | 2 | 36 |
| MARIAKERK | 81 | 9 | 5 |
| MOZAÏEK | 39 | 7 | 18 |
| OLV | 36 | 18 | 50 |
| OOSTAK VO | 13 | 6 | 46 |
| PAT ZELZAT | 34 | 5 | 30 |
| ST-PAULUS | 17 | 5 | 29 |
| VOSKENSGO | 12 | 1 | 8 |
| WACHT DOR | 15 | 4 | 26 |
| WACHT OVE | 16 | 7 | 44 |
| ZEVENEKEN | 31 | 7 | 44 |
| **Eindtotaal** | **481** | **104** | **21,6** |

Tabel 13 toont de scoreverdeling (score op 7 platen) van de 104 leerlingen die uitgenodigd werden voor fase 2. Daarnaast wordt ook vermeld hoeveel van die leerlingen telkens aanwezig waren op deze tweede fase van het onderzoek (zie verder) en met welk percentage

dat overeenkomt (aantal aanwezigen op het totale aantal uitgenodigde leerlingen met die score).

Tabel 13: Frequentieverdeling van de scores op de selectie van 7 platen voor de leerlingen uitgenodigd of respectievelijk deelnemend aan fase 2 (met proportie aanwezigen t.o.v. aantal uitgenodigde leerlingen)

| Score op 7P | Aantal uitgenodigde leerlingen | Aantal aanwezige leerlingen op fase 2 | Proportie aanwezigen tov aantal uitgenodigde leerlingen |
|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 2 | 66,7% |
| 2 | 6 | 4 | 66,7% |
| 3 | 4 | 0 | 0% |
| 4 | 4 | 1 | 25% |
| 5 | 14 | 2 | 14,3% |
| 6 | 73 | 21 | 28,8% |
| **Totaal** | **104** | **30** | **28,8%** |




Van de 104 leerlingen die uitgenodigd waren voor het bijkomend kleurzinonderzoek in het UZ-Gent, hebben er uiteindelijk **30 (29%) deelgenomen** (zie ook tabel 13).

Bij de niet-deelnemers waren er verschillende redenen:

-22 leerlingen hebben niet gereageerd op de uitnodiging.

-52 andere leerlingen konden of wilden niet meewerken:

Bij 27 leerlingen meldden de ouders schriftelijk dat zij niet geïnteresseerd waren.

Bij 3 leerlingen noteerden de ouders dat zij geen probleem zagen bij hun kind.

Bij 22 leerlingen was het praktisch te moeilijk (op reis; geen tijd; tijdstip past niet; illegaal en moet uit het land; tolk nodig voor de communicatie; te ver; geen vervoer).

Van de 30 leerlingen, die effectief aan fase 2 van het onderzoek deelnamen, waren **7 leerlingen (=23,3%) van allochtone afkomst.** 14 leerlingen waren **jongens (=46,7%)** en 16 leerlingen meisjes (=53,3%).

**Van deze 30 kinderen hadden 10 leerlingen één of meerdere typische fouten** op de selectie van 7 platen bij fase 1 gemaakt. Drie leerlingen waren niet in staat om alle platen te lezen of matchen en zijn na enkele cijferplaten naar de slangetjes overgeschakeld.

Tabel 13 toont aan dat we met die 30 aanwezige leerlingen - en in vergelijking met de totale doelpopulatie voor fase 2 - een **ongelijke verdeling** krijgen ten opzichte van de **score op de selectie van 7 platen** (kinderen met bv. 4 fouten zijn zelfs helemaal niet vertegenwoordigd).

### 4.2.2 Werkwijze

Na een korte anamnese, werd eerst een oogonderzoek en een fundoscopie verricht. Daarna werd de procedure gangbaar voor het diagnosticeren van kleurzinafwijkingen gevolgd. Dit gouden standaardonderzoek werd beschreven in paragraaf 3.2.2.

### 4.2.3 Testresultaten

Van de 30 leerlingen werden uiteindelijk **6 (20%) leerlingen kleurgestoord** bevonden in de 2e fase van het onderzoek: Volgens beide experts gaat het om: 4 deuteranomalen, 1 deuteranoop en 1 met een congenitale rood-groenstoornis waarschijnlijk van het deuteranomale type. Dit waren alle 6 jongens.

Bij alle 6 was de Ishihara-test, de Tritan Plate en de AO-HRR duidelijk afwijkend. De Panel D-15 was bij 5 van de 6 jongens afwijkend, bij de 6e jongen was deze test zowel met het linker als met het rechter oog normaal.

Bij 2 van de 6 jongens kon de test met de anomaloscoop moeilijk uitgevoerd worden (te moeilijk) om het type precies te bepalen.

De 24 andere leerlingen werden door de experts als normaal kleurzienden beschouwd. Eén kind daarvan had wel moeite met de Panel D-15.

4.2.4 Vergelijking testresultaten fase 2 met de resultaten van fase 1

In tabel 14 worden de gegevens van de 2e fase gelinkt aan de gegevens van fase 1. Hierbij werden de data gesorteerd volgens oplopende score op de 7-platenselectie.

Tabel 14: Vergelijking resultaten 1e fase met resultaten 2e fase bij de 30 onderzochte leerlingen (screening met Ishihara-platen versus Gouden Standaard Onderzoek)

| Leerling N° | Score op 13-platenselectie | Score op 7-platenselectie | Typische fouten op 7 platen | Uitslag n.a.v. Gouden Standaard onderzoek |
|---|---|---|---|---|
| B26 | 1 | 1 | Geen cijfers gelezen Slangetjes moeilijk | (Anomaloscoop moeilijk) Cong Defect-wschl Deuteranomalie? |
| H20 | 1 | 1 | P2-4-6-8-10-12 | Extreme Deuteranomalie |
| B32 | 2 | 2 | Geen cijfers gelezen slangetjes moeilijk | (Anomaloscoop moeilijk)-Deuteranomalie |
| B44 | 2 | 2 | P2 (andere cijfers niet gelezen) Slangetjes perfect | Normaal |
| H45 | 3 | 2 | P2-4-6-8-12 | Deuteranopie |
| C34 | 2 | 2 | P2-6-8 | Congenitale Deuteranomalie |
| E4 | 5 | 4 | P8-10 | Lichte Deuteranomalie |
| A35 | 10 | 5 | P12 | Normaal |
| B36 | 9 | 5 | Geen | Normaal |
| H47 | 9 | 6 | P8 | Normaal |
| H7 | 8 | 6 | P8 | Normaal |
| G3 | 9 | 6 | P10 | Normaal |
| I1 | 12 | 6 | P6 | Normaal |
| A16 | 11 | 6 | Geen | Normaal |
| B40 | 10 | 6 | Geen | Normaal |
| C12 | 8 | 6 | Geen | Normaal |
| C22 | 9 | 6 | Geen | Normaal |
| C26 | 10 | 6 | Geen | Normaal |
| C3 | 10 | 6 | Geen | Normaal |
| C4 | 11 | 6 | Geen | Normaal |
| C7 | 10 | 6 | Geen | Normaal |
| D10 | 11 | 6 | Geen | Normaal |
| D54 | 12 | 6 | Geen | Normaal |
| D59 | 11 | 6 | Geen | (PD15 moeilijk)-Normaal |
| D62 | 10 | 6 | Geen | Normaal |
| G23 | 11 | 6 | Geen | Normaal |
| H25 | 9 | 6 | Geen | Normaal |
| I19 | 11 | 6 | Geen | Normaal |
| L12 | 9 | 6 | Geen | Normaal |
| G1 | 9 | 6 | Geen | Normaal |

**Legenda:**

- Witte celachtergrond (kleurgestoord): minimum 3 fouten op 7-platenselectie
- Licht grijze celachtergrond (normaal): maximum 1 fout op 7-platenselectie (zonder typische fout)
- Donker grijze celachtergrond (normaal): maximum 1 typische fout of 2 atypische fouten

De leerlingen kunnen in 3 groepen onderverdeeld worden:

- Een eerste groep bestaande uit de 6 leerlingen die kleurgestoord bevonden werden in fase 2. We zien dat die kinderen minimum 3 fouten maakten op de 7 platen in fase 1. Vier van deze 6 leerlingen maakten 2 of meer typische fouten, terwijl de 2 anderen bijzonder laag scoorden (respectievelijk 1 én 2 op 7): omdat zij de cijfers niet konden lezen, werd overgegaan op de platen met slangetjes, maar ook deze bleken "te moeilijk" en gaven geen correcte resultaten.
  De jongen met de extreme deuteranomalie maakte 6 typische fouten op de 7 platen in fase 1. Ook de jongen met de deuteranopie maakte duidelijk veel typische fouten op de 7 platen: namelijk 5.
- Een tweede groep bestaande uit de 17 leerlingen die maximum 1 fout op de 7-platenselectie maakte, zonder dat er sprake was van een typische fout. Zij werden allen in fase 2 als normaal kleurzienden gediagnosticeerd.
- De overige 7 leerlingen vormen de 3° groep: 6 hiervan maakten 1 typische fout, en 1 leerling maakte 2 atypsiche fouten. Toch zijn ze allen door de experts als normaal kleurziend bevonden. Eén leerling (n°B44) kon heel moeilijk cijfers lezen of herkennen. Bij hem werd overgegaan naar de platen met slangetjes, die hij perfect kon volgen.

## 5. Bespreking van de onderzoeksgegevens

5.1. Met de deelname van de 2 centra in Gent, hadden we zowel kinderen uit het Vrij als uit het Gemeenschapsonderwijs. Er was een vrij goede geslachtsverdeling. We hebben echter geen zicht op de proportie **kinderen van allochtone origine**.

Het is mogelijk dat in verhouding tot hun reële aantal in de totale steekproef meer kinderen van allochtone afkomst geselecteerd werden voor de 2$^{e}$ fase van het onderzoek:

- Voor een deel van deze kinderen van allochtone origine is er immers een taalprobleem (zeker in het eerste leerjaar) waardoor ze de opdracht minder goed begrijpen en zich ook minder goed kunnen uitdrukken. In een poging dit knelpunt te omzeilen werd op voorhand een geplastificeerde kaart gemaakt, waarop kinderen de cijfers van de Ishiharaplaten konden matchen (zie paragraaf 5.2). Of dit voldoende was om het verschil in testresultaten door taalachterstand volledig weg te werken, is niet duidelijk.
- Naast de schriftelijke uitnodiging werd voor bepaalde leerlingen van allochtone afkomst (zelf geselecteerd door de verantwoordelijke CLB-artsen) ook nog een persoonlijk of telefonisch contact gelegd met de ouders om de inhoud van de brief te verduidelijken. Bedoeling hierbij was een selectiebias te vermijden waarbij vooral 'hoger opgeleide

ouders' op onze brief zouden reageren. Deze werkwijze zou mogelijks een andere selectiebias kunnen veroorzaakt hebben, namelijk dat we door die extra-inspanningen een oververtegenwoordiging van kinderen van allochtone origine krijgen. Onze onderzochte groep bevat uiteindelijk 7/30 (=23,3%) kinderen van allochtone afkomst. Zoals gezegd is het reële aantal kinderen van allochtone afkomst in onze steekproef niet gekend.

- Het is ook zo dat de kinderen van allochtone afkomst niet gelijkmatig over alle scholen verdeeld waren. Dit kan ook mogelijks de grote verschillen (in % uitgedrukt) tussen de scholen, wat betreft hun deelname aan fase 2 van het onderzoek, verklaren (cf. tabel 12).

Het ware beter geweest om vooraf zicht te hebben op het aantal leerlingen van allochtone afkomst, waardoor duidelijk kon gemaakt worden of deze groep verhoudingsgewijs inderdaad meer fouten maakte en dus meer kans had om in fase 2 van het onderzoek opgenomen te worden. Bij het opzet van het onderzoek werd hieromtrent echter geen registratie van gegevens voorzien.

5.2. Niet alleen kinderen van allochtone afkomst hebben soms moeite om de platen te "lezen".

In ons onderzoek bleek slechts 60% van de leerlingen in staat te zijn om alle aangeboden platen te "lezen". Bij de rest van de groep werd bij de afname van (een deel) van de test ook gebruik gemaakt van de matching-methodiek. In vele gevallen kon hierdoor toch een betrouwbaar testresultaat bekomen worden. Vraag is dus of de mogelijkheid van **"matchen"** niet standaard moet aangeboden worden bij het testen van leerlingen van het eerste leerjaar. Een alternatief is meer gebruik maken van de slangetjes. Bij voorkeur worden dan korte slangetjes gebruikt, omdat men bij lange slangetjes de aandacht er niet zolang kan bijhouden. Nadeel hierbij is dat de interpretatie van de testuitslag moeilijker is bij slangetjes dan bij gematchte cijfers (afkappunt ivm het afwijken van het juiste slangetjetraject?)

5.3. Ook een verschil in **afnamekwaliteit** tussen de 12 verpleegkundigen kan een rol gespeeld hebben bij het verschil in testresultaten volgens school en CLB-vestiging. De richtlijnen voor testafname en registratie werden mondeling met de artsen besproken. Die artsen instrueerden dan op hun beurt de verpleegkundigen. Hierbij werden ze geholpen door een infoblad voor de verpleegkundigen waarin het correct invullen van het registratieformulier werd beschreven (cf. bijlage 5).

Achteraf gezien waren er beter nog duidelijkere afspraken gemaakt met alle deelnemende verpleegkundigen over de uniforme methodiek van testafname, o.a. i.v.m. de volgende specifieke aandachtspunten:

- Tijdsduur van afname van de test?
- Max aantal seconden laten kijken per plaat? (eerder onderzoek in het CLB (1) wees al op een verschil in testresultaten volgens duur van het kijken naar elke plaat)
  (Volgens Ishihara zelf en volgens de Standaard visus moet de plaat binnen de 3 seconden gelezen worden.)
- Mag er bij fout gezegd worden: 'Kijk nog eens goed?'
- Wanneer wordt de matchingsmethodiek aangeboden?

Het is belangrijk niet suggestief te werk te gaan.

Het feit dat de verpleegkundigen in dit onderzoek zowel het resultaat van elke plaat afzonderlijk als de finale testuitslag precies moesten registreren, en wetende dat het om een studie ging, kan (sommige van) hen beïnvloed hebben tijdens de afname en bij de besluitvorming (bv. meer gaan nadenken over eigen handelingen, meer tijd, enz).

De testresultaten op de Ishihara-test in fase 2 van dit onderzoek bevestigen ook nog eens het belang van afnamekwaliteit en uniformiteit: Bij deze 2$^{e}$ fase in het UZ-Gent werd slechts bij 1 kind dat niet kleurgestoord was een fout gevonden op de 7 platen. Terwijl tijdens de screening van het CLB veel meer fouten werden gemaakt door normaal kleurzienden.
Hier zou mogelijks nog een factor 'iets ouder' kunnen spelen, maar deze factor leeftijd zal heel beperkt zijn: De 1$^{e}$ fase verliep namelijk in oktober-december 2005 en de 2$^{e}$ fase in april en juni 2006. Eventueel is er tussen het eerste en het 3$^{e}$ trimester wel een verschil qua vlotheid van herkennen van cijfers bij kinderen van het eerste leerjaar.
Een belangrijkere factor die hier waarschijnlijk heeft gespeeld is de factor tijd: Het feit dat in de 2$^{e}$ fase van het onderzoek de kinderen langer naar elke plaat mochten kijken dan tijdens het CLB-onderzoek, kan een rol gespeeld hebben.
Ook een mogelijk leereffect bij het voor de tweede keer aanbieden van Ishiharaplaten kan een rol spelen.

5.4. Naar aanleiding van de vele leesfouten bij de zesjarigen in ons onderzoek kan ook de vraag gesteld worden naar de meest geschikte **leeftijd van afname van de Ishiharatest.**
Een afname op oudere leeftijd zou voor bepaalde kinderen (en zeker voor de kinderen van allochtone afkomst) een meer betrouwbare testuitslag geven omdat de taal en de cijfers dan toch al beter gekend zijn.
Er zijn ook nog andere argumenten die pleiten voor een afname van de Ishihara-test op oudere leeftijd, namelijk:

- Zoals Lakowski zegt is het gemiddeld aantal fouten dat gelezen wordt door normale proefpersonen sterk afhankelijk van de leeftijd: jongere proefpersonen maken meer fouten (105).
- Dit werd ook duidelijk bij het vergelijken van ons onderzoek in het eerste leerjaar met het reeds geciteerde onderzoek in het 5e leerjaar: slechts 23,3% van de kinderen uit het eerste leerjaar lazen de 13 platen correct, tegenover 46,4% van de leerlingen uit het 5e leerjaar (1).

Over de leeftijd waarop een screening naar kleurzinstoornissen best plaatsvindt, is er in de literatuur geen eenduidigheid. Sommige autoriteiten, zoals de Joint Working Party of the Britisch Paediatric Association, bevelen de leeftijd van 11-12 jaar aan als ideale leeftijd om te screenen voor dyschromatopsieën. Voorstanders van testing op 11-12-jarige leeftijd beroepen zich vooral op 2 feiten: Op die leeftijd is er een betere kennis van de cijfers en dit is ook de leeftijd waarop belangrijke studie- en beroepskeuzes gemaakt worden.

De Ishihara-test kan echter al veel vroeger aangewend worden, bv. om bij het begin van de schoolse loopbaan te screenen naar kleurzinstoornissen, waardoor vroegtijdige informatie kan verstrekt worden in geval van een vermoedelijke dyschromatopsie (107).

Om de kleurzinafwijking al dan niet te bevestigen bij die kinderen, die op basis van de Ishihara-screeningstest werden opgespoord, en desgevallend een precieze diagnose van het type en ernst van de dyschromatopsie te stellen, dient het CLB echter door te verwijzen naar een dienst waar uitgebreid gespecialiseerd onderzoek kan plaatsvinden (108). Vraag is vanaf welke leeftijd deze onderzoeken met voldoende betrouwbaarheid kunnen verricht worden.

5.5. Dit onderzoek bevestigt dat **het huidige verwijscriterium** voor de **13 platen**-Ishiharatest - zoals in de standaard Visus aanbevolen - niet haalbaar is: slechts 23,3% van de leerlingen maakte geen enkele fout, en met het gangbare criterium van de Standaard Visus (tolerantie voor fouten op plaat 5) zouden slechts 39,7% van de leerlingen als normaal beschouwd worden.

In de praktijk kunnen de verpleegkundigen die de test momenteel afnemen, niets anders doen dan naar best vermogen zelf bepalen wie ze nog als normaal beschouwen en wie niet: Leek het een verstrooidheidsfout? Begreep het kind de opdracht? Gaat het om een echte afwijking?

In 2 vestigingen werden de verwijscriteria dus met de nodige 'feeling' aangepast. In een 3e vestiging wordt ervoor geopteerd om alle kinderen met $\geq$ 1 fout, en deze waarbij sprake was van "twijfelelachtig resultaat" selectief terug te zien om de kleurzintest te herhalen in het 3e trimester van het eerste leerjaar of in het 3e leerjaar: 131 van de 217 onderzochte kinderen (=60,4%) zouden op die manier moeten teruggezien worden.

5.6. In de 13-platenselectie moeten sommige platen echt als '**probleemplaten**' beschouwd worden, omwille van het design van de cijfers en/of het gebruik van dubbele cijfers (vb. 44,1% fouten bij plaat 3, en 65,1% voor plaat 5).
In de recente literatuur worden deze bevindingen bevestigd. Littlewood et al (104) registreerde ook de grootste moeilijkheden bij volwassenen bij deze 2 platen (respectievelijk 48% en 41% fouten). Ook een recente Australische studie bij 1.735 zesjarigen toonde respectievelijk 48,4% en 40,8% fouten aan op plaat 3 en 5 (106).
Dit werd ook bevestigd in eerder onderzoek in het CLB (tabel 10), waarin een van beide onderzoeksgroepen (met name groep "Meredith") 24,8% fouten vertoonde op plaat 3, terwijl de andere groep (die van "Patricia") slechts 6% foutief scoorde op deze plaat. Voor plaat 5 werden in dezelfde studie respectievelijk 48,1% en 51,8% fouten gevonden (1).
Naast het feit dat er bij plaat 3 en plaat 5 frequent fouten gelezen worden, stellen deze 2 platen ook het probleem dat de veel gemaakte fouten meestal overeenkomen met fouten die als typisch beschouwd worden voor kleurzingestoorden (106). Dat maakt het nog moeilijker om te oordelen. In ons onderzoek komt dit duidelijk tot uiting (zie tabel 7): Van de 212 fouten op plaat 3 zijn er slechts 10,4% atypische fouten. Bij plaat 5 zijn slechts 6,4% van de 313 fouten atypisch.

5.7. Dat de **keuze van de 7 platen** correct was, wordt in dit onderzoek bevestigd. Bij het vergelijken van ons onderzoek met eerder onderzoek in het CLB (1) merken we het volgende op:

- In beide onderzoeken worden vooral veel fouten gemaakt bij plaat 3, 5 en 7; drie platen die niet uitgeselecteerd werden in onze 7-platenversie.
- Bij het vergelijken van de percentages foutloze antwoorden per plaat tussen beide onderzoeken (tabel 10), ziet men een wat gelijklopende lijn. De percentages foutloze lezingen bij ons onderzoek in het eerste leerjaar liggen voor elke plaat wel iets lager, wat mogelijks kan verklaard worden door het leeftijdsverschil (moeilijkheden met design en dubbele cijfers treedt vooral op jonge leeftijd op).
- Wanneer we dezelfde vergelijking maken, maar nu enkel rekening houdend met de typische fouten (tabel 11), zien we dat dit mogelijke leeftijdseffect volledig wegvalt.
- Voor wat betreft de eerste 7 platen is er nauwelijks een verschil in het aantal fouten per plaat. Dit pleit in het voordeel van onze 7-platenselectie.

5.8. Aangezien 21,6% van de 6-jarigen aan ons **selectiecriterium voor fase 2** beantwoordt (= 1 of meerdere fouten op de 7-platenselectie), kan dit echter niet beschouwd worden als een haalbaar **criterium om verwijzingen** op te baseren. Dit is te wijten aan het feit dat nog teveel

vaak gemaakte atypische fouten worden meegerekend, zoals aangetoond in een Australische studie met leerlingen uit het 1e leerjaar (106).

Aan de hand van een gedetailleerde analyse van de onderzoeksgegevens werden mogelijke denkpisten voor aanpassing van dit verwijscriterium onderzocht:

- Vooral **plaat 12** - de enige plaat die een dubbel cijfer voorstelt, zorgde voor moeilijkheden bij 11,6% van de leerlingen. In 82,1% van de gevallen gaat het echter om een atypische fout. Wanneer we deze plaat 12 uit de Ishihara-testset weglaten, bekomen we een score op 6 platen. Dan maakt nog slechts 14,1% van de leerlingen 1 of meerdere fouten op de 6 resterende platen. Wanneer we dan nog enkel naar de typische fouten kijken, dan komen slechts 6,03% van de leerlingen in aanmerking.

  De vraag stelt zich of deze plaat 12 van het classificatie-type (ontworpen voor diagnostische doeleinden) een plaats heeft in het kader van een CLB-screeningsinstrument? Dergelijke plaat wordt ook niet als noodzakelijk vermeld in de Ishihara-handleiding bij de samenstelling van een korte screeningstest.

- Wanneer we enkel kijken naar **de typische fouten** op de 7-platenselectie, zien we dat slechts 6,2% (30/481) van de leerlingen één of meerdere typische fouten maakten, waarvan 9,6% (22/230) jongens. Dit ligt al dichter bij de te verwachten realistische prevalentie van congenitale dyschromatopsie in de algemene bevolking, namelijk ongeveer 4,2% (rekening houdend met een evenredige verdeling volgens geslacht en een prevalentie van congenitale rood-groenstoornissen van 8% bij de jongens en 0,4% bij de meisjes). Bij ons inclusiecriterium voor fase 2 werd bewust geen onderscheid gemaakt tussen “typische” en “niet-typische” fouten. De bedoeling was dan ook om aan de hand van het gouden standaard onderzoek na te gaan of sommige leerlingen met een bevestigde kleurzinstoornis enkel “atypische” fouten op de screeningstest zouden maken.
- Uit de vergelijking van de resultaten van fase 2 met de resultaten van fase 1 komt ook het belang van de typische fouten duidelijk naar voor (zie tabel 14). Alle leerlingen die door experts als kleurgestoord werden bevonden, maakten duidelijk meerdere typische fouten op de 7-platenselectie (met een minimum van 2). De twee leerlingen met de ernstigste kleurzinstoornis (1 deuteranoop en 1 extreem deuteranomaal) maken zelfs op respectievelijk 5 en 6 van de 7 platen een typische fout. Dit bevestigt de bevindingen van Lakowski (105), namelijk: ernstige afwijkingen geven veel fouten. Volgens hem kunnen personen met een matige tot lichte afwijking zeer veel of zeer weinig fouten maken. Bij ons onderzoek had de leerling met de lichte deuteranomalie 3 fouten op de 7 platen, waarvan 2 typische. Bij onze kleine onderzoeksgroep van fase 2

werd geen enkele leerling met enkel “atypische fouten” door de experts als kleurgestoord bevonden.

- Het feit dat 5 van de 30 leerlingen (16,7%) die aan fase 2 deelnamen niet als kleurgestoord gediagnosticeerd werden, terwijl ze toch elk één typische fout maakten op de 7 platen, zal te maken hebben met de veel gemaakte fouten die soms ook overeenkomen met typische fouten (106) (zie tabel 14).

Uit bovenstaande komt duidelijk het belang van de typische fouten naar voor bij het opmaken van een verwijscriterium. Daarnaast kan wel de vraag gesteld worden of het niet beter zou zijn om met 6 i.p.v. met 7 platen te testen (Plaat 12 weglaten bij een korte screeningstest?).

5.9. Drie leerlingen hadden **moeite om cijfers te lezen of te matchen**. Hierbij moet een onderscheid gemaakt worden tussen 2 redenen van het niet kunnen lezen of matchen van de cijfers. Ten eerste kan dit te wijten zijn aan een onvoldoende kennis van de cijfers. Maar daarnaast kan een leerling de cijfers ook moeilijk kunnen lezen door het feit dat hij kleurgestoord is. Bij ons onderzoek kan het onderscheid gemaakt worden door het resultaat op de **afname van de slangetjes**. Twee van die 3 leerlingen konden ook de lijnen van de slangetjes niet volgen en werden in fase 2 gediagnosticeerd als kleurgestoord. Een derde leerling kon de slangetjes perfect volgen en werd door de experts als normaal kleurziend bevonden.

5.10. Aan de hand van alle hierboven voorgestelde resultaten kan de bespreking rond de keuze van een optimale **cut-off waarde** voor onze 7-platenselectie als screeningsinstrument gevoerd worden. Lakowski stelt dat dit alles behalve gemakkelijk is (105). De bepaling van een afkappunt - bij wijze van onderscheid tussen een abnormale en een normale kleurzin met een Ishihara-screeningstest - is afhankelijk van het type fouten waarmee men rekening houdt.

- Tijdens het onderzoek werd al snel duidelijk dat het criterium “1 of meerdere fouten op de 7 platen” (zoals het selectiecriterium voor fase 2 werd gedefinieerd) als cut-off zeker veel te veel vals positieve resultaten geeft.
- Hierbij kwam het belang van de typische fouten naar voor, maar ook hier is het criterium “1 of meerdere typische fouten” als cut-off waarde niet haalbaar (cf. § 5.8). Uit de resultaten van ons beperkt onderzoek blijkt dat een cut-off waarde gedefinieerd als “2 of meerdere typische fouten op de 7-platenselectie” haalbaarder is (cf. tabel 14: vergelijking van de resultaten van fase 1 met fase 2).
- Het probleem is echter dat ons onderzoek maar een heel klein aantal kinderen bevat die op de grens van die cut-off waarde zitten: slechts 1 kind maakte 2 typische fouten en werd licht deuteranomaal bevonden. Bij deze lichte kleurzinafwijking zat de score

redelijk dicht bij die van de normale kleurzienden qua aantal fouten. Het is mogelijk dat er bij een grotere groep kinderen zelfs sprake zou zijn van een overlap vwb het aantal fouten tussen normalen en licht kleurgestoorden. Volgens Lakowski kunnen mensen met een matige tot lichte kleurzinafwijking zeer veel of zeer weinig fouten maken op de Ishihara-test (105). Zijn besluit luidde als volgt: “Bij een laag aantal fouten is er een continuüm aan waarschijnlijkheden of de persoon al dan niet normaal is”. Dit maakt het er niet gemakkelijker op…

- Of deze voorgestelde cut-off waarde van 2 typische fouten op de 7-platenselectie een goede keuze vormt, zal nog verder getoetst moeten worden. Legt men het afkappunt hoger (vb. meer dan 2 typische fouten) dan wordt de specificiteit van het screeningsinstrument wel groter terwijl de sensitiviteit van de test zal dalen (meer gemiste gevallen). Wanneer men het afkappunt lager legt, dan daalt de specificiteit, maar zal de sensitiviteit van de test toenemen (wat in principe bij een screeningstest juist belangrijk is).

- Lakowski (105) stelt ook dat het vaststellen van de cut-off waarde voor een onderscheid tussen normaal en abnormaal oa. afhankelijk moet zijn van de testgroep. Dus stel dat deze verkorte 7-platenselectie van de Ishihara-test op een latere leeftijd (en niet meer in het eerste leerjaar) zou worden afgenomen, dan zal men de keuze van de cut-off noodzakelijk weer in vraag moeten stellen.
- Hierbij stelt zich ook nog de vraag: wat dan te doen met kinderen die de cijfers niet kunnen lezen? Volgens onze onderzoeksresultaten wordt best een onderscheid gemaakt tussen enerzijds de leerlingen die de cijfers niet kunnen lezen maar perfect de slangetjes volgen, en anderzijds de leerlingen die noch de cijfers kunnen lezen, noch de slangetjes kunnen volgen. Voor de eerste groep kinderen zou men de uitslag op de Ishihara-screeningstest als normaal kunnen registreren, in tegenstelling met de tweede groep die eerder als “afwijkend” dient beschouwd te worden.

## Conclusies en aanbevelingen

In een eerste fase van het onderzoek werd de Ishihara-test met 13 platen (zoals aanbevolen in de Standaard Visus) afgenomen bij leerlingen van het 1e leerjaar tijdens het CLB-onderzoek. De klassieke testomstandigheden (met name de volgorde van aanbieden van testplaten) werden hierbij wat aangepast. In een tweede fase werden leerlingen geselecteerd om deel te nemen aan een gouden standaard kleurzinonderzoek in het UZ-Gent. Door het bekijken en vergelijken van de resultaten van deze 2 onderzoeken, en rekening houdend met de literatuurstudie rond de Ishihara-test, werd getracht een antwoord te vinden op de volgende onderzoeksvraag:

- Is de verkorte versie van de Ishihara-test, bestaande uit 7 geselecteerde platen, bruikbaar als screeningstest naar kleurzinstoornissen in het CLB?

Na bespreking van de bekomen resultaten kunnen we concluderen dat er geen eenduidig antwoord is op deze vraag.
Enerzijds komt er duidelijk naar voor dat de huidige selectie van 13 Ishihara-platen, die in het CLB afgenomen worden, moeilijk houdbaar is. Het aantal vals positieve testuitslagen is veel te groot.
Anderzijds zijn er zowel in de literatuur als in de analyse van de onderzoekgegevens, duidelijke argumenten die de goede keuze van de 7 geselecteerde Ishihara-platen - zoals in het onderzoek voorgesteld - bevestigen.
Daarnaast werd in het onderzoek ook duidelijk dat de typische fouten op de Ishihara-test een belangrijke rol spelen om het onderscheid te maken tussen normaal kleurzienden en kleurgestoorden.

De grootste vraag blijft vooral nog waar de cut-off waarde van ons screeningsinstrument dient gelegd te worden, om geen kleurgestoorde te missen en anderzijds het aantal vals positieve resultaten tot een minimum te beperken. Uit ons onderzoek blijkt dat het criterium '2 of meerdere typische fouten' een mogelijk afkappunt kan zijn bij de afname van de 7-platenselectie van de Ishihara-test in het 1e leerjaar. Maar of dit ook houdbaar is, zal verder onderzoek nog moeten uitwijzen.

Met de huidige praktijk van CLB-artsen en –verpleegkundigen voor ogen denk ik dat het zeker nodig is om dit voorstel verder uit te werken tot een concrete richtlijn. Het gebruik van een verkorte versie van de Ishihara-test, met een duidelijk verwijscriterium zou ervoor zorgen dat veel minder kinderen een vals positief resultaat bekomen op deze screeningstest.

Daarnaast is er de vraag of onze geplastificeerde kaart met cijfers om te matchen niet best standaard aangeboden wordt aan de leerlingen van het eerste leerjaar.

Tenslotte kan de leeftijd waarop de screening naar kleurzinstoornissen in het CLB momenteel gebeurt in vraag gesteld worden. Zou dit onderzoek niet beter op oudere leeftijd (bv. in het 5e leerjaar) standaard uitgevoerd worden? Hier zijn wel wat argumenten voor:

- In tegenstelling tot het CLB-onderzoek in het vijfde leerjaar, dat op het centrum plaatsvindt, worden de leerlingen uit het eerste leerjaar op school onderzocht. Het meenemen van draagbare verlichtingsapparatuur naar school - naast al het overige nodige materiaal - lijkt niet haalbaar in de praktijk. In de huidige omstandigheden voldoet de afname van de Ishihara-test in het 1e leerjaar - zonder aangepaste verlichting en meestal in duistere klaslokalen – dus niet aan de vooropgestelde kwaliteitsvoorwaarden voor het bekomen van betrouwbare resultaten.
- In het 5e leerjaar is de kennis van de cijfers normaal gezien bij alle leerlingen (ook bij de meeste kinderen van allochtone afkomst) voldoende om de Ishihara-test met cijfers af te nemen. In het eerste leerjaar maken de kinderen ook veel meer designfouten. Hierbij dient vermeld te worden dat bij het opstellen van de verkorte Ishihara-selectie voor deze studie, de meest problematische platen op vlak van design van de cijfers uit de reeks gehaald werden. De 7-platenselectie is dus beter geschikt voor afname op jonge leeftijd dan de huidige 13-platenselectie.
- Volgens de literatuurstudie is het screenen naar kleurzinstoornissen vooral belangrijk op het ogenblik dat men zich oriënteert naar een bepaalde studie- of beroepskeuze. Dan zou het 5e leerjaar een gepast moment zijn om te screenen. Hoewel andere bronnen (107) melden dat het in sommige gevallen toch belangrijk is dat het kind, de ouders en de school tijdig ingelicht worden over het bestaan van de kleurzinstoornis en de beste manier om hiermee om te gaan. Zo kan voorkomen worden dat een dyschromaat kind om deze reden in zijn leerproces belemmerd wordt of een laag zelfbeeld ontwikkelt. Of er problemen zullen ontstaan door de kleurzinstoornis is echter heel individueel en afhankelijk van de intelligentie en de persoonlijkheid van het kind en de houding van leerkrachten en omgeving.

Tot slot zijn er ook duidelijkere richtlijnen nodig rond de precieze procedure van afname van de Ishihara-test (tijdsduur per plaat, al dan niet corrigeren of hernemen van platen,…) zodat er meer uniformiteit ontstaat in de afname door CLB-verpleegkundigen.

Het is duidelijk dat we met dit eindwerk een stapje dichter zijn bij de nieuwe richtlijnen voor screening naar kleurzinstoornissen in het CLB. Verder onderzoek is echter nodig om een antwoord op een aantal vragen die nog open blijven, te kunnen bieden.

## Figuren

- Figuur 1: Kleurendriehoek door CIE gestandaardiseerd
- Figuur 2: Kleuren gezien door normaal kleurzienden en kleurgestoorden
- Figuur 3: Types van kleurzinstoornissen
- Figuur 4: Problemen in het dagelijks leven bij personen met een kleurzinstoornis
- Figuur 5: Kleur als zoekstrategie: een diamantvormig object vinden
- Figuur 6: Kleur in de sport: een cricketspeler
- Figuur 7: Problemen van protans om zwakkere rode maritieme signalen te zien
- Figuur 8: Kleur in het luchtverkeer: PAPI
- Figuur 9: Uitleg PAPI
-Figuur 10: Proportie fouten gemaakt door kleurzienden en door personen met een kleurzinstoornis bij lichtsignalen van het wegverkeer (studie van Steward)
- Figuur 11: Kleurdomeinen afgebakend op het CIE-diagram door de CIE
- Figuur 12: Kleurdomein voor rode wegsignalen: vergelijking CIE en Europese Standaarden
- Figuur 13: Kleurdomein voor gele wegsignalen: vergelijking CIE en Europese Standaarden
- Figuur 14: Kleurdomein voor groene wegsignalen: vergelijking CIE en Europese Standaarden
- Figuur 15: Oppervlaktekleurcode: kleurcode van weerstand
- Figuur 16: Oppervlaktekleurcode: vluchtverloopstrips
- Figuur 17: Oppervlaktekleurcodes op een computermonitor: websafe-kleurenpalet
- Figuur 18: Oppervlaktekleurcodes op een computermonitor: weerradar
- Figuur 19: Esthetische kleurtaak: olieverfschilderij ‘Ghost Ship’ van Charles Meryon

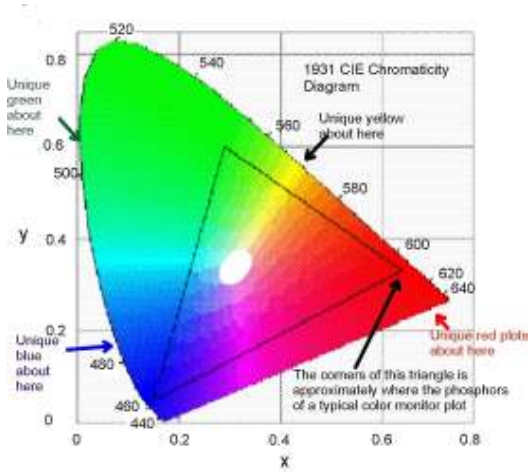



Fig. 1: Kleurendriehoek door CIE gestandaardiseerd
(Bron: www.yorku.ca)

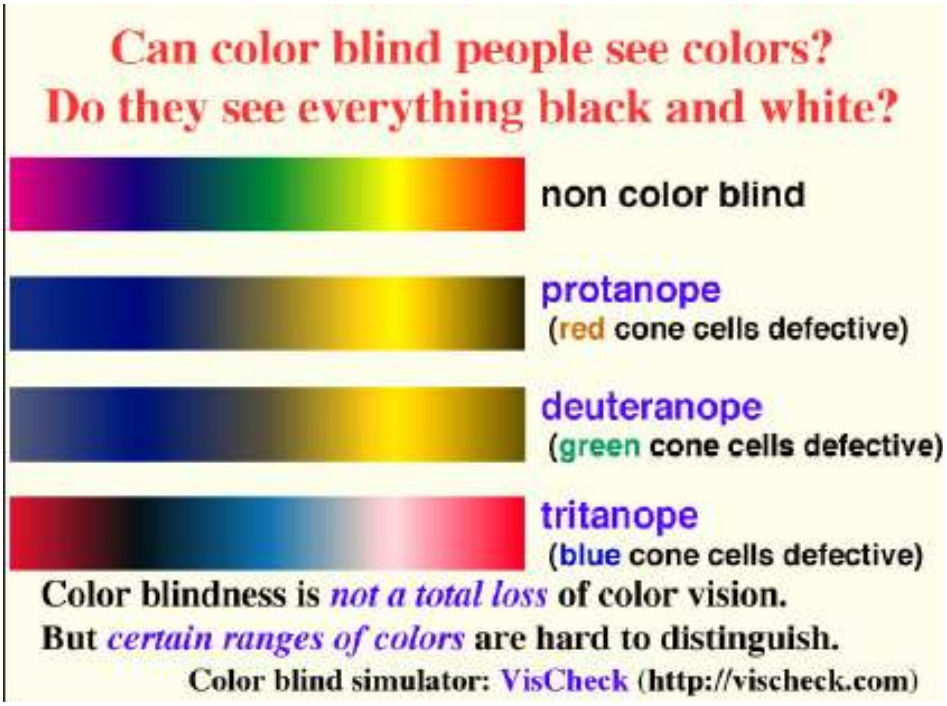



Fig. 2: Kleuren gezien door normaal kleurzienden en kleurgestoorden
(Bron: www.vischeck.com)

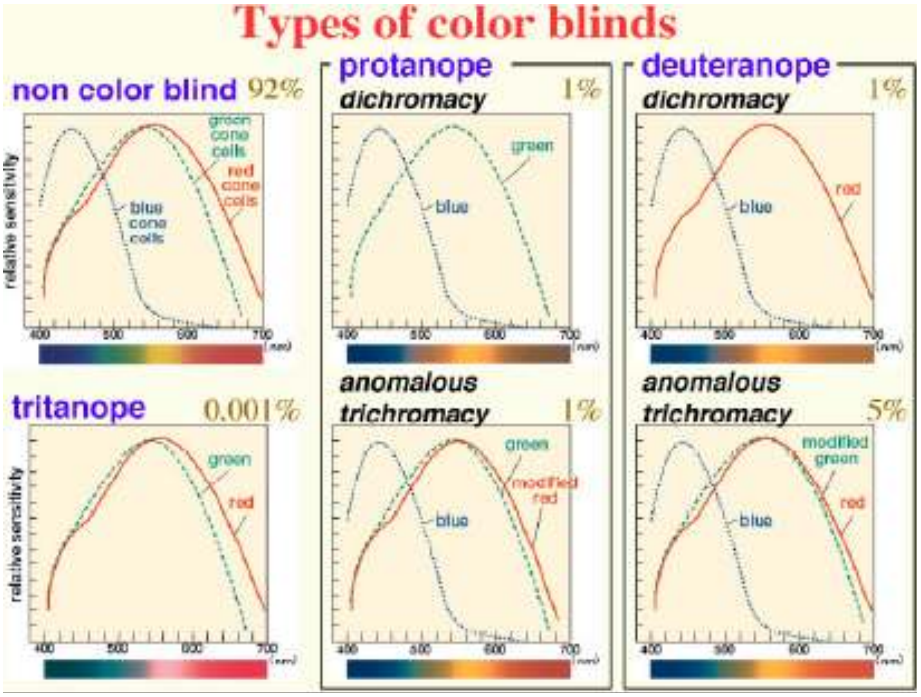



Fig. 3: Types van kleurzinstoornissen
(Bron: www.vischeck.com)

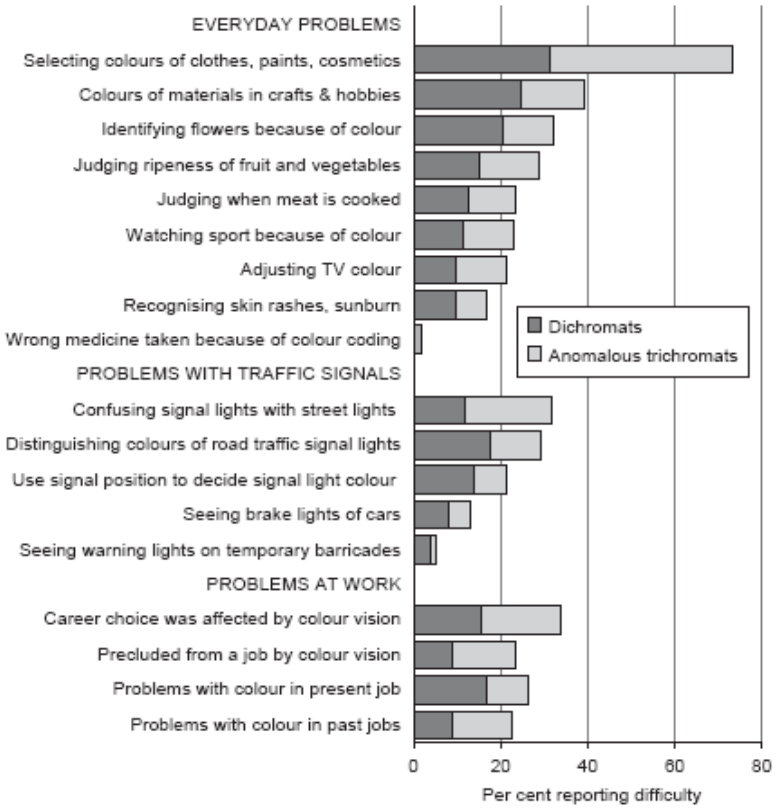



**Figure 1. Percentage of people (n = 102) with abnormal colour vision reporting particular difficulties with colour. Data from Steward and Cole.[17] The percentages given by Steward and Cole have been weighted in proportion to the relative numbers of dichromats and anomalous trichromats. The control group with normal colour vision reported none of these difficulties except two per cent reported sometimes confusing road traffic signals with street lights.**

Fig. 4: Problemen in het dagelijks leven bij personen met een kleurzinstoornis
(Bron: www.optometrists.asn.au/gui/filter/ceo874258.pdf)

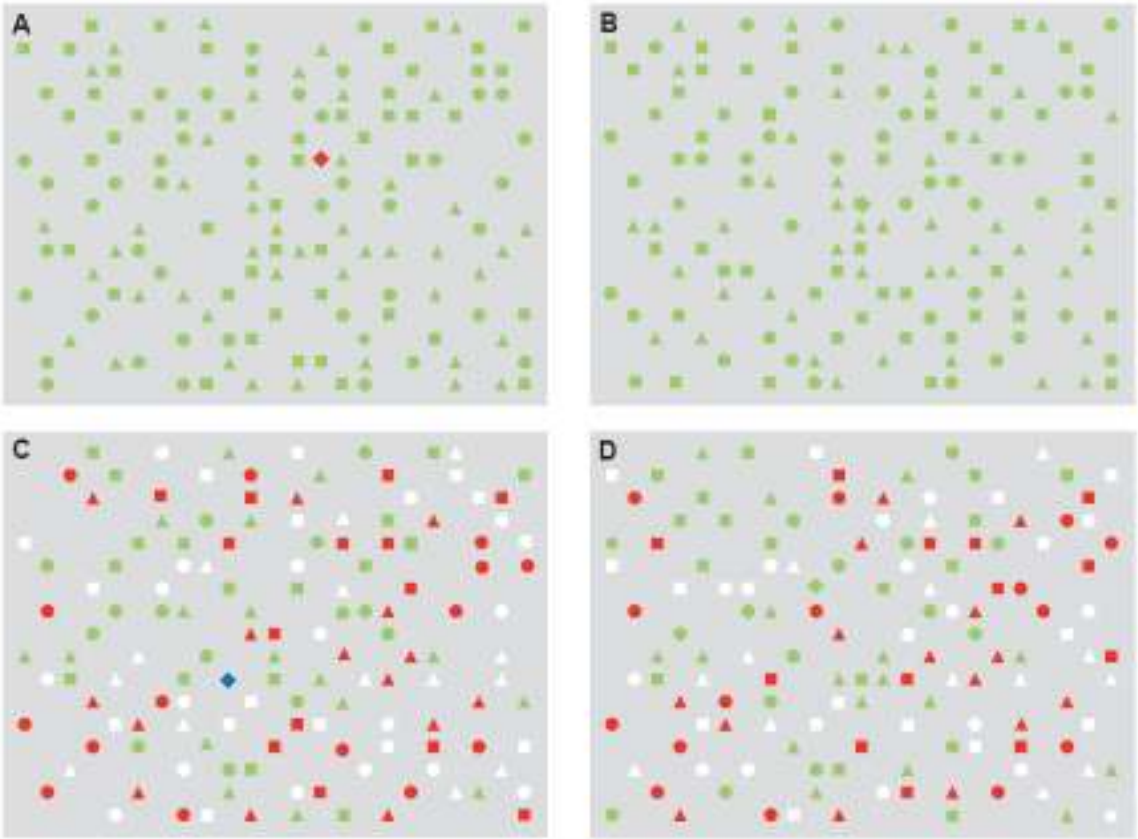



Figure 1. Examples of the display for the search task. The target is the diamond shape, which could appear in any one of eight locations on a circle 3.5 degrees from the centre of the display. The 138 distracters have shapes different from that of the target so shape is unique to the target. The distracters can be one, two, three or four colours, including the colour of the target. In example A, there is one distracter colour, which is different from the target colour. B. Target colour is the same as the distracter colour, so that shape is the only feature enabling the target to be found. C. There are three distracter colours and the target colour (blue) is unique. D. There are three distracter colours and the target colour (green) is not unique

Fig. 5: Voorbeeld van kleur als zoekstrategie: een diamantvormig object vinden
(Bron: www.optometrists.asn.au/gui/files/ceo874294.pdf)

Fig. 6: Voorbeeld van kleur in de sport: een cricketspeler (Bron: www.cricketonline.com)

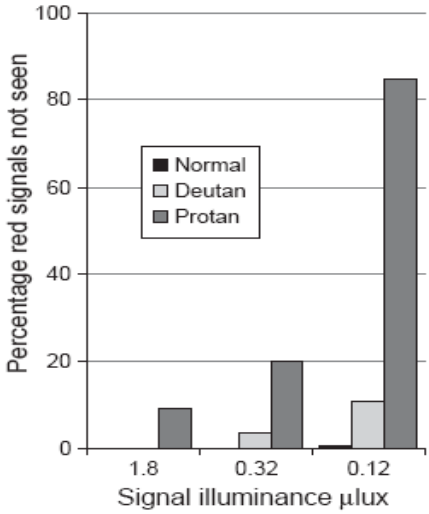



**Figure 5. Percentage of red signals not seen by protan observers in the maritime field trial of Kinney, Paulson and Beare[31] as a function of the illuminance of the signal compared to deutan and normal observers. The illuminances arise from a ship's signal lamp one, two and three nautical miles to sea.**

Fig. 7: Problemen van protans om zwakkere rode maritieme signalen te zien
(Bron: www.optometrists.asn.au/gui/files/ceo874258.pdf)

Fig. 8: Kleur in het luchtverkeer: PAPI
(Bron: www.acvaguila.it/…/real_flight/21-giu-05.jpg)

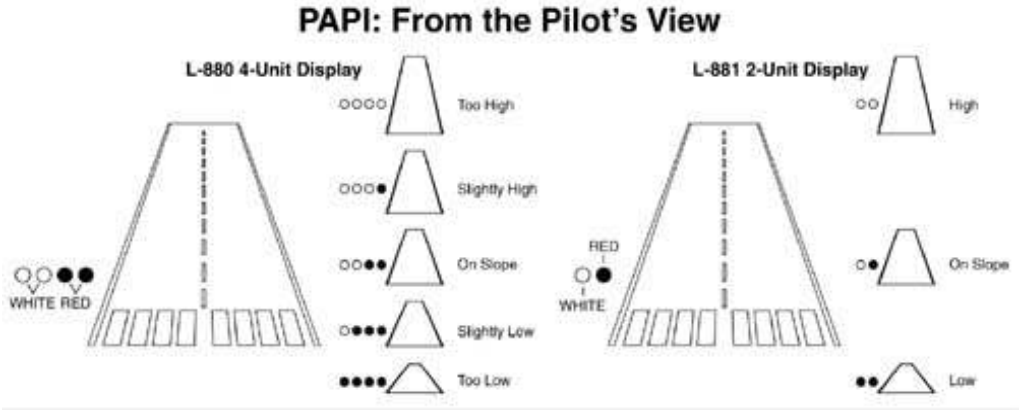



Fig. 9: Uitleg PAPI
(Bron: www.navfltsm.addr.com/papi.gif)

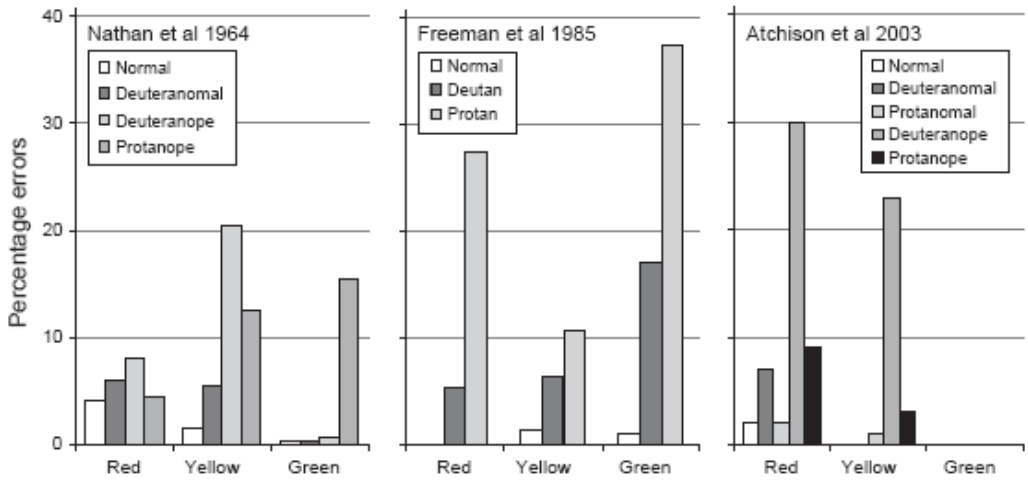



**Figure 8. Average percentage errors made by various classes of colour vision subjects naming the colours of simulated road traffic signal lights as reported by three studies.[52-54]**

Fig. 10: Proportie fouten gemaakt door kleurzienden en door personen met een kleurzinstoornis bij lichtsignalen van het wegverkeer
(Bron: www.optometrists.asn.au/gui/files/ceo874258.pdf)

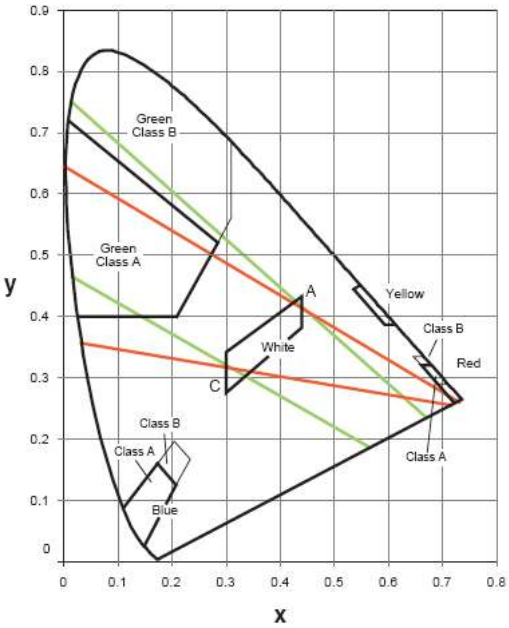



**Figure 3. CIE diagram showing the chromaticity domains recommended by the CIE[28] for signal light colours and the confusion lines for protanopia (dotted line) and deuteranopia (dashed line) that pass through illuminants A and C. All colours lying on these lines look the same to dichromats. Not shown is the confusion locus common to both protanopia and deuteranopia along the red-yellow-green spectral locus, indicating that these colours are also confused. The colours with chromaticities on and between the confusion lines passing through illuminants C and A will look white (but of varying colour temperature between 6,740 K and 2,854 K) to protanopes and deuteranopes. The colours on the left of these achromatic confusion lines will look blue to them, with increasing saturation for the chromaticities closer to the spectral locus. The colours on the right of the achromatic confusion lines will look yellow, again with increasing saturation as the colours become closer to the red-yellow spectral locus. Therefore, red-green dichromats will tend to confuse red and yellow, Class B green with yellow and red and Class A green with white.**

Fig. 11: Kleurdomeinen afgebakend op het CIE-diagram door de CIE
(Bron: www.optometrists.asn.au/gui/files/ceo874258.pdf)

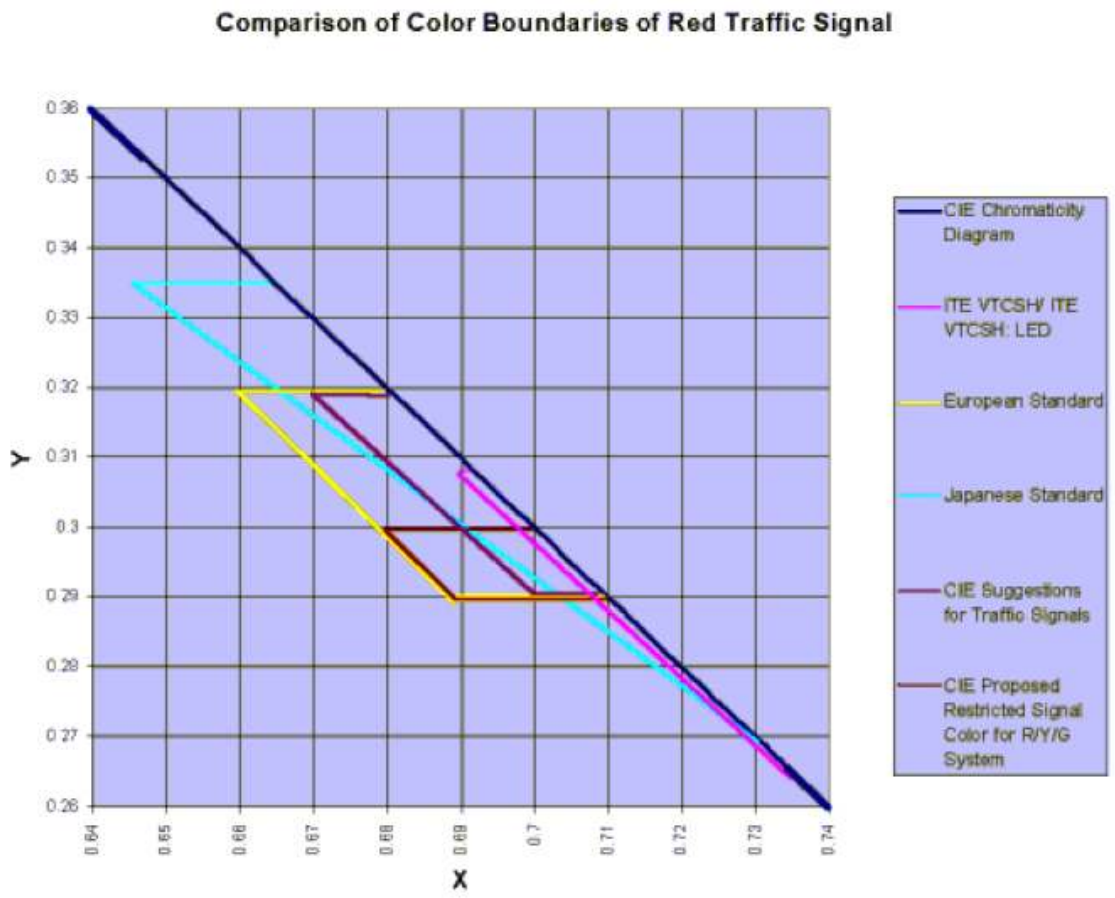



Fig. 12: Kleurdomein voor rode wegsignalen: vergelijking CIE en Europese standaarden (Bron: www.optics.arizona.edu)

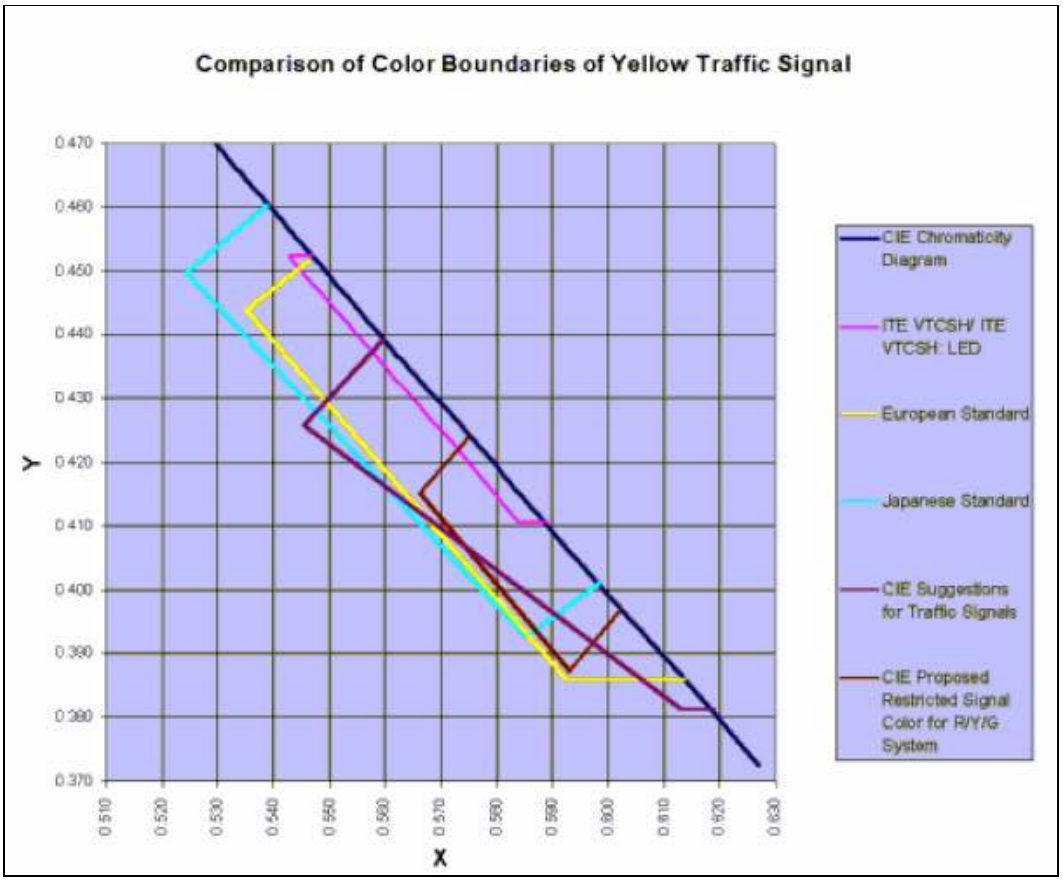



Fig. 13: Kleurdomein voor gele wegsignalen: vergelijking CIE en Europese Standaarden (Bron: www.optics.arizona.edu)

Fig. 14: Kleurdomeinen voor groene wegsignalen: vergelijking CIE en Europese Standaarden (Bron: www.optics.arizona.edu)

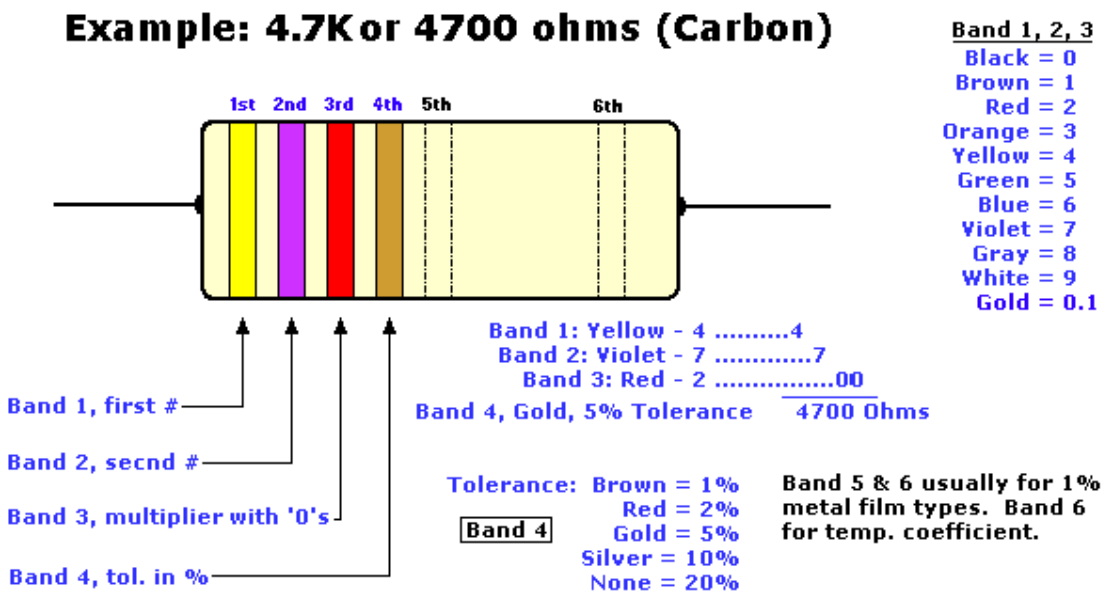



Fig. 15: Voorbeeld van oppervlaktekleurcode: De weerstand
(Bron: www.uoguelph.ca)

Fig. 16: Voorbeeld van oppervlaktekleurcode: de vluchtverloopstrips
(Bron: www.alaska.faa.gov/atop/images/stripbay.jpg)

Figure 12. Top: The Websafe palette of 216 colours. Middle: Transformation of the Websafe palette to the colours perceived by deuteranopes. Bottom: Transformation of the Websafe palette to the colours perceived by protanopes. © 2004 British Telecommunications plc. Reproduced with permission.

Fig. 17: Oppervlaktekleurcodes op een computermonitor: websafe-kleurenpalet
(Bron: www.optometrists.asn.au/gui/files/ceo874258.pdf)

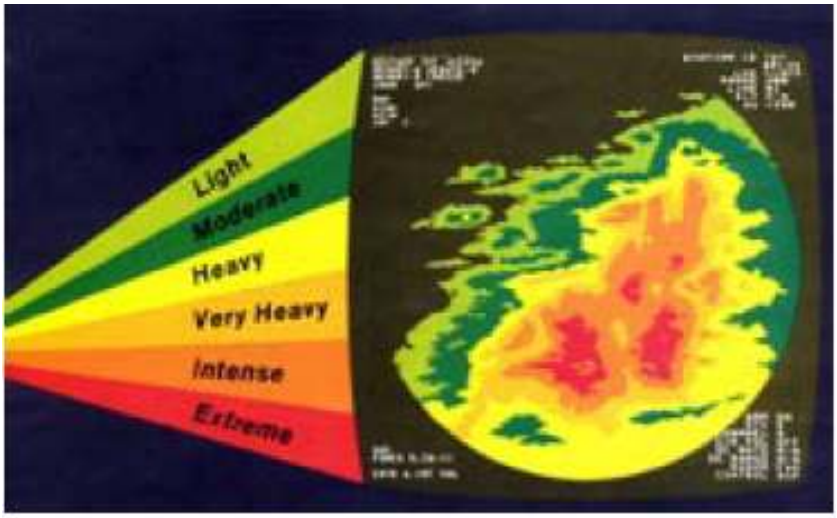



**Figure 1**. Radar Remote Weather Display System (RRWDS)

Fig. 18: Voorbeeld van oppervlaktekleurcodes op een computermonitor: weerradar
(Bron: www.faa.gov/library/reports/medical/oamtechreports/2000s/media/0410.pdf)

Fig. 19: Voorbeeld van esthetische kleurtaak: olieverfschilderij ‘Ghost Ship’ van Charles Meryon
(Bron: www.snof.org/art/imagesart/meryonpeint.jpg)

## Bijlagen

- Bijlage 1: Ishihara-platenoverzicht
- Bijlage 2: 13-platenversie van de Ishihara-test zoals afgenomen in het CLB
- Bijlage 3: Kaart met testcijfers
- Bijlage 4: Aangepast registratieformulier voor de Ishihara-test (cijfers en slangetjes)
- Bijlage 5: Praktische info voor de verpleegkundige i.v.m. het registreren
- Bijlage 6: Folder kleurenzicht
- Bijlage 7: Studieprotocol Ethische Commissie
- Bijlage 8: Toestemmingsformulier Ethische Commissie
- Bijlage 9: Uitnodiging- en toestemmingsformulier voor deelname aan het onderzoek
- Bijlage 10: Standaard registratieformulieren voor Gouden Standaardonderzoek

## Bijlage 1: Ishihara-platenoverzicht

| N° plaat naar 38-platen editie | Type van plaat | Gelezen bij normaal kleurzin | Gelezen bij kleurzinafwijking Protan / Deutan |
|---|---|---|---|
| 1 | Demonstratie | 12 | 12 |
| 2 | Transformatie | 8 | 3 |
| 3 | Transformatie | 6 | 5 |
| 4 | Transformatie | 29 | 70 |
| 5 | Transformatie | 57 | 35 |
| 6 | Transformatie | 5 | 2 |
| 7 | Transformatie | 3 | 5 |
| 8 | Transformatie | 15 | 172 |
| 9 | Transformatie | 74 | 21 |
| 10 | Vanishing | 2 | - |
| 11 | Vanishing | 6 | - |
| 12 | Vanishing | 97 | - |
| 13 | Vanishing | 45 | - |
| 14 | Vanishing | 5 | - |
| 15 | Vanishing | 7 | - |
| 16 | Vanishing | 16 | - |
| 17 | Vanishing | 73 | - |
| 18 | Hidden digit | - | 5 |
| 19 | Hidden digit | - | 2 |
| 20 | Hidden digit | - | 45 |
| 21 | Hidden digit | - | 73 |
| 22 | Classificatie | 26 | 6 / 2 |
| 23 | Classificatie | 42 | 2 / 4 |
| 24 | Classificatie | 35 | 5 / 3 |
| 25 | Classificatie | 96 | 6 / 9 |

**Legenda:**

*Vetomkaderde celgroepen:* verwijst naar de richtlijnen van Ishihara zelf voor de selectie van een beperkt aantal platen (één plaat van elke groep uitselecteren).

*Achtergrondkleur*:

- Grijs: plaat die weerhouden werd bij de selectie van 7 platen voor pilootonderzoek in het CLB (cf. literatuuronderzoek § "Besluit" en hoofdstuk "Opzet van het onderzoek")
- Wit: plaat die niet weerhouden werd bij de selectie van 7 platen voor pilootonderzoek in het CLB.

*Type plaat*:

- Demonstratieplaat (D): Aangewend als aanloop tot het onderzoek en voor het begrijpen van de opdracht. Ze worden gelezen door alle normale en kleurzingestoorde waarnemers.
- Vanishing-type (V): Het symbool is slechts leesbaar voor normaal kleurzienden. Voor de kleurzingestoorden wordt het symbool onzichtbaar omdat de kleur ervan niet wordt onderscheiden van de achtergrond.
- Transformation-type (T): Normaal kleurzienden lezen een symbool dat door kleurzingestoorden anders wordt gelezen. De symbolen zijn samengesteld uit sommige kleuren die kunnen verward worden met de achtergrond en andere die ook voor kleurzingestoorden duidelijk zichtbaar blijven.
- Hidden-digit-type (H): Enkel kleurzingestoorden kunnen een symbool herkennen doordat zowel symbool als achtergrond zijn samengesteld uit een mix van (voor normaal kleurzienden) verschillende kleuren. Kleurzingestoorden verwarren de kleuren van de achtergrond onderling en de kleuren van het symbool onderling.
- Diagnostic of classification-type (C): Deze platen maken het mogelijk om een onderscheid te maken tussen de protan- en deutanvorm. Het zijn platen van het Vanishing-type, samengesteld uit symbolen waarvan één onzichtbaar is voor protan-gestoorde waarnemers en het andere voor deutan-gestoorde waarnemers.

## Bijlage 2 : 13-platen versie van de Ishihara-test

Plaat 1

Plaat 2

Plaat 3

Plaat 4

Plaat 5

Plaat 6

Plaat 7

Plaat 8

Plaat 9

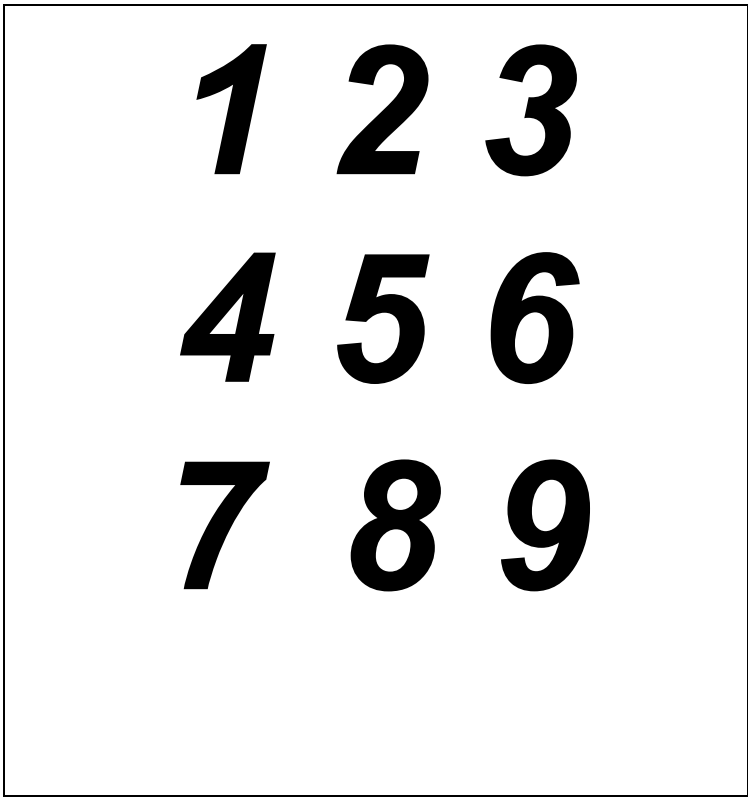
Plaat 10

Plaat 11

Plaat 12

Plaat 13

- Bijlage 3: Kaart met testcijfers




**Bijlage 4: Aangepast registratieformulier voor de Ishihara-test**

| Nr. Plaat | Normaal | Typische fouten Protan | Deutan | Gelezen cijfer | Gematchte cijfers |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12 | 12 | | | |
| 2 | 8 | 3 | | | |
| 4 | 5 | 2 | | | |
| 8 | 6 | — | — | | |
| 10 | 5 | — | — | | |
| 14 | — | 5 | | | |
| 16 | 26 | 6 | 2 | | |
| | | | | | |
| 3 | 29 | 70 | | | |
| 7 | 74 | 21 | | | |
| 9 | 45 | — | — | | |
| 11 | 7 | — | — | | |
| 15 | — | 45 | | | |
| 17 | 42 | 2 | 4 | | |

Besluit **(Omcirkel)** :

**Normaal**
**Abnormaal**
**Twijfelachtig** reden:
vervolg:
**Onbetrouwbaar** reden:
vervolg:

Opmerkingen:

**SLANGETJES**

| Nr. plaat | Gelezen cijfer | Ter informatie: typische fouten bij kleurzinstoornissen | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Nor maal** | **Protan** | **Deutan** | **Erger defect** |
| 24 | | **+** | **+** | | **--** |
| 23 | | **+** | ***D*** | | **--** |
| 22 | | **+** | ***D*** | | **--** |
| 21 | | **+** | **--** | | |
| 19 | | **--** | ***D*** | | **--** |
| 18 | | **+** | ***Roze*** | ***Rode*** | |

Legenda:
+ = normaal gelezen
D = deficiënte lezing
-- = niet gelezen

Bijlage 5 Praktische info voor de verpleegkundige i.v.m. het registreren

## Enkele praktische zaken ivm het registratieformulier van de kleurentest.

-Zorg dat de platen vooraf in de **juiste volgorde** zitten.

-**Per kind** wordt er **1** formulier ingevuld.

-Graag de **naam** van het kind bovenaan vermelden.

-Alle 13 platen worden afgenomen: 1e**: lezen**
indien te moeilijk: 2e: **matchen** (zie geplastificeerde cijfers)
indien nog te moeilijk (na de eerste 7): 3e: **slangetjes** (zie enkele formulieren achteraan in de map)

-**Noteren**: indien juist gelezen: omcirkelen van cijfer *(zie voorbeeldblad plaat 2)*

- indien 'typische fout' gelezen: omcirkelen van cijfer *(zie voorbeeldblad plaat 4)*
- indien 'iets anders' gelezen: cijfer noteren in kolom "gelezen cijfer" *(zie voorbeeldblad plaat 8)*
- indien juist of typische fout gematcht: kruisje zetten in die kolom + omcirkelen van het cijfer *(zie voorbeeldblad respectievelijk plaat 10 en 14)*
- indien 'iets anders' gematcht: cijfer noteren in kolom "gematchte cijfer" *(zie voorbeeldblad plaat 16)*

-Indien bepaalde kinderen **geen 2 cijfers** kunnen lezen (vb: 26), dan mag je ze elk apart laten lezen (of matchen). Noteer dan op het blad een komma tussen de 2 cijfers. *(zie voorbeeldblad plaat 3)*

-**Besluit**: omcirkel het juiste besluit
Bij twijfelachtig of bij onbetrouwbaar (vb. afgeleid; communicatieprobleem,…), noteer ook de reden en de vervolgactie (vb. selectief; folder meegeven,…)

-Indien de klas afgewerkt is, graag alle formulieren per klas in 1 rood mapje + graag een **KLASSELIJST** bij.

Graag zou ik hierbij alvast iedereen willen bedanken die hier aan meewerkt. **Bedankt voor de tijdsinvestering**, want iedereen heeft het zo al druk.

Els Desseyn
CLB-arts Marialand.

Bijlage 6 Folder kleurenzicht

# GESTOORD KLEURENZICHT

**Wat is het?**

Het normale oog is gevoelig voor drie grondkleuren: rood, groen en blauw. Alle andere kleuren, opgebouwd uit deze grondkleuren, worden herkend. Iemand met gestoord kleurenzicht is minder gevoelig of helemaal ongevoelig voor één of meerdere van deze grondkleuren. Dit brengt mee dat bepaalde kleuren of kleurschakeringen niet herkend worden.
Er bestaan dus vele vormen van lichte tot sterke stoornis voor rood, groen of blauw. Enkel bij ongevoeligheid voor alle grondkleuren kan men spreken van volledige kleurenblindheid. Mensen met die stoornis zien de wereld als in een zwart-wit film.

**Komt het vaak voor?**

Gestoord kleurenzicht is meestal een aangeboren afwijking. Slechts in enkele gevallen is de stoornis het gevolg van een oogziekte. De aangeboren stoornis komt vaker voor bij jongens dan bij meisjes. 8% van de jongens hebben ermee te maken en slechts 0,4% van de meisjes.
Verminderd zicht voor groen komt het meest voor (5%), dan verminderd zicht voor rood (1%), roodblindheid (1%) en groenblindheid (1%). Stoornis in blauwzicht en volledige kleurenblindheid komen zeer zelden voor.

**Hoe is het op te sporen?**

Het onderzoek naar kleurenzicht gebeurt systematisch tijdens het medisch onderzoek van kinderen van de lagere school (eerste leerjaar). Hiervoor wordt de Ishihara Test gebruikt. Deze test bestaat uit gekleurde platen met cijfers of tekeningen en geeft een vrij goed idee van de stoornis.

Indien men de precieze graad en de aard van de stoornis wenst te kennen, is een gespecialiseerd onderzoek nodig. Dit kan bij een kleurendeskundige in een universitaire dienst of bij oogartsen die over speciale apparatuur beschikken, o.m. een anomaloscoop.

*Indien men de precieze graad en de aard van de stoornis wenst te kennen, is een gespecialiseerd onderzoek nodig.*

**Zijn er gevolgen voor het kind?**

Het normale zicht van het kind ondervindt geen hinder van gestoord kleurenzicht. Een lichte afwijking geeft weinig of geen last. Een erge graad van gestoord kleurenzicht kan wel eens voor problemen zorgen.

Op school: Het kind kan problemen ondervinden bij vakken waar met kleuren gewerkt wordt, bijvoorbeeld bij wiskunde, tekenen. Best kan de leerkracht, bij het begin van het schooljaar, ingelicht worden over het bestaan van de afwijking.

Latere studie- en beroepskeuze: Voor sommige beroepen is een perfect kleurenzicht vereist bij aanwerving, bijvoorbeeld bij de spoorwegen, in de lucht- en scheepvaart, in bepaalde bedrijven.
Voor andere beroepen kan een gestoord kleurenzicht in de praktijk problemen geven, bijvoorbeeld kleurenfotografie, kleurencontrole in de verfindustrie, openbaar vervoer (verminderde zichtbaarheid van rode achterlichten).
Wanneer later een studie- of beroepskeuze gemaakt wordt, is het goed hiermee rekening te houden en tijdig advies in te winnen.

Er bestaat geen behandeling van een gestoord kleurenzicht. Het blijft levenslang onveranderd.

Verslagen van gespecialiseerd onderzoek kan je dus best bewaren.

Als je nog vragen hebt, kan je hiermee terecht bij de CLB-arts.

Vlaamse Wetenschappelijke Vereniging voor Jeugdgezondheidszorg
Werkgroep Gezondheidsvoorlichting en -opvoeding 1994, herwerkte versie 2003

Bijlage 7: Studieprotocol Ethische Commissie

STUDIEPROTOCOL

Titel:

Onderzoek naar de waarde van een verkorte versie van de Ishihara-test bij de opsporing van kleurzinafwijkingen bij kinderen van het eerste leerjaar

**Onderzoeker:** Dr. E. Desseyn
Vrij Centrum voor leerlingenbegeleiding Gent, vestiging Marialand

Deze studie kadert in de voorbereiding van een meesterproef (individuele eindverhandeling) die de onderzoeker voorbereidt in het kader van de masteropleiding Jeugdgezondheidszorg

**Co-onderzoekers**: Dr. B.P. Leroy (Adjunct-Kliniekhoofd, Dienst Oftalmologie en Centrum voor Medische Genetica, Universitair Ziekenhuis Gent)

Dhr. A. Uvijls (Kleurzindeskundige, Dienst Oftalmologie Universitair Ziekenhuis Gent en Dienst Oftalmologie, Akademisch Ziekenhuis Vrije Universiteit Brussel)

**Promotoren:** Prof. Dr. K. Hoppenbrouwers, hoofddocent, Dienst Jeugdgezondheidszorg, K.U.Leuven en voorzitter Vlaamse Wetenschappelijke Vereniging voor Jeugdgezondheidszorg (VWVJ)

Dr. C. Guérin, wetenschappelijk medewerker, Vlaamse Wetenschappelijke Vereniging voor Jeugdgezondheidszorg (VWVJ)

**Onderzoeksplaatsen:**

- Vrij Centrum voor leerlingenbegleiding Gent, vestiging Marialand
  Verantwoordelijke arts: Dr. C. Devos
- Vrij Centrum voor leerlingenbegeleiding Gent, vestiging Halve Maanstraat
  Verantwoordelijke arts: Dr. C. Vanherzele
- Centrum voor leerlingenbegeleiding van het Gemeenschapsonderwijs Gent
  Verantwoordelijke arts: Dr. I. Van Trimpont

## Inleiding

Bij kleurzinstoornissen is het oog minder gevoelig of totaal ongevoelig voor één of meer van de drie primaire kleuren (rood, groen, blauw). Kleurzinstoornissen zijn meestal aangeboren, maar kunnen ook verworven zijn bij talrijke oogaandoeningen. Het kleurzinonderzoek in de Centra voor Leerlingenbegeleiding (kortweg CLB) is gericht op het opsporen van aangeboren kleurzinstoornissen. De verminderde of afwezige gevoeligheid voor groen en rood zijn veel frequenter dan deze voor blauw, en erven over op geslachtsgebonden wijze. Deze gevoeligheidsstoornissen voor groen of rood komen voor bij ongeveer 8% van de jongens en bij slechts 0,4% van de meisjes.

De Ishihara-test is wereldwijd de meest gebruikte screeningstest voor kleurzinstoornissen. Deze test bevat pseudo-isochromatische (PIC) platen en is geschikt voor het opsporen van congenitale of verworven kleurzinafwijkingen van het type protan (rood) en deutan (groen). De Ishihara PIC-platen zijn opgebouwd uit bolletjes van verschillende grootte en kleurtint, waarin de waarnemer al dan niet een cijfer kan herkennen.
Daarnaast is er ook een aantal aangepaste platen voor kinderen die moeilijk cijfers lezen. Deze platen zijn voorzien van kronkelende lijnen (de zogenaamde Ishihara-'slangetjes') die met een penseel overtekend moeten worden.

## Probleemstelling

In de CLB wordt het kleurzinonderzoek standaard afgenomen bij leerlingen van het 1e leerjaar (gemiddeld 6 jaar oud). De bedoeling is om bij kleurgestoorde kinderen aan ouders en school advies te geven in verband met mogelijke beperkingen of moeilijkheden tijdens de schoolloopbaan (vb. bij tekenen, aardrijkskunde,…). De vroegtijdige opsporing van kleurzinstoornissen is ook belangrijk in het kader van het studiekeuze- en beroepskeuzeproces.

In de "Standaard Visusonderzoek voor 3- tot 18-jarigen in het CLB" (die de geldende aanbeveling is voor goede medische praktijk in de CLB) wordt voor de screening naar kleurzinafwijkingen aanbevolen om een selectie van 13 platen uit de Ishihara-test af te nemen bij kinderen van het 1e leerjaar.[1] Volgens deze richtlijn is er vanaf één fout gelezen plaat sprake van een afwijkend testresultaat.

Uit een vorig onderzoek blijkt echter dat sommige van deze 13 platen bij jonge kinderen moeilijk af te nemen zijn.[2] Dit zou o.a. te wijten zijn aan problemen met het herkennen van cijfers met een verouderde design en aan een te hoge moeilijkheidsgraad bij het lezen van dubbele cijfers. Hierdoor leidt het strikt toepassen van de aanbevolen criteria tot een groot aantal verwijzingen, wat in de praktijk noch haalbaar noch wenselijk is. De vraag is dus of een andere, of een beperktere, selectie van platen tot een beter screeningsinstrument voor de CLB kan leiden.

**Doel van het onderzoek**

Doelstelling van dit onderzoek is het bepalen van de waarde van een verkorte versie van de Ishihara-test bij de vroegtijdige opsporing door het CLB van kleurzinafwijkingen bij kinderen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een selectie van 7 (uit de 13 gebruikelijke) PIC-platen. Deze keuze is gebaseerd op de respectievelijke eigenschappen van elke plaat (zoals door Ishihara zelf beschreven), op expertadvies [3] en op de resultaten van vorig onderzoek.[2]

## Onderzoeksvraag

Is de verkorte versie van de Ishihara-test, bestaande uit 7 geselecteerde platen, bruikbaar als screeningstest naar kleurzinstoornissen in het CLB?

Met andere woorden:
*Welke zijn de testeigenschappen van dit instrument bij de opsporing van kleurzinafwijkingen in de context van een preventief CLB-consult bij kinderen van het 1e leerjaar?*

## Onderzoekspopulatie en methoden

### Onderzoekspopulatie en steekproeftrekking

De doelgroep van dit onderzoek bestaat uit leerlingen van het 1e leerjaar.
Alle leerlingen, waarvoor door de CLB-artsen van drie deelnemende onderzoekslocaties tussen september 2005 en januari 2006 een kleurzinonderzoek werd uitgevoerd tijdens het preventief consult op school in het 1e leerjaar, komen in aanmerking voor deelname aan fase 1 van het onderzoek  Het gaat om 29 klassen.
Alle kinderen die tijdens dit CLB-onderzoek een afwijkend testresultaat hadden op de Ishihara-test (7 platen)  worden uitgenodigd voor deelname aan een bijkomend gespecialiseerd kleurzinonderzoek.

### Methoden

Fase 1: Kleurzinonderzoek door het CLB

Bij alle leerlingen die in het onderzoek worden opgenomen, werd de Ishihara-test met 13 platen afgenomen zoals aanbevolen in de "Standaard Visusonderzoek" voor deze leeftijdsgroep. In het kader van dit onderzoek werden de klassieke testomstandigheden als volgt aangepast:

- De platen werden in een andere volgorde afgenomen (beginnend met de 7 uitgekozen platen);
- Er werd voor optimale belichtingsomstandigheden gezorgd (d.m.v. draagbare belichtingsapparatuur, met éénmalige luxmeting in elk onderzoekslokaal ter hoogte van de test voor aanvang van de studie);
- Voor kinderen die moeilijk cijfers kunnen benoemen werd ook een kaart (zie bijlage 1) ter beschikking gesteld met alle testcijfers op vermeld. Kinderen konden zo nodig

op de kaart het cijfer aanwijzen dat zij bij het aanbieden van een testplaat meenden te zien (matchen);

- Wat het kind aflas/matchte bij elke plaat en het besluit van de CLB-medewerker, werden niet alleen in het dossier, maar ook op een apart registratieformulier genoteerd (zie bijlage 2).

De ingevulde registratieformulieren zullen door de lokale verantwoordelijke artsen anoniem aan de hoofdonderzoeker ter beschikking gesteld worden, om vervolgens door haar geanalyseerd en verwerkt te worden.

Zoals gewoonlijk gebeurt naar aanleiding van een CLB-consult, werden de ouders van kinderen met een afwijkend resultaat per brief op de hoogte gebracht van een mogelijke kleurzinafwijking bij hun kind. Bij deze brief werd een informatiebrochure gevoegd met uitleg over kleurzinstoornissen, de mogelijke impact ervan op de schoolloopbaan en de beroepskeuze, en adviezen voor eventueel bijkomend onderzoek. (brochure in bijlage 3)

Fase 2: Vergelijking van het CLB-kleurzinonderzoek met een gouden standaard

In een tweede fase zullen alle kinderen met een afwijkend resultaat op de verkorte Ishihara-test (7-platenversie) (naar schatting 20%) via de eigen CLB-arts schriftelijk en/of telefonisch uitgenodigd worden voor bijkomend kleurzinonderzoek volgens een gouden standaard. Dit gouden standaardonderzoek omvat de volgende kleurzintesten (zie uitnodigingsbrief in bijlage 4):

1. Pseudo-isochromatische platen van Ishihara (editie met 13 testplaten)
2. Tritan plate van Farnsworth
3. American Optical Hardy, Rand Rittler test (AO-HRR 1$^{ste}$ editie)
4. Panel D-15 van Farnsworth
5. Nagel Anomaloscopie met de Oculus anomaloscoop

Het onderzoek in deze laatste fase gebeurt blind voor het resultaat van fase 1 (informatie over aantal en type fouten wordt niet ter beschikking gesteld), en wordt uitgevoerd door professionelen met ervaring in de uitvoering van een uitgebreid kleurzinonderzoek bij kinderen. Dit onderzoek zal plaats vinden op de dienst Oftalmologie van het Universitair Ziekenhuis Gent, onder leiding van Dr. Bart Leroy, oogarts-geneticus en Dhr. André Uvijls, kleurzindeskundige.

In de praktijk zullen maximaal 50 kinderen volgens dit protocol kunnen onderzocht worden (week van 3 tot 8 april 2006).

Het fase 2-onderzoek geldt als gouden standaard om de gegrondheid van het voorgestelde CLB-verwijsbeleid (namelijk verwijzing vanaf één fout op de 7 geselecteerde Ishihara- platen) te beoordelen, en een berekening van predictieve positieve waarde van de test mogelijk te maken.

De bepaling van de sensitiviteit van de Ishihara-test (7 platen) vereist een uitgebreid kleurzinonderzoek van een groep bij toeval geselecteerde kinderen met een normaal CLB-testresultaat. Door de relatief lage prevalentie van kleurzinafwijkingen (ongeveer 8% bij de algemene bevolking) vereist dit echter een “gouden standaard” test bij enkele honderden kinderen met een normaal testresultaat. Dit is niet haalbaar in het huidige onderzoek. Daarom

zal de sensitiviteit van de verkorte versie van de Ishihara-test in eerste instantie berekend worden aan de hand van beschikbare literatuurgegevens (o.a. gedocumenteerde gegevens over sensitiviteit van elke individuele plaat uit de Ishihara-test).[4, 5]

Aan de ouders van de geselecteerde kinderen wordt gevraagd schriftelijk toestemming te geven voor deelname van hun kind aan fase 2 van het onderzoek. Zij worden nadien door de eigen CLB-arts schriftelijk op de hoogte gebracht van het testresultaat, en desgevallend begeleid (informatie- en toestemmingsformulier, zie bijlage 4).

**Referenties**


1. Guérin C, Broeckaert K, Hoppenbrouwers K. Standaard visusonderzoek bij 3- tot 18-jarigen in het CLB. Leuven, 2003, Vlaamse Wetenschappelijke Vereniging voor Jeugdgezondheidszorg
2. Verlooy M. De Ishihara-test in het kader van de screening naar kleurzinafwijkingen in het CLB. Eindverhandeling in het kader van de Interuniversitaire GGS-Opleiding Jeugdgezondheidszorg. Promotoren: K. Hoppenbrouwers en C. Guérin. Juni 2005
3. Uvijls M. Dienst colorimetrie, Akademisch Ziekenhuis VUB en Universitair Ziekenhuis Gent, persoonlijke communicatie
4. Birch J. Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency. *Ophtal Physiol Opt*. 1997; 17 (5): 403-8.
5. Dain S. Gray S. Tran L. Colorimetric analysis and performance assessment of the Hahn new pseudoisochromatic colour vision test. *Col Res Appl* 1998, 23 (2): 69-77.

## Bijlage 9 : Uitnodigings- en toestemmingsformulier voor deelname aan het onderzoek

Geachte ouders,

Zoals u zich wellicht herinnert, werd uw kind enkele weken geleden onderzocht door een medisch team van het Centrum voor LeerlingenBegeleiding (CLB). Bij dit onderzoek werd onder andere een test afgenomen om kleurzinafwijkingen op te sporen. Het resultaat hiervan werd u schriftelijk meegedeeld.

De kleurzintest die hiervoor momenteel in het CLB wordt gebruikt blijkt echter voor sommige kinderen te moeilijk of te lang. Daarom willen wij de testprocedure vereenvoudigen.

Om dit te kunnen doen, hadden we graag bij een groep kinderen van het eerste leerjaar het CLB-kleurzinonderzoek vergeleken met een gespecialiseerd kleurzinonderzoek. Alle kinderen die ten minste één foutje maakten tijdens het CLB-kleurzinonderzoek worden daarom uitgenodigd voor een gratis onderzoek op de dienst oogziekten van het Universitair Ziekenhuis Gent. Ook uw kind hoort daarbij.

We zouden u hierbij vriendelijk om uw medewerking aan dit onderzoek willen vragen. Op die manier kan u ertoe bijdragen om de inhoud van het kleurzinonderzoek in het CLB verder te verbeteren.

**Hoe kan u deelnemen, en waaruit bestaat het onderzoek precies?**

- Om deel te nemen aan het onderzoek, hebben we eerst uw toestemming nodig (zie antwoordstrook op volgende bladzijde).
- Vervolgens neemt de CLB-arts contact met u op om samen met u een afspraak vast te leggen voor een uitvoerig kleurzinonderzoek in het Universitair Ziekenhuis Gent. Dit onderzoek zal plaatsvinden in de eerste week van de paasvakantie (tussen 3 en 8 april 2006).
- Op de afgesproken datum en uur wordt uw kind gratis getest op een kleurzinstoornis door een team van gespecialiseerde medewerkers (onder de leiding van Dr. Bart Leroy, oogarts, en De Heer Uvijls, kleurzindeskundige, beide verbonden aan de dienst oogziekten van het Universitair Ziekenhuis Gent). Dit onderzoek vergt geen enkele ingreep en is volledig pijnloos.
- De resultaten van het onderzoek zullen u schriftelijk en persoonlijk door de CLB-arts meegedeeld worden. Hierbij krijgt u al dan niet bevestiging dat uw kind een kleurzinstoornis heeft, alsook volledige informatie over het type en de ernst van deze afwijking.
- Indien uw kind kleurgestoord is, kan het CLB praktische aanwijzingen aan de leerkrachten geven om moeilijkheden te voorkomen bij het gebruik van kleuren op school. Het CLB staat ook ter beschikking voor raadgeving bij de keuze van de studierichting en bij de beroepskeuze later.
- Tenslotte, worden de testresultaten van alle kinderen die aan dit onderzoek deelnemen op een anonieme wijze verwerkt. Dit zal ons in staat stellen om te bepalen welke testprocedure in de toekomst bij het CLB-onderzoek best toegepast wordt.

We zouden het op prijs stellen als u de toestemming zou verlenen om uw kind aan dit onderzoek te laten deelnemen. Mogen wij u daarom vragen het bijgevoegde antwoordformulier in te vullen en aan ons terug te bezorgen op het onderstaande adres?
Indien u nog vragen of opmerkingen hebt omtrent het onderzoek, kan u ons op ditzelfde adres contacteren:

Dr Els Desseyn
CLB Marialand
9000 Gent
Tel: 0475/519515
Mail: elsdesseyn@skynet.be

Verantwoordelijken voor het kleurzinonderzoek in het UZ Gent

Dr. B. Leroy: Adjunct-Kliniekhoofd, Dienst Oftalmologie en Centrum voor Medische Genetica, UZ Gent)
Dhr. A. Uvijls (Kleurzindeskundige, Dienst Oftalmologie UZ Gent en Dienst Oftalmologie, AZ VUB)

Promotoren van het onderzoek:

Prof. K. Hoppenbrouwers, Dienst Jeugdgezondheidszorg, Katholieke Universiteit Leuven
Dr. Cécile Guérin, Vlaamse Wetenschappelijke Vereniging voor Jeugdgezondheidszorg

**Antwoordstrook in te vullen door de ouder(s)/voogd**

Wij ……(naam van één of beide ouders) en ……(naam van het kind),

O geven toestemming om deel te nemen aan het onderzoek rond kleurzinstoornissen met anonieme verwerking van de resultaten.

Adres: ……
……  Geboortedatum: …….
Telefoon:……  School en klas: ……..

O twijfelen nog of we willen meewerken, maar hebben er geen bezwaar tegen dat we door de onderzoeker telefonisch worden gecontacteerd voor bijkomende informatie.

Adres: ……
……  Geboortedatum: …….
Telefoon:……  School en klas: ……..

O werken liever niet mee aan het onderzoek.

Eventuele opmerkingen: ……
……
……
……
……..

Handtekening ouder(s)  Datum: ……...

Gelieve dit formulier in te vullen en terug te sturen naar: **Dr. Els Desseyn, CLB Marialand, 9000 Gent**
Tel: 0475/519515 - Mail: elsdesseyn@skynet.be

## Literatuurlijst


(1) Verlooy M. De Ishihara-test in het kader van de screening naar kleurzinafwijkingen in het CLB. Eindverhandeling in het kader van de interuniversitaire GGS-Opleiding Jeugdgezondheidszorg Promotoren: K Hoppenbrouwers C Guérin 2005.

(2) Steward JM, ColeBL. What do color vision defectives say about everyday tasks. Optometry and Vision Science 1989; 66(5):288-295.

(3) Dalton J. Extraordinary facts relating to the vision of colours: with observations by Mr John Dalton. Memoirs Manchester Literature and Philosophical Society 1798; 5:28-45.

(4) Cole BL. The handicap of abnormal colour vision. Clinical and Experimental Optometry 2004; 87(4-5):258-275.

(5) Cobb SR. Evidence for an effect by colour defect on personality. Perceptual and Motor Skills 1980; 51:159-166.

(6) Espinda SR. Color defiviency: a learning disability? Journal of Learning Disabilities 1973; 6:42-44.

(7) Wilkinson WK. The cognitive and social-emotional correlates of color deficiency in children : a literature review and analysis. Adolescence 1992; 27(107):603-611.

(8) Gallo PG, Panza M, Viviani F. Congenital dyschromatopsia and school achievement. Perceptual and Motor Skills 1998; 86:563-569.

(9) Lampe JM, Doster ME, Beal BB. Summary of a three year study of academic and scholl achievement between color-deficient and normal primary age pupils: phase two. Journal of School Health 1973; 43(5):309-311.

(10) Cumberland P, Rahi JS, Peckham CS. Impact of congenital colour vision on education and unintentional injuries: findings from the 1958 British birth cohort. BMJ 2004; 329(7474):1074-1075.

(11) Snyder CR. The psychological implications of being color blind. The Journal of Special Education 1973; 7:51-54.

(12) ColeBL, MacDonald WA. Defective colour vision can impede information acquisition from redundantly colour coded video displays. Ophtalmic and Physiological Optics 1988; 8:198-209.

(13) O'Brien KA, Cole BL, Maddocks JD, Forbes AB. Color and defective colour vision as factors in de conspicuity of signs and signals. Human Factors 2002; 44:667-677.

(14) Cole BL, Maddocks JD, Sharpe K. Visual search and the conspicuity of coloured targets for colour vision normal and colour vision deficient observers. Clinical and Experimental Optometry 2004; 87(4-5):294-304.

(15) Dain SJ, Hughes LE. Survey of the colour vision demands in fire-fighting. Normal and defective colour vision, Oxford University Press 2003; chapter 36(ISBN 0 19 852530 3):347-353.

(16) Goddard N, Coull D. Colour blind cricketers and snowballs. BMJ 1994; 309(24-31 december 1994).

(17) Harris RW, Cole BL. Five Cricketeers with abnormal colour vision. Clinical and Experimental Optometry 2005; 88(3):176-180.

(18) Harris RW, ColeBL. One of australia's greatest cricketers was a protanope : a genetic detective story solved with the help of Scmidt's sign. Clinical and Experimental Optometry 2005; 88(6):405-409.

(19) Vingrys AJ, Cole BL. Validation of the Holmes-Wright lanterns for testing of colour-vision. Ophtalmic and Physiological Optics 1983; 3(2):137-152.

(20) Birch J. Performance of red-green colour-deficient subjects on the Holmes-Wright lantern (Type A) in photopic viewing. Aviation, space and environmental medicine 1999; 70:897-901.

(21) Verriest G. Vocational and practical implications of defective color vision. Congenital and Acquired color vision defects, Grune and Stratton 1979; 1979(ISBN 0 8089 1203 8):349-359.

(22) Kinney JAS, Paulson HM, Beare AN. The ability of color defectives to judge signal lights at sea. Journal of the Optical Society of America 1979; 69(1):106-113.

(23) Cockburn DM. Confessions of a colour blind optometrist. Clinical and Experimental Optometry 2004; 87(4-5):350-352.

(24) Ministerieel besluit tot vaststelling van de bijzondere voorwaarden inzake lichamelijke geschiktheid waaraan de kandidaten voor sommige betrekkingen bij het Bestuur van het Zeewezen en van de Binnenvaart moeten voldoen. Belgisch Staatsblad 1979.

(25) Hovis JK, Oliphant D. Validity of the Holmes-Wright Lantern as a color vision test for the rail industry. Vision Research 1998; 38:3487-3491.

(26) Dreyer V. Occupational possibilities of color defectives. Acta Ophtalmica 69 A.D.; 47:523-534.

(27) Nettleship E. Accidents from defective sight. Adlard, London 1913; 1913.

(28) Taylor WOG. Effects on employment of defects in color vision. British Journal of Ophtalmology 1971; 55:753-760.

(29) Hovis JK, Oliphant D. A lantern color vision test for the rail industry. American journal of industrial medicine 2000; 38(6):681-696.

(30) Aine E. Minimum visual requirements in defferent occupations in Finland. Acta Ophtalmica suppl 1984; 161:104-110.

(31) Bowman KJ, Cole BL. Recognition of the aircraft navigation light color code. Aviation, space and environmental medicine 1981; 51(11):658-665.

(32) Milburn NJ, Mertens HW. Predictive validity of the aviation light test for testing pilots with color vision deficiencies. Office of Aerospace Medicine 2004; Final Report(DOT/FAA/AM-04/14):1-18.

(33) Sloan LL, Habel A. Recognition of red and green point-sources by colour-defective observers. Journal of the Optical Society of America 1955; 45:599-601.

(34) Vingrys AJ, Cole BL. The ability of colour defective observers to recognise an optimised set of red, green and white signal lights. Colour Vision Deficiencies XI 1993; Kluwer 1993:87-95.

(35) Steen JA, Lewis MF. Color defective vision and day and night recognition of aviation color signal light flashes. Aerospace Medicine 1972; 43(1):34-36.

(36) Hovis, Casson E, Delpero W. Aviation signal light gun: variations in photometric and colorimetric properties among airports. Aviation, space and environmental medicine 2006; 77(1):46-52.

(37) McKelvey RK. The information value of airport lighting systems in an achromatic environment. Aviation Medicine Memo ,Department of Aviation 1982; nr 35.

(38) Cole BL, Maddocks JD. Protans and PAPI:recognition of a two colour code by persons with defective colour vision. Colour Vision Deficiencies XII, Kluwer 1995; 1995:495-500.

(39) Vingrys AJ, Cole BL. Are colour vision standards justified for the transport industry? Ophtalmic and Physiological Optics 1988; 8:257-274.

(40) Verkeerswezen. Ministerieel besluit tot vaststelling van de voorwaarden inzake lichamelijke en geestelijke geschiktheid van de leden van het stuurpersoneel van burgerlijke luchtvaartuigen. Belgisch Staatsblad 2002.

(41) Squire TJ, Rodriguez-Carmona M, Evans ADB, Barbur JL. Colour vision tests for aviation: comparison of the Anomaloscope and three lantern types. Aviation, space and environmental medicine 2005; 76(5):421-429.

(42) Delpero W, O' Neill H, Casson E, Hovis JK. Aviation-relevent epidemiology of color vision deficiency. Aviation, space and environmental medicine 2005; 76(2):127-133.

(43) Verriest G, Uvijls A. Les déficiances congénitales de la vision des coleurs et l'électronique. Bulletin du Société belge Ophtalmologique 1979; 186:131-141.

(44) Verriest G, Neubauer O, Marre M, Uvijls A. New Investigations concerning the relationship between congenital colour vision defects and road traffic security. International Ophtalmology 1980; 2(2):87-99.

(45) Tagarelli A, Piro A, Tagarelli G, Lantieri PB, Risso D, Olivieri RL. Colour blindness in everyday life and car driving. Acta Ophtalmologica Scandinavica 2004; 82:426-442.

(46) Atchinson DA, Pedersen Ca, Dain SJ, Wood JM. Traffic signal color recognition is a problem for both protan and deuton color-vision-deficients. Human Factors 2003; 45:495-503.

(47) Nathan J, Henry GH, Cole BL. Recognition of colored road-traffic light signals by normal and color-defective observers. Journal of the Optical Society of America 1964; 54:1041-1045.

(48) Freedman M, Davit PS, Staplin LK, Breton, ME. Traffic signal brightness. An examination of night-time dimming. Federal Highway Administration Washinton DC 1985; 1985.

(49) Kinnear P. Spectral sensitivity for observers with protanomalous , extreme protanomalous and protanopic colour vision. Ophtalmic and Physiological Optics 1986; 6:197-200.

(50) Cole B, Brown B. Optimum intensity of red road-traffic signal lights for normal and protanopic observers. Journal of the Optical Society of America 1966; 56(4):516-517.

(51) Paramei GV, Bimler DL, Cavonius CR. Effect of luminance on color perception of protanopes. Vision Research 1998; 38:3397-3401.

(52) Cole B. Protan colour vision deficiency and road accidents. Clinical and Experimental Optometry 2002; 85(4):246-253.

(53) Whillans MG, Allen MJ. Color defective drivers and safety. Optometry and Vision Science 1992; 69(6):463-466.

(54) Casson E, Racette L. Vision standards for driving in Canada and the United States. A review for the Canadian Ophtalmological Society. Canadian Journal of Ophtalmology 2000; 35(4):192-203.

(55) Owsley C, McGwin G. Vision Impairment and driving. Survey of Ophtalmology 1999; 43(6):535-550.

(56) Verkeerswezen. Koninklijk besluit betreffende het rijbewijs. Belgisch Staatsblad 1998.

(57) Post RH. Population differences in red and green color deficiency: a review and a query on selection relaxation. Social Biology 1982; 29:299-283.

(58) Sumner P, Mollon JD. Chromaticity as a signal of ripeness in fruits taken by primates. Journal of Experimental Biology 2000; 203:1987-2000.

(59) Vienot F, Bretttel H, Ott L, M'Barek AB, Mollon JD. What do colour blind people see? Nature 1995; 376(13 july 1995):127-128.

(60) Spalding JA. Confessions of a colour blind physician. Clinical and Experimental Optometry 2004; 87(4-5):344-349.

(61) Spalding JA. Colour vision deficiency in the medical profession. British journal of General Practice 1999; 49:469-475.

(62) Spalding JA. Medical students and congenital colour vision deficiency: unnoticed problems and the case for screening. Occupational Medicine 1999; 49(4):247-252.

(63) Spalding JA. The doctor with an inherited defect of color vision: effect on clinical skills. British journal of General Practice 1993; 43:32-33.

(64) Campbell JL, Griffin L, Spalding JA, Mir FA. The effect of abnormal colour vision on the ability to identify and to outline coloured clinical signs and to count stained bacilli in sputum. Clinical and Experimental Optometry 2005; 88(6):376-381.

(65) Campbell JL, Spalding JA, Mir FA, Birch J. Doctors and the assessment of clinical photographs. British journal of General Practice 1999; 49:459-461.

(66) Reiss MJ, Labowitz DA, Forman S, Wormser GP. Impact of color blindness on recognition of blood in body fluids. Archives of Internal Medicine 2001; 161:461-465.

(67) Campbell J, Spalding JA, Mir FA. The description of Physical signs of illness in photographs by phycsicians with abnormal colour vision. Clinical and Experimental Optometry 2004; 87(4-5):334-338.

(68) Wiegersma PA. Screening could help choice of medical career. BMJ 2005; 330(8 january 2005):96.

(69) Voke J. Industrial requirements and testing of colour vision. Modern Problems in Ophtalmology 1978; 19:82-87.

(70) Vakil N, Knyrim K, Everbach EC. The appreciation of colour in endoscopy. Ballière's Clinical Gastroenterology 1991; 5(1):183-194.

(71) Koningberger JC, Van Norren D, Van Niel JGC, Dekker W. Does color vision deficiency in the endoscopist influence the accuracy of endoscopic diagnosis? An anonymous study with dutch gastrointestinal endoscopists. Endoscopy 1994; 26:549-553.

(72) Ministerieel besluit betreffende de bijzondere eisen welke inzake lichamelijke geschiktheid aan de kandidaten voor bepaalde ambten worden gesteld bij het Bestuur van de Beschermind van de Gezondheid. Belgisch Staatsblad 1998.

(73) Commission Internationale de l' Eclairage. Recommandations for surface colours for visual signalling. CIE publication , Paris 1983; 39.2.

(74) Cole BL, Orenstein JM. Does the Farnsworth D15 test predict the ability to name colours? Clinical and Experimental Optometry 2003; 84(4):221-229.

(75) Voke J. The industrial consequences of deficiencies of color vision. PhD thesis,City University of London 1976.

(76) Ricklefs G, Wende D. Kann ein farbschwacher radio- oder Fernsehtechniker bzw-mechaniker werden? Klinisch Monatsblad Augenheilkunde 1966; 148:148-150.

(77) Kuyck TK, Veres JG, Lahey MA, Clarck DJ. The ability of Protan colour defectives to perform color-dependent air traffic cotrol tasks. American Journal of Optometry and Physiological Optics 2006; 63(7):582-586.

(78) Adams AJ, Tague MK. Performance of air traffic control tasks by protanopic color defectives. American Journal of Optometry and Physiological Optics 1985; 62(11):744-750.

(79) Mertens HW, Milburn NJ. Performance of color-dependent air traffic control tasks as a function of color vision deficiency. Aviation, space and environmental medicine 1996; 67(10):919-927.

(80) Xing J, Schroeder D. Reexamination of color vision standards, part I: status of color use in ATC displays and demography of color-deficit controllers. Office of Aerospace Medicine 2006; DOT/FAA/AM-06/2:1-12.

(81) Mahon LE, Jacobs RJ. Electronic flight information displays and color defective observers. Clinical and Experimental Optometry 1991; 74:196-203.

(82) Scholz R, Andresen S, Hofman H, Duncker G. Recognition performance of subjects with color-vision deficiencys on a polychromatic sonar screen for ship navigation. German Journal of Ophtalmology 1995; 4(2):103-106.

(83) Ramaswamy S, Hovis JK. Ability of the D-15 panel tests and HHR pseudoisochromatic plates to predict performance in naming VDT colors. Vis Neuroscience 2004; 21(3):455-460.

(84) Campbell JL, Spalding JA, Mir FA, Birch J. Doctors and the assessment of blood glucose testing sticks: does color blindness matter? British journal of General Practice 2000; 50:393-395.

(85) Poole CJM, Hill DJ, Christie JL, Birch J. Deficient colour vision and interpretation of histopathology slides: cross-sectional study. BMJ 1997; 315(15 november 1997):1279-1281.

(86) Goudie RB. Colour deficient vision should not prevent a career in histopathology. BMJ 1998; 316(6 june 1998):1750.

(87) Bogman MJJT. Colour blindness and pathologists. The Lancet 1992; 339(18 january 1992):185.

(88) Editorial. Colour prejudice among pathologists. The Lancet 1991; 338(23 november 1991):1302-1303.

(89) Davison SP, Myslinski NR. Shade selection by color vision-defective dental personnel. Journal of Prosthetic Dentistry 1990; 63(1):97-101.

(90) Marmor MF, Lanthony P. The dilemma of color vision and art. Survey of Ophtalmology 2001; 45(5):407-415.

(91) Pickford RW. The frequency of colour vision defective students in a school of art and the influence of their defects. Journal of Biosocial Science 1969; 1:3-13.

(92) Ravin JG, Anderson N, Lanthony P. An artist with a color vision defect. Survey of Ophtalmology 1995; 39(5):403-408.

(93) Cole BL, Nathan J. An artist with extreme deuteranomaly. Clinical and Experimental Optometry 2002; 85(5):300-305.

(94) Liebreich R. On the effects of certain faults of vision on painting, with especial reference to their works. Proceedings of the Royal Institute of Great Brittain 1872; 6:450-463.

(95) Dain SJ. Clinical colour vision tests. Clinical and Experimental Optometry 2004; 87(4-5):276-293.

(96) Uvijls A. Kleurenzien en kleurzinstoornissen voor de practici. 's-Gravenhagen-Nederland 1998.

(97) Littlewood R, Hyde F. Screening for congenital colour vision defects. A comparison between the Ohkuma and Ishihara plates. Aust NZJ Ophtalmol 1993; 21(1):31-35.

(98) Mantyjarvi M, Karrpa T, Karvonen P. Comparison of six colour vision tests for occupational screening. Arch Occup Environ Health 1986; 58:53-59.

(99) Birch J. Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency. Ophtalmic and Physiological Optics 1997; 17(5):403-408.

(100) Aarnisalo E. Screening of red-green defects of color-vision with pseudoisochromatic tests. Acta Ophtalmica 1979; 57:397-408.

(101) Mollon JD, Pokorny J, Knyrim K. Normal and defective color vision. Oxford,England: Oxford University Press 2003.

(102) Cotter s, Lee DY, French AL. Evaluation of a new colour vision test : "Color vision testing made easy". Optometry and Vision Science 1999; 76(9):631-636.

(103) Dain SJ, Gray S, Tran L. Colorimetric analysis and performance assessment of the Hahn Pseudo-isochromatic colour vision test. Colour Research and Application 1998; 23(2):69-77.

(104) Littlewood R, Hyde F. A new way to use the Ishihara test. J of Neurology 1992; 239:451-454.

(105) Lakowski R. Theory and practice of colour vision testing: a review.Part 2. Brit J Industr Med 1969; 26:265-288.

(106) Cosstick M, Robaei D, Rose K. Numerical confusion errors in Ishihara-testing: Findings from a population based study. Am J Ophtalmol 2005; 140(1):154-156.

(107) Gordon N. Colour blindness. Public Health 1998; 112(2):81-84.

(108) Uvijls A. Kleurzinonderzoek in PMS-centra en MST-diensten. Een Gentse geschiedenis. Caleidoscoop 1999; 11:1-28.

(109) Birch J. Diagnosis of defective colour vision. Elsevier Limited 2003; Second edition:79-80.