

Kleurherkenning en kleuronderscheiding

door

Ir. P. L. WALRAVEN

(Instituut voor Zintuigfysiologie R.V.O.-T.N.O.)

Inleiding

De triviale opmerking dat het woord kleur bestaat door het feit dat er meerdere kleuren zijn, leidt direct tot de conclusie dat onderzoek over kleur en kleurenzien o.a. over kleuronderscheidingsvermogen zal handelen. In de zintuigfysiologie is dit eigenlijk ook het punt waar het over gaat. De volgende twee voorbeelden van praktische problemen van zeer verschillende aard tonen dat kennis van wat de mens kan, i.c. zijn vermogen om kleuren te onderscheiden en te herkennen, noodzakelijk is om tot een verantwoorde oplossing te geraken.

Wenst een afnemer van een verf fabriek een nalevering en wenst hij dat de verf dezelfde kleur heeft, althans ononderscheidbaar is van die der eerste levering, dan wordt de tolerantie in kleur, die de verffabrikant aan moet houden, bepaald door het kleuronderscheidingsvermogen van de gebruiker onder de omstandigheden, waarin de verf gebruikt moet worden.

De ontwerper van een signaalstelsel met gekleurde lichten moet de kleuren zo kiezen dat deze juist wél onderscheidbaar zijn, althans onder de omstandigheden waaronder het signaalstelsel werkzaam moet zijn. Ook hier wordt dan het kleurverschil bepaald door het kleuronderscheidingsvermogen (K.O.V.) van de waarnemer.

Het ontbreken van kennis van het K.O.V. onder willekeurig gegeven omstandigheden heeft er toe geleid dat praktische problemen met praktijkproeven werden opgelost. Zo gaat men bv. bij het vaststellen van toleranties van signaallichten in inter-

nationaal verband uit van kleurbenoemingsproeven in laboratoria, die zoveel mogelijk de actuele situatie representeren, en van de praktijkresultaten van gebruikte systemen.

Ook in het Instituut worden dergelijke praktijkproeven gedaan, zoals het kleurbenoemen van remlichten. Verffabrikanten baseren hun leveranties uitsluitend op praktijkervaring.

Wat men in principe wil, is te kunnen voorspellen wat in een gegeven situatie het resultaat van een proef, van een waarneming zal zijn. Dit is wat men in de wetenschap altijd wil. Deze voorspellingsmogelijkheid krijgt men echter niet uit het slechts verzamelen van gegevens van uitgevoerde praktijkproeven. Daarvoor is het aantal variabelen te groot. Het vergelijken van de resultaten van diverse auteurs is slechts zelden mogelijk. Dit laatste maakt het onderzoek van zien, en van kleurenzien gecompliceerd. Gecompliceerd doordat de variabelen niet altijd zijn te scheiden, gecompliceerd omdat de mens een hoogst variabel object van onderzoek is. Wanneer hier het antwoord van de grote zintuigfysioloog uit de 19e eeuw Helmholtz op de vraag waarom hij later in zijn leven fysica is gaan doen: „Ik vind de fysiologie zo moeilijk”, wordt aangehaald, is dat niet om te beweren dat fysiologen zulke knappe mensen zijn, maar om het bovengeschetste, de gecompliceerdheid, te illustreren. In feite betekent dit, dat deze soort onderzoeken van lange duur moeten zijn om enig resultaat op te kunnen leveren. Behalve de mens die zo variabel reageert onder ver-

(Slot van pag. 254)

Dit vat wordt geplaatst in een autoclaaf waarin men het één uur of langer laat koken bij een bepaalde overdruk. Na afloop wordt door titreren het alkaligehalte van het gedestilleerde water bepaald en omgerekend op een bepaalde grootte van het glasoppervlak. Het dan verkregen getal kan dienst doen als maat voor de weerstand van glas tegen verwerking. De waarden, die men daarbij vindt bij een kookduur van 1 uur en bij een overdruk van 1 atmosfeer schommelen tussen 0,3 mg Na_2O en 2,5 mg Na_2O per dm^2 glasoppervlak. Dit getal stijgt vrij sterk bij toeneming van de toegepaste overdruk.

Daar de omstandigheden, waaronder deze proef plaats vindt wel sterk afwijken van de omstandig-

heden, die bij verwerking in de praktijk voorkomen, passen wij daarnaast de volgende beproevingen toe. In een bepaalde opstelling laten wij bij een temperatuur van ca. 50°C afwisselend waterdamp in de vorm van een mist op het glasoppervlak condenseren en verdampen bij een totale duur van deze cyclus van 2 uur. Afhankelijk van de kwaliteit van het glas zal men hierop na een tijdsduur van 10 tot 30 dagen duidelijke sporen van verwerking aantreffen.

Daarnaast hebben wij nog in uitvoering een veel langdurigere verweringsproef, waarbij de praktijkomstandigheden zo goed mogelijk worden nagebootst bij een iets hogere temperatuur en nauwkeurig in te stellen waarden voor de relatieve vochtigheid.

schillende omstandigheden, kortom de psychologische effecten, is het aantal variabelen fysiologisch gezien zeer groot. De factoren die een rol spelen bij het verkrijgen van een kleurindruk zijn velerlei. Niet alleen de spectrale samenstelling is bepalend, maar tevens de helderheid en grootte van het object, de kleur en helderheid van de omgeving ervan, de tijdsduur gedurende welke men het ziet, de adaptatietoestand van het netvlies, de kleurenzin (normaal of kleurenzienafwijking) van de waarnemer, de pupilgrootte, de plaats van intrede in de pupil, de accommodatietoestand van de ooglenzen, de wijze van opeenvolgen van licht van verschillende spectrale samenstelling, het gedeelte van het netvlies dat gebruikt wordt, etc. etc.

*

Benoemen van signaallichten

Om het onderzoek van het benoemen van signaallichten, waarover in de literatuur slechts een vijftal publikaties van praktijkproeven bestaan, van de grond af op te bouwen is in het Instituut een aanvang gemaakt met een procedure met een gering aantal variabelen. Daarbij werden door een normale waarnemer (d.w.z. een waarnemer zonder kleurenzienafwijkingen) met donkergeadapteerd oog, in een donkere omgeving kleurbenoemen gedaan van

lichtflitsen van een tijdsduur van 0,005 tot 1 sec, voor een reeks golflengten van 460 tot 700 m μ , voor een reeks diameters van, in gezichtshoek gemeten, 1 tot 40 boogminuten. Op deze manier werd het aantal variabelen beperkt. De aanleiding om deze weg te bewandelen was het succes dat op deze manier bereikt was met het geven van een beschrijving van de verschijnselen bij de drempel van het zien. Uit de metingen van de energie, nodig om tot een gezichtsgewaarwording te komen als functie van tijdsduur en diameter, konden conclusies getrokken worden over de aantallen lichtquanten die daartoe nodig zijn. De hoop was nu erop gevestigd dat van de drempel van het kleur-zien een dergelijke eenvoudige beschrijving mogelijk was.

De opstelling is in fig. 1 schematisch weergegeven. Deze opstelling zorgt ervoor, dat de waarnemer in het midden van zijn gezichtsveld een homogeen verlicht veldje ziet, variabel in duur, diameter en golflengte. Als bijzonderheid moge vermeld worden de fixatie fix. 2, die werd aangebracht om te zorgen dat alleen het midden van de pupil gebruikt zou worden. De plaats, waar het licht de pupil intreedt, heeft nl. invloed op de waarneming.

De meetresultaten leverden enige merkwaardige uitkomsten. Als illustratie daarvan dient fig. 2, waarin de kleurenbenoemingsresultaten zijn weergegeven voor golflengte $\lambda = 550$ m μ , als functie

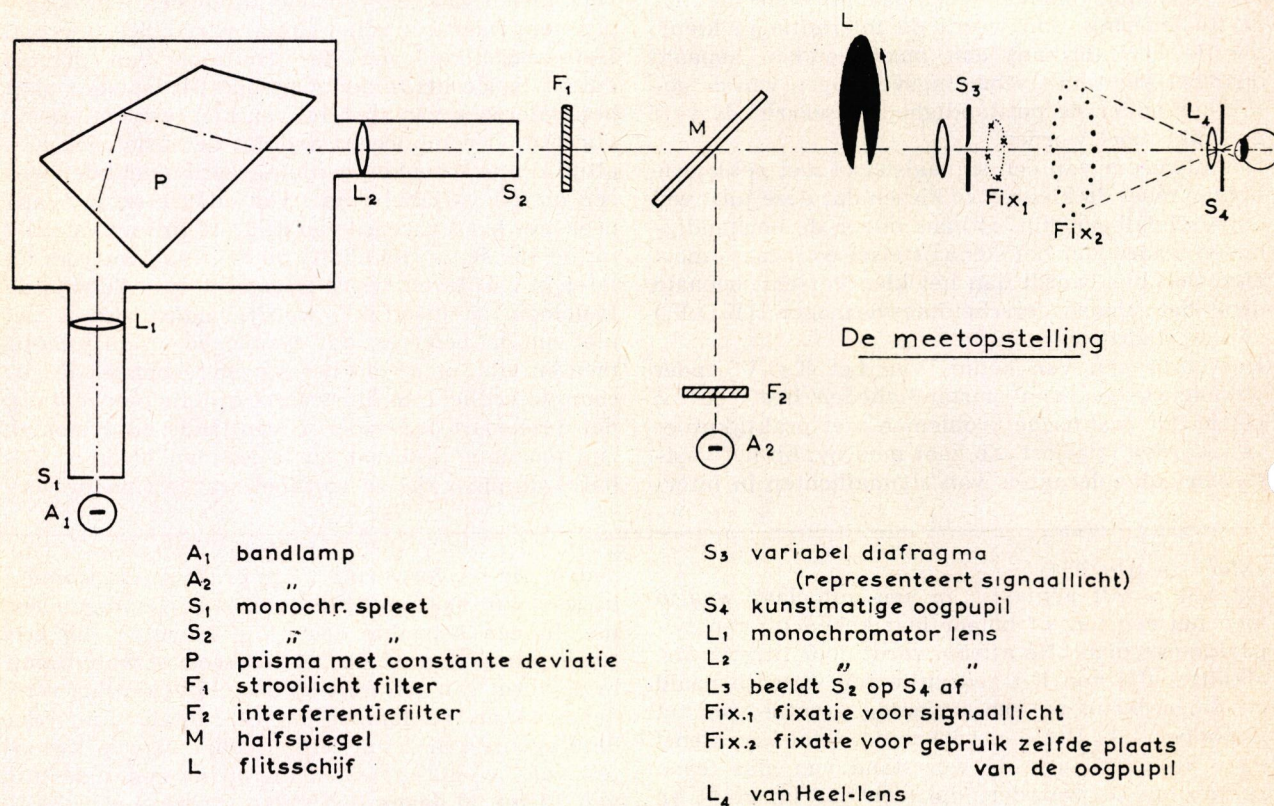


Fig. 1. De meetopstelling voor het kleurbenoemen van lichtflitsen. De eindspleet van de monochromator wordt met behulp van L₃ afgebeeld op de kunstmatige pupil van 2 mm diameter. Deze laatste is aangebracht om geen invloed te ondervinden van pupilcontracties. Door de geschetste wijze van afbeelden ziet de waarnemer diafragma S₃ homogeen met spectraal licht gevuld. De flitsduur wordt bepaald door de grootte van de open sector in de draaiende schijf L, aangedreven door een synchronomotor. Om de drie seconden wordt een flits gegeven. De intensiteit wordt geregeld met de stroomsterkte door de handlamp. Fix 1, vier kleine zwakke lichtstipjes rondom de opening in S₃ is nodig om te weten waar de flits komt. Voor fix 2 zie tekst.

van de helderheid, die logaritmisch in relatieve maat is uitgezet, voor een tijdsduur van 0,05 sec en diameter van 2 boogminuten. Bij de „drempel” van zien wordt bij opeenvolgende herhalingen van een flits deze soms wel, dan weer niet gezien. Zo werd bij intensiteit 2 60 % wel en 40 % niet gezien. (Om deze percentages te bepalen werden de flitsen 30 of 50 maal achter elkaar aangeboden). Die intensiteit, waarbij 60 % van de flitsen gezien wordt, wordt drempelwaarde genoemd. Bij deze intensiteit werden bij 60 % geziene flitsen er 25 % kleurloos, 25 % groen, 5 % wit en 5 % rood gezien.

Hoe kan nu rood worden waargenomen bij „groene” ($\lambda = 550 \text{ m}\mu$) flitsen? Het is wel vreemd, maar kan toch wel verklaard worden. Reeds eerder werd opgemerkt, dat het mogelijk bleek het aantal lichtquanten nodig voor gezichtsgewaarwording te bepalen. Dit bleek twee te zijn. Dat is dus een gering aantal. Ook voor kleur-zien bleek een dergelijke regel. Door geschetste kleurbenoemingsproeven te doen als functie van de diameter van de flits bleek het mogelijk aan te tonen dat voor een rode gewaarwording eveneens twee en voor een groene drie quanten nodig zijn (fig. 3). Ook dit zijn dus geringe aantallen. Wanneer we nu bedenken, wat algemeen aangenomen wordt als verklaring voor de kleurmengingswetten, dat er drie soorten kleurgevoelige receptoren in het netvlies zijn, nl. „rode”, „groene” en „violette” receptoren, die elkaar overlappende gevoeligheidskrommen hebben, dan wordt het al-lengs duidelijk. Het „rode” systeem, dat bij stimulering door licht een rode gezichtsgewaarwording geeft, is ook nog gevoelig voor licht met een golflengte van $550 \text{ m}\mu$. Bij veel licht leidt dat nooit tot de gewaarwording rood, omdat ook de andere receptoren gestimuleerd worden, en een mengkleur ontstaat. Bij de drempel van het zien echter,

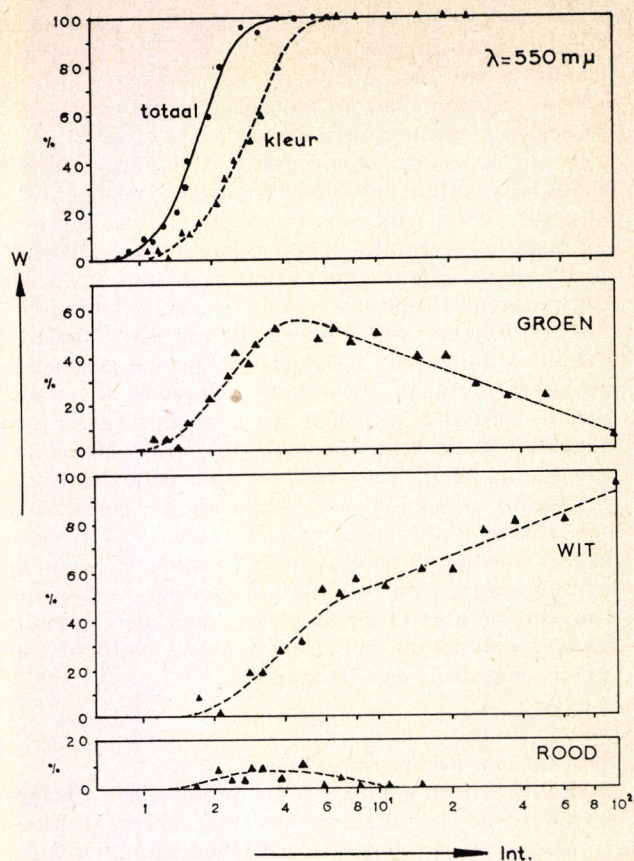


Fig. 2. Waarnemings- en benoemingskansen voor puntvormige, kortdurende lichtflitsen als functie van de intensiteit.

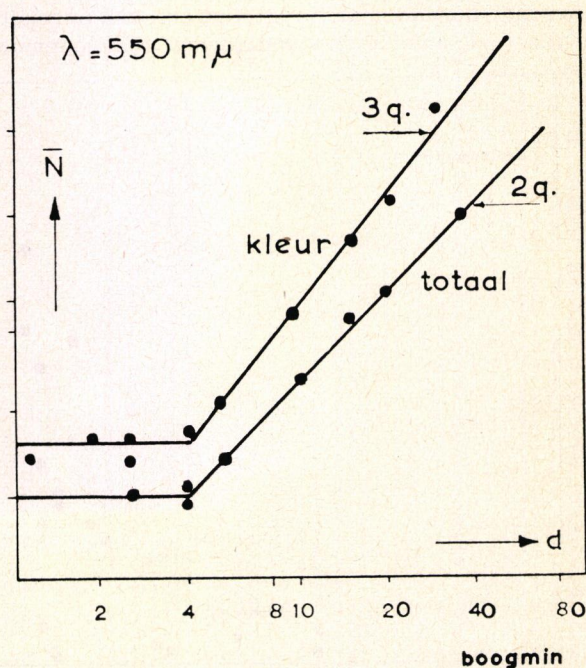
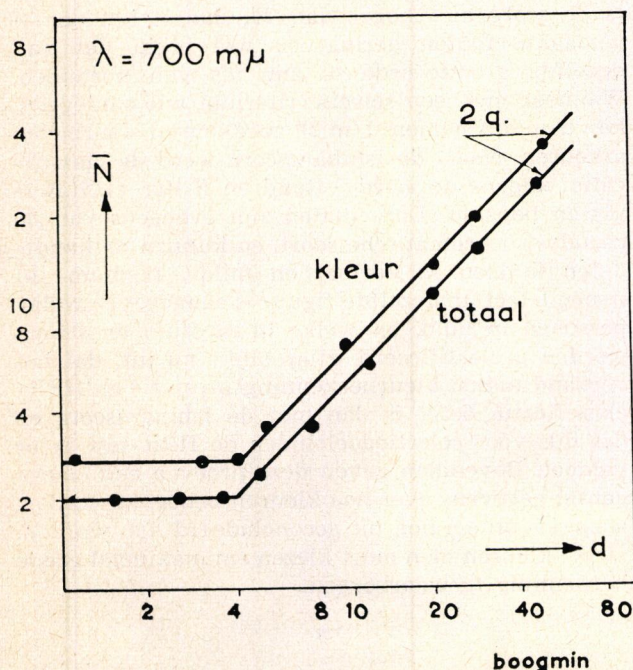


Fig. 3. De energie nodig om totaal iets te zien en om kleur waar te nemen als functie van de diameter voor rood en groen licht. Uit quanten-statistische overwegingen kan uit de helling van de krommen het minimaal aantal quanten dat nodig is voor een perceptie, bepaald worden. Dit blijkt twee te zijn voor zien, twee voor kleurzien bij $700 \text{ m}\mu$ en drie voor kleurzien bij $550 \text{ m}\mu$.

waar slechts geringe aantallen quanten meespelen, kunnen deze quanten toevalligerwijs (in bovengeschetst geval met een kans van ongeveer 10 %) alleen het rode systeem treffen, met als gevolg dat de gezichtsgewaarwording rood is.

Hebben nu dus de bepalingen van de aantallen benodigde quanten voor het verkrijgen van een gekleurde lichtindruk, en de metingen van de verdelingen in soorten kleurindrukken bij verschillende golflengten, belang voor het begrijpen van de zintuigfysiologische mechanismen van het kleurenzien, zij blijken voor de praktijk van direct belang. Echter nog met een ander aspect dan de geschetste praktische vraag, waar het onderzoek uit voort kwam. Er wordt nl. door aangegeven, dat er een bepaalde vaste kans is voor het, onder bepaalde omstandigheden, juist of onjuist benoemen van gekleurde signaallichten, waarvan de oorzaak in het zintuig zelf gezocht moet worden.

In dit verband komt bij het oplossen van de schuldvraag bij de beoordeling van een bestuurder van een of ander voertuig, die door een onveilig signaal gereden is een aspect, waar wellicht nog weinig aandacht aan besteed is.

*

Selectie van kleurenzwakken

Duidelijk is dus gebleken, dat onder slechte waarnemingscondities waarnemers met normaal kleurenzienvermogen onjuiste kleurbenoelingen kunnen doen. Welbekend is dat waarnemers met een kleurenzienafwijking onjuiste kleurbenoelingen kunnen doen. Tengevolge van een treinongeluk in 1875 in Lagerlund in Zweden heeft men dan ook in het treinverkeer voor de wagenvoerders de eis van normaal kleuronderscheidingsvermogen gesteld. Het is nuttig te weten in hoeverre de capaciteiten van niet-normalen te vergelijken zijn met normalen, d.w.z. onder welke omstandigheden zij minder dan,

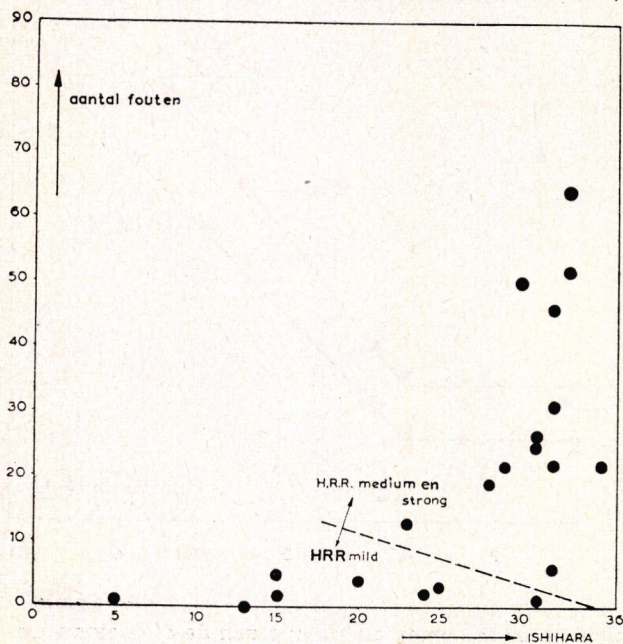


Fig. 4. Aantal gemaakte fouten bij het lezen van weerstandscodering als functie van Ishihara-score en HRR-classificatie.

en wanneer zij even goed als normalen kleuren kunnen herkennen.

Daar direct aan vast ligt de vraag, gezien de enorme variatie in kleurenzienafwijkingen, welke testmethodiek gebruikt moet worden om, voor gegeven omstandigheden, de „goede”, d.w.z. dus de even goede als normalen, van de „slechte” kleurenzwakken te scheiden.

In het Instituut zijn onderzoeken opgezet om deze vragen mee te helpen beantwoorden. Als praktijkproeven werden gedaan het herkennen van signaallichten en het lezen van kleurcodering op weerstanden. Het herkennen van signaallichten is immers een zeer kritische kleurenzientaak in navigatie e.d., het lezen van coderingskleuren een veel voorkomende zaak. (Zie ook afb. 1, frontpagina T.N.O.-Nieuws nov. 1957¹⁾).

Als voorbeeld van een dergelijk onderzoek moge gegeven worden het herkennen van weerstandscodering. De wijze van werken is op afb. 5 te zien. 69 verschillende weerstandjes, ieder met drie coderingsringen, worden één voor één aangeboden. De proefpersoon behoeft slechts de namen van de kleuren van de coderingsringen op een papierrol te schrijven. Is hij met één klaar, dan drukt hij op een knop, de volgende wordt zichtbaar, en gelijktijdig wordt een nieuw stuk papier voorgedraaid. Een dergelijke procedure duurt ongeveer 15 minuten. Een van de resultaten is geïllustreerd in fig. 4.

Hierin is uitgezet het aantal gemaakte fouten bij het lezen van de codering als functie van de score, die gemaakt is op de Ishihara-test. Deze laatste test is één van de verzamelingen pseudo-isochromatische platen, d.w.z. platen met gekleurde figuren, letters of cijfers, op een iets anders gekleurde achtergrond, die echter door kleurenzwakken niet van elkaar onderscheiden kunnen worden.

Is de score niet hoger dan 20, dan is het aantal gemaakte fouten gering, en wel blijkt dat van dezelfde grootte-orde te zijn als van normalen. Wanneer men een selectie criterium wil aanleggen, kan men dus nemen: t/m 20 goedkeuren, daarboven afkeuren. Naast de Ishiharascore werd de classificatie volgens de Hardy, Rand en Ritter (H.R.R.)-platen bepaald. Deze platen zijn eveneens van de pseudo-isochromatische soort, en kunnen de kandidaten indelen in normal en mild-, medium- of strongdefect. In dezelfde figuur is aangegeven welke personen in mild, en welke in medium en strong werden geclassificeerd. Hier blijkt nu uit, dat het verband tussen kleurherkenningsprestatie en HRR-classificatie beter is dan met de Ishiharascore en dat dus voor selectiedoeleinden de HRR-test beter voldoet. Bovendien geven deze proeven een enorm aantal gegevens over hoe kleuren benoemd worden, waar eventueel nog uit geconcludeerd kan worden, welke kleuren men moet kiezen om maximaal goede herkenning te waarborgen.

*

¹⁾ Perceptieonderzoek over kleuren en kleurenzien. Dr. M. A. Bouman; T.N.O.-Nieuws 12, 569, 1957.



Afb. 5. Het lezen van de codering van weerstanden

Selectie van normalen

De selectie van normalen naar goed en slecht kleuronderscheidingsvermogen is een vraagstuk, dat allengs meer in de aandacht komt. Wanneer in een bedrijf, hetzij in textiel, verf, inkt etc. bij de aflevering van een produkt of gedurende de productie gecontroleerd moet worden of de geproduceerde kleur ononderscheidbaar is van de vereiste kleur, dan is een zeer goed kleuronderscheidingsvermogen vereist. Als test kan dan dienen een aantal stalen van het produkt met kleine en grotere kleurverschillen en wel zoals ze in de praktijk voorkomen. Men vraagt dan aan de kandidaat een andere reeks stalen met dezelfde kleuren op de passende wijze bij de eerste reeks te leggen. Het goed of slecht doen van deze test beslist over de geschiktheid. Het enorme nadeel van deze, in principe volmaakte methode, is dat men zulk een test

voor elke voorkomende kleur moet maken.

Dit schiep de behoefte aan een test die algemeen geldig zou zijn. Een dergelijke test bedoelt de in de V.S. ontworpen Color Aptitude Test, een vaardigheidstest dus, te zijn. Deze test bevat vier rijen blauw-, rood-, groen- en geelgekleurde plaatjes, die onderling in een rij zeer weinig verschillen. In een houder bevinden zich eendere plaatjes, die één voor één bij de bestpassende in de rijen moeten worden gelegd. In principe hetzelfde als de bovengeschetste praktijktest, maar met meer universele bruikbaarheid. Om de bruikbaarheid te beoordelen, moeten de scores op de test gecorreleerd worden met de ervaringsresultaten in het bedrijf. Dit is bij het op de markt brengen van de test niet gedaan. Het is uiteraard een omvangrijk werk, doch de enige juiste manier. Het is echter de vraag of er wel een verband aantoonbaar zal zijn. De spreiding in de gevoeligheidskrommen van normale waarnemers is

niet gering, zodat de mogelijkheid zeer groot is, dat vele waarnemers niet alleen sorteren naar kleur-, maar ook naar helderheidsverschil. Metingen toonden aan, dat er inderdaad helderheidsverschillen kunnen optreden. Bovendien werden scores opgenomen van 48 normalen en 53 kleurenzwakken. Bij deze laatsten is het helderheidsverloop langs een rij weliswaar soms groter, doch vaak van vergelijkbare grootte als bij normalen. Vergelijking van de scores in fig. 6 toont dat meer dan de helft van de kleurenzwakken gelijke scores maakt als normalen (tussen 45 en 73). Het sorteren op helderheidsverschil is dus een belangrijk hulpmiddel om een hoge score te maken, die dan beslist geen aanwijzingen geeft over kleurvaardigheid. De grote variatie bij normalen staat het vervaardigen van een test, waarbij voor iedere waarnemer geen helderheidsverschillen bestaan, in de weg. Voorzichtigheid is dus geboden met het interpreteren van scores op dergelijke tests. Aan de bovengeschetste praktijktests moet verre de voorkeur worden gegeven.

*

Kleuronderscheiding

Uit de beschreven proeven, en ook uit de hierover bestaande literatuur, blijkt ondermeer dat de bestaande tests niet altijd een juiste scheiding weten aan te brengen tussen normalen en kleurenzwakken, en zeker niet in staat zijn een kwantitatieve maat voor een kleurenzienstoornis aan te geven. Dit berust op de variaties die onderling tussen normalen, en die tussen kleurenzwakken bestaan. Deze variaties betekenen nl. dat wat voor de één twee kleuren van gelijke helderheid zijn, voor de ander van verschillende helderheid zijn kan. Worden dus twee kleuren onderling verschillend gezien, dan kan dit door een kleur-, maar ook door een helderheidsverschil veroorzaakt worden. Het goed meten van het onderscheidingsvermogen van kleuren moet onder uitsluiting van helderheidsverschillen geschieden, wat dus niet mogelijk is met vast gegeven combinaties van kleuren. Het is dus nodig om kleuren te reproduceren waarbij de waarnemer zelf instellingen kan doen die helderheidsverschil voor hem uitsluiten.

Maar wanneer een dergelijk apparaat bestaat, dan kunnen daar ook alle onderzoeken over kleuronderscheidingsvermogen mee plaats vinden. Niet alleen dat helderheidsverschillen kunnen worden uitgesloten, maar men kan ook willekeurige vaste kleurcombinaties maken en deze ter beoordeling aan vele waarnemers voorleggen.

Hier zijn we dus aangeland op het in de inleiding beschreven probleem van de kleurtolerantie. Bij dit probleem tolereert men immers dat kleurverschil bij een vaste combinatie van twee kleuren, die door een zeker percentage van de mensen (dit hangt af van de kwaliteit die men bereiken wil) als niet verschillend wordt waargenomen. De resultaten van beide onderzoeken, zuiver K.O.V. bepalen (ook gecombineerd met helderheidsverschillen) én vaste kleurcombinaties laten beoordelen, zijn nauw met elkaar verweven en de gegevens zijn in elkaar om te rekenen.

Zo is een trichromatische colorimeter gebouwd, waarin het mogelijk is twee willekeurige kleuren naast elkaar te laten zien en waarin de bovenbeschreven mogelijkheid bestaat om voor de waarnemer helderheidsverschillen uit te sluiten. Een van de eisen die men tevens aan het apparaat stelt, is dat de waarnemer onder vrij natuurlijke omstandigheden de proeven uitvoert, d.w.z. dat hij niet door lenzen met nauwe diafragma's behoeft te kijken en dat zijn hoofd niet gefixeerd moet worden met voorhoofd- en kinsteunen. Men wil immers het onderzoek ook met ongeoefende waarnemers kunnen doen. Dit is ook gelukt, zoals te zien is in afb. 7 (frontpagina). Als voorbeeld van de resultaten is in fig. 8 het kleuronderscheidingsvermogen t.o.v. een bepaald wit van twee normale waarnemers uitgezet. Elke kleur kan in een zg. kleurendriehoek met behulp van twee coördinaten, x en y weergegeven worden. De ellipsen in de figuur zijn de meetkundige plaatsen van punten, die door de twee waarnemers als net verschillend van het middelpunt gezien worden. De middelste ellips is een literatuurgegeven van overeenkomstige metingen, doch onder andere omstandigheden en met een andere techniek. Verandering van de omstandig-

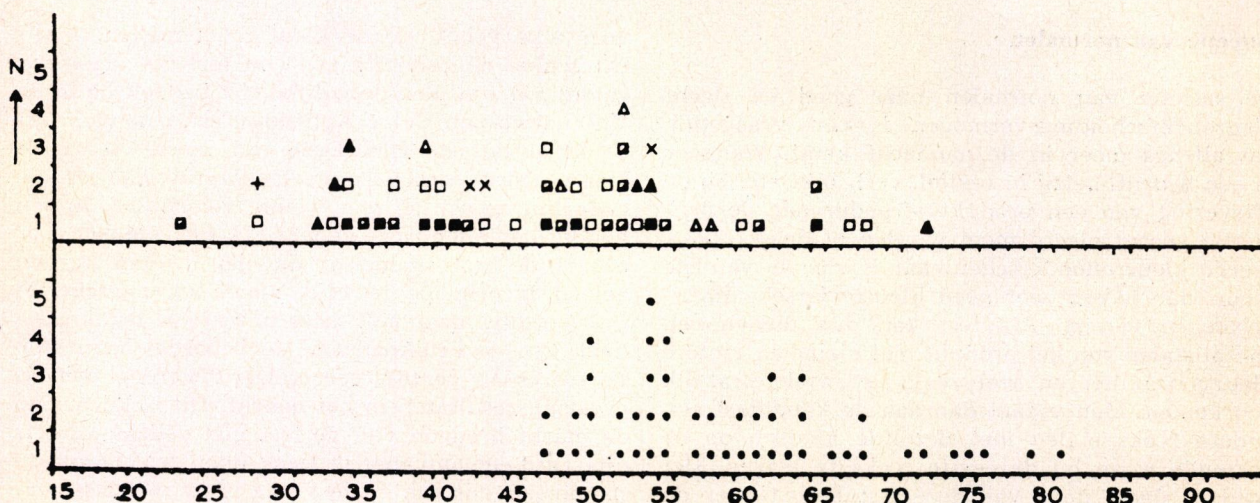


Fig. 6. Frekwentieverdeling van scores op de C.A. Test. Boven voor allerlei typen kleurenzwakken (hoe gevulder het vakje, hoe sterker de stoornis), onder voor normalen.

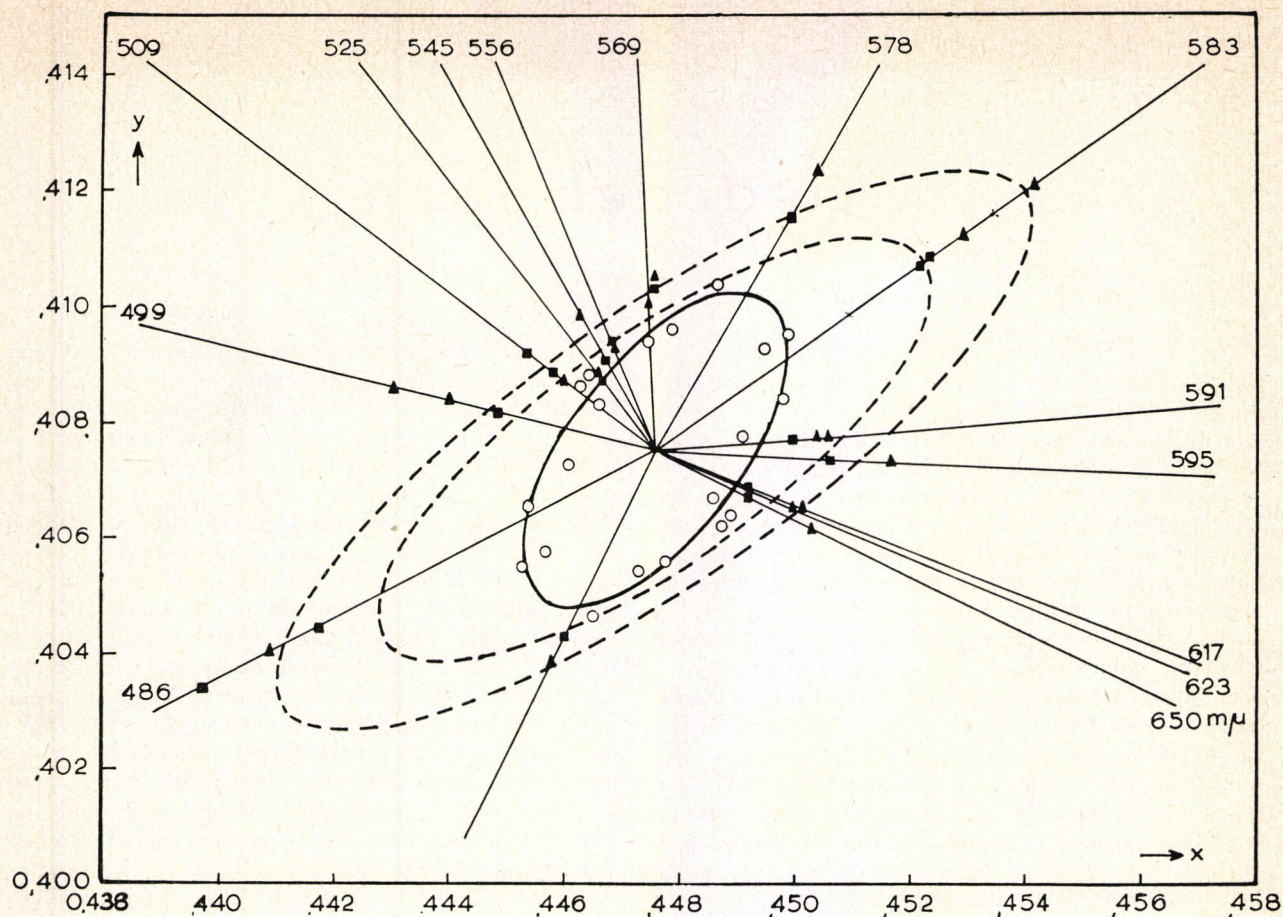


Fig. 8. De ellipsen zijn de meetkundige plaatsen van kleurpunten in de kleurendriehoek, die door verschillende waarnemers als net verschillend van het middelpunt zijn waargenomen.

heden en de verschillen tussen waarnemers tonen ook hier duidelijk dat het aantal variabelen zo groot is, dat zeer vele metingen nodig zijn, om een inzicht in deze materie te verkrijgen.

Met deze vogelvlucht zijn de activiteiten in het Instituut over kleurperceptieonderzoek, zich afspelend tussen kleurherkenning en kleuronderscheiding, niet uitgeput. Een ander probleem, annex aan kleuronderscheidingsvermogen, is het bepalen van de kleinste details in gekleurde figuren, zg. kleurgezichtscherpte. Fusiefrekwenties bij het snel elkaar afwisselen van twee kleuren, zoals dat bij bepaalde systemen in kleurentelevisie wordt gebruikt en die men ook aantreft in de flikkerfotometrie²⁾ heeft tevens de aandacht; zie ook afb. 4 in 1).

Een nader ingaan op de complexe verschijnselen, die hierbij een rol spelen, zou echter een onevenredige hoeveelheid ruimte innemen, evenals het bespreken van de medische aspecten in kleurenzien-research.

Moge echter deze vogelvlucht genoeg zijn om een indruk te geven van de mogelijkheden bij kleurperceptieonderzoek.

²⁾ Handflikkerfotometer. P. L. Walraven en H. J. Leebeek; T.N.O.-Nieuws 12, 435, 1957.

Pak T.N.O.-NIEUWS

want

T.N.O.-nieuws

PAKT!