
gids voor **technische menskunde**

samengesteld door **A. Lazet**



ASSEN 1967

VAN GORCUM & COMP. N.V. - DR. H. J. PRAKKE & H. M. G. PRAKKE

STANDAARD WETENSCHAPPELIJKE UITGEVERIJ - ANTWERPEN



INSTITUUT VOOR ZINTUIGFYSIOLOGIE RVO-TNO, SOESTERBERG

GEDRUKT TER KONINKLIJKE DRUKKERIJ VAN GORCUM & COMP.

Voorwoord

Het is geen luxe, wanneer de technicus bij het ontwerp van door de mens te behandelen en te bedienen apparatuur met de eigenschappen van de mens rekening houdt. Het aantal voorbeelden is legio waar een zeer geavanceerde technische ontwikkeling niet optimaal werd gebruikt, door verwaarlozing van aanpassing aan de menselijke mogelijkheden.

Dit boek is geschreven om deze aanpassing gemakkelijk te maken. Het is een gids. De lezer wordt geleid langs een aantal onderwerpen, waarvan de kennis van direct belang is voor het boven omschreven doel. Deze onderwerpen beschrijven een gebied, waaraan door Prof. Dr. M. A. Bouman de naam Technische Menskunde is gegeven. Als gids dient het om in het onderwerp snel thuis te raken en via de verwijzingen die plaatsen in de literatuur te vinden, die voor het beoogde doel het meest doeltreffend zijn. Het boek behandelt Menskunde: de mens staat hier in het middelpunt. Het beperkt zich echter tot die eigenschappen van de mens, die ter zake doen bij het werk in een technische omgeving. Deze laatste manifesteert zich in de ruimte waarin hij leeft en werkt, de apparatuur die hij moet bedienen, de machines die hij moet controleren. Meer concreet betreft het inrichting, vormgeving en verlichting van ruimte en machine.

Wanneer we de rol van de mens in een technische omgeving bekijken, dan zien we een cyclus van gebeurtenissen. Hij neemt informatie uit de buitenwereld op, verwerkt de gegevens tot het nemen van een bepaalde beslissing en handelt daar vervolgens naar. Controle van de handeling is daarna nodig en hier begint de cyclus opnieuw. Elk element van deze cyclus moet bekeken worden bij een gegeven ontwerp, om te kunnen constateren, of de menselijke mogelijkheden optimaal gebruikt zijn. Kennis omtrent hoe de mens waarneemt, informatie verwerkt en handelt is hierbij onontbeerlijk.

Vrij omvangrijke handboeken zijn op dit gebied reeds verschenen. In de Amerikaanse literatuur wordt hierbij de term 'human engineering' gebruikt, in de Engelse taal 'ergonomics'. De omvang van deze handboeken is vaak zo groot, – begrijpelijk omdat het gebied omvangrijk is –, dat hantering niet zo gemakkelijk is.

Bij de samenstelling van dit boek is er naar gestreefd, een evenwicht te zoeken tussen het verschaffen van begrip voor de eigenschappen van de mens, die een rol hier spelen en het geven van concrete aanwijzingen.

De samensteller, de Heer A. Lazet, als wetenschappelijk medewerker verbonden aan het Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO, werd hierbij in zijn keuze van onderwerpen geleid door eigen ervaring over wat nodig blijkt te zijn in de praktijk, als wel door in de research groepen van het Instituut aanwezige specialistische kennis. Hierdoor was het mogelijk aan het gebied van de perceptie vrij grote aandacht te geven.

Het boek is bedoeld als een hulp voor constructeurs, bedrijfsleiders, bedrijfsartsen, en allen, die in de praktijk bij de confrontatie van mens en machine betrokken zijn.

Wanneer door deze uitgave een meer verantwoord samenspel van mens en techniek wordt bevorderd, dan is het doel ervan bereikt. Van harte hoop ik, dat dit zo in de praktijk moge blijken.

Dr. Ir. P. L. Walraven,
Directeur Instituut voor
Zintuigfysiologie RVO-TNO
Soesterberg.

Inhoud

I Visuele waarneming

1. Het oog als camera	1	8. Kleurenzien	13
2. Accommodatie	2	9. Kleurenzwakheid en kleurenblindheid	16
3. De receptoren	3	10. Kleurmeting	16
4. Adaptatie	5	11. Het systeem Munsell	17
5. Gezichtsscherpte	6	12. Het C.I.E.-systeem	17
6. Gezichtsveld	7	13. Kleurenmenging	20
7. Binoculair zien	9		

II Verlichting en kleurgeving

1. Lichteenheden	22	6. Overzicht armaturen	33
2. Vereiste verlichting bij bepaalde taken	27	7. Verlichting van instrumenten	37
3. Normen verlichtingssterkte	30	8. Kleur in de omgeving	40
4. Natuurlijk daglicht	31	9. Kleurharmonie	41
5. Lichtbronnen	33	10. Veiligheidskleuren bij werk- kleding	42

III Visuele hulpmiddelen

1. Letters en cijfers	43	5. Hulpmiddelen bij microarbeid	55
2. Standaard letters en cijfers	49	6. Optische hulpmiddelen bij microarbeid	56
3. Meters	49	7. Indirecte hulpmiddelen bij microarbeid	65
4. Cijfer- en graadverdeling van schalen	51		

IV Auditieve waarneming

1. Bouw en werking van het gehoororgaan	69	5. Geluidniveaus in zalen	80
2. Meten van geluidniveaus	72	6. Toelaatbare geluidniveaus van lawaai	82
3. Enkele gegevens over de gehoorfuncties	74	7. Vermindering van geluidniveaus	88
4. Spraak	77		

V Mens en beweging

1. Lichaamsafmetingen	90	3. Benodigde bewegings- ruimte	99
2. Bewegingsmogelijkheid der ledematen	92	4. Bewegingshandeling	101

5. Handwielen	108
6. Pedalen	111

VI Werkruijnte en vormgeving

1. Stoelen	116
2. Tafels	118
3. Vormgeving en afmeting van panelen	119
4. Werkvlak	124

VII Vibratie

1. Invloeden van vibratie op lichaam en prestatie.	137
---	-----

VIII Klimaat

1. Klimaatmetingen	142
------------------------------	-----

Lijst van aangehaalde literatuur	145
Literatuur voor verdere oriëntering	150

7. Perceptief motorische belasting.	113
--	-----

5. Type en vormgeving knoppen.	128
6. Afmeting knoppen	129
7. Indeling van ruimten met meer panelen	130

2. Maatregelen ter beperking van trillingshinder	140
---	-----

2. Normen voor een behaaglijk klimaat	142
--	-----

Alfabetische trefwoorden	151
------------------------------------	-----

Ten geleide

In het kader van de relatie van de mens en zijn omgeving is de laatste tientallen jaren steeds meer begrip gekomen voor de vraag: hoe reageert de mens op zijn omgeving? Van dit aspect is met name afhankelijk of wij de mens als technisch schepper waar kunnen maken. Wat is het voordeel van technische toepassingen als de mens ze niet aankan, niet kan gebruiken tot verbetering van zijn welzijn?

De aanpassing van het werk, de werkentourage, aan de menselijke mogelijkheden is thans het onderwerp van deze gids. Het is een gelukkig verschijnsel, dat de belangstelling in de biologie van de mens toeneemt. Het is bovendien bijzonder gelukkig, dat bij de technische vormgeving belangstelling bestaat voor wat de mens kan presteren en wel zodanig, dat hij zo goed mogelijk zijn taak kan uitvoeren. De mens reageert niet alleen volgens fysische of chemische formules. Het is juist het antwoord, dat hij geeft op het milieu, dat iets meer is dan de reactie in engere zin. Dit geldt trouwens voor alle levensvormen, maar toch wel in het bijzonder voor de mens en het is daarom voor de 'humane biologen' bijzonder bevredigend, dat hieraan meer aandacht gegeven wordt.

Het is niet strikt noodzakelijk, dat de vormgever, de arbeidskundige, en de bedrijfsleider een diepgaand inzicht hebben in de fysiologie en de biologie van de mens, maar het moet wel mogelijk zijn, dat zij de vraagstukken van de ander kunnen overzien. Men moet hopen, dat zij de diepte van de problematiek van de ander leren onderkennen.

Het begrip technische menskunde zou wellicht de indruk kunnen wekken, dat men 'medische ingenieurs' wil gaan opleiden. Dit laatste zou ik niet gelukkig achten. Het is juist de bedoeling van dit boek, dat via 'human engineering' de optimale aanpassing van de arbeidsvorm en de arbeidsomgeving aan de biologische mogelijkheden van de mens gemeenschappelijk wordt bestudeerd. Alleen daardoor zal men bereiken, dat het geestelijk en lichamelijk welbevinden worden bevorderd en ook het arbeidsresultaat zo goed mogelijk wordt.

Dit boek geeft zowel voor de 'vormgevers' als voor hen, die zich in de eerste plaats voor de gezondheid van de werkende mens interesseren, een goede basis voor de zo noodzakelijke dialoog.

Gaarne eindig ik met de wens, dat deze gids – door technici en medici gemeenschappelijk gebruikt – zal bijdragen tot de vormgeving van het werkmilieu ten behoeve van de werkende mens en de Nederlandse samenleving.

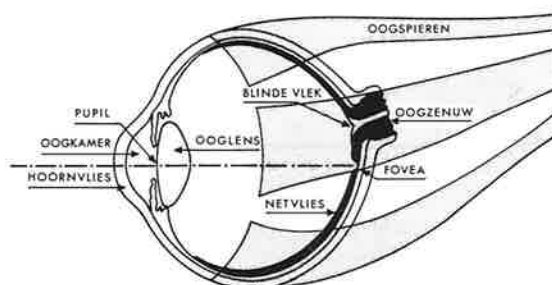
Prof. Dr. J. W. Tesch
Voorzitter Gezondheidsorganisatie TNO

I Visuele waarneming

Veruit de meeste informatie die ons van buiten bereikt, wordt via de ogen aan de hersenen doorgegeven. De bouw en de werking van het gezichtsorgaan zijn zo gecompliceerd, dat het onmogelijk is binnen het bestek van dit boekje daar diep op in te gaan. Een korte inleiding over enige wezenlijke kenmerken kan echter moeilijk gemist worden.

I-1 Het oog als camera

In vele opzichten is het oog te vergelijken met een camera (fig. I-1). Het lensstelsel, bestaande uit *hoornvlies* en *ooglens* bevat een variabel diafragma, de *iris*, waarvan de opening de *pupil* heet. Net als bij een automatische camera staat dat diafragma wijd open bij weinig licht en is het nauw bij veel licht.



Figuur I-1. Schematische horizontale dwarsdoorsnee van het linker oog in bovenaanzicht (Woodson 1954).

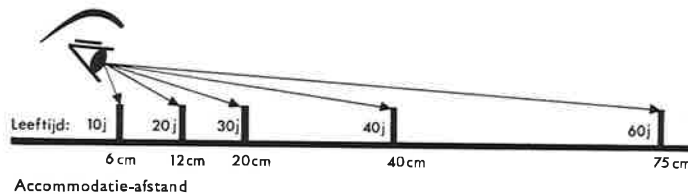
Door de oogoptiek wordt de buitenwereld afgebeeld op het *netvlies* (retina), de lichtgevoelige laag van het oog. Scherpstelling geschiedt door de ooglens meer of minder bol te maken. Hoewel het netvlies dus te vergelijken valt met de fotografische plaat, maakt de laatste maar een onbeholpen indruk vergeleken met het ongelooflijk geraffineerd werkende netvlies. Om enkele voorbeelden te noemen: De gevoeligheid stelt zich automatisch in over een bereik van ca. 100/10 DIN; ongeveer tien maal per seconde wordt het vorige beeld uitgewist en kan een nieuw beeld ontvangen worden; zwakke contrasten worden verscherpt, enzovoorts. Blijkbaar doet het netvlies heel wat meer dan het vastleggen van het beeld. Het selecteert, scheidt bruikbare van onbruikbare beelden, het

verbetert de beeldkwaliteit, kortom: het zorgt dat onze hersenen niet worden belast met onbelangrijke of onbruikbare informatie.

I-2 Accommodatie

Het scherpstellen van het beeld door meerdere of mindere bolling van de ooglenzen wordt *accommodatie* genoemd. Om dichtbij gelegen voorwerpen scherp te zien moet de lens boller worden gemaakt dan voor voorwerpen veraf. Deze vormverandering van de lens wordt bereikt met de lensspieren.

De soepelheid van de lens is afhankelijk van de leeftijd. Een jong kind kan zo sterk accommoderen dat voorwerpen tot op 6 cm afstand nog scherp kunnen worden gezien (fig. I-2).



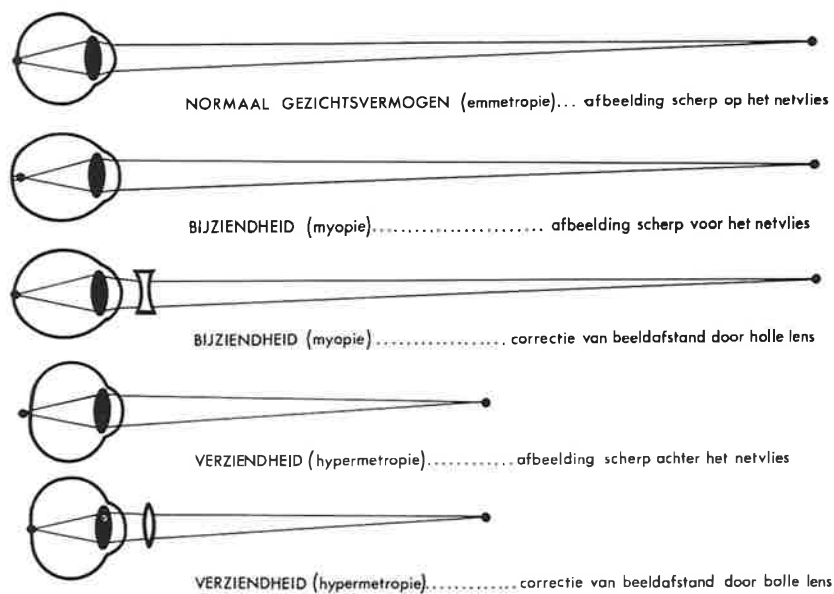
Figuur I-2. Verandering van het bereik van scherpzien met toenemende leeftijd.

Op twintigjarige leeftijd bedraagt deze afstand reeds 12 cm, met 40 jaar 40 cm, met 60 jaar 75 cm.

Deze afstanden zijn uiteraard gemiddelde waarden voor het normale oog. Aangezien leeswerk meestal is afgestemd op 40 cm leesafstand, wordt omstreeks het 40ste levensjaar lezen zonder leesbril moeilijk. Het verschijnsel oudziendheid (presbyopie) is volkomen normaal.

Daarnaast komen veel afwijkingen in de vorm van het oog voor, die het dragen van een bril reeds op jeugdige leeftijd en vaak bij ander werk dan alleen lezen, noodzakelijk maakt. Figuur I-3 laat zien hoe een bril kan helpen in verschillende situaties waar men met het ongewapende oog geen scherp netvliesbeeld kan krijgen (fig. I-3).

Het is overigens opvallend hoe gemakkelijk de mens went aan ondeugdelijk zien. Men dient er op bedacht te zijn, dat iemand dringend aan een bril

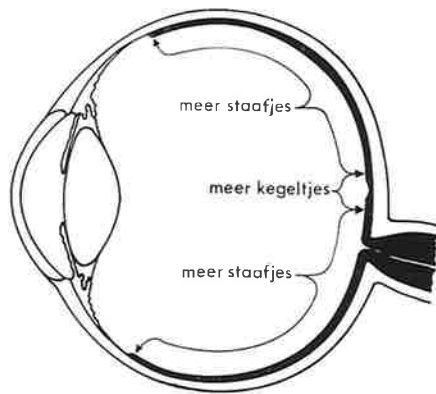


Figuur I-3. Correctie van de plaats der beeldvorming met positieve en negatieve bril.

toe kan zijn, maar het niet beseft. Bij fijn visueel werk is daarom oogcontrole beslist noodzakelijk.

I-3 De receptoren

De lichtgevoelige elementen in het netvlies zijn de zo geheten *receptoren*. Niet alle receptoren zijn eender en aan de vorm alleen al kan men duidelijk twee typen onderscheiden: de *staafjes* en de *kegeltjes*. Beide kunnen worden beschouwd als de uiteinden van de oogzenuwen. Absorptie van licht door de receptoren geeft aanleiding tot elektrische spanningsstootjes die langs de zenuwbanen naar de hersenen worden doorgegeven. In de *fovea*, het kleine ca. 2° doorsnee metende centrale deel van ons gezichtsveld, (fig. I-4) bevinden zich louter kegeltjes, dichtopeengepakt.



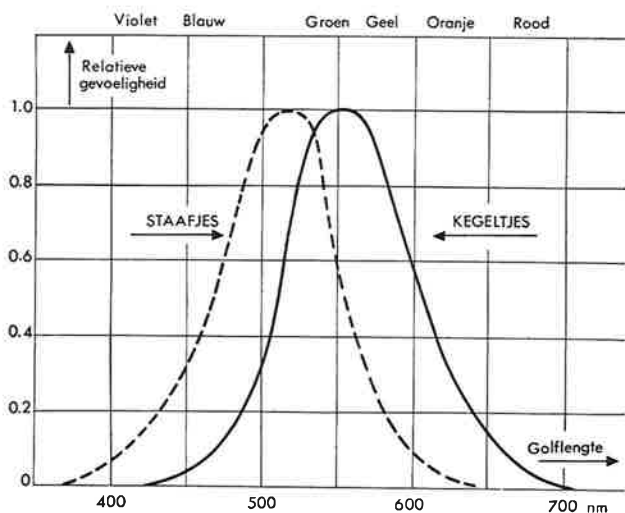
Figuur I-4. Kegeltjes en staafjes en hun plaats op het netvlies.

Hoe verder daarvandaan, in de *periferie* van het gezichtsveld, hoe meer staafjes en hoe minder kegeltjes aanwezig zijn – en hoe schaarser de receptoren in het algemeen voorkomen.

Reeds hieruit is duidelijk, dat staafjes en kegeltjes verschillende functies hebben. De staafjes functioneren vrijwel alleen bij een laag helderheidsniveau. Bij maanlicht bijvoorbeeld zijn de kegeltjes praktisch onwerkzaam. Omdat de staafjes slechts gevoelig zijn voor helderheid en niet voor kleur, vertoont een landschap bij maanlicht slechts nuances van licht en donker, geen kleur. Bij hogere lichtniveaus komen de kegeltjes in actie, terwijl juist de staafjes onwerkzaam worden. Pas dan wordt fijn werk als lezen mogelijk, pas dan kunnen kleuren worden waargenomen. Men zie hierover de paragraaf kleurenzien.

De gevoeligheid voor licht is niet even groot voor alle golflengten. Ruwweg kan men stellen (fig. I-5) dat de lichtgevoeligheid beperkt is tot het gebied van 400 tot 700 nm (spreek uit nanometer; $1 \text{ nm} = 1 \text{ m}\mu = 1$ miljoenste mm), met een duidelijke piek tussen 500 en 600 nm. Omdat bij hoge helderheid iedere golflengte zijn eigen kleurindruk geeft – zie fig. I-5 zegt men wel, dat de topgevoeligheid ligt in het geelgroen. Maar strikt genomen geldt dit natuurlijk alleen voor de kegeltjes, daar met staafjes geen kleuren kunnen worden waargenomen.

Uit fig. I-5 blijkt, dat staafjes en kegeltjes een weliswaar overlappend, maar



Figuur I-5.
De spectrale gevoeligheid van staafjes en kegeltjes. Ter vergelijking is de gevoeligheid in de top voor beide krommen gelijk gesteld.

toch duidelijk verschillend gevoeligheidsbereik hebben. In fotografische termen uitgedrukt zou men de staafjes orthochromatisch, de kegeltjes panchromatisch kunnen noemen.

Door dit verschil in 'kleurgevoeligheid' komt het dat sommige kleuren, die door hun lage helderheid overdag niet bijzonder opvallen (donkerblauw bijvoorbeeld) in de schemer sterk in het oog kunnen springen.

I-4 Adaptatie

Iedereen weet uit ervaring, dat het oog moeite kan hebben met de gewenning aan een nieuw lichtniveau.

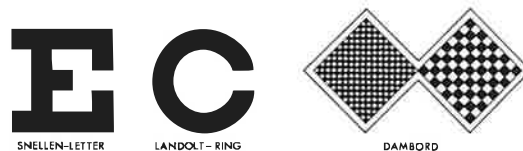
Deze aanpassing aan een nieuwe helderheid heet *adaptatie*. Bij het binnengaan van een bioscoop moet men aan het *donker-adapteren*, bij het uitgaan aan het *licht-adapteren*. Donkeradaptatie is een langzaam proces – pas na ongeveer een half uur is iemand, die een normaal verlicht vertrek verlaat, volledig aan het duister gewend. Vandaar dat, wie in het duister moet werken (fotografen, röntgenologen, wachtdoend personeel) er goed aan doet zich daarop van te voren in te stellen. Dit gaat uitstekend bij verlichting van het vertrek met rood licht, b.v. TL 15 of door het dragen van

een rode bril. Door de ongevoeligheid van de staafjes voor rood licht wennen deze vast aan het duister, terwijl men met de kegeltjes, die wel roodgevoelig zijn, toch nog redelijk kan lezen en andere werkzaamheden verrichten.

Lichtadaptatie gaat veel sneller en vereist dan ook geen speciale maatregelen. De traagheid van het oog in het aanpassen aan andere helderheden moge soms lastig zijn, als geheel genomen is het een zeer bruikbare eigenschap. Film en televisie en alle TL-verlichting maken er juist gebruik van, dat wij snel wisselende intensiteiten niet kunnen volgen. Konden we dat wel, dan zou de kantoorverlichting ondraaglijk onrustig zijn, film en televisie onbestaanbaar.

I-5 Gezichtsscherpte

De *gezichtsscherpte* meet men af aan de hoek, waaronder het kleinste waarneembare detail gezien wordt. Onder normale waarnemingscondities ligt dit kleinste waarneembare detail in de buurt van één boogminuut (1 mm op 3.5 meter). Men noemt dan de gezichtsscherpte (*visus*) 1. Kan men slechts een tweemaal groter detail onderscheiden, dan is de visus tweemaal zo slecht ($\frac{1}{2}$) enzovoorts. Voor het bepalen van de gezichtsscherpte worden allerlei objecten gebruikt. De oogarts bedient zich meestal van de 'Snellenleeskaart' omdat de patient op een gemakkelijke wijze kan vertellen wat hij ziet. Voor meer verfijnd laboratoriumonderzoek bezigt men vaak andere objecten zoals de 'Landolt-ring' of dambord patronen (fig. I-6).



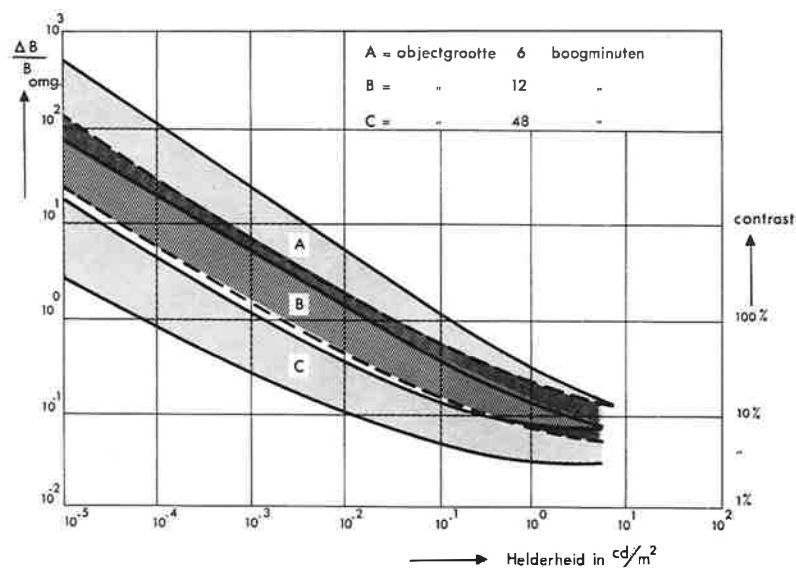
Figuur I-6. Objecten ter bepaling van de gezichtsscherpte.

Overigens is de gezichtsscherpte sterk afhankelijk van de helderheid en van het helderheidscontrast. Dat laatste is gedefinieerd als:

$$\frac{\text{helderheidsverschil } \Delta B}{\text{omgevingshelderh. } B_{\text{omg.}}}$$

Zwart op wit geeft 100% contrast, lichtgrijs op donkergrijs veel minder, 10% bijvoorbeeld.

De relatie tussen object-grootte, helderheid en contrast is weergegeven in fig. I-7. Uiteraard vertoont het verloop nogal wat verschil voor de een of de ander. De gearceerde gebieden geven ruwweg de spreiding aan voor normaal-zienden.

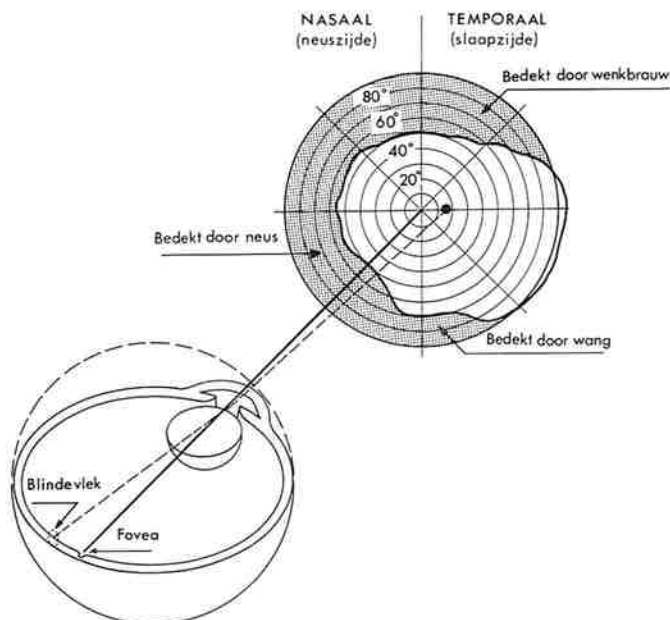


Figuur I-7. Het benodigde contrast om een object (Landolt-ring) van bepaalde grootte nog net te zien als functie van het helderheidsniveau. Het contrast boven de 100% is alleen realiseerbaar voor objecten helderder dan de omgeving. De gearceerde zone duidt de spreiding aan voor normaalzienden (Vos 1955).

I-6 Gezichtsveld

Bij het vervullen van een visuele taak gebruikt men meer dan alleen dat centrale stukje van scherp zien, de *fovea*. 's Nachts is de *fovea* onwerk-

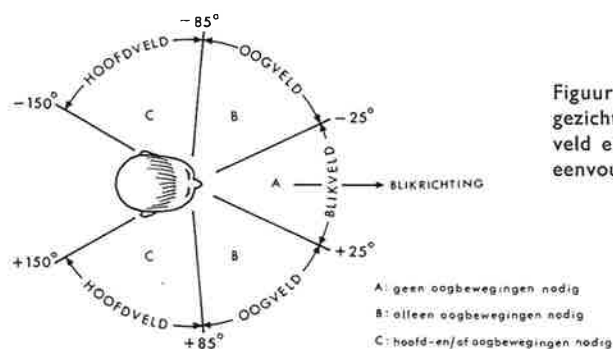
zaam en zijn we zelfs geheel aangewezen op de rest van ons gezichtsveld, de *periferie*. Maar ook overdag vervult dit perifeer zien een zeer belangrijke functie, namelijk die van het oppervlakkig verkennen, het afzoeken van de omgeving van voorwerpen, naar gebeurtenissen van belang. Centraal en perifeer zien vullen elkaar in dezen prachtig aan. Wie, als in sommige pathologische gevallen, het centraal zien mist, kan zoeken maar niet vinden; en omgekeerd: wie slechts centraal zien heeft – de zgn. nachtblinde – kan vinden maar niet zoeken. Het vinden wordt een toevalstreffer. Fig. I-8 geeft een indruk van de grootte van het perifere gezichtsveld. Men ziet dat men meer dan 90° zijwaarts kijken kan, een fantastisch groot gezichtsveld derhalve. Slechts voor een klein gedeelte hiervan wordt een goede gezichtsscherpte gerealiseerd.



Figuur I-8. Het gezichtsveld van het rechteroog. Daar, waar de oogzenuw het oog binnenvoert is het netvlies blind, maar van die 'blinde vlek' merkt men gewoonlijk niets omdat het gezichtsveld als het ware opgevuld wordt.

Hoe iemand in feite zijn ogen zal gebruiken hangt af van zijn visuele taak. Wie leest zal steeds oogbewegingen moeten maken omdat het perifeer zien te onscherp is. Maar wie auto rijdt, zal de blik slechts lichtelijk heen en weer laten gaan: de periferie geeft gewoonlijk voldoende informatie om hem te doen weten dat er niets onverwachts, niets gevaarlijks aan de hand is.

Afhankelijk van zijn taak ontwikkelt hij een kijkstrategie die de beste resultaten geeft. Wie apparatuur ontwerpt, moet trachten vaak omgekeerd de taak aan te passen aan het gezichtsvermogen, om optimale resultaten te verkrijgen. Zo is het bij een meervoudige taak waarbij de bronnen van informatie (schalen, controlelampen enz.) op verschillende plaatsen staan, nuttig voor het leveren van een goede prestatie deze bronnen zo te plaatsen dat vermoeiende hoofdbewegingen overbodig zijn. Fig. I-9 geeft weer, welk gedeelte men voor een bepaalde, betrekkelijk eenvoudige, visuele taak kan overzien zonder de ogen te bewegen (het blikveld); welk gedeelte alleen met oogbewegingen (het oogveld) en welk gedeelte pas na hoofdbewegingen (het hoofdveld). Blikveld en oogveld krimpen echter in met toenemende moeilijkheid van de taak.

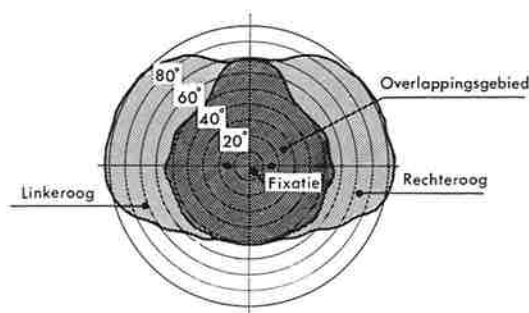


Figuur I-9. Indeling van het gezichtsveld in blikveld, oogveld en hoofdveld voor een eenvoudige visuele taak.

I-7 Binoculair zien

De mens is uitgerust met twee ogen. Door dit binoculaire zien beschikt hij over speciale visuele mogelijkheden. In de eerste plaats leidt de tweegigheid tot een groot panoramisch gezichtsveld (fig. I-9). Bij een vaste

hoofdstand bedraagt het horizontale gezichtsveld van de mens meer dan 180° . Toch is dit minder dan bij de meeste dieren, omdat bij de mens de ogen niet opzij, maar voor in het hoofd staan. Dit houdt in, dat de gezichtsvelden der ogen elkaar grotendeels overlappen. Dit is het gebied, waarin de zogenaamde binoculaire versmelting optreedt (fig. I-10).



Figuur I-10. De gezichtsvelden van linker- en rechteroog.

Bij juiste convergentie der ogen zien wij een voorwerp enkelvoudig, ondanks het feit dat het tweemaal wordt afgebeeld, namelijk op elk der retina's. Juiste convergentie wil daarbij zeggen, dat de twee beelden van het voorwerp op corresponderende gebiedjes van de retina's vallen. Zo is de fovea van het ene oog het corresponderende gebied van de fovea van het andere oog. Wanneer wij niet goed convergeren, kan het gebeuren dat het beeld van een voorwerp in het ene oog de fovea treft, terwijl het in het andere oog meer perifeer terecht komt. In dat geval zien we dubbel; er treedt geen versmelting op. Dat dit dubbel zien meestal achterwege blijft, is dank zij het versmeltingsmechanisme: mocht dubbel zien optreden, dan geven vooral de contouren der twee netvliesbeelden aanleiding tot een impuls om de twee ogen in een positie te draaien, zodat de beelden weer op corresponderende plaatsen vallen. Meestal houdt daarbij het dominante oog het beeld in de fovea, terwijl dan het recessieve oog 'bijstuurt'.

In dit versmolten binoculaire gebied beschikken we nu over een tweede karakteristieke visuele mogelijkheid, het binoculaire dieptezien. Dit dieptezien is de belangrijkste functie van onze twee-ogigheid. Andere

denkbare voordelen van het binoculaire zien, meestal gebaseerd op de redenering 'twee-weten-meer-dan-één', blijken steeds van weinig belang te zijn.

Zo is de gezichtsscherpte met twee ogen nauwelijks beter dan met het beste oog. Een veld dat we met twee ogen bekijken, ziet er nauwelijks helderder uit dan wanneer we het met een oog bezien, etc.

Dieptezien. Hoewel aldus de specifieke functie van het binoculaire zien gelegen is in de ruimtelijke lokalisatie van ons omringende objecten, is dieptelokalisatie toch ook heel goed mogelijk met slechts één oog. Een groot aantal andere gegevens staan ons namelijk normaliter ter beschikking om een voorwerp in de diepte te lokaliseren. De belangrijkste daarvan zijn:

1. De hoek waaronder een bekend voorwerp wordt gezien. We weten van ons vertrouwde voorwerpen wat hun werkelijke grootte is. Uit de hoek waaronder we ze zien (deze bepaalt de grootte van het netvliesbeeld) kunnen we dus 'afleiden' hoe ver het object zich van ons bevindt. Door training en ervaring 'zien' we dat onmiddellijk.
2. De overlapping van bekende voorwerpen geeft ons eveneens aanwijzingen over hun ruimtelijke ordening. Zo zien we, dat een stoel achter een tafel staat, omdat in ons gezichtsveld de stoel voor een groot deel door de tafel wordt afgedekt. Overlapping is een van de belangrijkste gegevens op grond waarvan we diepte zien in foto's en schilderijen.

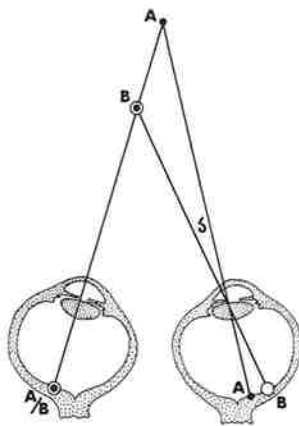
De bewegingsparallax. Wanneer wij ons bewegen, dan verplaatst het beeld van een ver weg staand voorwerp zich minder over het netvlies dan dat van een dichtbij staand voorwerp. Als we in een rijdende trein zitten maken de sloten in het weiland een raddraaiende beweging. Dit verschil in verplaatsing geeft ons informatie over het verschil in afstand der voorwerpen.

Er zijn nog enkele minder belangrijke diepte-aanwijzingen waarover we beschikken zoals de accommodatiespanning die nodig is om het object scherp te zien en de grotere 'wazigheid' van objecten die ver weg liggen. In vergelijking met de hier genoemde factoren draagt het binoculaire zien slechts weinig bij tot onze diepte-informatie. In het dagelijks leven kunnen

we het heel goed stellen zonder binoculair dieptezien. Toch kunnen we er ook speciale voordelen van hebben. In de eerste plaats helpt het binoculaire dieptezien, waar de te lokaliseren voorwerpen ons niet bekend zijn, of om andere reden geen vaststaande grootte hebben. Zo zijn we geneigd wanneer we een dikke en een dunne draad op gelijke afstand verticaal voor ons hebben, kijkend met één oog de dikke draad dichter bij te lokaliseren dan de dunne. Zo'n vergissing maken we niet wanneer we met twee ogen kijken. Ten tweede zijn we dank zij onze twee ogen in staat om zeer geringe diepteverschillen waar te nemen, waar de bovenvermelde diepteaanwijzingen geen differentiatie meer geven (zoals in het geval waar op het gezicht een draad door een naald moet worden gestoken, hetgeen monoculair praktisch onuitvoerbaar is).

De karakteristieke eigenschap van binoculair dieptezien is, dat de lokalisatie *relatief* is, dat wil zeggen, we weten op grond van de binoculaire indruk slechts de plaats van een voorwerp tegenover een ander voorwerp, we weten niet hoever een voorwerp van onszelf verwijderd is (absoluut dieptezien). Dit laatste kunnen we slechts weten door middel van de eerder genoemde gegevens. Dat de lokalisatie slechts relatief is, is een gevolg van de wijze waarop de diepteindruk tot stand komt. We maken daarbij namelijk geen gebruik van de mate van convergentie der ogen

(dit zou ons absolute diepteinformatie kunnen geven), maar van de dispariteit der netvliesbeelden. Onder dispariteit verstaan we het verschil tussen de beelden die de twee ogen van eenzelfde ruimtelijke ordening krijgen. Figuur I-11.



Figuur I-11. De retinabeelden voor linker- en rechteroog. De dispariteit kan worden uitgedrukt in de hoek δ .

Wanneer deze dispariteit een bepaalde grootte niet overschrijdt zien we de voorwerpen met een diepteverschil. De grootste dispariteit waarbij dit nog lukt is voor foveaal zien ongeveer 20'. Er is ook een minimale dispariteit, dat wil zeggen een dispariteit die we nog juist als diepteverschil kunnen interpreteren. Deze minimum hoek heet de stereoscopische gezichtsscherpte. Hij is ongeveer gelijk aan de monoculaire gezichtsscherpte van het slechtste oog. Wanneer we op leesafstand kijken komt de stereoscopische gezichtsscherpte overeen met een diepteverschil van ongeveer 0.1 mm, maar dit diepteverschil neemt bij benadering kwadratisch toe met de kijkaafstand. Dit is dus anders dan met de gewone gezichtsscherpte: het juist waarneembare detail neemt daar lineair toe met de afstand tot de waarnemer. Zo is het minimale diepteverschil, dat op 1 m kan worden waargenomen 1.6 mm, op 10 meter is het 60 mm, terwijl een absolute grens aan het binoculair dieptezien wordt bereikt op ongeveer 600 m. We nemen geen binoculair diepteverschil meer waar tussen een voorwerp op 600 m en een voorwerp, dat theoretisch oneindig ver weg staat (Levelt 1965).

I-8 Kleurenzien

Men is het er in het algemeen over eens, dat het netvlies bestaat uit een mozaïek van 3 soorten kleurreceptoren. Deze kleurreceptoren zijn kegeltjes, waarvan de gevoeligheid als functie van de golflengte gegeven is in fig. I-15. Deze drie krommen bij elkaar opgeteld geven de kromme van de kegeltjes uit fig. I-5.

Deze receptoren kunnen beschouwd worden als fotocellen, die elektrische spanning afgeven als ze getroffen worden door licht. Bij aanbieding van een willekeurige kleur worden door deze drie soorten receptoren drie spanningen opgewekt. De grootte van deze spanningen en de onderlinge verhoudingen karakteriseren die kleur. Wordt het invallende licht intenser, dan verandert de grootte van de afgegeven spanningen, maar hun onderlinge verhoudingen veranderen niet. De grootte bepaalt de helderheid, de verhoudingen bepalen de kleursoort.

Toch zijn er vele factoren, die bij dezelfde waarnemer de kleurindruk kunnen doen verschillen, zoals: de helderheid, de grootte van het object, de tijdsduur van het bekijken, de plaats van intreding in de pupil, de kleur

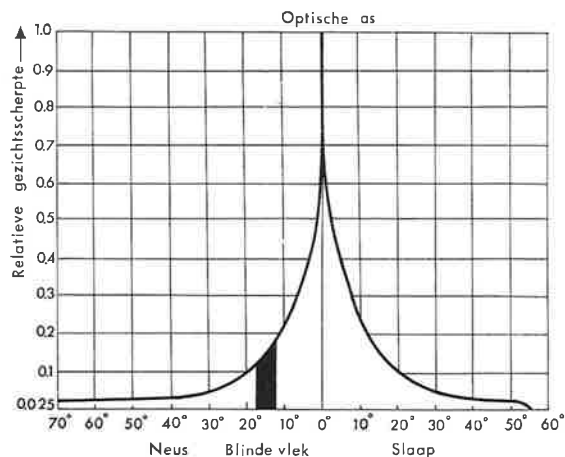
van de omgeving, de toestand van het oog, de kleurensin van de waarnemer en de leeftijd van de waarnemer. Door contrastwerking is het mogelijk om van één bepaalde kleur verschillende kleurindrukken te krijgen. Beschijnt men met wit licht een affiche met een gele achtergrond en zwarte letters en vervangt men deze zwarte letters door grijze, dan blijven deze letters niet grijs, zoals men zou kunnen verwachten. Ze nemen dan de complementaire kleur aan van de achtergrond, in dit geval blauw. Op overeenkomstige wijze worden grijze letters op een groene, rode of blauwe achtergrond respectievelijk purperachtig, blauw-groen of geel.

Als men de gloeidraad van een brandende lamp door rood of groen gekleurd glas bekijkt, ziet men de kleur van de gloeidraad geler dan de rest van het glas. Toch is de spectrale samenstelling van het licht van de heldere gloeidraad en van de donkere omgeving dezelfde.

Het blijkt dus mogelijk door verandering van de omstandigheden bij gelijkblijvend licht verschillende kleurindrukken te krijgen.

Het betekent echter ook, dat géén wijziging van de kleurindruk samen kan gaan met verandering van licht.

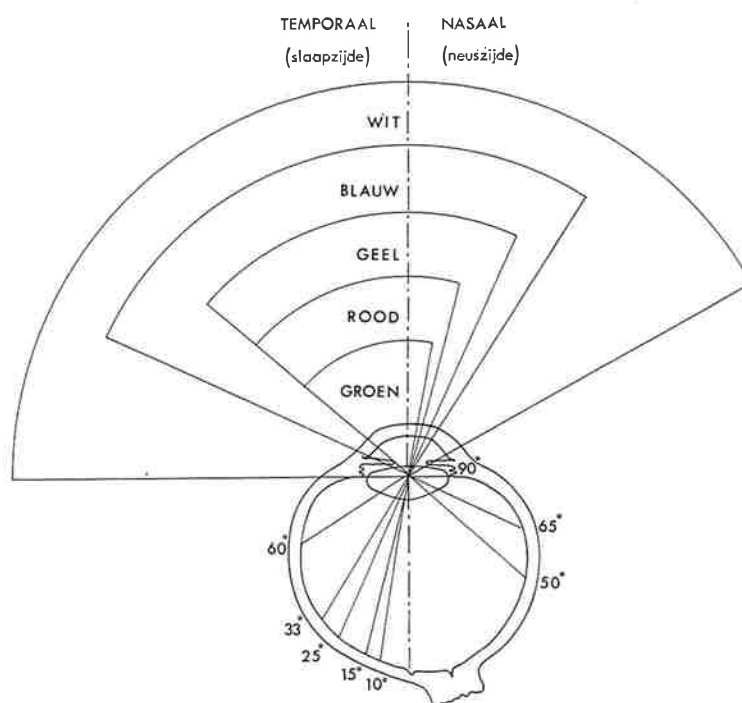
In een kamer bemerkt men nauwelijks verschil in kleur bij verlichting van dat vertrek door daglicht of bijvoorbeeld door gloeilamplicht. Het oog



Figuur I-12. Verloop van de gezichtsscherpte als functie van de excentriciteit in graden t.o.v. de fovea (daglichtsituatie).

compenseert dergelijke verschillen zichtbaar. Als er voldoende lichte (heldere) delen in het gezichtsveld voorkomen noemt het oog deze delen wit en t.o.v. dit wit worden dan de overige kleurindrukken geïnterpreteerd. Ook merkt men bij het projecteren van dia's met een iets gekleurd filter na enige tijd niets meer van de aanwezigheid van dat filter.

Zoals in fig. I-12 is aangeduid voor de gezichtsscherpte, gaan ook vele andere visuele functies achteruit naarmate het licht verder van het centrale punt, de fovea, op het netvlies valt. Dit geldt ook voor het kleurenzien. In een zekere rangorde vallen de kleuren, die men zien kan, weg, zoals geschetst in fig. I-13. De geschetste grenzen gelden voor een



Figuur I-13. De gezichtsvelden voor verschillende kleuren.

bepaalde conditie. Zijn de gezichtsvelden zeer groot, dan zijn de grenzen wijder, zijn de gezichtsvelden zeer klein, en is het licht zwak, dan zijn de grenzen nauwer.

I-9 Kleurenzwakheid en kleurenblindheid

Echte kleurenblindheid komt weinig voor. Dit bedraagt voor de gehele bevolking 0.002%. Het percentage van hen, die een stoornis in hun kleurenzien hebben, doch daarmee niet het gehele kleuronderscheidingsvermogen hebben verloren – men spreekt dan van kleurenzwakheid –, is veel hoger.

Dit bedraagt voor mannen 8% en voor vrouwen 0,5%. Hierin zijn een groot aantal vormen van kleurenzienafwijkingen. Er zijn twee verschillende groepen te onderscheiden, n.l. de rood-groen zwakken en de geel-blauw zwakken. Deze laatste bedragen een totaal percentage van 0.001%. Het zijn dus de rood-groen zwakken, waar men in de praktijk mee te maken heeft.

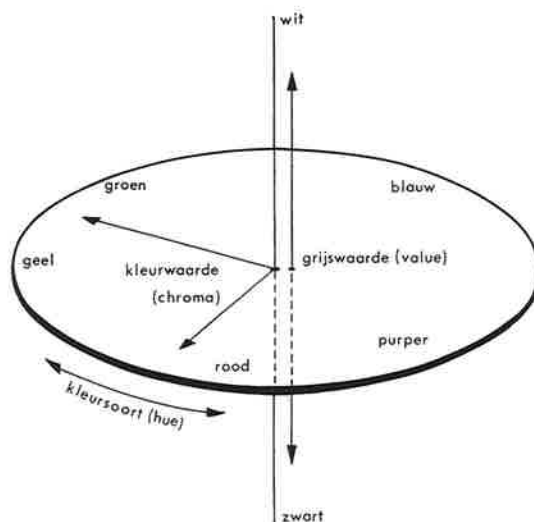
Het is belangrijk om hier twee categorieën in te onderscheiden, nl. zij die een normale ooggevoeligheidskromme hebben, en zij die een vermindering van gevoeligheid vertonen in het rood. De eerste groep kan men samenvatten onder de naam deutera's, de tweede onder de naam prota's. Er zijn allerlei overgangsvormen tussen een volledig ontbreken van het rood-groen onderscheidingsvermogen tot een vrij goed vermogen daartoe. Opgesplitst in de twee groepen spreekt men van deuteranopen (perc. bij mannen 1%), en protanopen (1%) en van deuteranomalen (5%) en protanomalen (1%).

Bij verschillende beroepen is kleuronderscheidingsvermogen onmisbaar. Bij de zeevaart is het noodzakelijk om gekleurde lichten te onderscheiden. Bij normale verlichting kan een groot gedeelte van hen, die een kleurenzienstoornis hebben redelijk kleuren onderscheiden. Specialistische apparatuur is nodig om type en graad van een kleurenzienstoornis te bepalen.

I-10 Kleurmeting

Voor het meten van kleuren, moet de kleur kwantitatief vastgelegd worden, dus met behulp van enige getallen. Het is daartoe nodig de kleuren te systematiseren, waarbij men een ordening zal willen nastreven met

een zo klein mogelijk aantal aanduidingen. In de volgende twee systemen is dat mogelijk gebleken met drie waarden.



Figuur I-14. De ruimtelijke, drie-dimensionale ordening van de kleuren volgens het Munsell-systeem.

I-11 Het systeem Munsell

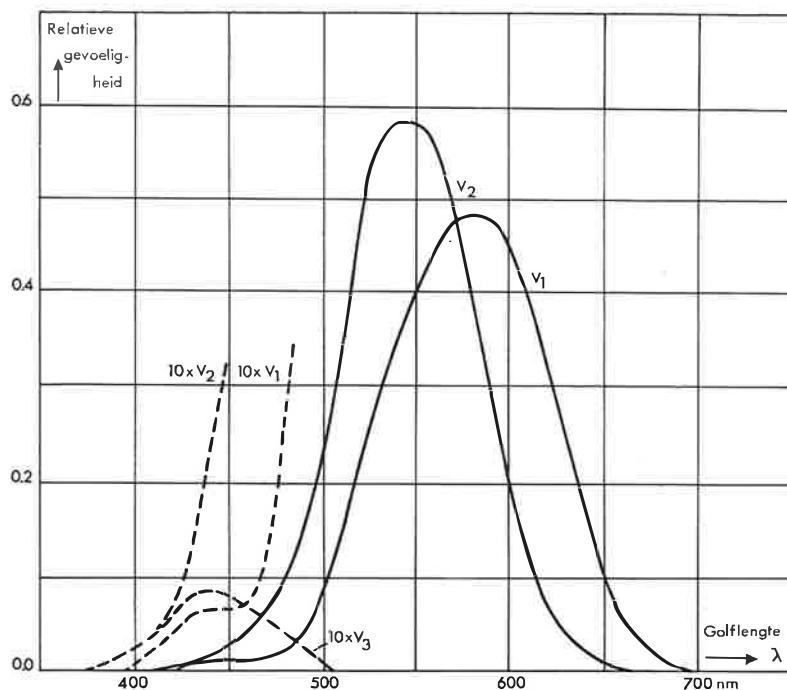
Dit systeem is gebaseerd op een ruimtelijke, drie-dimensionale ordening van de kleuren volgens het principe, dat is weergegeven in fig. I-14. De kleur wordt bepaald door de gegevens: kleursoort (hue), kleurwaarde (chroma) en de grijswaarde (value).

Bij dit systeem zijn een aantal kleurmonsters, voorzien van de bijbehorende getallen, in een atlas verzameld. Van een willekeurige kleur kunnen de Munsell-gegevens dan gevonden worden door visuele vergelijking. Het opvallende licht moet van eenzelfde lichtbron zijn, bij voorkeur gestandaardiseerd daglicht (een goede benadering geeft de TL 57).

I-12 Het CIE-systeem

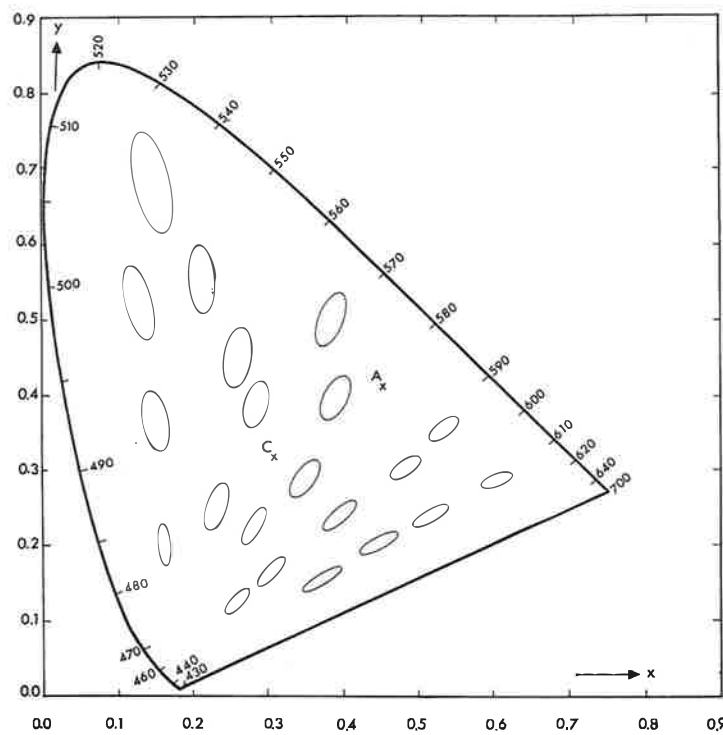
(C.I.E. = Commission Internationale d'Eclairage)

In dit systeem worden de kleuren vastgelegd in de zg. kleurendriehoek



Figuur I-15. Gevoeligheidskrommen van de drie soorten kleurreceptoren (Walraven 1955).

(Fig. I-16). Elke kleur heeft daarin zijn eigen plaats. Op de rand van deze driehoek zijn de spectrale kleuren geplaatst, op de verbindingslijn tussen de uiteinden van de gebogen lijn de purperkleuren. In het midden is het wit geplaatst. In tegenstelling tot het Munsell-systeem zijn de kleuren in een plat vlak geplaatst. Dit komt, omdat afgezien is van de luminantie van de kleur. De kleurendriehoek is zo opgebouwd, dat bij het mengen van kleuren de resulterende kleur ligt op de verbindingslijn tussen de kleurpunten van de oorspronkelijke kleuren. Men is bij de constructie van deze kleurendriehoek uitgegaan van de gevoeligheidskrommen in fig. I-15. De x en y stellen een ingewikkelde combinatie voor van gegevens, die



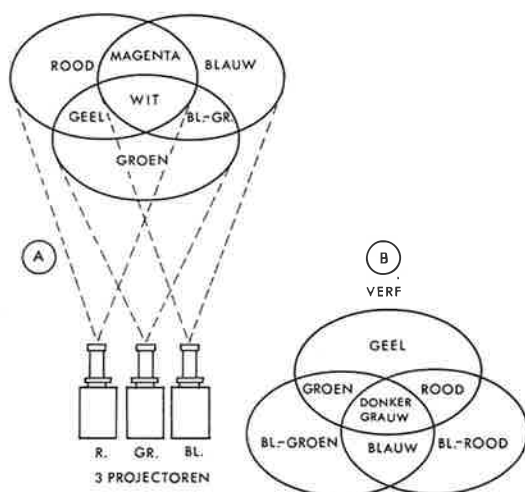
Figuur 1-16. Kleurendriehoek volgens C.I.E.-systeem.

deze krommen opleveren. Deze combinatie is zo gekozen dat wit in het centrum van de kleurendriehoek ligt.

In de figuren zijn de kleuren van standaard gloeilamplicht (CIE-standaard A) en standaard daglicht (CIE-standaard C) gegeven. Een voordeel van de kleurendriehoek is, dat de ene kleur continu overgaat in de andere en niet stapsgewijs zoals bij Munsell. Op eenvoudige wijze kan worden aangegeven welke kleuren niet onderscheidbaar zijn van andere. In fig. 1-16 is een aantal ellipsen getekend, die aangeven welke kleuren niet onderscheidbaar zijn van de kleur, die in het centrum van de ellips ligt.

I-13 Kleurmengen

Het is belangrijk een onderscheid te maken tussen twee verschillende soorten kleurmengen. Bij het bespreken van de kleurendriehoek is reeds gesproken over mengen. Hierbij is gedacht aan het zg. additieve mengen. Hiermee wordt bedoeld het over elkaar projecteren van licht, zoals men dat met projectoren kan doen. Dit soort mengen kent men ook bij kleurentelevisie. Hierbij wordt rood, groen en blauw licht in kleine puntjes gemaakt, die op afstand bezien de mengkleur opleveren. Bij het schilderen maakt men hier ook wel eens gebruik van (pointilleren). De andere vorm van mengen is subtractief mengen. Dit verkrijgt men door licht bv. eerst door een geelfilter te laten gaan en vervolgens door een blauw filter. De kleur wordt dan bepaald door dat gedeelte van het spectrum, dat door de filters gemeenschappelijk wordt doorgelaten. In een kleurendriehoek zijn de resulterende kleuren geen rechte lijnen, doch meestal zeer gebogen lijnen, niet alleen afhankelijk van de kleurpunten van de oorspronkelijke filterkleuren, maar ook van de spectrale doorlaat van de filters. Een voorbeeld van subtractief mengen is het mengen van verf. De kleur van een verflaag wordt bepaald door het licht, dat gedeeltelijk de verf indringt en



Figuur I-17. De kleurweergave van zg. additief mengen van licht met 3 projectoren (A) en de kleurweergave van subtractief mengen van verf (B).

er daarna weer uit ontsnapt. Het toevoegen van verf aan een andere verf betekent daardoor het plaatsen van gekleurde filters in de verf, dus subtractieve kleurmenging. Een typisch verschil tussen additief en subtractief mengen is daardoor, dat in het eerste geval de luminantie van de menging groter wordt, bij de laatste kleiner. Menging van verven levert altijd een donkerder kleur op. Het verschil tussen de twee soorten mengingen wordt gedemonstreerd in fig. I-17.

Bij het kleurmeten kan men twee kanten uit.

1. De spectrale samenstelling van de kleur wordt gemeten. Met behulp van de gevoeligheidskrommen van fig. I-15 kan men dan omrekenen de x en y .
2. Er wordt gemeten met een instrument met drie fotocellen die gevoeligheidskrommen hebben volgens fig. 1-15. Hierdoor kunnen direct drie waarden worden afgelezen, waaruit de x en y eveneens kunnen worden afgeleid.

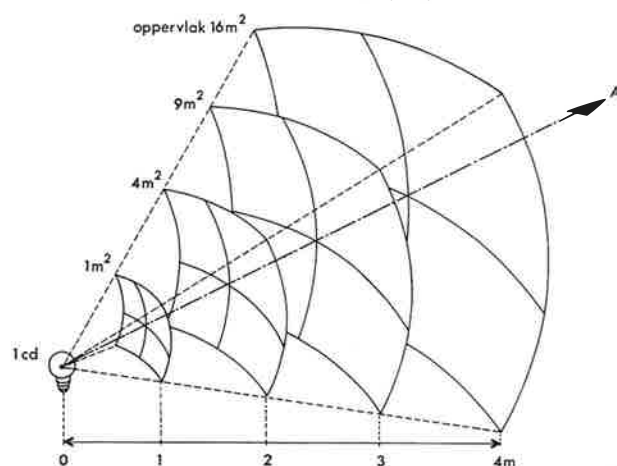
II Verlichting en kleurgeving

Een goede verlichting van zijn werkruimte is voor de mens belangrijk. Al mag het dan zo zijn, dat men zijn ogen niet zal 'bederven' door bij een te laag verlichtingsniveau te werken (een te hoog niveau, zoals bij het direct kijken naar de zon, zal het netvlies eerder bederven), toch zal een te laag niveau zijn uitwerking niet missen. Klachten als hoofdpijn en geprikkeldheid, het optreden van fouten en ongelukken zullen zeer zeker de produktiviteit in negatieve zin beïnvloeden.

Men moet echter bij gerezen klachten over de verlichting niet uitsluitend alle heil verwachten van een verhoging van het niveau, maar zich tevens eens afvragen of de klachten misschien ook verholpen kunnen worden door een juiste bril. Veel mensen gaan namelijk om een of andere reden niet gemakkelijk over tot het dragen van een bril, hoewel zij deze eigenlijk niet kunnen missen. En juist bij minder goede verlichtingsomstandigheden zijn deze mensen het eerst de dupe. Verder moet men rekening houden met het feit, dat oudere werknemers niet alleen meer licht, doch ook een kwalitatief betere verlichting nodig hebben.

II-1 Lichteenheden

De meest gebruikelijke lichteenheden zijn: de lumen (lm), de lux (lx), candela (cd) en candela per m^2 (cd/m^2).



Figuur II-1. Verlichtingssterkte en afstand bij een puntvormige licht bron.

Figuur II-1 wil een hulp zijn bij het begrijpen van de elementaire definities in de verlichtingskunde.

Als de lichtbron klein is ten opzichte van het belichte object, kan men zich de lichtbron puntvormig denken. Zo'n lichtpunt heeft een bepaalde lichtsterkte. In de figuur namen we daarvoor 1 candela. In de richting A wordt door dit punt lichtenergie uitgestraald.

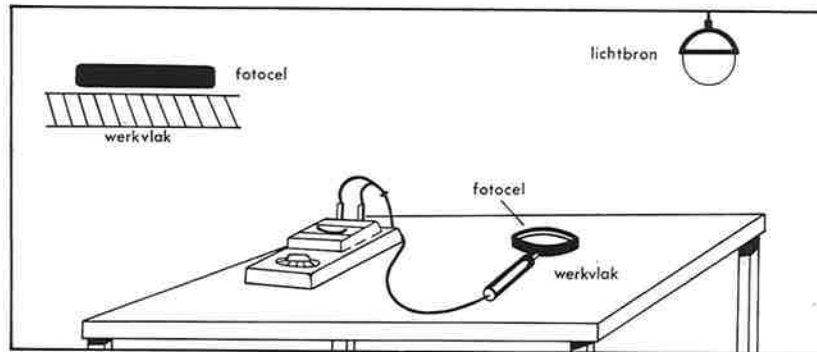
Op 1 meter afstand gaat nu door een oppervlak van 1 m^2 precies een lichtstroom van 1 lumen. Uit de figuur blijkt dadelijk, dat deze zelfde lichtstroom op een afstand van 2 meter een oppervlak van 4 m^2 en op een afstand van 3 meter een oppervlak van 9 m^2 treft, enzovoort.

Als er op een oppervlak van 1 m^2 een lichtstroom van 1 lumen valt, is de verlichtingssterkte 1 lux. Het aantal lumens, dat er op 1 m^2 valt, de verlichtingssterkte dus, neemt kwadratisch af met de afstand bij een puntvormige lichtbron.

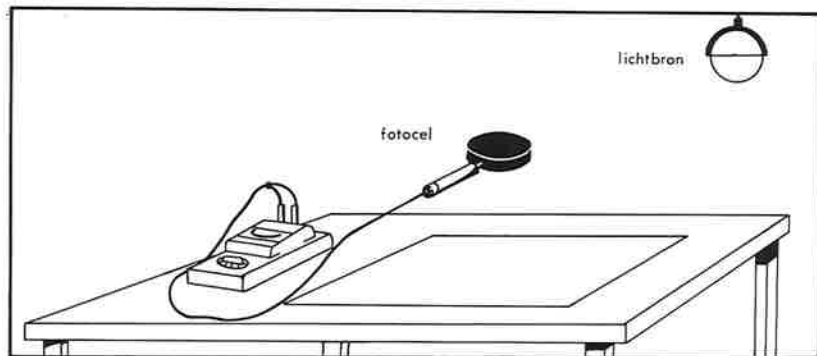
Weet men dus de lichtsterkte van een bepaalde lichtbron, bv. 60 candela, dan is de verlichtingssterkte op 1 meter afstand 60 lux, op 2 meter $60/4 = 15$ lux, op 3 meter $60/9 = 6,7$ lux, enzovoort. De luminantie (of helderheid) van een oppervlak meet men in candela's per m^2 . In figuur II-1 gingen we uit van een puntvormige lichtbron. Doen we dit niet, dus gaan we uit van een lichtend oppervlak, dan krijgen we de luminantie door de 'lichtsterkte' van dit oppervlak te delen door de oppervlakte in m^2 .

Lichtmetingen komen meestal daar op neer, dat we met een luxmeter de verlichtingssterkte van het werkvlak meten. Bij een luxmeter wordt de lichtenergie via een foto-elektrische cel omgezet in mechanische energie, die een wijzer in beweging brengt. De fotocel wordt daartoe, met de gevoelige laag naar boven, op het werkvlak gelegd. Op de bijbehorende – al of niet ingebouwde – meter kan dan de verlichtingssterkte in lux worden afgelezen. Indien nodig kan men een geijkte luxmeter gebruiken (deze ijking kan bijv. worden verricht door de KEMA te Arnhem). De gevoelige laag van de fotocel moet evenwijdig aan het werkvlak gehouden worden (fig. II-2), daar bij scheef houden – bijvoorbeeld in de richting van de lichtbron – fouten gemaakt worden.

Voor het meten van luminanties met een luxmeter wordt de fotocel met de gevoelige laag naar het te meten vlak gericht, fig. II-3. Een diffuus wit



Figuur II-2. Het meten van de verlichtingssterkte. De fotocel is evenwijdig aan het werkvlak naar boven gericht.



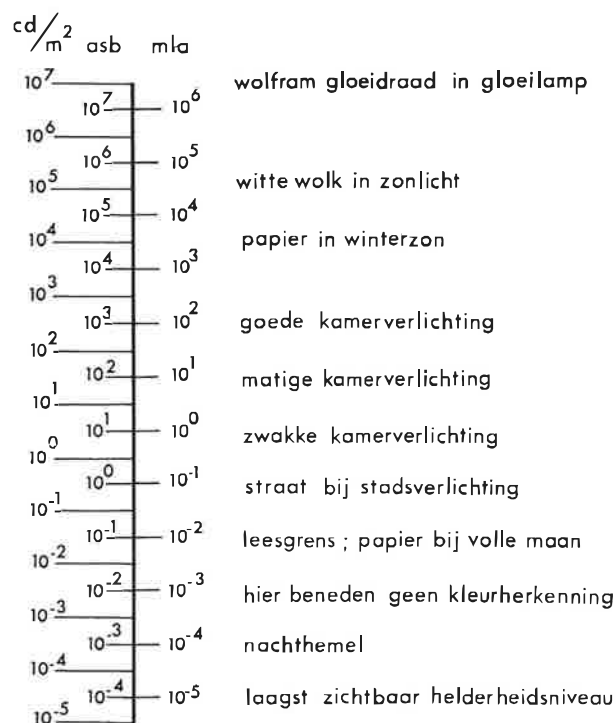
Figuur II-3. Het meten van de luminantie. De fotocel is evenwijdig aan het werkvlak naar boven gericht. Alleen via het vlak gereflecteerd licht mag in de cel opgenomen worden.

verlicht vlak, dat met 1 lux belicht wordt, blijkt een helderheid van $1/3 \text{ cd/m}^2$ te bezitten.

Wanneer men lichtsoorten wil meten, die nogal van wit afwijken moet men er rekening mee houden, dat de meeste luxmeters een foute uitslag zullen geven. De oorzaak hiervan is, dat zo'n luxmeter meestal niet precies

even gevoelig is voor de verschillende kleuren als het menselijk oog. Voor sommige kleuren kan de afwijking wel oplopen tot 100 à 200%.

Bij het gebruik van een zogenaamde visuele flikkerfotometer (voor het meten van luminanties) heeft men daar geen last van (White 1954). In figuur II-4 wordt een overzicht gegeven van verschillende voorkomende luminanties.



Figuur II-4. Diagram van voorkomende luminanties.

Er is bij belichting van een vlak een verband tussen de verlichtingssterkte en de luminantie (helderheid). De luminantie van zo'n vlak hangt namelijk

af van de reflectie: de hoeveelheid die het vlak terugstraalt. Daarbij kan het vlak spiegelen en ziet men in het vlak onder deze omstandigheden eigenlijk de luminantie van de lichtbron zelf. Het vlak kan echter ook het licht diffuus terugstralen. Een ideaal vlak, wat de diffuse reflectie betreft (niet de mechanische houdbaarheid, deze is erg slecht) is een laag magnesiumoxyde: al het opgestraalde licht wordt keurig diffuus weer teruggestraald. De (diffuse) reflectie van dit materiaal noemen we 1. Als de reflectiefactor van een vlak bijvoorbeeld 0,25 is, dan betekent dit, dat slechts $\frac{1}{4}$ van het opgestraalde licht wordt teruggestraald.

Om de luminantie van een vlak te berekenen uitgedrukt in cd/m^2 moet men de verlichtingssterkte in lux vermenigvuldigen met 0,32 en met de reflectiefactor. Er zijn nog vele andere eenheden, o.a. gebaseerd op het engelse maatsysteem. Voor de omrekening van de eenheden wordt in tabel II-1 a en b hiervan een overzicht gegeven.

Luminantie	cd/m^2	sb	asb	la	mla	ftla	cd/inch^2
1 cd/m^2	1.0	1.0×10^{-4}	3.1	3.1×10^{-4}	3.1×10^{-1}	2.9×10^{-1}	6.5×10^{-4}
1 stilb = cd/cm^2	1.0×10^4	1.0	3.1×10^4	3.1	3.1×10^3	2.9×10^3	6.5
1 apostilb	3.2×10^{-1}	3.2×10^{-5}	1.0	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-1}	9.3×10^{-2}	2.0×10^{-4}
1 lambert	3.2×10^3	3.2×10^{-1}	1.0×10^4	1.0	$1.0 \times 10^{+3}$	9.3×10^2	2.0
1 millilambert	3.2	3.2×10^{-4}	1.0×10^1	1.0×10^{-3}	1.0	9.3×10^{-1}	2.0×10^{-3}
1 footlambert	3.4	3.4×10^{-4}	1.1×10^1	1.1×10^{-3}	1.1	1.0	2.2×10^{-3}
1 cd/inch^2	1.6×10^3	1.6×10^{-1}	4.9×10^3	4.9×10^{-1}	4.9×10^{-2}	4.5×10^2	1.0

Tabel II-1a. Omrekening lichttechnische eenheden.

Verlichtingssterkte	lx	ft cd	ml cd
1 lux	1.0	9.3×10^{-2}	2.6×10^5
1 foot candle	1.1×10	1.0	2.9×10^6
1 mile candle	3.9×10^{-6}	3.6×10^{-7}	1.0

Tabel II-1b. Omrekening lichttechnische eenheden.

1. De fijnheid van de werktaak
2. De bij de werkzaamheden optredende contrasten
3. De sfeer, die men wil bereiken
4. De kleurenzientaken bij het werk

1. De fijnheid van de werktaak

Een globale indeling van de fijnheid van de werktaak is die in 6 klassen:

1. Grof 2. Middel 3. Tamelijk fijn 4. Fijn 5. Zeer fijn 6. Micro

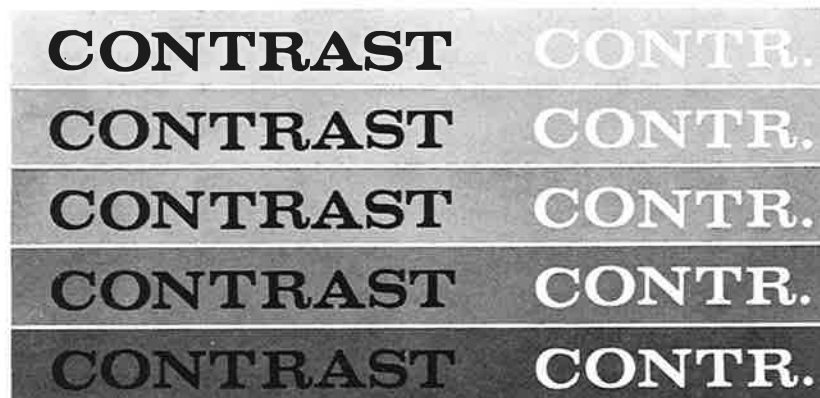
In tabel II-2 zijn deze klassen geïllustreerd.

Uiteraard vergen werkzaamheden een hoger verlichtingsniveau naarmate het type werk in tabel II-2 geassocieerd is met een hoger cijfer.

Klasse 6, microarbeid, wordt speciaal behandeld in III-5.

2. De bij de werkzaamheden optredende contrasten

Een zwart voorwerp tegen een witte achtergrond zal een taak opleveren met een hoog contrast. Daarentegen levert een grijs voorwerp op een iets donkerder grijze achtergrond een laag contrast. Het waarnemen van hoge contrasten gaat gemakkelijker dan van lagere. Voor lage contrasten heeft men dan ook meer licht nodig. Figuur II-5 geeft een illustratie van verschillende contrasten.



Figuur II-5. Voorbeeld van contrasten.

Bij een visuele taak speelt het contrast tussen het waar te nemen object en de wijdere omgeving zeker een rol. In het algemeen zal men moeten streven naar de volgende verhoudingen:

luminantie taak : luminantie directe omgeving : luminantie verder verwijderde omgeving = 10 : 3 : 1.

Hierbij is bijvoorbeeld:	taak	schrijfpapier
	directe omgeving	bureau
	verder verwijderde omgeving	wanden en plafond

3. De sfeer, die men wil bereiken

Een kantoor heeft een andere sfeer dan een woonhuis; evenals de sfeer van een schoollokaal een andere is dan die van een garage. Ook de verlichting dient hiermee rekening te houden. De sfeer kan men beïnvloeden door de kleur van de verlichting. Zo geeft gloeilampenlicht een heel andere sfeer dan TL-verlichting. Een woonkamer geeft zeker geen prettige sfeer als deze geheel diffuus belicht is met TL-buizen. Plaatselijke verlichting welke bepaalde objecten accentueert, b.v. gordijnverlichting e.d. geven een betere sfeer.

4. De kleurenzientaken bij het werk

Bij kantoorwerkzaamheden e.d. is in het algemeen een natuurlijke kleurweergave gewenst. De kleur van de verlichting moet zodanig zijn, dat b.v. de huidskleur niet in onnatuurlijke richting wordt verschoven. Voor een slagerij zal de verlichtingskleur iets naar het rood verschoven zijn, in verband met de rode vleeswaren. In de textiel-verfwarenindustrie e.d. worden daarentegen in de kleurbeoordelingsruimten zeer hoge eisen gesteld aan de kleur van de verlichting. Hierbij kunnen de kleuren van de wanden en plafonds door selectieve reflecties een rol spelen doordat aan het rechtstreekse van de lichtbronnen afkomstige licht een diffuus en anders gekleurd deel wordt toegevoegd.

In de tabel II-6 waarin verschillende lichtbronnen worden vergeleken, zijn ook aanwijzingen opgenomen betreffende kleurenzientaken.

II-3 Normen verlichtingssterkte

Door de technische ontwikkeling van lampen en armaturen in de loop der jaren zijn steeds hogere verlichtingsniveaus mogelijk en door de gestadig toegenomen welvaart kan men zich deze hogere niveaus ook permitteren. Juist door het grotere rendement van de fluorescentiebuizen heeft men, in vergelijking met gloeilampen, aanzienlijk hogere verlichtingsniveaus kunnen maken.

De aanbevolen verlichtingssterkten verschillen aanzienlijk van land tot land. In tabel II-3 wordt een overzicht gegeven ontleend aan de CIE Commissie S 4.2 voor aanbevelingen.

	Frankrijk 1961 min. aanbev.	Duitsland 1962 concept	Engeland 1961	Zweden 1962	V.S. 1959	Rusland 1959 fluoresc.
- werkplaats e.d. grof werk	150- 200	60- 200	150	300	500	100- 150
extra fijn werk	1000-1500	600-1000	1500	4000	10000	750-3000
- kantoren (alg.)	300- 300	120- 250	300	300-1000	1000-1500	200- 300

Tabel II-3. Aanbevolen verlichtingssterkten in lux.

In de aanbevelingen voor binnenverlichting van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSvV) wordt afhankelijk van de aard van de te verrichten werkzaamheden een viertal klasse-indelingen van ruimten opgegeven, tabel II-4.

Klasse	Te verrichten werkzaamheden, respectievelijk aard van de ruimte waarin deze plaatsvinden
I	<i>Geringe eisen</i> , ruimten waarin niet voortdurend wordt gewerkt zoals gangen en trappenhuizen, bergplaats voor dode archieven, autostallingen, magazijnen voor grof materiaal etc.
II	<i>Grof werk</i> , waarbij geen details behoeven te worden waargenomen: smederijen, pakkerijen, sorteerderijen, machinekamers, waslokalen, ketelhuizen, magazijnen voor fijn werk, etc.

- III *Normaal werk*, alles wat niet onder de klasse I, II of IV valt. Voorts werkzaamheden als lezen, schrijven, typen. Kantoren, normale montage-afdelingen etc.
- IV *Fijn werk*, waarbij gedurende langere tijd onafgebroken kleine details moeten worden waargenomen, die aan de grens van het visuele vermogen liggen, zoals meterfabricage, microarbeid, fabricage van matrices, horlogefabricage, tekenwerk etc.

Tabel II-4. Indeling van de werктаak in 4 klassen.

Voor deze klasse wordt in tabel II-5 de verlichtingssterkte in gebruikstoestand E_w aanbevolen. De verlichtingssterkte in gebruikstoestand E_w wordt gedefinieerd als de gemiddelde verlichtingssterkte gedurende de normale gebruikperiode van de lampen.

voor ruimten klasse I	125- 250 lux
voor ruimten klasse II	250- 500 lux
voor ruimten klasse III	500-1000 lux
voor ruimten klasse IV	1000 lux. en hoger.

Tabel II-5. Verlichtingssterkte in klassen volgens tabel II-4.

II-4 Natuurlijk daglicht

Het is duidelijk, dat men zo veel mogelijk gebruik wil maken van het goedkope natuurlijke daglicht. Het is evenwel niet zo eenvoudig om berekeningen op te zetten voor daglichtomstandigheden. Deze immers variëren enorm: het seizoen, het tijdstip van de dag, het al of niet aanwezig zijn van bewolking, enzovoort.

Men moet op deze wisselende omstandigheden zeer beducht zijn. Stel men wil van 's morgens 9 uur tot 's middags 4 uur in elk seizoen, ook bij bewolkt weer, zoveel daglicht hebben, dat de betreffende taak zonder toevoeging van kunstlicht kan worden verricht. Realisering van dit minimum-niveau onder de slechts denkbare omstandigheden houdt echter in, dat onder gunstige weersomstandigheden een enorme hoeveelheid licht binnen valt. Een dergelijk hoog niveau kan gemakkelijk hinderlijk worden, nog afgezien van de hinder van het direct invallende zonlicht en van de hoge temperatuur die met een en ander gepaard kan gaan. Men

dient dus voorzichtig te zijn en voor de extreme daglichtomstandigheden passende voorzieningen te treffen.

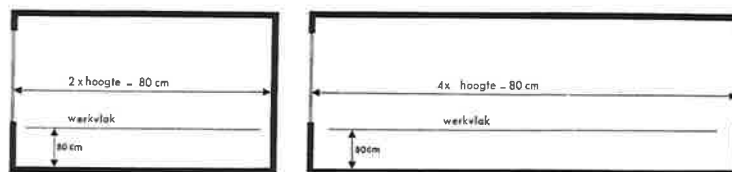
Enkele richtlijnen voor de verlichting met natuurlijk daglicht zijn wel te geven.

Een belangrijke keus is die van de manier waarop men het licht laat binnenvallen. Dit kan gebeuren door middel van 1) normale vensters in de gevel en 2) speciale voorzieningen in de dakconstructie.

Gebruik van vensters in de gevel

Hoe dieper het te verlichten vertrek is, hoe moeilijker het diepste gedeelte goed te verlichten is. Diepe vertrekken vereisen hoge ramen. In het algemeen mag bij een werkvlakhoogte van 80 cm de diepte van het werkvertrek niet meer bedragen dan 2 maal de hoogte van het vertrek, verminderd met de 80 cm. Dit voor het geval dat er maar aan één zijde van het vertrek ramen zijn aangebracht.

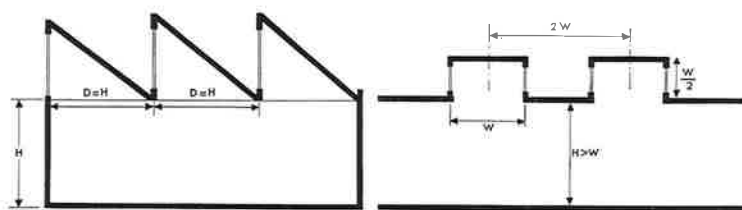
Heeft het vertrek ramen in 2 tegenoverliggende wanden, dan mag de diepte ook 2 maal zo groot zijn als bij éénzijdige vensterbelichting, zie fig. II-6.



Figuur II-6. Verhoudingen bij één- en tweezijdige vensterbelichting.

Gebruik van speciale dakconstructies

Om een goed diffuus verlichte ruimte te krijgen is het gewenst een 'zaagtand'- of 'lantaarn'-dakconstructie toe te passen. In figuur II-7 zijn de verhoudingen aangegeven, die voor deze wijze van verlichting gelden. Opgemerkt moet worden, dat hoe hoger de dakconstructie is, hoe meer het licht diffuus terecht beneden op het werkvlak komt.



Figuur II-7. Verhoudingen bij toepassing van een 'zaagtand'- resp. 'lantaarn'-dakconstructie.

Met nadruk moet nog gewezen worden op de noodzaak om direct op het werkvlak invallend zonlicht te kunnen afschermen. Men kan de constructie zo kiezen, dat tegelijkertijd een te sterke verwarming wordt vermeden.

II-5 Lichtbronnen (zie tabel II-6 op blz. 34)

Opmerkingen bij de tabel met de verschillende lichtbronnen. De TL-buis nr. 57 is bijzonder geschikt voor het verlichten van ruimten, waarin aan de kleurweergave hoge eisen wordt gesteld. Bij de halogeengloeilampen kan men in plaats van de lichtopbrengst te verhogen de levensduur verlengen. Het voordeel van deze lampen is, dat de ballon niet zwart wordt door verdamping van het wolframmetaal van de gloeidraad. Tot op het laatst toe blijft de lichtopbrengst ervan op peil.

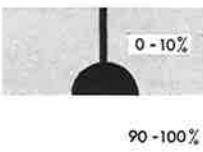
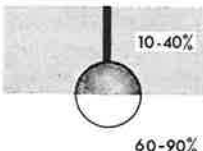
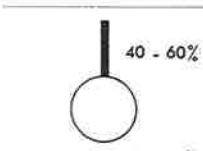
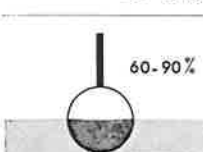
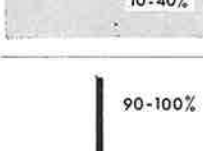
II-6 Overzicht armaturen

Er zijn verschillende soorten armaturen, waarmee men de gewenste verlichtingssterkte kan bereiken. In het algemeen onderscheidt men daarbij armaturen voor plaatselijke en algemene verlichting. In tabel II-7 zijn verschillende soorten schematisch aangegeven. Het verschil zit eigenlijk vooral in de mate van diffusiteit van het licht.

- a. Directe verlichting. Men krijgt diepe schaduwen. De kans op verblinding is groot. Veelal is deze verlichting niet aan te bevelen. Wordt hij toch toegepast, dan zullen TL-armaturen door hun lagere oppervlaktehelderheid nog het best voldoen.
- b. Overwegend directe verlichting. De schaduwen zijn minder diep. Het verblindingsgevaar is minder groot.

	Opgenomen vermogen in Watts	Totale lichtopbrengst in lumen	Lichtrendement in lumen per Watt	Levensduur in branduren	Eigenschap					Geschikt voor									
					Gerichte bundel	Bedrijfszeker	Speciale schakelapp.	Directe ontsteking	Gekleurd	Aanschaf goedkoop	Exploitatie goedkoop	Buitenverlichting	Schijnwerpers	Woonhuizen	Fabriekshallen	Magazijnen	Kantoren	Autoschijnwerpers	Kleurenzienwerk
Gloeilamp vacuum gasgevuld halogeen spiegel	15-2000 —	250-40.000	10 14 25 14	1000 —	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	
T.L.																			
29 warmtint	—	20-65	—	—			+				+	+		+					
32 warmtint de luxe	—	75-4500	—	—			+				+			+					
33 wit	—	—	40-75	4000			+				+				+				
34 wit de luxe	—	—	—	—			+				+				+	+	+		
55 daglicht	40	—	—	—			+				+				+	+	+		
57 daglicht	20-	—	—	—			+				+							+	
15, 16, 17, 18 (gekleurd)	65	—	—	—			+	+			+								+
Kwikdamplamp			85				+	+				+							
Kwikdamplamp met fluoresc. ballon	50-2000	2000- 125.000	30-60	6000		+	+				+	+			+				
Natriumlamp	40-200 4300-	30.000	100-150	3000- 6000			+	+				+							
Gas- ontladingslamp (Hoogspanning)			20-40	4000			+	+											+

Tabel II-6. Overzicht verschillende lichtbronnen.

		Gloeilampen		TL	
		Schaduw- werking	Verblin- dingskans	Schaduw- werking	Verblin- dingskans
	direct	zeer groot	zeer groot	groot	groot
	overwegend direct	groot	groot	matig	matig
	gemengd	matig	matig	gering	gering
	overwegend indirect	gering	gering	zeer gering	zeer gering
	indirect	geen	geen	geen	geen

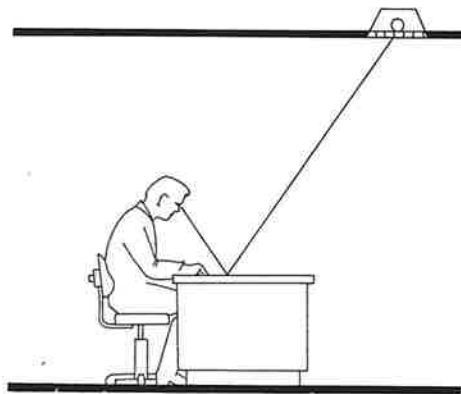
Tabel II-7. Verschillende typen verlichting.

- c. Gemengde verlichting. De diffusiteit van de verlichting lijkt op die van natuurlijk daglicht.
- d. Overwegend indirecte verlichting. Er zijn bijna geen schaduwen meer. Aan te bevelen voor werkzaamheden, waarbij het contrast aan de gezichtsscherpte hoge eisen stelt.
- e. Indirecte verlichting. Geen schaduwen. De lichtbron zelf is onzichtbaar. Het plafond verzorgt geheel de verlichting van het werkvlak.

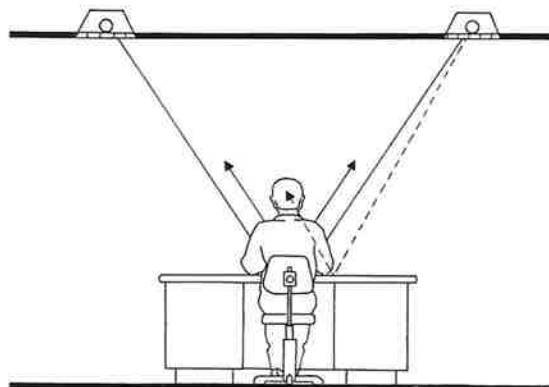
Opstelling in verband met reflecties en verblinding

Met de plaatsing van bureau's, tafels, in het algemeen het werkvlak dus, moet men oppassen voor hinderlijke reflecties. In fig. II-8 is de opstelling van de lichtbron onjuist, het gereflecteerde licht valt samen met de blikrichting, waardoor directe verblinding mogelijk is.

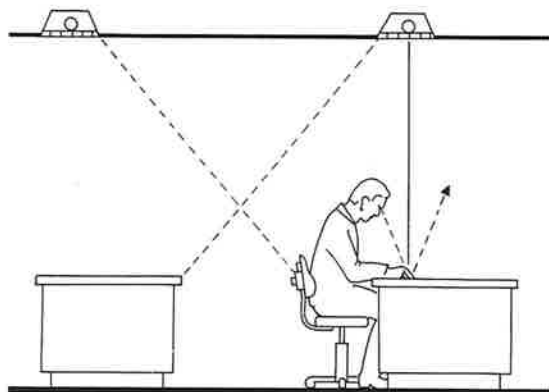
De opstelling volgens fig. II-9 wordt vaak aanbevolen omdat de armaturen zich niet in de blikrichting bevinden, maar men moet wel bedenken, dat hoewel het oppervlak van bijv. een bureau mat kan zijn, toch van een spiegelend oppervlak sprake kan zijn vanwege glimmende papieren e.d. Bij een spiegelend werkoppervlak is de beste plaats van de lichtbron zodanig boven het hoofd van de werker dat men zich zelf nog net niet in het licht zit. De volgende lichtbron moet zodanig afgeschermd zijn, dat het directe licht niet op het werkvlak kan vallen (fig. II-10).



Figuur II-8. Onjuiste opstelling van de lichtbron, het gereflecteerde licht valt samen met de blikrichting.



Figuur II-9. Voor een mat werkopervlak juiste opstelling, maar bij een spiegelend oppervlak onjuist.



Figuur II-10. Juiste opstelling, de lichtbron vrijwel boven het hoofd van de werker. De volgende lichtbron is zodanig afgeschermd dat het directe licht niet op het werkvlak kan vallen.

II-7 Verlichting van instrumenten

Voor instrumentenverlichting gelden veelal geheel andere voorwaarden (Lazet 1957).

Men kan de verlichting uitvoeren op twee manieren:

- a. uitwendig
- b. inwendig

a. *Uitwendige verlichting.* De verlichting geschiedt dan van buitenaf, dus door bestraling met een lichtbron, die buiten het paneel of instrument is geplaatst.

Voordelen: De verlichting kan eenvoudig uniform gemaakt worden. Het gehele paneel kan verlicht worden met simpele middelen. Vernieuwing van lampen gaat gemakkelijk.

Nadelen: Er worden schaduwen gevormd, bijvoorbeeld van de schuine binnenzijde van de schalen of knoppen, enz. De lichtbron kan door reflectie op glimmende paneelonderdelen (bijvoorbeeld het glas van een meter) verblindend werken. Bovendien kan licht via verstrooiing of reflectie tegen paneelonderdelen ongewenste lichthoeveelheden werpen in een verduisterde ruimte.

b. *Inwendige verlichting.* Deze wordt verzorgd door in het paneel of instrument ingebouwde lichtbronnen.

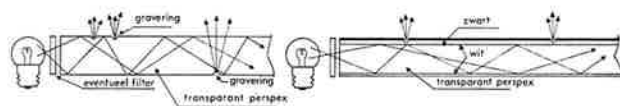
Voordelen: De ongewenste verstrooiing van licht is zeer gering te krijgen. Elk instrument kan afzonderlijk op de gewenste helderheid worden ingesteld. Er zijn geen uit het paneel stekende armaturen, die het uitzicht kunnen belemmeren.

Nadelen: De verlichting is moeilijk egaal te krijgen en de voorzijde van het paneel wordt niet verlicht. Meterschalen kunnen vaak moeilijk goed verlicht worden. Verlichting van knoppen, schakelaars e.d., is vaak ook niet gemakkelijk.

Al met al is eigenlijk de inwendige verlichting in principe wel zeer fraai. De realisering van een en ander is echter nogal ingewikkeld en vereist meestal een tijdrovend experimenteren.

Enkele suggesties voor inwendige verlichting willen we hier doen:

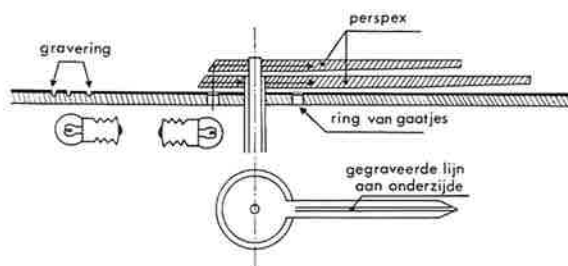
Een goed bruikbaar materiaal is bijvoorbeeld plastic. Men laat de lichtbron in het materiaal schijnen. Het licht wordt nu via de gladde oppervlakken steeds verder het materiaal ingespiegeld (totale reflectie). Wanneer men in het oppervlak een onderbreking van de gladheid aanbrengt door bijvoorbeeld een graving, dan wordt het licht vanuit deze graveringslijnen naar buiten verstrooid. De graving zal dus tegen de donker blijvende plastic plaat voortreffelijk oplichten (figuur II-11a).



Figuur II-11a-b. Verlichtingsmethode voor panelen e.d.

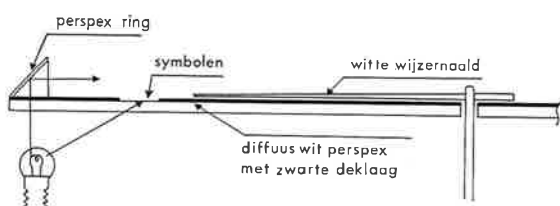
In fig. II-11b is plastic toegepast met 2 witte diffuse lagen en 1 zwarte deklaag. Wanneer men de zwarte laag weggraveert in de gewenste figuren, dan zullen de uitgegraveerde figuren oplichten tegen de overigens donkere zwarte laag. Men moet hierbij wel letten op de juiste verdeling van de lampjes in of achter het plastic, wil men namelijk alle figuren even helder doen oplichten. Het nadeel van het graveren is, dat het uiterst moeilijk is om gemaakte fouten te herstellen en dat het daardoor mogelijk is, dat er verscheidene platen afgekeurd moeten worden. Vooral als het om een hele serie van gelijke panelen gaat, is het zinvol om het transparante plastic te voorzien van een plakplastic. Dit plakplastic kan dan bedrukt worden met de gewenste figuren. Hierdoor ontstaat een veel strakker geheel dan bij het graveren en heeft tevens het voordeel, dat er kleuren gebruikt kunnen worden. Bij niet te grote aantallen heeft de z.g. silk-screenmethode bij het drukken vele voordelen.

Van indirecte verlichting van wijzerplaten geeft figuur II-12 een voorbeeld. Door gaatjes in de schaal wordt het licht in de wijzernaalden geworpen, het licht in de naalden treedt naar buiten door een gegraveerde lijn. Tevens is het mogelijk, om met dezelfde lichtbron de gradatie en de cijfers te verlichten.



Figuur II-12. Indirecte verlichting van wijzerplaten en wijzernaald.

Bij instrumenten waar de lampjes niet in het centrum geplaatst kunnen worden, levert een perspex ring een goede oplossing voor de wijzernaaldverlichting. In figuur II-13 is deze methode geïllustreerd.



Figuur II-13. Indirecte verlichting van wijzernaald door middel van perspex ring.

II-8 Kleur in de omgeving

Vele factoren bepalen de doelmatigheid van de kleur in de omgeving. De belangrijkste factoren zijn het helderheidscontrast en de nabeeldwerking van de kleur. Zo is bijvoorbeeld groen voor een operatiekamer een doelmatige omgevingskleur. De chirurg werkt onder een hoge verlichtingssterkte, waardoor de nabeeldwerking van de kleur van het bloed wordt geaccentueerd. Deze heeft de complementaire kleur van rood: groen. Indien de omgeving nu ook groen is, wordt dit nabeeld opgenomen in het groen. Als in de omgeving grote kleurvlakken in helle kleuren zijn aangebracht zal de nabeeldwerking van de kleuren zeer storend werken.

Bij grotere kleurvlakken dienen de kleurcontrasten zodanig gekozen te zijn, dat er geen te grote verschillen ontstaan. De reflectie van de kleuren moet ongeveer gelijkwaardig zijn, hierdoor ontstaat een goede luminantieverhouding.

Bij het aanbrengen van kleuren in een ruimte, dient men er rekening mee te houden, met wat voor materiaal in de ruimte gewerkt wordt. Een goed kleurcontrast tussen materiaal en omgeving vergemakkelijkt het visuele waarnemen.

Sterke kleurcontrasten mogen alleen aangebracht worden als ze dienen als zg. blikvangers voor het aangeven van schakelaars, handgrepen, knoppen, e.d. Toch moeten deze blikvangers in kleur beperkt blijven in aantal. Door teveel blikvangers in verschillende kleuren ontstaat een storend effect.

In de meeste ruimten zijn de plafonds wit, maar een wit plafond voor een ziekenkamer is minder gelukkig, omdat dit in belangrijke mate het gezichtsveld van de zieke vormt. Hier komen psychologische factoren in het geding. Zo is er o.a. de indeling van de kleuren in 'warme' en 'koele'. Warm zijn: rood, oranje en geelachtige kleuren. Groen, grijs en blauw zijn koele kleuren.

Vaak wordt van deze factoren gebruik gemaakt door bijvoorbeeld een koel vertrek (geen zon) warme kleuren en omgekeerd een warm vertrek (veel zon), koele kleuren te geven.

Men kan deze kleurcorrectie ook bij machines e.d. toepassen.

Als een vertrek langwerpig is, tracht men dit door het aanbrengen van een aandachtvragende, dus felle of ongewone, kleur op de smalste wanden een bredere indruk te geven.

Voor een psychologische kleurenstudie verwijzen wij naar de dissertatie van Kouwer (1958). De appreciatie van en de reactie op een bepaalde kleur varieert van persoon tot persoon en van tijd tot tijd bij dezelfde persoon. Voor kleurencombinaties is dit net zo, we raken vermoeid van een 'oude' kleurencombinatie en willen graag wat anders zien. Aan de andere kant leren we soms een kleurencombinatie die eerst vreemd aan-doet, toch te appreciëren, door deze dikwijls te zien. Dit voert ons naar het volgende onderwerp:

II-9 Kleurharmonie

Wanneer twee of meer kleuren naast elkaar een prettige indruk geven, noemt men dit kleurharmonie (Judd 1955). Kleurharmonie is van tal van factoren afhankelijk, o.a. de grootte van kleuroppervlakken ten opzichte van elkaar. Zo geeft een fraai mozaïek meestal een onprettig effect wanneer dit tien maal zo groot wordt aangeboden. De individuele kleuren hebben dan een te hoge verzadiging en verschillen daardoor te veel. Wat in het klein wordt gezien als een subtiele kleurschakering, vertoont bij vergroting een overheersend effect. De oppervlaktemaat is dus van invloed. Een klein grijsrood oppervlak, aangeboden tegen een helderrood, geeft een onplezierig effect. De eerste aanblik is grijsrood of grijs, maar na een paar seconden wordt zo'n oppervlak grijs of grijsachtig blauwgroen, afhankelijk van welk deel het laatst gezien werd. Maar als omgekeerd de

twee kleuren aangeboden worden, zó dat de rode punt wordt gezien tegen een grijsrode achtergrond, dan is het kleureffect veel prettiger. De rode punt wordt dan steeds waargenomen als helderrood.

Een goed principe van kleurenharmonie is: 'Harmonie vraagt vertrouwdeheid'. Kleurencombinaties die in de natuur voorkomen, geven een zekere vertrouwdeheid en worden meestal als harmonieus geïnterpreteerd.

II-10 Veiligheidskleuren bij werkkleding

Het belang van duidelijk opvallende werkkleding in situaties waar men reeds van grote afstand duidelijk waarneembaar moet zijn, wordt veelal onderschat. Het is nodig dat een automobilist of een kraandrijver zo snel mogelijk ziet of zich iemand bevindt op zijn weg, of op de plaats waar een lading gedeponeerd moet worden.

Opvallendheid is het best gewaarborgd als de helderheid en de kleur van de kleding zo sterk mogelijk contrasteren met de omgeving. Onder de meeste omstandigheden, met name ook in het verkeer, is dit het geval met fluorescerend oranje.

Ook is de zichtbaarheid op zeer grote afstand en onder ongunstige belichtingsomstandigheden het best gewaarborgd met deze kleur. Elke heldere, met de achtergrond contrasterende kleur verdient echter de voorkeur boven de overwegend grijze of bruine kleur van de dagelijkse kleding.

In het donker is het gebruik van scotchlite (glasparels) strips e.d. op kleding gunstig, daar dit materiaal vrijwel al het opvallende licht terug reflecteert in de richting van de lichtbron.

In de verkeerssituatie dienen zulke strips laag bevestigd te worden, omdat autolampen gewoonlijk laag aanschijnen.

III Visuele hulpmiddelen

Bij het samenspel tussen mens en machine zijn enorm veel visuele- en bedieningshulpmiddelen noodzakelijk. Het is haast onmogelijk een machine te bedienen zonder visuele representatie van wat de machine doet. Om de 50 km. snelheidsgrens met de auto niet te overschrijden is een regelapparaat (pedaal) noodzakelijk. Het zou echter een vreemde situatie zijn als er geen snelheidsmeter aanwezig was. Om tot een goed overzicht te komen zullen we enige van deze hulpmiddelen afzonderlijk behandelen.

III-1 Letters en cijfers

Over de vorm, grootte, lijndikte, contrast, kleur en helderheid van letters en cijfers voor diverse doeleinden is veel onderzoek gedaan. Hoewel de algemene conclusie van diverse studies aangeeft, dat ieder geval aan de hand van praktische proeven benaderd moet worden, is voor toepassingen zoals naamplaatjes op apparatuur, schalen van meters, aanduidingsborden e.d. een gestandaardiseerd alfabet gewenst. Bij het ontwerpen van zo'n alfabet zijn algemene voorwaarden te stellen (Lazet 1955):

Bij het ontwerpen van letters en cijfers dienen de herkenbaarheid en de esthetische vorm een goed samenspel te vormen.

De herkenbaarheid van letters en cijfers kan op één niveau worden gebracht (door de breedte verschillend te kiezen), maar dit moet zodanig geschieden dat geen van de letters of cijfers domineert. Ook het domineren van een bepaald onderdeel van een letter of cijfer doet aan de herkenbaarheid van het totaal afbreuk.

Scherpe hoeken zijn beter dan afgeronde hoeken.

De letter moet een open vorm hebben en niet te smal zijn.

Platte uiteinden aan de boven- en onderkant van een letter zijn beter dan puntige.

De uiteinden van de letters dienen verticaal of horizontaal te zijn. Ronde lettervormen dienen iets hoger te zijn dan de rechte vormen.

Lijndikte van letters en cijfers

De invloed van de lijndikte is gering, mits deze met gevoel voor beschaafted propoities gekozen wordt.

De beste verhouding voor donkere letters of cijfers op een lichte achter-

grond is een lijndikte van ca. $\frac{1}{7}$ van de hoogte. Voor lichte letters of cijfers op een donkere achtergrond is deze ca. $\frac{1}{10}$ van de hoogte.

Letter- en cijferspatiëring

De spatiëring is een belangrijke factor voor de herkenbaarheid van letters en cijfers. De open oppervlakte tussen de letters of cijfers moet van gelijke waarde zijn. Een foutieve spatiëring schaadt de leesbaarheid.

Letters en cijfers welke onder een hoek van 45° (verticale as) of groter waargenomen worden, moeten een 40% grotere spatiëring hebben dan de normale spatiëring (Lazet 1965).

Herkenbaarheid van kapitalen (hoofdletters) en onderkast (kleine letters)

Voor naamplaatjes met korte teksten zijn de hoofdletters beter dan kleine letters. Hoofdletters zijn beter herkenbaar, omdat zij een meer open vorm hebben en zodoende een groter oppervlak innemen. Voor langere teksten is het beter om kleine letters te gebruiken. Bij het lezen van langere teksten geven stokletters (onderkast) een betere woordherkenning.

Herkenbaarheid en kleurcontrast van letters en cijfers

Het contrast is mede bepalend voor de bereikbare gezichtsscherpte. Voor letters voldoet in de regel een zo groot mogelijk contrast met de omgeving het best (dus zwart op wit, of andersom).

Behalve de helderheid in de directe omgeving van de waar te nemen letter speelt de helderheidsverdeling in de rest van het gezichtsveld ook een rol.

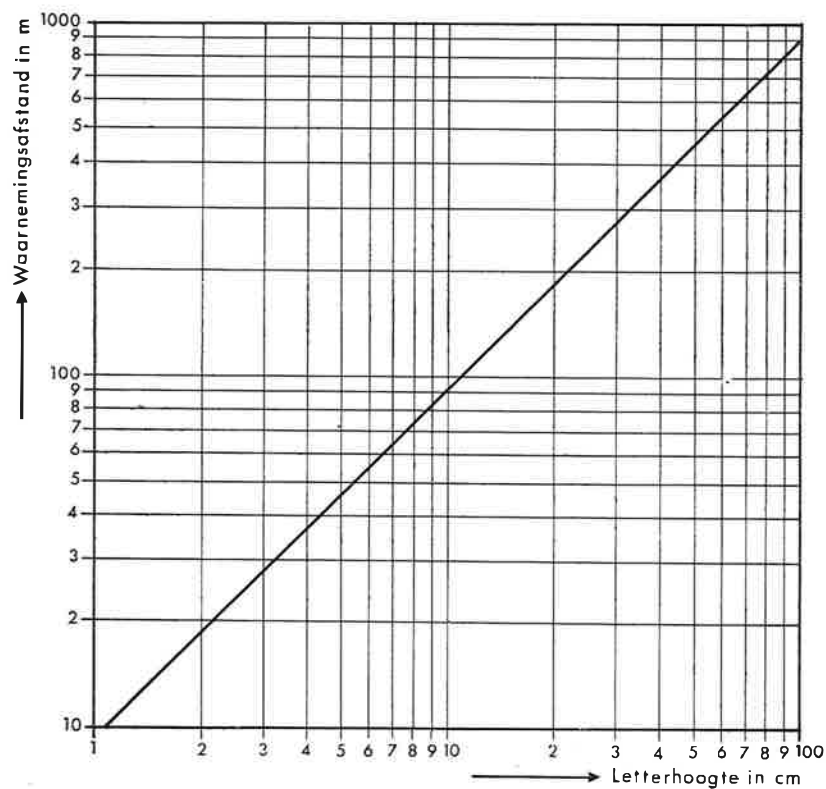
Voor naamplaatjes e.d. zal men dus, rekening houdend met het doel ervan, de heersende helderheid van de omgeving, de leesafstand en de grootte van de letters en cijfers goed op elkaar moeten afstemmen; evenals het materiaal van het plaatje, enz.

Hoewel zwarte plaatjes met witte letters optimale contrastwerking geven, kan men om esthetische redenen beter witte letters op donkergrijs kiezen.

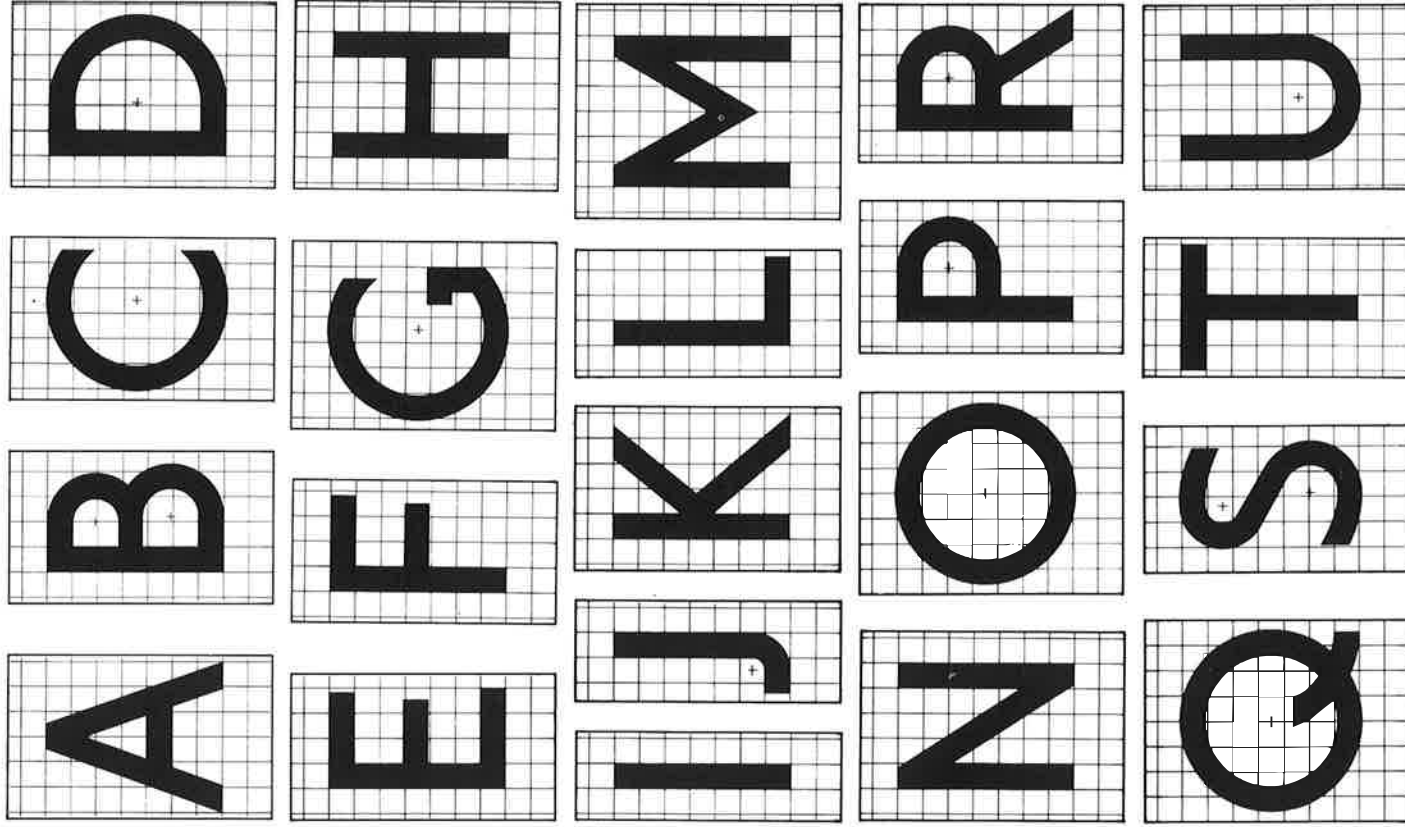
Moeten gekleurde naambordjes worden gebruikt, dan kan men voor de tekst enkele lichte, dus minder verzadigde kleuren gebruiken. Dit geldt

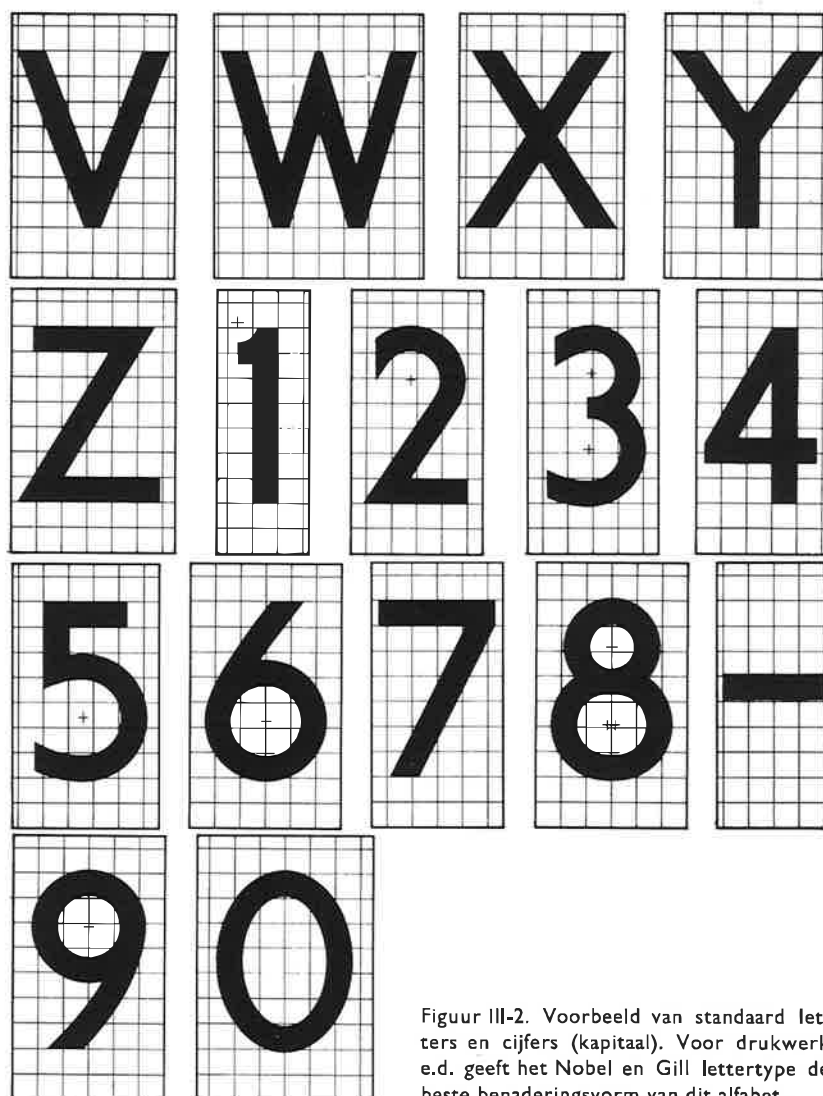
niet voor geel en oranje, die beide ook bij grote verzadiging nog een hoge remissiefactor hebben.

Overigens kan men dan beter ieder geval afzonderlijk bekijken en zonodig het gebruik van fluorescerende verven overwegen.

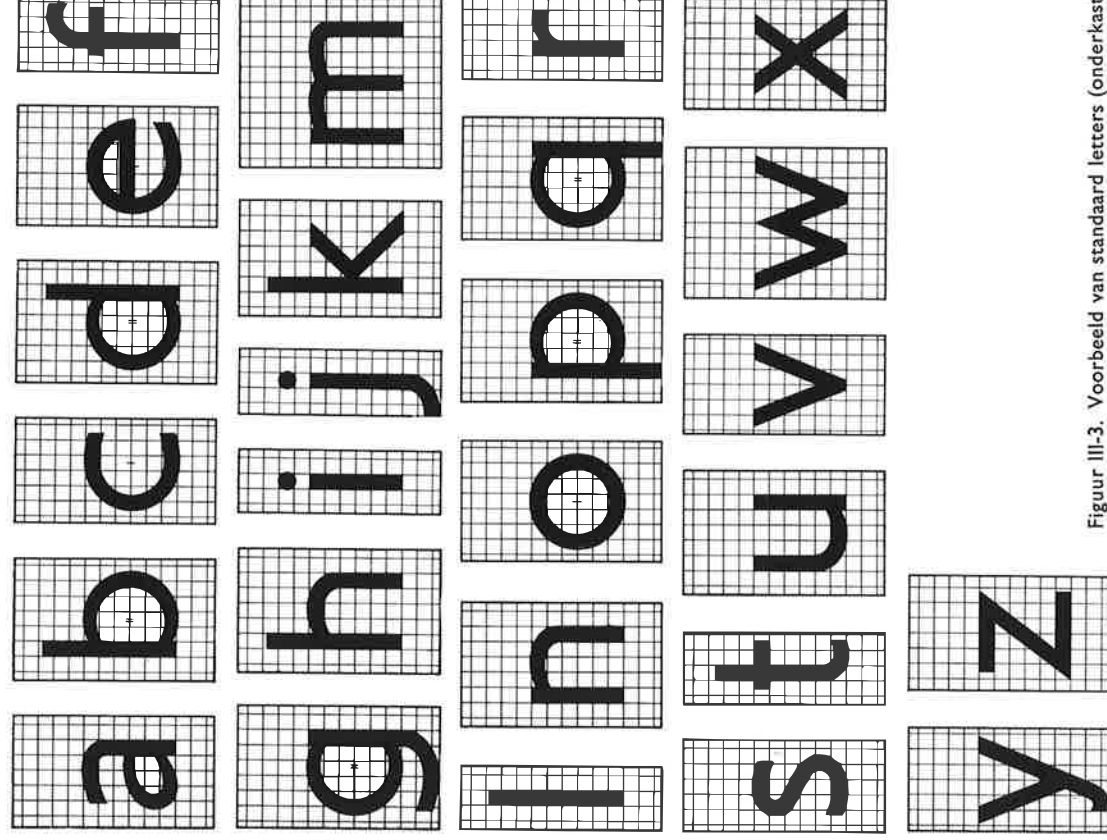


Figuur III-1. Minimale lettergrootte in verhouding tot de leesafstand. Lettertype van figuur III-2. Zwarte letters en cijfers op wit fond, verlichtingssterkte 500 lux.





Figuur III-2. Voorbeeld van standaard letters en cijfers (kapitaal). Voor drukwerk e.d. geeft het Nobel en Gill lettertype de beste benaderingsvorm van dit alfabet.



Figuur III-3. Voorbeeld van standaard letters (onderkast).

Leesafstand en lettergrootte

Welke lettergrootte gekozen moet worden voor een bepaald opschrift, is afhankelijk van de leesafstand.

In figuur II-1 is een grafiek gegeven van de lettergrootte in verhouding tot de leesafstand. Het lettertype dat bij deze grafiek gebruikt is, is volgens de voorgestelde standaard letters en cijfers van figuur III-2. De verlichtingssterkte was 500 lux en de letters waren zwart op een witte achtergrond.

III-2 Standaard letters en cijfers

In de figuren III-2 en 3 zijn letters en cijfers weergegeven welke tachistoscopisch zijn onderzocht op hun herkenbaarheid. Zowel de onderlinge herkenbaarheid als de herkenbaarheid in zinsverband zijn onderzocht.

Er is een cijfertype ontworpen, dat een minimum kans op verwarring geeft (McCormick 1957). Dit type is echter esthetisch bijzonder slecht en daardoor niet acceptabel.

De kaderlijn om de letters en cijfers van fig. III-2 en 3 geeft de spatiëring van elke letter, bij aaneensluiting van deze kaders ontstaat de goede wit-verhouding.

III-3 Meters

Meters zijn in te delen naar de wijze, waarop men de verlangde informatie afleest. Er zijn drie soorten aflezingen:

a. Kwantitatieve aflezing. Hierbij gaat het om een juist inzicht in de toestand van een machine of bepaalde apparatuur. Zo moet bijvoorbeeld de slagenteller van een scheepsmotor een juist beeld geven van het aantal omwentelingen.

Voor kwantitatieve aflezing is een teller dikwijls beter dan een meter; tellers vergen een kortere afleestijd en het foutenpercentage bij aflezen is veel minder.

b. Kwalitatieve aflezing. De meter geeft een kwalitatieve informatie van een bepaalde functie in de apparatuur. Bijvoorbeeld de temperatuurmeter van een auto geeft alleen aan of de temperatuur van het water niet te hoog is.

Bij kwalitatieve aflezing is een bewegende wijzernaald de beste oplossing.

c. Controle-aflezing. Hierbij wordt slechts aangegeven of iets werkt of niet werkt. Voorbeeld: in de auto gaat een rood lampje branden als de oliedruk wegvalt.

Een stilstaande wijzernaald met een bewegende, volledig aangeboden schaal, is niet aanbevelenswaardig. Wanneer hiervoor een schijf met opstaande rand (waarop de cijfers staan) gebruikt wordt, heeft dit wel voorkeur. Deze vensterschalen nemen op het paneel minder ruimte in en kunnen op eenvoudige wijze indirect verlicht worden.

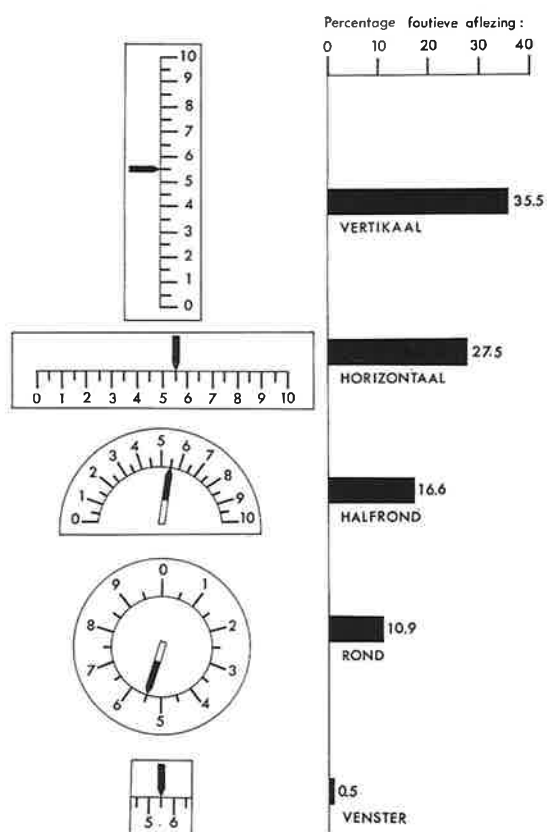
Schaalvorm

Uit vele studies blijkt, dat bij schalen de vorm van groot belang is voor de correcte waarneming. Sleight (1948) b.v. vergeleek vijf verschillende schaalvormen met onderling dezelfde grootte en afstand van cijfers, onderverdeling en wijzernaald. Bij een bepaald experiment bleek het percentage foutieve aflezing bij de vensterschaal 0,5%, bij de ronde 11%, bij de half-ronde 17%, bij de horizontale 28% en bij de vertikale schaal 35% te zijn (fig. III-4).

Het gebruik van schalen met meer dan twee wijzernaalden is in het algemeen niet aanbevelenswaardig. Zelfs onze halvedagen klok is nog te verbeteren door het gebruik van een telsysteem (digitaal). Heeft een bepaald instrument een illustrerende functie, bijvoorbeeld het aangeven van de helling van een vliegtuig t.o.v. de horizon (draaiing om eigen lengte as), dan moet deze informatie op natuurlijke wijze verstrekt worden.

In dit voorbeeld betekent dit, dat de kunstmatige horizon evenwijdig dient te blijven aan de echte horizon.

Het cijfertype op een cilindrische teller moet langer zijn dan dat van normale schalen. Door de cylindervorm van de trommels staan deze cijfers namelijk niet vlak maar cilindrisch. Uitzonderingen hierop geven trommels met afgeplatte kanten. Voor opeenvolgende aflezing van cijfers moeten deze niet sneller verspringen dan twee per seconde (Woodson 1954). Tellers moeten van links naar rechts afgelezen worden, het aflezen van boven naar beneden (vertikale teller) geeft vertraging en fouten.



Figuur III-4.
Afleesfouten
bij verschillende
schaalvormen
(Sleight 1948).

III-4 Cijfer- en graadverdeling van schalen

Een goed bruikbaar cijfertype voor schalen is aangegeven in figuur III-2. De cijferhoogte behorend bij een bepaalde leesafstand kan gevonden worden in figuur III-1.

De plaats van de cijfers op de schaal moet zodanig zijn, dat ze gemakkelijk afleesbaar zijn. Wanneer er voldoende ruimte is, is het beter de cijfers

aan de buitenkant van de gradering te plaatsen, zodat deze niet bedekt kunnen worden door de wijzernaald.

Is er weinig ruimte, dan kan het voorkeur verdienen de cijfers aan de binnenkant te plaatsen, omdat dan het grootst mogelijke oppervlak voor de gradering beschikbaar is (Kappauf 1951).

Een normale stand van de cijfers voor een stilstaande cirkelvormige schaal met bewegende wijzernaald is beter dan radiaal gerichte cijfers. De volgorde van de cijfers moet zijn van links naar rechts en voor verticale schalen van onder naar boven (Chapanis 1950). Alleen cijfers, die nodig zijn voor informatie moeten op de schaal voorkomen, een minder drukke schaal geeft een betere herkenbaarheid. Het is echter van niet minder belang hiervoor de juiste cijfers te kiezen. Een onlogische of ongebruikelijke keuze veroorzaakt fouten en vergissingen bij het aflezen. Een goede keuze zal in het algemeen de regels van ons decimale stelsel weerspiegelen. Tabel III-1 geeft enige voorbeelden van goede, middelmatige en slechte becijfering (Barber 1951).

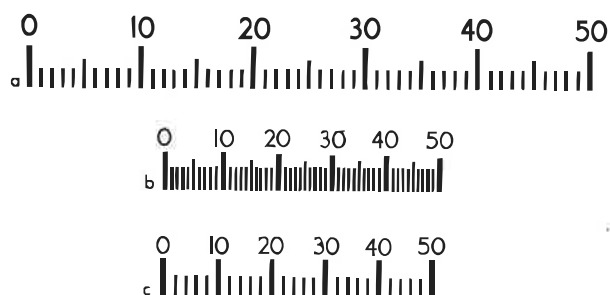
goed					middelmatig				slecht			
1	2	3	4	5	2	4	6	8	3	6	9	12*
5	10	15	20	25	20	40	60	80	4	8	12	16
10	20	30	40	50	200	400	600	800	0	2.5	5	7.5
50	100	150	200	250					0	1.5	3.0	4.5
100	200	300	400	500					30	60	90	120*

* Met uitzondering van schalen met een klokverdeling en schalen waarop hoeken afgelezen moeten worden.

Tabel III-1. Keuze van schaalcijfers (McCormick 1957).

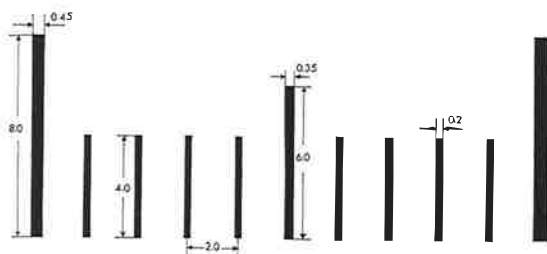
Onderverdelingen tussen schaalstrepen zijn niet altijd noodzakelijk. De eenvoudigste schaalverdeling is meestal de best afleesbare schaal. Als bijvoorbeeld een schaal nodig is met een verdeling van 0 tot 50, verdient een merken van de tientallen en een onderverdeling in eenheden de voorkeur, figuur III-5a. Wanneer dezelfde indeling echter gebruikt wordt bij een schaal met een klein oppervlak, dan is deze overladen met merktekens en

daardoor minder goed afleesbaar, figuur III-5b. Een onderverdeling in vijfen is in dit geval beter, figuur III-5c.



Figuur III-5. Hoofdverdeling, tussenverdeling en kleinste verdeling. Bij a, heeft de schaal een juiste afmeting, bij b is dezelfde verdeling niet bruikbaar. Bij eenzelfde schaalmaat is een indeling als c veel beter (Baker 1954).

In figuur III-6 wordt de relatieve maatverhouding van de graadverdeling van schalen gegeven (Baker 1964). De minimale lijndikte die gebruikt mag worden is 0.2 mm, de minimale afstand tussen de gradering is 0.8 mm. De minimale afstand tussen twee hoofdtekens is ongeveer 8 mm voor een leesafstand van 60 cm of minder.

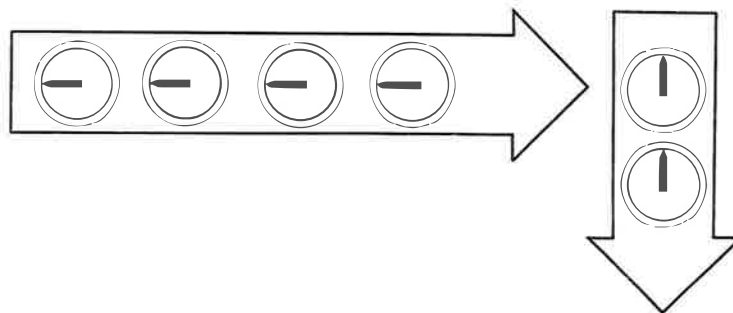


Figuur III-6. Relatieve maatverhouding van graadverdeling van schalen (Baker 1954).

Bij schalen, die gebruikt worden in donkere ruimten, zijn lichte tekens op donkere achtergrond beter herkenbaar dan omgekeerd.

Groepering van meters

Bij een goede paneelindeling is de functie van iedere meter gemakkelijk herkenbaar. De voornaamste en meest gebruikte meters moeten de beste plaats innemen in het gezichtsveld. De indeling van verschillende panelen moet zoveel mogelijk gelijkvormig gehouden worden (gestandaardiseerd). Het is gebleken, dat de plaats van het nulpunt geen invloed heeft op de afleesnauwkeurigheid. Het is dus mogelijk om bij een paneel met meerdere meters de wijzers in eenzelfde positie te laten wijzen als de meters normaal functioneren. Voor controle-aflezing, waarbij een groep van vijf of meer meters naast elkaar komt moet bij een horizontale rij meters de wijzernaald in werkende positie naar Oost of West wijzen (3 of 9 uur positie), zodat een niet goed werkende meter direct herkenbaar is. Voor een verticale rij moet de wijzernaald naar Noord of Zuid wijzen (12 of 6 uur positie). Door een bepaalde groep meters, die bij elkaar behoren, een eigen oriëntatievlak of een kaderlijn te geven, ontstaat een betere afleesbaarheid. Dit biedt tevens de kans deze kaderlijn een pijlvorm te geven, waardoor de afleesrichting wordt bepaald, figuur III-7. Een symmetrische indeling geeft een overzichtelijke presentatie.



Figuur III-7. Groepering van meters met wijzernaald in eenzelfde positie; de kaderlijn in pijlvorm geeft de leesrichting. Dit bevordert tevens snelle aflezing.

Wijzernaalden

De wijzernaald dient zodanig geconstrueerd te zijn, dat deze de merktekens niet overlapt; er dient een open ruimte tussen de wijzernaald en

de merktekens te zijn. De punt mag niet breder zijn dan het smalste merkteken. De wijzerpunt moet zo vlak mogelijk tegen de schaal aankomen, een niet aangesloten wijzerpunt veroorzaakt parallax. Een meswijzer aan het eind van de wijzernaald geeft een goede aansluiting met het schaalvlak en is voor nauwkeurige aflezing aanbevelenswaardig. Ook een goede oplossing om parallax te voorkomen is, om het gedeelte waar de wijzernaald draait, verdiept te maken, zodat de wijzernaald in het zelfde vlak komt te liggen als het gedeelte waar de merktekens op aangebracht zijn.

III-5 Hulpmiddelen bij microarbeid

Microarbeid betreft verrichtingen die door de geringe afmetingen van het werkobject aan de grens liggen van het menselijk waarnemen en handelen. Het ergonomische probleem van de microarbeid betreft tegen de achtergrond van deze definitie een tweetal zaken. In de eerste plaats is er het streven om, waar mogelijk, het microkarakter op te heffen.

Dit kan worden verwezenlijkt door optische beeldvergroting (met lenzen bijvoorbeeld) en door mechanische bewegingsverkleining (zoals met micro-manipulatoren). En in de tweede plaats poogt men de omstandigheden waaronder gewerkt moet worden zo gunstig mogelijk te maken, waardoor de grens van het menselijk kunnen wordt uitgebreid.

Langdurig werken is namelijk alleen mogelijk wanneer men niet op de grens van zijn kunnen balanceert. Beide, schaalvergroting en verbetering van de werkconditie, verhogen derhalve de prestatie. Soms kan dit verhogen van het comfort bestaan uit een slechts gedeeltelijke opheffing van het microkarakter van het werk. Wij denken hierbij bijvoorbeeld aan het werken onder een prepareermicroscoop. Optisch gezien is er van een microarbeid geen sprake meer, maar de manipulatie geschiedt nog steeds direct op microschaal. In zo'n geval ontstaat dan het probleem van de verstoorde oog-hand coördinatie, omdat de kinestetische informatie niet meer op natuurlijke wijze correspondeert met de visuele.

Opheffen en vergemakkelijken van microarbeid kan het eenvoudigst worden beschreven door een overzicht te geven van de beschikbare hulpmiddelen. Deze vallen uiteen in optische, motorische en tactiele. De problemen van de kinestetische-visuele coördinatie zullen waar nodig en voor zover bekend bij diverse hulpmiddelen worden behandeld.

III-6 Optische hulpmiddelen bij microarbeid

De zichtbaarheid van kleine objecten kan op uiteenlopende wijze worden verbeterd. De meest directe en voor de hand liggende verbetering bestaat in de vergroting van de gezichtshoek waaronder het werkobject wordt gezien. Maar er bestaan ook indirecte hulpmiddelen, die de zichtbaarheid verbeteren, zoals verhoging van het lichtniveau, vermindering van glans, verstandig gebruik van schaduwwerking, enzovoorts. Hoewel men vaak een combinatie van deze twee typen van zichtbaarheidsverbetering aantreft, lenen zij zich goed voor een afzonderlijke behandeling. Eén opmerking vooraf lijkt niet overbodig. Laat een ieder die regelmatig microarbeid doet zich laten onderzoeken op refractie afwijkingen (lichtbreking van het oog). De ervaring leert, dat tevelen geheel onbewust en onnodig met aanzienlijke refractie afwijkingen hun werk doen, uiteraard met meer moeite en minder prestatie.

Vergroting van de gezichtshoek

Bij bijna alle hulpmiddelen, die vergroting van de gezichtshoek bewerken, doet zich de vraag voor of men binoculair dan wel monoculair werken moet nastreven. Dit kan bij elk hulpmiddel pas zinvol worden beslist wanneer we ons hebben gerealiseerd wat de voor- en nadelen van binoculair werken zijn. Het bezit van twee ogen heeft drie voordelen:

- a. Het maakt diepteziens mogelijk
- b. Het vergroot ons gezichtsveld
- c. We hebben een reserve.

Het is duidelijk dat alleen het eerste punt relevant is voor microarbeid. Slechts het diepteziens kan als motief gelden om binoculaire optiek te gebruiken. Iedere redenering berustend op het twee-weten-meer-dan-één principe is ondeugdelijk gebleken. Bij sommige optische systemen blijkt integendeel het zoeken naar fusie zo vermoeiend en tijdrovend dat de prestatie duidelijk slechter is dan bij monoculair werken.

Men dient dus op te passen met het letterlijk koste wat 't kost doorvoeren van binoculaire middelen. Waar nodig zal hierop in het volgende worden teruggekomen.

Dichtbij halen

Zonder enige twijfel de eenvoudigste en meest gebruikte manier om een klein voorwerp beter te bekijken, is het dichterbij halen. Wie jong is kan dienovereenkomstig accommoderen (= ooglenzen boller maken) en convergeren (= oogassen naar binnen draaien). Met het ouder worden neemt deze mogelijkheid sterk af. Maar voor jong en oud geldt, dat sterk accommoderen vermoeit. De natuur heeft de transistormontage niet voorzien. Daarom dient ook voor jonge mensen verschaffing van een werkbril te worden overwogen bij langdurig werken op korte afstand. In vele gevallen zal, waar het werk zulks vraagt, een bifocale bril voldoen, die het mogelijk maakt ook veraf te blijven zien.

Verkleining van de werkafstand kan het best worden verkregen door de werktafel te verhogen. Vooroverbuigen is dan niet nodig. Wel kan dit het manipuleren enigszins bemoeilijken, maar vaak kan hieraan tegemoet worden gekomen door de werktafel hellend te plaatsen (tekentafel). Zou de werkafstand tot minder dan 15 cm moeten worden teruggebracht dan krijgt men moeite de convergentie vol te houden. Afdekken van één oog biedt slechts in schijn uitkomst, omdat fusie en accommodatie sterk gekoppeld zijn. Men moet dan naar verdere optische hulpmiddelen omzien.

Projectie

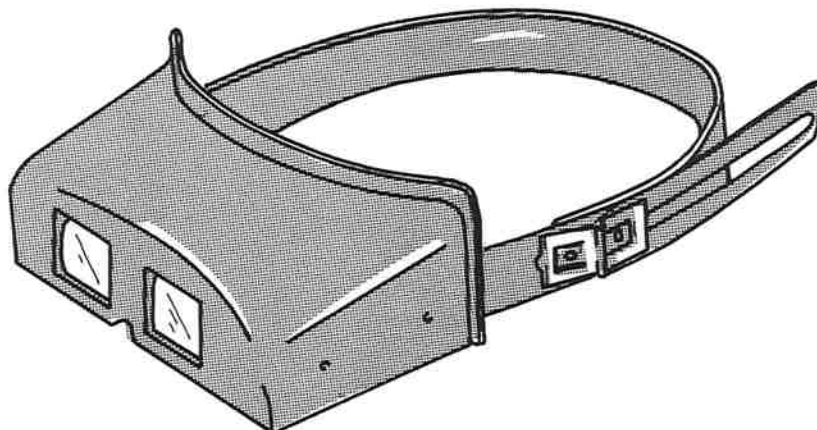
Alvorens over te gaan tot het gebruik van loepen en microscopen, dient men te overwegen of projectie uitkomst zou kunnen bieden. Vrijwel alle optiek heeft het nadeel dat de waarnemer slechts beperkte bewegingsvrijheid heeft met zijn hoofd. Het turen door oculairen is vaak een vervelende en vermoeiende bezigheid. Men verkrijge zich daar niet op, ook al ervaart men deze vermoeienis nauwelijks meer door de macht der gewoonte. Daarom moet hiertoe niet worden overgegaan wanneer andere oplossingen mogelijk zijn. Projectie kan zo'n oplossing zijn. Uiteraard zijn de mogelijkheden van projectie beperkt. Projectiemicroscopen zijn lichtzwak en men zal dus vaak de omgevingsverlichting moeten aanpassen aan die van het scherm. Maar bovendien neemt de gezichtsscherpte af met afnemende helderheid, zodat men meer zal moeten vergroten om dezelfde

detailscherpte te krijgen als bij direct zicht. Een soortgelijke redenering geldt in verband met de korrelige structuur van het projectiescherm. Maar in vele gevallen, waar het object contrastrijk en de gewenste vergroting niet te sterk is, kan een projectiemicroscop uitkomst bieden. Projectiemicroscopen zijn commercieel verkrijgbaar in vergrotingen van $7\times$ - $50\times$. Zij lenen zich in het bijzonder voor werkzaamheden, die enkel visueel van aard zijn. Dit is het geval bij vele tel- en meetproblemen, als ook bij eindcontroles. Projectie is minder aan te bevelen als aan het object gemanipuleerd moet worden. De oog-hand coördinatie is namelijk in hoge mate verstoord. De projectieve techniek is uiteraard onmogelijk wanneer diepteperceptie een essentiële rol speelt bij het werk.

Loepen

Wanneer accommodatie- en fusieprobleem te groot worden en met vergrotingen tot ongeveer $20\times$ kan worden volstaan komt men terecht in de sfeer van de loepen. Deze zijn in schier eindeloze variaties te verkrijgen. Het is zinvol onderscheid te maken tussen vergrotingen tot ongeveer $3,5\times$ en vergrotingen van $3,5\times$ tot $20\times$. Bij de kleinste vergrotingen kan men de loep aan het hoofd bevestigen. Bij de sterkere vergrotingen levert dit moeilijkheden omdat de scherptediepte zo gering wordt dat kleine hoofdbewegingen het beeld reeds onscherp maken. Men moet dan de loep vastzetten ten opzichte van het object, met het nadeel dat men slechts geringe bewegingsvrijheid met het hoofd overhoudt. Dit geldt des te meer omdat bij sterk vergrotende loepen de uittreepupil klein pleegt te worden. Voegen wij daaraan toe, dat tegelijkertijd ook de werkafstand tussen loep en object steeds kleiner wordt en dus de loep zelf bij het manipuleren in de weg gaat zitten, dan wordt duidelijk dat de sterk vergrotende loep nauwelijks kan worden aanbevolen voor continue arbeid. Slechts wanneer incidenteel een grote visuele precisie vereist is kan zo'n sterk vergrotende loep worden aanbevolen. In deze situatie is een gemakkelijk wegklapbare lens het overwegen waard. Wij noemen in het kort een aantal soorten loepen, zonder volledig te zijn.

- a. Handleesloep. De gebruikelijke huishoudloep, vergroot niet veel meer dan $2\times$. Is een beetje bruikbaar voor alles, onbruikbaar voor enige specifieke taak.
- b. Vouwloep (inklapbare zakloep). Verkrijgbaar in vergrotingen van 3 tot $20\times$, soms met meer vergrotingen in één handvat. Een handig hulpmiddel voor incidentele microarbeid, onbruikbaar voor continue taken.
- c. Horlogemakersloep. Deze wordt als monocle in de oogkas geklemd. Een zeer gangbare loep in de micro-instrumentmakerij, gewoonlijk $3-8\times$ vergrotend. Het inklemmen in het ene, het dichtknijpen van het andere oog zijn vermoeiend, de werkafstand is klein. Bij de versie waarbij de loep wegklapbaar aan het brilmontuur bevestigd is, vervalt het inklembezwaar, maar de asymmetrische brilbelasting komt daarvoor in de plaats. Kan niet worden aanbevolen voor beroepsarbeid van lange duur.
- d. Kaartleesloep. In allerlei vergrotingen leverbaar. Ingebouwde verlichting en schuin aangebracht handvat maken deze loep tot een zeer bruikbare inspectieloep.

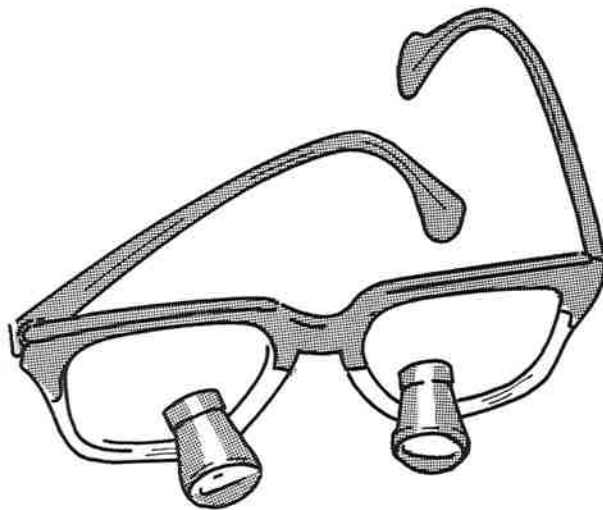


Figuur III-8. Afbeelding van een binoculaire hoofdloep.

- e. Binoculaire hoofdloep. Deze wordt op enige afstand van het hoofd gedragen zodat de werkafstand – bestaande uit de afstand oog-loep, tot

de afstand loep-object – niet al te klein wordt. Met prismatische glazen wordt de fusievermoeidheid opgeheven. De lenzen zitten in een kap die het nut heeft de omgevingsinformatie te beperken (oog-hand coördinatie), en toch nog enig onderdoorzicht toe te laten wanneer men iets in de verte wil zoeken. Deze loep wordt veel gebruikt bij fijn tekenwerk. Het gebruikelijke vergrotingsbereik is ongeveer $2-3,5 \times$.

f. Binoculaire tafelloep. Deze kan op een statief worden geplaatst en is zo groot dat met beide ogen door dezelfde lens wordt gekeken. Men zit met het hoofd een eind boven de loep, zodat het gezichtsveld in twee delen uiteenvalt: het vergrote en het niet vergrote. Gevolg is dat de visuele informatie over de handbeweging eveneens tweedelig is, wat de oog-hand coördinatie zeer bemoeilijkt. Gewenning zal niet gauw optreden omdat men van omgevings-informatie moet abstraheren. Afscheiding van deze omgeving lijkt daarom wenselijk. De vergroting loopt uiteen van ongeveer 1.5 tot $6 \times$.

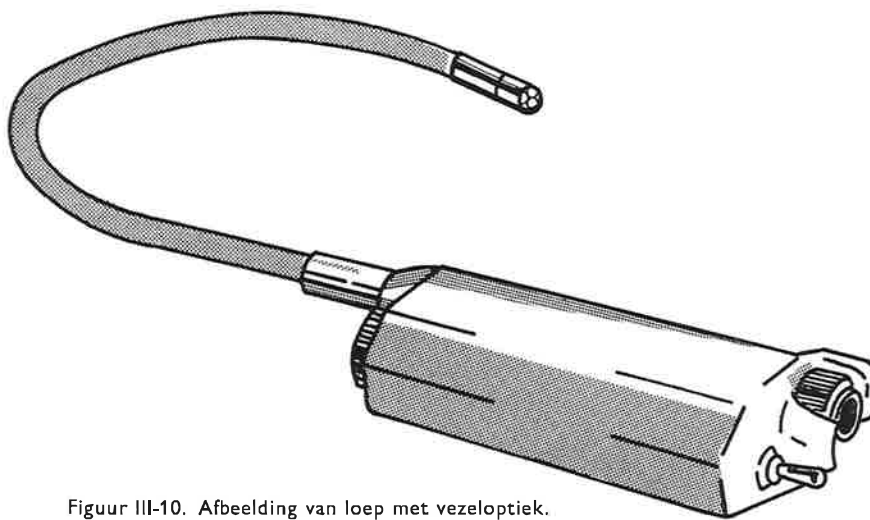


Figuur III-9. Afbeelding van een binoculaire brilloloep.

g. Binoculaire brilloloep. De loepen worden op de gewone bril vastgekit. Ze zijn zo klein, dat normaal zien buiten de loepjes mogelijk blijft. Alleen

een deel van het gezichtsveld kan vergroot worden gezien. Het vinden en vasthouden van fusie is betrekkelijk vermoeiend. De brilloop is onder andere in gebruik bij oogartsen als operatiebril. De vergroting gaat een factor 2 niet te boven.

h. Loep met vezeloptiek. Hoewel het niet op onze weg ligt, sterk aan een bepaald gebruik aangepaste optiek te behandelen, moge hier toch genoemd worden de met vezeloptiek uitgeruste loep, die speciaal geschikt is voor inspectie van moeilijk toegankelijke hoeken en gaten. De vezelkabel dient zowel voor de beeldgeleiding als voor object-verlichting.



Figuur III-10. Afbeelding van loep met vezeloptiek.

Microscopen

Moet men meer vergroten dan ongeveer $10\times$, dan komt men in een gebied waar een microscoop gewenst kan zijn. Het kijken door een microscoop heeft vele nadelen. Zo verplicht het kleine oculair de waarnemer oog en hoofd voortdurend in de juiste positie te houden, zodat miniatuurarbeid hier overgaat in tuurarbeid. Een aantal andere nadelen komt hier nog bij: een groot werkobject kan alleen met veel gemanipuleer onder een

microscop in al zijn details worden bekeken. Verder is de oog-hand coördinatie onder een microscoop ernstig bemoeilijkt. Het natuurlijke verband dat bij veel loep-opstellingen nog bijna onaangetast blijft, is hier geheel verstoord: Men ziet het beeld door een microscoop 'omgekeerd'. Deze nadelen maken een microscoop vaak tot een noodzakelijk kwaad bij microarbeid. Men ga dus niet te snel over tot het gebruik ervan. Toch biedt een microscoop ook aanzienlijke voordelen boven andere optische apparatuur. Zo geeft een microscoop bij eenzelfde vergroting een groter gezichtsveld dan een loep. Zowel verlichting als scherpstelling zijn soepel regelbaar. De afstand tussen oog en hand blijft normaal. Een zeer groot voordeel is, dat de vrije voorwerpafstand, d.i. de afstand tussen objectief en object groot is, zodat manipulatie goed mogelijk blijft. Er zijn microscopen verkrijgbaar, die tot een vergroting van $50\times$ een vrije voorwerpafstand van ongeveer 10 cm behouden. Dit is voor manipulatie ruim voldoende. Verder is de vergroting gemakkelijk regelbaar. Wanneer men tot het gebruik van microscopen moet overgaan, lette men er eerst op dat het hoofd voldoende steun wordt gegeven, zodat een gespannen houding wordt voorkomen. Dit kan door middel van een kinsteun en een hoofdsteun. De kinsteun moet niet horizontaal staan, maar naar de waarnemer toe schuin oplopen. Verder kan men het oculair voorzien van een oogschelp. Het voordeel hiervan is dat de positie van het oog voor de waarnemer beter controleerbaar is, en vooral dat informatie uit de omgeving wordt afgeschermd. Nog lang niet alle moderne microscopen zijn met een oogschelp uitgevoerd.

Voorts kiezen men de vergroting niet groter, dan voor de werkzaamheden noodzakelijk is. Dit zowel met het oog op de hand-oog coördinatie als met betrekking tot de grootte van het gezichtsveld en de mate van scherptediepte. De scherptediepte bij een microscoop is gering en neemt ongeveer kwadratisch af met de vergroting. Waar men bij $50\times$ vergroting nog een scherptediepte haalt van ongeveer $\frac{1}{4}$ mm is dit bij $100\times$ nog slechts $\frac{1}{20}$ en bij $200\times$ $\frac{1}{70}$ mm. De te kiezen vergroting hangt af van de leeftijd van de waarnemer. Toch is het effect van de afnemende gezichtsscherpte gering. Een verslechtering van hooguit $2\times$ tot aan de pensioengerechtigde leeftijd is normaal. Van de vele in de handel zijnde microscopen noemen we enkele hoofdtypen.

a. Monoculaire microscoop. Veel miniatuurarbeid kan met deze microscoop geschieden. Neem geen andere microscoop wanneer het met dit type kan. Deze microscoop heeft nl. onmiskenbare voordelen boven binoculaire microscopen. Binoculaire fusie is hier geen probleem. Eventueel storende informatie uit het andere oog kan worden voorkomen, door een zwart vlekje aan te brengen, zó dat het veld van dat oog geheel wordt afgedekt. Vermoeidheid die optreedt bij langdurig met één oog kijken, ontstaat niet op grond van het asymmetrische visuele proces, maar op grond van secundaire factoren, zoals het enigszins toeknijpen van het niet gebruikte oog. Een vermoedelijk afdoend hulpmiddel hiertegen is het gelijk maken van de tactiele indruk voor de twee ogen: breng een zelfde oogschelp aan voor het ongebruikte oog (een zg. pseudo-oculair). Het specifieke nadeel van een monoculaire microscoop is dat men er weinig diepte-informatie door kan krijgen.

b. Stereomicroscoop. Dit instrument heeft twee oculairen en twee objectieven. Met dit instrument kan men binoculaire diepte-informatie krijgen. Het bereik van deze diepte-informatie wordt beperkt door de scherptediepte van de microscoop. Een stereomicroscoop is dus overbodig wanneer het beoogde dieptebereik de scherptediepte bij de gekozen vergroting duidelijk overschrijdt. Dit zal vooral bij sterke vergrotingen een belangrijke rol gaan spelen. De fusie bij een stereomicroscoop is een moeizame zaak. Er is geen 'natuurlijke' informatie meer over de noodzakelijke convergentie. Een bijdraaien der oogassen over een hoek van 10-20° kan bij elke nieuwe instelling nodig blijken. Dit bijdraaien wordt nog extra bemoeilijkt wanneer de microscoop, zoals meestal het geval is, niet van oogschelpen is voorzien. De versmelting wordt nl. gestuurd vanuit de contouren in de twee monoculaire velden, terwijl vooral het perifere gezichtsveld hiertoe bijdraagt. Informatie uit het veld rondom het oculair kan daardoor zeer storend werken. Fusiemoetheid en prestatieverlaging (tot 30%) treden op met een stereomicroscoop. Deze microscoop moet slechts worden gebruikt wanneer diepte-informatie niet gemist kan worden.

c. Pseudostereomicroscoop. Dit is een microscoop met twee oculairen en één objectief (met een gesplitste lichtweg dus). Deze microscoop kan

alleen maar worden afgeraden. De nadelen van de vorige twee microscopen worden hierin verenigd. Diepte-informatie kan men hiermede niet verkrijgen, terwijl fusiemoetheid tot prestatieverlaging leidt. Bovendien treedt meer dan 50% lichtverlies op door de splitsing van de lichtweg.

d. Zoommicroscop. Vaak is slechts bij enkele kritieke onderdelen van het werk sterke vergroting gewenst, zodat een gemakkelijke regeling van vergroting tijdens het werk voordelen kan bieden. Door middel van een zoomlens-optiek is regeling van vergroting mogelijk zonder wijziging in de scherpstelling.

Zoommicroscopen zijn verkrijgbaar met vergrotingsbereik van de normale microscoop, terwijl men ook zoomstereomicroscopen kan krijgen met een continue vergrotingsregeling van 3,5 tot 120 $\times$. Voor incidentele inspectie bestaat er ook een goedkoper, klein zoommicroscopje, dat door middel van drie pootjes als een loop boven het werk kan worden geplaatst; vergroting 10-30 $\times$.

e. Binoculaire tekentube. Door deze tube op de microscoop te plaatsen, verenigt men de lichtwegen vanaf het object en vanaf een naast de microscoop gelegen tekenvel. Het object kan op deze wijze eenvoudig worden nagetekend. Dit is een aanzienlijke verbetering t.o.v. de in zwang zijnde techniek, nl. om met een oog door het objectief van een microscoop te kijken, terwijl men met het andere oog naar het naast de microscoop gelegen tekenpapier kijkt. Dit stelt hoge eisen aan de beheersing van de convergentie. Het onderhavige apparaat geeft een prismatische menging van de twee velden, zodat men er in beginsel ook monoclair mee zou kunnen werken (hetgeen misschien zelfs is aan te bevelen, omdat het een pseudostereoscopie is).

Praktische wenken

Een aantal praktische wenken moge deze paragraaf over vergroting van de gezichtshoek besluiten.

- a. Gebruik voor controlewerkzaamheden zoveel mogelijk projectie.
- b. Gebruik geen zwaarder geschut dan nodig is. Gebruik geen loop als het ook zonder kan. Gebruik zeker geen microscoop als het met een

goede loep ook kan. Gebruik geen binoculaire microscoop, wanneer het met een monoculaire ook kan.

c. Gebruik nooit te sterke vergrotingen. Oog-hand coördinatie, scherpte-diepte en omvang van gezichtsveld worden hierdoor nadelig beïnvloed.

d. Dit overzicht is noodzakelijk beperkt: er zijn voor allerlei specifieke taken, specifieke optische middelen op de markt. Bekijk daarom de mogelijkheden zorgvuldig alvorens de werksituatie definitief in te richten.

III-7 Indirecte hulpmiddelen bij microarbeid

Vaak kan men het gebruik van 'zware' optiek aanzienlijk comfortabeler maken door de waarneming met indirecte middelen te vergemakkelijken. Deze comfort-eis klemmt des te meer naarmate degene die met microarbeid belast is ouder is. De benodigde hoeveelheid licht en de gevoeligheid voor verblinding bijvoorbeeld nemen duidelijk toe met de leeftijd.

Contrastverbetering

De contrasten in het werkvlak dienen noch te sterk noch te zwak te zijn. Dit klinkt vaag om niet te zeggen nietszeggend.

Een nauwkeuriger specificatie is echter nauwelijks te geven. Wij kunnen slechts wijzen op de facetten die een rol kunnen spelen; de betrokkene zelf zal vaak moeten experimenteren om een optimum – voor hem of haar! – te bereiken. Een enkel voorbeeld moge dit toelichten. Om een weefselpatroon op regelmaat te toetsen is een flink contrastrijke aanbieding in doervallend licht wenselijk. Men ziet dan echter zo goed als niets van de structuur van de draden zelf. Om de structuur van een zwarte draad te bekijken zal men hem liefst tegen een donkere achtergrond in scheef opvallend licht bekijken (schaduwwerking). De kunst is, relevante contrasten op te voeren ten koste van irrelevante. Als vuistregel kan men aanhouden, dat helderheidsvariëaties over meer dan een factor 3 geen winst en meestal slechts verlies plegen te geven.

Te sterke contrasten kunnen optreden wanneer de verlichting zo is opgesteld, dat slagschaduwen optreden. Een zekere schaduw is vaak bijzonder nuttig ter accentuering van de diepte-informatie, slagschaduwen echter plegen storend te werken. Wij wezen reeds op het bestaan van

loepen met ingebouwde verlichting. Deze zijn veelal zo geconstrueerd dat de hoek tussen oogas en belichtingsrichting ongeveer 30° bedraagt. Te sterke contrasten treden verder ook gemakkelijk op wanneer lichtbronnen in het gezichtsveld aanwezig zijn. Deze leiden gemakkelijk tot overstraling. Vermijd daarom open lichtbronnen in het gezichtsveld. Bedenk ook, dat glanspunten aan de objecten als een soort verkapte open lichtbron kunnen optreden. Deze weerkaatsen vaak het omgevingslicht in hinderlijk grote intensiteit. Vooral treedt dit op bij metallische of glazige oppervlakken. Een drietal oplossingen doet zich hier voor. Het meest simpel is natuurlijk, de glanzende voorwerpen te verwijderen of te matteren. Maar vaak zal dit niet kunnen door de aard van het werkobject zelf. Dan kan gebruik gemaakt worden van een gericht licht. Als de glansrichting van ons afgekeerd is, is het probleem opgelost. Tenslotte kan men voor niet-metallische glans met profijt van gepolariseerd licht gebruik maken. Men kan polarisatie op twee plaatsen toepassen: tussen oog en werkobject b.v. met een polaroid zonnebril; met een stukje polaroid in het oculair van de optiek bijvoorbeeld; of tussen lichtbron en object, eveneens met polaroid, of wanneer men grote werkruimten op deze wijze wil 'ontglanzen' met daartoe speciaal in de handel gebrachte 'rondom polariserende lichtbakken' (Multi-layer polarizing panel, Blackwell 1961). Deze zelfde middelen staan ten dienste wanneer door een over-all glans te weinig contrast over het hele werkobject bestaat. Dit treedt gemakkelijk op bij papier of textiel-weefsel. De richting van het opvallend licht is hier meestal de kwaaddoener. Laat miniatuurarbeid nooit met het gezicht naar een helder raam verrichten.

Te weinig contrast treedt ook op wanneer het licht *onvoldoende* gericht is. Dit treedt gemakkelijk op bij de thans alomtegenwoordige TL-verlichting. Zo'n lichtbron moet, hoe voortreffelijk in menig opzicht ook, bij micro-arbeid vaak worden aangevuld met een extra gerichte lichtbron. Dit geeft dan bij een goede over-all verlichting een accentuering van contouren zonder de contrasten te sterk op te voeren.

Verlichtingsverhoging

Voer met behoud van het gestelde over het contrast de verlichting zo hoog mogelijk op. Men bedenke hierbij echter, dat niet slechts simultaan

doch ook successief contrast van belang is. Het moet niet zo zijn dat we, opkijkend van ons werk, in een oncomfortabel duister staren en, ons werk hervattend, verblind worden. Men bedenke voorts, dat meerdere lichtbronnen, van verschillende kanten op het werk gericht storend kunnen werken omdat elk detail dan meer dan één schaduw krijgt. Het is gebleken, dat gerichte verlichting bij voorkeur van links boven in het gezichtsveld moet komen. Doet men dit niet dan worden gemakkelijk haut en bas-relief verkeerd om geïnterpreteerd.

Coderingen

Onder sommige omstandigheden kan men vorm en uiterlijk van het object tot op zekere hoogte zelf kiezen. Met name in de industrie kan men soms de te verwerken materialen coderen door vorm, kleur of glans. En omgekeerd, wanneer een kritiek detail een bepaalde kleur heeft, kan men het door geschikte kleur van de belichting soms accentueren. Deze mogelijkheid is natuurlijk niet beperkt tot microarbeid, maar wel moet men bij microarbeid met een extra probleem rekening houden, namelijk de specifieke kleurenzwaarte van de mens voor kleine objecten. Naast een algemeen teruglopen van het kleuronderscheidingsvermogen naarmate de objecten kleiner worden, geheel parallel aan het teruglopen van de contrastgevoeligheid, is er namelijk een zeer specifieke teruggang die maakt, dat de tegenstellingen geel/wit, blauw/zwart en paars/bruin praktisch geheel wegvallen. Wil men dus meerdere kleuren tegelijk gebruiken als codering, dan gebruike men bij voorkeur combinaties van rood, groen en geel (maar pas op bij kleurenblinden!).

De kleurverschillen kunnen dan nog wat geaccentueerd worden door ze ongelijk helder te maken.

Oudere mensen worden wat minder blauwgevoelig. Wanneer blauw een essentiële rol speelt in het werkobject, kan men hen helpen door de verlichting iets blauwig te kleuren.

Kan dus onder omstandigheden het gebruik van kleuren het herkennen van objecten vergemakkelijken, men leze uit het bovenstaande niet een aanbeveling van het werkobject een bonte lappendeken te maken. Teveel kleur vermoeit het oog en draagt dus allesbehalve bij tot het werkcomfort. Een andere wijze van codering is die door vorm. Vormcoderingen

hebben een dubbele zin. Zij kunnen de visuele onderscheidbaarheid van de objecten verhogen, maar tevens vergemakkelijken ze vaak het tactiele onderscheiden.

Bij veel microarbeid waarbij aanvankelijk de informatie langs visuele weg binnenkomt, bestaat het leren juist hierin, dat men meer en meer op de tast gaat werken. Men vergelijke slechts, om een huiselijk voorbeeld te gebruiken, de wijze waarop resp. een man en een vrouw een draad door het oog van een naald pleegt te steken. Elke vormcodering binnen het werkobject die dit leerproces kan bevorderen is gunstig.

IV Auditieve waarneming

Een belangrijk deel van onze informatie komt tot ons via ons gehoororgaan. Dit betreft in de eerste plaats de communicatie tussen mensen onderling door middel van de taal. Daarnaast heeft ons gehoor ook een belangrijke functie in het waarnemen van allerlei andere geluiden, die ons inlichten over wat er in onze omgeving gebeurt, hoe werktuigen en machines zich gedragen, enz.

Met name bij gebruik van waarschuwingssignalen doet zich vaak de vraag voor of men deze visueel of auditief zal aanbieden. Hoewel de voorkeur sterk afhankelijk is van de feitelijke situatie, zijn toch wel enkele algemene regels te geven. Het heeft voordeel om van het gehoor gebruik te maken wanneer:

1. de informatie-overdracht onafhankelijk dient te zijn van de richting waarin men kijkt (bijv. oproepsystemen);
2. reeds zoveel informatie door het oog dient te worden verwerkt dat een verdere opvoering hiervan vermeden dient te worden;
3. visuele waarneming onmogelijk is doordat in het donker moet worden gewerkt of de informatiebron zich niet in dezelfde ruimte als de waarnemer bevindt.

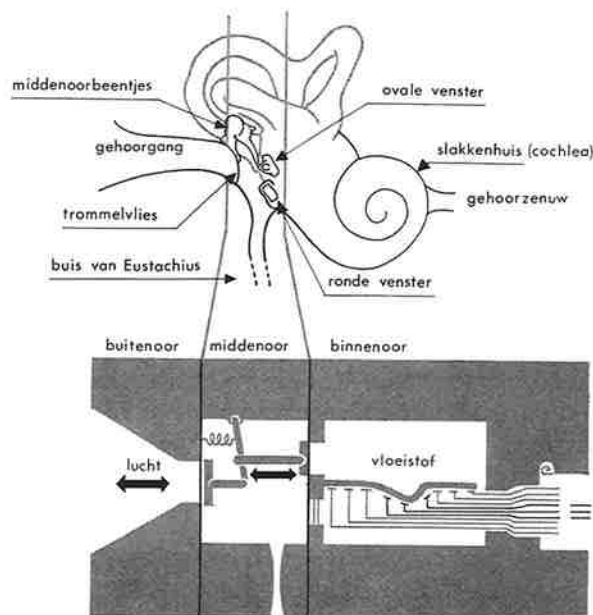
De keuze tussen spraak en kunstmatig opgewekte signalen wordt in de eerste plaats bepaald door wat men wil overdragen. Gaat het om uitvoerige berichten en moet de inhoud ervan zonder voorafgaande training begrijpbaar zijn, dan verdient spraak de voorkeur. Eenvoudige berichten lenen zich echter uitstekend voor auditieve overdracht met behulp van tonen of tooncombinaties waarvan belanghebbenden de code kennen. Om de kans van waarneming zo groot mogelijk te maken, dienen deze tonen uit een groot aantal harmonischen te bestaan en kan men gebruik maken van modulatie in sterkte en toonhoogte (sirene).

IV-1 Bouw en werking van het gehoororgaan (van Bergeyk 1961)

Men pleegt in het gehoororgaan drie delen te onderscheiden: het buitenoor, het middenoor en het binnenoor. Het *buitenoor* bestaat uit de oorschelp en de gehoorgang, aan het einde afgesloten door het trommelvlies. Het *middenoor* is een achter het trommelvlies liggende holte, die door de buis van Eustachius in verbinding staat met de mondholte.

De bewegingen van het trommelvlies worden via de middenoorbeentjes

overgebracht op een plaatje dat in het ovale venster heen en weer kan bewegen. Dit venster vormt het begin van het *binnenoor*, dat in verband met zijn typische vorm slakkenhuis of cochlea wordt genoemd. De cochlea staat nog met een tweede venster, het door een vlies afgesloten ronde venster, in verbinding met de holte van het middenoor. De cochlea zelf is een met vloeistof gevulde spiraalvormige buis, door de basilaire membraan over bijna haar gehele lengte in tweeën verdeeld. De beide vensters liggen elk aan een zijde van deze membraan. In figuur IV-1 is de bouw van het gehoororgaan schematisch weergegeven.



Figuur IV-1. Schematische voorstelling van het gehoororgaan (Woodson 1954).

In het kort kan de functie van de genoemde delen van het oor als volgt worden aangeduid. Het buitenoor vangt het geluid op, waardoor het trommelvlies in beweging wordt gebracht. De middenoorbeentjes dragen

deze trillingen over op de vloeistof van de cochlea. Dank zij dit mechanisme heeft deze overdracht een veel groter rendement dan zonder middenoorbeentjes het geval zou zijn geweest. In de cochlea vindt een frequentie-analyse van het geluid plaats, doordat de basilaire membraan de merkwaardige eigenschap heeft om ten gevolge van een sinusvormige trilling in een 'zweepvormige' beweging te komen, waarvan de plaats van maximale uitslag met de frequentie varieert. Hoge frequenties resulteren in een maximum dicht bij het ovale venster, terwijl voor lagere frequenties het maximum steeds verder naar het andere einde van de cochlea verschuift. Tegen de basilaire membraan ligt over zijn gehele lengte het orgaan van Corti waarin de bewegingen van de membraan worden omgezet in elektrische impulsen die via de gehoorzenuw naar de hersenen worden geleid. Tot 2000 à 4000 Hz worden de momenten waarop deze impulsen ontstaan, bepaald door de uitwijking van de basilaire membraan. Het gevolg hiervan is dat, voor frequenties beneden deze grens, periodicititeiten in de geluidstrillingen kunnen worden waargenomen.

We zien dus, dat het oor zowel in staat is om een frequentie-analyse uit te voeren als om periodicititeiten te detecteren (Plomp 1965, Ritsma 1965). De grens van het eerstgenoemde vermogen wordt bepaald door de zgn. kritieke bandbreedte, die boven 500 Hz ongeveer 17% van de frequentie en beneden 500 Hz ongeveer 90 Hz bedraagt. Tonen uit een complex kunnen slechts afzonderlijk worden waargenomen wanneer zij een onderlinge afstand hebben groter dan deze bandbreedte. Daarnaast geldt, dat periodieke geluidstrillingen, die in feite uit een groot aantal sinusvormige componenten (harmonischen) kunnen bestaan, dank zij de eenduidige periodicititeit in de praktijk steeds als een toon met een enkele toonhoogte worden waargenomen. Deze toonhoogte is gelijk aan die van de grondtoon, ook in gevallen dat de grondtoon zelf zeer zwak of afwezig is.

De relatieve sterkte van de harmonischen bepaalt het timbre van de toon, terwijl de luidheid gekoppeld is aan het aantal door het orgaan van Corti geproduceerde zenuwimpulsen per tijdseenheid.

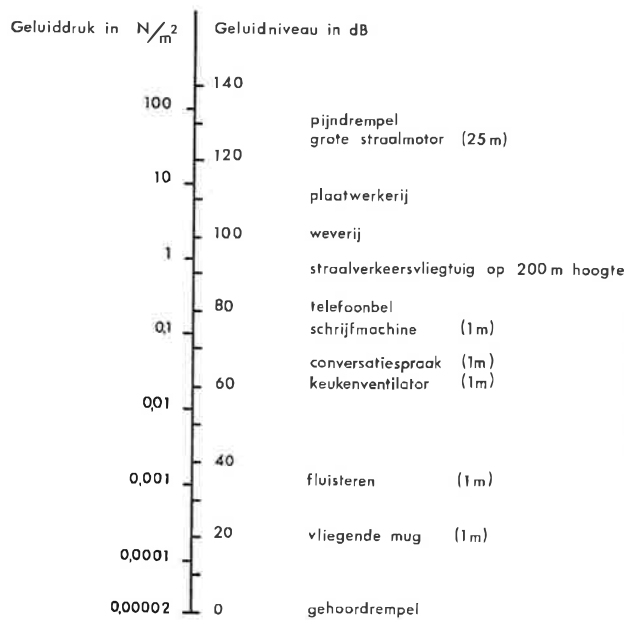
In het bovenstaande is uitsluitend ingegaan op het horen met één oor. Het feit, dat er een verband bestaat tussen de uitwijking van de basilaire membraan en de momenten waarop in ieder van onze oren zenuwimpulsen ontstaan, wordt in de hersenen gebruikt om tijdsverschillen tus-

sen de op de oren vallende geluiden te bepalen, hetgeen de basis is voor het waarnemen van de richting van geluiden.

IV-2 Meten van geluidniveaus

Alvorens enkele numerieke gegevens van onze gehoorfuncties mede te delen, zullen we eerst de vraag behandelen op welke wijze het geluidniveau wordt vastgelegd.

Daar het oor over een zeer groot bereik geluidsdrukken van elkaar kan onderscheiden, gebruikt men hiervoor een logaritmische maat.

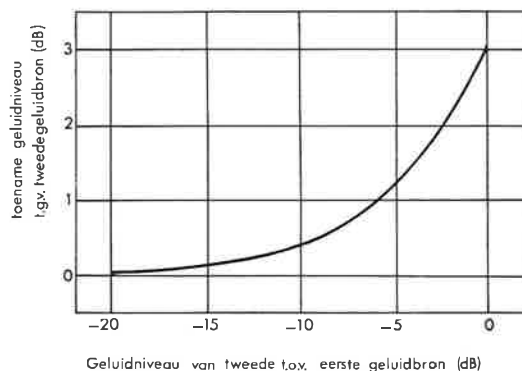


Figuur IV-2. Enkele voorbeelden van geluidniveaus. Tussen haakjes is de afstand tot de geluidbron aangegeven.

Deze maat is de *decibel* (afgekort: dB), als volgt gedefinieerd:

$$\text{geluidniveau in dB} = 20 \cdot 10 \log \frac{P}{P_0}$$

waarbij P de zgn. effectieve waarde van de betreffende geluidsdruk is en P_0 de effectieve waarde van een standaard-geluidsdruk. Hiervoor heeft men genomen $2 \cdot 10^{-5}$ newton/m² ($= 2 \cdot 10^{-4}$ dyne/cm²), ongeveer overeenkomend met de geluidsdruk van een nog juist waarneembare toon met een frequentie van 1000 Hz (afgeleid van hertz, aantal trillingen per seconde). Ter oriëntatie is in figuur IV-2 een aantal voorbeelden van geluidsniveaus gegeven.



Figuur IV-3. Toename van het geluidsniveau t.g.v. een tweede geluidbron die alleen ter plaatse een geluidsniveau geeft dat het aantal aangegeven dB onder dat van de eerste bron ligt.

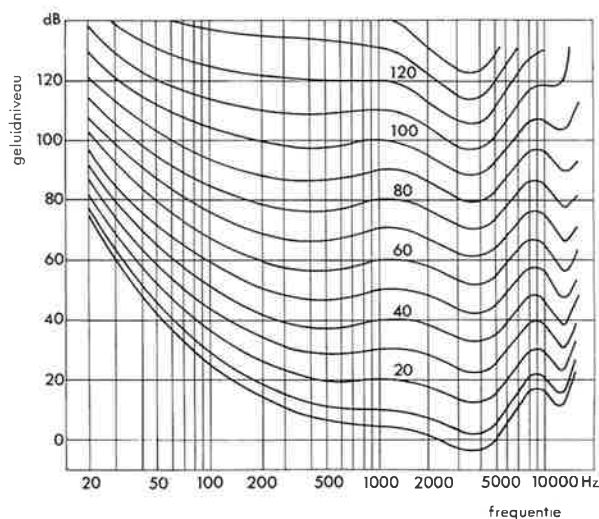
Bij het optellen van geluidsniveaus van verschillende bronnen mag niet worden vergeten, dat dit op basis van de intensiteit dient te geschieden, waarbij de kromme van figuur IV-3 kan worden gebruikt. Uit deze grafiek volgt dus dat 2 bronnen met gelijke geluidsniveaus op een bepaalde plaats, samen een 3 dB hoger geluidsniveau geven dan elk van hen afzonderlijk. Geluidsniveaus worden gemeten met behulp van een apparaat dat in zijn eenvoudigste vorm bestaat uit een microfoon, die de geluidstrillingen in elektrische spanningswisselingen omzet, waarna deze worden versterkt en aan een spanningsmeter toegevoegd. Een in stappen van 10 dB regelbare verzwakker maakt het, tesamen met de in dB geijkte schaal van het aflees-instrument, mogelijk om over een groot bereik het geluidsniveau te meten. De eisen waaraan een dergelijke geluidsniveaumeter dient te voldoen, zijn in internationaal verband vastgelegd door de International Electrotechnical Commission (IEC-Recommendation 123).

In vele gevallen is het gewenst niet alleen het totale geluidniveau te kennen, maar ook de wijze waarop het geluid uit componenten van verschillende frequenties is samengesteld. Om dit frequentiespectrum te meten, gebruikt men een geluidanalysator. Dit is een geluidniveaumeter voorzien van afzonderlijke inschakelbare bandfilters, waardoor achtereenvolgens voor elk van het door de verschillende filters doorgelaten frequentiegebied het geluiddrukkniveau kan worden gemeten. Voor geluiden die een breed frequentiegebied bestrijken, hebben de filters meestal een breedte van een octaaf (verhouding hoogste tot laagste afsnijfrequentie steeds gelijk aan 2). De middenfrequenties van de filters dienen overeen te komen met de door de International Organization for Standardization vastgestelde waarden (ISO-Recommendation R 266), waarbij 1000 Hz als uitgangspunt genomen is. Vooral bij geluiden met scherpe overgangen tussen frequentiegebieden met veel en weinig energie is het gewenst smallere bandfilters te gebruiken, ter breedte van $1/2$ of $1/3$ octaaf. Wanneer men geluidniveaus, gemeten met filters van verschillende bandbreedten, met elkaar wil vergelijken, dient men rekening te houden met het feit dat de door een filter doorgelaten energie evenredig is met de bandbreedte, hetgeen betekent dat voor een geluid met een vlak spectrum de met een octaafilter gemeten waarden 3 dB hoger zijn dan met een $1/2$ -octaafilter en 5 dB hoger dan met een $1/3$ -octaafilter gemeten waarden. Bevat een geluid sterke sinusvormige componenten, dan kan men beter analyseren met nog smallere bandfilters, waarvan de middenfrequenties continu gevarieerd kunnen worden.

IV-3 Enkele gegevens over de gehoorfuncties

1. Gehoordrempel

Onder de gehoordrempel verstaan we het minimale geluidniveau waarbij nog juist een gehoorgebaarwording optreedt. Het verloop van deze drempel is, gemiddeld voor jonge personen tussen 18 en 25 jaar zonder gehoorafwijkingen, in figuur IV-4 weergegeven (onderste kromme). Voor hogere leeftijd verschuift de gehoordrempel; de gemiddelde grootte van dit gehoorverlies is in figuur IV-5 getekend (Spoor 1967).

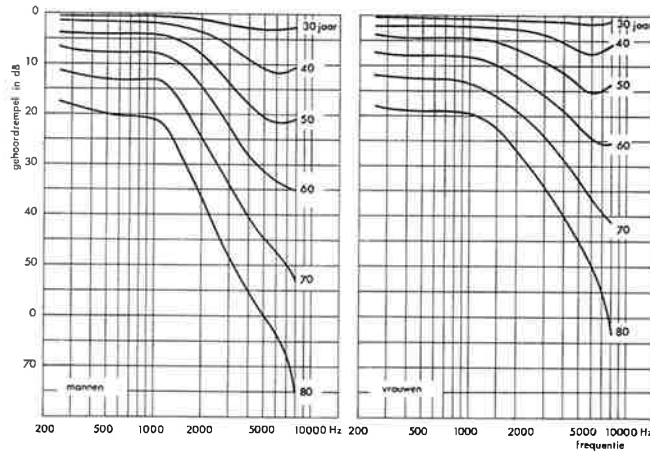


Figuur IV-4. Gehoordrempel en lijnen van gelijke luidheid voor zuivere tonen (ISO-Recommendation R 226).

De in figuur IV-4 gegeven gehoordrempel geldt voor tonen met een duur groter dan ca. 0.2 sec. Voor kortere geluiden bepaalt niet alleen het geluidniveau de drempel, maar ook de duur. Als regel kan worden aangehouden dat voor geluiden korter dan 0,2 sec met een halvering van de duur een drempelverhoging van 3 à 4 dB correspondeert.

2. Relatie geluidniveau en luidheid

Hoewel de luidheid van een geluid in de eerste plaats bepaald is door het geluidniveau, mogen we deze twee grootheden niet met elkaar verwarren; de eerstgenoemde heeft betrekking op de gewaarwording, de tweede op de fysische prikkel. Dit onderscheid kan blijken uit het feit, dat twee tonen met hetzelfde geluidniveau gewoonlijk verschillend in luidheid zijn. In figuur IV-4 zijn een aantal krommen getekend, die corresponderen met tonen van gelijke luidheid. Men drukt de luidheid uit in foons: deze is numeriek gelijk aan het geluidniveau van een zuivere toon van 1000 Hz van dezelfde luidheid. Daar foons evenmin als decibels bij elkaar mogen worden opgeteld, wordt de luidheid ook wel uitgedrukt



Figuur IV-5. Gemiddelde gehoordrempel als functie van de leeftijd, ten opzichte van de gemiddelde gehoordrempel voor jonge personen.

in soons, die wel optelbaar zijn. Daar deze maat in de praktijk weinig wordt toegepast, zullen we hierop niet verder ingaan. Voor geluidstoten korter dan ca. 0,1 sec. is de luidheid mede afhankelijk van de duur. Halvering hiervan doet de luidheid ongeveer 3 foon afnemen.

3. Maskering

Onder maskering verstaan we het verschijnsel dat de aanwezigheid van een geluid de gehoordrempel van andere geluiden verhoogt. Deze maskering is het grootst voor geluiden met hetzelfde frequentiespectrum. Voor zuivere tonen is gevonden dat lagere tonen hogere meer maskeren dan omgekeerd. Dit verschijnsel treedt sterker op naarmate het geluidsniveau hoger en de maskerende toon lager in frequentie is.

De waarneembaarheid van geluiden zoals tonen en spraak wordt over een groot traject in geluidsniveau uitsluitend bepaald door de zgn. signaal-lawaai verhouding, gedefinieerd als het geluidsniveau van het waar te nemen geluid minus het geluidsniveau van het lawaai (beide in dB uitgedrukt). Deze regel geldt voor lawaai met een breed frequentiegebied,

niet voor zuivere tonen. Het betekent dat geluiden die in hoge mate worden gemaskeerd door lawaai, niet beter hoorbaar worden wanneer men beide geluiden versterkt. Alleen een vergroting van de signaal-lawaai verhouding kan hier uitkomst bieden.

Evenals bij de absolute gehoordrempel, geldt ook hier dat de maskeringsdrempel voor geluiden korter dan 0.2 sec bij halvering van de duur met 3 à 4 dB toeneemt.

4. *Juist hoorbaar verschil in geluidniveau*

Onder gunstige omstandigheden zijn veranderingen in geluidniveau waarneembaar wanneer zij meer dan ca. 1 dB bedragen. Deze regel geldt voor geluidniveaus, die de gehoordrempel meer dan ca. 30 dB overschrijden.

5. *Juist hoorbaar verschil in frequentie*

Voor tonen met een duur groter dan ca. 0,1 sec zijn onder gunstige omstandigheden veranderingen in frequentie waarneembaar, wanneer zij meer dan ca. 0,3% bedragen. Deze waarde geldt over een groot gedeelte van het audio-frequentiegebied en voor geluidniveaus, die de gehoordrempel meer dan ca. 30 dB overschrijden. Dit betekent dat het oor bijzonder gevoelig is voor frequentieverschillen. Deze gevoeligheid neemt af naarmate de toonduur kleiner is. Als redelijke benadering kan worden aangehouden dat, voor tonen korter dan ca. 0,1 sec, het juist waarneembare verschil in frequentie omgekeerd evenredig met de duur is.

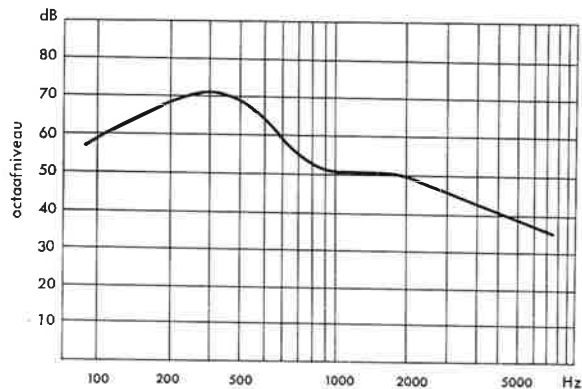
IV-4 Spraak

1. *Geluidspectrum*

Fysisch gezien bestaat spraak uit luchtdrukvariaties van een zeer complex karakter. De klinkers kunnen worden opgevat als periodieke trillingen waarvan de energie, al naar de stand van de tong en de lippen, voornamelijk in twee frequentiebanden is geconcentreerd. Deze formanten liggen alle binnen het gebied van ca. 200 tot 3000 Hz, zodat dit gebied voldoende is om de klinkers te herkennen. Voor de andere spraakelementen, met name de explosieve (p, b, t, d, k,) en de fricatieve (f, v, s, z, sj, g, h) mede-

klinkers wordt de herkenning vooral bepaald door het frequentiegebied van ca. 750 tot 8000 Hz.

In figuur IV-6 is het gemiddelde geluidsspectrum van spraak, gemeten op 30 cm vóór de mond, weergegeven (Dunn 1940).



Figuur IV-6. Gemiddeld geluidsspectrum van spraak op 30 cm vóór de mond.

2. Verstaanbaarheid bij spraakoverdracht

Er zijn vele factoren die bij spraakoverdracht op de verstaanbaarheid van invloed zijn, met name bij gebruik van telefoniesystemen. Deze factoren hebben betrekking op:

a. *Verstaanbaarheid van de stem.* Bij lawaai als storende bron van de spraakoverdracht is luid spreken van voordeel; schreeuwen moet echter worden vermeden, daar dit de verstaanbaarheid doet afnemen. Uiteraard is onder ongunstige condities, vooral omdat daarbij de medeklinkers veelal het meest te lijden hebben, een zorgvuldige uitspraak met een beklemtoning van de medeklinkers van belang.

b. *Aanwezigheid van lawaai.* In vele gevallen is lawaai de belangrijkste belemmerende factor van een goede spraakoverdracht. De maskerende werking hiervan is, zoals we reeds zagen, een functie van de signaal-lawaai verhouding. Als ruwe benadering kan gelden dat, voor de meest voorkomende typen continu lawaai, zinnen nog correct worden verstaan bij een signaal-lawaai verhouding van 0 dB (geluidniveau van het lawaai gelijk

aan geluidniveau van de spraak). Enige gegevens over de toelaatbare lawaainiveaus in ruimten worden hieronder nog afzonderlijk medegedeeld.

Bij spraakoverdracht via een telefonieverbinding moeten we onderscheid maken tussen lawaai, dat via de microfoon wordt opgenomen en lawaai, dat bij de luisteraar binnendringt. Voor het eerste geldt, dat bij gebruik van een goede microfoon nog een redelijke verbinding mogelijk is bij lawaai met een geluidniveau van ca. 100 dB. In dit geval dient de microfoon dicht bij de lippen gehouden te worden. Bij hogere geluidniveaus is het noodzakelijk om zgn. gradiëntmicrofoons toe te passen, die veel minder gevoelig zijn voor omgevingslawaai dan normale microfoons. Met gradiëntmicrofoons van goede kwaliteit is zelfs bij lawaai van 120 dB nog een aanvaardbare spraakverstaanbaarheid te bereiken. In het geval van omgevingslawaai bij de luisteraar is het gewenst hoofdtelefoons te gebruiken die in goed afdichtende kappen zijn aangebracht. De laatste jaren zijn hiervan uitstekende uitvoeringen ontwikkeld, die bij lawaai van ca. 120 dB nog voldoende verzwakking van het omgevingslawaai geven om een redelijke spraakoverdracht te waarborgen. Wordt bij de weergave van luidsprekers gebruik gemaakt, dan wordt een maximale verstaanbaarheid verkregen wanneer de spraak en het lawaai zoveel mogelijk uit verschillende richtingen komen.

c. *Vervorming van het telefonesysteem.* Mede in verband met de technische voordelen van bandbreedtebeperking, wordt dit type vervorming vaak toegepast, hetgeen tot vermindering van de verstaanbaarheid leidt. Terwijl voor een volkomen natuurgetrouwe weergave het frequentiegebied van ca. 100 tot 8000 Hz gelijkmatig dient te worden doorgelaten, kan uit het oogpunt van de verstaanbaarheid met het gebied van ca. 300 tot 3000 Hz worden volstaan. Verlaagt men de bovengrens nog meer, dan wordt de herkenbaarheid van de medeklinkers kleiner dan in het algemeen aanvaardbaar is. Niet-lineaire vervorming in de vorm van amplitudebegrenzing heeft weliswaar een nadelige invloed op de natuurgetrouwheid, maar nauwelijks op de verstaanbaarheid, vooral wanneer men aan dit type vervorming gewend is. In gevallen dat de spraakoverdracht belemmerd wordt door ruis of lawaai aan de ontvangzijde of, bij draadloze verbindingen, door atmosferische storingen onderweg, is het juist van

voordeel aan de zendzijde amplitudebegrenzing in combinatie met extra versterking toe te passen (Licklider 1948).

d. *Voorspelbaarheid van het gesprokene*. De uitdrukking 'een goed verstaander heeft aan een half woord genoeg' is ook bij spraakoverdracht onder moeilijke omstandigheden ten volle geldig. Het betekent, dat in dit geval bijv. complete zinnen nog goed zijn te verstaan, maar losse woorden matig en éénlettergrepige woorden zonder betekenis (zgn. logatomen) als gep, pam, e.d. slecht. In het algemeen kan men zeggen dat een zinverstaanbaarheid van ruim 90%, hetgeen voor een redelijke verbinding aanvaardbaar is, met een logatoomverstaanbaarheid van ca. 40% correspondeert. Wordt spraakoverdracht in een bepaald geval slechts voor een beperkte doelstelling gebruikt, dan is het bij bijv. sterk omgevingslawaaï van groot belang de vocabulaire zo klein mogelijk te maken, waarbij de luisteraar op de hoogte is van de woorden die hij kan verwachten, en hierbij woorden te gebruiken met een zo gering mogelijke kans op verwarring.

IV-4 Geluidniveau in zalen

In de bovenstaande behandeling van factoren, die de verstaanbaarheid van spraak bepalen, is de invloed van nagalm buiten beschouwing gelaten. Nagalm is een gevolg van herhaalde reflectie van geluid en is daarom voornamelijk van belang in het kader van de akoestische eigenschappen van zalen. We zullen hierop zeer in het kort ingaan, waarbij alleen de vraag van het geluidniveau wordt besproken.

Bij een gelijkmatig in alle richtingen stralende geluidbron bestaat er een eenvoudig verband tussen afstand en geluidniveau, gegeven door

$$L_1 - L_2 = 20 \log \frac{d_2}{d_1}$$

waarbij L_1 het geluidniveau (in dB) is op afstand d_1 , L_2 het niveau op afstand d_2 . Dit betekent dat bij verdubbeling van de afstand het geluidniveau 6 dB afneemt, bij vertienvoudiging 20 dB, enz.

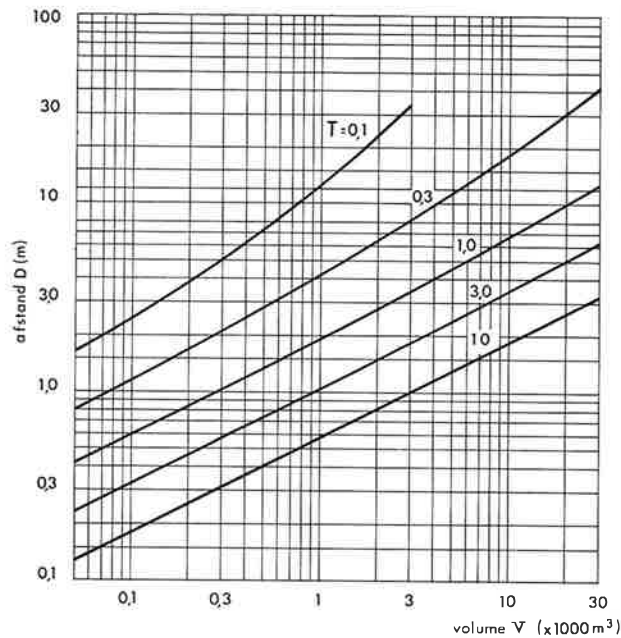
Bevindt de geluidbron zich echter in een gesloten ruimte, dan wordt het geluid voortdurend door de wanden, de vloer en het plafond weerkaatst.

Bij benadering geldt, dat dan de hierboven gegeven relatie tussen geluidniveau en afstand tot een bepaalde afstand D van de geluidbron opgaat, maar dat, tengevolge van de reflecties, het geluidniveau voor $d > D$ niet verder afneemt, maar gelijk is aan het niveau op afstand D . De grootte van D (in m) wordt bepaald door het volume V (in m^3) van de zaal en de nagalmtijd T (in sec) volgens een relatie die bij benadering kan worden weergegeven door

$$D = \frac{1}{16} \sqrt{\frac{V}{T}}.$$

De nagalmtijd T is gedefinieerd als de tijd waarin het geluidniveau van een uitstervend geluid 60 dB daalt en is een functie van het volume en de totale geluidabsorptie van de ruimte. In figuur IV-7 is de meer exacte relatie, met T als parameter, grafisch weergegeven.

De betekenis van deze grafiek kan op de volgende wijze worden toegelicht. Voor geluiden, die men over een grote afstand moet kunnen horen, is het van belang de afstand D , waarover het geluidniveau afneemt, zo klein mogelijk te maken, waardoor het niveau voor grotere afstanden zo hoog mogelijk is. Zoals figuur IV-7 aangeeft, correspondeert een kleine waarde van D met een grote nagalmtijd. Met het oog op het geluidniveau zouden we bijv. toneel- en muziekzalen een grote nagalmtijd willen geven. We hebben echter ook te maken met het feit dat bij spraak en muziek zowel het geluidniveau als het frequentiespectrum voortdurend veranderen. Willen we deze snelle veranderingen kunnen waarnemen, dan mag de nagalmtijd niet te groot zijn. In de praktijk is gebleken, dat voor toneelzalen een nagalmtijd van ca. 1 sec en voor concertzalen en kerken een tijd van ca. 1,5 sec optimaal is. Deze tijd is nog enigermate afhankelijk van het volume van de zaal en de frequentie. Is daarentegen de verspreiding van geluid over grote afstanden juist ongewenst, zoals bijv. in restaurants, dan dient de waarde van D zo groot mogelijk te zijn, hetgeen bereikt kan worden door een kleine nagalmtijd. De lijnen van figuur IV-7 geven aan, hoe in al deze gevallen het geluidniveau in de zaal afhangt van het volume en de nagalmtijd. Voor een uitvoeriger behandeling van de verschillende factoren, die de akoestiek van zalen bepalen, zij verwezen naar de betreffende vakliteratuur (de Lange 1962).



Figuur IV-7. Afstand D waarover het geluidniveau 6 dB per verdubbeling van de afstand afneemt als functie van het volume V van de zaal en de nagalmtijd T .

IV-5 Toelaatbare geluidniveaus van lawaai

In onze sterk geïndustrialiseerde maatschappij wordt door motoren, machines en werktuigen zoveel lawaai geproduceerd, dat maatregelen noodzakelijk zijn om de geluidniveaus binnen aanvaardbare grenzen te houden. De vraag, welke niveaus nog toelaatbaar zijn, kan niet in het algemeen worden beantwoord, maar wordt door een groot aantal factoren bepaald. In belangrijke mate hangt het antwoord af van het oogpunt van waaruit de overlast van lawaai bekeken wordt. Hieronder worden de belangrijkste in het kort behandeld.

1. Hinder van lawaai

De belangrijkste factoren, die de hinder van lawaai bepalen, zijn het geluidniveau en het frequentiespectrum. In de laatste jaren is een methode

ontwikkeld om, uitgaande van het geluidsspectrum van het lawaai, deze hinder in een enkel beoordelingscijfer vast te leggen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de in figuur IV-8 weergegeven krommen die ieder door een cijfer zijn aangeduid dat gelijk is aan het met de kromme corresponderende geluidsniveau in de octaafband met 1000 Hz als middenfrequentie. Deze cijfers zullen hier, in aansluiting aan de engelse benaming, NR-cijfers worden genoemd, afgeleid van Noise Rating Number. Tekent men in figuur IV-8 het geluidsspectrum van een lawaai, dan is het NR-cijfer van dit lawaai per definitie gelijk aan de laagste kromme die op geen enkel punt door het gemeten spectrum wordt overschreden. De krommen zijn ontleend aan de door de International Organization for Standardization in bewerking zijnde voorstellen voor normalisatie van toelaatbare geluidsniveaus (ISO/TC 43/314 E).

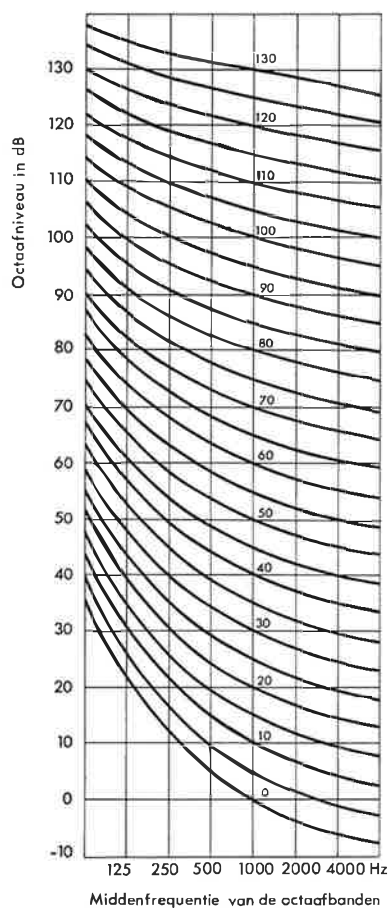
In tabel IV-1 is aangegeven, welke NR-cijfers van omgevingslawaai in een aantal typische ruimten nog toelaatbaar mogen worden geacht.

In de laatste jaren zijn verschillende onderzoeken gedaan over de invloed van lawaai op werkprestaties. Het is hierbij gebleken, dat deze vraag niet eenvoudig te beantwoorden is (zie Broadbent 1957). Er dient naar te worden gestreefd dat voor intellectuele arbeid (studie e.d.) het NR-cijfer bij continu lawaai niet hoger is dan 65, bij controle-arbeid (bijv. administratief werk) niet hoger dan 75 en bij motorische arbeid (werkplaatsen e.d.) niet hoger dan 85.

type ruimte	NR-cijfer
ziekenzaal, kerk, toneel- en concertzaal, leeszaal	20-25
bioscoop, collegezaal, conferentiekamer, slaapkamer	25-30
vergaderzaal, schoollokaal, woonkamer	30-35
winkel, klein restaurant	35-40
groot restaurant, kleine kantoorruimte	40-50
grote kantoorruimte, typekamer	50-60
werkplaats, rustige fabrieksruimte	60-70

Tabel IV-1. Toelaatbare NR-cijfers in verband met lawaaihinder.

Bij het beoordelen van lawaaihinder dient niet vergeten te worden, dat subjectieve factoren hierbij een grote rol spelen. Met name de relatie,



Figuur IV-8. NR-krommen ter bepaling van de hinder van lawaai.

die men tot het lawaai heeft, is van belang. Is men zelf bij de produktie van het lawaai betrokken, dan accepteert men het veel gemakkelijker dan wanneer men er niets mee te maken heeft.

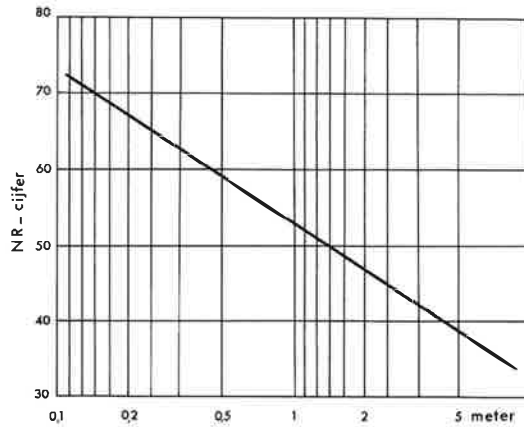
2. Vegetatieve reacties ten gevolge van lawaai

In de laatste jaren zijn een aantal onderzoeken verricht, die hebben aangetoond, dat ten gevolge van lawaai vegetatieve reacties optreden. Zo is geconstateerd, dat een vernauwing van de kleinere bloedvaten, in het bijzonder van de huid, optreedt. Hiermede gepaard gaat een vermindering van het per hartslag voortgestuwde bloedvolume. Verder zijn verwijdingen van de oogpupil, storingen in de afscheiding van maagsap, veranderingen in de elektrisch geregistreeerde hersenactiviteit e.d. waargenomen. Bij arbeiders, die lange tijd in lawaai hadden gewerkt, is geconstateerd, dat deze reacties tot permanente veranderingen kunnen leiden. Deze reacties zijn geheel onafhankelijk van de hinder, die men van het lawaai heeft. Zij worden uitsluitend bepaald door het geluidniveau, niet door de frequentie, en blijven bestaan zolang het lawaai aanhoudt (dit in tegenstelling tot schrikreacties). Hoewel de individuele gevoeligheid uiteen loopt, geldt als regel, dat vegetatieve reacties optreden bij geluidniveaus boven 60 à 80 dB. Nadere gegevens zijn te vinden bij Lehmann 1962.

3. Invloed van lawaai op spraakoverdracht

Voor de bepaling, in hoeverre de overdracht van spraak door lawaai belemmerd wordt, kan, evenals bij hinder van lawaai, worden uitgegaan van de in figuur IV-8 gegeven NR-krommen. Daar echter de verstaanbaarheid voornamelijk afhankelijk is van het geluidniveau van het lawaai in de octaafbanden met middenfrequenties 500, 1000 en 2000 Hz, is in dit geval het NR-cijfer gelijk aan de laagste kromme, die bij geen van deze drie octaafbanden wordt overschreden. Voor directe spraakoverdracht is het verband tussen de maximale afstand, waarover normale conversatiespraak in lawaai kan worden verstaan en het NR-cijfer van het lawaai weergegeven in figuur IV-9. Bij luid spreken mogen de aangegeven afstanden met 2 worden vermenigvuldigd.

De mate waarin het voeren van telefoongesprekken mogelijk is, wordt bepaald door NR-cijfers van het omgevingslawaai zoals in tabel IV-2 is weergegeven.



Figuur IV-9. Verband tussen de maximale afstand, waarover normale en conversatiespraak nog in lawaai mogelijk is en het NR-cijfer van dit lawaai.

NR-cijfer	telefoneren is:
50 of minder	zonder moeite mogelijk
60	enigszins moeilijk
70	moeilijk
75 of meer	praktisch onmogelijk

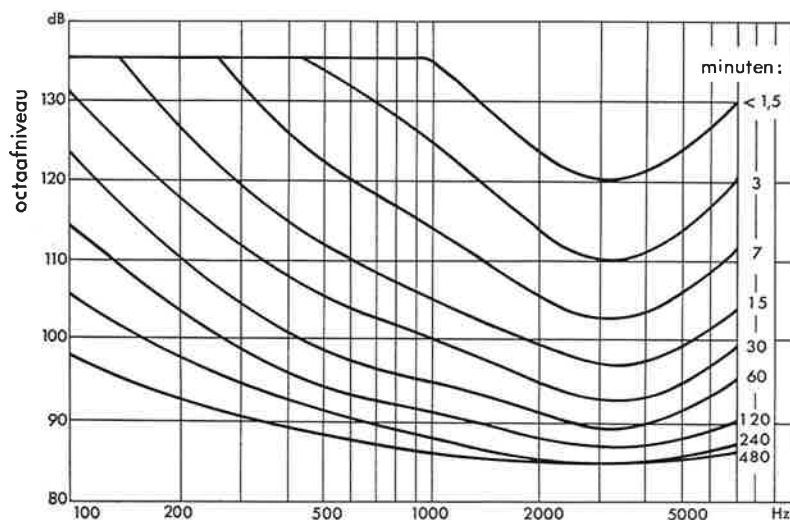
Tabel IV-2. Toelaatbare NR-cijfers bij telefoneren.

4. Gehoorbeschadiging ten gevolge van lawaai

Wanneer onze gehoororganen aan sterk lawaai worden blootgesteld, is hiervan een verhoging van de gehoordrempel het gevolg. Komt dit slechts zelden voor, dan is deze drempelverschuiving meestal van tijdelijke aard en herstelt het gehoororgaan zich weer binnen enkele dagen. Bij frequente en langdurige blootstelling aan het lawaai neemt de kans op herstel echter aanzienlijk af en treden blijvende gehoorverliezen op. Aangetoond is, dat in deze gevallen het orgaan van Corti, waarin de mechanische trillingen in zenuwimpulsen worden omgezet, wordt beschadigd. Het gevolg hiervan is, dat vooral in het frequentiegebied boven 1000 à 2000 Hz, met een maximum bij ca. 5000 Hz, de gehoordrempel verschoven is, zodat

geluiden, voorzover zij in dit gebied liggen, slecht of niet worden waargenomen. In de industrie komt dit bij personen, die dagelijks vele uren in lawaai met een hoog geluidniveau werken, veelvuldig voor.

Gedurende de laatste jaren is uitvoerig onderzoek verricht naar de maximale geluidsniveaus, die met het oog op gehoorbeschadigingen nog toelaatbaar zijn. In figuur IV-10 is het resultaat van één van de meest recente studies weergegeven (Kryter 1966). Tekent men in deze grafiek het geluidsspectrum van het lawaai, dan geeft de laagste kromme, die op geen enkel punt door het gemeten spectrum overschreden wordt, aan hoe lang men per dag ononderbroken aan het lawaai mag worden blootgesteld. Bij de vaststelling van deze krommen is er van uitgegaan, dat bij dagelijkse blootstelling gedurende 5 dagen per week over een periode van 10 jaar of langer niet meer dan 10 dB drempelverschuiving bij 1000 Hz en lager, 15 dB bij 2000 Hz en 20 dB bij 3000 Hz en hoger toelaatbaar is. Dit betekent, dat vooral gelet is op het voor de spraak van belang zijnde



Figuur IV-10. Aantal minuten, gedurende welke men per dag onafgebroken aan lawaai mag worden blootgesteld, waarvan het geluidsspectrum nergens de betreffende kromme overschrijdt.

frequentiegebied. De genoemde gehoorverliezen gelden als gemiddelden, zodat in individuele gevallen een afwijkend resultaat kan worden gevonden.

De krommen van figuur IV-10 gelden voor continu lawaai. In vele gevallen heeft men echter met voortdurend fluctuerende geluidspectra te maken of met lawaai, waaraan men niet ononderbroken is blootgesteld. In dergelijke situaties is het veel moeilijker vast te stellen, welke geluidniveaus nog aanvaardbaar zijn. Het verdient daarom steeds aanbeveling om bij onzekerheid het gehoor met behulp van audiometrisch onderzoek te controleren. Op deze wijze kunnen tevens de personen opgespoord worden die bijzonder gevoelig zijn voor lawaai. Zonodig dient dit onderzoek periodiek, bijv. om de 3 of 6 maanden, te worden herhaald.

IV-6 Vermindering van geluidniveaus

In alle gevallen, waarin het geluidniveau van lawaai hoger is dan toelaatbaar kan worden geacht, zal men moeten streven naar vermindering van dit niveau. In volgorde van urgentie komen hiervoor de volgende maatregelen in aanmerking:

- a. Reductie van het door de geluidbron geproduceerde lawaai. Hiertoe kan o.a. worden gerekend het gebruik van geluiddempende materialen (bijv. wanneer het geluid door trillende delen wordt afgestraald), een zorgvuldige keuze van materialen (bijv. van tandwielen), toepassing van goede geluiddempers (bij verbrandingsmotoren), enz.
- b. Verzwakking van het lawaai op de weg tussen de geluidbron en de mens. Dit kan men bereiken door de bron met één of meer geluid-isolerende wanden af te schermen en door toepassing van geluidabsorberende materialen. Het verschil tussen isolatie en absorptie dient steeds scherp voor ogen gehouden te worden: bij isolatie verhindert men de doorgang van geluid, terwijl absorptie de onvolledige reflectie van geluid tegen wanden betreft. Met behulp van geluidsisolerende wanden bereikt men een veel grotere geluidverzwakking (bijv. gemiddeld ca. 48 dB bij een muur van baksteen ter dikte van 22 cm) dan met geluidabsorberende wandbekleding (in de praktijk meestal niet meer dan ca. 10 dB).
- c. Persoonlijke beschermingsmiddelen. Vooral ter voorkoming van gehoorbeschadigingen maakt men vaak gebruik van oordopjes, die in de gehoor-

gang worden aangebracht, en oorkappen, die de gehoorschelp omsluiten. De met deze middelen bereikbare geluidverzwakking neemt tot ca. 4000 Hz toe met gemiddeld 6 dB per verdubbeling in frequentie en bedraagt bij de hoge frequenties voor gehoordopjes 25 tot 35 dB en voor goed afdichtende oorkappen 35 tot 45 dB. Van vele in de handel verkrijgbare gehoorbeschermers is de geluidverzwakking als functie van de frequentie gemeten (van Laar 1964). Voor een uitvoerige behandeling van lawaaibestrijdingsmaatregelen zij verwezen naar het Handbook of Noise Control (Harris 1957).

V Mens en beweging

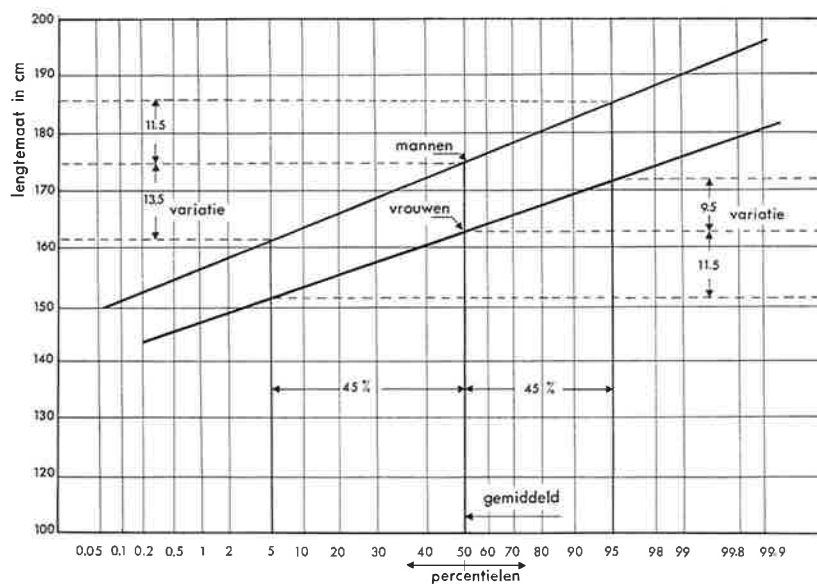
De mens moet passen in zijn werkruimte; en niet alleen passen maar ook zich kunnen bewegen tijdens het bedienen van machines e.d., en zich niet meer hoeven te bewegen dan hij gemakkelijk kan.

In de meeste situaties zal de houding van de mens of zittend of staand zijn: de zittende houding is te prefereren, hoewel dit niet voor alle werkzaamheden te verwezenlijken is. Voor beide houdingen geldt evenwel dat starheid vermeden moet worden. Zo moet bijvoorbeeld bij het ontwerpen van een werkstoel de constructie en maatverhouding zo zijn gekozen dat zij beantwoorden aan de menselijke afmetingen. De vorm van de rugleuning is pas goed als deze ook bij het verrichten der taak nog dienst doet als rugleuning. Een te kort zitvlak geeft onvoldoende steun aan de onderdijen, zodat vermoeidheid kan optreden. Voor de voeten is een basissteun, eventueel de vloer, noodzakelijk; indien de zitting van een stoel hoog is, dient dus een voetsteun aangebracht te worden. Wanneer een stoel gebruikt moet worden voor mensen van verschillende lichaamsbouw, is het wenselijk om de hoogte van de zitting en de stand van de rugleuning instelbaar te maken. De menselijke afmetingen bepalen, binnen welke grenzen deze instelbaarheid moet liggen, zowel voor mannen als vrouwen. Het zal duidelijk zijn, dat voor een zo efficiënt mogelijke bediening de apparatuur aangepast moet zijn aan de menselijke afmetingen. Zelfs bij eenvoudig gereedschap als de steel van een bezem of de zuigstang van een stofzuiger dient met dit alles rekening te worden gehouden.

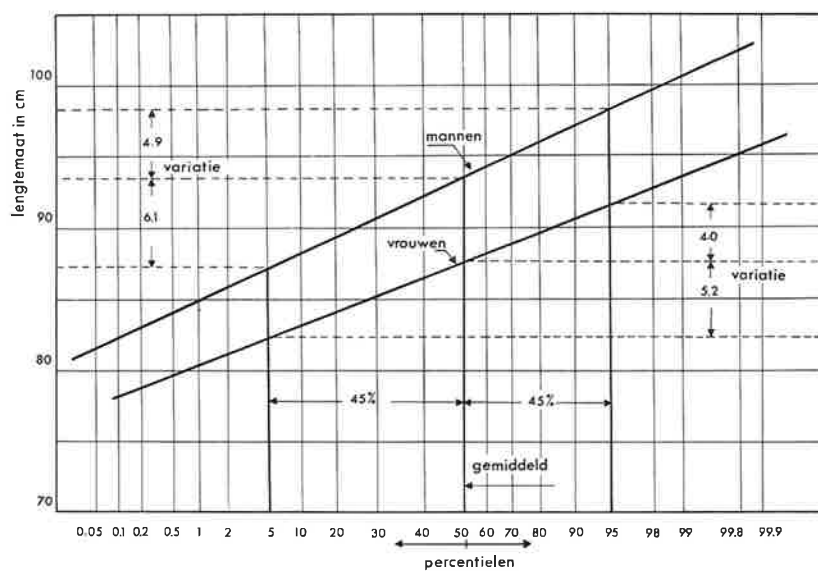
V-1 Lichaamsafmetingen

In grafiek V-1 is de lichaamslengte weergegeven van de nederlandse bevolking van 18-64 jaar. Deze maten zijn van de naakte mens, er moet dus rekening worden gehouden met schoeisel en kleding.

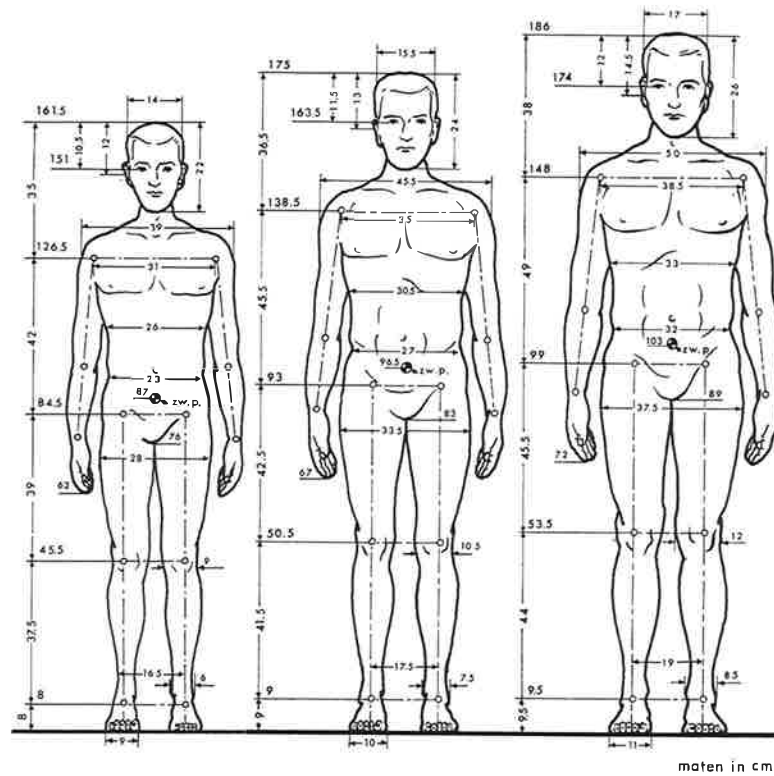
Het 5de percentiel voor mannen ligt bij 161,5 cm (vrouwen 151,5 cm), het 50ste bij 175 cm (vrouwen 162,5 cm), en het 95ste bij 186 cm (vrouwen 172 cm).



Grafiek V-1. Lichaamslengte nederlandse bevolking van 18-64 jaar. (Staand gemeten van kruin tot vloer met rechte rug, ongeschoeid).



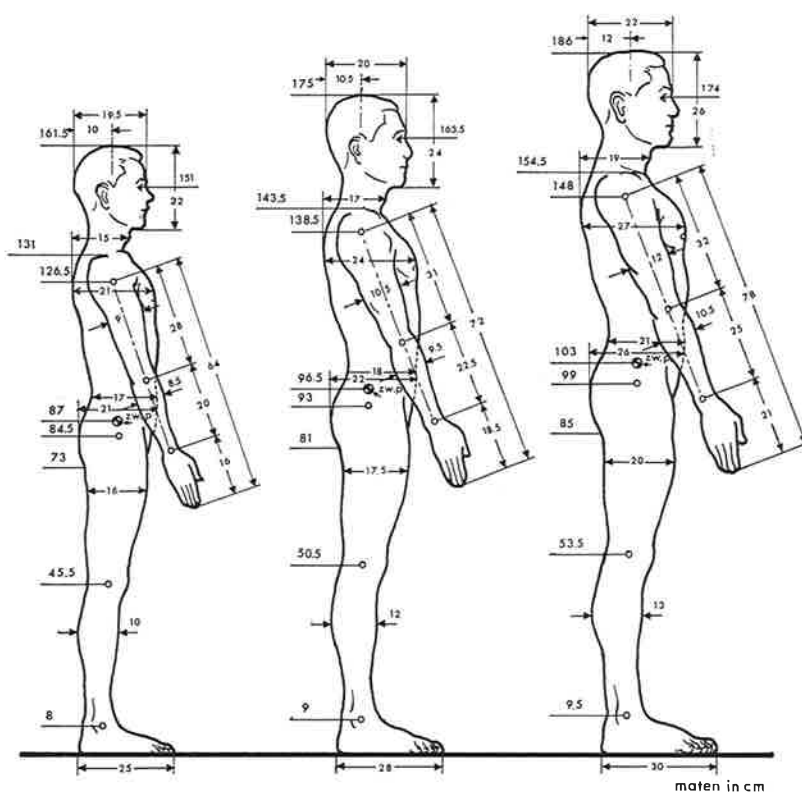
Grafiek V-2. Zitlengte nederlandse bevolking van 18-64 jaar. (Zittend gemeten van kruin tot zitvlak met rechte rug).



Figuur V-1. Maatverhouding (vooraanzicht) verschillende lichaamsdelen voor mannen met de percentiele rang 5, 50 en 95 uit grafiek V-1 (Dreyfuss 1960).

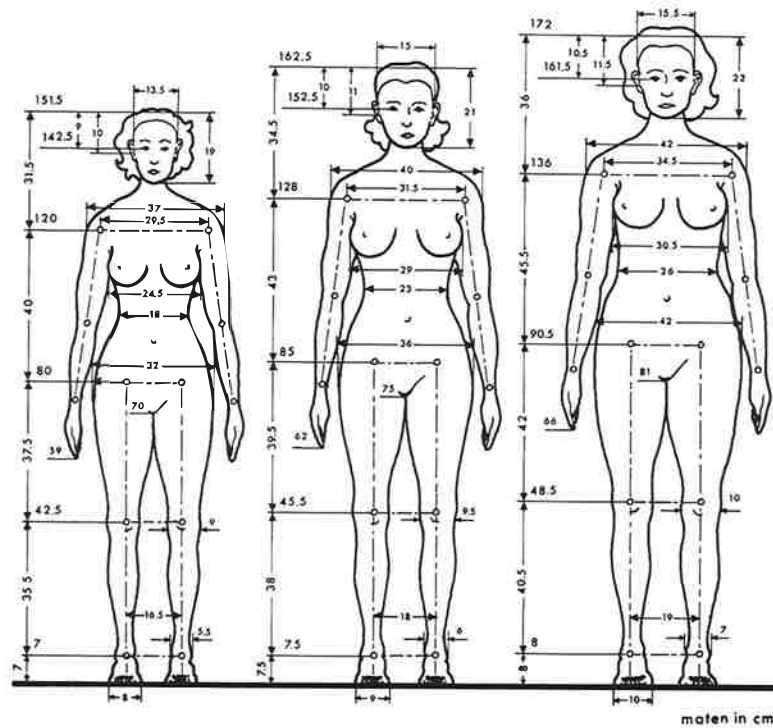
V-2 De bewegingsmogelijkheden der ledematen

De bediening van apparatuur dient in overeenstemming te zijn met de bewegingen die wij (gemakkelijk) kunnen maken. In geen geval mag een beroep gedaan worden op spiergroepen, waarvan het niet de bedoeling is dat zij bij de verrichting in kwestie worden ingeschakeld. Maar het ver-



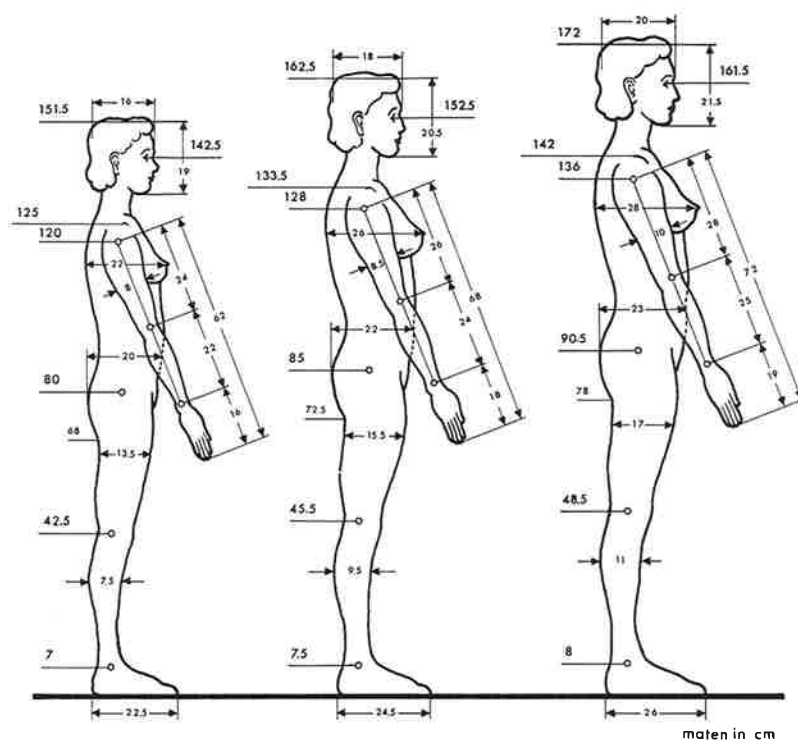
Figuur V-2. Maatverhouding (zijaanzicht) verschillende lichaamsdelen voor mannen met de percentiele rang, 5, 50 en 95 uit grafiek V-1 (Dreyfuss 1960).

dient de voorkeur evenmin gebruik te maken van bewegingen die minder gemakkelijk en op den duur vermoeiend zijn. De constructie van bedieningsapparatuur moet dus afgestemd zijn op de bewegingsmogelijkheden van het menselijk lichaam. Praktische vragen die in dit verband opkomen, zijn bijvoorbeeld: welke beweging moet de voetrem, de hand-



Figuur V-3. Maatverhouding (vooraanzicht) verschillende lichaamsdelen voor vrouwen met de percentiele rang 5, 50 en 95 uit grafiek V-1 (Dreyfuss 1960).

rem of het frictiepedaal van een auto maken? Welke lengte en welke beweging moet de handle van een boormachine hebben? Wat is de beste plaats van een telefoontoestel op een bureau? Voor werk, dat met de hand gedaan wordt, kunnen respectievelijk de 5 vingers, de pols, de onderarm, de bovenarm en de schouder meedoen. Het is logisch, dat voor het werk



Figuur V-4. Maatverhouding (zijaanzicht) verschillende lichaamsdelen voor vrouwen met de percentiele rang 5, 50 en 95 uit grafiek V-1 (Dreyfuss 1960).

dat alleen met de vingers gedaan wordt minder spierenergie nodig is, dan bij het gebruik van meerdere delen van de arm. In de figuren V-7 t/m 16 worden de mogelijke hoekbewegingen van de ledematen weergegeven (Lund 1963).

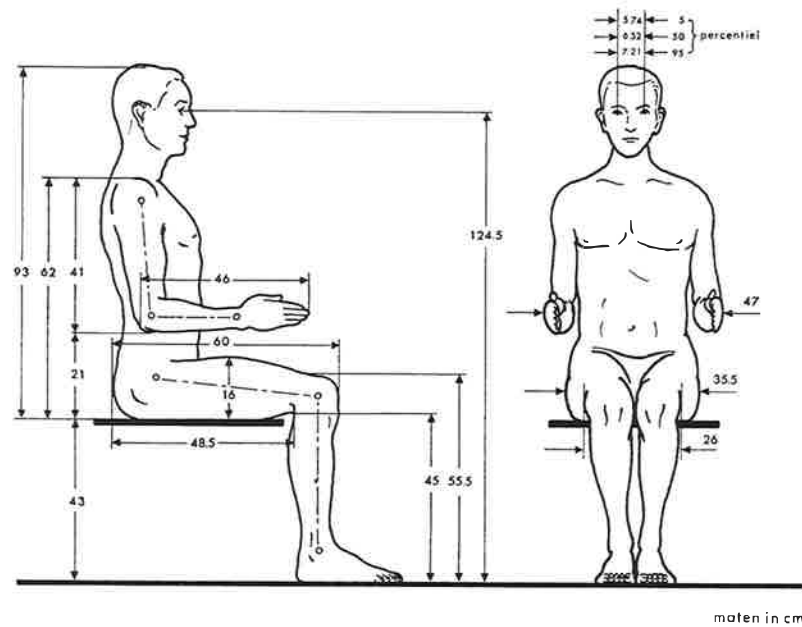


Figure V-5. Gemiddelde maatverhouding (percentiele rang 50 uit grafiek V-2) van de zittende man.

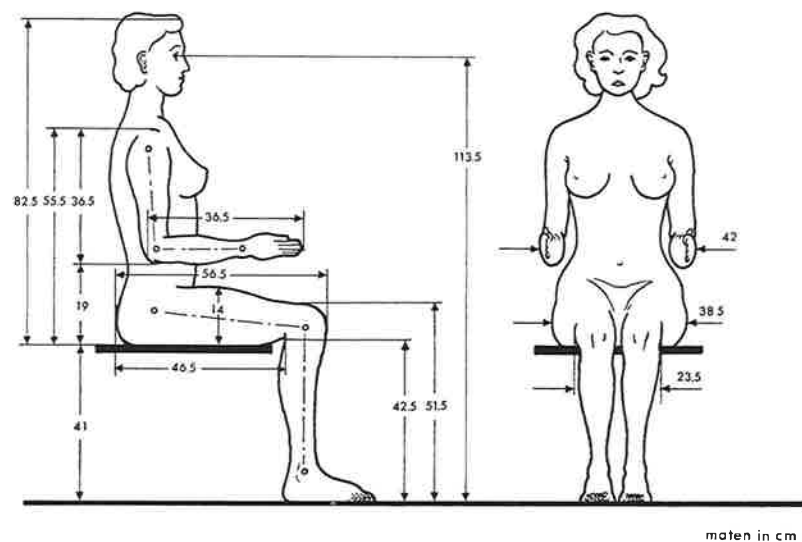
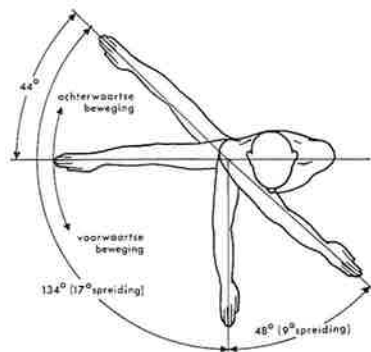
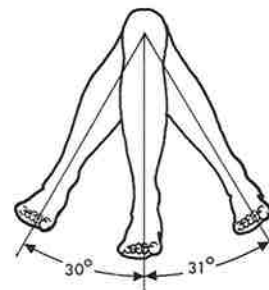


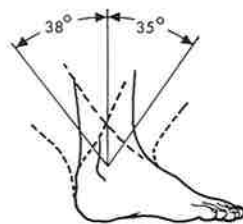
Figure V-6. Gemiddelde maatverhouding (percentiele rang 50 uit grafiek V-2) van de zittende vrouw.



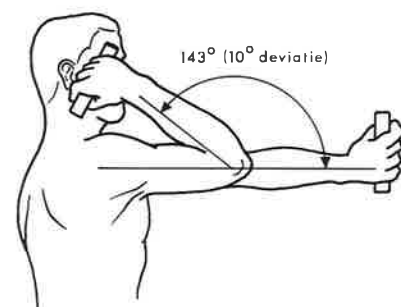
Figuur V-7. Met uitgestrekte arm is de maximale horizontale hoek 182° ; de voorwaartse beweging is minder moeilijk dan de achterwaartse beweging.



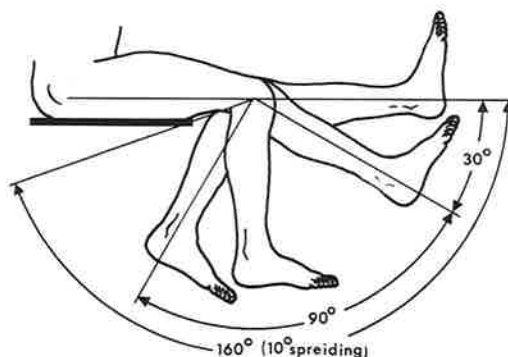
Figuur V-8. De zijwaartse beweging van het onderbeen in zithouding is 30° buitenwaarts en 31° binnenwaarts.



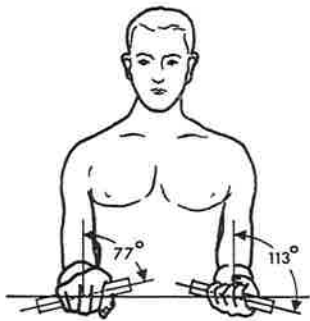
Figuur V-9. De voetbeweging in verticale richting is strekkend 38° (12° spreiding) en krimpend 35° (7° spreiding).



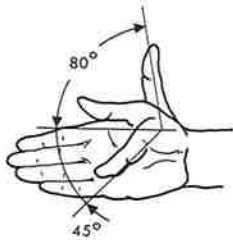
Figuur V-10. Vanuit gestrekte armpositie kan de bovenarm bewegen over een hoek van 143° .



Figuur V-11. Het been kan in frontale richting vanuit de knie een hoek van 160° maken. De meest comfortabele hoek is binnen de 90° zoals aangegeven op de tekening.

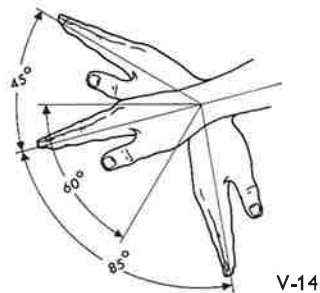


Figuur V-12. De bewegingshoek van de pols en voorarm is binnenwaarts 113° (22° spreiding) en buitenwaarts 77° (24° spreiding).

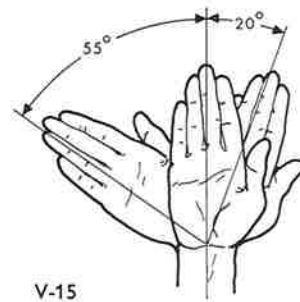


Figuur V-13. Gemiddelde verticale bewegingshoek van de duim.

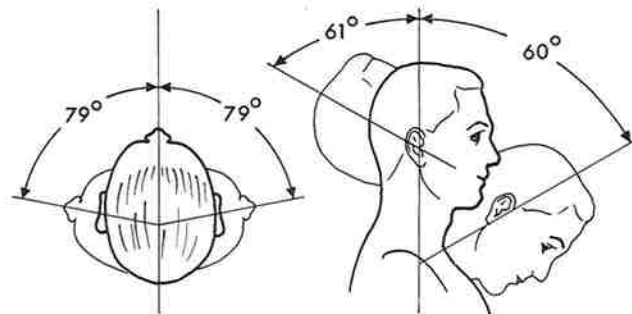
Figuur V-14. De beweging vanuit de pols in verticale richting heeft een totale hoek van 130° . De hoek van 60° geeft de minste moeite.



V-14



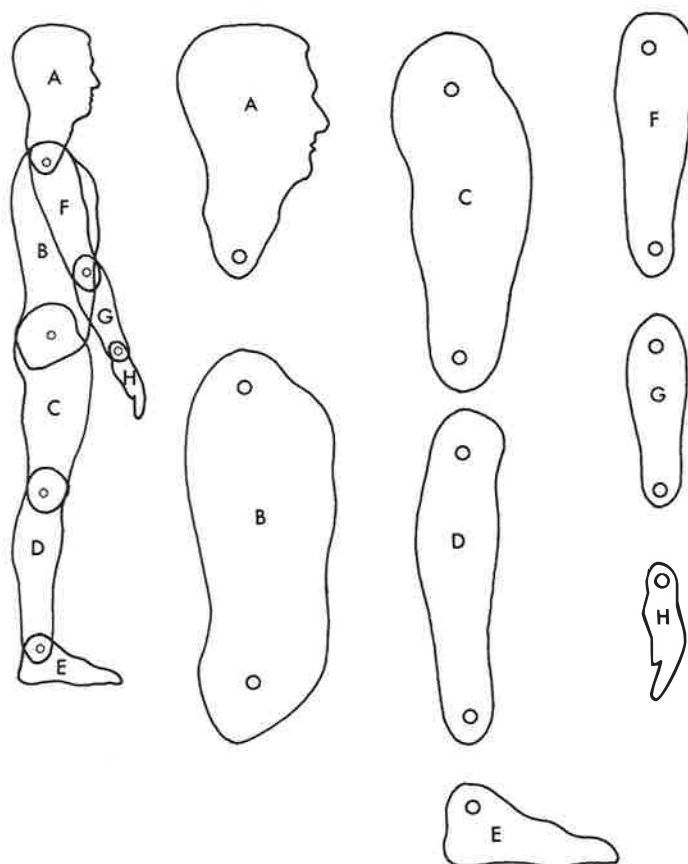
V-15



Figuur V-16. De gemiddelde hoofdbeweging vanuit de verticale as is voorwaarts 60° (12° spreiding) en achterwaarts 61° (27° spreiding). Om de verticale as 158° (40° spreiding).

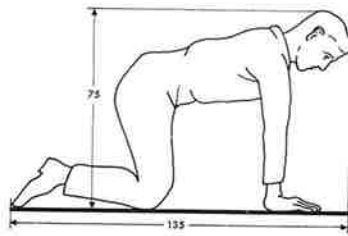
V-3 Benodigde bewegingsruimte

Het is niet eenvoudig de bewegingsruimte van de mens op te nemen in tabelvorm. Uit de figuur V-1 t/m 6 zijn de verschillende maatverhoudingen af te lezen. De benodigde ruimte voor een aantal specifieke verrichtingen

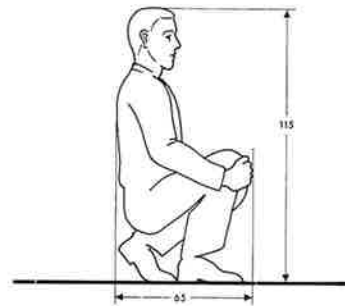


Figuur V-17. De ledematen van een constructiepop. Het is het eenvoudigst deze figuur over te nemen en uit te zagen van transparant plastic en de losse delen scharnierend te monteren.

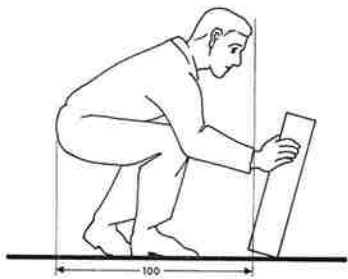
is weergegeven in de figuren V-18 tot V-25. Voor gevallen, waarin deze figuren niet voorzien, kan men gebruik maken van een algemeen hulpmiddel, de ledenpop, om de benodigde bewegingsruimte te bepalen (zie fig. V-17).



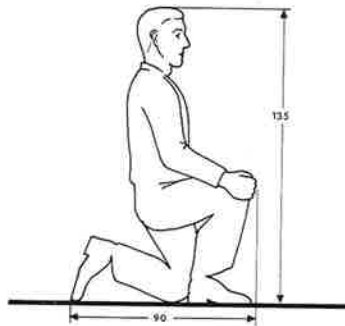
Figuur V-18. Kruipen.



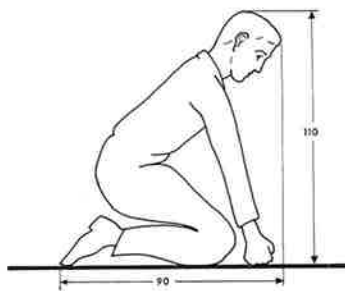
Figuur V-19. Hurken.



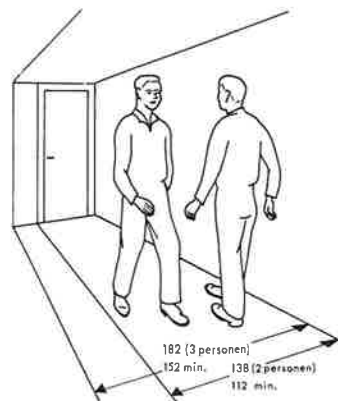
Figuur V-20. Bukken.



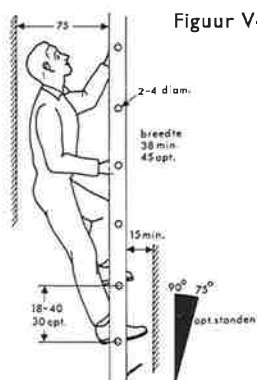
Figuur V-21. Knielen (1 been).



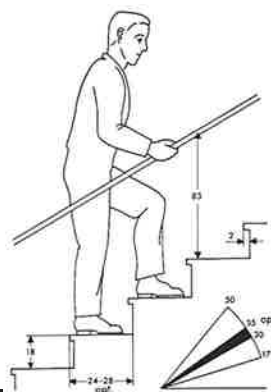
Figuur V-22. Knielen (2 benen).



Figuur V-23. Gangruimte.



Figuur V-24. Ladders.



Figuur V-25. Trappen.

V-5 Bewegingshandeling

In de vorige paragraaf kwam het probleem aan de orde hoe bedieningsapparatuur is aan te passen aan de bewegingsmogelijkheden van de mens. Men kan evenwel ook uitgaan van de handeling, die verricht moet worden

en zich dan afvragen: Wat voor beweging maakt de mens daarbij, is die beweging wel zo doelmatig mogelijk, en: maakt het lichaam een natuurlijke beweging bij het verrichten van deze taak. In de literatuur is aangetoond, dat een doelmatige beweging de prestatie van de mens meer opvoert dan langdurige ervaring.

Een doelmatige beweging gaat vaak samen met een dynamische d.w.z. afwisselende belasting van de spieren. Bij een statische belasting van de spieren, bijvoorbeeld bij het vasthouden van een potlood, ontstaat zonder training vermoeidheid en kramp in de vingers. Getrainde mensen daarentegen voltrekken de schrijfbeweging met een minimum aan energie.

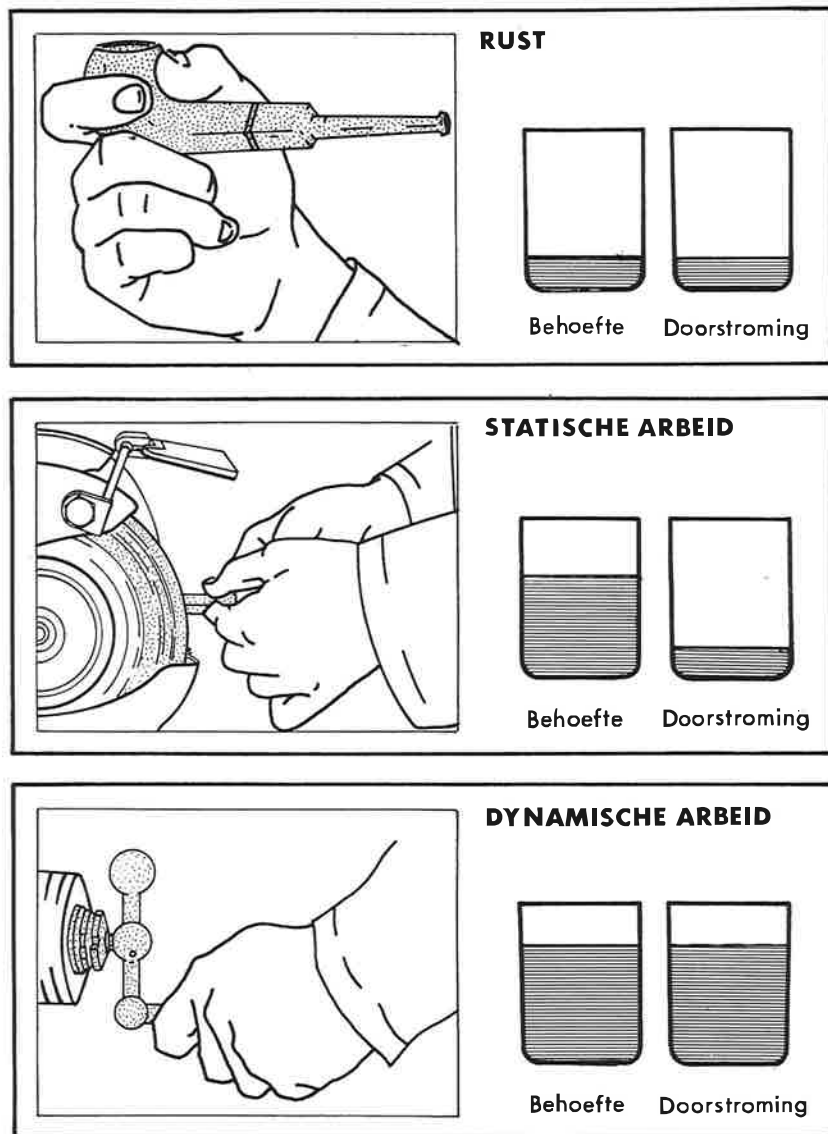
Vermindering van (krampachtige) spierspanning en vermindering van benodigde energie is ook op andere manieren te realiseren. Bij het bedienen van een handle bijvoorbeeld die in gefixeerde stand moet worden gehouden, komt het erop aan het lichaam of het betrokken lichaamsdeel goede steun te geven. En anderzijds zal een redelijke weerstand van de handle het optreden van trillingen sterk kunnen verminderen.

Een andere vraag is, welke kracht mag of moet worden aangewend. In het algemeen kan men stellen dat 10% van de maximale spierkracht gedurende vrij lange tijd kan worden volgehouden. Bij een hogere belasting ontstaat snel vermoeidheid.

De kracht, die een mens kan uitoefenen is sterk afhankelijk van houding en bewegingsrichting. Aangezien het lichaam beschikt over grote en kleine spieren, is het zaak voor het zware werk de grote spieren in te schakelen en de kleine te reserveren voor het lichte en snelle werk.

Bij rust is er weinig behoefte aan bloed in de spieren, niet meer dan de vulling in normale omstandigheden bedraagt. Bij dynamische arbeid is de behoefte aan bloed groot, maar door de afwisselende werking van de spieren is de vulling eveneens groot. Door de eenzijdigheid van spiergebruik in het geval van statische spierarbeid is de vulling gering bij een grote behoefte; vandaar dan ook de snelle vermoeidheid. In figuur V-26 is een en ander in beeld gebracht (Lehmann 1962).

Men moet voor iedere soort arbeid zoveel mogelijk elke sterk gebogen of onnatuurlijke lichaamshouding vermijden. Als de romp teveel gebogen is, is dit een onnatuurlijke houding; een lichte buiging van de romp daaren-

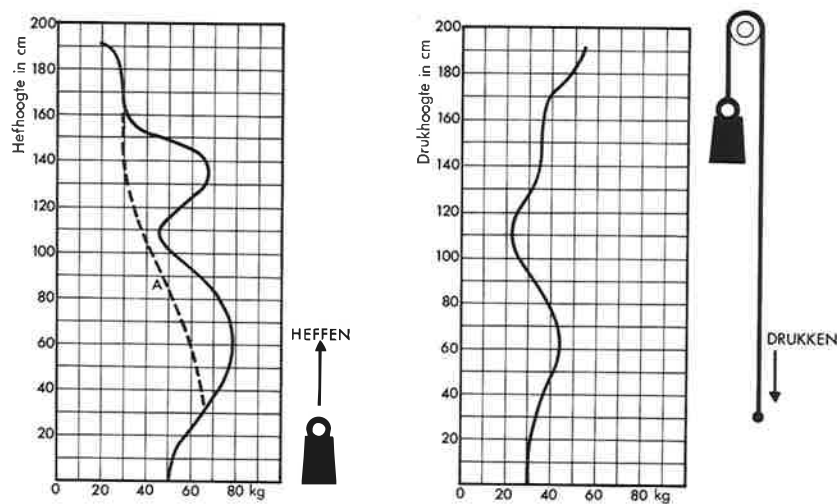


Figuur V-26. Bij statische en dynamische spierarbeid is de behoefte en de toevoer van het bloed verschillend.

tegen geeft een minimale statische belasting. Door het buigen van de romp in zijwaartse richting ontstaat snel vermoeidheid.

De maximale hef- en drukkrachten zijn sterk afhankelijk van de lichaamshouding. De hoogte, waarop de hef- en drukkrachten uitgeoefend worden, zijn van veel invloed.

Bij hef- en drukkrachten kunnen zowel been-, rug-, schouder- en armspieren meedoen. In figuur V-27 is duidelijk te zien dat boven de 60 cm hefhoogte de beenspieren niet meer mee doen.

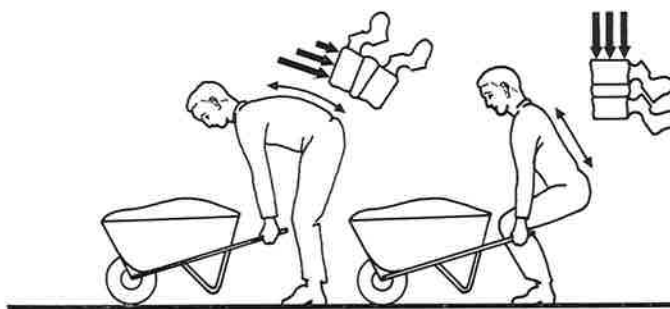


Figuur V-27. De af- en toeneming van de maximale hef- en drukkracht bij verschillende hoogten. Lijn A geeft de hefkracht met gestrekte rug.

Het tillen van zwaar materiaal dient altijd met gestrekte rug en doorgebogen knieën gedaan te worden. Bij het tillen met doorgebogen rug wordt de druk tussen de wervelschijven niet goed verdeeld (figuur V-28). Münchinger heeft gevonden dat als de rug in horizontale positie voorovergebogen is, er op de tussenwervelschijf van de vijfde lendewervel een kracht van 300 kg wordt uitgeoefend. Hij heeft hierbij aangenomen,

dat het gewicht van de gebogen romp 45 kg is en de arm van de hefboom 35 cm. Als in deze positie een last van 50 kg getild wordt, is de kracht op de tussenwervelschijf 700 kg. Grandjean (1963), geeft enige richtlijnen voor het tillen van zware lasten:

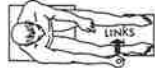
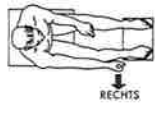
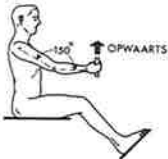
1. Van te voren alle hindernissen uit de weg ruimen.
2. Optimale hoogte voor het vastpakken van de last is 40 cm van af de grond.
3. Het optimale gewicht bedraagt 20 tot 25 kg.
4. De last moet zo dicht mogelijk bij het lichaam opgetild worden.
5. Het tillen dient met gestrekte rug en doorgebogen knieën gedaan te worden.
6. Het verlengen van de draagarmen (hefboomlengte) is aanbevelenswaardig.



Figuur V-28. De invloed van een gebogen rug op de wervelschijven bij het heffen van een last (Grandjean 1963).



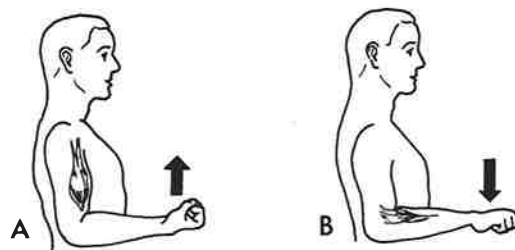
Figuur V-29. De kracht van de arm in zithouding is maximaal iets boven ellebooghoogte. Hierbij is tevens de nauwkeurigheid van bewegen maximaal (Brown 1948).

richting van de kracht	ellebooghoek in graden	kracht in kg			
		rechterarm		linkerarm	
		gem.	spreiding	gem.	spreiding
	60	41.7	17.2	35.9	14.0
	90	39.0	14.9	37.6	15.9
	120	46.7	19.5	44.8	19.0
	150	55.7	20.4	50.3	21.7
	180	62.5	22.2	57.1	20.7
	60	28.5	10.4	29.0	10.4
	90	39.9	13.6	36.2	12.7
	120	47.1	14.0	42.6	15.4
	150	55.3	16.0	50.7	16.8
	180	54.4	17.2	52.5	16.8
	60	23.6	8.6	14.5	8.0
	90	22.7	10.4	14.9	8.6
	120	24.0	11.8	13.6	8.2
	150	24.5	11.3	13.1	9.1
	180	22.7	11.8	13.6	9.1
	60	19.0	9.1	22.7	9.5
	90	16.8	8.2	21.7	10.0
	120	15.4	8.1	20.4	9.5
	150	14.9	8.2	21.7	12.6
	180	15.4	10.9	19.5	10.0
	60	22.2	8.2	19.9	8.2
	90	25.4	10.0	23.6	10.0
	120	27.2	10.9	24.5	11.3
	150	22.2	12.7	23.6	12.2
	180	19.5	10.9	18.6	10.4
	60	23.1	9.5	20.8	8.2
	90	24.0	9.1	22.2	9.1
	120	26.3	10.4	23.1	10.4
	150	21.3	8.2	23.1	7.2
	180	18.6	8.2	18.6	6.7

Tabel V-1. Maximale armkracht in zithouding bij verschillende standen van de elleboog. Gemeten met rechter- en linkerarm en een verticale handgreep (Lund 1963).

De gegevens uit tabel V-1 gelden voor momentane krachten, bij langdurige uitoefening van de kracht mag maar 25% van de opgegeven kracht angewend worden.

Het langdurig strekken van de arm leidt snel tot vermoeidheid, waardoor de bewegingen van de armen en handen niet nauwkeurig meer zijn.



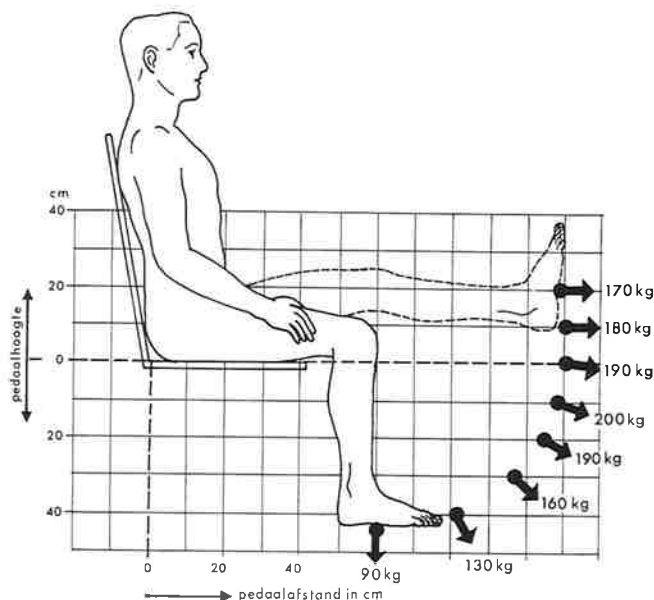
Figuur V-30. Bij een ingaande buiging van de elleboog met de handpalm binnenwaarts (A) kan meer kracht uitgeoefend worden dan bij een strekkende buiging met de handpalm buitenwaarts (B). De grootste kracht wordt ontwikkeld met de elleboog onder een hoek van 30° . Een grotere of kleinere hoek geeft direct veel minder kracht (Hunsicker 1945).



Figuur V-31. Gemiddeld maximaal uit te oefenen kracht bij verschillende vingerstanden (Lund 1963).

De beenkracht in zithouding is sterk afhankelijk van de hoek van het onderbeen en de richting, welke het been maakt. De grootste kracht wordt uitgeoefend als het onderbeen een hoek heeft van 155° met het bovenbeen in voorwaartse richting. De hoek van 120° is de meest gunstige positie en levert de minste vermoeidheid op. Een meer zijwaartse beweging van de benen, dus meer links of rechts van de normale voorwaartse beweging,

geeft, naarmate de zijwaartse beweging groter wordt, minder drukkracht en sneller vermoeidheid.



Figuur V-32. De maximale beenkracht is sterk afhankelijk van de hoek en richting van het been (Lehmann 1962).

De arm- en beenkrachten bereiken hun maxima bij 25 jarige leeftijd en nemen af tot 50% tussen 30 en 65 jaar.

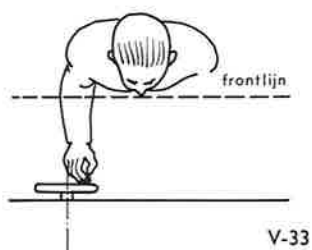
V-5 Handwielen

In het algemeen is de plaats van het handwiel naast het midden van het lichaam (in één lijn met arm en hand) doelmatiger dan recht voor het lichaam (zie fig. V-33).

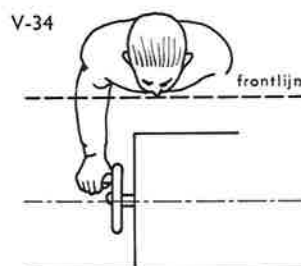
De stand van het handwiel hangt af van de kracht die moet worden uitgeoefend en de snelheid waarmee gedraaid wordt (Woodson 1954). Wordt er

flinke kracht uitgeoefend, dan moet de as van het handwiel parallel aan de frontlijn van het lichaam geplaatst worden (zie fig. V-34).

Voor een sneldraaiende beweging geldt als optimale plaatsing de stand waarbij de as in een horizontaal vlak ligt en een hoek van 60° met de frontlijn van het lichaam maakt. De kruk van het handwiel moet dan bovendien vrij kunnen draaien om zijn bewegingsas (zie fig. V-35).



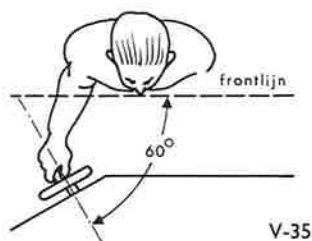
V-33



V-34

Figuur V-33. De plaats van het handwiel ten opzichte van het lichaam.

Figuur V-34. De stand van het handwiel bij uitoefening van kracht.



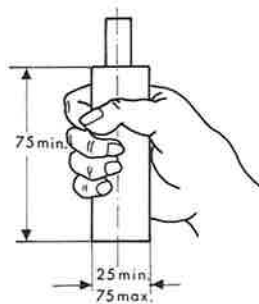
V-35

Figuur V-35. De stand van het handwiel voor een sneldraaiende beweging.

De diameter van een handwiel of de straal van een kruk is afhankelijk van het koppel, de plaats en de stand van het wiel. In tabel III-2 wordt de optimale diameter aangegeven voor controlebewegingen. Bij een beweging van minder dan 90° is een handwiel zonder kruk het best bruikbare. Voor bijvoorbeeld een eenmalige controlebeweging is een kruk beter (Baines 1950).

Hoogte in cm	Hoek°	Diameter in cm bij een koppel van:		
		0 kg	7 kg/cm	16 kg/cm
60	0	7.5-15.0	25.0	40.0
90	0	7.5-18.0	25.0-40.0	40.0
90	L	7.5-15.0	25.0	25.0
100	90	7.5-25.0	25.0-40.0	40.0
102	—45	7.5-15.0	15.0-40.0	25.0-40.0
107	45	7.5-15.0	25.0	25.0-40.0
120	0	7.5-15.0	20.0-40.0	25.0-40.0

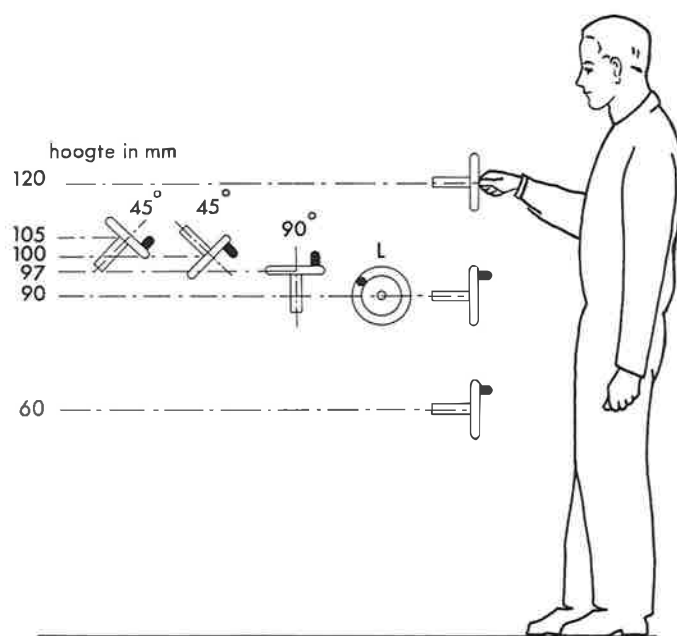
Tabel V-2a. Optimale diameter voor handwielen zonder kruk bij een controle beweging van minder dan 90°, zie fig. III-19.



Figuur V-36. De diameter en lengte van een hand-greep in mm (Faverge 1958).

Hoogte in cm	Hoek°	Straal in cm bij een koppel van:		
		0 kg	7 kg/cm	16 kg/cm
90	0	4.0-12.0	12.0-20.0	12.0-20.0
100	90	6.5-12.0	12.0-20.0	12.0-20.0
102	—45	6.5-20.0	12.0-20.0	12.0-20.0
107	45	6.5-12.0	6.5-12.0	12.0
120	0	6.5-12.0	12.0	12.0-20.0

Tabel V-2b. Optimale straal voor slingers bij eenmalige controle-omwenteling.



Figuur V-37. De stand en plaatsingshoogte van handwielen en krukken zoals aangegeven in tabel V-2a-b.

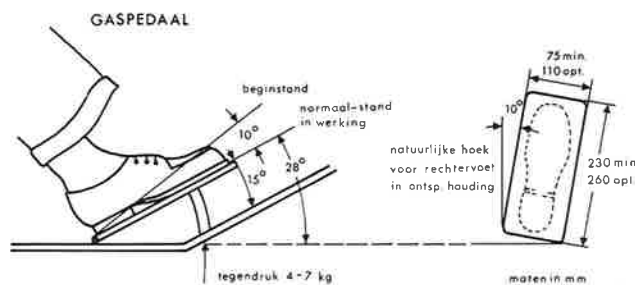
V-6 Pedalen

De inschakeling van voet- en beenbeweging bij machines e.d. is pas gerechtvaardigd als:

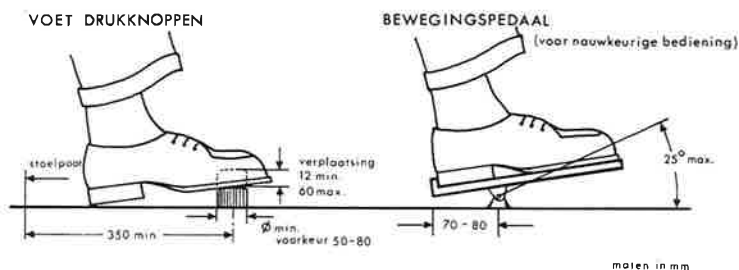
- tijd bespaard moet worden (handen vrij);
- de armspieren ontlast moeten worden;
- grote krachten nodig zijn.

Bij nogal grote machines worden veelal pedalen gemonteerd om de handen vrij te maken voor ander werk. Meestal worden de pedalen helaas slecht gekozen (Barnes 1942).

Bij het ontwerpen van een pedaal moet rekening worden gehouden met



Figuur V-39. De maatverhouding en positie van verschillende typen pedalen (Dreyfuss 1960).



V-7 Perceptief-motorische belasting

Definitie

Naar analogie van 'fysieke last', welke men bij het verrichten van lichamelijke arbeid ondervindt, spreekt men ook wel van perceptieve last of perceptief-motorische last.

Deze last ondervindt men bij het verrichten van taken, waarbij vooral waarneming en fijn manipuleren nodig zijn, zoals bij controleren en reguleren van automatische productieprocessen of micromontage werk. In tegenstelling tot fysieke last, welke men kan uitdrukken in fysisch meetbare grootheden, is er geen equivalent criterium voor perceptief-motorische last. (PML). Als we aannemen dat PML optreedt bij informatieverwerkende processen, staan we voor de bijkans onmogelijke taak, de uiterst ingewikkelde wijze waarop de mens informatie verwerkt, te

kwantificeren. Er is te weinig over de processen die hieraan ten grondslag liggen bekend en slechts onder zeer vereenvoudigde omstandigheden kan men komen tot een schatting van de hoeveelheid verwerkte informatie.

Niettemin is gebleken dat de mens, globaal gezien, een *plafond* heeft voor PML die hij kan verdragen. Stijgt men daar bovenuit, dan kunnen, afhankelijk van mate en duur van de overbelasting, verschillende nadelige effecten zich voordoen. Sterke overbelasting valt daarbij onmiddellijk op. Zij resulteert in verhoogd foutenpercentage, *daling* van de totale prestatie per tijdseenheid (niet alleen *meer* fouten maar ook *minder* goede handelingen), verwarring, omissies, snel toenemende prikkelbaarheid van de uitvoerder, en totale blokkering van de prestatie. Ernstiger, evenwel, zijn de cumulatieve effecten van een langdurige hoge belasting. Deze kan gedeeltelijk door verhoogde inspanning van de mens opgevangen worden. Op den duur resulteert dit echter ook in progressief verslappende aandacht, omissies, en nervositeit (ziekteverzuim).

Het is met name van belang, dat dit laatste vermeden wordt; daartoe is het wenselijk taken (globaal) te kunnen classificeren naar hun PML.

Methode

De in het IZF ontwikkelde methode sluit aan bij de gedachte van een min of meer constante maximale capaciteit voor PML. Indien deze capaciteit door een taak niet volledig benut wordt (*wat ook niet wenselijk is!!*), zal men door iets aan de taak toe te voegen de grens kunnen benaderen. De zwaarte van wat men toevoegen kan, bepaalt aldus de zwaarte van de oorspronkelijke taak.

Wanneer men de uitvoerder tijdens het vervullen van zijn normale taak vraagt, zo regelmatig mogelijk met zijn voet te tikken, in een tempo dat hij prettig vindt (dit tempo ligt gewoonlijk tussen 0.5 en 1.0 sec), dan geeft de regelmaat waarmee hij dat doet, uitsluitsel over de PML van de taak. Deze methode correleert goed met het persoonlijk oordeel van uitvoerders en experts over de 'moeilijkheid' (Michon 1964, 1966). Voor het doen van deze meting is het nodig te beschikken over een tijdregistratie van de geproduceerde tikken.

Men traint de proefpersoon ca. 15 min. in het produceren van een zo regelmatig mogelijk tempo. Aan het einde van deze periode worden

PML schaal	Belasting	Karakteristieken
4.00	Totale overbelasting	Geen taakuitvoering mogelijk
2.00	Zeer hoog	Kan als piekbelasting worden volgehouden gedurende zeer korte tijd. Risico's m.t.b. uitvoering
	Hoog	Adequate uitvoering bij duurbelasting, mits met voldoende rust.
1.00	} Gemiddeld	Normale duurbelasting van taken.
0.50		
0.25		
<0.25	Laag	Onderbelasting, verveling, slaperigheid.

Tabel V-1. Schaal voor praktische classificatie van perceptief-motorisch belastende taken.

50 à 100 intervallen geregistreerd. Vervolgens traint de proefpersoon ca. 7 min. terwijl hij zijn taak uitvoert. Daarvan registreert men de laatste 2 minuten (ca. 50 à 100 intervallen). Een goede kwantitatieve maat verkrijgt men, door opeenvolgende intervallen t_n en t_{n+1} van elkaar af te trekken, de absolute waarden van deze verschillen te sommeren ($\Sigma/\Delta t$) en deze som te delen door de gemiddelde intervallengte (t) en het aantal verschillen waarover de som berekend is (n). Dit doet men afzonderlijk voor het grondtempo (G) en het tempo bij belasting (L):

$$G = \frac{\Sigma / \Delta t_G}{n_G \cdot t_G}$$

$$L = \frac{\Sigma / \Delta t_L}{n_L \cdot t_L}$$

Een continue score vanaf nul krijgt men door te berekenen $PML = \frac{L - G}{G}$

Voorlopige experimenten wijzen uit, dat de schaal uit tabel V-1 mogelijk bruikbaar zou kunnen zijn voor praktische classificatie van perceptief-motorisch belastende taken.

VI Werkruimte en vormgeving

Een doelmatige werkhouding wordt in belangrijke mate bepaald door de vormgeving en maatverhouding van het meubilair; een juiste keuze van maten voorkomt vermoeidheid. De werkhouding moet zo natuurlijk mogelijk zijn. Bij staand werk dient de tafelhoogte voor zeer fijn werk hoger te zijn dan voor normaal werk. Bij het fijne werk bepaalt de waarnemingsafstand in belangrijke mate de hoogte van de tafel; zou de tafel dezelfde hoogte hebben als voor normaal werk, dan wordt er in gebogen positie aan deze tafel gewerkt. Ook moet er gelet worden op de afmetingen van de werkstukken, waaraan gewerkt wordt. De werkhouding heeft namelijk betrekking op het vlak waarin de handen zich het prettigst bewegen; heeft het werkstuk een niet te verwaarlozen afmeting (in de orde van decimeters) dan moet de hoogte van het werkoppervlak aangepast worden. Ook bij het bedienen van apparaten moet men hierop letten. Het gebeurt bijvoorbeeld nogal eens, dat bij typewerk de ellebooghoogte veel lager is dan het vlak van de toetsen. Gevolg: sneller ontstaan van vermoeidheid dan bij bijna gelijke hoogte het geval zou zijn. Is de ellebooghoogte te laag, dan is de tafel te hoog of de stoel te laag.

VI-1 Stoelen

Het is onmogelijk een stoel te construeren, die voor ieder mens de doelmatigste vorm en afmetingen heeft. Wel is een benadering van het ideaal mogelijk door een maatcompromis voor de verschillende menselijke afmetingen.

Op een stoel moet verandering van houding mogelijk zijn, hoe goed de oorspronkelijk aangenomen houding ook is. Verandering van houding gaat vermoeidheid tegen.

Zittinghoogte

Een ideale zittinghoogte moet ongeveer 1 cm lager zijn dan de lengte van het onderbeen, opdat de dij goed, maar niet te sterk, ondersteund wordt. Nu is de lengte van het onderbeen van mannen in het algemeen groter dan van vrouwen: een goede zittinghoogte moet dus zeker instelbaar zijn. De gemiddelde lengte van het onderbeen van mannen is 45 cm en van vrouwen 42 cm (beide zonder schoenen). Als we hierbij een spreiding van 20% aannemen, is de conclusie dat een werkstoel een instelbereik moet

hebben van ± 35 tot 54 cm. Hierbij is dan rekening gehouden met de afmetingen van de hakken en de hoogte van het werkvlak.

Uit verschillende onderzoeken blijkt, dat voor een niet verstelbare stoel een zittingshoogte van 43-45 cm de beste is (Åkerblom 1948). Bij het gebruik van bekleding moet de maat bij ingezakte toestand genomen worden.

Helling en vorm van zitting

Een lichte helling van de zitting heeft een voordeel, dat het lichaamsge-
wicht vooral opgevangen wordt op die plaats van het lichaam, waar het
weefsel goed op druk berekend is.

Voor een gewone stoel wordt een helling aangegeven van 3-5°, voor
schoolbanken 5-7° (Birmingham 1948) en voor bijvoorbeeld een autozit-
ting 6-7°. Wat de vorm betreft, geeft figuur VI-1 aan, dat op 1/3 van de
zittinghoogte de helling iets groter is. Als gebruik wordt gemaakt van de
rugleuning, geeft dit een betere stabiliteit van het lichaam. Het gebruik
van een holle zitting heeft het nadeel dat de benen tegen elkaar worden
gedrukt; dit bemoeilijkt tevens het veranderen van houding.

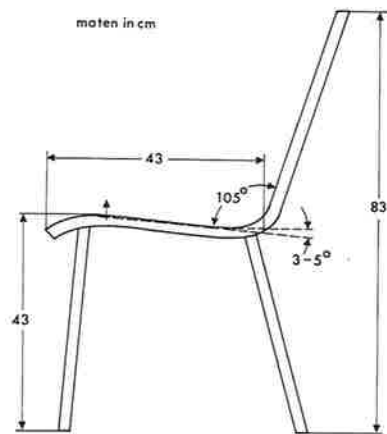
Zittinglengte en breedte

In de literatuur wordt een zittinglengte tussen 43 en 47 cm aanbevolen.
De kortste maat is alleen bruikbaar, als continu van de rugleuning ge-
bruik wordt gemaakt (leuning met lenderust). Als minimale maat voor de
breedte wordt aangehouden 42 cm, maar 50 cm of meer wordt aanbevolen.

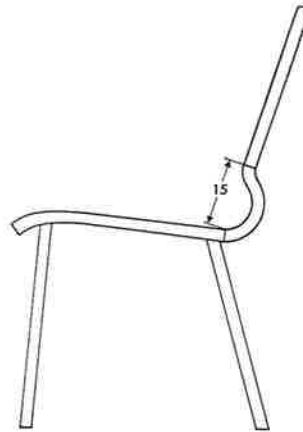
Rugleuning

De beste hoek tussen zitting en rugleuning bedraagt 105°. De rugleuning
moet steun geven ter hoogte van het lendengebied. Het steunpunt van
de rug dient 16 tot 20 cm boven het zitvlak te liggen. De rugleuning mag
niet breder zijn dan 32 cm, om de bewegingsvrijheid niet te beperken.

Een verbeterde stoel geeft figuur VI-2. Hierbij is het onderste gedeelte
van de rugleuning open en de onderkant van de stijlen hebben een holle
vorm. Het veranderen van houding is bij deze stoel zeer goed mogelijk.
Bij het gebruik van arMLEUNINGEN moet de breedte tussen deze leuning
zodanig zijn, dat ze bij armbewegingen niet geraakt worden.



Figuur VI-1. Maatverhouding van een normale stoel.



Figuur VI-2. Verbeterde stoel door uitholling van de rugstijlen.

VI-2 Tafels

Het ligt voor de hand om voor zittend werk de tafelhoogte te laten afhangen van de hoogte van de stoel. Nu is een ideale stoel instelbaar, terwijl het daarentegen maar zelden mogelijk is de tafelhoogte instelbaar te maken. Er zal dan een compromis gevonden moeten worden. Een ruimte van 25 cm tussen onderkant tafel en zitting geeft voldoende ruimte voor de knieën; ook als de knieën over elkaar gelegd worden. Bij een zithoogte van 45 cm mag de tafel niet hoger zijn dan 75 cm (bovenblad). Normen voor tafelhoogte bij verschillend soort werk, dat zittend verricht wordt zijn te vinden in tabel VI-1.

De tafelhoogte voor staand werk is afhankelijk van het soort werk, dat gedaan wordt. In het algemeen wordt ± 5 cm beneden ellebooghoogte als standaardmaat aangehouden, hetgeen neerkomt op een hoogte van ongeveer 100 cm (Enzmann 1958). Daar dit voor de meeste vrouwen te hoog is, is het nuttig voor hen een voetenverhoging te maken. En andersom: voor lange mannen plaatse men blokken onder de tafelpoten.

Gaat het om het leveren van optimale prestaties, dan zijn deze hulpmidde-

Aard van het werk	mannen tafelhoogte in cm	vrouwen tafelhoogte in cm
Zeér fijn werk (korte waarnemingsafst.)	90-110	80-100
Bureauwerk, montagewerk (licht)	70-75	70-75
Montagewerk (zwaar), typen, kantoormach. etc.	68	65

Tabel VI-1. Tafelhoogte voor zittend werk (bovenblad).

Aard van het werk	mannen tafelhoogte in cm	vrouwen tafelhoogte in cm
Zeér fijn werk met steun voor de armen	105-115	100-110
Montagewerk met lichte werkstukken e.d.	95-105	90-95
Montagewerk met zware werkstukken e.d.	80-95	75-90

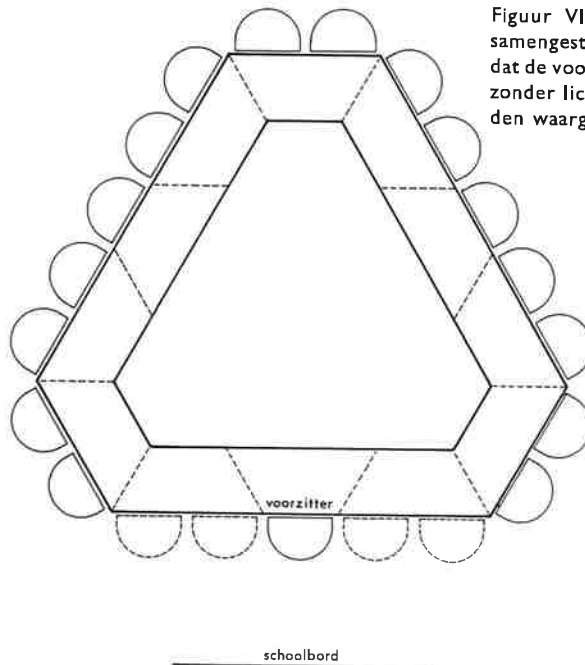
Tabel VI-2. Tafelhoogte voor staand werk (bovenblad).

len onvoldoende; men moet dan verder differentieren naar gelang het soort werk dat gedaan wordt (tabel VI-2).

Bij tafels voor vergaderzalen e.d. moet de vormgeving dikwijls aangepast worden aan de omgeving en het aantal personen. Bij gebruik van speciaal hiervoor geconstrueerde tafels is het mogelijk een zodanige tafelschikking te bereiken, dat de voorzijde (voorzitter) door alle personen zonder lichaamsbeweging kan worden waargenomen (zie fig. VI-3). Wordt evenwijdig aan de voorkant van deze samenstelling een schoolbord of projectiescherm geplaatst, dan is het gezichtsveld ook hierbij onbelemmerd. Met hetzelfde type tafel zijn verschillende samenstellingen mogelijk.

VI-3 Vormgeving en afmeting van panelen

Bij een machine of bij uitgebreide apparatuur behoort veelal een aantal controle- of bedieningsinstrumenten. Teneinde een snel overzicht en een



Figuur VI-3. De vorm van deze samengestelde tafel is zo gekozen, dat de voorzitter door alle personen zonder lichaamsbeweging kan worden waargenomen.

zo doelmatig mogelijke controle te verkrijgen, voegt men zoveel mogelijk van deze instrumenten tezamen, bijvoorbeeld in panelen. Men kan hier denken aan de controlekamers van 'automatisch' werkende fabrieken of ook aan het instrumentenbord van een piloot.

Hoe belangrijk indeling en afmeting van een paneel wel zijn, moge blijken uit het volgende voorbeeld:

Bij het besturen van een DC 4 tijdens start, kruisvlucht en landing kwamen 60 bedieningsorganen te pas – handles, schuiven, knuppels, knoppen en pedalen, 53 hiervan (88%) werden bediend als gevolg van visuele informatie (meter, instrument of informatie van buiten het vliegtuig), 12 (20%) werden bediend op een auditieve impuls (motorgeluid, radio-sigitaal of commando). De bediening van 8 organen (13%) werd gestimu-

leerd door ervaring in het voelen van trilling of weerstand in het bedieningsorgaan zelf, trillingen of geluiden in het vliegtuig als geheel, versnellings- of vertraginggevoelens, stijg- en daalsensaties. Deze percentages zijn bij elkaar meer dan 100% omdat er bedieningsorganen waren, die eerst als gevolg van visuele en daarna ook als gevolg van auditieve of tactiele informatie werden bediend (v. d. Grinten 1963).

Er moet dus bijzonder veel informatie verwerkt worden en dit kan alleen efficiënt geschieden wanneer alles, wat informatie verschaft of bediend moet worden, optimaal is aangebracht.

Er zijn vele factoren bij deze representatie in het geding:

Waarnemingsafstand en hoek apparatuur

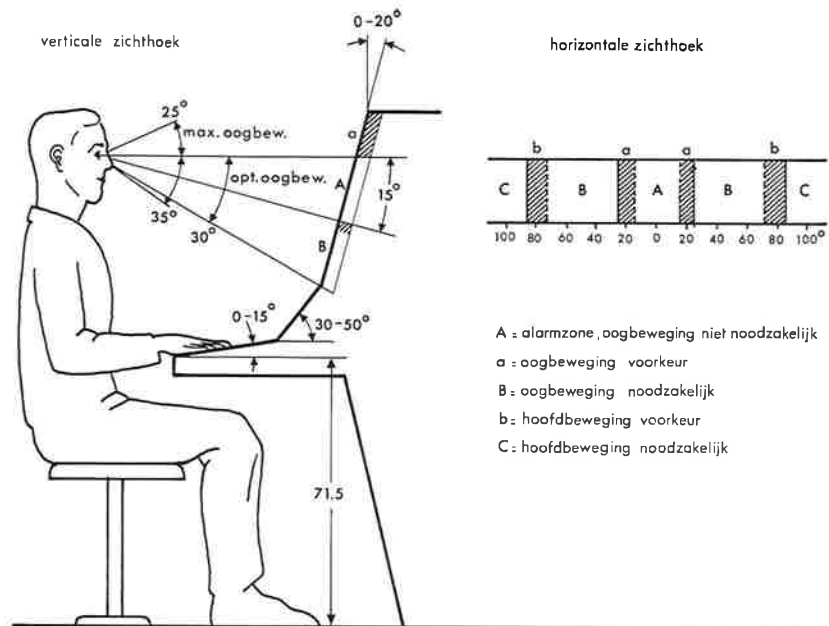
De waarnemingsafstand tot de instrumenten mag niet kleiner zijn dan 35 cm, dit in verband met de accommodatie van het oog. Hoewel een waarnemingsafstand van 50 cm de geschiktste is, wordt de afstand in feite bepaald door de reikafstand van knoppen, etc. Figuur VI-4, geeft de in het algemeen na te streven plaatsing van bedieningsinstrumenten in het waarnemingsveld. Het ideaal daarbij is dat de bedienende man zonder hoofdbeweging alle controle-instrumenten kan waarnemen.

Door Sanders (1963) is aangetoond dat, bij het waarnemen van meerdere signalen, de reactie op deze signalen sterk afneemt, indien de signalen zodanig ruimtelijk gespreid liggen, dat hoofdbewegingen noodzakelijk zijn bij het beoordelen.

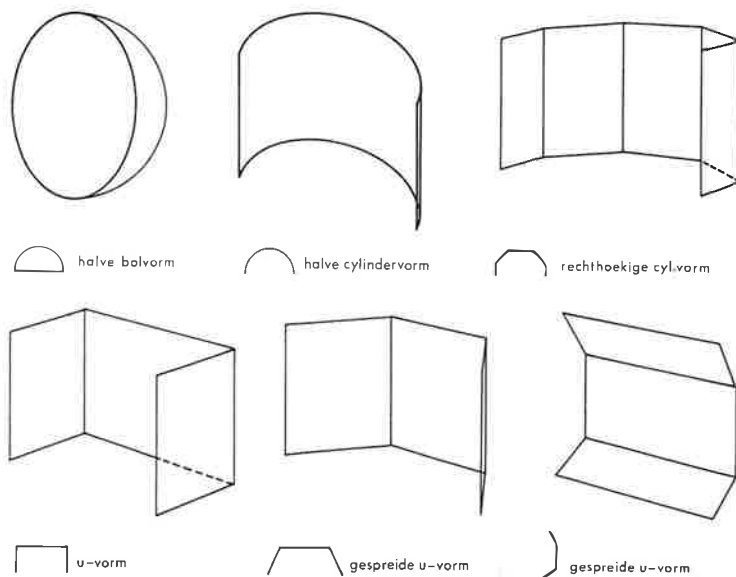
Het blijkt, dat zolang oogbewegingen voldoende zijn voor de heroriëntatie van het ene op het andere signaal, men bij fixatie van één signaal nog een duidelijke notie van elk der andere signalen heeft. Populair gezegd: men heeft de situatie 'onder controle', ook zonder er rechtstreeks naar te kijken. Dit is verdwenen als ook hoofdbewegingen nodig zijn.

Vormgeving panelen

De ideale vormgeving voor een paneel is bolvormig. Constructief is dit moeilijk te verwezenlijken, daarom volstaat men veelal met een deel van een cirkel-cylindrisch oppervlak of U-vorm of gespreide U.

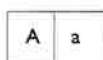
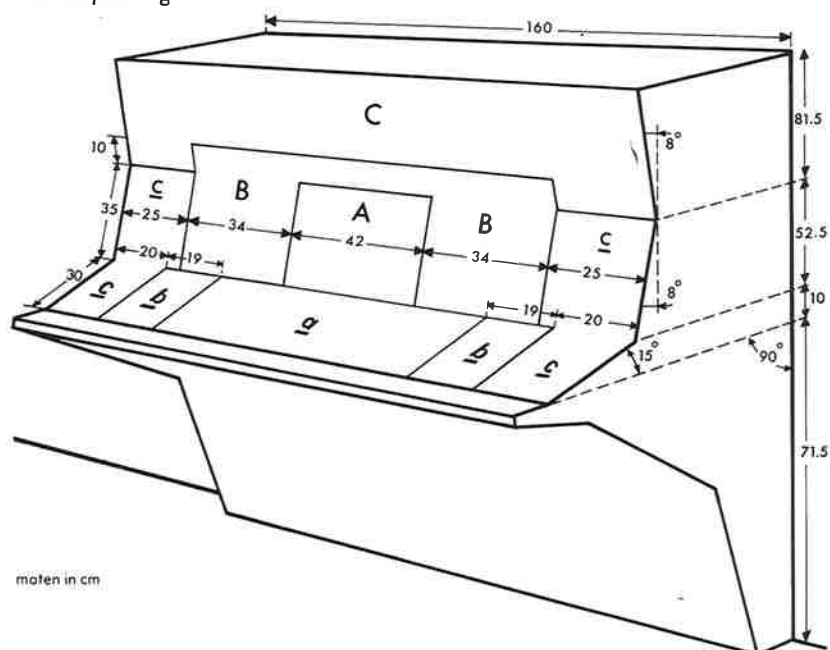


Figuur VI-4. Indeling van het waarnemingsveld (paneel) in velden waarvoor oog- resp. hoofdbewegingen niet en wel noodzakelijk zijn.

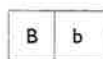


Figuur VI-5. Voorbeelden van paneeloppervlakken (Sandberg 1952).

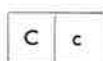
Paneelafmetingen



de belangrijkste en meest gebruikte meters en bedieningsmiddelen in dit gebied.



de minder belangrijke meters en bedieningsmiddelen in dit gebied.



de meters en bedieningsmiddelen, die weinig aandacht vragen of zeer weinig gebruikt worden, in dit gebied.

↑
bedieningsmiddelen

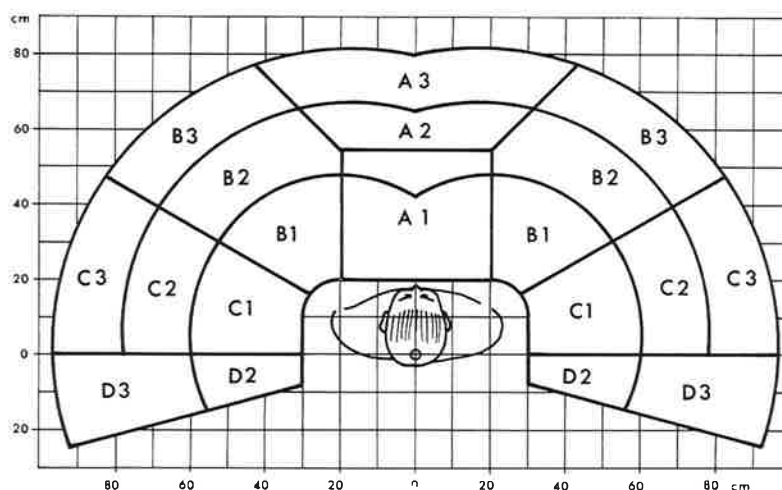
↑
meters

Figuur VI-6. Afmeting en indeling van een paneel (Kellerman 1963).

VI-4 Werkvlak

Bij het bepalen van het werkvlak vormen de afmetingen van de mens een belangrijke factor. Machines en apparaten dienen in ieder geval binnen de maximale reikafstand te liggen om een redelijke werkhouding te verkrijgen. Naast de maximale beperking moet ook aandacht gegeven worden aan de minimale begrenzing. Het werkvlak bestaat namelijk niet slechts uit die verzameling plaatsen, die bereikbaar zijn voor de handen en voeten; ook het kunnen zien van de handen en het aanwezig zijn van steun voor de handen bijvoorbeeld, is van betekenis voor de bepaling van het werkvlak (King 1932). Figuur VI-7 geeft een overzicht van het horizontale werkvlak, ingedeeld naar condities voor gebruik; deze gebruikscondities zijn aangegeven in tabel VI-3.

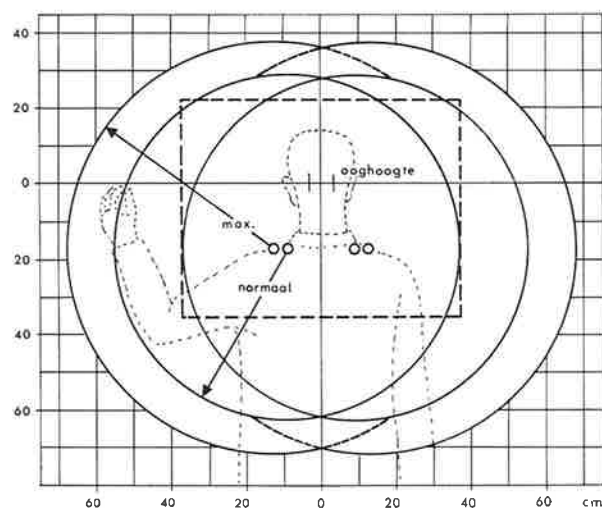
Figuur VI-8 geeft een overzicht van de maten van het verticale werkvlak. De reikafstand van de arm in verschillende situaties wordt weergegeven in de figuren VI-9 en VI-10.



Figuur VI-7. Horizontaal werkoppervlak voor zittend werk met vakindeling voor gebruikscondities.

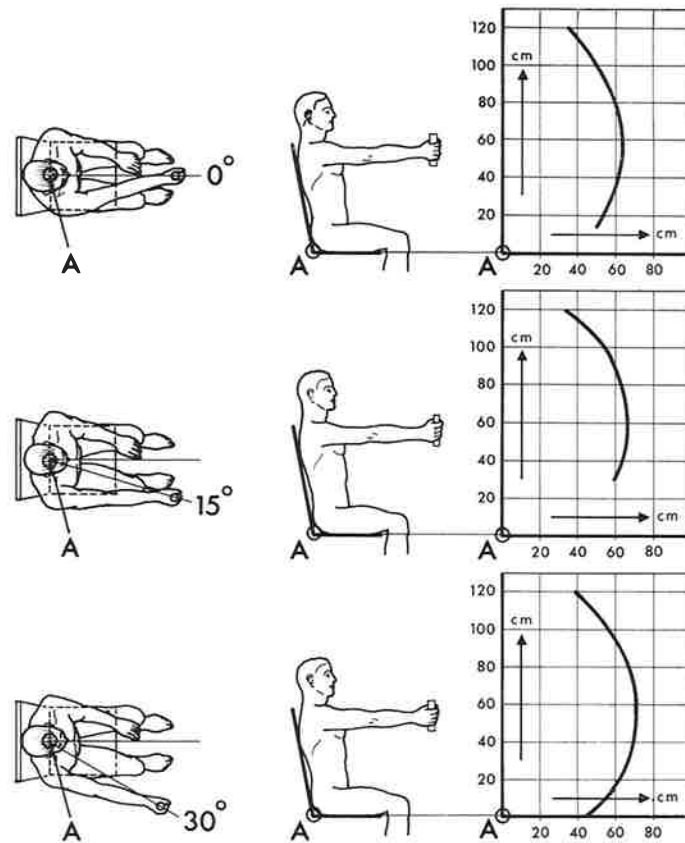
gebruikscondities	indelingsvak nummer
regelmatig manipuleren	A1, A2, B1, C1, B2, C2
weinig manipuleren	A3, B3, C3, D2, D3
zonder oogbeweging	A2, A3
direct in gezichtsveld	A1, A2, A3, B1, B2, B3
niet direct in gezichtsveld	C1, C2, C3, D2, D3

Tabel VI-3. Gebruikscondities voor het horizontale werkoppervlak van figuur VI-7.



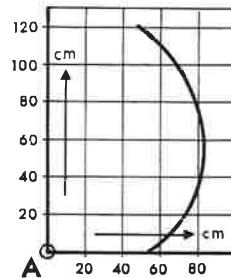
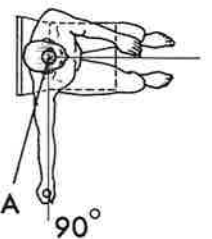
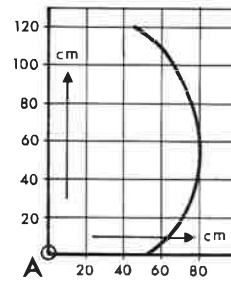
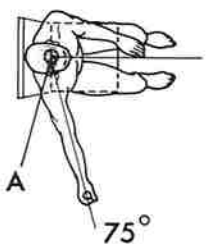
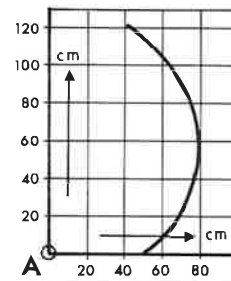
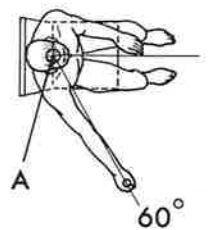
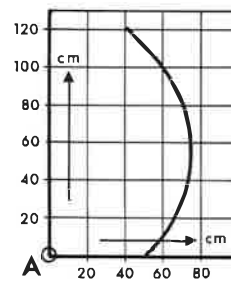
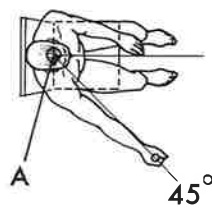
Figuur VI-8. Maximale en normale maten voor het verticale werkvlak met een waarnemingsafstand van 50 cm.

De maximale reikafstand van de armen voor veelvuldige manipulatie is het best te bepalen zonder draaiing van schouders of andere beweging van het lichaam.



Figuur VI-9. (A). De maximale reikafstand in zittende houding voor de rechterarm van het midden naar rechts voor 0°, 15° en 30°. De horizontale en verticale afstand van de meetpunten is bepaald vanaf punt A. De rughelling is constant gehouden, 13° met de verticale lijn (Lund 1963).

Figuur VI-9 (B). De maximale reikafstand in zittende houding voor de rechterarm van het midden naar rechts voor 45°, 60°, 75° en 90° (Lund 1963). →



VI-5 Type en vormgeving knoppen

Hunt (1953) heeft knoppen ontworpen, die onderling niet gemakkelijk verward worden. Hij beveelt drie typen aan (figuur VI-10):

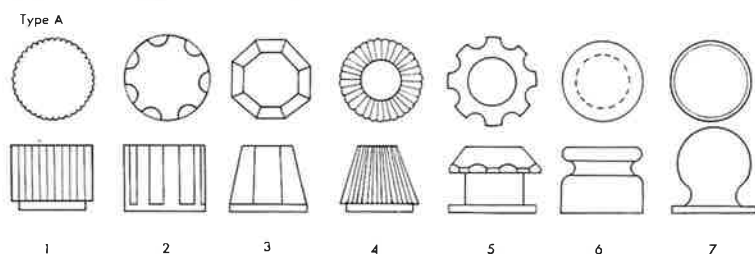
A: voor doorgaande draaiing – knoppositie niet belangrijk

B: voor stapsgewijze draaiing – knoppositie niet belangrijk

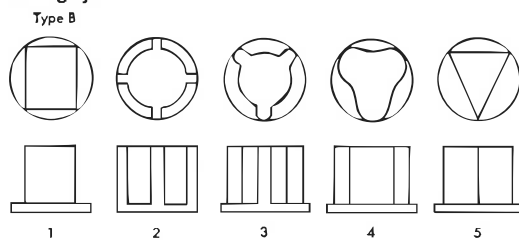
C: voor stapsgewijze draaiing -- knoppositie belangrijk.

Als de indentificatie van de knoppen op de tast kritisch is, moeten enkele combinaties bij voorkeur niet op eenzelfde paneel worden gebruikt:

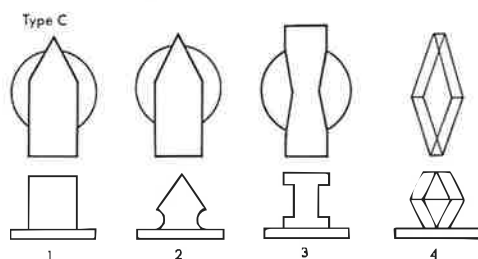
A-3 met B-4; B-1 met B-5; B-2 met B-3 of B-4.



Figuur VI-10a. Knoppen voor doorgaande draaiing, hierbij is de knoppositie niet belangrijk.



Figuur VI-10b. Knoppen voor stapsgewijze draaiing, hierbij is de knoppositie niet belangrijk.

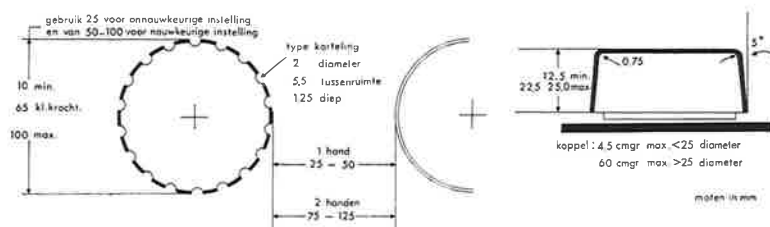


Figuur VI-10c. Knoppen voor stapsgewijze draaiing, hierbij is de knoppositie belangrijk.

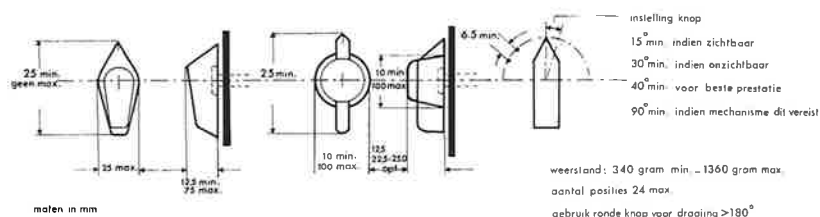
VI-6 Afmeting knoppen

De maximale en minimale afmeting van verschillende type knoppen wordt weergegeven in de figuren VI-11 tot VI-16 (Dreyfuss 1960).

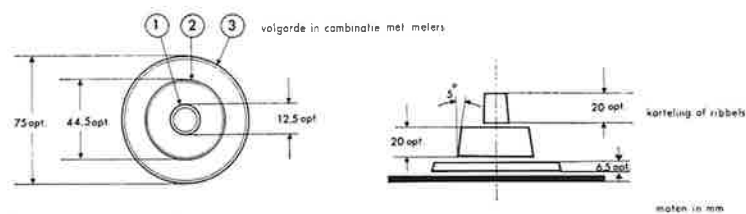
Bij het manipuleren met bedieningsknoppen mogen de handen de schaal niet kunnen bedekken; deze knoppen moeten daarom aan de onderzijde of rechts van de meter gemonteerd worden voor bediening met de rechterhand en onder of links voor bediening met de linkerhand.



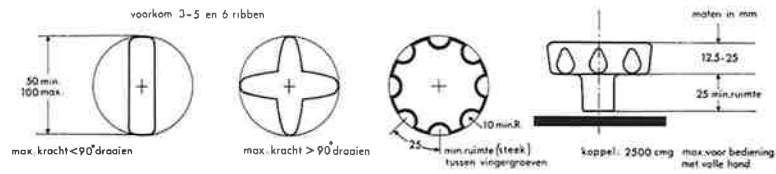
Figuur VI-11. Draaiknoppen.



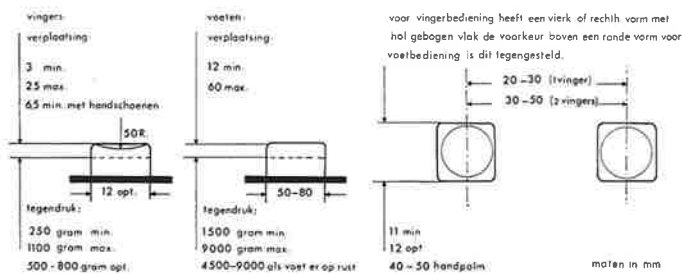
Figuur VI-12. Pijlknoppen.



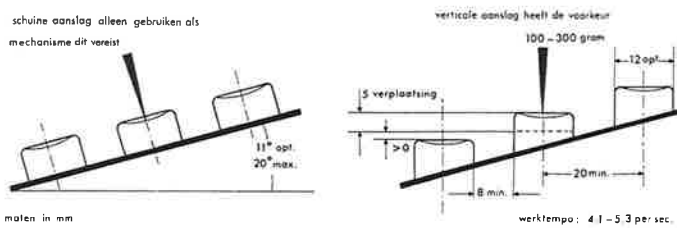
Figuur VI-13. Stelknoppen.



Figuur VI-14. Zwaar-draaiende knoppen



Figuur VI-15. Drukknoppen



Figuur VI-16. Aanslag drukkknoppen

VI-7 Indeling van ruimten met meer panelen

In ruimten met meer panelen, meer apparatuur, meer waarnemers en/of bedienend personeel is een goed verlopende communicatie tussen alle betrokken schakels een noodzakelijke voorwaarde voor een goed functio-

neren van het geheel. De veelsoortigheid van de communicatie en de veelheid der verbindingen maken een indelingsschema welhaast tot iets onontbeerlijks (Barnes 1949). Eerst moet daartoe een lijst van alle verbindingen (schakels) worden samengesteld. Deze lijst baseert zich op de volgende gegevens:

- het aantal betrokken personen en instrumenten,
- de frequentie der verbindingen,
- de importantie der verbindingen.

Er zijn drie soorten verbindingen: machine - machine, machine - mens en mens - mens. De wijze van informatie-overdracht gaat vrijwel hand in hand met deze indeling; hoofdzakelijk geschiedt deze resp. langs automatische, langs visuele en langs auditieve weg. Het is nu mogelijk de waarde van elke schakel uit te drukken in twee cijfers, één voor frequentie en één voor importantie. Bijv. 3 voor grote frequentie, 2 voor middelmatige frequentie, 1 voor geringe frequentie. Eenzelfde procédé met betrekking tot de importantie.

In de praktijk is het vaak doelmatiger met één cijfer te werken nl. het produkt van beide waarden; in het voorbeeld betekent dit, dat de schakelwaarde kan uiteenlopen van 1-9. Eventueel kan men ter vereenvoudiging schakelwaarden beneden een bepaald minimum schrappen, om in de lijst slechts die schakels over te houden die er het meest op aan komen.

Figuur VI-17 is een voorbeeld van een schakellijst voor vier waarnemers en vier machines met paneel. Deze gegevens zouden wiskundig te verwerken zijn, maar om tot een indelingsschema te komen kan men eenvoudiger grafisch te werk gaan.

In het algemeen verdient het aanbeveling bij het tekenen van een indelingsschema uit te gaan van de waarnemer met de meeste verbindingen, evenzo van de machine met de meeste verbindingen. Figuur VI-18 geeft het indelingsschema van de schakellijst uit figuur VI-17. Hierbij is ervan uitgegaan, dat de machines aan de wand geplaatst moesten worden. Daarentegen zijn in figuur VI-19 de machines in het midden van het vertrek geplaatst.

Voor een goede ruimte-indeling is het tekenen op schaal aanbevelenswaardig.

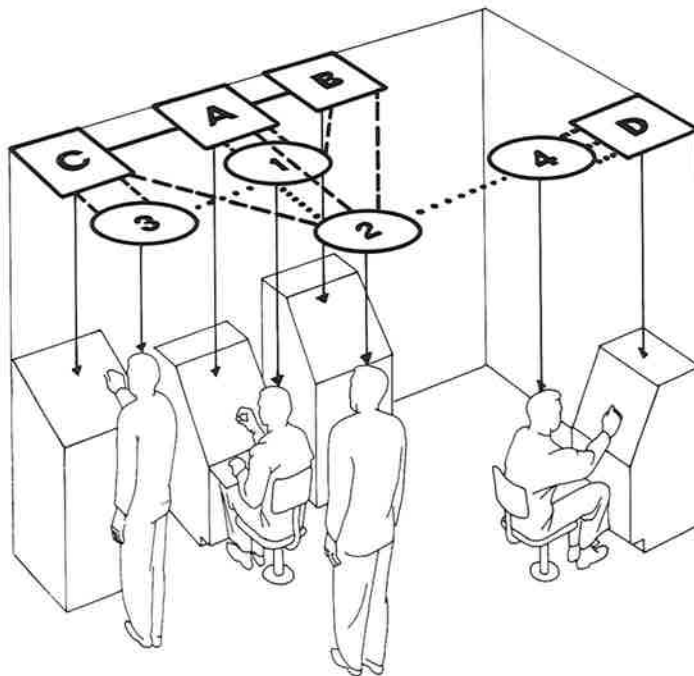
		INSTRUMENTEN				PERSONEEL				totaal
		A	B	C	D	1	2	3	4	
PERSONEEL	1	---- 9 ---- 9	---- 6				 6	 6		36
	2	---- 6	---- 6	---- 6		 6			 3	27
	3			---- 9 ---- 9		 6				24
	4				— 9 ---- 9 9		 3			30
INSTRUMENTEN	A		— 9	— 9		---- 9 ---- 9	---- 6			42
	B	— 9				---- 6	---- 6			21
	C	— 9					---- 6	---- 9 ---- 9		33
	D								---- 9 ---- 9 9	27

— automatische verbindingen
 ---- visuele verbindingen
 auditieve verbindingen

Figuur VI-17. Schakellijst voor automatische-, visuele- en auditieve-verbindingen, waarbij 4 waarnemers en 4 machines met paneel zijn betrokken.

De volgende punten zijn van belang:

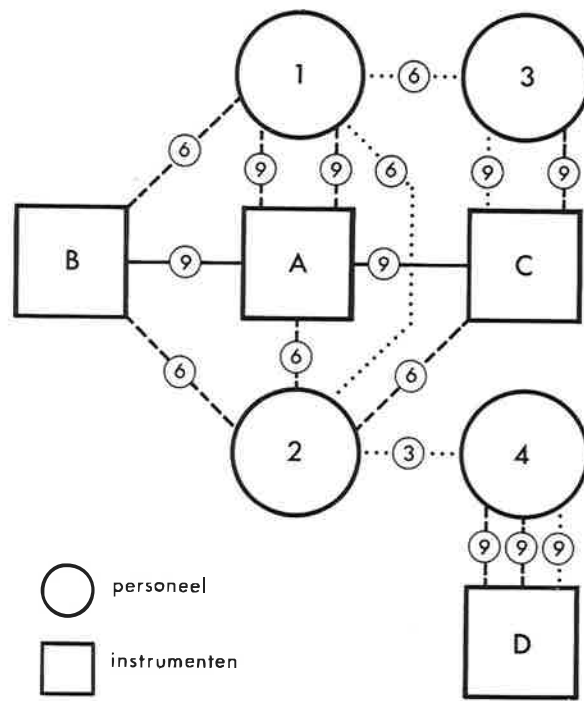
Auditieve verbinding. De afstand voor spraakverbinding moet door spraak zodanig zijn, dat er niet te luid gesproken behoeft te worden: deze afstand is natuurlijk afhankelijk van het lawaainiveau.



Figuur VI-18. Indelingsschema van de schakellijst uit figuur VI-17. Hierbij is ervan uitgegaan dat de machines aan de wand geplaatst zijn (Woodson 1954).

Visuele verbinding. De gezichtsafstand moet zodanig zijn, dat er optimale waarneming is; het gezichtsveld mag niet gehinderd worden door personeel of instrumenten.

Werk- en loopruimte. Het bedieningspersoneel moet voldoende ruimte hebben voor het bedienen van de instrumenten. De loopruimte moet zodanig zijn, dat het personeel elkaar niet hindert en enige mogelijkheid tot 'vertreden' in het werk heeft.



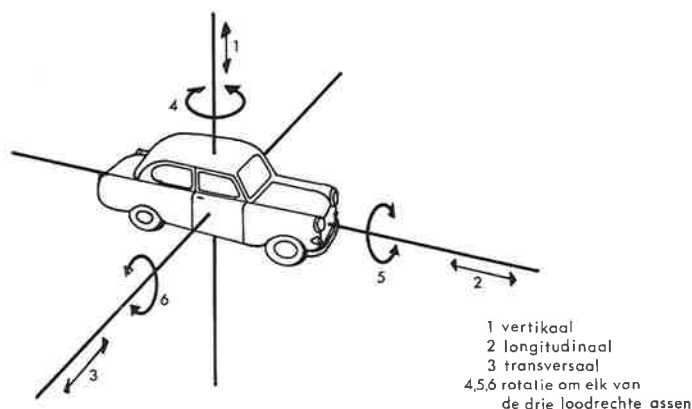
Figuur VI-19. Indelingsschema van de schakellijst uit figuur VI-17. Hierbij is ervan uitgegaan dat de machines in het midden van het vertrek geplaatst moesten worden.

VII Vibratie

Onder vibratie verstaat men alle mechanische trillingen van objecten en mensen. Van vibratiehinder spreekt men, indien het lichamelijk comfort of de werkprestatie door zulke trillingen nadelig beïnvloed worden. Vibratie kan volkomen onregelmatig zijn, maar bevat veelal periodieke componenten. In een auto vindt men een combinatie van verschillende typen trillingen:

- de periodieke trillingen, voortgebracht door de motor,
- de a-periodieke trillingen, overgebracht van het wegdek via banden en vering op de carosserie en de bestuurder,
- de langzame laagfrequentie componenten, die een gevolg zijn van de grotere onregelmatigheden in het wegdek, zoals betonwegen of uithollingen overdors.

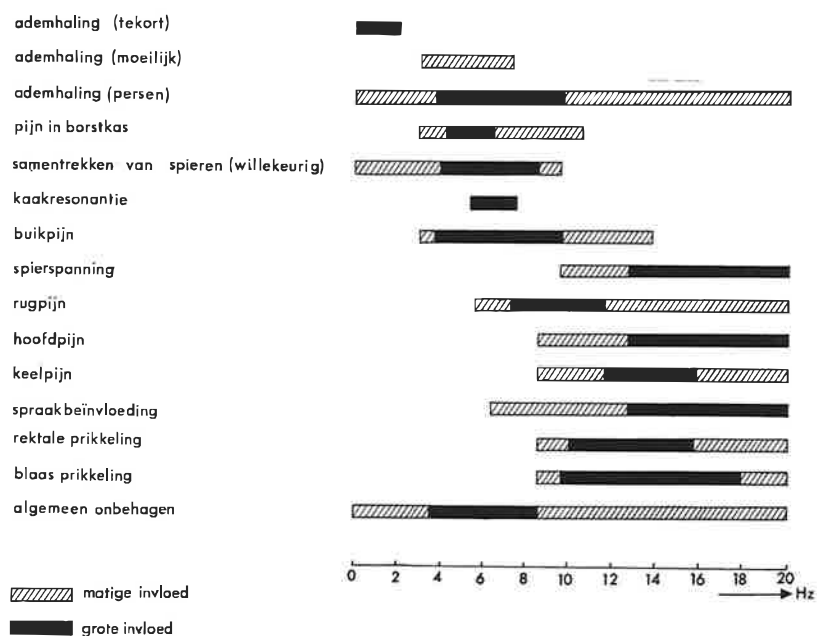
Het gebied van voor de mens als vibratie waarneembare trillingen loopt van minder dan 1 Hz tot minstens enkele honderden Hz. Niet alle frequenties zijn even belangrijk. Het gebied boven 200 Hz speelt vrijwel geen rol, omdat daar de amplitude van de trillingen meestal gering is. Hinderlijk zijn de hogere frequenties gewoonlijk alleen, doordat zij hoorbare resonanties in de omgeving opwekken.



Figuur VII-1. De richtingscomponenten in de vibratie.

Frequenties lager dan 1 Hz hebben uitsluitend een verplaatsing van het gehele lichaam tot gevolg en zijn hinderlijk voor zover het lichaam niet vast verbonden is met zijn omgeving. Bovendien zijn zij de bron van bewegingsziekte (zoals wagenziekte). In beginsel zijn er zes richtingscomponenten in de vibratie te onderscheiden, zoals weergegeven in figuur VII-1.

Van deze zes is voor het gebied, waarin trillingen als zodanig als hinderlijk ervaren worden (1-200 Hz), de verticale trilling het belangrijkste. In de meeste voertuigen zijn trillingen in de verticale richting sterker dan in de andere richtingen. Bovendien is de mens het meest 'weerloos' tegen trillingen in de richting van hoofd naar voeten.



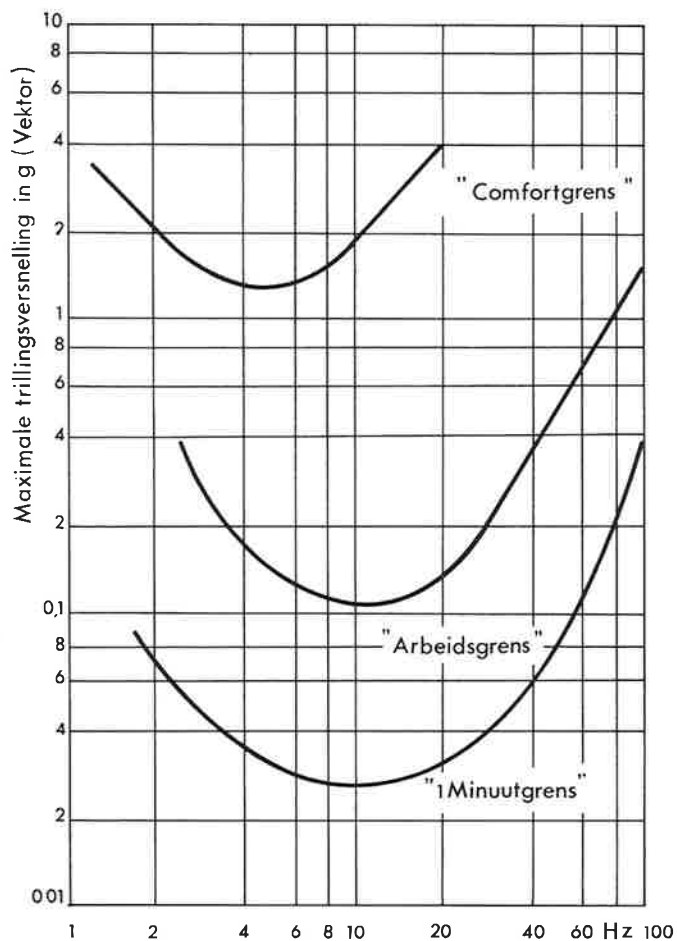
Tabel VII-1. Het gebied waarin de resonantiefrequenties van verschillende lichaamsdelen liggen, bij verticale trillingen in zithouding (Elliott 1937).

VII-1 Invloeden van vibratie op lichaam en prestatie

Men kan de mens met de diverse organen en ledematen beschouwen als een systeem van met veren en visceuze dempers aan elkaar bevestigde massa's. Elk van deze massa's heeft zijn eigen frequentie-karakteristiek, hetgeen betekent, dat bij verschillende frequenties de hinderlijke effecten van vibratie op het lichaam sterk uiteen kunnen lopen. In tabel VII-1 is weergegeven in welk gebied de resonantiefrequenties van verschillende lichaamsdelen liggen. Uit deze tabel blijkt, dat vooral het gebied tussen 3 en 16 Hz bijzonder storend is voor een goede werking van de lichaamsfuncties. Het hoofd-schouder-armsysteem, dat van eminent belang is bij het verrichten bij perceptief-motorische taken heeft in dit gebied ook het meest te verduren. Boven 15 Hz wordt vooral de gezichtsscherpte nadelig beïnvloed.

De grenzen, die het menselijk organisme kan verdragen liggen hoger dan wat enig mens bereid is te accepteren. Tolerantiegrenzen zijn derhalve altijd subjectieve waarderings. Worden deze tolerantiegrenzen in belangrijke mate overschreden, dan bereikt men een punt waarop inwendige beschadigingen gaan optreden, doordat de lichaamsweefsels gaan scheuren. Uit dierproeven kent men echter wel grenswaarden, waarboven weefsels der organen beschadigd worden. Nog subjectiever wellicht zijn de comfort-grenzen. Wanneer is iets net waarneembaar of juist hinderlijk? Dit loopt van persoon tot persoon sterk uiteen. Ook hangt de bereidheid om vibratiehinder te accepteren sterk af van de omstandigheden. Niet-tegenstaande al deze restricties zijn er toch wel enige bruikbare criteria voor diverse grenzen te geven. In figuur VII-2 zijn, als functie van frequentie en amplitude, weergegeven wat de grenzen zijn, waarbinnen men resp. zich comfortabel voelt, nog in staat is te werken, het één minuut uithouden kan (Coermann 1962).

De werkprestatie kan op twee manieren worden beïnvloed door trillingen. In de eerste plaats is er de rechtstreekse aanwijsbare invloed op de lichaamsdelen en de relatieve beweging van de mens t.o.v. zijn werkomgeving. Wanneer we afzien van het onvermogen werk te verrichten, tengevolge van bijvoorbeeld benauwdheid of hevige pijnen in de wervelkolom, blijven enkele factoren over, die nader de aandacht vragen.



Figuur VII-2. Enige bruikbare criteria bij vibratie als functie van frequentie en amplitude (Coermann 1962).

a. *Achteruitgang van het gezichtsvermogen.* Het gezichtsvermogen is over vrijwel het hele gebied van 2 tot 200 Hz gestoord. Vanaf ongeveer 2 Hz

kan het oog de relatieve beweging van de waar te nemen objecten niet meer volgen door de traagheid van de sturing der oogbewegingen. Aanvankelijk blijft het oog in toenemende mate achter bij het object, maar bij ca. 3,5 Hz is de relatie met de beweging van het waar te nemen voorwerp volkomen verbroken. De gezichtsscherptevermindering kan gemakkelijk 30 tot 40% bedragen.

b. *Motoriek.* Onder invloed van vibraties in de frequentieband waarin afzonderlijke lichaamsdelen resoneren, is het manipuleren van objecten en het doelgerichte bewegen nadelig beïnvloed. Dit leidt tot verlengde reactietijden en ongecontroleerde bewegingen.

c. Andere invloeden zijn vermoeidheid door noodzakelijke houdingscorrecties of het aangespannen houden van bepaalde spiergroepen (bijv. nekspieren, waardoor de resonantiekenarakteristiek van het hoofd verandert).

d. Oververhitting van lichaamsweefsels ten gevolge van hoogfrequentie componenten (10^4 Hz) in de trillingen. Deze stoornis komt niet vaak voor. Zij wordt ervaren als een branderig stekend gevoel, diep in de huid. Een ander effect is belangrijk: hevig trillende voorwerpen die lang met de handen worden vastgehouden (pneumatische boren) kunnen de bloedsomloop ernstig verstoren.

De invloed op de werkprestatie, die niet direct met de mechanische aspecten te maken heeft, is voor een belangrijk deel het gevolg van het motivatie-niveau van de betrokken personen.

Achteruitgang van perceptief-motorische taken is zonder meer te verwachten, omdat men gedeeltelijk in beslag genomen wordt door het corrigeren van houding, volgbewegingen en extra inspanning bij het waarnemen. Hoewel weinig systematisch onderzoek is gedaan, is echter gebleken, dat vibraties in het gebied tussen 2 en 20 Hz ook negatieve invloed uitoefenen op de nauwkeurigheid van taken als hoofdrekken. In hoeverre dit een gevolg is van de in het algemeen negatieve motivering, waarmee mensen op trillingshinder plegen te reageren, is moeilijk te zeggen. Onmiddellijk na vibratiebelasting worden sommige motorische taken beter uitgevoerd dan ervoor.

VII-2 Maatregelen ter beperking van trillingshinder

De beste maatregel is uiteraard demping van de trillingen. Dit geldt speciaal voor de middenband van 2-20 Hz. Uitfilteren kan bijvoorbeeld geschieden door gebruik van schokbrekers en verende zittingen. Bij het ontwerpen moet vooral gelet worden op het vermijden van een hinderlijke eigen frequentie van het mens-stoel systeem; een grote rol speelt hierin het eigen gewicht van de mens en de individuele variatie daarin.

De aanwezige trillingen, die niet door technische ingrepen ondervangen kunnen worden, vormen een hinder, die op verschillende wijzen verlicht kan worden.

- a. Aanspannen der spieren van bijvoorbeeld nek en schouders. Hierdoor verandert de karakteristiek van het systeem, waardoor in sommige gevallen de ergste resonanties ondervangen kunnen worden.
- b. Staan met ietwat doorgezakte knieën: de benen geven dan een vrijwel volmaakte demping.
- c. Indien op het verloop van (trage) trillingen geanticipeerd kan worden, ligt de tolerantielimiet gewoonlijk hoger.
- d. Vastzetten van lichaamsdelen (bijv. hoofd, onderarm) zodat een vaste verbinding wordt verkregen met de waar te nemen objecten, c.q. de te manipuleren objecten.
- e. Knoppen e.d. dicht bij het lichaam plaatsen, zodat de reikwijdte zo klein mogelijk wordt.
- f. Draaiende knoppen verdienen de voorkeur boven handles en joystick-controle.
- g. Taken dienen bij voorkeur van het vrije-tempo type te zijn (self-paced). Het is dan n.l. mogelijk de handelingen te verrichten op een gunstig moment (in fase meebewegen of op omkeerpunt van beweging).
- h. Het waarnemen van globale posities wordt door vibratie minder sterk aangetast dan de gezichtsscherpte. Daarom verdienen meters met wijzerindicatie de voorkeur boven vensterindicatie.
- i. Tussen 2 en 1 Hz is het aflezen van trillende meters vrijwel onmogelijk. Boven deze frequenties is het mogelijk om een van de twee beelden, die in de omkeerpunten ontstaan, te fixeren en een goede aflezing te verrichten. Daartoe is het echter nodig de informatie uit te zetten in een richting loodrecht op de voornaamste trillingsrichting.

VIII Klimaat

Er is een voortdurende wisselwerking tussen de mens en zijn omgeving. In het algemeen zal een behaaglijk klimaat nauwelijks opgemerkt worden, daarentegen wordt een onbehaaglijk klimaat direct ervaren. Het menselijk lichaam zal steeds trachten een bepaald warmte-evenwicht in te stellen. Bij behaaglijke temperatuur kan dit evenwicht gemakkelijk bereikt worden, maar bij extreme warmte of koude moeilijk – of in het geheel niet. De warmte-uitwisseling kan op verschillende manieren plaats vinden:

1. Geleiding

De warmtegeleiding wordt bepaald door het geleidingsvermogen van bepaalde stoffen, waarmee de huid in aanraking komt. Bijv. een tegelvloer is in een koude omgeving minder geschikt; door zijn grote geleidingsvermogen wordt er veel warmte aan het lichaam onttrokken. Een houten vloer heeft een veel kleiner geleidingsvermogen, vooral als deze vloer bekleed is met bijv. linoleum e.d. Om deze redenen dienen ook metalen gereedschappen geïsoleerd te zijn.

2. Convectie

De warmte-uitwisseling wordt in belangrijke mate bepaald door het temperatuurverschil tussen de huid en de lucht. De beweging van de lucht is ook van invloed, bij sterke beweging van de lucht wordt er meer warmte aan het lichaam onttrokken. In normale omstandigheden bedraagt de uitwisseling door convectie ongeveer 25 tot 30% van de totale warmte-uitwisseling.

3. Verdamping

Onder normale omstandigheden verdampt een mens ongeveer 1 liter water per dag, d.w.z. de dagelijkse warmte-afgifte langs deze weg bedraagt 600 kcal, hetgeen ongeveer een vierde van de totale warmte-afgifte is. Bij een sterke stijging van de buitentemperatuur treden er reflexen in werking, die aanleiding geven tot een grotere zweetproductie. Het is begrijpelijk, dat de werkende mens tengevolge van zijn verhoogde stofwisseling meer warmte afgeeft dan de rustende mens.

4. Straling

De warmtestraling is een uitwisseling van warmte tussen het menselijk lichaam en de omgevende voorwerpen zoals wanden e.d., welke zowel warmte kunnen uitstralen als absorberen. Het eerste vindt plaats als het object warmer, het tweede als het object kouder is dan zijn omgeving. Doordat in ons klimaat de temperatuur van de omgevingsvoorwerpen in het algemeen lager is dan die van de huid, geeft het menselijk lichaam dagelijks een bepaalde hoeveelheid warmte af door straling. Onder normale omstandigheden geeft het menselijk lichaam door straling ongeveer 40 tot 60% van de totale hoeveelheid warmte af.

VIII-1 Klimaatmetingen

Het behaaglijksheidsgevoel van de mens is o.a. afhankelijk van de luchttemperatuur, luchtsnelheid, luchtvochtigheid en stralingstemperatuur. Deze factoren kunnen met verschillende instrumenten gemeten worden (Erkelens 1961).

Luchttemperatuur: deze kan worden gemeten met een Bargeboerthermometer. Dit is een thermometer met een klein vloeistofreservoir, diameter 2 à 3 mm; deze is weinig stralingsgevoelig en reageert snel.

Luchtsnelheid: voor het beoordelen van luchtsnelheden, kleiner dan 1 m/sec, is men aangewezen op hittedraadanemometers.

Luchtvochtigheid: deze wordt doorgaans bepaald door het meten van droge en natte luchttemperaturen, waarna uit een diagram of tabel grootheden (zowel absolute als relatieve vochtigheid) kunnen worden afgelezen. Voor een snelle en redelijk goede bepaling is de Bargeboerpsychrometer geschikt. Deze bestaat uit twee Bargeboerthermometers, waarvan één vochtig wordt gehouden met behulp van nat filterpapier.

Stralingstemperatuur: deze is op eenvoudige manier af te leiden uit een meting met een globethermometer, een in- en uitwendig zwarte bol met een diameter van 15 cm, waarin een thermo-element is aangebracht.

VIII-2 Normen voor een behaaglijk klimaat

In de gehele bewoonde zone van een ruimte moet worden gestreefd naar een behaaglijke, gelijkmatige situatie.

Aan de volgende voorwaarden dient voldaan te zijn:

- a. De relatieve vochtigheid ligt tussen de 30 en 70%.
- b. De luchtsnelheid is niet groter dan 25 cm/sec, ligt echter bij voorkeur tussen 10 en 20 cm/sec.
- c 1. Het verschil tussen stralings- en luchttemperatuur mag niet te groot zijn. Bij de gebruikelijke uitvoering van gebouwen en verwarmings-systemen zal in de praktijk het verschil tussen t_l en t_s doorgaans hoogstens 2 à 3° C bedragen.
- c 2. Een vloertemperatuur tussen 14 en 26° C.
- c 3. Plafondtemperatuur niet hoger dan een waarde afhankelijk van de hoogte van de ruimte, zie tabel VIII-1.

hoogte van vertrek	max. temp. plafond
2.40 m	28° C
2.70 m	30° C
3.00 m	33° C
3.70 m	40° C

Tabel VIII-1. De plafondtemperatuur bij verschillende hoogte van het vertrek, wanneer het gehele plafond warm is.

d. Verticaal verval van de luchttemperatuur is maximaal 2.5° C/m; bij voorkeur niet meer dan 1.5° C/m. Bij te grote verticale temperatuurverschillen is er kans op een 'te warm hoofd' of 'koude voeten'.

Wanneer aan de voorgaande punten a t/m d wordt voldaan, wordt de toestand voornamelijk bepaald door de lucht- en de stralingstemperatuur en kan de verlangde toestand redelijk door een gemiddelde van t_l en t_s worden aangegeven.

Het gewenste temperatuurniveau hangt samen met de zwaarte van de lichamelijke arbeid. Tabel VII-2 geeft enige algemene richtlijnen voor verschillende soorten arbeid, bij een relatieve vochtigheid van 50%.

Soort arbeid	temperatuur
Hoofdarbeid, zittend	20 tot 21°C
Licht werk, zittend	19°C
Licht werk, staand	18°C
Zwaar werk, staand	17°C
Zeer zwaar werk	15 tot 16°C

Tabel VIII-2. Aanbevolen temperatuur voor verschillende soorten arbeid, bij een relatieve vochtigheid van 50% (Grandjean 1963).

Lijst van aangehaalde literatuur

- Akerblom B. V.: Standing and Sitting Posture, A. h. Nordiska Bokhandelen, Stockholm, 1948.
- Baines, R. M. and King E. S.: A study in the relationship between maximum cranking speed and cranking radius. Motor Skills Research Exchange, 1950.
- Baker C. A. and Grether W. F.: Visual presentation of information. Aero Medical Laboratory, 1954.
- Barber J. L. and Garner W. P.: The effect of scale numbering on scale reading accuracy and speed. J. of Exp. 1951.
- Barner R. M., Hardaway H. and Podalsky O.: Which pedal is best? Factory Management and Maintenance, 1942, vol. 100.
- Barnes R. M.: Motion and time study, John Wiley & Sons, Inc. New York 1949.
- Bennet E., Degan J. and Spiegel J.: Human factors in technology. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1963.
- Bergmans J.: Het zien van kleuren, Philips Technische Bibliotheek, Eindhoven, 1959.
- van Bergeyk, W. A., Pierce J. R. en David Jr. E. E.: Het geluid en ons gehoor. Elsevier, Amsterdam, 1961.
- Birmingham: Anthropometrie Survey: Proposed Discussion for School Chairs, 1948.
- Blackwell H. R.: General method of computing reflected glare and evaluating its visual significance. Illuminating Engineering, Vol. LVI-541-542, New York, 1961.
- Bouma P. J.: Kleuren en kleurindrukken, Meulenhof & Co., N.V., Amsterdam 1946.
- Bouman M. A. and van den Brink G.: On Nightmyopia, Ophthalmologica 1952.
- Brennan, T. N. and Morant G. M.: Selection of knob shapes for radio and other controls. Medical Research Council, Unit of Applied Psychology, 1950.
- Broadbent D. E.: Perception and Communication, Pergamon Press, 1958.
- Broadbent D. E.: Some effects of noise on visual performance. Qu. J. Exp. Psych. 1954, vol. 6.
- Broadbent D. E.: Effects of noise on Behavior. Hoofdstuk 9 in het Handbook of Noise Control (1957).
- Brown, J. S., Wieken E. W. and Norris E. B.: Discrete movements toward and away from the body in the horizontal plane. Office of Naval Research, 1948.
- Chapanis A., Garner W. R. and Morgan C. T.: Applied experimental psychology, New York: John Wiley & Sons, Inc. 1949.
- Chapanis A. and Leyzorek M.: Accuracy of visual interpolation between scale markers as a function of the number assigned to the scale interval. J. of Exp. Psych. 1950.
- Chapanis A., Research Techniques in Human Engineering. The Johns Hopkins Press, Baltimore 1959.
- Clarke H. H.: Analysis of physical fitness index test scores of aircrew students at the close of a physical fitness conditioning program. Research Quarterly, 1945, vol. 16.
- Cobb, P. W. and Moss F. K.: 'Four fundamental factors in vision' in M. Luckiesh and F. K. Moss. Interpreting the science of seeing into lighting practice. General Electric Co, Cleveland, vol. 1, 1927-1932.
- Coermann R.: Die Wirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen und seine Arbeitsleitung, 52 Jahrgang (1962) Heft I. S. 18-25.

- Committee on Colorimetry: The Science of Color. Optical Society of America, Washington D.C. 1963.
- Dreyfuss H.: The measure of man. Whitney Library of Design New York, 1960.
- Dunn H. K. and White S. D.: Statistical Measurements on Conversational Speech. J. Acoust. Soc. Am. 11, 278-288, 1940.
- Dupuis H., Presscher R., Schulte B.: Zweckmäßige Gestaltung des Schlepperführer-stander, Schriftenreihe 'Landarbeit und Technik' der Max-Planck Gesellschaft, Heft 20, Bad-Kreuznach, 1955.
- Elliott F. R. and Louttit C. M.: Auto breaking reaction time to visual vs. auditory warning signals, Proceedings of the Indiana Academy of Sciences, vol. 37, 1937.
- Ely J. H. Thomson R. M. and Orlansky J.: Lay out of workplaces, USAF, Wright Air Development Center, Technical Report 56-171, 1956.
- Ely J. H. and Orlansky J.: Design of Controls. USAF, Wright Air Development Center, Technical Report 156-172, 1956.
- Enzmann M.: Die optimale Arbeitsehhöhe. Industrielle Organisation no. 6, 1958.
- Erkelens H. J.: Klimaat en klimaatmetingen, Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, 1961.
- Faverge J., Leplat B. et Guignet B.: L'adaptation de la machine à l'homme, Presses Universitaire de France, Paris, 1958.
- Fitts P. M.: Engineering psychology and equipment design in S. S. Stevens (ed.) Handbook of experimental psychology. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1951.
- Garry R. C.: The factors determining the most effective push or pull which can be exerted by a human being on a straight level moving in a vertical plane. Arbeitsphysiology 1930.
- Gardner J. F.: Speed and accuracy of response to five different attitude indicators, USAF, Wright Air Development Center, Technical Report 54-236, 1954.
- Garner W.R. and Gebhard J. W.: Machine dials and scales, Machine Design, vol. 21, 1949.
- Glanville A. D. and Kreezer G.: The maximum amplitude and velocity of joint movements in normal male human adults, Human Biology, vol. 9, 1937.
- Geldard F. A.: The human senses, John Wiley & Sons Inc. New York 1953.
- Grandjean E.: Physiologische Arbeitsgestaltung, Thun/München, 1963.
- Grether W. F. and Williams A. C.: 'Speed and accuracy of dial readings as a function of dial diameter and angular separation of scale division', in P. M. Fitts (ed.). Psychological Research in Equipment Design, 1947.
- Grether W. F.: Instrument reading I. The design of longscale indicators for speed accuracy of quantitative readings. J. of Applied Psych. vol. 33, 1949.
- Grinten G. R. van der: Over mens en mechanisatie (uittreksel) Sectie Technische en Industriële Vormgeving, TH-Delft, 1963.
- Guide pratique de l'éclairage des bureaux et ateliers Electricité de France, Paris 1963.
- Hage H. W. and Garner W. R.: The effect of presenting various numbers of discrete steps on scale reading accuracy. Journal of Exp. Psych. vol. 52, 1952.
- Harris C.M. (Editor): Handbook of Noise Control. McGraw-Hill Book Company, New York, 1957.

- Heating, ventilating air conditioning guide, America Society of Heating and Ventilating Engineers. New York, 1955.
- Hopkinson R. G.: Lighting, (Architectural Physics), Her Majesty's Stationery Office, London 1963.
- Hooten E. A. and Staff A.: Survey in seating, Heywood-Wake Field Co., Gardner, Mass., 1945.
- Hunsicker P. A.: Arm strength at selected degrees of elbow flexion, USAF, Wright Air Development Center, Technical Report 54-548, 1945.
- Hunt D. P.: The coding of aircraft controls, USAF, Wright Air Development Center, Technical Report 53-221, 1953.
- I.E.S.: Lighting Handbook, Third Edition Illumination Engineering Society, New York 1959.
- Jenkins W. O.: 'The tactual discrimination of shapes for coding aircraft controls', in Fitts, P. M. (ed.) Psychological research on equipment design. Army Air Force, Research Report 19, 1947.
- Jerome H. E.: Lay out of workplaces, WADC Technical Report 56-171, 1956.
- Jerome H. E.: Design of controls, WADC Technical Report 56-172, 1956.
- Judd D. B.: Colour Harmony, Inter-Society Color Council, 1955.
- Kappauf W. E.: 'The design and use of instruments' in Human factors in Undersea Warfare, Committee on Undersea Warfare, National Research Council, Washington, 1949.
- Kappauf W. E. and Smith W. M.: A preliminary experiment on the effect of dial graduation and size on the speed and accuracy of dial reading. *Annals of the New York Academy of Sciences* vol. 51, 1951.
- Kappauf W. E., Smith W. M. and Bray C. W.: A methodological study of dial reading. Princeton University Dep. of Psychology Report 3, 1947.
- Kellerman F., van Wely P. en Willems P.: 'Vademecum Ergonomie voor de Industrie', Philips, Technische Bibliotheek, Centrex, Eindhoven 1963.
- King B. G., Morrow D. J. and Vollmer E. P.: Cockpit studies: The boundaries of the maximum working area for the operation manual controls. Naval Medical Research Institute Bethesda, Project x-1932.
- Knudsen V. O. en Harris C. M.: *Acoustical Designing in Architecture*. John Wiley and Sons, New York, 1950.
- Kocher A. L. and Frey A.: Design and drafting problems. *The Architectural Record*, 1932.
- Kouwer B. J.: Colors and their character, Dissertatie 1958.
- Kryter K. D.: Exposure to Steady-State Noise and Impairment of Hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 35, 1515-1525, 1963.
- Kryter K. D., et al.: Hazardous Exposure to Intermittent and Steady-State Noise, *J. Acoust. Soc. Am.* 39, 451-464, 1966.
- van Laar F. en Plomp R. e.a.: Geluidsverzwakking van tien verschillende gehoorbeschermingsmiddelen, *T. Soc. Geneesk.* 42, 1-10, 1964.
- de Lange P. A.: *Bouwakoestiek in kort bestek*. Nijgh & van Ditmar, 's-Gravenhage, 1962.

- Lay W. E. and Fischer L. C.: Riding comfort and cushions, *Journal of the Society of Automotive Engineers* vol. 11, 1940.
- Lazet A. en Walraven P. L.: A comparative study of the reading of linear and logarithmic scales. Institute for Perception RVO-TNO, report no. 1959-16.
- Lazet A.: Visuele representatie en bediening van instrumenten, Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO, rapport no. WW 1957-11.
- Lazet A.: Ontwerp van standaardletters en cijfers, Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO, rapport no. WW 1955-13.
- Lazet A. en van Kasteel K. J.: Herkenbaarheid registratiekenmerken op luchtvaartuigen. Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO, rapport IZF 1965-24.
- Lehmann G.: *Praktische Arbeitsphysiologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1962.
- Levelt W. J. M.: On Binocular Rivalry. Institute for Perception RVO-TNO, Report no. IZF 1965-19.
- Licklider J. C. R. en Pollack I.: Effects of Differentiation. Integration and Infinite Peak Clipping upon the Intelligibility of Speech. *J. Acoust. Soc. Am.* 20, 42-51, 1948.
- Lippert S.: Designing for comfort in aircraft seats, *Aeronautical Engineering Review*, vol. 9, 1950.
- Luckiesh M. and Moss F. K.: Reading as a visual task. D. van Nostrand Co., New York, 1942.
- Luckiesh M.: Light, Vision and Seeing. D. van Nostrand Co., New York, 1944.
- Luckiesh M.: Light and Work. D. van Nostrand Co., Inc. Princeton, 1944.
- Lund M. e.a.: *Human Engineering guide to equipment design*. Mc Graw-Hill Book Comp. New York, 1963.
- Mc Adam D.L.: Visual sensitivities in color differences in daylight. *J. Opt. Soc. Am.* 32, 247-274, 1942.
- Mc Cormick E. J.: *Human Engineering* Mc Graw-Hill Book Comp., 1957.
- Michon J. A.: A note on the measurement of perceptual motor load. *Ergonomics*, 7, 461-463, 1964a.
- Michon, J. A.: Studies on subjective duration, I. Differential sensitivity in the perception of repeated temporal intervals. *Acta Psychol.*, 22, 441-450, 1964b.
- Michon, J. A.: Tapping Regularity as a Measure of Perceptual Motor Load. *Ergonomics*, 9, 401-412, 1966.
- Moon P. and Spencer D. E.: Visual data applied to lighting designs, *Journal Opt. Soc. Am.* 34, 1944.
- Normal Equal-Loudness Contours for Pure Tones and Normal Threshold of Hearing under Free Field Listening Conditions. International Organization for Standardization Recommendation R 226, 1961.
- Plomp R.: Het gehoororgaan als frequentie-analysator. *Ned. T. Natuurk.* 31, 229-241, 1965.
- Pocket data for human factor engineering Cornell Aeronautical Laboratory, Inc., 1960.
- Provins K. A. and Salter N.: Maximum torque exerted about the elbow joint, *Journal of Applied Physiology* 1955.
- Randall F. E.: Seat comfort, *Mechanical Engineering* vol. 68, 1946.

- Randall F. E., Damon A., Burton R. S. and Patt D. J.: Human body size in military aircraft and personal equipment. Army Air Force, Technical Report, vol. 6, 1946.
- Recommandation relatives à l'éclairage des Batiments et de leurs annexes. Institut National de Sécurité, Paris 1963.
- Ritsma R. J.: Het gehoororgaan als periode-analysator. Ned. T. Natuurk. 31, 1965.
- Salter N. and Darcus H. D.: The effect of the degree of elbow flexion on maximum torques developed in pronation and supination of the right hand. Journal of Anatomy, vol. 86, 1952.
- Sandberg K. O. W. and Lipshultz H. O.: Maximum limits of working areas on vertical surfaces, Office of Naval Research, Special Devices Center, Report 166-1-8, 1952.
- Sanders, A. F.: The selective process in the functional visual field. Institute for Perception RVO-TNO, Soesterberg, 1963.
- Schulte B.: Physiologische Beziehungen zwischen Mensch und Machines, Dissertation Technische Hochschule, Hannover, 1951.
- Schulte B.: Arbeitserleichterung durch Anpassung der Maschine an den Menschen, Carl Verlag, München 1952.
- Senders V. L.: The effect of number of dials on qualitative reading of a multiple dial panel, USAF, Wright Air Development Center, Technical Report 52-182.
- Sittig J. en Freudenthal H., De juiste maat, L. Stefleu, Leiden, 1951.
- Sleight R. B.: The effect of instrument dial shape on legibility, Journal of Applied Psychology vol. 32, 1948.
- Sloan L. L.: Rate of Dark Adaptation and Regional Threshold Gradient of the Dark Adapted Eye. Am. J. of Ophth. vol. 30, 1947.
- Spoor, A.: Presbycusis values in relation to noise induced hearing loss. Internat. Audiology, vol. 6, 1967.
- Tinker M. A.: Interpretation of illumination data, American Journal of Optometry and Archives, vol. 59, 1952.
- Volkers G. A. H.: Zitten uw mensen wel goed. N.V. Kosmos Amsterdam, 1958.
- Vos, J. J. and Lazet A.: Visual contrast thresholds in practical problems. Institute for Perception RVO-TNO, report WW 1955-18.
- Walraven P. L. and Bouman M. A.: Fluctuation theory of colour discrimination of normal trichromats. Vision Research, vol. 6, pp. 567-586, 1966.
- Walraven P. L. en Bouman M. A.: Over kleur benoemen van signaallichten I. Metingen in het rood-groen gedeelte van het spectrum. Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO rapport WW 1955-19.
- Walraven P. L. en Leebeek H. J.: Een handflikkerfotometer, TNO-Nieuws 12, 435-437, 1957.
- White H. J. and Sauer S.: Scale design for reading at low brightness, WADC Technical Report no. 53, 1954.
- Weston H. C.: Industrial Health Research, Report no. 87 H. M. Stationary Office, London 1945.
- Woodson W. E.: Human Engineering Guide, University of California 1954.
- Yule G. U.: On reading a scale. Journal of the Royal Statistical Society, vol. 90, 1927.

Literatuur voor verdere oriëntering

- Åkerblom, B. Standing and sitting posture. Stockholm, Nordiska, Bokh., 1948.
- Bennet, E., Degan, J., Spiegel, J.: Human Factors in Technology McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1963.
- Chapanis, A., Garner, W. R. & Morgan, C. T. 'Applied Experimental Psychology'. Human Factors in Engineering Design; John Willey & Sons Inc. New York 1955.
- Chapanis, A.: Research Techniques in Human Engineering. The Johns Hopkins Press, Baltimore, 1959.
- Committee on Undersea Warfare: Human factors in undersea warfare (with supplement), National Research Council, Washington, 1949.
- McCormick, E. J.: 'Human Engineering'. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1957.
- Dreyfuss, H.: 'Designing for People', Simon and Schuster, Inc. New York, 1955.
- Dreyfuss, H.: 'The Measure of Man; Human Factors in Design', Witney Publications Inc. New York, 1959.
- Faverge, J. M., Leplat, J., Guignet, B.: L'adaptation de la Machine à l'homme, P.U.F. Paris, 1958.
- Fitts, P. M. (Ed): 'Psychological Research on Equipment Design', U.S. Government Printing Office, 1947.
- Floyd, W. F., and A. T. Welford,: Human Factors in equipment design. London, Lewis, 1954.
- Grandjean, E.: Physiologische Arbeits-gestaltung, Ott Verlag. Thun/München, 1963.
- Kellerman, F., van Weley, P. en Willems, P.: 'Vademecum Ergonomie voor de Industrie' Philips Technische Bibliotheek, Centex, Eindhoven, 1963.
- Morgan, C. T., Cook, J. C., Chapanis, A., and Lund, M. W. Human engineering guide to equipment design. New York, McGraw-Hill, 1963.
- Murrell, K. F. H.: Ergonomics, man in his working environment Chapman & Hall, London, 1965.
- Lund, M.: Human Engineering Guide to Equipment Design McGraw-Hill Book Company New York, 1963.
- Lehmann, C.: Praktische Arbeitsphysiologie, Stuttgart, 1953.
- Sittig, J. en Freudenthal, H.: 'De Juiste Maat', Stafleu, Leiden, 1951.
- Stevens, S. S. (E.I.): 'Handbook of Experimental Psychology', John Willey & Sons, Inc. New York, 1951.
- Wely van P. A. en Willems P. J., Ergonomie mens en werk. Marka, Utrecht, 1966.
- Woodson, W. E.: 'Human Engineering guide for Equipment Designers', University of California Press, Berkeley, California, 1954.

Alfabetische trefwoorden

- accommodatie 5
- adaptatie 5
- afstand tussen oog en werk 45, 49, 119
- akoestiek
- arbeid, dynamische 102, 103
 - statische 102, 103
- armbeweging 87
- armkracht 105, 106, 107
- audiometer 73
- auditieve waarneming 69
- autozitting
- bedieningsmiddelen 123
- beeldvorming 3
- beenkracht 107, 108
- bewegingshandeling 101
- bewegingsmogelijkheden der ledematen 92, 93, 97, 98
- bewegingsparallax 11
- bewegingspedaal 113
- bewegingsruimte 99, 100, 101
- binoculair zien 9
 - versmelting 10
- blikveld 9
- boogminuut 6
- bril 2, 3
- bijziendheid 3
- coderingen 67
- contrast 7
- controle-aflezing 50
- constructiepop 99
- convectie 141
- convergentie 10
- cijfers 51, 60
- cijfervolgorde schalen 52
- daglicht 31
- dB schaal 72
- dueteranopen 16
- diepte-informatie 11
 - scherppte 11
 - zien 10, 11
- donker-adapteren 5
- draaiknoppen 129
- drukknoppen 130
- drukkracht 104, 105
- duimbeweging 88
- duwkracht 106
- ellebooghoek 87
- fixatie 10
- formanten 77
- fotocellen 13, 23, 24
- fovea 1, 3, 7
- gaspedaal 112
- gehoorbeschadigingen 86, 87, 88
- gehoordrempel 74
- gehoorfunctie 74
- gehoororgaan 69 70
 - binnenoor 69
 - bouw en werking 69, 70, 71, 72
 - buitenoor 69, 70
 - cochlea 70
 - membraan 70
 - middenoor 69, 70
 - middenoorbeentjes 71
 - trommelvlies 70
- gehoorverlies 74
- geluid 71
 - frequentie 77
 - in zalen 80, 81, 82
 - luidheid 75
 - maskering 76
 - niveaumeter 74
 - niveaus 72, 80
 - spectrum 77
 - trillingen 71
- gezichtsorgaan 112
 - scherppte 6, 14, 15
 - veld 7, 8
- handbeweging 98
- handgreep 110

- handwielen 108, 109, 110, 111
- hefkracht 104, 105
- helderheid 25
- helderheidscontrast 7, 28
- hoofdbeweging 98
- hoofdveld 9
- indeling ruimten 130, 131, 132, 133, 134
- instrumentverlichting 37, 38, 39, 40, 41
- kegeltjes 3, 4
- kleurendriehoek 18, 19
 - blindheid 16
 - zien 13
 - zwakheid 16
- kleurmengen 20, 21
 - additief 20, 21
 - subtractief 20, 21
- kleurreceptoren 13, 18
 - harmonie 41, 42
 - indruk 13
 - meting 16, 17
 - onderscheidingsvermogen 16
 - soort 17
 - waarde 17
- klimaat 141
 - metingen 141
 - normen 142, 143, 144
- knoppen 128
- koelen kleuren
- lawaaihinder 82, 83, 84
- leesafstand 2
- lensspieren 2
- letters en cijfers 43
 - herkenbaarheid 44
 - kleurcontrast 44
 - leesafstand 45, 49
 - lijndikte 43, 44
 - spatiëring 44
 - standaard 46, 47, 48, 49
- lichaamsafmetingen 90
 - mannen 91, 92, 93, 96
 - vrouwen 91, 94, 95, 96
- lichtadapteren 5
- lichtbronnen 33, 34, 35
- lichtgevoeligheid 4
- lopen 58
 - binoculaire bril 60
 - binoculaire hoofd 59
 - handlees 69
 - horlogemakers 59
 - kaartlees 59
 - vezeloptiek 65
 - vouw 59
- luchttemperatuur 142, 143
- luchtvochtigheid 142
- luminanties 23, 24, 25
- luxmeter 23, 24
- mechanische trillingen 135
- meters 49
 - controle aflezing 50
 - cijfers- en graadverdeling 51, 52, 53
 - groepering 54
 - kwalitatieve aflezing 49
 - kwantitatieve aflezing 49
 - schaalvorm 50, 51, 52
 - wijzernaalden 54
- micro-arbeid 55
 - dichtbijhalen 57
 - gezichtshoek 56
 - indirecte hulpmiddelen 65, 66, 67, 68
 - optische hulpmiddelen 56
 - projectie 57
- microscopen 61
 - binoculaire tekenbuis 64
 - monoculaire 63
 - pseudo stereo 63, 64
 - stereo 63
 - zoom 64
- nagalmtijd 81
- nanometer 4
- natriumlicht 34
- netvlies 1

- octaafilter 74
- omgevingskleur 40, 41
 - helderheid 29
- oog 1
 - beweging 9, 122
 - correctie 3
 - gevoeligheidskrommen 18
 - veld 9
- panelen 119, 120, 121, 122, 123
 - afmetingen 123
 - oppervlakken 122
 - vormgeving 121, 122, 123
 - waarnemingsafstand 121
- pedalen 111
- perceptief-motorische belasting 113
- perifere gezichtsveld 8
- plafondtemperatuur 143
- presbyopie 2
- protanopen 16
- pupil 1
 - afstand 96
- pijlknoppen 129
- receptoren 3
- reflectie 26
- rempedaal 112
- ruimte-indeling 130
 - schakellijst 131, 132
 - schema 133, 134
- rijkafstand 125, 126, 127
- scherpzien 2
- schoolbanken 117
- slingers 110
- spierarbeid 102, 103, 104, 105
- spraak 77
 - elementen 77
 - overdracht 79, 85
- verstaanbaarheid 78
- staafjes 3, 4
- standaard daglicht 19
- stelknoppen 129
- stoelen 116, 117, 118
 - helling en vorm zitting 117
 - rugleuning 117
 - zittinghoogte 116
 - zittinglengte en breedte 117
- stralingstemperatuur 142
- tafels 118, 119
 - hoogte 119
 - vergader 119, 120
- telefonie systeem 79
- trillingshinder 140
- veiligheidskleuren 42
- verdamping 141
- verlichting 22
 - armaturen 33
 - contrast 28
 - eenheden 22, 23, 26
 - instrumenten 37, 38
 - kleurenzientaken 29
 - niveau 28, 29, 30, 31
 - reflectie 36, 37
 - sterkte 30, 31
 - werктаak 27, 28
- visuele taak 9
- warne kleuren 41
- warmte-geleiding 141
- werkruimte 116
- werkvlak 124, 125
 - horizontaal 124, 125
 - verticaal 125
- zwaar draaiende knoppen 130

