Richtlijnen voor de ergonomie van werkplekken

Een studie uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO in samenwerking met het Nederlands Instituut voor Preventieve Gezondheidszorg TNO

Samensteller: H. Schuffel, E. Ellens, F. Pot.

Begeleidingscommissie D.G.A.:
P. Voskamp (vrz.)
M.G. den Held
M.C.W. van Mackelenbergh
J.A. Ringelberg
M.A.P. Verwijmeren

Eerste druk: april 1989
Tweede druk: mei 1989

april 1989

		blz.
INHOUD		2
SAMENVATTING		3
1	INLEIDING	4
2	MENS	9
2.1	Antropometrie *H. Schuffel*	11
2.2	Lichamelijke belasting *J. Dul en H.C.G. Kemper*	22
2.3	Mentale belasting *J.P.A. Boer en C.J.E. Wientjes*	40
3	HULPMIDDELEN EN WERKPLEK	47
3.1	Visuele informatiepresentatie *E. Ellens*	52
3.2	Auditieve informatiepresentatie *T. Houtgast*	71
3.3	Bedieningsmiddelen *H. Schuffel*	75
3.4	Handgereedschappen *E. Ellens*	101
3.5	Werkplek *E. Ellens*	113
3.6	Werkruimte *E. Ellens*	156
4	OMGEVING	167
4.1	Binnenverlichting *P.M. van Bergem-Janssen*	170
4.2	Geluid *T. Houtgast*	190
4.3	Klimaat *W.A. Lotens*	198
4.4	Trillingen *W. Passchier-Vermeer*	222
4.5	Stof en ventilatie *J. van Dongen*	232
4.6	Toxische stoffen *G. de Mik*	242
5	TAAK	247
5.1	Taakallocatie *A.A.F. Brouwers en M.A. Neerincx*	248
5.2	Werk- en rustperioden *M.L.I. Pokorny*	262

SAMENVATTING

Met het oog op het van kracht worden van de laatste fase van de Arbowet in 1990 zijn in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid richtlijnen opgesteld voor het ontwerpen en beoordelen van werkplekken. De studie werd uitgevoerd door het Instituuut voor Zintuigfysiologie TNO, in samenwerking met het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO.
In het rapport komen in vier hoofdstukken 17 onderwerpen aan de orde. De onderwerpen bevatten informatie over de afstemming van de werkplek op de lichaamsafmetingen en -krachten en op de eigenschappen van de mens met betrekking tot het waarnemen en bedienen van instrumenten. Elke richtlijn bestaat in beginsel uit een inleiding over het onderwerp, de gegevens voor de beoordeling, een discussie en een vermelding van normen, wet- en regelgeving, meetmethode en -apparatuur en literatuur.

1 INLEIDING

Met het oog op het van kracht worden van de laatste fase van de Arbowet in 1990 wil het Directoraat Generaal van de Arbeid (DGA) zo goed mogelijk geïnformeerd zijn over de stand van de ergonomie in Nederland. Actuele informatie hierover moet het mogelijk maken een oordeel te vormen over hetgeen redelijkerwijs gevergd kan worden van de aanpassing van de werksituatie aan de mogelijkheden en beperkingen van de werkende mens. In artikel 3 van de Arbowet is opgenomen dat de werkgever bij het inrichten van arbeidsplaatsen, de werkmethoden en de bij de arbeid gebruikte hulpmiddelen met de stand van de ergonomie rekening dient te houden.
Reeds in 1981 is het DGA gestart met het specificeren van de stand van de ergonomie. Als eerste stap daartoe werd in 1983 een inventarisatie van ergonomisch onderzoek in Nederland gepubliceerd (Voskamp, 1983). In 1986 verscheen in opdracht van het DGA een literatuurstudie over beschikbare richtlijnen op basis van zes ergonomische handboeken (Dul en Poll, 1986). Uit deze studie over een twintigtal ergonomische onderwerpen bleek dat deze richtlijnen nogal uiteenlopen. Omdat DGA een eenduidige inhoud van de ergonomie zo veel mogelijk wil bevorderen ten behoeve van werkgevers, werknemers, Arbodeskundigen en inspecteurs van de arbeid, werd een studie hiernaar in opdracht gegeven. De studie werd uitgevoerd door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO in samenwerking met het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO.

Met als basis de studie van de zes handboeken (Burandt, Kodak, Hettinger, McCormick, Vademecum, Teleac) werden aan senior-onderzoekers de volgende vragen voorgelegd:
- Zijn de richtlijnen, zoals aangegeven in de selectie uit zes handboeken, volgens de u bekende inzichten en de u bekende literatuur correct?
  Zo niet, wilt u motiveren welke inhoud de richtlijn zou moeten hebben;
- Wat is de geldigheid van de richtlijn, welke meetmethode dient te worden gevolgd en welke apparatuur is nodig?

De antwoorden werden, na discussie per onderwerp met de begeleidingscommissie van DGA, gerapporteerd in de rubrieken: inleiding, richtlijn, normen, wet- en regelgeving, meetmethode en -apparatuur en literatuur.

De richtlijn bestaat uit gegevens voor het ontwerpen en het beoordelen van de werkplek met betrekking tot de eigenschappen van de mens, gevolgd door bijzonderheden over het toepassen van de richtlijn. Een discussie over de sterke en zwakke punten en de vermelding van normen, wet- en regelgeving, meetmethode en -apparatuur besluiten de richtlijn. Het voorliggende rapport is een aanbeveling voor te hanteren richtlijnen bij het ontwerpen en het beoordelen van werkplekken.

In de selectie van ergonomische richtlijnen uit zes handboeken (Dul en Poll, 1986) komen een twintigtal onderwerpen aan de orde die in dit rapport in vier hoofdstukken worden behandeld. Hierbij staat de ergonomie van de werkplek centraal, omdat in lid e van artikel 3 van de Arbowet verwezen wordt naar de inrichting van arbeidsplaatsen. De stand van de ergonomie evenwel wordt in de Arbowet gehanteerd als richtinggevend voor het bevorderen van het geestelijk en lichamelijk welzijn van de werkende mens (Jol e.a., 1987). Jol e.a. maken hierbij onderscheid tussen vier aspecten:

- aanpassing van het werk aan de eigenschappen en capaciteiten van de werknemer;
- aanpassing van de taak opdat de werknemers deze zoveel mogelijk naar eigen inzicht kunnen uitvoeren;
- aanpassing van de organisatie opdat de werknemers sociale en functionele contacten met andere werknemers kunnen onderhouden;
- voorzieningen om aan werknemers informatie te verschaffen over het doel en het resultaat van het werk.

De voorliggende studie beperkt zich tot het geven van richtlijnen om de werkplek aan te passen aan de lichaamsafmetingen en -krachten en aan de eigenschappen van waarnemen en bedienen. Voor deze aspecten geven de richtlijnen aan wat optimale waarden zijn voor het beoordelen van de arbeidsomstandigheden en bij welke waarden sprake is van onvoldoende aanpassing. Voor de volledigheid worden de onderwerpen mentale belasting en taakuitvoering genoemd. Het ligt evenwel in de bedoeling dat meer informatie over die onderwerpen via andere studies beschikbaar komt.

Tenslotte enkele opmerkingen over de wet- en regelgeving met betrekking tot de ergonomie.
Op het gebied van de ergonomie strekt deze zich uit over:

- de Arbeidsomstandighedenwet waarvan op dit moment fase 1 en 2 van kracht zijn voor alle arbeidsorganisaties met uitzondering van arbeid in justitiële inrichtingen, het onderwijs en arbeid in/op vervoermiddelen;
- op de Arbowet gebaseerde besluiten als:
  * het Veiligheidsbesluit Fabrieken of Werkplaatsen;
  * het Landbouwveiligheidsbesluit;
  * het Veiligheidsbesluit Binnenvaart;
- op de Arbeidswet 1919 gebaseerde besluiten:
  * Arbeidsbesluit 1920;
  * Arbeidsbesluit Jeugdigen.

Op een aantal gebieden geeft de Arbeidsinspectie Publicatiebladen (P-bladen) uit die gebaseerd zijn op de wettelijke bepalingen en derhalve richtinggevend en hanteerbaar zijn binnen het kader van de wet. Voorlichtingsbladen van de Arbeidsinspectie (V-bladen) dragen een voorlichtend, indicatief karakter. Hierbij hoeft geen directe relatie met de wetgeving te bestaan. De Arbeidsinspectie probeert door de uitgave van een voorlichtingsblad een bepaalde ontwikkeling te stimuleren. Sommige P- en V-bladen worden eerst als concept (CP en CV) uitgegeven voordat de definitieve publicatie verschijnt.

Een aantal bepalingen uit de Arbowet hebben voor alle arbeidsomstandigheden, dus ook voor de ergonomische aspecten geldigheid. Deze artikelen worden niet bij elk onderwerp opnieuw opgesomd. Een aantal van de algemene bepalingen uit de eerste en tweede fase betreffen:

Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en werkplaatsen:
Artikel 4: lid 1 en 2: De verplichting tot het voeren van een algemeen ondernemingsbeleid dat mede gericht op een zo groot mogelijke veiligheid, een zo goed mogelijke bescherming van de gezondheid en het bevorderen van het welzijn van de werknemer binnen het bedrijf of de inrichting;
De werkgever moet dit beleid regelmatig toetsen aan de ervaringen en aanpassen zo dikwijls als dat nodig is, o.a. aan de algemeen erkende regelen der techniek, stand van de bedrijfsgezondheidszorg dan wel de stand van de ergonomie en die van de arbeids- en bedrijfskunde.

Artikel 6: De werkgever moet zorgen dat werknemers doeltreffend worden voorgelicht over gevaren met betrekking tot de veiligheid, gezondheid en het welzijn bij de arbeid.

Artikel 10: De werkgever moet, indien ten aanzien van zijn bedrijf daartoe is aangewezen, een jaarverslag opmaken met betrekking tot de veiligheid, de gezondheid en het welzijn in dat bedrijf.

Literatuur

Dul, J., Poll, K.J. Selectie van ergonomische richtlijnen uit zes handboeken. Directoraat Generaal van de Arbeid, Voorburg, 1986, S 23.

Jol, J., Kempen, N. van, Voskamp, P. De inhoud van het welzijnsbegrip in artikel 3 van de Arbowet, Directoraat Generaal van de Arbeid, Voorburg, 1987.

Voskamp, P. Inventarisatie van recent ergonomisch onderzoek in Nederland. Directoraat Generaal van de Arbeid, Voorburg, 1983.

Arbeidsomstandighedenwet. Wet van 8 november 1980, houdende bepalingen in het belang van de veiligheid, de gezondheid en het welzijn in verband met de arbeid. Staatsuitgeverij, Den Haag, 1980.

De zes handboeken uit de selectie van ergonomische richtlijnen:

Burandt, U. Ergonomie für Design und Entwicklung. Köln, Verlag Dr. Otto Schmidt, 1978.

Kodak, Ergonomic Design for People at Work. Eastman Kodak Company. California, Lifetime Learning Publications, 1983.

Kellerman, F.T., Klinkhamer, H.A.W., Wely, P.A. van, Willems, P.J. Vademecum Ergonomie. Deventer, NIVE/Kluwer, 1982.

Hettinger, T., Kaminsky, G., Schmale, H. Ergonomie am Arbeitsplatz, Ludwigshafen, Kiehl, 1980.

McCormick, E. Human Factors in Engineering and Design. New York, McGrawHill, 1976.

Teleac. Ergonomie (cursusboek behorende bij Teleaccursus). Eken, A.N. (eindredactie). Utrecht, Stichting Teleac, 1983.

blz.

2 MENS 11

2.1 ANTROPOMETRIE 11
Inleiding 11

2.1.1 STATISCHE EN FUNCTIONELE MATEN 11
Lichaamsmaten 11
Handafmetingen 13
Reikwijdte van de arm 14
Reikwijdte van de voeten 15
Gezichtsveld 15
Bijzonderheden over de toepassing 16
Kleding 16
Gebruikersgroep 16
Bronnen 17
Toeneming van de lengte door groei 17
Lichaamshouding 17
Discussie 17
Normen, wet- en regelgeving 18
Meetmethode en -apparatuur 19
Literatuur 20

2.2 LICHAMELIJKE BELASTING 22
Inleiding 22

2.2.1 ENERGETISCHE BELASTING BIJ DYNAMISCHE ARBEID 23
Bijzonderheden over de toepassing 24
Verschillen in rendement en lichaamsgewicht 25
Verschillen in belastingsgraad 25
Individuele richtlijnen 25
Discussie 27

2.2.2 PLAATSELIJKE SPIERBELASTING BIJ STATISCHE ARBEID 27
Bijzonderheden over de toepassing 29
Discussie 30

2.2.3 TILLEN 31
Discussie 32
Normen, wet- en regelgeving 33
Meetmethode en -apparatuur 35
Bepaling van het zuurstofvolume 35

Bepaling van spierbelasting 35
Bepaling van het maximaal toelaatbare tilgewicht 36
Literatuur 39

2.3 MENTALE BELASTING 40
Inleiding 40

2.3.1 MENTALE BELASTING 41
Bijzonderheden over de toepassing 41
Discussie 42
Normen, wet- en regelgeving 42
Meetmethode en -apparatuur 42
Literatuur 44

2 MENS

2.1 Antropometrie

Inleiding
Antropometrische gegevens bestaan onder meer uit lichaamsmaten, van zowel het gehele lichaam als van de lichaamsdelen. In deze paragraaf zullen de belangrijkste maten van het lichaam in staande en zittende houding worden gegeven. De afmetingen van afzonderlijke lichaamsdelen worden meestal alleen voor specifieke situaties gebruikt. Voor het ontwerp van werkruimten zijn ook functionele maten zoals de reikwijdte van handen en voeten van belang.

Antropometrische gegevens hebben altijd betrekking op een bepaalde populatie. Bij het vermelden van richtlijnen is het daarom noodzakelijk aan te geven op welke populatie de gegevens betrekking hebben.
De gegevens bestaan uit gemiddelden met spreidingen. Het is gebruikelijk om naast het gemiddelde ook de maten te geven waaronder de kleinste 5% van de populatie valt en waarboven de grootste 5% van de populatie valt (het zogenaamde 5e en 95e percentiel). Het 50e percentiel betreft het gemiddelde. Welke maten worden gehanteerd hangt sterk af van de situatie. Zo is het noodzakelijk voor het bepalen van de deurhoogte uit te gaan van het 99e percentiel en voor de hoogte van de lichtschakelaar van het 1e percentiel.

Door bij het ontwerpen gebruik te maken van antropometrische gegevens wordt bevorderd dat in werksituaties een goede lichaamshouding aangenomen kan worden. Zie ook Par. 3.5.1

2.1.1 Statische en functionele maten

Lichaamsmaten (zie Fig. 2.1.1 en Tabel 2.1.1)
Toelichting op Tabel 2.1.1.
De maten betreffen ongeschoeide en ongeklede mensen. De lengte is in mm en het gewicht is in kg weergegeven. Als de 50 percentiel waarde van vrouwen groter is dan van mannen, zijn de getallen onderstreept ($\bar{x}$ = gemiddelde, s = spreiding).

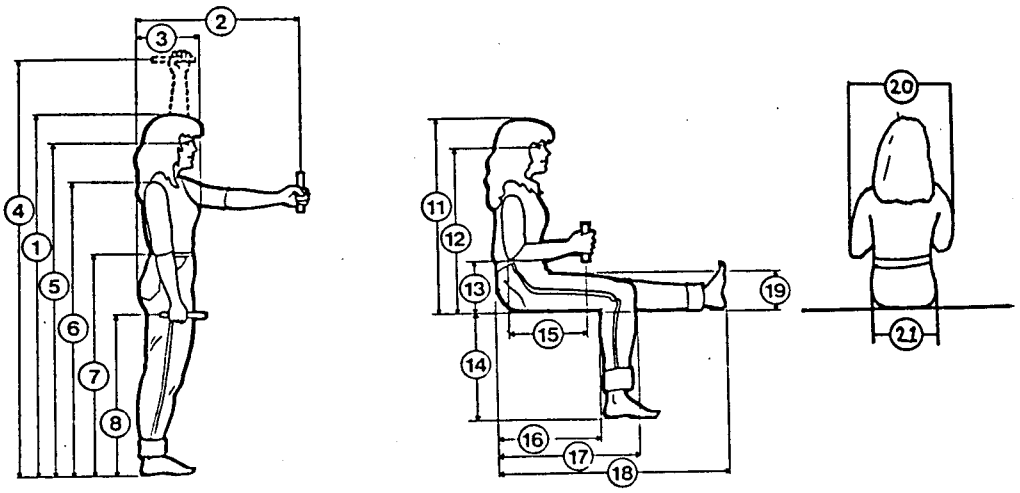


Fig. 2.1.1 Lichaamsmaten in zij- en achteraanzicht, gemeten in de standaardhoudingen (naar Molenbroek en Dirken, 1986).

Tabel 2.1.1 Geschatte afmetingen van lichaamsdelen van 20 tot 60-jarige Nederlanders op basis van DIN 33402 (Molenbroek en Dirken, 1986).

nr.	variabele	mannen		vrouwen		mannen + vrouwen			
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	P5	P95
sta-maten									
1	lichaamslengte	1794	64	1651	65	1723	96	1565	1881
2	reikdiepte	747	38	704	44	726	46	650	802
3	borstdiepte	286	26	291	36	289	32	236	242
	beide armen	2123	91	1907	76	2015	137	1789	2241
5	ooghoogte	1669	64	1532	59	1601	92	1449	1753
6	schouderhoogte	1496	58	1366	61	1431	88	1286	1576
7	ellebooghoogte	1134	48	1051	43	1093	62	991	1195
8	vuisthoogte	794	30	753	42	774	42	705	843
9	heupbreedte	356	18	365	28	361	24	321	401
10	schouderbreedte	412	18	362	20	387	31	336	438
zit-maten									
11	kruin-zitvlakhoogte (zithoogte)	939	34	874	33	907	47	829	985
12	ooghoogte	818	32	750	32	784	47	706	862
13	elleboog-zitvlak-hoogte	238	26	238	26	238	26	195	281
14	knieholtehoogte (onderbeenlengte)	457	25	403	25	430	37	369	491
15	elleboog-grijp-diepte	375	19	328	22	352	31	301	403
16	bil-knieholte-diepte	518	30	494	32	506	33	452	560
17	bil-knieschijf-diepte	620	28	599	31	610	31	559	661
18	bil-voetdiepte	1071	49	1065	52	1068	51	984	1152
19	dijbeenhoogte	141	12	147	17	144	15	119	169
20	ellebogenbreedte	467	34	465	52	466	45	392	540
21	heupbreedte	375	20	395	34	385	30	336	435
27	lichaamsgewicht	76	10	65	10	71	11	53	89

Handafmetingen
Zie Tabel 2.1.2.

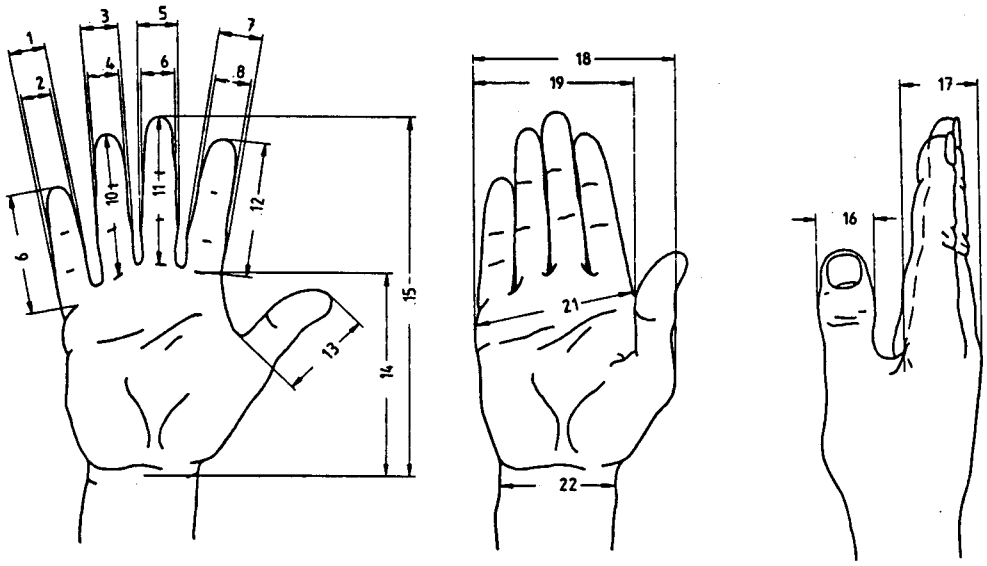


Fig. 2.1.2 Handafmetingen in zij- en onderaanzicht (mm) (naar DIN 33402).

Tabel 2.1.2 Afmetingen van de hand (mm) (naar DIN 33402).

	percentielen					
	mannen			vrouwen		
maten in mm	5	50	95	5	50	95
1 pink (wortel)	16	17	19	13	14	16
2 pink (punt)	15	16	17	11	13	15
3 ringvinger (w)	18	20	21	15	16	18
4 ringvinger (p)	16	17	18	13	14	16
5 middelvinger (w)	19	21	23	16	18	20
6 middelvinger (p)	17	18	20	13	15	17
7 wijsvinger (w)	19	21	23	16	18	20
8 wijsvinger (p)	18	19	21	13	15	17
9 pinklengte	56	63	71	51	58	65
10 ringvingerlengte	71	78	86	65	73	80
11 middelvingerlengte	77	84	93	70	77	85
12 wijsvingerlengte	68	75	83	62	69	76
13 duimlengte	60	67	75	53	60	68
14 handpalmlengte	101	109	118	91	99	107
15 handlengte	168	184	201	160	174	188
16 duimbreedte	21	23	25	16	19	21
17 handdikte	22	25	28	21	26	31
18 handbreedte met duim	98	106	113	83	92	101
19 handbreedte	77	85	92	72	79	87
21 handomtrek	193	211	230	178	194	211
22 polsomtrek	155	171	188	147	160	177

1 t/m 16 telkens aan gewricht gemeten.

Reikwijdte van de arm
Zie Fig. 2.1.3.

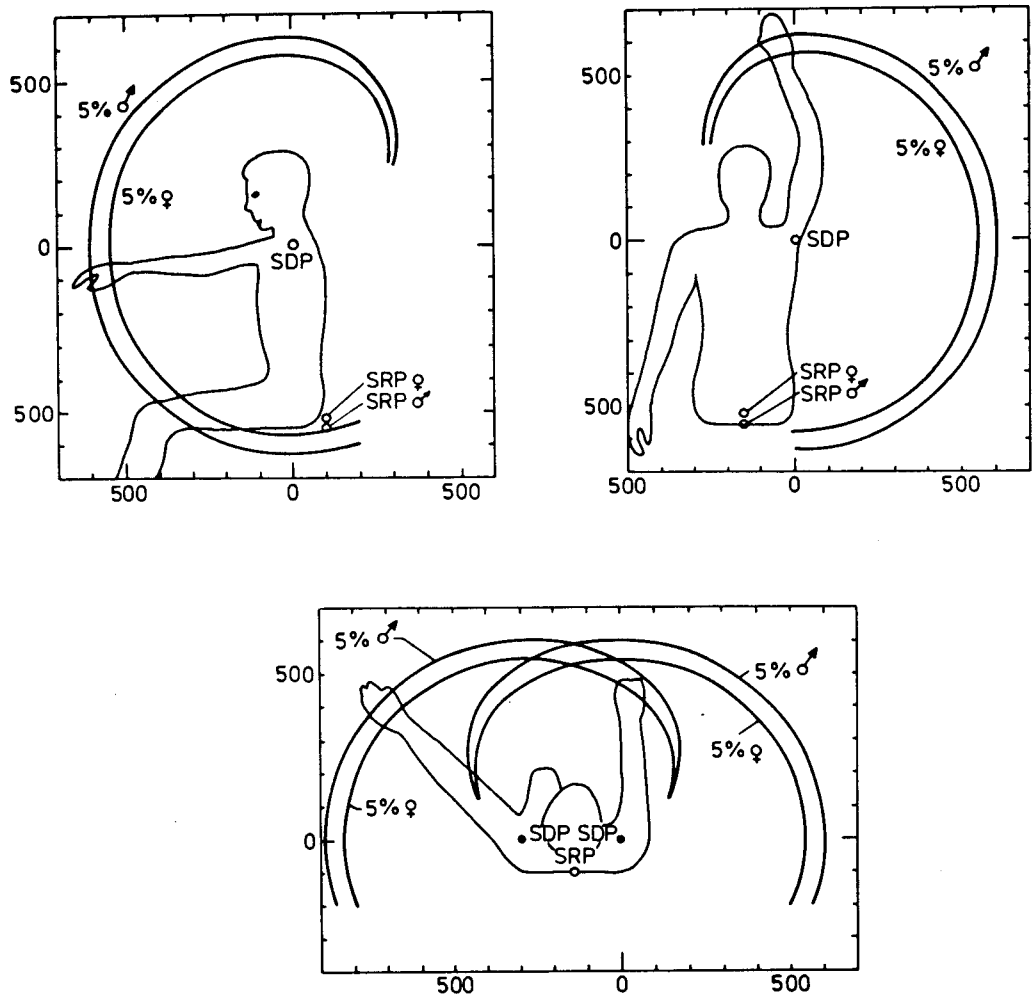


Fig. 2.1.3 Bereik van de armen in boven, zij- en achteraanzicht (mm) voor het 5e percentiel mannen en vrouwen (naar Schmidtke, 1981).
SRP = Seat Reference Point
SDP = Schouder DraaiPunt (hypothetisch)

Reikwijdte van de voeten
Zie Fig. 2.1.4.

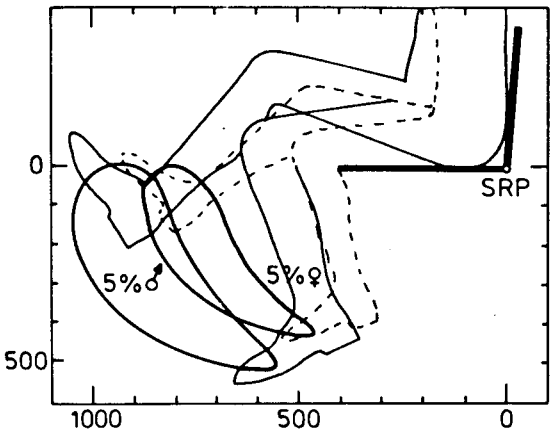


Fig. 2.1.4 Bereik van de voeten in zij-aanzicht (mm) voor het 5e percentiel mannen en vrouwen (naar Schmidtke, 1981).
SRP = Seat Reference Point

Gezichtsveld
De indeling van het gezichtsveld is bijvoorbeeld van belang bij het plaatsen van lichtsignaleringen en aanwijsmiddelen. Binnen het blik- en gezichtsveld worden verschillende gebieden onderscheiden, te weten:
- het blikveld: geen beweging van hoofd en ogen;
- het oogveld: hoofd stil, wel oogbeweging;
- het hoofdveld: zowel hoofd- als oogbeweging.

In DIN 33414 worden deze velden uitvoerig beschreven. In het kader van deze paragraaf is het horizontale en verticale gezichtsveld opgenomen (naar: ISO/DIS 9355), met daarin aangegeven de aanbevolen gebieden voor plaatsing van aanwijsmiddelen.
Fig. 2.1.5 is gebaseerd op een rechtop zittende houding. De rug en de nek- en schouderspieren worden minimaal belast als het hoofd niet meer dan 20° voorover neigt (Chaffin, 1984).

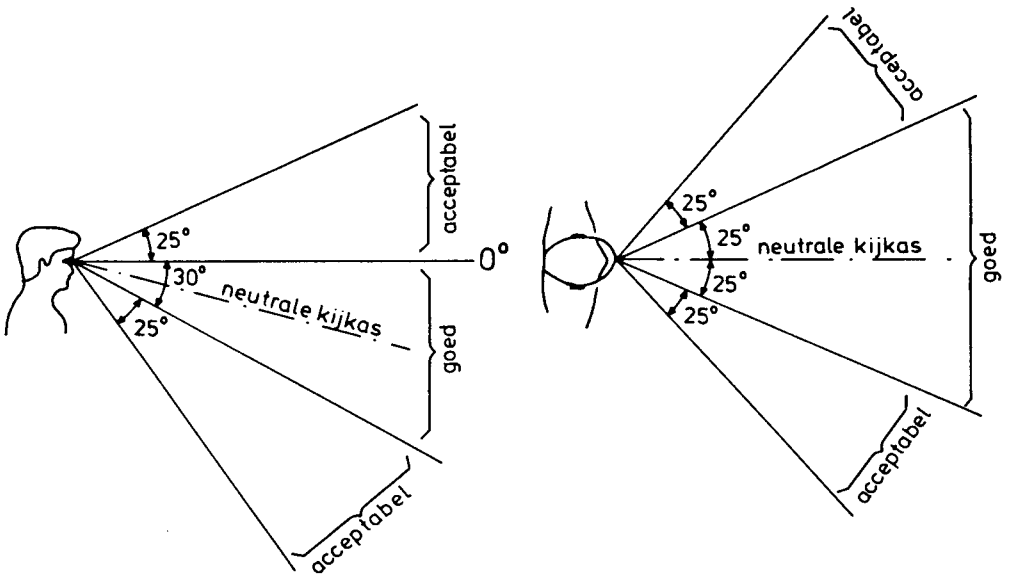


Fig. 2.1.5 Het verticale (links) en horizontale (rechts) gezichtsveld (naar ISO/DIS 9355).

Bijzonderheden over de toepassing

Kleding
Voor schoenen dient bij benadering 30 tot 50 mm aan de onderbeenlengte te worden toegevoegd. Voor helmen dient bij benadering 60 mm in lengte boven het hoofd te worden toegevoegd.

Gebruikersgroep
Bij het gebruik van lichaamsmaten dient men zich de eigenschappen van de gebruikersgroep te realiseren. Zo zijn er verschillen in gemiddelde lengte tussen keurlingen uit de noordelijke en zuidelijke provincies. Het verschil bedraagt 33 mm.
Voor sommige gebruikersgroepen bestaat een antropometrisch gegevensbestand.
20 tot 60-jarige Nederlanders, DINED-tabel (Molenbroek en Dirken, 1986);
Nederlandse vrouwen (Bouman e.a., 1982);
Nederlandse jeugd en bejaarden (Roede en Van Wieringen, 1985; Molenbroek e.a., 1984);
Nederlandse mannelijke militairen (Dutchmil '85).

Bronnen
Diverse binnen- en buitenlandse bronnen zijn beschikbaar.
Centraal Bureau voor de Statistiek (1980 e.v.);
DIN 33402, Körpermasse des Menschen (1982);
Antropometric Source Book (NASA, 1978);
Antropometrics, British Standards Institution (1984).

Toeneming van de lengte door groei
Verandering van lichaamsmaten als functie van generatie (Roede en Van Wieringen, 1982; van Hussen, 1988) is uiteraard van belang. Voor werkplekinrichting kan de verandering van lichaamsmaten (per generatie) op termijn van tientallen jaren van belang zijn. Zo bedroeg de lengtetoeneming van 20-jarige mannen in de periode 1965-1980 3,8 mm per jaar. De lengtegroei per generatie per jaar voor mannen bedraagt sinds 1978 1,6 mm (van Hussen, 1988).

Lichaamshouding
De houding die tijdens het werk wordt aangenomen verschilt veelal van de houding die als standaard voor de definitie van antropometrische gegevens wordt gehanteerd. Bij beeldschermwerkers is gemeten dat de ooghoogte door een ingezakte werkhouding met gemiddeld 45 mm vermindert (Lombaers, 1983). Voor de houding bij staand en zittend werken wordt verwezen naar Par. 3.5.

Discussie
Uit de selectie van ergonomische handboeken blijkt dat antropometrische gegevens nogal verschillen. Zo blijkt het 50e percentiel van de lengte van mannen op basis van verschillende bronnen uiteen te lopen van 172 tot 179 cm. In de eerste plaats is dat te wijten aan de ouderdom van het gegevensbestand, in de tweede plaats lopen deze gegevens voor verschillende bevolkingsgroepen nogal uiteen. Ten derde wordt soms de leeftijd van personen waaruit het gegevensbestand is opgebouwd buiten beschouwing gelaten.
Nauwkeurige antropometrische gegevens zijn natuurlijk het meest van belang wanneer het gaat over een nauwkeurige afstemming van meubilair, apparatuur en kleding aan de lichaamsmaten van de gebruiker. Deze afstemming is noodzakelijk wanneer langdurig en intensief wordt gewerkt en de werkhouding weinig kan worden gevarieerd, omdat de doel-

treffendheid van de taakuitvoering een gefixeerde werkhouding oplegt. Een verschil van enkele centimeters in bijvoorbeeld de dikte van een werkblad kan klachten veroorzaken. Zo kan een slecht ontworpen werkplek uiteindelijk in ziekteverzuim en op lange termijn tot ongeschiktheid voor de taakuitvoering leiden.

De hier genoemde richtlijnen bieden een redelijk uitgangspunt voor het ontwerpen van werkplekken voor de Nederlandse bevolking. Bij benadering zijn deze gegevens voor de komende tien jaar bruikbaar. De factoren waarmee bij het toepassen van deze gegevens rekening dient te worden gehouden, zijn vermeld in Par. 3.5.
Opgemerkt wordt dat niet alle Europese normen voor werkplekontwerp dezelfde antropometrische gegevens hanteren. De ISO 3411/NEN 23411 voor grondverzetmachines bijvoorbeeld, rekent met een gemiddelde lengte van 171 cm voor de geschoeide gemiddelde man. Hierbij dient te worden opgemerkt dat Nederlandse mannen tot de langsten ter wereld behoren hetgeen bij de aanschaf van buitenlandse machines extra aandacht verdient.

Binnen de antropometrie is voor de Nederlandse situatie het onderzoek naar de groei van belang. Niet alleen levert dergelijk onderzoek actuele gegevens op, maar natuurlijk ook inzichten over de ontwikkeling van lichaamsmaten en gewichten, op basis waarvan verwachtingen over toekomstige lichaamsafmetingen en gewichten kunnen worden opgesteld.

Normen, wet- en regelgeving

NEN-ISO 7250; Basislijst van antropometrische metingen.
ISO/DIN 9355; Ergonomic principles for the design of signals.
ISO 3411/NEN 23411; Erdbaumaschinen, Maschinenführer, Körpermasse, mindest Freiraum.
DIN 33402; Körpermasse des Menschen, Teil 1, Begriffe.
DIN 33402; Körpermasse des Menschen, Teil 2, Werte.
DIN 33414; Ergonomische Gestaltung von Warten.
BS 4467; Antropometric and ergonomics recommendations for dimensions in design for the elderly.
NF X 35-003; Mesures anthropometriques de base.

NF X 35-002; Modeles anthropometriques de la population masculine et féminine.

Op dit gebied is naast de algemene bepalingen uit de Arbowet geen specifieke wet- en regelgeving op het gebied van de ergonomie aanwezig.

Richtinggevende publicatie van de arbeidsinspectie:
P 41; "Zittend en staand werk, ergonomische aspecten".

Meetmethode en -apparatuur
Met betrekking tot de definities van lichaamsmaten bestaan nogal uiteenlopende opvattingen (Jürgens, 1975; Roebuck, 1975; DIN, ISO; Molenbroek, 1984). Zo is het van invloed of een lichaamsmaat wordt gedefinieerd als de afstand tussen twee punten langs de huid, of als de kortste afstand tussen twee punten. Ook de definitie van de begrenzing van lichaamsdelen is van belang, maar is soms moeilijk precies aan te geven.

Bij elke lichaamsmaat behoort dus een definitie van de maat, de manier van meten en het meetinstrument. Daarnaast dienen gegevens over de bemeten groep (zoals leeftijd) beschikbaar te zijn. Als voorbeeld wordt hier de lichaamslengte vermeld (Dutchmil '85);
Definitie: Vertikale afstand van het standvlak (ongeschoeid) tot het hoogste punt van de schedel.
Meetmethode: De persoon staat rechtop met gestrekte rug en de hielen tegen elkaar. Het vlak door ogen en oren (het Frankfurter vlak) wordt horizontaal gehouden.
Meetinstrument: Staande antropometer.
Bemeten groep: Nederlandse mannelijke militairen van 20 tot 60 jaar, gemeten in 1985.

Resultaat

Aantal	n	1000	
Bereik	R	159,5-200,0	cm
Gemiddelde	$\bar{x}$	180,2	cm
Standaarddeviatie	SD	6,7	cm

De apparatuur voor het bemeten van lichaamsmaten bestaat uit een staande antropometer voor het bepalen van de lichaamslengte, de gewone antropometer (grote schuifmaat), de bekkenpasser en de schuifmaat voor het bepalen van de afstand tussen twee punten.

Literatuur

Bouman, H., Breebaart, S. en Gerzon, L. Antropometrisch onderzoek, lichaamsafmetingen en vrouwen nader bekeken. Tijdschrift voor Ergonomie 7 (1982) 4, 9-12.

Brekelmans, F.E.M., Moonen, P.I.L. en Osinga, D.S.C. Dutchmil '85. Antropometrische steekproef. Dutchmil '85. Rapport Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg, IZF 1986-17.

Centraal Bureau voor de Statistiek; Statistisch zakboek. Staatsuitgeverij, Den Haag, jaarlijkse uitgave.

Chaffin, D.B., Andersson, G.B.J. Occupational Biomechanics. J. Wiley and Sons. New York, 1984.

Hussen, J.G. van. Lengte van jonge mannen per provincie, lichtingen 1948 tot 1987. In: Maandbericht gezondheidsstatistiek, jaargang 7, nr. 11/12, Centraal Bureau voor de Statistiek, 1988.

Jürgens, H.W. (1975). zie Schmidtke, H. (1975).

Lombaers, J. Onderzoek naar de invloed van de kijkdoelhoogte van zittende beeldschermgebruikers. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg; 1983-9.

Molenbroek, J.F.M., Houtkamp, J.J. en Burger, A.K.C. Bejaardenantropometrie. Rapport bijzondere onderwerpen no. 6, Afdeling Industrieel Ontwerpen, Technische Universiteit Delft, 1984.

Molenbroek, J.F.M. en Dirken, J.M. Dined-tabel 1986. Nederlandse lichaamsmaten voor ontwerpen. Faculteit van het Industrieel Ontwerpen, Technische Universiteit Delft, 1986.

NASA. Antropometric Source Book. NASA Reference Publication 1024, National Technical Information Service, Springfield, U.S.A., 1978.

Pheasant, S.T. Anthropometrics. British Standards Institution, London, 1984.

Roebuck, J.A., Kroemer, K.H.E. en Thomson, M.S. Engineering Antropometry Methods. ISBN 0-471-72975-2, John Wiley & Sons, 1975.

Roede, M.J. en Van Wieringen, J.C. De Nederlandse groeidiagrammen 1980. Samson, Alphen aan de Rijn, 1982.

Roede, M.J. en Van Wieringen, J.C. Growth diagrams 1980. Netherlands, third National survey. Tijdschrift voor Sociale Gezondheidszorg 63 (1985) 12, supplement, 1985.

Schmidtke, H. en Jürgens, H.W. Handbuch der Ergonomie. Carl Hanser-Verlag, München, 1975.
Schmidtke, H. Lehrbuch der Ergonomie, Carl Hanser Verlag, München, 1981.

2.2 Lichamelijke belasting

Inleiding

Bij richtlijnen voor lichamelijke belasting kan men onderscheid maken tussen richtlijnen voor energetische belasting van het lichaam, zich uitend onder andere in cardiopulmonale belasting bij dynamische arbeid en richtlijnen voor mechanische belasting van het bewegingsapparaat zich uitend onder andere in spiervermoeidheid bij statische arbeid. De eerste soort richtlijn gaat ervan uit dat de energievoorziening van het gehele lichaam de beperkende factor is. Dit komt voor in arbeidssituaties waarbij langdurig dynamisch zware arbeid wordt verricht (bijvoorbeeld het lopen met zware zakken), of tijdens het werken bij hitte (bijvoorbeeld werkzaamheden bij ovens). Met het hanteren van richtlijnen voor de maximaal toelaatbare energetische belasting wordt getracht te grote lichamelijke vermoeidheid te voorkomen.

Bij de tweede soort belasting worden plaatselijk spieren, banden en gewrichten overbelast. Dit kan leiden tot plaatselijke spiervermoeidheid, en op den duur tot aandoeningen van spieren, pezen, banden of gewrichten. Plaatselijke overbelasting van de spieren komt voor bij het langdurig handhaven van houdingen (bijvoorbeeld beeldschermwerk), het maken van repeterende bewegingen (bijvoorbeeld montage-arbeid), en het uitoefenen van statische krachten op de omgeving (bijvoorbeeld het vasthouden van gewichten). Door het hanteren van richtlijnen voor maximaal toelaatbare spierbelasting wordt getracht overbelasting van het bewegingsapparaat tegen te gaan.

Een veel voorkomende werkzaamheid met zware lichamelijke belasting betreft het handmatig tillen van lasten. Deze vorm van belasting kan een bedreiging vormen voor de gezondheid, met name voor de lage rug. Belastingsfactoren die hierbij een rol spelen zijn behalve het gewicht van de last ook de tilfrequentie, de startpositie van de last, de tilafstand en vooral de tilhouding. Bij ongunstige tilhoudingen kan het gewicht van de lichaamsdelen (rug/armen) van grotere invloed zijn dan het te tillen gewicht. Naast deze belastingfactoren spelen ook belastbaarheidsverschillen een rol, zoals geslacht, leeftijd en mate van getraindheid. In dit hoofdstuk worden richtlijnen gegeven voor het beoordelen en het ontwerpen

van werksituaties waar zware lasten handmatig worden getild. Voor overige werksituaties met lichamelijke belasting (bijvoorbeeld trekken, duwen, dragen) zijn de richtlijnen nog minder ver uitgewerkt. Voor globale richtlijnen wordt verwezen naar het concept-voorlichtingsblad "fysieke belasting" van het DGA (CV-9).

2.2.1 Energetische belasting bij dynamische arbeid

De fysiologische belasting in termen van energieverbruik kan bij dynamische belasting onder aerobe omstandigheden het beste gemeten worden uit het zuurstofverbruik per minuut ($\dot{V}O_2$). Een liter O_2 komt overeen met ca. 20 kJ per minuut (± 5 kcal/min). Bij fietsbelasting is het arbeidsvermogen dat daarbij geleverd kan worden ca. 50 Watt.

In de ergonomie worden soms algemene richtlijnen voor maximaal toelaatbaar energieverbruik gehanteerd (bijvoorbeeld Hettinger, 1980; voor mannen 0,82 en voor vrouwen 0,54 liter O_2/min). Deze richtlijnen gelden dan voor algemene dynamische spierarbeid gedurende een 8-urige werkdag en zijn alleen gedifferentieerd naar gezonde mannen en vrouwen "met een gemiddelde conditie".
In het kader van een algemene dynamische spierarbeid kan conditie het beste gekarakteriseerd worden door de maximale zuurstofopname ($\dot{V}O_2$ max). Uit de literatuur (Astrand, Rodahl, 1986) is bekend dat de $\dot{V}O_2$ max van de gemiddelde man en vrouw (20 - 30 jaar) resp. 3,5 l/min en 2,5 l/min bedraagt en met de leeftijd daalt met ca. 10% per decade.
Wanneer we aannemen dat een opname van een liter O_2 gemiddeld overeenkomt met een energieverbruik bij dynamische spierarbeid van ca. 5 kcal/min (of 20 Kj) dan zal deze gelijke O_2 opname een geheel verschillend procentueel aandeel vormen van de $\dot{V}O_2$ max bij personen afhankelijk van leeftijd en sexe.
Hoewel de populatie gemiddelden van mannen (3,5 l/min) en vrouwen (2,5 l/min) nogal verschillen is er sprake van een dermate grote spreiding bij de mannen van dezelfde leeftijd dat de gemiddelde waarde voor vrouwen overeenkomt met de ondergrenswaarde van mannen. Een zeer groot percentage van de vrouwen heeft dus een $\dot{V}O_2$ max die gelijk is aan die van mannen met een relatief lage $\dot{V}O_2$ max. Dit geldt voor elke leeftijdsgroep.

Hieruit blijkt wel dat het vooral zinvol is richtlijnen voor individuen op te stellen.
Binnen Europa wordt veelal de regel gehanteerd dat energetische belasting van het individu gedurende langere tijd (een week of meer) niet meer mag bedragen dan 1/3 van de maximaal mogelijke dynamische spierbelasting (lees: $\dot{V}O_2$ max). De richtlijn zou dus moeten luiden dat ca. 30% van de individueel bepaalde of geschatte $\dot{V}O_2$ max (Astrand, Rodahl, 1987) toelaatbaar is.
In de inspanningsfysiologie wordt algemeen geaccepteerd dat van langdurige dynamische spierarbeid de grens van ca. 30% $\dot{V}O_2$ max niet overschreden mag worden, omdat daarboven de energie niet volledig aeroob kan worden vrijgemaakt en er geen verhoging van de melkzuurconcentratie in het bloed optreedt.
Uit onderzoek bij huisvuilbeladers bijvoorbeeld, bleek dat men op grond van toepassing van deze regel en individuele bepaling van de $\dot{V}O_2$ max vastgesteld kon worden welke personen bij dit soort arbeid (tillen en verplaatsen van huisvuilzakken) wel en niet aan de richtlijn voldoen. Over het algemeen blijkt dan ook dat algemene leeftijdtrends niet opgaan voor individuen, vanwege verschillen in aanleg en leefwijze (Kemper, 1987).

Wanneer de aangegeven richtlijn voor Hettinger (1980) voor mannen (4,1 kcal/min) en voor vrouwen (2,7 kcal/min) gevolgd wordt komt dit overeen met resp. 0,82 en 0,54 liter O_2 per minuut. Wanneer daarnaast de gemiddelde $\dot{V}O_2$ max van beide sexen tussen 20 en 30 jaar wordt gelegd, dan is deze arbeidsbelasting resp. 25% en 20% van de $\dot{V}O_2$ max en dus ruim beneden de 30% richtlijn.

Bijzonderheden over de toepassing

Verschillen in rendement en lichaamsgewicht
De verhouding tussen geleverd arbeidsvermogen en O_2 verbruik is afhankelijk van de soort belasting en wordt uitgedrukt in de zogenaamde mechanische efficiëntie of rendement. Het rendement wordt bepaald door factoren zoals uitwendige arbeidsomstandigheden (weerstand van water,

kleding) en geoefendheid (techniek). In eenzelfde arbeidssituatie kunnen dezelfde belastingen derhalve een verschillend O_2 verbruik opleveren.

Daarnaast dient de zwaarte van de energetische belasting altijd in relatie gezien te worden tot het maximaal aerobe uithoudingsvermogen van de arbeidende mens.
In een groot aantal gevallen is het arbeidsvermogen rechtstreeks gerelateerd aan de te verplaatsen lasten (gewicht van dozen, voorwerpen).
Wanneer echter het eigen lichaamsgewicht eveneens geheel of gedeeltelijk moet worden verplaatst (dragen van zakken, optillen en neerzetten van gewichten met behulp van hurklift) wordt de belasting tevens voor een deel bepaald door het eigen lichaamsgewicht (of delen ervan). Het verplaatsen van eenzelfde last levert dan alleen al een verschil in O_2 verbruik op bij personen door verschillen in lichaamsgewicht.

Verschillen in belastingsgraad
De verhouding tussen het maximaal aerobe vermogen van de persoon en het aerobe energieverbruik nodig voor het uitvoeren van de taak, is de belastingsgraad en wordt uitgedrukt in een percentage.
Deze belastingsgraad wordt dus bepaald door enerzijds het maximale aerobe vermogen ($\dot{V}O_2$ max) en anderzijds door het aerobe energieverbruik van de taak ($\dot{V}O_2$ last).

Uit bovenstaande beschouwing moge duidelijk zijn dat richtlijnen voor toelaatbare arbeidsbelasting in energetische zin nooit generaliseerbaar zijn in termen van algemeen geldende grenzen van O_2 verbruik.

Individuele richtlijnen
Een meer adequate aanpak van het richtlijnenprobleem is deze te individualiseren, dat wil zeggen de zwaarte van de taak te relateren aan de maximale vermogens van de persoon.
Dit kan gerealiseerd worden door het energieverbruik van de taak uit te drukken als een percentage van het maximaal te leveren energieverbruik, en bij aerobe energieverbruik als een percentage van het maximaal aerobe vermogen (% $\dot{V}O_2$ max).

Bovenstaande impliceert dat men bij de uitvoering van de taak zowel het rendement als de bijdrage van het eigen

lichaamsgewicht heeft verdisconteerd. Dit kan betekenen dat dezelfde taak voor de één (A) een O_2 verbruik vergt van 1,0 en voor de ander (B) van 1,5 l/min (zie Tabel 2.2.1).

Als gevolg van een verschil in maximaal aeroob vermogen (A = 4,0 en B = 5,0) levert dezelfde taak eveneens een verschil in belastingsgraad op.

Het maximaal aerobe vermogen is taakafhankelijk. In het algemeen geldt dat de grootte van de $\dot{V}O_2$ max bij dezelfde persoon afhankelijk is van de spiermassa welke voor het uitvoeren van die taak nodig is.
Armarbeid uitgevoerd op een zwengelergometer leidt in het algemeen tot $\dot{V}O_2$ max waarden, welke slechts 70 - 75% bedragen van de $\dot{V}O_2$ max bij fietsergometerarbeid en slechts 60 - 65% van die bij tredmolenarbeid. Dit betekent dat bij de bepaling van de belastingsgraad de soort van arbeid en het daarbij behorende maximale O_2 verbruik mede in aanmerking dient te worden genomen.

Keren we nu weer terug naar het uitgangspunt en vergelijken we de gehanteerde richtlijn, dan is het uit het voorbeeld in Tabel 2.2.1 duidelijk dat eenzelfde energieverbruik afhankelijk van de $\dot{V}O_2$ max van de persoon en de wijze waarop deze bepaald is, kan leiden tot geheel verschillende belastingsgraden.

Wanneer voor een 8-urige werkdag een grens van 30% van de $\dot{V}O_2$ max wordt gehanteerd met als criterium dat alleen daar beneden van volledig aerobe arbeid sprake kan zijn (zonder accumulatie van anaerobe afvalprodukten), dan wordt uit onderstaand voorbeeld duidelijk dat afhankelijk van de keuze van $\dot{V}O_2$ van zowel de $\dot{V}O_2$ last als de $\dot{V}O_2$ max de gekozen richtlijn van 30% $\dot{V}O_2$ max soms wel en soms niet wordt overschreden door proefpersoon A en B.

Tabel 2.2.1 Voorbeeld van de proefpersonen (pp) A en B met verschillen in $\dot{V}O_2$ max en verschillen in rendement voor het uitvoeren van een last. Afhankelijk van de gekozen waarden is de last hoger of lager dan de richtlijn van 30% $\dot{V}O_2$ max.

$\dot{V}O_2$ last (l/min) (rendement)	$\dot{V}O_2$ max (l/min, %) arm	been	arm en been
pp. A	3,0	4,0	4,5
(laag) 1,5	50%	35%	33%
(hoog) 1,0	33%	25%	20%
pp. B	4,2	5,0	5,8
(laag) 1,5	40%	25%	27%
(hoog) 1,0	25%	20%	15%

In de arbeidsfysiologie zijn zowel $\dot{V}O_2$ max als de $\dot{V}O_2$ last op individuele basis nauwkeurig vast te stellen. De methoden zijn echter tijdrovend en vergen kostbare meetapparatuur, zodat deze niet altijd in de praktijk toegepast kunnen worden. Indirecte schattingsmethoden (zie 2.2.3) zijn echter onnauwkeurig.

Discussie

Samenvattend lijken de algemene richtlijnen van Hettinger (1980) vrij willekeurig en weinig relevant voor de praktische toepassing. Worden deze evenwel toegepast dan zijn ze gemiddeld laag en in ieder geval onder de fysiologische grens van 30% van de $\dot{V}O_2$ max. Evenwel door de grote variatie en weinig voorspelbare $\dot{V}O_2$ max op grond van sexe en leeftijd wordt voorgesteld individuele richtlijnen te hanteren.

2.2.2 Plaatselijke spierbelasting bij statische arbeid

De geselecteerde richtlijn voor plaatselijke spierbelasting heeft betrekking op spierbelasting als gevolg van statische krachtuitoefening op de omgeving, of om een houding te

handhaven. Afhankelijk van de spierinspanning zal na korte of langere tijd spiervermoeidheid ontstaan in de belaste spiergroep. De richtlijn geeft voor verschillende spierinspanningen (uitgedrukt in het percentage van de maximaal te leveren kracht) de maximaal toelaatbare volhoudtijden van de belasting (zie Fig. 2.2.1). Een maximale spierinspanning kan slechts enkele seconden worden volgehouden. Een belasting van 50% kan niet langer dan ongeveer 2 minuten worden volgehouden, een inspanning van 15% niet langer dan ongeveer 15 minuten en een inspanning van 8% niet langer dan ongeveer 1 uur. De richtlijn geeft slechts indicatief aan hoe lang een bepaalde spierinspanning kan worden volgehouden. In principe is de ligging van de curve afhankelijk van de spiergroep die wordt belast en van individuele verschillen.
De curve is samengesteld door Sjøgaard (1986) op grond van gegevens van Rohmert (1960), Björnstén en Jonsson (1986).
Spierinspanningen tot 20% komen voor bij het innemen van ongunstige houdingen en/of bij het uitoefenen van relatief kleine krachten. Hogere spierinspanningen treden op bij statisch krachtzetten met de handen.

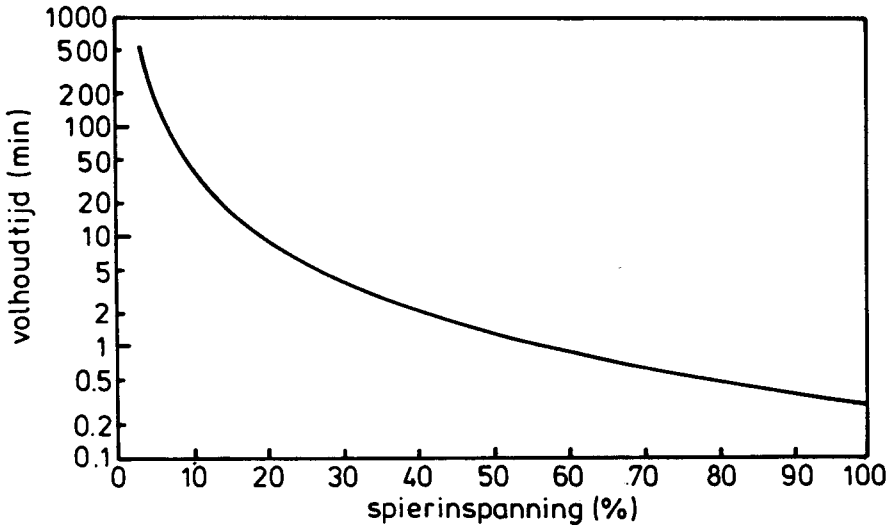


Fig. 2.2.1 Maximale volhoudtijd van een statische spierinspanning (naar Sjøgaard, 1986).

Bijzonderheden over de toepassing

In een gegeven werksituatie is het niet zondermeer duidelijk welke spiergroep na verloop van tijd vermoeid zal raken. Dit kunnen bijvoorbeeld zijn de buigers van de elleboog, de buigers van de schouder of de strekkers van de rug. Met behulp van een simpele biomechanische analyse kan worden geschat welke spiergroep het eerst vermoeid zal raken, en hoe groot de spierinspanning is van deze groep. Ter illustratie is in Fig. 2.2.2 een statische werkhouding weergegeven waarbij de persoon een last vasthoudt van 5 kg. Daarbij staat per spiergroep de spierinspanning vermeld, zoals berekend volgens een biomechanisch model van de University of Michigan (Chaffin en Andersson, 1984).

De spierbelastbaarheid, maximaal te leveren spierkracht en de spierbelasting (de benodigde spierkracht) voor de aangegeven houding zijn uitgedrukt in Nm (Newton-meter). De spierinspanning is de spierbelasting gedeeld door de spierbelastbaarheid (uitgedrukt in percentage).

In dit voorbeeld zijn de elleboogspieren relatief het meest belast (34%) zijn. Volgens de geselecteerde richtlijn is de maximale volhoudtijd bij deze spierinspanning ongeveer 3 minuten (Fig. 2.2.1). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat bij het begin van de spierinspanning de spieren uitgerust zijn en voldoende herstel mogelijk is na de inspanning.

Spiergroep	BB (Nm)	BL (Nm)	S (%)
elleboogbuigers	34	11	34
schouderbuigers	98	24	24
rugstrekkers	441	108	24
heupstrekkers	200	55	27
kniestrekkers	152	8	5
enkelstrekkers	154	36	23

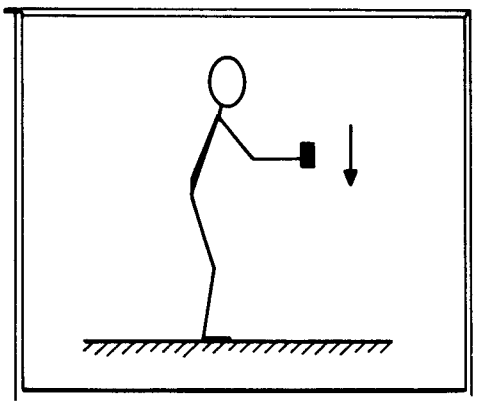


Fig. 2.2.2 Voorbeeld van een werksituatie met statische krachtuitoefening die spiervermoeidheid kan veroorzaken.
BB = belastbaarheid, BL = belasting, S = spierinspanning.

Opgemerkt moet worden dat bovengenoemde soort berekeningen sterk afhankelijk zijn van het gekozen biomechanisch model en van gegevens over spiersterkte per spiergroep. Voor werkelijke bestaande individuen kunnen sterk afwijkende waarden gelden, met name wat betreft spiersterkte. Individuele bepaling van de spiersterkte per spiergroep is niet eenvoudig, en in de praktijk moeilijk haalbaar.

Discussie

De richtlijn suggereert dat een gegeven spierinspanning gedurende de maximale volhoudtijd kan worden verricht. In principe is dat juist. Men moet echter wel bedenken dat na afloop van de maximale volhoudtijd één van de spiergroepen is uitgeput. Deze spiergroep kan pas opnieuw worden belast na een relatief lange rustperiode voor herstel. Afhankelijk van het spierinspanning is de rustperiode voor volledig herstel in de ordegrootte van 800 - 1400% (!) van de belastingsduur. De som van belastingsduur en herstelduur kan aanzienlijk kleiner zijn, wanneer een gegeven spierinspanning korter dan de maximale volhoudtijd wordt gehandhaafd.
De gegeven richtlijn geldt in principe voor statische spierbelasting waarbij de uitwendige kracht in grootte en richting constant is, en tevens de houding gehandhaafd blijft. Over de geldigheid van de richtlijn voor belastingssituaties met geringe variaties in kracht en houding, die in de praktijk vaak voorkomen zijn geen gegevens voorhanden. Door variaties in kracht en houding bestaan waarschijnlijk kortdurende mogelijkheden voor spierherstel.
In de richtlijn wordt er verder vanuit gegaan dat de spier bij de aanvang van de belasting volledig uitgerust is.
Volgens de richtlijn is het toelaatbaar dat de spieren zwaar (tot maximaal) worden belast. Het is echter onbekend of zware belastingen (hoewel toelaatbaar op grond van spiervermoeidheid) ook toelaatbaar zijn op grond van de kans op aandoeningen van spieren, pezen (tendinitis), banden en gewrichten op de langere termijn.
Met de richtlijn is het niet mogelijk om de benodigde rustduur na maximale of sub-maximale inspanning te bepalen. Om te bepalen of een gegeven belastingssituatie toelaatbaar is moeten spierinspanning, belastingsduur en rustduur in onderlinge samenhang worden beschouwd. Om daartoe een

aanzet te geven wordt momenteel binnen het NIPG-TNO een "werk-rust-model voor statische houdingen" ontwikkeld (Dul en Smitt, 1989).

2.2.3 Tillen

Er bestaat momenteel in Nederland en daarbuiten veel belangstelling voor de NIOSH-methode om tilbelasting te beoordelen (National Institute of Occupational Safety and Health, 1981). Deze methode is in sterke mate gebaseerd op een mechanisch rugbelastingscriterium. Uitgangspunt is dat een tilsituatie die een compressiekracht op de lumbale tussenwervelschijven veroorzaakt van meer dan 6400 N voor de meeste werknemers niet toelaatbaar is (10 N is ongeveer 1 kg-kracht). Compressiekrachten tot 3400 N zijn voor de meeste werknemers wel toelaatbaar. In het tussenliggende gebied zijn speciale maatregelen nodig (selectie en training van werknemers of ergonomische aanpassingen). Hoewel de onderbouwing van de gekozen grenswaarden beperkt is, vallen de twee waarden wel binnen de grenswaarden voor maximale belastbaarheid van wervels (zie hierna). Naast mechanische criteria voor de beoordeling van de tilbelasting zijn in de NIOSH-richtlijn ook criteria verwerkt met betrekking tot de subjectieve aanvaardbaarheid van een tilsituatie en met betrekking tot energetische belasting (bij frequent tillen).

De bepaling van het maximaal toelaatbare tilgewicht (in combinatie met tilfrequentie, verticale verplaatsing van last, horizontale en verticale positie van handen) gebeurt aan de hand van de zogenaamde "Action Limit" (AL) en de "Maximum Permissible Limit" (MPL).

De AL is gelijk aan 40 kilogram als de last dichtbij het lichaam wordt getild, zich op een hoogte van 75 cm bevindt, de verplaatsing van de last niet meer dan 25 cm is, terwijl niet vaker dan 1 maal per 5 minuten wordt getild. In deze situatie blijft de biomechanisch berekende compressiekracht voor een gemiddeld persoon aan het begin van de tilhandeling onder de 3400 N. Deze Action Limit van 40 kg wordt verminderd indien de last verder van het lichaam is, zich op een andere hoogte bevindt of vaker wordt getild of wanneer de verplaatsing meer is dan 25 cm (zie verderop voor een nadere uitleg van de NIOSH-methode).

De MPL is gelijk aan 3 x AL. Op grond van de berekende AL en MPL dienen de volgende beslissingen genomen te worden.

1. Indien het lastgewicht groter is dan de MPL-waarde is dat in alle gevallen onacceptabel voor 75% van de mannen en 99% van de vrouwen. De tilsituatie dient voorzien te worden van technische hulpmiddelen of dient te worden herontworpen.
2. Indien het lastgewicht ligt tussen de AL- en de MPL-waarden is dat alleen acceptabel als de tillers geselecteerd en geïnstrueerd worden, of technische hulpmiddelen aanwezig zijn.
3. Indien het lastgewicht onder de AL-waarde ligt is dat acceptabel voor 75% van de vrouwen en 99% van de mannen.

Discussie

De NIOSH-methode is in principe slechts toepasbaar in zeer beperkt voorkomende tilsituaties. De voorwaarden voor het gebruik van deze methode zijn namelijk:

- tweehandig tillen;
- recht vooruit tillen (geen rompdraaiing);
- langzaam en vloeiend tillen;
- aanwezigheid van goede handvatten;
- een niet te brede last (bijvoorbeeld minder dan 75 cm);
- goed vloercontact van de voeten;
- geen ruimtelijke beperkingen voor de te kiezen houding;
- gunstige omgevingsfactoren (zoals het klimaat);
- minimale neventaken met handkracht;
- indien niet wordt getild wordt rust genomen;
- de tiller is gewend aan fysieke arbeid en is lichamelijk fit.

Indien niet is voldaan aan genoemde voorwaarden kan de NIOSH-methode niet worden toegepast. Dit is vrijwel altijd zo omdat het tweehandig, recht vooruit, langzaam en vloeiend tillen (waarbij ook nog moet worden voldaan aan de andere genoemde voorwaarden) slechts zelden voorkomt.

Men kan echter stellen dat indien niet aan de NIOSH-voorwaarden is voldaan, het maximaal toelaatbare lastgewicht in de betreffende werksituatie zeker minder zal zijn dan de met de NIOSH-methode berekende AL/MPL voor die situatie. Momenteel wordt in de Verenigde Staten gewerkt aan de aanpassing van de NIOSH-richtlijnen. Ondermeer zal een reductiefactor worden geïntroduceerd voor romprotatie tijdens tillen. Met de NIOSH-methode kunnen extreme til-

situaties worden opgespoord. Dergelijke situaties komen in de bedrijven nog veel voor en worden veelal niet als zodanig onderkend.
Het is aannemelijk dat veel rugklachten door tillen ontstaan vanwege de mechanische belasting van de tussenwervelschijven van de lumbale wervelkolom. Eén van de gezondheidskundige criteria in de NIOSH-methode voor beoordeling van rugbelasting is de compressiekracht op de tussenwervelschijven van de lumbale wervelkolom. Uit proeven met menselijke wervels is gebleken dat deze structuren maximaal omstreeks 2000 - 10000 N kunnen verdragen alvorens ze bezwijken (zie bijvoorbeeld Brinckman et al., 1987). Deze grenswaarde is afhankelijk van de dichtheid van het botmateriaal (leeftijd- en geslachtafhankelijk) en de oppervlakte van de eindplaat van de tussenwervelschijf (lichaamsbouwafhankelijk). Bij repeterende belastingen (zoals frequent tillen) bezwijken de tussenwervelschijven als gevolg van materiaalvermoeidheid bij aanzienlijk lagere compressiekrachten. Hiermee wordt in de NIOSH-methode geen rekening gehouden.

Omdat voor het toepassen van de NIOSH-methode deskundigheid vereist is, bestaat behoefte aan een richtlijn voor de maximaal toelaatbare tilgewichten, onafhankelijk van andere factoren. Door de overheid worden in het concept voorlichtingsblad van het DGA (CV 9) de volgende richtlijnen voorgesteld: het toelaatbaar gewicht van de te tillen last voor volwassenen is 40 kg, voor jeugdigen 25 kg en voor zwangeren 5 kg bij frequent en 10 kg bij incidenteel tillen.

Normen, wet- en regelgeving
Ontwerp NEN 2738; Menselijke fysieke belasting.

Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en werkplaatsen:
Artikel 186b lid 2 V.B.F.: "Aan arbeiders die arbeid verrichten, welke staande moet worden uitgevoerd doch waarbij het arbeidsproces het toelaat van tijd tot tijd te gaan zitten moet een voldoend aantal doelmatige zitgelegenheden ter beschikkeing gesteld zijn."

Artikel 49 V.B.F.: "In een fabriek of werkplaats waar 100 of meer personen arbeid plegen te verrichten, moet een besloten, voldoende tegen weersinvloeden beschermde ruimte aanwezig zijn, waarin gelegenheid is of onmiddellijk kan worden gemaakt voor het nemen van rust. In een zodanige ruimte moet een deugdelijk, al of niet opvouwbaar bed of een deugdelijke rustbank beschikbaar zijn."

Artikel 1 Arbeidsbesluit 1920: "Een vrouw mag geen arbeid verrichten bestaande uit het tillen, trekken, duwen, dragen of op andere wijzen verplaatsen van een last, indien deze arbeid kennelijk of naar het oordeel van het districtshoofd:

a. van haar te grote krachtinspanning eist;
b. om enige andere reden een gevaar voor haar gezondheid oplevert."

Artikel 58 Arbeidsbesluit 1920: "Een jeugdig persoon of een vrouw mag in een winkel of in een apotheek geen arbeid verrichten, tenzij wordt voldaan aan de volgende voorschriften:

1. In de winkel of apotheek moet voor de jeugdige personen en vrouwen, die aldaar gelijktijdig werkzaam zijn, een voldoend aantal, uitsluitend voor die personen bestemde, doelmatige zitgelegenheden aanwezig zijn.
2. Aan de in de winkel of apotheek werkzame jeugdige personen en vrouwen moet gelegenheid gegeven worden van de in het eerste lid bedoelde zitplaatsen gebruik te maken gedurende de tijd waarin zij geen werkzaamheden in de winkel of de apotheek verrichten, maar aldaar toch aanwezig moeten zijn en gedurende de tijd, waarin zij aldaar werkzaamheden verrichten, welke zittende naar behoren, kunnen worden uitgevoerd."

Artikel 7 Arbeidsbesluit Jeugdigen: "Een jeugdig persoon mag geen arbeid verrichten, welke meebrengt dat hij veelvuldig zware lasten moet heffen of dragen, of dat hij gedurende langere tijd achtereen ongunstige werkhoudingen moet aannemen."

Artikel 8 Arbeidsbesluit Jeugdigen: "Een jeugdig persoon mag geen arbeid verrichten, welke door de daarbij gevergde inspanning tot een belastingsgraad leidt die ten aanzien van hem onaanvaardbaar is te achten."

Richtinggevende publicaties van de arbeidsinspectie:
CV 9; "Fysieke belasting"
CP 14; "Zwangerschap en arbeid"

Meetmethode en -apparatuur

Bepaling van het zuurstofvolume
Voor de toepassing van de richtlijn is het noodzakelijk de $\dot{V}O_2$ max vast te stellen, waarbij afhankelijk van de soort dynamische belasting een fiets, loop- of armergometer noodzakelijk is (Vos en Binkhorst, 1987). De bepaling van de $\dot{V}O_2$ max kan zowel direct als indirect gemeten worden.
Bij de directe bepaling hanteert men maximale ergometer tests onder gelijktijdige bepaling van de O_2 opname tot dat de maximale O_2 opname wordt bereikt (Astrand, Rodahl, 1986).
Bij de indirecte bepaling schat men de $\dot{V}O_2$ max uit submaximale ergometer tests aan de hand van $\dot{V}O_2$, hartfrequentie en geleverd uitwendig vermogen. Bij de indirecte methoden kan men fouten maken in de orde van ± 15% van de $\dot{V}O_2$ max. Met deze onnauwkeurigheid dient men terdege rekening te houden bij het toepassen van de gekozen richtlijnen (NISGZ, 1986).
Met name tijdens arbeid met een statische component (bijv. dragen) is sprake van een onderschatting van de $\dot{V}O_2$ uit de gemeten hartfrequentie (Maas e.a., 1989).
Tevens dient de O_2 opname te worden bepaald met behulp van O_2 en CO_2 analyse-apparatuur en een volumemeter ter bepaling van de uitgeademde lucht. In Nederland zijn daarvoor gevalideerde meetinstrumenten beschikbaar:

fietsergometers	:	mechanisch geremd (toerental-afhankelijk) en, electronisch geremd (evt. toerental-onafhankelijk)
volumemeter	:	natte of droge gasmeter
CO_2 analysator	:	paramagnetisch
CO_2 analysator	:	infrarood
tredmolens	:	verstelbaar in helling en snelheid
armergometer	:	evt. om te bouwen fietsergometers

Bepaling van spierinspanning
Voor het hanteren van de richtlijn voor plaatselijke spierbelasting bij statische arbeid, zijn in de praktijk thans nog geen gestandaardiseerd meetmethoden voorhanden.
Verschillende variabelen moeten in de praktijk worden bepaald. Daarvoor bestaan in principe diverse meetmethoden, die echter op hun bruikbaarheid en validiteit nog moeten worden onderzocht. Voor het hanteren van de meetmethoden is veelal specifieke deskundigheid vereist. De metingen die moeten worden verricht en de daarvoor mogelijke bruikbare meetmethoden zijn:

- identificatie van de meest belast spiergroep (observaties, vragenlijsten over ervaren belasting, biomechanische berekeningen);
- bepaling van de grootte van de uitwendige geleverde kracht (bepaling gewicht van lasten, krachtopnemers);
- registratie van de werkhouding (observaties, fotografie/video, goniometers, e.d., opto-electrische methoden);
- bepaling van de spierbelasting (biomechanisch model, electromyografie);
- bepaling van de maximale spiersterkte (groepsgegevens uit data-bestanden, individuele meting met krachtopnemers + biomechanisch model).

Bepaling van het maximaal toelaatbare tilgewicht
De benodigde meetmethoden van toepassing van de NIOSH-methode zijn in principe eenvoudig. De hoogte van de last, de afstand van de last tot het lichaam, en de verplaatsingsafstand van de last kunnen met een afstandmeting worden bepaald. Ook het bepalen van het gewicht van de last en de tilfrequentie kan op eenvoudige wijze gebeuren. De gemeten waarden kunnen worden ingevoerd in de NIOSH-formule. Ook kan gebruik worden gemaakt van de grafieken in Fig. 2.2.3.
De NIOSH-methode geeft het maximaal toelaatbare lastgewicht, aan de hand van een "Action Limit" (AL) en een "Maximum Permissible Limit" (MPL).
AL = 40 kilogram x HF x VF x DF x FF; MPL = 3 x AL.
Zoals blijkt uit de formule voor AL is de waarde afhankelijk van de waarden van een viertal factoren. Deze factoren worden als volgt berekend:

- de HF staat voor de horizontale factor. Deze wordt bepaald op grond van de horizontale afstand van de handen tot de enkels (H) (zie Fig. 2.2.3a) bij het begin van de tilhandeling, volgens de formule: HF = 15/H (H in cm). Deze formule is grafisch uitgezet in Fig. 2.2.3b.
- de VF staat voor de verticale factor. Deze wordt bepaald op grond van de verticale afstand van de handen tot de vloer (V) (zie Fig. 2.2.3a) bij het begin van de tilhandeling, volgens de formule: VF = 1 - 0.004 x (V - 75) (V in cm). Deze formule is grafisch uitgezet in Fig. 2.2.3c.
- de DF staat voor de distantiefactor. Deze wordt bepaald op grond van de afstand die de tillast in verticale richting aflegt (D) (zie Fig. 2.2.3a), volgens de formule: DF = 0.7 + 7.5/D (D in cm). Deze formule is grafisch uitgezet in Fig. 2.2.3d.
- de FF staat voor de frequentiefactor. Deze wordt bepaald op grond van de tilfrequentie (F), de totale duur (af en toe/de hele dag) en de tilhoogte (beneden dan wel boven de werkbank; bankhoogte, niet nader gedefinieerd). Volgens de formule: FF = 1 - F/F max. Deze formule is grafisch uitgezet in Fig. 2.2.3e.

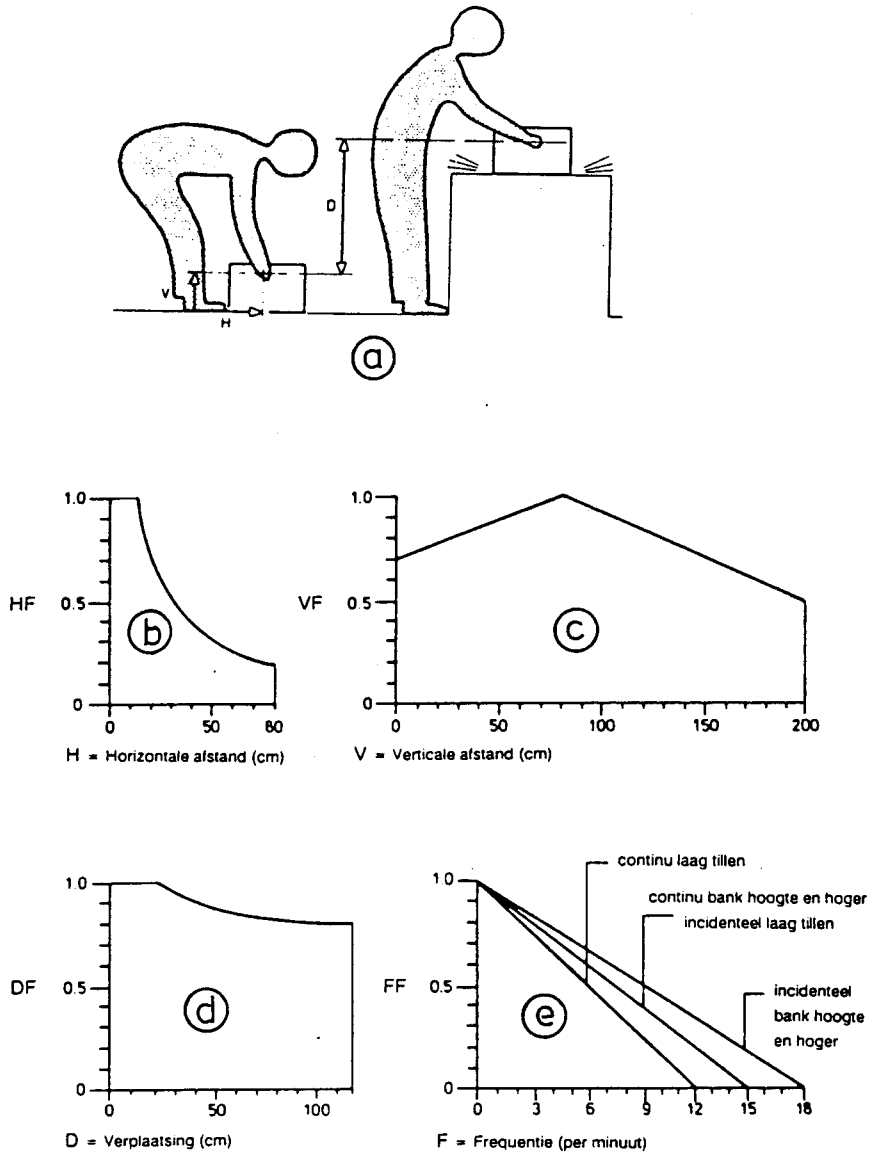


Fig. 2.2.3 De bij de NIOSH-methode behorende grafieken. De HF en de VF worden bepaald bij het begin van de tilhandeling. Indien de last voorzichtig moet worden weggezet wordt het maximaal toelaatbare lastgewicht bepaald aan het einde van de tilhandeling.
HF = horizontale factor, VF = verticale factor, DF = distantie factor.

Literatuur

Astrand, P.O. en Rodahl, K. Textbook of work physiology, physiological bases of exercise. McGraw Hill, New York, 1986 (chapter 11, applied work physiology). (Chapter 8, evaluation of physical performance on the basis of tests).

Björkstén, H. en Jonsson, B. Endurance limit of force in long-term intermittent static contractions. Scand. J. Work. Environ. Hth. 3, 1977, pp. 23-27.

Brinckmann, P., Biggemann, M. en Hilweg, D. Fatigue fracture of human lumbar vertebrae. Clinical biomechanics, supplement 1, 1988.

Chaffin, D.B. en Andersson, G.B.J. Occupational Biomechanics. John Wiley and Sons, New York, 1984.

Dul, J. en Smitt, P. Ontwikkeling en toepassing van een werk-rust-model voor statische houdingen. NIPG-TNO, 1989.

Hagberg, M. Muscular endurance and surface electromyogram in isometric and dynamic exercise. J. Appl. Physiol. 51, 1981, pp. 1-7.

Hettinger, T., Kaminsky, G. en Schmale, H. Ergonomie am Arbeitsplatz, Ludwigshafen, Kiehl, 1980.

Kemper, H.C.G. Arbeidsbelastingsonderzoek bij huisvuilbeladers. In: A. Vermeer (ed.). Onderzoek van menselijk bewegen, V.U. Amsterdam 1987, pp. 107-127.

Maas, S., Kok, M.L.J., Westra, H.G., Kemper, H.C.G. The validity of the use of heart rate in estimating oxygen consumption in static and in combined static/dynamic exercise. Ergonomics, 1989, 32, 2, pp. 141-148.

NIOSH Work practices guide for manual lifting. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinatti, Ohio, U.S.A., 1981.

Richtlijnen voor de ergometrie ten behoeve van de sportmedische adviescentra. NISGZ publicatie nr. 22, 1986 NISGZ, Oosterbeek.

Rohmert, W. Ermittlung von Erholungspansen für statische Arbeit des Menschen. Int. Z. Angew. Phys. 18, 1960 pp. 123-164.

Sjøgaard, G. Intramuscular changes during long-term contraction. In: The ergonomics of working postures. (Eds.: N. Corlett, J. Wilson, I. Manenica). Taylor and Frances, London, 1986.

Vos, J.A. en Binkhorst, R.A. Fietsergometrie bij de begeleiding van training. De Tijdstroom, Lochum, 1987.

Weide, L. Fysieke belasting bij tillen. Beoordeling volgens de NIOSH-methode. Tijdschrift voor Ergonomie 8, 1983.

2.3 Mentale belasting

Inleiding

Mentale belasting heeft betrekking op de aandacht die een taak vergt voor mensen. Hierbij wordt dus een beroep gedaan op de mentale functies. In de eerste plaats zijn dit perceptieve en cognitieve functies maar ook het neurofysiologisch functioneren speelt een rol.
Net zoals de mate waarin mensen fysiek kunnen worden belast, bepaald wordt door anatomische en fysiologische mogelijkheden en beperkingen, zo ook wordt de grens van mentale belasting bepaald door perceptieve, cognitieve en ook (neuro)fysiologische mogelijkheden en beperkingen.

De essentie van de beperkingen op het gebied van perceptie en cognitie wordt gevormd door de geheugenfunctie. Grofweg manifesteert ons geheugen zich op twee manieren. De eerste hiervan wordt aangeduid met lange termijngeheugen, dat is de verzameling van kennis en ervaring die we successief hebben opgeslagen en die ons permanent ter beschikking staat. De hoeveelheid kennis en ervaring die we kunnen opslaan is in principe onbeperkt. De tweede manifestatie van het geheugen wordt aangeduid met werkgeheugen. De inhoud van dat werkgeheugen wordt gevormd door elementen waarmee we op een zeker moment bewust en actief bezig zijn. De hoeveelheid van die elementen is beperkt; het onthouden van meer dan zeven cijfers, namen of codes levert vaak al problemen op. Indien ook bewerkingen moeten worden uitgevoerd wordt het aantal elementen nog verder beperkt. Het is deze beperktheid van het werkgeheugen die ervoor zorgt dat de aandacht die we aan de omgeving (de taak) kunnen schenken eveneens beperkt is.
Indien nu de taak meer aandacht vergt dan beschikbaar is, is er sprake van mentale overbelasting. Het gevolg hiervan is een inadequate taakuitvoering hetzij in tijd, hetzij in aantal fouten. Hierbij moet worden opgemerkt dat de negatieve effecten toenemen als functie van de tijd.

De essentie van de beperkingen op het gebied van neurofysiologische functies ligt op het gebied van de activatie. Om adequaat op veranderingen in de (taak)omgeving te kunnen reageren is een zeker niveau van activatie noodzakelijk. Bij voldoende stimulering van buitenaf wordt dit activatieniveau vanzelf op peil gehouden. Problemen ontstaan bij

zowel te veel als te weinig stimulering. In het eerste geval ontstaat overactivatie met als gevolg een emotionele respons die van het toch al overbezette werkgeheugen aandacht opeist. In het tweede geval, onderactivatie, doet zich het probleem voor dat het subject zelf door bewuste mentale (cognitieve) inspanning, de activatie op peil moet houden. Dit laatste leidt tot een vorm van mentale overbelasting die, zij het langs geheel andere weg, overeenkomstige negatieve effecten op de taakuitvoering heeft. Ook hier geldt dat de effecten als functie van de tijd toenemen.

2.3.1 Mentale belasting

Het is, op grond van het bovenstaande, duidelijk dat zowel overstimulering als onderstimulering moet worden vermeden. Het is echter niet mogelijk om a priori voldoende specifieke richtlijnen op te stellen voor de taakinrichting. Bovendien ligt de materie nogal verschillend voor over- en onderstimulering.

Het optreden van overstimulering is niet alleen afhankelijk van de eisen die een taak stelt maar evenzeer van de vaardigheid van degene die de taak uitvoert. Training kan ertoe bijdragen dat in toenemende mate efficiënter met de informatie wordt omgegaan als gevolg waarvan de belasting van het werkgeheugen wordt beperkt. Wat voor een onervaren iemand een stimulusbombardement is kan voor een ervaren iemand een comfortabel niveau van werklast zijn.

Bij onderstimulering ligt de zaak geheel anders. Training draagt in de regel niet bij om de gevolgen van onderstimulering te beperken.

Bijzonderheden over de toepassing

Voor zover ons bekend bestaan er noch in nationaal, noch in internationaal verband normen voor mentale belasting. Gezien het bovenstaande zal dit ook nauwelijks verwondering wekken. Wel bestaan er binnen enkele sectoren van bedrijvigheid afspraken over de tijdsduur waarmee (ononderbroken) taken worden uitgevoerd. Voor luchtverkeersleiders geldt bijvoorbeeld dat de taak ten hoogste ca. 45 minuten ononderbroken mag worden uitgevoerd ter voorkoming van over-

stimulering. Eenzelfde grens geldt voor radardetectie-taken binnen de Koninklijke Marine. Hier echter geldt het gevaar van onderstimulering.

Discussie

In handboeken over ergonomie wordt zelden aandacht besteed aan mentale belasting. Dit is enerzijds goed te begrijpen omdat traditioneel de ergonomie zich heeft gericht op de werkplek en de fysieke aspecten van taakuitvoering. Opgemerkt moet echter worden dat gedurende de laatste decennia fysieke arbeid in toenemende mate door geestelijke arbeid is vervangen, met een navenante verschuiving binnen de problematiek van de arbeidssituatie. Zoals uit het bovenstaande wel blijkt gaat een dergelijke verschuiving echter niet gepaard met een directe beschikbaarheid van een optimaal valide en betrouwbaar meetinstrumentarium ter beoordeling van de psychologische aspecten van de taakuitvoering. Anderzijds is ook duidelijk dat in veel arbeidssituaties het verkrijgen van een betrouwbare indicatie van de mentale belasting goed mogelijk is. In zoverre er gegronde reden is om aan te nemen dat de mentale belasting van taken niet aanvaardbaar is, is specifieke deskundigheid voor het aantonen daarvan wel vereist.

Normen, wet- en regelgeving

Op dit gebied is naast de algemene bepalingen uit de Arbowet, geen specifieke wet- en regelgeving op het gebied van de ergonomie aanwezig.

Meetmethode en -apparatuur

Er zijn een drietal meetmethoden te onderscheiden met behulp waarvan inzicht in de mentale belasting kan worden verkregen.

- psychofysiologisch
- gedragsmatig
- subjectief

De psychofysiologische meetmethode gaat uit van het verband tussen eisen die een taak stelt in termen van informatieverwerking en fysiologische veranderingen binnen het organisme. Voorbeelden van de laatste zijn hartslag(variabiliteit), ademhaling en een reeks van hormonale processen. De waarden van de fysiologische variabelen reflecteren de mate van activatie die tijdens de taakuitvoering optreedt. Hierbij wordt verondersteld dat de mate van activatie samenvalt met de mentale belasting in termen van informatieverwerking. In een aantal gevallen is deze aanname zeker juist, maar de relatie is bepaald niet één op één en dit draagt ertoe bij dat de psychofysiologische bepaling van mentale belasting niet altijd bruikbaar is en bij voorkeur in samenhang met andere methoden plaats moet vinden.

Gedragsmetingen hebben betrekking op de taakprestatie. Het onderliggende idee is dat er een (theoretisch) niveau van taakzwaarte is waarbij de mentale belasting maximaal is. De taak vergt dan precies zoveel aandacht als beschikbaar is. Onder deze omstandigheden is een adequate prestatie nog juist mogelijk. De actuele mentale belasting behorend bij het actuele niveau van taakzwaarte moet nu worden gerefereerd aan de maximale mentale belasting behorend bij het maximaal niveau van taakzwaarte. Hierbij is de manipuleerbare grootheid de taakzwaarte en de observeerbare grootheid de prestatie. De mentale belasting moet uit deze twee worden afgeleid.

Een voorbeeld van een gedragsmeting is de zogenoemde dubbeltaakmethode. Zoals de term al aangeeft gaat het hier om de prestatie op twee taken: de taak waarvan de mentale belasting moet worden bepaald en een toegevoegde (gestandaardiseerde) tweede taak. De procedure is als volgt: Allereerst wordt de prestatie op de hoofdtaak bepaald daarna de prestatie op de tweede taak (controlecondie). Vervolgens wordt de proefpersoon beide taken aangeboden die tegelijkertijd moeten worden uitgevoerd. Hierbij is de instructie om de prestatie op de hoofdtaak constant te houden en alleen de resterende aandacht aan de tweede taak te besteden. De prestatiereductie op de tweede taak ten opzichte van de controleconditie is een maat voor de mentale belasting van de hoofdtaak.

Gedragsmetingen zijn vooral bruikbaar bij goed gedefinieerde taken. In een aantal gevallen kan de uitvoering worden belemmerd door praktische overwegingen. Zo kan het toetsen van de grenzen van de prestatie door het opvoeren van de taakzwaarte een veiligheidsrisico inhouden wanneer de taak kritisch is zoals bijvoorbeeld vliegen, autorijden of taken binnen de procesindustrie. In die gevallen kunnen simulatie experimenten soms een oplossing bieden.

Subjectieve oordelen over de mentale belasting van een taak worden in de regel verkregen met behulp van vragenlijsten. Deze oordelen reflecteren echter niet alleen taakgebonden maar ook persoonsgebonden en sociaal-psychologische factoren. Dit betekent niet dat vragenlijsten onbruikbaar zijn voor een betrouwbare vaststelling van de mentale belasting zoals hierboven gedefinieerd maar houdt wel in dat ze met de nodige voorzichtigheid moeten worden gehanteerd. De meeste beschikbare vragenlijsten zijn middels psychometrische technieken ontwikkeld en meten overigens meerdere onderliggende dimensies. Naast de taakgebonden factoren worden dan ook de eerder genoemde persoonsgebonden en sociaal-psychologische factoren beschouwd. Voorbeelden van vragenlijsten zijn de "Multi-method Job Design Questionnaire (Champion Thayer, 1985), het Job/Strain model van Karasek (1979)" en de "Subjective Workload Assessment Technique" (SWAT; zie Hancock Meshkati, 1988). Voorzover bekend zijn de genoemde vragenlijsten (nog) niet voor Nederland genormeerd.

Literatuur

Champion, M.A. and Thayer, P.W. Development and field evaluation of an interdisciplinary measure of Job Design. Journal of Applied Psychology, (1985) 70, 29-43.

Gaillard, A.W.K. Stress tussen cognitie en energie. Inaugurele rede. Katholieke Universiteit Brabant, 1988.

Hancock, P.A. and Meshkati, N. Human mental workload, North-Holland Publ., Amsterdam, 1988.

Karasek, R. Job Demands, Job Decision latitude, and mental strain: Implications for Job Redesign. Administrative Science Quarterly, (1979) 24, 285-308.

Michon, J.A., Eijkman, E.G.J. en Klerk, L.F.W. de. Handboek der Psychonomie, van Loghum Slaterus, Deventer, 1976.

Moray, N. (ed.). Mental workload. Its theory and measurement. Plenum Press, New York and London, 1979.

blz.

3 HULPMIDDELEN EN WERKPLEK 52

3.1 VISUELE INFORMATIEPRESENTATIE 52
Inleiding 52

3.1.1 VERBAND TUSSEN GEZICHTSSCHERPTE, DETAIL-GROOTTE EN KIJKAFSTAND 52
Bijzonderheden over de toepassing 53
Relatie tussen leesbaarheid, contrast en luminantie 53
Lettertype 53
Kapitalen en onderkastletters 54
Tekst versus pictogrammen 54
Discussie 54

3.1.2 PRESENTATIE VAN GEGEVENS OP BEELDSCHERMEN 55
Visuele aspecten 55
Beeldschermplaatsing 56
Accomodatie 56
Tekenopbouw 57
Coderingsmethoden 58
Bijzonderheden over de toepassing 58
Maatregelen tegen spiegelingshinder 59
Maatregelen tegen stooilichthinder 59
Symboolcodering 59
Discussie 60

3.1.3 ANALOGE EN DIGITALE AANWIJSINSTRUMENTEN 60
Bijzonderheden over de toepassing 61
Uitvoeringsvorm van meterschalen 61
Resume metertype 65
Presentatie op beeldschermen 65
Discussie 65

3.1.4 SIGNAAL- EN WAARSCHUWINGSLICHTEN 66
Bijzonderheden over de toepassing 66
Opvallendheid 66
Aantal en plaats waarschuwingslichten 68
Grootte van indicatoren 68
Test 68
Compatibiliteit 68
Discussie 68

Normen, wet- en regelgeving 68
Meetmethode en -apparatuur 69
Literatuur 69

3.2 AUDITIEVE INFORMATIEPRESENTATIE 71
Inleiding 71

3.2.1 WAARNEEMBAARHEID EN HERKENBAARHEID 71
Bijzonderheden over de toepassing 72
Discussie 73
Normen, wet- en regelgeving 73
Meetmethode en -apparatuur 74
Literatuur 74

3.3 BEDIENINGSMIDDELEN 75
Inleiding 75

3.3.1 FUNCTIES 76
Continue en discontinue informatie-overdracht 76
Overbrengingsverhouding bij continue instelbereik 76
Toestandskeuze bij discreet instelbereik 77
Bijzonderheden over de toepassing 78
Compatibiliteit 78
Bedieningskrachten 78
Bereikbaarheid 78
Onbedoeld bedienen 79
Handschoenen 79
Discussie 79

3.3.2 COMPATIBILITEIT 80
Stimulus-response compatibiliteit 80
Ruimtelijke compatibiliteit 80
Richtingscompatibiliteit 81
Ingreep-effect relaties in complexe situaties 83
Bijzonderheden over de toepassing 84
Tijdsdruk en onzekerheid 84
Uitzonderingen 84
Ongevallen 84
Discussie 84

3.3.3 CONTINUE INFORMATIE-OVERDRACHT 85
Bijzonderheden over de toepassing 87
Isotoon en isometrisch 87

	Rolbal en muis	87
	Draaiknoppen	87
	Hendels	88
	Voetpedalen	89
	Houding	89
	Mechanische eigenschappen	89
	Discussie	89
3.3.4	DISCRETE INFORMATIE-OVERDRACHT	90
	Bijzonderheden over de toepassing	91
	Druktoetsen	91
	Onbedoeld bedienen tuimelschakelaars	92
	Trekknoppen en trekbeugels	92
	Voetschakelaars	93
	Discussie	93
3.3.5	GEGEVENSINVOER	94
	Numerieke toetsenborden	94
	Alphabetische toetsenborden	94
	Functietoetsenborden	94
	Aanraakscherm	95
	Grafisch tableau	96
	Bijzonderheden over de toepassing	96
	Vormgeving van toetsenbord	96
	Positie-aanwijzing op beeldschermen	96
	Toetsenborduitvoering	97
	Tactiele terugkoppeling	97
	Lichaamshouding	97
	Spraakinvoer	97
	Discussie	98
	Normen, wet- en regelgeving	98
	Meetmethode en -apparatuur	98
	Literatuur	99
3.4	HANDGEREEDSCHAPPEN	101
	Inleiding	101
3.4.1	VORMGEVING VAN HANDGREPEN	103
	Twee-vingergreep	103
	Drie-vingergreep	105
	Vier-vingergreep	105
	Handgrepen	106
	Handvatten	108
	Heften	109

		Stelen	110
		Discussie	111
	Normen, wet- en regelgeving		111
	Meetmethode en -apparatuur		112
	Literatuur		112
3.5	WERKPLEK		113
	Inleiding		113
	3.5.1	LICHAAMSHOUDING EN WERKPLEK	113
		Fysiologische krommingen van de wervelkolom	113
		Zittend en/of staand werken	116
		Beenruimte	118
		Gebruik van antropometrische gegevens	121
		Discussie	122
	3.5.2	WERKPLEKKEN VOOR INDUSTRIELE TAKEN	123
		Bepaling van werkplekmaten	123
		Zitwerkplek	127
		Zit/sta-werkplek	129
		Stawerkplek	130
		Discussie	131
	3.5.3	WERKPLEKKEN VOOR LEES- EN SCHRIJFTAKEN	132
		Werkhouding	132
		Werkvlakhoek	132
		Werkvlakhoogte en -diepte	133
		Discussie	136
	3.5.4	BEELDSCHERMWERKPLEKKEN	136
		Werkhouding	136
		Tafelhoogte en -diepte	138
		Beeldschermplaatsing	138
		Documenthouder	139
		Stoel	139
		Discussie	141
	3.5.5	WERKPLEKKEN VOOR BEDIENINGSTAKEN	142
		Functionele eisen	142
		Consolevorm en -indeling	144
		Discussie	145
	3.5.6	LICHAAMSONDERSTEUNING	145
		Functionele eisen	145

Kantoorstoelen 146
Werkstoelen 148
Voetensteunen 149
Kniestoelen 151
Stasteunen 151
Discussie 153
Normen, wet- en regelgeving 153
Meetmethode en -apparatuur 154
Literatuur 154

3.6 WERKRUIMTE 156
Inleiding 156

3.6.1 RUIMTE-AFMETINGEN 156
Vloeroppervlak 156
Ruimteverhouding 156
Plafondhoogte 156
Passages 157
Ruimte voor onderhoud 158
Bijzonderheden over de toepassing 160
Discussie 160

3.6.2 HELLINGBANEN, TRAPPEN EN LADDERS 160
Hellingbanen 161
Trappen 161
Trapladders 162
Ladders 163
Discussie 163
Normen, wet- en regelgeving 164
Meetmethode en -apparatuur 164
Literatuur 164

3 HULPMIDDELEN EN WERKPLEK

3.1 Visuele informatiepresentatie

Inleiding

Bij het presenteren van visuele informatie over het verloop van een proces, de aanwijzing van een instrument of het lezen van tekst, gaat het steeds om een waarnemer en de presentatievorm van de gegevens. De informatie dient zodanig te worden gepresenteerd dat een eenvoudige en foutloze waarneming wordt bevorderd.

3.1.1 Verband tussen gezichtsscherpte, detailgrootte en kijkafstand bij leestaken

De mogelijkheid visuele informatie waar te nemen wordt primair bepaald door de gezichtsscherpte, zoals die door een (oog)arts met een leeskaart wordt vastgesteld. Ruim 70% van de bevolking heeft een gezichtsscherpte (visus) beter dan 1; 95% heeft een gezichtsscherpte van tenminste 1/2. Een gezichtsscherpte van 1 betekent dat 1 mm op 3400 mm kan worden waargenomen. Bij een visus van 1/2 is dat 1 mm op 1700 mm.

Bij het vaststellen van de relatie tussen de tekenhoogte en de kijkafstand, baseert men zich op het feit dat een letter in de hoogte uit 5 details bestaat (hoofdletter E). De letter kan worden herkend als de details gescheiden te zien zijn. Daardoor ontstaan de volgende relaties:

Bij visus 1: (geschikt voor 70% van de bevolking)
tekenhoogte/kijkafstand $\geq$ 1/700

Bij visus 1/2: (geschikt voor 95% van de bevolking)
tekenhoogte/kijkafstand $\geq$ 1/350

Vooral bij oudere mensen wordt in verband met accomodatieproblemen voor kijkafstanden tot ca. 1 m wel een verhouding (tekenhoogte/kijkafstand) van ca. 1/200 aangehouden (Bouma, 1988).

Bijzonderheden over de toepassing

Relatie tussen leesbaarheid, contrast en luminantie

- Het contrast (hier gedefinieerd als de luminantieverhouding tussen letter en ondergrond) moet voor optimale leesbaarheid ca. 1 : 5 à 10 (of 10 à 5 : 1) bedragen. Beneden 1 : 3 gaat de leesbaarheid duidelijk achteruit; boven 1 : 30 gaat overstraling optreden. Bij gedrukte tekst bestaat dat laatste risico niet, want met inkt op wit papier is 1 : 10 zo ongeveer het maximaal haalbare contrast. Bij inwendig verlichte teksten (bijvoorbeeld op ANWB-borden) zal het effect van de overstraling wel optreden.

- Het gebruik van kleur zal de leesbaarheid eigenlijk nooit verbeteren. Kleur kan de opvallendheid vergroten, zodat de tekst aandacht trekt, maar de leesbaarheid wordt in feite alleen bepaald door de luminantieverhoudingen. Indien kleur gebruikt wordt, moet dus altijd gestreefd worden naar een zo groot mogelijk luminantiecontrast. Op grond daarvan moeten combinaties als zwart op donkerblauw en geel op wit worden vermeden.

Bij inwendige verlichte borden heeft een witte tekst op een donkerder ondergrond voorkeur. Bij inwendig verlichte borden wordt een optimale leesbaarheid verkregen bij een bordluminantie groter dan 100 cd/m^2, maar kleiner dan 1000 cd/m^2: beneden ca. 10 cd/m^2 loopt de leesbaarheid sterk terug.

Lettertype

Afgezien van decoratieve vormen, is het lettertype van geringe invloed op de leesbaarheid. Evenmin zijn de stokbreedte en breedte/hoogte-verhouding erg kritisch. In het algemeen dient de verhouding stokdikte/letterhoogte 1 : 6 te bedragen met een maximum van 1 : 10.
Witte letters op een donkere ondergrond moeten een geringere stokdikte hebben dan zwarte tekst op wit en de spatiëring dient ook ruimer te zijn. Dit laatste geldt in het bijzonder bij inwendig verlichte borden.
De optimale breedte/hoogte verhouding van de letters ligt tussen 0,5 en 1,0. De optimale verhouding wordt mede

bepaald door de toepassing. Een breed lettertype verdient de voorkeur als de tekst onder een hoek in het horizontale vlak wordt waargenomen. Hoge lettertypes worden gebruikt op borden boven de weg, vanwege de waarnemingshoek in het verticale vlak.

Kapitalen en onderkastletters
Of kapitalen (hoofdletters) dan wel onderkastletters (kleine letters) de voorkeur verdienen hangt van de toepassing af. Kapitalen hebben, door een betere ruimtebenutting, een grotere intrinsieke herkenbaarheid. Echter, de afwezigheid van staarten en stokken levert een minder karakteristiek woordbeeld op, waardoor de leesbaarheid van kapitalen in lopende tekst minder goed is.
Dat heeft tot consequentie dat kapitalen de voorkeur verdienen bij korte aanduidingen (bijvoorbeeld naambordjes), waarbij het hoogtebeslag de beperkende voorwaarde is, en dat onderkast de voorkeur verdient bij (lees)teksten waarbij de regellengte het beperkende element is.

Tekst versus pictogrammen
Pictogrammen brengen informatie in beeldvorm over, maar als het beeld niet erg vertrouwd is (o.a. cultuurafhankelijk) roept het gemakkelijk misverstanden op. Het gebruik van pictogrammen op verkeersborden is (meestal) zinvol (gelijk binnen Europa en door frequent voorkomen redelijk vertrouwd). Pictogrammen op gebruiksaanwijzingen vormen vaak typische voorbeelden van verkeerd gebruik (veelal geen taalprobleem en geen vertrouwd beeld doordat het gebruik incidenteel is).

Discussie
In de Selectie uit zes handboeken is voor het bepalen van de tekengrootte gekozen voor de berekeningswijze van McCormick and Sanders. Bij gebrek aan goed onderzoek baseren dezen en enige anderen (o.a. ISO/DIS 9355) hun aanbevelingen op een summiere publicatie van Peters en Adams (1959). Daarin worden correctiefactoren gegeven voor belangrijke versus onbelangrijke informatie, goede en slechte contrasten, en goede en slechte verlichtingsomstandigheden. Bij die berekeningswijze is de afwijking met andere onderzoeksresultaten tamelijk groot,

vooral voor kijkafstanden tot ca. 5 meter. Vanwege het ontbreken van een onderbouwing, is er geen reden deze richtlijnen over te nemen. Tussen de door Peters en Adams genoemde factoren bestaat wel enig, zij het tamelijk complex, verband: detailgrootte, luminantie en contrast hebben een nauwe relatie.

De belangrijkste is dat bij lage luminanties (< 10 cd/m^2) de leesbaarheid van tekst verbeterd kan worden door grotere karakters te nemen en/of het contrast te vergroten.
De onderhavige richtlijn is voornamelijk gebaseerd op de uitgave Roadsigns, een recent opgesteld verzamelwerk van de Commission International de l'Eclairage.

3.1.2 Presentatie van gegevens op beeldschermen

De leesbaarheid van beeldscherminformatie wordt bepaald door:
- de (lichttechnische) eigenschappen van de beeldbuis, zoals luminantie, reflectiefactor, enz.;
- de visuele omgeving (contrasten, spiegeling, strooilicht);
- de inrichting van de werkplek (plaats van scherm in gezichtsveld);
- de wijze waarop de informatie wordt gepresenteerd (karakteropbouw, kleurgebruik, schermindeling).

Voor het merendeel worden aanbevelingen ten aanzien van deze aspecten gegeven in V 13 en NEN 3002. De meest belangrijke zijn in deze richtlijn vermeld en waar nodig aangepast.

Visuele aspecten

- Beeldfrequentie : Lichte tekens op donkere ondergrond: minimaal 50 Hz;
  Donkere tekens op lichte ondergrond: minimaal 70 Hz;
- Contrast : Tussen teken en ondergrond (voor beide typen beeldschermen): 15 > C > 5;
- Beeldpolariteit : Beeldschermen met donkere tekens op een lichte ondergrond zijn te prefereren vanwege mindere gevoe-

		ligheid voor spiegelingen en betere luminantieverhoudingen in het gezichtsveld;
- Schermluminantie	:	Instelbaar (minimumwaarde voor oudere typen monocolorschermen 50 cd/m^2; voor moderne typen 150 cd/m^2);
- Reflectiefactor	:	Bij lichte tekens op donkere ondergrond: Diffuse reflectiefactor > 15% Spiegelende reflectiefactor: bij voorkeur < 0,5% (door 1/4 λ coating op beeldscherm) Bij donkere tekens op lichte ondergrond: Diffuse reflectiefactor < 20% Spiegelende reflectiefactor: < 2% (mattering)

Beeldschermplaatsing (zie ook Par. 3.5.4)

- Kijkafstand	:	Door de gebruiker te kiezen tussen 350 en 700 mm, bij voorkeur ongeveer 550 mm;
- Kijkhoek	:	Hoek tussen oog en midden van beeldscherm: 25° ± 10° (de gebruiker moet over het scherm heen kunnen kijken);
- Beeldschermhoek	:	Staploos instelbaar tussen 0 ± 15°;
- Concepthouder	:	Plaatsing concepthouder (links) naast het beeldscherm.

Accommodatie

Het lezen van teksten op beeldschermen, in het bijzonder in combinatie met het waarnemen van informatie op grotere afstand, kan voor operators ouder dan 40 jaar door een afnemend accommodatievermogen een rol van betekenis spelen. In Fig. 3.1.1 is langs de horizontale as de leesafstand uitgezet en vertikaal een aantal leeftijdsgroepen. In de figuur kan worden afgelezen wat de mogelijkheden tot scherpstelling van het oog zijn en wat brilcorrecties daaraan kunnen verbeteren. Daaruit blijkt dat met het vorderen van de leeftijd extra brilcorrecties nodig zijn om

ook op korte afstand nog scherp te kunnen zien. Daardoor moeten óf verschillende brillen óf een multifocale bril worden toegepast.

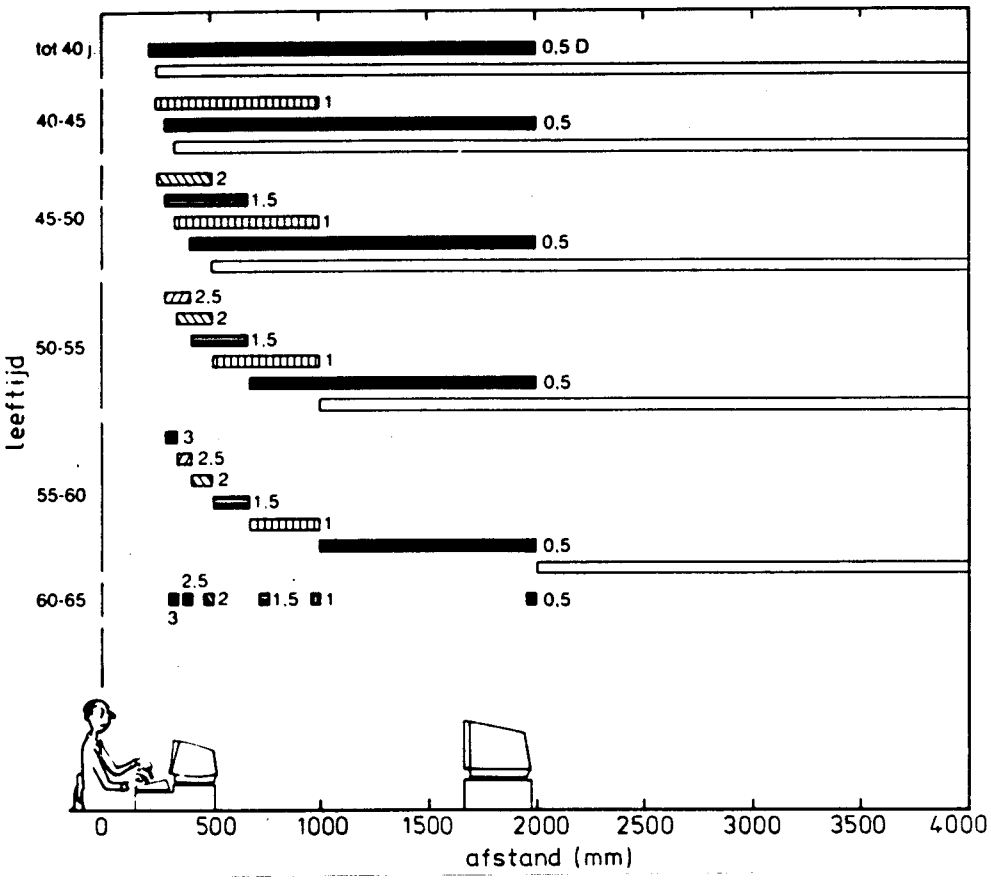


Fig. 3.1.1 Benodigde brilcorrecties in dioptrieën als functie van de leesafstand (mm) en de leeftijd (Leebeek, BEA-lijst 1985).

Tekenopbouw

- Tekenhoogte : Ca. 1/150 van de kijkafstand
- Stokdikte : Bij donkere tekens op lichte ondergrond: 12 - 17% van de tekenhoogte
  Bij lichte tekens op donkere ondergrond: 10 - 12% van de tekenhoogte;
- Aspectratio : Hoogte-breedteverhouding van tekens: tussen 1,25 en 1,55;
- Onderkast : Stok- en staartlengte minimaal 40% van de hoogte van rompletters;
- Tekenmatrix : Minimaal 7 elementen horizontaal x 9 verticaal;

- Letterspatie : 20 - 50% van de tekenbreedte;
- Woordspatie : 1 à 1,5 x de tekenbreedte;
- Regelspatie : Minimaal 1/30 van de regellengte.

Coderingsmethoden
Veel toegepaste coderingsmethoden op beeldschermen zijn:
a) alfanumerieke karakters (cijfers en letters);
b) kleur;
c) pictogrammen;
d) geometrische vormen;
e) grootte van de afbeelding;
f) luminantie en contrast.

Kleur wordt op beeldschermen veel gebruikt als coderingsvorm. Daarvoor gelden de volgende aanbevelingen:
- Een onjuist kleurgebruik leidt de aandacht van de gebruiker af. Gebruik kleur daarom alleen indien dit functioneel is en zo mogelijk niet meer dan 3 kleuren op een scherm.
  Bij noodzakelijk toepassing van meer kleuren, kan het volgende schema worden aangehouden:

2 kleuren	rood	groen			
3 kleuren	rood	oranje of wit	groen		
4 kleuren	rood	oranje	wit	groen	
5 kleuren	rood	oranje	wit	groen	blauw

  (Voor "oranje" mag ook "geel" worden genomen)

- Ook voor kleurgebruik op beeldschermen geldt dat het luminantiecontrast van meer invloed is dan het kleurcontrast.

Bijzonderheden over de toepassing (zie ook par. 4.1.3)
Ondanks de genomen relevante maatregelen kan tengevolge van spiegeling en strooilicht, het contrast op het beeldscherm onvoldoende zijn. Bij lichte tekens op een donkere ondergrond treedt spiegelingshinder op wanneer het quotiënt van de symboolluminantie en de luminantie van het spiegelbeeld (L_s/L_{sp}) minder dan 5 bedraagt.

Voor donkere tekens op een lichte ondergrond moet het quotiënt van de luminantie van het spiegelbeeld en de luminantie van de schermondergrond (L_{sp}/L_o) kleiner zijn dan 2.

Maatregelen tegen spiegelingshinder

- breng (bij donkere - en kleurenbeeldschermen) goede (beeldscherm-)verlichtingsarmaturen aan; deze bezitten in zijwaartse richting, onder hoeken groter dan 50° ten opzichte van de verticaal, een lage luminantie (< 200 cd/m^2);
- stel beeldscherm dwars op - en niet te dicht bij de vensters op. Breng zonodig zonwering aan (bij voorkeur lichtdichte verticale lamellen).

Maatregelen tegen strooilichthinder

- stel beeldscherm dwars - en niet te dicht bij de vensters op. Breng zonodig zonwering aan (bij voorkeur lichtdichte verticale lamellen) of plaats een kamerscherm tussen venster en beeldschermplek;
- zorg door een goede armatuurkeuze en juiste plaatsing van de armaturen ten opzichte van het beeldscherm (of vice versa) voor een juiste afstemming van de verlichtingssterkte op het type beeldscherm.
  Bij oudere typen beeldschermen, CAD/CAM-schermen en kleurenbeeldschermen mag de verticale verlichtingssterkte op het scherm meestal niet meer bedragen dan 100 lux: bij moderne monocolorbeeldschermen ca. 300 à 400 lux.

Symboolcodering

Coderingen met alfanumerieke karakters leiden tot de minste fouten, gevolgd door kleur en pictogrammen/geometrische vormen (Christ, 1975).
Daar waar fouten moeten worden voorkomen of snelle verwerking gewenst is, leidt redundante codering (gelijktijdig meerdere codes zoals kleur en vorm) tot een grotere effectiviteit van de informatie-overdracht.
Bij toepassing van gekleurde symbolen op een gekleurde ondergrond biedt DIN 66234, deel 5, bijblad 2 een goed overzicht.

Discussie
Bij de voorliggende richtlijn is uitgegaan van het gedocumenteerde in NEN 3002, V 13 en de BEA-lijst. Vergelijking van NEN 3002 met buitenlandse normen, heeft plaatsgevonden in het kader van het onderzoek "Het werken met beeldschermen". Daarbij is gebleken dat de aanbevelingen goed stroken met de in het buitenland gehanteerde. Ofschoon de normen in veel gevallen gebaseerd zijn op vuistregels, is er geen reden te pleiten voor nadere precisering van de genoemde waarden.
Vanwege de veelsoortigheid aan taken wordt in deze richtlijn niet nader ingegaan op de schermopmaak.

3.1.3 Analoge en digitale aanwijsinstrumenten

De keuze van soort en type aanwijsinstrument wordt bepaald door de functie waarvoor het instrument gebruikt gaat worden en door het trainingsniveau van de gebruiker. Bij het soort wordt onderscheid gemaakt tussen analoog, digitaal, en hybride. Binnen de groep analoge instrumenten worden diverse schaaltypen onderscheiden: ronde, segment of lineaire schaal.

Bij de keus van een aanwijsinstrument gelden de volgende overwegingen (ISO/DIN 9355):

a) Biedt het eenvoudigste signaal aan dat nodig is voor een juiste beslissing van de gebruiker, bijvoorbeeld: aan/uit, afwezig/aanwezig;
b) Als a) onvoldoende is, biedt dan het eenvoudigste, voor het doel geschikte, kwalitatieve signaal aan, zoals: leeg/beneden normaal/normaal/boven normaal/vol;
c) Als a) en b) ontoereikend zijn, presenteer dan kwantitatieve informatie, zoals temperatuur in C, druk in N/m^2;
   - Kies een meter waarvan het schaalbereik overeenstemt met de maximaal te meten waarde;
   - De aangeboden afleesnauwkeurigheid moet overeenstemmen met de vereiste precisie van de meting en met de nauwkeurigheid van de sensor;
   - Schaalverdelingen moeten zo zijn ontworpen dat een snelle en acurate aflezing mogelijk is;

- Geef gekleurde schaalsectoren, of een andere referentie zoals een instelbare wijzer, om identificatie van kritische waarden te onderscheiden van de normale bedrijfstolerantie in de aanwijzing;

d) Als veel aanwijsinstrumenten in een paneel zijn aangebracht, moet verwarring voorkomen worden door een functionele scheiding of groepering (zie ook Par. 3.3).

Bijzonderheden over de toepassing

Uitvoeringsvorm van meterschalen

Uit onderzoek (Whitehurst, 1982) is gebleken dat de belangrijkste factoren die de snelheid en nauwkeurigheid van de aflezing beïnvloeden zijn:

- De schaal moet op de juiste wijze door getallen zijn onderverdeeld.

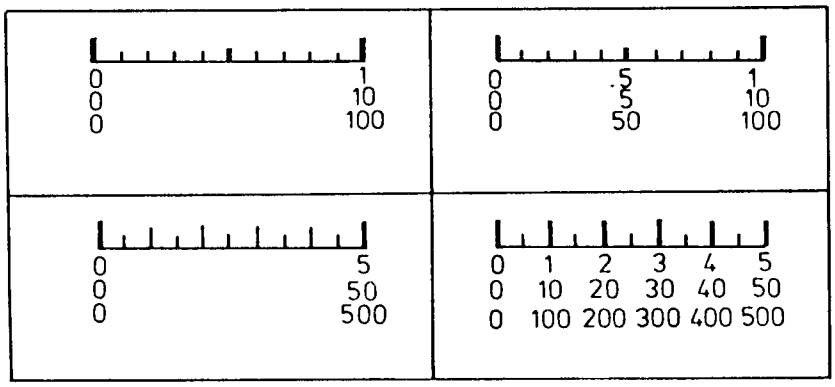


Fig. 3.1.2 Voorbeelden van enkele kwantitatieve schalen met diverse voorbeelden van nummerieke indelingen. (McCormick en Sanders, 1983).

- De afstand tussen de schaalstrepen is van belang voor een nauwkeurige interpolatie. Deze kunnen met de volgende formule (Murrel, 1969) worden berekend:

  $L = D/14{,}4 \cdot (i.m)/100$

  L = lengte van de schaal tussen de eindstrepen, gemeten langs de schaal (cm)

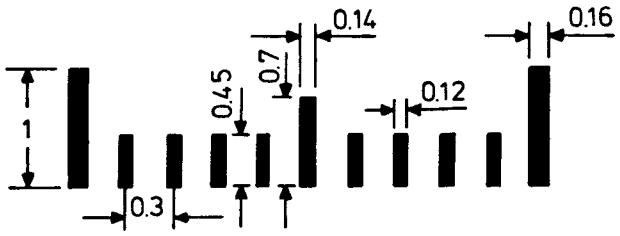
  D = kijkafstand in cm

  m = totaal aantal schaalstrepen

i = aantal schaaleenheden tussen twee schaalstrepen die door interpolatie onderscheiden moeten worden.

Enkele andere aspecten:

- In DIN 43802 zijn de verhoudingen voor de afmeting van de schaalverdeling als volgt vastgelegd:



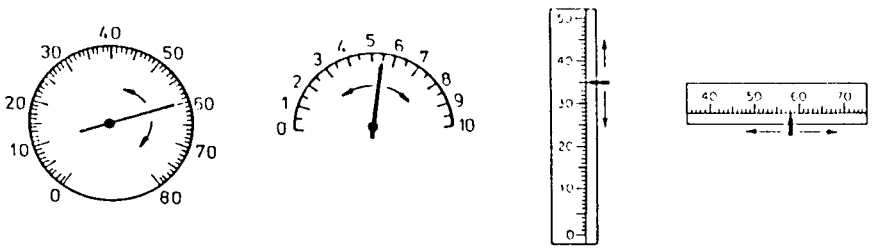
1	1 = lengte van grote schaalstreep
0,8	1 = cijferhoogte
0,7	1 = lengte van middelste schaalstreep
0,45	1 = lengte van kleine schaalstreep
0,33	1 = cijferbreedte
0,3	1 = hartafstand tussen schaalstrepen

Fig. 3.1.3 De schaalverdeling volgens DIN 43802. In deze figuur zijn de onderlinge verhoudingen aangegeven. De absolute grootte van de schaalverdeling en de bijschriften is afhankelijk van de kijkafstand (zie Par. 3.1.1.)

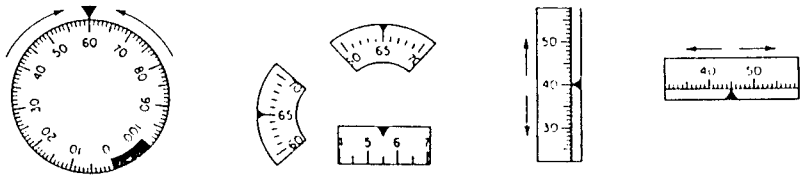
- De getallen dienen aan de buitenzijde van de schaal te zijn aangebracht, zodat ze niet door de wijzer worden afgedekt.

De volgende instrumenttypen worden onderscheiden: (naar McCormick, 1983; Schmidtke, 1981).

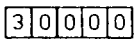
Vaste schaal met bewegende wijzer



Vaste wijzer met bewegende schaal



Digitaal



Hybride

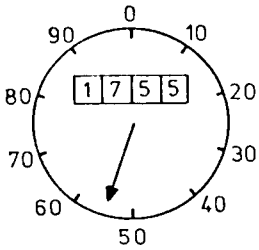


Fig. 3.1.4 Verschillende typen aanwijzers.

Tabel 3.1.1 geeft de voor- en nadelen bij toepassing van een aanwijsinstrument, gesplitst naar het type taak en instrument.

Tabel 3.1.1 Voor- en nadelen bij toepassing van een aanwijsinstrument gerelateerd aan de taak en het type instrument (naar Bernotat, 1974).

		Analoge aanwijzers			
Toepassing	**Situatiedisplays**	**Bewegende schaal**	**Bewegende wijzer**	**Digitale aanwijzers**	**Hybride aanwijzers**
1. Kwantitatieve aflezing	Ongunstig. Meestal ontbreekt de mogelijkheid tot aflezen van positieveranderingen.	Matig. Risico voor fouten bij interpolatie	Matig. Gevaar voor fouten bij interpolatie.	Goed. Minimale afleestijd en fouten voor het registreren van numerieke waarden.	Matig. Risico voor fouten bij interpolatie in analoge deel.
2. Kwalitatieve aflezing	Goed. De richting van de afwijking is goed te herkennen. De grootte daarvan moet worden geschat.	Ongunstig. Richting en grootte van afwijking zijn moeilijk te bepalen (alleen door regelmatige aflezing).	Goed. Wijzerpositie en veranderingen makkelijk herkenbaar; schaalwaarden hoeven niet afgelezen te worden.	Ongunstig. Getallen moeten worden afgelezen. Verandering worden slecht opgemerkt.	Matig. Weliswaar is wijzerpositie goed herkenbaar, maar interpretatie daarvan slechts mogelijk door voorafgaande aflezing van numerieke waarden in het digitale deel.
3. Discrete instelling	Goed. Geschikt voor processen met kleine tijdconstante. Voor processen met grote tijdconstanten minder geschikt. Goede compatibiliteit met bedieningsmiddelen.	Matig. Slechte compatibiliteit met bedieningsmiddelen. Geen hulp aan wijzerpositie bij bewakingstaken. Slecht afleesbaar bij snelle veranderingen.	Goed. Goede compatibiliteit tussen aanwijzer en bedieningsmiddelen. De positieverandering van de wijzer vergemakkelijkt bewaking. Snelle instelling mogelijk.	Goed. Exacte bewaking van numerieke waarden mogelijk. Slechte compatibiliteit met bedieningsmiddelen. Snel veranderende waarden.	Goed. Exacte bewaking mogelijk van grootte-orde in numerieke deel. Wijzer maakt goede compatibiliteit met bedieningsmiddelen mogelijk.
4. Continue regeling	Goed. Geschikt voor processen met kleine tijdconstante. Matig tot slecht bruikbaar voor processen met grote tijdconstante. Goede compatibiliteit met bedieningsmiddelen.	Matig. Bij bewakingstaken ontbreekt het aan opvallende positieveranderingen. Slechte compatibiliteit met bedieningsmiddelen. Moeilijk afleesbaar bij snelle veranderingen.	Goed. Goede compatibiliteit tussen aanwijzer en bedieningsmiddelen. De wijzerpositie is eenvoudig te bewaken en te regelen.	Ongunstig. Bij bewakingstaken worden wijzigingen slecht opgemerkt. Slechte compatibiliteit met bedieningsmiddelen. Slecht afleesbaar bij snel veranderende waarden.	Matig. Weliswaar is wijzerpositie goed herkenbaar, maar interpretatie daarvan slechts mogelijk door voorafgaande aflezing van numerieke waarden in het digitale deel.

Resumé metertype

- Een aanwijsinstrument met een bewegende wijzer en een vaste schaal voldoet voor de meeste toepassingen het beste.
- Als kleine veranderingen en numerieke waarden moeten worden waargenomen kan ook een type met bewegende schaal worden toegepast.
- Digitale aanwijzers zijn superieur bij het aflezen (en noteren) van numerieke waarden, mits de afleestijd lang genoeg is (langzame processen).
- In processen waar een specifieke (natuurlijke) onder/boven, links/rechts relatie bestaat, verdienen aanwijzers met een lineaire schaal de voorkeur.

Presentatie op beeldschermen

Bovengenoemde aanbevelingen hebben voornamelijk betrekking op de klassieke electro-magnetische aanwijzers. Bij presentatie van dit soort informatie op beeldschermen gelden dezelfde ontwerpprincipes. Anderzijds biedt dit medium de mogelijkheid een aanwijzer te presenteren die de nadelen, zoals genoemd in Tabel 3.1.1, compenseert.
Onderstaande hybride aanwijzer is zeer goed geschikt voor controle van het signaal. De exacte waarde kan in het digitale deel worden afgelezen. De "vlag" geeft de richting en snelheid van de verandering aan.

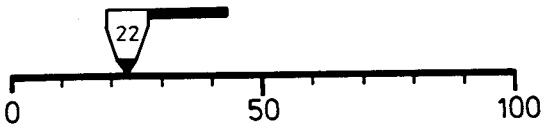


Fig. 3.1.5 Voorbeeld van een hybride aanwijzer op een beeldscherm

Discussie

In de literatuur bestaan geen grote verschillen betreffende de maatvoering en uitvoering van de schaal. De meest van invloed zijnde aspecten zijn in deze richtlijn opgenomen. Ten opzichte van de selectie uit zes handboeken is een overzicht opgenomen met de relatie tussen instrumenttype en -soort versus de uit te voeren taak.

Aanbevolen wordt de in de selectie opgenomen richtlijnen ter bepaling van de tekengrootte, te vervangen door de richtlijnen uit Par. 3.1.1.

3.1.4 Signaal- en waarschuwingslichten

Signaal- en waarschuwingslichten verschaffen informatie over de status van een proces, zoals; in bedrijf, storing, alarm, etc. Deze lichten kunnen zijn aangebracht op een apparaat, of deel uitmaken van een topografisch schema.
In Tabel 3.1.2 zijn globale aanbevelingen aangegeven.

Tabel 3.1.2 Aanbevelingen inzake kleur, betekenis en lichtsoort voor signaal- en waarschuwingslichten (naar Schmidtke, 1975; en IEC, 1983)

Betekenis	Kleur en lichtsoort	Toepassing	Voorbeelden
Onmiddellijk gevaar Alarm	Rood Knipperen	Alarm bij gevaarlijke bedrijfstoestand, die onmiddellijk ingrijpen vereist.	Drukuitval in smeersysteem.
	Rood Continu	Alarm bij gevaarlijke bedrijfstoestand, die snel ingrijpen vereist.	Druk nadert kritieke waarde. Storing wordt verholpen, nog niet gereed.
Attentie Waarschuwing Voorzichtig	Geel Continu	Stadium tussen normale en kritische bedrijfstoestand.	Druk begint van normale waarde af te wijken.
Normale bedrijfstoestand Veilig	Groen Continu	Normaal bedrijfsverloop.	Druk normaal.
Aanwijzingen Speciale informatie	Blauw Continu	Aanwijzingen.	Motor startklaar.
Algemene informatie	Wit Continu	Algemene aanduiding, die bij gebruik oplichten.	Stuurspanning aan.

Kleurgebruik is vaak onvoldoende om een status eenduidig aan te geven; bij voorkeur dienen tevens symbolen of tekst gebruikt te worden.

Bijzonderheden over de toepassing

Opvallendheid

- De opvallendheid van de signalering wordt bepaald door de uitvoering zoals afmetingen en het contrast met de om-

geving, en door de status van de overige signaleringen in die omgeving;
- De luminantie van de signalering dient tenminste 3 maal hoger te zijn dan die van de ondergrond;
- De luminantie van de signalering dient, in het bijzonder in ruimten met wisselend omgevingslicht, instelbaar te zijn.
  Afhankelijk van de hoeveelheid licht in de ruimte gelden de volgende waarden voor de instelling van de lampluminanties:
  wit 0,6 tot > 1350 cd/m^2
  geel 0,6 tot > 1200 cd/m^2
  rood 0,4 tot > 250 cd/m^2
  groen 0,3 tot > 250 cd/m^2.

Gele en witte signaleringen kunnen eerst goed onderscheiden worden als de luminanties minimaal resp. 70 en 80 cd/m^2 bedragen.

Waarschuwingslichten betreffende kritische bedrijfstoestanden van een lage prioriteit moeten terwille van een goede opvallendheid een 3 x hogere luminantie bezitten dan de overige signaleringen. (Dit luminantieverschil geldt ook voor signaleringen annex drukker voorzien van twee lichtniveaus. Dit type wordt toegepast in schaars verlichte ruimten. Het lage lichtniveau is nodig om het opschrift te lezen. Het hoogste niveau geeft aan dat de functie geactiveerd is.)

- Knipperende lichten worden toegepast als:
  a) speciale aandacht getrokken moet worden;
  b) onmiddelijke actie vereist is;
  c) een verschil moet worden aangegeven tussen de gewenste en de actuele waarde;
  d) een verandering van status wordt aangegeven (knipperen gedurende overgangstijd).

De frequentie voor snelle knipperingen bedraagt 1,5 tot 3 Hz: voor langzame 0,4 tot 0,8 Hz. (De uit-tijd dient ongeveer gelijk te zijn aan de aan-tijd; de verhouding tussen snel en langzame knipperen dient bij voorkeur 4 : 1 te bedragen, bijvoorbeeld 2 en 0,5 Hz).
Na acceptatie van het alarm door de operator gaat de signalering over van snel naar langzaam knipperen, of bij alar-

men met een lagere prioriteit, van langzaam knipperen naar continu oplichten. De lamp gaat uit na het verhelpen van de storing.
Bij een enkele knipperfrequentie dient alleen de langzame toegepast te worden.

Aantal en plaats waarschuwingslichten
Het verdient aanbeveling niet meer dan één (knipperend) waarschuwingslicht in een ruimte aan te brengen. Op een apart paneeltje kan de aard van het alarm worden afgelezen. In topografische schema's aangebrachte signaleringen moeten in het betreffende procesdeel zijn geplaatst.

Grootte van indicatoren
De diameter van het oplichtende front van de signalering dient 1/60 van de kijkafstand te bedragen.

Test
Voor het testen van de goede werking van signaleringen dient een lamptest-schakelaar te zijn aangebracht.

Compatibiliteit
Tussen de signalering en het bedieningsmiddel dient een directe en eenduidige relatie te bestaan om een adequaat en snel ingrijpen van de operator mogelijk te maken; zie ook Par. 3.3.

Discussie
Bovenstaande richtlijnen zijn ontleend aan Schmidtke, McCormick, DIN en IEC. Ofschoon daaraan betrekkelijk weinig onderzoek ten grondslag ligt, stemmen deze aanbevelingen goed overeen. Betreffende de luminantie, het contrast en de afmetingen, gelden deze richtlijnen niet voor flitslichten, of lichten die kort worden waargenomen.

Normen, wet- en regelgeving
NEN 3002; Ergonomische criteria voor het ontwerp en gebruik van beeldschermen en hun bedieningsmiddelen.
ISO/DIS 9355; Ergonomic principles for the design of signals.

DIN 43802; Skalen und Zeiger für elektrische Messinstrumenten.
DIN 30640; Schriften für die Beschriftung technischer Erzeugnisse.
DIN 66234; Teil 5 Bildschirmarbeitsplätze; Codierung von Information.
IEC nr. 73; Colours of indicator lights and push-buttons.

Op dit gebied is naast de algemene bepalingen uit de Arbowet geen specifieke wet- en regelgeving op het gebied van de ergonomie aanwezig.

Richtinggevende publicaties van de arbeidsinspectie:
V 13; "Werken met beeldschermen".

Meetmethode en -apparatuur
Voor luminantie (-verhoudingen): Luminantiemeter.
DIN 66234, Teil 9 Bildschirmarbeitsplätze; Messverfahren.
Kleuren van signaleringen: Kleurpuntmeter.
Knipperfrequentie: Oscilloscope.

Literatuur
BEA-lijst. Nederlands Vereniging voor Ergonomie, Amsterdam, 1985.
Bernotat, R. In: Ergonomische Gestaltung von Steuerständen Forschungsbericht nr. 191. Wirtschaftsverlag NW Bremerhaven, 1978.
Bouma, H. In: "Oog en werk", Staatsdrukkerij, 1989.
Burandt, U. Ergonomie für Design und Entwicklung, Köln, 1978.
Christ, R.E. The effects of extended practice on the evaluation of visual display codes. Human Factors 25(1), 71-84.
Christ, R.E. Review and analysis of color coding. Research for visual displays. Human Factors 17(6), 542-570.
EPRI. Human Factors guide for nuclear power plant control room development. Essex Corp. San Diego, 1984.
McCormick, E.J. en Sanders, M.S. Human Factors in Engineering and design, fifth edition, 1983.
Murrel, K. Ergonomics, London, 1969. In: Schmidtke H., Lehrbuch der Ergonomie, Munchen, 1981.
Peters, G.A. en Adams, B.B. Three criteria for readable panel markings. Product Engineering, May 25, 1959.
Roadsigns. CIE, Techn. Committee 4.05, 1987.

Schmidtke, H. Gestaltungsregeln fur Werkzeuge, Teil C. Handbuch der Ergonomie. Carl Hanser Verlag , 1975.

Schmidtke, H. en Ruhman, H.P. Ergonomische Gestaltung von Steuerstanden, Forschungsbericht Nr. 191, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1978.

Schuffel, H. (ed.). Richtlijnen voor het beoordelen van de ergonomie van procesregelkamers. Rapport Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, IZF 1987 C-30, Soesterberg.

Whitehurst, H.O. Screening designs used to estimate the relative effects of display factors on dial reading. Human Factors, 1982, 24(3), 301-310.

3.2 Auditieve informatiepresentatie

Inleiding

In bepaalde omstandigheden kan informatie via het oor worden aangeboden. Het gaat daarbij vooral om situaties waarbij de informatie eenvoudig en kort is, waarbij aandacht en onmiddellijke reactie wordt gevraagd. Voor dergelijke waarschuwingssignalen zijn de geluidsterkte, het frequentiespectrum en het tijdverloop belangrijke eigenschappen, die zodanig gekozen moeten worden dat de waarneembaarheid en de herkenbaarheid van de geluiden zijn gewaarborgd. Op beide aspecten zal hier worden ingegaan. De richtlijnen zijn onder andere gebaseerd op Draft ISO 7731 (1985): danger signals for work places - auditory danger signals.

Auditieve informatie via de menselijke spraak komt in dit hoofdstuk niet aan de orde. In Par. 4.2 (Geluid) wordt aandacht besteed aan de verstaanbaarheid van spraak in lawaaiige omgevingen.

3.2.1 Waarneembaarheid en herkenbaarheid

Voor het bepalen van de waarneembaarheid van waarschuwingssignalen worden de volgende maatregelen aanbevolen:

1. Bepalen van het frequentiespectrum van het omgevingsgeluid dat onder de meest ongunstige omstandigheden kan voorkomen, door middel van octaafbandgeluidmetingen;
2. Bepaal uit het gemeten frequentiespectrum het maskeerspectrum; dit is een bijgestelde versie van het oorspronkelijk gemeten octaafbandspectrum op grond van de voorwaarden dat (a) het spectrum van lage naar hoge frequenties met maximaal 7,5 dB per octaaf mag afnemen, en (b) de minimale waarde in elke octaafband 30 dB dient te bedragen;
3. Een waarschuwingssignaal zal goed waarneembaar zijn wanneer het octaafbandspectrum van het signaal in tenminste één octaaf het maskeerspectrum met tenminste 10 dB overschreidt. Dit dient bij voorkeur te gelden voor tenminste één van de drie octaafbanden met middenfrequenties van 500, 1000 of 2000 Hz. De octaafbanden met midden-

frequenties van 250 en 4000 Hz worden minder geschikt geacht, terwijl de overige octaafbanden in dit kader buiten beschouwing gelaten kunnen worden.

Met betrekking tot de herkenbaarheid is de grondregel dat het karakter van een waarschuwingssignaal zich duidelijk dient te onderscheiden van dat van het omgevingslawaai en van eventueel andere mogelijke waarschuwingssignalen. Het karakter wordt door een veelvoud van signaaleigenschappen bepaald, zoals zuivere toon (één frequentiecomponent) versus complexe tonen (meerdere frequentiecomponenten), spectrum en harmonische structuur van complexe tonen (inharmonische of harmonische frequentiecomponenten, de grondfrequentie), continue versus intermitterende geluiden, etc. Gegeven deze veelheid van aspecten, is een strikte richtlijn moeilijk te formuleren.

Meestal is omgevingslawaai van dien aard dat daarin een zuivere toon (tussen 500 en 2000 Hz), een harmonische complexe toon (grondfrequentie tussen 100 en 300 Hz) of een signaal met het karakter van een bel goed wordt onderscheiden; een regelmatig intermitterend patroon (ritme tussen 2 en 8 Hz) en/of het periodiek variëren van de frequentie (sweepen) kan de opvallendheid sterk bevorderen. Deze eigenschappen (grondfrequentie, onderbrekingsritme, sweepen) kunnen ook gebruikt worden om signalen onderling goed onderscheidbaar te maken.

Het is aan te bevelen om, wanneer de signalen zijn geïnstalleerd, regelmatig de waarneembaarheid en herkenbaarheid te toetsen.

Bijzonderheden over de toepassing

Indien gehoorbeschermingsmiddelen worden gebruikt, kan de invloed daarvan op de waarneembaarheid van waarschuwingssignalen als volgt worden bepaald. De gemeten octaafbandspectra van zowel het omgevingslawaai als van het signaal dienen verlaagd te worden met de geluidverzwakking van de oorkap of oordop. Daarna wordt het maskeerspectrum bepaald (stap 2) en wordt nagegaan of aan de voorwaarde in (3) wordt voldaan.

Het verdient aanbeveling het geluidspectrum van het signaal zodanig te kiezen dat zo mogelijk gebruik gemaakt wordt van een dal in het maskeerspectrum, zodat het niveau van het signaal beperkt kan blijven.

Discussie

De gegevens uit de zes handboeken zijn naar de ons bekende inzichten niet geheel correct. De kritiek is in de voorgaande richtlijn verwerkt.
Met betrekking tot de waarneembaarheid geeft Burandt twee verschillende richtlijnen zonder daarbij aan te geven welke gebruikt dient te worden. Voor omgevingsgeluidsterkte van 80 dB komen de richtlijnen overeen. Daaronder is bij de niet gekozen richtlijn het verschil tussen omgevingsgeluidsterkte en signaalsterkte groter dan 15 dB; boven de 80 dB is dat verschil kleiner. De tweede richtlijn van Burandt komt enigszins overeen met de richtlijnen van McCormick voor geluidssterkte in een lawaaiige omgeving. Ook de waarden van de frequentie en het tijdsverloop in Burandt komen grotendeels overeen met de waarden vermeld in McCormick.
Met betrekking tot complexe signalen wordt door Kodak een concrete richtlijn gegeven waarbij de signalen alleen verschillen op grondfrequentie. Andere handboeken geven meer kwalitatieve beschrijvingen van de herkenbaarheid van verschillende signalen op basis van frequenties, geluidssterkte, richting ten opzichte van de oren, herhalingsfrequentie en aan/uit tijdsverhouding en duur. Volgens McCormick hebben combinaties van meerdere aspecten met minder verschilniveaus de voorkeur boven minder aspecten met meer niveaus.

Normen, wet- en regelgeving

ISO 5326, Procedure for calculating loudness level.
Draft ISO 7731, Danger signals for work places - auditory danger signals.

Op dit gebied is naast de algemene bepalingen uit de Arbowet geen specifieke wet- en regelgeving op het gebied van de ergonomie aanwezig.

Meetmethode en -apparatuur

Zie Par. 4.2.

Literatuur

Michael, P.L. en Bienvenue, G.R. Industrial noise and man. In: Oborne D.J. and Gruneberg, M.M. (eds.); The physical environment at work, John Wiley en Sons Ltd, N.Y., 1983, p. 184.

Miedema, H.M.E. Hinder door geluid op de arbeidsplaats - literatuurstudie; IMG-TNO-rapport D80, Delft, 1984. (ook als ICG-rapport LA-DR-08-01 van de Interdepartementale Commissie Geluidhinder).

3.3 Bedieningsmiddelen

Inleiding

Een bedieningsmiddel van een apparaat, een machine of een proces draagt informatie over van een gebruiker naar een mechanisme. De aard van deze informatie-overdracht kan continue of discreet zijn.

Bij continue informatie-overdracht wordt in het algemeen aan taken gedacht waarbij de operator het proces van waarnemen, verwerken en handelen voortdurend doorloopt binnen een tijdspanne van enkele minuten. In het bijzonder kan, onafhankelijk van dit type taken, de continuïteit van het instelbereik essentieel zijn.

Bij discrete informatie-overdracht gaat de gedachte in beginsel uit naar operators die als gevolg van een planning de toestand van een apparaat, een machine of een proces wensen te veranderen. De uitvoering van de verandering wordt buiten de operator om voltrokken. De operator stelt alleen de gewenste toestand in. Deze situatie doet zich voor als de operator een superviserende rol heeft. In het bijzonder kan, onafhankelijk van dit type taak, de eenvoud van een toestandskeuze en de duidelijkheid van een toestandssignalering door het bedieningsmiddel essentieel zijn.

Voor continue informatie-overdracht speelt de overbrengingsverhouding tussen het instelbereik van het middel en het domein van de gecontroleerde variabele een rol. Voor discrete informatie-overdracht is de presentatie van de actuele en de te kiezen toestand belangrijk.

In beide gevallen is de uitvoeringsvorm in termen van bedieningskracht en bedieningsbeweging van invloed op de taakuitvoering. Onbedoelde effecten van regelingrepen dienen voorkomen te worden door relaties tussen ingreep en de daarover bij de operator bestaande verwachtingen over effecten in acht te nemen. Onbedoeld gebruik kan worden tegengegaan door bedieningsmiddelen te coderen en door daarmee bij de plaatsing rekening te houden.

Indien bij de keuze van een bedieningsmiddel met de taak, de uitvoeringsvorm en de plaatsing rekening wordt gehouden, vermindert de kans op onnauwkeurige, trage en foutieve ingrepen.

3.3.1 Functies

Continue en discontinue informatie-overdracht
In het algemeen worden de volgende typen bedieningsmiddelen als functie van taak bedienkracht en bedieningsbeweging aanbevolen (zie Tabel 3.3.1).

Tabel 3.3.1 Aanbevolen bedieningsmiddel als functie van taak en bediening (Bullinger, Kern, Muntzinger, 1987).

bedieningskracht en -beweging	taken discontinue	continue
kleine kracht lineaire beweging	druktoets tuimelschakelaar	stuurknuppel rolbal
kleine kracht willekeurige beweging	lichtpen	muis
kleine kracht roterende beweging	standenschakelaar duimwielschakelaar	draaiknop duimwiel
grote kracht lineaire beweging	drukknop voetschakelaar	handel voetpedaal
grote kracht roterende beweging	hefboom met standen	handwiel slinger

Overbrengingsverhouding bij continue instelbereik
De verhouding tussen de lineaire verplaatsing van het bedieningsmiddel ten opzichte van de lineaire verplaatsing van de indicator is van invloed op de snelheid en de nauwkeurigheid waarmee een waarde ingesteld kan worden.
Grote overbrengingsverhoudingen maken een nauwkeurige instelling in korte tijd mogelijk. De globale instelling daarentegen, neemt hierbij meer tijd in beslag. Kleine overbrengingsverhouding maken een globale instelling in korte tijd mogelijk. Voor sommige taken zal een compromis tussen globaal en nauwkeurig instellen mogelijk zijn, in andere gevallen kan het gebruik van aparte bedieningsmiddelen nodig zijn. In Fig. 3.3.1 is te zien dat de be-

nodigde tijd bij grote overbrengingsverhouding, voor globale instelling en bij kleine overbrengingsverhoudingen voor nauwkeurige instelling sterk toeneemt.

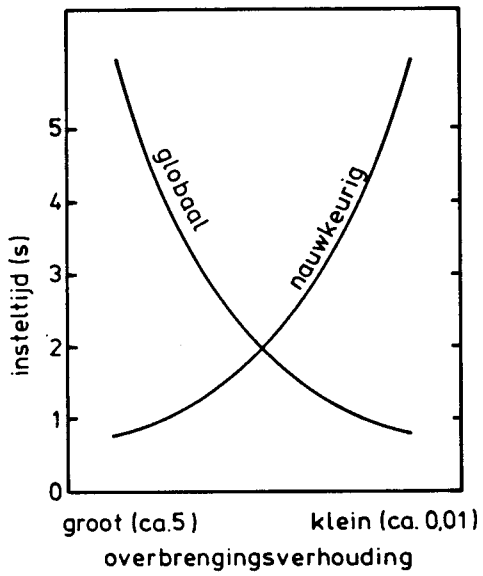


Fig. 3.3.1 Verband tussen insteltijd en overbrengingsverhouding van een bedieningsmiddel (naar McCormick, 1982).

Toestandskeuze bij discreet instelbereik

Bij het instellen van gewenste waarden met een bedieningsmiddel voor discrete informatie-overdracht dient de actuele en de te kiezen toestand voor de operator duidelijk te zijn. Visuele en tactiele terugkoppeling bij bediening dient de gebruiker de zekerheid te geven dat de gewenste informatie is overgedragen. De volgende aanbevelingen worden gegeven (Bullinger, Kern, Muntzinger, 1987).

Tabel 3.3.2 Geschiktheid van een bedieningsmiddel voor de presentatie van instelwaarden.

type bedieningsmiddel	aanbevolen	acceptabel	ongeschikt
druktoets			x
tuimelschakelaar	x		
standenschakelaar	x		
duimelschakelaar	x		
drukknop			x
voetschakelaar			x
hefboom met standen		x	
stuurknuppel		x	
rolbal			x
muis			x
lichtpen			x
draaiknop			x
duimwiel			x
handel		x	
voetpedaal		x	
handwiel			x
slinger		x	

Bijzonderheden over de toepassing

Compatibiliteit

Over het verband tussen enerzijds de plaats en de bewegingsrichting van een bedieningsmiddel en anderzijds de verwachting over het effect van de ingreep zijn in Par. 3.3.2 richtlijnen opgenomen.

Bedieningskrachten

Bedieningskrachten komen in Par. 3.3.3 en 3.3.4 aan de orde. De maximale weerstand van een bedieningsmiddel mag bij gebruik korter dan vijf seconden 50% van de maximale krachtinspanning vergen. De nominale weerstand dient minder dan 15% van de maximale krachtinspanning te bedragen (Schmidtke, 1975).

Bereikbaarheid

De bereikbaarheid van bedieningsmiddelen komt in Par. 3.5 aan de orde.

Onbedoeld bedienen
De kans op onbedoeld bedienen wordt verkleind door bedieningsmiddelen af te schermen of te coderen. Uit diverse bronnen is duidelijk (zie ondermeer McCormick, 1982, Schimdtke, 1975, dat voor wat betreft grootte en oppervlaktestructuur, drie niveaus onderscheidbaar zijn. Voorts is het mogelijk 8 tot 10 bedieningsmiddelen op de vorm van de handgreep te herkennen. Als kleur voor codering wordt gebruikt dient men te waken voor compatibiliteitsconflicten met rood (gevaar), groen en wit (in bedrijf) en geel (attentie). Voorts dient de invloed van de ruimteverlichting en de omgevingskleuren beschouwd te worden en nagegaan te worden of kleurziengestoorden tot de gebruikersgroep behoren.
Voor wat betreft druktoetsen kunnen vijf oppervlaktestructuren zonder fouten als verschillend herkend worden (Moore, 1974).

Handschoenen
Het gebruik van handschoenen is onder bepaalde omstandigheden vereist. Over het effect van het dragen van handschoenen op de taakuitvoering is weinig specifiek bekend. Enige algemene punten kunnen worden genoemd (Taylor, 1982; Bradley, 1969).
Door het dragen van gewone handschoenen neemt de bedieningstijd toe, het uit te oefenen draaimoment neemt af, het gebruik van een toetsenbord wordt niet sterk beïnvloed en de tactile terugkoppeling neemt af. Bij gebruik van dikke handschoenen dienen de afmetingen van druktoetsen minstens 19 mm in diameter te bedragen en door schotjes gescheiden te zijn (Mil STD 1472C).

Discussie
Over dit onderwerp bestaan nauwelijks uiteenlopende opvattingen voornamelijk omdat de gegevens vrij algemeen van aard zijn. Om te kunnen beoordelen of een bedieningsmiddel geschikt is zal men een goed inzicht in de taakuitvoering dienen te hebben.
De hier verstrekte informatie kan alleen dienen om op globaal niveau combinaties van bedieningsmiddelen en taken aan te bevelen of af te wijzen.

3.3.2 Compatibiliteit

Bij het regelen en bewaken van processen speelt de verwachting van de operator over het effect van een ingreep een belangrijke rol. Zo zal iemand bij het naar rechts bewegen van een bedieningsmiddel een effect naar rechts verwachten, bovendien zal een krachtiger ingreep de verwachting van een sterker effect oproepen. Een relatie tussen ingreep en effect is compatibel als deze met de verwachting van de gebruiker overeenstemt. Ook spreekt men over compatibiliteit bij de ruimtelijke oriëntatie van aanwijs- en bedieningsmiddelen en de daarmee verbonden processen. Een schakelaar die naast een indicator is geplaatst roept de verwachting op dat het indicatorsignaal een actie met de schakelaar vergt.

Naarmate ingreep, effect en ruimtelijke oriëntatie minder goed met verwachtingen overeenstemmen, neemt de kans op foutieve en trage bediening toe. Enerzijds is een verminderde overeenstemming terug te voeren op beperkingen van de techniek of het ontwerp, anderzijds kunnen verschillen in verwachtingen binnen en tussen gebruikersgroepen bestaan.

In het navolgende worden richtlijnen gegeven over verwachtingen van gebruikers met betrekking tot vier onderwerpen:

a) stimulus-response compatibiliteit
b) ruimtelijke compatibiliteit
c) richtingscompatibiliteit
d) ingreep-effect relaties

Stimulus-response compatibiliteit

Het middel waarmee op een visueel signaal (stimulus) wordt gereageerd (respons) dient zo dicht mogelijk bij dat signaal te zijn geplaatst (Fitts en Seeger, 1953). Voor aanwijsmiddelen geldt dat de oriëntatie en beweging van de gepresenteerde waarde overeen dient te komen met het beeld dat de operator van de status (verandering) van het proces heeft (Roscoe, 1968; Wickens, 1984).

Ruimtelijke compatibiliteit

Congruentie van de plaats van bedieningsmiddelen met de plaats van gerelateerde indicatoren of processen doet de kans op foutieve bediening verminderen. Hierbij wordt gedacht aan lampen en schakelaars die in het platte vlak

zijn gegroepeerd en waarbij het oplichten van een lamp een schakelreactie teweeg dient te brengen (Fitts en Seeger, 1953). Dit congruentiebeginsel is ook op groepen bedieningsmiddelen, indicatoren of machines toepasbaar (zie Fig. 3.3.2).

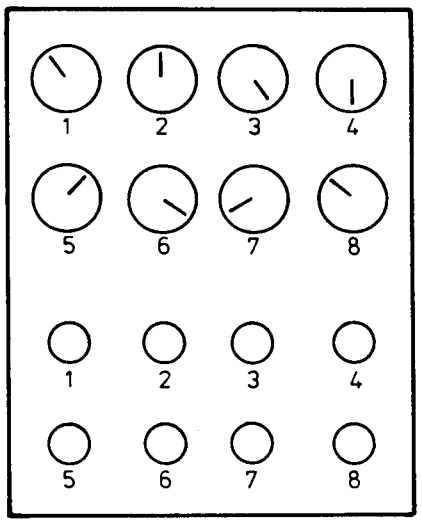


Fig. 3.3.2 Voorbeeld van compatibiliteit met betrekking tot de plaats van schakelaars in een paneel en de daarmee gerelateerde meters.

Richtingscompatibiliteit

Beginsel 1: Een bewegingsrichting van een bedieningsmiddel roept in het algemeen de volgende verwachting over een effect op (DIN 43602).

Tabel 3.3.3 Overzicht van compatibele relaties tussen bewegingsrichting van een bedieningsmiddel en het verwachte effect. (? geeft uitzonderingen aan.)

bewegingsrichting van bedieningsmiddel	verwacht effect
naar rechts met de klok meedraaien van de bedienaar af van onder naar boven	naar rechts bewegen toename van de werking inschakelen, starten voorwaarts gaan rijden heffen (?) sluiten van ventielen (?)
naar links tegen de klok indraaien naar de bedienaar toe van boven naar onder	naar links bewegen afname van de werking uitschakelen, stoppen achterwaarts remmen zakken (?) openen van ventielen (?)

Beginsel 2: Verwacht wordt dat de wijzer van een lineaire schaal op het punt van de kleinste afstand tussen draaiknop en wijzer in eenzelfde richting beweegt als de knop (zie Fig. 3.3.3).

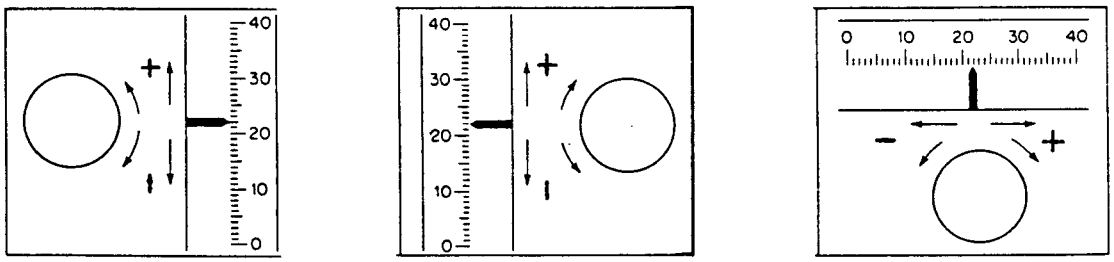


Fig. 3.3.3 Compatibele relaties tussen bewegingsrichting van een draaiknop en de naaldbeweging op een lineaire schaal (naar McCormick, 1982).

Beginsel 3: Van aanwijs- en bedieningsmiddelen die zich in verschillende vlakken bevinden worden de volgende compatibiliteiten verwacht (zie Fig. 3.3.4 en 3.3.5).

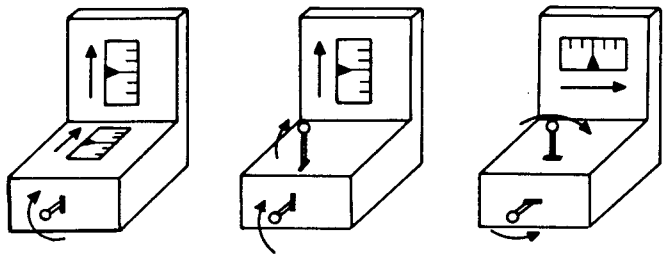


Fig. 3.3.4 Compatibele relaties tussen bewegingsrichting van een bedieningsmiddel en een naaldbeweging (naar DIN 436002).

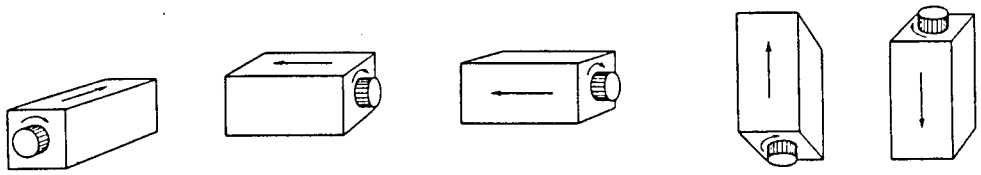


Fig. 3.3.5 Compatibele relaties tussen bewegingsrichting van een bedieningsmiddel en het effect (naar McCormick, 1982).

Ingreep-effect relaties in complexe situaties

Bij stuurtaken zoals in vliegtuigen en op schepen is het referentiepunt op basis waarvan de bestuurder de bewegingsrichting beoordeelt, nogal eens aanleiding tot misverstand. Men maakt hierbij onderscheid tussen de relatieve referentie (inside-out) en de absolute referentie (outside-in) (Kelley, 1968)

Bij de relatieve referentie neemt de bestuurder het vliegtuig, het schip en daarmee zichzelf als referentie. In die beschouwing is de meternaald vast en beweegt de schaal. De bestuurder kijkt als het ware door het raam van de meter naar buiten en ziet de wereld ten opzichte van de vaste meternaald bewegen.

Bij de absolute referentie neemt de bestuurder de wereld als referentie. In die beschouwing stelt de meternaald de gebruiker voor die beweegt over de aardvaste schaal. De

bestuurder kijkt als het ware op grote afstand naar zichzelf, in beweging over de stilstaande aarde.
De juiste keuze over overeenstemming tussen het mentale beeld van de operator en de presentatie- en bedieningswijze hangt af van de relatie met de omgeving. Is de gebruiker bij stuurtaken afhankelijk van de omgevingsinformatie dan dient de voorkeur naar relatieve referenties uit te gaan. Is de gebruiker daarentegen in een afgesloten ruimte bezig met de ordening van omgevingsinformatie, dan verdient de absolute referentie de voorkeur.

Bijzonderheden over het toepassen van de richtlijn

Tijdsdruk en onzekerheid
In het geval van tijdsdruk en onzekerheid neemt het belang van compatibele middelen toe, omdat gebruikers terug kunnen vallen op irrelevante compatibiliteiten.

Uitzonderingen
Compatibiliteitsrelaties kenmerken zich door uitzonderingen. Soms is de consistentie van de verwachtingspatronen van de gebruikers niet volmaakt, soms laat de technische omgeving de volmaaktheid niet toe.

Ongevallen
Er zijn geen systematische overzichten beschikbaar van ongevallen die door incompatibiliteit zijn veroorzaakt. Er zijn wel ongevalanalysen bekend waarin incompatibiliteit een oorzakelijke ongevalsfactor vormde.

Discussie
Over dit onderwerp bestaan convergerende opvattingen. Problemen over de interpretatie van compatibiliteit zijn veelal terug te voeren op conflicterende beginsels die zijn toegepast. Twee opvallende uitzonderingen dienen evenwel vermeld te worden. Voor het heffen en vieren van lasten met een kraan beweegt de operator een bedieningsmiddel respectievelijk naar zich toe en van zich af (zie DIN 43602;

Kodak, 1983). Het sluiten en openen van ventielen verloopt tegengesteld aan de compatibiliteit van de bewegingsrichting voor in- en uitschakelen.
Bij het vaststellen van de juiste compatibiliteit vormt onzekerheid over het regel- en ingreepgedrag van mensen een beperkende factor.

3.3.3 Continue informatie-overdracht

Bij stuurtaken zal in het algemeen een continue informatie-overdracht tussen gebruiker en mechanisme uit hoofde van nauwkeurige en snelle taakuitvoering noodzakelijk zijn. Bij taken waarbij het gaat om het instellen van een gewenste waarde kan het noodzakelijk zijn dat het instelbereik continue is. De bedieningsmiddelen die voor deze taken geschikt zijn worden in het navolgende besproken.

Tabel 3.3.4 Eigenschappen van bedieningsmiddelen voor continue informatie-overdracht (Bullinger, Kern, Muntzinger, 1987; Albert, 1982; Schmidtke, 1975).

bedieningsmiddel	toelaatbare bedieningskracht/ koppel	uitvoering van de taak
stuurknuppel		
vingers	5-20 N	nauwkeurige maar matig
hand	25-50 N	snelle uitvoering van een stuurtaak in een of meer richtingen
rolbal	0,4-5 N	nauwkeurig en tamelijk snelle positionering van een cursor
muis		als rolbal
draaiknop		
D = 15- 25 mm	0,02-0,05 Nm	nauwkeurige maar matig
D = 25-100 mm	0,3 - 0,7 Nm	snelle instelling
duimwiel	0,4-5 N	nauwkeurige, maar matig snelle instelling
handel		
vinger	10 N	tamelijk nauwkeurige
hand	25 N	en matig snelle
arm	45 N	instelling
voetpedaal		
zittend	16-100 N	snelle maar matig
staand	80-250 N	nauwkeurige instelling
handwiel		
D = 160-200 mm	2-40 Nm	nauwkeurige maar matig
D = 200-250 mm	4-60 Nm	snelle instelling
slinger		
R < 100 mm	0,6-3 Nm	snelle maar matig
100 < R < 250 mm	5-14 Nm	nauwkeurige instelling

Bijzonderheden over de toepassing

Isotoon en isometrisch

Bij stuurknuppels wordt onderscheid gemaakt tussen isotone en isometrische bediening. Bij isotone bediening blijft de uit te oefenen kracht gelijk en bepaalt de verplaatsing van de knuppel uit de nulstand het effect. Dit wordt ook wel positiebesturing genoemd. Bij isometrische bediening blijft de knuppel op de plaats en is het effect afhankelijk van de kracht die tegen de knuppel wordt uitgeoefend. Uit verschillende publicaties (Burke en Gibbs, 1965; Ziegler en Chernikoff, 1968) blijkt dat isometrische stuurknuppels enigszins nauwkeurigere stuurprestaties te zien geven. Het gaat daarbij evenwel om hoog frequente stuuracties.

Rolbal en muis

Rolbal en muis worden voor cursorsturing op beeldschermen aanbevolen. Uit onderzoek (Albert, 1982) blijkt dat de rolbal in vergelijking met aanraakscherm, lichtpen, tekentablet, isotone en isometrische knuppel en het toetsenbord het nauwkeurigste cursorbesturingsmiddel is.

Draaiknoppen

Voor draaiknoppen kunnen de volgende specificaties worden aanbevolen (Schmidtke, 1975) (zie Tabel 3.3.5, 3.3.6 en 3.3.7).

Tabel 3.3.5 Afmetingen van draaiknoppen voor bediening door vingers of duim.

	alleen voor vingertop (mm)	vingers met duim (mm)	hoogte (mm)	draai-moment (Ncm)	ruimte tussen knoppen bij gebruik door één hand (mm)	twee handen (mm)
minimaal	10	25	12	2	25	75
optimaal	25	-	25	3,5	50	125
maximaal	50	75	50	10	-	-

Tabel 3.3.6 Afmetingen van draaiknoppen voor bediening door de gehele hand.

	diameter (mm)	hoogte (mm)	draai-moment (Ncm)	ruimte tussen knoppen bij gebruik door één hand (mm)	twee handen (mm)
minimaal	40	50	20	50	75
optimaal	50	-	35	75	125
maximaal	75	-	75	-	-

Tabel 3.3.7 Afmetingen van twee concentrische knoppen op één as.

	diameter D onder (mm)	D boven (mm)	hoogte onder knop (mm)	hoogte boven knop (mm)	draai-moment (Ncm)
minimaal	30	10	10	12	2
optimaal	45	15	15	20	3,5
maximaal	60	20	20	25	10

Hendels

Enige richtwaarden voor maximaal verticaal uit te oefenen krachten op handels, handwielen en slingers.

Tabel 3.3.8 Maximaal uit te oefenen verticale krachten als functie van de handelhoogte.

handelhoogte boven de vloer (mm)	maximale trekkracht naar boven (N)	maximale duwkracht naar beneden (N)
500	400	-
750	500	400
1000	300	-

Maximaal horizontaal uit te oefenen krachten met één hand bedragen 200 N bij trekken en 140 N bij duwen.

Voetpedalen
De breedte van voetpedalen dient minstens 75 mm te bedragen, de lengte mag bij kortdurend gebruik 200 mm en dient bij langdurig gebruik 300 mm te bedragen. De enkelhoek uit de neutrale voetstand omhoog bedraagt maximaal 20° en naar beneden 30°. De afmetingen staan in Fig. 3.3.5 aangegeven.

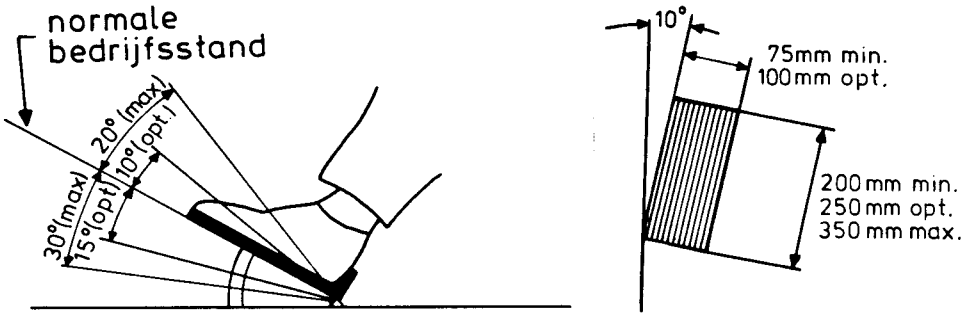


Fig. 3.3.6 Afmetingen van het voetpedaal.

Houding
Voor het plaatsen van bedieningsmiddelen dient men er vanuit te gaan dat in de nulstand de bovenarm met de onderarm een hoek van ongeveer 100° maakt. Het bereik van het bedieningsmiddel dient vanuit die stand zonder draaiing van de wervelkolom instelbaar te zijn (zie Par. 2.1 en 3.5).

Mechanische eigenschappen
Bij de bedieningsmiddelen spelen de mechanische eigenschappen zoals droge wrijving, demping, speling en traagheid een rol (zie onder andere McCormick, 1982, Schmidtke, 1975). Uit een onderzoek naar effecten van veerkracht, demping en massatraagheid van stuurhandels voor stuurtaken (Krüger, 1974) blijkt dat alleen veerkracht (1,0-3,5 N/cm) de nauwkeurigheid van stuurtaken met ongeveer 30% kan verbeteren.

Discussie
De aanbevelingen uit de handboeken voor wat betreft afmetingen, bedieningsbeweging en bedieningskracht komen

redelijk overeen. Verschillen komen naar voren als niet duidelijk is of het om maximaal toelaatbare, toelaatbare of minimaal acceptabele waarden gaat.
Voor het beoordelen van de geschiktheid van bedieningsmiddelen voor een bepaalde taak dient ook hier opgemerkt te worden dat inzicht in de taak primair noodzakelijk is.

3.3.4 Discrete informatie-overdracht

In aansluiting op voorgaande paragrafen van dit hoofdstuk komen hier bedieningsmiddelen aan de orde voor discrete veranderingen van een (proces)toestand.

Tabel 3.3.9 Eigenschappen van bedieningsmiddelen voor discrete informatie-overdracht (Bullinger, Kern, Muntzinger, 1987; Schmidtke, 1975).

bedieningsmiddel	toelaatbare bedieningskracht	uitvoering van de taak
druktoets vingergebruik	1-8 N	snelle keuze uit twee toestanden
tuimelschakelaar	2-10 N	snelle keuze uit enkele toestanden
lichtpen	-	tamelijk snelle en matig nauwkeurige aanwijzing
standenschakelaar D = 30 mm D = 30-70 mm	0,1-0,3 Nm 0,3-0,6 Nm	redelijke nauwkeurige keuze uit maximaal 24 posities
drukknop handgebruik	4-16 N	snelle keuze uit twee toestanden
voetschakelaar	15-90 N	snelle keuze uit twee toestanden
hefboom met standen	25-200 N	tamelijk nauwkeurige en matig snelle instelling

Bijzonderheden over de toepassing

Druktoetsen

Bij druktoetsen is het noodzakelijk dat informatie over de geschakelde toestand wordt verstrekt. Dit kan direct worden gegeven door tactile terugkoppeling of indirect via audio-visuele terugkoppeling (zie Tabel 3.3.10).

Tabel 3.3.10 Afmetingen van druktoetsen en knoppen (Schmidtke, 1975).

	doorsnede lengte (mm)			verplaatsing (mm)		drukkracht (N)			ruimte tussen knoppen bij gebruik door (mm)	
	vinger	duim	hand	vinger duim	hand	vinger	duim	hand	één vinger	meer vingers
minimaal	10	20	20	3	6	1,5	2,5	4	15	8
optimaal	12	25	60	7	10	4	8	10	25-50	15-25
maximaal	25	30	-	40	40	8	12	16	-	30

Druktoetsen voor het gebruik met handschoenen dienen minimaal aan de volgende afmetingen te voldoen (Mil STD 1472C) (zie Tabel 3.3.11).

Tabel 3.3.11 Afmetingen van druktoetsen voor gebruik met handschoenen.

	doorsnede of lengte (mm)	verplaatsing mm	drukkracht N	schotjes tussen knoppen	
				breed	hoog
minimaal	19	3	0,3	3	5
maximaal	38	6	11	6	6

De afstand tussen twee drukknoppen bedraagt volgens Kodak (1983) voor gebruik in willekeurige volgorde met één vinger minimaal 12 en optimaal 51 mm. Voor gebruik in volgorde met één vinger minimaal 6 en optimaal 25 mm en voor gebruik in volgorde met verschillende vingers 12 mm.

Onbedoeld bedienen tuimelschakelaars
Onbedoeld bedienen bij tuimelschakelaars treedt gemakkelijk op. Afscherming en grotere bewegingsweerstand verminderen de kans op onbedoeld gebruik. De bedieningsrichting dient loodrecht op de plaatsingsrij te staan. Tussen plaatsingsrijen dient minimaal 20 mm (hart op hart) ruimte te blijven, tussen plaatsingskolommen 12 mm.

De afstanden tussen twee tuimelschakelaars bedragen volgens Kokak (1983) voor gebruik in willekeurige volgorde met één vinger minimaal 12 en optimaal 51 mm. Voor gebruik in volgorde met één vinger minimaal 12 en optimaal 25 mm en in volgorde met verschillende vingers minimaal 16 en optimaal 20 mm.

Trekknoppen en trekbeugels
Voor trekknoppen of trekbeugels gelden de volgende richtwaarden (Schmidtke, 1975) (zie Tabel 3.3.12).

Tabel 3.3.12 Aanbevolen verplaatsingsafstanden en trekkrachten voor trekknoppen en beugels (naar Kodak 1983).

	trekknop		beugel	
	verplaatsing (mm)	kracht (N)	verplaatsing (mm)	kracht (N)
minimaal	5	5	10	20
optimaal	10-20	-	-	-
maximaal	100	20	400	100

De afstanden tussen twee trekknoppen bedragen volgens Kodak (1983) voor gebruik in willekeurige volgorde met één hand minimaal 25 en optimaal 15 mm en tegelijk met twee handen minimaal 76 en optimaal 127 mm.

Voetschakelaars
Voetschakelaars dienen bij voorkeur 50 - 80 mm in diameter te zijn. Het toelaatbare verplaatsingsgebied bevindt zich met alleen enkelbeweging op 12 tot 65 mm van de grond, met beenbeweging op 25 - 180 mm.

De afstand tussen twee voetschakelaars bedraagt volgens Kodak (1983) voor gebruik met één voet in willekeurige volgorde minimaal 203 en optimaal 254 mm hart op hart, in volgorde met één voet minimaal 152 en optimaal 203 mm hart op hart.

Discussie
In vele gevallen komen de aanbevelingen in de handboeken wat betreft afmetingen, verplaatsing en bedieningskracht redelijk overeen. Soms zijn er echter aanzienlijke verschillen. Voor bijvoorbeeld de maximale verplaatsingsafstand bij het bedienen van een drukknop met één vinger geven Kodak, het Vademecum, Burandt en Hettinger waarden van respectievelijk 6, 9, 25 en 40 mm. De verschillen zijn vermoedelijk terug te voeren op onduidelijkheid over minimaal acceptabel en maximaal toelaatbare waarden. Nog grotere verschillen treden op bij maximale bedieningskracht bij gebruik van draaiknoppen welke met de vinger worden ingesteld. Voor bijvoorbeeld een knop met een diameter van 50 mm en een hoogte van 12 mm geven Kodak, het Vademecum en Hettinger respectievelijk de waarden 1,7; 0,045; 0,01 Nm. Dergelijke verschillen zijn mogelijk te verklaren uit het feit dat Hettinger het accent legt op geringe weerstand in verband met bedieningssnelheid, terwijl de richtlijn van Kodak betrekking heeft op de maximale kracht die door de meeste mensen kan worden geleverd bij het verdraaien van knoppen.
Voor bijvoorbeeld drukknoppen die met één vinger af en toe worden bediend adviseert het Vademecum een onderlinge afstand van minimaal 3 mm, Burandt 4 - 10 mm, en Kodak 51 mm, bij ruwweg dezelfde diameter (respectievelijk 13, 12 - 20, en 10 - 19 mm). Een verklaring voor dergelijke verschillen werd niet gevonden.

De voorliggende gegevens zijn tot stand gekomen door toetsing van de aanbevolen richtlijnen van de selectie uit de zes handboeken met actuele gegevens (Salvendy, 1987; Boff en Lincoln, 1988) en met een andere relevante bron (Schmidtke, 1975).

3.3.5 Gegevensinvoer

Voor het bedienen van computers zijn vooral toetsenborden in gebruik (Miner en Revesman, 1962). Voor computergebruik waarbij het niet zozeer over het invoeren van grote aantallen cijfers en letters gaat maar meer over het invoeren van grafische vormen of het aanwijzen van punten en velden op een computerbeeldscherm, worden andere middelen zoals aanraakscherm, grafisch tableau, lichtpen en muis gebruikt. Lichtpen en muis zijn in Par. 3.3.1 besproken. De grens tussen bedieningsmiddelen voor informatie-overdracht en voor gegevensinvoer is evenwel arbitrair.

Numerieke toetsenborden

1	2	3	7	8	9
4	5	6	4	5	6
7	8	9	1	2	3
	0			0	

Fig. 3.3.6 Plaats van cijfers op het telefoontoetsenbord (links) en het rekenmachinetoetsenbord.

Uit onderzoek (Conrad en Hull, 1968) is gebleken dat met het telefoontoetsenbord wat minder fouten (6,4%) worden gemaakt dan met het rekenmachinebord (8,2%).
Het verschil in uitvoeringsvorm veroorzaakt fouten bij afwisselend en intensief gebruik.

Alphabetische toetsenborden
Over dit onderwerp bestaat een recente Nederlandse norm die de uitvoeringsvorm van Nederlandse toetsenborden beschrijft (NEN 2294).

Functietoetsenborden
Soms verdient het de voorkeur aan toetsen functies toe te kennen die programmeerbaar zijn in plaats van vast. Bij de

keuze dienen de volgende voor- en nadelen overwogen te worden (Greenstein en Arnant, 1987) (zie Tabel 3.3.13).

Tabel 3.3.13 Voor- en nadelen van vaste en programmeerbare funtietoetsen.

	vast	programmeerbaar
voordeel	eenduidig gebruik goed codeerbaar	weinig toetsen kleine zoektijd kleine handbewegingen
nadeel	veel toetsen grote zoektijd grote handbewegingen	grotere functieselectietijd minder goed codeerbaar soms

Aanraakscherm

Op een beelscherm kunnen plekken geactiveerd worden door met de vinger een voorgeplaatst raster aan te raken. In horizontale richting zijn ongeveer 15 en in vertikale richting ongeveer 12 posities beschikbaar voor aanwijzing. Het aanraakscherm is goed bruikbaar voor aanwijstaken bij menuselectie. De voor- en nadelen van het aanraakscherm staan in Tabel 3.3.14 vermeld (Greenstein en Arnant, 1987).

Tabel 3.3.14 Voor- en nadelen van het aanraakscherm.

voordeel	nadeel
Directe hand/oog coördinatie	Vermoeidheid in de hand/arm
Geen geheugensteun voor gebruik nodig	Beperkt oplossend vermogen
	Trage selectie
Gebruiker kan gemakkelijk geleid worden bij de taakuitvoering	Zicht op scherm kan belemmerd worden
Minimale oefening	Onbedoeld gebruik mogelijk
Acceptabel voor veel gebruikers	Paralax effecten bij aanwijzing

Grafisch tableau
Een grafisch tableau bestaat uit een plat vlak van divers formaat waarmee coördinaten eenvoudig in een computergegevenbestand kunnen worden ingevoerd. De coördinaten kunnen met een kruisdraad met loupe of pen worden opgemeten (zie Tabel 3.3.15) (Greenstein en Arnant, 1987).

Tabel 3.3.15 Voor- en nadelen van het grafisch tableau.

voordeel	nadeel
Natuurlijke werkwijze voor het opmeten van coördinaten Nauwkeurigheid is programmeerbaar	Afmetingen kunnen bedieningsgemak verminderen Relatief trage gegevensinvoer

Bijzonderheden over de toepassing

Vormgeving van toetsenbord
Bij het gebruik van toetsenborden is vaak naar voren gebracht dat de hand een onnatuurlijke hoek ten opzichte van de onderarm moet aannemen. Hoewel het toetsenbord met rechte rijen tot norm verheven is, gaat ergonomisch toch de voorkeur uit naar versies waarbij de toetsenrijen voor de linker- en rechterhand ook een hoek maken met elkaar. Daarbij behoeft geen onnatuurlijke houding te worden aangenomen (Nakaseko, Grandjean, Hünting, Gierer, 1984) en wordt de kans op letsel verminderd.
Bovendien kan door training op speciale uitvoeringsvormen (Velotype, 1986) de invoersnelheid met een factor 3 ten opzichte van het huidige toetsenbord worden verbeterd.

Positie-aanwijzing op beeldschermen
Aanwijsmiddelen voor posities op computerbeeldschermen kunnen als volgt geordend worden. Van snel naar langzaam; aanraakscherm, lichtpen, grafisch tablet, rolbal, isotone stuurknuppel, isometrische stuurknuppel, toetsen.

Van nauwkeurig naar onnauwkeurig: rolbal, grafisch tablet, isotone stuurhandel, isometrische stuurhandel, aanraakscherm, lichtpen, toetsenbord (Albert, 1982).

Toetsenborduitvoering
Volgens NEN 3002 dienen toetsen van toetsenborden mat te zijn met een reflectiefactor van 0,4 tot 0,6. De vertikale verplaatsing mag 0,75 tot 4,75 mm bedragen. De bedienkracht moet liggen tussen 0,25 en 1,50 N. De afmetingen dienen minimaal 12 mm in diameter te bedragen met een hol, rond bovenvlak. De minimale onderlinge afstand dient 19 mm te bedragen. Een geslaagde toetsindrukking dient door verandering van druk of door geluid te worden bevestigd.
Volgens NEN 3002 dient het toetsenbord verplaatsbaar te zijn. De hellingshoek van het toetsenvlak dient 5 tot 20° te bedragen. Het bord mag in het midden niet hoger dan 40 mm boven het tafelblad uitsteken (zie ook Par. 3.5).

Tactiele terugkoppeling
De tactiele terugkoppeling bij het gebruik van druktoetsen in toetsenbordconfiguraties verbetert bij ervaren gebruikers de prestatie. Visuele terugkoppeling bevordert vooral het leerproces (Seibel, 1972; Alden, 1972). Bij folietoetsenborden dient een minimale bedienkracht van 0,3 N in acht te worden genomen en ook dient de centrering van de vinger op de toets gewaarborgd te zijn.

Lichaamshouding
Voor de lichaamshouding bij het gebruik van genoemde bedieningsmiddelen gelden bij benadering dezelfde eisen als voor het werken met beeldschermen (zie Par. 2.1 en 3.5).

Spraakinvoer
Invoer van gegevens door spraak verkeert nog in een experimenteel stadium. Bij spraakherkenning door machines dienen de woorden kort te zijn en duidelijk los van elkaar te worden uitgesproken. Het vocabulair is beperkt en stemverandering ten gevolge van spanning of andere oorzaken leidt soms tot fouten. Het omgevingslawaai dient beperkt te blijven tot maximaal 85 dB bij zeer goede microfoons (McCormick, 1982).

Discussie

Over het toetsenbord bestaan convergerende opvattingen die in een Nederlandse norm zijn vastgelegd, maar deze norm is uit ergonomisch oogpunt nog voor verbetering vatbaar. Over het gebruik van bedieningsmiddelen waarmee gegevens ingevoerd kunnen worden bestaat een aantal studies waarvan Grienfelder en Witten (1984) menen dat de uitkomsten conflicteren ten gevolge van de taak specifieke context van de experimenten. Generalisatie van die onderzoeksresultaten is inderdaad niet altijd mogelijk.

Normen, wet- en regelgeving

NEN 2294; Toetsenborden voor schrijfmachines en gegevensverwerkingsapparatuur.

NEN 3002; Ergonomische criteria voor het ontwerp en gebruik van beeldschermen en bedieningsmiddelen.

ISO 1503; Geometrical orientation and direction of movements.

DIN 33400; Gestalten von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen; Begriffe und allgemeine Heitsütze.

DIN 33401; Stellteile, Begriffe, Eignung, Gestaltungshinweise.

DIN 43602; Betätigungssin und anordnung von Bedienteilen.

Op dit gebied is naast de algemene bepalingen uit de Arbowet geen specifieke wet- en regelgeving op het gebied van de ergonomie aanwezig.

Richtinggevende publicaties van de Arbeidsinspectie:

V 13; "Werken met beeldschermen".

Meetmethode en -apparatuur

Niet relevant.

Literatuur

Albert, A.E. The effect of graphic input devices on performance in a cursor positioning task. Proceedings of the 26th Annual Meeting of the Human Factors Society, Seatlle, 1982, 54-58.

Alden, D.G. Daniels, R.W. en Kanarick, A.F. Keyboard design and operation: a review of major issues. Human Factors, 1972, 14, 275-293.

Barke, D. en Gibbs, C.N. A comparison of free moving and pressure levels in a positioning control systems. Ergonomics, 1965, 8, 23-29.

Boff, K.R. en Lincoln, J.E. Engineering data compendium, Human Perception and Performance. 12.101-12.418, AMRL, Ohio, 1988.

Bradley, J.V. Effect of gloves on control operation time. Human Factors, 1969, 11, 13-20.

Bullinger, H.J., Kern, P. en Muntzinger, W.F. Design of controls. In: Handbook of Human Factors, Eds.: G. Salvendy. Wiley and Sons, New York, 1987, 577-601.

Card, S.K. English, W.K. en Burr, B.J. Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joinstick, stepkeys and text keys for text selection on a CRT, Ergonomics, 1978, 21, 601-613.

Conrad, R. en Hull, A.J. The prefered lay-out for numeral data-entry keysets. Ergonomics, 1968, 11, 165-173.

Fitts, P.M., Seeger, C.M. S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes, Journal of Experimental Psychology; 953, 46, 199-210.

Greenstein, J.S. en Arnant, L.Y. Human Factors aspects of manual computer input devices. In: Handbook of Human Factors. Ed.: G. Salvendy. J. Wiley, New York, 1987, 1451-1489.

Gruenenfelder, T.M. en Whitten, W.B. Augmenting generic research with prototype evaluation experience in applying generic research to specific products. In: Proceedings of the interact '84 conference, first IFIF conference on "human-computer interaction", 1984, Vol. 2, 315-319.

Kelley, C.R. Manual and automatic control. London: J. Wiley and Sons, 1968, 95-100.

Kodak. Ergonomic design for people at work. Eastman Kodak Company, California, Lifetime Learning Publications, 1983.

Krüger, W. Optimizing spring force, viscous damping, and inertia of a joystick. Forschungs Institut for Antropotechnik, D 3307 Wachtberg, Werthoven, 1974.

McCormick, E.J. en Sander, H.S. Human factors in Engineering and Design, McGraw Hill, 1982, 221-231 en 246-279.

Mil STD-1472C. Human engineering design criteria for military systems, equipment and factilities. Naval Publications and Forms center. Philadelphia, 1981.

Miner, F.J. en Revesman, S.L. Evaluation of input devices for a dat setting task. Journal of Applied Psychology, 1962, 46, 332-336.

Moore, T.G. Tactile and kinesthetic aspects of push buttons. Applied Ergonomics, 1974, 52, 66-71.

Nakaseko, M., Grandjean, E., Hünting, W. en Gierer, R. Studies on ergonomically designed alphanumeric keyboards, Human Factors, 1984.

Roscoe, S.N. Airborne displays for flight and navigation, Human Factors, 1968, 10, 321-332.

Salvendy, G. Ed. Hanbook of Human Factors. J. Wiley, New York, 1987, 577-601.

Schmidtke, H. en Jürgens, H. Handbuch der Ergonomie. Carl Hanser Verlag, München, 1975, 900-953.

Seibel, R. Data entry devices and procedures. In: H.P. van Cott and R.G. Kinkade, Eds. Human Engineering Guide to Equipment design, Washington, 1972, 311-344. Government Printing Office.

Taylor, R.M. en Berman, J.V.F. Ergonomic Aspects of aircraft keyboard design: The effects of gloves and sensory feedback on keying performance. Ergonomics, 1982, 25, 1109-1123.

Velotype. Special Systems Industry B.V., Den Haag, 1986.

Wickens, C.D. Engineering psychology and human performance. Columbus, Charles, E. Merill Publishing Company, A Bell and Homel Company, Columbus, Ohio 43216; 1984, 349-355.

Ziegler, P.N. en Chernikoff, R.A. A comparison of three types of manual control on a third order tracking task. Ergonomics, 1968, 11, 369-374.

3.4 Handgereedschappen

Inleiding

In de V.S. wordt ongeveer 10% van de blessures veroorzaakt door het werken met handgereedschappen. Slechts 25% daarvan komt voor rekening van de electrische/pneumatische handgereedschappen (McCormick en Sanders, 1982).

De meeste verwondingen ontstaan bij het gebruik van messen, hamers, en diverse sleuteltypen. Dit soort verwondingen kan voor een groot deel worden voorkomen door een goede voorlichting en training.

Blessures, zoals tennisarm en peesonsteking, kunnen ontstaan door het langdurig gebruik van verkeerd ontworpen gereedschappen en hulpmiddelen (zie Fig. 3.4.1).

Bij een traditionele tang treden bij intensief gebruik na verloop van tijd klachten op vanwege de sterke buiging van de pols (ulnaire abductie; zie Fig. 3.4.2). Een vormgeving die een natuurlijke (neutrale) houding van pols en onderarm mogelijk maakt heeft die nadelen niet (zie ook Fig. 3.4.3).

Bij andere polshoudingen dan de neutrale vermindert ook de greepkracht (reductie 10 à 40%). Dit kan leiden tot vermoeidheid, verslechterde prestaties en verwondingen.

Handgrepen dienen over een groot kontaktvlak te beschikken, dat goed bij de handvorm aansluit, om de lichaamskracht zo doelmatig mogelijk op het werktuig over te brengen.

In dit hoofdstuk zal de vormgeving van handgrepen van handgereedschappen worden behandeld op basis van de antropometrie van de hand (zie ook Par. 2.1).

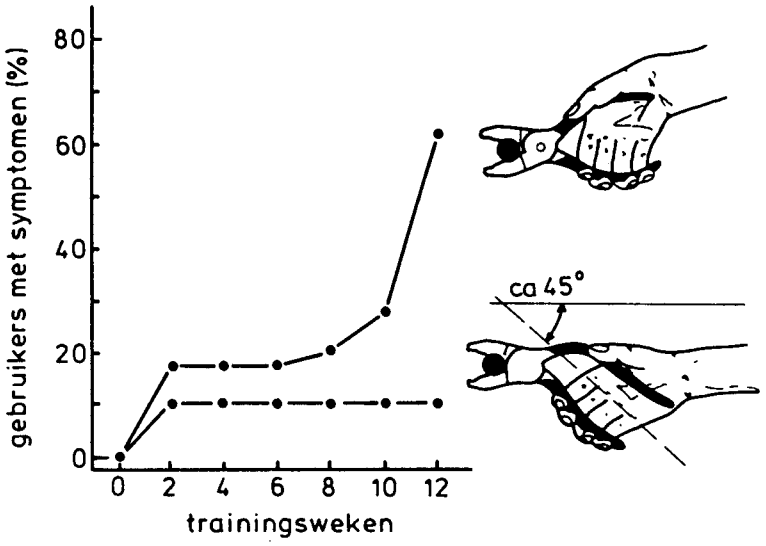


Fig. 3.4.1 Vergelijk van twee verschillende tangtypen als functie van het aantal trainingsweken en klachten als tenniselleboog en peesschede-ontsteking (naar Tichauer, 1976).

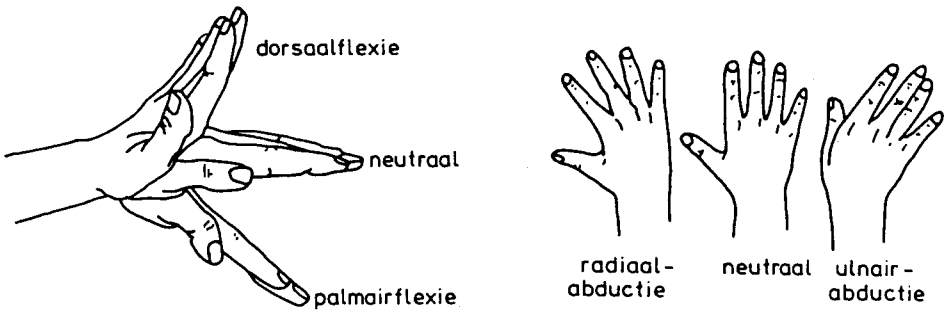


Fig. 3.4.2 Beweging van de hand vanuit de pols om twee assen (naar McCormick en Sanders, 1982).

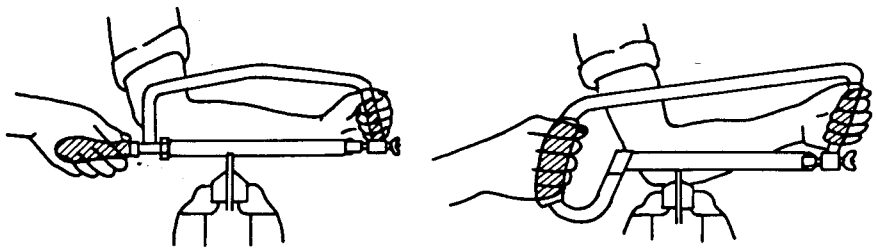


Fig. 3.4.3 Slechte en goede vormgeving van de handgrepen van een metaalzaagbeugel. In sommige gevallen gelden die ook voor een vijl (naar Kaminsky en Pilz, 1963).

3.4.1 Vormgeving van handgrepen

Twee-vingergreep

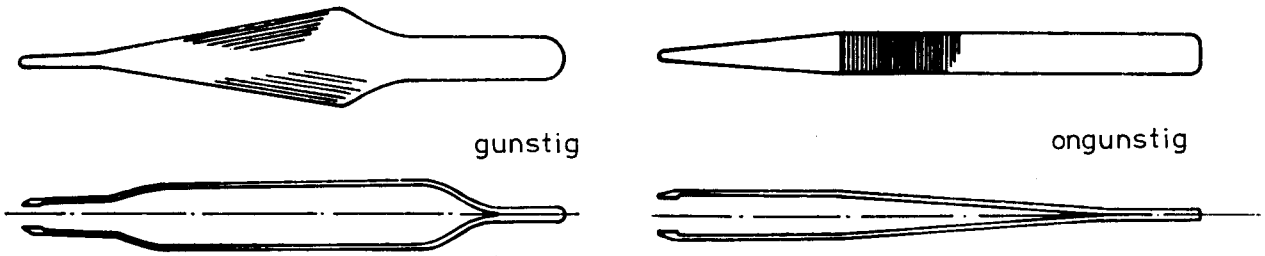


Fig. 3.4.4 Verschillende typen pincetten (naar Bullinger, 1975).

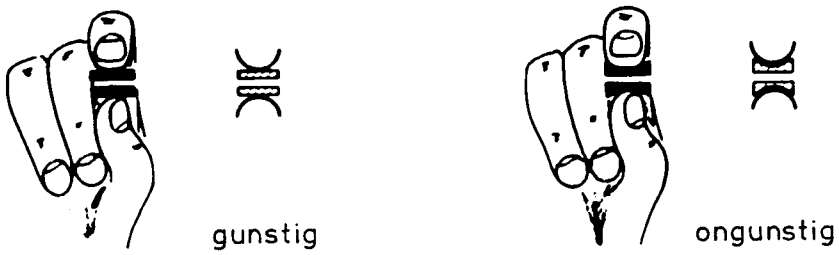


Fig. 3.4.5 Voor een goede grip moeten de pincetpoten hol zijn en voorzien zijn van ribbels (naar Bullinger, 1975).

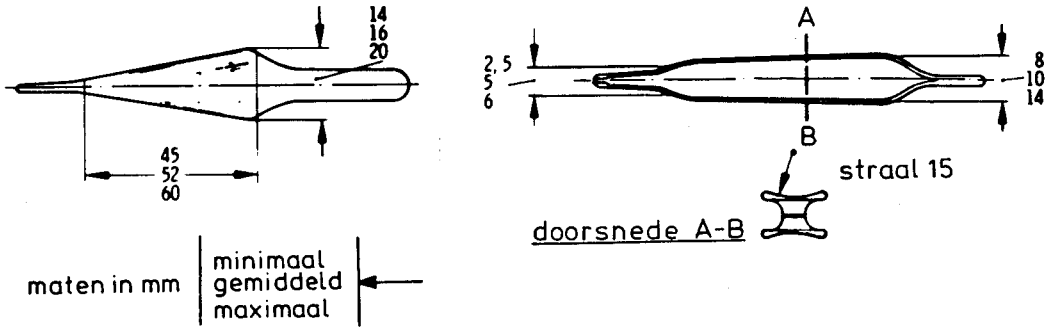


Fig. 3.4.6 Aanbevolen afmetingen en vormgeving van pincetten (naar Bullinger, 1975).

Bij scharen is de vormgeving en de plaatsing van de ogen van groot belang.
Het in Fig. 3.4.7 aangegeven type levert een prestatie-verbetering van ca. 60% en een inspanningsreductie van ca. 20% ten opzichte van de traditionele schaar.

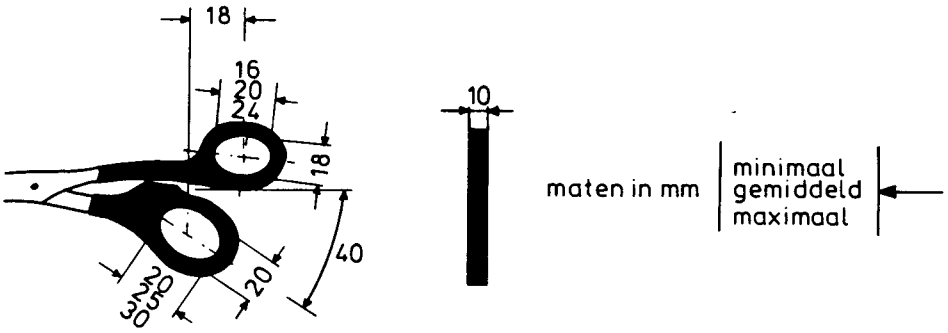


Fig. 3.4.7 De afmetingen en plaatsing van schaarogen. De radius van de rondingen bedraagt 10 mm. (naar Bullinger en Solf, 1979).

Drie-vingergreep

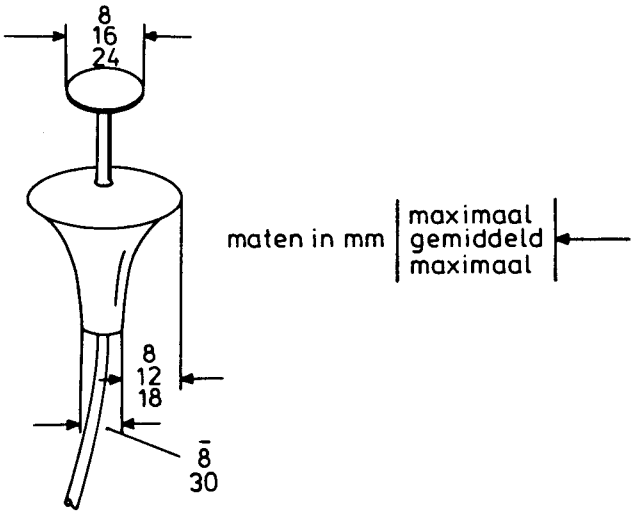


Fig. 3.4.8 Aanbevolen vorm en afmetingen van gereedschappen en hulpmiddelen die met drie vingers worden bediend (naar Bullinger, 1975).

Vier-vingergreep

Dit type grepen wordt gebruikt bij gereedschappen waarbij de hand niet geheel gesloten is. De lengte van de greep dient minimaal gelijk te zijn aan de handbreedte.

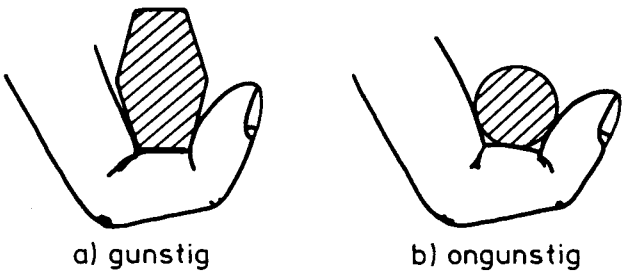


Fig. 3.4.9 Vormgeving van de vier-vingergreep (naar Bullinger, 1975).

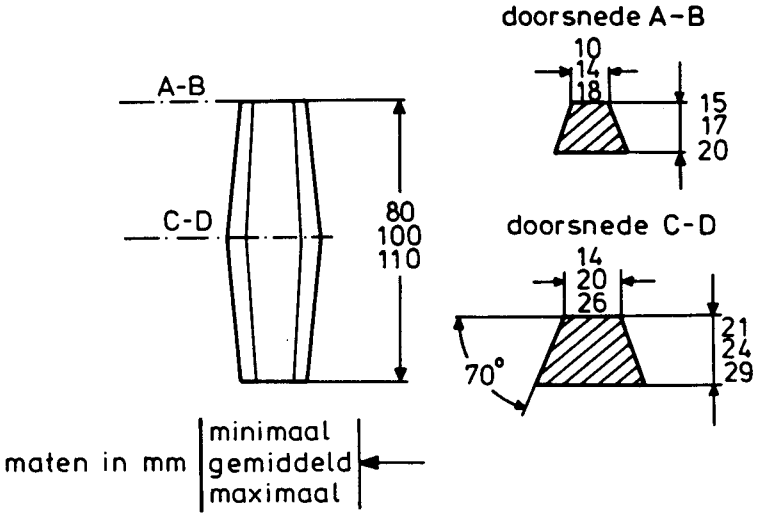


Fig. 3.4.10 Aanbevolen vorm en afmetingen van de viervingergreep (naar Bullinger, 1975). De radius van de rondingen bedraagt 10 mm.

Handgrepen

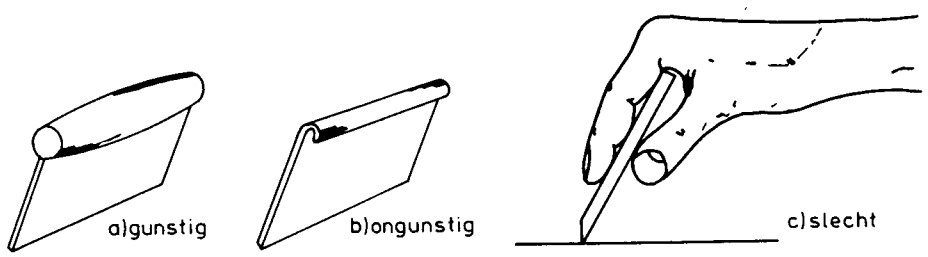


Fig. 3.4.11 Handgrepen voor spatels en schrapers (naar Bullinger, 1975).

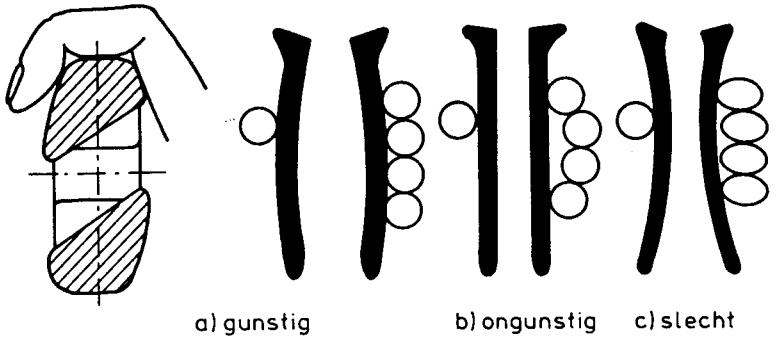


Fig. 3.4.12 Voorbeelden van goede en slechte tanghandgrepen (naar Bullinger, 1975).

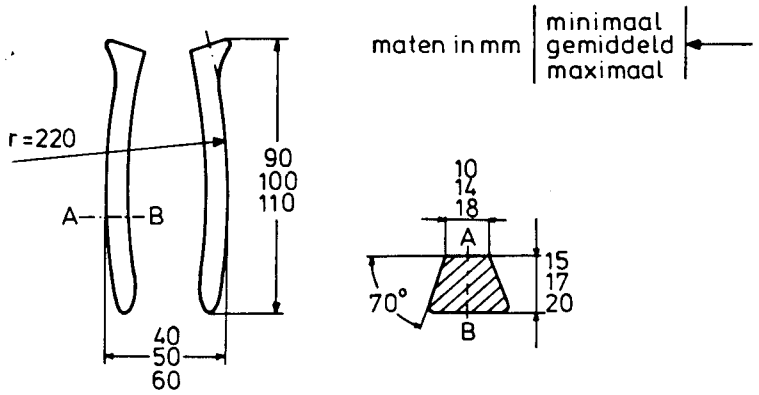


Fig. 3.4.13 Aanbevolen vorm en afmetingen van tanggrepen (naar Bullinger, 1975).

De greepkracht van de hand is afhankelijk van de te behandelen voorwerpgrootte. Maximale greepkracht is mogelijk bij handgreepafstanden van 66 tot 85 mm. (Bullinger, 1975).

Als gereedschappen frequent door eenzelfde gebruiker voor fijnzinnige werkzaamheden worden gehanteerd, dienen deze gereedschappen te zijn aangepast aan de individuele antropometrie.

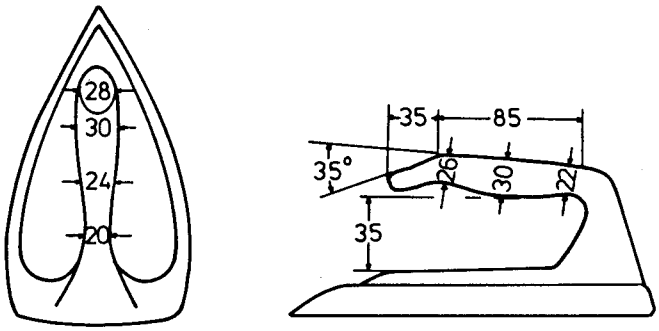


Fig. 3.4.14 Aanbevolen vorm en afmetingen van een strijkijzer-handgreep (naar Bullinger en Solf, 1979).

Handvatten

Fig. 3.4.15 Ongunstige en gunstige vorm van een handvat (naar Bullinger, 1975).

	lengte l in mm	door-snede d1 in mm	door-snede d2 in mm
minimaal	90	28	18
gemiddeld	100	32	22
maximaal	120	38	28

Fig. 3.4.16 Afmetingen voor handvatten die geschikt moeten zijn voor het uitvoeren van translaties. Bij toepassingen met rotaties dienen d_1 en d_2 met 4 à 6 mm vergroot te worden (naar Bullinger, 1975).

Heften

De vorm van heften wordt bepaald door de toepassing. In Fig. 3.4.17 is de aanbevolen vormgeving van een schroevedraaierheft aangegeven. Vanwege de toepassing (momentuitoefening) dient het oppervlak zo groot mogelijk te zijn. De handgreep van een vijl kan in sommige gevallen gelijk zijn aan die van de zaagbeugel uit Fig. 3.4.3 (uitoefenen van duw- en trekkrachten). Soms zal deze vorm strijdig zijn met de aard van de werkzaamheden, omdat de beugel in de weg kan zitten. In die gevallen wordt de vorm zoals aangegeven in Fig. 3.4.18 aanbevolen.

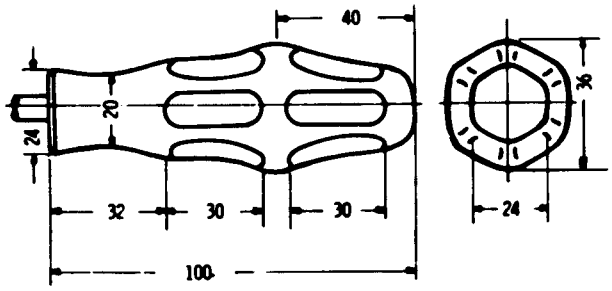


Fig. 3.4.17 Aanbevolen vorm en afmetingen van schroevedraaierheft. Voor de kleine, middelgrote en grote hand bestaan drie typen (de middelgrote is getekend) (naar Bullinger en Solf, 1979).

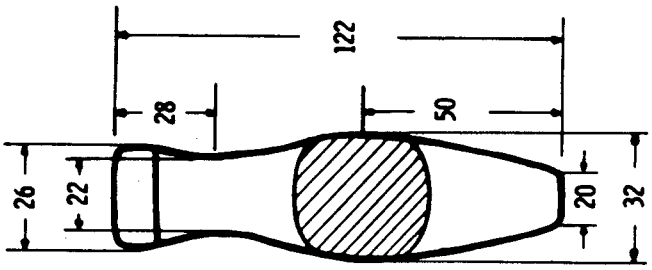


Fig. 3.4.18 Aanbevolen vorm en afmetingen van een vijlheft. Voor de kleine, middelgrote en grote hand bestaan drie typen (de middelgrote is getekend) (naar Bullinger en Solf, 1979).

Stelen

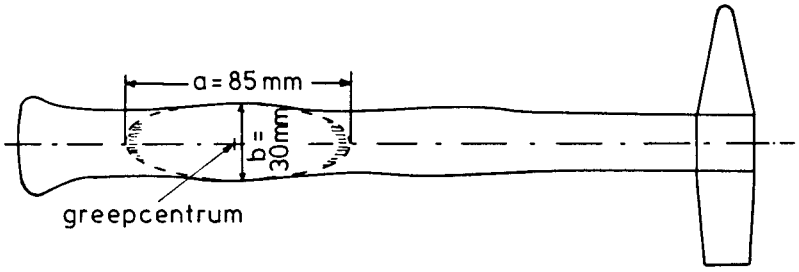


Fig. 3.4.19 Aanbevolen vorm en afmetingen voor een hamersteel (naar Herig, 1964).

Steellengte en -diameter als functie van het hamergewicht

Hamergewicht	Steellengte	Greepbreedte
0,3 kg	290 mm	21 mm
0,5 kg	310 mm	22 mm
0,8 kg	340 mm	24 mm
1 kg	350 mm	25 mm

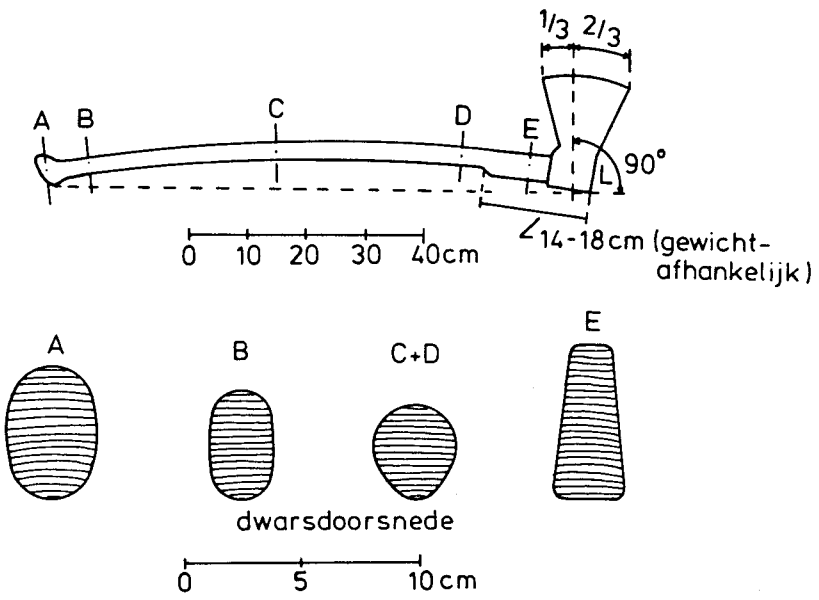


Fig. 3.4.20 Aanbevolen vorm en afmetingen voor grote bijl (aks) (naar Hettinger et al., 1980).

Discussie

In de selectie uit zes handboeken zijn de handgereedschappen summier behandeld onder het hoofdstuk Hulpmiddelen.

Hier is gekozen voor een aparte en uitgebreider behandeling gesplitst naar gebruikstype: van twee-vingergreep tot handgreep. Per greeptype zijn voorbeelden gegeven van de meest gangbare gereedschappen.

De gegevens zijn voornamlijk ontleend aan het onderzoek en aanbevelingen van Bullinger (en Solf). Deze auteurs maken binnen de greepsoort onderscheid tussen gehele of gedeeltelijke omklemming door vingers of hand. Deze onderscheiding is niet consequent vol te houden en is niet overgenomen.

Normen en gestandariseerde meetmethoden ontbreken.

Normen, wet- en regelgeving

Op dit gebied is naast de algemene bepalingen uit de Arbowet geen specifieke wet- en regegeving op het gebied van de ergonomie aanwezig.

Meetmethode en -apparatuur

Houding onderarm en pols: (röntgen) foto's.

Greepafmetingen: schuifmaat, meetlat.

Literatuur

Bullinger, H.J. en Solf, J.J. Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung, Band 1-3, Dortmund, 1979.

Bullinger, H.J. Gestaltungsregeln fur Werkzeuge, Teil C. Handbuch der Ergonomie (Ed. Schmidtke, H.). Carl-Hanser Verlag, 1975.

Herig, F. Bessere Arbeit durch bessere Griffe, 2. Auflage, Berlin, 1964.

Hettinger, T., Kaminsky, G. en Schmale, H. Ergonomie am Arbeitsplatz, 2. Auflage, Lutwigshafen (Rhein), 1980.

Kaminsky, G., Pilz, H.E. Gestaltung vom Arbeitsplatz und Arbeitsmittel, RKW-Reihe, 1963.

McCormick, E.J., Sanders, M.S. Human Factors in engineering and design, fifth edition, 1983.

Oborne, D.J. (Ed). International Reviews of Ergonomics, Vol. 1, Taylor and Francis, London, 1987.

Tichauer, E. Biomechanics sustains occupational safety and health. Industrial Engineering, 1976.

3.5 Werkplek

Inleiding

In het algemeen dienen eenzijdige statische werkhoudingen, zowel staand als zittend, te worden vermeden. Beweging bevordert de doorbloeding van het lichaam en daarmee het transport van voedings- en afvalstoffen in het lichaam. Bij het ontwerp van werkplekken dient derhalve rekening te worden gehouden met deze noodzaak tot houdingsverandering en beweging.

Bij veel werkzaamheden dwingt de relatie tussen ogen en kijkvlak het lichaam tot onnatuurlijke fixaties. Deze paragraaf geeft richtlijnen voor de gewenste lichaamshouding, voor de taakparameters die van invloed zijn op de keuze van zittend of staand werk en voor het gebruik van antropometrische gegevens bij werkplekontwerp.

Deze paragraaf vormt het uitgangspunt voor het vervolg van dit hoofdstuk waar op de specifieke werkplekken wordt ingegaan. De argumentatie voor de lichaamshouding is mede ontleend aan publicaties van Mandall en Bendix, 1986 en Snijders, 1984.

3.5.1 Lichaamshouding en werkplek

Fysiologische krommingen van de wervelkolom

In staande houding vertoont de wervelkolom in het transversale vlak de karakteristieke S-vorm (Fig. 3.5.1a). In het mediale vlak staan de wervels recht op elkaar. Deze houding is voor de wervels en de tussenwervelschijven minimaal belastend. Het hoofd kan maximaal 20° neigen zonder dat extra belasting van de rug en nek- en schouderspieren optreedt. De zichtlijn bij ontspannen ooghouding ligt ongeveer 15° onder de horizon. Bij ontspannen oog- en nekspieren ligt de kijkas dus tussen de 15 en 35° onder de horizon; (zie ook Par. 2.1)

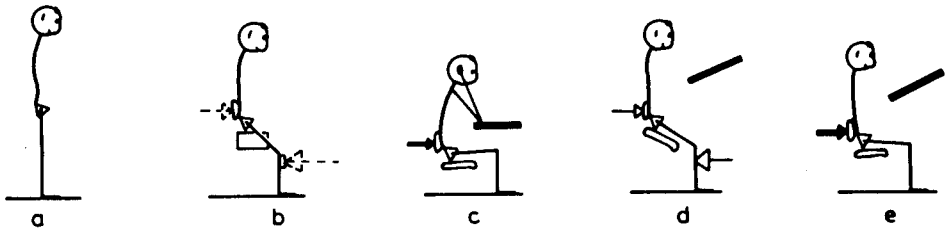


Fig. 3.5.1 Verschillende lichaamshoudingen (voor verklaring zie tekst) (naar Bendix, 1986).

Wat de minimale belasting van de rug betreft zouden de werkzaamheden staand uitgevoerd moeten worden. Als gevolg van de statische belasting treedt echter bij staan, tengevolge van stuwing, een verhoogde hydrostatische druk in de benen op. Op de langere termijn kan dit tot beschadiging van de beenaderen leiden (Windberg et al., 1982).
Dit negatieve effekt bij het staan kan door regelmatige houdingsverandering gecompenseerd worden, omdat door het bewegen de beenspieren geactiveerd worden en de doorbloeding verbetert. Op stawerkplekken waar men regelmatig door lopen of korte tijd zitten de spieren kan ontspannen, treedt minder vermoeidheid op. Ook de stahulp is daarbij een adequaat hulpmiddel, zie Par. 3.5.6.
Primair dient echter het streven te zijn de houding te variëren en de werkzaamheden waar mogelijk zittend uit te voeren. De werkplek dient zodanig ingericht te zijn dat de fysiologische krommingen in de rug behouden blijven. Daartoe dient de hoek tussen de lichaamsas en de bovenbenen groter of gelijk aan 90° te zijn. In sommige gevallen kan het gunstig zijn voor deze hoek 135° te nemen. Een goede stand van de rug en het bekken kan worden bevorderd door de zitting voorover te kantelen. De dan optredende schuifkrachten tussen stoelzitting en zitvlak dienen onder andere opgevangen te worden (Fig. 3.5.1b) door knie-afsteuning. Hoge en constante belasting van de knie- of onderbeenweefsels dient echter te worden vermeden.

Bezien we de lichaamshouding bij werkzaamheden aan bijvoorbeeld een traditioneel bureau met een vlak blad op ongeveer 750 mm hoogte, dan valt het volgende te constateren.
Het hoofd wordt sterk voorover gekanteld, gedwongen door de visuele taak. Deze houding kan slechts enkele minuten worden volgehouden. Al gauw wordt de rug gekromd en zakt het hoofd ten opzichte van de wervelkolom naar voren. De belasting van de spieren in de nek- en schoudergordel en de rug wordt vergroot. Om de nek- en rugspieren te ontlasten zal men het hoofd en de rug willen ondersteunen (Fig. 3.5.1c). Deze houding kan, afhankelijk van duur en variatie van de werkzaamheden en de kwaliteit van het spierskeletstelsel van het individue, aanleiding tot klachten geven. Ter voorkoming hiervan kunnen een aantal maatregelen genomen worden.

Bij een op de juiste hoogte aangebracht en gekanteld werkvlak kunnen door middel van een lendesteun de natuurlijke fysiologische krommingen in de rug behouden blijven en kan stabiliteit worden gegeven aan de romp (Fig. 3.5.1d). Tussen zitting en rugleuning is een vrije ruimte van ruim 120 mm vereist om het onderste deel van het bekken vrij te laten.
Een voorover hellende zitting draagt bij tot behoud van de natuurlijke vorm van de wervelkolom. Om de schuifkrachten ter plaatse van het zitvlak op te vangen is ondersteuning van de onderbenen (ter hoogte van de knieën of het scheenbeen) of de voeten nodig. Afsteuning met de voeten heeft schuifkrachten in de voeten tot gevolg, evenals statische belasting in bepaalde beenspiergroepen. Ondersteuning ter plaatse van het onderbeen is nadelig omdat drukbelasting in het weefsel van been en knie kan optreden en de noodzakelijke bewegingsvrijheid van de benen wordt belemmerd; zie ook Par. 3.5.6.
Een horizontale of enigszins vooroverhellende zitting lijkt in het algemeen de minst slechte keuze (Fig. 3.5.1e).

In een houding waarbij de bovenarmen ontspannen langs het lichaam hangen is de belasting van de nek- en schouderspieren gering.
Armleggers vangen het gewicht op van de armen (10% van het lichaamsgewicht), waardoor de nek- en schouderspieren minimaal belast worden.

Naast de taken waarbij slechte lichaamshoudingen optreden ten gevolge van een dwingende oog- werk relatie, zijn er nog vele werksituaties waar lichaamshoudingen optreden die voor de spieren en rug belastend zijn, zoals:

- reiken of tillen met de handen ver voor of boven het lichaam;
- bij werkzaamheden waar het werk naast het lichaam moet worden verricht etc.

Deze dienen voorkomen te worden door een aanpassing van de taak of van de werkplek(inrichting).

Zittend en/of staand werken

In Kodak, 1983 wordt een goed overzicht geboden van de van belang zijnde taakparameters bij de keuze van het type werkplek (zit en of sta).

Tabel 3.5.1 Keuze tussen zittend en staand werken in relatie tot verschillende taakparameters (naar Kodak, 1983).

Parameters	1 Zwaar tillen/trekken	2 Afwisselend werk	3 Grote reikwijdte	4 Variabele taken	5 Variabele werkhoogten	6 Herhaalde bewegingen	7 Visuele aandacht	8 Precisiewerk	9 Tijdsduur > 4 uur
1. Zwaar tillen/trekken		S	S	S	S	SH	SH	SH	S/SB
2. Afwisselend werk			S	S	S	Z/SH	Z/SH	Z/SH	Z/SH
3. Grote reikwijdte				S	S	SH	SH	SH	S/SB
4. Variabele taken					S	SH	SH	SH	S/SB
5. Variabele werkhoogten						Z	Z	Z	Z
6. Herhaalde bewegingen							Z	Z	Z
7. Visuele aandacht								Z	Z
8. Precisiewerk									Z
9. Tijdsduur > 4 uur									

Verklaring; S - staand SH - stahulp
Z - zittend SB - stoel beschikbaar

Zittend werken wordt aanbevolen indien:
- bij kort cyclische arbeid de materialen gemakkelijk kunnen worden aangevoerd en behandeld;
- bij de be/verhandeling van de materialen de handen niet meer dan 150 mm boven het werkvlak komen;
- geen grotere krachten dan 45 N worden uitgeoefend;
- gedurende een belangrijk deel van de werktijd nauwkeurige assemblage, manipulatie of lees-, type- en schrijfwerkzaamheden worden gedaan.

Staand werken wordt aanbevolen bij de volgende condities:
- Als er op de werkplek onvoldoende beenruimte is om te kunnen zitten;
- Als krachten groter dan 45 N moeten worden uitgeoefend;
- Bij frequent laag, hoog of ver van het lichaam reiken;

- Als de werkplekken fysiek gescheiden zijn en frequent heen en weer lopen noodzakelijk is;
- Neerwaartse krachten moeten worden uitgeoefend zoals bij verpakken.

Sta-zit werkplekken komen in aanmerking onder de volgende omstandigheden:
- Als repetitieve arbeid wordt gedaan met een reikwijdte groter dan ongeveer 400 mm naar voren, of 150 mm boven het werkvlak;
- Als verschillende taken worden uitgevoerd waarvan het ene deel het best zittend en het andere staand wordt uitgevoerd.

Bij staand uitgevoerde taken moet een zitfaciliteit beschikbaar zijn om gedurende het machinebedrijf of dode tijd te kunnen gaan zitten.
Indien uitsluitend staande arbeid niet te voorkomen is, is het noodzakelijk de statische belasting te beperken door de werkzaamheden zo te organiseren dat een paar maal per uur van de werkplek aflopen mogelijk is. Vloermatten verhogen het stacomfort.

Indien verschillende taken binnen een functie moeten worden verricht moet soms, wat betreft het type werkplek, de ene taak prioriteit krijgen boven de andere. Zoals:
- de werkplek moet in ieder geval zijn afgestemd op de langstdurende activiteit;
- als kritische visuele taken moeten worden uitgevoerd moet de werkplek daarop zijn ingericht;
- dit geldt ook als grote krachtsuitoefening en grote reikafstanden frequent voorkomen.

Beenruimte
De beschikbaarheid van voldoende voet- en beenruimte bepaalt in belangrijke mate of, zowel staand als zittend, in een goede lichaamshouding gewerkt kan worden.
Fig. 3.5.2a geeft een drietal beenruimteprofielen voor zit- en zit/sta werkplekken. Profiel B is alleen geschikt voor kortdurende werkzaamheden (< 30 min.). Profiel A^2 is ruim acceptabel bij langduriger werkzaamheden op industriële werkplekken met beperkte diepte, of op sta/zit werkplekken waar een voetensteun gebruikt wordt. Waar mogelijk (in het

bijzonder bij bureaus, beeldschermwerkplekken, consoles) dient gestreefd te worden naar een beenruimteprofiel volgens A[1].

De in Fig. 3.5.2a aangegeven vereiste beenruimte is gebaseerd op antropometrische gegevens en de noodzakelijke bewegingsvrijheid. De aangegeven richtlijn is in sommige gevallen stringenter dan die uit de meubelnormbladen en de voorlichtingsbladen van de arbeidsinspectie.

In Fig. 3.5.2b is de benodigde minimum beenruimte aangegeven bij staande werkplekken indien gebruik gemaakt wordt van de stasteun, en in Fig. 3.5.2c de benodigde ruimte voor stawerkplekken. In Fig. 3.5.2d is voor alle typen werkplekken de minimale breedte van de voet- en beenruimte aangegeven. Bij werkplekken lager dan 850 mm dient de beenbreedte minimaal 600 mm te bedragen; ten behoeve van een goede op- en uitstap bij hogere werkplekken minimaal 800 mm.

In de figuren 3.5.2a t/m c is de vereiste beenruimte aangegeven. De toelaatbare dikte van het tafelblad en de hoogte daarvan boven de vloer worden bepaald door de taakuitvoering. Richtlijnen daarvoor komen in de volgende paragrafen aan de orde.

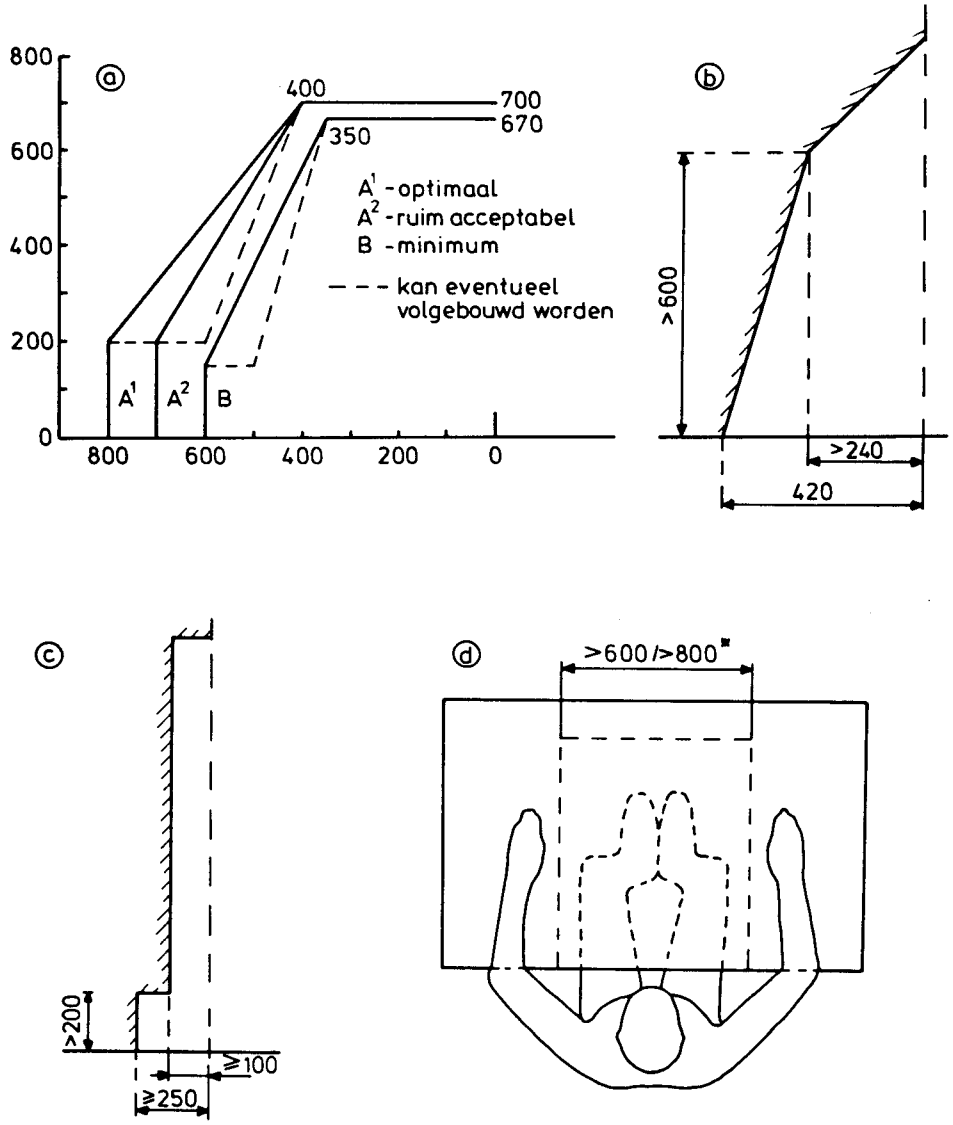


Fig. 3.5.2a Benodigde minimum beendiepte voor zit- en zit/stawerkplekken;

Fig. 3.5.2b Benodigde minimum beendiepte bij stawerkplekken en gebruik van een stasteun;

Fig. 3.5.2c Benodigde minimum beendiepte voor stawerkplekken;

Fig. 3.5.2d Benodigde minimum beenbreedte voor alle typen werkplekken:

* Als werkvlakhoogte lager dan 850 mm: beenbreedte > 600;

* Als werkvlakhoogte hoger dan 850 mm: beenbreedte > 800.

Gebruik van antropometrische gegevens
Nadat de keus tussen zittend en/of staand werken gemaakt is, dient in relatie met de taak de werkplek te worden afgestemd op de lichaamsmaten van de gebruiker. Antropometrische gegevens vormen de basis voor de dimensionering van de werkplek, zoals die in de volgende paragrafen aan de orde komt. Bij het hanteren van deze data dient men zich het volgende te realiseren:

1. In de ergonomie wordt de inrichting van de werkplek of het ontwerp van gereedschappen meestal afgestemd op gebruik door 90% van de populatie. Deze grenzen dienen niet in eerste instantie het uitgangspunt te zijn, omdat altijd moet worden gestreefd naar geschiktheid voor een zo groot mogelijke gebruikersgroep. Bijvoorbeeld: het verdient sterke voorkeur de hoogte van deuren af te stemmen op de 99 percentiel man. Immers kleineren ondervinden daarvan geen hinder. Evenmin zal de 99 percentiel man er moeite mee hebben dat de schakelaars bij een lift aangebracht zijn op de hoogte van de 1 percentiel vrouw. Op die hoogte zijn de schakelaars tevens bedienbaar zijn voor kinderen en rolstoelgebruikers.

In de volgende paragrafen zal worden uitgegaan van een geschiktheid voor 90% van de populatie (van 5 tot 95 percentiel). Met behulp van die waarden is het in de meeste gevallen mogelijk de werkplekmaten te berekenen voor gebruikers met kleinere of grotere lichaamsmaten.

2. Bij de lichaamsmaten (zoals lichaamslengte) en de functionele maten (zoals reikwijdte) hanteert men de 5 en 95 percentiel grenzen. Men dient zich er rekenschap van te geven dat bij een bepaalde lichaamslengte, voor de overige lichaamsmaten evenzeer een spreiding bestaat. Dit geldt des te meer bij lichaamsdelen met een lage correlatie, zoals tussen lengte- en breedtematen. Bijvoorbeeld: bij het ontwerpen van typewerkplekken is de ruimte tussen de bovenzijde van het dijbeen en de onderzijde van de elleboog essentieel. Tussen de lichaamslengte en deze maat bestaat echter een heel lage correlatie, zodat deze maat bij kleine en grote personen zowel klein als groot kan zijn. Daarom dient de dikte van tafelblad en toetsenbord zo gering mogelijk te zijn (ongeveer 50 mm); zie ook Par. 3.5.4.

3. In de verschillende antropometrische gegevensbestanden worden van de lichaamsmaten naast het gemiddelde ook de 5- en 95 percentielwaarde gegeven. Bij het hanteren van laatstgenoemde waarden is enige voorzichtigheid geboden. Het optellen van bijvoorbeeld alle 95 percentiel deelmaten leidt tot een persoon met een 150 mm grotere lichaamslengte.
   In deze paragraaf is uitgegaan van 5 en 95 percentiel lichaamslengten, waarna met behulp van de correlatiefactor de bij die lichaamslengte behorende lichaamsdeelmaten (zonodig met spreiding) zijn berekend.

4. Indien voor een bepaalde werkplek meerdere lichaamsmaten van belang zijn, zal de oorspronkelijk geplande geschiktheid voor 90% van de populatie, terug kunnen lopen tot 70 à 80%. Een en ander is afhankelijk van de aard en het aantal van belang zijnde lichaamsdelen en de onderlinge correlatie. In die gevallen zal het nodig zijn van de diverse deelmaten bijv. de 95 of 98 percentielwaarde te hanteren, opdat het uiteindelijke produkt voor 90% van populatie geschikt is (Dirken, 1984).

5. In Par. 2.1 zijn de antropometrische maten gegeven voor de Nederlandse mannen en vrouwen. Deze gegevens berusten op metingen aan deelpopulaties en op gecorrigeerde DIN-waarden (DIN 33402). Deze data vormen de meest betrouwbare voor de Nederlandse populatie. Gegevens uit buitenlandse bronnen dienen met grote voorzichtigheid gehanteerd te worden, omdat deze in veel gevallen sterk afwijken van de Nederlandse lichaamsmaten.

Discussie

Op het gebied van de gewenste lichaamshouding op de werkplek treedt langzamerhand, zowel internationaal (o.a. Mandal (1986) en Bendix (1986)) als nationaal (o.a. Snijders (1984), P 41 en CV 9), eenduidigheid op.
Betreffende de keus tussen zittend en staand werken is in de literatuur betrekkelijk weinig vermeld, evenzo ontbreekt normering op dat gebied. Dit zal mede veroorzaakt worden

door het grote scala van werksituaties. De in Kodak, 1983 gegeven richtlijnen zijn de meest uitgebreide en universele.
De richtlijn voor de benodigde beenruimte sluit slechts gedeeltelijk aan bij P 41. De aangegeven richtlijn is gebaseerd op antropometrische en biomechanische gegevens. De aangegeven richtlijnen kunnen deels als aanvulling deels als commentaar worden gezien op de (concept)voorlichtingsbladen CV 9 en P 41.

3.5.2 Werkplekken voor industriële taken

Bepaling van werkplekmaten
Deze paragraaf behandeld de afmetingen voor industriële werkplekken, waar motorische en visuele arbeid wordt verricht. Waar mogelijk dienen deze werkzaamheden zittend te worden uitgevoerd. Daarover zegt het Veiligheidsbesluit Fabrieken en Werkplaatsen dat de zitgelegenheden "aan de arbeid moeten zijn aangepast". De wijze van aanpak in DIN 33406 sluit het meeste aan bij de noodzaak de werkplek op de taakuitvoering en de gebruiker af te stemmen.
De werkplekdimensionering kan als volgt worden gesplitst:

- vaste maten, zoals voet- en knieruimte en ruimte achter werkplekken. De benodigde vrije been- en voetruimte worden bepaald door de 95. percentiel gebruiker. De gewenste beenruimte wijkt enigszins af van DIN 33406 en is in aangepaste vorm opgenomen in Par. 3.5.1.; dit geldt eveneens voor de benodigde ruimte achter de werkplekken (zie Par. 3.6.1);
- maten bepaald door de uit te voeren taak in relatie tot de lichaamsmaten van de individuele gebruiker, zoals werkvlakhoogte.
  Taken kunnen variëren van hoge eisen aan visuele controle en motorische coördinatie tot geringe eisen aan de visuele controle en grote krachtsinspanning (zie ook P 41). Deze eisen met betrekking tot de afstand van ogen en handen tot het werk bepalen, tesamen met de lichaamsmaten van de gebruiker, de hoogte van werkhoogte en ondersteuningvlakken.
  (Onder werkhoogte wordt de hoogte verstaan waarop de handen zich bevinden bij de taakuitvoering. De werkvlakhoogte is de hoogte van de tafel of werkbank).

De in DIN 33406 gehanteerde werkwijze verloopt als volgt:
- bepaal het type werkplek; sta, zit of zit/sta (zie Par. 3.5.1);
- welke eisen stelt de taak aan het visuele en motorieke systeem;
- welke doelgroep maakt gebruik van de werkplek: man/vrouw, groot/klein. (De bijbehorende werkplekmaten kunnen worden afgelezen in Tabel 3.5.2.[1]);
- welke hoogte heeft het werkstuk (C) en hoe dik is het werkblad (K). (Op grond van het bovenstaande kan de hoogte van het werkblad A berekend worden);
- voor zit en zit/stawerkplekken:
  - bepaal met Tabel 3.5.3 (Z) de benodigde zithoogte-verstelling en eveneens het verstelbereik van de voetensteun;
  - controleer met Tabel 3.5.3 (D) of voldoende dijbeenruimte beschikbaar is. Zo niet:
    - verminder de bladdikte, eventueel door plaatselijke verdunning;
    - kantel het werkvlak;
    - reduceer de werkstukhoogte.

In deze paragraaf wordt, wat betreft de diverse taken, een gewijzigde en uitgebreidere categorie-indeling voorgesteld dan in DIN 33406 en in P 41. In DIN zijn de eerste twee taakcategorieën gebaseerd op een bepaalde kijkafstand tot het werk (ofschoon niet consequent) en is alleen de laatste categorie gerelateerd aan een goede arm- en handhouding. Voorgesteld wordt de in Tabel 3.5.2 aangegeven categorieën te hanteren.
In categorie 1 is de kijkafstand primair bepalend voor de werkhoogte.
(Indien zich taken voordoen waarbij nog kleinere kijkafstanden vereist zijn met intensieve motorische activiteiten, wordt geadviseerd gebruik te maken van visuele hulpmiddelen als een loupe; ook dient te worden bezien of de taak zodanig gewijzigd kan worden dat minder kleine details behoeven te worden waargenomen.)

---

[1] In de tabellen zijn de maten gegeven voor kleine (5 perc.) en grote (95 perc.) gebruikers. Voor kleinere en grotere lichaamslengten dienen de in de tabellen aangegeven werkplekmaten berekend te worden.

Bij werkzaamheden waarbij de oog-werk relatie dwingend is wordt het werkvlak indien mogelijk schuin geplaatst (zie Par. 3.1.1). Ook kunnen afzonderlijke, op het werkvlak aangebrachte, armsteunen noodzakelijk zijn om de rug en spiergroepen in de armen en de schouder te ontlasten.
Bij de volgende twee categorieën is de ellebooghoogte de bepalende factor. In categorie 2 bevindt de werkhoogte zich ca. 50 mm boven ellebooghoogte zodat een goede afsteuning van de armen mogelijk is (Chaffin en Anderson, 1984). In categorie 3 is het werkvlak ca. 100 mm lager geplaatst teneinde een goede bewegingsvrijheid voor de armen te verkrijgen (Chaffin, 1984). (Overigens heeft de ellebooghoogte bij zitten een grote spreiding in verband met de lage correlatie met de lichaamslengte; daarom zou het te verkiezen zijn individuele maten aan te geven, zoals in Tabel 3.5.4).
De laatste categorie betreft werkzaamheden met grote krachtsinspanning. De bij categorie 4 aangegeven maat betreft de werkhoogte bij het tillen van zware voorwerpen of werkzaamheden waarbij het eigen lichaamsgewicht moet worden aangewend. De werkhoogte voor dit type arbeid is sterk taakafhankelijk (vooral van de uit te oefenen krachten). De werkhoogte kan derhalve liggen tussen de maten van categorie 3 en 4.
De indeling in 4 categorieën kan niet het hele scala van taken bevatten. De aangegeven waarden voor de werkhoogten zijn dan ook indicatief. In het bijzonder bij heel specifieke (bijvoorbeeld langdurig repeterende) taken en bij afwijkende lichaamsmaten (bijvoorbeeld vanwege handicap) dient de werkhoogte daarop afgestemd te worden.

Tabel 3.5.2 Aanbevolen werkvlakhoogten H^1 en H^2 in relatie tot de taakeisen en de lichaamslengte (5. en 95. percentiel) voor vrouwen en mannen.

	Taakeisen	Voorbeelden	H1 (zittend) percentiel 5. V	H1 (zittend) percentiel 5. M	H1 (zittend) percentiel 95. V	H1 (zittend) percentiel 95. M	H2 (staand) percentiel 5. V	H2 (staand) percentiel 5. M	H2 (staand) percentiel 95. V	H2 (staand) percentiel 95. M
1	Hoge eisen m.b.t. - visuele controle - fijn motorische coördinatie - afgesteunde armen	Calibreren Visuele controletaken Fijn montagewerk	400	450	450	550	1150	1300	1350	1500
2	Gemiddelde eisen m.b.t. - visuele controle - fijn motorische coördinatie - afgesteunde armen	Bedraden Montage van kleine onderdelen, met geringe krachtinspanning	300		300		1050	1150	1200	1300
3	Geringe eisen m.b.t - visuele controle Hoge eisen m.b.t. - bewegingsvrijheid van de armen	Sorteren Inpakken Montage van zware onderdelen met verhoogde krachtinspanning	200		200		950	1050	1100	1200
4	Geringe eisen m.b.t. - bewegingsvrijheid van de armen - krachtinspanning		-		-		≥ 550	≥ 650	≥ 700	≥ 800

Tabel 3.5.3 De bij de 5 en 95. percentiel lichaamslengte behorende maten voor onderbeenlengte (O) en dijbeenruimte (D).

	5. perc.		95. perc.	
	V	M	V	M
D dijbeenruimte[1)]	160	155	175	165
O onderbeenlengte[2)]	400	435	465	500

1) dijbeendikte + 20 mm vrije ruimte
2) onderbeenlengte + 35 mm schoeisel

Aan de hand van voorbeelden van drie typen werkplekken zullen de uitkomsten van de berekeningen worden gegeven; zit, zit/sta en stawerkplek.
Zie voor de berekeningswijze DIN 33406.

Zitwerkplek
Voorbeeld 1: Zitwerkplek (zie Fig. 3.5.3).

Gegevens

Taak	:	inspecteren en repareren van electronische printkaarten;
Taakeisen	:	hoge visuele inspanning, volgens categorie 1;
Doelgroep	:	vrouwen (klein 5. perc.) en mannen (groot 95. perc.);
Werkstukhoogte C	:	50 mm;
Tafelbladdikte K	:	30 mm.

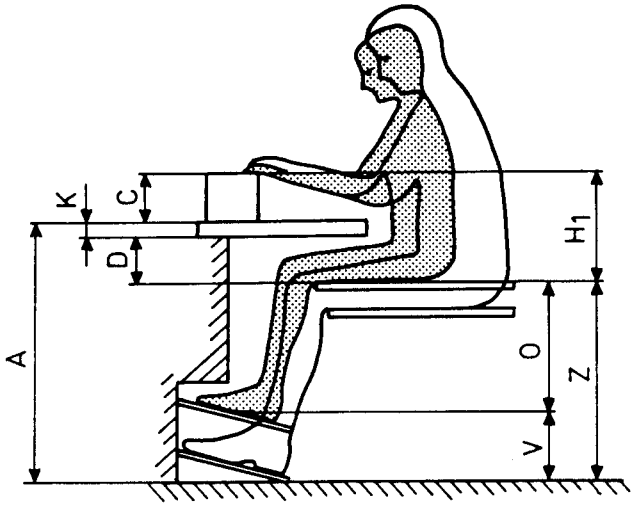


Fig. 3.5.3 De relevante afmetingen voor de zitwerkplek.

De berekening levert de volgende werkplekmaten op:

	voor 5. perc. vrouw	voor 95. perc. man
Werkvlakhoogte A	1080	1080
Zittinghoogte Z	700	550
Voetensteunhoogte V	300	50 (min. stand)

Toelichting

De werkvlakhoogte is voor beide groepen (mannen en vrouwen) gelijk, maar een instelbare stoel en voetensteun zijn noodzakelijk. Ten behoeve van een goede lichaamshouding kan het werkvlak schuin geplaatst worden.

Omdat de werkvlakhoogte A groter is dan 850 mm dient de beenruimte breder te zijn dan 800 mm, terwille van een goede in - en uitstap (zie 3.5.2; beenruimte).

Zit/sta- werkplek
Voorbeeld 2: Zit/sta- werkplek (zie Fig. 3.5.4).

Gegevens

Taak	:	revisie en in- en uitbouw van (auto)dynamo's;
Taakeisen	:	gemiddelde visuele inspanning en geringe krachtsinspanning (categorie 3);
Doelgroep	:	kleine (5. perc.) en grote (95. perc.) mannen;
Werkstukhoogte C	:	100 mm;
Tafelbladdikte K	:	30 mm.

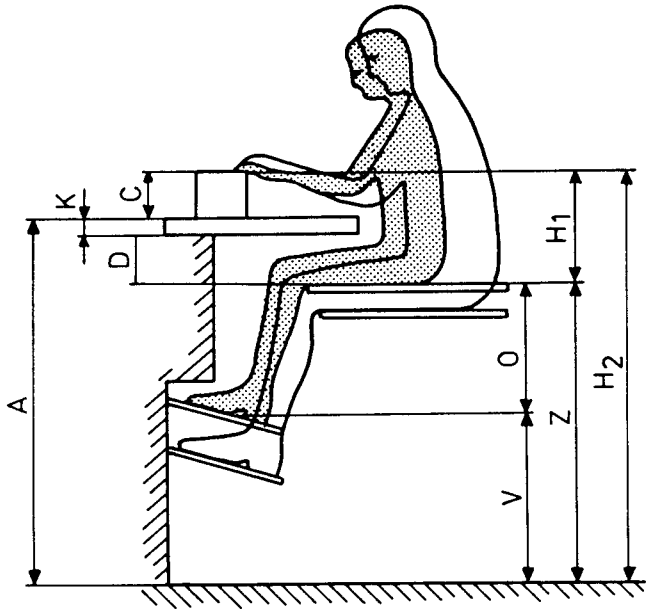


Fig. 3.5.4 De relevante afmetingen voor de zit/sta-werkplek.

De berekening levert de volgende werkplekmaten op:

	voor 5.perc. man	voor 95.perc. man
Werkvlakhoogte A	1050	1200
Zittinghoogte Z	850	1000
Voetensteunhoogte V	415	500

Toelichting

Voor de praktijk zijn een aantal oplossingen denkbaar.

1. Vaste werkvlakhoogte afgestemd op de langste gebruiker, met een vlonder voor kleine gebruikers om staand goed te kunnen werken;
2. In hoogte verschillende werkplekken voor zowel lange als kleine gebruikers;
   (Bij (1) en (2) zijn in hoogte verstelbare stoelen en voetensteunen noodzakelijk)
3. Eenvoudig in hoogte te verstellen stoelen en werkvlakken; voetensteunen zijn niet nodig.

Omdat de werkvlakhoogte A groter is dan 850 mm dient de beenruimte breder te zijn dan 800 mm, terwille van een goede in- en uitstap (zie 3.5.2; beenruimte).

Stawerkplek

Voorbeeld 3: Stawerkplek (zie Fig. 3.5.5).

Gegevens

Taak	:	revisie van automotoren (een takel is beschikbaar);
Taakeisen	:	lage visuele- en grote motorische inspanning;
Doelgroep	:	grote mannen (95. perc.) kleine vrouwen (5. perc.);
Werkstukhoogte C	:	400 mm.

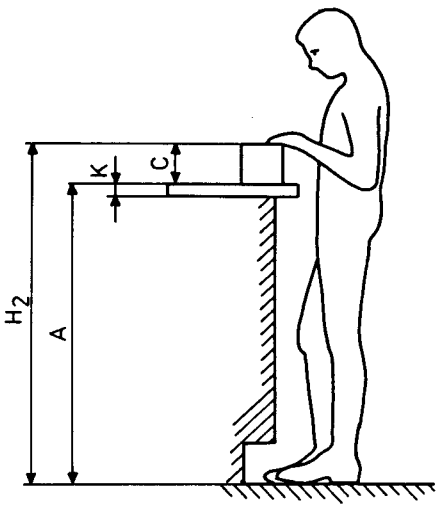


Fig. 3.5.5 De relevante afmetingen voor de stawerkplek.

De berekening levert de volgende werkplekmaten op:

	voor 5. perc. vrouw	voor 95. perc. man
Werkvlakhoogte A	550	800

Toelichting bij voorbeeld 3

Voor de beide gebruikersgroepen zijn verschillende werkvlakhoogten vereist. Deze kunnen worden gerealiseerd door:

- diverse plateauhoogten beschikbaar te hebben;
- gebruik te maken van vulstukken ten behoeve van de langeren;
- in hoogte verstelbare plateaus toe te passen.

Vanwege de vereiste lichaamsbewegingsvrijheid zal een stasteun hier slechts incidenteel gebruikt kunnen worden.

Discussie

Het is opmerkelijk dat in de literatuur zo weinig onderbouwde en naar taak gedifferentieerde aanbevelingen over werkhoogten zijn terug te vinden. De bestaande houden in het algemeen nauwelijks rekening met de differentiatie in taken en lichaamsmaten.

In de selectie uit de handboeken heeft men gekozen voor de richtlijnen uit Burandt.

Deze kent een aantal beperkingen en bezwaren:

- de aangegeven vrije beenruimten worden voor Nederlandse toepassing zeer ontoereikend geacht;
- de berekeningswijze is tamelijk complex en suggereert een hoge nauwkeurigheid.

In deze paragraaf wordt gekozen voor de opzet van DIN 33406, omdat deze uitgaat van de uit te voeren taak en de lichaamsmaten van de gebruikers.

Het wordt bezwaarlijk geacht dat deze norm primair uitgaat van de kijkafstand en alleen in de derde categorie (niet

consequent) van de ellebooghoogte. In deze paragraaf wordt voorgesteld de categorieën te wijzigen en uit te breiden, zoals aangegeven in Tabel 3.5.2.
Een tweede kanttekening bij deze norm betreft de benodigde vrije beenruimte voor zittende werkplekken. Voor de Nederlandse populatie is deze aan de krappe kant. Voorgesteld wordt deze te vervangen door de in Fig. 3.5.2 aangegeven richtlijn.
De DIN-norm is gebaseerd op Duitse lichaamsmaten. Bij het opstellen van de gewijzigde Tabellen 3.5.2 en 3.5.3 zijn de maten voor de Nederlandse populatie gehanteerd.

3.5.3 Werkplekken voor lees- en schrijftaken

Werkhouding
Sinds de vorige eeuw is de lichaamslengte met meer dan 100 mm toegenomen, terwijl de tafelhoogten om onnaspeurbare redenen in dit tijdsbestek met 100 mm verlaagd zijn (Mandal, 1986). De meeste landelijke en internationale meubelnormen, zoals bijvoorbeeld de CEN, adviseren een tafelhoogte van 720 - 750 mm. Vanwege de visuele taak zullen het hoofd en de rug voorover buigen en de belasting van de rug en van de spieren in de nek- en schoudergordel zal toenemen.
Mandal, 1986 suggereert derhalve een verband tussen de geringe tafelhoogte en het grote aantal rugklachten in de geïndustrialiseerde landen.
Uitgaande van de gewenste werkhouding zoals beschreven in Par. 3.5.1 kan niet zonder meer een vaste tafelhoogte worden voorgeschreven. Onderstaande richtlijnen betreffen werkplekken waar wordt gelezen, geschreven of vergelijkbare werkzaamheden worden uitgevoerd. Voor beeldschermwerkplekken wordt verwezen naar Par. 3.5.4.

Werkvlakhoek
Zoals ook het voorlichtingsmateriaal van de arbeidsinspektie aangeeft, wordt een geheel of gedeeltelijk hellend werkvlak aanbevolen voor een goede lichaamshouding.
Dit vlak kan deel uit maken van het tafelblad, of worden gerealiseerd met behulp van een losse lessenaar volgens de volgende specificaties:

- de afmetingen bedragen 400 x 600 mm (diepte x breedte);
- bij lezen is een hoek van 45° gewenst, waarbij het vlak voorzien dient te zijn van een opstaande rand om afschuiven te voorkomen en om de lectuur op de juiste hoogte te kunnen plaatsen (Bendix, 1986)
- ten behoeve van schrijfwerkzaamheden wordt een bladhoek tussen 15 en 30° aanbevolen. Om praktische redenen (afglijden van hulpmiddelen en gereedschap) past men meestal een hoek van 10 à 12° toe.

Werkvlakhoogte en -diepte
Omdat bij dit type werkzaamheden de relatie oog-werk bepalend is voor de lichaamshouding, is de bureauhoogte eveneens van grote invloed op de werkhouding.
NEN 1812 en P 41 geven aan dat, vanwege de individuele verschillen in lichaamsafmetingen, het werkvlak in hoogte verstelbaar dient te zijn van minimaal 620 tot maximaal 820 mm boven de vloer.
Werkvlakhoogten hoeven niet noodzakelijk verstelbaar te zijn. Afstemming op kleine gebruikers is mogelijk door gebruik van een hogere stoel met een voetensteun. Voor langere gebruikers zal het nodig zijn het werkvlak op de benodigde hoogte te brengen door verlengstukken tussen de poten te plaatsen.

Voor schrijfwerkzaamheden wordt algemeen (o.a. Mandal, 1986; Chaffin, 1984) het kriterium gehanteerd dat de bladbovenzijde zich 40 à 60 mm boven de ellebooghoogte bevindt (gemeten bij rechtop zittende houding met onderarmen onder 90° ten opzichte van afhangende bovenarmen). Bij deze houding zullen de armen op het werkvlak afgesteund kunnen worden, waardoor een minimale spierspanning in nek- en schoudergordel optreedt; bij een groter werkvlakhoogte treedt weer verhoogde spierspanning op doordat de schouders opgetrokken worden.
De hoogte van (de voorrand van) het werkblad boven de vloer wordt behalve door de ellebooghoogte bepaald door de hoogte van de stoelzitting.
Het advies (Par. 3.5.1) uit te gaan van een horizontale zitting of een licht voorover gekantelde resulteert in een verschillende stoelhoogte (het verschil in stoelhoogte bij een zitting van respectievelijk 0° en 4° bedraagt ongeveer 50 mm (zie Par. 3.5.6). De zittinghoogte wordt bepaald door de onderbeenlengte. Deze maat is hoog gecorreleerd (corre-

latie .8) met de lichaamslengte. Dat wil zeggen dat een persoon met een bepaalde lichaamslengte vrij zeker een bepaalde onderbeenlengte zal hebben. In de praktijk hoeft daarom geen rekening gehouden te worden met de kleine kans op kleinere of langere onderbeenlengte bij een bepaalde lichaamslengte.

Vaak wordt voor een bepaalde lichaamslengte een bijbehorende tafelhoogte aangegeven (zie ook P 41). Het is echter minder gewenst een vaste tafelhoogte te koppelen aan een bepaalde lichaamslengte. Dit vanwege het feit dat er nagenoeg geen correlatie (.18) bestaat tussen de ellebooghoogte (zittend) en de lichaamslengte. In de praktijk betekent dat dat een persoon van bijvoorbeeld 1.80 m. evengoed een kleine als een grote ellebooghoogte boven de zitting (respectievelijk 196 en 280 mm) kan hebben. In Tabel 3.5.4 zijn als functie van bepaalde lichaamslengten de bijbehorende onderbeenlengte en het spreidingsgebied van de ellebooghoogte aangegeven.

Tabel 3.5.4 Zittinghoogte en tafelhoogte als functie van diverse lichaamslengten van mannen en vrouwen.

		Ten opzichte van de vloer (maten in mm)						
	lichaams-lengte	zitting-hoogte	elleboogh oogte			tafelhoogte		
			5 p.	50 p.	95 p.	5 p.	50 p.	95 p.
1 perc. mn.	1645	420	605	645	690	655	695	740
1 perc. vr.	1500	385	570	610	655	620	620	705
2,5 perc. mn.	1669	425	610	655	695	660	705	745
2,5 perc. vr.	1524	395	580	625	665	630	675	715
5 perc. mn.	1689	435	625	665	705	675	715	755
5 perc. vr.	1544	400	590	630	670	640	680	720
50 perc. mn.	1794	465	660	705	745	710	755	795
50 perc. vr.	1651	435	630	675	715	680	725	765
95 perc. mn.	1899	500	705	745	790	755	795	840
95 perc. vr.	1758	465	670	710	755	720	760	805
97,5 perc. mn.	1919	510	715	760	800	765	810	850
97,5 perc. vr.	1778	475	680	725	765	730	775	815
99 perc. mn.	1943	515	720	765	805	770	815	855
99 perc. vr.	1802	480	685	730	770	735	780	820

Toelichting bij Tabel 3.5.4

De aangegeven maten zijn, uitgezonderd kolom 1, inclusief een toeslag voor schoeisel (voor mannen 30 mm; voor vrouwen 50 mm).

De aangegeven hoogten zijn gebaseerd op een horizontale stand van de zitting. Bij een 4° voorover gekantelde zitting dienen deze waarden met 50 mm verhoogd te worden.

De maten in de kolom "tafelhoogte" betreffen de hoogte van de tafelvoorrand boven de vloer.

Naar aanleiding van de afmetingen in deze tabel kan het volgende opgemerkt worden ten aanzien van de tafel- en stoelhoogteverstellingen.

Zeker als in hoogte verstelbare stoelen en tafels worden toegepast is het alleszins redelijk de verstelbereiken zo

te kiezen dat deze geschikt zijn voor gebruik door een zo groot mogelijke populatie, namelijk van 1. percentiel vrouw tot en met de 99. percentiel man.
Voor die populatie is het benodigde hoogtetraject onderstaand geresumeerd (zie Tabel 3.5.5).

Tabel 3.5.5 Verband tussen zitting- en tafelhoogte.

stand van de zitting	zittinghoogtetraject (van 1 perc. vrouw tot 99 perc. man)	tafelhoogtetraject (van 1 perc. vrouw tot 99 perc. man)
horizontaal	van 385 t/m 515 mm	van 600 t/m 815 mm
4° voorover	van 435 t/m 565 mm	van 650 t/m 865 mm

Alleen indien het werkvlak dun is (zonder draagconstructies binnen de boven- en onderbeenruimte), is het mogelijk een goede lichaamshouding aan te nemen en voldoende mogelijkheden tot houdingsvariatie te bieden. De benodigde vrije been- en voetruimte is in Fig. 3.5.2 aangegeven.

Discussie
De aangegeven richtlijn sluit aan bij de huidige opvattingen over een goede lichaamshouding bij lees- en schrijftaken, maar leidt tot enigszins andere versteltrajekten voor stoel en tafel dan in NEN 1812 aangegeven. Tabel 3.5.4 biedt een goed hulpmiddel bij het bepalen van de individuele instelling van stoel- en tafelhoogte.

3.5.4 Beeldschermwerkplekken

Werkhouding
De aan beeldschermmeubilair te stellen eisen zijn gebaseerd op een goede werkhouding en worden bepaald door het type taak, de tijdsduur van de beeldschermarbeid en de lichaamsmaten van de gebruiker.

Uit onderzoek (Pot, Padmos, Brouwers, 1986) blijkt dat veel klachten veroorzaakt worden door verkeerd ontworpen of verkeerd gebruikt meubilair. Op grond van biomechanische onderzoek (Mandal, 1986) kan gesteld worden dat zittend werken met beeldschermen niet belastend hoeft te zijn voor de wervelkolom, mits een goed gebruik wordt gemaakt van goed meubilair en hulpmiddelen.
Bij beeldschermwerk geldt, evenals voor andere statische werkhoudingen, dat variatie in lichaamshouding noodzakelijk is.

Bij zittende beeldschermarbeid levert een rechtop zittende werkhouding de minste belasting op voor de wervelkolom. Deze houding vormt dan ook het uitgangspunt voor de inrichting en afmetingen en verstelmogelijkheden van het beeldschermmeubilair. Daarbij dienen de bovenarmen verticaal te (kunnen) hangen en de onderarmen dienen met de bovenarmen een hoek van minstens 90° te (kunnen) vormen; de hoek tussen dijbenen en de wervelkolom mag niet minder dan 90° bedragen.
In de resterende vrije ruimte tussen onderarm en dijbeen moet plaats zijn voor het tafelblad en het toetsenbord. Deze lichaamsmaat is nagenoeg niet gecorreleerd met de lichaamslengte. Uitgaande van een gewenste onderarmhoek groter dan 90° en een vrije ruimte tussen bovenkant dijbeen en onderkant tafelblad van ca. 20 mm, blijft voor een groot deel van de gebruikers een ruimte over van ca. 50 mm. Om de werkplek geschikt te laten zijn voor een zo groot mogelijke gebruikersgroep, dient de dikte van het lessenaarblad en het toetsenbord (gemeten ter hoogte van middelste toetsenrij) tesamen niet meer dan 50 mm te bedragen.
(Vanwege bovenstaande reden zijn dikkere toetsenborden en dikke tafelbladen (dus ook toetsenborden geplaatst op draaiplateaus), alleen geschikt voor kortdurend werk. Dikkere opstellingen resulteren bij zittend werk altijd in een slechte werkhouding en zijn door instelbaar meubilair niet te compenseren).
Voor beeldschermwerk geldt, zoals voor iedere werkhouding, dat langdurig in eenzelfde houding werken vermeden moet worden, omdat dan statische belasting optreedt. Daartoe moet worden zorg gedragen voor voldoende variatie in werkzaamheden en taakinhoud, en voor voldoende mogelijkheden om te gaan verzitten. Dat laatste wordt vooral bepaald door de vorm en verstelmogelijkheden van de stoel.

Tafelhoogte en -diepte
De hoogte van het toetsenbord hoeft niet instelbaar te zijn (Knave, 1986). Voorwaarde is wel dat voldoende beenruimte beschikbaar is. Indien de vrije hoogte onder de tafel 700 mm bedraagt is ook voor gebruikers met langere benen voldoende beenruimte beschikbaar. Kleinere (en een deel van de middelgrote) gebruikers kunnen de onderarmen ten opzichte van het toetsenbord op de juiste hoogte brengen door de stoel (bij voorkeur met een gasveer) in hoogte te verstellen en de voeten te ondersteunen met een voetensteun.
Op basis van de gehanteerde uitgangspunten voor de werkhouding dient bij een horizontale stoelzitting en een in hoogte verstelbare tafelhoogte, de hoogte van het midden van het toetsenbord tot aan de vloer, afhankelijk van de lichaamslengte, ingesteld te kunnen worden tussen 600 en 800 mm. Bij een voorover gekantelde stoelzitting bedragen deze hoogten 50 mm meer.

De vereiste voet- en beenruimte is aangegeven in Fig. 3.5.2. Zoals genoemd, zijn bij beeldschermwerkplekken een dun tafelblad en een opstakelvrije beenruimte van het grootste belang.
De diepte van de tafel dient bij gebruik van beeldschermen met kathodestraalbuizen ongeveer 800 mm te bedragen.

Beeldschermplaatsing
De gebruiker moet vrij zijn in het kiezen van de kijkafstand, variërend van 300 tot 700 mm. De gewenste kijkafstand bedraagt ongeveer 550 mm. Kleine kijkafstanden zijn minder gewenst en zullen door de gebruiker slechts sporadisch verkozen worden. Onderzoek van Jaschinski- Kruza, 1988 wijst uit dat bij grotere kijkafstanden (met daarop afgestemde tekengrootte) minder snel vermoeidheid optreedt.
Een voorziening om het beeldscherm te kantelen is nuttig (om het beeldscherm onder de gewenste kijkhoek in te stellen en om door middel van voorover kantelen eventuele spiegeling te verminderen).
De hoek waaronder de gebruiker naar het midden van het beeldscherm kijkt, bedraagt 25° (± 10°). Binnen dit gebied treedt minimale belasting van rug- en oogspieren op (zie Par. 2.1). Het beeldscherm dient bij voorkeur recht voor de gebruiker en loodrecht op de kijkrichting geplaatst te

worden. De uiteindelijke plaatsing wordt echter bepaald door de bedrevenheid van de gebruiker en de uit te voeren taak. Zo zal een onervaren gebruiker veelvuldig heen en weer kijken van toetsenbord naar beeldscherm, en daarom het beeldscherm lager willen plaatsen. Ervaren typisten zullen verhoudingsgewijs maar weinig naar het beeldscherm kijken en het concept centraal in het gezichtsveld willen plaatsen, met het beeldscherm eronder, erboven, of ernaast. Doordat de hoogte van de ellebogen bepalend is voor de werkhouding zullen de ooghoogten van kleine en lange gebruikers slechts weinig verschillen. In hoekmaat bedraagt dat verschil ca. 7°. Gegeven de toelaatbare spreiding in de gewenste kijkhoek is het verschil in lichaamslengte geen noodzakelijk voorwaarde om een in hoogte verstelbaar beeldschermplateau te gebruiken. In verreweg de meeste situaties zal men kunnen volstaan met een vaste beeldschermhoogte.

Documenthouder

Zoals bovenstaand en in V 13 is aangegeven, kunnen (afhankelijk van de taak en ervaring) beeldscherm en concept wedijveren om de beste plaats in het gezichtsveld. Algemeen geldt:

- om ongewenste hoofdhoudingen en te grote kijkhoeken te voorkomen verdient het gebruik van een documenthouder sterke aanbeveling;
- de documenthouder wordt bij voorkeur naast, of desgewenst onder, het beeldscherm geplaatst (Knave, 1986). Plaatsing links van het beeldscherm heeft als voordeel dat concept en beeldscherm in een oogbewegingsrichting gelezen kunnen worden. De documenthouder dient in plaats en hoek verstelbaar te zijn. Het document dient zich 150 à 200 mm boven de tafelhoogte te bevinden onder een hoek van 20 à 40° ten opzichte van de verticaal (Knave, 1986).

Stoel

Bij beeldschermarbeid is een goede stoel (conform NEN 1812), waarvan de instellingen tijdens het zitten eenvoudig te veranderen zijn, noodzakelijk; zie Par. 3.5.6. De aanbevelingen voor de lichaamshouding en de stoel, zoals aangegeven in Par. 3.5.1, gelden ook voor beeldschermwerk. Omdat bij deze werkzaamheden de romp recht gehouden kan worden, maar desgewenst ook achterover kan hellen, dient de stoelzitting enigszins achterover te kunnen kantelen. Daarmee wordt het gebruik van de rugsteun bevorderd.

De gewenste stoelhoogten zijn de volgende:

Tabel 3.5.6 Verband tussen toetsenbord- en stoelhoogte bij beeldschermwerk.

toetsenbordhoogte	stoelhoogte	
vaste hoogte van max. 750 mm	1 perc. vrouw 590 mm	99 perc. man 515 mm
verstelbare hoogte van 600 - 800 mm	1 perc. vrouw 390 mm	99 perc. man 515 mm

Het bovenstaande overzicht geldt voor een horizontale stoelzitting; bij een voorover gekantelde zitting bedragen de hoogten 50 mm meer.
Uit de stoelhoogten blijkt dat kleinere personen bij een vaste tafelhoogte de stoel hoger dan lange gebruikers in zullen willen stellen om in een goede (arm)houding te kunnen werken. Dit is slechts mogelijk door gebruik van een goede voetensteun (zie Par. 3.5.6).

In onderstaande figuur zijn de aanbevelingen weergegeven. De figuur is ontleend aan V 13 en waar nodig aangepast.
In Tabel 3.5.7 worden de gewenste hoogten van zitting en voetensteun als functie van de hoogte van het toetsenbord aangegeven.

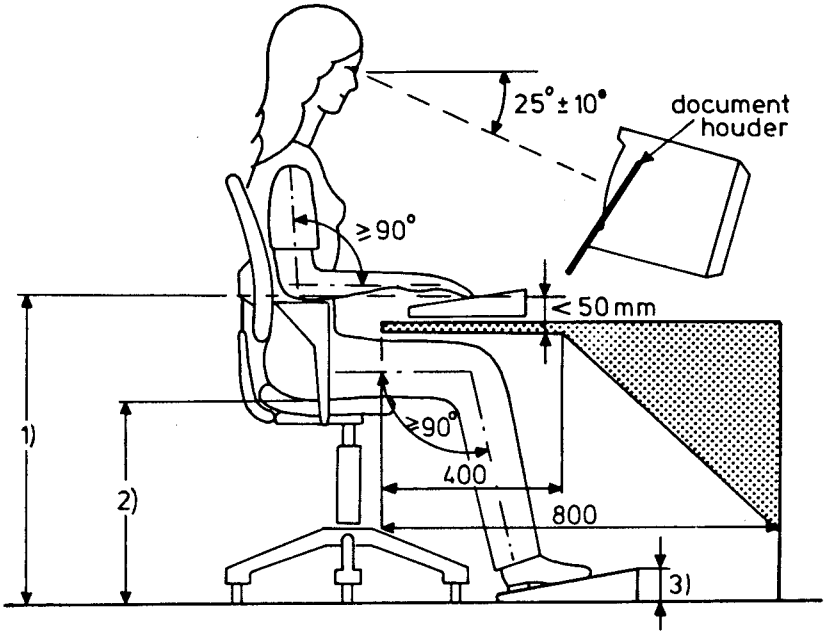


Fig. 3.5.6 Uitgangspunten voor een goede werkhouding.

Tabel 3.5.7 Verband tussen toetsenbord- en zittinghoogte.

Toetsenbordhoogte[1)]	Zittinghoogte[2)]	Voetensteunhoogte[3)]
Vast; max. 750 mm	515 tot 590 mm	50 tot 200 mm
Verstelbaar; 600 - 800 mm	390 tot 565 mm	---

Discussie

Beeldschermwerkplekken hebben in het recente verleden veel klachten van gebruikers opgeleverd. In het Voorlichtingsblad van de Arbeidsinspectie (V 13) worden adequate richtlijnen gegeven voor het ontwerp en de inrichting van beeldschermwerkplekken. Desondanks moet geconstateerd worden dat uitgaven van geneeskundige en Arbo-diensten soms op essentiële onderdelen van V 13 afwijken, hetgeen misverstanden in de hand werkt.

Het belang tot naleving van deze richtlijnen wordt groter naarmate de beeldschermplek langduriger gebruikt wordt.
In aanvulling op V 13 zijn in deze paragraaf een aantal aanbevelingen gedaan.

- V 13 gaat uit van in hoogte verstelbaar meubilair.
  Een in hoogte verstelbare tafelhoogte wordt op grond van deze paragraaf slechts in een beperkt aantal gevallen noodzakelijk geacht. Voorwaarde is wel dat bij gebruik van een vaste tafelhoogte aan de overige aanbevelingen wordt voldaan, zoals voldoende beenruimte o.a. door een geringe hoogte van toetsenbord + werkvlak, een in hoogte verstelbare stoel en zonodig een voetensteun;
- de in de NEN- en DIN-normen en de voorlichtingsbladen van de arbeidsinspectie aangegeven vrije beenruimte aan de onderzijde van het tafelblad verdient aanpassing, gegeven de uitgangspunten voor een goede zithouding;
- ter voorkoming van ongewenste kijkrichtingen en kijkhoeken verdient het aanbeveling, vooral bij langdurige beeldschermarbeid, nadrukkelijker te streven naar een goed opgestelde documenthouder;
- recent onderzoek wijst uit dat de optimale kijkafstand groter dient te zijn dan 500 mm (met daarop afgestemde tekengrootte).

Aanbevelingen voor inrichting van beeldschermwerkplekken voor (kortdurend) staand gebruik worden niet gegeven, omdat deze eenvoudig zijn te ontlenen aan deze richtlijn en de antropometrische gegevens uit Par. 2.1. (toetsenbordhoogte vrijwel op ellebooghoogte, beeldscherm ongeveer 25° onder ooghoogte).

3.5.5 Werkplekken voor bedieningstaken

Functionele eisen
Indien meerdere bedieningsmiddelen en displays op een werkplek zijn geplaatst verdient het aanbeveling deze in een speciaal meubel (console) onder te brengen, opdat een functionele plaatsing van bedieningsmiddelen en displays mogelijk is.
In deze paragraaf zal worden aangegeven met welke aspecten bij de inrichting en beoordeling van consoles rekening dient te worden gehouden.

- Bij langduriger werkzaamheden dient de console geschikt te zijn voor zittend gebruik. Daarbij dient voldoende beenruimte beschikbaar te zijn; zie Fig. 3.5.2. Karakteristieke consolevormen voor zittend en staand gebruik zijn aangegeven in Fig. 3.5.7 en 3.5.8;
- Belangrijke bedieningsmiddelen dienen binnen handbereik geplaatst te zijn bij voorkeur in een schuin geplaatst vlak; zie Fig. 3.5.7 en 3.5.8;
- Belangrijke aanwijsmiddelen dienen zich binnen het blikveld te bevinden; zie ook Fig. 2.1.6;
- Beeldschermen dienen zodanig geplaatst te worden dat deze ook voor oudere operators afgelezen kunnen worden; zie Par. 3.1;
- Functioneel bij elkaar behorende aanwijs- en bedieningsmiddelen zodanig groeperen en vormgeven dat de kans op verwisselingen geminimaliseerd wordt; zie ook Par. 3.3;
- Aanwijs- en bedieningsmiddelen rangschikken naar belangrijkheid, gebruiksfrequentie en gebruiksvolgorde;
- Integreer de verlichting met het ontwerp en plaatsing van de console. In veel gevallen kunnen hinderlijke spiegelingen in beeldschermen worden voorkomen door de plaats daarvan in de console enigszins te wijzigen, of door een andere plaatsing van de console ten opzichte van de verlichtingsarmaturen;

Consolevorm en -indeling

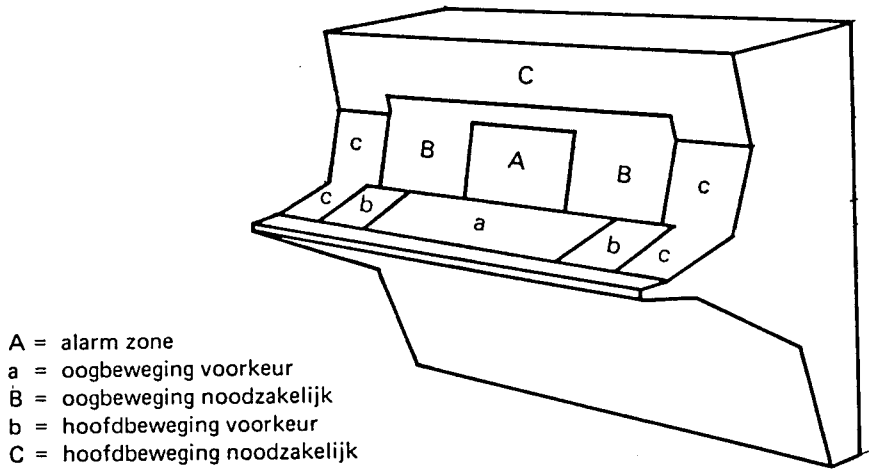


Fig. 3.5.7 Voorbeeld van een mogelijke consolevorm en -indeling voor zittende bediening (naar Kellerman et al., 1979). Zie voor beenruimte Fig. 3.5.2.

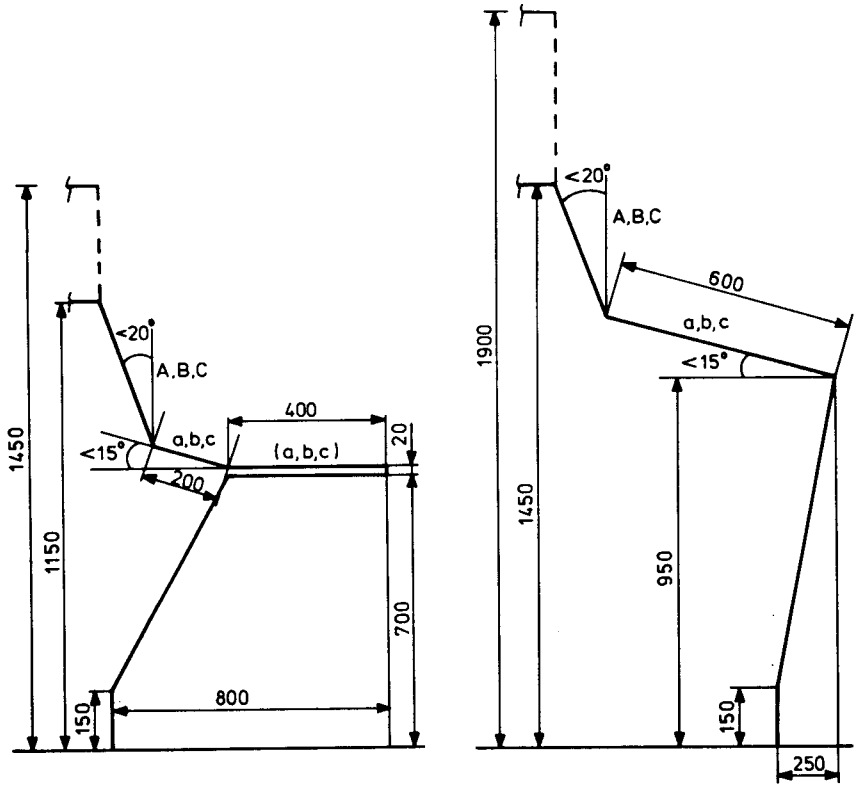


Fig. 3.5.8 Karakteristieke consolevormen voor zittende en staande bediening (naar Schuffel, 1987).

In Fig. 3.5.7 en 3.5.8 zijn een traditionele consolevormen weergegeven, met daarbij de optimale plaatsingsgebieden voor aanwijs- en bedieningsmiddelen, ingedeeld naar prioriteit en gebruiksfrequentie. De in de figuren gegeven vlakken geven een indicatie. Deze kunnen, afhankelijk van de afmetingen van de componenten en de verlichtingsomstandigheden, per toepassing verschillen.
De toelaatbare dikte van het lessenaarblad wordt bepaald door de uit te voeren motorische taak. Voor taken waarbij veelvuldig een toetsenbord gebruikt wordt, geldt dezelfde richtlijn als voor beeldschermwerkplekken; de dikte van toetsenbord + tafelblad mag max. 50 mm bedragen.
Voor andere toepassingen mag de dikte max. 100 mm bedragen.

Discussie
In de praktijk blijkt veelvuldig dat consoles in sterke mate afwijken van de hier gegeven richtlijnen en dat dit aanleiding geeft tot klachten. Dit betreft in het bijzonder het ontbreken van voldoende beenruimte (o.a. door een te dik lessenaarblad). Ook wordt vaak hinder van spiegelingen ervaren, hetgeen meestal het gevolg blijkt te zijn van een gebrek aan afstemming tussen console-ontwerp en -plaatsing, en de verlichtingsinstallatie.

3.5.6 Lichaamsondersteuning

Functionele eisen
Ter bevordering van een houding met minimale belasting van het skeletstelsel dient het lichaam zoveel mogelijk ondersteund te worden. Bij de stoel, als het daartoe meest geëigend middel, zijn de aanwezigheid en instelmogelijkheden van de zitting en de lage rugsteun de belangrijkste aspecten die samen met de werkplek en de taak de lichaamshouding bepalen. De hoogte van de zitting ten opzichte van de goed afgesteunde voeten (op de vloer of voetensteun) is afhankelijk van de individuele lengte van het onderbeen (CV 9). Bij een vrijwel horizontale stand van de zitting worden de bovenbenen op de juiste wijze ondersteund als de zittinghoogte als volgt wordt ingesteld;

De zittinghoogte is opgebouwd uit de onderbeenlengte plus 30 tot 50 mm extra voor de schoeiselhoogte en een aftrek van 20 mm vrije ruimte om te sterke weefseldruk aan de onderzijde van het bovenbeen te voorkomen.
Een enigzins voorover gekantelde zitting is aan te bevelen waar de relatie oog-werk dwingend is. In dat geval bedraagt de zittinghoogte ongeveer 50 mm meer.
Bij werkzaamheden waarbij de romp enigszins achterover kan hellen, kan de romp beter afgesteund worden tegen de rugleuning. Een stoelzitting die enigszins achterover kan hellen is dan gewenst.
In deze paragraaf worden de diverse typen lichaamsondersteuning behandeld, zoals de kantoor- en industriële stoelen, de kniestoel, de stahulp en de voetensteun.
De volgende termen worden gehanteerd:
Kantoorstoelen; zoals gebruikt bij kantoor(achtige) werkzaamheden.
Werkstoelen; waar het industriële werkplekken betreft.
Instelbaar; min of meer eenmalig (niet zittend).
Verstelbaar; als deze vanuit zittende houding eenvoudig uit te voeren is.

Kantoorstoelen
De dimensionering en uitvoering van kantoorstoelen is vastgelegd in NEN 1812. Onderstaand worden de belangrijkste aspecten puntsgewijs aangehaald (waar noodzakelijk geacht, zijn deze gewijzigd).
In de Paragrafen 3.5.2 t/m 3.5.4 is reeds ingegaan op de gewenste zittinghoogte voor de diverse soorten werkplekken.

Wielen
Geen zwenkwielen, als deze niet nodig zijn (glijdoppen aanbevolen). De stoel moet wel draaibaar zijn om de eigen as. Wanneer wel zwenkwielen nodig zijn, moeten deze geremd zijn in het geval dat men er niet op zit. Op harde vloerbedekking, zachte wielen toepassen.

Voet
Stabiel; diameter van de (verplichte) vijfpoot ca. 500 à 550 mm, maximaal 730 mm.

Armsteunen
Geen armsteunen bij beperkte ruimte! Men moet gemakkelijk kunnen gaan zitten en opstaan.
Armsteunen mogen niet storen bij het aanschuiven van de stoel. De minimale afstand van voorzijde zitting tot voorzijde armleuning bedraagt 150 mm.
Hoogte van vaste armsteunen ten opzichte van belaste zitting: 240 ± 10 mm.
Instelbare armsteunhoogte ten opzichte van zitvlak min. 200, maximaal 300 mm; in dat geval minimaal 4 gelijke stappen.
Breedte tussen de armsteunen; 480 ± 20 mm.

Bekleding
Zitting en rugleuning bekleed met meubelstof in verband met ventilatie.
Stoffering van de zitting zacht, maar niet te dik; bijvoorbeeld 40 à 60 mm schuimrubber (indrukking maximaal 25 mm). Voor de rugleuning is een geringere dikte voldoende.

Zitting
Zittinghoogte instelbaar, hoogte in belast toestand; van 390 t/m 560 mm.
Stand zitting: bijvoorkeur horizontaal. Een achterover hellende stand van 4° is gewenst. Een mogelijkheid tot enigszins voorover hellend instellen (maximaal 4°) verdient aanbeveling.
De vorm van de zitting bij voorkeur vlak of nagenoeg vlak (in verband met bewegingsvrijheid). Afronding van voorzijde zitting r > 50 mm.

Diepte zitting	: optimaal ≥ 440 mm.
Breedte zitting	: optimaal ≥ 400 mm.

Rugleuning

Blad rugleuning	: in de hoogte verstelbaar over tenminste 80 mm.
Stand rugleuning	: voor- en achterwaarts verstelbaar.
Blad rugleuning	: scharnierend bevestigd; bij voorkeur niet verend.
Blad rugleuning	: breed 400 ± 40 mm
Blad rugleuning	: lage rugleuning 200 ± 20 mm hoog, hoge rugleuning maximaal 350 mm.

Blad rugleuning : gewelfd in het horizontale vlak; straal van de holte ca. 300 à 350 mm. Ook enigszins naar voren gewelfd in het verticale vlak.

Afstand van onderrand rugleuning tot zitting minstens 120 mm.

Werkstoelen

Voorlichtingsblad P 41 geeft aan dat een werkstoel voor industrieel gebruik aan de volgende eisen moet voldoen:

- grote degelijkheid
- vormgeving analoog aan NEN 1812
- voldoende ventilerend, eenvoudig te reinigen, en enigszins stroef materiaal (bij gladde zittingen dient de zitting achterover te hellen om afglijden te voorkomen. Deze zithouding is vaak strijdig met een goede lichaamshouding).

Werkstoelen voor een gecombineerde zit-sta werkplek worden wel gebruikt in situaties waar men veelvuldig moet gaan staan en zitten. Ten opzichte van de werkstoelen met een gangbare hoogte is, afhankelijk van de taak en werkplek, een hoogte-instelling nodig tussen 530 en 950 mm. (Het berekenen van de benodigde stoelhoogte in relatie tot de taak en het type werkplek is aangegeven in Par. 3.5.2).
In sommige gevallen wordt het voetensteunvlak vervangen door een aan de stoel bevestigde voetenring. Vanwege het geringe steunvlak is dit slechts geschikt voor kortdurende afsteuning. Een uit een vlak bestaande voetensteun verdient de voorkeur. Voorwaarde daarbij is dat de hoogte van de steunvlak ten opzichte van de zitting is af te stemmen op de individuele onderbeenlengte en bij verstelbare zittinghoogte daaraan gekoppeld in hoogte varieert. Voor gebruik door een kleine vrouw en lange man dient dit instelbaar te zijn tussen 390 en 560 mm ten opzichte van de zitting.
Dit steunvlak dient minstens 50 mm voor de stoelzitting uit te steken (Schmidtke, 1981). Als de stoel niet aan de vloer verankerd is, bestaat een reële kans op omvallen bij het opstappen. Voldoende stabiliteit is slechts gewaarborgd indien aan de volgende voorwaarde wordt voldaan; $0,4\ D - A > 0$; waarbij D = straal van de voet, en A = straal van de voetensteun.

Vanwege betere mogelijkheden tot variatie van de stand van benen en voeten verdient een groter steunvlak in de vorm van een (losse) voetensteun de voorkeur; zie onderstaande beschrijving.
De op de werkplek benodigde vrije beenruimte teneinde goed in- en uit te kunnen stappen is aangegeven in Fig. 3.5.2d.

Voetensteunen
Een goede afsteuning van de voeten vormt een elementaire voorwaarde voor het kunnen werken in een goede werkhouding. Bij in hoogte ver- en instelbare tafels vormt de vloer het voetensteunvlak. Aangezien dat meubilair echter kostbaar is, zal aanschaf niet altijd mogelijk zijn. Anderzijds is in hoogte verstelbaar meubilair niet altijd noodzakelijk.
Voor het kunnen werken in een goede werkhouding bij een vaste werkvlakhoogte gelden de volgende voorwaarden;
- een in hoogte verstelbare stoel;
- voldoende voet- en beenruimte;
- een goede voetondersteuning.

In veel praktijksituaties kan geconstateerd worden dat slechte werkhoudingen mede voortkomen uit het ontbreken van een additionele voetensteun. Dit geldt in het bijzonder bij type- en beeldschermwerkplekken. Bij het ontbreken van een voetensteun wordt de hoogte waarop vooral door kleinere gebruikers de werkzaamheden worden uitgevoerd, bepaald door de voeten in plaats van de handen en/of de ogen.

DIN 4556 geeft aanbevelingen voor de uitvoeringsvorm (zie Fig. 3.5.18) van de voetensteun voor bureauwerkplekken. Voor veel gelijksoortige werksituaties zal deze uitvoering ook geschikt zijn.

Uitvoeringsaspecten
- het steunvlak moet in hoogte en hoek instelbaar zijn;
- het steunvlak moet slipvrij zijn uitgevoerd;
- de steun dient gevrijwaard te zijn van scherpe kanten;
- de verstellingen dienen eenvoudig te kunnen worden uitgevoerd en goed gefixeerd te kunnen worden;
- indien voor de taakuitvoering een voetschakelaar bedient moet worden, dient deze op de daarvoor bestemde plaats in de steun te worden geplaatst.

De gewenste plaats van de voetensteun ten opzichte van de tafel en stoel is in Fig. 3.5.10 aangegeven, maar de steun dient bij voorkeur verplaatsbaar te zijn.

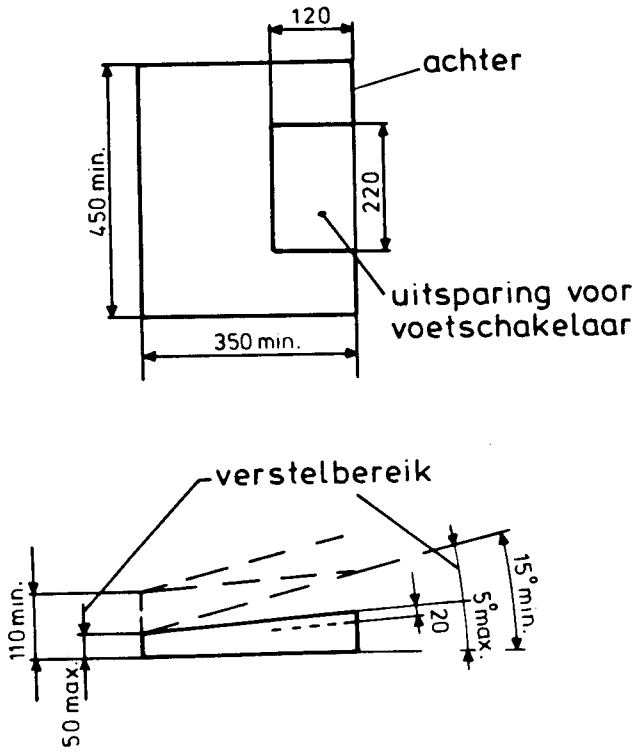


Fig. 3.5.9 De uitvoeringsvorm van de in DIN 4556 beschreven voetensteun.

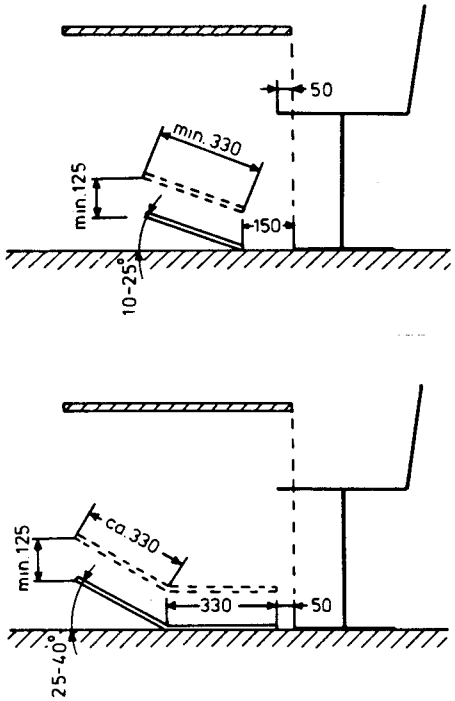


Fig. 3.5.10 De plaats van de voetensteun ten opzichte van de voorzijde van de stoel en het werkblad (naar Schmidtke, 1981).

Kniestoelen

Het voorlichtingsblad CV 9 geeft aan dat de kniestoel niet te lang kan worden gebruikt in verband met de kniebelasting, de beperkte bewegingsvrijheid van de benen en het ontbreken van de rugsteun (zie ook Par. 3.5.1).
Vanwege de gefixeerde romphouding (de stoel kan niet gedraaid worden) is de stoel alleen bruikbaar bij werkzaamheden die recht voor het lichaam worden uitgevoerd. Veelvuldig op- en afstappen wordt bemoeilijkt door de uitvoering van de stoel. Desgewenst kan worden overwogen dit type stoel in afwisseling met een kantoorstoel te gebruiken.

Stastoelen

Niet in alle situaties is zittend werken te realiseren. In deze gevallen kan het gebruik van een stasteun vaak een oplossing bieden. Het gebruik van een stasteun reduceert de statische belasting van het lichaam en in het bijzonder die van de benen en voeten met ca. 60%.

Publicatieblad P 41 en Par. 3.5.1 geven aan in welke gevallen stasteunen effectief gebruikt kunnen worden:
- als men niet kan zitten omdat de mogelijkheid ontbreekt om de werkplek van voldoende been- en voetruimte te voorzien;
- bij zwaar tillen of trekken en bij variabele taken, in combinatie of afwisselend met herhaalde beweging, visuele aandacht en precisiewerk.

Stasteunen komen in twee vormen voor; star uitgevoerde en met een zogenaamde pendelvoet. De pendelvoet maakt weliswaar een grotere reikwijdte mogelijk, maar levert ook een groter ongevalsrisico op, zodat gebruik daarvan ontraden moet worden.

Onderstaande richtlijnen voor stasteunen zijn ontleend aan P 41 en aan de publicatie: Stehhilfen am Arbeitzplatz, 1982.

Hoogteverstelling: Bij voorkeur met gasveer vanuit gebruikstoestand te bedienen. Bereik: 650 tot 920 mm. De voorkeurshoogte komt overeen met ca. 40% van de lichaamslengte.

Been- en voetruimte: Stasteunen worden meestal toegepast op werkplekken met vrijwel geen been- en voetruimte (zie Fig. 3.5.2). Vaak wordt niet onderkent dat men voor een effectief gebruik van de stasteun over enige been- en voetruimte dient te beschikken om de taak in een verantwoorde lichaamshouding te kunnen uitvoeren. De benodige been- en voetruimte is aangegeven in Fig. 3.5.2b.

Steunvlak: De hellingshoek van het steunvlak dient 15 tot maximaal 30° te bedragen. Een instelbare hellingshoek is niet noodzakelijk.
Om misbruik van de stasteun (als stoel) te voorkomen mag de hellingshoek niet vlak (0°) kunnen worden ingesteld.
De afronding aan de voorzijde dient 60 mm te bedragen (r).
Het steunvlak dient degelijk bevestigd te zijn; de breedte dient minimaal 350 mm te bedragen en de diepte minimaal 150 mm (een veel grotere diepte veroorzaakt echter ontoelaatbare druk op de onderzijde van het bovenbeen).

Rugsteun: Een rug- of lendesteun kan gewenst zijn, maar gebruik daarvan dient de stabiliteit niet nadelig te beïnvloeden en niet ten koste te gaan van de steundiepte. De hoogte van de lendesteun bedraagt ongeveer 250 mm en is onder een hoek van 15° achterover geplaatst.

Overige aspecten: Door gebruik van de stasteun zal de ooghoogte ca. 150 mm verlaagd worden. Daarmee moet rekening gehouden worden, zo mogelijk door de werkhoogte instelbaar te maken in het geval van een afwissend staande of gesteund staande werkhouding. Deze noodzaak geldt in het bijzonder indien de afstand oog- werk kritisch is.
Indien voldoende beenruimte beschikbaar is, zal de reikwijdte nagenoeg niet verminderen.
Het wegglijden van de voeten kan worden voorkomen door het aanbrengen van vast en hellend voetensteunvlak op de vloer.

Discussie

In deze paragraaf is bij de betreffende onderdelen aangegeven op welke punten bijstelling van de meubelnorm NEN 1812 en de publicaties van de arbeidsinspectie (V 13, CV 9 en P 41) wenselijk geacht wordt. In de praktijk kan geconstateerd worden dat de stasteun en voetensteun weinig worden toegepast. Vanwege het belang voor de lichaamshouding en -belasting worden deze punten in de Arbo-voorlichting aanbevolen.

Normen, wet- en regelgeving

NEN 1812; Ergonomische criteria voor kantoorwerkstoelen en kantoorwerktafels.
DIN 4556; Fussstutzen fur den Buroarbeitsplatz.
DIN 33406; Arbeitsplatzmasse im Produktionsbereich.
DIN 33414; Ergonomische Gestaltung von Warten.
DIN 66234; Teil 6 Bildschirmarbeitsplatze.

Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en werkplaatsen:
Artikel 186b V.B.F.

"1. Aan een arbeider die arbeid verricht, welke geheel of gedeeltelijk zittend kan worden uitgevoerd moet daartoe een aan de arbeid aangepaste zitgelegenheid ter beschikking gesteld zijn."

Richtinggevende publicaties van de Arbeidsinspectie

V 13; "Werken met beeldschermen".

P 41; "Zittend en staand werken, ergonomische aspecten".

CV 9; "Fysieke belasting".

Meetmethode en -apparatuur

Niet van toepassing.

Literatuur

Beeldschermergonomie; Uitgave Nederlandse Vereniging voor Ergonomie, Amsterdam, 1985.

Bendix, T. In The ergonomics of working posture. Taylor and Francis. Londen, 1986.

Cakir, A., Hart, D.J. en Stewart, T.F.M. Visual Display Terminals. New York, John Wiley and Sons, 1980.

Chaffin, D.B. en Andersson, G. Occupational Biomechanics. J. Wiley and Sons. New York, 1984.

Dirken, D.J. Antropometrische ontwerpstatistiek. Tijdschrift voor Ergonomie, juni 1984.

Eastman Kodak Company. Ergonomic design for people at work. Volume 1, Lifetime Publications, 1983.

Ergonomic Principles in Office Automation. Ericsson Information Systems, Stockholm, 1983.

Jaschinsky-Kruza, W. Visual strain during VDU work: the effect of vieuwing distance and dark focus. In: Ergonomics, 1988, vol. 31, no. 10, 1449-1465.

Kellerman, F.T. et al. Vademecum ergonomie. Kluwer, Deventer, 1979.

Knave, B en Wideback, P.G. (ed). Work with visual display units. Elsevier, Amsterdam, 1986.

Mandal, A.C. in The ergonomics of working posture. Taylor and Francis. Londen, 1986.

Proceedings Work With Display Units Part 1 and 2, Stockholm, 1986, Stockholm, 1983.

Pot, F.D., Padmos, P. en Brouwers, A.A.F. Achter de schermen. Samenhang tussen functie-inhoud, ergonomische condities, gezondheid en welbevinden bij beeldschermwerk op kantoren. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1986.

Schmidtke, H. Lehrbuch der Ergonomie. Carl Hanser Verlag, Munchen, 1981.

Schuffel, H. (ed.). Richtlijnen voor het beoordelen van de ergonomie van procesregelkamers. TNO/IZF, Soesterberg 1987 C-30.

Snijders, C.J. In: Biomechanica van het skeletsysteem, door Frankel en Nordin. De tijdstroom, Lochem, 1984.

Windberg H.J. et al. Stehhilfen am Arbeitsplatz. Forschungsbericht nr. 322. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung. Wirtschafsverlag NW, Bremerhaven, 1982.

3.6 Werkruimte

Inleiding

Bij de dimensionering van werkruimten dient rekening te worden gehouden met het aantal personen in de ruimte, de uit te voeren werkzaamheden, het benodigde meubilair en de benodigde ruimte voor onderhoud.

In de Nederlandse wet- en regelgeving en in de voorlichtingsbladen van de Arbeidsinspectie worden daarvoor slechts in beperkte mate voorschriften en richtlijnen gegeven. Het Veiligheidsbesluit voor fabrieken en werkplaatsen maakt, met het oog op de gezondheid, onderscheid tussen schadelijke en onschadelijke ruimten. Daaraan gerelateerd geeft het Veiligheidsbesluit de vereiste plafondhoogte aan en het benodigde vrije luchtvolume (zie ook P 30: Bouw en inrichting van bedrijfsruimten).

3.6.1 Ruimte-afmetingen

Vloeroppervlak

Voor bureauruimten hanteert de Franse norm NF X 35-102 de volgende minimum waarden:

Werkruimte voor 1 persoon,	9 m^2 vloeroppervlak
Werkruimte voor 2 persoon,	12 m^2 vloeroppervlak
Werkruimte voor 3 persoon,	21 m^2 vloeroppervlak
Werkruimte voor 4 persoon,	32 m^2 vloeroppervlak
Werkruimte voor 5 persoon,	45 m^2 vloeroppervlak
Werkruimte voor 6 of meer personen,	10 m^2 vloeroppervlak per persoon

Ruimteverhouding

Als lengte/breedte verhouding van de ruimte wordt aanbevolen (NF X 35-102):

- bureauruimten < 25 m^2: l/b = < 2
- bureauruimten > 25 m^2: l/b = < 3

Plafondhoogte

De gewenste plafondhoogte van 2.80 m en de minimaal vereiste van 2.50 m (zonder visuele obstakels) zoals aangegeven in NF X 35-102 stemmen overeen met de in het Veiligheidsbesluit genoemde waarden.

Door de Arbeidsinspectie worden wel de volgende richtwaarden gebruikt ten aanzien van de netto hoogte (bron bij auteur onbekend):

Vloeroppervlak < 50 m^2	2,4 m netto hoogte
Vloeroppervlak > 50 m^2	2,5 m netto hoogte
Vloeroppervlak > 100 m^2	2,7 m netto hoogte
Vloeroppervlak > 200 m^2	3,0 m netto hoogte
Vloeroppervlak > 500 m^2	3,3 m netto hoogte
Vloeroppervlak > 1000 m^2	3,6 m netto hoogte

Passages

In het Veiligheidsbesluit voor fabrieken en werkplaatsen (art. 33 t/m 43) worden voorschriften gegeven met betrekking tot de uitvoering van deuropeningen, gangen en trappen. Daarbij wordt de breedte van de doorgang gerelateerd aan het aantal personen dat daarvan gebruik maakt.
Voor de meest relevante verkeersruimten worden aanbevelingen gedaan, onderscheiden naar gang- en doorloopbreedten in gebouwen en technische ruimten, deuropeningen en trappen.

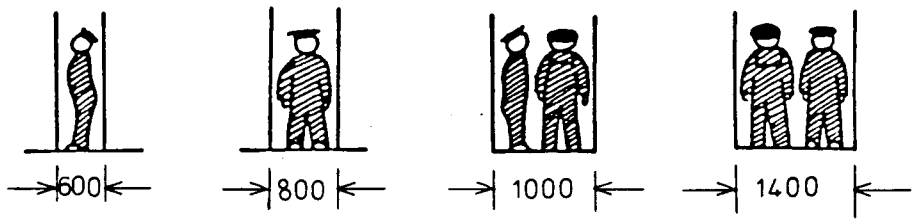


Fig. 3.6.1 Aanbevolen minimum gangbreedten (gerelateerd aan verkeerssoort) (maten in mm).

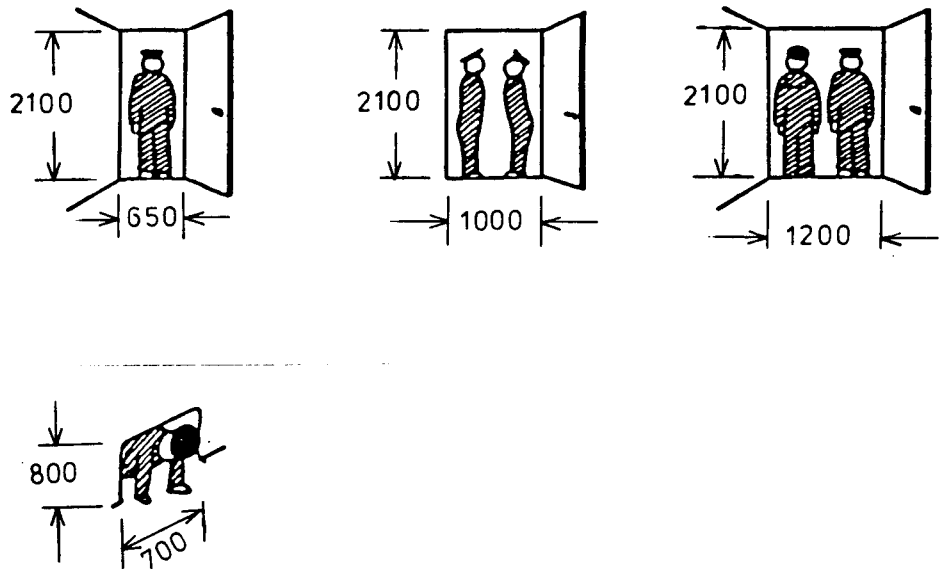


Fig. 3.6.2 Aanbevolen minimum dagmaten voor deuropeningen en kruipruimten (maten in mm).

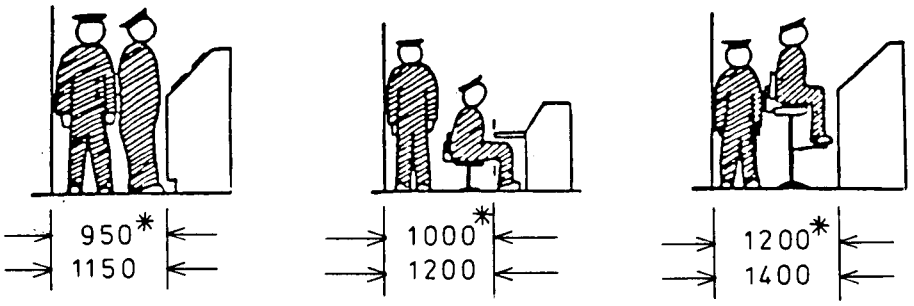


Fig. 3.6.3 Aanbevolen en minimale (*) doorloopruimten in technische omgevingen (maten in mm).

Ruimte voor onderhoud

Hier wordt een overzicht gegeven van de voor de mens benodigde ruimte voor onderhoud in de meest voorkomende situaties. De opgenomen aanbevelingen zijn ontleend aan Kodak, 1983 en gecorrigeerd voor de grotere lichaamslengte van de Nederlandse (mannelijke) populatie. Naast de voor de mens benodigde serviceruimte dient vanzelfsprekend rekening

gehouden te worden met de benodigde ruimte aan de apparatuurzijde, zoals: moet het onderhoud uitgevoerd worden aan de voor- of achterzijde, is de apparatuur vast gemonteerd of op sleden?

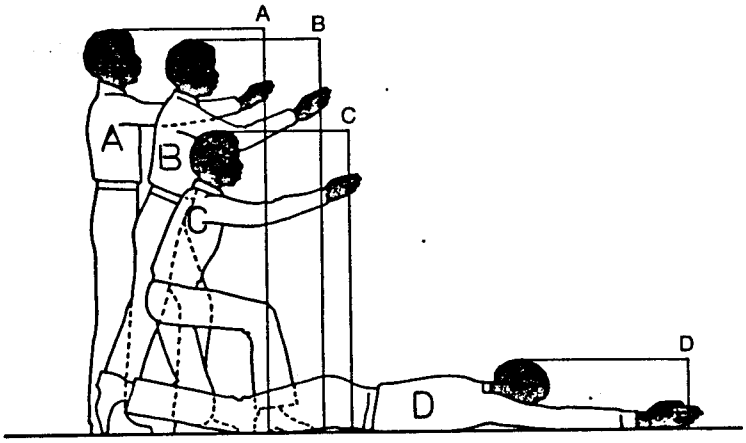


Fig. 3.6.4a Minimale onderhoudsruimte bij staande werkhouding (naar Kodak, 1983) (maten in mm).

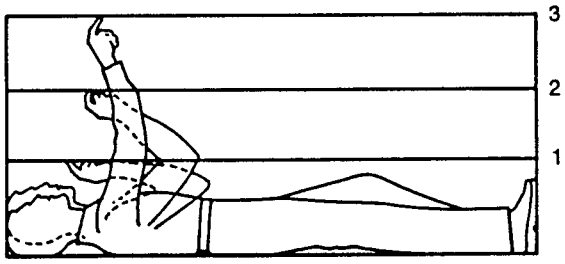


Fig. 3.6.4b Minimale onderhoudsruimte bij liggende werkhouding (naar Kodak, 1983) (maten in mm).

Werkhouding (Fig. 3.6.4a)	Verticaal	Horizontaal
A) Staand	2100	750
B) Staand, benen afgesteund	2100	1000
C) Knielend	1200	1200
D) Liggend, armen gestrekt	450	2400
Werkhouding (Fig. 3.6.4b)		
1) Inspectietaken	450	2100
2) Lichte mechanische arbeid	600	2100
3) Zwaardere mechanische arbeid met 200 mm lang gereedschap	800	2100

Bijzonderheden over de toepassing
Bij het aangegeven aantal m^2 vloeroppervlak per persoon, is 2 m^2 bureauruimte inbegrepen. Voor bijvoorbeeld een tekenaar met 6 m^2 bureauruimte, moet 4 m^2 vloeroppervlak worden toegevoegd.
Deze aanbeveling houdt rekening met de benodigde loopruimte in de werkruimten. Echter gangen, archieven, sanitaire ruimten etc. zijn niet inbegrepen.
De vermelde waarden ten aanzien van het aantal m^2 per persoon, betreffen normale bureauruimten. Normering voor overige werkruimten is niet aangetroffen.

Discussie
Onderzoek op dit betreffende gebied is schaars. De geciteerde Franse norm lijkt een goede aanvulling op het Veiligheidsbesluit. Vanwege het brede spectrum aan werkzaamheden is het ondoenlijk het benodige vloeroppervlak voor alle denkbare typen ruimten en activiteiten in deze richtlijn aan te geven. Het vermelde in Neufert (1973) en Woodson (1980) biedt daarvoor een goed uitgangspunt.

3.6.2 Hellingbanen, trappen en ladders

De beslissing of voor het overbruggen van een hoogteverschil een hellingbaan, een trap of een ladder moet worden toegepast, wordt behalve door het hellingspercentage mede bepaald op grond van transport- en verkeerstechnische overwegingen. Tabel 3.6.1 geeft de toelaatbare en optimale hellingshoeken aan.

Tabel 3.6.1 Het type klimmateriaal in relatie tot de hellingshoek (Schmidtke, 1975).

	Toelaatbare hoek van .. tot ..	Optimale hoek van .. tot ..
a. Hellingbanen	0° .. 20°	0° .. 15°
b. Trappen	20° .. 50°	30° .. 35°
c. Trapladders	50° .. 75°	50° .. 60°
d. Ladders	75° .. 90°	75° .. 85°

Hellingbanen

Deze worden voornamelijk toegepast om met wielvoertuigen betrekkelijk kleine hoogteverschillen te overbruggen. Voor voetgangers zijn trappen veiliger, sneller en nemen minder ruimte in dan hellingbanen. Maken ook voetgangers gebruik van de hellingbaan dan dient, bij een hellingshoek < 10°, het oppervlak slipvrij te zijn uitgevoerd. Bij hoeken > 10° en < 20° moeten naast de hellingbaan treden worden aangebracht voor voetgangers.

Trappen

In Tabel 3.6.2 is het verband aangegeven tussen de hellingshoek, de treediepte en opstaphoogte. De voorzijde van de traptrede dient duidelijk zichtbaar te zijn en de treden dienen bij voorkeur langs de voorrand van een strook slipvrij materiaal voorzien te zijn.

Langs trappen dient een leuning te zijn aangebracht, volgens de volgende specificaties:

- doorsnede van de leuning 50 à 100 mm;
- bovenkant leuning boven de 850 mm;
- idem op vlakke trapplateaus 900 mm.

De neus van de trede dient 25 à 50 mm over te steken.

Tabel 3.6.2 Relatie tussen hellingshoek, opstaphoogte en treediepte (Kodak, 1983).

hellingshoek (°)	opstaphoogte (mm)	treediepte (mm)
30°	160	280
35°	180	260
40°	200	240
45°	220	220
50°	240	200

Trapladders

Trapladders worden bij hellingshoeken tussen 50° en 60° en vooral aan boord van schepen toegepast. Het kenmerkend verschil ten opzichte van ladders is dat trapladders van treden zijn voorzien in plaats van sporten.
De treden vertonen een overlap, waarvan de grootte afhankelijk is van de hellingshoek; zie Tabel 3.6.3.
De breedte van de trap dient minimaal 600 mm te bedragen. Bij gelijktijdig tweerichtingsverkeer bedraagt de benodige breedte minimaal 1200 mm en moet de trap aan beide zijden van een leuning zijn voorzien.

Tabel 3.6.3 Trede-overlap in relatie tot de hellingshoek en opstaphoogte (Schmidtke, 1975).

	Opstaphoogte (mm)						
Hoek	180	200	220	240	260	280	300
50°	151	168	185	201	218	235	252
60°	104	116	127	139	150	162	173
75°	48	54	59	64	70	75	80

Voorbeeld: bij een hellingshoek van 50° en een opstaphoogte van 180 mm, steekt elke tree ca. 150 mm voor de bovenliggende tree uit.

Ladders

Ladders worden toegepast bij hoeken tussen 75° en 90°. De maten zijn in Fig. 3.6.5 aangegeven.
De breedte tussen de bomen bedraagt minimaal 300 mm : 500 mm is optimaal.

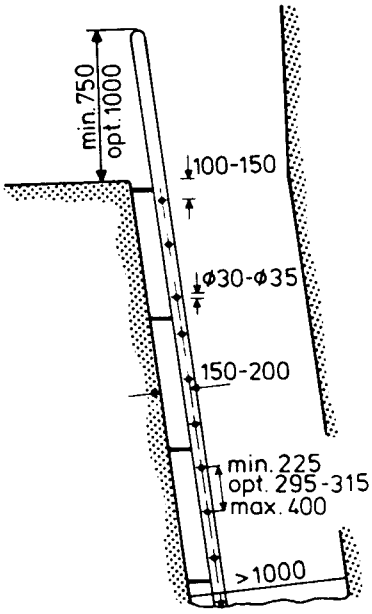


Fig. 3.6.5 Aanbevolen uitvoering van ladders (naar Schmidtke, 1975) (maten in mm).

Discussie

Voor de richtlijn betreffende de breedten van gangen, deuropeningen en doorlopen is gebruik gemaakt van diverse bronnen (zie literatuurverwijzing). Binnen een tolerantie van ca. 100 mm bestaat daarover redelijk goede overeenstemming. Verwijzend naar het Veiligheidsbesluit, lijkt het raadzaam de verkeerssoort (één- of tweerichtingsverkeer) en het verkeerstype (voetgangers of interne transportmiddelen) (tevens) als uitgangspunt voor de breedte van doorlopen te hanteren.

Ten aanzien van de dimensionering van trappen enz. worden in Neufert (1973), Schmidtke (1975) en Kodak tamelijk eensluidende aanbevelingen gedaan.

Normen, wet- en regelgeving

NF X 35-102 Dimensions des espaces de travail en bureau.

Model-brandbeveiligings-verordening (uitgave Nederlandse gemeenten).

Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en werkplaatsen:
Artikel 7 V.B.F.:

"1. De onschadelijke werklokalen die deel uitmaken van een fabriek of werkplaats, waarin tien of meer personen plegen te verblijven, moeten voor elke persoon een vrije luchtruimte hebben van tenminste 7 m^3, waarvan tenminste 2,80 m^3 boven een hoogte van 1,80 m.

2. De onschadelijke werklokalen, die deel uitmaken van een fabriek of werkplaats, waarin minder dan tien personen plegen te verblijven, moeten voor elke persoon een vrije luchtruimte hebben van tenminste 6 m^3, waarvan tenminste 2,40 m^3 boven een hoogte van 1,80 m.

3. Bij de berekening van de vrije luchtruimte, zowel van een werklokaal in zijn geheel als van het gedeelte boven een hoogte van 1,80 m, mogen niet in rekening worden gebracht gedeelten, waarvan de hoogte minder bedraagt dan 2 m."

Richtinggevende publicaties van de arbeidsinspectie:
P 30; "Bouw en inrichting van bedrijfsruimten"

Meetmethode en -apparatuur

NEN 2630; oppervlakken en inhouden van gebouwen.

Literatuur

Diffrient, N., Tilley, A.A., Harman, D. Humanscale. Henry Dreyfuss Associates. MIT press 1981.

Eastman Kodak Company. Ergonomic design for people at work. Lifetime Publications, 1983.

Kellerman, F.T. et al. Vademecum ergonomie. Kluwer, Deventer, 1979.

Neufert, E. Bauentwurfslehre. Bertelsmann Fachverlag, Düsseldorf, 1973.

Schmidtke, H. Gestaltungsregeln für Werkzeuge, Teil C. Handbuch der Ergonomie. Carl-Hanser Verlag, 1975.

Woodson, W.E. Human Factors Design Handbook, McGraw-hill Book Company, New York, 1980.

blz.

4 OMGEVING 170

4.1 BINNENVERLICHTING 170
Inleiding 170

4.1.1 VERLICHTINGSSTERKTE 170
Normale werkverlichting 171
Oriëntatieverlichting 172
Speciale verlichting 173
Bijzonderheden over de toepassing 174
Verlichtingssterkte in relatie tot detail-grootte, contrast en leeftijd 174
Detailvergroting 177
Contrastverbetering 177
Selectie werkers 177
Discussie 178

4.1.2 LUMINANTIEVERHOUDINGEN 178
Taak en directe omgeving 178
Taak en periferie 178
Indirecte verblinding 178
Directe verblinding 179
Bijzonderheden over de toepassing 179
Voorkomen van indirecte verblinding 179
Discussie 180

4.1.3 SPECIALE ASPECTEN 181
Spectrale samenstelling 181
Noodverlichting 182
Vluchtwegverlichting 182
Veiligheidsverlichting 182
Inspectieverlichting 182
Verlichting en beeldschermen 183
Kunstverlichting 185
Dagverlichting 185
Normen, wet- en regelgeving 185
Meetmethode en -apparatuur 188
Literatuur 188

4.2 GELUID 190
Inleiding 190

4.2.1	KANS OP GEHOORSCHADE EN HINDER	190
	Fysiologische effecten (lawaaidoofheid)	190
	Verstoring van de communicatie	191
	Verstoring van de concentratie	192
	Bijzonderheden over de toepassing	192
	Nieuwe wetgeving	192
	Lawaai op de arbeidsplaats	192
	Speech Transmission Index	193
	Discussie	193
Normen, wet- en regelgeving		194
Meetmethode en -apparatuur		196
Literatuur		197
4.3	KLIMAAT	198
Inleiding		198
4.3.1	ARBEID EN KLEDING	199
	Beoordeling van een thermische situatie	199
	Fysiologische grenswaarden	199
	Arbeid	201
	Kleding	201
4.3.2	KLIMAAT	204
	Extreme warmte	205
	Matige warmte	205
	Comfort	208
	Matige kou	210
	Extreme kou	212
	Discussie	214
Normen, wet- en regelgeving		215
Meetmethoden en - apparatuur		218
	Klimaatgrootheden	218
	Kledingisolatie	219
	Arbeid en fysiologische belastheid	219
Literatuur		220
4.4	TRILLINGEN	222
Inleiding		222
4.4.1	BLOOTSTELLINGSDUUR	223
	Lichaamstrillingen	223
	Handarmtrillingen	223
	Bijzonderheden over de toepassing	225

Vermoeidheidscriterium voor lichaamstrillingen 225
Handharmtrillingen 225
Discussie 226
Normen, wet- en regelgeving 228
Meetmethode en -apparatuur 229
Literatuur 231

4.5 STOF EN VENTILATIE 232
Inleiding 232

4.5.1 INERTE, HINDERLIJKE STOFDEELTJES EN VENTILATIE 233
Discussie 235
Normen, wet- en regelgeving 236
Meetmethode en -apparatuur 237
Literatuur 241

4.6 TOXISCHE STOFFEN 242
Inleiding 242

4.6.1 MAXIMAAL AANVAARDE CONCENTRATIE 242
Tijd gewogen gemiddelde (MAC-TGG) 242
Ceiling (MAC-C) 243
Discussie 243
Normen, wet- en regelgeving 244
Meetmethode en -apparatuur 245
Literatuur 245

4 OMGEVING

4.1 Binnenverlichting

Inleiding

Voor veel taken hangt ons prestatievermogen, tot op zekere hoogte, af van de kwantiteit en kwaliteit van het licht dat op de werkplek valt.
Wanneer het over de hoeveelheid licht op de werkplek gaat, moet men zich wel realiseren dat het niet zozeer de verlichtingssterkte - het opvallende licht - is waar het om draait, maar meer de luminantie van de taak - het door de taak gereflecteerde licht - waaraan het oog zich adapteert. Het is deze adaptatieluminantie die bepaalt in welke mate bepaalde kenmerken van de taak kunnen worden waargenomen. Dit betekent dat de reflectie-eigenschappen van de taak ook van belang zijn.
Verder wordt de zichtbaarheid van de visuele taak beïnvloed door factoren als lichtverdeling, reflectie, glans en spectrale samenstelling van het licht.
Ook wordt de verlichting subjectief beoordeeld, hetgeen soms wordt uitgedrukt als visueel comfort.

4.1.1 Verlichtingssterkte

Tabel 4.1.1 geeft een overzicht van drie verlichtingssterkte-klassen met de bijbehorende standaardverlichtingssterkten. De standaardverlichtingssterkten in de tabel betreffen de verlichtingssterkte die te allen tijde (dus ook aan het einde van de onderhoudsperiode) tenminste aanwezig moet zijn op het voor de uitvoering van de taak relevante deel van het werkvlak.

Tabel 4.1.1 Overzicht standaardverlichtingssterkten.

standaard verlichtings-sterkte	toepassing
10 - 200 lux	*Oriëntatieverlichting*. Voor ruimten waar de visuele taak niet kritisch is. In het algemeen zal lokale normale werkverlichting additioneel nodig zijn voor het lezen van drukwerk, of taken met een vergelijkbare detailgrootte.
200 - 800 lux	*Normale werkverlichting*. De meeste visuele taken kunnen verricht worden in dit gebied van verlichtingssssterkten, waarbij de prestatie slechts in geringe mate wordt beinvloed door de verlichtingssterkte. Het te kiezen niveau is afhankelijk van o.a.: verlichtingsniveaus in aangrenzende ruimten, de aanwezigheid van vensters, het voorkomen van kleine details met zwakke contrasten, de leeftijd van de werker.
800 - 3000 lux	*Speciale verlichting*. Voor speciale situaties kan deze lokaal soms gewenst zijn. Dit zal zich vooral voordoen bij het vermijden of opwekken van effecten van glans of schaduw, maar ook bij zeer zwakke contrasten bij kleine reflectiefactoren en bij zeer nauwkeurige kleurbeoordeling. Niet zelden kunnen deze niveaus worden vermeden door het treffen van andere maatregelen.

Normale werkverlichting

Normale werkverlichting (200 - 800 lux) is geschikt voor praktisch alle ruimten die permanent als werkruimte in gebruik zijn. Het minimum niveau van 200 lux is een algemeen aanvaarde ondergrens; lagere niveaus zullen tot klachten leiden. De ondergrens voor normale werkverlichting is dus allereerst gebaseerd op visueel comfort. De meeste visuele taken kunnen bij dit niveau worden verricht. De prestatie neemt voor die taken niet of nauwelijks meer toe bij verdere verhoging van het lichtniveau (Van Bergem, 1989).

De verlichtingssterkte van 800 lux, overeenkomend met een factor 4 aan spreiding in deze klasse, is geen bindende bovengrens. Men realisere zich dat hogere niveaus geen wezenlijke bijdrage leveren aan waardering noch prestatie.
De keuze van de verlichtingssterkte in het gebied van 200 - 800 lux is afhankelijk van factoren als:

- het *lichtniveau in aangrenzende ruimten*; wanneer men vanaf de werkplek zicht heeft op een ruimte met een hoog lichtniveau, dan zal men in de eigen werkruimte ook een hoger lichtniveau prefereren.
- de *aanwezigheid van vensters*; vooral achterin het vertrek heeft een hoger lichtniveau de voorkeur om het door de werkers ervaren grote verschil met de niveaus nabij het venster enigszins te verkleinen, maar vooral ook om bij het opkijken naar het heldere venster adaptatieproblemen te verminderen.
- *kleine details, zwakke contrasten, hogere leeftijd van de werker*; combinaties van deze factoren kunnen maken dat er aan de grens van de waarneming wordt gewerkt. Een verhoogd lichtniveau kan in deze omstandigheden nog leiden tot enige prestatieverbetering. Toepassing van een hoog niveau moet dan wel worden afgewogen tegen vaak effectievere wijzen ter verbetering van de taakzichtbaarheid (bijvoorbeeld toepassing van optische hulpmiddelen).

Het moge hieruit blijken dat in algemene aanbevelingen en normen het niet mogelijk is om binnen het gebied van 200 - 800 lux een gefundeerde relatie te geven tussen taak- en menseigenschappen enerzijds en verlichtingssterkte anderzijds.

Oriëntatieverlichting
Lichtniveaus kleiner dan 200 lux zijn hooguit geschikt voor ruimten waarin slechts een gedeelte van de werktijd wordt gewerkt: gangen, trappehuizen, magazijnen, opslagruimten, e.d. Omdat in dit soort ruimten geen kritische visuele taken worden verricht en het vooral gaat om het zich kunnen orienteren, wordt hier van orientatieverlichting gesproken. Hiervoor is een minimum niveau van 10 lux aangehouden dat uit oogpunt van veiligheid nodig zal zijn voor algemene orientatie en het zien van obstakels. Indien er drukwerk moet worden gelezen of taken moeten worden uitgevoerd met vergelijkbare detailgrootte en contrast, dan is in het

algemeen normale werkverlichting lokaal nodig. Denk aan: het bureau van de magazijnbediende, de plaats in de bouw waar regelmatig tekeningen worden gelezen.

Speciale verlichting
Speciale verlichting (800 - 3000 lux) wordt alleen lokaal toegepast voor speciale situaties, waarin manipulatie van de lichtverdeling nodig is. Hierbij zal vaak met het, diffusere, algemene verlichtingsniveau geconcurreerd moeten worden. Praktische voorbeelden zijn:

- *vermijden van effecten van glans of spiegeling*; de luminantie van de eigenlijke taak moet kunnen concurreren met de luminantie van het gespiegelde beeld van een helder object (armatuur, lamp, venster).
- *vermijden van effecten van schaduw*; als de algemene verlichting ongewenste schaduweffecten geeft kan een 'concurrerende' lokale verlichting deze verminderen. Dit geldt ook wanneer in holtes het doel niet rechtstreeks kan worden beschenen (operatieverlichting).
- *opwekken van effecten van glans of schittering*; het object dat de glans of schittering moet vertonen moet een groot luminantiecontrast met zijn omgeving hebben. Het kan daartoe worden aangestraald met licht afkomstig van een kleine lichtbron met hoge luminantie.
- *opwekken van effecten van schaduw*; wanneer er harde (slag)-schaduwen gewenst zijn bijvoorbeeld bij het beoordelen van oneffenheden van oppervlakken, is er een groot luminantiecontrast nodig tussen schaduw en directe omgeving. Verlichting met scherend invallend licht kan dit bevorderen.

Veel van bedoelde effecten van speciale verlichting kunnen op efficientere wijze worden bereikt naarmate het algemene verlichtingsniveau lager is, hoewel een zeer laag algemeen niveau de visuele wereld op ongewenste wijze kan beperken.
Daarnaast kunnen hoge lichtniveaus nodig zijn bij:

- *taken met zeer zwakke contrasten en lage reflectiefactoren*, waarbij de werker aan de grens van zijn gezichtsvermogen moet opereren. Een extra hoog lichtniveau kan hier de situatie net boven de "drempel" uittillen, maar dit dient te worden afgewogen tegen andere middelen om de taakzichtbaarheid te verbeteren.
- *zeer nauwkeurige kleurbeoordeling*, waarbij de kleuren zich in hun natuurlijke (daglicht-)tint moeten voordoen.

Hiervoor is licht nodig dat het daglicht in zowel spectrale samenstelling als lichtniveau benadert.

Bijzonderheden over de toepassing

Verlichtingssterkte in relatie tot detailgrootte, contrast en leeftijd

De kritische detailgrootte is het kleinste detail dat in de taak waargenomen moet worden om die taak te kunnen verrichten. Of dat detail ook werkelijk waargenomen kan worden hangt bij goede verlichting af van de grootte van het kritische detail en van de gezichtsscherpte van de waarnemer. Zie hoofdstuk "visuele informatiepresentatie".

Voorkomend drukwerk en veel andere visuele taken zijn zodanig dat de detailgrootte in ieder geval niet veel kleiner is dan 2 boogminuten. Dat is geen toeval, want het berust natuurlijk op het feit dat 90% van de mensen tussen 18 - 79 jaar (McDowell, 1964) bij goede verlichting een minimum visus heeft van minstens 1/2 en dus 2 boogminuten kan waarnemen.

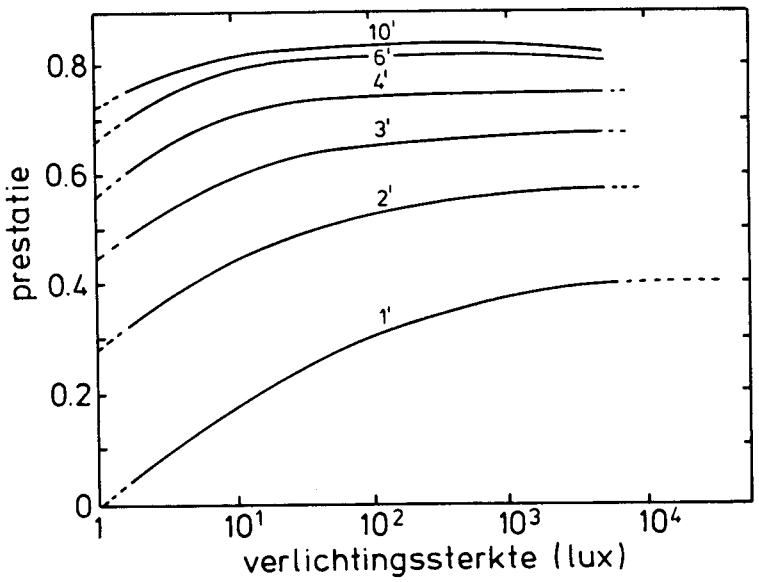


Fig. 4.1.1 Visuele prestatie (snelheid en accuratesse) als functie van de verlichtingssterkte bij Landolt C-taken van verschillende detailgrootte volgens Weston (1953).

Er bestaat een relatie tussen verlichtingssterkte en detailgrootte. Resultaten van onderzoek van Weston (1953) geven deze relatie voor praktische bovendrempelige omstandigheden duidelijk weer (Fig. 4.1.1). Het volgende blijkt:

1. prestatie neemt toe met toenemende verlichtingssterkte, maar naarmate de verlichtingssterkte groter is wordt deze toename steeds minder;
2. het niveau waarbij verzadiging optreedt is afhankelijk van de detailgrootte;
3. visuele taken met kleine details blijven ook bij hoge lichtniveaus altijd lager scoren in prestatie dan visuele taken met grote details bij lagere lichtniveaus.

Bij de gangbare lichtniveaus in werkruimten (> 200 lux) is alleen bij een geringe detailgrootte van 1 boogminuut nog enige winst in prestatie te bereiken als gevolg van niveauverhoging, maar voor de eerder genoemde "nominale" detailgrootte van 2 boogminuten is deze winst al nihil. Overigens dient de winst bij geringe detailgrootte vergeleken te worden met de winst die te behalen is door een geringe vergroting van het detail, bijvoorbeeld door de taak iets dichterbij te houden (zie hierna); in plaats van 10x zoveel licht de kijkafstand met 15% verkorten.
De relatie van de verlichtingssterkte met de detailgrootte is daarom bij de niveaus > 200 lux die voor werkruimten gebruikelijk zijn niet echt relevant.

Tot nu toe is uitgegaan van een goed contrast tussen detail en ondergrond (zie hoofdstuk "visuele informatiepresentatie"). Uit onderzoek van Smith en Rea (1979) naar de relatie tussen verlichtingssterkte en contrast is af te leiden dat bij lage lichtniveaus - voor jonge en oudere waarnemers en bij zowel slecht als goed contrast - een verbetering in prestatie te bereiken is door verhoging van het lichtniveau, maar dat bij de gangbare niveaus in werkruimten (> 200 lux) deze relatie niet meer relevant is. Alleen bij de dubbele handicap van ouderen en slecht contrast is nog enige winst in prestatie te bespeuren, maar ook hier geldt dat dit afgewogen moet worden tegen de veel grotere winst die het gevolg is van contrastverbetering (zie hierna).

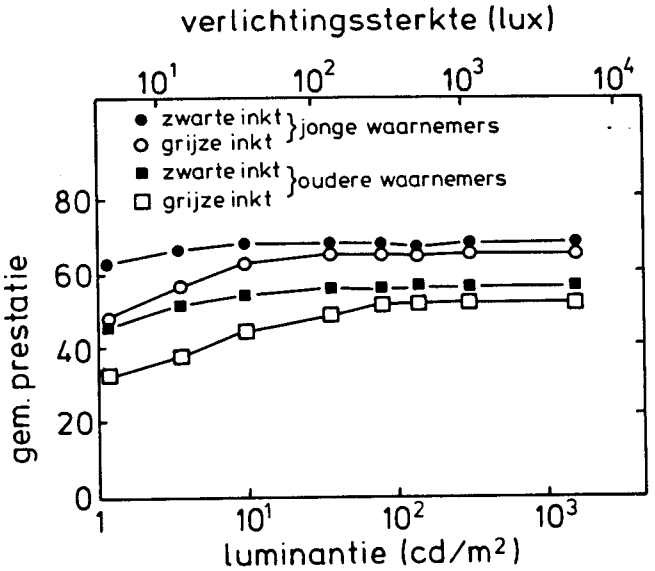


Fig. 4.1.2 Gemiddelde prestatiescore gemeten aan jonge (20-24 jr) en oudere (60-69 jr) proefpersonen bij het controleren van cijferkolommen, gedrukt in zwarte en grijze inkt op wit papier. Snelheid en accuratesse waren samen bepalend voor de prestatie. (naar Smith en Rea, 1979).

Dat oudere mensen profijt kunnen hebben van een verhoogd lichtniveau is bekend. Bij de gangbare lichtniveaus voor werkruimten (> 200 lux), echter, is volgens onderzoek van Boyce (1973) bij ouderen als gevolg van niveauverhoging alleen nog een significante verhoging van de prestatie te verwachten in geval van (moeilijke) visuele taken met kleine details gecombineerd met zwakke contrasten. Ook in Fig. 4.1.2 is deze tendens, zij het in geringere mate, aanwezig.
Gezien de enorme spreiding bij ouderen in het vermogen tot het zien van kleine details, lijkt het overigens niet zinvol om op basis van de beschikbare onderzoekgegevens dwingende conclusies te trekken over het wenselijke lichtniveau bij oudere mensen. Individuele aandacht is hier meer op zijn plaats, waarbij vaak andere factoren, zoals een betere brilcorrectie, effectiever werken.

Detailvergroting

Mogelijkheden van detailvergroting zijn:

- Vergroot de afmetingen van de relevante objecten in de taak. Kies bijvoorbeeld een groter lettertype, zie af van verdere verkleining bij het copieren, vergroot mechanische onderdelen.
- Verklein de kijkafstand, waardoor de visuele hoek die het detail omspant groter wordt. Dit heeft overigens zijn beperkingen in verband met het accommodatievermogen van de waarnemer. In die gevallen waarin lange tijd op korte afstand moet worden waargenomen kunnen speciale werkbrillen worden toegepast die een deel van de benodigde convergentie en accommodatie overnemen. Hierdoor vermindert de visuele inspanning. Vooral oudere mensen hebben baat bij dit soort brillen.
- Pas optische hulpmiddelen toe, zoals de loep of microscoop. Ook de vergrote weergave door middel van videopresentatie behoort tot de mogelijkheden.
- Oriënteer de taak zo dat de relevante objecten loodrecht op de kijkrichting worden waargenomen.

Contrastverbetering

Mogelijkheden van contrastverbetering zijn:

- Verhoog het contrast tussen object en ondergrond. Gebruik bijvoorbeeld een zacht potlood in plaats van een hard, een balpen in plaats van een potlood, vervang het lint van typemachine of printer tijdig, gebruik wit in plaats van grijs papier, stel het contrast van de copieermachine voldoende hoog in.
- Voorkom contrastverlies door indirecte verblinding (zie hierna).
- Zorg bij kleurgebruik voor een voldoende hoog luminantiecontrast tussen object en ondergrond.

Selectie werkers

Wanneer ondanks verlichting en hulpmiddelen toch kritisch waargenomen moet worden kan selectie van de werkers op basis van hun visuele capacitieten verstandig zijn. Naast de mogelijke beperking van het lichtniveau wordt hiermee vooral bereikt dat alle werkers de taak vrij gemakkelijk aankunnen, terwijl anders een aantal zich altijd tot het uiterste moet inspannen om de taak te kunnen verrichten.

Discussie
De hier gegeven richtlijnen voor de standaardverlichtingssterkte verschillen van de richtlijnen uit de selectie van de zes handboeken waarbij de detailgrootte en het contrast als basis worden gehanteerd.
Omdat de lichtniveaus die nu in werkruimten gangbaar zijn zo ver boven het minimum benodigde liggen, is van een relatie tussen verlichtingssterkte en welk taakkenmerk ook geen sprake meer. Met name blijkt dat slechts een zeer kleine verbetering in prestatie te bereiken is met een zeer sterke verhoging van het lichtniveau. Andere maatregelen - ergonomische, maar ook die welke de lichtverdeling betreffen - werken veel effectiever.

4.1.2 Luminantieverhoudingen
Wanneer de verhouding van de taakluminantie en de luminanties van de omgeving maar groot genoeg is, kunnen adaptatieproblemen ontstaan waardoor zowel visueel comfort als visuele prestatie worden beinvloed. In de praktijk worden de volgende richtlijnen gehanteerd.

Taak en directe omgeving
De verhouding van de luminanties van de taak en de directe omgeving daarvan (bijvoorbeeld resp. blad papier en bureaublad) mag bij voorkeur niet meer dan 3 zijn.

Taak en periferie
De verhouding van de luminanties van taak en daarvan verwijderde vlakken mag de waarde van 10 niet overschrijden.
Hier gaat het om de vaak kortdurende luminantieveranderingen die optreden bij blikwisselingen, zoals die zich voordoen bij het even opkijken van het werk (bijvoorbeeld naar het raam) en weer terug of bij het vanaf concept verwerken van tekst met behulp van beeldschermapparatuur.

Indirecte verblinding
Indirecte verblinding wordt veroorzaakt door licht dat diffuus of spiegelend gereflecteerd wordt. Er is altijd een visuele taak bij betrokken. Diffuse reflectie kan zich voordoen in gematteerde oppervlakken via welke de taak waargenomen moet worden (bijvoorbeeld gematteerd beeldscherm).

Hinderlijke spiegeling kan optreden bij waarneming via een spiegelend oppervlak zoals bij beeldschermen, etalageruiten, glazen afdekplaten van afleesinstrumenten e.d. Een praktische vuistregel ter voorkoming van hinderlijke spiegeling in spiegelende oppervlakken is dat de gespiegelde luminantie niet groter mag zijn dan 1/5 van de luminantie van de taak (ontwerpnorm NEN 1072). Ook bij drukwerk met niet volledig matte drukletters en/of glanzend papier kan hinder optreden.
Verderop worden andere mogelijkheden genoemd die vaak op efficientere wijze indirecte verblinding (ook bij drukwerk) kunnen voorkomen.

Directe verblinding
Bij normale condities qua taak en armatuurplaatsing kan er in werkruimten in verband met directe verblinding alleen sprake zijn van discomfort glare.
Met het Sollner/Fischer-luminantiebegrenzingssysteem kan worden beoordeeld of verlichtingsarmaturen bij toepassing voldoen aan de geldende normen (NSVV,1981). Dit systeem is alleen toepasbaar voor werkruimten met algemene verlichtingsinstallaties en conventionele armaturen bij lichte interieurafwerking.
Voor open armaturen worden tevens eisen gesteld aan de maximale afschermingshoek (NSVV, 1981).

Bijzonderheden over de toepassing

Voorkomen van indirecte verblinding
De mogelijkheden om indirecte verblinding te voorkomen zijn niet beperkt tot de verlichtingsinstallatie. Integendeel, de twee volgende maatregelen kunnen vaak effectiever werken.

- Gebruik matte oppervlakken, bijvoorbeeld matte drukinkt, mat papier, ontspiegeld glas. Zie voor mattering beeldschermen onder Par. 4.1.3.
- Kies de positie van de waarnemer, de taak en de verlichting zo dat het licht niet in de richting van het oog van de waarnemer kan worden gespiegeld.

Discussie

De wetenschappelijke fundering van de praktijkrichtlijnen voor de luminantieverhoudingen ontbreekt. Terecht wordt in de selectie van zes handboeken gesteld dat het hier eerder om een vuistregel gaat dan om een richtlijn.
Uit onderzoek waaraan vermoedelijk de verhouding van 3 ontleend is kan overigens ook worden afgeleid dat verhoudingen tot 10 uit prestatieoverwegingen nog toelaatbaar zijn. Lythgoe (1932) en Moon en Spencer (1945).
Verder blijkt uit recent Duits onderzoek (Greule e.a., 1988) dat voor veel werksituaties luminantieverhoudingen van 1 : 30 tot 1 : 50 van taak en periferie uit prestatieoverwegingen ook nog acceptabel zijn. Alleen bij veelvuldige blikwisseling (zoals bij beeldschermwerk), lage taakluminantie (donker beeldscherm) en kritische waarneming zou de verhouding van 1 : 10 gelden.
Studies naar de subjectieve voorkeur voor luminantieverhoudingen vertonen zo'n enorme spreiding dat hieruit een eenduidige richtlijn uit oogpunt van visueel comfort niet kan worden afgeleid.

Voorlopig kan worden gesteld dat de eerder genoemde praktijkrichtlijnen - bij gebrek aan een goed gefundeerd alternatief - gehandhaafd kunnen blijven, maar dat strikte naleving ervan niet noodzakelijk is.

Goed gefundeerde richtlijnen voor indirecte verblinding bestaan niet. De herkomst van de vuistregel voor indirecte verblinding is onduidelijk, met name is onzeker welk criterium - visueel comfort of prestatie - eraan ten grondslag ligt. Voor normaal drukwerk lijkt visueel comfort het meest bepalend, maar verder dan suggesties ter voorkoming van indirecte verblinding is men nog niet gekomen (Reitmeier, 1979; De Boer, 1977).

Gezien de enorme spreiding die blijkt op te treden in de individuele beoordelingen van discomfort glare bij verschillende installaties (Boyce, 1981) kan er aan de resultaten verkregen met het Sollner/Fischer-systeem, geen hoge precisie worden toegekend. Bovendien geldt de beperking dat alleen de luminantieverdeling van het armatuur als variabele in het systeem is opgenomen, terwijl juist de luminanties in de rest van het vertrek ook invloed zullen hebben op het oordeel. Gezien de huidige stand van kennis

op dit gebeid is er o.i. behoefte aan een fundamentele herbeschouwing van discomfort glare bij verlichtingsarmaturen.

4.1.3 Speciale aspecten

Spectrale samenstelling
De spectrale samenstelling van het licht is voor de taakwaarneming in principe alleen belangrijk wanneer kleur van essentieel belang is voor de taakuitvoering. Voor alle overige situaties heeft de spectrale samenstelling alleen betekenis uit oogpunt van visueel comfort. Hier zijn de belangrijkste punten uit de (ontwerp)norm NEN 1072 overgenomen.

Voor de lichtkleur is het criterium de (toegevoegde) kleurtemperatuur in K en voor de kleurweergave de algemene kleurweergave-index.
Tabel 4.1.2 geeft de vereiste kleurweergave-index in afhankelijkheid van de eisen die de taak aan de kleurweergave stelt.

Tabel 4.1.2 Vereiste algemene kleurweergave-index (Ra) in afhankelijkheid van de visuele taak.

eisen aan de kleurweergave	Ra
nauwkeurige kleurbeoordeling en kleurvergelijking dienen mogelijk te zijn	>=90
een natuurlijke kleurweergave is vereist	>=80
de kleurweergave is van geringe betekenis	>=50
de kleurweergave is niet van belang	-

Voor werkruimten moet de kleurtemperatuur gekozen worden tussen 3300 K en 5300 K en voor recreatieve ruimten bij voorkeur < 3300 K. Voor de algemene kleurweergave-index dient de classificatie uit Tabel 4.1.3 gehanteerd te worden.

Tabel 4.1.3 Classificatie van de algemene kleurweergaveindex (Ra).

kleurweergaveindex	waardering
Ra > = 90	zeer goed
80 < = Ra < 90	goed
50 < = Ra < 80	matig
Ra < 50	slecht

Noodverlichting
Ten aanzien van vluchtwegverlichting en veiligheidsverlichting worden in de (ontwerp)norm NEN 1072 eisen gesteld aan de lichtniveaus. De belangrijkste punten worden hier genoemd.

Vluchtwegverlichting
De verlichtingssterkte dient in het midden van de vluchtweg op een hoogte van 0,2 m tenminste 1 lux te zijn met een ongelijkmatigheid (minimum : maximum) van ten hoogste 1 : 40.

Voor de verlichtingsarmaturen ten behoeve van de bewegwijzering geldt een maximum luminantie van 3000 cd/m^2. Ze dienen in elk geval geplaatst te worden bij hoogteverschillen van vloeren of bij drempels en bij kruisingen of richtingsveranderingen van gangen.

Veiligheidsverlichting
De horizontale verlichtingssterkte op de werkplek dient vanaf 1 sec. na inschakeling van de noodverlichting tot het einde van de bedrijfsduur tenminste 1/10 van de standaardverlichtingssterkte te zijn met een minimum van 15 lux.

Inspectieverlichting
Het is niet altijd mogelijk om de visuele taak zo te veranderen dat deze voor de werker gemakkelijk is uit te voeren. Toepassing van speciale - op de taak afgestemde - verlichting kan in dat geval de taakzichtbaarheid verbeteren. Het gaat dan meestal om inspectietaken waarbij de verlichting lokaal wordt toegepast.

Genoemd is al de speciale verlichting waarbij door middel van manipulatie van de lichtverdeling bepaalde licht-schaduw-effecten kunnen worden gecreeerd (bijvoorbeeld bij het beoordelen van oneffenheden van oppervlakken). Maar ook geheel andere soorten verlichting zijn vaak mogelijk: door-lichten, ultraviolet, gepolariseerd en monochromatisch licht, stroboscopisch licht, enz. Een goed overzicht van de diverse mogelijkheden wordt gegeven in Kodak (1983) en Salvendy (1987). Zie ook Faulkner en Murphy (1972) en Ferguson e.a. (1974).

Verlichting en beeldschermen
Speciale aandacht voor de verlichting bij het werken met beeldschermen is noodzakelijk. Zie ook hoofdstuk "visuele informatiepresentatie".

Drie aspecten zijn van belang: verlichtingssterkte, luminantiepatroon en indirecte verblinding. In principe gelden hiervoor de richtlijnen uit de voorgaande paragrafen. Ze hebben echter voor de inrichting van de werkruimte (inclusief verlichting) andere consequenties, die in het volgende worden toegelicht.

- Ter voorkoming van strooilichthinder dient de verlichtingssterkte op het scherm bij voorkeur niet veel hoger te zijn dan 100 lux bij kleurenschermen, cad/cam-systemen en donkere beeldschermen.

- Om aan de richtlijn voor de luminantieverhoudingen te kunnen voldoen moeten luminanties in het interieur (vensters, wanden) en de luminanties van de overige taakonderdelen (concept, toetsenbord) beperkt worden.
  Vooral bij beeldschermen met een donkere achtergrond kan de verhouding van 3 voor de directe taakomgeving resulteren in een onacceptabel donker interieur. Gezien de niet erg fundamentele achtergronden van de desbetreffende vuistregel is o.i. hier een verhouding van maximaal 10 ook toegestaan.

  De meest efficiënte manier om aan de gestelde richtlijn voor de directe taakomgeving te voldoen is natuurlijk de positie van werker en beeldscherm zo te kiezen dat heldere vlakken niet op de directe taakomgeving aanwezig zijn.

N.B.: Het zal duidelijk zijn dat bij beeldschermen met lichte achtergrond (zwarte karakters op witte ondergrond) er meer vrijheid ontstaat in de inrichting van de taak en de werkomgeving.

- Ter voorkoming van indirecte verblinding (spiegelingshinder) zijn de luminanties in het deel van de werkruimte dat door het scherm naar het oog van de beeldschermwerker gereflecteerd wordt, belangrijk. Het gaat daarbij vooral om de objecten die ten opzichte van hun directe omgeving een relatief hoge luminantie kunnen hebben, zoals verlichtingsarmaturen en vensters.
  Maatregelen om indirecte verblinding te voorkomen zijn:
  - de afschermingshoek en de zijdelingse luminanties van de verlichtingsarmaturen beperken (zie DIN 5035). Bij de voor spiegeling meest gevoelige, maar toch nog reele condities geldt een afschermingshoek van ten minste 40 graden en lage zijdelingse luminantie < 200 cd/m^2. Bij grote afschermingshoeken ontstaat een typische gerichte lichtverdeling in het vertrek, waarbij horizontale vlakken veel en verticale vlakken weinig licht ontvangen. Dit effect kan verminderd worden door lichte tinten in het interieur.
  - indirecte verlichting; deze vorm van verlichting vraagt ten aanzien van het ontwerp en de inrichting van de werkomgeving extra aandacht: bijvoorbeeld plafondhoogte > 2,5 m, matte, gelijkmatige en lichtgetinte afwerking van plafond en wanden.
  - vensters voldoende afschermen door middel van schermen of ander meubilair of door toepassing van lichtdichte lamellen, die bij voorkeur verticaal moeten zijn vanwege het behoud van uitzicht. Bij nieuwbouw kan men in het ontwerp reeds voorzien in brede en laaggeplaatste ramen.
  - in het deel van de werkruimte dat kan worden gespiegeld mogen niet te grote luminantiesprongen (contrasten) voorkomen. Bovendien geldt dat de wanden en eventueel meubilair als kasten e.d. hier mat afgewerkt moeten zijn.

  Uiteraard werkt het efficiënter wanneer de beeldschermen zo geplaatst worden dat vensters, armaturen alsmede contrastrijke delen in de werkruimte hierin niet gespiegeld

kunnen worden. Helaas blijft deze mogelijkheid beperkt tot de kleine ruimten of de ruimten waarin weinig beeldschermen worden gebruikt.
Genoemde consequenties zijn bovendien minder ingrijpend naarmate het beeldscherm beter ontspiegeld is en het beeldscherm een hogere gemiddelde luminantie heeft, zoals de beeldschermen met zwarte karakters op witte ondergrond (zie NEN 3002).

Kunstverlichting
Voor praktische informatie over de toepassing van kunstlicht in werkruimten wordt verwezen naar de Aanbevelingen voor Binnenverlichting (NSVV, 1981).
Het is van belang hier nogmaals er op te wijzen dat de richtlijn voor verlichtingssterkten betrekking heeft op de verlichtingssterkte die te allen tijde (dus ook aan het einde van de onderhoudsperiode) tenminste aanwezig moet zijn op het relevante deel van het werkvlak. De te installeren verlichtingssterkte dient hiervan te worden afgeleid door rekening te houden met een zekere mate van ongelijkmatigheid in de lichtverdeling, met de veroudering en vervuiling van de verlichtingsinstallatie en met de vervuiling van het interieur.

Dagverlichting
Voor praktische informatie over de toepassing van daglicht wordt verwezen naar de syllabi van de congresdag 'Het Raam' (Bouwwereld 77, nr. 7, 1981).

Normen, wet- en regelgeving

NEN 1072; Binnenverlichting (ontwerp).
NEN 1073; Lichttechnische meetmethoden en -apparatuur (nog in voorbereiding).
NEN 3087; Visuele ergonomie (nog in voorbereiding).
DIN 5035; Teil 7; Innenraumbeleuchtung met künstlichem Licht; Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen und mit Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung.
NSVV; Aanbevelingen voor Binnenverlichting. Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde, Arnhem, 1981.
CIE; Recommendations for interior lighting. Commission Internationale de l'Eclairage, Wenen, 1986.

Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en Werkplaatsen
Veiligheidsbesluit Restgroepen (in voorbereiding)

Artikel 8 V.B.F.

"1. Een werklokaal moet voorzien zijn van lichtopeningen waardoor daglicht kan toetreden en waardoor uitzicht op de omgeving buiten het gebouw, waarvan het werklokaal deel uitmaakt, wordt verschaft vanaf de plaats waar arbeid wordt verricht.

2. Met betrekking tot de grootte van die lichtopeningen moeten aan de twee navolgende voorschriften voldaan zijn:
   a. het gezamenlijke oppervlak van de lichtopeningen waardoor daglicht kan toetreden, moet tenminste 1/20 van het vloeroppervlak van het werklokaal bedragen, en
   b. de gezamenlijke breedte van de lichtopeningen waardoor uitzicht op de omgeving wordt verschaft, moet tenminste 1/10 van de omtrek van het werklokaal bedragen.

3. Indien de naleving van de norm, bedoeld in het tweede lid, onder b, niet mogelijk is of in redelijkheid niet kan worden gevergd, moet in de mate waarin van die norm wordt afgeweken, de norm, bedoeld onder a van dat lid, tenminste worden verhoogd.

4. Werklokalen, van elkaar gescheiden door wanden die voor meer dan de helft uit helder, doorzichtig materiaal bestaan, worden voor de toepassing van het tweede en derde lid als één werklokaal beschouwd.

5. Dit artikel is niet van toepassing, indien de aard van het werk zich tegen toetreding van daglicht verzet of indien in het werklokaal overdag door niemand gedurende meer dan twee uren arbeid pleegt te worden verricht."

Artikel 10 V.B.F.

"In een werklokaal moet ter plaatse, waar arbeid wordt verricht, het rechtstreeks invallende zonlicht kunnen worden afgesloten."

Artikel 63 V.B.F.

"1. Bij gebruik van kunstlicht moet een werklokaal voldoende en doelmatig zijn verlicht.

2. Een plaats, waar werkzaamheden worden verricht, moet zo nodig voldoende en doelmatig door kunstlicht zijn verlicht.
3. De kunstverlichting moet zijn aangepast aan de aard van het werk. De verlichtingssterkte moet voldoende zijn voor de te verrichten werkzaamheden.
4. Een lichtbron moet zodanig geplaatst zijn, dat het licht de arbeider direct of indirect tijdens de arbeid niet hinderlijk in de ogen schijnt."

Artikel 61 Arbeidsbesluit 1920

"1. Een jeugdig persoon of een vrouw mag in een kantoor geen arbeid verrichten:
   a. in een werklokaal, dat niet gedurende de werktijd voldoende is verlicht;
   b. ter plaatse, waar gedurende de tijd tussen 9 uur des voormiddags en 3 uur des namiddags kunstlicht moet worden gebezigd om voldoende verlichting te verkrijgen, tenzij de weersgesteldheid of bijzondere omstandigheden tijdelijk het gebruik van kunstlicht ter verkrijging van een voldoende verlichting noodzakelijk maken of de persoon slechts af en toe gedurende korte tijd op die plaats arbeid verricht.
2. Geen werklokaal wordt als voldoende verlicht beschouwd door daglicht, indien het oppervlak van de lichtopeningen, die direct daglicht toelaten, minder dan eenachtste van het vloeroppervlak bedraagt, tenzij bijzondere omstandigheden aanwezig zijn, die, naar het oordeel van het districtshoofd, de verlichting voldoende doen zijn.
3. Een jeugdig persoon of een vrouw mag in een kantoor geen lees-, schrijf- of tekenarbeid verrichten:
   a. op een plaats, waar de verlichting onvoldoende of ondoelmatig is;
   b. op een plaats, waar het directe zonlicht niet kan worden afgesloten.
4. Geen plaats, waar schrijf-, lees- of rekenarbeid wordt verricht, wordt als voldoende en doelmatig verlicht beschouwd door kunstlicht, tenzij de verlichtingssterkte op het schrijf- of leesvlak overeenkomt met een verlichtingssterkte van tenminste 50 internatio-

nale lux en de lichtbron zodanig is geplaatst of ingericht, dat het directe of indirecte licht de persoon niet hinderlijk in de ogen straalt."

Artikel 27 Arbeidsbesluit Jeugdigen
"Een jeugdig persoon mag geen arbeid verrichten welke naar het oordeel van het districtshoofd een uitgesproken negatieve invloed uitoefent op zijn ontwikkeling door één of meer der volgende omstandigheden:

a. een ongunstige omstandigheid met betrekking tot het binnenklimaat of de verlichting in de ruimte waarin de arbeid wordt verricht."

Richtinggevende publicaties van de arbeidsinspectie
P 30; "Bouw en inrichting van bedrijfsruimten"

Meetmethode en -apparatuur
Op dit moment is er bij het NNI een norm in voorbereiding inzake lichttechnische meetmethoden en -apparatuur.

Literatuur

Bergem-Jansen, P.M. van en Padmos, P. Andere kijk op aanbevelingen voor verlichtingssterkte bij binnenverlichting. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg, IZF 1989 C-2.

Boer, J.B. de. Performance and comfort in the presence of veiling reflections. Lighting Research and Technology, 1977, nr. 2, p. 249.

Boyce, P.R. Human Factors in Lighting. Appl. Science Publishers LTD, 1981, p. 313, Essex.

McDowell, A.J. Binocular visual acuity of adults. Public Health Service, Publ. 1000, series II, nr. 3, Washington, 1964.

Eastman-Kodak compagny. Ergonomic design for people at work. Lifetime Learning Publishers California, 1983.

Faulkner, T.W. en Murphy, T.J. Lighting for difficult tasks. Human Factors 15, 1973, pp. 149-162.

Ferguson, D.A., Major, G. en Keldoulis, T. Vision at work. Applied Ergonomics 5, 1974, 2, pp. 84-93.

Greule, R.E, Bodmann, H.W. en Kokoschka, S. Die Rolle der transienten Adaptation in der Innenraumbeleuchtung. Tagungsbericht Licht 88, 1988.

Lythgoe, R.J. The measurement of visual acuity. Special Report Series no. 173, Medical Research Council, London, 1932.

Moon, P. en Spencer, D.E. The visual effect of non-uniform surrounds. Journal of the Optical Society of America, 1945, Vol. 35, nr. 3, pp. 233.

NSVV. Aanbevelingen voor Binnenverlichting. Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde, Arnhem, 1981.

Reitmeier, J. (1979). Some effects of veiling reflections in papers. Lighting Research and Technology, (1979) 2, pp. 249.

Salvendy, G. Handbook of Human Factors. John Wiley and Sons, New York, 1987.

Smith, S.W. en Rea, M.S. Relationship between office task performance and ratings of feelings and task evaluation under different light sources and level. Proceedings 19th Session, Kyoto. Publ. no. 50. Commission Internationale de l'Eclairage, Wenen, 1979.

Weston, H.C. The relationship between illumination and visual performance. Report no. 87. Medical Research Council, London, 1953.

4.2 Geluid

Inleiding

In twee paragrafen wordt aandacht besteed aan geluid op de arbeidsplaats. In deze paragraaf hebben de richtlijnen vooral betrekking op hinder en de kans op gehoorschade. In Par. 3.2 worden richtlijnen gegeven voor geluid met auditieve informatie. In sommige gevallen zal met beide aspecten tegelijkertijd rekening moeten worden gehouden.

Geluid kan verschillende effecten op de mens hebben tijdens het verrichten van werkzaamheden of tijdens het verblijf op de werkplek. Die effecten zijn onder te verdelen in:

a. Fysiologische effecten; in het bijzonder lawaaidoofheid;
b. Verstoring van de communicatie;
c. Verstoring van de concentratie.

Omdat deze effecten nogal verschillend zijn, worden ook verschillende richtlijnen gehanteerd. In veel gevallen zullen de richtlijnen elkaar overlappen of uitsluiten. Toch zullen de richtlijnen voor de drie effecten ten behoeve van de duidelijkheid apart worden behandeld. Verschillende kenmerken van geluid zijn bepalend voor het al dan niet optreden van de genoemde effecten. Deze kenmerken zijn het geluiddrukniveau en de variatie daarin, de frequentiesamenstelling en de duur van de blootstelling. Bij het geven van richtlijnen wordt in deze paragraaf het geluidniveau zoveel mogelijk uitgedrukt in dB(A) waarden. Het gaat daarbij om de geluiddrukniveaus, gewogen volgens het A-filter. Dit filter geeft bij benadering de werking van het menselijk oor in de verschillende frequentiegebieden weer. Voor in sterkte variërende geluidniveaus kan het equivalente geluidniveau LAeq worden bepaald. Dit geeft voor een wisselend geluidniveau over een bepaalde periode aan met welk continu geluidniveau over die periode dit is te vergelijken.

4.2.1 Kans op gehoorschade en hinder

Fysiologische effecten (lawaaidoofheid)

De richtlijn (zie Fig. 4.2.1) is gebaseerd op de ISO-standaard 1999. De ISO-1999 geeft de relaties aan tussen blootstellingsduur en het geluidniveau voor een bepaalde kans dat gehoorschade optreedt. In de richtlijn is die relatie

gegeven, waarbij "niemand" de kans loopt op gehoorschade als gevolg van een dagelijkse blootstelling aan lawaai gedurende een geheel arbeidsleven.
Bij een acht-urige werkdag geldt dus, dat een geluidniveau van 80 dB(A) continu of bij een wisselend geluidniveau een LAeq-waarde van 80 dB(A) geen lawaaidoofheid als gevolg heeft. Wanneer het niveau hoger ligt, bijvoorbeeld 101 dB(A), mag slechts een blootstellingsduur van 5 minuten per dag plaatsvinden. De rest van de dag moet het geluidniveau lager dan 80 dB(A) zijn.

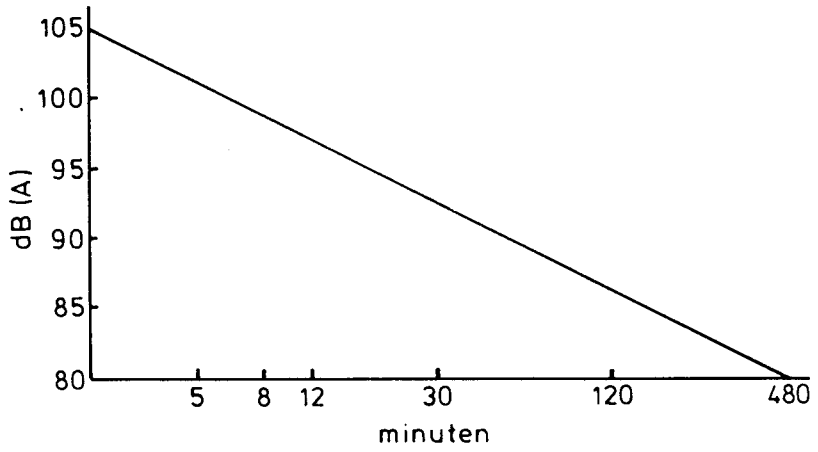


Fig. 4.2.1 Relatie tussen blootstellingsduur (logaritmische schaal) en het geluidniveau (in dB(A)), voor een dagelijkse blootstelling, waarbij "niemand" risico's loopt op lawaaidoofheid (naar Teleac, 1983).

Verstoring van de communicatie
Deze richtlijn is gebaseerd op de relatie tussen omgevingslawaai en afstand tussen spreker en de toehoorder, waarbij communicatie mogelijk is bij normale spraak of bij verschillende vormen van stemverheffing. Het hier gebruikte PSIL is het gemiddelde geluiddrukniveau van het omgevingslawaai in de actaafbanden met middenfrequenties van 500, 1000 en 2000 Hz. Deze frequenties zijn belangrijk voor de verstaanbaarheid. In Fig. 4.2.2 zijn de vergelijkbare dB(A)-niveaus bij de horizontale as vermeld. Uit de figuur blijkt bijvoorbeeld, dat in een ruimte met een geluidniveau van 58 dB(A) tot circa één meter afstand tussen spreker en

toehoorder normaal kan worden gesproken. In een ruimte met een geluidniveau van 70 dB(A) is communicatie met normale stem niet meer goed mogelijk en moet bij één meter luid met elkaar worden gesproken.

Verstoring van de concentratie
Algemeen aanvaarde normen op dit gebied zijn nog niet bekend.
Soms wordt de subjectieve aanvaardbaarheid van omgevingsgeluid uitgedrukt in PNC-normen. Deze bestaan uit geluiddrukniveaus (dB) als functie van de middenfrequentie van negen verschillende octaafbanden. Het omgevingsgeluid dient beneden het Prefered Noise Criterium te blijven om de concentratie bij diverse typen werkzaamheden niet te verstoren. De PNC-curven geven evenwel niet meer informatie dan de reeds vermelde richtlijn over verstoring van spreken en luisteren. Bovendien kunnen verschillende lawaaitypen met eenzelfde PNC-waarde verschillende invloed hebben op de spraakverstaanbaarheid.

Bijzonderheden over de toepassing

Nieuwe wetgeving
Met betrekking tot de nieuwe wetgeving over schadelijk geluid op de arbeidsplaats (arbeidsinspectie 1987) de volgende punten:
- geluidniveaus boven 80 dB(A) worden geacht schadelijk te zijn voor de gezondheid;
- boven deze grens moet de werkgever gehoorbeschermingsmiddelen beschikbaar stellen;
- boven deze grens zal de werkgever te zijner tijd het lawaai moeten bestrijden voor zover dat redelijkerwijs mogelijk is. Voorlopig hoeft dat pas vanaf 85 dB(A);
- boven 90 dB(A) zijn de werknemers verplicht gehoorbeschermingsmiddelen te gebruiken.

Lawaai op de arbeidsplaats
Voor meer informatie over lawaai op de arbeidsplaats wordt verwezen naar het P-blad van de arbeidsinspectie, de nummers P 166-10 en P 166-2.

Speech Transmission Index
Met betrekking tot spraakverstaanbaarheid wordt de aandacht gevestigd op het gebruik van de Speech Transmission Index (STI). Deze maat geeft aan in welke mate de verstaanbaarheid van spraak vermindert ten gevolge van lawaai, nagalm of een zend-ontvanginstallatie (Houtgast en Steeneken, 1983). Meetapparatuur hiervan is in de handel (Bruel en Kjaer, RASTI).

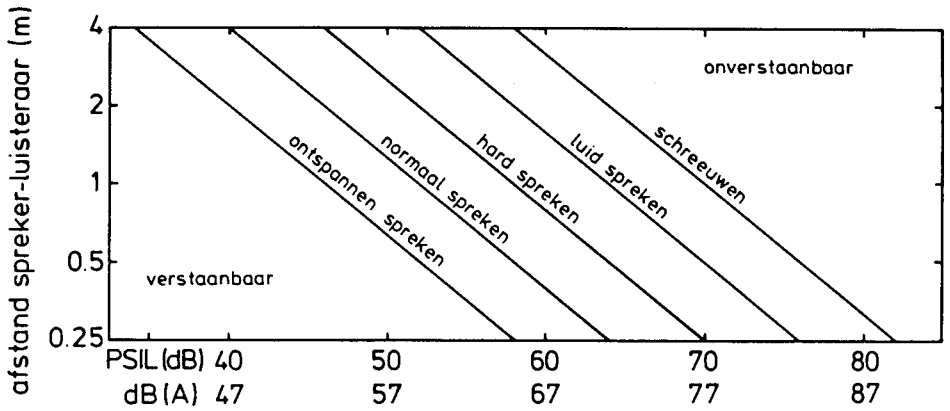


Fig. 4.2.2 Relatie tussen omgevingslawaai, in PSIL en dB(A) en de onderlinge afstand tussen spreker en luisteraar, in meters, en de mogelijkheden voor communicatie (naar 180/TC 159/SC 5N 69).

Discussie
De richtlijnen uit de handboeken komen nagenoeg overeen. Uiteraard bestaat bij de richtlijnen voor lawaaidoofheid de kans dat een individue toch schade wordt berokkend. Over de individuele verschillen in de mate van gehoorschade door lawaai is echter nog weinig bekend.

De vegetatieve effecten van blootstelling aan lawaai worden nauwelijks behandeld in de handboeken. Vermoedelijk liggen de niveaus hoger dan die voor lawaaidoofheid. Echter is onbekend of gehoorbescherming naast de risico's op lawaaidoofheid ook de vegetatieve effecten vermindert. De invloed van korte geluidpieken met een hoog niveau op de kans op gehoorschade is nog onvoldoende bekend. Een extra

toeslag van 10 dB(A) bij de berekening van de LAeq-waarde bij lawaai met korte pieken wordt niet meer gehanteerd.
Bij het hanteren van de ISO-standaard 1999 moet worden vermeld, dat deze standaard in de komende jaren mogelijk zal veranderen, aangezien deze momenteel wordt herzien.

Met betrekking tot de PSIL-norm geldt het nadeel dat in drie verschillende frequentiebanden geluidmetingen moeten worden verricht. Bovendien zullen voor bepaalde ruimten uit eerdere onderzoeken de dB(A)-waarden mogelijk reeds bekend zijn. Het hanteren van dB(A)-waarden, zoals onder de schaal (Fig. 4.2.2) vermeld, moet wel met enige voorzichtigheid gebeuren, omdat berekening van de PSIL niet geheel parallel loopt aan de eigenschappen van het oor.
De bekendheid van de informatie speelt ook een rol bij de verstaanbaarheid in een omgeving met lawaai. Wanneer globaal bekend is welke informatie wordt verstrekt, dan is minder niveauverschil tussen spraak en omgevingslawaai nodig. In Hoofdstuk 3.2 zal hier ook op worden in gegaan.

Met betrekking tot verstoring van de concentratie is al gesteld dat er nog geen algemeen aanvaarde normen zijn in relatie tot bepaalde activiteiten in de werksituatie. Bovendien is de vraag of men voor het vastleggen van de dosis niet zou kunnen volstaan met de dB(A)-waarde in plaats van de wat ouderwetse en omslachtige PNC-benadering.

Normen, wet- en regelgeving

ISO R 1996; Assessment of noise with respect to community response.
ISO R 1999; Assessment of occupational noise exposure for hearing purposes.
ISO/TC 159/SC 5N 69; Assessing the effect of noise on speech communication at the worker's position.
IEC 268-16; The objective rating of speech intelligibility in auditone by the RASTI-method.
IEC 651; Recommendations for soundlevel meters.

Artikel 179a V.B.F.:

1. Machines, werktuigen, apparaten of installaties moeten van zodanige constructie zijn, zodanig zijn ingericht, opgesteld of ondersteund zijn en zodanig onderhouden

worden, dat zij bij het in werking zijn geen schadelijk geluid veroorzaken, tenzij zulks rederlijkerwijze niet kan worden gevergd.

2. Het verrichten van werkzaamheden moet zodanig geschieden dat daarbij geen schadelijk geluid wordt veroorzaakt, tenzij zulks redelijkerwijs niet kan worden gevergd.
3. Indien de uitzondering vervat in de laatste zinsnede van het eerste of tweede lid, van toepassing is, moeten doeltreffende voorzieningen aangebracht zijn, waardoor zoveel mogelijk wordt voorkomen dat schadelijk geluid heerst in een ruimte waarin werknemers plegen te verblijven, tenzij zulks redelijkerwijze niet kan worden gevergd.
4. In gevallen waarin voorzieningen, aangebracht in gevolge het derde lid, de werknemers onvoldoende bescherming bieden tegen het schadelijk geluid en in gevallen waarin het aanbrengen van vorenbedoelde voorzieningen redelijkerwijze niet kan worden gevergd, moet het aantal werknemers dat aan schadelijk geluid wordt blootgesteld zoveel mogelijk beperkt zijn.
5. Onze Minister kan met betrekking tot alle fabrieken of werkplaatsen dan wel met betrekking tot fabrieken of werkplaatsen die behoren tot een door hem omschreven categorie het niveau vaststellen, waarboven geluid voor de toepassing van de leden 1 tot en met 4 wordt geacht schadelijk te zijn in de zin van die leden.
6. In gevallen, waarin werknemers kunnen worden blootgesteld aan een door Onze Minister voor de toepassing van dit artikellid vastgesteld schadelijk geluidsniveau, moeten doelmatige gehoorbeschermingsmiddelen in voldoende aantal beschikbaar zijn. Gehoorbeschermingsmiddelen, als bedoeld in de vorige zin, moeten in goede staat verkeren en zindelijk worden gehouden.
7. Onze Minister kan het niveau van schadelijk geluid vaststellen waarboven de ingevolge het zesde lid ter beschikking gestelde gehoorbeschermingsmiddelen door de werknemers moeten worden gebruikt.
8. De leden 1 tot en met 5 zijn met ingang van een bij Koninklijk Besluit te bepalen tijdstip van overeenkomstige toepassing ten aanzien van hinderlijk geluid.
9. De leden 1 tot en met 5 zijn met ingang van een bij Koninklijk Besluit te bepalen tijdstip van overeenkomstige toepassing ten aanzien van schadelijke

trillingen, met dien verstande dat in het geval bedoeld in het derde lid doeltreffende voorzieningen moeten zijn aangebracht, waardoor zoveel mogelijk wordt voorkomen dat schadelijke trillingen rechtstreeks op het lichaam van de werknemer worden overgebracht, tenzij zulks redelijkerwijs niet kan worden gevergd.

10. Het negende lid is met ingang van een bij Koninklijk Besluit te bepalen tijdstip van overeenkomstige toepassing ten aanzien van hinderlijke trillingen"

Artikel 68a Landbouw Veiligheidsbesluit (L.V.B.):
is grotendeels gelijk aan artikel 179a V.B.F.

De Ministriële Beschikking geeft aan dat het niveau in:
- artikel 179a 6^{e} lid V.B.F. en art. 68a 6^{e} lid L.V.B. is vastgesteld op 80 dB(A);
- artikel 179a 7^{e} lid V.B.F. en art. 68a 7^{e} lid L.V.B. is vastgesteld op 90 dB(A);
- artikel 179a 5^{e} lid V.B.F. en art. 68a 5^{e} lid L.V.B. is vastgesteld op 85 dB(A), op een later moment wordt dit 80 dB(A).

Richtinggevende publicaties van de arbeidsinspectie:
P 166-1; "Lawaai op de arbeidsplaats"
P 166-2; "Gehoorbeschermingsmiddelen"

Meetmethode en -apparatuur
Voor de methode van meten wordt verwezen naar P 166-1, lawaai op de arbeidsplaats. Betreffende de apparatuur kunnen vier typen geluiddrukmeters worden onderscheiden. Type 0 stelt de hoogste eisen aan de nauwkeurigheid van de meting met betrekking tot gebruik in laboratoria, type 1 voor nauwkeurig meten in de praktijk, type 2 en type 3 zijn geschikt voor globale metingen. De nauwkeurigheidseisen zijn vastgelegd in norm IEC 651.

Literatuur

Houtgast, T. en Steeneken, H.J.M. Experimental verification of the STI: A valid basis for setting indoor noise level criteria. Proceedings of the Fourth International Congress of noise on a public health problem, 1983, 477-487.

Houtgast, T. Indoor speech intelligibility and indoor noise level criteria. Proceedings of the Third International Congress on noise as a public health problem, American speech language hearing association, Rockville, Maryland, 1978, 172-183.

Teleac. Cursusboek behorende bij de Teleaccursus Ergonomie. Eindredactie A. Eken, Stichting Teleac, Utrecht, 1983.

4.3 Klimaat

Inleiding

Omdat de meeste lichaamsfuncties bij mensen slechts binnen nauwe temperatuurgrenzen (35 - 39°C) goed verlopen hebben mensen een temperatuurregelmechanisme. Dit mechanisme streeft ernaar de diepe lichaamstemperatuur op ca. 37°C te houden, maar soms lukt dat niet helemaal. Dan is er sprake van warmte- of koudebelastheid (bijvoorbeeld merkbaar aan hoge hartfrequentie, veel zweten of juist koude handen en voeten). Zo'n toestand is oncomfortabel, maar is fysiologisch heel normaal. Pas bij hoge belastheid en langere duur kan een fysiologische limiet bereikt worden die tijdelijke of zelfs blijvende schade veroorzaakt.

Het lichaam is dus voortdurend bezig de afgegeven warmte (overdracht aan de lucht, zweetverdamping) in overeenstemming te brengen met de door de stofwisseling opgewekte warmte. De laatste is erg variabel: gedurende arbeidspieken kan wel 10 maal zoveel warmte opgewekt worden als tijdens rust. Bij ongeklede mensen kan het regelmechanisme zulke sprongen wel aan, maar kleding vermindert de mogelijkheden tot aanpassing omdat het opgewekte zweet zo snel niet door de kleding heen kan verdampen. Dit wordt erger naarmate de kleding dikker is en indien er dampremmende lagen (films of coatings) in voorkomen.

Naast de arbeid en de kleding spelen ook de klimaatfactoren temperatuur, vochtigheid, luchtsnelheid en straling (van zon of hete oppervlakken) een rol. Het effect van elk van deze factoren hangt af van de totale combinatie. Daarom is vaak geprobeerd temperatuurindices aan te geven (WBGT (ISO, 1982), Effectieve temperatuur (Houghten and Yagloglou, 1923), L-index van Zuilen en Dop, 1971, etc.) die uit de afzonderlijke waarden worden berekend en die de belasting door het klimaat weergeven op een enkelvoudige schaal. Het geldigheidsbereik van zulke indices is vaal beperkt, maar binnen deze beperkingen kunnen ze een nuttige rol vervullen.

In alle gevallen is het nodig de onverbrekelijk bij elkaar horende gegevens kleding, arbeid en klimaat te kennen. Wordt in aanbevelingen buiten deze richtlijn over één van deze drie gegevens niet gesproken dan is er impliciet een waarde aangenomen, die mogelijk afwijkt van de te beoordelen situatie.

4.3.1 Arbeid en kleding

Beoordeling van een thermische situatie
Afhankelijk van de situatie kan de beoordeling grof of fijn zijn. Grof wil zeggen dat met de hier gegeven middelen een antwoord gezocht wordt. Dat zal niet altijd mogelijk zijn, met name niet voor extreme situaties. In dat geval wordt naar een deskundige verwezen, die de belasting in de gegeven situatie voorspelt of meet en daarbij gehouden is de belastheidscriteria van Tabel 4.3.1 in acht te nemen. Als eerste hulpmiddel voor de deskundige wordt het J.B. Pierce 2-node model aanbevolen (Gagge et al., 1986).
Globaal worden de temperatuurgebieden matige warmte, comfort en matige kou in enige tabellen besproken en wordt voor extreme warmte en extreme kou naar een deskundige verwezen. Echter ook bij afwijkende kleding, wind en arbeid waarvan de zwaarte moeilijk te schatten is kan hulp nodig zijn bij het bepalen van deze parameters.

Hoewel het niet nodig is om discomfort aan wettelijke grenzen te binden omdat de gezondheid nauwelijks in het geding is, kan als richtlijn voor het bereiken van comfort het warmtebalansmodel van Fanger gehanteerd worden, zoals in Fig. 4.3.3.

Fysiologische grenswaarden
De belastheid (ook wel fysiologische belasting, strain) van personen kan tot uiting komen in vele meetbare fysiologische grootheden. In de warmte zijn dat vooral de lichaamstemperatuur, de gemiddelde huidtemperatuur, de zweetproduktie en de hartfrequentie, die alle met de belastheid toenemen. In de kou is vooral de temperatuur van vingers en tenen veelzeggend en bij algehele onderkoeling de lichaamstemperatuur. Voor deze grootheden valt aan de geven wat de neutrale (comfortabele) toestand is, waar discomfort begint, waar prestatievermindering te verwachten valt en wanneer de tolerantie bereikt wordt. Deze getallen zijn niet exact, omdat personen nogal sterk kunnen verschillen in uithoudingsvermogen. De gemiddelde waarden voor jonge mannen zijn in Tabel 4.3.1 (Lotens, 1988) weergegeven.

Tabel 4.3.1 Fysiologische grenswaarden voor thermische belastheid.

parameter	comfort	discomfort	prestatieverlies	tolerantie	
gem. huidtemp. (°C)	33-34	<31,>35	<30,>36		<15
lokale huidtemp. (°C)				pijn bij	>45
vinger en teen temp. (°C)	25-34	<20	<(15-20)		<5
rectale temp. (°C)	37		<36,>38.2	staand:	>38.0
				werk 1 uur:	>39.5
				werk 2 uur:	>38.8
					<35
zweetproduktie (l/h)	.03		geaccl. 4 uur:>1.5		>3
			ongeaccl. 4 uur:>.75		>2
fractie natte huid	.06	>.3	geaccl.: >.9		
			ongeaccl.: .7		
vochtverlies (% lichaamsgew.)	0	>2	>4		>5-6
warmte-opslag (J/g)	0	<-4,>3	<-6,>5	arbeid:	>8
				rust:	>6
					<-12
hartfrequentie (min^{-1})	70	>100	8 uur:>110	2 uur:	>160
				4 uur:	>140
				4 uur, rust:	>120

Hoewel ook voor diverse graden van discomfort zulke waarden gegeven worden, hangen zulke oordelen ook sterk af van de dagelijkse ervaring: de fysiologische prikkels blijven hetzelfde, maar de vertaling in discomfort is een psychologische zaak. Zo kunnen tussen verschillende bedrijfstakken verschillen in ervaring met warmte of koude bestaan en daardoor verschillen in subjectieve beoordeling. Thermisch discomfort wordt in de warmte voornamelijk bepaald door lichaamstemperatuur en relatieve vochtigheid van de huid en in de kou door lichaamstemperatuur en temperatuur van de extremiteiten. Handen en voeten worden in de kou veel kouder dan de romp. Bij toenemende warmte blijkt de gemiddelde huidtemperatuur niet verder te willen stijgen dan tot ca. 35°C, terwijl de vochtigheid dan toeneemt. De twee volgende formules geven een schatting van de temperatuur en vochtsensatie, zoals aangegeven op de schalen van Tabel 4.3.2 (Havenith en Van Middendorp, 1985).

Tempsensatie = Trect + .67 Textr + .047 RH - 60.0

Vochtsensatie = .47 Trect + .051 RH + 2.2 ZP - 17.6

met Temperatuur- en vochtsensatie volgens Tabel II
Trect = rectale temperatuur (°C)
RH = relatieve vochtigheid van de huid (%)
ZP = zweetproduktie (liter/uur)
Textr = extremiteitstemperatuur (°C) (armen, benen, handen en voeten)

Tabel 4.3.2 Schalen voor temperatuur- en vochtsensatie.

waarde	temperatuursensatie	waarde	vochtsensatie
8	zeer heet	10	drijfnat
6	heet	8	nat
4	oncomfortabel warm	6	vochtig
2	comfortabel warm	4	licht vochtig
0	neutraal	2	neutraal
-2	comfortabel koel	0	droog
-4	oncomfortabel koel		
-6	koud		
-8	zeer koud		

Arbeid

De kwalificatie van lichamelijke arbeid in termen van licht en zwaar kan in de praktijk heel handig zijn, maar is niet erg eenduidig. In diverse normen vindt men hiervoor verschillende waarden in termen van metabole warmteproduktie. De voornaamste bron van verwarring is de bedoelde tijdsduur van de inspanning. In Fig. 4.3.1 wordt aangegeven wat voor gemiddelde personen het bij de kwalificatie "licht", "matig" of "zwaar" behorende metabolisme is. Naast de tijdsduur is ook de fysieke conditie van belang: iemand die dagelijks zwaar werk verzet, bouwt zoveel conditie op dat dat werk weer minder zwaar gevonden wordt. Ook moet men zich realiseren dat door hitte werk zwaarder gevonden wordt dan zonder hittebelasting het geval zou zijn.

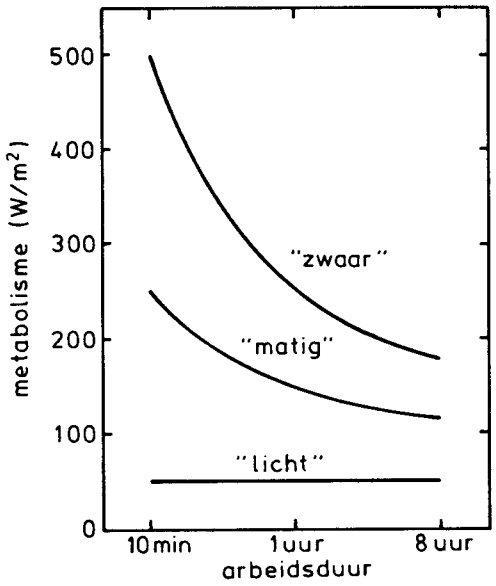


Fig. 4.3.1 Metabolisme als functie van ervaren arbeidszwaarte en arbeidsduur.

Kleding

Kledingisolatie wordt in $m^2 \cdot C/W$ uitgedrukt en soms ook wel in de niet SI-eenheid clo (1 clo = .155 $m^2 \cdot C/W$). Kleding ontleent zijn isolatie in de eerste plaats aan de dikte en in veel mindere mate aan de weefselsamenstelling. Kleding zoals die gedragen wordt bestaat uit een mengsel van lucht en kledinglagen, waarbij de kleding in de eerste plaats dient om de lucht vast te houden. Gaat een persoon bewegen dan wordt een gedeelte van de isolatie teniet gedaan doordat convectie optreedt binnen en buiten de kleding. Gewoonlijk wordt kledingisolatie (I_{cl}, intrinsieke isolatie) opgegeven zonder de isolatie van de aan de buitenzijde klevende luchtlaag. Inclusief die luchtlaag wordt het totale isolatie (I_t) genoemd.

Het schatten van kledingisolatie kan gebeuren volgens Tabel 4.3.3, waarin enige veel voorkomende combinaties zijn opgenomen. Voor andere kledingcombinaties kan gebruik gemaakt worden van de formule van McCullough et al. (1985):

$$I_{cl} = .04 \times \text{Gewicht} \times 1.36 - 10^{-3} \times \text{Opp}(0) - 7.9 \times 10^{-4} \times \text{Opp}(1) \times .142$$

met I_{cl} = isolatie voor staande personen in $m^2 \cdot C/W$ (voor omrekenen naar clo delen door 0.155)

gewicht (excl. schoenen) in kg
Opp(0) onbedekt oppervlak (%)
Opp(1) met 1 kledinglaag bedekt oppervlak (%)

Tabel 4.3.3 Kledingisolatie voor staande personen. De combinaties zijn telkens aangevuld met slip, sokken en schoenen. (k.m. = korte mouw, l.m. = lange mouw) (McCullough et al., 1985).

combinatie	isolatie $m^2 \cdot C/W$	isolatie clo
sporthemd en sportbroekje	.055	.35
sporthemd k.m., spijkerbroek overhemd k.m., knierok	.08	.50
overhemd l.m., spijkerbroek overhemd l.m., knierok, panty	.10	.65
overhemd l.m., sweater, spijkerbroek T-shirt, overal	.12	.75
T-shirt, flanel overhemd l.m., tweed broek overhemd l.m., sweater, tweed rok, panty	.14	.90
overhemd l.m., 2-delig pak T-shirt, 2-delig werkpak	.15	.95
overhemd l.m., 3-delig pak overhemd l.m., lang mantelpak	.17	1.10

De gevonden waarden van I_{cl} gelden slechts voor staande personen, bij geringe luchtsnelheid. Beweging, houding en wind hebben een aanzienlijke invloed, evenals de wijdte: vooral tijdens staan geeft ruim vallende kleding een hogere isolatie dan strakke kleding. Bij benadering kunnen de volgende correctiefactoren op de eerder bepaalde isolatiewaarde gehanteerd worden (Havenith et al., 1988).

ruime valling +.04 $m^2 \cdot C/W$
lopen (4 km/h) - 30%

zitten	- 15%
wind (3 m/s)	- 13%
lopen én wind	- 40%

De invloed van de wind is afhankelijk van de winddichtheid van de buitenlaag, zowel van de stof als van openingen in de kleding.
Uiteraard hebben activiteit en wind ook een sterke invloed op de isolatie van de aanhangende lucht.

Ook de waterdampweerstand speelt een rol. Deze kan op verschillende wijzen uitgedrukt worden, zoals in Pa m^2/W, in vergelijking met stilstaande lucht (mm luchtequivalent) en als relatieve maat ten opzichte van de warmteweerstand (i_m). Ook hier geldt dat de waterdampweerstand hoger is naarmate de kleding dikker is.
Bestaat de kledingcombinatie uitsluitend uit lucht, gebreide of geweven textiellagen dan kunnen de in dit stuk gegeven tabellen gehanteerd worden. Is er sprake van films of coatings in kleding, hoe dun ook, dan wordt verwezen naar een deskundige.

4.3.2 Klimaat

Van de klimaatfactoren hebben temperatuur en straling onder alle omstandigheden grote invloed op thermische belasting. De vochtigheid speelt meestal geen grote rol, behalve in zeer warmte klimaten, waar zweetverdamping de enig mogelijke koeling is. Luchtsnelheid is ook een belangrijke factor, omdat warmte-afgifte erdoor versterkt wordt. Kan er slechts weinig warmte afgegeven worden, dan helpt ventilatie dus ook niet zoveel. Het opvoeren van de luchtsnelheid van stilstaand tot 1 m/s veroorzaakt het grootste effect, hogere luchtsnelheden leveren relatief minder op.
Klimaten kunnen worden gemeten met afzonderlijke meetinstrumenten voor elk van de factoren, maar ook met instrumenten die op twee of meer factoren tegelijk reageren. Zo reageert een zwarte bol zowel op luchttemperatuur als op straling en luchtsnelheid.
Aan temperatuurindices liggen veelal zulke gecombineerde metingen ten grondslag. De bedoeling is dat het meetinstrument (en de daarop gebaseerde index) net zo op het klimaat reageert als mensen. Dit ideaal is nooit verwezenlijkt -

hoewel aardige benaderingen zijn gedaan - omdat mensen warmte produceren, gekleed zijn en bewegen. Dat doen meetinstrumenten meestal niet.
Voor beoordeling van een thermische situatie door een deskundige zullen veelal de afzonderlijke klimaatfactoren gemeten moeten worden. Het omrekenen vanuit gecombineerde meetwaarden is vrij ingewikkeld.

Extreme warmte
In de warmte is de totale warmte-opslag in het lichaam gewoonlijk een goede indicator van belastheid. In extreme warmte, veroorzaakt door arbeid in zware kleding dan wel door een heet klimaat, speelt de warmte-opslag niet meer zo'n sterke rol. Het is veeleer zo dat de hoge huidtemperatuur zo'n belasting voor het hart gaat opleveren dat de grens voor hartfrequentie wordt bereikt, nog voordat de warmte-opslag te groot is. Voor de bepaling van tolerantietijden wordt naar een deskundige verwezen. Het volgen van proefpersonen in een specifieke situatie met telemetrische methoden is hier een betrouwbare methode.
Bij nog hetere klimaten is het niet de gemiddelde huidtemperatuur maar het bereiken van de pijngrens (45°C) op bepaalde stukken huid, die de begrenzing vormt. Dit laatste hangt uiteraard nauw samen met de vormgeving van de beschermende kleding. Hierover zijn slechts door een deskundige uitspraken te doen. Bij zulke belastingen (straling van ovens of brand) wordt de tolerantietijd bepaald door het droogstomen van de kleding, door de massa van de kleding (warmtecapaciteit) en door de dikte.

Matige warmte
Bij minder extreme warmte kan gebruik gemaakt worden van de Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) index, die pretendeert de klimaatfactoren zodanig in rekening te brengen dat eenzelfde WBGT-waarde altijd dezelfde belasting geeft, ongeacht het type klimaat. Daartoe wordt gebruik gemaakt van een zwarte bol, die bij straling een temperatuursverhoging geeft en een natte thermometer, die bij niet met waterdamp verzadigde lucht een lagere temperatuur aanwijst dan de luchttemperatuur.

$$WBGT = .3 * Tgl + .7 * Tw \quad (°C)$$

met Tgl = zwarte bol temperatuur
Tw = natuurlijke natte bol temperatuur

In principe zou met één bovengrenswaarde voor WBGT volstaan moeten kunnen worden, maar omdat kleding en arbeid niet in de formule zitten moet voor iedere combinatie daarvan een andere grenswaarde aangehouden worden. Echter ook de luchtsnelheid wordt niet helemaal correct in rekening gebracht: bij veel straling is het effect van luchtbeweging op mensen kleiner dan op het WBGT-instrument en bij een erg vochtig klimaat juist andersom. Daarom wordt in de grenswaarde ook nog onderscheid gemaakt tussen al of geen luchtbeweging (zie Fig. 4.3.2). Bij erg sterke straling is deze correctie onjuist en moet liever een lagere grenswaarde worden aangehouden dan bij stilstaande lucht. Bovendien moet men er rekening mee houden dat warm-vochtige klimaten bij eenzelfde WBGT toch wat belastender zijn dan andere klimaten.

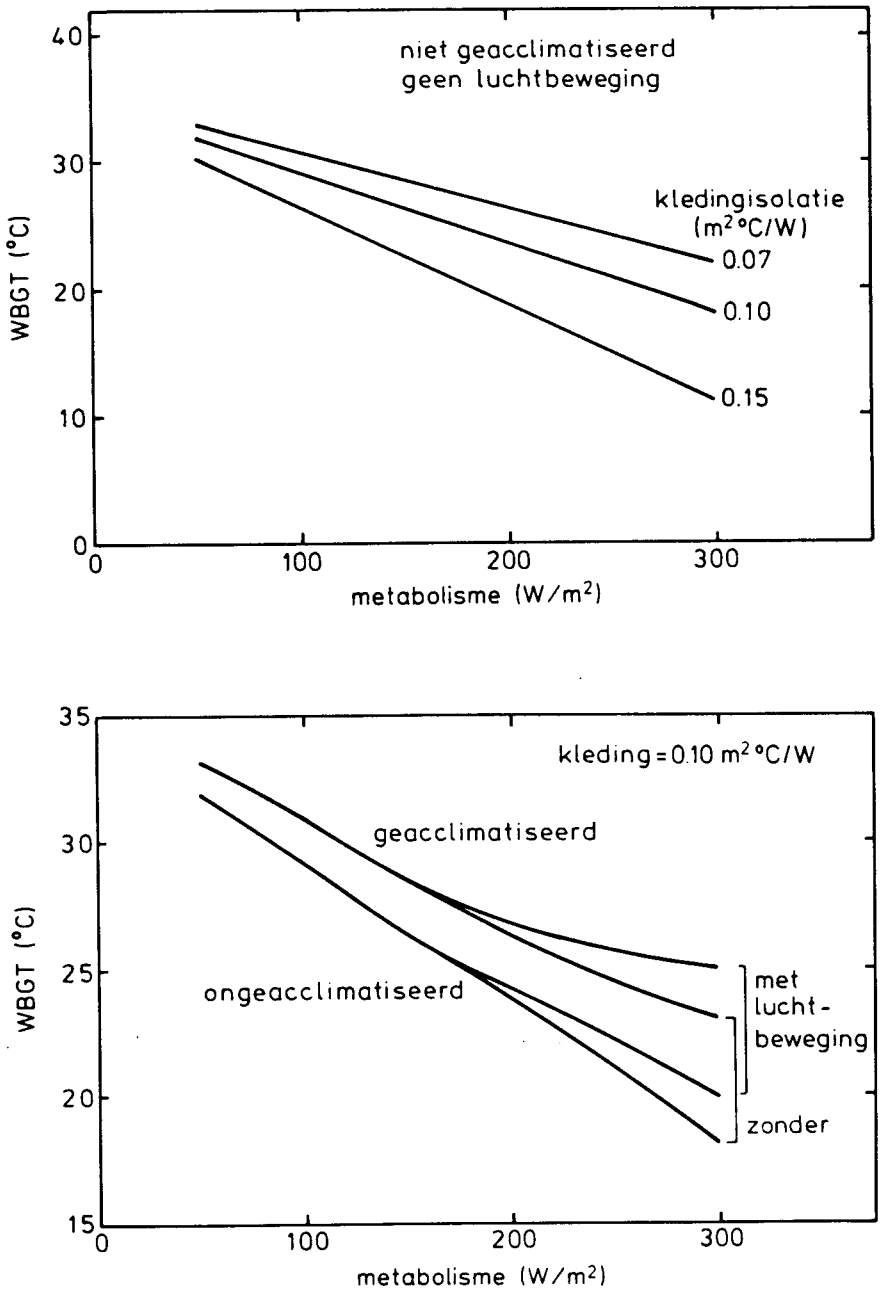


Fig. 4.3.2 Bovengrenswaarden voor WBGT als functie van het metabolisme, met als parameters de kledingisolatie (boven) en acclimatisatiegraad en luchtbeweging (onder).

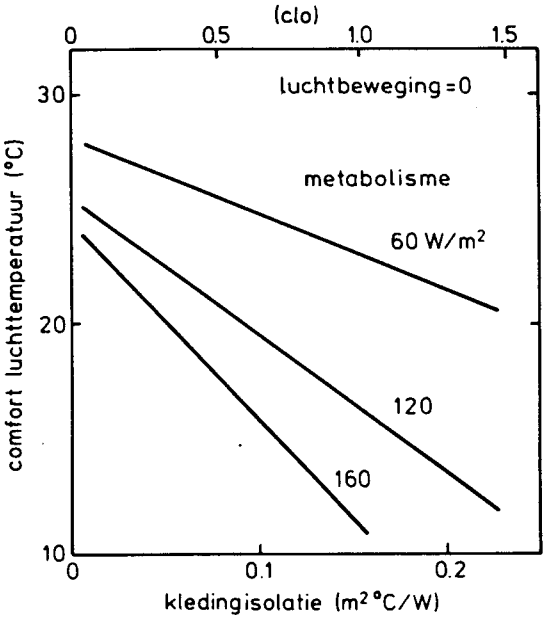
Tenslotte wordt ook nog onderscheid gemaakt tussen geacclimatiseerde en ongeacclimatiseerde mensen, wat vooral bij zwaar werk tot aanzienlijk hogere grenswaarden leidt voor geacclimatiseerden.

Kledingisolatie verlaagt de toegestane grenswaarden. Bij 300 W/m^2 (zeer zwaar werk gedurende 1 uur) moet de grenswaarde 4°C naar beneden voor iedere .03 m^2°C/W (0.2 clo) verhoging van de isolatie. Bij lagere metabolismen is dat evenredig minder (Lotens en Van Middendorp, 1986).

Comfort

Het warmtebalansmodel van Fanger is een rekenmodel waarin alle relevante factoren voor thermisch comfort zijn opgenomen. Daardoor is het veelzijdig: men kan ook optimale temperaturen berekenen voor mensen die arbeid verrichten. Niet alle tabellen kunnen hier weergegeven worden, maar voor de belangrijkste variabelen zijn direct waarden voorhanden (zie Fig. 4.3.3). Situaties die hier niet onder vallen kunnen worden beoordeeld met de gegevens van Fanger (1970) of met daarvoor ontwikkelde meet- en rekenapparatuur.

Bij het gebruik van dat model moet bedacht worden dat het gaat om langdurende situaties en dat, door de spreiding in rustmetabolisme van persoon tot persoon de nauwkeurigheid voor mensen in rust niet zo groot is. Tenslotte zijn de berekende situaties weliswaar thermisch neutraal, maar dat garandeert nog niet altijd comfort, omdat er bijvoorbeeld hinderlijke luchtstromen voelbaar kunnen zijn. Rondom de neutrale temperatuur ligt een gebied van comfortabel koel tot comfortabel warm, dat in zijn geheel als comfortabel beschouwd moet worden. Dat gebied loopt van 3°C onder tot 3°C boven de neutrale temperatuur.



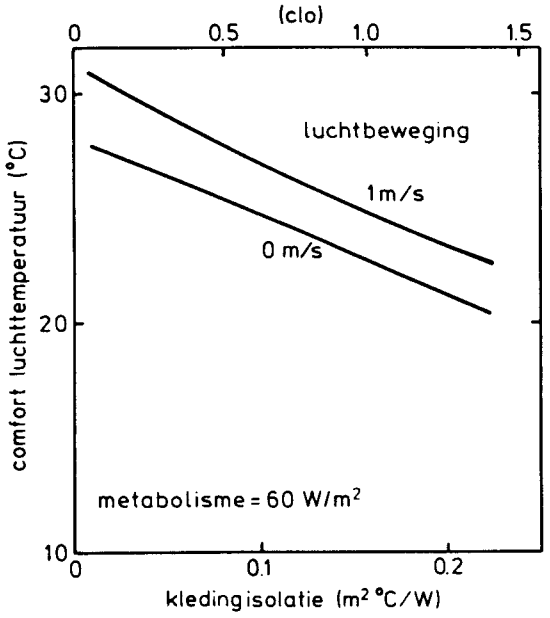


Fig. 4.3.3 Relatie tussen kledingisolatie en comfortabele luchttemperatuur, met als parameters het metabolisme (boven) en de luchtbeweging (onder) (naar Fanger, 1970).

Metabole warmteproduktie beïnvloedt de comforttemperatuur het sterkst. Het effect van luchtbeweging beperkt zich tot zo'n 2°C voor zittende personen en minder bij werkende personen. Binnen de normaal voorkomende relatieve vochtigheden (20 - 80%) varieert de comforttemperatuur ca. 1°C, dat wil zeggen dat voor droge lucht 0.5°C bijgeteld moet worden en bij natte lucht 0.5°C afgetrokken.
Bij lage luchtsnelheden dient iedere graad verhoging van de stralingstemperatuur boven de comforttemperatuur gecompenseerd te worden door een graad verlaging van de luchttemperatuur. Bij hogere luchtsnelheden moet de compensatie lager zijn: ca. 0.5°C/°C bij 0.5 m/s en ca. 0.3°C/°C bij 1.5 m/s. Dit kan tot aanzienlijke aanpassingen van de luchttemperatuur leiden.

Matige kou
Van matige kou is sprake zolang er geen kans op bevriezing van lichaamsdelen bestaat. Deze kans wordt voornamelijk bepaald door de combinatie van wind en temperatuur. Hierop wordt bij extreme kou nader ingegaan. In het algemeen kan men zich op matige kou kleden door voor de juiste kledingisolatie te zorgen. In Fig. 4.3.4 kan worden afgelezen hoe groot die moet zijn, afhankelijk van temperatuur en arbeid (ISO, 1987). De op deze wijze gevonden isolatie is een grove maat. Verfijningen zijn mogelijk, vooral op het gebied van wind en beweging. Hiervoor kunnen de vuistregels van de sectie "kleding" worden gebruikt.

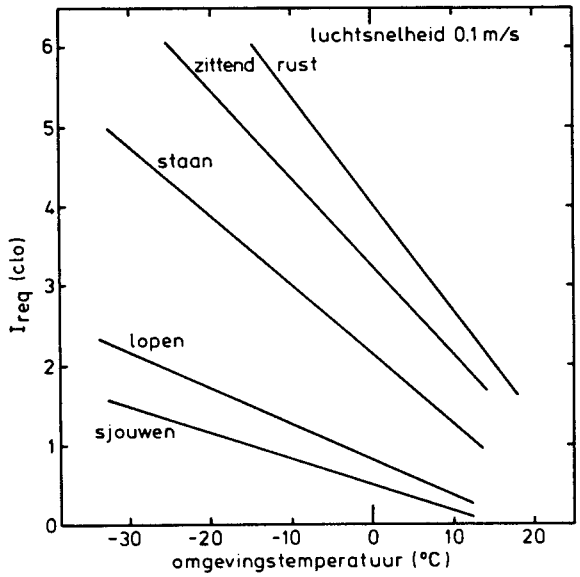


Fig. 4.3.4 Vereiste kledingisolatie om thermisch neutraal te blijven, afhankelijk van temperatuur en arbeid (naar ISO, 1987).

In de praktijk is zelden sprake van continue niveaus van arbeid en temperatuur, terwijl het onpraktisch is bij elke verandering de kleding aan te passen. Bij de bepaling van de benodigde isolatie met behulp van Fig. 4.3.4 moet dan met het tijdgewogen gemiddelde worden gewerkt. Om dan al te grote opwarming of afkoeling te voorkomen is het aan te bevelen dat de wisselingen van klimaat of arbeid elkaar snel opvolgen. De vuistregel is hierbij: hoe extremer de temperatuur- en arbeidswisselingen zijn, hoe sneller ze elkaar dienen op te volgen.
Een bijzonder probleem betreft de bescherming van handen en voeten. Als het lichaam onvoldoende tegen de kou beschermd is, komt dit onmiddellijk in de temperatuur van handen en voeten tot uiting. Dit betekent dat doordachte hand- en voetbescherming begint bij voldoende lichaamsisolatie. Hierbij mag het hoofd niet worden vergeten. Bij lage temperaturen kan het dragen van handschoenen nodig zijn. Laat

de taakuitvoering dit niet toe, bijvoorbeeld omdat er veel fijn handwerk moet worden verricht, of omdat er sprake is van natte omstandigheden, dan moet een oplossing worden gevonden in een werk/rusttijden regeling en/of verwarming van buitenaf, bijvoorbeeld een verwarmde plaat waarop men naar behoefte op de werkplek de handen kan warmen. In het algemeen geldt dat de problemen met handen en voeten in de kou groter worden naarmate de arbeidsinspanning lager is. Daarom kan wat fysieke inspanning al gauw verbetering opleveren.
Langdurige blootstelling (dagen achtereen) aan matige kou kan bij gebrekkige bescherming tot beschadiging van het perifere vaatsysteem leiden.

Hypothermie, onderkoeling van het gehele lichaam ($T_{kern} < 35°C$), is alleen in zeer bijzondere situaties (zoals calamiteiten) een dreiging waarmee rekening gehouden moet worden. Met uitzondering van duikwerkzaamheden komt dit in normale Nederlandse bedrijfssituaties niet voor. Wel is het zo dat matige onderkoeling en dikke belemmerende kleding factoren zijn die de kans op ongevallen vergroten.

Extreme kou
Ook op extreme kou kan men zich kleden, maar afhankelijk van de zwaarte van de arbeid is dan al gauw zoveel isolatie vereist dat de taakuitvoering door de benodigde kleding zwaar kan worden gehinderd. Een oplossing is gelegen in het bewust kiezen van een geringe isolatie, waardoor wel het lichaam afkoelt. Dit leidt tot de noodzaak de blootstellingsduur te begrenzen. Het meest voor de hand liggende belastheidscriterium is hierbij dat rillen moet worden voorkomen, omdat daarbij ook de prestatie achteruit gaat.
Extreme kou wordt verder gedefinieerd door een reëel gevaar op huidbevriezing. Theoretisch is dit reeds mogelijk bij enkele graden onder nul, maar dan zou de blootstelling zolang moeten duren dat dit voor de normale arbeidssituatie niet relevant is. Een combinatie van lage temperatuur en wind geeft veel sneller kans op bevriezing dan lage temperatuur alleen. De richtlijn in deze moet zijn dat de warmtestroomdichtheid van de nog warme huid (33°C) niet meer mag bedragen dan 1375 W/m^2 (Siple and Passel, 1945). Wordt deze grenswaarde overschreden dan kan blote huid in korte tijd bevriezen. In Fig. 4.3.5 is deze grenswaarde

uitgezet als functie van temperatuur en windsnelheid. Ook treft men in deze figuur andere warmtestroomdichtheden aan met daarbij de gevoelstemperatuur.

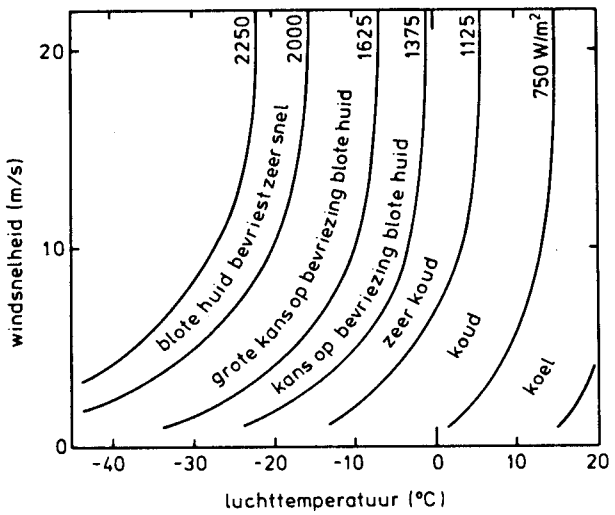


Fig. 4.3.5 Warmtestroomdichtheid van warmte blote huid als functie van luchttemperatuur en windsnelheid. Boven de 1375 W/m^2 bestaat er kans op snelle huidbevriezing (naar Siple en Passel, 1945).

Door isolatie kan het gevaar op huidbevriezing belangrijk worden teruggedrongen. Ook neemt het gevaar op bevriezing van handen en voeten af met toenemende lichaamstemperatuur.

Voor de goede taakuitvoering zijn warme handen (en in mindere mate warme voeten) vereist. De huidtemperatuur van handen en voeten moet hiervoor niet lager zijn dan 15 - 20°C (Enander, 1984). Indien beschermende maatregelen hierin niet kunnen voorzien moet een oplossing worden gevonden in beperking van de blootstelling en/of verwarming van buitenaf. Algemene richtlijnen hiervoor zijn lastig te geven omdat de individuele spreiding in de perifere reactie op koude erg groot is. In voorkomende gevallen dient men zich tot een deskundige te wenden.

Fysiek contact met koude voorwerpen en vloeistoffen is een apart probleem dat nog een nader bestudering behoeft.

Discussie

De behandeling van klimaat in de genoemde handboeken wordt gekenmerkt door een onvoldoende begrip van de samenhang tussen arbeid, kleding en klimaat.
Klimaat is een samenvatting van vier variabelen (temperatuur, vochtigheid, wind en straling), kleding van twee variabelen (isolatie en waterdampdoorlaatbaarheid) en arbeid wordt beschreven met warmteproduktie. Deze zeven variabelen vormen een moeilijk te overzien systeem, waaruit de handboeken telkens een beperkte selectie maken, zonder altijd de beperkingen te vermelden. Daarnaast wordt er geen duidelijk inzicht gegeven in de betekenis van arbeidszwaarte, van comfort van belastheid en van gezondheidsrisico's. De huidige stand van de wetenschap is beduidend verder dan uit de handboeken blijkt. Computermodellen zijn tegenwoordig een onmisbaar stuk gereedschap om het geheel te overzien.
In de huidige opzet is consequent gekozen voor het tonen van de samenhang van klimaat, kleding en arbeid, zijn diverse begrippen gekwantificeerd (bij voorbeeld arbeidszwaarte) en wordt ook de nadruk gelegd op een correcte bepaling van kledingisolatie.
Daarnaast wordt duidelijk gesteld welke situaties door niet-specialisten te behandelen zijn en waar specifieke deskundigheid vereist is. De hantering van de regels door de niet-specialist moet niet dogmatisch zijn. Vaak is het hanteren van praktische vuistregels en oplossingen nuttiger dan het aangeven van harde limieten. Discussie over de richtlijn wordt bij de behandeling gevoerd.
Een duidelijke verbetering ten opzichte van de L-index, die in de huidige wetgeving gehanteerd wordt, is het opnemen van de factor straling.
Een zwak punt is de onvolledigheid van de richtlijn. Er zijn nog vrij veel situaties waarover zo weinig kennis beschikbaar is (of liever, waarover de theoretische kennis nog zo weinig is gevalideerd) dat er een deskundige aan te pas moet komen. Dat gaat vooral over extreme hitte en kou, het hanteren van koude materialen, kleding met dampremmende lagen etc. In de huidige periode wordt - wereldwijd -

weinig meer gedaan aan grote validerende studies en het valt te voorzien dat de vorderingen in de richting van geaccepteerde richtlijnen slechts langzaam zullen gaan.

Normen, wet- en regelgeving

Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en werkplaatsen:

Artikel 79; Gebouwen en andere opstallen moeten zodanig zijn ingericht en worden onderhouden, dat, rekening houdende met de eisen welke de aard van het bedrijf stelt, de daarin verblijvende werknemers zijn beschut tegen nadelige invloeden van het buitenklimaat.

Artikel 80; Temperatuur-index L.

1. In deze paragraaf wordt verstaan onder temperatuur-index L de grootheid bepaald met behulp van de formule

$$L = \frac{42\ tl - 8\ tl_1}{34 + tl - tl_n}$$

Artikel 81; Ten behoeve van de beoordeling van klimaatsituaties ter plaatse waar arbeid wordt verricht moeten zonodig doelmatige meetinstrumenten zijn aangebracht.

Artikel 82; Warmte klimaatsituaties.

1. Ter plaatse waar arbeid wordt verricht mag de temperatuurindex L niet meer bedragen dan 29.
2. In afwijking van het eerste lid mag de temperatuurindex L meer dan 29 bedragen in omstandigheden dat redelijkerwijs niet kan worden verlangd dat aan het eerste lid wordt voldaan, mits de arbeidsduur ter plaatse wordt beperkt en daarop aansluitend zo mogelijk tijdelijk verblijf in een koelere omgeving wordt verschaft. Deze omstandigheden worden geacht aanwezig te zijn onder meer in of bij een kunstmatig verwarmde drooginrichting, oven of stoomketel; bij warm weer in een bijzondere open of besloten ruimte, zoals een in aanbouw reparatie of onderhoud zijnd schip, bouwwerk of tank; bij een bedrijfsstoring; dan wel bij bijzonder warm weer.
3. Indien de temperatuurindex L buiten niet meer dan 18 bedraagt, mag de temperatuurindex L in een werklokaal, behoudens het bepaalde in het vijfde lid, niet meer bedragen dan 23.

4. Indien de temperatuurindex L buiten meer dan 18 bedraagt, mag de temperatuurindex L in een werklokaal, behoudens het bepaalde in het vijfde lid, ten hoogste 5 meer bedragen.
   Teneinde grotere verschillen in de indices dan 5 te voorkomen moeten doelmatige middelen zijn aangewend zoals een voldoende warmte-isolerende constructie van de werklokalen, technische voorzieningen ter regeling van het binnenklimaat of zonweringen.
5. In afwijking van het derde en vierde lid mag in een werklokaal arbeid worden verricht, wanneer redelijkerwijze niet kan worden verlangd, dat aan het derde en vierde lid wordt voldaan, op grond van de eisen die het produkt of het fabricageproces daar aan het binnenklimaat stelt, zoals in spinnerijen, weverijen, breierijen, deegmakerijen, dan wel bij een bedrijfsstoring, één en ander met inachtneming van het bepaalde in het eerste en tweede lid.

Artikel 83; Koude klimaatsituaties.

1. Ter plaatse waar arbeid wordt verricht mag de temperatuurindex L niet minder bedragen dan 12; overschrijding van die grens moet worden voorkomen door doelmatige middelen aan te wenden, zoals verwarmingsinstallaties of een voldoende warmte-isolerende constructie van de werklokalen.
2. In afwijking van het eerste lid mag de temperatuurindex L minder dan 12 bedragen in omstandigheden dat redelijkerwijs niet kan worden verlangd dat aan het eerste lid wordt voldaan, mits doelmatige persoonlijke beschermingsmiddelen worden gebruikt, verwarmingsinstallaties of andere doelmatige middelen zijn aangewend, dan wel de arbeidsduur ter plaatse is beperkt en tijdelijk verblijf in een warmere omgeving mogelijk is gemaakt.
   Deze omstandigheden worden geacht aanwezig te zijn onder meer: indien het produkt of het fabricageproces aan het binnenklimaat bepaalde eisen stelt; In een kunstmatig gekoelde ruimte, zoals een koelhuis of vriescel; bij koud weer in een bijzondere open of besloten ruimte, zoals een in aanbouw, reparatie of onderhoud zijnd schip, bouwwerk of tank, een houtloods of een ijzerpark; in een ruimte waar door de aard van het bedrijf een deel der wanden ontbreekt, zoals in een zagerij van bomen, hout of lang ijzer; dan wel bij een bedrijfsstoring.

Artikel 85; Indien werknemers in de regen arbeid verrichten of bij hun arbeid bespat worden met water dan wel in contact komen met natte of koude oppervlakken, moeten, ter beschutting tegen de nadelige invloeden daarvan, doelmatige middelen zijn aangewend, zoals vloerroosters, voetenbanken, verwarmde voetplaten, matten, regenschutten, spatschermen, dekkleden of persoonlijke beschermingsmiddelen worden gebruikt, zoals waterdichte of gevoerde handschoenen en schoeisel, vochtkerende of isolerende overkleding en hoofdbedekking.
Artikel 86; Indien werknemers bij de aanvang, tijdens of bij het einde van hun arbeid zijn blootgesteld aan grote temperatuurswisselingen, moeten, teneinde de werknemers te beschutten tegen de nadelige invloeden daarvan doelmatige middelen zijn aangewend of doeltreffende maatregelen zijn genomen.
Artikel 27, arbeidsbesluit jeugdigen; "Een jeugdig persoon mag geen arbeid verrichten welke naar het oordeel van het districtshoofd een uitgesproken negatieve invloed uitoefent op zijn ontwikkeling door één of meer van der volgende omstandigheden: c) een ongunstige omstandigheid met betrekking tot het binnenklimaat of de verlichting in de ruimte waarin de arbeid wordt verricht".
Artikel 59, arbeidsbesluit 1920; "Een jeugdig persoon of een vrouw mag geen arbeid verrichten in een winkel of een apotheek: a) waar niet gedurende de werktijd op doelmatige wijze voldoende toevoer van verse lucht en afvoer van bedorven lucht is gewaarborgd; b) waar hinderlijke tocht niet is vermeden; c) indien niet, wanneer het districtshoofd zulks als eis heeft gesteld, die winkel of die apotheek bij koude weersgesteldheid tot tenminste 10°C is verwarmd.
Artikel 63, arbeidsbesluit 1920; "Een jeugdig persoon of een vrouw mag in een kantoor geen arbeid verrichten in een werklokaal, dat bij koude weersgesteldheid niet tot tenminste 15°C is verwarmd, en waar niet, indien het districtshoofd zulks als eis heeft gesteld, een goed werkende thermometer is opgehangen op een door hem aangegen plaats."

Richtinggevende publikaties van de arbeidsinspectie:
P 30; "Bouw en inrichting van bedrijfsruimten".
CP 14; "Zwangerschap en arbeid".

Meetmethoden en -apparatuur

Klimaatgrootheden
Voor het meten van klimaatgrootheden bestaan meetinstrumenten die de grootheden apart meten (temperatuur, relatieve vochtigheid, luchtsnelheid, stralingsintensiteit) ofwel combinaties van de grootheden.
Zwarte bol: straling wordt door een zwarte bol van 15 cm diameter (tegenwoordig ook vaak kleiner) geïntegreerd en toont een temperatuurverhoging ten opzichte van de luchttemperatuur. De uitslag hangt mede van de luchtsnelheid af.
Natte bol: een natte thermometer die afhankelijk van de relatieve vochtigheid een lagere waarde dan de luchttemperatuur aangeeft. Er zijn twee versies, de natuurlijke natte bol (met vrije convectie) en de psychrometer (met aangeblazen lucht), die verschillende ijkingen hebben.
Wet Bulb Globe Temperature: gewogen gemiddelde van zwarte en natuurlijke natte bol.
Botsball: natte zwarte bol van 6 cm diameter. Wijst globaal 0.6°C lager aan dan de WBGT. Heel eenvoudig.
Stralingsmeter: Stralingsmeters wijzen direct de stralingsintensiteit aan. Werken op een pyro-elektrisch kristal of op het temperatuurverschil tussen een zwart en een glimmend vlakje. Ze bestaan in richtinggevoelige en -ongevoelige uitvoering.
Relatieve vochtigheid: elektronische relatieve vochtigheidsmeters werken op een elektrische condensator waarvan het diëlectricum vochtgevoelig is of op een vochtgevoelige weerstand. Absolute vochtigheid kan bepaald worden met een dauwpuntsmeter, die een oppervlakje koelt tot het juist beslaat. IJking kan het eenvoudigste gedaan worden met de besproken psychrometer.
Luchtsnelheid: het gevoeligste zijn thermo-anemometers, verwarmde elementjes die minder warm worden als er meer luchtbeweging is. Ze bestaan in richtinggevoelige en -ongevoelige uitvoering. De interpretatie van de meting is vaak erg lastig omdat geen onderscheid kan worden gemaakt tussen stroming en turbulenties. In combinatie met rook wordt de interpretatie eenvoudiger. Minder gevoelig zijn schoepenrad- of vleugelradanemometers, die eigenlijk alleen voor sterke luchtbewegingen geschikt zijn.

Luchttemperatuur: Er bestaan talloze uitvoeringen luchttemperatuurmeters, die verschillen in nauwkeurigheid, gevoeligheid, stabiliteit en snelheid van aanwijzing. Het goed meten van luchttemperatuur is minder eenvoudig dan het lijkt omdat naast de kwaliteit van het instrument ook variaties in de tijd, in de plaats en in storende invloeden (bijv. straling) meespelen.

Kledingisolatie
Voor het meten van kledingisolatie bestaan diverse methoden, die geen van alle nauwkeurig én eenvoudig zijn.
Tabelwaarden: kledingisolatie kan opgezocht worden in tabellen zoals in de sectie "kleding". De waarden gelden voor staande personen in kalme lucht. Identificatie tussen werkelijke kleding en getabelleerde kleding geeft aanleiding tot forse fouten.
Regressievergelijkingen: Zoals in de sectie "kleding". Wellicht de juiste balans tussen eenvoud en nauwkeurigheid (Havenith, 1987). Alleen voor staande personen in kalme lucht. Niet voor extreme kledingensembles.
Manikinmetingen: meting op een verwarmde pop. Nauwkeurig, maar veelal alleen voor staande personen.
Proefpersoonmetingen: zeer realistisch, maar arbeidsintensief en uitgebreide apparatuur vereist. De enige methode die ook gegevens over waterdampdoorlaatbaarheid geeft.
Fysische berekeningen: op basis van dikte en samenstelling van de kleding kan een vrij nauwkeurige voorspelling gedaan worden, die zich ook uitstrekt tot andere activiteiten dan staan en tot variaties in windsnelheid. Belooft veel, maar is nog onvoldoende gevalideerd.

Arbeid en fysiologische belastheid
Metabolisme: de nauwkeurigste meting gaat via de zuurstofopname. Daarvoor bestaat draagbare apparatuur, die echter voor een aantal activiteiten te groot of te belemmerend is. Een eenvoudige methode, die redelijk nauwkeurig is, is het meten van de hartfrequentie tijdens de activiteit die in het laboratorium of in de kliniek geijkt wordt tegen het metabolisme. Kan ook via een regressieformule, maar de fysieke conditie van de proefpersoon moet dan ingevuld kunnen worden (Havenith, 1987). Methoden als arbeidsanalyse (tijdregistratie van bewegingen) en tabellen (karakteristieken voor beroepen en activiteiten) zijn te onnauwkeurig en moeten afgeraden worden.

Hartslag: hartslag is te bepalen met diverse miniatuur dataloggers.
Interne temperatuur: meting van de rectale temperatuur (12 cm diep) is probleemloos, zolang de speciale sondes niet kunnen verschuiven. De meting reageert vrij traag. Sneller is de slokdarmtemperatuur, die echter een voor de proefpersoon nogal hinderlijke sonde via de neus vergt. Meting in het oorkanaal is gevoelig voor lekkage van buitenlucht en houdt een risico van kwetsuren in.
Huidtemperatuur: voor huidtemperatuurmeting bestaan diverse sondes. In een droge omgeving zijn vooral thermistors nauwkeurig en betrouwbaar, in een natte omgeving zijn thermokoppels beter.
Zweetproduktie: wordt bepaald door weging met een zeer gevoelige balans. Vergt grote discipline van de proefpersoon omdat iedere onnadenkendheid tot grote fouten leidt. Veel individuele variatie.
Warmte-opslag: Is een gewogen optelling van interne- en huidtemperatuur.

Literatuur

Enander, A. Performance and sensory aspects of work in cold environments: a review. Ergonomics 27, 365-378, 1984.
Fanger, P.O. Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. McGraw Hill Book Cie, New York, 1970.
Gagge, A.P., Fobelets, A.P. en Berglund, L.G. A standard predictive index of human responses to the thermal environment. ASHRAE Trans 92, 1986.
Havenith, G. en Middendorp, H. van. Thermische eigenschappen van het gevechtskledingsysteem uit de PSU-80. Rapport Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, IZF 1985 C-21.
Havenith, G. Bepaling van kledingisolatie en metabolisme op de werkplek. Rapport Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, IZF 1987 C-16.
Havenith, G., Heus, R. en Lotens, W.A. Resultant clothing insulation: a function of body movement, posture, wind, clothing fit and the reference insulation value. Submitted to Ergonomics, 1988.
Houghten, F.C. en Yagloglou, C.P. Determination of the comfort zone. Journal Am. Soc. Heat Vent. Eng. 1923, 29, 515.
ISO 7243. Hot environments. Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index, 1982.

ISO/TC159/SC5/WG1/N139. Evaluation of cold environments. Determination of the required insulation and wind-chill index, 1987.

Lotens, W.A. en Middendorp, H. van. How well does WBGT predict heat strain; estimates from a mathematical model. Rapport Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, IZF 1986 C-12.

Lotens, W.A. Comparison of thermal predictive models for clothed humans. ASHRAE Trans 94, 1988.

McCullough, E.A., Jones, B.W. en Huck, P.E.J. A comprehensive data base for estimating clothing insulation. ASHRAE Trans 91, 29-47, 1985.

Siple, P.A. en Passel, C. Measurement of dry atmospheric cooling in sub-freezing temperature. Proc. Am. Phil. Soc. 89, 177-199, 1945.

Zuilen, D. van en Dop, G.H. De herziening van het veiligheidsbesluit fabrieken en werkplaatsen ten aanzien van voorschriften betreffende bescherming tegen klimaatinvloeden. Publicatie IGT-TNO 386, 1971.

4.4 Trillingen

Inleiding

Trillingen kunnen in twee categorieën worden ingedeeld: lichaamstrillingen (whole body vibration) en handarmtrillingen. Bij lichaamstrillingen wordt het gehele lichaam in trilling gebracht via de steunvlakken (voeten, zitvlak), zoals bijvoorbeeld bij personen in rijdende voertuigen. Zeer laag-frequente trillingen (frequentie lager dan 1 Hz), die een gevoel kunnen geven van zeeziekte, worden hier niet beschouwd. Bij handarmtrillingen worden de trillingen op de handen overgebracht, bijvoorbeeld bij het gebruik van trillend en/of schokkend handgereedschap. Ongewenste effecten kunnen zijn; ongemak, vermindering van prestatie en diverse gezondheidseffecten. Of trillingen deze effecten veroorzaken hangt af van een combinatie van drie kenmerken: trillingsfrequentie, trillingsversnelling en blootstellingsduur.
Langdurige blootstelling aan *lichaamstrillingen* kan ondermeer de volgende negatieve gezondheidseffecten veroorzaken: vervroegd optredende afwijkingen van de wervelkolom, hernia, klachten over pijn of stijfheid in de rug, maagklachten, het ontstaan van maagzweren en ontstekingen van het maagslijmvlies en bij vrouwen ook menstruatiestoornissen en afwijkingen in de ligging van de baarmoeder. Dosis-effectrelaties met betrekking tot gezondheidseffecten zijn nog niet opgesteld. Voor de huidige internationale en buitenlandse normering hebben subjectieve klachten van proefpersonen in experimentele situaties en tijdelijke fysiologische effecten de basis gevormd.

De gezondheidsschade die kan optreden door langdurige blootstelling aan *handarmtrillingen* is het zogeheten vibration induced white finger syndrome (VWF, witte vingers) en aandoeningen van botten, gewrichten en mogelijke spieren. In de literatuur zijn veel genoemde bronnen van blootstelling op de arbeidsplaats motorkettingzagen, pneumatische hamers en electrisch slijpgereedschap. Bij het ontstaan van VWF spelen trillingsintensiteit, expositieduur, blootstelling aan kou en het individuele doorbloedingspatroon een rol.

4.4.1 Blootstellingsduur

Lichaamstrillingen
Met betrekking tot lichaamstrillingen is de internationale standaard ISO 2631 "Guide to the evaluation of human exposure to whole-body vibration" (1978) (inclusief amendment 1 en addendum 1 en 2 (1982)) (in Nederland is deze standaard overgenomen als NEN 22631) het meest gezaghebbend, hoewel de onderbouwing met betrekking tot de tijdafhankelijkheid en spectrale weging zwak is, nog afgezien van de koppeling aan resultaten van epidemiologisch onderzoek.

In ISO 2631 worden drie grenzen aangegeven. Het betreft:
- uiterste blootstellingsgrens (exposure limit) voor gezondheid of veiligheid;
- vermoeidheidsgrens (fatique-decreased proficiency boundary). Boven deze grens bestaat er een aanzienlijke kans op verlaging van de werksnelheid, vooral als duureffecten de prestatie kunnen beïnvloeden;
- (verminderd) comfortgrens (reduced comfort boundary).

Handarmtrillingen
Het meest gezaghebbend op het gebied van handarmtrillingen is ISO 5349 "Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration" (1986). In het document worden dosis-effectrelaties gegeven, waarbij VWF als effect gekozen is (zie Fig. 4.4.1). In Fig. 4.4.1 is horizontaal de frequentiegewogen versnelling in de dominante trillingsrichting uitgezet en verticaal de totale expositieduur (in jaren) voorafgaand aan het optreden van stadium 1 van VWF bij een bepaald percentage (10 tot 50) van de geëxponeerde populatie. De gemiddelde blootstellingstijd per werkdag is daarbij 4 uur. Andere percentages kunnen worden gevonden als bijvoorbeeld klimaat of knijpkracht, waarmee het werktuig wordt bediend, sterk afwijken.

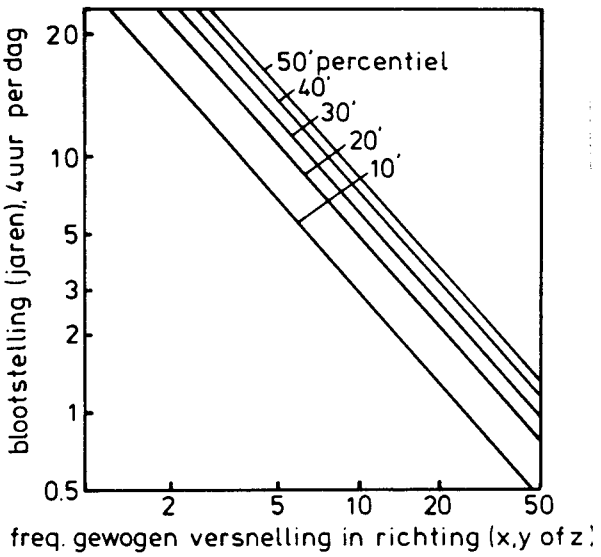


Fig. 4.4.1 Blootstellingsduur, waarboven kans bestaat op witte vingers, voor verschillende percentielen, in relatie tot het frequentiegewogen versnellingsniveau (naar Annex A van ISO 5349).

De frequentieweging is in Tabel 4.4.1 gegeven. Vanaf 16 Hz neemt per verdubbeling van de frequentie (octaafband) de weegfactor met een factor twee af. Beneden 16 Hz is de weegfactor constant.

Tabel 4.4.1 Frequentie-afhankelijke weegfactor als de versnellingen per octaafband zijn bepaald.

frequentie (in hertz)	weegfactor
8,0	1,0
16,0	1,0
31,5	0,5
63	0,25
125	0,125
250	0,063
500	0,032
1000	0,016

Bijzonderheden over de toepassing

Vermoeidheidscriterium voor lichaamstrillingen
In Fig. 4.4.2 is de volgens ISO 2631 maximaal per werkdag toegestane blootstellingsduur voor verticale lichaamstrillingen gegeven, afhankelijk van de trillingsfrequentie en de r.m.s.-waarde van de trillingsversnelling. Verticale trillingen, in de lengterichting (z-richting) van een persoon, komen in de praktijk het meest voor. Voor horizontale trillingen (zowel in de x- als de y-richting van een persoon) gelden enigszins andere grenscurven. Fig. 4.4.2 is gebaseerd op het vermoeidheidscriterium. Met comfort als criterium is de maximaal toegestane versnelling een factor 3,15 (-10 dB) kleiner en de uiterste blootstellingsgrens ligt een factor 2 (+6 dB) hoger.

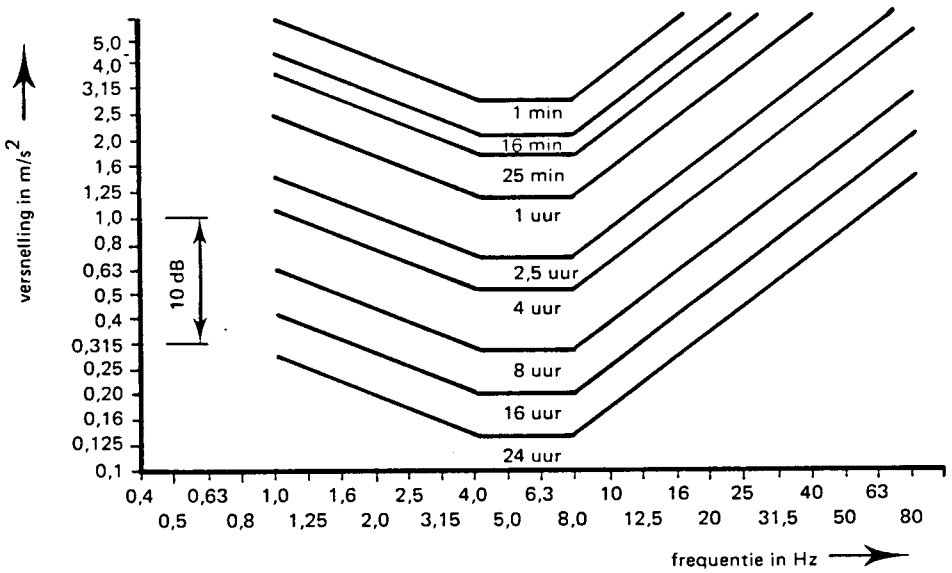


Fig. 4.4.2 Maximaal toegestane blootstellingstijd per werkdag voor verticale lichaamstrillingen, afhankelijk van trillingsfrequentie en trillingsversnelling (naar ISO 2631).

Handarmtrillingen
In Fig. 4.4.3 is, afhankelijk van de blootstellingsduur per werkdag, de maximaal toegestane blootstellingsduur voor

handarmtrillingen gegeven. Bij een incidentele expositie van minder dan een half uur per werkdag mag de trillingsversnelling een factor 5 maal zo groot zijn als bij een blootstelling van meer dan 4 uur per dag. Deze figuur is overgenomen uit een draft International Standard (ISO/DIS 5349.2 (1984)), die een voorloper is geweest van ISO 5349 (1986). Het geheel is daarbij genormeerd naar een maximaal toegestane versnelling gedurende 4 uur per werkdag van 0,80 m/s^2 bij frequenties van 16 Hz en lager.

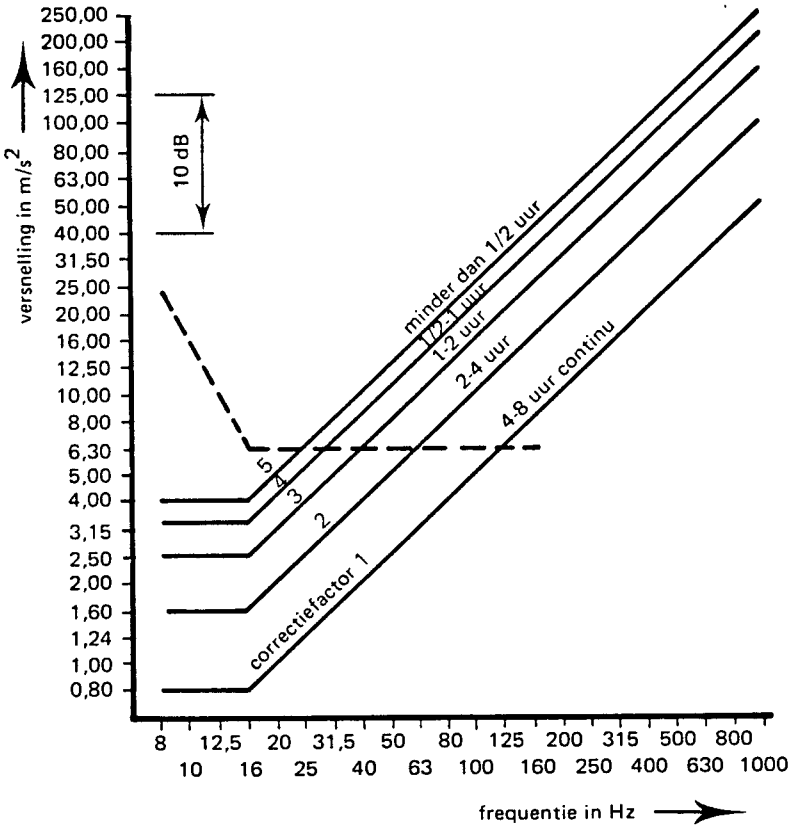


Fig. 4.4.3 Maximaal toegestane blootstellingsduur voor handarmtrillingen, afhankelijk van trillingsfrequentie en trillingsversnelling (naar ISO/DIS 5349.2).

Discussie

Een praktische tekortkoming van ISO 2631 met betrekking tot lichaamstrillingen is gelegen in het feit dat er in principe slechts periodieke (waaronder harmonische) trillingen mee beoordeeld kunnen worden, omdat het basis-

materiaal waarop ISO 2631 berust slechts betrekking heeft op periodieke trillingen en niet op random (stochastische) trillingen en/of schokken. De literatuur geeft aanwijzingen dat voor stochastische (dat wil zeggen niet-stationaire) trillingen, die in de praktische situatie veelvuldig voorkomen, de in Fig. 4.4.2 gepresenteerde frequentie-wegingscurven bij de frequenties beneden 10 Hz te tolerant zijn, dat wil zeggen een (geringe) onderwaardering van het effect van stochastische trillingen geven. Voor de bepaling van de invloed van schokken/stoten zijn andere methoden dan die uit ISO 2631 in principe meer geschikt. Toepassing van de methoden uit ISO 2631 leidt waarschijnlijk tot een onderschatting van het effect van trillingen gecombineerd met schokken/stoten. Door een gebrek aan onderzoekgegevens is het thans nog niet mogelijk om richtlijnen met betrekking tot schokken/stoten op te stellen.
Tevens is in ISO 2631 geen rekening gehouden met individuele verschillen. Kritische geluiden ten aanzien van de norm hebben ook betrekking op de geringe empirische ondersteuning onder andere wat betreft de invloed van blootstellingsduur op vermoeidheid en comfort. De grenswaarden voor een blootstellingsduur van minder dan 1 uur zouden mogelijk te hoog kunnen zijn.
De richtlijn is in de praktijk tevens vrij moeilijk te hanteren. Frequentie, versnelling en blootstellingsduur moeten worden gemeten, geanalyseerd en geïnterpreteerd. Daarvoor is speciale deskundigheid nodig.
De laatste jaren is de tendens toegenomen om niet naar verschillende frequenties en versnellingen te kijken maar om te komen tot een frequentie-gewogen versnelling. Als bovendien de gewogen versnellingen vectorieel worden opgeteld voor de drie richtingen (x, y, z) dan kan een bepaalde trillingssituatie door één getal worden gekarakteriseerd. Een dergelijke methode geeft een weging van alle trillingen over het gehele spectrum in alle richtingen. Frequenties met aanzienlijke, maar niet kritieke, trillingsintensiteit worden dan mede in de beoordeling opgenomen. De grootte van het resulterende getal is hoger dan die voor de kritieke frequenties en kritieke richtingen. De beoordeling van de frequentie-gewogen vectorieel opgetelde effectieve versnelling geschiedt door de horizontale (4-8 Hz) grenzen in de diagram van de ISO 2631 te gebruiken.

Ook ISO 5349 voor handarmtrillingen geeft geen beschrijving van de populatie waarvoor de standaard van toepassing is. Wel zijn de grenswaarden gebaseerd op medisch-epidemiologische onderzoekgegevens. Handarmtrillingen komen meestal voor in combinatie met andere mechanische belastingsfactoren zoals statische krachtuitoefening of schokkrachten door terugslag van gereedschap. Over cumulatieve effecten is nog weinig bekend. Ook hier geldt weer het probleem van het nauwkeurig meten van trillingen waardoor het gebruik van richtlijnen wordt bemoeilijkt en speciale deskundigheid vereist is. Bij handarmtrillingen worden situaties beoordeeld aan de hand van de frequentie-gewogen effectieve versnelling. Daarbij beveelt ISO 5349 aan om trillingen die in meer dan één richting optreden, te beoordelen naar de component met de hoogste frequentie-gewogen effectieve versnelling.

Normen, wet- en regelgeving

NEN/ISO 2631; Guide to the evaluation of human exposure to whole-body vibration.

NEN/ISO 2631; Amendment 1. Guide to the evaluation of human exposure to whole-body vibration.

NEN/ISO 2631; Guide to the evaluation of human exposure to vibration and shock in buildings (1 to 80 Hz).

NEN/ISO 2631; Addendum 2. Evaluation of the exposure to wholen body z-axis vertical vibration in the frequency range of 0,1 to 0,63 Hz. Genève, ISO, 1982 (opgenomen in NEN 22631).

NEN/ISO 2631; Mechanische trillingen: richtlijnen voor het beoordelen van de invloed op het menselijke lichaam.

ISO 5349; Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand transmitted vibration.

Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en werkplaatsen:

Artikel 179a V.B.F.; (zie bij 4.1. geluid).

Artikel 68a L.V.B.; (zie bij 4.1. geluid).

Richtinggevende publicaties voor de arbeidsinspectie:

CP 14; "Zwangerschap en arbeid".

Meetmethode en -apparatuur

Ten aanzien van een beoordeling van lichaamstrillingen op de arbeidsplaats worden de naar frequentie gewogen gesommeerde versnellingen in de drie afzonderlijke richtingen beschouwd. De beoordeling van de frequentiegewogen versnelling geschiedt door de horizontale (4-8 Hz) grenzen, zoals in Fig. 4.4.2 met betrekking tot de versnelling in de z-richting ten aanzien van vermoeidheid te gebruiken. Bij een in de tijd variërende frequentiegewogen versnelling kan het equivalente trillingsniveau (equivalent continuous vibration level) gehanteerd worden. In formulevorm hangen versnelling en equivalent trillingsniveau als volgt samen:

$$L_{eq} = 20 \log \sqrt{\frac{1}{T} \int_{o}^{T} (a(t)/a)^2 \, dt} \qquad \text{(dB)}$$

waarbij T de beoordelingsperiode is, a(t) de versnelling op tijdstip t en L_{eq} het equivalente trillingsniveau (in dB). a_o is gelijk gekozen aan 10^{-6} m/s^2. Bij een versnelling met een (effectieve) r.m.s.-waarde van 1 m/s^2 is het L_{eq}-niveau derhalve gelijk aan 120 dB. De vermoeidheidsgrens ligt bij deze versnelling bij 1,4 uur (zie Fig. 4.4.2).

Bij een beoordeling van gelijktijdig optredende versnellingen in meer dan één richting zijn twee methoden ter discussie. Enerzijds kunnen de frequentiegewogen versnellingen vectorieel opgeteld worden voor de drie richtingen (x, y, z) (weighting method), hetgeen een waardebepaling levert van het gehele spectrum in de verschillende richtingen, uitgedrukt in één getal (de frequentiegewogen vectorieel opgetelde effectieve versnelling). Bij deze methode dragen alle versnellingen in alle richtingen relatief bij tot het eindresultaat. Bij een andere methode (rating method) wordt slechts de meest critische versnelling in één richting in de beoordeling betrokken. Dit heeft het nadeel dat de versnellingen in de andere richtingen geheel buiten beschouwing worden gelaten, alhoewel ze wel effect kunnen hebben op de blootgestelde persoon. Waarschijnlijk verdient daarom de weighting method de voorkeur boven de rating method. Helaas is er thans geen meetapparatuur beschikbaar waarin de weighting method volledig verwerkt is. De thans beschikbare apparatuur geeft meetresultaten die slechts een rechtstreekse beoordeling per richting mogelijk maken.

Evenals bij lichaamstrillingen worden ook bij handarmtrillingen in de tijd variërende versnellingen beoordeeld aan de hand van een equivalent trillingsniveau, zoals gedefinieerd onder lichaamstrillingen.

Er is apparatuur (de zogenaamde human response vibration meter) in de handel, die geschikt is voor meting van lichaamstrillingen op de arbeidsplaats. De maximale meetduur is daarbij 53 minuten, zodat de apparatuur niet te gebruiken is voor een rechtstreekse bepaling van een dagdosis. De apparatuur is zowel geschikt voor meting van r.m.s.-versnellingswaarden als voor metingen van het equivalente trillingsniveau over perioden tot 53 minuten. Tevens kunnen piekwaarden worden gemeten en bevat het instrument overloadindicatoren. De dynamische range is 60 dB, terwijl het equivalente trillingsniveau kan worden bepaald tussen 104 en 139,5 dB (0,16 tot 9,4 m/s2). De apparatuur is geschikt voor koppeling aan een zittingsversnellingsopnemer voor meting in drie richtingen. De apparatuur is tevens geschikt voor meting van handarmtrillingen en zeer laagfrequente trillingen in het kader van bewegingsziekten.

Naast de onder lichaamstrillingen genoemde human response vibration meter, die ook geschikt is voor meting van handarmtrillingen, is ook de zogenaamde lichtgewicht integrerende trillingsmeter (integrating vibration meter) in de handel. Er kunnen daarmee zowel metingen van de r.m.s.-versnellingswaarden (met een tijdconstante van 1 s) verricht worden, als bepalingen van het equivalente trillingsniveau over één minuut. Tevens kan de piekwaarde (met een uitleesconstante van 1 s) optredend gedurende de meettijd worden afgelezen en bevat het instrument een overloadindicatie. Versnellingen kunnen worden gemeten in het meetbereik van 120 tot 180 dB (1 tot 1000 m/s^2). Het instrument is te koppelen aan een hand- of handgreepversnellingsopnemer.
De eerdergenoemde human response vibration meter heeft bij toepassing voor handarmtrillingen een meetbereik van 120 tot 166 dB (1 tot 200 m/s^2), terwijl het equivalente trillingsniveau kan worden bepaald tussen 124 en 159.5 dB.

Literatuur

Zie normen, wet- en regelgeving.

4.5 Stof en ventilatie

Inleiding

In dit hoofdstuk staan zwevende inerte stofdeeltjes en de ventilatie van de werkruimten centraal.

Op de werkplek kunnen zich hoge concentraties zwevende stofdeeltjes in de omgevingslucht voordoen. Deze stofdeeltjes kunnen afkomstig zijn van de produkten waarmee wordt gewerkt of vrijkomen bij bepaalde bewerkingen (slijpen, boren, etc.). In deze paragraaf wordt voornamelijk aandacht besteed aan hinderlijk en inert-stof. Toxische stoffen worden behandeld in Par. 4.6. Inert-stof heeft per definitie geen specifieke toxische werking en is niet fibrogeen (bindweefselvormend in de longen). Grote concentraties zijn echter wel belastend omdat de stof zich ophoopt in de ademhalingswegen en in de longen. Overigens wordt in de literatuur stof inert genoemd als toxische mineralen minder dan 1% van het "totaal-stof" bedragen (Mc Intyre, 1980).

In het algemeen kunnen voor geïnhaleerde deeltjes, afhankelijk van hun grootte, gebieden in het ademhalingsstelsel onderscheiden worden waarin de deeltjes kunnen doordringen en zich afzetten.

Inadembaar stof (deeltjes met een aerodynamische diameter < 100 μm) kan op grond van de depositie in het ademhalingsstelsel worden verdeeld in (ISO):

- de extrathoracale fractie, de deeltjesgrootte fractie die het ademhalingsstelsel binnenkomen, maar het strottenhoofd niet passeert.
- de thoracale fractie, de deeltjes fractie die het strottenhoofd passeert. Dit zijn over het algemeen deeltjes met een aerodynamische diameter < 20 μm.

De thoracale fractie is verder verdeeld in:

- de tracheobronchiale fractie, de deeltjesgrootte fractie die in de longen doordringt, maar niet in de longblaasjes komt. Deze fractie kan worden beschouwd als een lognormale deeltjesgrootte verdeling met een mediane aerodynamische diameter van 7 μm.
- de alveolaire fractie, de deeltjesgrootte fractie die in de longblaasjes deponeert. Deze fractie wordt beschreven met een cumulatieve lognormale deeltjesgrootte verdeling met een mediane aerodynamische diameter van 3,5 μm. (BMRC of ACGIH conventie voor respirabel stof).

Luchtverversing van de werkplekruimte, ventilatie, is voor iedere ruimte van belang.

De voornaamste redenen om te ventileren zijn:
- het zorgdragen voor voldoende zuurstof ten behoeve van de ademhaling van personen en eventueel dieren, alsmede zuurstof ten behoeve van technische verbrandingsprocessen;
- het verdunnen van verontreinigingen, zoals stof, gasvormige emissie uit bouwmateriaal, meubilair, etc.;
- het vermijden van onaangename geuren;
- het beheersen van vocht en temperatuur in vertrekken.

Hierbij dient bedacht te worden dat de ventilatie om het zuurstofniveau voldoende op peil te houden, volkomen ondergeschikt is aan de ventilatie die in het algemeen op grond van één van de andere overwegingen wordt geëist.

4.5.1 Inerte en hinderlijke stofdeeltjes en ventilatie

De West-Duitse MAC-waarde voor inert respirabel stof bedraagt 8 mg/m^3 lucht. Deze richtlijn is aan Hettinger ontleend. Zij heeft betrekking op de stofdeeltjes met een aerodynamische diameter van 1 tot 7 mm die vooral in de longblaasjes terechtkomen.
In de Nederlandse nationale MAC-lijst, zoals die wordt gehanteerd in het kader van het Veiligheidsbesluit voor Fabrieken of Werkplaatsen zijn ook MAC-waarden vermeld voor hinderlijk (inert) "totaal-stof" en voor hinderlijk "respirabel stof". Deze bedragen respectievelijk 10 mg/m^3 en 5 mg/m^3. Deze maximale concentraties hebben betrekking op een achturige blootstelling.

Hettinger geeft met betrekking tot ventilatie het volgende overzicht (Tabel 4.5.2).

Tabel 4.5.2 Minimale werkplekruimte per persoon in m^3 en minimale luchtverversing in m^3/uur, afhankelijk van de energetische zwaarte van het werk (naar Hettinger, 1980).

zwaarte werkzaamheden	m^3 ruimte per persoon		verversing m^3/uur	
	minimaal	optimaal	minimaal	optimaal
zeer licht	10	15	30	45
licht	12	18	35	53
middel	15	23	50	75
zwaar	18	27	60	90

Bovengenoemde, aan Hettinger ontleende, richtlijnen voor ventilatie hangen samen met de werkzaamheden die worden verricht en de ruimte waarin men werkt. Om die reden is in deze tabel tevens de, vanuit ventilatie gezien, minimale werkplekruimte aangegeven. De mate van ventilatie is gebaseerd op luchtbederf door onvermijdbare bronnen, vooral de uitgeademde lucht (CO_2) en lichaamsgeur, en niet op emissies uit stoffen, produkten en interieur bijvoorbeeld. Voor iemand die kantoorarbeid verricht is minimaal 10 m^3 ruimte nodig en deze ruimte moet dan per uur van minimaal 30 m^3 frisse lucht worden voorzien. Dit betekent dat wanneer de ruimte werkelijk 10 m^3 groot is, deze ruimte driemaal per uur geheel ververst moet worden.
Opgemerkt dient te worden dat in een meer industriële werkomgeving de waarden die Hettinger aangeeft en die uitsluitend ten behoeve van de mens zijn gesteld, ten gevolge van andere voor de ventilatiebepalende grootheden (emissie van processen) vrijwel altijd overtroffen zullen worden.
Met betrekking tot de beheersing van stofdeeltjes kan in het algemeen worden gesteld dat door ruimte-ventilatie alleen de respirabele stofdeeltjes efficiënt kunnen worden afgezogen. De overige stofdeeltjes zijn te zwaar om meegevoerd te worden. Hiervoor dienen locale ventilatievoorzieningen te worden ingezet.

Discussie

In feite wordt alleen door Hettinger aandacht besteed aan ventilatie. In Teleac wordt zonder verdere onderbouwing alleen voor kantoorarbeid de aanbeveling gedaan van 30 m^3/u per persoon ventilatie. Hettinger gaat veel uitgebreider in op de ventilatie en koppelt de ventilatie aan de energetische arbeid die moet worden verricht.
In Hettinger zijn verschillende soorten richtlijnen voor ventilatie te vinden. De hier gekozen richtlijn heeft betrekking op het aanvoeren van verse lucht. Meer subjectieve richtlijnen die worden vermeld hebben te maken met de ervaren "hinderlijke luchtjes". Deze richtlijnen zijn via vragenlijsten vastgesteld en moeilijk in concrete waarden weer te geven.

In het Veiligheidsbesluit voor Fabrieken of werkplaatsen worden in artikel 87 lid 3 gesteld dat bij toepassing van kunstmatige luchtverversing, wanneer natuurlijke luchtverversing niet mogelijk is, middels doeltreffende technische voorzieningen wordt zorggedragen voor een luchtverversing van tenminste 10 m^3 per uur per arbeider. In feite is deze volumestroom van 10^3 per uur per arbeider een zeer lage eis, die overigens vanwege de voor het technische proces dat in de fabrieksruimte plaatsvindt, dan wel uit temperatuuroverwegingen, vrijwel altijd wordt overschreden.
Door Jansen en Grimsrud en in de ASHRAE STANDARD (proposed) worden ook bij Hettinger volumestromen gegeven, afhankelijk van de luchtkubus (= ruimte per persoon) en het inspanningsniveau.
Voor een hoog inspanningsniveau (zwaar werk) levert dit als resultaat circa 18 dm^3/s en voor rustig werk 5 m^3/s of 18 m^3/u per persoon, uitsluitend op basis van CO_2 als indicator voor de frisheid van de lucht. Aanvullend dient vermeld te worden dat alleen in bedrijven met een intermitterende bedrijfsvoering en productie en ventilatie afhankelijk gesteld wordt van de luchtkubus.
In de aanbevelingen opgesteld door de Rijksgeneeskundige Dienst voor de arbeidsomstandigheden in kantoren van de Rijksoverheid wordt ten behoeve van een hygiënische grens van luchtreinheid een toevoer aangehouden van 30-50 m^3 verse lucht per uur per persoon.
Uit een onderzoek van Bouwman, waarin de gewenste volumestroom in kantoorruimten is afgeleid uit de subjectieve

beoordeling van de frisheid van de lucht, blijkt dat bij een acceptatie van 5% ontevredenen de vereiste volumestroom op circa 10 dm^3/s of circa 35 m^3/u per persoon komt. Deze waarden zijn dezelfde als welke in de standard 62-1981 van de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, Air-conditioning Engineers) als grenswaarden voor verse lucht zijn aangegeven. In deze ASHRAE standaard worden voorts nadere aanbevelingen gedaan voor een groot aantal type gebouwen en gebouwfuncties.
Voor minimale ventilatieniveaus ten gevolge van verschillende soorten verontreinigingen kan worden verwezen naar IEA Annex IX. In dit stuk wordt aandacht geschonken aan de strategie die men moet volgen bij bepaalde verontreinigingen. Voor werksituaties waar wordt gerookt bijvoorbeeld, wordt ter vermijding van hinder door geur bij niet-rokers een volumestroom verse lucht van 150 m^3 per uur per sigaret aanbevolen. Omdat dit niet realistisch wordt geacht worden gescheiden ruimten voor rokers en niet-rokers bepleit.
Wanneer de MAC-waarde voor fabrieken en werkplaatsen van 5 mg/m^3 "respirabel" stof als grenswaarde zou worden gehanteerd (zie onder a) zou een luchtverversing van 12 m^3 per sigaret vereist zijn. Voor een situatie binnenskamers noemt Mc Intyre een volumestroom van 20 m^3 per sigaret een redelijk compromis tussen bovengenoemde uitersten.
Tenslotte is de norm NEN 1089 met betrekking tot ventilatie in schoolgebouwen relevant. Hierin wordt voor leerlingen uitgegaan van een volumestroom van 5,5 dm^3/s of 20 m^3/u per leerling.

Normen, wet- en regelgeving

NEN 1087; Ventilatie van woongebouwen, eisen. Nederlans Normalisatie Instituut, Delft.

NEN 1089; Ventilatie van schoolgebouwen, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.

ISO; Technical report ISO/TR 7708. Air quality. Particle size fraction definitions for health related sampling.

ACGIH; Particle Size-selective sampling in the workplace. Report of the ACGIH Technical Committee on Air Sampling Procedures. ACGIH, Cincinnati, Ohio, 1985.

ACGIH; Threshold limit values and biological exposure indices for 1987-1980. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1987.
ASHRAE; Standards for natural and mechanical ventilation, 62-73. American Society of Heating, Refrigerating, Airconditioning Engineers, New York, 1981.
ASHRAE STANDARD; Applied Industrial Hygiene, Vol. 1, no. 1, (proposed), Atlanta, 1986.
IEA Annex IX; Minimum ventilation rates. Dornier system GmbH, Friedrichtshafen, BRD, 1987.

Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en werkplaatsen:
Artikel 62 Arbeidsbesluit 1920;

1. "Een jeugdig persoon of een vrouw mag in een kantoor geen arbeid verrichten in een werklokaal:
   a. waar niet gedurende de werktijd op doelmatige wijze voldoende toevoer van verse lucht en afvoer van bedorven lucht is gewaarborgd;
   b. waar hinderlijke tocht niet is vermeden;
   c. waar niet gedurende rusttijden zoveel mogelijk door het openzetten der ventilatiemiddelen toevoer van verse lucht kan worden verzekerd.
2. De toevoer van verse en afvoer van bedorven lucht in een werklokaal, waar niet door mechanische hulpmiddelen een voldoende luchtverversing is gewaarborgd, wordt niet als voldoende beschouwd, tenzij het gezamenlijk oppervlak van de openingen, die rechtstreekse gemeenschap met de buitenlucht kunnen geven, tenminste 5 dm^2 per persoon bedraagt en tenminste 40 dm^2 in totaal, waarbij de deuropeningen niet worden meegerekend".

Richtinggevende publicaties van de arbeidsinspectie:
P 30; "Bouw en inrichting van bedrijfsruimten".
P 145; "Nationale MAC-lijst".

Meetmethode en -apparatuur

Bij de keuze voor richtlijnen voor maximale concentratie van inert-stof vielen vier handboeken af, omdat hierin geen aandacht wordt besteed aan inert-stof. In Teleac wordt wel het bestaan van MAC-waarden genoemd, maar alleen in Hettinger wordt voor W-Duitsland de maximale concentratiewaarde gegeven. Deze is dan ook in dit hoofdstuk vermeld,

maar ze is evenwel niet aan te bevelen, omdat ze in vergelijking met de MAC-waarde die in andere landen wordt gehanteerd, zeer hoog is.

In principe dient een richtlijn eenduidig aan te geven om welke deeltjesfractie het gaat en aan welke criteria de meetmethode moet voldoen. Bovendien moet duidelijk zijn welk effect de basis dient voor een richtlijn.
Vanuit een oogpunt van gezondheidskundige normstelling zijn de volgende fracties van belang bij de monsterneming van stof.
Hierbij worden de ACGIH aanbevelingen ten aanzien van de aanzuigkarakteristieken van monsternemingsapparatuur gevolgd die thans algemeen geaccepteerd zijn (Fig. 4.5.1).

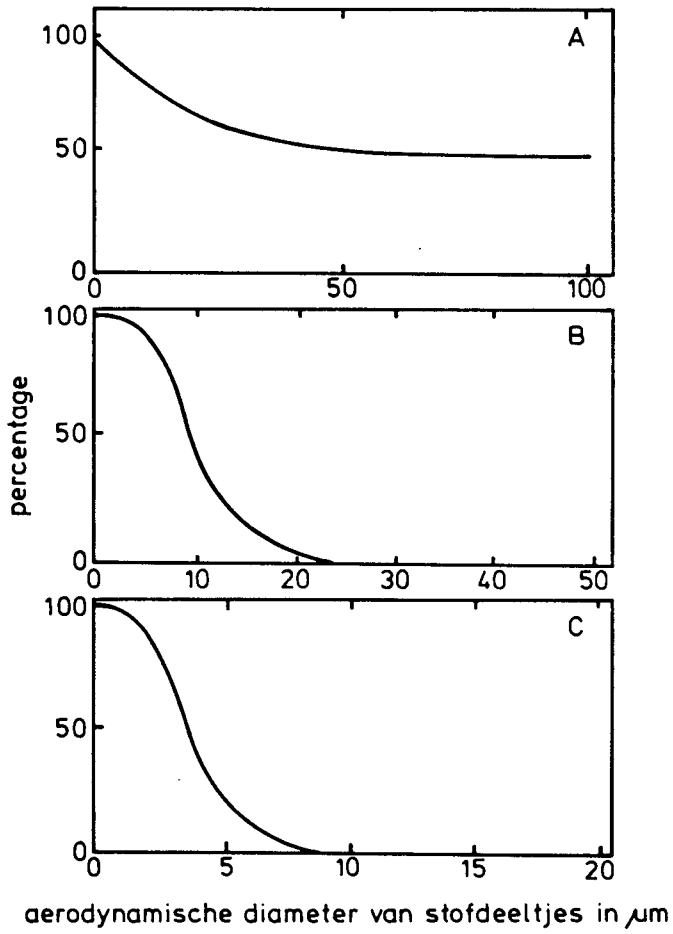


Fig. 4.5.1 De onderscheiden massa fracties van aerosolen ten behoeve van de "sampling" selectie op basis van deeltjesgrootte (naar: Applied Industrial Hygiene, 1986).
A - verdeling deeltjesgrootte van inadembare stof, B - verdeling deeltjesgrootte dat het strottenhoofd passeert, C - verdeling deeltjesgrootte dat in de longblaasjes doordringt. Percentage geeft het percentage stof aan dat per deeltjesgrootte in de onderscheiden ademhalingsstelsels doordringt.

- Inadembaar stof

De deeltjesgrootte fractie die met het volgende aanzuigrendement (R) wordt aangezogen: $R = 50\ (1 + \exp\ [-\ 0{,}06\ d_a)$ $\pm$ 10 voor $0 < d_a \leq 100\ \mu m$. In de Nationale MAC-lijst wordt ook de term "totaal stof" gehanteerd. Deze deeltjesgrootte fractie is niet gedefinieerd, maar is equivalent aan de stoffractie die door een stationair opgesteld stofmonsternemingsapparaat met aanzuigsnelheid van 1,25 m/s wordt aangezogen.

- Thoracaal stof

De deeltjesgrootte-fractie die een voorafscheider passeert waarvan de penetratie curve kan worden beschreven door een cumulatieve lognormale verdeling met een mediane aerodynamische diameter van 10 μm $\pm$ 1,0 μm. De term PM 10, gehanteerd voor het buitenmilieu, heeft dezelfde betekenis.

In de zogenaamde dichotome monsternemers wordt PM 10 gescheiden bemonsterd in twee fracties; "fijn" (< 2.5 μm) en grof (2,5 - 10 μm).
In de praktijk worden in veel gevallen de in de Nationale MAC-lijst vermelde maximale concentraties gedurende enige tijd ruimschoots overschreden. Zo zijn bij laad- en losactiviteiten stofconcentraties boven 100 mg/m^3 gemeten.
Voor deze piekconcentraties kunnen, in geval van snel optreden de toxische effecten, maximale aanvaarde concentratie-ceiling (MAC-c) waarden gehanteerd worden. Bij de richtlijnen is niet aangegeven voor welk soort werkzaamheden en fysieke (vooral energetische) belasting de richtlijnen gelden. Bij een hogere ademhalingsfrequentie wordt meer stof opgenomen dan bij een lagere.
Met betrekking tot zwevende (inerte) stofdeeltjes in woningen, kan als referentie de richtwaarde worden genoemd die in Canada wordt gehanteerd (in Nederland ontbreekt tot dusver een richtlijn): 100 $\mu g/m^3$ (uurgemiddelde) heeft betrekking op fractie met mediane diameter < 2.5 μm (dat wil zeggen de fijne fractie van PM 10) wanneer sprake is van een beperkte (short term) blootstellingsperiode. Door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) worden waarden van 100-150 $\mu g/m^3$ (24^h) geadviseerd met betrekking tot PM 10. Voor werkruimten in kantoren zou het de

aanbeveling verdienen bij benadering deze richtwaarde in het oog te houden. De WHO advieswaarde voor PM 10 in binnen- en buitenlucht bedraagt 70 $\mu g/m^3$ (24^h).

Literatuur

Bouwman, H.B. Minimum ventilation rate. IMG-TNO rapport C 470. Delft, 1981.

Federal Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health. Exposure guidelines for residential indoor air quality. Dep. of Nat. Health and Welfare, Ottawa, 1987.

Hettinger, T., Kaminsky, G. en Schmale, H. Ergonomie am Arbeitsplatz, Ludwigshafen, Kiehl, 1980.

Jansen, E.J. en Grimsrud, D.T. Ventilation standard draft out for review. ASHRAE journal, nov. 1986.

Mc Intyre, D.A. Indoor climate. Applied Science Publishers Ltd., Barking Essex, U.K., 1980.

Rijksgeneeskundige Dienst. Aanbevelingen voor de arbeidsomstandigheden in kantoren en gelijksoortige ruimten voor de huisvesting van Burgerlijk Rijksoverheidspersoneel, nr. 492. Den Haag, 1979.

Nationale MAC-lijst; P 145, Arbeidsinspectie, 1987-1988.

4.6 Toxische stoffen

Inleiding

Chemische stoffen kunnen in werksituaties worden verspreid als gas, damp, nevel of stof, en zo aanleiding geven tot een zekere mate van verontreiniging van de lucht op de werkplek. Boven een bepaalde concentratie (de grenswaarde) die afhankelijk is van de toxische eigenschappen van de stof, kan de verontreiniging leiden tot hinder of schade aan de gezondheid van de daaraan blootgestelde werkende mens.

Toxische stoffen, die zich in de lucht bevinden, komen niet alleen in het lichaam via de ademhaling, maar kunnen ook door de huid en via het spijsverteringskanaal in het lichaam komen. Voor ongeveer 700 chemische stoffen zijn de maximaal aanvaardbare concentraties MAC-waarden vastgesteld door de overheid. Dit betreft de maximaal aanvaarde concentraties van stoffen in de omgevingslucht op de werkplek. De (MAC-)waarden zijn gebaseerd op gegevens uit dierexperimenteel onderzoek, epidemiologisch onderzoek, of op gegevens betreffende voorkomende "ziekte"-gevallen bij werknemers. MAC-waarden worden herzien wanneer nieuwe inzichten in de toxiciteit van bepaalde stoffen ter beschikking komen.

Door de Nederlandse overheid wordt jaarlijks een lijst van MAC-waarden gepubliceerd (P145).

Op de MAC-lijst komen twee typen waarden voor, te weten:

- Maximale Aanvaarde Concentratie - Tijd gewogen Gemiddelde (MAC-TGG);
- Maximale Aanvaarde Concentratie - Ceiling (MAC-C).

4.6.1 Maximaal aanvaarde concentratie

Tijd gewogen gemiddelde (MAC-TGG)

Hieronder verstaat men de over de tijd gemiddelde maximale aanvaarde concentratie bij een blootstellingsduur tot 8 uur per dag en niet meer dan 40 uur per week. Bij overschrijding van deze blootstellingsduur dient een overeenkomstig verlaagde MAC-TGG te worden gehanteerd. Tijdgewogen gemiddelden laten kortdurende overschrijdingen toe, vooropgesteld echter dat het tijdgewogen gemiddelde over de werkdag niet wordt overschreden. De hoogte van de toegestane kortdurende overschrijding is voor slechts enkele

stoffen vastgesteld als tijdgewogen gemiddelde over 15 minuten. Het voornemen bestaat voor de maximaal toegestane kortdurende overschrijding in het algemeen een waarde te hanteren die tweemaal groter is dan de MAC-TGG voor 8 uur. Indien de eigenschappen van een stof daartoe aanleiding geven kan een lagere waarde worden vastgesteld.

Ceiling (MAC-C)
De MAC-C heeft betrekking op de momentane concentratie van een stof. Overschrijding van deze waarde moet in alle gevallen worden voorkomen. Een dergelijke aanduiding wordt toegepast bij die stoffen waarvan de MAC-waarden (mede) zijn gebaseerd op een snel optredende toxische werking.

Discussie
Het vaststellen van een "veilige" werksituatie met toxische stoffen is zeer complex. Dit betreft ten eerste het beschikbaar hebben van een norm voor de belastbaarheid van de werknemer voor de stof. Voor veel stoffen ontbreekt een MAC-waarde. Bij het ontbreken van humane gegevens moet dan worden geëxtrapoleerd uit dierexperimentele gegevens. Intra- en interspecies verschillen moeten worden verdisconteerd. Door het ontbreken van gegevens is het vaak moeilijk een no-adverse-effect level vast te stellen. Daarnaast moet nog een veiligheidsfactor worden gehanteerd vanwege de extrapolatie naar de mens. Voor het vaststellen van grenswaarden gelden geen algemene regels. Per stof moeten alle gegevens worden geëvalueerd door terzake deskundigen. Ten tweede is het vaak moeilijk aan te geven in welke mate iemand gedurende een dag wordt blootgesteld. Daarbij speelt de combinatie van blootstellingsduur en concentratie een belangrijke rol. Een derde aspect bij de blootstelling is de mate van inspanning tijdens de blootstelling. Bij grote lichamelijke inspanning kan door verhoogde ademhaling en een vochtige huid de opname van toxische stoffen toenemen. Met behulp van biologische "monitoring" kan dit worden ondervangen, echter zijn de mogelijkheden nog beperkt tot een twintigtal stoffen. Een vierde aspect is het gegeven dat er in zeer veel werksituaties sprake is van gecombineerde en/of meervoudige blootstelling.

Bij het opstellen van de MAC-waarden wordt uitgegaan van een dagelijkse blootstelling aan in het algemeen één enkelvoudige stof, gedurende de hele dag, over een periode van 40 jaar.
Het opstellen van een MAC-waarde gebeurt in de meeste landen door een commissie van deskundigen en betrokkenen in de praktijk. Ook andere overwegingen spelen bij het vaststellen van de grenswaarden een rol, zoals economische en politieke. Deze wijze van vaststelling kan leiden tot verschillen tussen landen en leidt tot grenswaarden die voortdurend ter discussie staan, omdat deze afhangen van ontwikkelingen op het gebied van de bestrijding en op het gebied van de kennis over de risico's. In Nederland wordt jaarlijks de Nationale MAC-lijst uitgegeven (Arbeidsinspectie P 145).
Richtlijnen voor de blootstelling aan combinaties van stoffen zijn nog niet voorhanden. Onvoldoende gegevens zijn voorhanden om een indruk te geven van de gevaren en risico's aan blootstelling en combinaties van toxische stoffen.
Het zal duidelijk zijn dat een zo laag mogelijke concentratie gewenst is. Echter, dit is in de praktijk niet altijd in afdoende mate te realiseren.

N.B.
De Arbeidsinspectie hanteert met ingang van publicatie van de MAC-lijst, de daarin vermelde grenswaarden tegen de achtergrond van de bepalingen van het Veiligheidsbesluit voor Fabrieken of Werkplaatsen 1938 en de daarop van kracht geworden wijzigingen.

Normen, wet- en regelgeving
Op dit gebied is naast de algemene bepalingen uit de Arbowet geen specifieke wet- en regelgeving op het gebied van de ergonomie aanwezig.

Richtinggevende publicaties van de arbeidsinspectie:
P 145; "Nationale MAC-lijst".

Meetmethode en -apparatuur
Op dit moment is er bij het NNI een norm in voorbereiding inzake meetmethoden.

Literatuur
Voor enkelvoudige stoffen wordt verwezen naar de criteria documenten die door de DGA worden uitgegeven (code RA).

blz.

5 TAAK 248

5.1 TAAKALLOCATIE 248
Inleiding 248

5.1.1 MOGELIJKHEDEN EN BEPERKINGEN VAN DE TAAK-ALLOCATIE 249
Conventionele gegevens en hun beperkingen 249
Nadere toelichting op richtlijnenlijsten 253
Een systeemergonomische benadering van taak-allocatie 255
Discussie 259
Normen, wet- en regelgeving 260
Meetmethode en -apparatuur 261
Literatuur 261

5.2 WERK- EN RUSTTIJDEN 262
Inleiding 262

5.2.1 ACTIVITEITEN BINNEN EEN ETMAAL 263
Nachtdiensten 266
Werkduur 267
Begintijden 267
Tijdsduur werkvrije perioden 268
Gebroken diensten 268
Vrije dagen bij continue diensten 269
Rotatie van diensten 269
Presentatie van werkschema's 269
Samenhang tussen werkorganisatie en privé-leven 269

5.2.2 WERK-RUSTTIJDEN VERHOUDINGEN 270
Verhouding werkdagen-werkvrije dagen 270
Persoonlijke verzorging 273
Fysiologisch herstel 273
Mentaal herstel 274
Discussie 275
Normen, wet- en regelgeving 276
Meetmethode en -apparatuur 276
Literatuur 276

5 TAAK

5.1 Taakallocatie

Inleiding

Bij het ontwerpen van mens/machine systemen wordt in de ergonomie belang gehecht aan de systeembenadering. Het mens/machine systeem wordt opgevat als een organisatie van mensen en machines, die gezamenlijk een doel nastreven in een bepaalde omgeving. Hierbij tracht men de elementen van het systeem, de mensen, de uitrusting, de omgeving en de procedures zodanig met elkaar in verband te brengen dat de systeemfuncties optimaal vervuld kunnen worden. De criteria die de ontwerper daarbij gebruikt betreffen de doeltreffendheid, de veiligheid en de betrouwbaarheid van het systeem, en de gezondheid en het welzijn van de mensen.
Taakallocatie is het proces dat functies aanwijst die door mensen of machines vervuld dienen te worden. De te vervullen functie definieert de uit te voeren activiteiten, de vervulde functie het resultaat van de mens/machine activiteit.
Bij de taakallocatie is het wellicht nuttig onderscheid te maken tussen plannen, bewaken en regelen. Elke activiteit berust in beginsel op de activiteiten waarnemen, informatie verwerken, informatie opslaan en effectueren. Bij plannen denke men aan het voorspellen en het afwegen van effecten van mogelijk uit te voeren activiteiten. Expert systemen kunnen soms beter plannen dan mensen. Bij superviseren denke men aan het controleren van actuele en verwachte systeemprestaties op grond van gestelde criteria. Bij regelen denke men aan het compenseren van afwijkingen tussen gewenste en actuele waarden van geregelde grootheden. Voor de uitvoering van supervisie- en regelfuncties wordt al lang van automaten gebruik gemaakt.

Voor de taaktoewijzing kunnen ontwerpers zich laten leiden door lijsten met sterke punten van mensen en machines. Bij deze traditionele opvatting wordt onder meer gebruik gemaakt van Fitts list (1951) (zie later). Door de voortgaande technologische ontwikkelingen leidde deze opvatting in bepaalde situaties tot nagenoeg een volledige vervanging van de mens door de automaat. Uit diverse onderzoeken (zie onder ander Wiener en Curry, 1980) blijkt evenwel dat hierdoor systeemprestatie negatief kan worden beïnvloed. Bij de

taakallocatie zou meer naar een optimum gezocht dienen te worden tussen specificaties vereist door opdrachtgever en/of management, de sterke punten van mens en/of machine, de arbeidsvoldoening van het individu door het creëren van zinvol werk en het rekening houden met ongevalsoorzaken uit het verleden en ergonomie richtlijnen.
De beoordelaar van mens/machine systemen wordt bijna altijd geconfronteerd met een systeem dat al enige tijd bestaat en waarvan het moeilijk is na te gaan welke overwegingen tot de actuele allocatie hebben geleid. De volgende richtlijnen dragen bij tot oordeelvorming over de kwaliteit van het taakallocatieproces.

5.1.1 Mogelijkheden en beperkingen van de taakallocatie

Conventionele gegevens en hun beperkingen
Een eerste lijst met richtlijnen voor de toewijzing van taken aan mensen of machines, is in 1951 door Fitts gepubliceerd. Sindsdien zijn er meerdere lijsten verschenen, die ten opzichte van elkaar niet al te grote verschillen vertonen. Voorbeelden zijn de lijst van Swain (1980) en de lijst uit McCormick (1982), waarvan de laatste ter illustratie hieronder is afgebeeld (zie Tabel 5.1.1).

Tabel 5.1.1 Vergelijking tussen mens en machine wat betreft bepaalde capaciteiten (naar McCormick, 1982).

capaciteiten van de mens	capaciteiten van machines
- gevoelig voor zeer lage stimuli: oog, oor, reuk, tast	- gevoelig voor stimuli die buiten bereik van mens ligt: radiogolven, straling etc.
- onderscheiden van signalen in gestoorde informatie	- indelen van stimuli in bepaalde klassen
- herkennen van patronen in complexe signalen: spraak, foto's	- registreren van voorspelde onregelmatige gebeurtenissen
- gevoelig voor ongewone en onverwachte signalen	- opslaan van gecodeerde informatie en grote hoeveelheden
- opslag van informatie over lange tijd (vooral principes en strategieën)	- snel en betrouwbaar oproepen van gecodeerde informatie
- snel oproepen van informatie uit geheugen	- bewerken van kwantitatieve informatie
- zelfstandig reageren op basis van ervaringen	- snel en consistent reageren op signalen
- zoeken van alternatieven bij falen	- verrichten van repeterende handelingen
- toepassing van oplossingen in verschillende situaties	- gecontroleerd uitoefenen van grote krachten
- evalueren en ontwikkelen van nieuwe oplossingen	- uitoefenen van handelingen over langere perioden: machine wordt niet moe
- maken van subjectieve verwachtingen	- meten of tellen van fysische grootheden
- selectie van meest kritische informatie bij overbelasting	- verschillende handelingen tegelijk verrichten
- gevoelig voor fysieke feedback bij bediening (beweging voelen etc.)	- efficiënte taakuitvoering onder grote druk

Door dergelijke vergelijkingen tussen de capaciteiten van mens en machine te gebruiken bij het bestuderen van arbeidssituaties, kan men probleemgebieden signaleren. Het hierop volgende voorbeeld zal dit duidelijk maken. Werknemers aan de lopende band verrichten voor een belangrijk deel repeterende handelingen. Echter, volgens Tabel 5.1.1 zijn machines beter geschikt om dergelijke werkzaamheden uit te voeren. Bovendien wordt er verder bijna geen gebruik gemaakt van de "capaciteiten van de mens" (het overgrote deel van de linkerkolom uit Tabel 5.1.1 is niet van toepassing op het takenpakket van de werknemers). Na de signalering van bovenstaande twee discrepanties tussen de lijst en de praktijksituatie kan men nagaan of en hoe de

arbeidssituatie verbeterd kan worden. Ook kan men beoordelen of er een praktijksituatie is waar deze discrepanties in mindere mate voorkomen. Zo is de werkinhoud van de hedendaagse assemblagegroep "beter" dan die van de klassieke assemblagelijn (zie Tabel 5.1.2), doordat bijvoorbeeld bij de eerstgenoemde groep de cyclusduur van de (repeterende) handelingen langer is. Vooral echter wordt hier meer gebruik gemaakt van de specifieke menscapaciteiten voor de controle, het verhelpen van fouten en het klein onderhoud (zie linkerkolom Tabel 5.1.1: "gevoelig voor ongewone en onverwachte signalen", "zoeken van alternatieven bij falen", e.d.).

Tabel 5.1.2 Vergelijking tussen de "klassieke" assemblagelijn en een "hedendaagse" assemblagegroep (naar Bolwijn e.a., 1986).

klassieke assemblagelijn	hedendaagse assemblagegroep
waar zijn de mensen	
. in de lijn	. naast de lijn
. serieel	. parallel
. individueel en soms geïsoleerd	. in groepen van maximaal 15-20 personen
. in het werk direct aan elkaar gekoppeld	. via buffers
werkinhoud	
. korte cyclustijden	. cyclusduur niet minder dan 2 minuten
. plaats- en taakgebonden	. taakroulatie en variabele werktoewijzing
. alleen uitvoerend werk	. inspectie, uitvoering en testen
. geen regelende activiteiten	. controle, verhelpen van fouten en klein onderhoud
werkomstandigheden	
. over het algemeen onoverzichtelijke afdelingen	. overzichtelijk, en met ruimte voor consultatie
. uniforme werkplekken, geen inbreng bij ontwerp	. ruimte voor persoonlijke zaken, inbreng in ontwerp
. inconveniënten (geduld, tocht, e.d.)	. geen hinder van geluid en tocht e.d.
. eenzijdige fysieke belasting	. afwisseling in houding en beweging

Aan het gebruik van bovenstaande lijsten kleven echter wel een aantal beperkingen. Ten eerste zijn ze tijdsafhankelijk. De Fitts-lijst noemt bijvoorbeeld 5 punten waarin machines "beter" zijn dan mensen. Bij McCormick (1982) zijn dat er 13. Gelet op de ontwikkelingen van de computertechnologie zou een dergelijke lijst anno 1988 mogelijk meer en in ieder geval andere (= eerder nog niet genoemde) punten omvatten. Ook is waar dat er bij "nieuwe" machines, "nieuwe" menstaken zijn ontstaan. Dat betekent dat de aard van en het aantal punten waarop de mens in het voordeel is, verandert. Deze punten hoeven dus niet persé "achter te blijven" bij de punten waarop de machine in het voordeel is.
Ten tweede wijst Fitts er zelf al op dat de richtlijnen niet als enig allocatie-criterium kunnen worden gebruikt. Een systeem omvat immers de componenten mensen <u>en</u> machines. Veel meer dan toewijzing aan mens of machine, is er de vraag van het delen of combineren van taken tussen mensen en machines. Met andere woorden: de componenten mens en machine vormen een complementair geheel of systeem. Binnen dit systeem is het verder nog mogelijk dat één van de componenten de mogelijkheid heeft de taak toe te wijzen aan zichzelf of aan de andere component.
Ten derde geldt voor de lijsten dat er op twee manieren sprake is van onvolledigheid. Op zich is de fundamentele kennis over de capaciteiten van de mens die in de lijsten voorkomen nog fragmentair en niet compleet, zodat de algemene richtlijnen niet altijd eenduidig uitgewerkt kunnen worden voor specifieke praktijkgevallen. Verder zal bij taakallocatie rekening gehouden moeten worden met de unieke eigenschappen van de mens die niet in de lijsten voorkomen: motivatie, reacties op te hoge of te lage belasting, op sociale isolatie; kortom sociaal psychologische factoren die de mens - die deel uitmaakt van een systeem - kunnen beïnvloeden, factoren die niet te herleiden zijn tot technische ontwerp-elementen. Het overall-criterium in deze, een zinvol geheel van (deel)taken (met voldoende afwisseling, e.d.), zou aanvullend aan de bedoelde lijsten met richtlijnen gebruikt kunnen worden. De literatuur biedt daarvoor beoordelingsinstrumenten, bijvoorbeeld de Taakattributenlijst van Turner en Lawrence (1965). Naast bovenstaande sociaal-psychologische factoren missen de lijsten

ook andere factoren die een rol spelen in het ontwerpproces, zoals de "stand van de technologie" en de kostenaspecten.
Verdere punten van kritiek op de richtlijnenlijsten voor taakallocatie zijn dat ze geen ondersteuning bieden voor wat betreft de keuze van het niveau van automatisering en voor wat betreft de verdeling van (deel)taken over meerdere medewerkers, de (groeps)organisatie.

Nadere toelichting op richtlijnenlijsten
De hiervoor beschreven tekortkomingen van richtlijnenlijsten kunnen toegelicht worden aan de hand van een voorbeeld uit de praktijk: het ontwerp van de cockpit in een vliegtuig (deze toelichting is voor een groot deel gebaseerd op de artikelen van Wiener en Curry, 1980; en Boehm-Davis e.a., 1983).
Een trend in de ontwikkeling van vliegtuigen is dat (deel)taken van de piloten aan computers worden toegewezen met als belangrijk doel de veiligheid te verhogen door de "menselijke fout uit het systeem weg te automatiseren". De technische mogelijkheden zijn zo groot, dat het grootste deel van de "oorspronkelijke" functie van de piloot aan computers kan worden toegewezen. De vraag is tot hoever men moet gaan, ofwel wat is het "beste" niveau van automatisering. Deze automatisering is van toepassing op de twee te onderscheiden piloottaken: de stuur- en de supervisietaak. Door automatisering van de stuurtaak verschuift de functie van de piloot naar die van supervisor, dat wil zeggen: de aard van de piloottaak verandert. De "nieuwe" taak kenmerkt zich enerzijds door vigilantie-aspecten en anderzijds door complexe cognitieve verwerkingsprocessen. Deze laatste processen hadden in de "oorspronkelijke" functie een ander karakter en structuur.
Richtlijnenlijsten schieten tekort in een dergelijke situatie, doordat er over de "nieuwe" taak nog onvoldoende fundamentele kennis voorhanden is. Het is niet mogelijk de algemene richtlijnen volledig uit te werken voor deze specifieke praktijksituatie.
Verder geldt voor de stuur- en de supervisietaak dat het niet alleen gaat om toewijzing van één taak(onderdeel) aan óf mens óf machine. Het is mogelijk dat een taak(onderdeel) door mens én machine wordt uitgevoerd. Dit wordt geïllustreerd in Tabel 5.1.3, waar bij de niveaus 2 tot en met 6 sprake is van een gecombineerde mens-computertaakuitvoering.

Tabel 5.1.3 Niveaus van automatisering bij mens-computer interactie voor een enkelvoudige stap in beslissingstaken (Naar: Sheridan, 1979).

1. De mens voert de gehele taak uit tot het punt dat de computer het overneemt voor de implementatie.
2. De computer helpt bij het bepalen van de opties.
3. De computer helpt de opties te bepalen en suggereert één optie, welke de mens behoort te volgen.
4. De computer selecteert de actie en de mens kan dit al of niet opvolgen.
5. De computer selecteert acties en implementeert ze als de mens het goedkeurt.
6. De computer selecteert de actie en informeert de mens ruimschoots op tijd om deze te kunnen stoppen.
7. De computer voert de gehele taak uit en vertelt de mens wat het deed.
8. De computer voert de gehele taak uit en vertelt de mens wat het deed enkel als deze hier expliciet om vraagt.
9. De computer voert de gehele taak uit, vertelt de mens wat het deed en wat het beslist dat aan haar of hem verteld zou moeten worden.
10. De computer voert de gehele taak uit als het beslist dat dit gedaan zou moeten worden; en zo ja, vertelt de mens dit, als het beslist dat dit aan haar of hem verteld zou moeten worden.

Zo dient men bij de beoordeling van bijvoorbeeld het besturingssysteem van een vliegtuig terdege rekening te houden met de samenhang tussen de stuur- en de supervisietaak (Wiener en Curry, 1980). Het in hoge mate automatiseren van beide taken leidt bijvoorbeeld tot onderbelasting en verveling (en mogelijk tot verlies van specifieke vaardigheden). Géén automatisering kan de piloot in een situatie van overbelasting brengen.

Ook is het vaak mogelijk dat de piloot de keuze heeft om een taak(onderdeel) aan zichzelf of aan de computer toe te wijzen. Zo kan de besturing tijdens de vlucht bijvoorbeeld "handmatig" of "via de automatische piloot" plaatsvinden.
Tot slot is het van belang te onderkennen dat veiligheid niet het enige systeemdoel is en dat de meerdere systeemdoelen met elkaar in conflict kunnen komen. Het is dus niet enkel een kwestie van het vergelijken van de capaciteiten

van de mens en machine, maar meer een kwestie van het uiteindelijke resultaat in termen van systeemdoelen. Een "goed en afgewogen" resultaat ontstaat door een systematische benadering van het ontwerpproces onderverdeeld in procedures ofwel door gebruik te maken van een systeem-ergonomische methode. In het volgende wordt een dergelijke systeemergonomische aanpak beschreven.

Een systeemergonomische benadering van taakallocatie
Zoals in de inleiding werd gesteld dient men bij oordeelvorming over de taaktoewijzing rekening te houden met de randvoorwaarden van systeem en taken gesteld door opdrachtgever en/of management, kennis van de mogelijkheden en beperkingen van mensen en machines, de taakinhoud met betrekking tot acceptatie van de functie door de mens en ongevalsoorzaken met betrekking tot grenzen van perceptief, motorische en cognitieve vaardigheden.
Voor deze beoordeling kan in de ontwerpfase van het systeem een viertal vragen gesteld worden (Price et al., 1982).

Vraag 1: is volledige automatisering van het complete systeem noodzakelijk?
In enkele (uitzonderings)gevallen kan er sprake zijn van omgevingscondities die én ernstig gezondheidsbedreigend zijn én, met de huidige middelen, niet voldoende afgeschermd kunnen worden (radio-actieve straling, chemische en biologische substanties, e.d.)
Enigszins dichter bij de doorsnee-praktijk liggen situaties waarbij de vereiste systeem-prestaties het menselijk vermogen te boven gaan. Daartoe kunnen de volgende vragen worden doorlopen:

- vereist het systeem dermate snelle en/of precieze bedieningshandelingen die de mens - doorgaans voor langere perioden - niet kan bereiken en/of onderhouden;
- vereist de bewaking van het systeem een alertheidsniveau dat de mens niet kan opbrengen c.q. onderhouden;
- idem voor waarneming van systeemgegevens;
- idem voor informatieverwerking;
- idem voor interpretatie van gegevens;
- idem voor informatie-opslag;
- idem voor het nemen van beslissingen.

De conclusie kan hier zijn dat complete automatisering nagestreefd moet worden. Het allocatie vraagstuk kan dan van de rol geschrapt worden. Diezelfde conclusie is pas compleet wanneer die verbonden wordt met gegevens over de technische uitvoerbaarheid en de economische haalbaarheid van complete automatisering. Het kan dan voorkomen dat de specificatie van de systeem-vereisten herzien moet worden. Zo'n herziening kan ertoe leiden dat de mens wel betrokken wordt bij de systeem-activiteiten.
In de meeste bestaande en te voorziene systemen is een rol voor de mens weggelegd. De tweede vraag gaat daarom niet over complete automatisering, maar over volledige automatisering van bepaalde taken in het systeem.

Vraag 2: is volledige automatisering van bepaalde functies in het systeem noodzakelijk?
In essentie is deze vraag te "beantwoorden" door de onder vraag 1 genoemde punten en subvragen toe te passen op de onderscheiden taken in het systeem.
Deze benadering leidt tot een selectie van functies die niet door de mens worden uitgevoerd. Degene die beoordeelt, heeft voor die functies drie soorten oplossingen (binnen de grenzen van technische en economische haalbaarheid):
- volledig automatiseren;
- volledig automatiseren, mens grijpt alleen in indien de automaat het laat afweten;
- machine/computer leveren ondersteuning om als het ware te compenseren voor de mens-beperkingen.

Vraag 3: is, voor de uitvoering van een functie, de bijdrage van de mens noodzakelijk?
Die bijdrage is dan noodzakelijk wanneer op één of meer van de volgende mens-capaciteiten een beroep wordt gedaan:
Het ontwikkelen van een wijze van aanpak, van een strategie
- wanneer operaties niet (altijd) uitgevoerd kunnen worden op basis van vooraf opgestelde procedures;
- vorm en inhoud van input en output niet (altijd) gespecificeerd en/of voorspeld kan worden;
- de relatie tussen input en output gedurende de taakuitvoering om bijstelling vraagt (kan vragen);

Grote hoeveelheden data geïntegreerd moeten worden
- signalen waargenomen moeten worden tegen een ruis-achtergrond;

- patronen in en ontwikkelingen van gegevens betrokken moeten worden uit meerdere bronnen;

Waarnemen en rapporteren van op zichzelf staande gebeurtenissen

- wat betreft de taakuitvoering van anderen;
- met betrekking tot bijkomende gebeurtenissen;

Het toekennen van betekenis en waarde aan

- wanneer zulks binnen de systeem- of takenvereisten aan de orde is.

Uit het voorgaande komt een aantal taken naar voren waar een mens-bijdrage noodzakelijk is voor een adequate taakuitvoering. Er kan nu een "hypothese" opgesteld worden van die mens-bijdrage. De verantwoordelijkheden van de mens in die taak kunnen worden beschreven in elk van de onderstaande "kern"-verrichtingscategorieën:

- *bewaken, waarnemen en verzamelen van gegevens*. Het onderhouden van een toestand om gegevens te kunnen waarnemen, het waarnemen van externe stimuli, veranderingen in externe situaties herkennen, het actief verzamelen van gegevens uit de omgeving;
- *informatie verwerken*. Het actief transformeren, organiseren, ontleden, combineren of anderszins bewerken van inputgegevens of signalen;
- *interpreteren*. Het actief construeren, afleiden, omzetten en toekennen van betekenis aan input-gegevens of signalen zoals bij bijvoorbeeld patroonherkenning, voorspelling, classificatie, e.d.;
- *selectie en/of ontwikkeling van - procedurele - strategieën*. Het kiezen uit alternatieven, het bepalen van een reeks van acties, het onderzoeken van de juistheid van een bewering;
- *het opslaan en terughalen van informatie*. Het zich bewust zijn en kunnen terughalen van - eerder - opgeslagen informatie;
- *bedienen en reageren*. Het kunnen onderhouden van een bepaalde operatie, aanpassen en corrigeren voor veranderingen in de vereisten, aanpassen voor afwijkingen van een aangegeven optimale toestand.

Voor taken waarin één of meer van deze "kern" verrichtingen van mensen vereist is, is het nodig die taak te analyseren om aan te kunnen geven hoe die verrichting onder verwachte operationele condities en beperkingen kan worden uit-

gevoerd, en om aan te geven wat daarbij het gewenste niveau van automatisering en de benodigde taak(hulp)middelen zijn om die verrichting te ondersteunen.
In essentie kan voor elke kernverrichting de vraag gesteld worden in hoeverre die door de mens moet worden uitgevoerd en in hoeverre dat door de machine kan (worden ondersteund).
Waar deze keuze voor elke taak uitgeschreven wordt, ontstaat een overzicht van de - veronderstelde - mens-bijdrage aan de taak en de daar zo goed mogelijk op aansluitende machine-bijdrage.
De kern-verrichtingen kunnen nog aangevuld worden met additionele verrichtingen: extra activiteiten en verantwoordelijkheden die de mens kunnen worden toegewezen om de systeem-operaties te onderhouden en om te verzekeren dat de functie van de uitvoerder van de taken bijdragen tot een coherente functie; het moet niet gaan om niet-gerelateerde taken. Tevens is van belang dat er een gelijkwaardige verdeling ontstaat over een groep van taakuitvoerders (waarbij zonodig rekening wordt gehouden met de hiërarchische structuur van de groep).

Vraag 4: is de taakinhoud voldoende geschakeerd. In dit verband kan aandacht worden geschonken aan:
- *aard van de taken*. Bevatten de taken bij elkaar genomen variëteit aan psychologische functies, variatie in houding, beweging en krachtuitoefening en een zekere uitdaging?;
- *verantwoordelijkheid in de functie*. In de uitvoering van de taken is er ruimte voor zelfstandig te nemen beslissingen. Als de taakuitvoerder (mede) verantwoordelijkheid draagt voor de realisatie van systeemdoelen, dan dient zij/hij deze verantwoordelijkheid ook waar te kunnen maken;
- *kwalificaties voor de functievervulling van de systeemfunctie*. De voor de uitvoering van de taken vereiste en door personen aangeboden kwalificaties (kennis en kunnen) zijn zo goed mogelijk met elkaar in overeenstemming. Er worden in dit opzicht geen te lage of te hoge eisen aan de taakuitvoerders gesteld (gegeven het eventueel benodigde scholingsprogramma). Een bijzonder punt van aandacht in dit verband, is het mogelijke verlies aan taakvaardigheid door automatisering. Een taak is geautomatiseerd, maar moet in uitzonderingsgevallen, bijvoorbeeld

storingen, nog "op de hand" uitgevoerd kunnen worden. Dat komt nog maar - hoogst - zelden voor; op zijn minst kan de vrees ontstaan dat die vaardigheid minder is geworden.
- *belasting door het werk*. De arbeidssituatie kenmerkt zich niet door een voortdurende over- of onderbelasting van de taakuitvoerder.
- *contacten in het werk*. De taakuitvoerder werkt niet in een sociaal-geïsoleerde positie. In de functie zijn er functionele contacten; in de werksituatie zijn sociale contacten mogelijk.

Voorts wordt voor een analyse van de taakinhoud verwezen naar
- genormaliseerde methode voor werkclassificatie (NEN 3000);
- werkattributenlijst van Turner en Lawrence (1965);
- Position Analysis Questionnair (PAQ, McCormick et al., 1972);
- Taak Analyse Schalen (TAS, Theologus et al., 1970).

Discussie

De toewijzing van functies aan mensen en machines is een proces, dat niet alleen kan plaatsvinden op basis van de besproken lijsten met sterke en zwakke punten. De lijsten dienen slechts als hulpmiddel bij de beoordeling van het taakwijzingsproces gehanteerd te worden. Verder dient de vraag te worden beantwoord of functies wel met automaten mogen worden uitgevoerd om negatieve effecten op de systeemprestatie te voorkomen en om te bevorderen dat de betrokkenen zinvol werk krijgen aangeboden.
De kwantificering van de beoordeling vormt een zwak punt. Hier gaat het om een viertal aspecten.
- toetsing van de toegewezen taken op menselijke psychologische capaciteiten;
- toetsing met betrekking tot randvoorwaarden voor het systeem en de systeem-taken;
- toetsing met betrekking tot menselijke betrouwbaarheid;
- toetsing met betrekking tot de taakinhoud van de individuele werknemer.

Price et al. (1982) geeft aan dat deze toetsing op empirische wijze (met behulp van mock-up en simulator) of analystisch kan plaatsvinden. Mock-ups en simulatie experimenten leveren concrete, kwantitatieve gegevens op over taakuitvoering, vooral in termen van de nauwkeurigheid van de systeemprestatie, de mentale belasting van de operators en het gebruik van de middelen op de werkplek. De analystische methode is generaal van aard maar levert door gebrek aan specificatie niet altijd bruikbare resultaten. In beide gevallen is de menselijke betrouwbaarheid summier of niet in kaart te brengen.

Normen, wet- en regelgeving

Artikel 9 Arbeidsbesluit Jeugdigen;
"Een jeugdig persoon mag geen machine-gebonden arbeid verrichten, waaronder begrepen werkzaamheden aan de lopende band, waarbij hij regelmatig terugkerende handelingen moet verrichten op tijdstippen welke door de machine zodanig worden bepaald, dat kennelijk of naar het oordeel van het districtshoofd de binding van de jeugdige persoon aan het arbeidsproces schadelijk is voor zijn gezondheid of lichamelijke ontwikkeling."

Artikel 27 Arbeidsbesluit Jeugdigen;
"Een jeugdig persoon mag geen arbeid verrichten welke naar het oordeel van het districtshoofd een uitgesproken negatieve invloed uitoefent op zijn ontwikkeling door één of meer der volgende omstandigheden:
a. de eenzijdigheid van de werkzaamheden;
d. de eenzaamheid waarin de arbeid wordt verricht;
e. een niet passend groepsverband."
Arbeidswet 1919 en de daarop gebaseerde besluiten.

Richttinggevende publicaties van de Arbeidsinspectie:
V 13; "Werken met beeldschermen".

Meetmethode en -apparatuur

Niet relevant.

Literatuur

Boehm-Davis, D.A., Curry, R.E., Wiener, E.L. en Harrison, R.L. Human Factors of flight-deck automation. Report on a NASA-industry workshop. Ergonomics, 1983, 26, 953-961.

Bolwijn, P.T., Boorsma, J., Breukelen, Q.H. van, Brinkman, S. en Kumpe, S.T. Flexible manufacturing. Integrating Technological and Social Innovations. Amsterdam, Elsevier, 1986.

Fitts, P.M. Human Engineering for an effective air navigation and traffic control system. Washington D.C., 1951.

McCormick, E.J. Human Factors in Engineering and Design. New York, McGraw-Hill, 1982.

McCormick, E.J., Jeanneretand, P.R. en Mechum, R.C. A study of job characteristics and job dimensions on the Position Analysis Questionnaire PAQ. Journal of Applied Psychology, 1972, 347-368.

Price, H.E., Maisano, R.E. en Cott, S.H.P. van. The allocation of functions in man-machine systems: a perspective and literature review. Rapport NUREG/CR-2623; ORNL/sub/81-9027/1, Virginia, National Technical Information Service, 1982.

Sheridan, T.B. In: Moray, N. Monitoring behavior and supervisory control. In: Boff, K., Kaufman, L. en Thomas, S.J. (ed.). Handbook of perception and human performance. Vol. II, Cognitive processes and performance. New York, Wiley, 1986.

Swain, A. en Guttman, H.E. Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. Washington D.C., 1980.

Theologus, G.C., Romansko, T. en Fleischman, A.E.A. Development of a taxonomy of human performance, American's Institute for Research, Washington, 1970.

Turner, A.N. en Lawrence, S.P.R. Industrial jobs and the worker: an investigation of response to task attributes. Boston, Harvard University Press, 1965.

Wiener, E.L. en Curry, R.E. Flight deck automation: promises and problems "Ergonomics, Vol. 23, No. 10, 1980, 995-1011.

5.2 Werk- en rusttijden

Inleiding

De werksituatie wordt gedefinieerd door de inhoud van de werkzaamheden, fysische, ergonomische en sociale werkomstandigheden en door de organisatiestructuur, waarbinnen het werken verricht moet worden.

De werkorganisatie heeft betrekking op de arbeidsdeling, arbeidssplitsing en "beheersing" van produktieprocessen, met andere woorden: het verdelen en structureren van de diverse activiteiten en hun verloop in de tijd.

Bij het opzetten of modificeren van organisatiestructuren wordt gestreefd naar een evenwicht tussen de bedrijfskundige aspecten zoals efficiency en produktiviteit van een onderneming enerzijds en de individuele, psychologische somatische eigenschappen van de werknemers en de sociale context waarbinnen zij functioneren anderzijds.

Het opstellen van normen op dit gebied wordt bemoeilijkt door onvoldoende beschikbaarheid van "harde", door onderzoek onderbouwde informatie. Het onderbouwend onderzoek en het nemen van gerichte maatregelen wordt gecompliceerd door de grote verscheidenheid van werkgebonden aspecten en van persoonsgebonden respectievelijk sociale factoren, die bij het organiseren van de arbeid een rol spelen. Hiernaast is er sprake van het grotendeels ontbreken van goed toepasbare, valide en betrouwbare onderzoeksmethoden. In tegenstelling tot andere aspecten van de ergonomie, waar duidelijke normen of richtlijnen kunnen worden opgesteld, is het op het gebied van de arbeidsorganisatie in het algemeen en met betrekking tot werk- en rustverhoudingen in het bijzonder slecht mogelijk een aantal aanbevelingen te formuleren. Deze zijn gebaseerd op de nogal schaarse informatie uit diverse handboeken of zijn tot stand gekomen door extrapolatie van resultaten van experimenteel onderzoek naar de praktijksituatie. Slechts een klein deel van deze aanbevelingen kan worden gestaafd door de resultaten van onderzoek, dat in een "veld"situatie uitgevoerd werd. Dit geldt vooral voor werkzaamheden waar de mentale component van overwegend belang is.

De wijze van toepassing van deze aanbevelingen moet per werksituatie bezien worden en waar dat noodzakelijk lijkt zullen aanpassingen aangebracht moeten worden. Er dient rekening gehouden te worden met situationele componenten van de arbeid zoals bijvoorbeeld fluctuaties in de inten-

siteit van de produktie, werkinhoud, omgevingsfactoren op de werkplek (klimaat, lawaai, verlichting en dergelijke). Tevens zijn van belang de persoonsgebonden kenmerken van werknemers (bijvoorbeeld leeftijd, sexe, gezondheidstoestand, etc.), de effecten van biologische ritmen (bijvoorbeeld circadiane schommelingen) van de verschillende individuen, de diverse functies van afzonderlijke individuen, en de sociale setting, waarbinnen zij opereren (bijvoorbeeld thuissituatie, diverse religieus opgelegde leefregels, en dergelijke). In het bijzonder bestaat de noodzaak aandacht te schenken aan de organisatie van het werk van vrouwelijke werknemers. Wellicht ten overvloede moet op deze plaats nog eens opgemerkt worden, dat een omvangrijk en diepgaand onderzoek naar de effecten van afzonderlijke situatie- en persoonsgebonden factoren en vooral naar de effecten van combinaties van die factoren een "conditio sine qua non" is om in de toekomst meer onderbouwde richtlijnen of zelfs normen op te kunnen stellen. Eén en ander moet worden voorafgegaan door activiteiten op het gebied van het ontwikkelen van adequate, kwantitatieve onderzoeksmethoden.

De volgende aspecten van de werkorganisatie komen aan de orde:
- activiteitenpatroon binnen één etmaal;
- werk-rusttijden verhoudingen:
  - over een langere periode (bijvoorbeeld ploegendienst)
  - binnen één werkdag.

5.2.1 Activiteiten binnen één etmaal

De verdeling van de activiteiten over een etmaal speelt zich af tegen de achtergrond van de per dag door één individu aan het werken gespendeerde hoeveelheid tijd. Afhankelijk van de produktievorm varieert tegenwoordig de officiële (netto) arbeidsduur per etmaal tussen de acht en twaalf uur. Aangenomen wordt, dat de resterende tijd beschikbaar is voor vrijetijds- en sociale activiteiten en voor slapen. De tijdsbesteding wordt bepaald door meerdere factoren.

a. werkgebonden activiteiten:
   - officiële (netto) werktijd;
   - rustpauzes (buiten de werktijd;

- activiteiten voor en na de werktijd (bijvoorbeeld omkleden, wassen);
- reistijd (woon-werk en vice versa).

b. niet werkgebonden activiteiten:
- persoonlijke verzorging (eten, wassen, etc.);
- vrij te besteden tijd.

c. slapen:
- duur van de slaap 's nachts/overdag van belang bij werken in ploegendienst.

In Tabel 5.2.1 worden in navolging van Rutenfranz et al. (1974) verbanden tussen werkgebonden activiteiten van verschillende lengte en de hoeveelheid anders te besteden tijd weergegeven. Er blijkt duidelijk, dat een verlenging van de "officiële werktijd" negatief samenhangt met vooral de duur van de vrij te besteden tijd. Verder blijkt, dat bij het opzetten van schema's van de werkorganisatie niet uitsluitend rekening gehouden moet worden met de netto duur van het werk, maar ook met de tijdsbesteding die met "het werken" samenhangt zoals bijvoorbeeld rustpauzes, woon-werkverkeer, enz.

Tabel 5.2.1 Schatting van de duur van arbeidsgebonden activiteiten, niet arbeidsgebonden activiteiten en de slaapduur (in uren) per etmaal.

A. werkgebonden activiteiten:			
1. officiële werktijd	8.00	10.00	12.00
2. rustpauzes	0.75	1.00	1.25
3. omkleden, wassen	0.25	0.25	0.25
4. reistijd	1.00	1.00	1.00
totale duur werkgebonden activiteiten (Σ 1 t/m 4)*	10.00	12.25	14.50
B. Niet werkgebonden activiteiten:			
1. persoonlijke verzorging	2.00	2.00	2.00
2. "vrij" te besteden tijd	4.00	1.75	--
C. Slaapduur:			
1. 's nachts	8.00	8.00	7.50
2. overdag	6.00	6.00	6.00

* Bij "gebroken" diensten doet zich nog een andere situatie voor (zie Par. 5.2.2, aanbeveling 5).

De planning van de arbeidsduur binnen een etmaal en over langere tijdsperioden is afhankelijk van de systematiek van de organisatie van het totale pakket werkzaamheden binnen een bedrijf. Globaal kan onderscheid gemaakt worden tussen de volgende organisatievormen:

1. uitsluitend dagdienst:
   - begin 's morgens/einde 's middags;
2. ploegendienst zonder nachtdienst:
   a. twee diensten per etmaal:
      - van 's morgens tot 's middags
      - van 's middags tot 's avonds laat;

   Onder dagdienst wordt begrepen: de organisatie van het inzetten van de totale groep werknemers binnen een bedrijf.
   Onder ploegendienst wordt begrepen: het werken door een variërend aantal groepen werknemers, zogenaamde <u>teams</u>.

   b. drie diensten per etmaal:
      - idem als 2a maar aangevuld met een uit twee delen samengestelde "gebroken" dienst, waarvan het eerste en tweede deel gepland zijn op tijdstippen van produktiepieken; beide delen worden onderbroken door een lange pauze;
3. ploegendienst met nachtdienst:
   a. twee diensten per etmaal:
      - dag- en nachtdienst (bijvoorbeeld 2 x 12 uur);
   b. drie diensten per etmaal:
      - vroege, late en nachtdienst (bijvoorbeeld 3 x 8 uur);
4. continue diensten:
   - ploegendienst met nachtarbeid die continue (ook in de weekeinden) doorloopt;

   a. regelmatig dienstenverloop:
      - drie of vier diensten (bijvoorbeeld 12 uur durend)
      - vier diensten (bijvoorbeeld 8 uur durend)
      - vijf diensten (bijvoorbeeld 8 uur durend);
   b. onregelmatig dienstenverloop:
      - variatie in frequentie, duur, aantal teams, bezetting, etc.

In de praktijk is er sprake van een zeer groot aantal verschillende organisatievormen (Knauth et al., 1983), die vooral met betrekking tot het werken in de ploegendienst een aanzienlijke variabiliteit vertonen in:

- lengte van de officiële werktijd;
- begintijden van het werken;
- aantallen in één dienst te werken opeenvolgende dagen:
  - snel/langzaam roteren (= veranderen van soort dienst);
- de richting van het veranderen van de diensten:
  - vooruit: ochtend-middag-nachtdienst;
  - achteruit: nacht-middag-ochtenddienst;
- geldigheidsduur van één werkschema.

Zoals vermeld is het op dit moment niet mogelijk eenduidige normen voor één van de gangbare organisatievormen te formuleren. Hierbij volgen aanbevelingen gebaseerd op de hiervolgende bronnen: binnen de "Scientific Committee on Shiftwork" van de "International Commission on Occupational Health" (Reinberg et al., 1981; Wedderburn en Smith, 1984; in: Rutenfranz en Knauth, 1987). Verder wordt rekening gehouden met de resultaten, die vermeld zijn in de NIOSH-publicatie "The Twenty-four hour Workday" (Johnson et al., 1981). De aanbevelingen liggen voornamelijk op het gebied van de ploegendienstarbeid. Op de problematiek van de organisatie binnen één werkdag wordt later nader ingegaan.
Opgemerkt moet worden, dat bij de in Nederland gebruikelijke arbeidsduur van 38 uur niet alle aanbevelingen gelijktijdig opgevolgd kunnen worden. Bij het stellen van prioriteiten zal rekening gehouden moeten worden met de specifieke kenmerken van afzonderlijke werksituaties en de eigenschappen van werknemers.

Nachtdiensten
Verspreiding van nachtdiensten is te prefereren boven een groter aantal opeenvolgende nachtdiensten, ofschoon bij subjectieve beoordeling van werkschema's een opeenvolging van nachtdiensten als positief ervaren wordt, is hierbij sprake van deformatie van biologische, circadiane ritmen van het organisme. Die treedt al na de tweede nachtdienst op. Langere perioden van nachtarbeid leiden verder tot gedeeltelijke slaapdeprivatie en de kwaliteit van de slaap vermindert. Met betrekking tot de sociale contacten is bekend, dat een langere periode van nachtdiensten (mogelijk nog gecombineerd met een langere periode van late diensten) tot beperkingen hiervan leidt. Rekening houdend met de voorkeuren van de wernemers, fysiologische veranderingen en

eventuele organisatorische problemen bij het opstellen van het dienstenrooster wordt aanbevolen niet meer dan drie opeenvolgende nachtdiensten in deze roosters op te nemen.

Werkduur
De duur van het werken zal aangepast moeten worden aan de actuele/verwachte werkbelasting, zowel bij werksituaties, waar uitsluitend in één dagdienst gewerkt wordt, als in alle andere (ploegen)dienststructuren zal gestreefd moeten worden naar een flexibele planning van de werktijden. In concreto betekent dit, dat de traditie van regelmatig, bijvoorbeeld 8 uur per dag, werken beter verlaten kan worden. In plaats daarvan zouden dan, afhankelijk van de taakzwaarte op één bepaalde dag of tijdens een deel van het etmaal, diensten van bijvoorbeeld zes uur enerzijds en tien of twaalf uur anderzijds ingevoerd moeten worden.

Begintijden
Overdag startende diensten moeten niet "te vroeg" beginnen. Deze relatief op te vatten stelling betekent, dat het begintijdstip van een vroege dienst, die op 7.00 uur ligt, als beter beoordeeld moet worden dan wanneer het werk om 6.00 uur of zelfs om 5.00 uur zal beginnen. Aangenomen mag worden, dat hoe vroeger men met het werken moet beginnen, des te korter de voorafgaande slaapperiode zal zijn, wat tot vermoeidheid tijdens en na het werken leidt. Bij vergelijking van ongevalskansen van diensten met verschillende begintijdstippen blijkt tevens, dat een vroeger begin van de werkzaamheden een verhoging van de kans op een ongeval tijdens de totale werkperiode met zich meebrengt.
Een ongunstig effect van een vroeg begintijdstip van het werken wordt tevens in samenhang gebracht met effecten van de toestand van het menselijk organisme op dit deel van het etmaal. Uit de literatuur blijkt, dat het lage activatieniveau, dat op deze tijdstippen gevonden werd, samen met het begin van het werken het functioneren van de mens ook in het verder verloop van de dag (negatief) kan beïnvloeden.
Bij de 's middags beginnende diensten is van toepassing, dat het begintijdstip van 15.00 uur als gunstiger beoordeeld moet worden dan 14.00 uur of 13.00 uur. Ook hier is sprake van een hogere kans op ongevallen gedurende de dien-

sten, die vroeg in de middag beginnen, en een mogelijk effect van een lager activatieniveau, dat op dit deel van de dag in de literatuur gerapporteerd wordt.

Tijdsduur werkvrije perioden
Te korte werkvrije perioden tussen de diensten moeten worden vermeden. Ondanks de wettelijk vastgelegde werkvrije periode van elf uur komen in de praktijk ook kortere perioden voor. Oorzaken zijn onder andere overwerk of werkgebonden tijdsfactoren (zie Tabel 5.2.1). Dit kan tot een cumulatie van effecten van de taakuitvoering i.c. vermoeidheid leiden en onder andere een verlaging van de veiligheid op de werkplek veroorzaken.

Gebroken diensten
Gebroken diensten dienen vermeden te worden. Deze diensten, die voor het "opvangen" van relatief kortdurende produktiepieken op verschillende segmenten van één dag dienen, worden meestal opgebouwd uit twee delen van "officiële werktijd" van vergelijkbare lengte. Deze twee werkblokken worden onderbroken door een lange periode van zogenaamde "vrije tijd". Deze organisatievorm komt regelmatig voor in het openbaar vervoer, de diensten- en de vervoerssector, maar is ook in andere takken van de industrie niet onbekend.
In aansluiting op de in Tabel 5.2.1 weergegeven cijfers betekent één en ander, dat bij deze diensten een aanzienlijke toename van de duur van "werkgebonden activiteiten" optreedt. Het verdubbelen van de "reistijd" (mits de werknemer daadwerkelijk naar huis gaat) en van de tijd, die voor het omkleden en wassen gebruikt moet worden. Hiernaast blijkt uit de subjectieve beoordelingen van de werknemers en uit de resultaten van chronobiologische en op ongevallenanalyse georiënteerde studies, dat de onderbreking van de arbeid niet als "vrije tijd" maar eerder als "rustpauze" geclassificeerd hoort te worden en tot de "werkgebonden" activiteiten behoort.
Als de "officiële werktijd" 8 uur (2 x 4 uur) bedraagt, betekent dit, dat de "werkgebonden activiteiten" (in het gunstigste geval) ± 12 uur in beslag nemen. Als men uitgaat van de aanname, dat de totale tijd tussen de beide werkblokken als "werkgebonden activiteit" beschouwd moet worden, dan betekent dit, bij een werkonderbreking van 4 uur, dat deze activiteit ± 14 uur (inclusief reistijd en

dergelijke) in beslag neemt. De consequenties voor de beschikbare hoeveelheid "vrije tijd" en mogelijk ook voor de tijd, die voor het slapen gebruikt kan worden, liggen voor de hand. De al eerder aanbevolen flexibiliteit van de werktijden, i.c. het invoeren van afzonderlijke, kortere diensten, zou een oplossing voor dit probleem kunnen betekenen.

Vrije dagen bij continue diensten
Bij continue diensten zullen in de schema's minimaal twee opeenvolgende vrije dagen gepland moeten worden. Deze aanbeveling is vooral daar van toepassing, waar de werkperiode afgesloten wordt door een nachtdienst (einde van het werken 6.00 uur) en de volgende werkperiode met een vroege dienst begint (begin van het werken 6.00 uur). De werknemer moet namelijk een deel van zijn vrije dag voor de slaap na de nachtdienst gebruiken en op de volgende werkdag al vroeg beginnen, waardoor bij slechts één vrije dag verkorting van de effectief beschikbare vrije tijd optreedt.

Rotatie van diensten
Bij continue diensten moet het "vooruit roteren" geprefereerd worden. "Vooruit roteren" betekent, dat de dienstensequentie binnen één aangesloten werkperiode met de wijzer van de klok mee roteert, namelijk ochtend-, middag-, nachtdienst en werkvrije dag(en). De aanbevelingen van de (schaarse) wetenschappelijke publicaties wijzen er op, dat dit systeem van de arbeidsorganisatie te prefereren is boven het roteren in tegengestelde richting.

Presentatie van werkschema's
De werkschema's van de individuele werknemers zullen overzichtelijk en duidelijk gepresenteerd moeten worden. Voor iedere werknemer is het werkschema bepalend voor het plannen van zijn sociale contacten, vrijetijdsbesteding en dergelijke. Zowel de "lay out" als de vooruitgeplande periode moeten overzichtelijk en "hanteerbaar" zijn. Een schema-omvang van 4 à 6 weken is te prefereren boven lange perioden van 64 weken of meer dan een jaar.

Samenhang tussen werkorganisatie en privé-leven
De organisatievorm van de arbeid heeft consequenties voor de "leefstijl" van de werknemers: goede voorlichting is noodzakelijk. Uit de literatuur blijkt, dat werknemers vaak

geen rekening houden met de eisen die werkorganisatie stelt, bij het invullen van hun niet werkgebonden activiteiten. Voorbeelden hiervan zijn de door sociale contacten veroorzaakte te korte slaapperiode, voorafgaand aan een vroege dienst, korte slaap of zelfs het niet gaan slapen na een nachtdienst, en langdurende en/of belastende activiteiten voorafgaand aan een middag of nachtdienst. Eén en ander kan leiden tot verslechtering van de slaapkwaliteit en -kwantiteit, vermoeidheid, etc. Voorlichting over de noodzaak van het aanpassen van de leefgewoontes aan de organisatie van de arbeid kan het effect van op zichzelf zorgvuldig opgestelde werkschema's optimaliseren. In deze context is ook de kwaliteit van de behuizing van belang. Zo kan het creëren van mogelijkheden om ongestoord te kunnen slapen na een nachtdienst eenzelfde optimaliserende werking op de effecten van werkschema's hebben.

5.2.2 Werk-rusttijden verhoudingen

Verhouding werkdagen-werkvrije dagen

Het theoretisch mogelijk aantal ploegendienstschema's wordt door het realiseren van de (enkele) in de eerder geformuleerde aanbevelingen duidelijk gereduceerd. Als ordenings- en keuzeprincipe voor de resterende mogelijkheden werd door Knauth et al. (1976) de verhouding tussen werk- en werkvrije dagen aanbevolen. Rutenfranz en Knauth (1981a, b) werkten deze methode uit voor een bedrijf, waarin in continue dienst door vier teams gewerkt wordt. Het in de CAO vastgelegde aantal uren is 40 per week; effectief wordt er 42 uur per week gewerkt. De overuren worden door 13 vrije dagen per jaar gecompenseerd.

Op deze wijze wordt de verhouding tussen werkdagen en werkvrije dagen per jaar vastgelegd (Tabel 5.2.2).

Tabel 5.2.2 Duur van het werken en aantal werkvrije dagen per jaar in afhankelijkheid tot het ploegendienstsysteem.

werkdagen	werkvrije dagen	duur van het werken (uren/minuten)	werkvrije dagen/jaar
1	1	12.00	191
14	7	9.00	133
12	4	8.00	104
15	4	7.36	91

Door beide auteurs wordt een minimum van 104 werkvrije dagen geïntroduceerd. Dit criterium, samen met het honoreren van de aanbeveling van twee opeenvolgende vrije dagen na een periode van werken, leidt tot een verdere reductie van de aanvaardbare ploegendienstsystemen volgens Rutenfranz en Knauth (1981a, b).

Tabel 5.2.3 Aanbevelingen met betrekking tot de werkorganisatie van continue diensten.

SN	WD	WVD	dienstenschema	duur van één cyclus (in weken)
1	21	7	N-VLN- - -VLN-VVVLN-VLLLN-VLNN	4
2			VLN-V- -LN-VLLLN-VLNNN-VLN-VV	4
3			VVLLNNN- -VVLLLNN- -VVVLLNN- - -	4
4	6	2	VVLLNN- -	8
5	9	3	VVLLNN- -VLN-	12
6	12	4	VLLLNN- -VVVLNN- -	16
7	15	5	VVLNN- -VVLNN- -VLLLN-	20
8	18	6	VVLLNN- -VVVLNN- -VLLLNN- -	24
9	2	2	DN- -	4
10	4	4	DD- -NN- -	8
11	6	6	DN- -DD- -NN	12

V = vroege (ochtend)dienst; L = late (middag)dienst;
N = nachtdienst; D = dagdienst; - = werkvrije dag.
Diensten 1 t/m 8: duur van het werken 8 uur per dag
Diensten 9 t/m 11: duur van het werken 12 uur per dag
SN = schema nummer
WD = aantal werkdagen
WVD = aantal werkvrije dagen

Knauth en Rutenfranz (1982, 1985) wijzen er op, dat aanbevelingen met betrekking tot het optimaliseren van een ploegendienstorganisatie het gemakkelijkst bij een continue werkwijze gerealiseerd kunnen worden. Als er sprake is van discontinue diensten wordt de realisatie bemoeilijkt door het geringe aantal weekeinddiensten en aantallen teams, die per dienst ingezet kunnen worden. In bovengenoemde publicaties en in andere artikelen (bijvoorbeeld Knauth et al., 1986) werden aanbevelingen geformuleerd en voorbeelden van hun toepassingen gegeven. Rutenfranz en Knauth (1987) vatten één en ander als volgt samen:

- ontkoppelen van produktietijden en werktijden;
- verkorten van de gemiddelde duur van het werken;
- verhoging van het aantal teams, dat per dienst inzetbaar is.

Persoonlijke verzorging (zonder ontspanning)
In Tabel 5.2.4 zijn de rusttijden weergegeven voor persoonlijke verzorging, zoals eten en drinken, maar zonder ontspanning. De rustperioden zijn afhankelijk van de duur van de werkzaamheden (de werkdag). Rustperioden moeten tussen de werkzaamheden worden opgenomen en niet worden gebruikt om eerder op te houden. Wanneer zeven uur per dag wordt gewerkt, moet daar tussendoor, bijvoorbeeld na drie uur, een pauze worden opgenomen van een half uur. Dit geldt voor mannen en vrouwen.

Tabel 5.2.4 "Persoonlijke verzorging" in minuten buiten de werktijd (naar: Hettinger, 1980).

lengte werkdag (in uren)	mannen	vrouwen
4,5 - 6,0	-	20
6,0 - 8,0	30	30
8,5 - 9,0	30	45
> 9,0	30	60

N.B.
In het Arbeidsbesluit 1920 is aangegeven, dat in Nederland iemand na 4½ uur werken een half uur moet rusten, wanneer de arbeidsdag meer dan 5½ uur is. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen mannen en vrouwen. Deze wettelijke bepaling wijkt voor de mannen af van de richtlijn in Tabel 5.2.4. In die richtlijn is pas rust verplicht na 6 uur werk. De richtlijn in Tabel 5.2.4 is wel meer uitgebreid vanwege het verschil tussen mannen en vrouwen en de verschillen in de duur van de werkdagen.

Fysiologisch herstel
Wanneer de energetische belasting hoger is dan de grenswaarden (17 KJ/min), zijn zoals in Par. 2.2

weergegeven extra pauzes nodig voor herstel van de zuurstofvoorziening in de spieren. De rusttijden op de werkplek worden als volgt berekend (naar McCormick, 1982):

rusttijden op de werkplek $\quad$ rusttijd = $\frac{T\ (K - S)}{K - 6.3}$ (min)

T = totale tijd, dat werkzaamheden worden verricht (inclusief rustperioden) in minuten
K = zwaarte (KJ/min) van de werkzaamheden
S = belastingsgrenswaarde (KJ/min)
S = ± 17 KJ/min voor mannen

Hierbij speelt de zwaarte (K) van het werk een rol. Omdat de pauzes bedoeld zijn voor fsyiologisch herstel, moeten ze tussen de werkzaamheden worden "opgenomen". In Tabel 5.2.5 is aangegeven volgens welke verdeling de pauzes moeten worden opgenomen. Wanneer bepaalde werkzaamheden bijvoorbeeld 240 minuten (4 uur) per dag worden verricht en de werkzaamheden een energetische belasting van 46 KJ/min veroorzaken, dan moet minimaal 75 minuten pauze [240 x (46 - 17)/(46 - 6.3)] worden ingevoerd.

Tabel 5.2.5 Verdeling van de rusttijden tijdens het werk in relatie tot de zwaarte van de werkzaamheden (KJ/min) inclusief basaal metabolisme.

werkzaamheden in KJ/min	rusttijden
< -17 KJ/min:	geen extra rusttijden
17 - 42 KJ/min:	enkele rustmomenten per uur tijdens werkzaamheden
> 42 KJ/min:	verdeling van rusttijden in blokken van enkele minuten

Mentaal herstel

Schmidtke (1963) beschrijft de (hypothetische) samenhang tussen de zwaarte van een mentale prestatie en de duur van

de pauzes in het verloop van "werk"dag van vier uur. Volgens de auteur wordt bovengenoemde samenhang het best beschreven door

$P = 0.0068 * T_R^{1.114} * L^{2.065}$, waarin

P = lengte van pauzes (min)
T_R = duur van een aaneengesloten werkperiode (min)
L = effectieve limiet bij langdurige mentale prestatie (opgaven/min)
[De exponenten bij T_R en L zijn constanten]

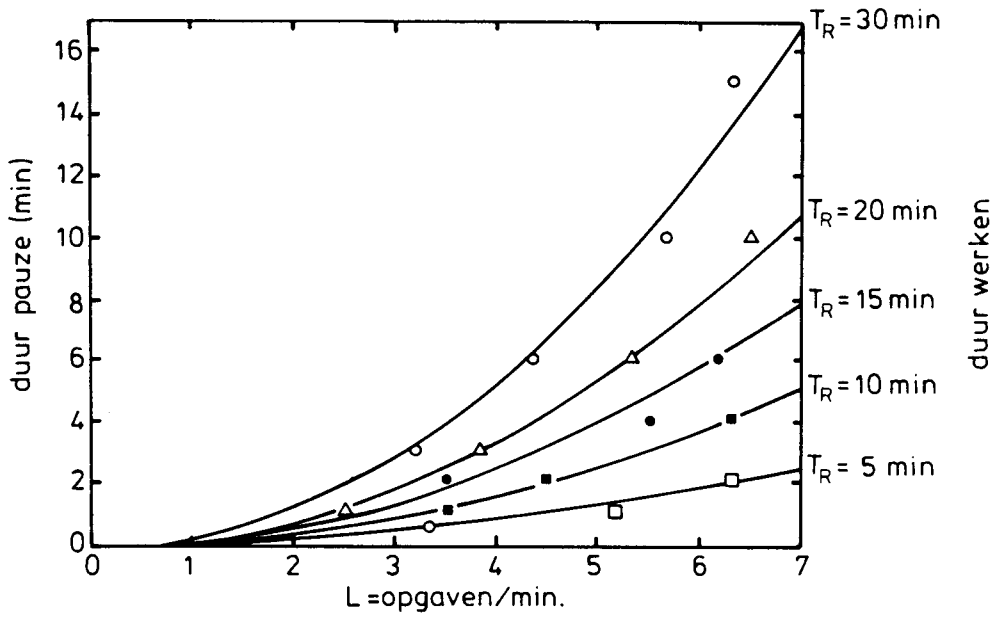


Fig. 5.2.1 Relatie tussen prestaties (rekenopgaven), ononderbroken werktijd en noodzakelijke onderbrekingen van de arbeid (naar Schmidtke, 1963).

Discussie

In de inleiding van deze paragraaf werd gewezen op de onbevredigende stand van zaken op het gebied van kennis over het opzetten van organisatiestructuren voor taken met hoofdzakelijk mentaal belastende componenten, die op het verdelen van de arbeid in de tijd betrekking hebben. Om verandering in deze situatie te brengen is het allereerst nodig een valide methode te ontwikkelen voor het vastleggen

van effecten van verschillende vormen van de organisatie op de mens. Dit betekent, dat ook geschikte parameters voor het betrouwbaar, kwantitatief meten van effecten van kortdurende en langdurende expositie aan diverse werkschema's gedefinieerd moeten worden. Het opzetten van toetsen van een adequaat theoretisch kader is gewenst, vooral omdat over de rol van persoonsgebonden factoren van de werknemers in hun interactie met de werksituatie weinig bekend is.
Naast hiaten in de kennis over de basisprincipes bij het structureren van (mentaal belastende) arbeid moet ook vermeld worden, dat in Nederland en in andere industrielanden op allerlei plaatsen veel energie besteed wordt aan het aanbrengen van verbeteringen in de heersende situatie in de bedrijven. Vaak is er sprake van creatieve oplossingen voor problemen en is ervaring met deze materie aanwezig. In het algemeen wordt hiervan echter in onvoldoende mate gebruik gemaakt, doordat men van elkaar niet weet wat men doet. Een systematisch verzamelen van werkschema's, ploegendienstroosters en daaraan gekoppelde ervaringen zal mogelijk resultaten opleveren, die in relatief korte tijd tot aanzienlijke verbeteringen op het gebied van de organisatie van werk- en rusttijden zou kunnen leiden.

Normen, wet- en regelgeving
Op dit gebied is naast de algemene bepalingen uit de Arbowet geen specifieke wet- en regelgeving op het gebied van de ergonomie aanwezig.

Meetmethode en -apparatuur
Niet relevant.

Literatuur
Aanonsen, A. Shift work and health. Oslo, Universiteitsforlaget, 1964.
Andlauer, P., Reinberg, A., Fourre, L., Battle, W. en Duverneuil, G. Amplitude of the oral temperature circadian rhythm and the tolerance to shift-work. J. Physiol. (Paris) 75 (1979) 507-12.

Andlauer, P., Rutenfranz, J., Kogi, K., Thierry, H., Vieux, N. en Duverneuil, G. Organization of night shifts in industries where public safety is at stake. Int. Arch. Occup. Environm. Health 49 (1982) 353-5.

Aschoff, J. Features of circadian rhythms relevant for the design of shift schedules. Ergonomics 21 (1978) 739-54.

Brown, D. Shiftwork: A survey of the sociological implications of studies of male shiftworkers. J. Occup. Physiol. 48 (1975) 231-40.

Bruusgaard, A. An investigation of inquiry on health problems in shift-works in the Norwegian paper industry. Oslo, Norwegian State Factory Inspectorate, May 21, 1949.

Colquhoun, W.P. en Edwards, R.S. Circadian rhythms of body temperature in shift workers at a coalface. Brit. J. Industr. Med. 27 (1970) 266-72.

Colquhoun, W.P., Folkard, S., Knauth, P. en Rutenfranz, J. (eds). Experimental studies of shiftwork. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 2513. Opladen, Westdeutscher Verlag, 1975.

Colquhoun, W.P. Accidents, injuries and shiftwork. In: Rentos, P.G. en Shepard, R.D. (eds). Shiftwork and health. Washington DC, Department of Health Education Welfare, 1976. Pp. 160-75 (HEW publication No. (NIOSH) 76-203.

Colquhoun, W.P. en Rutenfranz, J. (eds). Studies of shiftwork. London/Philadelphia, Taylor & Francis Ltd., 1980.

Folkard, S., Monk, T.H. en Lobban, M.C. Short- and long-term adjustment of circadian rhythms in "permanent" night nurses. In: Colquhoun, W.P. en Rutenfranz, J. (eds). Studies of shiftwork. London/Philadelphia, Taylor & Francis Ltd., 1980. Pp. 49-63.

Folkard, S. en Monk, T.H. (eds). Hours of work. Temporal factors in work-scheduling. Chichester/New York, Wiley, 1985.

Häkkinen, S. Adaptibility to shift work. In: Swensson, A. (ed). On night and shift work. Proceedings of an International Symposium. Oslo, 1969. Pp. 68-80. Studia Laboris et Salutis (Stockholm) 4 (1969).

Haider, M., Cervinka, R., Höller, H., Knapp, E., Koller, M., Kundi, M., Neuberger, M. en Schmid, H. Gesundheitliche und soziale Aspekte der Schichtarbeit. Wien, Institut für Gesellschaftspolitik, 1979.

Haider, M., Koller, M. en Cervinka, R. (eds). Night and shiftwork: longterm effects and their prevention. Proc. of the 7th International Symposium on Night- and Shiftwork, Igls, Austria 1985. Frankfurt am Main, Lang, 1986.

Harrington, J.M. Shift work and health. A critical review of the literature. London, Her Majesty's Stationary Office, 1978.

Hockey, G.R.J. en Colquhoun, W.P. Diurnal variation in human performance: A review. In: Colquhoun, W.P. (ed). Aspects of human efficiency: Diurnal rhythm and loss of sleep. London, The English University Press, 1972. Pp. 1-23.

Johnson, L.C., Tepas, D.I., Colquhoun, W.P. en Colligan, M.J. (eds). The twenty-four hour workday; U.S. Dept. of health and human services; Public health service. Cincinnati, Ohio, 1981.

Knauth, P. en Rutenfranz, J. Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Schichtform und Tagesaufteilung. Int. Arch. Arbeitsmed., 1972b, 30 173-91.

Knauth, P. Kriterien für die Beurteilung verschiedener Schichtwechselformen. Darmstadt, 1975. (Diss.).

Knauth, P., Rohmert, W. en Rutenfranz, J. Arbeitsphysiologische Kriterien zur Schichtplangestaltung bei kontinuierlicher Arbeitsweise. Z. Arbeitswiss., 1976, 30 (2NF) 240-4.

Knauth, P., Landau, W., Dröge, C., Schwitteck, M., Widynski, M. en Rutenfranz, J. Duration of sleep depending on the type of shift work. Int. Arch. Occup. Environm. Health, 1980, 46 167-77.

Knauth, P., Ernst, G., Schwarzenau, P. en Rutenfranz, J. Möglichkeiten der Kompensation negativer Auswirkungen der Schichtarbeit. Z. Arbeitswiss., 1981b, 35 (7NF) 1-7.

Knauth, P., Brockmann, W., Schwarzenau, P. en Rutenfranz, J. Konstruktion von Schichtplänen für kontinuierliche Arbeitsweise. Z. Arbeitswiss., 1982, 38 (8NF) 24-30.

Knauth, P., Rutenfranz, J., Karvonen, M.J., Undeutsch, K., Klimmer, F. en Ottmann, W. Analysis of 120 shift systems of the police in the Federal Republic of Germany. Appl. Ergonomics, 1983b, 14 133-7.

Loskant, H. Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen bei Arbeiten in Wechselschicht. In: Brenner, W., Rutenfranz, J., Baumgartner, E. en Haider, M. (eds). Arbeitsbedingte Gesundheitsschäden - Fiktion oder Wirklichkeit? Stuttgart, Gentner Verlag, 1980. Pp. 149-55.

Östberg, O. Interindividual differences in circadian fatigue patterns of shift workers. Brit. J. Industr. Med. 30 (1973) 341-51.

Pokorny, M.L.I., Blom, D.H.J. en Leeuwen, P. van. Shifts, duration of work and accident risk of bus drivers. Ergonomics 30 (1987) 61-88.

Reinberg, A., Vieux, N. en Andlauer, P. (eds). Night and shift work. Biological and social aspects. Oxford, Pergamon Press, 1981. (Advances in the biosciences, Vol. 30).

Ris, B.G.M., Vrooland, V.Chr. (red.), Amstel, R.J. van, Hartog, H.H.W. den, Masselink, W. en Zandvliet, C.G. Kwaliteit van arbeid en organisatie, mei 1984.

Rutenfranz, J. en Colquhoun, W.P. (eds). Shiftwork: Theoretical issues and practical problems. Fourth International Symposium on Night and Shift Work, Dortmund, 14-17 November 1977. Ergonomics, 1978, 21 737-874.

Rutenfranz, J., Knauth, P. en Angersbach, D. Arbeitsmedizinische Feststellungen zu Befindlichkeitsstörungen und Erkrankungen bei Schichtarbeit. Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed., 1980a, 15 32-40.

Rutenfranz, J., Knauth, P., Küpper, R., Romahn, R. en Ernst, G. Pilotstudie über physhiologische und psychologische Konsequenzen der Schichtarbeit in einigen Branchen des Dienstleistungssektors. In: Europäische Stiftung zur Verbesserung der Lebens- und Arbeitsbedingungen (eds). Die Auswirkungen der Schichtarbeit auf Gesundheit, gesellschaftliche Bindungen und Familienleben. Dublin, 1980b.

Sergean, R. Managing shiftwork. London, Gower Press, 1971.

Swensson, A. (ed). Proceedings of the Second International Symposium on Night and Shift Work, Slanchev Bryag, September 20-24, 1971. Studia Laboris et Salutis 11. Stockholm, National Institute of Occupational Health, 1972.

Thierry, H., Hoolwerf, G. en Drenth, P.J.D. Attitudes of permanent day and shift workers towards shiftwork - a field study. In: Colquhoun, S., Folkard, S., Knauth, P. en Rutenfranz, J. (eds). Experimental studies of shiftwork. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 2513. Opladen, Westdeutscher Verlag, 1975. Pp. 213-31.

Vrooland, V.Chr. De Arbeidsomstandighedenwet, 2e (gewijzigde) druk, oktober 1984.

Vrooland, V.Chr. (red.). Arbeid en arbeidsomstandigheden, april 1986.

Webb, W.B. (ed). Biological rhythms, sleep, and performance. Chichester, John Wiley, 1982.

Wedderburn, A.A.I. Social factors in satisfaction with swiftly rotating shifts. Occup. Psychol., 1967, 41 85-107.

Wedderburn, A. en Smith, P. (eds). Psychological approaches to night and shift work. Edinburgh Scotland, Heriot-Watt University, 1984. (International research papers).