

Ser. 4  
S 52

2<sup>e</sup> ed.

# Meervoudige belasting in arbeidssituaties

Een literatuuroverzicht

Uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid  
door het Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden in  
samenwerking met de Interfacultaire Werkgroep Arbeid en Gezondheid  
(Coronel Laboratorium) van de Universiteit van Amsterdam

---

le Arbeid

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



\*NIA002158X\*

S 52

g r d l l s f c  
2/1

# Meervoudige belasting in arbeidssituaties

Een literatuuroverzicht

Uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid  
door het Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden in  
samenwerking met de Interfacultaire Werkgroep Arbeid en Gezondheid  
(Coronel Laboratorium) van de Universiteit van Amsterdam

Auteurs:

drs. M van Dormolen (N.I.A.)  
drs. C.A.W.M. Hertog (N.I.A.)

Met medewerking van:

prof. dr. F.J.H. van Dijk (U.v.A.)  
drs. R. Fortuin (N.I.A.)

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

stamb.nr.

plaats

datum

—  
Ser. 4, P 52 (2<sup>o</sup> v. a.)  
10 JAN. 1989

december 1988

# INHOUDSOPGAVE

	<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>1.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>Begrippen en theoretisch kader</b>	<b>9</b>
2.1	Arbeidsbelasting	9
2.2	Meervoudige belasting	11
2.3	Capaciteit	11
2.4	Belasting en herstel	12
2.5	Interactie	15
<b>3.</b>	<b>De literatuurverzameling</b>	<b>19</b>
3.1	Uitgangspunten	19
3.2	Methoden	19
3.3	Criteria bij de beoordeling van de literatuur	22
3.4	Resultaten, kwantitatief	23
<b>4.</b>	<b>Resultaten</b>	<b>27</b>
4.1	Geluid	27
4.2	Klimaat en atmosferische condities	52
4.3	Fysieke arbeid	66
4.4	Trillingen, versnelling, vertraging	72
4.5	Chemische stoffen	74

4.6	Cognitieve taakeisen (complexiteit)	79
4.7	Perceptie, verlichting	87
4.8	Vigilantietaken	89
4.9	Werktijden, ploegendienst	91
4.10	Tijdsdruk, repetitieve arbeid, monotonie	92
4.11	Overige factoren	93
<b>5.</b>	<b>Methodische kanttekeningen</b>	<b>95</b>
5.1	Inleiding	95
5.2	De onderzoeksvraag	95
5.3	De operationalisatie	96
5.4	De rapportage	102
5.5	Conclusies	102
<b>6.</b>	<b>Samenvatting en conclusies</b>	<b>105</b>
6.1	Inleiding	105
6.2	Resultaten	106
6.3	Bepaling van de arbeidsbelasting	111
6.4	Lacunes en suggesties voor nader onderzoek	113
	<b>Literatuur</b>	<b>117</b>

## **ABSTRACT**

In recent years it is becoming increasingly popular among researchers to regard the stressors in a working situation as a whole of interacting factors. In order to provide a basic understanding of the complex problems met on the shopfloor, an extensive literature review is performed of the available studies on combined workload. All factors concerning the structure of work are defined as stressors. This includes factors stemming from the structure of the task itself, from environmental factors and from organisational structure and culture that can affect health and well-being of the employees.

The literature search resulted in about 1300 titles of which about 300 studies remained as a fundament for the literature review. In view of the immense divergence in research methodology and conceptual framework, the literature is reviewed on the basis of combinations of single stressors.

This study also deals with a number of methodological considerations concerning the analysis of combined workload and holds critical comments on the premises and methods of scientists dealing with the subject. It aims at giving a comprehensive overview of the "state of the art" and at making a contribution to a more fruitful way of dealing with the many problems related to this important field of research.

# 1. INLEIDING

Sinds een aantal jaren groeit onder arbeidsfysiologische en arbeidspsychologische onderzoekers het besef dat, om een goed beeld te verkrijgen van de belasting door een arbeidstaak, het noodzakelijk is om het geheel van belastende factoren in hun onderlinge samenhang te beschouwen. Voor een aantal belastende factoren zijn expositiegrenzen aan te geven die niet overschreden mogen worden. Deze grenzen zijn empirisch vastgesteld en gebaseerd op onderzoek en praktische ervaring onder verschillende omstandigheden. Bij gebrek aan wetenschappelijke evidentie beperkt de wetgever zich meestal tot normen per afzonderlijke factor. De ervaring leert echter dat belastingsverschijnselen en -gevolgen nogal eens afwijken van hetgeen op grond van belasting door een enkele factor, of door sommatie van de belasting van afzonderlijke factoren te verwachten valt. De factoren kunnen interacteren en een belasting genereren die specifiek is voor de combinatie.

Combinaties van belastende factoren zijn niet alleen van belang in verband met normgeving. Er bestaat ook de behoefte om met behulp van functieanalyse een voorspelling te doen over de belasting in een bepaalde arbeidssituatie. Voorheen, en ook nu nog in meerderheid, richtte men het onderzoek meestal op geïsoleerde factoren. De redenen hiervoor berusten deels op pragmatische gronden betreffende expertise van de onderzoekers en beheersbaarheid van het onderzoek en deels op een gebrek aan een theoretisch concept.

De toenemende belangstelling voor combinaties van belastende factoren blijkt kwantitatief uit de aantallen publicaties die op dit gebied verschijnen en uit het bestaan van conferenties waarin meervoudige belasting centraal staat. Zo is in 1981 een interne conferentie van het Institut für Arbeitswissenschaft van de Technische Hochschule Darmstadt gehouden over de ergonomie van gecombineerde belasting (Rohmert (ed.), 1982) en vinden sinds 1984 tweemaaljaarlijkse conferenties plaats over gecombineerde effecten van omgevingsfactoren met een toenemend aantal bijdragen uit verschillende disciplines (Manninen (ed.), 1984 en Okada & Manninen (eds.), 1987). Ook de International Labour Organisation benadrukt het belang van een globale benadering van arbeidsbelasting. In een publicatie van het I.L.O. stelt Clerc (1985) dat arbeidsomstandigheden en de arbeidsomgeving een eenheid vormen. Arbeid wordt waargenomen en ervaren als samengaan en accumulatie van een reeks factoren die, hoewel apart te onderscheiden, als één geheel func-

tioneren. Alleen een globale benadering van arbeid kan volgens deze organisatie leiden tot een juiste waardering van specifieke belastende factoren.

In een samenwerkingsverband tussen het Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden (destijds nog C.C.O.Z.) en de Werkgroep Arbeid en Gezondheid van de Universiteit van Amsterdam is door Frank van Dijk (U.v.A.), Rick Fortuin (N.I.A.) en Theo Meijman (U.v.A.) een onderzoeksvoorstel opgesteld. Op basis van dit voorstel heeft het Directoraat-Generaal van de Arbeid opdracht gegeven tot het uitvoeren van een literatuurstudie.

Het doel van dit onderzoek is te inventariseren welke combinaties van factoren onderzocht zijn, welke belasting is aangetroffen en of een aanvang genomen kan worden met de ontwikkeling van een model van arbeidsbelasting waarbinnen deze kennis een plaats kan vinden. Dit geschiedt door middel van literatuuronderzoek, waarbij gestreefd is naar een zo breed mogelijk overzicht van studies die meerdere belastende factoren in combinatie analyseren. Uiteindelijk zou – naast normeringen per factor – gekomen kunnen worden tot normeringen per werkplek (rekening houdend met de aanwezige combinaties van belastende factoren) en per functie (rekening houdend met de opeenvolging van verschillende taken op verschillende werkplekken en met de taakuitvoerder). Gezien het brede, inventariserende karakter van deze studie zal dit in dit rapport echter nog niet het geval zijn.

Het onderzoek is in een interdisciplinaire benadering uitgevoerd door een psycholoog en een arts aan het Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden in samenwerking met de Werkgroep Arbeid en Gezondheid (Coronel Laboratorium) van de Universiteit van Amsterdam. Inhoudelijke en organisatorische steun is verleend door Frank van Dijk en Rick Fortuin. Het rapport is inhoudelijk geëvalueerd door een begeleidingscommissie bestaande uit drs. M. den Held, drs. W. de Kort, ir. P. Voskamp (per 1 juli 1988 opgevolgd door ir. P. van Lingen) en drs. G. Wagemaker (voorzitter).

Bovengenoemde personen worden bedankt voor hun adviezen en het kritische commentaar dat zij geleverd hebben. Dank gaat tevens uit naar Mieke Meijer, Peter Willemsen en vooral Henriëtte Heese van de afdeling Bibliotheek en Documentatie van het N.I.A. die veel waardevol werk verricht hebben bij de literatuurverzameling, en naar de projectsecretaresse Marleen Haak.

## 2. BEGRIPPEN EN THEORETISCH KADER

### 2.1 ARBEIDSBELASTING

Het begrip "arbeidsbelasting" is van oorsprong arbeidsfysiologisch gedefinieerd. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen uitwendige belasting en functionele belasting. Functionele belasting wordt door Kalsbeek (1967), voortbouwend op het werk van Burger (1959), gedefinieerd als: "De veranderingen, die in het menselijk organisme teweeg worden gebracht ten gevolge van het verrichten van een bepaalde taak op een bepaalde plaats". In deze definitie wordt functionele belasting gedefinieerd aan de hand van resultaatvariabelen. Hierdoor zou verwarring kunnen ontstaan met de later te omschrijven belastingsverschijnselen. Bovendien lijken de veranderingen in deze omschrijving uitsluitend af te hangen van de uitwendige belasting. Om recht te doen aan het actieve karakter van belasting is de definitie van Kalsbeek aangepast en wordt arbeidsbelasting in deze studie gedefinieerd als: "het proces waarin responsen in het menselijk organisme worden opgeroepen door de taak arbeid te verrichten". Hiermee is het belastingsbegrip goed vergelijkbaar met de term functionele belasting, of het in de duitstalige literatuur gebruikelijke begrip Beanspruchung (o.a. Kaufmann et al., 1982; Hacker & Richter, 1984), of het in de stresstheorie gehanteerde begrip "strain" (Kleber, 1982).

In plaats van het in de arbeidsfysiologie gebruikelijke begrip "uitwendige belasting" (ook wel "Belastung", "stressors") wordt in dit rapport de meer algemene term "belastende factoren" gehanteerd. Arbeidsbelasting kan veroorzaakt worden door alle factoren die samenhangen met het verrichten van arbeid (de arbeidsstructuur). Deze belastende factoren vallen uiteen in factoren die voortkomen uit de arbeidsinhoud (taakstructuur, autonomiestructuur en coöperatiestructuur), de arbeidsomstandigheden (de middelen waarmee en het milieu waarin de taak verricht moet worden), de arbeidsvoorwaarden (loon en beloningsvorm, werk- en rusttijden, scholings- en promotiemogelijkheden, zekerheid) en de arbeidsverhoudingen (macht en zeggenschap, organisatiestructuur, sociale verhoudingen). Het opnemen van aspecten van de taakinhoud in de belastende factoren is niet gebruikelijk. Meestal wordt de term uitwendige belasting beperkt tot externe factoren. Zoals uit de resultaten zal blijken kunnen de belastingsverschijnselen bij bepaalde externe factoren echter aanzienlijk verschillen, afhankelijk van de



specifieke taakinhoud. Tevens is bij een aantal factoren, met name van arbeidspsychologische aard, niet zozeer de aanwezigheid van stimuli belastend als wel de functionele verwerking ervan. Een voorbeeld: gesproken mededelingen door een omroepinstallatie zijn minder belastend bij eenvoudige fysieke arbeid dan bij cognitieve taken waarbij adequate actie op bepaalde mededelingen vereist wordt.

Een aparte positie wordt ingenomen door de mogelijkheden voor de taakuitvoerder om zelf in te grijpen en de arbeidsinhoud, -omstandigheden, -voorwaarden en -verhoudingen te beïnvloeden. Deze regel mogelijkheden worden in navolging van Karasek (1979) opgevat als mediërende variabelen in het belastingsproces.

Persoonskenmerken zoals leeftijd, sexe, rookgedrag en dergelijke zijn ook mediërende variabelen. In dit onderzoek wordt uitgegaan van de belasting die op grond van het verrichten van arbeid in de betreffende populatie verwacht kan worden. De invloed van niet arbeidsgebonden gedrag op het belastingsproces worden in deze studie dan ook niet expliciet onderzocht. De individuele capaciteit van de taakuitvoerder wordt slechts in beschouwing genomen voor zover deze beïnvloed wordt door de taakuitvoering. Hiermee is een beperking aangebracht in de factoren die van invloed kunnen zijn op het belastingsproces. Verschillen in belastbaarheid kunnen een grote rol spelen bij de ontwikkeling van schadelijke belastingsgevolgen. In algemene zin mag echter worden aangenomen dat individuele gedragingen en sociale problemen in de privé sfeer niet zullen verschillen voor vergelijkbare groepen werknemers met verschillende arbeidssituaties, tenzij deze toe te schrijven zijn aan effecten van de arbeidssituatie zelf. Een voorbeeld van dit laatste verschijnsel is te vinden bij ploegendienstwerkers, waarbij het sociale leven buiten de werkkring in aanzienlijke mate beïnvloed wordt door de afwijkende werktijden.

In de effectmaten van het belastingsproces wordt onderscheid gemaakt tussen belastingsverschijnselen en belastingsgevolgen. Het proces van arbeidsbelasting wordt in eerste instantie kenbaar aan de hand van de belastingsverschijnselen. Dit zijn alle, tijdens de arbeidshandeling waarneembare indicatoren van belasting. Voorbeelden zijn verhoogde bloeddruk, verhoogde hartslagfrequentie, catecholamine-uitscheiding, melkzuur in spieren, afgenomen reactiesnelheid, toename van fouten. De verschijnselen die na afloop van de handeling nog steeds meetbaar zijn worden na-effecten genoemd. Na-effecten die na enige tijd nog steeds meetbaar zijn en een meer permanent karakter hebben (al dan niet reversibel), worden gedefinieerd als belastingsgevolgen. Deze kunnen zowel een negatieve connotatie hebben

(oververmoeidheid, ziekte, arbeidsongeschiktheid) als een positieve (toegenomen kennis, vaardigheden, kracht). De afweging of een bepaald effect als belastingsverschijnsel of als belastingsgevolg moet worden aangemerkt heeft deels een normatief karakter. Indien uitspraken gedaan worden over de belasting op het niveau van een arbeidsdag, is het denkbaar om van belastingsgevolgen te spreken indien deze bij de aanvang van de volgende arbeidsdag nog meetbaar zijn. De grens kan ook eerder getrokken worden wanneer men het belang van vrijetijdsbesteding en het uitoefenen van sociale functies buiten de werkomgeving wil benadrukken.

## **2.2 MEERVOUDIGE BELASTING**

Aan het begrip meervoudige belasting kunnen meerdere betekenissen worden toegekend, afhankelijk van de doelstellingen van het onderzoek.

In de eerste benaderingswijze wordt het gezamenlijk effect van meerdere belastende factoren op één subsysteem beschreven.

In de tweede benaderingswijze worden de effecten op meerdere subsystemen van één belastende factor beschreven.

In de derde benadering gaat het om de beschrijving van de effecten van meerdere belastende factoren op meerdere subsystemen. Uiteindelijk zou deze benadering kunnen leiden tot een beschrijving van de integrale belasting door het gehele complex van belastende factoren in een arbeidssituatie.

Aangezien dit onderzoek bouwstenen wil aanleveren voor een integrale benadering van arbeidsplaatsen, met een zo compleet mogelijke beoordeling van de arbeidsbelasting is gekozen voor de derde benadering. Hierbij kunnen studies die de eerste benaderingswijze hanteren een nuttige rol spelen.

## **2.3 CAPACITEIT**

Een belangrijk begrip in de theorievorming rond arbeidsbelasting is het persoonlijke verwerkingsvermogen, ofwel de capaciteit. Het begrip capaciteit is te vergelijken met de veelgebruikte term belastbaarheid, dat in de arbeidsfysiologie gedefinieerd is als: de maximaal mogelijke uitwendige belasting die een individu kan doorstaan, waarbij na afloop van de belasting volledig herstel intreedt (Ettema, 1973). Er is voor de term capaciteit gekozen vanwege het actieve karakter van het belastingsbegrip in deze studie.

De capaciteit omvat het geheel van lichamelijke en geestelijke kwalificaties van de taakuitvoerder op een bepaald moment. De capaciteit valt ruwweg te verdelen in een fysiek, een cognitief en een emotioneel gedeelte. Dit geheel van de lichamelijke en psychische functionele systemen omvat ervaring, kennis en vaardigheden, spierkracht en dergelijke. Het vormt het potentieel om prestaties te verrichten en invloeden uit de omgeving te verwerken. Naast het verrichten van arbeid zijn bijvoorbeeld persoonlijke aanleg, het beoefenen van sport en het volgen van cursussen buiten de arbeidssituatie van invloed op de capaciteit.

In hoeverre de capaciteit daadwerkelijk gemobiliseerd wordt om een prestatie (een arbeidshandeling, samengesteld uit lichamelijke en psychische operaties) te leveren, hangt af van zaken als anticipatie en motivatie. De werker anticipeert onder meer op de gestelde taakeisen, de uitvoerbaarheid met de ter beschikking staande middelen en de eigen geschiktheid. Een balans resulterend uit een afwegen van persoonlijke kosten en baten bepaalt de motivatie. De baten bestaan hierbij uit intrinsieke bevrediging en bevrediging door de sociale omgeving en de beloning.

## **2.4 BELASTING EN HERSTEL**

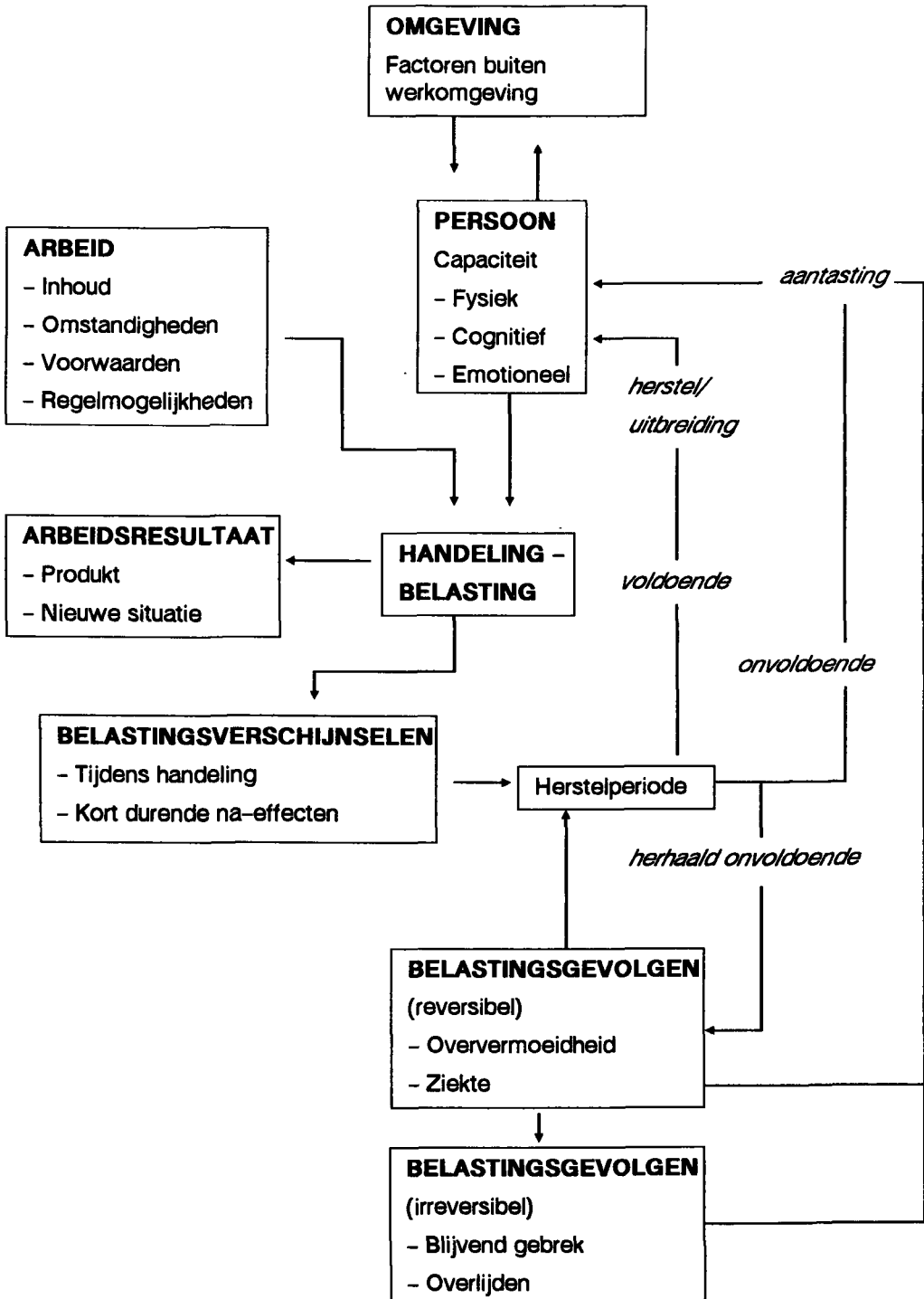
Het uitvoeren van een taak binnen een bepaalde arbeidsstructuur vormt een belasting van een of meerdere functionele systemen, meetbaar aan de belastingsverschijnselen. Indien een periode van belasting gevolgd wordt door een voldoende periode van "herstel" voor het betreffende systeem, blijft de capaciteit toereikend om de taak te blijven verrichten en de belastende factoren te verwerken zonder negatieve effecten op gezondheid en welzijn. Door leereffecten kan de capaciteit zich uitbreiden. Bij onvoldoende herstel wordt dezelfde taak opnieuw, of een volgende taak aangevat zonder dat de gevolgen van de voorafgaande periode van belasting verdwenen zijn. Op korte termijn hoeft dit nog niet te leiden tot een vermindering van de prestatie. Door het leveren van extra inspanning kan een groter deel van de capaciteit aangesproken worden om tot een gelijke prestatie te komen. Door een langere rustpauze kan de capaciteit zich dan alsnog herstellen. Indien deze noodzakelijke rustperiode echter onvoldoende is, zal de capaciteit ernstiger worden aangetast. Dit kan zich uiten in uitputting, ziekte of negatieve verschijnselen buiten de arbeidsomgeving. Er is dan sprake van tijdelijke belastingsgevolgen. Bij ziekte krijgt het organisme de gelegenheid tot een langere herstelperiode (al dan niet in combinatie met therapeutische interventies) waarin de capaciteit het oude niveau weer kan bereiken. Indien ook deze mogelijkheid tot herstel tekort schiet of indien er een cumulatieve

opbouw van ongemerkte effecten optreedt (bijvoorbeeld bij expositie aan asbest), treden permanente belastingsgevolgen op. Deze zullen zich uiten in blijvende gebreken die het functioneren binnen en/of buiten de arbeidssituatie negatief beïnvloeden (bv. doofheid). Deze cyclische gang in de richting van tijdelijke of blijvende negatieve gevolgen van belasting kan plaatsvinden door aantasting van het lichamelijke, het cognitieve of het emotionele deel van de capaciteit, of een door combinatie van deze. In het geval van een onvoldoende emotionele capaciteit vindt het individu de kosten niet opwegen tegen de baten, is te weinig gemotiveerd en daardoor niet in staat een voldoende gedeelte van de capaciteit te mobiliseren om de taak naar behoren, en zonder negatieve effecten uit te voeren. In de praktijk zullen tijdelijke negatieve gevolgen van belasting (o.a. ziekte) vaak gepaard gaan met ziekteverzuim.

Blijvende negatieve belastingsgevolgen kunnen resulteren in een gehele of gedeeltelijke arbeidsongeschiktheidsverklaring. In hoeverre dit ook daadwerkelijk het geval zal zijn is afhankelijk van het werk dat verricht moet worden en mede afhankelijk van sociaal-maatschappelijke factoren die buiten het kader van dit onderzoek vallen.

In deze studie vallen ongevallen buiten het begrip belasting. Indien acuut grenzen overschreden worden, zoals in het geval van gehoorsbeschadiging door een explosie of botbreuken door een val, is het niet zinvol om te spreken van een belastingsproces zoals dat in 2.1 is omschreven. Het besef van onveiligheid en ongevalsrisico's is daarentegen wel te beschouwen als een belastende factor.

De belangrijkste begrippen en hun onderlinge samenhang worden in afbeelding 1 samengevat.



**Afbeelding 1** Schematisch overzicht van de belangrijkste begrippen rond arbeidsbelasting

## 2.5 INTERACTIE

Wanneer meerdere belastende factoren in een onderzoek betrokken worden, kunnen de effecten op een aantal manieren beschreven worden.

In de meest gebruikelijke indelingswijze van effecten wordt een onderscheid gemaakt tussen additieve effecten en interactie. Bij additiviteit is de hoogte van de afhankelijke variabele(n) gelijk aan de som van de effecten van expositie aan de verschillende factoren afzonderlijk. Indien het effect groter is dan de som van de afzonderlijke effecten wordt gesproken van synergisme. In de tegenovergestelde situatie, wanneer het gezamenlijk effect kleiner is dan de som van de afzonderlijke effecten, spreekt men van antagonisme.

Bij de bepaling of er sprake is van interactie is de ook de tijdsrelatie tussen de belastende factoren van belang. De expositie aan de belastende factoren hoeft niet gelijktijdig plaats te vinden om van interactie te kunnen spreken. Er kan ook sprake zijn van een tijdsrelatie waarbij de effecten van een belasting van invloed zijn op de aard en omvang van de belasting door een andere factor.

De interactie kan invloed hebben op de amplitude van een belastingseffect, op de snelheid waarmee een bepaalde amplitude bereikt wordt en kwalitatief, op de aard van de effecten. Een kwalitatieve verandering in het effect treedt bijvoorbeeld op wanneer door combinatie van de belastende factoren een drempelwaarde wordt overschreden. Dit is eenvoudig in een additief model onder te brengen met een effectterm die bij belasting door de belastende factoren afzonderlijk onder het drempelniveau ligt.

Dit gebruik van de termen interactie (synergisme, antagonisme) en additie (geen interactie) is vrij gebruikelijk (o.a. Poulton, 1970; Poulton & Edwards, 1974; Hancock, 1985), hoewel veel onderzoekers andere nuances in de termen aanbrengen. Zo spreken Tiunov & Kustov (1974) van potentiëring (vgl. synergisme), summatie (vgl. additie), antagonisme en onafhankelijkheid. Onafhankelijkheid treedt volgens deze auteurs op wanneer verschillende subsystemen aangesproken worden zonder verdere beïnvloeding. Dit onafhankelijkheidsbegrip wordt vaker gehanteerd (o.a. door Suvorov et al., 1984). In dit rapport valt het echter onder de term additiviteit omdat de effecten bestaan uit de som van de effecten van de afzonderlijke belastende factoren. Het komt ook nog al eens voor dat de term synergisme gebruikt wordt bij de beschrijving van effecten die groter zijn dan het effect van de meest belastende factor, en antagonisme in het tegengestelde geval. In epidemiologische literatuur treft men de termen synergisme en antagonisme aan voor

de beschrijving van causale relaties en wordt het begrip interactie gereserveerd voor statistische beschrijving van onderzoeksresultaten.

In principe tracht de onderzoeker te komen tot de beschrijving van de relatie(s) tussen belastende factoren enerzijds en belastingeffecten anderzijds in een conceptueel model, en tot voorspelling van de effecten in een mathematisch model. Het mathematisch model geeft de verwachte groeifunctie van de afhankelijke variabele weer. Meestal wordt als mathematisch model een lineair regressie-model gehanteerd. Dit model is bij twee belastende factoren als volgt weer te geven (naar Kleinbaum & Kupper, 1978):

$$u_{Y|A,B} = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_{AB} X_A X_B + \text{error}$$

Hierin is  $u_{Y|A,B}$  de verwachte gemiddelde waarde van de effectmaat Y, in aanwezigheid van de belastende factoren A en B. Dit gemiddelde is opgebouwd uit een constante  $\beta_0$ , plus de hoofdeffecten van de factoren A en B (de hoogte van de expositietermen  $X_A$  en  $X_B$  met ieder een eigen gewicht  $\beta_A$  en  $\beta_B$ ), plus een interactieterm  $\beta_{AB} X_A X_B$ . Onder error valt de meetfout.

Met het kiezen voor een bepaalde nulhypothese kiest men impliciet voor een voorspellingsmodel voor de afhankelijke variabele bij expositie aan bepaalde belastende factoren. Het lineaire regressie-model is slechts één van de vele mogelijkheden voor de voorspelling van de afhankelijke variabele. De relatie kan immers lineair, multiplicatief, kwadratisch, cubisch of nog anders zijn. Een lineair model is vooral geschikt om afwijkingen van additiviteit vast te stellen, terwijl bij afwijkingen van een toestand van geen multiplicatieve interactie beter een log-lineair model gebruikt kan worden. Het is van belang om op te merken dat indien door middel van statistische methoden zoals regressieanalyse interactie geconstateerd wordt, er sprake is van statistische interactie. Dit hoeft niet noodzakelijkerwijs samen te vallen met biologische interactie. Kleinbaum et al. (1982) stellen terecht dat de constatering van statistische interactie afhangt van hetgeen men als toestand van geen interactie (nulhypothese) definieert. Deze auteurs stellen tevens dat het begrip synergisme onderscheiden moet worden van statistische interactie en het beste gereserveerd kan worden voor de beschrijving van biologische functies. De meeste auteurs hanteren door middel van het gebruik van hun statistische benadering echter het lineaire model met de bijbehorende termen, zonder deze expliciet te definiëren. Een ondoordachte keuze voor een verklaringsmodel kan grote gevolgen hebben voor de gevolgtrekkingen. Rothman (1986) geeft een hypothetisch voorbeeld van incidenties van longkanker met al dan niet roken en blootstelling aan asbest als onafhankelijke variabelen. Afhanke-

lijk van het model kan met evenveel statistische betrouwbaarheid synergisme danwel additie geconcludeerd worden.

In dit rapport wordt aangesloten bij de meest gebruikelijke definities van interactie, synergisme en antagonisme. Hierin wordt zoals gezegd uitgegaan van een lineair model. Waar onderzoekers aangeven een ander model gehanteerd te hebben wordt dit overgenomen.

In wetenschappelijk onderzoek is het gebruikelijk om bij het samengaan van meerdere belastende factoren (onafhankelijke variabelen) de aandacht vooral te richten op mogelijke statistische interactie-effecten. In de arbeidspraktijk dient echter ook rekening gehouden te worden met additiviteit, aangezien de belasting door combinatie van meerdere (additieve) belastende factoren boven een aanvaardbaar niveau kan komen. Dit kan zelfs het geval zijn bij antagonistische interactie, in het geval dat het gezamenlijk effect groter is dan het afzonderlijk effect van de meest belastende factor. Derhalve zal de rapportage in dit rapport niet beperkt blijven tot synergistische effecten.



## **3. DE LITERATUURVERZAMELING**

### **3.1 UITGANGSPUNTEN**

Meervoudige belasting is te benaderen vanuit de belastende factoren, vanuit het belastingsproces zelf (Beanspruchung, functionele belasting) en vanuit de gevolgen van de belasting.

Hiernaast valt een onderscheid te maken tussen belasting door een combinatie van factoren en belasting van meerdere functionele (sub)systemen. Bij de literatuurverzameling is gekozen voor de benadering waarin beschreven wordt hoe belastende factoren in verschillende onderlinge combinaties leiden tot belastingsverschijnselen en belastingsgevolgen. De reden voor deze keuze is dat het rapport in eerste instantie beoogt praktische informatie aan te leveren waarmee onwenselijke arbeidssituaties herkend en verbeterd kunnen worden. Tevens is gezocht naar meer algemene publicaties met betrekking tot arbeidsbelasting waarvan verwacht kan worden dat deze zinvol zijn voor de theorievorming rond meervoudige belasting.

Alle vormen van belasting door de arbeidssituatie worden meegenomen; belastende factoren in de arbeidsomstandigheden zowel als in de arbeidsinhoud, -voorwaarden en -verhoudingen. Een uitzondering is uit pragmatische overwegingen gemaakt voor de blootstelling aan chemische stoffen. Gezien de omvang van dit gebied en de specialistische kennis die vereist is voor een juiste beoordeling ervan, wordt deze groep factoren alleen meegenomen indien een interactie wordt aangetroffen met een of meerdere andere belastende factoren.

### **3.2 METHODEN**

Bij het zoeken naar relevante publicaties is van twee methoden gebruik gemaakt. Ten eerste van on-line zoektochten in geautomatiseerde literatuurbestanden en ten tweede van de zogenaamde "sneeuwbal methode". De tweede methode komt erop neer dat de publicaties die via de geautomatiseerde zoektochten verkregen zijn of al in het bezit van de onderzoekers waren, bekeken worden op verwijzingen die zinvol lijken voor het onderzoek.

In de on-line zoektocht zijn eerst een aantal bestanden bekeken op de aanwezigheid van algemene termen als "combined workload", "combined effects", "total workload", "combined effects", "combined exposure", "multiple exposure", "combined stress", "synergism" en dergelijke. Deze termen zijn in een aantal spellingswijzen en meervoudsvormen ingevoerd. Alle titels, met abstracts, van artikelen zijn opgevraagd van publicaties waarin minstens één van de zoektermen aanwezig is in de titel, in het abstract of in de trefwoorden (Thesaurus). De bestanden waarin gezocht is en de perioden die de bestanden bestrijken zijn:

- MEDLINE	1980 - 1987
- ERIC	1966 - 1987
- EMBASE	1982 - 1987
- LABORDOC	1966 - 1987
- Occupational Safety & Health (NIOSH)	1973 - 1987
- Mental Health Abstracts	1969 - 1987
- PSYCINFO	1967 - 1987
- Sociological Abstracts	1963 - 1986
- Foreign Trade & Econ. Abstracts	1974 - 1986
- CISDOC	1973 - 1987

Naast deze algemene zoektocht is in CISDOC een andere methode toegepast. Er zijn een aantal Thesaurus-termen geselecteerd die groepsgewijs verwante belastende factoren omvatten. Vervolgens zijn publicaties gezocht waaraan minstens twee termen uit verschillende groepen als trefwoord zijn toegewezen binnen het bestand. Door de trapsgewijze opbouw van de Thesaurus omvatten veel gekozen trefwoorden een aantal andere trefwoorden die daardoor niet apart ingevoerd hoeven te worden. Op grond van praktische overwegingen, die vooral te maken hebben met de verwerkingsmogelijkheden van het CISDOC bestand, zijn soms vrij uiteenlopende termen in één groep samengevat. De term "synergism" is uitgesloten omdat hierop al een eerdere zoektocht is uitgevoerd.

Er is gekozen voor het CISDOC-literatuurbestand vanuit de verwachting dat dit bestand de meeste relevante publicaties zal bevatten. Het bestand is met deze methode doorzocht op publicaties in het engels, frans, Duits en Nederlands, die vanaf 1980 zijn verschenen. De zoektermen, binnen de groepen, zijn de volgende:

- visible radiation
  - lighting and colour
  - perceptual-motor performance
  - visual fatigue
  - visual tasks
  
- electromagnetic radiation
  - static electricity
  - non-ionising radiation
  
- microclimate
  - regulation of body temperature
  - heat acclimatization
  - breathing atmosphere
  
- noise
  
- social climate
  - social aspects
  
- vibration
  - acceleration
  - deceleration
  - motion
  
- atmospheric pressure
  - breathing atmosphere
  
- muscular work
  - work capacity
  
- hours of work
  - workbreaks
  - continuous work
  - intermittent work
  - extra work
  - shift work

- mental work capacity  
cognitive performance
- vigilance tasks  
repetitive work  
vigilance
- speed of work  
intensity of work
- dangerous work  
dangerous equipment  
explosion hazards  
fire hazards  
mechanical hazards  
psychology of hazards
- workers participation  
responsibilities
- payment by results  
payment by unit of time

Van de ongeveer 500 titels die uit de eerste zoektocht naar voren zijn gekomen, is 5 tot 10 procent als zinvol beoordeeld en vervolgens aangevraagd. De tweede zoektocht resulteerde in 723 publicaties, waarvan ruwweg 7 procent is aangevraagd. De zoektochten en de andere methoden van literatuurverzameling hebben geresulteerd in 327 publicaties. Na toetsing van de publicaties op methoden en bruikbaarheid zijn hiervan 172 titels overgebleven op grond waarvan dit rapport geschreven is.

### **3.3 CRITERIA BIJ DE BEOORDELING VAN DE LITERATUUR**

Op de verzamelde publicaties is een marginale toetsing toegepast alvorens deze in de verslaggeving zijn betrokken. De term "marginaal" wordt hier gehanteerd om te benadrukken dat het, gezien de grote verscheidenheid van onderwerpen, ondoenlijk is om ieder onderzoek volledig op zijn merites te beoordelen.

De literatuur is beoordeeld op de relevantie voor het onderwerp van deze studie en op de gehanteerde methodiek. Het eerste criterium waarop de publicaties beoordeeld zijn is de herkenbaarheid in reële arbeidssituaties, danwel de relevantie voor de theorievorming rond het begrip meervoudige belasting. Dit houdt in dat de onafhankelijke en afhankelijke variabelen herkenbaar moeten zijn als factoren die daadwerkelijk een rol spelen in de relatie(s) tussen belasting in arbeidssituaties en de gezondheid en het welzijn van de uitvoerder. De methodische beoordeling heeft plaatsgevonden op gebruikelijke criteria zoals de aantallen proefpersonen, de meting van onafhankelijke en afhankelijke variabelen, het onderzoeksontwerp, de statistische verwerking en de zorgvuldigheid in de rapportage.

### **3.4 RESULTATEN, KWANTITATIEF**

De resultaten zijn gerangschikt naar de aantallen publicaties die per onderwerp zijn aangetroffen. Uitgaande van een groep inhoudelijk samenhangende belastende factoren, wordt eerst kort ingegaan op de specifieke effecten van de betreffende factoren.

Vervolgens worden combinaties tussen de groepen onderling besproken, eventueel gevolgd door combinaties binnen de groep factoren in kwestie. Aangezien een aantal factoren in de eerdere paragrafen al uitputtend behandeld wordt, is het aantal paragrafen kleiner dan het aantal groepen belastende factoren.

In tabel 1 wordt per groep belastende factoren het aantal keren weergegeven dat een combinatie is aangetroffen met een van de factoren uit een andere groep, uitgaande van de selectie van 327 titels.

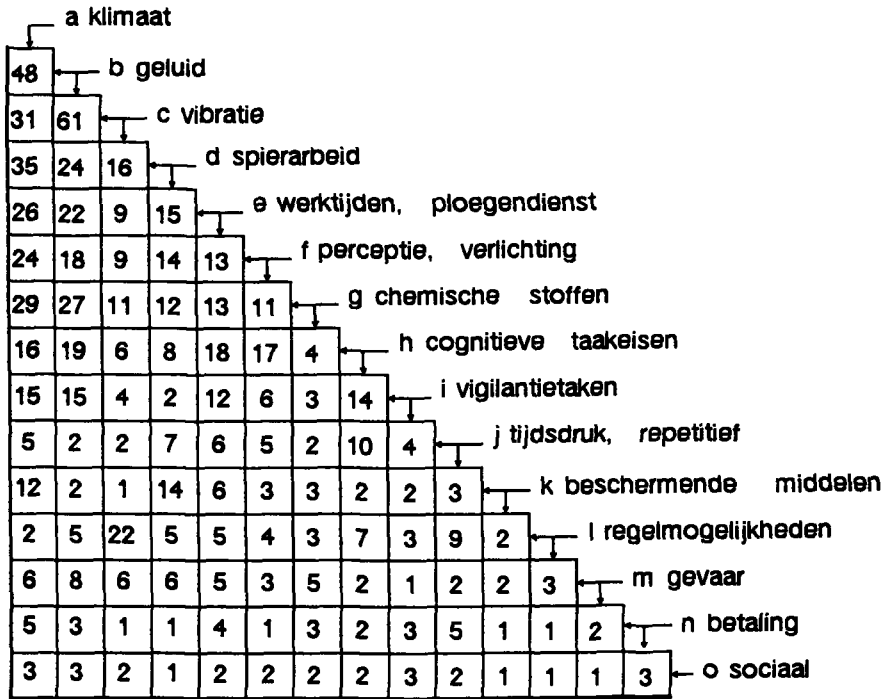
**Tabel 1 Aantallen combinaties per groep belastende factoren**

<u>Belastende factoren</u>	<u>Aantal combinaties</u>
a. klimaat, straling, temperatuur, atmosph. druk, zuurstofgehalte, hoogte/diepte	259
b. geluid	257
c. vibratie, acceleratie/deceleratie	161
d. statische/dynamische spierarbeid, motoriek	160
e. werktijden, werk–rust schema, ploegendienst, slaapdeprivatie	156
f. perceptie, verlichting	130
g. chemische stoffen, stof	128
h. cognitieve taakeisen	127
i. vigilantie	87
j. tijdsdruk, monotonie, repetitieve arbeid, arbeidscyclus, pacing	64
k. beschermende middelen/kleding	54
l. autonomie, inspraak, macht, regelmogelijkheden, verantwoordelijkheid	52
m. gevaar, risico's	52
n. beloning, salaris	35
o. emotionele situaties, sociale contacten, steun	28

Op basis van deze indeling is een overzicht gemaakt van de aantallen publicaties waarin factoren uit minstens twee groepen besproken worden. In tabel 2 verwijzen de letters langs de assen naar de factoren in de voorgaande tabel.

Zowel tabel 1 als tabel 2 is opgesteld aan de hand van 327 publicaties. De genoemde aantallen zijn uiteraard kleiner voor de 172 publicaties die in dit verslag worden besproken. Deze tabellen geven een indruk van de onderzoeksinspanningen die de afgelopen jaren verricht zijn op het gebied van meervoudige belasting. Het is opmerkelijk dat vooral de omgevingsvariabelen veel in combinatie met andere factoren besproken worden. Psychologische factoren als cognitieve taakeisen en vigilantietaken hebben over het algemeen betrekking op de afhankelijke maten (bijvoorbeeld prestatietests). Publicaties die bij de groep werktijden, werk–rust schema etc. zijn ingedeeld

**Tabel 2 Frequentieverdeling per factorcombinatie (327 publicaties)**



behandelen vaak de expositieduur van andere factoren. In tegenstelling tot de arbeidsomstandigheden lijken de arbeidsinhoud, -voorwaarden en -verhoudingen aanmerkelijk minder als deel van gecombineerde belasting onderzocht te zijn.

Het merendeel van de studies betreft laboratoriumexperimenten. Veldstudies en epidemiologische studies zijn ondervertegenwoordigd.

## 4. RESULTATEN

### 4.1 GELUID

#### 4.1.1 Inleiding

Geluid is een van de meest voorkomende belastende omgevingsfactoren in industriële arbeidssituaties. Bovendien is het een aantrekkelijke factor in laboratoriumexperimenten, omdat expositie met relatief eenvoudige middelen te verwezenlijken is. In de voor deze studie verzamelde literatuur is het dan ook de meest voorkomende factor.

Expositie aan geluid kan vele schadelijke gevolgen hebben. Als auditieve effecten worden bijvoorbeeld genoemd tijdelijke en blijvende lawaaidoofheid en oorsuizen. Onder de extra-auditieve effecten vallen onder andere schrikreflexen, hoge bloeddruk, hartafwijkingen, effecten op het centraal zenuwstelsel, maagzweren, duizeligheid, stembandafwijkingen, concentratiestoornissen, irritatie, slaapstoornissen en verstoring van auditieve en visuele perceptie (van Dijk, 1984).

Bij de beschrijving van de geluidsexpositie wordt meestal de maat dB(A) gehanteerd. Dit is een afgeleide maat van de eenheid van geluidsdruk dB, waarin de verschillen in gevoeligheid van het menselijk oor voor verschillende frequenties verdisconteerd zijn.

Waar het geluidsniveau in dB wordt uitgedrukt mag soms getwijfeld worden of men niet dB(A) bedoelt. Een andere maat is het equivalente geluidsniveau. Dit is het constante niveau van geluidsdruk in dB(A), dat in energetisch opzicht gelijk is aan het waargenomen variabele geluidsdrukniveau van de feitelijke acoustische gebeurtenissen. Deze maat drukt men uit in  $L_{Aeq}$ . In de meeste studies wordt volstaan met de geluidsdruk in dB(A) of het equivalente geluidsniveau. Van belang voor de belasting is echter ook het soort geluid en de betekenis van het geluid. In laboratoriumexperimenten hanteert men vaak zogenaamde witte ruis. Dit is een kunstmatig opgewekt geluid waarin het gehele frequentiespectrum gelijkmatig vertegenwoordigd is. Voor de vergelijkbaarheid van onderzoek is dit een aantrekkelijke maat. Buiten het laboratorium zal dit soort geluid echter nauwelijks voorkomen, zodat de nodige voorzichtigheid betracht moet worden bij interpretatie van de onderzoeksre-



sultaten. De betekenis van geluid is belangrijk voor de waardering ervan. Muziek zal bijvoorbeeld anders ervaren worden dan het geluid van een drukke verkeersweg. Soms kunnen geluiden met een zeer laag verschil in geluidsdruk ten opzichte van de omgeving al grote reacties teweeg brengen zoals het noemen van een naam in een drukke ruimte. Bij variabel geluid dient naast het equivalente geluidsniveau ook het aantal gebeurtenissen per tijds-eenheid (de aan/uit ratio), de duur van de gebeurtenissen, de maximale geluidsdruk, de snelheid waarmee een geluidspiek aanzwelt en de onverwachtheid van de geluiden beschreven te worden. Voor een verdere uiteenzetting over geluid, geluidsmaten en de meting van belasting door geluid zij verwezen naar van Dormolen et al. (1988).

## **4.1.2 Combinaties met klimaat en atmosferische condities**

### **4.1.2.1 Inleiding**

In deze paragraaf zullen resultaten besproken worden van studies waarin belasting door geluid gecombineerd wordt met belasting door de klimatologische omstandigheden op de werkplek. Het begrip klimaat omvat op zich al een groot aantal componenten. Op de samenhang tussen deze componenten zal niet uitvoerig worden ingegaan. Over het algemeen wordt onder klimaat verstaan de combinatie van temperatuur, luchtvochtigheid en luchtverplaatsing.

In deze studie wordt het begrip klimaat ruim geïnterpreteerd en worden ook combinaties met belasting door straling, hoogte, atmosferische druk en het zuurstofgehalte in de lucht besproken. In de meeste studies wordt de belasting door de klimatologische omstandigheden overigens uitsluitend besproken aan de hand van de temperatuur op de werkplek.

Voor de beschrijving van de temperatuur bestaat een aantal maten. De basisgrootheden voor de temperatuur zijn de luchttemperatuur, de gemiddelde stralingstemperatuur (en stralingstemperatuurasymmetrie), de absolute luchtvochtigheid en de lichtsnelheid. Voor een nauwkeurige beschrijving van de thermische condities op een werkplek moeten minimaal deze variabelen en de veranderingen in de tijd in beschouwing worden genomen. Enkele maten worden in de te bespreken literatuur veelvuldig gebruikt, dit zijn de droge boltemperatuur, de natte boltemperatuur en de effectieve temperatuur. Deze begrippen worden eerst kort beschreven aan de hand van Knoll en den Ouden (1986) en Fanger (1982). Voor een meer uitvoerige beschrijving van meetmethoden voor het thermisch klimaat wordt naar deze publicaties ver-

wezen. De droge boltemperatuur wordt gemeten met behulp van een sensor, geplaatst in het midden van een matzwarte bol. De natte boltemperatuur is een index die berekend wordt uit de natuurlijke natte luchttemperatuur (gemeten met een door een vochtig kousje bedekte sensor), de droge boltemperatuur en de droge luchttemperatuur. De effectieve temperatuur is een samengestelde maat, in de twintiger jaren ingevoerd door de American Society of Heating and Ventilation Engineers, waarin het effect van lucht- en stralingstemperatuur, vochtigheid en luchtbeweging op het warmtegevoel van de mens wordt uitgedrukt.

In de bespreking van de literatuur met betrekking tot de combinatie van belasting door warmte en geluid zal eerst worden ingegaan op onderzoek waarin belastingsverschijnselen als afhankelijke variabele gehanteerd worden. Vervolgens worden de studies besproken waarin prestatiegraden als afhankelijke graden gehanteerd worden. Hierbij zij opgemerkt dat prestatiegraden zeker nuttige informatie kunnen opleveren, maar niet noodzakelijkerwijs het belastingsniveau hoeven te weerspiegelen. Afhankelijk van de inzet en de gekozen strategie (de persoonlijke opgave) varieert de belasting bij een bepaald prestatieniveau. In 5.3.5 wordt hierop nader ingegaan.

#### 4.1.2.2 Belastingsverschijnselen

Op het gebied van fysiologische meting van de gecombineerde werking van temperatuur en geluid vallen de publicaties ruwweg uiteen in onderzoek naar verschuivingen in de gehoordrempel en in onderzoek naar het optreden van het Raynaud-syndroom (witte vingers, zie ook 4.1.4).

In Finland is door Manninen een aanzienlijke hoeveelheid laboratoriumexperimenten uitgevoerd waarbij onder andere geluid, temperatuur en vibratie de onafhankelijke variabelen vormen. Over deze experimenten kunnen enkele methodische opmerkingen gemaakt worden. Als standaardisatie worden de resultaten van de metingen per persoon verminderd met de waarde tijdens de controlemeting voorafgaand aan de expositie. Hierdoor is in zekere zin gecontroleerd voor verschillen tussen de groepen in basisniveau, maar niet voor verschillen in reactiviteit. Verder worden per persoon metingen aan twee oren afzonderlijk verricht. De twee oren van een persoon worden als onafhankelijke organen gezien hoewel een verschil in gehoordrempel van maximaal 10 dB tussen beide oren als selectie criterium geldt. Derhalve worden de aantallen cases per conditie op een nogal kunstmatige manier verdubbeld, waardoor de variantie binnen de groepen beperkt wordt en er eerder statistische significantie bereikt zal worden voor de verschillen tussen de groepen.

In deze paragraaf worden twee publicaties van deze auteur besproken.

In het eerste te bespreken experiment (Manninen, 1982) worden 72 personen (144 oren) verdeeld over 12 condities (6 personen per cel). De temperatuur werd gesteld op 20 °C danwel 30 °C (droge boltemperatuur) en het geluid op 90 dB(A) continu breedband ruis danwel "geen lawaai" (geen niveau gespecificeerd). De overige variabelen betreffen dynamische arbeid met de rechterhand en vibratie van het lichaam. Deze worden hier niet besproken. De gehoordrempel wordt onderzocht bij 7 toonfrequenties van 125 tot 8000 Hz. Uit de resultaten valt af te leiden dat de verschuiving in de gehoordrempel (TTS, naar Temporary Threshold Shift) bij 4 kHz door de combinatie van warmte en geluid in lichte mate vergroot wordt ten opzichte van de afzonderlijke exposities. Deze interactie wordt echter niet door de auteur genoemd en is dus ook niet getoetst op statische significantie.

In een ander experiment (Manninen, 1983a) zijn 11 mannelijke studenten en collega's van de auteur (22 oren, overigens is het gebruik van wetenschappers als proefpersonen methodologisch enigszins twijfelachtig) ieder aan zes verschillende combinaties van geluid (75, 85 en 95 dB(A) witte ruis) en temperatuur (20 en 30 °C droge boltemperatuur) blootgesteld (binnen proefpersoon vergelijkingen). In alle condities is er verticale, sinusoidale vibratie van het gehele lichaam toegediend met een frequentie van 5 Hz en een versnelling van 2.12 m/s<sup>2</sup>. Op het effect van vibratie op de gehoordrempel wordt in paragraaf 4.1.4 verder ingegaan. De TTS (2 minuten na de expositie gemeten) is onderzocht bij 4, 6 en 8 kHz. Het blijkt dat bij hogere geluidsniveaus de TTS sterker vergroot wordt bij hogere temperatuur. Bij 75 dB(A) worden nauwelijks verschillen aangetroffen. Het effect is het sterkst bij 4 en 6 kHz en het zwakst bij 8 kHz en neemt toe met het verloop van de expositie (30 tot 90 minuten). Enkele andere studies van deze auteur worden hier niet besproken omdat het onderzoeksontwerp voor de variabelen temperatuur en geluid niet volledig is.

Dupuis (1979) rapporteert dat uit onderzoek blijkt dat geluid met een hoge druk vasoconstrictie veroorzaakt. Bij toenemende temperatuur zou deze afnemen waardoor een antagonistische werking van deze variabelen verwacht kan worden. De auteur geeft echter verder geen details. Ook Gemne (1982) concludeert in een overzichtsartikel dat geluid de vasoconstrictie in vingers door kou, versterkt. De auteur noemt dit in verband met de ontwikkeling van het Raynaud syndroom (witte vingers) door remming van de perifere bloedcirculatie.

Er zijn geen betrouwbare publicaties gevonden over de combinatie van geluid en klimaatfactoren anders dan temperatuur. Alleen Todorova et al. (1982) stellen dat er aanwijzingen zijn voor een vermindering van de immuniteit door de combinatie van geluid en een electromagnetischveld. Ook hier worden geen verdere details gegeven.

#### 4.1.2.3 Prestatiematen

Een vroeg maar nog steeds veel aangehaald laboratoriumonderzoek naar de effecten van combinaties van atmosferische condities en geluid is in 1940 uitgevoerd door Viteles en Smith (1946). De vraag in deze studie is of de nauwkeurigheid, snelheid en attitudes van personeel op marineschepen verbeterd kan worden door air conditioning en in hoeverre zulke verbeteringen teniet gedaan worden door mogelijke effecten van het toegenomen geluid. Zes jonge, betaalde proefpersonen voeren gedurende 5.5 uur per dag, zes dagen per week en zeven weken lang een aantal taken uit onder verschillende omstandigheden. De effectieve temperatuur wordt per sessie gehouden op 23 °C, 27 °C, 31 °C en 34 °C. Ventilatorgeluid wordt toegediend met een druk van 72, 80 en 90 dB. De auteurs vinden dat op de gebruikte mentale tests de prestaties niet negatief beïnvloed worden door een stijging in effectieve temperatuur van 23°C naar 27°C. Bij een stijging naar 31 °C worden wel negatieve effecten op de prestaties gevonden. Een stijging in geluidsniveau van 72 dB tot 90 dB leidt in dit experiment niet tot vermindering van de prestaties. Er worden geen interactierelaties gevonden op de prestaties tussen expositie aan geluiden aan temperatuur. De auteurs concluderen dan ook dat de temperatuur de enige relevante factor is met betrekking tot de prestatie. Onduidelijk blijft van welke belasting er sprake is in de verschillende condities). Met name het betalingssysteem, met premies op individueel- en op groepsniveau, is erop gericht de motivatie zo hoog mogelijk te houden.

Poulton en Edwards (1974) hebben een laboratoriumexperiment uitgevoerd met 12 jonge, mannelijke militairen als proefpersonen. Deze worden in vier condities blootgesteld aan combinaties van laagfrequent geluid (80 of 102 dB groene ruis) en warmtebelasting (19 °C en 34 °C effectieve temperatuur). Op een tracking taak verbetert de prestatie bij een toename van het geluidsniveau en verslechtert deze bij toenemende temperatuur (met enige adaptatie na 20 minuten). Bij de combinatie van hoge temperatuur en een hoog geluidsniveau treedt na 15 minuten een statistisch significante interactie op. De prestatie verslechtert dan in versterkte mate. Op een 30 minuten durende vigilantietaak (zie ook hoofdstuk 4.8) treden bij toenemende warmte meer fouten op, evenals bij toenemend geluidsniveau. Er wordt een statistisch

significante interactie tussen geluids- en warmtebelasting gevonden. In de conditie met de hoogste niveaus van beide variabelen valt de toename van het aantal fouten weg. In een latere publicatie plaatst Poulton (1977) de resultaten van onderzoek naar warmtebelasting in het kader van de arousaltheorie (zie ook 4.6.3). Hij stelt dat een kleine verhoging van de temperatuur het arousalniveau verlaagt en dat derhalve de vigilantie vermindert. Een hoog warmteniveau (hitte) zou het arousalniveau, en daarmee de vigilantie, verhogen. De resultaten van zijn eigen onderzoek (Poulton & Edwards, 1974) zijn hiermee niet mee te verklaren aangezien het toegepaste temperatuurniveau van 34 °C (effectieve temp.) al zeer hoog genoemd kan worden.

Andere theoretici (bijvoorbeeld Broadbent, 1970) stellen overigens dat de belastingseffecten door factoren als geluid en slaapdeprivatie wel te verklaren zijn met de arousaltheorie, maar dat juist de temperatuur van een andere orde is en in verband staat met een ander mechanisme.

Grether et al. (1972) rapporteren dat zij in een eerder experiment geen toename van effecten door expositie aan geluid vinden, boven de effecten die zij constateren door blootstelling aan warmte. Nadere bijzonderheden worden niet gegeven.

In een overzicht concludeert Grivel (1975) dat er een additieve relatie bestaat tussen geluid en warmte met betrekking tot de prestatie op een aantal psycho-motorische taken. Bij combinatie van de belasting door deze factoren vermindert de prestatie. Een uitzondering vormt hoofdrekken, een taak waarop de beste prestatie gevonden wordt bij een gematigde expositie aan beide factoren.

Hancock en Pierce (1985) geven een overzicht van onderzoek (de bovenstaande studie van Viteles en Smith inbegrepen) waarin geluidsbelasting gecombineerd is met temperatuurvariaties en waarin de prestatie op diverse taken als afhankelijke maat gehanteerd is. Zij constateren dat er zowel antagonistische, additieve en synergetische effecten gevonden worden. De conclusie van deze auteurs is dat temperatuur- en geluidsbelasting onafhankelijk lijken, maar dat er nog veel onduidelijkheid bestaat.

In voorgaande onderzoeken wordt er van uitgegaan dat het uitvoeren van een enkelvoudige taak een juiste manier is om effecten van belasting door meerdere factoren te meten. Bell (1978) stelt dat de mens een gelimiteerde capaciteit bezit om omgevingsstimuli te verwerken ("information processing"). Als een hoge belasting bereikt wordt, zal dit niet zozeer op de primaire taak te zien zijn, maar juist op een toegevoegde taak. Dit idee is vergelijkbaar met de dubbeltaak methode van Kalsbeek (1965, 1967, 1983) die

elders nog ter sprake komt. Deze on-specifieke theorie wordt vervolgens onderzocht met geluid en temperatuur als belastende factoren.

In een laboratorium experiment worden 72 vrouwen en 72 mannen gelijk verdeeld over zes groepen. Iedere groep wordt blootgesteld aan één combinatie van warmte en geluid. In de conditie met een laag geluidsniveau bedraagt de geluidsdruk 55 dB(A) "normaal" achtergrondgeluid, in de andere conditie worden korte perioden (1 – 9 seconden) van 95 dB(A) witte ruis met onvoorspelbare intervallen (1 – 9 seconden) toegediend. De temperatuurcondities zijn 22 °C, 29 °C en 35 °C. Waarschijnlijk betreft het hier droge luchttemperatuur, dit is niet gespecificeerd. De relatieve vochtigheid wordt in alle condities tussen 40 % en 50 % gehouden. De leeftijd van de proefpersonen wordt niet gerapporteerd, maar het betreft hier (betaalde) studenten. Er heeft geen matching plaatsgevonden. De primaire opdracht bestaat uit het met één hand uitvoeren van een senso-motorische taak. In de toegevoegde taak moet met de andere hand aangegeven worden of verbaal toegediende nummers hoger of lager zijn dan een norm.

Zoals verwacht worden er op de primaire taak geen effecten gevonden van het expositieniveau. Op de secundaire taak worden er statistisch significante hoofdeffecten geconstateerd van geluid en van temperatuur. Bij een toename van het expositieniveau stijgt het aantal fouten. Er is geen sprake van interactie tussen de beide factoren.

#### 4.1.2.4 Conclusies

In onderzoek met prestatie-maten als afhankelijke variabelen wordt over het algemeen gevonden dat een hoge temperatuur nadelig is voor de prestatie op psycho-motorische taken in een laboratorium. Met betrekking tot combinaties met geluid worden er verschillende resultaten geconstateerd. Op basis van de bestudeerde literatuur moet de conclusie van Hancock en Pierce (1985) onderschreven worden dat er nog te veel onduidelijkheid bestaat om duidelijke uitspraken te doen over de effecten bij combinatie van deze variabelen. Het antagonistische effect dat sommige auteurs rapporteren kan, gezien het conceptueel en methodisch versnipperde onderzoek zeker niet gegeneraliseerd worden. Intuïtief is de conclusie van andere onderzoekers dat hoge temperatuur gecombineerd met hoge geluidsdruk de prestaties (meer dan de afzonderlijke factoren) nadelig zal beïnvloeden aantrekkelijk. Hiervoor mist echter de nodigewetenschappelijke evidentie.

Er zijn aanwijzingen gevonden dat een continu hoog geluidsniveau in combinatie met een hoge temperatuur een grotere tijdelijke verhoging van de

gehoordrempel veroorzaakt dan de afzonderlijke factoren. Dit geldt voor het waarnemen van tonen van 4 kHz en eventueel voor tonen van 6 en 8 kHz. Het effect neemt toe naarmate de expositie langer voortduurt.

Enkele auteurs melden dat geluid door vasoconstrictie de perifere bloedcirculatie remt en daardoor de ontwikkeling van het Raynaud syndroom bij lage temperaturen bevordert. Deze uitspraken zijn niet getoetst aan de oorspronkelijke publicaties.

### **4.1.3 Combinaties met fysieke arbeid**

#### **4.1.3.1 Inleiding**

De combinatie van een hoog geluidsniveau en dynamische of statische spierarbeid is niet vaak onderzocht. De combinatie wordt regelmatig genoemd in publicaties die handelen over het werken met motorzagen, maar in deze studies zijn de variabelen niet systematisch gemanipuleerd. In deze paragraaf worden enkele studies besproken waarin de combinatie expliciet aan bod komt, zij het in enkele gevallen als onderdeel van een groter aantal belastende factoren.

#### **4.1.3.2 Belastingsverschijnselen**

Enkele studies gaan in op de antagonistische werking van geluid en dynamische arbeid die verwacht kan worden op de perifere bloeddorstroming. Dynamische arbeid verhoogt de bloeddorstroming terwijl een hoog geluidsniveau vaak als vasoconstrictor genoemd wordt. Dresen en Borghols (1978) hebben zes mannen en zes vrouwen (gemiddeld 22 jaar) onderzocht in perioden van tien minuten expositie, afgewisseld met tien minuten rust. De expositie bestaat uit fietsen op een ergometer bij 120 b.p.m., 90 dB(A) fabrieksgeluid door een koptelefoon of de combinatie van deze condities. Na blootstelling aan het geluid treedt een verhoging van de diastolische bloeddruk op terwijl systolische bloeddruk en de polsdruk gelijk blijven. Na tien minuten fietsen zijn juist de systole en de polsdruk verhoogd, bij een gelijkblijvende diastolische bloeddruk. De combinatie van geluid en dynamische spierarbeid leidt tot dezelfde resultaten als dynamische arbeid alleen. De auteurs concluderen dat dynamische spierarbeid een grotere invloed heeft op de bloeddorstroming dan geluidsbelasting. Dit komt neer op een antagonistische interactie. Het is de vraag welke de resultaten zouden zijn indien meerdere niveaus van de belastende factoren onderzocht waren.

Ook Koller et al. (1987) vinden in twee laboratoriumexperimenten met in totaal 30 mannen en 10 vrouwen, tijdens een fietsergometertest geen toename van de fysiologische reacties bij gelijktijdige expositie aan 85 dB witte ruis.

De vraag bij welk niveau van lichamelijke belasting geluid nog van invloed is op de perifere doorbloeding staat ook centraal in een laboratoriumexperiment van Jansen (1972). Hierin zijn acht personen (19–25 jaar) in perioden van enkele minuten blootgesteld aan geluid (95 dB(B) breedband ruis of 95 dB(B) tertsband ruis) en dynamische arbeid op een fietsergometer (5 mkp/s). Uit de resultaten komt naar voren dat de tertsband ruis geen invloed heeft op de toename van de doorbloeding bij dynamische arbeid, maar dat de breedband ruis een verminderend effect heeft. In tegenstelling tot het vorige onderzoek overheerst de dynamische arbeid hier dus niet.

In enkele van zijn studies naar de verschuiving van de gehoordrempel door geluid, vindt Manninen (1984a, 1984c) dat een toename van dynamische spierarbeid tot een licht antagonistische interactie leidt.

#### 4.1.3.3 Prestatiematen

In een laboratoriumexperiment door Klotzbücher en Fichtel (1978) zijn tien mannen (gemiddeld 32 jaar oud) blootgesteld aan verschillende combinaties van geluid (55, 70 of 85 dB(AI)) en dynamische belasting op een fietsergometer (15 of 30 W). Tussen de expositieperioden zijn rekentesten afgenomen. Uit de resultaten blijkt dat de beste prestaties geleverd worden bij de combinatie van 15 W met 70 dB of bij 30 W met 55 dB. Dit wijst op een elkaar versterkende belastend effect van geluid en dynamische belasting.

#### 4.1.3.4 Conclusies

Er bestaan enige aanwijzingen dat geluid en dynamische spierarbeid tegengestelde effecten op de bloeddruk veroorzaken. Of hier werkelijk sprake is van antagonisme is op grond van de bovengenoemde studies niet te zeggen. Daarvoor ontbreken studies waarin meerdere niveaus van beide variabelen zijn toegediend over een ruime periode. Bovendien wordt in één studie een additief of synergistisch effect geconstateerd.



## 4.1.4 Combinaties met trillingen, versnelling, vertraging

### 4.1.4.1 Inleiding

Vibratie, zowel hand-arm vibratie als trillingen van het gehele lichaam, komt regelmatig voor in combinatie met een hoog geluidsniveau. Trillingsbronnen zoals voertuigen, motorkettingzagen en veel grote machines brengen immers vaak een aanzienlijke geluidsdruk voort. Van trillingen is bekend dat een intensieve en langdurige blootstelling kan leiden tot typische stoornissen als witte vingers, gevoelverlies in de perifere ledematen, gevoeligheid voor lage temperaturen en gewrichtsklachten. De onderzoeken die hier besproken zullen worden gaan vaak in op de verwachte invloed van vibratie op verschuivingen in de gehoordrempel en op de ontwikkeling van het vibration induced white fingers-syndroom (VWF), een aandoening waarbij door vasoconstrictie de bloedsomloop in de vingers geremd wordt.

### 4.1.4.2 Belastingsverschijnselen

De tijdelijke verschuiving in de gehoordrempel (TTS) is een veel gebruikte maat om de belasting van het gehoor te meten. De assumptie hierbij is dat de grootte van de verschuiving een indicatie geeft van de mate van gehoorverlies na langdurige expositie. Een aantal onderzoekers heeft deze maat gehanteerd om de invloed van trillingen bij aanwezigheid van een hoog geluidsniveau te onderzoeken.

Het eerste experiment dat is aangetroffen is uitgevoerd door Okada et al. (1971). In dit onderzoek is de TTS gemeten na expositie aan 101 dB continu fabrieksgeluid, na sinusoidale verticale vibratie (5 Hz en 5 m/s<sup>2</sup>), en na expositie aan de combinatie van deze factoren. Een groep van 5 mannelijke studenten fungeert als proefpersoon in alle condities.

De gemeten TTS bij 1 kHz en bij 4 kHz blijkt na expositie aan de combinatie groter te zijn dan na expositie aan de afzonderlijke factoren. Het effect is ongeveer additief.

Yokoyama et al. (1974) hebben 8 mannelijke studenten en collega's blootgesteld aan zes verschillende combinaties van verticale sinusoidale lichaams-trilling en geluid (via een koptelefoon). De exposities duren ongeveer twintig minuten per conditie. De vibratieniveaus zijn: geen vibratie, langzame vibratie (5 Hz en 6 mm amplitude) en snelle vibratie (16.7 Hz en 3 mm). De geluidscondities zijn: geen geluid en witte ruis met een geluidsdruk van 82 dB. Bij de

5 Hz trillingen alleen wordt geen effect op de gehoordrempel gevonden en bij 16.7 Hz een kleine verhoging. Expositie aan 82 dB zonder vibratie resulteert in ongeveer 8 dB gehoorverlies bij 4 kHz, met een hersteltijd van vijf minuten. Een synergistisch effect treedt op bij 82 dB geluid in combinatie met 5 Hz trillingen. De gehoordrempel stijgt met 12 dB direct na afloop van de expositie. Het herstel vangt snel aan maar is na 20 minuten nog niet volledig. Na de combinatie met 16.7 Hz treedt een iets sterker gehoorverlies op (13 dB), met een trager herstelverloop. Er worden grote individuele verschillen gevonden.

Van Manninen zijn 6 publicaties aangetroffen waarin de TTS als afhankelijke maat gebruikt is bij belasting door een combinatie van geluid en vibratie. Voor deze experimenten gelden de methodologische opmerkingen betreffende standaardisatie en het meten van twee oren per proefpersoon die in 4.1.2 gemaakt zijn. De expositie in al de te bespreken experimenten van deze auteur duurt 3 keer 16 minuten, afgewisseld met gehoormetingen, en wordt gevolgd door een herstelperiode van 15 minuten.

In het eerste laboratoriumexperiment (Manninen, 1980) worden 11 mannelijke studenten en collega's ( $M = 29.5$  jaar) aan combinaties van 3 geluidsniveaus en drie niveaus van sinusoidale verticale trillingen blootgesteld. De geluidsniveaus zijn: 25 dB(A) (achtergrondniveau in het laboratorium), 85 dB(A) en 98 dB(A) witte ruis. De trillingsniveaus zijn: geen trillingen, langzame trillingen (5 Hz en  $2.12 \text{ m/s}^2$ ) en snelle trillingen (10 Hz en  $2.65 \text{ m/s}^2$ ). Met de gehoordrempel bij 4 kHz als afhankelijke maat treden de volgende effecten op. Bij toediening van vibratie alleen volgt een lichte stijging van de gevoeligheid van het oor. Na 48 minuten expositie aan 85 dB zonder trillingen is de gehoordrempel ongeveer 12 dB verhoogd. Na de zelfde periode expositie aan 85 dB gecombineerd met sinusoidale vibratie is de TTS met nog eens 3 dB vergroot. Blootstelling aan 48 minuten 95 dB verhoogt de gehoordrempel met bijna 30 dB. Toevoeging van sinusoidale vibratie resulteert in een TTS van ongeveer 34 dB. Er wordt dus een synergistisch effect gevonden van geluid en sinusoidale vibratie op de TTS. Op de gehoordrempel bij 500 Hz en bij 1 kHz worden nagenoeg geen verschillen gemeten.

In een andere publicatie (Manninen, 1983b) wordt verslag gedaan van drie laboratoriumexperimenten. In het eerste experiment worden 13 mannelijke studenten in verschillende combinaties van geluid en vibratie gebracht om te onderzoeken bij welke bandbreedte van geluid de grootste interactie met verticale sinusoidale vibratie (5 Hz,  $12.2 \text{ m/s}^2$ ) op de TTS plaatsvindt. Daartoe is geluid met een geluidsdruk van 90 dB toegepast. De gemeten bandbreedtes zijn 2-4 kHz, 4-6 kHz, 6-8 kHz, 4-8 kHz en 0.2-16 kHz. Hoofdeffecten van

geluid treden op bij expositie aan alle gemeten bandbreedtes maar met name bij 4–6 kHz (TTS > 30 dB) en 4–8 kHz. Interacties (synergistisch) met vibratie worden gevonden bij expositie aan 4–6 kHz, 6–8 kHz en 0.2–16 kHz.

In het tweede experiment worden de zelfde onderzoeksprocedures gevolgd. Ditmaal worden 14 mannelijke studenten blootgesteld aan combinaties van vibratie (5 Hz, 2.12 m/s<sup>2</sup>) en 90 dB ruis met bandbreedtes van respectievelijk 1–2 kHz, 1–4 kHz, 1–8 kHz en 0.2–16 kHz. Bij expositie aan vibratie zonder geluid treedt een duidelijke verlaging van de gehoordrempel bij 4 kHz op. Bij belasting door geluid zonder vibratie treden de duidelijkste verhogingen van de gehoordrempel bij 4 kHz op bij bandbreedtes van 1–4 kHz, 1–8 kHz en 0.2–16 kHz. De TTS bedraagt dan steeds ongeveer 15 dB. Door combinatie van de twee belastende factoren wordt de TTS bij deze bandbreedtes met nog ongeveer 5 dB groter. Opmerkelijk is de verlaging van de drempel door vibratie alleen en de extra verhoging door vibratie in combinatie met geluid. Voor de gehoordrempel voor een toon van 6 kHz gelden ongeveer de zelfde resultaten, zij het dat de verlaging van de gehoordrempel door vibratie alleen, in dit geval nihil is. De drempel voor een toon van 8 kHz wordt door toevoeging van vibratie aan geluid extra verhoogd. Dit geldt voor bandbreedtes van 1–8 kHz en 0.2–16 kHz. Hierbij is de TTS kleiner dan in de voorgaande gevallen. De conclusie uit deze twee experimenten lijkt dat het synergistische effect van geluid en vibratie op de TTS het grootst is voor de waarneming van frequenties die ongeveer samenvallen met de frequentie van het omgevingsgeluid.

De TTS en de stabiliteit van het lichaam in staande positie na expositie aan geluid en/of verticale vibratie zijn de afhankelijke variabelen in een experiment met 10 mannelijke studenten (Manninen & Ekblom, 1984). Deze studenten zijn blootgesteld aan 90 dB witte ruis, sinusoidale vibratie (5 Hz) met een versnelling van 2.12 m/s<sup>2</sup> en sinusoidale vibratie (5 Hz) met een versnelling van 2.44 m/s<sup>2</sup>. De TTS is gemeten bij 4 en 6 kHz. Vibratie alleen heeft met beide versnellingen geen effect op de TTS. In combinatie met geluid treedt een extra verhoging van de gehoordrempel op. Hierbij wordt geen verschil gevonden tussen de twee vibratie condities. De stabiliteit in staande positie na afloop van de expositie wordt verminderd door de combinatie van geluid en vibratie. Verder heeft de onderzoeker de helft van de proefpersonen na afloop van de reguliere expositieperiode blootgesteld aan vibratie. Het opmerkelijke resultaat hiervan is dat bij deze groep proefpersonen het herstel van de gehoordrempel (na expositie aan alleen geluid) sneller verloopt dan bij de andere helft die zonder verdere expositie herstelt.

Een groep van 90 mannelijke studenten is in een volgend experiment (Manninen, 1984c) verdeeld over 18 verschillende combinaties van geluid (geen geluid of 90 dB(A) witte ruis, 0.2–16 kHz), verticale vibratie (geen vibratie, sinusoidale vibratie met 5 Hz en 2.12 m/s<sup>2</sup>, of een stochastische vibratie met 2.8–11.2 Hz en 2.12 m/s<sup>2</sup>) en dynamische spierarbeid uitgevoerd met de rechterhand (2 W, 4 W of 8 W). Om onduidelijke redenen vinden de proefnemingen plaats bij een droge boltemperatuur van 30 °C. Ook in dit experiment wordt een extra verhoging van de gehoordrempel bij 4 en 6 kHz gevonden in de groep met een gecombineerde expositie aan 90 dB(A) en vibratie. Dit effect is met name sterk bij stochastische vibratie en een lage dynamische belasting. Bij de zwaarste dynamische belasting (8 W) treedt geen interactie op tussen geluid en vibratie.

Verticale vibratie (geen vibratie, sinusoidale vibratie met 5 Hz en 12.2 m/s<sup>2</sup> of stochastische vibratie met 2.8–11.2 Hz en 12.2 m/s<sup>2</sup>) en geluid (geen geluid of 90 dB(A) witte ruis) vormen enkele van de onafhankelijke variabelen in een experiment (Manninen, 1985). De groep van 108 mannelijke studenten die als proefpersoon dient is zo verdeeld dat er een onderzoeksontwerp ontstaat met zes personen per cel. De overige onafhankelijke variabelen worden hier niet besproken. Wederom blijkt dat er op de TTS een interactie optreedt tussen geluid en sinusoidale vibratie. Een interactie tussen geluid en stochastische vibratie is niet eenduidig uit de resultaten af te leiden.

In het laatste experiment van Manninen dat hier besproken wordt (Manninen, 1986) zijn 7 mannelijke studenten aan 12 verschillende combinaties van geluid en vibratie blootgesteld. Het geluid bestaat uit 90 dB(A) witte ruis, de vibratie uit 4 verschillende soorten stochastische vibratie en de gebruikelijke sinusoidale vibratie (5 Hz, 2.12 m/s<sup>2</sup>). De combinaties met stochastische vibratie leiden niet tot duidelijke conclusies. De combinatie van geluid en sinusoidale vibratie resulteert wel weer in een snellere en grotere verhoging van de gehoordrempel dan de som van de afzonderlijke effecten.

Een andere onderzoekslijn omvat meer epidemiologisch gerichte studies. Hierin worden beroepsgroepen met een bepaalde expositie aan geluid en trillingen vergeleken met groepen waarin een van deze factoren ontbreekt. Een voorbeeld hiervan is een onderzoek van Pintér (1973). Hierin wordt een groep tractorbestuurders vergeleken met werknemers in de meubelindustrie. De tractorbestuurders staan bloot aan geluidsniveaus met een  $L_{\text{eq}}$  van 90 tot 98 dB(A) en trillingen van ongeveer 10 Hz. De vergelijkingsgroep heeft niet beroepsmatig te maken met trillingen en ondergaat tijdens het werk geluid met gelijk niveau. Deze groepen omvatten beide ongeveer 60 mensen. Bovendien wordt een groep werknemers in de bosbouw ( $L_{\text{eq}}=96-100$  dB(A)

en 125–350 Hz) vergeleken met een groep werknemers in de textielindustrie ( $L_{eq}=97-101$  dB(A)). Beide groepen bestaan uit 32 mensen. Er is gecontroleerd voor leeftijd. Verschillen in klimaat op de werkplek (buiten versus binnen) worden niet besproken. Het blijkt dat in de groepen met expositie aan trillingen en vibratie meer gehoorverlies voorkomt in de lage (250–1000 Hz) en in de hoge (6–8kHz) frequenties. Bij een groep bosarbeiders met symptomen van het Raynaud syndroom wordt bovendien een groter gehoorverlies geconstateerd dan bij een vergelijkbare groep bosarbeiders zonder deze symptomen. De conclusie van Pintér is dat geluid in combinatie met vibratie een groter gehoorverlies veroorzaakt dan geluid alleen.

In een longitudinale studie in Finland (Pyykkö et al., 1981; Starck en Pyykkö, 1984) wordt een groep houthakkers (72–203 personen) over langere tijd bekeken. In het werk staan deze werknemers bloot aan geluid met een  $L_{eq}$  van 96–103 dB(A) en hand-arm trillingen met een versnelling van 30–70 m/s<sup>2</sup>. In de onderzoeksgroep heeft iedereen minimaal 3 jaar gewerkt en totaal minimaal 500 uur werk met de motorkettingzaag verricht. Rekening houdend met leeftijd, expositie en gebruik van gehoorbeschermingsmiddelen wordt bij een groep mensen met witte vingers ten gevolge van vibratie een gehoordrempel gevonden die ongeveer 10 dB hoger ligt dan van een vergelijkbare groep zonder deze verschijnselen. In een vervolgstudie (Pyykkö et al., 1987) worden bij 122 bosarbeiders (30–55 jaar) gehoormetingen verricht. Bij het gebruik van de kettingzaag staan zij bloot aan gemiddeld 102.5 dB(A) (met oordoppen 90.6 dB(A)). Op basis van de metingen van de gehoordrempel bij 4 kHz concluderen de auteurs dat lawaai in combinatie met vibratie niet noodzakelijkerwijs tot gehoorverlies hoeft te leiden. Er is volgens hen eerder sprake van een verhoogd risico voor bepaalde groepen (tot de zelfde conclusie komen ook Seidel et al. (1984) in een overzicht). Zij vinden ook geen correlatie tussen de expositie aan geluid plus vibratie en gehoorverlies. Het voorkomen van witte vingers verklaart echter wel 5 procent van de variantie in het gehoorverlies. Dit wijst inderdaad in de richting van een beperkt verband.

Ook in Polen is onderzoek verricht naar de gevolgen van het gebruik van kettingzagen in de bosbouw. Bielski (1984) heeft een groep van 214 boswerkers met een gemiddelde leeftijd van 42.1 jaar (gemiddeld 13 dienstjaren) vergeleken met een groep boswerkers die niet beroepsmatig te maken hebben met hoge geluidsniveaus en vibratie. De gebruikte kettingzagen produceren gemiddeld 100–109 dB(A) en vibraties van 32–250 Hz (tijdens het zagen, anders 125–250 Hz). Het blijkt dat 44 procent van de zagers gehoorstoornissen van 20–80 dB vertoont. De helft heeft last van typische vibratiestoornissen als kougevoeligheid, witte vingers, gevoelloosheid en gewrichtsklachten. Pathologische veranderingen aan de ruggegraat wordt

aangetroffen bij 18 procent. De stoornissen nemen toe naarmate het aantal dienstjaren groter is.

Bij de controlegroep worden weinig klachten geconstateerd. Uit deze gegevens blijkt dat hier sprake is van een lichamelijk zwaar beroep. In hoeverre de klachten veroorzaakt worden door de specifieke combinatie van geluid en vibratie kan echter niet worden vastgesteld.

De laatste onderzoeken in de bosbouw die hier besproken worden zijn in Japan uitgevoerd door Iki et al. (1983; 1987). In de eerste studie zijn 37 paren gevormd, gematched op leeftijd en het aantal gewerkte uren met vibrerende werktuigen. Ook uit dit onderzoek komt naar voren dat de groep met witte vingers een hogere gehoordrempel heeft dan de controlegroep. Dezelfde conclusie wordt in de tweede studie getrokken waarin 96 bosarbeiders na vijf jaar nogmaals worden onderzocht.

Om de hinder door geluid in combinatie met vibratie te onderzoeken hebben Okada et al. (1984) 10 mannelijke studenten naast een oneffen weg laten plaatsnemen met de rug naar het verkeer gericht. De condities zijn gevarieerd door de proefpersonen al dan niet te laten plaatsnemen op kussens en met oordoppen uit te rusten. Uit de ingevulde hinderschalen komt naar voren dat in deze kleine groep bij een toenemend niveau van vibratie, reeds bij lagere geluidsniveaus hinder wordt gerapporteerd. Geluid en vibratie versterken elkaar merkbaar op deze variabele. Een soortgelijk resultaat wordt gerapporteerd door Manninen (1984b) naar aanleiding van een laboratoriumexperiment waarin het geluidsniveau geschat wordt onder verschillende condities van geluid en vibratie.

#### 4.1.4.3 Prestatiematen

Op het gebied van onderzoek met prestatie-maten als afhankelijke variabele zijn enkele publicaties aangetroffen. Sommer en Harris (1973) hebben twaalf mannelijke studenten via een koptelefoon blootgesteld aan witte ruis (60 dB danwel 100 dB). Verticale vibratie is in de helft van de condities niet toegevoegd en in de andere met een frequentie van 6 Hz bij 0.10 g. Na 2.5 uur blootstelling aan vibratie en 60 dB geluid wordt een slechtere prestatie geleverd op een tracking taak dan na een zelfde periode met alleen 60 dB geluid (de controle conditie). Expositie aan 100 dB geluid en geen vibratie resulteert in een kleine vermindering van de prestatie. Bij combinatie van 100 dB met vibratie treedt minder verslechtering van de prestatie op dan in de conditie met alleen vibratie. Dit licht antagonistische effect wordt door de auteurs

verklaard met de theorie dat een hoge geluidsdruk de input van andere zintuigen zal verminderen.

Manninen (1985, zie vorige paragraaf) vindt op een reactietest geen interactie tussen een geluidslast van 90 dB(A) witte ruis en sinusoïde vibratie (5 Hz, 12.2 m/s<sup>2</sup>) of stochastische vibratie (2.8 Hz – 11.2 Hz, 12.2 m/s<sup>2</sup>).

In een overzicht van onderzoek met betrekking tot de combinatie van vibratie en geluid komt Guignard (1974) tot de conclusie dat er zowel antagonistische als synergistische effecten mogelijk zijn, afhankelijk van de dosering van de onafhankelijke variabelen en de wijze van meting van de afhankelijke variabele. Wanneer de dosering van beide variabelen groot genoeg is, zal er prestatieverlies optreden.

#### 4.1.4.4 Conclusies

Eenduidige effecten van geluid en vibratie op de prestatie worden niet gevonden. Wat betreft de verschuiving in de gehoordrempel zijn de experimentele resultaten echter meer in overeenstemming.

De combinatie van trillingen van het gehele lichaam en expositie aan geluid resulteert in een grotere TTS dan de belastende factoren afzonderlijk. De resultaten worden voornamelijk aangetroffen bij de gehoordrempel voor geluid met een frequentie van 4 tot 8 kHz. Het uitblijven van het effect bij gelijktijdig uitvoeren van dynamische spierarbeid ondersteunt de hypothese dat de interactie berust op vermindering van de bloeddorstrooming in de gehoororganen. Dynamische spierarbeid leidt namelijk tot een versnelde bloeddorstrooming.

Vergelijking van bepaalde beroepsgroepen met meer of minder expositie aan geluid en vibratie wijst op versterkte gehoorstoornissen bij expositie aan een combinatie van deze factoren. De hoge frequentie waarmee in bepaalde beroepsgroepen witte vingers optreden kan duiden op een synergisme tussen hand- armtrillingen en geluid. Bij deze resultaten kan worden opgemerkt dat er individuele verschillen bestaan in reactie. De genoemde studies wijzen in eerste instantie op een verhoogd risico en niet op noodzakelijke effecten. Berdychowski (1986) adviseert terecht dat het werken met gelijktijdige geluids- en vibratieexpositie beperkt dient te worden. Naar aanleiding van onderzoek van arbeidsplaatsen in de bouw stelt deze auteur dat de totale werktijd per dag beperkt dient te worden, zij het niet door veel tussentijdse wisselingen van arbeidsplaats. Dit laatste zou de adaptatie, voor zo ver aanwezig, verstoren.

## **4.1.5 Combinaties met chemische stoffen, stof**

### **4.1.5.1 Inleiding**

Hoewel effecten van blootstelling aan chemische stoffen meestal onderzocht worden op proefdieren, zijn er toch enkele auteurs die ototoxische effecten bij mensen beschrijven. De stoffen die onder andere hierbij genoemd worden zijn koolmonoxyde, lood, fosfor, kwik en antibiotica en andere medicamenten (Haider, 1973; Pankow & Ponsold, 1974). De meeste publicaties die aangetroffen zijn met als onderwerp de combinatie van geluid en chemische stoffen of stof behandelen de effecten op het gehoor. Studies met prestatie-maten als afhankelijke variabele zijn hierbij niet aangetroffen.

### **4.1.5.2 Resultaten**

In een aantal overzichtspublicaties worden versterkende effecten van chemische stoffen met geluidsexpositie op het gehoor van mensen gerapporteerd. Zo vindt Haider (1973) studies waarin gecombineerde effecten genoemd worden van geluid met koolmonoxyde, trichloorethyleen en kooldisulfide. Pankow en Ponsold (1974) verwijzen naar een onderzoek waarin een grotere gehoorschade wordt gevonden na belasting door de combinatie van geluid en koolmonoxyde dan na expositie aan de afzonderlijke factoren. Deze auteurs schrijven ook de opvallend sterke verschijnselen van hoofdpijn en vermoeidheid die aangetroffen worden bij verkeersregelaars toe aan deze gecombineerde belasting. Haider (1973) noemt tegenstrijdige publicaties over een verminderde afbraak van koolmonoxyde. In een eigen experiment (Haider, 1973; Haider et al., 1984) worden 18 proefpersonen 4 uur blootgesteld aan 200 ppm koolmonoxyde, al dan niet in combinatie met 105 dB octaafband ruis (middenfrequentie 2 kHz) gedurende de laatste 15 minuten. Er worden geen interactie effecten gevonden op de TTS bij 3 en 4 kHz na blootstelling gedurende 4, 8, 16 en 64 minuten. Tiunov en Kustov (1974) halen een Russische studie aan waarin een gecombineerde invloed gevonden wordt van hoogfrequent geluid en kwartsstof op de ontwikkeling en de aard van het toxisch proces. Nadere details worden niet gegeven.

De overige publicaties behandelen experimenten met proefdieren. Hierin worden verschillende resultaten gerapporteerd.

Klosterkötter (1972) vindt geen effect van de combinatie van geluid en koolmonoxyde. Over de combinatie van geluid en oplosmiddelen worden minder



dan additieve danwel antagonistische resultaten gevonden bij muizen (Burykina et al., 1984) en ratten (Kurnayeva et al., 1986; Sanotsky et al., 1984).

Gohlke (1975) noemt in een overzicht één onderzoek waarin een synergisme is gevonden tussen geluid en kwikdamp op toxische labyrinthitis en cochleaire neuritis. Paran'ko en Gocharov (1986) vinden sterkere functionele en morfologische veranderingen bij ratten na expositie aan geluid en aerosols.

### 4.1.5.3 Conclusies

Er zijn enige aanwijzingen voor gecombineerde effecten van geluid en chemische stoffen. Met name op het gebied van optreden van gehoorschade zijn er aanwijzingen voor versterkte effecten bij enkele stoffen in combinatie met geluid. Dit is zeker een onderwerp dat nadere aandacht behoeft. Een duidelijk overzicht van stoffen met de te verwachten interacties is op grond van de literatuur echter nog niet te geven.

## 4.1.6 Combinaties met cognitieve taakeisen (complexiteit)

### 4.1.6.1 Inleiding.

De invloed van het werken onder geluidsbelasting wordt vaak gemeten aan de hand van de prestatie op allerlei laboratoriumtaken. In dit onderzoek worden dan verschillende resultaten gevonden, afhankelijk van de aard van de taak. Volgens de arousaltheorie zullen eenvoudige taken beter worden uitgevoerd bij een hoog geluidsniveau dan complexe taken. Dit valt ook te verklaren vanuit de theorie dat men slechts beschikt op een beperkte kanaalcapaciteit voor het verwerken van externe stimuli (o.a. Kalsbeek, 1967, 1983). Het geluid eist een deel van de kanaalcapaciteit op, waardoor de informatie die met de taak samenhangt slechter verwerkt kan worden. In deze paragraaf worden enkele studies besproken waarin een verband wordt gezocht tussen de aard en de complexiteit van de taak enerzijds en het omgevingsgeluid anderzijds. Gezien de criteria die bij de literatuurverzameling zijn gehanteerd, zal dit zeker geen uitputtend overzicht zijn.

### 4.1.6.2 Resultaten

In nagenoeg alle studies die zijn aangetroffen worden geen belastingsmaten gehanteerd maar prestatie-maten. In een uitgebreid overzicht van onderzoek op het gebied van langdurige aandacht en lawaai stelt Hancock (1984) dat er

zowel prestatieverbetering, –vermindering als indifferente resultaten worden aangetroffen. Bij continu geluid treedt bij hoge cognitieve eisen een prestatievermindering op. Bij geluid met een variabel karakter is het niveau van de geluidsdruk vooral belangrijk indien de aan/uit ratio groot is. Bij langzame wisselingen is het vooral het onverwachte moment van de verandering in geluidsniveau dat de prestatie doet verminderen en minder het geluidsniveau zelf.

Ook Finkelman et al. (1979) rapporteren in een overzicht dat onvoorspelbaar geluid de informatieverwerking vermindert. In een experiment met 9 mannelijke en 9 vrouwelijke studenten vinden zij dat bij 90 dB witte ruis, variabel en onvoorspelbaar afgespeeld door een koptelefoon, meer fouten gemaakt worden op een geheugentaak dan zonder geluid.

Op een 90 minuten durende rekentaak vinden Klotzbücher en Fichtel (1978) dat 10 mannelijke proefpersonen (gemiddeld 32 jaar) bij geluidsniveaus van 70 en 85 dB(AI) juist meer goede antwoorden geven dan bij 55 dB(AI). Het is onduidelijk wat de oorzaak is van deze tegenstrijdige resultaten. Bij 85 dB(AI) wordt een kleine verhoging in de hartfrequentie geconstateerd. Deze resultaten wijzen erop dat de prestatie niet noodzakelijkerwijs synchroon hoeft te lopen met de belasting.

De enige experimenten die zijn aangetroffen waarin de aard van de taak in verband is gebracht met de persoonlijke voorkeur van de uitvoerder voor een bepaald geluidsniveau, zijn uitgevoerd door Bryan en Tolcher (1976). In een eerste experiment laten zij 25 studenten (gemiddeld 21 jaar) een 4x10 minuten durende rekentaak uitvoeren. Voor iedere proefpersoon is het experiment herhaald met witte ruis, verkeersgeluiden, popmuziek danwel conversatie als geluidsbron. Tijdens de taak kunnen de proefpersonen het geluidsniveau laten variëren. Het blijkt dat er grote individuele verschillen bestaan in het gekozen geluidsniveau. De standaardafwijkingen voor de verschillende geluidsbronnen liggen rond 24 dB. Bij popmuziek bestaat er een sterk negatieve correlatie tussen het gekozen geluidsniveau en het aantal antwoorden ( $r = -.66$ ). Blijkbaar geven de proefpersonen meer aandacht aan de muziek dan aan de taak. Bij de overige geluidsbronnen wordt geen correlationeel verband gevonden. In het tweede experiment wordt de aard van het geluid constant gehouden (witte ruis), maar worden 4 taken met verschillende complexiteit gehanteerd. De taken bestaan uit het doorbladeren van een tijdschrift, het wegstrepen van bepaalde letters uit een tekst, een rekentaak en het uitvoeren van een tekstanalyse. De proefpersonen zijn ditmaal 30 werknemers van de universiteit (gemiddeld 36 jaar) met verschillende opleidingsniveaus. Bij de moeilijkste taak stelt men het geluidsniveau gemiddeld op

45.6 dB en bij de eenvoudigste taak op 62.6 dB. Ook ditmaal zijn er grote individuele verschillen. De standaardafwijkingen voor de verschillende taken liggen tussen 30 en 38 dB. Er wordt een duidelijk negatief verband gevonden tussen het oordeel over de moeilijkheid van de taak en het verkozen geluidsniveau, hetgeen consistent is met de arousaltheorie. Een relatie tussen het voorkeurniveau en de prestatie wordt niet gevonden.

#### 4.1.6.3 Conclusies

Omgevingsgeluid interfereert met de taakuitvoering, zowel op prestatieniveau als op het niveau van de belasting. Wederom blijkt dat deze twee afhankelijke maten niet zonder meer aan elkaar gelijk kunnen worden gesteld. De interferentie kan liggen op het gebied van verschuivingen in het arousal niveau, de kanaalcapaciteit, het maskeren van essentiële informatie of het maskeren van "inner speech" ("ik kan mezelf niet horen denken").

Hoewel het bovenstaande overzicht zeker niet uitputtend is kan gesteld worden dat het onderzoek naar het verband tussen de aard en het niveau van de cognitieve eisen die een taak stelt en de aard en het niveau van de geluidsbelasting onvoldoende is om algemene uitspraken te doen. De grote individuele verschillen die sommige auteurs constateren doen er aan twijfelen of algemeen geldende regels wel te vinden zullen zijn. In ieder geval ontbreekt het nog aan onderzoek waarin zowel het geluid als de cognitieve taakeisen zijn gevarieerd. Verder lijken de onderzoekers op dit terrein voornamelijk geïnteresseerd in de gevolgen voor de prestatie en minder in de ermee gepaard gaande belasting van de uitvoerder. Als enige algemene uitspraak kan worden gesteld dat het bij het uitvoeren van complexe en moeilijke taken aan te raden is het geluidsniveau te beperken.

#### 4.1.7 Combinaties met perceptie, verlichting

Er zijn enkele studies verricht naar de invloed van expositie aan geluid op de waarneming. Dupuis (1979) geeft aan dat geluid pupilverwijding veroorzaakt. Deze auteur rapporteert over een onderzoek waarin bij 25 personen de invloed van verschillende verlichtingsniveaus en breedband geluid (95 dB(B)) op de pupilgrootte is onderzocht. Uit dit onderzoek komt naar voren dat het verlichtingsniveau van groter belang is dan het geluidsniveau. Bij een voldoende sterk niveau van de verlichting is het dus mogelijk dat waarnemingsvermindering als gevolg van de pupilverwijding door geluid uit zal blijven.

Twee studies maken melding van gevolgen van geluidsexpositie voor de perifere waarneming. Hamilton en Copeman (1970) vinden in een experiment met 12 soldaten dat bij expositie aan 100 dB geluid de perifere waarneming slechter is dan bij expositie aan 70 dB. Zij vermelden tevens dat resultaten van ander onderzoek wijzen op een constant blijvende waarneming in het midden van het gezichtsveld en verminderingen aan de rand. Dirkin en Hancock (1985) vinden in een experiment met 8 mannelijke proefpersonen echter een tegengesteld resultaat. Onder blootstelling aan 100 dB(A) geluid constateren zij dat de reactietijd op signalen in het midden van het gezichtsveld juist sterker beïnvloed worden dan aan de randen. Vooralsnog lijkt het niet mogelijk om duidelijke conclusies te trekken op dit gebied.

#### **4.1.8 Combinaties met vigilantietaken**

Er is een aanzienlijke hoeveelheid onderzoek verricht naar de invloed van expositie aan geluid bij het uitvoeren van een taak die gedurende lange tijd een hoge mate van aandacht vereist.

Nagenoeg alle experimenten hanteren een prestatie maat zoals reactietijd of het aantal juiste reacties als afhankelijke variabele. Tevens blijkt dat er vrijwel geen veldexperimenten zijn uitgevoerd op dit gebied, hoewel de materie er wel toe lijkt te lenen. In deze studies worden tegenstrijdige resultaten gevonden. Zo vinden Noonan et al. (1984) in een experiment met 96 studenten (vergelijkingen tussen proefpersonen) dat de vermindering van de prestatie die na verloop van tijd in stilte optreedt, onder invloed van variabel geluid (70 dB witte ruis) verdwijnt. In een publicatie over een volgend experiment (Noonan et al., 1985) melden zij dat geluid bij een hoge frequentie van stimuli de prestatie vermindert. Bij een lage frequentie wordt de prestatie juist beter. Smith en Miles (1986) komen na een experiment met 24 proefpersonen (beide sexen, vergelijkingen tussen proefpersonen) tot de conclusie dat een verhoging van 40 dB(A) tot 75 dB(A) witte ruis het aantal foutieve reacties toeneemt. De zogenaamde post-lunch dip, een daling van de arousal en de prestatie vlak na de lunch, wordt echter verminderd. Poulton en Edwards (1974) vinden bij 12 mannelijke proefpersonen (vergelijkingen binnen proefpersonen) dat de prestatie op een visuele vigilantietaak beter wordt onder expositie aan 102 dB(C) laagfrequent geluid, terwijl Jones et al. (1979) bij 80 dB juist weer een prestatievermindering op een visuele vigilantietaak constateren. Milosevic (1983) vindt bij 12 mannelijke studenten echter geen verschillen tussen 70 dB en 100 dB witte ruis wat betreft de prestatie op een visuele taak.

Naast deze vergelijkingen tussen een "stille" en een lawaaiconditie zijn er bijvoorbeeld ook vergelijkingen gemaakt tussen witte ruis en muziek (bv. Hartley en Williams, 1977), tussen breedband geluid en kantoor/spraakgeluiden (bv. Lysaght et al., 1984). De bovengenoemde studies zijn slechts enkele uit een bijzonder groot aantal. In enkele overzichtsstudies is een poging gedaan om een aantal conclusies te trekken. Het is van belang om een aantal kenmerken van het werk en van de geluidsexpositie te onderscheiden. Hancock (1984) haalt in een literatuuroverzicht de drie factor benadering van Lysaght aan waarin de geluidsoort, het geluidsniveau en de aanspraak op de informatieverwerking ("processing demands") van de taak als bepalend voor de prestatie genoemd worden. Wat betreft de geluidsoort moet onderscheid gemaakt worden tussen continu en variabel geluid. Ook de betekenis van het geluid kan van belang zijn. Sommige geluiden zijn nu eenmaal meer afleidend of storend dan andere. In een rumoerige ruimte zal de aandacht van iemand bijvoorbeeld snel getrokken worden door het noemen van diens naam. Bijvariabel geluid is de aan/uit ratio van belang. Hancock trekt uit de verzamelde literatuur de volgende conclusies voor expositie aan continu geluid: bij sensorische taken met een hoge aanspraak op de informatieverwerking daalt de prestatie. Bij cognitieve taken gebeurt dit al bij lagere geluidsniveaus. Voor eenvoudige sensorische taken bestaat er weinig evidentie. Deze worden waarschijnlijk beter verricht bij variabel geluid. Bij variabel geluid met een hoge aan/uit ratio wordt de prestatie beter bij een gematigd geluidsniveau en slechter bij een hoog geluidsniveau. Indien de aan/uit ratio laag is, is de geluidsintensiteit minder van belang.

Poulton (1977) komt op basis van zijn literatuuroverzicht tot andere conclusies. Deze auteur concludeert dat continu geluid de vigilantie verhoogt, behalve wanneer deze belangrijke informatie uit de omgeving of de inner speech (bij aanspraak op het korte termijn geheugen) maskeert. Variabel geluid zou bij de meeste taken ook de vigilantie verhogen. Loeb en Alluisi (1977) rapporteren wisselende resultaten.

In een bijzonder kritische beschouwing van een groot aantal studies betreffende sensorische vigilantietaken en van enkele overzichtsartikelen (o.a. bovengenoemde van Poulton), komen Koelega en Brinkman (1986) tot de prikkelende conclusie dat men op dit moment nog niets weet van de invloed van variabel geluid op de vigilantie. Zij stellen dat de grote verschillen die er bestaan in de definitie van de vigilantietaak en in de effectmaten het nagenoeg onmogelijk maken om resultaten te vergelijken. Uit 98 studies zijn 21 studies met simpele visuele taken en variabel geluid geselecteerd en nader onderzocht. De conclusie luidt dat zelfs op grond van deze relatief homogene groep publicaties geen conclusies mogelijk zijn. Bovendien stellen

de auteurs dat het streven naar meer realistische testsituaties zal leiden tot een totale onmogelijkheid om experimenten te vergelijken. Deze enigszins pessimistische visie heeft de auteurs er echter niet van weerhouden om zelf een laboratoriumexperiment uit te voeren. In dit onderzoek (Koelega et al., 1986) zijn 53 proefpersonen (beide sexen, 17-27 jaar, vergelijkingen tussen proefpersonen) verdeeld over 5 condities. De drie condities van variabel geluid zijn 34 dB(A) witte ruis, 66.5 dB(A) met regelmatige onderbrekingen en ten slotte 66.5 dB(A) met onregelmatige onderbrekingen. De tweede dimensie bestaat uit twee frequenties van onderbrekingen: vaak en weinig. Bij 34 dB(A) wordt er niet onderbroken. De taak bestaat uit een visuele vigilantie-taak. In een conventionele analyse worden er geen effecten van geluid op de vigilantie gevonden. De auteurs houden dan ook een pleidooi voor een multivariate aanpak waarin meerdere variabelen in de analyse betrokken worden. Een dergelijke analyse leidt tot de gevolgtrekking dat de geluidsbelasting leidt tot een tijdelijke verhoging van de gevoeligheid maar geen snellere reactietijd tot gevolg heeft.

#### **4.1.8.1 Conclusies**

Het is moeilijk om uit voorgaande gegevens eenduidige conclusies met betrekking tot de belasting te trekken. Ten eerste zijn de gegevens duidelijk tegenstrijdig en ten tweede geldt de vaker genoemde overweging dat prestatie-maten niet gelijk gesteld mogen worden aan belastingsmaten. Specifieke interacties tussen de taakeis om gedurende langere tijd de aandacht vast te houden en de belasting door omgevingsgeluiden zijn niet te geven. Aanbevelingen op dit gebied zullen dan ook niet verschillen van aanbevelingen op grond van de kennis over geluidsbelasting in het algemeen.

#### **4.1.9 Combinaties met werktijden, ploegendienst**

De studies waarin expositie aan geluid wordt gecombineerd met slaapdeprivatie of nachtwerk nemen de prestatie als afhankelijke maat. Over het algemeen fungeren de experimenten als test van de arousal theorie. Op grond van deze theorie kan men verwachten dat door slaapttekort de arousal te laag is voor een optimale prestatie op de meeste taken. Geluid wordt geacht de arousal te verhogen.

Over het algemeen rapporteert men inderdaad dat geluid en slaapttekort in een antagonistische relatie staan voor wat betreft de prestatie. Broadbent (1970) en Poulton (1970) stellen in overzichtsartikelen dat deze twee variabelen elkaar opheffen.

Murray en McCally (1973) melden hetzelfde en ook Wilkinson (1963) vindt dit al in een experiment met 12 soldaten.

Er zijn geen studies aangetroffen waarin belastingsmaten zijn gebruikt en het is dan ook onduidelijk wat de belastingseffecten zijn van de combinatie van ploegendienst met een hoge geluidsexpositie.

#### **4.1.10 Combinaties met gevaar, risico's**

Met betrekking tot de combinatie van hoge geluidsniveaus en gevaarlijke situaties kunnen slechts enkele algemene opmerkingen gemaakt worden. Geluid kan de waarneming van belangrijke waarschuwingssignalen uit de omgeving belemmeren en hierdoor tot ongevallen leiden. Men mag aannemen dat indien beseft wordt dat mogelijke bedreigingen slechter waargenomen zullen worden, dit zal leiden tot een hogere concentratie en extra aandacht voor de omgeving waar deze bedreigingen verwacht worden. Dit vereist een grotere inspanning en zal leiden tot een hogere arbeidsbelasting. Er zijn evenwel geen studies aangetroffen waarin dit op een systematische wijze is onderzocht.

#### **4.1.11 Combinaties met beschermingsmiddelen**

Oorkappen -doppen en -pluggen zijn veelgebruikte beschermingsmiddelen tegen overmatige geluidsbelasting. Aangezien deze beschermingsmiddelen uitsluitend bij aanwezigheid van een hoog geluidsniveau gebruikt zullen worden, wordt hier volstaan met enkele algemene opmerkingen.

Van gehoorbeschermingsmiddelen is bekend dat deze niet alleen de waarneming van het hinderlijke lawaai verminderen, maar ook de waarneming van eventuele belangrijke acoustische informatie uit de omgeving. Dit geldt met name voor werknemers met een reeds verminderd gehoorsvermogen. Hieronder vallen bijvoorbeeld waarschuwingssignalen. Het is daarom van belang dat deze signalen op een andere wijze, bijvoorbeeld met lampen of door geluidssignalen met een opvallende karakteristiek en een voldoende geluidsdruk, worden toegediend om ongevallen te voorkomen. Gehoorbeschermingsmiddelen kunnen ook de communicatie met anderen op de werkplek belemmeren, waardoor informatie-uitwisseling bemoeilijkt wordt en sociale isolatie kan ontstaan. Het dragen van deze middelen wordt ook veelvuldig als onprettig ervaren indien zij knellen of tot plaatselijk transpireren

leiden. Het is ook hierom raadzaam om geluidsbelasting zoveel mogelijk bij de bron te bestrijden.

#### **4.1.12 Combinaties met autonomie, regelmogelijkheden**

De belasting die voortkomt uit expositie aan geluid heeft een fysiologische en een psychologische component. Reim et al. (1971) vermelden dat uit eerder onderzoek is gebleken dat in laboratoriumexperimenten met studenten is gebleken dat deze proefpersonen een hogere frustratietolerantie vertonen en een betere prestatie leveren als zij in de veronderstelling leven dat zij invloed kunnen uitoefenen op het geluid. In een experiment onderzoeken deze auteurs of dit effect ook gevonden wordt in een groep van 40 personen (32 vrouwen en 8 mannen) die allen ongeveer 20 jaar in een stedelijke omgeving wonen en aan enige geluidsbelasting gewend zijn. Deze groep heeft een gemiddelde leeftijd van 50 jaar. De huidgeleiding, de vasoconstrictie in een vinger en de prestatie op een eenvoudige cognitieve taak worden gemeten in een conditie zonder geluidsexpositie en in een conditie met 108 dB(A) geluidspieken van ieder 9 seconden. De helft van de proefpersonen krijgt te horen dat het geluid zal stoppen indien zij op een (dummy) knop drukken. Uit vragenlijsten achteraf blijkt dat zij allen van mening zijn inderdaad het geluid beïnvloed te hebben, hoewel hier in de praktijk geen sprake van is. Het blijkt dat de groep die meent geen invloed te hebben op het geluid sterkere negatieve effecten op de afhankelijke variabelen vertoont dan de andere groep.

Deze resultaten leiden niet tot een pleidooi voor de invoering van listige dummy instrumenten. Zij wijzen er wel op dat gevoelens van machteloosheid de belasting door geluidsexpositie verder kunnen versterken.

#### **4.1.13 Combinaties met emotionele situaties**

Van de combinatie van geluidsexpositie en emotionele situaties mag verwacht worden dat deze een versterkende invloed zal hebben op de mentale belasting. In literatuur over militaire vliegers (o.a. Rotondo, 1978, over heli-copterpiloten) is dit een terugkerend thema. Er zijn echter geen studies aangetroffen waarin deze combinatie op systematische wijze is onderzocht. Op het gebied van de fysiologische effecten meldt Gemne (1982) dat emotionele stimuli van invloed kunnen zijn op de ontwikkeling van het Raynaud syndroom, waarvan bekend is dat geluid er ook een rol in speelt. Dit lijkt een interessant gebied voor nader onderzoek.



## **4.2 KLIMAAT EN ATMOSFERISCHE CONDITIES**

### **4.2.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk worden de effecten besproken van een gecombineerde belasting door omgevingsfactoren – zoals klimaat, straling, temperatuur, atmosferische druk, zuurstofgehalte van de lucht en de hoogte waarop men zich bevindt – en een of meerdere van de andere bestudeerde belastende factoren.

De belastende factor 'klimaat' is in wezen al een samengesteld begrip en wordt vooral gebruikt in relatie tot de belasting van het warmteregulerend systeem. De factor 'temperatuur' vormt er de kern van.

De factoren 'hoogte', 'atmosferische druk' en 'zuurstofgehalte' hangen eveneens nauw met elkaar samen.

In het algemeen geldt dat de fysiologische reacties onder verschillende condities van de hier behandelde omgevingsvariabelen redelijk bestudeerd zijn. Was het onderzoek aanvankelijk gericht op het verkrijgen van inzicht in de schadelijkheid van extreme atmosferische en klimatologische omstandigheden, geleidelijk aan is een verschuiving waarneembaar naar de bestudering van de effecten van kleine variaties in de omgevingsvariabelen op prestatievermogen en welbevinden.

Zowel bij het bestuderen van klimaatfactoren als van atmosferische omstandigheden moet rekening gehouden worden met mogelijke fysiologische adaptatie.

Voor een bespreking van de combinatie geluid en omgevingstemperatuur zij verwezen naar 4.1.2.

#### **4.2.1.1 Klimaat**

De warmteregulatie van de werkende mens is enerzijds afhankelijk van de warmteproductie en warmtedistributie in het lichaam, anderzijds van acclimatisatie en warmte-uitwisseling met de omgeving.

Binnen het kader van deze studie is de aandacht bij de warmteproductie vooral gericht op de dynamische belasting door arbeid; bij de warmtedistributie is vooral de conditie van het cardiovasculair apparaat van belang.

De warmte-uitwisseling met de omgeving is resultante van straling, convectie en verdamping. Warmte-uitwisseling door geleiding speelt een verwaarloosbare rol. Bij convectie komen omgevingstemperatuur, luchtsnelheid en isolatiewaarde van de kleding voor beschouwing in aanmerking; bij straling de oppervlaktetemperatuur van verwarmingsradiatoren, ramen, wanden e.d.. Bij verdamping spelen luchtsnelheid en luchtvochtigheid een rol.

In een warme omgeving is de verdamping van zweet het belangrijkste middel om oververhitting te voorkomen en wordt een beroep gedaan op het hart-vaatstelsel (herverdeling van bloed ten gunste van de periferie, versnelling van het hartritme). Het vermogen prestaties te leveren op fysiek of psychisch vlak neemt af. Bij acclimatisatie neemt de zweetsecretie toe en wordt een minder groot beroep gedaan op het hart-vaatstelsel; het prestatievermogen heeft dan minder snel te lijden.

In een koude omgeving wordt warmteverlies ten gevolge van convectie of straling tegengegaan. Deels door een perifere vasoconstrictie, maar vooral door een verhoging van de stofwisseling. Het prestatievermogen neemt bij koude minder snel af.

Het klimaat laat zich beschrijven aan de hand van vier parameters: droge-luchttemperatuur, stralingstemperatuur, luchtvochtigheid en luchtsnelheid. Het klimaat wordt meestal uitgedrukt in de grootheid 'Effectieve Temperatuur', afgeleid uit de droge-luchttemperatuur, luchtvochtigheid en luchtsnelheid. Als de stralingstemperatuur beduidend afwijkt van de luchttemperatuur, is een correctie noodzakelijk. Dan wordt gesproken van de 'gecorrigeerde  $T_{eff}$ '.

Als maat voor de belasting worden meestal huid- en lichaamstemperatuur en polsfrequentie gebruikt.

Er bestaan nomogrammen ter bepaling van de behaaglijke  $T_{eff}$  waarin rekening wordt gehouden met de isolatiewaarde van de kleding en de zwaarte van de fysieke arbeid (zie bijv. McIntyre, 1973). Aan de hand hiervan is op de werkvloer snel een globale indruk te verkrijgen van de behaaglijkheid van het werkklimaat, gegeven de zwaarte van de arbeidstaak en de (regelmooglijkheden t.a.v.) kleding.

#### 4.2.1.2 Atmosferische druk

De alveolaire  $O_2$ -spanning neemt, de barometerdruk volgend, met toenemende hoogte exponentieel af. Naarmate het  $O_2$ -tekort in de inademingslucht toeneemt zal het handhaven van een voldoende  $O_2$ -druk op weefselni-

veau door een aantal aanpassingsmechanismen moeilijker worden. Samengevat komen de aanpassingsmechanismen neer op een versterkte ademhaling, een versnelling van de bloedsomloop en een toename van het aantal erythrocyten.

## 4.2.2 Combinaties met fysieke arbeid

Uit een in 1975 door het Institut für angewandte Sozialwissenschaften (Bonn) onder 4500 werknemers gemaakte inventarisatie van het voorkomen van twintig verschillende belastende factoren op het werk trekt Hahne (1978) de conclusie dat onderzoek naar de effecten van de combinatie van klimaat met statische/dynamische arbeid en lawaai de hoogste prioriteit verdient. De auteur perkt dit vervolgens in door het effect van lawaai in eerste instantie buiten de studie te houden en concretiseert de vraagstelling verder door zich te richten op de beroepsgroep van de lassers.

Ter oriëntatie worden in een laboratoriumopzet vier proefpersonen onderworpen aan elk van de 9 mogelijke combinaties van drie klimaatwaarden (15.5, 23.5 en 33 oC E.T.) en drie verschillende houdingen (staan, zitten en liggen) terwijl een gestandaardiseerde hoeveelheid arbeid wordt verricht. Als maat voor de belasting is de relatieve verandering in hartslagfrequentie gekozen. De resultaten wijzen in de richting van een toenemende belasting in de volgorde zitten < staan < liggen bij de combinatie van lichamelijke arbeid en warmte. Tevens is af te leiden dat naarmate de belasting door de werkhouding toeneemt, het effect van de omgevingswarmte minder zwaar meetelt.

Behalve dit laboratoriumexperiment is een veldonderzoek verricht bij vijf lassers, waarvan tijdens het normale werk de hartslagfrequentie is geregistreerd terwijl hun activiteiten (met name de verschillende werkhoudingen) door een waarnemer van minuut tot minuut in een protocol zijn vastgelegd. Tegelijkertijd zijn de klimaatparamaters van de werkplek geregistreerd.

De praktijk blijkt hier gevarieerder dan de theorie: de in het laboratorium geconstrueerde drie grondhoudingen worden tijdens het lassen nauwelijks als zodanig aangetroffen. Behalve van staan, zitten en rugligging, is er sprake van hurken, knielen, buik- of zijligging en dat alles in vele variaties. Bovendien worden vaak dwanghoudingen aangenomen met bijvoorbeeld een sterke statische spierbelasting in de keten van schouder-arm-hand.

De resultaten van deze studie wijzen nu op een toenemende belasting in de volgorde zitten < liggen < staan < hurken < knielen. Deze uitkomst onderstreept het belang van het controleren van laboratoriumresultaten in het veld.

Hafez en Ayoub (1985) hebben de belasting door tillen bij verschillende temperaturen onderzocht. In een laboratoriumsetting laten zij 6 geacclimatiseerde proefpersonen onder drie verschillende klimaatcondities (22, 27 en 32°C natte-boltemperatuur) en in drie verschillende frequenties (0,1, drie en zes maal per minuut) gewichten van vloer- tot kniehoogte tillen, met de instructie de gewichten zó te kiezen dat het tillen hen net geen onaantvaardbaar ongemak oplevert of ze buiten adem raken. Naast deze zelfgekozen "MAC-waarde" voor het tilgewicht worden veranderingen in hartslagfrequentie en lichaamstemperatuur als belastingsmaten gehanteerd. Ook is gekeken naar de 'cardiac cost' (het totaal van arbeids- en herstelpolssom), maar of dit een valide criterium is voor de circulatoire belasting is twijfelachtig (Burger, 1974 blz. 111).

De omgevingstemperatuur blijkt van invloed te zijn op de hoogte van de lichaamstemperatuur en de hartslagfrequentie, in rust zowel als bij arbeid, maar de tilfrequentie heeft een beduidend grotere invloed op alle afhankelijke variabelen. Hieruit is de aanbeveling te destileren dat bij pogingen de belasting door tillen in een warme omgeving te verminderen, allereerst de werklust verminderd dient te worden. Dit sluit aan bij de door Snook (1978) voorgestelde normen voor het aanpassen van de maximaal toelaatbare gewichten voor verschillende handelingen bij verschillende temperaturen.

Werner et al. (1985) vinden in een reeks van 5-uur durende experimenten waarbij temperatuur en werklust gevarieerd worden, ondersteuning voor de hypothese dat hittebelasting en arbeidsbelasting additief zijn in het effect op de hoogte van de lichaamstemperatuur. Wel moet aangetekend worden dat het bij deze experimenten om metingen aan slechts drie verschillende proefpersonen gaat. Voor het toetsen van een kwantitatief model is dit een te magere opzet.

Onderzoek naar het effect van atmosferische condities beperkt zich tot arbeidsomstandigheden zoals voorkomen in duikerij, caissonwerk, lucht- en ruimtevaart. In de luchtvaart gaat het bijvoorbeeld om afgenomen prestaties op psychomotorische taken. Vanwege het specifieke karakter van dit toepassingsveld, zal een bespreking van het onderzoek op dit terrein hier achterwege blijven.

### **4.2.3 Combinaties met trillingen, versnelling, vertraging**

In een laboratoriumonderzoek hebben Grether et al. (1972) 12 proefpersonen aan combinaties van trillingen (5 Hz in Z-as, sinusvormig), lawaai (105 dB) en

hitte (31 °C E.T.) onderworpen. De controlecondities zijn: geen lawaai of trillingen, E.T. 21 °C.

Als de proefpersonen alleen aan vibratie worden blootgesteld verslechteren hun prestatie op een 'trackingtaak' en een reactietest het meest. Worden daaraan hitte of hitte en lawaai toegevoegd gaan de prestaties minder achteruit.

Alhoewel de gevonden verschillen niet statistisch significant zijn komt de trend in de bevindingen overeen met de resultaten van eerder onderzoek (Grether et al., 1971). Of de combinatie vibratie - geluid - hitte antagonistisch werkt ten aanzien van de effecten op bepaalde prestaties blijft vooralsnog echter een niet uitgemaakte zaak. Bovendien moet gewaarschuwd worden tegen het uit het oog verliezen van het verschil tussen het verbeteren van een prestatie en het verandering van de totale functionele belasting (zie 5.3.5.).

Ivanovich et al. (1981) rapporteren over de belasting ten gevolge van blootstelling aan lichaamstrillingen en hitte, gemeten aan parameters van de leverfunctie bij ratten. Hierbij komt een heel genuanceerd beeld naar voren: de veranderingen in sommige parameters blijken vooral toegeschreven te kunnen worden aan een temperatuur-effect, bij de veranderingen in andere parameters blijkt sprake te zijn van een potentiërend effect of additie. Bij dergelijk onderzoek stelt zich het probleem van enerzijds de interpretatie van de resultaten in termen van functioneren van het organisme als geheel, anderzijds de interpolatie naar de mens.

Uit een literatuuroverzicht van Murray en McCally (1973) over gecombineerde belasting zijn - kort aangeduid - de volgende conclusie af te leiden:

- bij de combinatie van acceleratie met hypoxie of hitte treedt een additief effect op, gemeten aan de perifere gezichtsvelduitval;
- vibratie en omgevingstemperatuur hebben een synergistisch effect op de lichaamstemperatuur.

Dat zowel trillingen als koude een rol spelen bij het ontstaan van het syndroom van Raynaud, lijkt in brede kring aanvaard te worden doch de preciese pathogenese en het aandeel van de verschillende causale of voorwaardelijke factoren is nog verre van opgehelderd (zie bijv. Gemne, 1982).

#### 4.2.4 Combinatie met chemische stoffen

Het toxisch effect van chemische stoffen kan ernstiger zijn naarmate de omgevingstemperatuur hoger is. De volgende oorzaken zijn daarvoor denkbaar (Schmidt, 1980):

- een hogere gevoeligheid voor de stof (of de metabolieten);
- een verhoogde opname van de stof per tijdseenheid.

Een intensievere reactie onder temperatuursinvloed bij een gelijkblijvende hoeveelheid toxische stof is denkbaar door een andere bloedverdeling in het lichaam (bijvoorbeeld de leverdoorbloeding), een verandering in de reactietoestand van het centraal zenuwstelsel, veranderingen in de water- en zouthuishouding of veranderingen in metabolisering/eliminering van toxische stoffen. De kennis op dit terrein is nog zeer versnipperd en het is bijvoorbeeld niet duidelijk welke invloed de fysiologische adaptatie aan een hogere omgevingstemperatuur heeft.

Herter (1962) stelt de hypothese dat bij homiothermen de intensiteit van de celstofwisseling met stijgende omgevingstemperatuur afneemt tot het instelpunt van de soorteigen lichaamstemperatuur bereikt wordt, waarna de stofwisselingsintensiteit weer toeneemt in dienst van de noodzakelijke afkoelingsmechanismen. Het bifasisch verloop van de cholinesteraseremmende werking, gevonden door Grigorowa & Binnewies (1973) en door Gohlke & Grigorowa (1973) in onderzoek naar de toxische effecten van als gewasbeschermingsmiddelen gebruikte organische fosfaten bij verschillende omgevingstemperaturen, lijkt deze hypothese te ondersteunen.

Een verhoogde opname van toxische stoffen onder invloed van een hogere omgevingstemperatuur kan op de eerste plaats terug te voeren zijn op een hogere concentratie van de stof in de lucht ten gevolge van de hogere dampspanning bij hogere temperatuur. Het zal dan vooral gaan om per inhalatie opgenomen vluchtige stoffen (bijvoorbeeld organische oplosmiddelen).

Op de tweede plaats kan sprake zijn van een hogere opname bij gelijkblijvende concentratie. Een verhoogde opname door een temperatuur-effect op het ademminuutvolume speelt hierbij slechts een ondergeschikte rol, tenzij er sprake is van extreme hittebelasting en de lichaamstemperatuur stijgt tot waarden boven 39 °C rectaal. Van groter belang is de stijging van de percutane resorptie door de toegenomen huiddoorbloeding, de gestegen huid-

temperatuur en het verhoogd watergehalte van de huid bij een hogere omgevingstemperatuur.

Het lijkt weinig zinvol binnen het kader van onderhavige studie in te gaan op de resultaten van de vele onderzoeken naar de effecten van temperatuursverhoging op de toxiciteit van afzonderlijke chemische stoffen. Als problematisch valt wel te vermelden dat het onderzoek op dit gebied merendeels dierexperimenten betreft en maar zelden de relevantie voor de praktijk op de werkvloer wordt aangegeven.

#### **4.2.5 Combinaties met cognitieve taakeisen (complexiteit)**

In het algemeen geldt dat onder invloed van stijging van temperatuur of verlaging van de barometerdruk de prestaties op cognitief-belastende taken afnemen. Het uiteenlopen van de wijze van operationaliseren van de cognitieve belasting in de verschillende onderzoeken maakt een vergelijking echter vaak moeilijk. In een dubbel-taak onderzoeksdesign wordt bijvoorbeeld iets anders gemeten dan met een enkel-taak methode. Veel onderzoek op dit terrein is afkomstig uit de luchtvaart.

Chiles et al. (1972) hebben bij 9 vliegers, blootgesteld aan combinaties van hoogte (14000 ft) en warmte (35 °C E.T.), de prestatie op tracking- en monitoringtaken en hoofdrekenen onderzocht. Zij concluderen dat de prestatie op de tracking-taak op hoogte afneemt, maar door gelijktijdige blootstelling aan 35 °C E.T. niet nog verder verslechtert. Zij brengen de veronderstelling naar voren dat rond die 35 °C.T. de drempel ligt voor prestatieverslechtering op cognitieve taken door temperatuursverhoging.

Cahoon (1973) heeft 9 vrijwilligers op 4 verschillende hoogtes (zeeniveau, 13000, 15000 en 17000 ft., gesimuleerd door middel van het zuurstofgehalte in de lucht) aan een monitoringtaak onderworpen: het onderscheiden van en reageren op kritische boodschappen in een twee uur durende gesimuleerde militaire radiocommunicatie. Zowel het aantal juist gedetecteerde boodschappen, als de reactietijd en de sensitiviteit nemen duidelijk af boven een hoogte van 13000 ft. Toch zet Cahoon zelf al wat kanttekeningen bij de geldigheid van zijn uitkomsten voor de militair te velde. De proefpersonen zijn ongetraind, 'testwise' en niet buitengewoon gemotiveerd; bovendien zou een volgorde-effect opgetreden kunnen zijn. Daarom is het experiment met 'test naive', gemotiveerde en merendeels getrainde vrijwilligers herhaald, waarbij de testcondities aanboden werden volgens een Latin Square design. De prestaties zijn nu een stuk beter en verslechteren niet met toenemende

hoogte. Motivatie en training lijken dus de prestatievermindering door hoogte op deze twee uur durende taken te kunnen compenseren.

Fine en Kobrick (1978) hebben een soortgelijk experiment uitgevoerd met dertig getrainde en gemotiveerde militairen die complexe cognitieve taken zoals die in een vuurgeleidingscentrum voorkomen uitvoeren in een controlesituatie (zeeniveau, neutrale temperatuur), op hoogte (4300 m, gesimuleerd) en bij hitte (33.3 °C E.T.). Hun prestaties worden echter – anders dan bij Cahoon – een hele werkdag lang gevolgd en dan blijkt zowel met hoogte als met hitte de prestatie af te nemen en wel meer naarmate de dag vordert.

In een overzicht van de belangrijkste literatuur over hittebelasting en prestatie wijst Hancock (1982) op het belang van differentiatie naar de aard van de taak, welke bij een hoge omgevingstemperatuur verricht wordt, bij vergelijking van de verschillende studies. De onderzoeken blijken dan in hoge mate coherente resultaten op te leveren en overeen te stemmen in de volgende conclusies:

- a. Boven een omgevingstemperatuur van ca. 29.5 °C E.T. is geen fysiologische compensatie mogelijk en begint de lichaamstemperatuur te stijgen.
- b. De prestaties op taken die om een voortdurende participatie vragen verslechteren boven die temperatuur.
- c. Deze verslechtering gebeurt des te eerder naarmate de vereiste respons complexer is:
  - mentaal-cognitieve vaardigheden verminderen bij een stijging van de lichaamstemperatuur met 1.3 °C;
  - 'tracking-taken' worden slechter uitgevoerd bij een toename van de lichaamstemperatuur met 0.9 °C;
  - de prestatie op dubbeltaken heeft al te lijden bij een verhoging van de lichaamstemperatuur met 0.4 °C;
  - de maximale fysiologische tolerantie ligt bij een stijging van de lichaamstemperatuur met ca. 1.6 °C;
  - een hoog vaardigheidsniveau kan de effecten enigzins mitigeren.



## 4.2.6 Combinaties met verlichting/perceptie

Howlett en Shephard (1973) vermelden in hun overzicht van de effecten van koolmonoxyde in de luchtvaart een studie van McFarland et al. (1944), waarin visusverlies door hoogte is bestudeerd. Door de hypoxie bij een hoogte van 4000 ft. wordt het waarnemen van kleine contrastverschillen aantoonbaar bemoeilijkt. Dit kan van belang zijn voor piloten die bij nacht moeten landen op een hen niet vertrouwd vliegveld.

Löfberg et al. (1975) hebben het effect van verschillende temperaturen en verlichtingssterktes onderzocht, afgelezen aan de prestaties van schoolkinderen op een rekentaak en een visuele taak. Het onderzoek is gericht op het verkrijgen van gegevens voor het ontwerpen van een optimale schoolomgeving. Zij evalueren de gegevens van 144 tien-jarige schoolkinderen, onderzocht in een klimaatkamer bij twee temperatuurniveaus, overeenkomend met 22 en 27 °C voor normaal gekleden, en drie verlichtingssterkten op het werkoppervlak (60, 250 en 1000 lux). De visuele taak bestaat uit het identificeren van Landoltringen (met hiaten van 1, 3 of 6 boogminuten op leesafstand), de rekentaak uit het maken van optelsommen die schriftelijk worden gepresenteerd met twee niveaus van contrast ( $C=0.42$  en  $C=0.90$ ).

Bij de neutrale temperatuur heeft het verlichtingsniveau geen effect op de prestatie bij de rekentest met hoog contrast maar op de visueel meer eisende taak (Landoltringen met hiaat van 1 boogminuut) wordt een positief effect gevonden. Bij hoge temperatuur heeft een hoog verlichtingsniveau een negatief effect op de rekenprestatie bij de test met hoog contrast; bij de testuitvoering in laag contrast wordt nog wel een prestatieverbetering gehaald evenals in de moeilijkste Landoltringentest.

De auteurs concluderen dat wanneer de omgevingstemperatuur de concentratie op de taak bemoeilijkt, het afleidend effect van een helverlichte omgeving het marginale voordeel van een verbeterde visuele scherpheid teniet doet bij taken die niet visueel veeleisend zijn. Over het algemeen zal een verlichtingssterkte van 250 lux voldoende zijn om prestatieverslechtering door afleiding te voorkomen.

Nelson et al. (1984) hebben werkefficiëntie en veranderingen in stemming en gevoel van vermoeidheid bij 144 jong-volwassenen (gem. lft. 19.4 jr.) onderzocht onder verschillende condities van temperatuur (13, 23 en 30 °C) en verlichting (100 en 300 lux), tijdens het uitvoeren van een schrijftaak. Bovendien is als cognitieve variabele het virtuele tijdsverloop in het onderzoeksdesign meegenomen door de proefpersonen een te snelle, een correcte of een te traag lopende klok te presenteren.

De schrijftaak is ontleend aan de Thematische Apperceptie Test van Cronback; de veranderingen in stemming en gevoel van vermoeidheid worden beschreven aan de hand van de scores op de Feeling Tone Check List van Pearson & Byars, een verkorte Mood Adjective Check List en een aantal aanvullende vragen naar interesse/verveling bij het schrijven van verhaaltjes en naar de waardering van temperatuur en verlichting.

De vermoeidheid neemt toe in de warme omgeving en verergert bij een schijnbaar traag tijdsverloop. In een koele omgeving neemt de vermoeidheid af en dit effect wordt versterkt door een schijnbaar snel tijdsverloop. De combinatie warmte en zachte verlichting levert een slechte stemming op, evenals een samengaan van koele en helder licht. De productiviteit (aantal geschreven verhaaltjes en aantal woorden) is het hoogst in de koele omgeving. Dit leidt tot de conclusie dat voor zittend werk een omgeving, koeler dan volgens de vigerende ASHRAE-normen, gunstig kan zijn op voorwaarde dat het verlichtingsniveau wordt aangepast.

Deze studies beklemtonen het belang van een onderlinge afstemming van de verschillende aspecten van het binnenmilieu, rekening houdend met de te verrichten taken.

#### **4.2.7 Combinaties met vigilantietaken**

Hancock (1984-a) geeft een overzicht van studies naar de prestaties op vigilantietaken onder verschillende temperatuurscondities. De op het eerste gezicht tegenstrijdige resultaten van de verschillende onderzoeken, wijt deze auteur aan onvergelykbaarheid van de diverse research op grond van verschillen in de specifieke structuur van de gehanteerde vigilantietaken, in de hoogte van de temperatuur, in expositietijd en in persoonskenmerken als ervaring.

Mackworth is te beschouwen als de grondlegger van het onderzoek naar effecten van temperatuurscondities op vigilantie. Deze auteur vindt een relatie tussen temperatuur en vigilantie, weer te geven in de vorm van een omgekeerde U, met een optimale prestatie rond 26 °C E.T., gemeten aan het aantal gedetecteerde signalen (Mackworth, 1950). Aanvullingen op dit door de charme van eenvoud gekenmerkte model zijn echter noodzakelijk.

In Mackworth's onderzoek blijkt de prestatie met toename van de expositie-duur af te nemen en bij een boven-optimale temperatuur blijkt dit afhankelijk van de mate van ervaring van de proefpersonen met de taak.

Bell et al. (1964) wijzen op het belang van het in de beschouwing betrekken van de lichaamstemperatuur, daarmee de aandacht verleggend van de belastende factor (omgevingstemperatuur) naar een aspect van de belasting zelf. Zij vinden een mogelijke relatie tussen een stijgende lichaamstemperatuur en een afnemende prestatie op vigilantietaken. Wilkinson et al. (1964) vinden hier diametraal tegenover staande resultaten (betere prestaties bij hoge lichaamstemperatuur), maar bij hen is sprake van een op een constant niveau gebrachte lichaamstemperatuur en niet zoals bij Bell et al. van een dynamisch stijgende lichaamstemperatuur.

Wilkinson et al. wijzen op arousal als mogelijke verklaring: het optimaal arousalniveau voor de vigilantietaak zou pas bereikt worden door toevoeging van een arousal-bevorderende belasting als hoge lichaamstemperatuur. Vooral Poulton heeft het concept van arousal verder uitgewerkt (zie o.a. Poulton & Kerlake, 1965; Poulton & Edwards, 1974; Poulton, 1977). Een warme omgeving zou aanvankelijk arousal bevorderen – en daarmee de prestaties op vigilantietaken – maar na adaptatie zou dit effect verdwijnen en een arousal- en prestatiedaling optreden. Bij langduriger blootstelling begint de lichaamstemperatuur te stijgen tot oncomfortabele hoogte en zou opnieuw een arousal- en prestatieverhogend effect optreden.

Dat Colquhoun deze tijdelijke prestatiedaling niet vindt in zijn hyperthermie-experimenten (Colquhoun, 1969; Colquhoun & Goldman, 1972) zou verklaard kunnen worden door het effect van de getraindheid op de vigilantietaak van zijn proefpersonen.

Mortagy & Ramsey (1973) brengen met het in de beschouwing betrekken van de lengte van de aaneengesloten arbeidsduur en de werk/rust ratio, het onderzoek dichter bij de praktijk op de werkvloer. Een disproportionele prestatiedaling op de door hen gehanteerde visuele vigilantietaak vinden zij alleen bij de combinatie van hoge temperatuur, lang aaneengesloten arbeidsduur en korte rustperiode. De concrete aanbevelingen van Mortagy & Ramsey luiden:

- vermijdt bij dit soort taken temperaturen boven de 27.8 °C E.T.;
- als gewerkt wordt bij hoge temperaturen en met korte rustperiodes, houdt dan rekening met het optreden van prestatievermindering bij een aaneengesloten arbeidsduur, langer dan 40 minuten;
- als gewerkt wordt bij hoge temperaturen en gedurende lange tijd aaneengesloten, voorzie dan in langere rustperiodes dan volgens een twee op één werk/rust ratio.

Studies naar de prestaties op vigilantietaken onder condities van een lage temperatuur zijn zeldzamer. Hancock bespreekt er drie (Kissen et al., 1964; Poulton et al., 1965; Angus et al., 1979), die overeenstemmen in de conclusie dat koude op zichzelf de prestatie op vigilantietaken ongunstig beïnvloedt.

Ook de prestaties op vigilantietaken bij verschillende hoogtes of daarmee equivalente zuurstofgehalten van de ingeademde lucht, zijn onderwerp van onderzoek geweest. Cahoon (1970-b) onderzoekt in een 2 uur durend experiment bij 20 proefpersonen de prestaties op een visuele vigilantietaak (helderheidsdiscriminatietest) onder 4 verschillende hoogtecondities (zeeniveau, 13000, 15000 en 17000 ft, overeenkomend met O<sub>2</sub>-gehalten van respectievelijk 21, 12.8, 11.8 en 10.9 %). Het percentage gedetecteerde signalen neemt af met toename van de hypoxie. Een duidelijk omslagpunt ligt bij een zuurstofgehalte van 12.8 % (13000 ft). Een dergelijk omslagpunt is ook te vinden in de Hemoglobine-dissociatiecurve. Dit suggereert - aldus Cahoon - een mogelijke relatie tussen de prestatie op een vigilantietaak en de weefselzuurstofspanning, met name in het centraal zenuwstelsel.

In een later experiment heeft Cahoon nog onderzocht of het invoegen van één of drie rustperiodes van 10 minuten binnen dezelfde onderzoeksopzet de prestatiedaling zou kunnen beïnvloeden (Cahoon, 1970-a). Hij vindt dit echter niet en verklaart dit uit het voortduren van de onderzoekssituatie terwijl de rustperiode wordt genoten en uit een verlengde totale tijdsduur van het experiment.

Voor een bespreking van auditieve vigilantie bij verschillende hoogtes zij verwezen naar 4.2.5., waar een onderzoek van Cahoon uit 1973 wordt vermeld waaraan naast cognitieve aspecten elementen van vigilantie te onderscheiden zijn.

#### **4.2.8 Combinaties met werktijden, ploegdienst**

Er staan niet veel onderzoeksresultaten ter beschikking, waaruit duidelijke conclusies zijn te trekken ten aanzien van de effecten van werk- en rusttijden onder verschillende condities van temperatuur of hypoxie. Voor algemene noties als het belang van het afstemmen van pauzelengtes op aard van het werk, mogelijke adaptatie en omgevingstemperatuur zijn echter wel aanknopingspunten te vinden.

Pepler (1959) vindt een simpel additief effect op de prestatie van één nacht slaapdeprivatie en een omgevingstemperatuur van 32.2 °C natteboltemperatuur.

Op de invloed van lange werkperioden en hoge werk/rust ratio's bij hoge omgevingstemperatuur op de prestatie op vigilantietaken is in de vorige paragraaf al gewezen (Mortagy en Ramsey, 1973).

Mertens & Collins (1986) beschrijven de effecten van slaapdeprivatie en hoogtehypoxie op de prestaties op een complex van taken, afgeleid van het werk van vliegers. Zowel een aantal monitoring-taken als een aantal meer cognitief actieve taken zijn daarin vertegenwoordigd. In een groep van dertig proefpersonen (16 dertigers en 14 zestigers) constateren zij een significant interactie-effect van slaapdeprivatie en hoogtehypoxie, met name bij een hoge werklast. Overigens blijken de ouderen onder de proefpersonen niet gevoeliger voor de effecten van slaapdeprivatie, hoogtehypoxie of de combinatie daarvan.

#### **4.2.9 Combinaties met tijdsdruk/monotonie**

Hahne (1978) geeft aan dat de hitte, monotonie en tijdsdruk een van de meest voorkomende combinaties vormen op de werkvloer. Door Borsch-Galetke (1983) zijn de effecten van deze combinatie belastende factoren onderzocht in een groep van 85 ervaren wikkelaarsters. Hun taak bestaat uit het, overwegend staand, bedienen en bewaken van een aantal wikkelautomaten. De betaling bevat elementen van prestatiebeloning. De werknemers zijn in 3 klimaatgroepen ingedeeld. Als maat voor de belasting is onder andere de catecholaminenuitscheiding in de urine gemeten.

Bij stijgen van de temperatuur boven 25 °C E.T. treedt een extreme verhoging van de catecholaminenuitscheiding op. Een mogelijke verklaring zou volgens Borsch-Galetke te vinden zijn in het bij prestatiebeloning ontbreken van de mogelijkheid arbeidstempo of lengte en aantal van de pauzes aan de temperatuurscondities aan te passen, hetgeen resulteert in een hogere (functionele) belasting, af te lezen aan de hoogte van de sympathico-adrenerge activiteit.

#### **4.2.10 Combinaties met gevaar/risico's**

Het effect van verschillende temperatuurscondities op de veiligheid van werknemers is nauwelijks onderzocht. Deels zal dit te wijten zijn aan de moeilijkheid 'veiligheid' in een maat vast te leggen. Ongevallencijfers zijn daarvoor een nogal grove maat.

Ramsey et al. (1983) rapporteren over een elegant onderzoek naar de correlatie van aan veiligheid gerelateerd gedrag van werknemers en temperatuurscondities van de werkplek.

Gedurende 14 maanden zijn door getrainde waarnemers data verzameld op verschillende industriële werkplekken en bij verschillende taken. Als onafhankelijke variabelen zijn gehanteerd: omgevingstemperatuur (WBGT), een schatting van de metabole arbeidsbelasting, het taak-inherente veiligheidsrisico, het tijdstip van de dag en de dag van de week. Als afhankelijke variabele is van een 'Index voor Onveilig Gedrag' gebruik gemaakt, gebaseerd op observaties van tevoren gedefinieerde vormen van onveilig gedrag die gerelateerd zijn aan ongevalsrisico's. Met een variantie-analyse techniek is bekeken of de variabelen en hun interacties een significant effect hebben op het veiligheidsgedrag van werknemers. Dit blijkt voor alle variabelen en hun interactie het geval met uitzondering van de interacties van temperatuur met taakrisico en temperatuur met tijdstip van de dag. In een regressie-analyse van het verband van de variabelen temperatuur en arbeidsbelasting met de Index van Onveilig Gedrag blijkt een tweede orde kwadratisch model het best te voldoen. Het verband tussen temperatuur en de score op de Index heeft voor de verschillende nivo's van arbeidsbelasting een U-vorm met het minimum in de temperatuursrange van 17 - 23 °C. Deze U-vorm wordt ook teruggevonden in het verband tussen de temperatuur en de score op de Index voor de verschillende nivo's van inherent taakrisico.

De gehanteerde gedragsobservatietechniek lijkt een redelijk onderzoeksinstrument. De resultaten tonen een parallel met bijvoorbeeld de U-vormige relatie zoals die beschreven is voor prestatie als functie van arousal.

#### **4.2.11 Combinaties met beschermende middelen**

Dressendorfer et al. (1977) hebben een onderzoek verricht om te bepalen of een verhoogd zuurstofgehalte in de inademingslucht (35%) de arbeidstolerantie, beperkt door een inspiratoire weerstand, zou kunnen verbeteren. Uit belastingsproeven bij 7 getrainde mannen bij verschillende inspiratoire weerstanden wordt geconcludeerd dat de aerobe arbeidstolerantie afhankelijk is van de ventilatoire capaciteit en dat door bij de hoogst gebruikte weerstand ( $R=6.5 \text{ cm H}_2\text{O.s/l}$  bij 1l/s) 35%  $\text{O}_2$  te laten ademen het uithoudingsvermogen verbetert. Dressendorfer et al. verklaren dit uit een verminderde hyperventilatierepons bij de uitputtende arbeid.

Voor een bespreking van het effect van het dragen van beschermende kleding bij het verrichten van fysieke arbeid bij verschillende omgevingstemperaturen wordt verwezen naar 4.3.8.

## **4.3 FYSIEKE ARBEID**

### **4.3.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk worden de gecombineerde effecten van belasting van het houdings- en bewegingsapparaat (dynamische en statische spierarbeid) gevoegd bij andere belastende factoren besproken. Combinaties met geluid en klimatologische/atmosferische condities zijn eerder besproken (zie 4.1.3. en 4.2.2.) en blijven hier buiten beschouwing.

#### **4.3.1.1 Fysieke arbeid**

Bij de bestudering van de reacties van de mens bij lichamelijke inspanning wordt een onderscheid gemaakt tussen het algemene, energetische aspect van de belasting en de specifieke gevolgen voor het houdings- en bewegingsapparaat. Het energetisch aspect van spierarbeid wordt vooral bestudeerd aan de effecten op de functie van hart en longen, op de stofwisseling en het centraal zenuwstelsel. De specifieke gevolgen voor het houdings- en bewegingsapparaat worden benaderd vanuit de bij over- of onderbelasting optredende klachten en te constateren afwijkingen.

Het begrippenpaar belasting – belastbaarheid, dat centraal is komen te staan in het meeste onderzoek naar blootstelling aan belastende factoren is ontleend aan onderzoek op het terrein van de fysieke belasting. De arbeidsfysiologie kent raakvlakken met de sport- en ruimtevaartfysiologie al worden in deze laatste twee takken van onderzoek meer extreme belastingen bestudeerd. Als dit verschil in onderzoeksobject onderkend wordt, kunnen de inzichten die in de sport- en ruimtevaartfysiologie verworven zijn echter ook van belang zijn voor de fysiologie van de 'normale' arbeid.

### **4.3.2 Combinaties met trillingen**

In de bestudeerde literatuur zijn enkele onderwerpen uitgebreider terug te vinden. Echter veel onderzoek resulteert slechts in enkele vrij globale uitspraken. Het onderzoek is vaak niet vergelijkbaar met eerder verricht onderzoek

of de inzichten, ontwikkeld op het terrein van de gecombineerde belasting zijn slechts bijproduct van onderzoek gericht op een enkele belastende factor als hoofdonderwerp. De belangrijkste van de verworven inzichten worden hier samengevat.

Bij het uitvoeren van motorische taken is een goede proprioceptie en een intacte kinesthesie van groot belang. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan het werk van een helicopterpiloot. Door blootstelling aan trillingen blijkt de beheersing van de sensomotoriek minder te worden. De verklaring hiervoor is waarschijnlijk te vinden in de door de trillingen opgewekte (verstorende) proprioceptieve signalen. De signalen betreffende positie en snelheid worden daardoor als het ware gemaskeerd.

De algemene aanbeveling die hieraan ontleend kan worden luidt: scherm spiermassa's, betrokken bij belangrijke motorische taken, van trillingen af (Gauthier et al., 1981).

Bij vibraties is soms vooral de amplitude van belang (dit speelt bijvoorbeeld bij de verstoring van de fijne handmotoriek een rol), in andere gevallen de frequentie. Dit laatste bijvoorbeeld waar het gaat om de resonantie van het lichaam. Het lichaam als geheel heeft een eigenfrequentie van circa 5 Hz. Door het aanspannen van de romp- en schoudergordelspiers kan deze resonantie gedempt worden. Werk, waarvoor ontspannen romp- en schoudergordelspiers vereist zijn, laat zich dus moeilijk combineren met trillingen met een frequentie van circa 5 Hz.

Een enkele keer kan een belasting door dynamische spierarbeid het nadelig effect van trillingen tegengaan. "Whole body vibrations" veroorzaken een pooling van bloed in de onderste lichaamshelft middels een perifere vasodilatatie. Dynamische spierarbeid gaat deze pooling (vooral bij lagere temperatuur) tegen (Manninen, 1982). Iets dergelijks geldt voor de invloed van dynamische spierarbeid op het geluidsdrempelverhogende effect van trillingen, gevoegd bij lawaai: zware dynamische spierarbeid doet dit effect deels teniet (Manninen, 1982).

In de multifactoriele etiologie van het syndroom van Raynaud ("witte vingers"), leveren houding en spierarbeid daarentegen een ongunstige bijdrage. De statische spierarbeid (het stevig vasthouden van trillend handgereedschap), de dynamische spierarbeid en de houding met de hand beneden hartniveau, dragen allen bij aan de perifere vasoconstrictie (Gemne, 1982).



### **4.3.3 Combinaties met chemische stoffen**

Uit een basaal inzicht in fysiologische processen kan al afgeleid worden dat lichamelijke arbeid – in het algemeen – de werking van chemische stoffen zal versterken (zie o.a. Gohlke, 1975; Tiunov, 1974). Bij lichamelijke arbeid is er sprake van een toename van het ademminuutvolume en dus zal de opname van toxische stoffen via de longen eveneens toenemen. Verder zal de grotere bloeddorstrooming van de huid leiden tot een grotere opname van toxische stoffen langs dermale weg. Bovendien zal de redistributie van bloed in het lichaam bij inspanning ook leiden tot een veranderd opnamepatroon van toxische stoffen in de diverse weefsels.

Erg revolutionaire inzichten zijn dit niet maar in onderzoek naar toxische effecten wordt er over het algemeen weinig rekening mee gehouden. De meeste laboratoriumexperimenten worden uitgevoerd in rust en de resultaten zullen dan ook aangepast moeten worden aan een normale arbeidsbelasting (Zielhuis, 1971).

### **4.3.4 Combinaties met cognitieve taakeisen (complexiteit)**

In de literatuur over de invloed van fysieke belasting op psychische prestaties, fungeert het arousal-begrip als een verklarend principe. Wanneer bijvoorbeeld een prestatie wordt verwacht in een aandachtstest, na verschillende graden van lichamelijke inspanning, is er een duidelijk optimum voor de fysieke belasting aan te geven. Zowel bij een lagere als bij een hogere fysieke belasting is de score op de aandachtstest slechter (Davey, 1973).

Geredeneerd binnen het arousal-concept, is dan ook in te zien waarom met meerdere "activerende" factoren moet worden rekening gehouden. Een rekentaak onder een gemiddelde concentratie wordt het best uitgevoerd bij een geluidsnivo (witte ruis) van 70 – 85 dB(A), maar moet tegelijkertijd een fysieke prestatie worden geleverd op de fietsergometer dan blijkt de rekenprestatie alleen maximaal te blijven op voorwaarde dat het geluidsnivo in dezelfde mate wordt teruggebracht als de fysieke belasting wordt opgeschroefd (Klotzbücher, 1978).

### **4.3.5 Combinaties met werktijden**

Maximale fysieke prestaties kan men leveren later op de dag. Het dagritme van deze prestaties hierin loopt parallel aan de schommelingen in de lichaamstemperatuur. Vooral binnen de sportgeneeskunde is uitgebreid

onderzocht hoe het circadiane ritme voor fysieke prestaties verloopt (voor een review: zie Reilly, 1985). Bij het leveren van gelijke fysieke prestaties op andere tijden van het etmaal zal een groter gedeelte van de capaciteit aangesproken moeten worden, hetgeen een extra vermoeidheidseffect zal geven. Extra pauzes kunnen dan noodzakelijk zijn.

De lengte van werkpauzes is ook van belang wanneer zware lichamelijke arbeid wordt verricht in een hoge omgevingstemperatuur. Werknemers in de bosbouw blijken hun pauzes langer te kiezen, naarmate de omgevingstemperatuur verder boven een effectieve temperatuur van omstreeks 28°C komt. De pauzelengte is van belang om af te koelen (Schwarz, 1979).

Wojtczak-Jaroszowa et al. (1978) beschrijven bij hun inspanningsproeven dat de aerobe capaciteit overdag groter is dan 's nachts. Zij maakten daarbij gebruik van directe bepaling van de  $VO_2$ max bij maximale belasting volgens de methode van Astrand.

#### **4.3.6 Combinaties met repetitieve, monotone arbeid**

Repetitieve arbeid vindt vaak plaats in een ergonomisch onverantwoorde houding. Zo is er in de uurwerkindustrie bijvoorbeeld nogal eens sprake van een gefixeerde, zittende werkhouding met sterke flexie in de nek (Oegerli, 1980). Dit leidt tot nek-, schouder- en armklachten. Wanneer werk met een dergelijke karakter – repetitief, dynamisch en statisch belastend – ook nog monotoon is en dus mentaal belastend, zou de spiercoördinatie verstoord kunnen worden en kunnen er spasmen optreden. Syndromen als dat van de "tension myalgie" zouden hier een verklaring in vinden. Overigens is de etiologie van dergelijke syndromen grotendeels nog speculatief (Waris, 1980).

Er is wel genoeg bekend om het werk van mensen achter kassa of type-machine, inpak- en assemblagewerk kritisch door te lichten. Ergonomische verbeteringen in de arbeidsomgeving en een doordachter taakdesign lijken daar aangewezen.

#### **4.3.7 Combinaties met gevaar, risico's**

Een hoge fysieke belasting resulteert in vermoeidheid: de opmerkzaamheid daalt, de reactietijd wordt langer en het lichamelijk prestatievermogen neemt af. Het ongevalrisico stijgt. Wordt er metterdaad gevaarlijk werk verricht, dan zullen er ook meer ongelukken plaats vinden. Zo is in Zwitserland de

bosbouw de industrietak waar per arbeidsuur de meeste ongevallen gebeuren met de dood of invaliditeit als gevolg (Buchberger et al., 1979).

Overigens is "gevaarlijk werk" strikt genomen niet op te vatten als belastende factor op zich. Het brengt namelijk als zodanig geen belasting met zich mee. Met het 'besef gevaarlijk werk te doen', ligt dit anders: dit is te beschouwen als psychische belasting. Vanwege het praktisch belang is "gevaar" hier toch in combinatie met fysieke arbeid besproken.

#### **4.3.8 Combinaties met beschermingsmiddelen**

Lichamelijke inspanning en het dragen van beschermende kleding verhogen beiden de lichaamstemperatuur. Iets hierover is al ter sprake gekomen in de paragraaf over fysieke arbeid en werktijden (4.3.5.) en de paragrafen over fysieke arbeid bij hoge omgevingstemperatuur (4.2.2. en 4.2.11).

Beschermende kleding beperkt vaak de bewegingsmogelijkheden, kan een handicap in de communicatie zijn en het zicht belemmeren. Het meest geveesd is echter de warmte-overlast, zeker als het gaat om het verrichten van fysieke arbeid van enige zwaarte.

Het leveren van fysieke arbeid brengt een verhoogde warmteproductie met zich mee; het dragen van beschermende kleding betekent meestal een belemmering van de verdamping en een vermindering van het koelvermogen. Deze combinatie leidt gemakkelijk tot een stijging van de warmte-opslag in het lichaam tot voorbij het punt dat een evenwichtsconditie voor de lichaamstemperatuur bereikt wordt binnen de fysiologische tolerantiegrenzen. Warmte-uitputting is dan het gevolg.

Als tolerantiecriteria worden in de literatuur genoemd: een maximale cumulatieve warmte-opslag in het lichaam van ca. 8 J/g lichaamsgewicht en een hartfrequentie van 90 % van de maximale hartfrequentie (Lotens, 1978, 1987). De van dergelijke criteria afgeleide tabellen voor tolerantietijden zijn doorgaans gebaseerd op jonge, gezonde mannen. Bij het bepalen van op het individu toegesneden toelaatbare werktijden in een actuele situatie moet echter rekening gehouden worden met fysiologische parameters als fysieke conditie, acclimatisatie-toestand, vocht- en zoutbalans en antropometrische kenmerken (vetgehalte, verhouding opper vlakke/inhoud).

Uit praktische overwegingen wordt echter meestal de leeftijd als globale representatie van deze parameters gehanteerd (Havenith, 1987).

Bij gegeven omgevingstemperatuur en arbeidsnivo kan de belasting begrensd worden door het kiezen van een geschikt werk-rust schema. Kortdurende klussen kunnen bijvoorbeeld uitgevoerd worden tot de tolerantiegrens bereikt wordt. Omvangrijker werk zonder tijdsdruk kan uitgevoerd worden in een vaste cyclusduur, waarbij de fractie werktijd afhankelijk wordt gesteld van de warmtebelasting. Als sprake is van omvangrijk werk onder tijdsdruk, kunnen schema's gehanteerd worden met een hoge fractie werktijd, waarbij dan de cyclusduur varieert met de warmtebelasting (van de Linde, 1987).

Van der Galiën en Grosveld (1987) rapporteren over een belastingsonderzoek bij pakwerkers. In een elegante proefopzet onderzoeken zij 18 hondetrainers, waarvan de helft ouder dan 35 jr., zowel in het laboratorium als in het veld. In het laboratorium werden zij onderworpen aan een reeks in zwaarte oplopende belastingsproeven op de tredmolen, met en zonder het ca. 20 kg zware pak van leer en jute. Vastgelegd werden: huid- en rectale temperatuur, hartfrequentie en zuurstofopname. In de veldtest wordt de normale trainingssituatie gestandaardiseerd nagebootst. Via regressie-analyse is uit de gegevens van de op één na zwaarste testfase (waarin 5 van de 18 proefpersonen het moesten opgeven wegens algehele uitputting en/of collapsneiging) het verband berekend tussen omgevingstemperatuur en huid-, c.q. rectale temperatuur:

$$t_{\text{rect}} = 0.06 t_{\text{omg}} + 37.7$$

$$t_{\text{huid}} = 0.205 t_{\text{omg}} + 33.1$$

Aan de hand van deze formules is de warmte-opslag bepaald als functie van de omgevingstemperatuur:

$$\text{Warmte-opslag (J/g lich.gewicht)} = 0.38 t_{\text{omg}} + 1.7$$

Bij een omgevingstemperatuur van ca. 17°C wordt bij deze taak in dit beschermingspak de maximale warmte-opslag (8,2 J/g) bereikt; daarboven wordt de maximaal toelaatbare warmte-opslag in toenemende mate overschreden. De neutrale temperatuur blijkt bij -4,5 °C te liggen. Uit de onderzoeksgegevens kan geconcludeerd worden dat de cardiovasculaire belasting ten gevolge van de submaximale arbeidsbelasting wordt verhoogd tot een maximale belasting door de warmtebelasting ten gevolge van het pak.

In de bestudeerde literatuur werd verder een aantal artikelen gevonden over fysieke arbeid en het dragen van adembeschermingsmiddelen. De typische beroepsgroepen van enige omvang, waarvoor dit relevant is zijn militairen,

brandweerlieden en duikers. Het algemene beeld dat uit de literatuur naar voren komt is dat door fysieke arbeid (tredmolen of fietsergometer) te combineren met ademweerstand, uitputting sneller bereikt wordt. De beperkende factor voor de arbeidstolerantie onder deze omstandigheden lijkt vooral gelegen te zijn in de minimaal vereiste expiratieduur en bijvoorbeeld niet in de alveolaire hypoventilatie of de CO<sub>2</sub>-retentie (Craig et al., 1970; Flook et al., 1973). De tijd, benodigd voor de inademing, gaat ten koste van de voor de uitademing beschikbare tijd. Komt die laatste beneden een bepaald minimum, dan treden uitputtingsverschijnselen op. Het is dus zaak te zorgen voor een zo klein mogelijke uitademingsweerstand. Deno et al. (1981) wijzen er overigens terecht op dat in de meeste experimenten wel een erg korte expositietijd wordt gehanteerd, terwijl in de praktijk een arbeidstijd van een uur onder deze omstandigheden geen uitzondering vormt.

## **4.4 TRILLINGEN, VERSNELLING, VERTRAGING**

### **4.4.1 Inleiding**

Zoals eerder opgemerkt gaat vibratie meestal samen met geluid. Trillende machines en werktuigen maken over het algemeen lawaai en luidruchtige apparaten brengen vaak trillingen voort. In de literatuur is geluid dan ook de factor die het meest met vibratie in combinatie is gebracht. De resultaten hiervan zijn in het betreffende hoofdstuk reeds besproken. In dit hoofdstuk zullen nog een aantal andere combinaties met trillingen besproken worden.

### **4.4.2 Combinaties met chemische stoffen**

In de geraadpleegde literatuur wordt enkele keren melding gemaakt van effecten van gecombineerde expositie aan vibratie en chemische stoffen. Deze combinatie is vooral te vinden bij de besturing van voertuigen en het gebruik van trillend handgereedschap. Bij de bediening van motorzagen bijvoorbeeld vindt een duidelijke combinatie plaats van hand-arm trillingen en inademing van verbrandingsgassen (o.a. Buchberger & Butora, 1979).

In een overzichtartikel rapporteren Tiunov en Kustov (1974) dat fluorine, lood, kobaltstof en kwartsstof een sterker toxisch effect hebben bij gelijktijdige blootstelling aan vibratie. Zij stellen dat het noodzakelijk is om normen met betrekking tot de fysische en toxische omgeving aan te passen aan de specifieke combinaties op de werkplek.

De andere twee studies betreffen onderzoek op proefdieren. Pankow en Ponsold (1974) vermelden dat de combinatie van koolmonoxyde en vibratie een versterkte stressreactie in de koolhydraatstofwisseling van ratten veroorzaakt. Ivanovich et al. (1981) vinden bij expositie aan een combinatie van vibratie en lood versterkte veranderingen in de lever bij ratten. In hoeverre deze resultaten ook op mensen van toepassing zijn is vooralsnog onduidelijk. Het is in ieder geval een combinatie waarop nader onderzoek wenselijk is.

#### **4.4.3 Combinaties met perceptie, verlichting**

Bij expositie aan trillingen van het gehele lichaam wordt de waarneming van kleine objecten zoals tekst bemoeilijkt. Door aanspanning van de nek- en oogspieren zal men trachten de vibratie te compenseren. Van deze compensatie en de verhoogde concentratie die ermee samengaat mag men verwachten dat deze een hogere belasting ten gevolge heeft. Systematisch onderzoek hiernaar is echter niet aangetroffen, met uitzondering van Hancock (1984) die meldt dat over het algemeen weinig effecten op de prestatie gevonden wordt.

#### **4.4.4 Combinaties met vigilantietaken**

In twee overzichtsartikelen (Poulton, 1977; Hancock, 1984) wordt ingegaan op de combinatie van expositie aan vibratie en de taakeis een hoge vigilantie te handhaven. Deze combinatie komt bijvoorbeeld voor bij de besturing van voertuigen over lange eentonige trajecten. Zie 4.8.1 voor een beschrijving van het begrip vigilantie.

Poulton stelt dat vibratie van het hele lichaam gecompenseerd kan worden door aanspanning van de spieren in het bovenlichaam. Door deze aanspanning wordt de arousal verhoogd, hetgeen resulteert in een betere prestatie op vigilantietaken. Het is waarschijnlijk dat de noodzaak om spieren aan te spannen te houden resulteert in een hogere mate van belasting. De prestatie kan gedurende enige tijd geleverd worden, zij het met hogere kosten.

Ook Hancock concludeert dat door het activerende effect van vibratie vaak geen prestatieverlies optreedt. Deze auteur gaat echter niet in op de tijdsduur dat de prestatie gehandhaafd kan worden en de belasting die hiermee samengaat.

#### **4.4.5 Combinaties met gevaar, emotionele situaties**

Emotionele situaties kunnen een rol spelen bij de ontwikkeling van bepaalde ziektebeelden. Volgens Gemne (1982) is dit het geval bij de ontwikkeling van het Raynaud syndroom (witte vingers). Aangezien trillingen van de hand hierbij een belangrijke factor spelen, verwacht deze auteur dan de combinatie van deze twee factoren als extra risico moet worden gekenmerkt.

Het gebruik van motorkettingzagen is een duidelijke factor bij de ontwikkeling van het Raynaud syndroom. Bij werkers in de bosbouw die deze apparatuur hanteren treedt ook een groot aantal ongevallen op (o.a. Buchberger en Butora, 1979). Of het besef van het gevaar een zodanige emotionele druk veroorzaakt dat de ontwikkeling van dit syndroom versneld wordt is echter niet bekend.

### **4.5 CHEMISCHE STOFFEN**

#### **4.5.1 Inleiding**

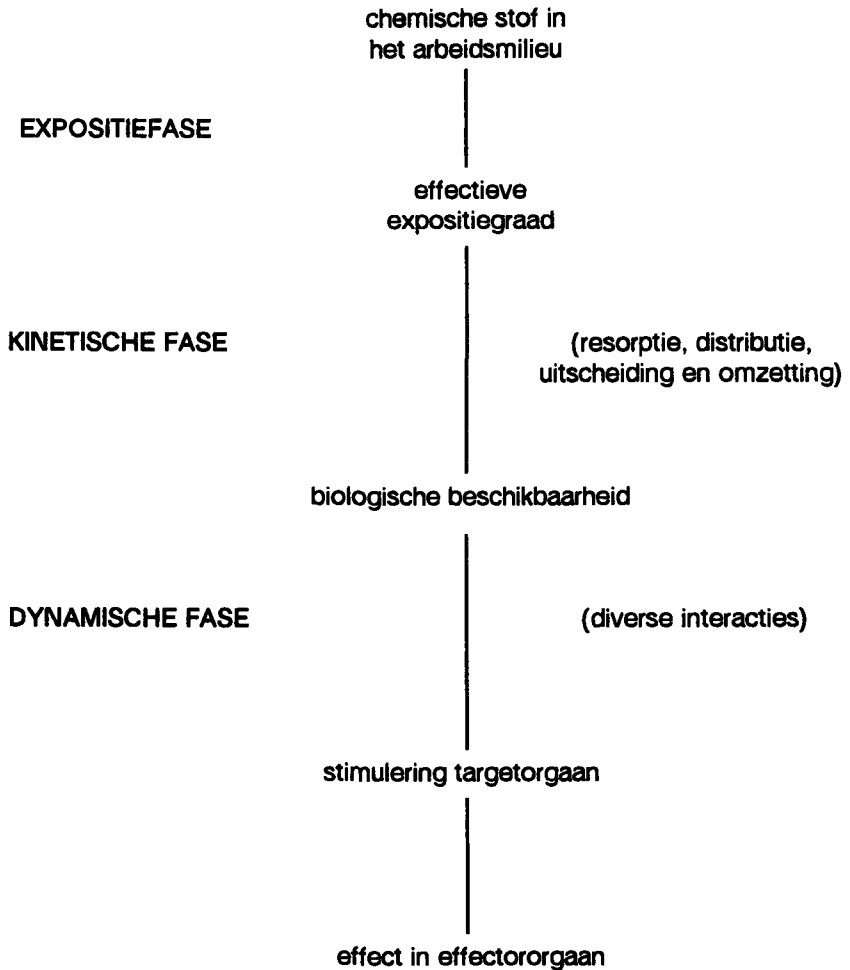
In dit hoofdstuk worden de gecombineerde effecten van blootstelling aan chemische stoffen en andere belastende factoren besproken. Chemische stoffen, waarvan het gevaar enkel bestaat uit hun radioactieve eigenschappen blijven in dit hoofdstuk buiten beschouwing. De effecten van combinaties van chemische stoffen zullen slechts summier en in algemene termen aangeduid worden, omdat dit onderwerp een omvangrijke afzonderlijke studie zou vereisen.

In voorgaande paragrafen werden de combinaties met geluid (4.1.5), klimaat (4.2.4), fysieke arbeid (4.3.3) en trillingen (4.4.2) reeds besproken.

##### **4.5.1.1 Blootstelling aan chemische stoffen**

De aanwezigheid van chemische stoffen in het werkmilieu (afhankelijk van het gekozen ontwerp van het productieproces) kan leiden tot blootstelling van werknemers (afhankelijk van de afscherming van bronnen en het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen) en tot opname in het lichaam via de huid, het spijsverteringsstelsel of de luchtwegen.

Tussen de aanwezigheid van een chemische stof in het werkmilieu en het uiteindelijk toxisch effect bij de mens worden een aantal fasen onderscheiden. In schema:



De voornaamste risicobepalende factoren zijn de aard van de stof (lipofiliteit, deeltjesgrootte, etc.), de effectieve dosis (ondermeer afhankelijk van concentratie en expositieduur) de functionele toestand van het contactorgaan (vochtigheid van de huid e.d.) en het eliminatie-organ, vroegere blootstellingen (depotvorming) en zaken als de individuele gevoeligheid of het individueel vermogen tot detoxificatie.



Toxische effecten zijn globaal genomen terug te voeren op directe chemische irritatie van weefsels, weefseltotoxiciteit, sequestratie van lichaamsvreemde stoffen, overgevoeligheidsreacties, blokkade van het O<sub>2</sub>-transporterend vermogen van het hemoglobine, of op interferentie met enzymsystemen, met algemene cellfuncties of met de DNA/RNA-synthese. De effecten kunnen reversibel of irreversibel zijn.

Vanuit een bedrijfsgezondheidkundig standpunt wordt de veelheid van chemische stoffen doorgaans benaderd vanuit een pragmatische indeling in:

- metalen en metaalverbindingen;
- organische oplosmiddelen;
- overige organische producten (nitroverbindingen, aminen, kleurstoffen etc.);
- bestrijdingsmiddelen (acetylcholine-esterase-remmers, chlooralkanen, nitrofenolen, etc.);
- kunststoffen, plastics en hulpstoffen;
- gassen en dampen, nevels, rook en stof;
- carcinogene en mutagene stoffen;
- stoffen die tot een chemische dermatose kunnen leiden.

(zie b.v. Ariëns en Simonis, 1973; Verberk en Zielhuis, 1980)

Voor veel afzonderlijke stoffen zijn blootstellingslimieten gesteld, die regelmatig aangepast worden in het licht van nieuwe wetenschappelijke inzichten en technologische ontwikkelingen. Er bestaan kortetermijn blootstellingslimieten (meestal gemiddelde concentraties over 10 minuten) opgesteld ter voorkoming van acute effecten en daarnaast lange-termijn blootstellingslimieten (meestal over een werkdag van 8 uur). Allerlei bijkomende belastende factoren, zoals bijvoorbeeld lange werktijden, ultraviolette straling, hoge omgevingstemperatuur of luchtvochtigheid, kunnen het toxisch effect van een chemische stof vergroten en in deze gevallen moeten de blootstellingslimieten aangepast worden.

#### 4.5.1.2 Blootstelling aan mengsels van chemische stoffen

Slechts in enkele gevallen zijn er normen opgesteld voor mengsels van stoffen. Meestal gaat het hierbij om substanties met een enkele in het oog springende gevaarlijke component, zoals het geval is bij lood- of asbesthoudende materialen. Soms ook om het mengsel als zodanig, bijvoorbeeld in het geval van normen betreffende 'rubberrook'.

Bij de beoordeling van effecten van mengsels van chemische stoffen moet zorgvuldig nagegaan worden of de componenten in hun werking onafhankelijk zijn dan wel interactie vertonen (additie, synergisme, antagonisme). Daartoe dienen in grote lijnen de toxicologische routes bekend te zijn en dient de functionele samenhang van weefsels en organen in het oog gehouden te worden.

In brede kring heerst overeenstemming over een basisprotocol, waarin men bij de beoordeling van mogelijke effecten uitgaat van de relatieve concentratie van de verschillende componenten in de lucht. Deze kan namelijk wezenlijk verschillen met die in de vaste of vloeibare materie, die de bron is.

Vervolgens wordt bekeken of elke afzonderlijke component binnen de daarvoor geldende blootstellingslimiet blijft, en of normen voor specifieke mengsels van toepassing zijn. Daarna zal toxicologische expertise nodig zijn om te komen tot een uitspraak over mogelijk van belang zijnde interacties. Hierbij zal allereerst gekeken moeten worden naar een eventuele synergistische of potentierende interactiewijze. Als daarop geen verdenking bestaat wordt de mogelijkheid van additie overwogen. Wanneer de afzonderlijke blootstellingslimieten gebaseerd zijn op dezelfde gezondheidseffecten kan het mengsel in geval van een additieve interactiewijze eenvoudig beoordeeld worden aan de hand van de formule:  $C_1/L_1 + C_2/L_2 + \dots \leq 1$ , waarin  $C_1$ ,  $C_2$  etc. de concentratie van de afzonderlijke componenten in de lucht voorstellen en  $L_1$ ,  $L_2$  etc. de in gelijke maat uitgedrukte blootstellingslimieten zijn. Overschrijdt de som van de C/L-waarden de 1 niet, dan wordt het mengsel geacht te blijven binnen de te stellen blootstellingsnorm. Zijn synergistische/potentierende of additieve effecten niet waarschijnlijk, dan kan volstaan worden met de blootstellingslimieten voor de stoffen afzonderlijk. In deze laatste categorie kan men bij gebrek aan kennis ook aan de veilige kant blijven en het mengsel beschouwen als additief.

Speciale aandacht blijft altijd vereist in die gevallen dat er voor een afzonderlijke component geen blootstellingslimiet bestaat, er een interactie kan zijn met blootstelling buiten het werk (hobby, roken, alcohol- of medicijnenge-

bruik e.d.) of dat er rekening gehouden moet worden met de effecten door opname van een stof via de huid.

#### **4.5.2 Combinaties met cognitieve taakeisen (complexiteit)**

In de bestudeerde literatuur is weinig specifiek te vinden over cognitieve belasting als toegevoegde factor bij chemische belasting of stof. Wat stof betreft, blijft het bij de algemene notie dat vermoeidheid als effect van stofbelasting (of als effect van het dragen van stofmaskers) versneld zichtbaar kan worden als psychomentele prestaties worden verlangd (Schwarz, 1979).

Voor cognitieve belasting, gecombineerd met chemische belasting geldt hetzelfde. Het effect van kooldioxyde - vertraging van de responsselectie in het proces van informatieverwerking (Vercruyssen, 1985) - komt natuurlijk vooral tot uiting wanneer een taak bepaalde motorische keuzemomenten bevat.

Het effect van koolmonoxyde - afgenomen alertheid ten gevolge van hersenhypoxie - wordt vooral zichtbaar bij de uitvoering van psychomotore taken. Hierbij is bijvoorbeeld te denken aan het effect van een verkeerde cabineverwarming op de prestaties van piloten. De alertheid heeft daarbij toch al te lijden onder de last van sensore deprivatie, verveling en een verstoord biologisch ritme. Als niet gevlogen wordt in drukcabines is er bovendien een gecombineerd effect met de hypoxie door het vliegen op grote hoogte (Howlett et al., 1973).

#### **4.5.3 Combinaties met werktijden, ploegendienst**

In de literatuur zijn slechts enkele globale uitspraken en waarschuwingen te vinden met betrekking tot de combinatie van chemische belasting met werken rusttijden of ploegendienst. Terecht wijzen auteurs erop dat bij het maken van lange dagen de normen en richtlijnen, gebaseerd op een achturige werkdag geëxtrapolleerd moeten worden (zie o.a. Keimpema en Fortuin, 1982). Bij een desynchronisatie van biologische ritmes door ploegendienst kan men verwachten dat de effecten van chemische belasting beïnvloed zijn. Doordat ploegendienst het functioneren van de maagdartractus nadelig beïnvloedt, kan de opname van toxische stoffen en daarmee hun effect anders zijn (Müller-Seitz, 1979).

#### **4.5.4 Combinaties met beloning**

Allerlei stoffen kunnen het ontstaan van ongevallen bevorderen, bijvoorbeeld via een werking op het centraal zenuwstelsel. Een beloning op basis van stukloon bevordert ook het ontstaan van ongevallen. Het werken met gevaarlijke chemische stoffen in een dergelijk beloningssysteem lijkt dus extra risico's in zich te dragen (Müller-Seitz, 1979). Dit soort conclusies hebben echter een te globaal karakter voor praktische toepassing.

### **4.6 COGNITIEVE TAAKEISEN**

#### **4.6.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk wordt onderzoek besproken waarin de effecten op het gebied van de belasting en de prestatie onderzocht worden van de aard van, en de mate waarin aanspraak gemaakt op het cognitiefmentale deel van de capaciteit, in combinatie met andere belastende factoren. De afbakening van het begrip cognitieve taakeisen is arbitrair. Essentieel is dat er combinatie en beoordeling van informatie plaatsvindt.

#### **4.6.2 Combinaties met vigilantietaken**

De essentie van een vigilantietaak is dat gedurende lange tijd een hoge mate van aandacht gevergd wordt om uit een grote hoeveelheid informatie een klein aantal relevante stimuli te herkennen en daar adequaat op te reageren (zie 4.8.1 voor een nadere omschrijving). Over het algemeen wordt onderzoek naar vigilantie uitgevoerd met taken waarin eenvoudige herkenning van auditieve of visuele stimuli vereist is. Een aantal onderzoekers heeft echter getracht de reacties te beschrijven in een zogenaamde cognitieve vigilantietaak. Hierin moet voor de beoordeling van de stimuli een aantal cognitieve bewerkingen plaatsvinden zoals berekeningen, redenering en dergelijke.

Warm et al. (1984) hebben een groep van 80 studenten een uur lang een vigilantietaak laten uitvoeren waarbij voor de bepaling van de relevantie van de stimulus enige rekenkundige bewerkingen moeten worden uitgevoerd. Een 40-tal krijgt hierbij een eenvoudige opdracht en de overige 40 een moeilijke. De prestaties worden geanalyseerd in drie perioden van 20 minuten. Voor de groep met de eenvoudige opdracht daalt het aantal detecties naarmate de tijd vordert. In de groep met moeilijke opgaven treedt een

een tegengesteld effect op. De prestatie stijgt gedurende het uur. In een tweede experiment met 60 studenten en dezelfde taak worden dezelfde trends gevonden. De auteurs verklaren deze resultaten met de theorie dat een ingewikkelde taak intrinsiek meer motiverend zal zijn. Welford (1968) rapporteert in zijn literatuurstudie ook over enige onderzoeken waarin de motivatie wordt beïnvloed door bijvoorbeeld geldelijke beloning, kennis van de resultaten of de aanwezigheid van een superieur. Deze auteur zet de resultaten echter meer in het licht van de activatie- en arousaltheorie door te stellen dat iedere factor die een daling van het arousalniveau voorkomt, zal bijdragen tot het instandhouden van de prestatie. Bij een steekproef uit een studentenpopulatie is het niet denkbeeldig dat een cognitief belastende opdracht zal bijdragen aan de intrinsieke motivatie.

Dember et al. (1984) laten dezelfde taak uitvoeren in een moeilijke en een eenvoudige versie, en voegen betaling van de proefpersonen toe als variabele om de motivatietheorie te toetsen. Een groep van 60 studenten, verdeeld over vier groepen, voert de taak uit gedurende een uur. De auteurs vinden ditmaal geen verschil op het aantal detecties (de nauwkeurigheid). Wel wordt een interactie tussen de moeilijkheidsgraad en de tijdsduur gevonden. In de moeilijke conditie blijft de reactietijd stabiel gedurende het uur terwijl deze in de eenvoudige conditie langer wordt. Er is een tendens dat betaalde proefpersonen langzamer reageren dan onbetaalde. De auteurs schrijven dit laatste verschijnsel toe aan een verminderde intrinsieke motivatie. Er is echter geen poging gedaan om de intrinsieke dan wel extrinsieke motivatie direct te meten. Bovendien lijkt de beloning van 2 dollar aan de lage kant om de motivatie doorslaggevend te beïnvloeden. Lysaght et al. (1984) vinden bij 38 mannelijke en 38 vrouwelijke studenten, gelijkelijk verdeeld over een eenvoudige en een moeilijke conditie, geen prestatievermindering in de eenvoudige conditie.

Ook Noonan et al. (1984, 1985) slagen er niet in om de resultaten van Warm et al. (1984) te reproduceren. Zij verdelen een groep studenten over vier gradaties van taakcomplexiteit. Overigens zij opgemerkt dat de rapportage van de statistische toetsing in bovenstaande artikelen nogal onvolledig is. Bij Noonan et al. (1984, 1985) kan zelfs aan de juistheid van de toetsing getwijfeld worden. Derhalve zijn de resultaten voornamelijk beoordeeld op trends in de gerapporteerde scores.

#### 4.6.2.1 Conclusies

Concluderend kan gesteld worden dat er enige aanwijzingen zijn dat de mate waarin een taak cognitief belastend is, van invloed is op de uitvoering van

vigilantietaken. De resultaten van verschillende onderzoekers zijn echter niet met elkaar in overeenstemming. De aard van de invloed en de processen waaraan deze toe te schrijven zijn blijven vooralsnog onduidelijk. Het zou van belang zijn te onderzoeken hoe de vigilantie beïnvloed wordt bij cognitieve taken van verschillende aard, bij andere populaties dan studenten, en in taken die langer dan een uur duren of vaker herhaald worden.

### **4.6.3 Combinaties met werktijden, ploegendienst**

Al sinds geruime tijd vind er onderzoek plaats naar de relatie(s) tussen de kwantiteit en kwaliteit van arbeidsprestaties en het tijdstip waarop de taak uitgevoerd wordt. Met name het incident in de kerncentrale van Three Mile Island in 1979, waarbij door fouten van ploegendienstwerkers om 04.00 uur 's nachts een acute risicosituatie ontstond, heeft het maatschappelijk belang van onderzoek op dit gebied onderstreept. Tijdens een normale werkdag varieert de prestatie vaak tot ongeveer 15 procent rond het gemiddelde. In de zestiger jaren is een model ontwikkeld waarin deze variaties gekoppeld worden aan een circadiaan ritme van lichaamsfuncties. Het lichaamseigen arousalniveau, zo stelde men, loopt synchroon met de schommelingen in de lichaamstemperatuur. Deze vertoont een top vroeg in de avond, tegen acht uur, en een dal vroeg in de ochtend, rond vijf uur. Een verfijning van dit model stelt dat voor verschillende taken een verschillend optimaal arousalniveau bestaat. Voor iedere taak geldt dan de Yerkes-Dodson wet, die stelt dat de prestatie beschreven kan worden door een curve in de vorm van een omgekeerde U, met de top bij het optimale arousalniveau. Met deze theorie wordt het moment van optimale prestatie gekoppeld aan de specifieke taakeisen van de taak in kwestie. Omgevingsfactoren kunnen het arousalniveau beïnvloeden. Lawaai bijvoorbeeld, verhoogt de arousal, waardoor de optimale prestatie op een ander moment van de dag geleverd wordt. (Een bespreking van de arousaltheorie en experimenteel onderzoek waarop deze berust is te vinden in o.a.: Broadbent, 1973; Poulton, 1970; Colquhoun, 1971; Hockey & Colquhoun, 1972). In deze paragraaf worden kort enkele gegevens en theorieën gepresenteerd met betrekking tot de relatie tussen de aanspraak op het cognitief-mentale deel van de capaciteit door de taakeisen, en de tijd van de dag wat betreft de prestatie en de belasting. Een uitgebreid overzicht van chronobiologische en chronopsychologische theorieën en onderzoeksresultaten wordt gegeven in Meijman et al. (1988). Het belang van deze materie ligt vooral op het gebied van het streven naar een optimale taakverdeling over de werkdag en de problematiek rond onregelmatige werktijden en ploegendienst.

Een voorbeeld van een laboratoriumexperiment naar het niveau van de prestatie in een cognitief belastende test op verschillende uren van de dag is een experiment door Sommer & Harris (1972). Een groep van 10 soldaten, in leeftijd variërend tussen 23 en 30 jaar, moet een aantal geheugen-rekenopgaven uitvoeren in een zelfbepaald tempo onder verschillende geluids- en vibratieomstandigheden. De test wordt op twee verschillende tijdstippen afgenomen. Hier worden alleen de resultaten uit de "no stress" conditie besproken (85 dB ruis, geen vibratie). De resultaten van het onderzoek naar de overige condities worden in een andere paragraaf besproken. De groep is geoefend in de test en allen voeren de reeks opgaven in ongeveer twintig minuten uit. Het aantal juist beantwoorde opgaven blijkt om 15.00 uur hoger te liggen dan om 06.00 uur.

Een van de weinige veldexperimenten op dit gebied is uitgevoerd in Polen door Wojtczak-Jaroszowa et al. (1978). In dezelfde publicatie wordt ook verslag gedaan van een laboratoriumexperiment. In het veldexperiment voeren 10 ploegendienstwerkers (22 - 45 jaar) ieder tijdens een ochtend-dienst, een avonddienst en een nachtdienst een aantal malen een geheugen-zoektest uit. Deze test wordt bij de aanvang van de dienst, na vier uur en na acht uur uitgevoerd en duurt telkens 1 minuut. De test wordt zowel in een gemakkelijke als in een moeilijke versie afgenomen. De arbeidstaak van de werkers bestaat uit het snijden van glasplaten, hetgeen een hoge mate van handvaardigheid vereist. De resultaten wijzen uit dat de prestatie in beide versies van de test daalt gedurende de dienst, met de slechtste prestatie tijdens de nachtdienst. Bovendien is de daling van de prestatie gedurende de dienst voor de moeilijke versie van de test sneller dan voor de gemakkelijke. Het laboratoriumexperiment is uitgevoerd met 23 vrouwelijke en 20 mannelijke studenten (19 - 27 jaar) als proefpersonen. Deze proefpersonen voeren 5 keer per "dienst" enkele tests uit. De aanvangs- en eindtijden van de "diensten" komen ruwweg overeen met die van de ploegenwerkers. Naast de genoemde condities is ook het effect van fysieke arbeid op een fiets-ergometer voorafgaand aan de tests onderzocht. De resultaten hiervan worden elders gerapporteerd. De tests bestaan onder andere uit een rekentest, een "leertest" (onmiddellijke weergave van nonsens-woorden) en een geheugentest (weergave na 2-3 uur). Analyse van de resultaten wijst uit dat de prestatie op deze drie tests daalt gedurende de dienst, terwijl 's nachts de slechtste prestatie geleverd wordt. Bovendien treedt tijdens de geheugentest 's nachts een sterkere daling op tijdens de andere condities en tests. Deze resultaten ondersteunen de conclusie uit het veldonderzoek dat er een complexe relatie bestaat tussen de tijdsduur van de dienst, de tijd van de dag en de aard van de taak.

Een overzichtelijk en recent overzicht van het onderzoek en de theorieën op het gebied van de relaties tussen het prestatieniveau, de aard van de cognitieve taakeisen en de tijd van de dag, (circadiane ritmes) wordt gegeven in het werk van Folkard en Monk (Folkard, 1983; Monk & Folkard, 1983; Folkard & Monk, 1985; Monk & Folkard, 1985). Deze auteurs hebben een aantal experimenten uitgevoerd en rapporteren een groot aantal onderzoeksresultaten van anderen. Zij bekritisieren het unidimensionale arousal-model dat uitgaat van het circadiane ritme van de lichaamstemperatuur. Het eerste argument is dat er een groot aantal verschillende circadiane ritmes bestaat. Zo heeft bijvoorbeeld de uitscheiding van adrenaline een top rond 16.00 uur en ligt de top van het subjectieve activatieniveau weer iets eerder. Uit studies op het gebied van ploegendienst en slaapdeprivatie komt een ander argument naar voren. De aanpassing van de verschillende ritmes aan een verandering van werktijden zoals in een ploegendienst, vindt niet even snel plaats. Het zelfde geldt voor de aanpassing in de prestatiecurves. Ondanks de praktische bruikbaarheid in veel situaties, kunnen deze resultaten met een uni-dimensionaal arousal-model niet verklaard worden. Er lijkt eerder sprake te zijn van een zogenaamd multi-oscillator model, met meerdere exogene en endogene factoren die bepalend zijn voor circadiane ritmes. In dit verband zal hier niet verder op ingegaan worden. De vermelding van deze theorieën dient voornamelijk ter illustratie van de complexiteit van deze materie.

Ondanks het gegeven dat de wetenschappelijke discussie nog in volle gang is, kunnen op grond van de eerder besproken onderzoeken en de door Folkard en Monk samengevatte studies toch enige voorzichtige conclusies getrokken worden met betrekking tot de aard van de cognitieve belasting, het tijdstip van de dag en de prestaties. Algemene geldigheid hebben deze conclusies niet, gezien de aanzienlijke persoonlijke verschillen die tussen mensen gevonden worden. Bij de 6 bekende goede 24 uren veldstudies die zijn verricht wordt gevonden dat de prestatie 's nachts slechter is dan overdag. Bovendien zijn er aanwijzingen dat er 's nachts meer ongevallen plaatsvinden bij de uitvoering van eenvoudige taken. Ook uit laboratoriumstudies komt naar voren dat eenvoudige, visueel-motorische taken met een lage geheugencomponent vrij goed het circadiane ritme van de lichaamstemperatuur volgen. Voor complexe taken met een grote geheugencomponent daarentegen, wordt in laboratoriumsituaties een top in de prestaties gevonden tussen 24.00 en 02.00 uur, en een dal tussen 14.00 en 18.00 uur. Dit komt overeen met de resultaten van een onderzoek onder een aantal controllers in de procesindustrie, met een moeilijke taak, waarbij een ritme gevonden wordt met een dal in het aantal foutieve handelingen 's nachts. Ook uit geheugenonderzoek komt naar voren dat het korte termijn geheugen 's nachts juist goed functioneert, in tegenstelling tot het lange termijngeheugen.



Het is bekend dat een belangrijk deel van de problemen die ploegendienstwerkers hebben met hun beroep, betrekking hebben op de slaap. Mede door sociale verplichtingen en ongunstige omstandigheden tijdens de dagslaap treedt er vaak (gedeeltelijke) slaapdeprivatie op. Onderzoek naar de effecten van slaapdeprivatie kunnen dus betekenis hebben voor het werken op tijdstippen buiten de normale werktijden. Monk en Folkard concluderen uit een aantal laboratoriumstudies naar de effecten van slaapdeprivatie (Monk & Folkard, 1985), dat in interessante taken een geringer prestatieverlies optreedt na slaapdeprivatie dan in monotone, repetitieve en eenvoudige taken.

Webb en Levy (1984) hebben een laboratoriumexperiment uitgevoerd waarin zes (betaalde) jonge mannen ieder vijf keer zijn onderzocht met telkens een interval van drie weken. Er is gevarieerd tussen uitvoering van een aantal taken na gewone slaap en na een slaapdeprivatie van twee nachten. De auteurs vinden een statistisch significante interactie tussen slaapdeprivatie en herhaling van de sessies op een associatietest. In deze test, die over het algemeen als leuk en uitdagend wordt beschouwd, stijgt de prestatie over de verschillende sessies tijdens de slaapdeprivatieconditie. Zonder slaapdeprivatie blijft de prestatie gelijk. Het behoud van een goede prestatie ondanks een slaapttekort past goed in de arousal theorie wanneer men veronderstelt dat een interessante taak arousal verhogend werkt.

De aanspraak op het cognitief-mentale deel van de capaciteit hoeft echter niet altijd te leiden tot behoud van de prestatie. In een laboratoriumexperiment met 30 mannen (30 tot 69 jaar oud) bijvoorbeeld wordt een uitgebreide set tests afgenomen (Mertens & Collins, 1986). De tests verschillen van zeer eenvoudig tot cognitief veeleisend. Op alle tests afzonderlijk wordt een statistisch significante vermindering van de prestatie gevonden na een nacht slaapdeprivatie.

#### 4.6.3.1 Conclusies

Het is moeilijk om op grond van de huidige stand van kennis concrete aanbevelingen te doen. Het gebied is nog te weinig onderzocht om met zekerheid te kunnen zeggen welke taken, onder welke omstandigheden, op welke tijden en door welke personen het beste verricht kunnen worden. Een deel van de onduidelijkheden zou voort kunnen komen uit de verschillen tussen de selecte steekproeven. Veldonderzoek vindt plaats met geoefende ploegendienstwerkers en laboratoriumonderzoek meestal met jonge studenten of militairen. Nader onderzoek is gewenst, waarin reële taken, geanalyseerd op de aard van de eisen aan het cognitief-mentale systeem, onder gecontroleerde omstandigheden en op een groot aantal verschillende tijd-

stippen worden uitgevoerd. Tevens is het van belang dat de relatie tussen het leveren van een prestatie en de bijbehorende belasting wordt onderzocht. Men kan veronderstellen dat het handhaven van een optimaal prestatieniveau onder sub-optimale omstandigheden een grotere belasting vormt dan onder optimale omstandigheden. Van welke belasting er sprake is indien een lagere prestatie geleverd wordt is voorlopig nog een open vraag. Over het algemeen gaat men er (al dan niet expliciet) van uit dat het niveau van de prestatie een maat is voor de belasting, hetgeen beslist voorbarig is. Zonder nadere informatie over de inspanning die geleverd wordt (hetzij d.m.v. een subjectief oordeel, danwel door fysiologische maten zoals hartslagvariabiliteit of catecholamine uitscheiding) en het doel dat men zich stelt (de persoonlijke opgave) geeft het prestatieniveau onvoldoende informatie (zie ook 4.6.4).

Dat het tijdstip van de dag en de aard van de taak factoren van belang zijn bij de interpretatie van onderzoek naar arbeidsbelasting is evenwel evident.

#### **4.6.4 Combinaties met tijdsdruk, repetitieve arbeid, monotonie**

Onder de voorwaarde dat de taakuitvoerder tracht een gelijke prestatie te blijven leveren, kan in principe de belasting door iedere taak vergroot worden door het opleggen van tijdsdruk. Tijdsdruk houdt in dat de beschikbare tijd voor een serie taken onvoldoende is om deze volgens de ideale methoden en met voldoende tussentijdse rustmomenten uit te voeren. Het gevoel van iemand onder tijdsdruk (een vorm van "subjective mental workload") wordt door Moray (1982) getypeerd als de ervaring van een toenemende kans om in de nabije toekomst te falen.

Een toename van de werkdruk, in de zin dat er een groter aantal mentale operaties binnen een beperkte tijd moet worden uitgevoerd, kan een aantal reacties tot gevolg hebben. Door een groter deel van de capaciteit in te zetten kunnen de zelfde handelingen in een korter tijdsbestek plaatsvinden ten koste van een grotere belasting. De kwantiteit van de productie kan afnemen. De tijd die iemand neemt om informatie te verzamelen, te analyseren en tot een beslissing over de al dan niet te ondernemen actie te komen kan korter worden, met een groter risico op fouten. Of de wijze waarop input, beslissingsprocedures en output georganiseerd zijn kan veranderen; men gaat dan over op een andere strategie. Dit laatste is in een experiment onder 15 luchtverkeersleiders in Frankrijk onderzocht (Sperandio, 1971, 1978). Deze vluchtleiders hebben de taak naderende vliegtuigen te instrueren over de landingsprocedures. Het blijkt dat bij een beperkt aanbod van vliegtuigen gekozen wordt voor een elegante benadering waarbij voor

ieder vliegtuig rekening gehouden wordt met een groot aantal variabelen zoals koers, snelheid, hoogte, type enzovoorts. Ieder vliegtuig krijgt een individuele behandeling. Naarmate het aantal vliegtuigen toeneemt verandert de individuele opgave die de vluchtleider zich stelt. Er wordt steeds meer voor standaardoplossingen gekozen waarbij van de vele variabelen eigenlijk uitsluitend de hoogte overblijft. Bovendien verandert de taakverdeling tussen de vluchtleider en de assistent. Naarmate het aanbod toeneemt, delegeert de vluchtleider minder taken. Het verschil met veel laboratoriumonderzoek is dat in deze taak een toename van de tijdsdruk niet direct een toename van het aantal fouten tot gevolg heeft. Uit de gerapporteerde gegevens valt zelfs niet zonder meer te concluderen dat de belasting toeneemt. Sperandio stelt dat door feedback van de belasting naar de keuze van de strategie, breekpunten optreden in de opgaande lijn van de belasting, maar dat deze wel blijft toenemen.

In een ander onderzoek onder luchtverkeersleiders, ditmaal in West Duitsland (Philipp et al., 1971), zijn Spearman rangordecorrelaties berekend om het verband tussen aanbod en ervaren belasting te onderzoeken. Er wordt een correlatiecoëfficiënt van .63 gevonden tussen de informatieinhoud van het aanbod (in bits/min., geschat door een collega) en de ervaren moeilijkheid van de taak. De auteurs concluderen bovendien uit de resultaten dat er voor de uitvoerders geen onderscheid te maken valt tussen moeilijkheid en tijdsdruk. Het aanbod in de taak, afgemeten aan de duur van de radio-communicaties (in sec./min.), correleert .56 met de ervaren tijdsdruk en .69 met de ervaren moeilijkheid. De genoemde correlatiecoëfficiënten zijn statistisch significant. De auteurs vermelden in deze publicatie echter niet het aantal proefpersonen en het aantal metingen per proefpersoon.

Uit de genoemde onderzoeken van Sperandio komt naar voren dat vluchtleiders naar mate zij meer vliegtuigen moeten verwerken en dus onder een grotere tijdsdruk komen, op grond van minder variabelen beslissingen nemen met betrekking tot het handelen. Een dergelijk mechanisme zou de verklaring kunnen zijn van een aantal resultaten die gevonden worden in een veldonderzoek naar de arbeidsbelasting van rijexaminatoren (Meijman et al., 1985). In dit experiment is voor 30 examinatoren het aantal examens dat op een dag afgenomen dient te worden gevarieerd. Iedere proefpersoon neemt één week lang 9 examens per dag af, één week 10 per dag (zijnde de normale situatie) en één week 11 per dag. Van iedere conditie is één dag in het onderzoek betrokken. In deze condities zijn de percentages productieve werktijd respectievelijk 74 %, 80 % en 86 %. Hieruit blijkt dat men met een groter aantal examens per dag ook daadwerkelijk onder een grotere tijdsdruk komt te staan. In de twee condities met de hoogste tijdsdruk blijkt men in de

middag beduidend minder verbale waarschuwingen en aanwijzingen te geven (statistisch significant). Het percentage geslaagde kandidaten is aan het eind van de ochtend en aan het eind van de middag in de 11-conditie ook statistisch significant lager dan in de beide andere condities. Dit kan erop duiden dat men onder toenemende tijdsdruk het zekere voor het onzekere neemt en eerder negatief beslist. Een zelfde (zij het niet significante) tendens wordt gevonden in het aantal kandidaten dat men als "grijs" beoordeelt. Dit wil zeggen dat men het in die gevallen moeilijk vindt om tot een oordeel te komen. Overigens worden er tussen de condities geen verschillen in het aantal ingrepen geconstateerd. Aan het eind van de ochtend en aan het eind van de middag scoort men met oplopende tijdsdruk hoger op schalen van ervaren belasting, inspanning en irritatie en lager op een schaal van activatie. De conclusie uit dit onderzoek lijkt te zijn dat men bij toenemende tijdsdruk voorzichtiger wordt en een grotere belasting ondergaat.

#### **4.6.4.1 Conclusies**

Geconcludeerd kan worden dat bij een toename van de tijdsdruk in een cognitief complexe taak niet alleen de ervaren belasting zal toenemen, maar dat er rekening gehouden moet worden met een verandering in de doelen en methoden die de uitvoerder hanteert en een verandering in de uitkomst van beslissingsprocedures.

#### **4.6.5 Combinaties met overige factoren**

Op het gebied van combinaties met de overige belastende factoren is weinig tot geen onderzoek bekend. Wat betreft de invloed van de beloning is een studie opgenomen in 4.6.2. Autonomie en regelmogelijkheden zijn in 4.6.3 ter sprake gekomen. Gevaar, risico's, beschermende middelen, emotionele situaties, sociale contacten, verantwoordelijkheid, ambiguïteit en rolconflicten zijn niet systematisch in combinatie met cognitieve belasting gebracht.

### **4.7 PERCEPTIE, VERLICHTING**

#### **4.7.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk zullen de effecten besproken worden van de belastende factoren 'verlichting' en 'visueel belastende taken' gevoegd bij een of meerdere van de overige belastende factoren.

Voor een bespreking van 'auditief belastende taken' wordt verwezen naar de paragrafen met betrekking tot lawaai (4.1).

Het concept van 'perceptief belastende taken' bestrijkt een breder terrein dan enkel die taken die een beroep doen op visuele of auditieve functies. Het aanspreken van andere perceptieve functies (reuk en smaak, evenwichts-, bewegings- en positiegevoel, tast-, druk-, temperatuursgevoel en pijn) wordt evenwel als zodanig niet of nauwelijks in de literatuur besproken. Aspecten van perceptieve belasting zijn terug te vinden in de literatuur over stank, motoriek en vigilantie.

#### 4.7.1.1 Verlichting

De samenhang van de belangrijkste begrippen uit de literatuur over verlichting laat zich als volgt beschrijven. Een lichtbron produceert voor de mens zichtbare electromagnetische straling met een golflengte tussen 380 en 760 nanometer. De energetische waarde daarvan kan uitgedrukt worden in watt. Houdt men rekening met de spectrale samenstelling van het uitgezonden licht en wordt de gevoeligheid van het menselijk oog voor de verschillende golflengtes meegewogen, dan is de lichtstroom uit te drukken in lumen (lm). De verlichtingssterkte is de lichtstroom in lumen die op een oppervlakte valt en wordt uitgedrukt in lux ( $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ ). De helderheidsindruk voor het waarnemend oog in een bepaalde positie ten opzichte van een oppervlakte met bepaalde reflecterende eigenschappen wordt de luminantie van die oppervlakte genoemd en uitgedrukt in candela per  $\text{m}^2$  ( $\text{cd/m}^2$ ). Het relatieve luminantieverschil tussen een object en zijn achtergrond kan worden uitgedrukt in een (luminantie)contrastwaarde C, die in waarde kan variëren van nul (gelijke helderheid) tot één (maximaal verschil).

#### 4.7.2.2 Zien

Het fysiologisch proces van de visuele waarneming zal hier niet uitgebreid beschreven worden. Wel zullen enkele factoren aangeduid worden die van belang zijn bij het zien.

De zichtbaarheid van een object wordt bepaald door zijn grootte in boogminuten (bepaald door afmeting en afstand), het contrast, de luminantie van het gezichtsveld en de waarnemingstijd. De gezichtsscherpte (visus) wordt uitgedrukt als de reciproke van de nog juist waarneembare objectgrootte onder gestandaardiseerde condities van contrast en gezichtsveldluminantie bij onbeperkte waarneemtijd en maximale inspanning.

De zichtbaarheid van een gegeven object laat zich dan definiëren als het product van objectgrootte en visus; de visuele belasting van een taak als de reciproke hiervan. Van gemakkelijk zien is sprake wanneer een object 2.5 tot 3 maal zo groot is als de minimale objectgrootte onder gelijke condities, met andere woorden de visuele belasting niet hoger is dan 30 à 40 % (Fortuin in: Burger, 1974, blz 209). De gezichtsscherpte neemt met het ouder worden af.

Bij het ontwerpen van een comfortabele visuele omgeving moet rekening gehouden worden met taak en leeftijd van de daar werkzame werknemers. Daarnaast moet het ruimtelijk ontwerp zo zijn dat geen al te grote luminantieverschillen binnen het gezichtsveld optreden, in verband met mogelijke verblinding. Onvoldoende zichtbaarheid van een taak kan zich uiten in de symptomen van 'eye-strain' (hoofdpijn, pijn in de ogen, wazig en dubbel zien). Bovendien kunnen de gevolgen van een ter compensatie aangenomen slechte werkhouding merkbaar worden.

#### **4.7.2 Combinaties**

In voorafgaande paragrafen werden de combinaties besproken met geluid (4.1.7), klimaat (4.2.6) en trillingen (4.4.3). Voor het overige werd geen relevante literatuur aangetroffen.

### **4.8 VIGILANTIETAKEN**

#### **4.8.1 Inleiding**

Vigilantietaken worden gekenmerkt door onregelmatig optredende stimuli waarop snel en adequaat gereageerd dient te worden. Typisch zijn de relevante stimuli ingebed in een grote hoeveelheid irrelevante informatie en is een hoge mate van waakzaamheid vereist om ze te ontdekken. Men vindt vigilantietaken vooral in procesbewaking, bediening van radarapparatuur, bewakingsdiensten en dergelijke. In het onderzoek naar vigilantie wordt voornamelijk geëxperimenteerd met sensorische taken waarin gereageerd dient te worden op bijvoorbeeld een licht- of een geluidssignaal. Kenmerkend voor deze taken is dat het aantal juiste detecties en de snelheid van de reactie na ongeveer een half uur sterk afnemen (o.a. Welford, 1968).

## **4.8.2 Combinaties met werktijden, ploegendienst**

De prestatie op vigilantietaken vertoont een curve die overeenkomt met het verloop van de lichaamstemperatuur (Hockey & Colquhoun, 1972). De prestatie is dus het beste in de loop van de middag en de slechtste prestatie wordt 's nachts geleverd, synchroon met het lichaamseigen arousalniveau. Craig et al. (1981) melden overigens dat gedurende een normale werkdag zowel het aantal juiste als het aantal foutieve reacties toeneemt. Zij concluderen dit naar aanleiding van 4 experimenten met in totaal een kleine honderd soldaten als proefpersonen, waarin het effect overigens vrij klein is.

Bij slaapttekort, zoals bij nachtwerk in ploegendienst te verwachten is, treden volgens Loeb & Alluisi in een overzicht (1977) meer fouten op en meer missers. Ook Webb & Levy (1984) vinden in een experiment met 6 jonge mannen een slechtere prestatie na slaapdeprivatie.

Geen van de genoemde auteurs gaat in op de belasting. Men mag echter veronderstellen dat het trachten de prestatie op peil te houden op ongunstige werktijden een grotere belasting vormt dan tijdens een normale werkdag.

## **4.8.3 Combinaties met beloning**

In een overzicht van experimenten waarin de beloning voor deelname aan het experiment wordt gekoppeld aan de geleverde prestatie, stellen Loeb & Alluisi (1977) dat vermindering van de uitbetaling op grond van het aantal gemaakte fouten leidt tot slechtere prestaties.

Dember et al. (1984) zijn van mening dat geldelijke beloning de intrinsieke motivatie zal verminderen en hanteren dit als methode om de invloed van motivatie op de prestatie op vigilantietaken te onderzoeken. In een experiment met 4 groepen van 15 studenten wordt gevonden dat bij een simpele taak de prestatie na verloop van enige tijd gelijkelijk daalt bij betaalde en onbetaalde proefpersonen. Op een complexe taak blijft deze prestatiedaling echter uit bij de onbetaalde groep.

Bovengenoemde publicaties zijn zeer toegespitst op laboratoriumexperimenten en leveren geen zinnige informatie op over de invloed van bijvoorbeeld het salaris op de prestatie in een normale werksituatie. Dit zou overigens geen duidelijkheid scheppen over de belasting.

#### 4.8.4 Combinaties met sociale contacten

Uit de in deze paragraaf genoemde publicaties komt een sterke relatie naar voren tussen de prestatie op vigilantietaken en het arousalniveau. De voortdurende waakzaamheid die bij de uitvoering van een dergelijke taak noodzakelijk is, is alleen op te brengen indien de persoon in kwestie voldoende geactiveerd is. Sociale isolatie kan ertoe bijdragen dat vooral bij een laag aantal relevante stimuli de aandacht wegzakt. Loeb & Alluisi (1977) wijzen erop dat de aanwezigheid van de experimentleider of het zo nu en dan hebben van sociaal contact de prestatie verhoogt. Het spreekt voor zich dat de mate van sociaal contact niet zodanig moet zijn dat het de aandacht van de taak afleidt, maar het volledig ontbreken ervan (bijvoorbeeld bij het alleen op wacht staan) bemoeilijkt de correcte taakuitvoering.

#### 4.9 WERKTIJDEN, PLOEGDIENST, SLAAPTEKORT

Ploegdienst en het werken met onregelmatige werktijden kan men opvatten als een combinatie van verschillende belastende factoren. In 4.6.3 zijn hier reeds een aantal opmerkingen over gemaakt. De afwijkende en verschuivende werktijden veroorzaken een aantal effecten die de capaciteit aantasten. Door de wisseling van de werktijden en de slaaptijden treedt een desynchronisatie op van circadiane ritmes. Aanpassing van alle ritmes kan zelfs onder ideale omstandigheden meer dan tien dagen duren. De adaptatie wordt echter bemoeilijkt door een aantal externe factoren. Overdag slapen is zelfs bij volledige lichamelijke aanpassing vaak niet goed mogelijk door lichtinval en buitengeluiden en door sociale verplichtingen binnen en buiten de *familiekring*. *Ploegenwerkers slapen dan ook over het algemeen slechter en korter dan dagwerkers*. Hierdoor ontstaat vermoeidheid die de belasting op het werk vergroot. Ook de noodzaak om af te zien van sociale activiteiten buiten het werk veroorzaakt isolatie en spanningen.

Afhankelijk van de specifieke taak is er sprake van optimale en sub-optimale tijdstippen voor het leveren van prestaties. Uit experimenteel onderzoek blijkt dat sommige taken op ongebruikelijke tijdstippen optimaal verricht worden (bijvoorbeeld complexe taken met een grote geheugencomponent, zie 4.6.3). Gezien de aanzienlijke negatieve effecten die geconstateerd worden op lichamelijk, psychologisch en sociaal functioneren komen de meeste onderzoekers echter tot de conclusie dat ploegdienst en onregelmatige werktijden met nachtdiensten in het algemeen ontraden moeten worden. Voor een uitgebreid overzicht van biologische en psychologische aspecten van het



werken met onregelmatige werktijden zij verwezen naar Meijman et al. (1988).

Naast de in eerdere hoofdstukken reeds besproken studies waarin afwijkende werktijden of het werken in ploegendienst een rol spelen, zijn er geen combinaties aangetroffen.

## **4.10 TIJDSDRUK, REPETITIEVE ARBEID, MONOTONIE**

### **4.10.1 Inleiding**

In deze paragraaf worden de effecten besproken van het werken onder tijdsdruk en monotone, repetitieve arbeid in combinatie met de overige belastende factoren. In voorafgaande paragrafen zijn de combinaties met klimaat (4.2.9), fysieke arbeid (4.3.6) en cognitieve taakeisen (4.6.4) besproken.

### **4.10.2 Combinaties met beloning**

Cox et al. (1982) beschrijven de effecten van in het laboratorium nagebootst lopende-band werk met een repetitief karakter op de catecholaminenuitscheiding. Als onafhankelijke variabelen zijn de mate van 'pacing' (opgelegd werktempo) en wijze van beloning (vaste betaling of beloning volgens een bonusregeling) bestudeerd. Er worden twee verschillende repetitieve taken opgedragen (knopen in een opgelegd tempo op de lopende band leggen, resp. knopen op de band controleren en de foute knopen verwijderen). Een derde taak (toezicht houden op het verzamelen van de knopen aan het einde van de band) dient als controle-taak (geen elementen van repetitiviteit). Door een systeem van taakrotatie diende elk van de proefpersonen als de eigen controle. Er worden 3 verschillende bandsnelheden gehanteerd (respectievelijk 18, 36 en 54 knopen/min). Bandsnelheid en betalingswijze worden tussen de proefpersonen gevarieerd. In de uiteindelijke analyse werden de gegevens van 39 vrouwelijke proefpersonen betrokken.

De resultaten tonen een duidelijke verhoging van de catecholaminenuitscheiding in associatie met de repetitieve taken, vergeleken met de niet-repetitieve taak. In de conditie van betaling volgens een bonussysteem is de catecholaminenuitscheiding bij repetitief werk globaal genomen 20 % hoger vergeleken met betaling volgens vast uurloon. Wanneer proefpersonen

betaald worden volgens vast uurloon neemt de noradrenaline-uitscheiding monotoon toe met de bandsnelheid. Dit zou de toename van de inspanning voor een maximale prestatie kunnen weerspiegelen. Bij betaling volgens een bonussysteem echter is de hoogste NA-uitscheiding geassocieerd met de laagste bandsnelheid. Een verklaring zoeken de onderzoekers in de mogelijke frustratie van het streven naar maximale betaling door de trage bandsnelheid en in een opbouw van spierspanning. Op de Adrenaline-uitscheiding heeft de bandsnelheid geen effect.

Hansen (1982) heeft een vragenlijst-onderzoek uitgevoerd naar de beroepsgebonden effecten op de gezondheid van monotoon werk in hoog tempo onder 320 Deense werknemers bij slachthuizen. In de groep werknemers, die volgens stukloon betaald worden zijn degenen die hun werk als monotoon en te gejaagd beoordelen oververtegenwoordigd in vergelijking met de groep werknemers, die volgens een vast uurloon betaald worden. Binnen de groep met monotoon werk in hoog tempo komen significant meer klachten van het bewegingsapparaat voor. Een analyse van de eventuele afzonderlijke bijdrage van de beloningsvorm of van het effect van de combinatie beloningsvorm – monotonie/werktempo ontbreekt echter in deze studie.

### **4.10.3 Combinaties met autonomie, regelmogelijkheden**

Voor een bespreking van het onderzoek van Sperandio (1971, 1978) naar de regulering van de werkmethode onder invloed van de hoogte van de werkdruk wordt verwezen naar 4.6.4.

## **4.11 OVERIGE FACTOREN**

In het hierna volgende schema zijn de verwijzingen naar voorgaande paragrafen opgenomen voor de combinaties van de overige factoren.

Voor een bespreking van de als zoekterm gehanteerde factoren 'verantwoordelijkheid', 'ambigüiteit, rolconflicten' ontbreekt het aan voldoende materiaal.

<b>Belastende factor:</b>	<b>Gecombineerd met (par.):</b>	
beloning, salaris	chem. st. (4.5.4)	cognit. tk. (4.6.2)
	vigilantie (4.8.3)	tijdsdruk (4.10.2)
gevaar, risico's	geluid (4.1.10)	klimaat (4.2.10)
	fys. arbeid (4.3.7)	trillingen (4.4.5)
beschermingsmiddelen	geluid (4.1.11)	klimaat (4.2.11)
	fys. arbeid (4.3.8)	
autonomie	geluid (4.1.12)	cognit. tk. (4.6.3)
	tijdsdruk (4.10.3)	
emotionele situaties	geluid (4.1.13)	trillingen (4.4.5)
sociale contacten	vigilantie (4.8.4)	
verantwoordelijkheid		
ambig./ rolconflicten		

## **5. METHODISCHE KANTTEKENINGEN**

### **5.1 INLEIDING**

Dit rapport is gebaseerd op een grote verscheidenheid aan publicaties. De studies betreffen een groot aantal verschillende onderwerpen en hanteren verschillende methodieken zoals laboratoriumexperimenten, veldexperimenten, vragenlijstonderzoeken, epidemiologische studies, observaties en theoretische uiteenzettingen. Ondanks de grote hoeveelheid waardevol materiaal dat uit deze onderzoeken naar voren komt kunnen toch enkele kritische kanttekeningen gemaakt worden. Deels hebben deze betrekking op algemene wetenschappelijke zorgvuldigheid en deels op de bruikbaarheid voor de kennisverwerving ten aanzien van meervoudige belasting. Hierbij moet van tevoren worden opgemerkt dat een gedeelte van de aangehaalde auteurs het zich niet tot doel gesteld heeft hieraan een bijdrage te leveren.

Achtereenvolgens zullen in dit hoofdstuk aan bod komen de keuze van de onderzoeksvraag, de operationalisatie met de onafhankelijke variabelen, de methoden, het onderzoeksontwerp, de afhankelijke variabelen en de proefpersonen en ten slotte de rapportage.

### **5.2 DE ONDERZOEKSVRAAG**

De keuze van de onderzoeksvraag kan op een aantal overwegingen berusten. Er kan sprake zijn van een vraag die opgeworpen wordt door een arbeidsorganisatie op grond van een praktisch probleem. In een arbeidssituatie doen zich bijvoorbeeld verschijnselen van belasting voor of treden veranderingen in de prestaties op die niet te verklaren zijn vanuit kennis over de afzonderlijke belastende factoren. De organisatie vraagt dan meestal om preventieve richtlijnen of interventietechnieken. Een organisatie kan ook om richtlijnen vragen in de ontwerpfase van een arbeidsplaats. Een tweede mogelijkheid is dat overheden problemen signaleren en vragen naar wetenschappelijke evidentie op basis waarvan normering van expositie aan combinaties van belastende factoren kan plaatsvinden. De vraag kan ook opgeworpen worden door wetenschappers die op inhoudelijke gronden geïnteresseerd zijn in de effecten van combinaties van meerdere belastende factoren. In de eerste twee situaties wordt van de onderzoekers meestal een tabel of een rekenmethode verwacht, waarmee effecten op de prestaties en

de belasting voorspeld kunnen worden op basis van de blootstelling aan bepaalde combinaties van factoren. In het derde geval wordt meestal gezocht naar (statistische) interactie. Het vergaren van praktisch toepasbare informatie staat in dit geval niet voorop. Het oogmerk is te komen tot theorieën waarmee de werkelijkheid zo goed mogelijk beschreven kan worden.

In het ideale geval worden deze onderzoeksvragen gecombineerd en levert het onderzoek zinvolle informatie op voor zowel arbeidsorganisaties, overheden en de wetenschap. Studies die aan deze beschrijving voldoen zijn echter zeldzaam. Praktische, financiële en inhoudelijke beperkingen leggen de onderzoeker grenzen op. Derhalve zal men zich tevreden moeten stellen met vele onderzoeken die op grond van convergerende evidentie leiden tot generaliseerbare conclusies.

Problemen voor degenen die gebruik willen maken van onderzoeksresultaten van andere auteurs doen zich voor indien door de afweging van middelen en interesses de onderzoeksvraag zo specifiek is dat generalisatie van de resultaten niet meer mogelijk is. In onderzoek gericht op bepaalde organisaties is de expositie meestal zeer specifiek en is systematische manipulatie van de onafhankelijke variabele vaak niet mogelijk. Indien normering de primaire doelstelling is van de studie, is men minder geïnteresseerd in verklarende theorieën. In de laatste situatie, waarin het initiatief van de onderzoekers uitgaat, lijken het aansluiten bij eerder onderzoek en het economisch gebruik van aanwezige faciliteiten voor experimenteel onderzoek soms van minstens even groot belang als inhoudelijke overwegingen. De aanschaf van dure apparatuur kan onderzoekers ertoe verleiden of er zelfs toe dwingen passende vraagstellingen te formuleren om de financiering te legitimeren. Ook lijken verregaande specialisatie en een zeker hobbyïsme soms de vraagstelling te beïnvloeden.

## **5.3 DE OPERATIONALISATIE**

### **5.3.1 Inleiding**

Bij de operationalisatie van de onderzoeksvraag worden de onafhankelijke en de afhankelijke variabelen vastgesteld, evenals de te hanteren methodieken en de onderzoekspopulatie (proefpersonen). De beschikbare kennis, populatie en middelen spelen hierbij een begrenzende rol.

### **5.3.2 De onafhankelijke variabelen**

De onafhankelijke variabelen bestaan uit meetbare aspecten van de belastende factoren. Hiermee is aangegeven dat in de vertaling van de belastende factoren naar de onafhankelijke variabelen meestal een reductie van de werkelijkheid plaatsvindt. Niet alle relevante aspecten van een belastende factor zijn meetbaar, doseerbaar of zelfs bekend. Expositie aan geluid wordt bijvoorbeeld meestal geoperationaliseerd in de (equivalente) geluidsdruk, terwijl een aantal andere aspecten, zoals genoemd in de inleiding tot 4.1, eveneens van belang zijn. Een ander voorbeeld is de klimaatbeschrijving waarin over het algemeen met een temperatuurmeting wordt volstaan (zie 4.1.2 en 4.2.1). Wanneer combinaties van belastende factoren bestudeerd worden leidt dit tot een nog sterkere reductie van de werkelijkheid, toenemend met het aantal factoren. Een deel van de dimensies van een factor wordt immers gecombineerd met een deel van de dimensies van een andere factor. Dit betekent overigens niet dat meervoudige belasting daarom maar beter niet onderzocht kan worden. De conclusie is wel dat onderzoekers zich bijzonder goed rekenschap moeten geven van de aanzienlijke hoeveelheid informatie die zij buiten beschouwing laten. De indruk bestaat dat een dergelijke afweging nogal eens ontbreekt.

### **5.3.3 De onderzoeksmethode**

Aansluitend op de voorgaande overwegingen vindt de keuze van de onderzoeksmethode plaats, en bij experimenteel onderzoek de keuze tussen veld-experiment en laboratoriumexperiment. Zonder uitvoerig op de voordelen en de nadelen van deze twee methoden in te gaan moeten hier enkele opmerkingen gemaakt worden met het oog op de bestudering van meervoudige belasting.

In de eerste methode wordt de proefpersoon in een laboratorium geïsoleerd, waarbij een aantal condities nauwkeurig gecontroleerd wordt. Zoals bekend heeft laboratoriumonderzoek als voornaamste voordelen de beperking van "ruis", de standaardisatie van de situatie en de reproduceerbaarheid. Vooral in de psychologie levert dit echter nogal eens artificiële resultaten op. De laboratoriumsituatie is een zeer specifieke arbeidssituatie, waarin bv. de isolatie en de anticipatie op de onderzoeksvraag een onduidelijke belasting genereren. In fysiologisch laboratoriumonderzoek is de taak vaak zo specifiek dat aan de bruikbaarheid van de resultaten, in concrete arbeidssituaties (de externe validiteit) getwijfeld kan worden.

De tweede manier van onderzoeken is een veldonderzoek, op de normale arbeidsplaats. Veldonderzoek vindt zijn kracht vooral in het realisme van de situatie en de externe validiteit. In veldexperimenten zijn minder factoren controleerbaar en manipuleerbaar. Zij spelen echter wel een rol in de onderzoeksresultaten. Hoewel dus niet altijd duidelijk zal zijn waaraan men bepaalde effecten moet toeschrijven, geven deze wel een reëel beeld van de betreffende arbeidssituatie. Het is moeilijk de gehele arbeidssituatie in het onderzoek te betrekken; er wordt slechts een beperkt aantal factoren in het onderzoeksdesign betrokken, of er wordt gewerkt met een aantal niet-specifieke belastingsmaten die door convergerende evidentie gezamenlijk een beeld moeten geven van de totale belasting. In beide gevallen blijft vaak onduidelijk welke combinatie van belastende factoren tot welke belasting leidt.

In ruime kring bestaat de consensus dat laboratorium- en veldonderzoek elkaar aanvullen. Het overgrote deel van de in dit rapport besproken experimenten betreft echter laboratoriumexperimenten. Onderzoekers kiezen blijkbaar voor controle boven realisme. Dat er zo weinig veldexperimenten plaatsvinden is spijtig aangezien de toenemende interesse naar meervoudige belasting met name voortkomt uit het besef dat met kennis over enkele belastende factoren niet volstaan kan worden bij de evaluatie van arbeidssituaties. Er zullen meer onderzoeksmethodieken ontwikkeld moeten worden om effecten van combinaties van belastende factoren te kunnen onderzoeken zonder het zicht op de onderliggende processen te verliezen. Wellicht zullen onderzoekers vaker moeten accepteren niet alle beïnvloedende factoren onder controle te hebben. Een mogelijke oplossing is het combineren van beide onderzoeksmethoden. Werknemers zouden zowel in de dagelijkse arbeidssituatie als in gestandaardiseerde omstandigheden onderzocht kunnen worden. Vergelijking van de resultaten in beide situaties kunnen dan tot inzicht leiden in de aspecten van de belastende factoren die van belang zijn voor de afhankelijke maten. Dat hierbij aanzienlijke praktische belemmeringen overwonnen moeten worden is duidelijk, maar het lijkt de aangewezen methode om bovengenoemde problemen het hoofd te bieden. Een tweede oplossing is het gedurende langere tijd registreren van een aantal onafhankelijke en afhankelijke variabelen om via longitudinale en epidemiologische analyses grote groepen werknemers te kunnen onderzoeken.

#### **5.3.4 Het onderzoeksontwerp (design)**

Over de voor- en nadelen van het gebruik van onderzoeksontwerpen met vergelijkingen tussen proefpersonen (between subjects design, ook wel fac-

torial design) danwel met vergelijkingen binnen proefpersonen (within subjects design) bestaan elkaar bestrijdende scholen. Sommige auteurs hebben een uitgesproken voorkeur voor vergelijkingen tussen proefpersonen. Het voornaamste argument ligt in het uitsluiten van ongelijke overdracht (volgorde effect). Ongelijke overdracht is het verschijnsel dat bij herhaalde metingen onder verschillende condities de hoogte van de afhankelijke variabele afhankelijk is van de volgorde waarin de condities werden toegediend. Dit treedt bijvoorbeeld op wanneer de prestatie op een onduidelijke taak wordt gemeten met en zonder mededeling van het resultaat aan de proefpersoon. Proefpersonen die eerst de test hebben uitgevoerd in de conditie met kennis van de resultaten zullen in de andere conditie beter presteren (omdat zij meer hebben geleerd van hun fouten) dan proefpersonen die eerst hebben aange-modderd zonder te weten of hun antwoorden goed of fout waren. Het voordeel van vergelijkingen binnen proefpersonen is vooral gelegen in het ontbreken van verschillen tussen groepen proefpersonen die storende effecten op de afhankelijke variabele kunnen veroorzaken. Hier speelt het probleem een vergelijkbare groep te vinden een rol, maar ook is het niet altijd eenvoudig om in een bestaande arbeidssituatie verschillende niveaus van de onafhankelijke variabele te bewerkstelligen. Derhalve worden in veldonderzoek zo veel als mogelijk is groepen vergeleken die op de onafhankelijke variabele verschillen en voor de overige relevante factoren gelijk zijn. Verschillen in leeftijd, expositieduur, sexe, organisatiestructuur en dergelijke kunnen de resultaten dan aanzienlijk beïnvloeden. De meest gekozen oplossing is het uitvoeren van een laboratoriumexperiment met vergelijkingen tussen steekproeven uit een homogene populatie. Hierop wordt in de volgende paragraaf verder ingegaan. Evenals in de vorige paragraaf moet hier de voorkeur gegeven worden aan combinatie en afwisseling van onderzoeksontwerpen (eventueel in meerdere studies), met expliciete onderkenning van de storende invloeden. Daarnaast lijkt het wenselijk om meer dan nu het geval is veldexperimenten uit te voeren met vergelijkingen binnen proefpersonen. Voor diverse belastingmaten kunnen betrouwbare referentiewaarden gevonden worden door metingen uit te voeren op rustdagen. Daarbij moet dan wel expliciet gezocht worden naar mogelijke verschijnselen van ongelijke overdracht.

Ten slotte wordt geconstateerd dat met name in laboratoriumexperimenten de expositieduur nogal eens bijzonder kort is. Veel combinaties van belastende factoren zullen pas na een aanzienlijke periode van blootstelling meetbare effecten vertonen. Om enigszins verzekerd te zijn van generaliseerbare resultaten dient voor veel belastende factoren de expositieduur op zijn minst vergelijkbaar te zijn met expositieperioden tijdens de normale werkdag. Voor een aantal factoren is dit zelfs nog te kort. Het is niet haalbaar om



proefpersonen altijd gedurende hele dagen te onderzoeken. Aan de externe validiteit van expositieperiodes van slechts enkele minuten mag echter getwijfeld worden.

### **5.3.5 De afhankelijke variabelen**

De afhankelijke variabelen die in dit rapport besproken worden zijn ruwweg te verdelen in belastingsmaten en prestatie-maten. De prestatie-maten worden door de verschillende auteurs over het algemeen ghanteerd als belasting-maten.

Eerder zijn reeds enkele opmerkingen gemaakt over het onderscheid tussen prestatie-maten en belasting-maten (4.3.3 en 4.6.4). Prestatie-maten worden vaak gebruikt als belasting-maten maar kunnen hier niet zonder meer gelijk mee worden gesteld. Afhankelijk van inspanning, strategie en vaardigheid van de proefpersoon kunnen bij gelijke prestatieniveaus verschillende belastings-effecten optreden. Dit onderscheid wordt over het algemeen onvoldoende onderkend, of onderzoekers zijn in eerste instantie geïnteresseerd in de prestatie (productie) en minder in de daarmee samenhangende belasting. Naast een verschil in interesse, voortvloeiend uit de gestelde onderzoeksvraag (zie 5.2), speelt hier een meer principiële probleem. Wanneer men een proefpersoon een taak laat uitvoeren om op deze wijze een maat voor de belasting te verkrijgen, wordt een nieuwe belastende factor toegevoegd. Inherent aan een de prestatietest zijn immers een aantal taakkenmerken die, zoals uit deze inventarisatie blijkt, kan interfereren met de belastende factoren die deel uit maken van de onafhankelijke variabelen. Men meet dus niet alleen effecten van de onafhankelijke variabele, maar tevens effecten van (interactie met) de taakeisen van de prestatietest.

Er verschijnen nog steeds publicaties waarin experimenten worden beschreven waarin metingen zijn verricht zonder standaardisatie van het tijdstip van meting. Gezien de aanzienlijke kennis die beschikbaar is over circadiane verschillen in psychofysiologisch functioneren zou dit niet meer voor mogen komen.

### **5.3.6 De proefpersonen**

Er is een overweldigende hoeveelheid data beschikbaar over het functioneren van jonge, mannelijke studenten in laboratoriumsituaties onder vele verschillende omstandigheden. Ook militairen zijn veelgebruikte proefpersonen. Het

gebruik van deze groepen lijkt meestal meer ingegeven door pragmatische dan door inhoudelijke overwegingen. De beschikbaarheid en de lage kosten zijn waarschijnlijk doorslaggevende motieven. Op veel universiteiten is deelname aan een zeker aantal experimenten onderdeel van de studiekeisen. Proefpersoonuren worden ook veelvuldig vergoed in studiepunten. Gezien de relatief flexibele dagindeling en de bescheiden inkomsten van studenten zijn zij ook gemakkelijk beschikbaar voor betaalde experimenten en experimenten op ongebruikelijke tijdstippen. Onder dienstplichtig militairen heeft het begrip vrijwilliger vanouds al een heel eigen betekenis.

Slechts weinig onderzoekers lijken zich af te vragen welke betekenis het gebruik van dergelijke homogene groepen heeft voor de validiteit van de onderzoeksresultaten. Door de homogeniteit in leeftijd, sexe en levensstijl zal de variantie op veel afhankelijke maten ernstig beperkt worden. Bovendien zouden juist onderzoekers moeten onderkennen dat het anticiperen op de vermeende onderzoeksvraag een van de meest aantrekkelijke aspecten is van deelname aan experimenten. De genoemde groepen hebben meestal een aanzienlijk aantal experimenten deelgenomen en hebben op een aantal veelvuldig voorkomende taken als reactietests en trackingtaken een opmerkelijke vaardigheid ontwikkeld.

Zonder in stereotypen te willen vervallen kan met enige zekerheid gesteld worden dat studenten voor onderzoek waarin het functioneren op diverse tijdstippen van dag en nacht een rol speelt ongeschikt zijn. Militairen hebben allen een uitgebreide lichamelijke keuring ondergaan en zullen in fysiologisch opzicht een geringe variabiliteit vertonen. De externe validiteit van onderzoek met dergelijke selecte steekproeven uit de samenleving is noodzakelijkerwijs gering. Enigszins gechargeerd kan men zeggen dat onderzoek met studenten kennis oplevert over studenten en onderzoek met militairen kennis verschaft over militairen. Overigens is dit bij de laatste groep vaak het enige oogmerk van de onderzoekers.

Het relatief geringe gebruik van vrouwen, ouderen (ouder dan 30 jaar), buitenlandse werknemers en kwetsbare groepen is een ernstig tekort in het huidige onderzoek naar belasting. Gezien de grote individuele verschillen die in veel onderzoek aangetroffen worden zouden met name de gevolgen voor kwetsbare groepen verder onderzocht moeten worden. Een uitspraak over gemiddelden geeft immers een onderschatting van de gevolgen voor groepen met een grotere reactiviteit.

Indien onderzoekers zich in gelijke mate als nu blijven beperken tot selecte steekproeven, zal de kennis over belasting in toenemende mate afwijken van

de gewenste kennis over het functioneren in arbeidssituaties. Het zal voor critici steeds eenvoudiger worden om onderzoeksresultaten te diskwalificeren als niet relevant.

Het gebruik van collega onderzoekers en goed geïnformeerde medewerkers als proefpersonen dient te worden vermeden. Ook het hanteren van verschillende metingen per proefpersoon als onafhankelijke gegevens (voor "tussen proefpersoon" vergelijkingen) moet afgeraden worden.

## **5.4 DE RAPPORTAGE**

In artikelen zijn auteurs gedwongen zich beperkingen op te leggen bij de beschrijving van onderzoek. Het blijkt echter dat in een aanzienlijk aantal publicaties zo veel informatie wordt weggelaten dat niet of slechts met moeite te achterhalen valt hoe het onderzoek is uitgevoerd en op welke resultaten de conclusies berusten. In enkele gevallen zijn verschillende publicaties over hetzelfde onderzoek nodig om opzet en resultaten te kunnen beoordelen. Een aantal aspecten van het onderzoek dienen in iedere publicatie te worden beschreven. Dit zijn het aantal proefpersonen dat in de uiteindelijke analyse gebruikt wordt, het onderzoeksontwerp en de analysemethodieken. Een opzienbarend aantal publicaties is met name waar het de statistische verwerking betreft onvolledig. Indien statistische toetsing plaats vindt kan niet volstaan worden met de mededeling dat bepaalde effecten al dan niet statistisch significant zijn. Voor een juiste interpretatie door de lezer moeten zowel de aard van de toetsing, de toetsingsgrootte en het aantal vrijheidsgraden vermeld worden. In dit rapport zijn een aantal op het eerste gezicht interessante onderzoeksresultaten onbesproken gebleven vanwege de onvolledige rapportage.

## **5.5 CONCLUSIES**

De hiervoor geformuleerde kritische kanttekeningen hebben deels een algemeen karakter, deels hebben zij betrekking op onderzoek naar meervoudige belasting. De indruk zou kunnen ontstaan dat er in deze studie wel erg hoge eisen zijn gesteld en dat slechts weinig onderzoeken hieraan kunnen voldoen. Dit is niet het geval. In deze studie heeft gezien het inventariserende karakter slechts een marginale toetsing van de publicaties plaats gevonden. Bij een inventarisatie van onderzoeksresultaten hoort echter ook een inventarisatie van methodische tekortkomingen. De kanttekeningen zijn geplaatst om een bescheiden bijdrage te leveren aan de signalering van knelpunten en

om een aantal mogelijke verbeteringen te suggereren. Indien het de onderzoekers op het gebied van meervoudige belasting ernst is bij de ontwikkeling van dit terrein, zullen zij elkaars werk kritisch moeten blijven beoordelen en zelf een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betrachten.

## 6. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

### 6.1 INLEIDING

In wetenschappelijk onderzoek wordt in toenemende mate aandacht besteed aan meervoudige belasting in arbeidssituaties. Er valt ook steeds vaker een multi-disciplinair gezichtspunt te constateren. Daarbij wordt voornamelijk de kennis in de arbeidsgeneeskunde, de arbeids- en organisatiepsychologie en de ergonomie gebundeld. De meeste studies worden echter nog steeds vanuit één bepaalde discipline verricht.

In dit rapport wordt als definitie van arbeidsbelasting gehanteerd: het proces waarin responsen in het menselijk organisme worden opgeroepen door de taak arbeid te verrichten. Dit is een ruime, procesgerichte omschrijving waarin de belastende factoren voortkomen uit zowel de arbeidsinhoud, de arbeidssomstandigheden, de arbeidsvoorwaarden en de arbeidsverhoudingen. De effecten van de belasting worden beschreven met de begrippen additie, synergisme en antagonisme. In tegenstelling tot het meeste wetenschappelijk onderzoek wordt de aandacht echter gericht op alle combinaties van factoren waarbij de belastingseffecten duidelijk afwijken van het effect van de meest belastende factor.

Als de aangetroffen publicaties ingedeeld worden naar de onderzochte belastende factoren blijkt een aantal factoren duidelijk meer bestudeerd te zijn dan andere. Dit zijn met name geluid, klimaat, spierarbeid, vibratie, chemische stoffen en cognitieve taakeisen. De laatstgenoemde factor wordt echter meestal niet systematisch gevarieerd maar in verschillende vormen als afhankelijke variabele gehanteerd. Sommige combinaties van factoren blijken in weinig of geen van de aangetroffen publicaties voor te komen, hoewel men dit wel zou verwachten. Dit betreft met name combinaties waarin één van de belastende factoren in de afhankelijke maten (bijvoorbeeld in post-werk tests) gevarieerd is. Blijkbaar is aan deze publicaties de betreffende factor niet als Thesaurus term toegekend, en wordt deze noch in de titel, noch in de abstracts genoemd. Men kan veronderstellen dat de auteurs deze factoren niet als essentieel voor de meting van de effecten van de onafhankelijke variabele hebben beschouwd. Het achterhalen van dergelijke publicaties vereist meer gedetailleerde zoekacties binnen bepaalde vakgebieden dan in deze literatuurstudie zijn uitgevoerd.

## 6.2 RESULTATEN

De voornaamste conclusies uit hoofdstuk 4 worden hier samengevat. Combinaties worden slechts éénmaal behandeld, bij de factor die als eerste aan bod komt.

### 6.2.1 Geluid

Geluid is de meest voorkomende belastende factor in onderzoek naar combinaties van belastende factoren. Er zijn aanwijzingen voor een vergrote verhoging van de gehoordrempel bij combinatie met hoge temperaturen, met name in het frequentiegebied van 4–8 kHz. Door vasoconstrictie lijkt de ontwikkeling van het Raynaud syndroom (witte vingers) bij lage temperaturen door de aanwezigheid van hoge geluidsniveaus bevorderd te worden. Er valt weinig definitiefs te zeggen over de gevolgen op de prestatie bij combinatie van geluid en afwijkende temperaturen.

Combinatie van blootstelling aan een hoog geluidsniveau en het uitvoeren van dynamische spierarbeid lijkt een antagonistisch effect op de bloeddruk te geven.

Met betrekking tot de combinatie van geluid en trillingen van het gehele lichaam zijn geen eenduidige conclusies te trekken op het gebied van de prestatie. Een extra verhoging van de gehoordrempel is te verwachten, waarschijnlijk door een verminderde bloeddorstrooming in de gehoororganen. Dit kan bij langdurige blootstelling leiden tot een toename in de gehoorschade. Waarschijnlijk is er een verhoogd risico op witte vingers indien hand-arm trillingen gecombineerd worden met een hoog geluidsniveau.

Er zijn aanwijzingen dat voor een aantal chemische stoffen geldt dat expositie de gehoorschade door blootstelling aan hoge geluidsniveaus versterkt. Op basis van deze rapportage is echter geen duidelijk overzicht te geven.

De combinatie van geluidsexpositie en verschillende soorten cognitieve taakeisen is voornamelijk onderzocht op de gevolgen voor de prestatie. Het effect van de taakeisen wordt dan meestal afgeleid uit de resultaten van prestatietests die als afhankelijke maat gehanteerd worden. De cognitieve taakeisen zijn niet systematisch gevarieerd. Er bestaat een interferentie op de taakuitvoering. Deze kan voortkomen uit verandering van de arousal, beperkingen in de mentale kanaalcapaciteit, het maskeren van belangrijke informatie en het maskeren van "inner speech". Ruwweg kan gesteld worden

dat geluid een stimulerende werking kan hebben bij eenvoudige en saaie taken, en dat naarmate de vereiste aandacht toeneemt geluid als hinderlijk wordt ervaren.

Blootstelling aan hoge geluidsniveaus vermindert (door pupilverwijding) de waarneming. Het effect van verlichting is sterker en een voldoende niveau van verlichting lijkt deze vermindering dan ook te kunnen voorkomen.

De combinatie van hoge geluidsniveaus en het uitvoeren van vigilantietaken is bijzonder vaak onderzocht. Door grote verschillen in onderzoeksmethodieken en afhankelijke en onafhankelijke maten zijn de resultaten echter zo tegenstrijdig dat er geen conclusies mogelijk zijn.

Door verhoging van de arousal heeft geluidsexpositie verschillende effecten op verschillende tijdstippen. Enig geluid kan bij eenvoudig nachtwerk stimulerend werken, terwijl hetzelfde geluid overdag hinderlijk kan zijn. Op dit gebied zijn voornamelijk prestatiemetingen verricht. De invloeden op de belasting vormen een belangrijk onderwerp maar zijn amper onderzocht.

De mogelijkheid om het geluidsniveau te beïnvloeden kan de negatieve effecten van het geluid beperken. Een bepaalde hoeveelheid geluid heeft dus verschillende effecten, afhankelijk van de regelmogelijkheden van de taakuitvoerder.

## **6.2.2 Klimaat en atmosferische omstandigheden**

Temperatuur, vochtigheid en zuurstofgehalte van de omgeving lenen zich gemakkelijk voor manipulatie in de laboratoriumomgeving en zijn op de werkvloer relatief eenvoudig vast te leggen.

Klimaatfactoren worden dan ook vaak in studies naar de effecten van eenvoudige belasting betrokken of als constant gehouden omgevingsvariabele in de rapportage vermeld. Het bestuderen van atmosferische condities blijft veelal gereserveerd voor studies, gericht op specifieke beroepsgroepen.

De combinatie warmte en fysieke arbeid leidt tot een effect op de lichaamstemperatuur maar of het een meer dan additief effect is, blijft vooralsnog onduidelijk. Ditzelfde geldt voor het effect van de combinatie van warmte met trillingen.

Het effect van chemische stoffen kan op vele wijzen afhankelijk zijn van temperatuurscondities. Deze dienen in toxicologisch onderzoek dan ook gevarieerd te worden.

De prestatie op cognitief-belastende taken neemt af bij stijging van de omgevingstemperatuur boven het punt waarop de lichaamstemperatuur constant kan worden gehouden. Het effect treedt des te eerder op naarmate de taak om een meer complexe respons vraagt.

Temperatuur en verlichting lijken een tegengesteld effect te veroorzaken op de prestaties op typische 'schooltaken', kantoorarbeid e.d..

De prestatie op vigilantietaken is afhankelijk van de hoogte van de omgevingstemperatuur.

Onveilig gedrag lijkt een temperatuursafhankelijke component te hebben.

Het betrekken van de mate van tijdsdruk en van het schema van werk- en rusttijden is in onderzoek naar temperatuurseffecten aangewezen.

Onderzoek naar effecten van verschillende zuurstofgehalten in de inademiningslucht blijft beperkt tot combinaties met cognitieve taken, vigilantietaken of visuele taken. Prestaties op deze taken nemen af bij daling van het zuurstofgehalte in de inademiningslucht.

### **6.2.3 Fysieke arbeid**

Het verrichten van fysieke arbeid in combinatie met blootstelling aan vibratie resulteert in een verslechterde motoriek, waardoor eerder fouten gemaakt zullen worden en een grotere inspanning vereist is. Statische spierarbeid, zoals bij het vasthouden van trillend gereedschap, en dynamische arbeid waarbij de hand langdurig beneden hartniveau gehouden wordt, vergroten de kans op de ontwikkeling van het Raynaud syndroom. Vibratie van het gehele lichaam kan pooling van bloed in de onderste lichaamshelft tot gevolg hebben. Dynamische spierarbeid kan dit verschijnsel tegengaan.

Algemeen gesproken levert dynamische spierarbeid bij aanwezigheid van chemische stoffen een vergroot risico op voor toxische effecten. De opname van stoffen door zowel de longen als de huid wordt door dynamische arbeid namelijk verhoogd.

Fysieke arbeid verhoogt het arousal niveau en is daarmee van invloed op de uitvoering van cognitieve taken. Afhankelijk van het optimale niveau voor een



bepaalde taak kan fysieke arbeid daardoor stimulerend danwel remmend werken.

De maximale fysieke prestaties vertonen een circadiane cyclus die synchroon loopt aan de veranderingen in de lichaamstemperatuur. De top voor lichamelijke prestaties licht dus aan het eind van de middag. Bij de noodzaak om gelijke prestaties te leveren op andere tijdstippen zal derhalve een groter deel van de capaciteit aangesproken worden, hetgeen zal resulteren in grotere vermoeidheidseffecten.

Sterk repetitieve arbeid brengt een grote plaatsgebondenheid met zich mee. Bepaalde dynamische handelingen die met een hoge frequentie verricht moeten worden leiden tot eenzijdige belasting. Door de gefixeerde houding die men vaak moet aanhouden is er bovendien sprake van een aanzienlijke statische spierarbeid. Deze belastingen leiden nogal eens tot nek-, schouder- en armlachten.

Het gebruik van adem(beschermings)apparatuur in combinatie met dynamische fysieke arbeid zoals bijvoorbeeld plaatsvindt bij duikers, brandweerlieden en militairen brengt met zich mee dat de uitputtingsgrens eerder bereikt wordt. Er zullen dan ook vaker rustpauzes ingelast moeten worden.

## **6.2.4 Trillingen, versnelling, vertraging**

Combinatie van blootstelling aan trillingen en chemische stoffen komt veel voor bij de besturing van motorvoertuigen en bij het gebruik van gereedschap zoals motorkettingzagen. Gerapporteerd wordt dat chemische stoffen zoals lood, kobaltstof en kwartsstof een sterker toxisch effect hebben bij gecombineerde expositie aan vibratie. Normering per werkplek is daarom dan ook gewenst. Aan dit belangrijke onderwerp is in wetenschappelijk onderzoek nog te weinig aandacht besteed.

Bij lange reizen in motorvoertuigen treedt langdurige blootstelling aan trillingen op in combinatie met hoge vigilantie-eisen. Doordat trillingen van het gehele lichaam gecompenseerd worden door aanspanning van spieren in het bovenlichaam treedt een verhoging van de arousal op. Hierdoor blijft het te verwachten prestatieverlies vaak uit. Het is echter aan te nemen dat hiermee een vergroting van de belasting gepaard gaat.

Emotionele situaties kunnen een potentierende rol spelen in de ontwikkeling van witte vingers. Bij gelijktijdige expositie aan hand-arm trillingen moet

derhalve rekening gehouden worden met een versnelde ontwikkeling van dit syndroom.

## **6.2.5 Chemische stoffen**

Expositie aan kooldioxyde vertraagt de responsselectie in de informatieverwerking. Bij blootstelling aan koolmonoxyde wordt men minder alert door hypoxie in de hersenen. Deze stoffen zullen dus de uitvoering van cognitief complexe taken bemoeilijken.

Normen voor blootstelling aan chemische stoffen zijn gebaseerd op een acht uren werkdag. Indien langere tijd in aanwezigheid van chemische stoffen gewerkt wordt zullen de normen aan die langere werktijden aangepast moeten worden.

Door het werken op afwijkende werktijden zoals in ploegendienst, treedt circadiane desynchronisatie op. Hierdoor verandert de opname van toxische stoffen en zullen de toxische effecten eveneens verschillen. Bij normering zal aan deze aspecten aandacht moeten worden besteed.

## **6.2.6 Cognitieve taakeisen**

Er zijn vele aanwijzingen dat de uitvoering van vigilantietaken mede afhangt van de aard van de cognitieve processen die daarbij een rol spelen. De aard van deze beïnvloeding blijft vooralsnog echter onduidelijk. Er is behoefte aan experimenten waarin verschillende soorten taken vergeleken worden gedurende langere tijd, en waarin andere groepen proefpersonen dan studenten onderzocht worden.

Op het gebied van de relatie tussen tijdstip van taakuitvoering en de cognitieve taakeisen is voornamelijk prestatieonderzoek verricht. Hierin staat de arousal-theorie, die stelt dat de uitvoering afhangt van het ritme van de lichaamstemperatuur, onder druk van een multi-oscillator model dat uitgaat van meerdere endogene en exogene factoren. Over het algemeen wordt in veldonderzoek gevonden dat de prestatie 's nachts slechter is dan overdag en dat er relatief meer ongevallen plaatsvinden. Voor complexe taken met een grote geheugencomponent wordt de beste prestatie in laboratoriumstudies echter gevonden tussen 24 en 2 uur 's nachts. Geheugenonderzoek wijst met enig voorbehoud op een beter functioneren van het korte termijn geheugen 's nachts, in tegenstelling tot het lange termijn geheugen. Door het

werken in ploegendienst kan slaapttekort ontstaan. Bij interessante taken heeft dit minder schadelijke gevolgen voor de prestatie dan bij saai werk.

Bij het werken onder tijdsdruk valt niet alleen te verwachten dat de ervaren belasting toeneemt, maar dat bovendien de doelen en methoden (strategie) van de taakuitvoerder zullen wijzigen en dat de uitkomsten van beslissingsprocedures zullen veranderen.

### **6.2.7 Vigilantie**

Een beperkt aantal publicaties wijst erop dat de prestatie op eenvoudige vigilantietaken ruwweg het circadiane ritme van de lichaamstemperatuur volgt, met een top laat in de middag. De belasting is niet onderzocht.

Sociale contacten kunnen het arousal-niveau op peil houden en daarmee een teruggang in de prestatie op vigilantietaken voorkomen.

## **6.3 BEPALING VAN DE ARBEIDSBELASTING**

In dit rapport zijn een aantal belangrijke begrippen rond arbeidsbelasting gedefinieerd en in een algemeen theoretisch kader geplaatst. Na analyse van een groot aantal publicaties betreffende het voorkomen van meerdere belastende factoren kan met zekerheid gesteld worden dat met gegevens over de belastingsverschijnselen bij expositie aan enkelvoudig optredende factoren niet volstaan kan worden bij de bepaling van de belasting in een arbeidsplaats. Het algemene model van de ontwikkeling van belastingsverschijnselen en -gevolgen zoals gegeven in hoofdstuk 2 biedt dan ook onvoldoende houvast voor de bepaling van de integrale belasting. Gezien de nog beperkte ontwikkeling van meervoudige belasting als onderzoeksgebied en de grootte van dit gebied, is het niet mogelijk een gedetailleerd voorspellingsmodel op te stellen. Wel kan een ruwe procedure worden opgesteld waarmee een betrouwbaar beeld van de belasting in een bestaande of nog te ontwerpen arbeidsplaats kan worden gegeven.

De praktijkanalyse dient uit te gaan van beschrijvingen van de arbeidsstructuur en van de taakuitvoerder. Derhalve zal eerst een redelijk gedetailleerde arbeidsplaatsanalyse plaats moeten vinden. Belastende factoren kunnen voortkomen uit de arbeidsinhoud, de arbeidsomstandigheden, de arbeidsvoorwaarden en de arbeidsverhoudingen. Deze deelgebieden dienen dan ook ieder in kaart gebracht te worden. Enkele aandachtspunten hierbij zijn:

- Arbeidsinhoud:**
- de handelingen die verricht moeten worden,
  - de vereiste cognitieve processen,
  - de volgorde van handelingen,
  - de functionele samenwerkingsverbanden,
  - de tijdsdruk.
- Arbeidsomstandigheden:**
- de externe fysische, chemische en biologische factoren,
  - de expositieduur,
  - de intensiteit van de exposities,
  - de volgorde van de exposities aan de verschillende factoren,
  - de duur van gecombineerde expositie,
  - de beschikbare middelen.
- Arbeidsvoorwaarden:**
- de werk- en rusttijden,
  - de beloningsvorm,
  - de scholings- en promotiemogelijkheden,
  - de arbeidszekerheid.
- Arbeidsverhoudingen:**
- de organisatiestructuur,
  - de sociale verhoudingen,
  - de zeggenschapsstructuur.

Tevens moet bepaald worden welke mogelijkheden de taakuitvoerder heeft om zelf invloed uit te oefenen op deze aspecten (de regel mogelijkheden).

Met behulp van deze inventarisatie van aspecten van de arbeidsstructuur kan een functieprofiel opgesteld worden. Van de taakuitvoerders kunnen een aantal relevante kenmerken bepaald worden die de mate waarin belastende factoren leiden tot belastingeffecten kunnen beïnvloeden (de capaciteit). Dit zijn bijvoorbeeld leeftijd, geslacht, opleiding, ervaring, nationaliteit en bijzondere kenmerken zoals lichamelijke handicaps.

Op basis van de beschikbare kennis over meervoudige belasting en de capaciteit van de uitvoerders zijn nu combinaties van belastende factoren te onderscheiden waarbij combinatie-specifieke belastingeffecten te verwachten zijn. Afhankelijk van de doelen en praktische mogelijkheden van de onderzoeker kunnen vervolgens afhankelijke en onafhankelijke variabelen en de onderzoeksmethoden gekozen worden.

Een van de belangrijkste conclusies die uit het verzamelde onderzoek naar meervoudige belasting getrokken kunnen worden, is dat een zorgvuldige

analyse van de vier aspecten van de arbeidsplaats essentieel is voor het verkrijgen van zinvolle informatie over de arbeidsbelasting. Hoewel nauwelijks vermeld in publicaties moet worden aangenomen dat verschillen in verwerkingsvermogen eveneens van belang zijn voor het verloop van het belastingsproces.

## **6.4 LACUNES EN SUGGESTIES VOOR NADER ONDERZOEK**

Bij beschouwing van het kwantitatieve overzicht van de aangetroffen literatuur (zie 3.4), valt vooral de concentratie op enkele deelgebieden op. Het betreft hier voornamelijk belastende factoren met een fysisch karakter. Factoren die betrekking hebben op de taakhoud, de arbeidsvoorwaarden en de arbeidsverhoudingen zijn duidelijk minder aangetroffen. Op al deze gebieden is wel uitgebreid onderzoek verricht maar in deze studie blijven zij ondervertegenwoordigd. Dit kan enkele oorzaken hebben:

- a. De betreffende factoren zijn niet op systematische wijze in combinatie met andere factoren onderzocht.
- b. Zij zijn wel in verschillende combinaties onderzocht, maar een aantal factoren wordt niet door de onderzoekers als belastende factoren beschouwd. Dit kan met name het geval zijn bij het gebruik van post-werk tests, waarvan de specifieke kenmerken niet geacht worden de belastingsverschijnselen te beïnvloeden.
- c. Ontsluiting van literatuur op deze gebieden vereist andere methodieken dan in deze studie zijn gehanteerd.

Voor het aangeven van lacunes, en het doen van aanbevelingen voor toekomstig onderzoek zijn de punten a en b het meest relevant. Het derde punt zal zeker van enige invloed zijn geweest, maar de uitgebreide en systematische aanpak van de literatuurontsluiting lijkt vooralsnog toereikend voor het doen van algemene uitspraken.

Met betrekking tot het tweede punt zijn enkele opmerkingen te plaatsen. Het definiëren van kenmerken van de taakhoud, de arbeidsvoorwaarden en de arbeidsverhoudingen als belastende factor (stressor) is niet algemeen gebruikelijk. Dit geldt met name voor aspecten van de taakhoud (een uitzondering vormt bijvoorbeeld het onderzoek naar vigilantie). Er zijn echter geen principiële bezwaren tegen dit gebruik, terwijl het grote voordelen biedt voor de beschrijving van het ontstaan van belastingsverschijnselen. De beoordeling van de geschiktheid van een post-werk test voor de bepaling

van de belasting dient te geschieden door vergelijking van de aard van de belasting tijdens het werk met de aard van de belasting tijdens de test. Een post-werk test dient dezelfde functiesystemen aan te spreken als de arbeidstaak. Effecten van visuele vermoeidheid kunnen bijvoorbeeld het beste gemeten worden met een visuele post-werk test. Bij het gebruik van tests met andere eigenschappen kan interactie optreden die, bij onvoldoende onderkenning, tot foutieve gevolgtrekkingen kan leiden. De indruk bestaat dat het gebruik van post-werk tests vaak te willekeurig plaats vindt, waardoor effecten van meervoudige belasting niet onderkend worden.

De grootste hiaten in het huidige onderzoek naar meervoudige belasting lijken te zitten in het combineren van factoren die traditioneel binnen verschillende vakgebieden vallen. Arbeidspsychologisch, arbeidshygiënisch, arbeidsfysiologisch en arbeidsgeneeskundig onderzoek zou meer gecombineerd moeten worden. Het ontstaan van multi-disciplinaire onderzoeksinstituten en samenwerkingsverbanden is essentieel voor dergelijk onderzoek. Specialisatie op deelreinen van belastingsonderzoek kan alleen zinvol zijn voor de arbeidspraktijk indien de onderzoeksresultaten blootgesteld worden aan kritische beschouwing door vertegenwoordigers van andere disciplines.

Andere lacunes in het huidige onderzoek zijn te vinden in het gebrek aan proefpersoonpopulaties die representatief zijn voor de beroepsbevolking (te weinig werknemers, ouderen, vrouwen en buitenlandse werknemers), en het nagenoeg niet voorkomen van groepen met een verhoogde kwetsbaarheid. Het is met name van belang dat in toekomstig onderzoek verschillen in belastbaarheid tot onderwerp van studie gemaakt worden. Het is nu nog te onduidelijk welke waarde de gevonden onderzoeksresultaten hebben voor groepen die hetzij door persoonlijke factoren, hetzij door gevolgen van de voorliggende belasting (slijtage) een verminderde capaciteit hebben.

In de inleiding is gesteld dat één van de doelstellingen van deze literatuurstudie is te onderzoeken of een aanvang genomen kan worden met de ontwikkeling van een model van arbeidsbelasting waarbinnen de bestaande kennis over meervoudige belasting geplaatst kan worden. Uit de resultaten blijkt dat het op dit moment nog niet mogelijk is om een bruikbaar model, met mogelijke voorspellingen van de belastingseffecten te poneren. Gezien de concentratie van onderzoek op deelgebieden lijkt het maximaal haalbare op dit moment modelvorming voor een aantal verwante belastende factoren. Hiervoor zou aanvullende studie op de verschillende concepten van interactie noodzakelijk zijn. De combinatie van fysische, chemische en biologische factoren enerzijds, en psycho-sociale factoren en kenmerken van de taak

anderzijds is nog te weinig onderzocht om tot een betrouwbaar werkmodel te komen.

Concluderend kan gesteld worden dat het combineren van verschillende belastende factoren terrein wint over de één-factor methode. Voorlopig valt een algehele integratie van belastingsonderzoek echter nog niet te verwachten. Een beperkte integratie tussen verschillende onderzoeksgebieden is echter wel degelijk mogelijk. Het zou een doorbraak betekenen indien onderzoekers uit verschillende disciplines overeenstemming zouden bereiken over de basale begrippen rond belasting en interactie, en veelvuldiger in interdisciplinaire onderzoeksprojecten zouden samenwerken. Indien deze literatuurstudie – die door het weergeven van de huidige versnipperde onderzoeksinspanningen deze problematiek illustreert – hieraan een bijdrage levert, is aan de belangrijkste doelstelling voldaan.

# LITERATUUR

**Angus, R.G.; Pearce, D.G.; Buguet, A.G.C.; Olsen, L. (1979):**

*Vigilance performance of men sleeping under arctic conditions.*

Aviat., Space and Environm. Med., 50, 692-696.

**Ariëns, E.J.; Simonis, A.M. (1973):**

*Inleiding in de algemene toxicologie.*

Stafleu, Leiden.

**Bell, C.R.; Provins, K.A.; Hiorns, R.W. (1964):**

*Visual and auditory vigilance during exposure to hot and humid conditions.*

Ergonomics 7, 279-288.

**Bell, P.A. (1978):**

*Effects of noise and heat stress on primary and subsidiary task performance.*

Human Factors, 20, 6, 749-752.

**Berdychowski, W. (1987):**

*Exposure of building workers to noise and vibration hazards based on research conducted by the research & development labour co-operative "Ergonomia" and the research & application building co-operative "Ter-mika".*

In: Okada, A.; Manninen, O. (eds.): Recent advances in researches on the combined effects of environmental factors. The proceedings of the second international conference on the combined effects of environmental factors (ICCEF86) held in Kanazawa, Japan, September 28 - October 1, Kanazawa, Japan, Kyoei Co., Ltd..

**Bielski, J. (1984):**

*Combined effect of noise and vibration on the health of sawyers employed in forestry.*

In: Manninen, O.: Combined effects of environmental factors. Proceedings of the 1st International Conference on the Combined Effects of Environmental Factors, 22-25 september, Tampere, Finland. The International Society of Complex Environmental Studies. 341-356.



**Borsch-Galetke, E. (1983):**

*Katecholaminausscheidung bei Wicklerinnen im Leistungslohn unter steigenden Effektivtemperaturen - ein Beitrag zum Problem kombinierter Belastungen am Arbeitsplatz.*

Zbl. Arbeitsmed. 33, 2, 57-62.

**Broadbent, D.E. (1970):**

*Differences and interactions between stresses.*

In: Legge, D. (ed.), Skills. Harmondsworth, Penguin Books.

**Broadbent, D.E. (1973):**

*Factors increasing and decreasing the effects of noise.*

In: Proceedings of the international congress on noise as a public health problem, Dubrovnik, Yugoslavia. The U.S. Environmental Protection Agency, Office of noise abatement and control, Washington D.C..

**Bryan, M.E.; Tolcher, D. (1976):**

*Preferred noise levels whilst carrying out mental tasks.*

J. Sound Vibration, 45, 1, 139-156.

**Buchberger, J.; Butora, V. (1979):**

*Arbeitsmedizinischer Einblick in die schweizerische Forstwirtschaft.*

Zbl. Arbeitsmed., 29, 9, 225-230.

**Burger, G.C.E. (1959):**

*De betekenis van kwantitatieve meting en functionele beoordeling van arbeidsbelasting en belastbaarheid voor de praktische bedrijfsarts.*

T. Soc. Geneesk., 377-384.

**Burger, G.C.E. (red.) (1974):**

*Arbeits- en bedrijfsgeneeskunde.*

Stenfert Kroese, Leiden, 1974.

**Burykina, L.N.; et al. (1984):**

*Experimental effect of the combined effect of noise and acetone.*

Noise and Vibration Bulletin, febr., 25-28.

**Cahoon, R.L. (1970a):**

*Vigilance performance under hypoxia: II. Effect of work-rest schedule.*  
Perceptual and Motor Skills, 31, 619–626.

**Cahoon, R.L. (1970b):**

*Vigilance performance under hypoxia.*  
J. Appl. Psychol., 54, 6, 479–483.

**Cahoon, R.L. (1973):**

*Monitoring army radio-communications networks at high altitude.*  
Perceptual and Motor Skills, 37, 471–476.

**Chiles, W.D.; Iampietro, P.F.; Higgins, E.A. (1972):**

*Combined effects of altitude and high temperature on complex performance.*  
Human Factors, 14, 2, 161–172.

**Clerc, J.M. (ed.) (1985):**

*Introduction to working conditions and environment.*  
International Labour Organization Geneva.

**Colquhoun, W.P. (1969):**

*Effects of raised ambient temperature and event rate on vigilance performance.*  
Aerosp. Med. 40, 413–417.

**Colquhoun, W.P. (1971):**

*Circadian variations in mental efficiency.*  
In: Colquhoun, W.P. (ed.): Biological rhythms and human performance, 39–107. London, New York, Academic Press.

**Colquhoun, W.P.; Goldman, R.F. (1972):**

*Vigilance under induced hyperthermia.*  
Ergonomics, 15, 621–632.

**Cox, S.; Cox, T.; Thirlaway, M.; Mackay, C. (1982):**

*Effects of simulated repetitive work on urinary catecholamine excretion.*  
Ergonomics, 25, 12, 1129–1141.

**Craig, A.; Wilkinson, R.T.; Colquhoun, W.P. (1981):**

*Diurnal variation in vigilance efficiency.*

Ergonomics, 24, 8, 641-651.

**Craig, F.N.; Blevins, W.V.; Cummings, E.G. (1970):**

*Exhausting work limited by external resistance and inhalation of carbon dioxide.*

J. Appl. Physiol., 29, 6, 847-851.

**Davey, C.P. (1973):**

*Physical exertion and mental performance.*

Ergonomics, 16, 5, 595-599.

**Dember, W.N.; Warm, J.S.; Bowers, J.C.; Lanzetta, T. (1984):**

*Intrinsic motivation and the vigilance decrement.*

In: Mital, A. (ed.): Trends in ergonomics/human factors I. Amsterdam, New York, Oxford, North-Holland.

**Deno, N.S.; Kamon, E.; Kiser, D.M. (1981):**

*Physiological responses to resistance breathing during short and prolonged exercise.*

Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 42, 8, 616-623.

**Dijk, F.J.H. van (1984):**

*Effecten van lawaai op gezondheid en welzijn in de industrie: onderzoeksproject m.b.t. extra-auditieve effecten van lawaai.*

Academisch proefschrift, Universiteit van Amsterdam.

**Dirkin, G.R.; Hancock, P.A. (1985):**

*An attentional view of narrowing: the effect of noise and signal bias on discrimination in the peripheral visual field.*

In: Brown, I.D.; Goldsmith, R.; Coombes, K.; Sinclair, M.A.: Ergonomics International 85. Proceedings of the ninth congress of the International Ergonomics Association, 2-6 september, Bournemouth, England. London, Philadelphia, Taylor & Francis.

**Dormolen, M. van; Kamp, I. van; Vries-Griever, A. de; Altena, K. (1988):**

*Omgevingslawaaï, slaap en gezondheid.*

Rijksuniversiteit Groningen, Interfacultaire Werkgroep Energie en Milieu-kunde.

**Dresen, M.; Borghols, E. (1978):**

*Lawaai en fysieke belasting.*

T. Soc. Geneesk., 56, 189-192.

**Dressendorfer, R.H.; Wade, C.E.; Bernauer, E.M. (1977):**

*Combined effects of breathing resistance and hyperoxia on aerobic work tolerance.*

J. Appl. Physiol., 42, 3, 444-448.

**Dupuis, H. (1979):**

*Lärm und andere physikalische Einflüsstaktoren.*

Z. Arb. wiss., 33, 1, 23-26.

**Ettema, J.H. (1973):**

*Het model belasting en belastbaarheid.*

T. soc. Geneesk., 51, 44-54.

**Fanger, P.O. (1982):**

*Thermal comfort.*

Malabar, Florida: Robert E. Krieger P.C..

**Fine, B.J.; Kobrick, J.L. (1978):**

*Effects of altitude and heat on complex cognitive tasks.*

Human Factors, 20, 1, 115-122.

**Finkelman, J.M.; Zeitlin, L.R.; Romoff, R.A.; Friend, M.A.; Brown, L.S. (1979):**

*Conjoint effect of physical stress and noise stress on information processing performance and cardiac response.*

Human factors, 21, 1, 1-6.

**Flook, V.; Kelman, G.R. (1973):**

*Submaximal exercise with increased inspiratory resistance to breathing.*  
J. Appl. Physiol., 35, 3, 379–384.

**Folkard, S. (1983):**

*Diurnal variation.*

In: Hockey, G.R.J. (Ed.): Stress and fatigue in human performance..

**Folkard, S.; Monk, T.H. (1985):**

*Circadian performance rhythms.*

In Folkard, S.; Monk, T.H. (Eds.): Hours of work. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, Wiley & Sons.

**Fortuin, G.J. (1974):**

*Zien, licht en verlichting.*

In: Burger, 1974, 198–212.

**Galiën, A. van der; Grosveld, M.J.W. (1987):**

*Cardiovasculaire- en warmtebelasting tijdens het dragen van beschermende kleding.*

Ned. Mil. Gk. Ts. 40, 246–249.

**Gauthier, G.M.; Roll, J.P.; Martin, B.; Harlay, F. (1981):**

*Effects of whole-body vibrations on sensory motor system performance in man.*

Aviation, Space and Environmental Medicine, 52, 8, 473–479.

**Gemne, G. (1982):**

*Pathophysiology and multifactorial etiology of acquired vasospastic disease (Raynaud syndrome) in vibration-exposed workers.*

Scand. J. Work Environ. Health, 8, 4, 243–249.

**Gohlke, R.; Grigorowa, R. (1973):**

*Über die kombinierte Wirkung von phosphororganischen Pestiziden und erhöhter Umgebungstemperatur in inhalatorischen Kurzversuchen an Ratte. Histologische, histochemische und morphometrische Untersuchungen.*

Int. Arch. Arbeitsmed., 31, 4, 309–327.

**Gohlke, R. (1975):**

*Kombinierte Umweltfaktoren am Arbeitsplatz im morphologischen Bild.*

Z. Ärztliche Fortbildung, Jena, DDR, 69, 10, 505–515.

**Grether, W.F.; Harris, C.S.; Mohr, G.C.; Nixon, C.W.; Ohlbaum, M.;  
Sommer, H.C.; Thaler, V.H.; Veghte, J.H. (1971):**

*Effects of combined heat, noise and vibration stress on human performance and physiological functions.*

Aerosp. Med., 42, 1092–1097.

**Grether, W.F.; Harris, C.S.; Ohlbaum, M.; Sampson, P.A.; Guignard,  
J.C. (1972):**

*Further study of combined heat, noise and vibration stress.*

Aerospace Medicine, june, 641–645.

**Grigorowa, R; Binnewies, S. (1973):**

*Über die kombinierte Wirkung von phosphororganischen Pestiziden und erhöhter Umgebungstemperatur in inhalatorischen Kurzversuchen an Ratten. Toxicologische Aspekte.*

Int. Arch. Arbeitsmed., 31, 4, 295–307.

**Grivel, F. (1975):**

*Chaleur et travail humain sans composante musculaire importante: la recherche d'effets spécifiques de la chaleur sur la performance psychomotrice et mentale.*

Travail Humain, 38, 223–244.

**Guignard, J.C. (1974):**

*Performance and physiological effects of combined stress including vibration.*

In: Gierke, H.E. von (ed.): Vibration and combined stresses in advanced systems. AGARD Conference proceedings no. 145.

**Hacker, W.; Richter, P. (1984):**

*Psychische Fehlbeanspruchung.*

Berlin, Heidelberg, New York, Toronto, Springer Verlag.

**Hafez, H.A.; Ayoub, M.M. (1985):**

*Physiological responses to manual lifting in a hot environment.*

In: Brown, I.D.; Goldsmith, R.; Coombes, K.; Sinclair, M.A.: Ergonomics International 85. Proceedings of the ninth congress of the International Ergonomics Association, 2-6 september, Bournemouth, England. London, Philadelphia, Taylor & Francis.

**Hahne, H. (1978):**

*Ergonomische Beurteilung von kombinierten Stress am Arbeitsplatz.*

Der Berufsgenossenschaft, 75-79.

**Haider, M. (1973):**

*Influences of chemical agents on hearing loss.*

In: Proceedings of the international congress on noise as a public health problem, Dubrovnik, Yugoslavia. The U.S. Environmental Protection Agency, Office of noise abatement and control, Washington D.C..

**Haider, M.; Groll-Knapp, E.; Trimmel, M. (1984):**

*Combined effects of noise and carbon monoxide.*

In: Manninen, O.: Combined effects of environmental factors. Proceedings of the 1st International Conference on the Combined Effects of Environmental Factors, 22-25 september, Tampere, Finland. The International Society of Complex Environmental Studies. 387-394.

**Hamilton, P.; Copeman, A. (1970):**

*The effect of alcohol and noise on components of a tracking and monitoring task.*

Br. J. Psychol., 61, 2,149-156.

**Hancock, P.A. (1982):**

*Task categorization and the limits of human performance in extreme heat.*

Aviat., Space and Environm. Med., 53, 778-784.

**Hancock, P.A. (1984):**

*Environmental stressors.*

In: Warm, J.S.(ed.): Sustained attention in human performance, 103-142. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: Wiley & Sons.

**Hancock, P.A. (1985):**

*Toward a model of stressor interactions.*

In: Brown, I.D.; Goldsmith, R.; Coombes, K.; Sinclair, M.A.: Ergonomics International 85. Proceedings of the ninth congress of the International Ergonomics Association, 2-6 september, Bournemouth, England. London, Philadelphia, Taylor & Francis.

**Hancock, P.A.; Pierce, J.O. (1985):**

*Combined effects of heat and noise on human performance: a review.*

Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 46, 10, 555-566.

**Hansen, N.S. (1982):**

*Effects on health of monotonous, forced-pace work in slaughterhouses.*

J. Soc. Occup. Med., 32, 4, 180-184.

**Hartley, L.R.; Williams, T. (1977):**

*Steady state noise and music and vigilance.*

Ergonomics, 20, 3, 277-285.

**Havenith, G. (1987):**

*Fysiologische beïnvloeding van de warmtetolerantie.*

Ned. Mil. Gk. Ts., 40, 231-233.

**Herter, K. (1962):**

*Der Temperatursinn der Tiere.*

Wittenberg, Ziemsen, 1962.

**Hockey, G.R.J.; Colquhoun, W.P. (1972):**

*Diurnal variation in human performance: a review.*

In: Colquhoun, W.P. (ed.): Aspects of human efficiency. English University Press Limited.

**Howlett, L.; Shephard, R (1973):**

*Carbon monoxide as a hazard in aviation.*

J. Occ. Med., 15, 11, 874-877.



**Iki, M.; Kurumatani, N.; Moriyama, T. (1983):**

*Vibration-induced white fingers and hearing loss.*

Lancet, 2, 8344, 282-283.

**Iki, M.; Kurumatani, N.; Moriyama, T.; Satoh, M.; Matsuura, F.; Arai, T. (1987):**

*Prospective analysis on the association between vibration-induced white finger and hearing loss.*

In: Okada, A.; Manninen, O. (eds.): Recent advances in researches on the combined effects of environmental factors. The proceedings of the second international conference on the combined effects of environmental factors (ICCEF86) held in Kanazawa, Japan, September 28 - October 1, 1986. Kanazawa, Japan, Kyoei Co., Ltd..

**Ivanovich, E.; Antov, G.; Kazakova, B. (1981):**

*Liver changes under combined effect of working environmental factors.*

Int. Arch. Occ. Env. Health, 48, 1, 41-47.

**Jansen, G. (1972):**

*Einfluss von Lärm und körperlichen Belastung auf die periphere Durchblutung.*

Kämpf dem Lärm, 19, 5, 120-122.

**Jones, D.M.; Smith, A.P.; Broadbent, D.E. (1979):**

*Effects of moderate intensity noise on the Bakan vigilance task.*

J. Appl. Psych., 64, 6, 627-634.

**Kalsbeek, J.W.H. (1965):**

*Mesure objective de la surcharge mentale; nouvelles applications de la methode des doubles taches.*

Le Travail Humain 28, 121-132.

**Kalsbeek, J.W.H. (1967):**

*Mentale belasting.*

Academisch proefschrift, Amsterdam.

**Kalsbeek, J.W.H. (1983):**

*Kijk op mentale belasting.*

Kluwer, Deventer.

**Karasek, R.A. (1979):**

*Job demands, job decision latitude and mental strain: implications for job redesign.*

Administrative Science Quarterly, 24, 285-308.

**Kaufmann, J.; Pornschlegel, H.; Udris, I. (1982):**

*Arbeitsbelastung und Beanspruchung.*

In: Belastungen und Stress bei der Arbeit. Band 5 Humane Arbeit – Leitfaden für Arbeitnehmer. Reinbek bei Hamburg, Rowolt Taschenbuch Verlag.

**Keimpema, T. van; Fortuin, R. (1982):**

*Handwijzer arbeidsomstandigheden.*

CCOZ, Amsterdam, 1982.

**Kissen, A.T.; Reifler, C.B.; Thaler, V.H. (1964):**

*Modification of thermoregulatory responses to cold by hypnosis.*

J. Appl. Phys., 19, 1043-1050.

**Kleber, R.J. (1982):**

*Stressbenaderingen in de psychologie.*

Deventer, Van Loghum Slaterus.

**Kleinbaum, D.G.; Kupper, L.L. (1978):**

*Applied regression analysis and other multivariate methods.*

Boston, Massachusetts, Duxbury Press.

**Kleinbaum, D.G.; Kupper, L.L.; Morgenstern, H. (1982):**

*Epidemiologic Research. Principles and quantitative methods.*

New York, Van Nostrand Reinhold Company.

**Klosterkötter, W. (1972):**

*Der Umweltfaktor Lärm als Komponente kumulativer Umweltwirkungen.*

Arbeitsmedizin – Socialmedizin – Arbeitshygiene, 10, 281-286.

**Klotzbücher, E.; Fichtel, K. (1978):**

*Der Einfluss des Lärms auf Leistung bei geistiger Arbeit und ausgewählte physiologische Funktionen bei unterschiedlichen Kombinationen zwischen Lärm und dynamischer Muskelarbeit.*

Int. Arch. Occup. Envir. Health, 41, 237-251.

**Knoll, B.; Ouden, H.Ph.L. den (1986):**

*Vaststelling van een meetmethode voor het thermisch klimaat, waarmee de thermische belasting van werkende mensen kan worden afgeleid.*

Voorburg, Directoraat Generaal van de Arbeid, S21.

**Koelega, H.S.; Brinkman, J.A. (1986):**

*Noise and vigilance: an evaluative review.*

Human Factors, 28, 4, 465-481.

**Koelega, H.S.; Brinkman, J.A.; Bergman, H. (1986):**

*No effect of noise on vigilance performance?.*

Human Factors, 28, 5, 581-593.

**Koller, M.; Haider, M.; Kundi, M.; Korenjak, F.; Hautmann, W.; Groll-Knapp, E.; Trimmel, M. (1987):**

*Combined effects of physical load and noise in diurnal and nocturnal exposure.*

In: Okada, A.; Manninen, O. (eds.): Recent advances in researches on the combined effects of environmental factors. The proceedings of the second international conference on the combined effects of environmental factors (ICCEF86) held in Kanazawa, Japan, September 28 - October 1, 1986. Kanazawa, Japan, Kyoei Co., Ltd..

**Kurnayeva, V.P.; Burykina, L.N.; Zel'tser, M.L.; Dasayeva, A.D.; Kolbeneva, L.I.; Veslivskaya, K.A.; Demin, Yu.M.; Loshchilov, Y.A. (1986):**

*Experimental study of combined effect of solvents and noise.*

J. Hyg., Epid., Microbiol. and Immun., 30, 1, 49-56.

**Linde, F.J.G. van de (1987):**

*Tolerantietijden en werk-rust schema's voor arbeid in NBC-kleding.*

Ned. Mil. Gk. Ts, 40, 227-229.

**Löfberg, H.A.; Löfstedt, B.; Nilsson, I.; Wyon, D.P. (1975):**

*Combined temperature and lighting effects on the performance of repetitive tasks with differing visual content.*

Proceedings of the 18th C.I.E. session, London, England.

**Loeb, M.; Alluisi, E.A. (1977):**

*An update of findings regarding vigilance and a reconsideration of underlying mechanisms.*

In: Mackie, R.R. (ed.): Vigilance. Plenum Press, New York, London.

**Lotens, W.A. (1978):**

*Criteria voor maximaal toelaatbare warmtebelasting, een discussiestuk.*

IZF-rapport 1978-13, TNO, 1978.

**Lotens, W.A. (1987):**

*Warmtebelasting door NBC-kleding.*

Ned. Mil. Gk. Ts, 40, 223-225.

**Lysaght, R.J.; Warm, J.S.; Dember, W.N.; Loeb, M. (1984):**

*Effects of noise and information-processing demand on vigilance performance in men and women.*

In: Mital, A. (ed.): Trends in ergonomics/human factors I. Amsterdam, New York, Oxford, North-Holland.

**Mackworth, N.H. (1950):**

*Researches on the measurement of human performance.*

HMSO, London, 1950.

**Manninen, O. (1980):**

*Increased loss of hearing due to combined noise and low frequency vibration.*

XXVIIIth Int. Congress of Physiol. Sc., 13-19 juli, Budapest.

**Manninen, O. (1982):**

*Combinations of noise, vibration, temperature and physical work and temporary threshold shift of hearing.*

Nordic Council for Arctic Medical Research Report Series 33, 588-594.

**Manninen, O. (1983a):**

*Simultaneous effects of sinusoidal whole body vibration and broadband noise on TTS2's and R-wave amplitudes in men at two different dry bulb temperatures.*

Int. Arch. Occup. Environm. Health, 51, 289-297.

**Manninen, O. (1983b):**

*Studies of combined effects of sinusoidal whole body vibrations and noise of varying bandwidths and intensities on TTS2 in men.*

Int. Arch. Occup. Environ. Health., 51, 273-288.

**Manninen, O. (1984a):**

*Complimentary studies on human reactions to complex exposures.*

In: Manninen, O.: Combined effects of environmental factors. Proceedings of the 1st International Conference on the Combined Effects of Environmental Factors, 22-25 september, Tampere, Finland. The International Society of Complex Environmental Studies. 43-71.

**Manninen, O. (1984b):**

*Subjective noise ratings under different noises, whole body vibrations, work loads and temperatures.*

Proceedings "Internoise 84", Honolulu 3-5 dec., 999-1002.

**Manninen, O. (1984c):**

*Hearing threshold and heart rate in men after repeated exposure to dynamic muscle work, sinusoidal vs stochastic whole bodyvibration and stable broadband noise.*

Int. Arch. Occup. Environ. Health 54, 19-32.

**Manninen, O. (ed.) (1984d):**

*Combined effects of environmental factors. Proceedings of The 1st International Conference on The Combined Effects of environmental Factors held in Tampere, Finland, 22-25 September.*

Tampere, International Society of Complex Environmental Studies.

**Manninen, O. (1985):**

*Cardiovascular changes and hearing threshold shifts in men under complex exposure to noise, whole body vibrations, temperatures and competition-type psychic load.*

Int. Arch. Occup. Environm. Health, 56, 251-274.

**Manninen, O. (1986):**

*Bioresponses in men after repeated exposures to single and simultaneous sinusoidal or stochastic whole body vibrations of varying bandwidths and noise.*

Int. Arch. Occup. Environm. Health, 57, 267-295.

**Manninen, O.; Ekblom, A. (1984-c):**

*Single and joint actions of noise and sinusoidal whole body vibration on TTS2 values and low frequency uprightposture sway in men.*

Int. Arch. Occup. Environm. Health., 54, 1-17.

**McFarland, R.A., et al. (1944):**

*The effects of carbon monoxide and altitude on visual thresholds.*

J. Aviat. Med., 15, 381-394.

**McIntyre, D. (1973):**

*A guide to thermal comfort.*

Appl. Erg., 4, 66-72.

**Meijman, T.F.; Cavalini, P.; Cremer, R.; Dormolen, M. van; Gloerich, A.; Hellinga, P.; Noord, F. van (1985):**

*Taakbelasting van rijexaminatoren C.B.R.*

Rijksuniversiteit Groningen, Vakgroep Arbeids- en Organisationspsychologie.

**Meijman, T.F.; Kampman, R.; Vries-Griever, A.H.G. de (1988):**

*Rock around the clock: Chronopsychologische en chronobiologische aspecten van onregelmatige werktijden.*

Amsterdam, Nederlands instituut voor arbeidsomstandigheden.

**Mertens, H.W.; Collins, W.E. (1986):**

*The effects of age, sleep deprivation, and altitude on complex performance.*

Human Factors, 28, 5, 541-551.

**Milosevic, S. (1983):**

*Effects of noise on signal detection.*

Ergonomics, 26, 10, 939–946.

**Monk, H.; Folkard, S. (1983):**

*Circadian rhythms and shiftwork.*

In: Hockey, G.J.R. (Ed.): Stress and fatigue in human performance. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, J. Wiley & Sons.

**Monk, T.H.; Folkard, S. (1985):**

*Shiftwork and performance.*

In: Folkard, S.; Monk, T.H. (Eds.): Hours of work. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, Wiley & Sons.

**Mortagy, A.K.; Ramsey, J.D. (1973):**

*Monitoring performance as a function of work/rest schedule and thermal stress.*

Am. Ind. Hyg. Ass. J., 34, 11, 474–480.

**Müller-Seitz, P. (1979):**

*Multifaktorielle Belastungen am industriellen Arbeitsplatz aus arbeitswissenschaftlicher Sicht.*

Zbl. Arbeitsmed., 1979/4, 94–103.

**Murray, R.M.; McCally, M. (1973):**

*Combined environmental stresses.*

In: Parker, J.F. & West, V.R.: Bioastronautics data book.

N.A.S.A., Washington D.C..

**Nelson, T.M.; Nilsson, T.H.; Johnson, M. (1984):**

*Interaction of temperature, illuminance and apparent time on sedentary work fatigue.*

Ergonomics, 27, 1, 89–101.

**Noonan, T.K.; Ash, D.; Loeb, M. (1984):**

*Task complexity, noise and cognitive vigilance performance.*

In: Mital, A. (ed.): Trends in ergonomics/human factors I. Amsterdam, New York, Oxford, North-Holland.

**Noonan, T.K.; Ash, D.W.; Loeb, M. (1985):**

*Task complexity, subject sex, and noise meaningfulness as determinants of cognitive vigilance performance.*

In: Eberts, R.E.; Eberts, C.G. (eds.): Trends in ergonomics/human factors II. Amsterdam, New York, Oxford, North-Holland.

**Oegerli, K (1980):**

*Auswirkungen repetitiver Tätigkeiten auf das Wohlbefinden von Arbeiterinnen und Arbeitern in der Uhrenindustrie.*

Sozial- und Präventivmed., 25, 354-358.

**Okada, A.; Miyake, H.; Yamamura, K.; Minami, M. (1972):**

*Temporary hearing loss induced by noise and vibration.*

J. Acoust. Soc. Am., 51, 4, part 2, 1240-1248.

**Okada, A.; Kajikawa, Y.; Nohara, S. (1984):**

*Combined effect of vibration and noise.*

In: Manninen, O.: Combined effects of environmental factors. Proceedings of the 1st International Conference on the Combined Effects of Environmental Factors, 22-25 september, Tampere, Finland. The International Society of Complex Environmental Studies. 117-131.

**Okada, A.; Manninen, O. (eds.) (1987):**

*Recent advances in research on the combined effects of environmental factors. The Proceedings of the Second International Conference on The Combined Effects of Environmental Factors (ICCEF86), held in Kanazawa, Japan, September 28 - October 1, 1986.*

Kanazawa, Japan, Kyoei Co., Ltd..

**Pankow, D.; Ponsold, W. (1974):**

*Kombinationswirkungen von Kohlenmonoxid mit anderen biologisch aktiven Schadfaktoren auf den Organismus.*

Z. für die gesamte Hygiene und ihre Grenzgebiete, 20, 561-571.

**Paran'ko, N.M.; Goncharov, S.I. (1986):**

*Combined effect of noise and toxic aerosols in electrical steel making: an experimental study.*

Noise and Vibration Bulletin, maart, 35-36.



**Pepler, R.D. (1959):**

*Warmth and lack of sleep: accuracy or activity reduced.*

J. Comp. & Phys. Psych., 52, 446–450.

**Philipp, U.; Reiche, D.; Kirchner, J.H. (1971):**

*The use of subjective rating.*

Ergonomics, 14, 5, 611–616.

**Pintér, I. (1973):**

*Hearing loss of forest workers and of tractor operators, interaction of noise with vibration.*

In: Proceedings of the international congress on noise as a public health problem, Dubrovnik, Yugoslavia. The U.S. Environmental Protection Agency, Office of noise abatement and control, Washington D.C..

**Poulton, E.C.; Kerslake, D. Mck. (1965):**

*Initial stimulating effect of warmth upon perceptual efficiency.*

Aerosp. Med., 36, 29–32.

**Poulton, E.C. (1970):**

*Environment and human efficiency.*

Charles C. Thomas, Springfield.

**Poulton, E.C.; Edwards, R.S. (1974):**

*Interactions and range effects in experiments on pairs of stresses: mild heat and low-frequency noise.*

J. Exp. Psychol., 102, 4, 621–628.

**Poulton, E.C. (1977):**

*Arousing stresses increase vigilance.*

In: Mackie, R.R. (ed.): Vigilance. Plenum Press, New York, London.

**Pyykkö, I.; Starck, J.; Färkkilä, M.; Hoikkala, M.; Korhonen, O.; Nurminen, M. (1981):**

*Hand-arm vibration in the aetiology of hearing loss in lumberjacks.*

Br. J. of Industrial Med., 38, 281–289.

**Pyykkö, I.; Pekkarinen, J.; Starck, J. (1987):**

*Sensory neural hearing loss during combined noise and vibration exposure.*  
Int. Arch. Occup. Environ. Health, 439–454.

**Ramsey, J.D.; Burford, C.L.; Beshir, M.Y.; Jensen, R.C. (1983):**

*Effects of workplace thermal conditions on safe work behavior.*  
J. of Safety Research, 14, 105–114.

**Reilly, T. (1985):**

*Circadian rhythms and exercise: a brief review.*

In: Brown, I.D.; Goldsmith, R.; Coombes, K.; Sinclair, M.A.: Ergonomics International 85. Proceedings of the ninth congress of the International Ergonomics Association, 2–6 september, Bournemouth, England. London, Philadelphia, Taylor & Francis.

**Reim, B.; Glass, D.C.; Singer, J.E. (1971):**

*Behavioral consequences of exposure to uncontrollable and unpredictable noise.*

J. of Applied Psychology, 1, 1, 44–56.

**Rohmert, W. (ed.) (1982):**

*Ergonomie der kombinierten Belastungen.*  
Verlag Dr. Otto Schmidt.

**Rothman, K.J. (1986):**

*Modern Epidemiology.*  
Boston, Toronto, Little, Brown and Company.

**Rotondo, G. (1978):**

*Workload and operational fatigue in helicopter pilots.*  
Aviation, Space and Environmental Medicine 49, 2, 430–436.

**Sanotsky, I.V.; Fomenko, V.N.; Kurnaeva, V.P.; Burikina, L.N.;  
Silantjeva, I.V.; Katosova, L.D.; Domshlak, M.G.; Glushenko, V.I.;  
Kolbeneva, L.I.; Salnikhova, L.S. (1984):**

*Some results of an experimental study of mutagenic, gonadotropic and embryotropic effect of chemicals together with nicotine and noise.*

In: Manninen, O. (ed.): combined effects of environmental factors, ISCES, 1984.

**Schmidt, P. (1980):**

*Zur arbeitshygienischen Bewertung der gemeinsamen Einwirkung chemischer Substanzen und erhöhter Umgebungstemperatur auf den Organismus.*

Z. ges. Hyg., 26, 6, 393–398.

**Schwarz, H.G. (1979):**

*Allgemeine arbeitsphysiologische und arbeitshygienische Erkenntnisse der Beanspruchung des im vollmechanisierten Betrieb in höherer Kontaktwärme beschäftigten Arbeiters.*

Zbl. Arbeitsmed., 29, 12, 315–318.

**Seidel, H.; Meister, A.; Metz, A.M.; Rothe, R.; Ullsperger, P.; Blüthner, R.; Bräuer, D.; Menzel, G.; Sroka, Ch. (1984):**

*Effects of exposure to whole-body vibration and noise on the TTS, performance, postural sway, and auditory evoked brain potentials.*

In: Manninen, O.: Combined effects of environmental factors. Proceedings of the 1st International Conference on the Combined Effects of Environmental Factors, 22–25 september, Tampere, Finland. The International Society of Complex Environmental Studies. 217–232.

**Smith, A.; Miles, C. (1986):**

*Acute effects of meals, noise and nightwork.*

Br. J. of Psychology, 77, 377–387.

**Snook, G.H. (1978):**

*The design of manual handling tasks.*

Ergonomics 21 (21) 963–985.

**Sommer, H.C.; Harris, C.S. (1972):**

*Combined effects of noise and vibration on mental performance as a function of time of day.*

Aerospace Medicine, 43, may.

**Sommer, H.C.; Harris, C.S. (1973):**

*Combined effects of noise and vibration on human tracking performance and response time.*

Aerospace Medicine, 44, 3, 276–280.

**Sperandio, J.C. (1971):**

*Variation of operator's strategies and regulating effects on workload.*  
Ergonomics, 14, 5, 571-577.

**Sperandio, J.C. (1978):**

*The regulation of working methods as a function of workload among air traffic controllers.*  
Ergonomics, 21, 3, 195-202.

**Starck, J.; Pyykkö, I. (1984):**

*Combined effects of noise and vibration on the hearing threshold.*  
In: Manninen, O.: Combined effects of environmental factors. Proceedings of the 1st International Conference on the Combined Effects of Environmental Factors, 22-25 september, Tampere, Finland. The International Society of Complex Environmental Studies. 373-386.

**Suvorov, G.A.; Shkarinov, L.N.; Denisov, E.J. (1984):**

*Principles of evaluation of combined effects of noise, vibration and work. Biologicaequivalence concept.*  
In: Manninen, O.: Combined Effects of environmental factors. Proceedings of the 1st International Conference on the Combined Effects of Environmental Factors, 22-25 september, Tampere, Finland. The International Society of Complex Environmental Studies. 469-482.

**Tiunov, L.A.; Kustov, V.V. (1974):**

*Combined biological action of chemical compounds and chemical and physical environmental factors.*  
Zhurnal Vsesouznogo Khimicheskogo Obshchestva Mendeleeva, 19, 2, 164-169.

**Todorova, L.C.; Dobrev, B.; Israel, M. (1982):**

*Immunological reactivity of the organism in the combined effect of electromagnetic fields and noise.*  
J. Occup. Accidents, 4, 191.

**Verberk, M.M.; Zielhuis, R.L. (1980):**

*Giftige stoffen uit het beroep.*  
Stafleu, Leiden, 1980.

**Vercruyssen, M. (1985):**

*Additive factors method in stressor research: effects of carbon dioxide breathing on stages of information processing.*

In: Brown, I.D.; Goldsmith, R.; Coombes, K.; Sinclair, M.A.: Ergonomics International 85. Proceedings of the ninth congress of the International Ergonomics Association, 2-6 september, Bournemouth, England. London, Philadelphia, Taylor & Francis.

**Viteles, M.S.; Smith, K.R. (1946):**

*An experimental investigation of the effect of change in atmospheric conditions and noise upon performance.*

Heating, Piping & Air Conditioning, maart, 107-112.

**Waris, P. (1980):**

*Occupational cervicobrachial syndromes, a review.*

Scand. J. Work Environ. & Health, 6, suppl.3, 3-14.

**Warm, J.S.; Howe, S.R.; Fishbein, H.D.; Dember, W.N.; Sprague, R.L. (1984):**

*Cognitive demand and the vigilance decrement.*

In: Mital, A. (Ed.): Trends in Ergonomics/Human Factors I. Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), Amsterdam, New York, Oxford.

**Webb, W.B.; Levy, C.M. (1984):**

*Effects of spaced and repeated total sleep deprivation.*

Ergonomics, 27, 1, 45-58.

**Welford, A.T. (1968):**

*Fundamentals of skill.*

London, Methuen & co Ltd.

**Werner, J.; Heising, M.; Rautenberg, W.; Leiman, K. (1985):**

*Dynamics and topography of human temperature regulation in response to thermal and workload.*

Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol., 53/4, 353-358.

**Wilkinson, R.T. (1963):**

*Interaction of noise with knowledge of results and sleep deprivation.*

J. of Experimental Psychology, 66, 4, 332-337.

**Wilkinson, R.T.; Fox, R.H.; Goldsmith, R.; Hampton, I.F.G.; Lewis, H.E. (1964):**

*Psychological and physiological responses to raised body temperature.*

J. Appl. Phys., 19, 287–291.

**Wojtczak–Jaroszowa, J.; Makowska, Z.; Rzepecki, H.; Banaszkiwicz, A.; Romejko, A. (1978):**

*Changes in psychomotor and mental task performance following physical work in standard conditions and in a shift-working situation.*

Ergonomics, 21, 10, 801–809.

**Yokoyama, T.; Osako, S.; Yamamoto, K. (1974):**

*Temporary threshold shifts produced by exposure to vibration, noise and vibration-plus-noise.*

Acta Otolaryng, 78, 207–212.

**Zielhuis, R.L. (1971):**

*Threshold limit values and total work load.*

J. Occup. Med., 13, 30–34.