

Arbouw-richtlijnen voor fysieke belasting bij gebruik van handgereedschap en hanteren van verpakkingen in de bouwnijverheid

auteur(s):

M.P. van der Grinten

datum:

10 mei 1999

TNO Arbeid rapport:

R9800031/4070172

© TNO Arbeid

Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd of openbaar gemaakt door
middel van druk, fotokopie, microfilm of op
welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van TNO Arbeid



Polarisavenue 151
Postbus 718
2130 AS Hoofddorp

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	i
DEEL I ARBOUW-RICHTLIJNEN VOOR FYSIEKE BELASTING BIJ HET GEBRUIK VAN HANDGEREEDSCHAPPEN EN HET HANTEREN VAN VERPAK- KINGEN: praktijkrichtlijnen.....	1
1. INLEIDING	3
1.1 Definitie handgereedschap en hanteerbare verpakking.....	3
1.2 Noodzaak van aanvullende richtlijnen.....	3
1.3 Doel van deze Arbow-richtlijn	4
1.4 Indeling van het rapport.....	5
1.5 Te beoordelen risicofactoren met beide publicaties	5
2. BEOORDELINGSGEBIEDEN EN KIESSCHEMA	7
2.1 Beoordelingsgebieden	7
2.2 Aanvullend kiesschema	8
3. CHECKLISTS BIJ DE BEOORDELING VAN HAND-ARMKRACHTEN EN -MO- MENTEN.....	11
4. BUIGING VAN DE HAND EN ROTATIE VAN DE ONDERARM	13
5. KRACHTUITOEFENING OP HANDGEREEDSCHAP	15
6. DUW- EN TREKKRACHTEN MET HAND EN ARM	17
6.1 Basis-grenswaarden voor hand/armkracht	17
6.2 Beoordeling van situaties met hand-armkracht	18
6.3 Basis-grenswaarden voor 6 richtingen van hand/-armkracht en posities of bewe- gingsgebieden van de rechterhand	20
7. BUIGMOMENTEN ROND POLS EN ROTATIEMOMENTEN ROND ONDERARM- AS.....	27

8. GRIJP- EN KNIJPKRACHTEN MET 4 OF 5 VINGERS VAN DE HAND	29
9. DRUK- EN WRIJVINGSKRACHTEN IN DE HAND.....	33
9.1 Voorlopige richtlijn voor drukcontact in de hand	33
9.2 Voorlopige richtlijn voor wrijvingscontact in de hand	36
10. HAND-ARMTRILLINGEN	37
10.1 Toelaatbare grenswaarden voor hand-armtrillingen per handgreep	37
10.2 Verergerende factoren.....	38
10.3 Maatregelen	39
 DEEL II ARBOUW-RICHTLIJNEN VOOR FYSIEKE BELASTING BIJ GEBRUIK VAN HANDGEREEDSCHAP EN HANTEREN VAN VERPAKKINGEN IN DE BOUWNIJVERHEID: wetenschappelijke onderbouwing	 41
1. PROBLEMATIEK VAN HET BEWEGINGSAPPARAAT IN SAMENHANG MET GE- REEDSCHAPGEBRUIK	43
1.1 Ongevallen tijdens gebruik van handgereedschap	43
1.2 RSI-problematiek en de belangrijkste risicofactoren bij handgereedschapgebruik	43
2. OPZET VAN DE ARBOUW-RICHTLIJNEN	47
2.1 Richtlijnen voor ontwerp en aanschaf	47
2.2 Universeel bruikbare richtlijnen voor fysieke belasting van het hand-armsysteem	47
2.3 Vertaling van de stand der kennis	48
2.4 Beperking inzake de grijpmethoden	50
3. DEFINITIES	51
3.1 Handgereedschap	51
3.2 Handmatig hanteerbare verpakking	51
3.3 Bewegingsrichtingen van hand en onderarm en richtingen van kracht- en moment- uitoefening	52
3.4 Grijpmethoden	53
3.5 Grijp- en knijpkracht	53
3.6 Aard van de koppeling hand-handgreep	54
4. BUIGING VAN DE HAND EN ROTATIE VAN DE ONDERARM	55
4.1 Literatuur	55

4.1.1	Inleiding	55
4.1.2	Buighoeken van de hand rond het polsgewricht	56
4.1.3	Rotatiehoeken van de onderarm rond het ellebooggewricht.....	56
4.2	Methode en bepaling van de richtlijn.....	57
4.3	Arbouwrichtlijn	59
5.	KRACHTUITOEFENING OP HANDGEREEDSCHAP	61
5.1	Inleiding.....	61
5.1.1	Literatuur in het algemeen.....	62
5.1.2	Risicofactoren bij het uitoefenen van krachten.....	63
5.2	Europese richtlijn als uitgangspunt.....	64
5.2.1	Korte beschrijving prEN 1005-3	64
5.2.2	Probleemstelling	65
5.2.3	Literatuur	65
5.2.4	Methode van bepaling van een stramien voor de Arbouwrichtlijn	66
5.3	Arbouwrichtlijn	72
6.	DUW- EN TREKKRACHTEN MET HAND EN ARM	75
6.1	Literatuur	75
6.1.1	Inleiding	75
6.1.2	Afgeleide risicofactoren	77
6.1.3	Indeling naar richting van de actiekracht, reikafstand, handpositie.....	78
6.1.4	Verticale actiekracht met voorkeurshand in verticaal vlak door schouder- gewricht (Vs).....	80
6.1.5	Horizontale actiekracht met voorkeurshand in verticaal vlak door schou- dergewricht (Vs).....	84
6.1.6	Horizontale actiekracht met voorkeurshand haaks op het verticale vlak (Vs) door het schoudergewricht.....	89
6.2	Methode van bepaling van de richtlijn	93
6.2.1	Actiekracht omhoog en omlaag met voorkeurshand	93
6.2.2	Horizontale actiekrachten in verticale vlakken (Vs) door het schouderge- wricht	95
6.2.3	Horizontale actiekrachten loodrecht op verticale vlakken (Vs) door het schoudergewricht	97
6.2.4	Mogelijkheden en beperkingen van handverplaatsingen	99
6.2.5	Werklijn van de actiekracht ten opzichte van werklijn van de beweging	99
6.2.6	Bijzondere armstanden om hoge krachten te leveren	100
6.2.7	Toepasbaarheid voor andere basishoudingen dan staan	101
6.3	Arbouwrichtlijn.....	102

6.3.1	Basis-grenswaarden voor hand/armkracht	102
6.3.2	Beoordeling van situaties met hand-armkracht	103
6.3.3	Basis-grenswaarden voor 6 richtingen van hand/-armkracht en posities of bewegingsgebieden van de rechterhand	105
7.	BUIGMOMENTEN ROND POLS EN ROTATIEMOMENTEN ROND ONDERARM-AS	113
7.1	Literatuur	113
7.1.1	Inleiding	113
7.1.2	Buigmomenten rond pols en rotatiemoment rond onderarm-as	114
7.1.3	Afgeleide risicofactoren	116
7.2	Methode van bepaling van de richtlijn	117
7.3	Arbouwrichtlijn	120
8.	GRIJP- EN KNIJPKRACHTEN MET 4 OF 5 VINGERS VAN DE HAND	123
8.1	Literatuur	123
8.1.1	Inleiding	123
8.1.2	Grenswaarden voor grijp- of knijpkracht	124
8.1.3	Afgeleide risicofactoren	125
8.2	Methode van bepaling van de richtlijn	129
8.3	Arbouwrichtlijn	131
9.	DRUK- EN WRIJVINGSKRACHTEN IN DE HAND	135
9.1	Literatuur	135
9.1.1	Inleiding	135
9.1.2	Grenswaarden voor handcontactdruk	136
9.1.3	Afgeleide risicofactoren voor contactdruk	137
9.1.4	Grenswaarden voor wrijvingskracht in de hand	140
9.2	Methode van bepaling van de richtlijn	142
9.3	Voorlopige Arbouwrichtlijn	144
9.3.1	Voorlopige richtlijn voor drukcontact in de hand	144
9.3.2	Voorlopige richtlijn voor wrijvingscontact in de hand	148
10.	HAND-ARMTRILLINGEN	149
10.1	Literatuur	149
10.1.1	Inleiding	149
10.1.2	Afgeleide risico's	150
10.1.3	Bestaande richtlijnen en normen	151
10.2	Methode van bepaling van de richtlijnen	153

10.3	Arbouw-richtlijn.....	155
10.3.1	Toelaatbare grenswaarden voor hand-armtrillingen per handgreep.....	155
10.3.2	Verergerende factoren.....	156
10.3.3	Maatregelen	157
LITERATUUR		159
Bijlage 1		167

SAMENVATTING

Het hanteren van handgereedschap en van verpakkingen komt in de bouwnijverheid veelvuldig voor. In bepaalde gebruikssituaties kunnen specifieke fysieke overbelastingsrisico's ontstaan die op termijn mogelijke schade aan handen, armen en schouders tot gevolg kunnen hebben. Het gaat hier om specifieke risico's voor het hand-armsysteem boven mogelijke risico's die het gevolg kunnen zijn van verkeerde houdingen en bewegingen van het lichaam als geheel. Voor dit laatste zijn reeds richtlijnen opgesteld (Arbouw, 1996). De onderhavige publicatie is een aanvulling hierop.

De richtlijnen hebben betrekking op statische houdingen en repeterende bewegingen in het polsgewricht en in het ellebooggewricht (rotatie onderarm), op intermitterende, repeterende of statische kracht- of moment-uitoefening met hand en arm en op overdracht van druk- en wrijfkraften en trillingen via de hand.

De richtlijnen zijn zoveel als mogelijk opgebouwd volgens de opzet die ook in de eerdere richtlijnen van Arbouw (1996) is gekozen, te weten:

- groen geen verhoogd risico op gezondheidsschade;
- geel verhoogd risico; bij voorkeur direct maatregelen nemen of maatregelen opnemen in plan van aanpak;
- rood sterk verhoogd risico; direct maatregelen nemen.

De richtlijnen zijn van toepassing voor handcontact met typen handgrepen waarbij sprake is van inzet van nagenoeg alle vingers, te weten: vuistgreep, diagonaalgreep, pistoolgreep, hoek- of haakgreep en tanggreep. De richtlijnen kunnen onder meer gebruikt worden voor het opstellen van taak- en situatiespecifieke richtlijnen in de bouw en voor de keuze van het juiste handgereedschap.

**DEEL I ARBOUW-RICHTLIJNEN VOOR FYSIEKE BELASTING BIJ HET GE-
BRUIK VAN HANDGEREEDSCHAPPEN EN HET HANTEREN VAN
VERPAKKINGEN: praktijkrichtlijnen**

1. INLEIDING

1.1 Definitie handgereedschap en hanteerbare verpakking

Onder *handgereedschap* wordt in het kort verstaan een *los gereedschap*, al of niet aangedreven, waarmee bewerkingen uitgevoerd worden op een *vast object* of een object dat tijdelijk is opgesteld al of niet vastgeklemd (schaaf, koevoet, elektrische handboor, muurfrees, etc.). Handgereedschap dat ook omgebouwd kan worden tot een vaste opstelling (handcirkelzaag, elektrische schaaaf) wordt alleen beschouwd in de hoedanigheid van los gereedschap.

We beperken ons tot *handmatig hanteerbare verpakkingen* van bouwmaterialen (til- en draagbare zakken cement, dozen tegels, emmers, etc.). Deze zijn al of niet voorzien van een handzijde voor vastpakken (hengsels, handvat, uitsparing voor de hand, etc.). Uitvoerige definities staan in deel II (§ 3.1).

1.2 Noodzaak van aanvullende richtlijnen

De gezondheidsrisico's van zware lichamelijke arbeid zijn al geruime tijd onderkend en veel inspanningen zijn reeds verricht om door middel van richtlijnen de risico's terug te dringen, zoals met de introductie van Arbouwrichtlijnen voor fysieke belasting (Arbouw, 1996). Momenteel is er meer en meer aandacht voor het ontstaan van zogenaamde RSI-problematiek, met name in de bovenste ledematen. Langdurig in dezelfde houding werken, frequent dezelfde krachten uitoefenen of bewegingen maken brengen verhoogde gezondheidsrisico's mee voor botten, spieren, banden en gewrichten.

In taken waar sprake is van gereedschapsgebruik en het handmatig hanteren van verpakkingen kunnen specifieke problemen ontstaan in het hand-armsysteem: vingers, palm van de hand, pols, arm, elleboog, schouder en nek. Aanvullende richtlijnen op dit terrein zijn daarom noodzakelijk.

De veiligheid van handgereedschap heeft in het verleden al veel aandacht gehad en dit heeft zijn weerslag gevonden in uitgebreide richtlijnen en certificeringsprotocollen op dit gebied, vaak specifiek voor bepaalde typen.

TNO Arbeid heeft in opdracht en in samenwerking met Arbouw aanvullende richtlijnen ontwikkeld voor het hanteren van handgereedschap en verpakkingen; het betreft universeel

bruikbare richtlijnen om de *fysieke belasting in verschillende gebruikssituaties* te kunnen beoordelen.

In de nu voorliggende richtlijnen zijn de nieuwste inzichten verwerkt van diepgaandere analyse van bruikbare literatuur en van de richtlijnen die op Europees niveau in ontwikkeling zijn in het kader van de machinerichtlijn (prEN 1005-3). Voor het onderwerp 'herhaalde uitoefening van krachten' zijn de richtlijnen in het voorliggende document aangevuld en nader uitgewerkt naar handposities. De uitsplitsing naar risicofactoren 'duur en frequenties' zijn bij krachtoefening anders geworden dan in Arbouw (1996), meer conform aan die in de meest recente prEN 1005-3-richtlijn maar in een vereenvoudigde vorm.

1.3 Doel van deze Arbouw-richtlijn

De eerder gerapporteerde richtlijnen (Arbouw, 1996) en de richtlijnen in de voorliggende publicatie vormen een 'eerste stap' voor de beoordeling van allerlei bouwtaken en -situaties. Doel van deze publicatie is het opstellen van een aanvulling met universeel bruikbare richtlijnen voor de belasting van het hand-armsysteem die toegepast kunnen worden in de taakspecifieke situaties:

- hanteren van gereedschap en het
- hanteren van verpakkingen.

Deze aanvullingen dienen dezelfde doelen als de eerdere richtlijnen voor fysieke belasting (Arbouw, 1996) en moeten, waar nodig, in combinatie met die eerdere richtlijnen worden toegepast.

Met deze aanvulling kunnen deskundigen een betere beoordeling maken van de belasting van de bovenste ledematen in verschillende gebruikssituaties. De interactie *hand-handgereedschap* speelt hierbij een grote rol.

Op grond van de beoordelingen met dit instrument en aanvullende kennis over de productiemiddelen kan men hieruit richtlijnen concretiseren voor A-bladen of voor specifieke gereedschappen of gereedschaptaken rekening houdend met gebruikelijke werkmethoden. A-bladen in de bouw zijn doorgaans beroeps- of branchegericht en hebben een normstellend karakter.

Gezien de stand der kennis blijft toetsing op inhoudelijke kwaliteit aan de hand van optredende klachten, blessures en ongevallen en op haalbaarheid van belang en zal het inzicht doen groeien. Een nadere verdieping naar bepaalde risicofactoren in dit vervolg maakt de

onzekerheden wel kleiner. Een nadeel is een vergroting van de complexiteit van de beoordeling.

Omdat *gebruikssituaties* grote invloed op het resultaat zullen hebben, is het pas verantwoord om beoordelingsresultaten van taken en gebruikssituaties op te nemen in het Arbeid Informatiesysteem Bouwtaken (AISB), als de meest voorkomende situaties en taken voldoende gedocumenteerd zijn door middel van werkplekonderzoek.

1.4 Indeling van het rapport

Deel I bevat de aanvullende richtlijnen. Een schema voor voorkeuze van relevante beoordelingsaspecten en 2 checklijstjes voor het beoordelen van actiekrachten en -momenten zijn hulpmiddelen hierbij. In deel II staan de richtlijnen samen met de wetenschappelijke onderbouwing ervan.

1.5 Te beoordelen risicofactoren met beide publicaties

Met de richtlijnen fysieke belasting (Arbouw, 1996) worden de volgende risicofactoren tijdens gereedschapsgebruik of het hanteren van verpakkingen beoordeeld:

- tillen, dragen, duwen en trekken met beide handen en inzet van het hele lichaam;
- statische houdingen en repeterende bewegingen van onder meer hoofd, romp en bovenarm.

Beoordeling van toelaatbare duw- en trekkrachten voor elk van de bovenste ledematen apart in situaties met statische of repeterende krachtoefening kan beter gebeuren conform de nieuwste prEN 1005-3 richtlijn. Aangevuld met literatuurgegevens vormt dit de basis van deze *vervolgpublicatie*. Verder kunnen met deze *vervolgpublicatie* de volgende risicofactoren beoordeeld worden:

- statische houdingen en repeterende bewegingen van de hand rond de pols en van de onderarm om zijn as;
- uitoefenen van buigmomenten om het polsgewricht en rotatiemomenten van de onderarm rond zijn as;
- grijp- en knijpkrachten met (nagenoeg) alle vingers van de hand;
- druk- en wrijvingskrachten in het contactvlak hand-handgreep;
- hand-armtrillingen.

2. BEOORDELINGSGEBIEDEN EN KIESSCHEMA

2.1 Beoordelingsgebieden

Aanbevolen wordt om kennis te nemen van de eerder verschenen richtlijnen voor fysieke belasting in de bouwnijverheid (Arbouw 1996) en van deel II, wetenschappelijke onderbouwing in dit rapport met specifieke richtlijnen. Met het aanvullende kiesschema in dit hoofdstuk kan successievelijk worden nagegaan of er bij de taken 'hanteren van handgereedschappen en verpakkingen' sprake is van specifieke vormen van hand-armbelasting. Het kan gaan om statische houdingen of repeterende bewegingen van de hand of van de onderarm, om bepaalde actiekrachten of actiemomenten geleverd door hand en arm op het gereedschap en om optredende druk, wrijving en trillingen in het contactgebied hand-handgreep. De beoordeling gebeurt per hand-arm apart.

Na toepassing van het aanvullende kiesschema (#2) is altijd ook een beoordeling met het kiesschema (#1) uit de eerdere richtlijnen voor fysieke belasting nodig (Arbouw, 1996).

Bij de richtlijnen is gebruik gemaakt van drie beoordelingsgebieden:

1. **groen** gebied geen verhoogd risico op gezondheidsschade voor >90% van de mannen. Een bijzonder situatie is er bij hand-armtrillingen. Voor het gebied 'groen arceer' geldt dat toch maatregelen genomen moeten worden;
2. **geel** gebied verhoogd risico op gezondheidsschade; maatregelen opnemen in plan van aanpak; bij voorkeur direct maatregelen nemen. Bij de richtlijnen voor uitwendige krachtoefening geeft het gebied aan, dat tussen de 25% en 90% van de mannen, een bepaalde uitwendige kracht kan leveren. Statische houdingen of repeterende bewegingen van pols en onderarm met een verhoogd risico op gezondheidsschade zijn bij taakduren tussen 1 en 4 uur meestal ook in dit gebied opgenomen;
3. **rood** gebied sterk verhoogd risico op gezondheidsschade; direct maatregelen nemen. Bij de richtlijnen voor uitwendige krachtoefening geeft het gebied aan dat $\leq 25\%$ van de mannen een bepaalde uitwendige kracht kan leveren. Statische houdingen en repeterende bewegingen met een verhoogd gezondheidsrisico zijn bij taakduren van meer dan 4 uur meestal ook in het rode gebied opgenomen.

Indien bij een populatie werknemers een relatief hoog klachtenniveau wordt geconstateerd en bij toepassing van de richtlijnen geen verhoogd gezondheidsrisico wordt vastgesteld, is nadere aandacht te allen tijde noodzakelijk.

2.2 Aanvullend kiesschema

Het aanvullend kiesschema (#2) wordt gebruikt ter beoordeling van fysieke belasting in de *bouwtaken*:

- hanteren van *handgereedschap*;
- hanteren van *verpakkingen*.

Dit doet men *voordat* men de algehele *fysieke belasting in verschillende bouwtaken* beoordeelt (Arbouw, 1996). Het onderdeel krachtoefening in het onderdeel ‘repetierend handelen’ in kiesschema #1 (Arbouw, 1996) kan vervallen en vervangen worden door de onderdelen kracht- en moment-uitoefening in kiesschema #2 in deze publicatie. Recentere ontwikkelingen en inzichten zijn hierin verwerkt.

Als blijkt dat behalve bij taken als hanteren van gereedschappen en verpakkingen verschillende andere taken dezelfde lichaamsregio's belasten worden deze eveneens beoordeeld en moeten de tijdsduren worden opgeteld.

Is dat het geval maar is men *niet* in de gelegenheid alle taken uitvoerig te beoordelen, dan kan men bij een beoordeling van uitsluitend de taken ‘hanteren gereedschap of verpakking’ het beste eerst een ‘strengere beoordeling’ doen en uitgaan van een ‘groen gebied’ als taakeis. Immers samen met andere taken, waarvan de beoordeling elk afzonderlijk eveneens in het ‘groene of sommige wellicht in het ‘gele gebied’ zouden kunnen komen, kan een totaalsituatie ontstaan die geheel als ‘geel’ of wellicht zelfs als ‘rood’ moet worden beoordeeld. Zou men bij elk der afzonderlijk taken een beoordeling ‘geel’ accepteren, dan zou het oordeel over het totaal van taken gemakkelijk ‘rood’ kunnen worden voor lichaamsregio's die op dezelfde wijze belast worden.

Kiesschema #2 ter beoordeling van de fysieke belasting per hand en arm. Indien 'groen' dan is de keuze 'nee' en gaat u door naar het volgende punt.
Lang achtereen een statische kracht of moment uitoefenen is altijd 'ja'

Beoordeel eerst de belasting aan de zijde van de voorkeurshand

Is er bij buigen van de hand in het polsgewricht of roteren van de onderarm om zijn lengte-as sprake van: repeterende bewegingen ($F \geq 2/\text{min}$) of van statische houdingen (> 3 à 4 tellen één stand)?

Altijd nee ('groen') is buigen of roteren nabij **neutrale** standen

↓ ja

↓ nee

zie richtlijn buigen rond de pols en roteren rond de onderarm-as (Deel I, h 4)

Is er sprake van een mogelijk ongunstige armkracht (K) in één of meer krachtrichtingen: omhoog (til-
len), omlaag, voorwaarts (duwen), achterwaarts (trekken), inwaarts of uitwaarts of van grijp- of knijp-
kracht (K)?

Altijd nee ('groen') zijn de volgende kortdurende acties (< 3 à 4 tellen per actie):

$K < 2,5$ kg bij intermitterend handelen ($F < 2/\text{min}$) en taakduur < 1 uur per dag,

$K < 1,25$ kg bij repeterend handelen ($2/\text{min} \leq F < 20/\text{min}$) en taakduur < 2 uur per dag,

$K < 0,4$ kg.

↓ ja

↓ nee

zie checklist in h.3 en richtlijnen voor kracht-uitoefening (Deel I, h. 5,6, 8)

Is er sprake van een mogelijk ongunstig buigmoment rond de pols of rotatiemomenten rond de onder-
arm-as (M)?

Altijd nee ('groen') zijn de volgende kortdurende acties (< 3 sec per actie):

$M < 16$ kgcm bij intermitterend handelen ($F < 2/\text{min}$ en taakduur < 1 uur per dag,

$M < 8$ kgcm bij repeterend handelen ($2/\text{min} \leq F < 20/\text{min}$) en taakduur < 2 uur per dag,

$M < 3$ kgcm.

↓ ja

↓ nee

zie checklist in h.3 en richtlijnen voor moment-uitoefening (Deel I, h. 5,7)

Is er sprake van mogelijk ongunstige druk- of wrijvingskracht in het contactvlak hand-handgreep (bin-
nenzijde palm of vingers)?

Altijd nee ('groen') zijn de volgende situaties:

contactdruk $< 0,3$ kg/cm² bij afwisselende en $< 0,1$ kg/cm² bij ononderbroken blootstelling,

lage contactkrachten bij groot contactoppervlak en **geen** scherpe kanten, drukpunten of verkeerd geko-
zen greepmateriaal en **geen** hinderlijke piekdrukken, stick-slip, blaar- of eeltvorming.

↓ ja

↓ nee

zie richtlijn druk- en wrijvingskrachten in de hand (Deel I, h. 9)

Is er sprake van mogelijk ongunstige overdracht van trillingen naar hand of arm?

Altijd nee ('groen') zijn de volgende situaties:

emissiewaarde aan de handgreep $< 2,5$ m/sec² en totale taakduur < 2 uur per dag,

emissiewaarde aan de handgreep < 1 m/sec²,

trillingen of mechanische schokken niet of nauwelijks voelbaar.

↓ ja

↓ nee

zie richtlijn hand-armtrillingen (Deel I, h10)

Moet de belasting aan de andere hand beoordeeld worden?

⇒ nee: voor zover nodig, ga verder met keuzeschema #1 (Arbouw, 1996)

3. CHECKLISTS BIJ DE BEOORDELING VAN HAND-ARMKRACHTEN EN -MOMENTEN

De volgende 2 checklists zijn uitsluitend een hulpmiddel bij de beoordeling van de uitgeoefende krachten en buig- of draaimomenten met hand en arm. In elk van de hoofdstukken 5, 6, 7, 8 vindt men nadere informatie.

De kolommen in de checklist worden als volgt gebruikt:

- k1 bepaal de relevante actiekrachten of -momenten van de betreffende hand en arm afhankelijk van het werkgebied;
- k2 kies het paar basisgrenswaarden (groen/geel; geel/rood). Bij armkracht gebeurt dit via de figuren en de letters;
- k3 zoek en noteer de juiste vermenigvuldigingsfactor. Intermitterend of repeterend: F_c , langdurig statisch: F_s ;
- k4 bepaal de 2 gezondheidkundige grenswaarden door vermenigvuldiging van de basisgrenswaarden met F_c of F_s ;
- k5 schat, meet, bereken de krachten of momenten geleverd met de hand in de praktijk en noteer deze in k5;
- k6 vergelijk de praktijkwaarde met de berekende grenswaarden in k4 en vul het oordeel 'groen, geel of rood' in.

Checklist 1 voor de beoordeling van het uitoefenen van hand- of armkracht (hoofdstukken 5, 6, 8)

k1	k2		k3*	k4		k5	k6
relevante actiekracht (fig. 6.1-6.6)	basisgrens-waarden [kg] (tabel 6.7)		vermeniv.factor Fc (tabel 5.1) Fs (tabel 5.2)	gezondheids- kundige grens- waarden [kg]	praktijk- waarde [kg]	oordeel: gr,ge,rd	
	gr/ge	ge/rd		gr/ge	ge/rd		
-fig 6.1-omhoog (tillen)			x..... =				
-fig 6.2-omlaag			x..... =				
-fig 6.3-voorwaarts (duwen)			x..... =				
-fig 6.4-achterwaarts (trekken)			x..... =				
-fig 6.5-inwaarts			x..... =				
-fig 6.6-uitwaarts			x..... =				
-tab 8.3 knijp- of grijpkracht			x..... =				
voorbeeld 1: 4 kg trekken, vuisthoogte (fig 6.4 categ. -f-): F < 2/min, T < 1uur	6	10	x.....Fc: 0,64..... =	3,8	6,4	4	geel

Checklist voor de beoordeling van het uitvoeren van buig- of rotatiemoment met hand of onderarm (hoofdstukken 5,7)

k1	k2		k3	k4		k5	k6
relevante actiemomenten referentie rechter hand/onderarm (voor draairichtingen a-f zie fig. 4.1)	basisgrens-waarden (kgcm) (tabel 7.2)		vermenig.factor Fc (tabel 5.1) Fs (tabel 5.2)	gezondheids- kundige grens- waarden (kgcm)		praktijk- waarde (kgcm)	oordeel: gr,ge,rd
buigmoment rond pols:	gr/ge	ge/rd		gr/ge	ge/rd		
-Mf- richting palm (flexiemoment -a-)			x..... =				
-Me- richting handrug (extensiemom. -b-)			x..... =				
-Mr- richting duim (radiaal moment, -c-)			x..... =				
-Mu- richting pink (ulnair moment -d-)			x..... =				
rotatiemoment rond onderarm-as							
-Mp- linksom (pronatiemoment, -e-)			x..... =				
-Ms- rechtsom (supinatiemoment, -f-)			x..... =				
voorbeeld 2: 5 kgcm schroef indraaien (tab. 7.2; laatste regel); F > 20/min, T < 1uur	25	45	x.....Fc: 0,24..... =	6	10,8	5	groen

4. BUIGING VAN DE HAND EN ROTATIE VAN DE ONDERARM

De beoordelingscategorieën voor buigen van de hand rond pols en roteren van de onderarm om zijn as (in het ellebooggewricht) zijn voor de verschillende soorten belasting samen genomen in één stel richtlijnen. Onderscheiden zijn:

- *statisch*: gewrichten langer dan 3 tot 4 tellen in één stand ($> 3 \text{ sec.}$),
- *repetierend*: bewegingen worden vaker dan 2 keer per minuut herhaald ($F > 2/\text{min.}$),
- niet repetierend of statisch.

De volgende situaties zijn altijd:

'groen': als de houding niet statisch en de beweging niet repetierend is;

'rood': als de beweging repetierend is ($F > 2/\text{min}$) met grote uitslagen en hoge buigversnellingen in het polsgewricht (zie verder voetnoot in tabel 4.3).

De overige situaties moet men met tabel 4.3 beoordelen. Beoordeel vervolgens de uitoefening van statische of dynamische hand-armkrachten en momenten.

Tabel 4.3 Gezondheidskundige grenswaarden voor polsbuiging en onderarmrotatie (hoeken in °) bij statische houdingen ($> 3 \text{ sec}$ of 3 tot 4 tellen in één stand) of repeterende bewegingen ($F > 2/\text{min}$). Beoordeel apart de eventuele uitoefening van buigende of roterende momenten

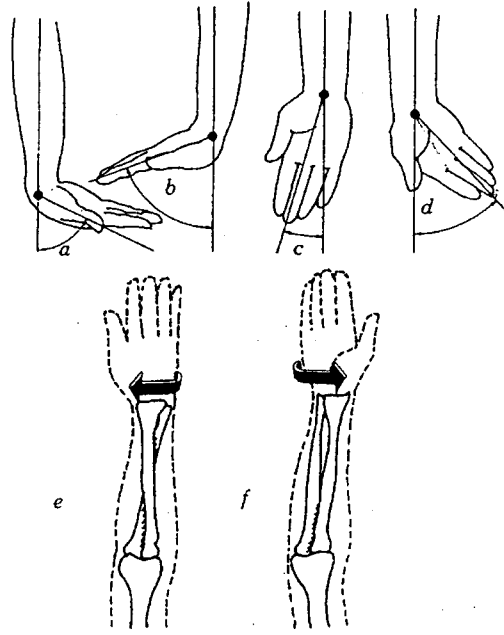
buig- of draairichting (a-f, zie fig.4.1)		REP $2 < F < 10/\text{min}^*$	STAT: $> 3 \text{ sec}$ REP $F > 10/\text{min}^{**}$
		groen	groen $< 1 \text{ uur}$ geel $1-4 \text{ uur}$ rood $> 4 \text{ uur}$
hand buigt vanuit het polsgewricht:			@
a. omlaag richting palm (flexie)	0-30		> 30
b. omhoog richting handrug (extensie)	0-30		> 30
c. opzij richting duim (radiale deviatie)	0-10		> 10
d. opzij richting pink (ulnaire deviatie)	0-20		> 20
handpalm roteert vanuit het ellebooggewricht:			
e. omlaag, men kijkt op de handrug (pronatie §)	0-40 (0-110)		> 40 (> 110)
f. omhoog, men kijkt op palm (supinatie)	0-40		> 40

* Nabij *extreme standen* ($> 2x$ de waarden uit deze kolom) is de beoordeling als onder $F > 10/\text{min}$.

** Nabij *extreme standen* ($> 2x$) wordt 'groen' 'geel' en 'geel' wordt 'rood'.

@ Worden voor de rijen a-d de hoeken in de laatste kolom overschreden en zijn ook hoge *versnellingen* rond de pols waarneembaar (felle bewegingen) dan is de situatie altijd 'rood' indien $F > 2 \text{ min}$.

§ Waarden tussen haakjes betreffen grenswaarden met nagenoeg gestrekte arm met rotatiemogelijkheid vanuit elleboog- en schoudergewricht. Met gebogen elleboog werken heeft de voorkeur; afgeraden wordt om behalve de schouder ook de romp mee te draaien.



Figuur 4.1 Buiging vanuit de pols en draaiing vanuit de elleboog
(a-f: zie tabel 4.3); bron: Feggeler et al., 1992

5. KRACHTUITOEFENING OP HANDGEREEDSCHAP

Om de gezondheidkundige grenswaarden voor krachttuioefening met het hand-armsysteem te bepalen moeten de gevonden basisgrenswaarden voor isometrisch maximale krachten en draaimomenten (zie de volgende hoofdstukken) vermenigvuldigd worden met een der vermenigvuldigingsfactoren uit onderstaande tabellen 5.1 of 5.2.

- Pas tabel 5.1 toe als sprake is van intermitterende of repeterende krachttuioefening waarbij de actietijd maximaal 45 seconden is. (**LET OP** voetnoot bij tabel). Geen of een trage beweging (gearceerde rijen) is bijvoorbeeld het induwen van een houtboor of het geleiden van een slijptol; een duidelijke beweging is bijvoorbeeld de armbeweging bij zagen of verfrabben of bij het optillen en neerleggen van gereedschap met een arm.
- Pas tabel 5.2 toe bij langdurige statische krachttuioefening. Een voorbeeld hiervan is het ophouden van een hamerboor om een gat te maken in een muur.

Tabel 5.1 Vermenigvuldigingsfactor F_c voor intermitterende of repeterende krachttuioefening
Vermenigvuldig de isometrische maximale actiekrachten of -draaimomenten met F_c om de gezondheidkundige grenswaarden voor kracht- en momentuioefening aan de handgrepen te bepalen. F_c is afhankelijk van de 'frequentie van de belasting', de 'mate van beweging', de 'totale taakduur per dag' (#) en 'de duur van de actiekracht per belastingscyclus' (bewerking van prEN 1005-3 richtlijn)

		F_c bij actieduren < 3 sec per belastingscyclus; zie *)		
		taakduur per dag		
frequentie (F (1/min))	mate van beweging	< 1 uur	1-2 uur	2-8 uur
intermitterend				
≤0,2 *)	geen/traag	1,0	0,8	0,5
	duidelijk	0,8	0,64	0,4
0,2-2 *)	geen/traag	0,8	0,64	0,4
	duidelijk	0,64	0,51	0,32
repeterend				
2-20 *)	geen/traag	0,5	0,4	0,25
	duidelijk	0,4	0,32	0,20
> 20	geen/traag	0,3	0,24	0,15
	duidelijk	0,24	0,19	0,12

*) Wordt in een belastingscyclus langer dan 3 seconden achtereen spierkracht geleverd, halveer dan de vermenigvuldigingsfactor in de tabel. $F \geq 20$ is dan niet van toepassing. Bij $F \leq 0,2/\text{min}$ en een duur per spieractie van > 45 sec. raadpleeg de tabel voor langdurige statische belasting (tabel 5.1)

Worden bepaalde lichaamsdelen gedurende meerdere taken of meerdere perioden in dezelfde taak op soortgelijke wijze belast dan moet men de taaktijden per dag bij elkaar optellen alvorens de kolom voor taakduur te kiezen.

Tabel 5.2 Vermenigvuldigingsfactor F_s voor langdurige statische krachtoefening

Vermenigvuldig de isometrische maximale actiekrachten of draaimomenten met F_s om de gezondheidskundige grenswaarden voor kracht- en momentuitoefening aan de handgrepen te bepalen. F_s is afhankelijk van de 'totale taakduur per dag' (#), de 'duur van de kracht per actie' en de mogelijkheid van herstel. Uitgangspunt is hier tenminste een hersteltijd van 250-300% van de actietijd (zie kolom 2). Raadpleeg een deskundige voor andere werk-rustverhoudingen

duur van elke spieractie	vereiste herstelduur na elke actie	Fs voor langdurige STATISCHE krachtoefening, trage beweging toelaatbaar		
		taakduur per dag		
		< 1 uur	1-2 uur	2-8 uur
0,75-1 min	> 2,5 min	0,38	0,33	0,23
1-2 min	> 6 min	0,30	0,25	0,17
2-4 min	> 12 min	0,20	0,18	0,12
4-8 min	> 24 min	0,15	0,13	0,10

Worden bepaalde lichaamsdelen gedurende meerdere taken of meerdere perioden in dezelfde taak op soortgelijke wijze belast dan moet men de taaktijden per dag bij elkaar optellen alvorens de kolom voor taakduur te kiezen.

- Pas een extra veiligheidfactor toe (vermenigvuldig F_c of F_s nog met $F_v=0,5$) als vermoed wordt dat er sprake is van nog andere verhoogde gezondheidsrisico's waarvoor niet in deze richtlijn is voorzien. Extra risico's, waarin niet is voorzien in deze richtlijn, zijn bijvoorbeeld: een hoge mate van precisie (in termen van mm-werk), duidelijk optredende trillingen of schokken van het hand-arm-systeem of van het hele lichaam zoals op bewegende werkplatforms, krachtoefening bij gedwongen machinetempo, belemmerende kleding anders dan werkhandschoenen, werken bij hoge temperaturen en grote vochtigheid.
- De factor F_v kan worden aangepast (meer naar 1) als uit een nader onderzoek blijkt dat de extra risico's gering zijn (zie deel II paragraaf 5.2.4 punt f).

6. DUW- EN TREKKRACHTEN MET HAND EN ARM

6.1 Basis-grenswaarden voor hand/armkracht

Met behulp van de figuren 6.1-6.6, de beschreven situaties van armkrachtuitoefening en tabel 6.7 kan men de basis-grenswaarden bepalen. Dit zijn de maximaal toelaatbare krachten voor *incidenteel en kortdurende kracht met de dominante hand-arm (3 à 4 tellen vol te houden)*.

De basis-grenswaarden in tabel 6.7 kunnen in beginsel gebruikt worden voor *de basishoudingen staan, knielen, hurken en zitten*. Pas nadat per hand-arm *de gezondheidkundige grenswaarden* bepaald zijn met behulp van de vermenigvuldigingsfactoren uit tabel 5.1 volgt na optelling van de resulterende grenswaarden een toets of de basishouding staan, zitten, knielen of hurken mogelijk is (zie grenswaarden in Arbouw, 1996).

Na vermenigvuldiging blijken de toelaatbare krachten vaak zoveel lager dat de basishouding er niet erg meer toe doet; de noodzaak tot extra stabiliteit of afsteuning van het lichaam ontbreekt. Doorgaans kiest men in de praktijk al een vrije basishouding met een maximum aan stabiliteit (ene been voor of ver naast de andere, schrap zetten van een voet; romp afsteunen).

Tabel 6.7 Basis-grenswaarden voor maximale actiekrachten per gebied waarin de hand zich bevindt, dit zijn krachten die incidenteel uitgeoefend kunnen worden met de voorkeurshand/arm*. De gebieden met handposities of handbewegingstrajecten waarvoor deze gelden zijn aangeduid met letters; zie figuur 6.1-6.6**

letteraanduiding gebied	kracht (kg)	
	groen/geel	geel/rood
a.	30	50
b.	20 <i>0,65</i>	35
c.	14 <i>0,45</i>	25
d.	10 <i>0,35</i>	17
e.	7,5 <i>0,25</i>	13
f.	6 <i>0,2</i>	10
g.	4 <i>0,15</i>	7

* - De twee grenzen zijn: *groen/geel* (90% van de mannen kan de kracht leveren) en *geel/rood* (25% van de mannen kan de kracht leveren).

- Voor de niet-voorkeurshand/arm moeten de waarden met 10% verminderd worden.

- Bij gebruik van 2 handen/armen wordt *elke hand-arm apart beoordeeld*.

** - Ga vervolgens naar hoofdstuk 5 en bepaal het product met de factoren Fc of Fs (tabel 5.1 of 5.2) en zo nodig Fv.

Dit resulteert in de gezondheidkundige grenswaarden.

De krachten voor beide handen en armen of per hand-arm en de waargenomen houdingen of bewegingen moeten ook blijven voldoen aan de richtlijn 'Arbouw 1996'.

per hand!

6.2 Beoordeling van situaties met hand-armkracht

Voor het beoordelen van situaties met hand-armkracht worden de volgende stappen gevolgd (zie ook figuur 6.1-6.6 met beschrijvingen):

1. analyseer en beoordeel het krachterspel per hand-arm en per krachtrichting apart.

Het gaat om actiekrachten van de hand op het gereedschap, zoals omhoog tillen of duwen, omlaag trekken of duwen, voorwaarts trekken of duwen, inwaarts trekken of uitwaarts duwen. (voor alle duidelijkheid: de reactiekracht of het gewicht van het gereedschap werkt dus in tegenovergestelde richting).

Bij het verzamelen en meten van gegevens over de vereiste actiekracht en handposities zijn de volgende referenties essentieel:

2. ga uit van de referentie 'romp rechtop' (zie stap 11 voor voorovergebogen romp);
3. kies het centrum van de 'vuist' als positie van de rechterhand.
(Voor de linkerhand spiegelt men de figuren en projecteert alles op het linkerschoudergewricht.)
4. neem als referenties:
 - een verticale lijn evenwijdig aan de as van de romp voor de beschrijving van de horizontale afstanden van de hand (% van rw; zie legenda in § 6.3);
 - een horizontaal vlak door het betreffende schoudergewricht voor de beschrijving van de verticale afstanden van de hand tot dit vlak (zie legenda in § 6.3 voor praktische lichaamsreferenties);
 - een verticaal vlak V_s ($-45 < \beta < 90$) door schoudergewricht en vuist voor de beschrijving van de uitgeoefende verticale en horizontale krachten *in of haaks* op dit vlak (zie figuur 6.1-6.6, bovenaanzichten);
5. verzamel de volgende gegevens over de situatie van krachtoefening:
 - hand-positie of hand-beweging en -bewegingsrichtingen (bijvoorbeeld ophouden boor, wegduwen schaaft);
 - de vereiste actiekrachten en krachtrichtingen ontbonden in vectoren ten opzichte van vlak V_s (bijvoorbeeld inwaartse kracht haaks op V_s en horizontale duwkracht in V_s);
 - aard van de kracht, belastend of ondersteunend voor arm en/of romp);
6. zoek de letteraanduiding van het betreffende gebied waar de handen gepositioneerd is of bewogen wordt afhankelijk van de vereiste krachtrichting met behulp van figuren 6.1-6.6 en stel de twee bijbehorende *basis-grenswaarden* vast met behulp van tabel 6.7 (grenswaarden groen/geel en geel/rood aflezen);

7. komt de hand in meerdere gebieden zoals bij grote bewegingen, kies dan voor de veiligheid de laagste basisgrenswaarden, dat is de hoogste letter in het alfabet;
8. ga naar tabel 5.1 of 5.2 en vermenigvuldig met een der factoren (F_c of F_s) en zonodig nog met de veiligheidsfactor (F_v) om de *gezondheidskundige grenswaarden* te bepalen.
LET OP. In tabel 5.1 kiest men voor 'duidelijk' (bewegen), als de handbeweging min of meer in dezelfde richting is als de kracht. Staat de beweging er min of meer loodrecht op, dan kiest men de getallen onder 'geen/traag' (bijvoorbeeld een gewicht in de hand naar voren of naar achteren brengen);
9. geef oordeel over de vereiste hand/armkrachten met 'groen, geel of rood';
10. beoordeel tenslotte of aan de andere richtlijnen voor fysieke belasting (Arbouw, 1996) is voldaan, zoals de richtlijnen voor:
 - tillen met hele lichaam (van gereedschap of verpakking) met 2 handen;
 - statische houdingen en repeterende bewegingen; gunstig is als geheven arm en voorovergebogen romp bij gebruik van gereedschap ondersteund worden;
 - overige extreme gewrichtsstanden;
 - de richtlijn voor *repeterende krachtoefening* in Arbouw (1996) kan beter vervangen worden door de richtlijnen voor intermitterende of repeterende krachtoefening in deze publicatie, omdat er meer situaties mee beoordeeld kunnen worden;
11. bijzondere situaties van beoordeling van hand/armkracht:
 - is de romphoek tussen -20° en $+20^\circ$, kantel dan de figuren en de referenties met de romp mee. Kantel niet de werklijn van de zwaartekracht mee; ontbindt deze zo nodig in de gewenste richtingen.
LET OP. Beoordeel bij vooroverbuiging de rugbelasting apart als er geen sprake is van volledige rompondersteuning via tenminste een hand/arm.
 - is de romphoek $>20^\circ$ raadpleeg dan een deskundige.

6.3 Basis-grenswaarden voor 6 richtingen van hand/-armkracht en posities of bewegingsgebieden van de rechterhand

Legenda figuren 6.1-6.6

Vette pijl = actiekracht.

Vs = verticaal vlak door schoudergewricht.

β = hoek van Vs ten opzichte van het sagittale vlak;
positie rechter hand ook begrensd door verticaal vlak door linker schoudergewricht.

H = de horizontale afstand tot verticale lijn door schoudergewricht in proportie van de rw.

rw = reikwijdte vuist ten opzichte van verticale lijn door schoudergewricht;
rw is ongeveer 68 cm met gestrekte arm op schouderhoogte;
elleboog is ongeveer op 1/2 reikwijdte van de vuist bij gestrekte arm.

rh = reikhoogte (arm gestrekt omhoog).

-- = 3/4 reikhoogte.

kh = kruinhoogte.

-- = neushoogte.

sh = schouderhoogte.

-- = borsthoogte.

eh = ellebooghoogte.

-- = bekkenhoogte.

vh = vuisthoogte (arm gestrekt omlaag).

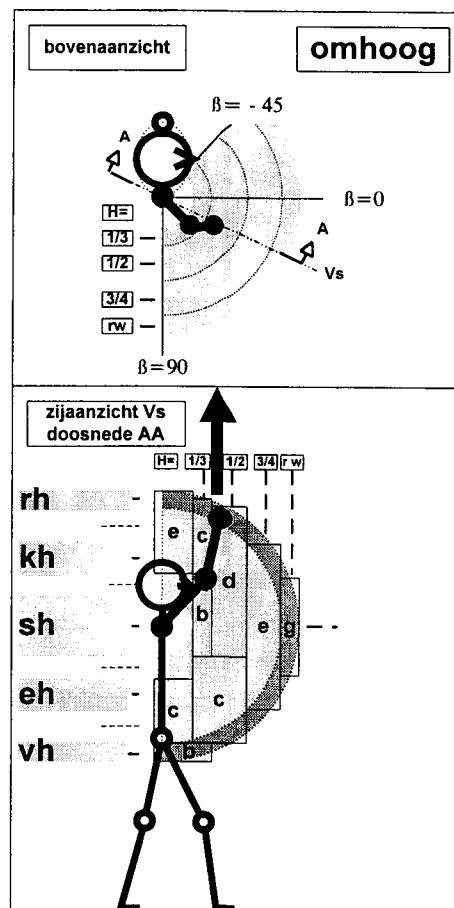
Voor linker hand/arm neem het spiegelbeeld.

Armkracht verticaal *omhoog* (in een vlak Vs)

De actiekrachten (letter b-g in tabel 6.7) gelden voor verticale bewegingen of posities van de hand in de volgende gebieden (zie figuur 6.1):

letter beschrijving van het gebied

- b. op 1/3 reikwijdte of vlak naast het lichaam op vuisthoogte of
op 1/3 reikwijdte van schouder-neushoogte;
- c. naast het lichaam van bekken- tot ellebooghoogte of
op 1/3 tot 1/2 reikwijdte van bekken- tot borsthoogte of op 1/3 reikwijdte van kruin- tot reikhoogte;
- d. op 1/2 reikwijdte van schouder- tot 3/4 reikhoogte
(getekende handpositie);
- e. op 3/4 reikwijdte van elleboog- tot kruin- hoogte of
naast het hoofd van kruin- tot reikhoogte;
- g. op reikwijdte van borst- tot neushoogte.



Figuur 6.1 Actiekracht verticaal *omhoog* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

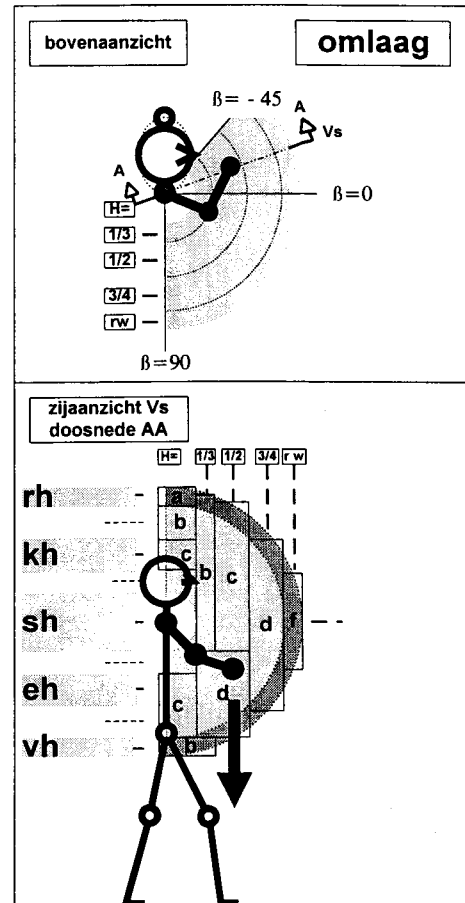
*Stentel naar cm's in
vereenvoudigde richting.*

Armkracht verticaal *omlaag* (in een vlak Vs).

De actiekrachten (letter a-f in tabel 6.7) gelden voor verticale bewegingen of posities van de hand in de volgende gebieden (zie figuur 6.2):

letter beschrijving van het gebied

- a. vlak naast het hoofd op reikhoogte;
- b. op 1/3 reikwijdte van reik- tot schouderhoogte of vlak naast het hoofd op 3/4 reikhoogte of op 1/3 reikwijdte tot vlak naast het lichaam op vuisthoogte;
- c. op 1/2 reikwijdte van 3/4 reik- tot schouderhoogte of vlak naast het hoofd op kruinhoogte of vlak naast het lichaam van elleboog- tot bekkenhoogte;
- d. op 3/4 reikwijdte van kruin- tot ellebooghoogte of op 1/3 tot 1/2 reikwijdte van borst- tot bekkenhoogte (*getekende handpositie*);
- f. op reikwijdte van neus- tot borsthoogte.



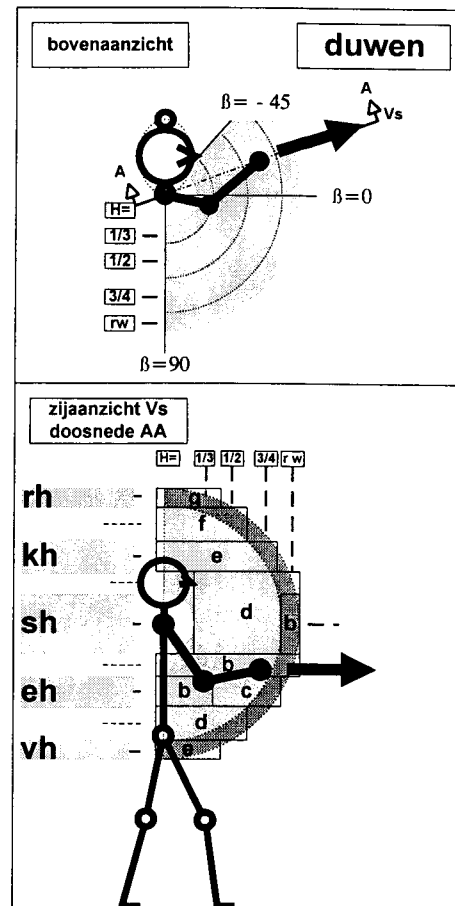
Figuur 6.2 Actiekracht verticaal *omlaag* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

Armkracht horizontaal *duwen* (in een vlak Vs).

De actiekrachten (letter b-g in tabel 6.7) gelden voor horizontale bewegingen of posities van de hand in de volgende gebieden (zie figuur 6.3):

letter beschrijving van het gebied

- b. op schouderhoogte bij reikwijdte of op borsthoogte van naast het lichaam tot reikwijdte (*getekende handpositie*) of op ellebooghoogte van naast het lichaam tot 1/3 reikwijdte;
- c. op ellebooghoogte van 1/2 tot 3/4 reikwijdte;
- d. op neushoogte van 1/3 reik- tot reikwijdte of op schouderhoogte van 1/3 tot 3/4 reikwijdte of op bekkenhoogte van vlak naast het lichaam tot 1/2 reikwijdte;
- e. op vuisthoogte van vlak naast het lichaam tot 1/3 reikwijdte of op kruinhoogte van 1/3 tot 3/4 reikwijdte;
- f. op 3/4 reikhoogte van vlak naast het hoofd tot 1/2 reikwijdte;
- g. op reikhoogte van vlak naast het lichaam tot 1/3 reikwijdte.



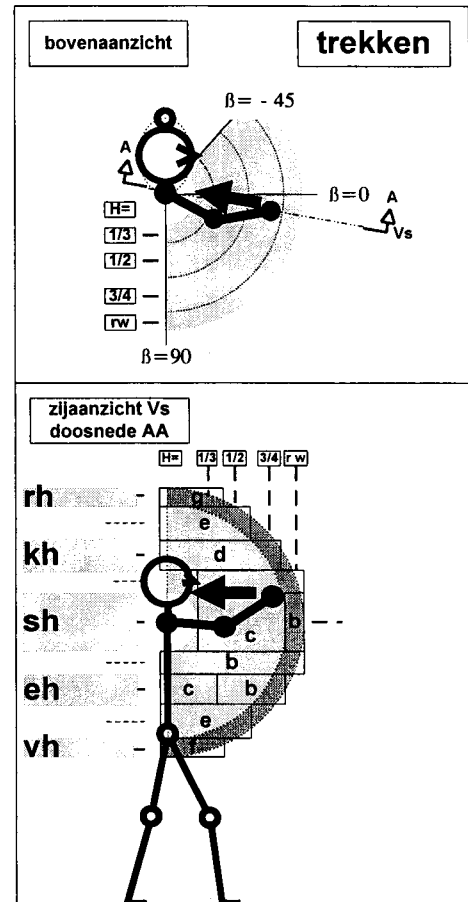
Figuur 6.3 Actiekracht horizontaal *voorwaarts* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

Armkracht horizontaal *trekken* (in een vlak Vs)

De actiekrachten (letter b-g in tabel 6.7) gelden voor horizontale bewegingen of posities van de hand in de volgende gebieden (zie figuur 6.4):

letter beschrijving van het gebied

- b. op schouderhoogte bij reikwijdte of
 op borsthoogte van reikwijdte tot naast het li-
 chaam of
 op ellebooghoogte van 3/4 tot 1/2 reikwijdte;
- c. op ellebooghoogte van 1/3 reikwijdte tot naast
 het lichaam of
 op neushoogte van reikwijdte tot 1/3 reikwijdte
 of
 op schouderhoogte van 3/4 tot 1/3 reikwijdte
 (*getekende handpositie*);
- d. op kruinhoogte van 3/4 reikwijdte tot naast het
 hoofd;
- e. op bekkenhoogte van 1/2 reikwijdte tot vlak
 naast het lichaam
 of op 3/4 reikhoogte van 1/2 reikwijdte tot vlak
 naast het hoofd;
- f. op vuisthoogte van 1/3 reikwijdte tot vlak naast
 het lichaam;
- g. op reikhoogte van 1/3 reikwijdte tot vlak naast
 het hoofd.



Figuur 6.4 Actiekracht horizontaal *achterwaarts* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

Armkracht horizontaal *inwaarts* (haaks op vlak Vs)

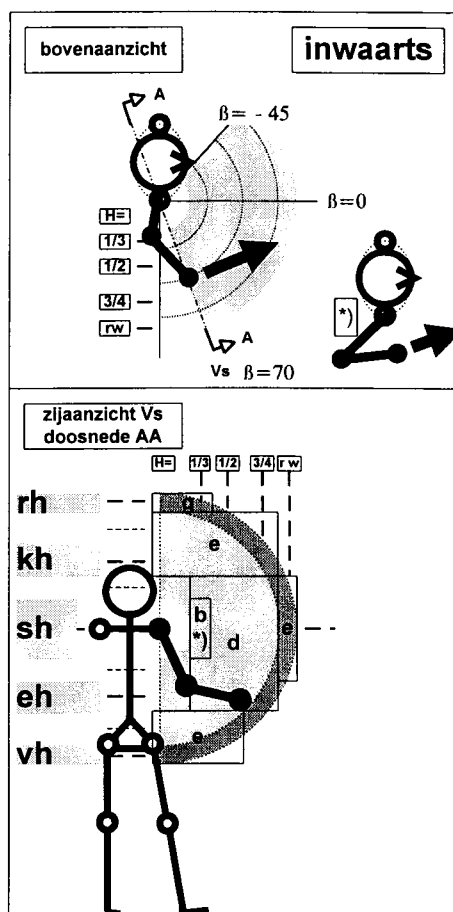
De actiekrachten (letter b-g in tabel 6.7) gelden voor horizontaal zwaaiende arm en posities van de hand binnen de volgende buismantelvormige gebieden (zie bovenaanzicht figuur 6.5).
Let op randvoorwaarden b, anders geldt d):

letter beschrijving geldt voor handbeweging/-posities tussen de twee uiterste vlakken Vs
($-45^\circ < \beta < 70^\circ$)

- b. op schouderhoogte en 1/3 reikwijdte*;
- d. op neus- tot ellebooghoogte en 3/4 tot 1/3 reikwijdte (*getekende handpositie*);
- e. op 3/4 reik- of kruinhoogte en 3/4 reikwijdte tot vlak bij het hoofd of
op neus- tot borsthoogte en reikwijdte of
op bekken- tot vuisthoogte en 1/2 reikwijdte tot vlak bij het lichaam;
- g. op reikhoogte en 1/3 reikwijdte tot naast het hoofd.

* voorwaarden voor kracht b (zie * in figuur):

- krachtrichting min of meer in het verlengde van de onderarm-as
($\pm 30^\circ$ afwijking toegestaan);
- zo nodig afsteuning of schrap zetten
(via romp, andere hand, voeten).



Figuur 6.5 Actiekracht horizontaal *inwaarts* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

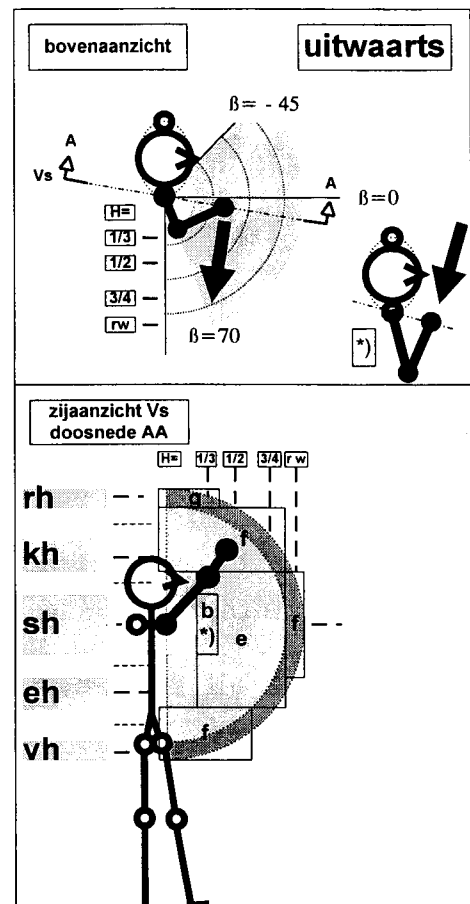
Armkracht horizontaal *uitwaarts* (haaks op vlak Vs)

De actiekrachten (letter b-g in tabel 6.7) gelden voor horizontaal zwaaiende arm en posities van de hand binnen de volgende buismantelvormige bieden (zie bovenaanzicht figuur 6.6).
 Let op randvoorwaarden b, anders geldt e):

letter beschrijving geldt voor handbeweging/ posities tussen de twee uiterste vlakken Vs
 ($-45^\circ < \beta < 70^\circ$)

- b. op schouderhoogte en 1/3 reikwijdte*;
- e. op neus- tot ellebooghoogte en 3/4 tot 1/3 reikwijdte;
- f. op 3/4 reik- of kruinhoogte en 3/4 reikwijdte tot vlak bij het hoofd (*getekende handpositie*) of op neus- tot borsthoogte en reikwijdte of op bekken- tot vuisthoogte en 1/2 reikwijdte tot vlak bij het lichaam;
- g. op reikhoogte en 1/3 reikwijdte tot naast het hoofd.

- * voorwaarden voor kracht b (zie * in figuur)
- krachtrichting min of meer in het verlengde van de onderarm-as
 (+/- 30° afwijking toegestaan)
 - zo nodig afsteuning of schrap zetten
 (via romp, andere hand, voeten).



Figuur 6.6 Actiekracht horizontaal *uitwaarts* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

7. BUIGMOMENTEN ROND POLS EN ROTATIEMOMENTEN ROND ONDERARM-AS

Om met handgereedschap kracht uit te oefenen, om dit omhoog te houden of om een last te dragen of te tillen komt het vaak voor dat *met de hand een buigmoment rond de pols of met de hand en onderarm een draaimoment om de lengte-as* geleverd moet worden.

We onderscheiden de volgende actiemomenten en draairichtingen van de rechter hand:

- M_f = buigmoment rond de pols richting handpalm (flexie-moment);
- M_e = buigmoment rond de pols richting handrug (extensie-moment);
- M_r = buigmoment rond de pols opzij richting duim (radiaal-moment);
- M_u = buigmoment rond de pols opzij richting pink (ulnair-moment);
- M_p = rotatiemoment rond onderarm-as; linksom draaiend (pronatie-moment);
- M_s = rotatiemoment rond onderarm-as: rechtsom draaiend (supinatie-moment).

De optredende draaimomenten kunnen aanzienlijk zijn als:

- de werklijn van een gewicht of kracht duidelijk niet door de lengte-as van de hand c.q. de onderarm gaat en ver 'voor' of ver 'opzij' van de vuist ligt;
- als aangedreven handgereedschap een groot reactiemoment genereert.

Voorbeelden waarbij een beoordeling zeker nodig is:

- zwaartepunt van een gereedschap ligt ver voor of opzij van de vuist of opzij van de lijn door 2 vuisten;
- aandrukkracht van een gereedschap ligt ver voor de hand zoals bij een verfroller;
- handmatig wringmoment leveren zoals een schroef of tapijzer indraaien;
- opvangen van een reactiemoment van een boor of schroefmachine met één der handen.

De beoordeling van buig- en rotatiemomenten [kgcm] is altijd:

- | | | |
|---------------|--|----------------------|
| 'rood' | • buigmoment rond pols richting palm-handrug; | M_f of $M_e > 130$ |
| | • buigmoment rond pols in zijwaartse richtingen; | M_u of $M_r > 200$ |
| | • rotatiemoment rond onderarm-as. | M_p of $M_s > 165$ |

Als zich gezondheidsklachten in hand, pols of onderarm voordoen die gerelateerd zijn aan buigen en roteren;

- | | |
|---------------|--|
| 'geel' | Als zich klachten van vermoeidheid voordoen in hand of onderarm; |
|---------------|--|

- | | | |
|----------------|--|--------------------|
| 'groen' | • buigmoment rond pols richting palm-handrug; | M_e of $M_f < 4$ |
| | • buigmoment rond pols in zijwaartse richtingen; | M_r of $M_u < 5$ |

- rotatiemoment rond onderarm-as.

M_p of $M_s < 3$

Er doen zich geen klachten voor die gerelateerd zijn aan pols-
buiging en onderarmverdraaiing.

Voor beoordeling van de basisgrenswaarden in de overige situaties moet tabel 7.2 geraadpleegd worden. De gezondheidkundige grenswaarden bepaalt men met de vermenigvuldigingsfactor uit tabel 5.1 of 5.2 en zonodig ook nog met een factor F_v .

Tabel 7.2 geeft de basisgrenswaarden aan voor *incidenteel toelaatbare buig- en rotatiemomenten zonder dat sprake is van duidelijk bewegen*.

Tabel 7.2 Basisgrenswaarden: incidenteel maximaal toelaatbare *buigmomenten rond het polsgewricht en rotatiemomenten rond de onderarm-as* in samenhang met polsbuig- en onderarmverdraaiingshoeken en reikafstand van de hand. De maxima gelden voor mannen, momenten uitgeoefend met de voorkeurs-hand* (pas hierop tabel 5.1 of 5.2 en zonodig de extra veiligheidsfactor F_v toe)

met de voorkeurshand (pas hierop tabel 5.1 of 5.2 en zetting de extra veiligheidsfactor 1,4 toe)				
buig-, draaihoek	momentrichting en reikafstand**)	voorbeeld	moment (kgcm)	
			groen/geel	geel/rood
<i>hand buigen naar palm of handrugzijde</i>				
<i>(flexie-extensie)</i>				
≤45°	<i>momentrichting</i>			
	Mf – flexie	kwasten	70	130
	Me – extensie	kwasten	50	90
⤵ 45°	Mf – flexie	duwen op spaan	50	90
	Me – extensie	draaien troffel	35	60
<i>hand buigen naar duim- of pinkzijde</i>				
<i>(radiaal-ulnair)</i>				
≤15°	<i>momentrichting</i> Mr – radiaal of Mu – ulnair	verfrollen op wand	120	200
		tillen met hoekgreep	40	70
> 15°				
<i>palm neer- of opwaarts roteren rond onderarm- as (pronatie-supinatie)</i>				
<i>momentrichting/reikafstand</i>				
≤40°	Mp – pronatie			
	Ms – supinatie			
	Mp of Ms: 50-75%	-	90	165
	Mp:75-100%	-	70	130
	Ms:75-100%	boor tegenhouden	40	70
> 40°	Mp of Ms: 50-75%	-	60	110
	Mp:75-100%	schroef uitdraaien	45	85
	Ms:75-100%	schroef indraaien	25	45

* -geldig voor handposities tussen oog- en buikhoogte recht voor of opzij van het lichaam aan de zijde van de betreffende arm,
-bij heen en weer buigen of roteren: neem het minimum van de basisgrenswaarden voor de beide richtingen,
-voor de niet voorkeurs-hand moeten de waarden met 10% verminderd worden.

** zie figuur 4.1 voor draairichtingen; reikafstand in % van de reikwijdte vuist-schoudergewricht

30?
zie tabel 4.3

8. GRIJP- EN KNIJPKRACHTEN MET 4 OF 5 VINGERS VAN DE HAND

De onderstaande basisgrenswaarden gelden voor grijp- of knijpkracht (Kk) bij grijpmethoden met 4 of 5 vingers van een hand. Dit zijn de meest krachtige grijp- en knijpmethoden en die komen in de bouw het meeste voor. Voor grijp- of knijpmethoden met 2 of 3 vingers moet men een deskundige raadplegen.

Dichtknijpen komt voor bij een snij- of kniptang of bij een handbediende kitspuit. Knijpkracht is verbonden aan een *duidelijke beweging* van de vingers, een dynamische kracht. Grijpkracht is meer verbonden met vasthouden, met statische krachtoefening. Het verschil is van belang bij toepassing van tabel 5.1 in combinatie met tabel 8.3.

De volgende grijpmethoden kan men met de richtlijnen beoordelen:

- *vuistgreep, diagonaalgreep of tanggreep*

De vingers buigen om een greep of om een heft. De palm dient als ondersteuning voor de tegenovergestelde kant van de greep of van het andere heft;

- *haakgreep of hoekgreep*

De kracht komt vrijwel alleen loodrecht op de gebogen vingerkootjes.

Voorbeelden: trekken aan een T- of D-vormige greep of het tillen aan hingsels of handvat aan een verpakking. Bij de haakgreep komt vooral kracht op de middelste kootjes van alle vingers. Bij de hoekgreep, vingers onder een hoek van een kist of doos geplaatst, meer op de buitenste kootjes (vingertoppen).

Wees vooral alert op eventuele klachten en op de volgende situaties:

1. grote krachtoverdracht van hand op gereedschap of verpakking is vereist:

via wrijvingscontact; voorbeelden: zwaar indraaien via schroevendraaierheft, in lengterichting duwen van schepsteel;

via drukcontact; voorbeelden: zwaar tillen aan hingsel, eenhandig dichtknijpen van zware schaar of tang;

2. extra hard knijpen om een goede beheersing te houden over het gereedschap

Hoewel de benodigde actiekrachten op het gereedschap niet zo hoog hoeven zijn (bijvoorbeeld tussen 2 tot 10kg) komt het voor dat men toch een hogere dan noodzakelijke grijpkracht uitoefent. Onzekerheid omtrent het krachtverloop of van de gebruiker van het gereedschap kan hiertoe bijdragen. Het verschijnsel staat los van de wijze van krachtoverdracht in de hand (via wrijving, of via contactdruk);

3. grijp- of knijpkracht onder ongunstige condities

Gemiddeld tot grote grijpkrachten in combinaties met te dunne of te dikke grepen, met extreme polsstanden of rotatiehoeken van de onderarm, met een hoog werktempo en lange taakduren moet men zeker apart beoordelen.

De beoordeling vindt voor elke hand apart plaats. Het oordeel van grijp- of knijpkracht (Kk) is in eerste instantie altijd:

- | | |
|---------|---|
| ‘rood’ | <ul style="list-style-type: none">• als $Kk > 50\text{kg}$;• als zich gezondheidsklachten in hand, pols of onderarm voordoen die gerelateerd zijn aan grijpen of knijpen; |
| ‘geel’ | <ul style="list-style-type: none">• als zich klachten van vermoeidheid in vingers of onderarm voordoen;• als $Kk > 30\text{kg}$, is het oordeel tenminste ‘geel’; |
| ‘groen’ | <ul style="list-style-type: none">• als $Kk < 1,5\text{kg}$, en• extreme polsstanden komen niet voor, en• greepdiameter, greepomtrek of heftafstand zijn optimaal, en• klachten doen zich niet voor. |

Voor beoordeling van alle overige situaties moet tabel 8.3 (*basisgrenswaarden voor grijp- of knijpkracht*) in combinatie toegepast worden met tabel 5.1 of 5.2 en zonodig ook met de extra veiligheidsfactor Fv.

Voor een duidelijke *knijpbeweging* (schaar bijvoorbeeld) kiest men altijd de categorie ‘duidelijk bewegen’ in tabel 5.1.

De basisgrenswaarde bepaalt men aan de hand van de volgende factoren:

- de grijpmethode;
- buiging van hand of vuist in het polsgewricht;
- greepdiameter of -omtrek of heftafstand;
- verdraaiing van de onderarm;
- voorkeurshand of niet al of niet voorzien van handschoen.

Tabel 8.3 Basis-grenswaarden, incidenteel maximaal toelaatbare *grijp- of knijpkracht* uitgeoefend met voorkeurshand en zonder werkhandschoen*; bij verschillende grijpmethoden en ideaal** handcontact afhankelijk van de buiging in het polsgewricht (pas hierna tabel 5.1 of 5.2 en zonodig de extra veiligheidsfactor Fv toe)

grijpmethode en handbuiging in polsgewricht t.o.v. de onderarm		grijp- (knijp)kracht (kg)	
	voorbeeld	groen/geel	geel/rood
vuist-, haak- of tanggreep			
<i>buighoek</i>	<i>buigrichting (1)</i>		
≤20°	willekeurig	hilt schepsteel	24 0,8 40
20-45°	handpalm, -rug, pink	nijptang	20 0,7 35
>45°	handpalm, -rug	stukadoorsspaan	14 0,5 25
neutrale stand	(2)	verstekzaag	30 ' 50
diagonaal-, hoek- en pistoolgreep			
<i>buighoek</i>	<i>buigrichting (1)</i>		
≤20°	willekeurig	verfrollen op wand	17 85 28
20-45°	handpalm, -rug, pink	tillen met hoekgreep	14 97 25
>45°	(handpalm, -rug)	schroef indraaien	10 ' 17
neutrale stand	(2)	elektrische handboor	20 ' 35

- * Voor krachtuitoefening op een handgreep of handvat met de *niet-voorkeurshand* moeten de waarden met 10% verminderd worden.
- * Bij verdraaiing rond de onderarmas tegen de klok in moeten de waarden met 10% verminderd worden.
- * Met *goed passende werkhandschoenen* de grenswaarden verminderen met:
 - 10% bij werkhandschoenen met dunne enkelvoudige weefsellaag (katoen bv);
 - 20% bij werkhandschoenen met dubbele weefsellaag en staalversterking.
- * Bij gebruik van speciaal dikke of stijve werkhandschoenen en sterk moeten buigen van de vingers is nader onderzoek nodig (bv de handschoen Prevent).

** *Ideale greepomtrek (omtrek, diameter of heftafstand)* voor mannen zijn bij een:

- cilindrische greep: diameter 40-50mm;
- ovale of afgeronde min of meer vierkante of zeskantige grepen: omtrek van de dwarsdoorsnede 125-155mm;
- tanggreep: afstand middenkootje van middelste vinger tot duimuis 70-75mm.

Verder moet voldaan zijn aan de grenswaarden voor handcontact (hoofdstuk 9 en 10).

Voor een *niet-ideale greepomtrek* moeten de grenswaarden met de volgende percentages verminderd worden:

- 30%: - diameter 50-90mm of
 - omtrek dwarsdoorsnede 155-280mm,
 - tanggreep: greepafstand van 75-100mm;
- 50%: - diameter 30-40mm of
 - omtrek dwarsdoorsnede 95-125mm,
 - tanggreep: greepafstand 40-70mm.

(1) In bepaalde richtingen overschrijden de hoeken het buigbereik van het polsgewricht (opzij: richting duim; richting pink).

(2) Neutrale stand is als de as van de middelste middenhandsbeen in verlengde ligt van de as van de onderarm.

9. DRUK- EN WRIJVINGSKRACHTEN IN DE HAND

De stand der kennis is beperkend voor het opstellen van definitieve valide en praktisch bruikbare richtlijnen. Hieronder worden voorlopige *gezondheidskundige grenswaarden* voor contactdruk en wrijving in de hand geformuleerd. Tabel 5.1 of 5.2 wordt hier niet toegepast; wel zonodig een vermenigvuldigingsfactor voor veiligheid Fv; zie hoofdstuk 5.

9.1 Voorlopige richtlijn voor drukcontact in de hand

Bij gebruik van handgereedschap wordt de beoordeling van 'contactdruk in de hand' in eerste instantie altijd:

'rood' In alle volgende gevallen dat:

- lokale *drukpijn* of gevoel van *insnijden* in de hand
 - wordt gerapporteerd, of
 - reden is om de werkzaamheid (tijdelijk) te onderbreken;
- *piekdruk: incidenteel (<4/uur) en kortdurend (<3 sec)* optreedt op de:
 - palmzijde van de vingers $> 8\text{kg/cm}^2$
 - palmzijde van de rest van de hand $> 6\text{kg/cm}^2$
- men met handpalm *hard duwt of slaat* op heft of greep met relatief klein oppervlak (beitel, priem);

'geel' Bij gespreid gebruik van handgereedschap over de dag *gedurende meer dan 1 uur en* één of meer knelpunten treden op:

- *hinderlijke drukpunten* (zonder pijn)
- observeerbare plekken die potentiële *piekdrukken* kunnen veroorzaken bij grote krachten of momenten zoals bij:
 - ineffectief gevormd contactoppervlak (cilindrische grepen met kleine diameters ($d < 2\text{cm}$) of uitsparingen ($b < 2\text{ cm}$) in dunne wand voor een haakgreep);
 - grote draaimomenten in vormgesloten greep met kleine diameter of omtrek (bijvoorbeeld tapijzer indraaien);
 - greepoppervlak vertoont (vinger)groeven, rillen, noppen, naden;
 - greep drukt op meest gevoelige plekken van de hand (duimmuis, huidplooi duim-wijsvinger, centrum palm);
 - greep volgt niet globaal de contour van de gesloten hand;
 - hoeken of kanten van greep zijn niet voorzien van afrondingen;
 - greep is niet voorzien van enigermate indrukbaar rubber of plastic omhul-

sel;

- hand-armtrillingen worden doorgeleid (zie voor nadere beoordeling hoofdstuk 10);
- combinaties van hoge druk en wrijving op de huid;
- grote kans op huidverweking door vocht of nattigheid

De situatie kan na nader onderzoek alsnog 'groen' worden als aangetoond kan worden dat de drukken lager blijven dan vermeld in tabel 9.1;

- 'groen'**
- Als de contactdrukken lager zijn dan $0,1 \text{ kg/cm}^2$.
 - Geen klachten over piekdrukken geuit worden door de gebruikers.

Een beoordeling van toelaatbare drukken kan plaatsvinden aan de hand van de voorlopige richtlijn die in tabel 9.1 is weergegeven. Daaronder staat een rekenprotocol voor een eerste ruwe schatting.

Tabel 9.1 Voorlopige gezondheidskundige richtlijn voor beoordeling van toelaatbare drukken op de palmzijde van vingers en handpalm (pas hierop zonodig de veiligheidsfactor F_v uit hoofdstuk 5 toe)

blootstelling	druk (kg/cm^2)	
	groen/geel	geel/rood
incidenteel (< 4 uur) en kortdurend (< 3 sec)		
· handpalm, duim, duimmuis	2,5	6
· vingers, pinkmuis	3	8
< 1 minuut achtereens + ruim herstel erna		
· centrum handpalm	1,5	3
< 3 minuten achtereens + ruim herstel erna		
· vingers, handpalm, duim, duimmuis, pinkmuis	1,5	3
2-8 uur afwisselende contactdruk	0,3	0,6
nagenoeg ononderbroken contactdruk	0,1	0,1

Voor situaties van langdurig herhaald optredende handcontactdruk kan het beste een grote veiligheidsmarge gehanteerd worden (keuze uit onderste 2 rijen).

Rekenprotocol voor een eerste ruwe schatting van contactdruk bij trek-, til- of duwkracht haaks op het effectieve contactvlak van de huid

Voor de drukverdeling bij greepomspannende knijp- of grijpkracht is een nader onderzoek nodig.

Voor tillen, trekken met de vingers of duwen met de palm kan in eerste instantie de volgende ruwe berekeningswijze gehanteerd worden.

Verondersteld is dat de druk op de vingers en de palm redelijk goed verdeeld is

- greep, hengel of uitsparing met relatief kleine diameter ($d < 2 \text{ cm}$) of dikte ($b < 2 \text{ cm}$)
 - A. bereken het effectief drukoppervlak: het product (d of b)*breedte van het contactvlak;
 - B. meet de duw- of trekkracht haaks op dit contactoppervlak;
 - C. bereken B/A [kg/cm^2];
- greep met relatief groot contactoppervlak (bolgreep, grote cilinder, hoekgreep)

- trek met pen contour op deel van de hand dat ingedrukt is en meet oppervlak;
- handel verder als bij B en C.

Controleer op ongelijke drukverdeling (observeren, voelen, navragen, deskundige laten meten).

Voorbeeld 1

Stel 18kg met 1 hand en gestrekte arm trekken aan een cilindrische greep met cirkelvormige doorsnede, diameter 4 cm, lang 10 cm. Ter breedte van 3 cm en lengte van 6 cm wordt de kracht goed haaks door het effectieve contactvlak geleid. Let op: contactvlakken die niet loodrecht op de krachtrichting staan niet meetellen; die zijn minder of geheel niet effectief. De globaal berekende druk is dan gemiddeld $18/18 = 1\text{kg/cm}^2$.

Voorbeeld 2

Dragen van emmer met gereedschap erin (14kg) en rechthoekige plastic greep (met afrondingen).

Gemeten contactlengte 7cm, dikte 1 cm, dan is de druk op de vingerkootjes gemiddeld 2kg/cm^2 .

9.2 Voorlopige richtlijn voor wrijvingscontact in de hand

Gezondheidskundige grenswaarden voor wrijvingskracht in relatie tot duur en frequentie kunnen niet geformuleerd worden. Op grond van een expert guess zijn wel enkele kwalitatieve beoordelingen mogelijk. Bij gebruik van handgereedschap wordt de beoordeling van 'wrijving in de hand' in eerste instantie altijd:

'rood' In de volgende gevallen:

- wrijvingsklachten of -aandoeningen (blaren, eeltvorming, pijn aan de huid) worden gerapporteerd;
- waarneembare 'stick-slip' tijdens krachtzetten vaker dan (> 4 keer/uur). Dit verschijnsel komt voor als de hand gaat slippen over de greep;

'geel' In de volgende situaties:

- waarneembare 'stick-slip' tijdens incidenteel krachtzetten (< 4 keer/uur);
- onjuiste keuze van de combinatie greep- of heftmateriaal en type grijphandeling (tabel 9.2) als dit vaker dan incidenteel voorkomt (> 4 keer/uur);

Tabel 9.2 Onjuiste combinaties van materialen in samenhang met het type grijphandeling

wrijvingscoëfficiënt (zie tabel 9.3)	grijphandeling
hoog	tussentijds overpakken of verschuiven van de hand is wel vereist
laag	tussentijds overpakken, verschuiven is niet vereist, maar wel een goed houvast

Tabel 9.3 Relatieve wrijvingscoëfficiënt van veel gebruikte handgreepmaterialen (plexiglas = 100%)

relatieve wrijvingscoëfficiënt	%	materiaal
hoog	100-70	plexiglas, hardrubber, koper, messing verchroomd
middel	70-35	staal verchroomd, aluminium, PVC, glas, gelakt hout
laag	35-20	generfd leer, essenhout, beukenhout

'groen' Alle andere situaties met wrijving, waarbij geen klachten optreden.

Aanvullende gegevens voor bepaalde specifieke producten zijn soms in de literatuur te vinden. Door het voorlopige karakter van de richtlijn en het groot aantal factoren dat een rol kan spelen bij het wrijvingscontact met de hand kan geen zekerheid gegeven worden dat de situatie veilig is.

10. HAND-ARMTRILLINGEN

10.1 Toelaatbare grenswaarden voor hand-armtrillingen per handgreep

De onderstaande richtlijn voor hand-armtrillingen dient men in eerste instantie toe te passen op taken waar blootstelling aan hand-armtrillingen, schokken of stoten voorkomt. Dit is het geval bij aangedreven machines die trillingen of stoten genereren of bij niet-aangedreven handgereedschap waarop stoot- of slagkracht uitgeoefend wordt.

De beoordeling vindt plaats per handgreep.

1. *de trillingssterktes aan de handgrepen zijn onbekend*

Zolang geen nader onderzoek is ingesteld om aan te tonen dat de kans op schade klein is, worden onderstaande situaties als volgt beoordeeld:

- de situatie is 'rood' als:
 - de handen, armen of schouders *duidelijk zichtbaar* meebewegen of
 - handgereedschap gebruikt wordt dat een stotende (heen+weer) bewerking uitvoert of
 - specifieke klachten aan handen en armen optreden bij de gebruikers;
- de situatie is 'geel' als:
 - de trillingen of stoten *in handen voelbaar zijn, maar niet erg heftig en niet zichtbaar*, en de contactduur < 4 uur per dag is.

LET OP: 'geel' wordt 'rood' bij één of meer verergerende factoren (zie tabel 10.3)

- De situatie is 'groen', als nauwelijks of geen trillingen voelbaar zijn.

2. *de trillingssterktes aan de handgrepen zijn bekend. De machinerichtlijn is van toepassing op nieuwe machines voor professioneel gebruik. Vermelding van de emissie in de handleiding is verplicht als de trillingssterkte > 2,5 ms-2)*

In de volgende situaties zijn de beoordelingen als volgt:

- altijd 'rood' als:
 - de pieksterkte (kortstondig gemeten over 3 minuten) hoog is, > 20 ms-2.
- altijd 'geel' als:
 - de duur van het handcontact < 2 uur/werkdag is (blootstellingsperioden opgeteld) en de trillingssterkte redelijk laag is, < 2,5 ms-2 (zie handleiding van nieuwe machines)
- altijd 'groen' als:

- de trillingssterkte per handgreep zeer laag is, $< 1 \text{ ms}^{-2}$. Er is geen nadere beoordeling nodig, tenzij onverhoopt toch trillingsgebonden klachten optreden of trillingen duidelijk voelbaar zijn. Waakzaamheid blijft geboden omdat:
 - de gebruikssituatie kan verschillen van de situatie waarin het type is getest;
 - slijtage is opgetreden;

In alle andere situaties wordt tabel 10.2 toegepast.

Tabel 10.2 Richtlijnen voor toelaatbare blootstelling aan hand-armtrillingen bij gebruik van aangedreven handgereedschap (zie § 10.3 voor verergerende factoren en § 10.3 voor de vereiste maatregelen)

trillingssterkte (ms^{-2})*	blootstellingsduur per dag**					
	kortstondig < 3 min	3 min-½ uur	1/2-1 uur	1-2 uur	2-4 uur	4-8 uur
1-1,5	groen	groen	groen	groen	groen	groen/arceer
1,5-2,5	groen	groen	groen	groen	groen/arceer	groen/arceer
2,5-5	groen	groen/arceer	groen/arceer	groen/arceer	geel	geel
5-10	groen	groen/arceer	geel	geel	geel	rood
10-20	geel 1)	rood	rood	rood	rood	rood
≥20	rood 2)	rood	rood	rood	rood	rood

* Voor elke handgreep apart te beoordelen; meting en beoordeling aan de hand van de vectorsom van de trillingssterktematen conform (NEN) ISO 5349; als eerste ruwe indicaties kunnen emissiegegevens gebruikt worden uit handleidingen bij de machine of uit normbladen van de serie ISO 8662/1-n). Kies een risicoklasse hoger (meer naar 'rood' toe) als sprake is van een of meer verergerende factoren in tabel 10.3.

** Blootstellingsperioden per dag opgeteld. geel 1), rood 2) en 'arceer' betreffen extra actiecategorieën; zie paragraaf 10.3.

10.2 Verergerende factoren

Kunnen geen maatregelen genomen worden om de invloed van deze factoren te verminderen, dan moet in onderstaande gevallen een beoordeling in een hogere klasse, meer naar 'rood' gegeven worden.

Tabel 10.3 Verergerende factoren waarbij het oordeel voor de dosis hand-armtrillingen een klasse hoger gekozen moet worden (kleur meer naar 'rood')

a	impulskarakter van stoten of schokken
b	relatief klein contactvlak handgereedschap-hand
c	grote vereiste knijpkracht en duw- of trekkracht met handpalm of vingers
d	trillingen in de richting van de hartlijn van hand, onder- of bovenarm
e	met blote handen werken in kou en vocht
f	bestaande klachten aan vingers, handen en armen
g	vaatvernauwende leefgewoonten, medicatie of ziekten
h	bij gebruik emissiegegevens: praktijkomstandigheden en typen-test verschillen sterk

Handschoengebruik

- Het gebruik van speciale trillingdempende handschoenen is doorgaans weinig effectief in het omlaag brengen van de gewogen effectieve versnelling conform de ISO-richtlijnen. Een beoordeling met een klasse veiliger (meer naar 'groen') is niet verantwoord.
- Indien hinderlijke hoogfrequente trillingen optreden, die door de ISO-norm nauwelijks meegewogen worden in een beoordeling van de dosis, kan men speciaal ontworpen handschoenen wel toepassen. De verwachting is dat de demping doorgaans beperkt is.
- Om de verergerende factoren koude en vocht tegen te gaan kunnen werkhandschoenen wel helpen.

10.3 Maatregelen

Maatregelen moeten genomen worden bij de oordelen 'groen/arceer; geel en rood'. Streef er steeds naar om bij alle categorieën anders dan 'groen' de overgedragen dosis trillingen naar de handen zo laag mogelijk te maken. Verder dienen de volgende maatregelen genomen te worden (grotendeels gebaseerd op de ontwerprichtlijn EEG, 1994):

- 'groen':** geen maatregelen nodig, tenzij toch trillingsgebonden gezondheids- of vermoeidheidsklachten optreden. Dan dient een deskundige geraadpleegd te worden;
- 'groen/arceer':** voorlichting geven aan de betrokkenen over hand-armtrillingen en de potentiële risico's daarvan;
- 'geel':**
- training geven aan de betrokkenen in nemen van beschermende maatregelen;
 - blootstelling tijdens werk bepalen;
 - beleidsprogramma van preventieve maatregelen opstellen;
 - werknemers recht geven op regelmatige gezondheidsonderzoek met vroegdiagnostiek voor het opsporen van aandoeningen door hand-armtrillingen;
- 'geel 1)':**
- dringend maatregelen nemen om gevaar te verminderen, prioriteit geven aan toepassing van trillingsarme handgereedschappen en werkmethoden, desnoods te bereiken door herontwerp;
 - in afwachting van maatregelen het beperken van de blootstellingsduur;
- 'rood':** gezondheidsonderzoek als onder 'geel' verplicht, overheid van de lidstaat wordt verondersteld de schadelijke effecten te bewaken;
- 'rood 2)':** gevaarlijke activiteit, gereedschap voorzien van waarschuwing, niet gebruiken zonder eerst een deskundige geraadpleegd te hebben.

**DEEL II ARBOUW-RICHTLIJNEN VOOR FYSIEKE BELASTING BIJ GEBRUIK
VAN HANDGEREEDSCHAP EN HANTEREN VAN VERPAKKINGEN
IN DE BOUWNIJVERHEID: wetenschappelijke onderbouwing**

1. PROBLEMATIEK VAN HET BEWEGINGSAPPARAAT IN SAMENHANG MET GEREEDSCHAPGEBRUIK

1.1 Ongevallen tijdens gebruik van handgereedschap

Door ongevallen met handgereedschap kunnen letsels aan het bewegingsapparaat ontstaan (Bullinger & Solf, 1979; Mital, 1991; Hoffmann, 1991). Redelijk recente gegevens uit Duitsland tonen statistieken dat 15% van alle industriële ongevallen komt door het gebruik van handgereedschap en handbediende machines. Bij het gebruik van handmachines gaat het om ongevallen, waarvan 50% letsels aan de hand (Hoffmann, 1991). Een belangrijk deel kan voorkomen worden door een juiste ergonomische vormgeving van het handgereedschap (Feggeler et al., 1992).

Een minder goede grip aan de handzijde, waardoor men de controle over het gereedschap verliest, is één van de genoemde risicofactoren in de bestudeerde literatuur. Het is plausibel dat dit ook voor verpakkingen geldt, die kunnen vallen als men de grip erop verliest. Cijfers hierover zijn ons niet bekend.

1.2 RSI-problematiek en de belangrijkste risicofactoren bij handgereedschapgebruik

Mogelijke gezondheidsrisico's voor het bewegingsapparaat

Door frequent dezelfde bewegingen te maken met armen en handen, al of niet in ongunstige standen van de gewrichten, zoals bij het gebruik van gereedschappen kan voorkomen, kunnen na enige tijd aandoeningen ontstaan in vinger, hand, arm, schouder en rug en aan gewrichten als pols, elleboog en schoudergewricht (Repetitive Strain Injuries; RSI).

Door Putz-Anderson (1988) wordt de volgende gezondheidsproblematiek beschreven voor de bovenste ledematen:

- spierversmoeidheid, spier- en peesverrekking, spierkramp of peesontsteking;
- peesschede- en slijmbeursontsteking, peesschedevernauwing of -zwelling;
- kapsel- en bandverrekkingen;
- lokale zenuwbeklemmingen als gevolg van bepaalde extreme standen of door lokale contactdruk;
- lokale vaataandoeningen door beklemming of ingeleide trillingen;
- beschadigen van de huid door inwerking van wrijving, te hoge lokale druk en temperatuurinvloed.

De laatste is afkomstig uit Hall (1995) en is toegevoegd aan de opsomming van Putz-Anderson.

Behalve pijn, leiden sommige aandoeningen tot bewegingsbeperkingen en functionele uitval. Het herstel kan soms lang duren of zelfs geheel uitblijven en spreekt men van chronische klachten, met als gevolg hoge kosten van verzuim en WAO. Bij sommige overbelastingsaandoeningen komt na herstel de aandoening toch weer gemakkelijk terug. Diverse aandoeningen blijken nauw gerelateerd aan contact van hand met het gereedschap, andere aan de wijze van het gereedschapsgebruik in de taak, waardoor ongunstige houdingen, bewegingen van de ledematen kunnen ontstaan. De effecten ten gevolge van repeterend handelen zijn erg verwant aan de effecten die bij langdurige statische belastingen te zien zijn. Meer en meer worden beide oorzaken samen in beschouwing genomen.

Ook vrije-tijdsactiviteiten, zoals sport of bepaalde ziektes kunnen tot dergelijke aandoeningen leiden.

De belangrijkste mechanische factoren in werk met gereedschappen die het risico op aandoeningen vergroten zijn (Putz-Anderson, 1988; Kadefors et al., 1993; Hall, 1995; Sperling et al., 1993; Chaffin & Andersson, 1991):

- ongunstige houdingen en bewegingen van polsen en schouders. Buigingen in de elleboog worden niet apart genoemd;
- hoge en/of ongunstige krachtoefening met de hand (bewerkings- en/of ophoudkracht);
- hoge herhalingsfrequentie van de beweging of de krachtoefening en de duur ervan;
- precisiewerk;
- grepen die kracht in combinatie met overmatig strekken van de vingers vereisen (snij- of knijptang);
- overmatige lokale wrijving of druk in de contactzone hand-greep;
- doorleiding in de contactzone hand-greep van trillingen en van hoge of lage temperaturen.

Risicofactoren voor fysieke belasting (Arbouw, 1996) die ook van toepassing zijn tijdens gereedschapsgebruik

De volgende risicofactoren en grenswaarden, beschreven in richtlijnen voor statische en repeterende belastingen in de publicatie 'Richtlijnen voor fysieke belasting in de bouwnijverheid' verder genoemd: 'Arbouw (1996)', zijn ook van toepassing bij beoordelingen van gereedschapsgebruik:

- bovenarmheffingen. Het geheven houden of op en neer bewegen van gereedschap op schouder niveau en daarboven komen voor;

- extreme standen van gewrichten. Diverse lichaamsdelen kunnen gemakkelijk in extreme standen komen tijdens gereedschapsgebruik;
- buigen of draaien van hoofd, nek en hoge rug. Dit is relevant tijdens reiken en het vereiste zicht op het werk;
- herhaald uitoefenen van krachten.

Het gaat hier om universeel toepasbare richtlijnen die niet teveel in detail gaan. Er worden gezondheidkundige grenswaarden beschreven voor combinaties als:

- statische houdingen (gewrichtsstanden) in combinatie met taakduur;
- herhaalde bewegingen in bepaalde gewrichtsstanden in combinatie met frequentie en taakduur;
- herhaalde krachtoefening in combinatie met frequentie, taakduur en houding.

Aanvullende risicofactoren voor hand-armbelasting tijdens gereedschapsgebruik

Net als in de eerdere publicatie Arbouw (1996) gaat het in deze publicatie primair om risicofactoren die universeel toepasbaar zijn, maar die zich meer toespitsen op het systeem hand-arm en als zodanig een aanvulling zijn. Voor het herhaald uitoefenen van krachten met het hand-arm systeem kan beter gebruik gemaakt worden van de richtlijnen in deze publicatie. Er is aansluiting gezocht bij recentere voorstellen rond Europese richtlijnen en een aantal mogelijkheden die deze norm biedt om de richtlijnen aan te vullen met inzichten uit literatuur en onderzoek zijn verder benut.

De aard van de risicofactoren uit Arbouw (1996) en de combinaties ervan zijn grotendeels verwant aan die in de literatuur gericht op hand-armbelasting tijdens gereedschapsgebruik.

In het zogenaamde 'kubus-model' voor een eerste beoordeling van risico's voortkomend uit de taakeisen worden 3 belangrijke factoren genoemd (Sperling et al., 1993):

1. relatieve kracht of draaimoment;
2. duur in samenhang met frequentie;
3. precisie.

Combinaties worden ook hier geassocieerd met een verhoogd risico op gezondheidsproblematiek. In het model worden houdingsfactoren impliciet in beschouwing genomen bij de factor 'relatieve' kracht of moment (MVC-percentages). Dit type variabelen is afhankelijk van de stand van een gewricht en/of van de beweging. Relatieve prestaties zijn echter vrij moeilijk te bepalen en niet praktisch. Voor deze publicatie zal houding of bewegingsgebied expliciet behandeld worden.

'Precisie' is in Arbouw (1996) niet als aparte risicofactor beschreven. Onder een hoge mate van precisie wordt door Sperling et al. (1993) verstaan: het werken binnen nauwe toleranties tijdens de uitvoering van vrije bewegingen (speling van enkele mm) en tijdens de uitoe-

fening van krachten of draaimomenten (speling van enkele procenten van de prestatiewaarden). Dit type werk veroorzaakt extra spierinspanning boven de inspanning die al nodig is voor het handhaven van houdingen. Dit is vooral het geval in de spieren die het hand-armsysteem moeten stabiliseren.

Met name een verhoogd risico op klachten ontstaat als precisie gecombineerd moet worden met kracht en/of duur en/of hoge frequenties. Bij precisiewerk moet men denken aan fijnmotorische handelingen waarbij behalve de pols vaak ook vingerbewegingen het handgereedschap bewegen (bijvoorbeeld tandbehandeling, tekenen, naaien, etc.).

Voor een beperkt aantal werkzaamheden in de bouw lijkt een grote mate van precisie een rol te kunnen spelen (bijvoorbeeld kozijn schilderen zonder aftapen, kit spuiten uit de vrije hand). Doorgaans worden de bewegingen geleid met aparte hulpmiddelen (bijvoorbeeld handcirkelzaag langs liniaal, afsteunen pols op het vlak van beweging) of worden de gevolgen van afwijkingen van de gewenste baan voorkomen (schilderstape bij een overgang van schilderwerk naar ander materiaal).

- | Om de complexiteit van beoordelingen niet te hoog te maken wordt de factor 'precisie' in
- dit document niet verder behandeld. In voorkomende gevallen van een vrije beweging met hoge precisie kan het beste een expert geraadpleegd worden.

Belangrijke specifieke risicofactoren bij gereedschapsgebruik die uit de literatuur herleid kunnen worden en die niet of beperkt uitgewerkt in Arbouw (1996) voorkomen, zijn:

- hand buigen rond het polsgewricht en roteren van de onderarm om zijn as; *pro/supinatie*
- kracht uitoefenen met één hand in samenhang met handpositie ten opzichte van het schoudergewricht;
- buigmomenten rond de pols en rotatiemomenten uitgeoefend rond de onderarm-as; ~~welke~~?
- knijpkrachtuitoefening in samenhang met de wijze van grijpen en buiging rond de pols;
- trillingen of schokken door inwerking van het handgereedschap op het hand-armsysteem;
- lokale overbelastingen in het contactgebied tussen hand(en) en gereedschap (druk, wrijving).

In deze publicatie zullen deze specifieke risicofactoren nader uitgewerkt worden tot universeel toepasbare grenswaarden voor fysieke belasting van het hand-armsysteem tijdens gereedschapsgebruik.

2. OPZET VAN DE ARBOUW-RICHTLIJNEN

Bij het opstellen van richtlijnen voor het hanteren van handgereedschap voor professioneel gebruik en voor het hanteren van verpakkingen kan gekozen worden uit 2 soorten richtlijnen:

- richtlijnen voor ontwerp en aanschaf;
- richtlijnen voor beoordeling van de fysieke belasting, een meer functionele benadering waarbij de interactie mens-object onderwerp van analyse en interventie is.

In de tweede opzet gaat het primair om het ontwikkelen van *gezondheidskundige grenswaarden* voor het hand-armsysteem.

2.1 Richtlijnen voor ontwerp en aanschaf

In diverse publicaties vindt men richtlijnen voor ontwerp en aanschaf, deels kwantitatief en deels kwalitatief (Mital & Kilbom, 1992; Mital, 1991; Bullinger & Solf, 1979; etc.). Zou voor de bouw een universeel instrument op het niveau van richtlijnen voor ontwerp en aanschaf samengesteld moeten worden, dan ontstaat een te complex en uitgebreid beoordelingsinstrument gezien de grote verscheidenheid in aard van handgereedschap en de verschillen in gebruikssituatie. Onderbouwing vanuit de invalshoek fysieke belasting en risico's op RSI-problematiek is in de beschikbare ontwerpgerichtlijnen vaak maar beperkt uitgewerkt. Bovendien worden de sterk verschillende gebruikssituaties veelal onvoldoende belicht.

Voordat overgegaan wordt tot het verder ontwikkelen van specifieke en onderbouwde ontwerpgerichtlijnen, is een stap nodig om de kennis op het gebied van de specifieke arbeidsbelasting te vertalen naar meer universeel bruikbare richtlijnen.

2.2 Universeel bruikbare richtlijnen voor fysieke belasting van het hand-arm-systeem

Gezond, veilig en milieuvriendelijk gebruik van handgereedschap zijn doorgaans de primaire uitgangspunten voor richtlijnen. Daarnaast zijn prestaties, kwaliteit en levensduur belangrijke onderwerpen bij de keuze van geschikt gereedschap. Op deze productiviteitskenmerken gaan we hier *niet nader in*.

De veiligheids- en milieu-aspecten van (aangedreven) handgereedschap hebben al veel aandacht en dit heeft zijn weerslag gevonden in uitgebreide richtlijnen en certificeringsprotocollen op dit gebied, vaak gericht op specifieke gereedschappen of typen gereedschappen.

Voor elektrische en mechanische veiligheid en voor geluids-, trillings- en stofproductie zijn dergelijke ontwikkelingen ook al langer gaande. De keuze is om in deze publicatie aan het aspect veiligheid en milieu geen inhoud te geven.

Aandacht is momenteel geboden om RSI-problematiek te voorkomen, vooral van de bovenste extremiteiten. De argumenten hiervoor zijn in hoofdstuk 1 uiteengezet.

Daarom zijn als eerste stap aanvullende *universeel bruikbare richtlijnen* ontwikkeld voor de *fysieke belasting van het hand-armsysteem*. Hiermee kan men verschillende taken en situaties van het hanteren van handgereedschappen en verpakkingen beoordelen. De aanpak en opzet van deze publicatie zijn een logisch vervolg op de eerder ontwikkelde richtlijnen voor fysieke belasting voor het lichaam als geheel (Arbouw, 1996). De keuze van de opzet is zo dat deze aansluit en voortbouwt op toekomstige regelgeving voor krachtoefening (prEN 1005-3).

De universele richtlijnen zijn weliswaar primair opgezet voor het beoordelen van handgereedschapsgebruik, maar door het universele karakter ervan zijn delen als hand buigen rond de pols, eenhandige krachtoefening en drukverdeling op de binnenzijde van de hand ook goed toepasbaar voor het beoordelen van de handzijde van verpakkingen (hengsels, handvatten, draagbeugels, handgreepuitsnedes in dozen of kisten).

2.3 Vertaling van de stand der kennis

Anders dan bij de werkwijze voor de richtlijnen Arbouw (1996) kon niet eenvoudig aansluiting gezocht worden bij onderbouwde richtlijnen zoals deze destijds beschikbaar kwamen voor tillen, dragen, duwen en trekken. Doel is wel om op een kritische wijze aansluiting te houden bij de ontwikkelingen van richtlijnen op Europees niveau.

Omdat veel aangedreven handgereedschappen voor professioneel gebruik bestemd zijn, vallen deze onder de machinerichtlijn. Concrete aanvullingen op deze kaderrichtlijn zijn in voorbereiding in CEN/ISO-verband. Met name is op het deelgebied krachtoefening aansluiting gezocht bij de opzet van de concept-richtlijn prEN 1005-3, een richtlijn die in een fase van mandatering is. Deze richtlijn biedt ruimte om beoordelingsmogelijkheden toe te voegen met behulp van aanvullende onderbouwende informatie uit bruikbare ergonomische, fysiologische en biomechanische kennis.

De gezondheidkundige grenswaarden in deze vervolgpublishatie zijn tot stand gekomen na vergelijking van beschikbare bronnen en kritische analyse van deze kennis. Diverse datasets bleken gaandeweg minder goed bruikbaar of dienden eerst een bewerking te ondergaan. Diverse gegevens bleken:

- tegenstrijdig of niet valide;
- gebaseerd op nogal verschillende wijzen van onderzoek;
- impliciet op andere criteria gebaseerd dan de gezochte of
- bevatten niet de gezochte populatiekenmerken.

Wat dit laatste betreft was het doel om te streven naar een soortgelijk *groen/geel/rood*-beoordelingsprincipe conform Arbouw (1996) met gezondheidkundige grenswaarden voor het 90e respectievelijk 25e percentiel mannen.

Bij gebleken verschillen in gegevens zijn zoveel mogelijk gemotiveerde keuzes gemaakt; soms was een inschatting op basis van expert guess noodzakelijk. Een en ander is geëxpliciteerd in de paragrafen 'methode en bepaling van de richtlijn'.

Waar mogelijk zijn bij gedeeltelijk ontbrekende gegevens met behulp van populatieparameters omrekeningen gemaakt vanuit andere populaties naar de gewenste (bijvoorbeeld omrekening van vrouwen naar mannen en toevoeging van relatieve spreidingsmaten waar deze ontbraken).

Waar gemiddelden uit verschillende onderzoeken nogal uiteen liepen, zijn conservatieve keuzes gemaakt door een waarde te kiezen aan de veilige kant. Om praktische redenen zijn afgeronde getallen gekozen om een zekere eenheid te creëren. De afrondingen zijn eveneens naar de veilige kant. De werkelijke data die in de literatuur gevonden zijn, zijn overigens steeds terug te vinden in overzichtstabellen per hoofdstuk.

Waar gegevens ontbraken, zijn aanvullende berekeningen gemaakt met behulp van biomechanische modellen die hoewel deels gevalideerd, toch ook vereenvoudigingen bevatten.

Over specifieke lange-termijn gezondheidseffecten met daarvan afgeleide gekwantificeerde risicofactoren (dosis-respons relaties) is nog weinig bekend; over de aard van de risicofactoren is redelijk overeenstemming. Over de korte-termijn effecten is kwantitatief meer bekend en is de kennis zoveel als mogelijk verwerkt.

Naast een vergroting van de mogelijkheid tot beoordeling is een beperking dat de grenswaarden voor een deel niet louter op empirisch materiaal berusten.

Net als in de eerdere richtlijnen van Arbouw (1996) blijft dus steeds gezondheidsbewaking geboden, ook als beoordelingen van situaties beneden de grenswaarden liggen.

2.4 Beperking inzake de grijpmethoden

De opzet van deze richtlijnen blijft beperkt tot handomsloten grepen. De meest gebruikte handgereedschappen in de bouw vereisen grijpmethoden met inzet van min of meer alle vingers van de hand.

Onderscheiden zijn: *vuistgreep, diagonaalgreep, pistoolgreep, haak- of hoekgreep en tanggreep (4 vingers om het ene heft en het andere tegen de handpalm).*

Niet beoordeeld kunnen worden handgereedschappen voor precisiewerk die met 2 of 3 vingers vastgehouden of bewogen moeten worden, bijvoorbeeld papierschaar, fijne schilderskwast, passer, potlood, etc.

3. DEFINITIES

3.1 Handgereedschap

Een handgereedschap is een efficiënt hulpmiddel voor de taakuitoefening en verruimt de mogelijkheden van de hand. Die mogelijkheden zijn:

- het vergroten van de grijpkracht (tang);
- van de slagkracht (hamer);
- de draaikracht (sleutel);
- snelheid (elektrisch gereedschap);
- functies die niet met de hand te doen zijn (snijden, zagen, solderen, etc.).

Onder handgereedschap wordt verstaan een *los gereedschap* waarmee bewerkingen uitgevoerd worden op een *vast object* of een object dat tijdelijk is opgesteld al of niet vastgeklemd. Vast opgestelde werktuigen of gereedschappen, zoals freesbank, cirkelzaag, etc. waarin het object van bewerking ingevoerd wordt of die uitsluitend bediend hoeven worden vallen hier dus niet onder. Handgereedschap dat ook omgebouwd kan worden tot een vaste opstelling wordt alleen beschouwd vanuit de hoedanigheid van los gereedschap.

Afhankelijk van het type handgereedschap vindt positionering, bewegingsgeleiding en krachtoefening geheel uit de vrije hand plaats. Soms worden deze functies ondersteund door mechanische hulpmiddelen.

Bij *niet-aangedreven* handgereedschap wordt de benodigde bewerkingsenergie handmatig via de *handzijde* aan het gereedschap geleverd (bijvoorbeeld kwast, handzaag, troffel, koevoet).

Bij *aangedreven* handgereedschap wordt (een deel van) de benodigde energie aan de *werkzijde* overgenomen door een externe energiebron (bijvoorbeeld elektrische handboor, spacsput). Soms worden geleidingen voor bepaalde bewegingsrichtingen gebruikt (liniaal, afrijen langs latten).

3.2 Handmatig hanteerbare verpakking

Een verpakking heeft als functie om materiaal bijeen te houden zodat dit makkelijk en efficiënt transporteerbaar is. We beperken ons tot *handmatig hanteerbare verpakkingen*. Dit zijn verpakkingen die handmatig verplaatst worden met één of met twee handen en die al of

niet voorzien zijn van een handvat, greep, hengel of uitsparing voor het vastpakken (zak cement, doos tegels, emmer specie, etc.).

3.3 Bewegingsrichtingen van hand en onderarm en richtingen van kracht- en momentuitoefening

Uitgangspunt is de rechter onderarm in horizontale stand.

Buiging hand rond het polsgewricht; c.q. buigmomentrichtingen

- a. Flexie: hand buigt omlaag naar palm toe.
- b. Extensie: hand buigt omhoog naar handrug toe.
- c. Radiale (deviatie): hand buigt opzij richting duim.
- d. Ulnaire (deviatie): hand buigt opzij richting pink.

Rotatie onderarm om zijn as; c.q. rotatiemomentrichtingen

- Pronatie: palm roteert vanuit elleboog omlaag.
- Supinatie: palm roteert vanuit elleboog omhoog.

Richtingen van actiekrachten ten opzichte van een verticaal vlak β door het schoudergewricht (romp rechtop)

Voor het heen en weer, op en neer duwen of trekken of vasthouden van handgereedschap zijn doorgaans actiekrachten vereist. De krachtrichtingen zijn (rechterhand als referentie):

- in vlak β , verticaal *omhoog* trekken, duwen of *omlaag* trekken of -duwen. Voorbeelden: verf rollen, hameren, aanhalen van baco of dopsleutel; heffen van sloophamer; touw omlaag trekken van touw en blok, ophouden van spaarbord;
- in vlak β , horizontaal van de romp af *voorwaarts duwen* of naar de romp *toe achterwaarts trekken*. Voorbeelden: bandschuurmachine terugtrekken, cirkelzaag geleiden, schroevendraaier op de wand drukken, aanduwen van boormachine, etc.;
- loodrecht op vlak β , horizontaal *inwaarts* duwen of trekken voor de romp draaiend van rechts naar links en omgekeerd *uitwaarts* duwen of trekken. Voorbeelden: horizontaal schuren verven op wand, met betonschaar knippen.

Voorbeelden van krachtuitoefening in diverse richtingen: pleisteren, rapen, troffel bewegen.

3.4 Grijpmethoden

Zoals eerder vermeld beperken we ons voor de bouw tot de meest voorkomende grijpmethoden. De voornaamste kenmerken van vastgrijpen of dichtknijpen van grepen of heften aan handgereedschap met voorbeelden zijn samengevat in onderstaand overzicht. De kenmerken zijn ontleend aan het handboek van Eastman Kodak (1986):

grijpmethode	kenmerken/voorbeelden
vuistgreep	• duim en vingers omklemmen greep, heft, D- of T-greep, steel; duim raakt wijsvinger. - schepsteel vasthouden
pistoolgreep	• idem, maar wijsvinger en soms ook duim gestrekt langs greep. - greep op elektrische boor of schroefmachine
diagonaalgreep	• heft schuin in de palm en duim gestrekt langs heft. - schroevendraaier, stanleymes
haakgreep	• duim passief, vooral middelste kootjes van vingers omklemmen greep. - uitsparing in krat, moersleutel aanhalen
hoekgroep	• vingerstand loodrecht op palm, vooral buitenste kootjes belast, duim opzij. - krat, doos op een hoek beetpakken
tanggreep	• vingers trekken ene heft, andere heft steunt in palm. - platenschaar, kitspuit, snij- of knijptang

Bij deze grijpmethoden kan de meeste kracht overgedragen worden.

3.5 Grijp- en knijpkracht

Er wordt onderscheid gemaakt naar grijpkracht en knijpkracht. Het verschil is dat knijpkracht meer verbonden is met een knijpbeweging (tang dichtknijpen). Grijpkracht is verbonden aan vasthouden. De vingers bewegen niet of nauwelijks. Bij toepassing van tabel 5.1 en 5.2 is het verschil van belang.

3.6 Aard van de koppeling hand-handgreep

De aard van de koppeling is van groot belang voor de krachtoverdracht en voor de mogelijkheid om het gereedschap ten opzichte van de hand te kunnen bewegen.

Vormgesloten koppeling

De krachtoverdracht staat *loodrecht op de huid* van de hand.

Voorbeelden zijn:

- trek- of tilkracht haaks op steel, greep of heft:
 - duwen en trekken aan T- of D-greep boormachine; aan hilt van schep;
 - dichtgeknepen houden, dichtknijpen van heften met vingers van tang of kitspuit;
- draaimoment haaks op as van steel of greep:
 - reactiemoment van elektrische boor opvangen met een hand, tapijzer indraaien, verfroller aanduwen.

Krachtgesloten koppeling

De krachtoverdracht van hand op gereedschap vindt plaats *door wrijvingskrachten langs de huid*. Om dit te realiseren is aandruk- of grijpkracht nodig. Dit komt voor bij vasthouden in vuistgreep of diagonaalgreep.

Voorbeelden zijn:

- trek- of duwkracht in lengterichting van steel, greep of heft:
 - schep, bezem, induwen handschroevendraaier;
 - vijlen, tillen stootijzer, richten steenbeitel, trekken verfkrabber;
- draaimoment om as van steel, greep of heft:
 - draaien van handschroevendraaier of van priem of beitel.

Vaak ziet men combinaties van vorm- en (wrijf)krachtgesloten koppeling door profilering van het greepoppervlak.

4. BUIGING VAN DE HAND EN ROTATIE VAN DE ONDERARM

4.1 Literatuur

4.1.1 Inleiding

Buigingen en draaiingen rond de pols en ellebooggewricht, gedefinieerd ten opzichte van de neutrale stand, komen bij gereedschapsgebruik veelvuldig voor. Bij het in positie houden van gereedschap (elektrische boor) of bij grote bewegingsuitslagen van de handen langs een zekere lijn (zagen) of over vaste vlakken (pleisteren van muren of plafonds) moet met de bewegingen van de armen vaak het polsgewricht meegebogen worden. Het polsgewricht is één van de belangrijkste schakels tussen de hand met het gereedschap enerzijds en de arm anderzijds.

De neutrale standen zijn bij benadering (zie figuur 4.1 in § 4.3):

- voor *buigingen van de hand* als de hartlijn (gestrekte middelvinger) van de hand in het verlengde ligt van die van de onderarm;
- voor *onderarmrotaties* bij haaks gebogen elleboog als een steel in de vuist geklemd en de bovenarm nagenoeg in een vlak liggen. Draaiing van de hand (zoals het roteren van een schroevendraaier) kan in de *pronatierichting* (e) vergroot worden door het schoudergewricht erbij te betrekken of de romp mee opzij te verdraaien.

Frequent en extreem^{citeert} buigen van de pols wordt als een belangrijk risico gezien voor RSI-problematiek (Feggeler et al., 1992; Putz-Anderson, 1988; Bullinger & Solf, 1979). Bij snelle bewegingen ($F > 20/\text{min}$) neemt ook de vermoeidheid in de onderarmspieren snel toe (Hallbeck et al., 1992) en ook het risico op CTD (Marras et al., 1991). Werken dichtbij extreme standen van de pols verhoogt niet alleen het risico voor pols, elleboog en onderarmspieren maar kan door gekoppelde beweging ook het risico verhogen voor schouder, schoudergordel en zelfs de romp (bijvoorbeeld draaien hand en onderarm + heffen bovenarm + opzij wegbuigen romp bij schroevendraaien). Gevolg kan zijn dat ook andere grenswaarden voor fysieke belasting (Arbouw, 1996) overschreden worden.

De bewegingsmogelijkheden van de hand (buiging in 2 richtingen en verdraaiing in de onderarm) ten opzichte van de elleboog verschillen per richting (Feggeler et al., 1992; Chaffin & Andersson, 1991; Bullinger & Solf, 1979).

Voor de richting omhoog en omlaag bewegen van de hand is de wijze van vast- of beetpakken medebepalend voor de bewegingsmogelijkheden (Bullinger & Solf, 1979). Dit document beperkt zich tot vastgrijpen met alle vingers van een hand.

Deskundigen in normcommissies zijn van mening dat ook bij minder extreme polsflexie en -extensie klachten kunnen ontstaan (muispolen bijvoorbeeld); literatuur over de samenhang van polsstand en gezondheidsklachten ontbreekt echter. Veel van de hier geciteerde auteurs adviseren de neutrale stand als de beste, bovendien vindt men in de literatuur (zie hoofdstuk 7 en 8) snel afnemende knijp- en buigkrachtprestaties bij sterk buigen van de pols ($> 2/3$ van het buigbereik). Grandjean (1982) geeft aan dat de helft van de maximale bewegingsuitslagen voor langdurige exposities toelaatbaar is.

De bronnen waaruit informatie over bewegingsuitslagen gebruikt is, zijn: Marley et al., 1995; Feggeler et al., 1994; Snook et al., 1995; Hallbeck et al., 1992; Marras et al., 1991; Schoenmarklin et al., 1993; Bonebrake, 1990 in Schoenmarklin et al., 1993; Putz-Anderson, 1988; Bullinger & Solf, 1979b; AAOS, 1965 in Schoenmarklin et al., 1993.

4.1.2 Buighoeken van de hand rond het polsgewricht

In tabel 4.1 is de range van gemiddelde maximale polsbuighoeken weergegeven zoals die in de literatuur gevonden zijn.

Tabel 4.1 Range van gemiddelde maximale buighoeken (°) van het polsgewricht die in de literatuur gevonden zijn

de hand t.o.v. de onderarm	bereik van gemiddelden in bronnen
a. buigt omlaag naar palm; flexie*	62-85
b. buigt omhoog naar achter; extensie*	55-70
c. buigt opzij naar duim; radiale deviatie	15-25
d. buigt opzij naar pink; ulnaire deviatie	28-45

* Gemiddelde hoeken bij niet gestrekte hand, alle vingers gebogen en gefixeerd om de handgreep.

4.1.3 Rotatiehoeken van de onderarm rond het ellebooggewricht

De gemiddelde maximale rotatiehoeken die in de literatuur gevonden zijn, zijn samengevat als ranges in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Range van gemiddelde maximale rotatiehoeken (°) van de onderarm in het ellebooggewricht die in de literatuur gevonden zijn

de handpalm t.o.v. de onderarm	bereik van gemiddelden in bronnen
e. roteert vanuit elleboog omlaag, kijken op handrug; pronatie*	60-104 (+ 140)
f. roteert vanuit elleboog omhoog, kijken op palm; supinatie	80-113

* Waarden tussen haakjes betreft gemiddelden met gestrekte arm met extra rotatiemogelijkheid vanuit schoudergewricht.

De maximale hoeken voor onderarmrotatie verschillen nauwelijks bij verschillende armstanden (Bullinger & Solf, 1979). Draaiing (zoals het roteren van een schroevendraaier) kan in de *pronatierichting* (e) vergroot worden door het schoudergewricht erbij te betrekken of de romp mee opzij te verdraaien.

4.2 Methode en bepaling van de richtlijn

Een reden dat de literatuurgegevens nogal verschillen is verschil in meetprotocol (actieve of passieve uitslag; met of zonder gestrekte vingers meten; definities van de lijnen waarmee de hoeken gemeten worden). Uit de range van gemiddelden zijn praktische hoeken als maxima gekozen die iets lager zijn dan de gemeten extreme standen. Zo is 'flexie' even groot gekozen als 'extensie' hoewel er 10° verschil is. De gekozen grenzen zijn:

- pols: flexie en extensie: 60°; ulnaire deviatie: 30°; radiale deviatie 20°;
- elleboog: pronatie en supinatie: 80°.

Draaiing van de onderarm (zoals het roteren van een schroevendraaier) kan in de *pronatierichting* (e) vergroot worden door het schoudergewricht erbij te betrekken of de romp mee opzij te verdraaien. Dit laatste wordt afgeraden (Bullinger & Solf, 1979). In tabel 4.3 is volstaan met een toeslag voor de rotatiemogelijkheden van het schoudergewricht.

Om gereedschap te bewegen is het handhaven van een neutrale stand niet van toepassing en is een richtlijn die een *bewegingsgebied* bestrijkt nodig. Voor een overgang naar een 'groen'/'geel' c.q. 'rood' gebied is een bereik rond de neutrale stand gedefinieerd van 50% van de maximale uitslag in elke buig- of draairichting van het gewricht voor langdurig gebruik (Grandjean, 1982).
1988

Op basis van de eerder opgestelde richtlijnen voor Arbouw (1996) is bij overschrijding van de grenswaarde voor de buig- c.q. rotatiehoek (>50% van de maxima) gekozen om de tijdsduurklassen te beoordelen met 'groen', 'geel' c.q. 'rood'-categorieën als sprake is van repeterende bewegingen.

Bart?
→

Kilbom (geciteerd in Arbouw, 1996) stelt met enige terughoudendheid als mogelijke bovengrens voor frequent bewegen met de bovenste extremiteiten: $F=10/\text{min}$. Voor schouder en bovenarm is onduidelijk om welke bewegingen het precies gaat; over pols en onderarm is er kennelijk minder twijfel. Met name combinaties van hoog frequente bewegingen en extreme standen of krachtoefening worden als een verhoogd risico beschouwd. Voor combinaties met krachten wordt verwezen naar hoofdstuk 5-8.

We kiezen hier voor een grens van repeterend handelen van $F=10/\text{min}$ uitsluitend voor bewegingen van hand en onderarm; de massa's van hand en onderarm zijn naar verhouding gering. Boven $F=20/\text{min}$ is sprake van verhoogde risico's (zie § 4.1.1); daar blijven we ruim onder met de gesuggereerde grens van $F=10/\text{min}$. Omdat vooral combinaties van frequent bewegen en extreme standen een verhoogd risico inhouden, houden we nabij extreme standen een grens aan van $F=2/\text{min}$ waarboven grenzen aan de duur gesteld zijn zoals in de eerdere richtlijnen van Arbouw (1996).

Bij uitslagen van meer dan 50% van het bereik en $F > 10/\text{min}$ maar minder dan 1 uur expositie is het niet zeker dat de situatie risicovrij is ('groen'). Met name bij extreme standen (zie tabel 4.3*) lijkt het oordeel 'groen' niet op zijn plaats; we kiezen hiervoor 'geel'. Ook voor de categorie 'geel' wordt de toegelaten duur (1-4 uur) vermoedelijk te riskant wanneer frequent ($F > 10/\text{min}$) nabij extreme standen gewerkt wordt. We kiezen hiervoor 'rood' (expertoordeel).

Een sterk verhoogd risico is verder aanwezig bij zichtbaar grote versnellingen van felle handbewegingen rond de pols. Dit speelt vooral als de polsuitlagen ook groot worden. We kiezen hier als veilige grenswaarde 50% van het bereik. Op basis van een expertoordeel worden deze situaties als 'rood' gekwalificeerd voor frequenties $> 2/\text{min}$.

Voor een beoordeling van statische houdingen (langer dan 3 tot 4 tellen in één stand) worden voor de veiligheid dezelfde criteria aangelegd als voor repeterend handelen. In Arbouw (1996) zijn deze ook tamelijk verwant. Het eigengewicht van de hand lijkt weliswaar een geringere rol te spelen dan het geval is bij armheffing, romp- en hoofdbuiging (Arbouw, 1996) tegen de zwaartekracht in en dat zou een minder streng criterium rechtvaardigen. Antagonistische tegenkrachten nabij extreme hand- en onderarmstanden zouden slechts een beoordeling op extreme standen noodzakelijk maken ('geel/rood'). Omdat een verhoogd risico als muisarm of -pols geassocieerd wordt met minder extreme maar wel met statische extensies in combinatie met vingerbuig- of -strekking, is ervoor gekozen statische buigingen van de hand en rotaties van de onderarm ook in duur te beperken als deze 50% van het bewegingsbereik overschrijden. Voor de veiligheid en de eenvoud is dit voor alle buig- en

rotatierichtingen hetzelfde gehouden. Nader onderzoek zou kunnen uitwijzen dat het in bepaalde richtingen veiliger is dan de richtlijn voorschrijft.

4.3 Arbouwrichtlijn

De beoordelingscategorieën voor buigen van de hand rond pols en roteren van de onderarm om zijn as (in het ellebooggewricht) zijn voor de verschillende soorten belasting samen genomen in één stel richtlijnen. Onderscheiden zijn:

- *statisch*: gewrichten langer dan 3 tot 4 tellen in één stand ($> 3 \text{ sec.}$),
- *repetierend*: bewegingen worden vaker dan 2 keer per minuut herhaald ($F > 2/\text{min.}$),
- niet repetierend of statisch.

De volgende situaties zijn altijd:

'groen': als de houding niet statisch en de beweging niet repetierend is;

'rood': als de beweging repetierend is ($F > 2/\text{min}$) met grote uitslagen en hoge buigversnellingen in het polsgewricht (zie verder voetnoot in tabel 4.3).

De overige situaties moet men met tabel 4.3 beoordelen. Beoordeel vervolgens de uitoefening van statische of dynamische hand-armkrachten en momenten.

Tabel 4.3 Gezondheidskundige grenswaarden voor polsbuiging en onderarmrotatie (hoeken in °) bij statische houdingen ($> 3 \text{ á } 4$ tellen in een stand) of repeterende bewegingen ($F > 2/\text{min}$). Beoordeel apart de eventuele uitoefening van buigende of roterende momenten

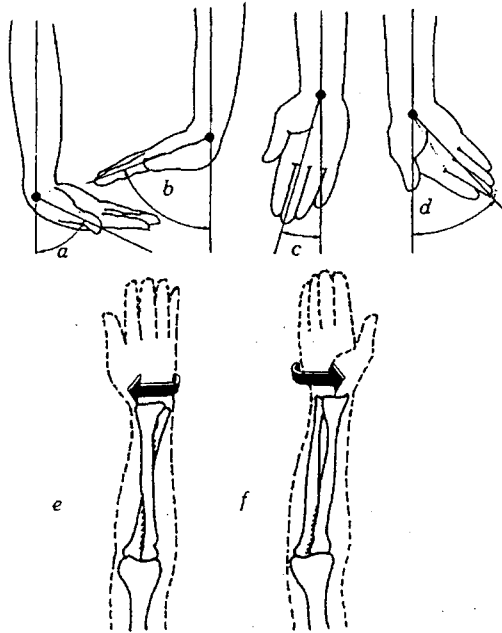
buig- of draairichting (a-f, zie fig. 4.1)		$2 < F \leq 10/\text{min}^*$	$> 3 \text{ sec of } F > 10/\text{min}^{**}$ groen $< 1 \text{ uur}$ (totaal per dag) geel 1-4 uur rood $\geq 4 \text{ uur}$
	groen	groen	
hand buigt vanuit het polsgewricht:		@	
a. omlaag richting palm (flexie)	0-30	> 30	
b. omhoog richting handrug (extensie)	0-30	> 30	
c. opzij richting duim (radiale deviatie)	0-30	> 10	
d. opzij richting pink (ulnaire deviatie)	0-20	> 20	
handpalm roteert vanuit het ellebooggewricht:			
e. omlaag, men kijkt op de handrug (pronatie §)	0-40 (0-110)	> 40 (> 110)	
f. omhoog, men kijkt op palm (supinatie)	0-40	> 40	

* Nabij *extreme standen* ($> 2x$ de waarden uit deze kolom) is de beoordeling als onder $F > 10/\text{min}$.

** Nabij *extreme standen* ($> 2x$) wordt 'groen' 'geel' en 'geel' wordt 'rood'.

@ Worden voor de rijen a-d de hoeken in de laatste kolom overschreden en zijn ook hoge *versnellingen* rond de pols waarneembaar (felle bewegingen) dan is de situatie altijd 'rood' indien $F > 2/\text{min}$.

§ Waarden tussen haakjes betreffen grenswaarden met nagenoeg gestrekte arm met rotatiemogelijkheid vanuit elleboog- en schoudergewricht. Met gebogen elleboog werken heeft de voorkeur; afgeraden wordt om behalve de schouder ook de romp mee te draaien.



Figuur 4.1 Buiging vanuit de pols en draaiing onderarm om zijn as vanuit de elleboog (a-f: zie tabel 4.3); bron: Fegge-
ler et al., 1992

5. KRACHTUITOEFENING OP HANDGEREEDSCHAP

5.1 Inleiding

Krachten of draaimomenten oefent men met hand en arm uit om:

- een gereedschap vast of in een positie te houden. Kracht of draaimoment worden uitgeoefend zonder beweging van arm en/of hand (statisch);
- met gereedschap een bewerking uit te voeren of om het gereedschap te geleiden. Kracht of draaimoment worden uitgeoefend tijdens beweging van arm en/of hand; daarbij kan sprake zijn van:
 - heel langzaam of traag bewegen (semi-statisch);
 - duidelijke, soms snelle, bewegingen maken (dynamisch).

Men spreekt van *intermitterende krachttuioefening* als kortdurende spieracties vereist zijn die telkens gevolgd worden door herstel. Worden statische of dynamische krachttuioefening vaker herhaald ($F > 2/\text{min}$; zie Arbouw, 1996), dan spreekt men van repeterend handelen. Van langdurig achtereen kracht uitoefenen is sprake als de geleverde actiekracht langer duurt dan ongeveer driekwart minuut. (Arb? ?)

De benodigde spieren kunnen dus langdurig achtereen of korte momenten actief (actieduur) zijn afgewisseld met momenten van herstel of rust.

Voorbeeld 1 (Semi)statische krachttuioefening

Met elektrische boor een gat in een object maken. Het opvangen van het reactiemoment van de draaiende boor gebeurt met houdkracht (statisch); moet dit frequent, dan is dit statisch repeterend. Het langzaam induwen en toevoeren van de boor in het object is semi-statische krachttuioefening.

Voorbeeld 2 Dynamisch draaimoment en (semi)statische kracht leveren

Indraaien schroef met een handschroevendraaier. De onderarm maakt duidelijke krachtige inschroefbewegingen (dynamisch repeterend handelen). De gehele arm duwt daarbij op de schroevendraaier (statisch repeterend). De benodigde knijpkracht is eveneens cyclisch om het heft over te kunnen pakken met de hand voor de volgende indraaislag (statisch repeterend).

Wanneer geleverde krachten en momenten hoog worden of in combinatie voorkomen met minder gunstige houdingen, hoge frequenties, lange expositieduren, zijn deze niet meer op te brengen, kan vermoeidheid optreden of kunnen de belastingen een verhoogd risico voor het hand-armsysteem vormen (zie Arbouw, 1996).

5.1.1 Literatuur in het algemeen

De beschikbare richtlijndocumenten en overige geraadpleegde literatuurbronnen bieden schaarse en verbrokkelde informatie inzake gezondheidkundige grenswaarden voor toelaatbare krachten en momenten op handgereedschappen. De verschillende bronnen beperken zich doorgaans tot een (elk weer andere) selectie van risicofactoren. Een probleem is dat de resultaten vaak moeilijk onderling te vergelijken zijn.

Soms kan de informatie door omrekeningen redelijk vergelijkbaar en bruikbaar gemaakt worden voor een eerste benadering, soms is een expert guess nodig om te komen tot een Arbeidsrichtlijn.

Uit Zweden (Sperling et al., 1993) komt een 'kubusmodel' voor indeling en beoordeling van de fysieke belasting bij gebruik van gereedschappen. Drie basisrisicofactoren in onderlinge samenhang staan centraal in het model: grijpkracht, duur en vereiste precisie van positioneringen uit de vrije hand (millimeter- en grammenwerk). Doorgaans vereist hoge precisie extra spierinspanning en vormt derhalve een aparte risicofactor. Het model kent een indeling in 27 subkubussen voor beoordeling op toelaatbaarheid van de gebruikssituatie. Bepaalde combinaties (subkubussen) zijn voorzien van beoordelingskleuren 'groen, geel en rood'.

Deze indeling zou passen bij de opzet voor dit document. De factor precisie met bijbehorende vinger- en pincetgrepen zal in dit Arbeidsdocument echter niet nader uitgewerkt worden (zie § 2.4). Het gaat in dit document primair om handgreepcontacten waarbij min of meer alle vingers de greep (om)klemmen of vastklemmen, zoals vuistgreep, diagonaalgreep, pistoolgreep, haakgreep en tanggreep (zie § 3.4).

Op de twee overblijvende factoren kracht en duur is het Zweedse model te ruw en te weinig discriminerend naar maten van kracht en duur. Het model omvat wat duur betreft het onderscheid naar continu achtereenvolgende kracht zetten en verspreid over de dag. Houdingen worden niet expliciet in het model meegenomen. Richtlijnen voor draaimomenten ontbreken en frequentie wordt alleen kwalitatief benoemd.

De Franse richtlijnen NF X 35-106, die zijn toegepast voor grenswaarden voor repeterende krachtoefening (Arbouw, 1996) en de recente Europese ontwerpnorm prEN 1005-3 (1996) zijn universeel als het gaat om krachtoefening en onderliggende risicofactoren. Beide houden rekening met meer soorten risicofactoren in hun onderlinge samenhang, te weten kracht, krachtrichting, houding en/of beweging, frequentie, duur en percentielwaarden voor verschillende gebruikerspopulaties. Doel van beide richtlijndocumenten is om de gezondheidsrisico's die door (machinegebonden) spierkrachtoefening zouden kunnen ontstaan zoveel als mogelijk te beperken. De Europese richtlijn, die naar verwachting wordt te

zijner tijd een verplichtend karakter krijgt en dus relevant wordt voor de praktijk, komt hieronder (§ 5.2.1) uitvoeriger aan de orde.

5.1.2 Risicofactoren bij het uitoefenen van krachten

De maximaal toelaatbare kracht- en momentuitoefening via één of meer handgrepen is afhankelijk van een groot aantal medebepalende risicofactoren.

De belangrijkste zijn (prEN 1005-3, 1998; Kadefors et al., 1993; Rohmert et al., 1994; Mital, 1992; Chaffin & Andersson, 1991; Putz-Anderson, 1988; Eastman Kodak, 1986; Bullinger & Solf, 1979):

- betrokken bovenste ledematen; voorkeurshand of niet; met 1 of 2 handen werken;
- richting van kracht en draaimomenten in de ruimte en ten opzichte van hand en arm;
- wijze van grijpen (zie § 2.4 en § 3.4);
- wijze van overdracht van kracht in de hand; vorm- of wrijfgesloten (§ 3.6) en de kwaliteit van het oppervlak van de handgreep (wrijf- en drukverdeling);
- standen en bewegingsuitslag van de gewrichten van het hand-armsysteem (pols, elleboog, schouder);
- basishouding van het hele lichaam (staan, zitten, knielen, hurken, liggen);
- totale tijd dat taak of soortgelijke handelingen uitgevoerd worden;
- de duur en frequentie waarmee kracht of draaimoment uitgeoefend worden;
- al of niet duidelijke bewegingen uitvoeren tijdens krachtoefening.

Verder spelen geslacht en soms ook leeftijd een rol bij de capaciteit van het hand-armsysteem. Hier beperken we ons tot de mannelijk beroepsbevolking. Het totaal is een complex aan afgeleide risicofactoren.

De invloed van verschillende risicofactoren wordt behandeld in onderstaande paragrafen.

De methode van grijpen van een voorwerp (stand van de greep in de hand, aantal betrokken vingers en vingerkootjes) speelt feitelijk een grote rol bij grenswaarden voor grijp- of knijp-, duw-, trekkracht of draaimoment (Hall, 1995; Daams, 1994; Feggeler et al., 1992; Chaffin & Andersson, 1991; Eastman Kodak, 1986). Zoals al eerder aangegeven (§ 3.4) beperken we ons voor de bouw tot grijphoudingen en knijpbewegingen (grijpmethoden) waarbij min of meer alle vingers van de hand betrokken zijn. De invloed van de factor 'grijpmethode' blijft hier dus beperkt.

5.2 Europese richtlijn als uitgangspunt

5.2.1 Korte beschrijving prEN 1005-3

De Europese richtlijn prEN 1005-3 (laatste versie 1998) is getiteld 'recommended force limits for machinery operation'. De richtlijn is een nadere concretisering van de machine-richtlijn en verkeert in het eindstadium van ontwikkeling. Opsteller is de werkgroep CEN/TC122/WG4 (Biomechanics). Vanuit het NNI is desgevraagd meegedeeld dat op de laatste versie nauwelijks nog wijzigingen te verwachten zijn voordat mandatering plaats vindt. De lidstaten zullen uiteindelijk worden verplicht om te voldoen aan deze richtlijn; een invoeringsdatum is echter nog niet bekend. De machinerichtlijn is inmiddels wel al van kracht (1-1-1997).

De prEN 1005-3 richtlijn is onder meer van toepassing op machinegebruik. Feitelijk gaat het om gebruik tijdens de gehele levenscyclus van fabricage tot recycling of sloop. In dit document gaat het primair om het gebruik ervan.

De groep *aangedreven handgereedschap voor professioneel gebruik* valt ook onder de categorie machines. De gezondheidkundige grenswaarden zijn bedoeld voor ontwerpers en gelden voor nieuwe machines.

Voor beoordeling van handgereedschapgebruik in de bouw vormt de prEN 1005-3 derhalve een belangrijk uitgangspunt. Het gebruik van aangedreven gereedschappen neemt immers toe. Voor niet aangedreven handgereedschap zijn deze richtlijnen echter even goed bruikbaar.

Van de Franse norm NF X 35-106 zijn delen (grenswaarden voor repeterende krachtoefening, $F > 2/\text{minuut}$) bruikbaar ~~gemaakt~~ voor het opstellen van richtlijnen voor de fysieke belasting (Arbouw, 1996). Er zijn ook delen geïntegreerd in prEN 1005-3.

De uitwerking in het tijdsdomein verschilt echter van de Franse norm. De Europese richtlijn geeft grenswaarden voor klassen met hogere frequenties (tot over de 20 keer/min) en bevat klassen voor taakduur en duur per handelingscyclus dat spierkracht geleverd wordt. Verder wordt onderscheid gemaakt naar al of niet uitvoeren van 'duidelijke bewegingen'. De richtlijn geeft voorbeelden van isometrische basisgrenswaarden voor dezelfde soorten krachten als in de Franse norm. Deze grenswaarden zijn niet direct bruikbaar. Het betreft waarden voor het 12,5%iel van de mannelijke en vrouwelijke beroepsbevolking. Voor gereedschapgebruik ontbreekt een nadere uitwerking naar een belangrijke risicofactor als krachtrichting ten opzichte van het hand-armsysteem en lichaamshoudingen in het bijzonder die van de onderarm, hand en vingers. Dergelijke risico's kunnen weliswaar afgedekt wor-

den door een zogenaamde veiligheidsfactor te introduceren of het wordt aan de ontwerpers en beoordelaars overgelaten om de waarde hiervan te schatten of te onderzoeken. Voor incidenteel langdurig volgehouden krachten worden in prEN 1005-3 geen grenswaarden gegeven.

De Europese richtlijn laat ruimte voor aanvullende basisgrenswaarden (isometrische maxima) voor specifieke populaties (bouw bijvoorbeeld) of grenswaarden die uit nieuw onderzoek beschikbaar zijn gekomen. De isometrische krachten en momenten worden vervolgens gekoppeld aan andere risicofactoren als duur, frequentie en al of niet bewegen tijdens krachttuitvoering. De opzet is verwant aan die in de NIOSH til-richtlijnen (1991), waarbij voor verschillende afzonderlijke risico's vermenigvuldigingsfactoren (proporties) worden toegepast (zie verder hieronder). Zolang gedetailleerder onderzoek ontbreekt is deze opzet en aanpak geschikt voor een eerste ruwe beoordeling van fysieke belasting tijdens gereedschapsgebruik.

5.2.2 Probleemstelling

De Europese richtlijn biedt een belangrijke basis waarop concretere richtlijnen voor krachttuitoefening op handgereedschap, maar probleem is dat een aantal relevante aspecten nog onvoldoende uitgewerkt is. Zo ontbreken concreet de volgende aspecten:

- grenswaarden voor 90e en 25e percentiel mannen;
- maximaal toelaatbare armdraai- of wringmomenten van de onder- en eventueel de bovenarm en buigmomenten met de hand rond de pols;
- maximaal toelaatbare hand-armkrachten en momenten bij basishoudingen anders dan zitten en staan en bij verschillende standen van pols, elleboog en schouder;
- maximale knijpkrachttuitoefening in relatie tot grijpafstand van de vingers;
- maxima voor contactdruk en -wrijving;
- maximale krachttuitoefening voor langdurig volgehouden statische krachten of momenten.

De uitwerking van de prEN 1005-3 vindt verder hieronder plaats.

5.2.3 Literatuur

Mogelijke achtergronden van de prEN-richtlijnen, aanvullingen en wetmatigheden om tot gezondheidkundige grenswaarden te komen zijn uit andere ergonomische literatuurbronnen

gehaald. In een aantal gevallen kunnen we via omrekeningen tot een voorlopige relevante set isometrische grenswaarden komen in samenhang met afgeleide risicofactoren. Deze basiswaarden zullen worden gekoppeld aan de opzet in prEN 1005-3.

De hier gegenereerde stand der kennis moet gezien worden als de best mogelijke schatting die momenteel gemaakt kan worden voor gezondheidkundige grenswaarden bij gereedschapsgebruik in de bouw.

5.2.4 Methode van bepaling van een stramien voor de Arbouwrichtlijn

Isometrische grenswaarden voor krachttuioefening als basis

In de Europese richtlijn vormen maximale isometrische krachten de basisgrenswaarden. Isometrisch wil zeggen, gemeten met de hand in een vaste stand in de ruimte. Volgens het protocol van Caldwell gemeten zijn dit piekkrachten die maar kort (ongeveer 4 seconden) volgehouden kunnen worden.

Bij de vermelde waarden in de prEN lijkt echter van een representatieve waarde voor een zeker bewegingsgebied uitgegaan te zijn net als in de Franse norm ('volume de travail bon, acceptable'). Hoe tot keuze van die waarde is gekomen blijft onduidelijk.

Uit aanvullende literatuurgegevens blijkt dat isometrische maxima doorgaans gemeten zijn in één positie van de hand in de ruimte. Maximale isometrische krachten en draaimomenten zijn onder meer beschreven in (Rohmert et al., 1994; Daams, 1994; Mital, 1986; Fährlich et al., 1983) in samenhang met afgeleide risicofactoren; krachtrichting en houding van het hand-armsysteem. Dergelijke uitgebreide gegevenstabellen zijn onbruikbaar voor een eenvoudige eerste beoordeling van meervoudige risico's in de praktijk.

Net als in het prEN-document is voor toepassing in de bouw vaak een grenswaarde voor kracht of draaimoment voor een groter werkgebied gewenst (bijvoorbeeld voor alle polsstanden bij bepaalde bewegingen van de arm). Feitelijk worden dan verschillende houdingen achtereenvolgens aangenomen. Voor elk daarvan geldt veelal een andere maximaal uit te oefenen kracht of draaimoment (te leveren kracht of moment verschilt bijvoorbeeld per ellebooghoek of stand van de vingers van de hand).

De verschillen komen door verandering van spierlengte, veranderende inwendige hefbomen of door antagonistische gewrichtsstructuren die effectieve spierprestatie doen afnemen; het laatste komt vooral voor bij extreme standen (Chaffin & Andersson, 1991). Wil het hele bewegingstraject overbrugbaar zijn, dan is de laagste waarde (*minimum*) van de maxima bepalend voor de haalbaarheid van een beweging tegen weerstand in.

De volgende methode wordt gevolgd bij het integreren van de aanvullende literatuurgegevens tot gegevens voor een heel gebied.

a. Minimum van isometrische maxima, van de krachten (K), of van de momenten (M) als uitgangswaarde voor een geheel werkgebied of bewegingstraject van hand met gereedschap

Voor het onderscheid naar gezondheidkundige onder- en bovengrens wordt het 90e %-iel mannen van de verdelingsgegevens over krachten of momenten gehanteerd als ondergrens 'groen/geel' en het 25e %-iel voor de bovengrens (conform Arbouw 1996). Zo nodig worden deze bepaald vanuit andere verdelingskenmerken, zoals standaarddeviaties; andere percentielwaarden, variantiecoëfficiënten of verhoudingen tussen gegevens van vrouwen en mannen als geen gegevens over mannen beschikbaar zijn.

Risicofactoren in het tijdsdomein en van beweging

Min of meer vergelijkbaar met de NIOSH-methode voor tillen worden in de prEN-1005-3 richtlijn vermenigvuldigingsfactoren (proporties < 1) toegepast voor de verschillende risicofactoren. Zo zijn er de bekende factoren taakduur en frequentie. Nieuw ten opzichte van de Franse norm is het onderscheid naar het aspect 'bewegen'. Niet of nauwelijks bewegen wordt onderscheiden van 'duidelijk bewegen'. Verder wordt onderscheid gemaakt naar de duur van de actietijd van de betreffende spiergroep. Nieuw is ook de aparte risicofactor voor allerlei bijkomende onzekere risicofactoren.

In deze Arbouwrichtlijn zal, voorzover de gegevens beschikbaar zijn en dat toelaten, invulling gegeven worden aan het verkleinen van deze onzekerheid.

b. Vermenigvuldigingsfactor voor beweging F_b

De maximale spierprestatie wordt ongunstig beïnvloed wanneer tijdens de krachtoefening sprake is van duidelijke bewegingen (Chaffin & Andersson, 1991). Uit isokinetische proeven met de armspieren werd een prestatiereductie bij concentrische spierarbeid gevonden van ongeveer 15% (Schaefer & Brödler, 1991). Chaffin en Andersson (1991) citeren onderzoek naar armbewegingen waarin 25-20% als capaciteitsreductie gevonden werd. Volgens de auteurs is er nog maar weinig onderzoek beschikbaar naar dit verschijnsel. In de prEN 1005-3 wordt een vermenigvuldigingsfactor van 0.80 voorgesteld, plausibel als men dit vergelijkt met achtergronden die in de literatuur gevonden zijn.

De vermenigvuldigingsfactor wordt voor krachtzetten in prEN 1005-3 als volgt toegepast:

- | | |
|-------------|---|
| $F_b = 0,8$ | bij een duidelijke beweging ('evident movement'); |
| $F_b = 1,0$ | bij traag, langzaam of niet bewegen. |

c. Vermenigvuldigingsfactor voor frequentie van bewegen (Ff) in combinatie met duur van de spierkracht per handelingscyclus (Fsk)

Frequent herhaald kracht uitoefenen veroorzaakt vermoeidheid en vermindert daarnaast de maximale spierprestaties doordat versnellingskrachten geleverd moeten worden aan arm, hand met massa van het gereedschap erin. Chaffin en Andersson (1991) geven reducties ten gevolge van inertia-effecten van ongeveer 10% tot 20% afhankelijk van de massa. De cumulerende vermoeidheidseffecten zijn ook afhankelijk van de duur per cyclus dat de spier kracht levert dan wel in rust is. De prEN-1005-3 legt een onderscheid aan bij 3 seconden (3 tot 4 tellen). Dat is vergelijkbaar met het criterium voor statische houdingen (Arbouw, 1996). Voor een spierkrachtactie die langer duurt dan 3 seconden per cyclus gelden andere vermenigvuldigingsfactoren voor de verschillende frequentieklassen. Deze factor lijkt gebaseerd op bevindingen uit Zweeds onderzoek naar intermitterende krachttuioefening (Byström, 1991).

De genoemde vermenigvuldigingsfactoren Ff zijn voor de frequentieklassen $\leq 0,2/\text{min}$; 0,2-2; 2-20/min en $> 20/\text{min}$ successievelijk:

Ff ($< 3\text{sec}$ spieractie): 1,0; 0,8; 0,5; 0,3;

Ff ($> 3\text{sec}$ spieractie): 0,6; 0,4; 0,2; (nvt: statische belasting).

Om tot vereenvoudiging voor dit document te komen wordt de factor Fsk geïntroduceerd als onafhankelijke van Ff. Bekijkt men de verhoudingen van boven elkaar staande paren, dan is nagenoeg een factor 0,5 te herkennen tussen de factoren onder en boven. 0,6 zou 0,5 worden bij halvering van 1,0 en halvering van 0,5 wordt 0,25. Bij allerlei andere optredende onnauwkeurigheden en toegepaste afrondingen is een dergelijke versimpeling verantwoord. De vermenigvuldigingsfactoren worden dan als volgt:

Ff: 1,0; 0,8; 0,5; 0,3;

Fsk ($< 3\text{ sec}$ spieractie per cyclus): 1,0;

Fsk ($> 3\text{ sec}$ spieractie per cyclus): 0,5.

d. Vermenigvuldigingsfactor voor taakduur (Fd)

Vermoeidheid kan zich uiten in lokaal ongemak, verminderde spiercapaciteit of afwijkingen in de homeostase van fysiologische parameters. Het ontwikkelt zich geleidelijk gedurende de werktijd. Een speciaal cumulerend effect gaat uit van handelingen met krachtzetten die sterk op elkaar lijken, in de zin dat ze dezelfde weefsels van spieren en pezen belasten. Van belang is dus een factor totale 'taakduur' (alle soortgelijke taken, handelingen bijeen geteld). In de prEN 1005-3 heeft men klassen gekozen die identiek zijn aan de NIOSH-richtlijn. Dit wijkt dus af van andere indelingen zoals < 1 , 1-4; 4-8 uur, zoals in het basisdocument van Arbouw gehanteerd is. De factor kan de volgende waarden aannemen bij respectievelijk een taakduur van ≤ 1 uur, 1-2 uur, 2-8 uur:

Fd: 1,0; 0,8; 0,5.

Door vermenigvuldiging van de factoren $F_b \cdot F_f \cdot F_d$ bepalen deze samen de totale proportie beschikbare spiercapaciteit (capaciteitsfactor F_c) bij een factor $F_{sk}=1$. Vermenigvuldigd met 100% is de betekenis hiervan vergelijkbaar met een MVC %.

e. Factor voor incidenteel lang achtereen uitoefenen van een statische kracht of moment (F_s)

Het komt voor dat op handgereedschap tientallen seconden tot minuten lang achtereen een kracht uitgeoefend moet worden om het handgereedschap in positie te houden of langzaam voort te bewegen (statische situatie). Is de benodigde kracht aanzienlijk, dan treedt al snel vermoeidheid op, soms gevolgd door pijn en even later is de kracht of de beweging niet meer vol te houden.

Volhoudtijden voor proporties van maximale isometrische krachten zijn in de literatuur beschreven (Dul et al., 1994; Kuyvenhoven, 1992; Sjøgaard, 1986; Rohmert, 1960). In prEN 1005-3 worden voor dergelijke situaties, geen richtlijnen gegeven. Er is dus wel een onderscheid ± 3 sec voor de duur van spieractiviteit (zie punt c); een eenvoudige aanpak. Maar dit is erg grof voor laag frequente handelingen die in de bouw ook vaak te zien zijn.

Voor langere volhoudtijden zijn aanvullende gegevens te berekenen met het werk-rust-model (Dul et al., 1994). Het model is voorzien van het volhoudtijd-model van Sjøgaard (1986) en het herstelmodel van Milner (1985). Uit onderzoek blijkt dat het volhoudmodel valide is maar dat het herstelmodel nog vrij grote afwijkingen vertoont met empirische bevindingen en nader onderzoek vereist. Vooral bij erg korte werk-rust cycli is het model niet geschikt. Voor lange cycli kan het model wel gebruikt worden als eerste benadering. We leiden nu een factor F_s af uit het model en beperken ons tot enkele situaties die niet in de prEN 1005-3 beschreven zijn, namelijk $F < 0,2/\text{min}$ (zie tabel 5.2). Bij de modelbeoordeling zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd.

In de praktijk is het niet verantwoord om volhoudtijden te hanteren die tot uitputting gaan. Na sessies tot uitputting worden soms nog vermoeidheidseffecten de volgende dag gevonden en het risico op blessures is groot.

Uit vermoeidheidsonderzoek blijkt dat er op groepsniveau een lineair verband bestaat tussen de hoogte van gescoord lokaal ervaren ongemak (LEO) met de Borg-schaal (Van der Grinten et al., 1992) en de proporties van de volhoudtijd (Meijst et al., 1995; Douwes et al., 1993). Bij een LEO-score van 5-7 of meer op de schaal van 0-10 (uitputting) treden bij langer volgehouden inspanningen geregeld al pijnsymptomen op. Ook verhoging van de hartslag kan bij dergelijke waarden optreden (Byström, 1991). In ISO/CD 11226 voor statische houdingen (gebruikt in Arbouw, 1996) wordt uitgegaan van een ondergrens voor fitheid van 80% gedurende een hele dag werken; dit staat gelijk met LEO=2 'enige last'. In totaal 1 uur en verspreid over de dag kan een stijging van onge-

mak tot LEO=5 wel geaccepteerd worden als dit direct daarna gevolgd wordt door een ruime periode met herstel voor de betreffende spiergroep of door heel lage inspanningsniveaus. Een frequente vermoeidheidsgraad van LEO=5 over een hele dag werken kan niet als acceptabel beoordeeld worden. LEO=5 is geassocieerd met 'veel last en ongemak' en is gerelateerd aan de helft van de volhoudtijd. Voor de richtlijnen in deze publicatie wordt de helft van de berekende volhoudtijd als toelaatbare tijd gehanteerd voor lang achtereen volgehouden statische krachtoefening gedurende 1 uur. Voor 2 uur is LEO=4 (resterende fitheid 60%) gekozen als criterium; dit ligt tussen LEO=2 voor 8 uur en LEO=5 voor 1 uur in. Met het WR-model kan berekend worden dat de reductiefactor in prEN 1005-3 van 50% voor spieracties die langer duren dan 3 sec. goed genoeg is tot spieracties die ongeveer 45 sec. duren; als ook nog zeker twee tot drie maal zoveel herstel nodig is, kan dit uiteraard alleen bij hele lage frequenties van minder dan 1/min. Tabel 5.1 is bij lage frequenties dan ook geldig tot actiekrachten die 45 sec. duren. De overgang naar tabel 5.2 is dan ook gelegd bij actiekrachten die langer duren dan 45 sec., voor de eenvoud te beginnen met hele minuten.

f. Extra vermenigvuldigingsfactor voor risico's inzake gezondheid en veiligheid Fv

Het resultaat van bewerkingen met de bovenstaande risicofactoren (ad b-e) levert grenswaarden voor de spiercapaciteit op onder verder optimale omstandigheden.

Ook bij uitoefening van submaximale waarden kunnen echter gezondheidsrisico's aanwezig zijn, door allerlei medebepalende factoren die deels nog niet goed gekwantificeerd zijn. Bepaalde structuren of weefsels blijken onder bepaalde omstandigheden toch extra kwetsbaar. In prEN 1005-3 wordt dit alles begrepen in de zogenaamde 'risicofactor' Fv, die is op te vatten als een veiligheidsfactor of -marge. De verkregen grenswaarden na toepassing van de tabel (tabel 5.1 en 5.2) worden nog extra vermenigvuldigd met Fv als er (voorlopig) sprake is van onvoorziene risico's door verergerende factoren. Deze risicofactor stimuleert een ontwerper een risico-analyse van het gebruik uit te voeren alvorens hogere grenswaarden toe te laten. De volgende belastingsreducties cq veiligheidsmarges kunnen gehanteerd worden als er sprake lijkt van extra risico's:

Fv < 0,5: aanbevolen reductie/veiligheidsmarge, het risico op ziekten of aandoeningen lijkt te verwaarlozen;

Fv = 0,5-0,7: niet aanbevolen reductie/marge, een gezondheidsrisico lijkt niet te verwaarlozen; nader onderzoek naar aanvullende risico's is eerst nodig om na te gaan of minder reductie verantwoord is;

Fv > 0,7: te vermijden marge, er lijkt duidelijk een gezondheidsrisico dat niet acceptabel is, een interventie is nodig om het risico te verlagen.

Als verergerende factoren, waarvoor een extra reductie van de grenswaarden, een grotere veiligheidsmarge dus toegepast zou moeten worden, noemt men in prEN 1005-3:

- werkhouding is gedwongen, is niet varieerbaar;
- extreme standen komen voor;
- hoge versnellingskrachten treden op;
- werk vereist hoge mate van precisie (voor de bouw minder relevant);
- hand-arm trillingen treden op of trillingen worden ingeleid via andere afsteunpunten;
- onvolledig controle hebben over werktempo en bediening van de machine;
- beperkingen door het gebruik van PBM'n (voor handgereedschap: handschoenen);
- omgevingsinvloeden (extreme temperaturen, hoge vochtigheid, verlichting, etc.).

Zijn nadere gegevens in de literatuur gevonden, zoals over houdingen, dan worden deze risicofactoren in de grenswaarden in deze publicatie verwerkt. Voor het overige wordt in de tabellen verder uitgegaan van ideale condities. Is de situatie minder ideaal dan kan men ook nog een veiligheidsfactor toepassen.

Tabel 5.1 en 5.2 vatten de tijdsgerelateerde risicofactoren samen en worden in combinatie toegepast met de basisgrenswaarden uit hoofdstuk 6-8 die ook risicofactoren van houdingen omvatten. Het onderscheid voor duur van de spieractie (factor Fsk) wordt onder tabel 5.1 gemaakt om het aantal cellen beperkt te kunnen houden. Bij frequent repeterend werk zijn spiercontracties vaak korter dan 3 seconden en de tabel is primair hierop gericht. In tabel 5.2 staan nog volhoudtijden voor langdurig krachtzetten (zie alinea f).

5.3 Arbouwrichtlijn

Om de gezondheidkundige grenswaarden voor krachtoefening met het hand-armsysteem te bepalen moeten de gevonden basisgrenswaarden voor isometrisch maximale krachten en draaimomenten (zie de volgende hoofdstukken) vermenigvuldigd worden met een der vermenigvuldigingsfactoren uit onderstaande tabellen 5.1 of 5.2 en zonodig nog met een reductiefactor voor extra gezondheidsrisico's.

- Pas tabel 5.1 toe als sprake is van intermitterende of repeterende krachtoefening waarbij de actietijd maximaal 45 seconden is. (**LET OP** voetnoot bij tabel). Geen of een trage beweging (gearceerde rijen) is bijvoorbeeld het induwen van een houtboor of het geleiden van een slijptol; een duidelijke beweging is bijvoorbeeld de armbeweging bij zagen of verfkrabben of bij het optillen en neerleggen van gereedschap met een arm.
- Pas tabel 5.2 toe bij langdurige statische krachtoefening. Een voorbeeld hiervan is het ophouden van een hamerboor om een gat te maken in een muur.

Tabel 5.1 Vermenigvuldigingsfactor F_c voor intermitterende of repeterende krachtoefening

Vermenigvuldig de isometrische maximale actiekrachten of -draaimomenten met F_c om de gezondheidkundige grenswaarden voor kracht- en momentufoefening aan de handgrepen te bepalen. F_c is afhankelijk van de 'frequentie van de belasting', de 'mate van beweging', de 'totale taakduur per dag' (#) en 'de duur van de actiekracht per belastingscyclus' (bewerking van prEN 1005-3 richtlijn)

		Fc bij actieduren < 3 sec per belastingscyclus; zie *)		
		taakduur per dag		
frequentie (F (1/min))	mate van beweging	< 1 uur	1-2 uur	2-8 uur
intermitterend				
≤0,2 *)	geen/traag	1,0	0,8	0,5
	duidelijk	0,8	0,64	0,4
0,2-2 *)	geen/traag	0,8	0,64	0,4
	duidelijk	0,64	0,51	0,32
repeterend				
2-20 *)	geen/traag	0,5	0,4	0,25
	duidelijk	0,4	0,32	0,20
> 20	geen/traag	0,3	0,24	0,15
	duidelijk	0,24	0,19	0,12

*) Wordt in een belastingscyclus langer dan 3 seconden achtereen spierkracht geleverd, halveer dan de vermenigvuldigingsfactor in de tabel. $F \geq 20$ is dan niet van toepassing. Bij $F \leq 0,2/\text{min}$ en een duur per spieractie van > 45 sec. raadpleeg de tabel voor langdurige statische belasting (tabel 5.1)

Worden bepaalde lichaamsdelen gedurende meerdere taken of meerdere perioden in dezelfde taak op soortgelijke wijze belast dan moet men de taaktijden per dag bij elkaar optellen alvorens de kolom voor taakduur te kiezen.

Tabel 5.2 Vermenigvuldigingsfactor F_s voor langdurige statische krachtoefening

Vermenigvuldig de isometrische maximale actiekrachten of draaimomenten met F_s om de gezondheidskundige grenswaarden voor kracht- en momentuitoefening aan de handgrepen te bepalen. F_s is afhankelijk van de 'totale taakduur per dag' (#), de 'duur van de kracht per actie' en de mogelijkheid van herstel. Uitgangspunt is hier tenminste een hersteltijd van 250-300% van de actietijd (zie kolom 2). Raadpleeg een deskundige voor andere werk-rustverhoudingen

duur van elke spieractie	vereiste herstelduur na elke actie	Fs voor langdurige STATISCHE krachtoefening, trage beweging toelaatbaar		
		taakduur per dag		
		< 1 uur	1-2 uur	2-8 uur
0,75-1 min	> 2,5 min	0,38	0,33	0,23
1-2 min	> 6 min	0,30	0,25	0,17
2-4 min	> 12 min	0,20	0,18	0,12
4-8 min	> 24 min	0,15	0,13	0,10

Worden bepaalde lichaamsdelen gedurende meerdere taken of meerdere perioden in dezelfde taak op soortgelijke wijze belast dan moet men de taaktijden per dag bij elkaar optellen alvorens de kolom voor taakduur te kiezen.

- Extra veiligheidsmarge. Pas een extra reductiefactor toe (vermenigvuldig F_c of F_s nog met $F_v=0,5$) als vermoed wordt dat er sprake is van nog andere verhoogde gezondheidsrisico's waarvoor niet in deze richtlijn is voorzien. Extra risico's, waarin niet is voorzien in deze richtlijn, zijn bijvoorbeeld: een hoge mate van precisie (in termen van mm-werk), duidelijk optredende trillingen of schokken van het hand-arm-systeem of van het hele lichaam zoals op bewegende werkplatforms, krachtoefening bij gedwongen machinetempo, belemmerende kleding anders dan werkhandschoenen, werken bij hoge temperaturen en grote vochtigheid.
- De factor F_v kan worden aangepast (meer naar 1) als uit een nader onderzoek blijkt dat de extra risico's gering zijn (zie deel II paragraaf 5.2.4 punt f).

6. DUW- EN TREKKRACHTEN MET HAND EN ARM

6.1 Literatuur

6.1.1 Inleiding

Het vasthouden en/of bewegen van handgereedschap vereist doorgaans duw- en trekkrachten. De richting ervan kan sterk verschillen:

- verticaal omhoog of omlaag in verticaal vlak (Vs) door het schoudergewricht;
- horizontaal voorwaarts of achterwaarts in een verticaal vlak (Vs) door het schoudergewricht;
- horizontaal, loodrecht op het verticale vlak (Vs) door het schoudergewricht.

Om handgereedschap te bewegen worden doorgaans ook de armen bewogen, vaak in min of meer dezelfde richting als de kracht wordt uitgeoefend.

Bij grote krachten wordt ook wel het rompgewicht gebruikt door de rug of de benen te buigen of door zich schrap te zetten. De rug hoeft daardoor niet meer belast te worden of kan zelfs worden ontlast (bijvoorbeeld: omlaag trekken hijstouw, omlaag duwen schep bij insteken). Er kan dus sprake zijn van duwen en trekken met inzet van armen en handen al of niet ondersteund door de inzet van lichaamsgewicht.

Voorbeelden zijn:

- tweehandig heen en weer halen van een blokschaaf voor het lichaam met arm- en rompbeweging;
- eenhandig voor het lichaam langs in- en uitwaarts bewegen van een stukadoorsspaan;
- omlaag trekken van touw in blok; als het lichte lasten betreft alleen met de armen; als het zwaar wordt ook met hulp van benen en romp;
- herhaaldelijk optillen en aandrukken van pneumatische hamer in bestrating;
- aangedrukt houden van een boormachine tegen een muur met schrap zetten.

In de richtlijn voor fysieke belasting (Arbouw, 1996) zijn onder meer enkele isometrische grenswaarden opgenomen voor infrequent op de plek duwen en trekken met 2 handen. De hogere krachten kunnen alleen onder gunstige afzetmogelijkheden en inzet van lichaamsgewicht of met behulp van afsteuning geleverd worden.

Het gaat in dit document primair om *duw- en trekkrachten leverbaar door hand en arm*. Toepassing van de prEN 1005-3 richtlijn vereist isometrische basiswaarden voor het hand-armsysteem. De richtlijn geeft een voorlopig lijstje met een achttal krachten (85e %-iel

mannen + vrouwen). Omgerekend naar vergelijkbare percentiele waarden zijn deze grenswaarden vergelijkbaar met die in de Franse norm NF X 35-106 die gebruikt is in de richtlijn van Arbouw (1996).

Uit andere literatuur blijkt bij nader onderzoek dat de maxima sterk afhangen van de positie van hand en arm. Zoals in hoofdstuk 5 al is betoogd, is de prEN 1005-3 richtlijn qua opzet voorlopig het beste uitgangspunt en laat toe dat deze wordt aangevuld met kennis uit de literatuur.

Primair uitgangspunt voor toepassing van reductiefactoren in de prEN 1005-3 moeten de daadwerkelijke isometrische spierprestaties zijn van arm en schouder. Maximale krachten kunnen namelijk ook het resultaat zijn van een stabiliteitsprobleem van het hele lichaam (wegglijden, omkantelen) of van een andere zwakke schakel die de krachtprestaties beperken (bijvoorbeeld een buigmoment rond de pols). In de literatuur worden deze aspecten niet altijd zorgvuldig uit elkaar gehouden. Daarom is gezocht naar grenswaarden voor het hand-arm-schoudersysteem die zo min mogelijk beïnvloed zijn door de factoren:

- onbalans of stabiliteitsproblematiek van het hele lichaam;
- limiterende prestaties in de hand door knijp- of drukkracht (zie hoofdstuk 7 en 8).

Onbalans speelt vooral bij krachten van het lichaam af en naar het lichaam toe of voor het lichaam langs. Ter aanvulling bleken nogal wat analyses nodig met behulp van het 3D-SSPP biomechanisch model (Chaffin & Andersson, 1991). Dit model analyseert de spierprestaties per gewricht afzonderlijk (schouder en elleboog zijn in dit verband de relevante gewrichten). Het segment hand-onderarm zit alleen in het model voor onderarmbuiging en -strekking (zie hiervoor hoofdstuk 7 en 8).

Op de in paragraaf 6.3 uiteindelijk gekozen isometrische grenswaarden voor hand-armkracht worden vervolgens de reductiefactoren voor beweging, frequentie en duur toegepast uit prEN 1005-3 (zie hoofdstuk 5). Voorzover nodig moet *daarna* pas beoordeeld worden of de toegelaten krachten stabiliteitscriteria overschrijden, bijvoorbeeld bij trekken of duwen (zie Arbouw, 1996).

Omdat de isometrische grenswaarden samenhangen met diverse afgeleide risicofactoren, worden deze eerst in de volgende paragraaf kort benoemd en worden de belangrijkste gekozen om bruikbare gegevens in de literatuur in samenhang te kunnen bekijken.

6.1.2 Afgeleide risicofactoren

Afgeleide risicofactoren bij krachttuioefening met arm en hand, naast de factoren die al in prEN 1005-3 zijn genoemd, zijn (Rohmert et al., 1994; Daams, 1994; Chaffin & Andersson, 1991; Keyserling et al., 1978; Eastman Kodak, 1986):

- a. aard van de koppeling hand-handgreep;
- b. één- of tweehandig gebruik, voorkeurshand of niet;
- c. positie van de hand (reikafstand, hoogte, zijdelingse positie van de hand);
- d. krachtrichting ten opzichte van de zwaartekracht;
- e. krachtrichting ten opzichte van hand en schoudergewricht;
- f. basishouding van het lichaam in verband met het bewaren van het evenwicht;
- g. afsteuning van het gewicht van arm en gereedschap.

De belangrijkste voor nadere uitsplitsing in deze richtlijn zijn: krachtrichting, reikafstand en handhoogte. De aard van de koppeling (wrijfgesloten of vormgesloten) wordt niet in dit hoofdstuk nader uitgewerkt; uitgangspunt is vormgesloten. In hoofdstuk 8 komt knijpkracht aan de orde.

In prEN 1005-3 worden een achttal isometrische richtwaarden voor verticale en horizontale armkrachttuioefening gegeven (onder de titel 'shortcut'); een nader onderscheid naar armhoudingen wordt niet gemaakt; getekend is een figuur met de bovenarm omlaag hangend en de onderarm horizontaal. Goed vergelijkbare richtlijnen uitgesplitst naar verschillende risicofactoren in de literatuur zijn schaars. Voorzover beschikbaar zijn de meest bruikbare die voor verticale krachten.

Er is een al wat oudere DIN-richtlijn 33411-4 die op grafische wijze inzicht geeft in een aantal risicofactoren in samenhang met elkaar. Deze richtlijn bevat alleen krachtgemiddelden voor mannen en is gebaseerd op een erg klein aantal (5) proefpersonen. Dat is ook het geval bij Fähnrich et al. (1983), waarbij bovendien de richting van de verticale en horizontale krachten niet onderscheiden is. Keyserling et al. (1978) geven voor grote aantallen proefpersonen richtwaarden, maar voor een beperkt aantal praktijkhoudingen en voor krachttuioefening met 2 handen. Burandt (1978) geeft een tabellarisch overzicht maar verzuimt de herkomst van de gegevens te vermelden. Sommige gemiddelde krachten zijn erg hoog in verhouding tot wat anderen vinden; de krachtgegevens ondervinden ook kritiek van anderen die onder meer betrokken zijn bij Europese normering (Schaeffer et al., 1994). Eén van de beter bruikbare bronnen lijkt voorlopig de krachtenatlas van Rohmert et al. (1994); de gegevens over het krachtafgevend segment hand-arm zijn gebaseerd op 60 mannelijke proefpersonen; zowel gemiddelden en spreidingen worden gegeven.

De inventarisatie is aangevuld met gegevens van andere auteurs, die helaas vaak maar een beperkt aantal categorieën per risicofactor onderzocht hebben (auteurs in Daams, 1994). Verder is de inventarisatie aangevuld met 3D-analyses.

6.1.3 Indeling naar richting van de actiekracht, reikafstand, handpositie

Praktische beperkingen zijn nodig om de richtlijnen inzichtelijk te houden. Maar teveel vereenvoudiging heeft tot gevolg dat veel praktische situaties niet goed beoordeeld kunnen worden of dat lage grenswaarden ontstaan voor een groot scala van samen te nemen armhoudingen, zoals waarschijnlijk in prEN 1005-3 gebeurd is (isometrische maxima voor 6 krachtrichtingen al of niet in combinatie met afsteuning van het lichaam).

In de praktijk wordt de situatie vaak naar horizontale en verticale *actiekrachten* beschreven; de kracht uitgeoefend door de handen op het object of de omgeving. In dit rapport conformeren wij ons aan deze notaties. Een pijl omhoog is dus tillen; naar voren is duwen, etc. Bij het aangeven van een gewicht tekent men de pijl doorgaans omlaag; dit is de kracht die de massa van het object uitoefent op de handen.

De literatuur vermeldt de krachten veelal ten opzichte van een vlak door het schoudergewricht (vaak het sagittale vlak) (Rohmert et al., 1994; diverse auteurs vermeld in Daams, 1994).

Er is gekozen voor een tabellarische weergave van inventarisaties uit de literatuur en van data uit aanvullende biomechanische analyses. De 2 risicofactoren voor hand naar voren reiken en handhoogte zijn langs twee assen in de tabel uitgezet en geven zo inzicht in de onderlinge samenhang. Alle beschikbare data zijn vertaald naar referenties van armlengte ten opzichte van de romp. Dit maakt het later makkelijker om ook beoordelingen te kunnen doen indien bijvoorbeeld geknield of gehurkt gewerkt wordt.

Gekozen is voor 2 middelste klassen ter breedte van ongeveer een kwart (25%) armlengte (ongeveer 15-17 cm). Omdat bij ver reiken de krachten sterk kunnen afwijken van het gemiddelde is hiervoor een smal gebied gedefinieerd met een reikafstand van 87-100% van de reikwijdte (1/8 armlengte); op schouderhoogte is dit gebied redelijk goed te observeren aan de hand van ellebooghoeken 120-180°. Zo ook voor de hand dichtbij het lichaam (23-37%).

Dichterbij (<20 á 25%) kan niet; het reiken van de hand wordt belemmerd door de romp.

In de rijen en kolommen van de tabellen zijn voor de richting loodrecht op de verticale as door het schoudergewricht de volgende proporties van de reikwijdte gekozen, gemeten met hand op *schouderhoogte*:

(H)

- 93 % (87-100%) kolom 1. Observeerbare ellebooghoeken tussen 120-180°;
75 % (87-62%) kolom 2. Ellebooghoek van 90° is ongeveer het centrum van de klasse;
50 % (62-37%) kolom 3. Ellebooghoek van 60° is ongeveer het centrum van de klasse;
30 % (37-23%) kolom 4. Ondergrens meestal bepaald door romp (ongeveer 23 % reikafstand). Observeerbare ellebooghoeken ongeveer tussen 45-30°.

Zijn er data over de hand vlak naast het lichaam dan komen die in kolom 5 van de tabel.

In de tabel geven de *dubbel belijnde cellen* de gebieden met maximale reikwijdtes langs de lijn vuist-schouderpunt (R= 87-100%) bij verschillende standen van de arm. Omhoog en omlaag langs de romp is een indeling gekozen met intervallen van ongeveer gelijke proporties van de reikhoogte van de hand verticaal (V). De referenties zijn primair gekozen als makkelijk observeerbare punten van romp en hoofd.

(V) Centrum van de vuist op:

0% Sh= Schouderhoogte, rij E; de arm is horizontaal gestrekt.

Omlaag zijn de referenties:

30% Boh= Borsthoogte (oksel), rij F;

50% Eh= Ellebooghoogte, rij G;

75% Bh= Bekken hoogte, rij H;

93% Vh= Nabij vuisthoogte, rij I; de arm hangt dan bijna of geheel gestrekt omlaag.

Omhoog zijn de referenties:

30% Nh= Neushoogte, rij D;

50% Kh= Kruinhoogte, rij C;

75% Rh75= 3/4 reikhoogte, rij B;

93% Rh= (bijna) reikhoogte, rij A; de arm is bijna of geheel recht omhoog gestrekt.

Voor een verwijzing per cel zijn de beschikbare bronnen als volgt gecodeerd:

- a. Rohmert et al., 1994; vrij staand, voeten parallel (n=60 mannen industrie) minimum van de waarden voor zijwaartse armhoeken ($\beta < 60^\circ$);
- b. Keyserling et al., 1978; staande houdingen; 2 handen voor het lichaam reikend; als benadering $\frac{1}{2}$ van de waarden voor krachtoefening genomen (n=309-1.052 mannen industrie);
- c. 3D-model; Chaffin en Andersson, 1991; schredestand (mannen industrie);
- d. Hunsicker et al., 1957 in Daams, 1994; zittend afgesteund, handen voor het lichaam (n=30 mannelijke studenten);
- e. Hunsicker, 1955 in Daams, 1994; idem (n=55 mannelijke studenten);
- f. Laubach, 1978 in Daams, 1994; idem (n=55);

- g. Morgan, 1963 in Daams, 1994; data van sagittaal vlak; idem (n=? piloten);
- h. Caldwell, 1962 in Daams, 1994; zittend met afsteuning hoge rug (n=9); 10e %-iel geschat;
- i. Eastman Kodak, 1986; (mannen); ½ van de waarden voor 2 handen.
- j. NIOSH, 1991; rechtop symmetrisch staand; ½ van de waarden voor 2 handen;
- k. Hoag, 1980 in Daams, 1994; vrouwen in industrie (n=96), omgerekend naar mannen (*1,9);
- l. Daams, 1994; eigen onderzoek (n=10) studenten vrije houding; 11 in zit afgesteund; 12 staand in schredestand.

Als in de tabellen 'n.v.t.' staat, gaat het om gebieden waar de hand niet komt.

6.1.4 Verticale actiekracht met voorkeurshand in verticaal vlak door schoudergewricht (Vs)

De belangrijkste risicofactoren inzake armhoudingen zijn reikafstand en -hoogte. Van minder belang is de zijwaartse armhoek ten opzichte van het sagittale vlak door het schoudergewricht, zo blijkt uit Rohmert et al. (1994) en uit analyses met het 3D-model.

Verticale actiekracht omhoog

De resultaten staan in tabel 6.1. Ver boven schouderniveau zijn weinig data beschikbaar, alsmede voor de grotere reikafstanden. Een toets met de NIOSH-methode is toegevoegd. De NIOSH-richtlijn voor 2 handen en symmetrische romphouding rechtop mag zeker niet overschreden worden. Uitgangspunt is een LI van 1,5 voor het 90e %-iel mannen bij tweehandig tillen met de romp rechtop. De gevonden grenswaarden zijn vervolgens door 2 gedeeld om een schatting per hand te krijgen (gegevens aangeduid met 'j').

In de prEN 1005-3 wordt 67 N (omgerekend naar 90 %-iel mannen) toelaatbaar geacht voor eenhandige isometrische krachtoefening omhoog. Vergeleken met andere literatuur (tabel 6.1) zijn deze waarden veilig tot ongeveer 87% reiken als men de positie van de hand vrij laat. Bij extreem horizontaal reiken worden feitelijk ook lagere waarden gevonden (45-55N). Te zien is ook dat hogere spierprestaties mogelijk zijn, als men dicht bij het lichaam blijft; over een groot traject van vuisthoogte tot reikhoogte is op alle posities in de hoogte zeker 135 N haalbaar. Bij omhoog houden of bewegen over een kleine afstand op vuisthoogte en rond schouder- en neushoogte is 200N haalbaar. Vlak boven het hoofd tillen is ongunstig (85 N; extensie rond elleboog is zwakste schakel). Op 2 posities met bijna gestrekte arm en kracht in langsrichting van de arm zijn veel hogere grenswaarden gevonden (cel A5, I4 en I5). Voor omhoog duwen met gestrekte arm is in de bestudeerde literatuur

geen waarde gevonden. Bij interpretatie van de 3D-modelberekeningen voor extreme gewrichtsstanden met onderarm en bovenarm in elkaars verlengde moet men zich realiseren dat onnauwkeurigheden in de modellen kunnen optreden.

Tabel 6.1 Maximale isometrische verticale actiekraft omhoog (N) met voorkeurshand en romp rechtop afhankelijk van 2 belangrijke risicofactoren verticale (V) en horizontale reikafstand (H in % van reikwijdte vuistgreep) t.o.v. het schoudergewricht

kol.nummer	1 93% (100-87)	2 75% (87-62)	3 50% (62-37)	4 30% (37-23)	5 0%	H
V	extreem reiken	ver	midden	dichtbij	naast lichaam	rijnummer
Rh				c; 180-280	c; 580-173	A
Rh75			c*; 125	c; 145-183	c; 90-120	B
Kh		a: 116; 81	a1; 150 c; 115	c; 250-160	c; 85	C
Nh	j; 50	a: 123-160; 86 c; 70 j; 70	a: 128-170; 90 j; 105	c; 190-200	n.v.t.	D = neus
Sh	a: 100; 70 c*; 45-75 d; 91 j; 55	a: 118-164; 83 b; 112; 85 c; 90 j; 75	a: 163-194; 115 c; 145 j; 115	b: 270; 190 c; 180-220 j; 150	n.v.t.	E = schouder
Boh	j; 60	a: 160-209; 112 d: 293; 127 j; 85	a: 195-213; 136 j; 125	c; 135-150 j; 150	n.v.t.	F
Ebh		a: 140; 100 j; 90	b: 190; 128 c; 145 d: 267; 142 j; 148 j; 135	a: 215-238; 150 j; 170	c; 150 d: 218; 127	G
Beh			a: 195; 136 c; 125 j; 135	a: 213-263; 150 c; 180-200 j; 180	c; 180 d: 307; 164	H
Vh				b: 450; 290 c; 275 j; 190	c: *530-240 d: 405-440; 231 j; 210	I

Getal tussen de ' : ' en ' ; ' is/zijn gemiddelde(n) en na de ' ; ' het 90e %-iel mannen behorend bij het laagste gemiddelde, ' - ' betekent een range; er zijn dan meerdere waarden gevonden.

Verticale actiekracht omlaag

De resultaten staan in tabel 6.2. Boven schouder niveau en dichtbij het lichaam omlaag trekken is niet erg gedocumenteerd in de beschikbare literatuur, evenmin de grotere reikafstanden.

Conform prEN 1005-3 wordt 100 N (omgerekend naar 90e %-iel mannen) toelaatbaar geacht voor eenhandige krachtoefening omlaag. Vergeleken met andere literatuur en het 3D-model zijn deze waarden redelijk veilig, als men de positie van de hand niet nader definieert. Ver naar voren reiken wijkt af van het 3D-model ; veel lagere waarden dan de prEN-norm. Te zien is ook dat hogere spierprestaties mogelijk zijn als men in een traject op 1/3 reikafstand of minder dicht bij het lichaam en boven schouder niveau omlaag trekt (200-250N). Ook wanneer men met de armen omlaag hangend naar beneden duwt.

Tabel 6.2 Maximale isometrische verticale actiekracht omlaag met voorkeurshand en romp rechtop afhankelijk van 2 belangrijke risicofactoren verticale (V) en horizontale reikafstand (H in % van reikwijdte vuistgreep) t.o.v. het schoudergewricht

kol.nummer	1 93% (100-87)	2 75% (87-62)	3 50% (62-37)	4 30% (37-23)	5 0%	H
V	extreem reiken	ver	midden	dichtbij	naast lichaam	rijnummer
Rh				c; 190-250	c; 270-425	A
Rh75			c; 130-160	c; 200-270 i: 270	c; 190	B
Kh		a: 205; 137 c; 110-130	b: 304; 250 c; 160-200	c; 210-265	c; 153	C
Nh	c; 65	a: 303-265; 178 c; 110-130	a: 305-275; 185 c; 160-190	c; 210-260	n.v.t.	D = neus
Sh	a: 158; 106 c; 65 e: 185-209; 100	a: 230-280; 154 c; 110-132	a: 272; 182 c; 150-200	c; 200-230	n.v.t.	E = schouder
Boh	c; 75	a: 193-182; 122 c; 100	a: 210; 141	c; 110	c; 110	F
Ebh		a: 153; 104 c; 95-110	b: 215; 175 c; 105-125 i; 144 e: 240-258; 143	a: 160; 107 e: 227; 110	c; 125 d: 360; 160	G
Beh			a: 170; 114 c; 110-145	a: 208-178; 120 c; 115	c; 180 d: 370; 160	H
Vh				c; 160-240	c; 320-250 d: 410; 210	I

Getal tussen de ':' en ';' is/zijn gemiddelde(n) en na de ';' het 90e %-iel mannen behorend bij het laagste gemiddelde, '-' betekent een range; er zijn dan meerdere waarden gevonden.

6.1.5 Horizontale actiekracht met voorkeurshand in verticaal vlak door schoudergewricht (Vs)

Uit de prEN 1005-3 richtlijn kan voor 'eenhandig duwen en trekken' (omgerekend naar een 90e %-iel mannen) een isometrische grenswaarde afgeleid worden van:

- 83N voor duwen en 100N voor trekken (romp onafgesteund) en
- 360N voor duwen en 300N voor trekken (afgesteund door middel van rugleuning c.q. voetensteun).

De grenswaarden worden niet nader uitgesplitst naar handpositie ten opzichte van de romp. Belangrijkste afgeleide risicofactoren inzake de armhouding met uitsluiting van eventuele problematiek van onbalans en de factor afsteuning zijn 'handhoogte en reikafstand' (zie tabel 6.3 en 6.4). Van minder belang is de zijwaartse hoek van de arm.

In de praktijk van krachtig duwen en trekken wordt meer schuinwaarts kracht uitgeoefend (zijwaartse hoek hand ten opzichte van schoudergewricht, $0 < \beta < 90^\circ$). De schoudergordel wordt hierdoor minder op rotatie belast en stabilisatiemogelijkheden van de voeten zijn groter. Ook bij tweehandig werken ziet men dat (bijvoorbeeld touw of kabel trekken).

Bij naar voren of schuin opzij duwen of trekken blijkt de invloed van de zijwaartse hoek van de arm niettemin relatief gering ten opzichte van de beide andere factoren als hoogte en reikafstand (Rohmert, 1994; 3D-model Chaffin & Andersson, 1991; Schmidtke, 1973), let wel *mits de duwkracht nagenoeg in het verticale vlak door het schoudergewricht blijft* (dus niet grotendeels haaks hierop). De zwakste spierprestaties in verticale vlakken ($-45 < \beta < 90^\circ$) zijn gebruikt voor de projecties in de tabellen (sagittale vlak).

Door de minima over de zijwaartse hoek te nemen kunnen de gevonden grenswaarden voor de Arbouwrichtlijn veilig toegepast worden voor verschillende zijwaartse standen van het vlak. Morgan et al. (1963) in Daams (1994) vinden in het midsagittale vlak, voor de borstkas, iets geringere prestaties vooral dicht bij het lichaam (10-20%) dan in het sagittale. Dit klopt, want een extra draaimoment in bovenarm en schouder is vereist.

Rol van het lichaamsevenwicht

Rohmert et al. (1994) geven in de krachtenatlas grenswaarden voor isometrische actiekrachten van de arm. Voor horizontaal duwen en trekken met de rechterhand in een verticaal vlak door het schoudergewricht zijn de meeste armprestaties zeer waarschijnlijk vertekend door problematiek van onbalans. De proeven zijn staand uitgevoerd met parallelstand van de voeten (30 cm uit elkaar). In de tabellen van Rohmert et al. lijkt een limiet van gemiddeld 128 N voor voorwaartse en 166 N voor 60° schuin opzij duwen op schouderniveau met gestrekte arm niet overschreden te kunnen worden; ook niet bij gestrekte arm ($R=100\%$). Daams vindt voor soortgelijke houdingen grenswaarden tussen 136 en 168 N,

terwijl zij het dubbele van deze waarden vindt indien een vrije houding gekozen mag worden. Behalve indicaties voor dit probleem in de atlas zelf komt Schaub (1997) ook met voorbeelden dat verandering van de basishouding de prestaties vergroot. Zo vindt men dat bij stabiel knielen, hurken, staan in een zogenaamde functionele vrije houding de armprestaties veel hoger zijn. We nemen enkele waarden uit bron 'a' met de hand in een lage positie, waarin stabiliteit een kleinere rol speelt dan bij geheven hand. In de prEN 1005-3 is dit ook te zien voor zithoudingen met afsteuning. Ook uit berekeningen met het biomechanisch model komt voor schredestand, met de goede voet voor, een melding als het evenwicht verloren gaat. Bij normale schredestand gebeurt dat pas bij ongeveer 180 N voorwaarts duwen. Door de voeten meer gespreid of anderszins schrap te zetten of steun voor de romp te zoeken zijn dus veel hogere armkrachten mogelijk dan op het eerste gezicht blijkt uit de tabellen in de atlas van Rohmert et al. (1994).

Bij de prEN 1005-3 is een beoordeling van de lichaamsbalans feitelijk pas aan de orde nadat de reductiefactoren voor frequent kracht uitoefenen al of niet met armbeweging met één of twee armen verdisconteerd zijn (zie hoofdstuk 5). Doorgaans komt men na toepassing van deze factoren op lagere maximale handkrachten uit en speelt onbalansproblematiek vaak niet meer. Voorzover nog wel kunnen kleine aanpassingen in de stand van het hele lichaam een eventuele onbalans opheffen. We gaan er hiervan uit dat de lichaamshouding vrij te kiezen is; zoals in de praktijk ook vaak zichtbaar is.

Horizontale duwkracht

In tabel 6.3 staan de resultaten. De meeste bronnen geven vooral krachtwaarden tussen schouder- en elleboogniveau. Bij een aantal auteurs zijn resultaten gevonden met de rug afgesteund; dit levert hoge armprestaties op; zo vond Caldwell 1978 in Daams (1994) bij speciaal afgesteunde bovenrug gemiddelde duwkrachten rond 65kg bij gestrekte arm (extreme stand). Omgerekend naar een 90 %-iel mannen is dat ongeveer 40kg. Een dergelijk afsteuning ontbreekt vaak in de praktijk. Grenswaarden voor hoog en laag reiken ($>K_h$ en V_h) zijn schaars. Een aantal cellen is daarom aangevuld met biomechanische berekeningen (bron 'c').

Voorwaarts duwen *boven kruinhoogte* in horizontale duwtrajecten levert de laagste waarden op, namelijk 27 N. Dit is lager dan de grenswaarden die prEN 1005-3 geeft (83 N). De grenswaarde in prEN is wellicht ook niet bedoeld voor deze armstanden; maar in de bouw komen dergelijke armstanden toch geregeld voor (pleister- en schuurwerk aan plafond).

Beneden kruin- tot ellebooghoogte lijken in horizontale duwtrajecten krachten tussen 80 en 150 N haalbaar en zelfs nog veel hoger in een gebied rond borsthoogte waar zeker 200 N haalbaar is en bij vrijwel gestrekte arm ook wel 250-300 N. Grote verschillen worden gevonden in de bijna gestrekte armstand. Ook op ellebooghoogte met de bovenarm iets naar

achter gebogen en de onderarm horizontaal (cel G5 in tabel 6.3) zijn grote schoudermomenten leverbaar (200 N duwkracht); een bekende houding bij gereedschapsgebruik. De duwkracht met de romp afgesteund van (omgerekend naar 90e %-iel) 360 N in de prEN 1005-3 lijkt aan de hoge kant; zeker als deze gelden moet voor verschillende armhoudingen. Alleen met bijna gestrekte arm zijn dergelijke prestaties mogelijk; dus voor een heel beperkt gebied van handposities.

Horizontale trekkracht

In tabel 6.4 staan de resultaten. De meeste bronnen geven krachtwaarden tussen schouder- en elleboogniveau. Bij een aantal auteurs zijn resultaten gevonden met de voeten afgesteund; dit levert veel hogere prestaties op voor het arm-schoudersysteem. Grenswaarden voor hoog en laag reiken ($>K_h$ en V_h) zijn schaars. Een aantal cellen is aangevuld met biomechanische berekeningen (bron 'c').

Voorwaarts trekken *boven kruinhoogte* in horizontale duwtrajecten levert de laagste waarden op, namelijk 27-88 N kg. Deze zijn deels lager dan de grenswaarden die prEN 1005-3 geeft (100 N). De grenswaarde in prEN is wellicht ook niet bedoeld voor deze armstanden; maar in de bouw komen dergelijke armstanden toch geregeld voor.

Beneden kruin- tot ellebooghoogte lijken in horizontale trektrajecten krachten tussen 75 en 115 N haalbaar en zelfs nog veel hoger in een gebied rond borsthoogte waar zeker 200 N haalbaar is en bij vrijwel gestrekte arm ook bij trekken wel meer (zie bijvoorbeeld cel F1-4, E12 en G2-3). Bij dergelijke hoge belastingen kan de rugspier echter kritisch worden. We beperken ons tot een maximum van 200 N. Ook op ellebooghoogte met de bovenarm meer dan half gestrekt zijn grote horizontale trekkrachten leverbaar (afgerond 200 N).

Tabel 6.3 Maximale isometrische horizontale duwkracht (N) in verticaal vlak door schouder (Vs) met voorkeurshand en romp rechtop afhankelijk van 2 belangrijke risicofactoren: verticale reikafstand (V) en horizontale reikafstand (H in % van reikwijdte vuistgreep) t.o.v. het schoudergewricht

kol.nummer	1 93% (100-87)	2 75% (87-62)	3 50% (62-37)	4 30% (37-23)	5 0%	H
V	extreem reiken	ver	midden	dichtbij	naast lichaam	rijnummer
Rh				c; 51 i; 27#	c; 50-55 i; 27# k; 60	A
Rh75			c; 65	c; 65	c; 91	B
Kh		c; 85	c; 80	c; 95	c; 80-150	C
Nh	c; 125	a; 105; 70 c; 103	a; 88; 59 c; 90	c; 100 i; 110	n.v.t.	D – neus
Sh	c; *300-180 e; 613; 308 f; 475; 334 h; *644-379;253 l; 301-349; 218	c; 130 l2; 113	c; 120 h; 275-209; 140	c; 120 i; 110	n.v.t.	E – schouder
Boh	c; 180 e; 547; 267	c; 180-200 l1; 200 e; 488; 232 f; 310; 199	c; 185	c; 225	n.v.t.	F
Eh		c; 200 g; 556; 364	c; 150 e; 387; 177 g; 329; 225	c; 245 e; 409; 208 g; 289; 191	c; 215-220 d; 230	G
Bh			a; 109; 73 c; 103	c; 90	c; 125 d; 139	H
Vh				c; 88	c; 135 d; 90-125	I

Getal tussen de ':' en ';' is/zijn gemiddelde(n) en na de ':' het 90e %-iel mannen behorend bij het laagste gemiddelde, ':' betekent een range; er zijn dan meerdere waarden gevonden.

* extreme stand ellebooggewricht; romp afgesteund. # niet zuiver isometrisch; bevat veiligheidsmarge voor duur.

Tabel 6.4 Maximale isometrische horizontale trekkraft in verticaal vlak door schoudergewricht (Vs) met voorkeurshand en romp rechtop, afhankelijk van 2 belangrijke risicofactoren: verticale reikafstand (V) en horizontale reikafstand (H in % van reikwijdte vuistgreep) t.o.v. het schoudergewricht

kol.nummer	1 93% (100-87)	2 75% (87-62)	3 50% (62-37)	4 30% (37-23)	5 0%	H
V	extreem reiken	ver	midden	dichtbij	naast lichaam	rijnummer
Rh				c; 72 i; 27#	c; 48-72 i; 27#	A
Rh75			c; 90	c; 80	c; 84-110	B
Kh		c; 135	c; 110	c; 120	c; 84	C
Nh	c; 170	c; 163	c; 145	c; 135	n.v.t.	D = neus
Sh	c; 400-330 e: *358; 300 l: 301-400; 218	c; 200	b: 157; 125 c; 153	c; 130	n.v.t.	E = schouder
Boh	c; 450-350 e: 542; 303	c; 275 e: 462; 248	c; 220	c; 250	n.v.t.	F-Borst
Ebh		c; 300 g: 458; 300	c; 200 e: 391; 213 g: 396-440; 257	c; 165 e: 409; 145 g: 258; 172	c; 170 d; 81	G
Beh			a: 187; 115 c; 100	a: 185; 98 c; 100	c; 90 d; 80	H
Vh				c; 80	c; 75 d; 65	I

Cell F1: trekkraft op schouderhoogte in de orde van 25 tot 30kg wordt kritisch voor spieren van de rug indien romp rechtop gehouden wordt; maar is dat niet voor de compressiekracht (3D-model). Laat men de lichaamshouding vrij, dan zal men de romp wat voorover buigen of meer opzij naar het lichaam toe trekken (vgl touwtrekken).

Getal tussen de ':' en ';' is/zijn gemiddelde(n) en na de ':' het 90e %-iel mannen behorend bij het laagste gemiddelde, '-' betekent een range; er zijn dan meerdere waarden gevonden.

* extreme stand ellebooggewricht; romp afgesteund. # niet zuiver isometrisch; bevat veiligheidsmarge voor duur.

6.1.6 Horizontale actiekracht met voorkeurshand haaks op het verticale vlak (Vs) door het schoudergewricht

Onderscheid in 2 richtingen haaks op het verticale vlak Vs door het schoudergewricht wordt gemaakt (zie figuur 6.5 en 6.6):

- *inwaartse actiekracht*: horizontale kracht met inwaartse handverplaatsingen draaiend rond het schoudergewricht naar de lichaamsas toe.
- *uitwaartse actiekracht*: idem, maar van de lichaamsas weg, rechts naar opzij.

Voorbeelden zijn: raam wassen, muur pleisteren of schuren, met 2 handen de heften van heggen- of betonschaar bewegen.

Uit de prEN 1005-3 richtlijn kan (omgerekend naar een 90e %-iel mannen) een isometrische grenswaarde afgeleid worden van:

- 100 N inwaarts duwen of trekken en
- 73 N uitwaarts duwen of trekken.

De grenswaarden in deze richtlijn zijn niet nader uitgesplitst naar handpositie ten opzichte van de romp.

Getekend zijn gebogen standen van de arm, de bovenarm verticaal hangend en de onderarm horizontaal naar voren in het sagittale vlak.

Belangrijkste afgeleide risicofactoren voor horizontaal duwen en trekken met uitsluiting van eventuele problematiek van lichaamsonbalans en de factor afsteuning zijn handhoogte en reikafstand naar voren en/of opzij. Van minder groot belang is de invloed van de zijwaartse hoek van de arm (analyses met 3D-model).

We nemen de minima van de in de literatuur gevonden isometrische grenswaarden in gedefinieerde cirkelvormige horizontale verplaatsingstrajecten rond het schoudergewricht. Deze trajecten zijn praktisch beperkt en lopen van opzij niet verder reikend dan een verticaal vlak door het rechter schoudergewricht met een hoek naar opzij van ($\beta < 60^\circ$ ten opzichte van het sagittale vlak) tot handposities links vlak voor de romp; maar niet verder dan een verticaal vlak dat een hoek van ($\beta > -45^\circ$) maakt met het sagittale vlak door het linker schoudergewricht en het sagittale vlak bij posities ver voor de romp. De resultaten staan in tabel 6.5 en 6.6.

Rol van het lichaamsevenwicht

In tabel 6.5 en 6.6 staan de resultaten; deze zijn beperkt tot een selectie van rijen in de hoogte omdat de gradiënt niet heel erg stijl blijkt (rij Rh, Kh, Sh, Boh, Vh).

De meeste bronnen verschillen onderling nogal en geven vooral krachtwaarden tussen elleboog- en schouderniveau. Bij een aantal auteurs zijn resultaten gevonden met de rug afgesteund; dit levert ook hogere armprestaties op voor het arm-schoudersysteem. Grenswaarden voor hoog (en laag) reiken ($>K_h$ en V_h) zijn relatief schaars. Voor die cellen zijn alleen biomechanische berekeningen beschikbaar.

Rohmert et al. (1994) geven in de krachtenatlas het meest uitgebreid isometrische grenswaarden. Deze armprestaties lijken echter eveneens vertekend door problematiek van onbalans (zie verder § 6.1.5). Van kruin- tot schouderhoogte zijn de waarden veel lager dan die uit andere bronnen (tabel 6.5 en 6.6). In de tabellen van Rohmert et al. (1994) lijkt een limiet van 42-75 N niet overschreden te kunnen worden. Anderen vinden voor soortgelijke houdingen grenswaarden tussen 82 en 175 N; meer dan het dubbele. Ook uit berekeningen met het biomechanisch model blijkt voor schredestand met de goede voet voor dat veel hogere armkrachten mogelijk zijn dan op het eerste gezicht uit de atlas van Rohmert et al. (1994) blijkt. Zoals eerder gesteld is een beoordeling van de lichaamsbalans feitelijk pas aan de orde nadat de reductiefactoren voor frequent kracht uitoefenen al verdisconteerd zijn (zie hoofdstuk 5). We gaan er hiervan uit dat romp- en beenhoudingen vrij te kiezen zijn zoals in de praktijk vaak kan worden waargenomen.

In het algemeen is te zien dat inwaarts grotere actiekrachten mogelijk zijn dan uitwaarts. De laagste inwaartse of uitwaartse actiekrachten worden gevonden bij combinaties met ver reiken (*boven kruinhoogte; lager dan ellebooghoogte en meer dan 75% reiken naar voren*; deze grenswaarden zijn deels lager dan de grenswaarden in prEN 1005-3. Die grenswaarde is wellicht ook niet bedoeld voor dergelijke armstanden; maar in de bouw komen hoge, lage en verre handstanden toch geregeld voor (pleister- en schuurwerk aan plafond). Boven kruinhoogte nemen de krachten sterk af.

Tussen kruin- en boven ellebooghoogte lijken de inwaartse en uitwaartse krachten tussen 70 en 155 N haalbaar. De spreiding in maxima is zelfs nog veel hoger (tot wel 200 a 280 N) in gebieden dicht voor het lichaam en rond schouderhoogte (cel E4). Voorwaarde is dat de kracht min of meer in het verlengde van de onderarm geleverd wordt (zie figuur 6.5), zodat een beperkt torsie- en buigmoment rond de elleboog en buiging in het schoudergewricht ontstaan. Afsteuning moet gerealiseerd kunnen worden. Bijvoorbeeld bij betonstaal knippen kan met de andere arm een even grote tegenkracht geleverd worden. Veroorzaakt de kracht wel een groot moment, dan zijn de prestaties direct minder groot.

In cel I5 is in bron 'd' een spreiding te zien. Dit komt doordat verschillende waarden gevonden worden voor de onderarm gesupineerd of gepronéerd. Het minimum van beide waarden wordt gekozen.

Tabel 6.5 Maximale isometrische horizontale actiekracht (N) inwaarts en loodrecht op verticaal vlak door schoudergewricht met voorkeurshand en romp rechtop afhankelijk van 2 belangrijke risicofactoren: verticale (V) en horizontale reikafstand (H in % van reikwijdte vuistgreep) t.o.v. het schoudergewricht

kol.nummer	1 93% (100-87)	2 75% (87-62)	3 50% (62-37)	4 30% (37-23)	5 0%	H
V	extreem reiken	ver	midden	dichtbij	naast lichaam	rijnummer
Rh				c; 58	c; 57	A
Rh75						B
Kh		a: 80; 60 c; 85	c; 100	c; 90-155	n.v.t.	C
Nh						D – neus
Sh	a: 70; 42 c; 88-94 e: 220; 115	a: 102; 60 c; 128	a: 99-113; 605 c; 135	c; 175-280	n.v.t.	E – schouder
Boh					n.v.t.	F
Eh		a: 83; 55 c; 100-113 e: 236; 128 g: 93-164; 60	a: 101; 75 c; 110-175 e: 222; 110 g: 156-178; 104	a: 105; 75 c; 120-220 e: 231; 120 g: 196; 148	d: 182-196; 90	G
Bh						H
Vh				a: 97; 70 c; 100	c: 85-90 d: 84-129; 54	I

Getal tussen de ‘:’ en ‘;’ is/zijn gemiddelde(n) en na de ‘;’ het 90e %-iel mannen behorend bij het laagste gemiddelde, ‘-’ betekent een range; er zijn dan meerdere waarden gevonden.

Tabel 6.6 Maximale isometrische horizontale actiekracht uitwaarts opzij en loodrecht op verticaal vlak door schoudergewricht met voorkeurshand en romp rechtop afhankelijk van 2 belangrijke risicofactoren: verticale (V) en horizontale reikafstand (H in % van reikwijdte) van een vuistgreep t.o.v. het schoudergewricht

kol.nummer	1 93% (100-87)	2 75% (87-62)	3 50% (62-37)	4 30% (37-23)	5 0%	H
V	extreem reiken	ver	midden	dichtbij	naast lichaam	rijnummer
Rh				c; 50-93	c; 54-93	A
Rh75						B
Kh		a: 78; 56 c; 59-90	c; 105-145	a: 74; 54 c; 90-126	n.v.t.	C
Nh						D-oog
Sh	a: 73; 43 c; 57 e: 156; 82	a: 78-82; 50 c; 85-93	a: 70; 50 c; 80-132	c; 103-230	n.v.t.	E=schouder
Boh					n.v.t.	F-Borst
Ebh		a: 86; 60 c; 66 e: 138; 82 g: 98-138; 63	a: 96; 70 c; 95-140 e: 164; 91 g: 200; 142	a: 100; 72 c; 75-300 e: 187; 100 g: 98-244; 63	d; 160-214; 82	G
Beh						H
Vh				a: 97; 65 c; 75	c; 70 d: 130-140; 76	I

Getal tussen de ':' en ';' is/zijn gemiddelde(n) en na de ';' het 90e %-iel mannen behorend bij het laagste gemiddelde, '-' betekent een range; er zijn dan meerdere waarden gevonden.

6.2 Methode van bepaling van de richtlijn

Voor de keuze hebben primair empirische data inzake armkracht als uitgangspunt gediend. Als twijfel bestond over het feit of data uit een bron beïnvloed lijken door stabiliteitsproblematiek, zijn deze bij de keuze onderwogen. Voor nogal wat handposities waren alleen data uit biomechanische analyses beschikbaar. Hier is voorzichtig mee omgegaan bij extreme standen van structuren vanwege de twijfel die er is inzake de nauwkeurigheden in het model. De beoordeling voor armkracht houdt geen beoordeling in voor buigmomenten rond de pols en draaimomenten rond de onderarm-as (zie hiervoor de volgende hoofdstukken).

Om een grenswaarde voor een heel verplaatsingstraject te bepalen is een veilige beoordelingsklasse dichtbij het minimum van de isometrisch bepaalde celwaarden in het betreffende traject gekozen. Voor de eenvoud van armkrachtbeoordeling is namelijk gekozen voor een beperkte reeks van beoordelingsklassen voor isometrische armkrachtprestaties (zie tabel 6.7). Teveel verschillende grenswaarden zouden leiden tot een veel te complex beoordelingssysteem. Dit houdt afrondingen in; voor hele specifieke toepassingen kan echter een nader onderzoek worden verricht om preciezere grenswaarden vast te stellen. De keuze van de verdeling in beoordelingsklassen is mede tot stand gekomen op basis van de beschikbare data uit de verschillende bronnen en beperkingen die aangelegd zijn inzake veilig geachte waarden.

Voor praktisch gebruik worden de grenswaarden in [kg] weergegeven (omrekening bij benadering: $1\text{ kg} = 10\text{ N}$). Het 25e %-iel (geel/rood grens) is berekend op basis van normaalverdelingen met een coëfficiënt van variantie van gemiddeld 0,25; een goede orde van grootte voor de relatieve spreiding van prestaties gemeten bij mannelijke proefpersonen werkzaam in de industrie (Chaffin & Andersson, 1991; Rohmert et al., 1994).

De gekozen grenswaarden gelden voor de voorkeursarm. Voor de niet voorkeursarm is gekozen voor een omrekening op basis van grenswaarden voor de voorkeurshand. Een reductie van 10% is aangehouden.

Zie paragraaf 6.2.5 tot 6.2.7 voor algemene beperkingen en mogelijkheden voor handposities en bewegingen en voor toegestane afwijkingen bij het bepalen van krachtrichtingen.

6.2.1 Actiekracht omhoog en omlaag met voorkeurshand

Relevant zijn hier *verticale verplaatsingstrajecten* van de hand ongeveer in lijn met de krachtvector. Gereedschap moet vaak met krachtoefening omhoog gebracht of gehouden

worden. Extra kracht is al of niet vereist in verband met de aandrukkracht (decoupeerzaag, boormachine, stukadoorsspatel, etc.).

Of juist krachtig omlaag bewegen is vereist (koevoet boven het hoofd omlaag wrikken, kango voor het bekken afwisselend omlaag drukken en omhoog trekken).

Feitelijk gelden de geïnventariseerde data voor staan met de romp rechtop. Het is praktisch om in de richtlijn voor kracht omhoog een lichte rompflexie toe te staan ($<20^\circ$); voor de kracht omlaag zou de romp zelfs verder mogen buigen zonder de rug over te belasten. Dit heeft geen grote consequenties voor de arm- en schouderbelasting.

Voor actiekrachten omhoog zijn vrij lange verticale bewegingstrajecten af te bakenen voor de romp.

Eenhandig 14kg omhoog brengen is over het gehele traject vlak voor de romp haalbaar (90e %-iel mannen). Op schouder- en neushoogte ook wel 20kg (elleboog omlaag nagenoeg tegen de romp). Naast de romp op vuisthoogte is 20kg ook haalbaar volgens de meeste bronnen. Ver voorwaarts reikend is 4kg een veilige waarde.

De hoge prestaties voor opduwen recht omhoog boven het hoofd (cel A5) is vergelijkbaar met de gewichtheffersstand (armen gestrekt boven het hoofd). Die stand is alleen met een speciale manoeuvre te bereiken. Bij iets gebogen armen (in dezelfde cel) zijn de prestaties al veel geringer (17kg). Voor doorsnee praktijktoepassingen worden deze opwaartse gewichtheffersmanoeuvres als een verhoogd risico beschouwd. Berekeningen met het biomechanisch model in combinatie met het werk-rustmodel voor statische werkhoudingen tonen dat bij dergelijke hoge bovenarmstanden ook nogal grote afwijkingen ontstaan met bevindingen uit vermoeidheidsmetingen in het laboratorium (Van Bommel, 1993). Een verklaring is het sterk verkort zijn van elevatorspiers in het nek- en nek-schoudergebied bij het naderen van verticale standen van de bovenarm; die spiers zijn niet goed gemodelleerd in het model. Verder leveren iets gebogen armen al veel lagere grenswaarden boven het hoofd op (cel B5 en C5). Voor armstanden of -bewegingen in trajecten recht boven het hoofd zijn derhalve de grenswaarden laag gekozen (afgerond naar 7,5kg).

Voor omlaag houden/brengen in een klein traject boven het hoofd zijn hoge krachten mogelijk (30kg is gekozen). De aard van de kracht is naar verhouding veilig; zorgt voor arm-ondersteuning en de rug wordt nauwelijks belast op buiging (vergelijk optrekken aan rekstok). In trajecten vlak voor borst en hoofd is 20kg haalbaar, halverwege reikend 14 en ver weg 6kg. Maar in lager gelegen gebieden zijn de armprestaties ook vlak voor de romp lager (10kg is gekozen), vooral als de strekkers van de onderarm veel kracht moeten leveren (hand rond ellebooghoogte). In lagere trajecten vlak bij of naast het lichaam is de arm weer meer gestrekt en zijn de prestatiemogelijkheden ook hoger (20kg).

Met hulp van tabel 6.1 en 6.2 zijn al met al de volgende keuzen gemaakt voor isometrisch maximale krachten (kg) met de voorkeurshand voor het 10e percentiel mannen in gebieden en trajecten begrensd door vlakken zoals hieronder omschreven (zie verder figuur 6.1 en 6.2).

Actiekracht verticaal omhoog op de volgende horizontale en verticale afstanden vanaf het rechter schoudergewricht (voor marges van de gebieden, zie figuur 6.1).

- 4 kg ongeveer op armlengte van borst- tot neushoogte;
- 7,5 kg op 3/4 armlengte van ellebooghoogte tot kruinhoogte of vlak naast het hoofd van kruin- tot reikhoogte,
- 10 kg op 1/2 armlengte van schouderhoogte tot 3/4 reikhoogte;
- 14 kg op 1/3 tot 1/2 armlengte van bekken- tot borsthoogte of op 1/3 armlengte vlak voor het lichaam van kruin- tot reikhoogte of vlak naast het lichaam op bekken- tot ellebooghoogte;
- 20 kg op 1/3 armlengte van schouder- neushoogte of op vuisthoogte vlak voor of naast het lichaam

Actiekracht verticaal omlaag op de volgende horizontale en verticale afstanden vanaf het rechter schoudergewricht (voor marges van de gebieden, zie figuur 6.2).

- 6 kg ongeveer op armlengte van neus- tot borsthoogte;
- 10 kg van 1/2 tot 1/3 armlengte van borst- tot bekkenhoogte of op 3/4 armlengte van kruin- tot bekkenhoogte
- 14 kg op 1/4 armlengte van 3/4 reik- tot schouderhoogte of naast de romp van ellebooghoogte tot bekkenhoogte of naast het hoofd op kruinhoogte;
- 20 kg op 1/3 armlengte van reik- tot schouderhoogte of vlak naast het bekken tot 1/3 armlengte op vuisthoogte of vlak naast het hoofd op 3/4 reikhoogte;
- 30 kg vlak naast het hoofd op reikhoogte.

6.2.2 Horizontale actiekrachten in verticale vlakken (Vs) door het schoudergewricht

In de praktijk zijn hier horizontale krachtoefening in combinatie met horizontale verplaatsingstrajecten of gebieden van de hand relevant. Gereedschap wordt geregeld over horizontale vlakken bewogen of met duwkracht tegen een verticale wand gehouden. De krachtrichting is veelal van de romp weg of naar de romp toe.

Een groot bewegingstraject waarin relatief zowel grote duw- als trekkracht geleverd kan worden bevindt zich rond borsthoogte, kleine trajecten ook op schouderhoogte met bijna gestrekte arm en voor duwen ook dichtbij het lichaam op ellebooghoogte. We kiezen een redelijk veilige en makkelijk te onthouden waarde van 20kg voor het hele horizontale traject. Cel F3 in tabel 6.3 is een uitzondering (18,5kg maximum) maar het is verantwoord om dit naar boven af te ronden; iets meer dan 10% van de mannen zouden deze prestatie over het gehele horizontale traject dan niet kunnen leveren.

Er is een sterke gradiënt in de prestaties naar de risicofactor handhoogte. Daarom zijn relatief veel horizontale bewegingstrajecten met grenswaarden gedefinieerd.

Op reikhoogte (cel A5) zijn lage maar nogal verschillende grenswaarden gevonden waarvan die uit bron 'i' de laagste is; de onderbouwing is hier ook de minst duidelijke vergeleken met de 2 andere bronnen; de auteurs melden dat er een veiligheidsmarge voor duur ingebouwd is; geen zuivere isometrische grenswaarde dus. We kiezen 4kg voor zowel duwen als trekken boven het hoofd; alleen ten opzichte van bron 'i' is dit iets 'onveiliger'.

Omdat in de data voor zowel duwen als trekken soortgelijke patronen zichtbaar zijn en om het praktisch te houden is voor een zo gelijk mogelijke indeling naar bewegingstrajecten voor voorwaarts duwen als achterwaarts trekken gekozen. Er zijn indicaties gevonden dat de gekozen grenswaarden bij benadering ook gelden voor grotere zijwaartse hoeken ten opzichte van het rechterschoudergewricht ($60^\circ < \beta < 90^\circ$) van het vlak Vs (Chaffin & Andersson, 1991; Schmidtke, 1973).

Feitelijk gelden de geïnventariseerde data voor staan met de romp rechtop. De hogere arm-prestaties blijken ook mogelijk bij geknield en gehurkt zitten mits in schredestand (diverse bronnen in Daams, 1994). Op basis van een expert-oordeel lijkt het verantwoord om deze richtlijnen voor staan ook voor deze andere basishoudingen geldig te verklaren, als een vrije houding van benen en voeten gekozen kan worden. Het toepassingsgebied van de richtlijnen wordt hiermee verruimd. Verder is het handig om in de richtlijn een lichte rompflexie toe te staan ($< 20^\circ$); voor duwkracht zou de romp zelfs verder mogen buigen zonder de rug over te belasten; zoals bij het induwen van een schep. Een rompstandverandering van $< 20^\circ$ heeft beperkte consequenties voor de arm- en schouderbelasting. De gegevens voor duwen en trekken uit bron 'a' worden niet al te zwaar meegewogen bij de keuzen van grenswaarden voor deze richtlijn, met name bij de hogere handposities, vanwege de vermoedelijke onderschatting van de prestatiemogelijkheden van de arm- en schouder-spieren door stabiliteitsproblemen.

Met hulp van tabel 6.3 en 6.4 zijn al met al de volgende keuzen gemaakt voor isometrisch maximale krachten (kg) met de voorkeurshand voor het 90e %-iel mannen in gebieden en trajecten begrensd door vlakken zoals hieronder omschreven (zie verder figuur 6.3 en 6.4).

Actiekracht horizontaal achter- of voorwaarts in verticale vlakken (Vs) door het schoudergewricht

Voor marges van de gebieden, zie figuur in 6.3 en 6.4.

duw	trek	traject in vlak Vs
4 kg	4 kg	op reikhoogte van 1/3 reikwijdte tot vlak naast het hoofd;
6 kg	7,5 kg	op 3/4 reikhoogte van 1/2 reikwijdte tot vlak naast het hoofd;
7,5 kg	10 kg	op kruinhoogte van 3/4 tot vlak naast het hoofd;
7,5 kg	6 kg	op vuisthoogte van 1/3 reikwijdte tot vlak naast het lichaam;
10 kg	7,5 kg	op bekkenhoogte van 1/2 reikwijdte tot vlak naast het lichaam;
10 kg	14 kg	op neushoogte van reikwijdte tot 1/3 reikwijdte of op schouderhoogte van 3/4 tot 1/3 reikwijdte;
20 kg	20 kg	op schouderhoogte op reikwijdte of op borsthoogte van reikwijdte tot naast het lichaam;
20 kg	14 kg	op ellebooghoogte van 1/3 reikwijdte tot naast het lichaam;
14 kg	20 kg	op ellebooghoogte van 3/4 tot 1/2 reikwijdte.

6.2.3 Horizontale actiekrachten **loodrecht** op verticale vlakken (Vs) door het schoudergewricht

In paragraaf 6.2.1 en 6.2.2 is gekozen om grenswaarden te definiëren voor verticale en horizontale bewegingstrajecten en krachten in een verticaal vlak door het schoudergewricht (Vs). Resteert definiëring van grenswaarden voor horizontale krachten loodrecht op dit vlak. De corresponderende bewegingstrajecten zijn dientengevolge cirkelvormige segmenten (buismantelvormig) rond het schoudergewricht gezien in bovenaanzicht (zie figuur 6.5 en 6.6).

Bij de keuze van de grenswaarden zijn de waarden uit bron 'a' grotendeels onderwogen in verband met waarschijnlijk te grote stabiliteitsinvloeden. Bij gebrek aan literatuurgegevens zijn de berekende waarden uit het 3D-model de belangrijkste leidraad. Cel F5 tot D5 vereist extreme onder- of bovenarmstanden die niet aan te bevelen zijn; de elleboog komt ver achter het lichaam uit of de bovenarm moet extreem uitwaarts roteren. Voor deze gebieden worden geen grenswaarden opgenomen. Het is vooral onwenselijk kracht in dezelfde rich-

ting uit te oefenen als de richting waarin de hand zijwaarts extreem uitzwaait ($\beta = 70-90^\circ$). Het risico op overstrekking van schouderspieren wordt dan te groot; of verkorte spieren moeten kracht leveren). Gekozen is voor een beperking van de richtlijnen tot een zijwaartse hoek $\beta < 70^\circ$.

Omdat ook hier prestatiepatronen te zien zijn die gelijk zijn voor in- als uitwaartse kracht-uitoefening, zijn de trajecten gelijk gekozen; maar met uitzondering van de hoogste en de laagste verschillen de gekozen grenswaarden, omdat uit de bronnen blijkt dat doorgaans minder prestaties uitwaarts dan inwaarts mogelijk zijn. Omdat de gradiënt in prestaties over reikhoogte of -afstand niet zo groot is, zijn vrij grote gebieden gekozen waarvoor eenzelfde isometrische grenswaarde kan worden gedefinieerd.

Dichtbij het lichaam rond borsthoogte zijn de hoogste grenswaarden te kiezen (20kg); om veiligheidsredenen dezelfde voor in- als uitwaarts. Deze krachten kunnen echter alleen onder bepaalde voorwaarden gepresteerd worden (zie overzicht hieronder). Ver boven het hoofd zijn lage waarden gekozen (4kg) om redenen als in paragraaf 6.1.1 genoemd.

Met hulp van tabel 6.5 en 6.6 zijn al met al de volgende keuzen gemaakt voor isometrisch maximale krachten (kg) met de voorkeurshand voor het 90e %-iel mannen in gebieden en trajecten begrensd door vlakken zoals hieronder omschreven (zie verder figuur 6.5 en 6.6).

Actiekracht horizontaal in- of uitwaarts loodrecht op verticale vlakken (Vs) door het schoudergewricht

De volgende klassen van grenswaarden voor de verschillende cirkelvormige bewegingstrajecten rond het schoudergewricht zijn gekozen. (Voor marges van de gebieden, zie figuur 6.5 en 6.6.)

inwaarts uitwaarts		kracht en bewegingsrichting loodrecht op vlak Vs, trajecten ringvormig rond schoudergewricht binnen zijwaartse hoeken van Vs: $-45 < \beta < 70$
4 kg	4 kg	op reikhoogte en 1/3 reikwijdte tot naast het hoofd;
7,5 kg	6 kg	op 3/4 reikhoogte of kruinhoogte en van 3/4 reikwijdte tot naast het hoofd of op neus- tot borsthoogte en op reikwijdte of op bekken tot vuisthoogte van 1/2 armlengte tot vlak naast het lichaam
10 kg	7,5 kg	op neushoogte tot ellebooghoogte van 3/4 tot 1/3 reikwijdte;
20 kg	20 kg	op schouderhoogte en 1/3 reikwijdte onder de volgende voorwaarden: - krachtrichting min of meer in het verlengde van de onderarm-as (+/- 30° afwijking toegestaan); elleboog en vuist op dezelfde hoogte;

- zo nodig afsteuning (via romp, andere hand of schrap zetten) zo dat stabiliteit gewaarborgd wordt.

6.2.4 Mogelijkheden en beperkingen van handverplaatsingen

De grenswaarden gelden voor krachten in of loodrecht op verticale vlakken door het schoudergewricht (Vs). Als rechter grensvlak is gekozen een stand van Vs ten opzichte van het sagittale vlak voor het lichaam met *een hoek $\beta=90^\circ$* ; uit de literatuur zijn de minima genomen van vlakken tot 60° opzij. Zoals in de vorige paragrafen is gesteld, is het verantwoord de grenswaarden geldig te verklaren tot 90° voor omhoog/omlaag duwen of trekken en tot 70° voor uit- of inwaartse krachten.

In Fährnich et al. (1983) is ondermeer te zien dat krachten met de hand ook in het midsagittale vlak niet lager zijn dan die in het sagittale vlak. Dit betekent dat de waarden ook bij handposities voor de romp bruikbaar zijn. Als tweede *begrenzing links voor de romp* wordt gekozen voor een verticaal vlak door het rechterschoudergewricht met een hoek links opzij van $\beta=-45^\circ$ *en het sagittale vlak door de linkerschouder*; dit om niet te dicht bij extreme horizontale flexistanden van de rechterbovenarm te komen (zie bovenaanzicht in figuur 6.1-6.6).

Als derde beperking gelden de *romp- en bekkenomtrek* waar geen handposities ingenomen kunnen worden en als vierde een *bolvormige ruimte rond het schoudergewricht van 1/4 armlengte*. Handposities binnen deze bol leveren elleboogflexies nabij extreme standen op. De hierboven gekozen grenswaarden bepalen mede of *relatief grote verplaatsingsmogelijkheden* van de hand (bewegingstrajecten) mogelijk zijn ongeveer langs de werklijn van de kracht. De verplaatsingsmogelijkheden in gekozen trajecten met gelijkblijvende kracht zijn veelal groter dan een 1/2 armlengte (ruwweg 30cm). Soms zijn deze echter beperkt (zie de afmeting van kleine rechthoeken in de figuren 6.1 tot 6.4). Zo zijn in de buitenste reikgebieden van de hand *de verplaatsingsmogelijkheden van de hand soms maar $\pm 8\text{cm}$ als bewegingen van armsegmenten uitgevoerd worden met ellebooghoeken die liggen tussen 180° en 150°* .

6.2.5 Werklijn van de actiekracht ten opzichte van werklijn van de beweging

Om een redelijke tot goede analyse en beoordeling te maken hoeft de werklijn van de kracht (vector 1) niet precies samen te vallen met een horizontale (figuur 6.3 en 6.4), verticale

(figuur 6.1 en 6.2) of horizontale cirkelvormige (figuur 6.5 en 6.6) bewegingsrichting van de hand (vector 2).

Zonder al te grote fouten is een kleine hoekafwijking tussen beide vectoren van $\pm 15^\circ$ wel toegestaan (fout $< 5\%$). Zelfs bij een afwijkende hoek van $\pm 30^\circ$ is de beoordelingsfout maar 13% in de projectie van de werkelijke krachtwerklijn (vector 1) op de gedefinieerde richting over een bewegingstraject (vector 2). Dergelijke afwijkingen zijn naar verhouding gering ten opzichte van de marges die toch al aangehouden zijn bij het opstellen van deze richtlijn. In richtingen haaks op de bewegingsrichtingen moet in het laatste geval ($> 15^\circ$) wel een aparte krachtenanalyse voor die richting uitgevoerd worden.

6.2.6 Bijzondere armstanden om hoge krachten te leveren

Zowel voor kracht omhoog, omlaag (arm verticaal) als voorwaarts duwen of achterwaarts trekken (arm horizontaal) is in de figuren te zien dat bij extreme ellebooghoeken (180° , 30°) de grootste krachten mogelijk zijn. Ook voor in- en uitwaartse krachtprestaties met armposities dichtbij het lichaam, zoals beschreven in paragraaf 6.2.3, liggen de assen van onder- en bovenarm onder een kleine hoek ten opzichte van elkaar. In ronde getallen zijn 90e %-ielwaarden voor mannen haalbaar van 30-40kg.

In die situaties loopt de werklijn van de kracht geheel (of onder een relatief kleine hoek) door de as van hand, boven- c.q. onderarm. Hierdoor zijn relatief kleine draaimomenten rond pols, elleboog en schouder het gevolg; dit maakt hoge armkrachtprestaties mogelijk.

De lage rug wordt daarbij niet erg belast indien gezorgd kan worden voor inzet van het rompgewicht of voor voldoende afsteuning zodat de kracht niet door de lage rug geleid wordt. In de navolgende situaties *van grote krachten uitgeoefend met de armen over kleine verplaatsingstrajecten* is de rugbelasting gunstig:

1. omlaag trekken met nagenoeg gestrekte arm omhoog (lostrekken plafonddelen met koevoet);
2. omhoog trekken met nagenoeg gestrekte arm; hand opzij van het bekken, rug rechtop, niet getordeerd;
3. omlaag duwen met hand naast het bekken en inzet van lichaamsgewicht (hendel steenkniptang omlaag duwen);
4. met gestrekte arm ongeveer in het vlak van de romp (opzij, omhoog, omlaag) hand naar schouder toe trekken met andere nagenoeg gestrekte arm duwend in ongeveer hetzelfde vlak (pijpenkoppeling vastdraaien met 2 moordenaars of moersleutels). Met beide armen gestrekt haaks op de romp is deze prestatie niet zo hoog in verband met optredende draaimomenten rond de schoudergewrichten;

5. voor de borst met beide handen uitwaarts trekken of inwaarts duwen van 2 handgrepen (betonschaar);
6. duwen opzij met een arm en de schouder-arm aan de andere zijde afgesteund (kast wegschuiven);
7. duwen naar voren met de hoge rug afgesteund.

In situatie 1 wordt weinig risico inzake lage-rugbelasting gelopen; in 2-4 en 6 meer risico, als niet voldoende onderzocht wordt of aan de voorwaarden van positionering van de handen en ondersteuning voldaan wordt. Daarom is voor situatie 1 een 30kg-grens (figuur 6.2) opgenomen en wordt voor alle andere situaties een veilige waarde (20kg) in de richtlijnen opgenomen. Omdat ook extreme standen aan de orde kunnen zijn, wordt ook verwezen naar de richtlijnen voor fysieke belasting (Arbouw, 1994). Via een voetnoot zullen de bijzondere omstandigheden vermeld worden waaronder hoge armkracht incidenteel mag worden toegelaten.

De in de prEN 1005-3 genoemde grenswaarden voor afgesteund trekken (omgerekend naar 90e %-iel mannen: 30-36kg) zijn in verband met de rug- en armspierbelasting en bij verschillende armstanden aan de hoge kant. De rugbelasting, vooral indien horizontaal naar voren op schouderhoogte getrokken wordt of wanneer met gebogen romp getrokken wordt (3D-analyses). Dergelijke hoge armkrachten zijn ook niet haalbaar bij ellebooghoeken die niet dichtbij de extreme standen liggen (arm nagenoeg gestrekt of juist bijna maximaal gebogen). Een beperking naar armhoudingen geeft de 'shortcut' in de prEN 1005-3 richtlijn niet; er is een ellebooghoek van 90° getekend.

Om redenen van veiligheid zijn in deze Arbouwrichtlijn voor gereedschapsgebruik de allereerste krachtprestaties buiten beschouwing gelaten en is gekozen voor maxima van 20 c.q. 30kg. Het spreekt vanzelf dat bij resulterende hoge grenswaarden de rugbelasting en de lichaamsstabiliteit bewaakt moeten worden (toetsing met de Arbouwrichtlijn van 1996 alsof het 2-handige situaties zijn).

6.2.7 Toepasbaarheid voor andere basishoudingen dan staan

Hoge horizontale krachten (meer dan 10 à 15kg) zijn alleen mogelijk in vrij gekozen houdingen van romp en benen in verband met de vereiste lichaamsstabiliteit. In geknielde en gehurkte houdingen met schredestand of zittend met steun in de rug zijn krachten van 30kg of meer (één- c.q. tweehandig) zonder verlies van het evenwicht haalbaar (Rohmert et al., 1994; Daams, 1994; Schmidtke, 1973). De in deze richtlijn vermelde grenswaarden komen voor incidentele krachtoefening niet boven de 30kg. Indien frequent met de arm bewogen

wordt, worden de toelaatbare grenswaarden voor de armkracht eerst gereduceerd met factoren voor beweging, frequentie en/of duur (tabel 5.1 of 5.2); meestal worden de toelaatbare krachten hierdoor zoveel lager dat een balansprobleem niet meer aan de orde is. Na de beoordeling op toelaatbare armkracht speelt dus pas een beoordeling op balans- of afsteunproblematiek van het lichaam als geheel.

De grenswaarden lijken breder toepasbaar dan alleen voor staan. Voor toegelaten resulterende armkrachten die hoger worden dan 10 à 15kg is afsteuning of zijn mogelijkheden tot schrap zetten van de voeten een essentiële voorwaarde.

6.3 Arbouwrichtlijn

6.3.1 Basis-grenswaarden voor hand/armkracht

Met behulp van de figuren 6.1-6.6, de beschreven situaties van armkrachtuitoefening en tabel 6.7 kan men de basis-grenswaarden bepalen. Dit zijn de maximaal toelaatbare krachten voor *incidenteel en kortdurende kracht met de dominante hand-arm (3 à 4 tellen vol te houden)*.

Tabel 6.7 Basis-grenswaarden voor maximale actiekrachten per gebied waarin de hand zich bevindt, dit zijn krachten die incidenteel uitgeoefend kunnen worden met de voorkeurshand/-arm*. De gebieden met handposities of handbewegingstrajecten waarvoor deze gelden zijn aangeduid met letters; zie figuur 6.1-6.6**

letteraanduiding gebied	kracht (kg)	
	groen/geel	geel/rood
a.	30	50
b.	20	35
c.	14	25
d.	10	17
e.	7,5	13
f.	6	10
g.	4	7

- * - De twee grenzen zijn: *groen/geel* (90% van de mannen kan de kracht leveren) en *geel/rood* (25% van de mannen kan de kracht leveren).
- Voor de niet-voorkeurshand/arm moeten de waarden met 10% verminderd worden.
- Bij gebruik van 2 handen/armen wordt *elke hand-arm apart beoordeeld*.

- ** - Ga vervolgens naar hoofdstuk 5 en bepaal het product met de factoren Fc of Fs (tabel 5.1 of 5.2) en zo nodig Fv . Dit resulteert in de gezondheidskundige grenswaarden.

De krachten voor beide handen en armen of per hand-arm en de waargenomen houdingen of bewegingen moeten ook blijven voldoen aan de richtlijn 'Arbouw 1996'.

De basis-grenswaarden in tabel 6.7 kunnen in beginsel gebruikt worden voor *de basishoudingen staan, knielen, hurken en zitten*. Pas nadat per hand-arm *de gezondheidskundige grenswaarden* bepaald zijn met behulp van de vermenigvuldigingsfactoren uit tabel 5.1

volgt na optelling van de resulterende grenswaarden een toets of de basishouding staan, zitten, knielen of hurken mogelijk is (zie grenswaarden in Arbouw, 1996).

Na vermenigvuldiging blijken de toelaatbare krachten vaak zoveel lager dat de basishouding er niet erg meer toe doet; de noodzaak tot extra stabiliteit of afsteuning van het lichaam ontbreekt. Doorgaans kiest men in de praktijk al een vrije basishouding met een maximum aan stabiliteit (ene been voor of ver naast de andere, schrap zetten van een voet; romp afsteunen).

6.3.2 Beoordeling van situaties met hand-armkracht

Voor het beoordelen van situaties met hand-armkracht worden de volgende stappen gevolgd (zie ook figuur 6.1-6.6 met beschrijvingen):

1. analyseer en beoordeel het krachtenspel per hand-arm en per krachtrichting apart.
Het gaat om actiekrachten van de hand op het gereedschap, zoals omhoog tillen of duwen, omlaag trekken of duwen, voorwaarts trekken of duwen, inwaarts trekken of uitwaarts duwen. (voor alle duidelijkheid: de reactiekracht of het gewicht van het gereedschap werkt dus in tegenovergestelde richting).
- Bij het verzamelen en meten van gegevens over de vereiste actiekracht en handposities zijn de volgende referenties essentieel:
2. ga uit van de referentie 'romp rechtop' (zie stap 11 voor voorovergebogen romp);
3. kies het centrum van de 'vuist' als positie van de rechterhand.
(Voor de linkerhand spiegelt men de figuren en projecteert alles op het linkerschoudergewricht.)
4. neem als referenties:
 - een verticale lijn evenwijdig aan de as van de romp voor de beschrijving van de horizontale afstanden van de hand (% van rw; zie legenda in § 6.3);
 - een horizontaal vlak door het betreffende schoudergewricht voor de beschrijving van de verticale afstanden van de hand tot dit vlak (zie legenda in § 6.3 voor praktische lichaamsreferenties);
 - een verticaal vlak V_s ($-45 < \beta < 90$) door schoudergewricht en vuist voor de beschrijving van de uitgeoefende verticale en horizontale krachten *in of haaks* op dit vlak (zie figuur 6.1-6.6, bovenaanzichten);
5. verzamel de volgende gegevens over de situatie van krachtoefening:
 - hand-positie of hand-beweging en -bewegingsrichtingen (bijvoorbeeld ophouden boor, wegduwen schaaf);

- de vereiste actiekrachten en krachtrichtingen ontbonden in vectoren ten opzichte van vlak Vs (bijvoorbeeld inwaartse kracht haaks op Vs en horizontale duwkracht in Vs);
 - aard van de kracht, belastend of ondersteunend voor arm en/of romp);
6. zoek de letteraanduiding van het betreffende gebied waar de handen gepositioneerd is of bewogen wordt afhankelijk van de vereiste krachtrichting met behulp van figuren 6.1-6.6 en stel de twee bijbehorende *basis-grenswaarden* vast met behulp van tabel 6.7 (grenswaarden groen/geel en geel/rood aflezen);
 7. komt de hand in meerdere gebieden zoals bij grote bewegingen, kies dan voor de veiligheid de laagste basisgrenswaarden, dat is de hoogste letter in het alfabet;
 8. ga naar tabel 5.1 of 5.2 en vermenigvuldig met een der factoren (F_c of F_s) en zonodig nog met de veiligheidsfactor (F_v) om de *gezondheidskundige grenswaarden* te bepalen. LET OP. In tabel 5.1 kiest men voor 'duidelijk' (bewegen), als de handbeweging min of meer in dezelfde richting is als de kracht. Staat de beweging er min of meer loodrecht op, dan kiest men de getallen onder 'geen/traag' (bijvoorbeeld een gewicht in de hand naar voren of naar achteren brengen);
 9. geef oordeel over de vereiste hand/armkrachten met 'groen, geel of rood';
 10. beoordeel tenslotte of aan de andere richtlijnen voor fysieke belasting (Arbouw, 1996) is voldaan, zoals de richtlijnen voor:
 - tillen met hele lichaam (van gereedschap of verpakking) met 2 handen;
 - statische houdingen en repeterende bewegingen; gunstig is als geheven arm en voorovergebogen romp bij gebruik van gereedschap ondersteund worden;
 - overige extreme gewrichtsstanden;
 - de richtlijn voor *repeterende krachtoefening* in Arbouw (1996) kan beter vervangen worden door de richtlijnen voor intermitterende of repeterende krachtoefening in deze publicatie, omdat er meer situaties mee beoordeeld kunnen worden;
 11. bijzondere situaties van beoordeling van hand/armkracht:
 - is de romphoek tussen -20° en $+20^\circ$, kantel dan de figuren en de referenties met de romp mee. Kantel niet de werklijn van de zwaartekracht mee; ontbindt deze zo nodig in de gewenste richtingen.
LET OP. Beoordeel bij vooroverbuiging de rugbelasting apart als er geen sprake is van volledige rompondersteuning via tenminste een hand/arm.
 - is de romphoek $> 20^\circ$ raadpleeg dan een deskundige.

6.3.3 Basis-grenswaarden voor 6 richtingen van hand/-armkracht en posities of bewegingsgebieden van de rechterhand

Legenda figuren 6.1-6.6

Vette pijl = actiekracht.

Vs = verticaal vlak door schoudergewricht.

β = hoek van Vs ten opzichte van het sagittale vlak;
positie rechter hand ook begrensd door verticaal vlak door linker schoudergewricht.

H = de horizontale afstand tot verticale lijn door schoudergewricht in proportie van de rw.

rw = reikwijdte vuist ten opzichte van verticale lijn door schoudergewricht;
rw is ongeveer 68 cm met gestrekte arm op schouderhoogte;
elleboog is ongeveer op 1/2 reikwijdte van de vuist bij gestrekte arm.

rh = reikhoogte (arm gestrekt omhoog).

-- = 3/4 reikhoogte.

kh = kruinhoogte.

-- = neushoogte.

sh = schouderhoogte.

-- = borsthoogte.

eh = ellebooghoogte.

-- = bekkenhoogte.

vh = vuisthoogte (arm gestrekt omlaag).

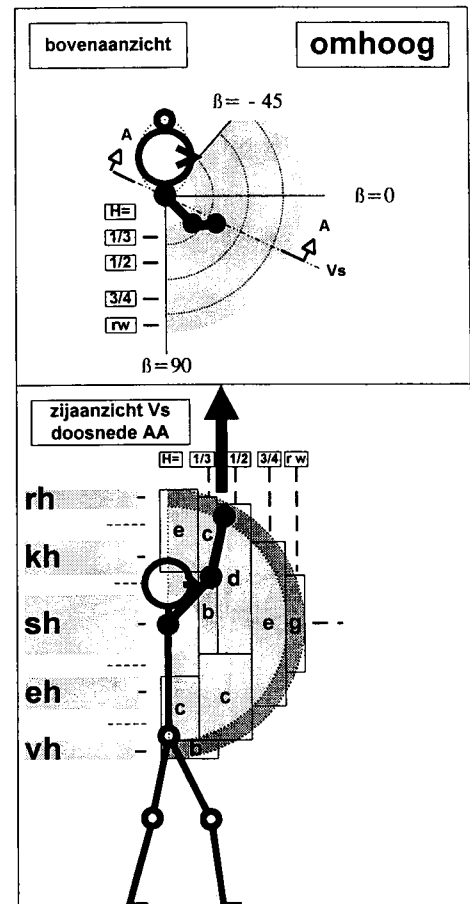
Voor linker hand/arm neem het spiegelbeeld.

Armkracht verticaal *omhoog* (in een vlak V_s)

De actiekrachten (letter b-g in tabel 6.7) gelden voor verticale bewegingen of posities van de hand in de volgende gebieden (zie figuur 6.1):

letter beschrijving van het gebied

- b. op 1/3 reikwijdte of vlak naast het lichaam
op vuisthoogte of
op 1/3 reikwijdte van schouder-neushoogte;
- c. naast het lichaam van bekken- tot elleboog-
hoogte of
op 1/3 tot 1/2 reikwijdte van bekken- tot
borsthoogte of op 1/3 reikwijdte van kruin-
tot reikhoogte;
- d. op 1/2 reikwijdte van schouder- tot 3/4
reikhoogte
(*getekende handpositie*);
- e. op 3/4 reikwijdte van elleboog- tot kruin-
hoogte of
naast het hoofd van kruin- tot reikhoogte;
- g. op reikwijdte van borst- tot neushoogte.



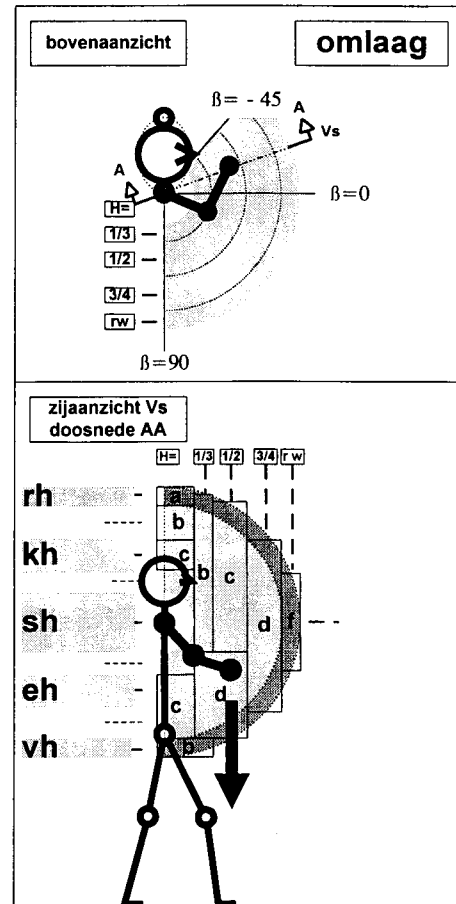
Figuur 6.1 Actiekracht verticaal *omhoog* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

Armkracht verticaal *omlaag* (in een vlak Vs).

De actiekrachten (letter a-f in tabel 6.7) gelden voor verticale bewegingen of posities van de hand in de volgende gebieden (zie figuur 6.2):

letter beschrijving van het gebied

- a. vlak naast het hoofd op reikhoogte;
- b. op 1/3 reikwijdte van reik- tot schouderhoogte of
vlak naast het hoofd op 3/4 reikhoogte of
op 1/3 reikwijdte tot vlak naast het lichaam op
vuisthoogte;
- c. op 1/2 reikwijdte van 3/4 reik- tot schouder-
hoogte of
vlak naast het hoofd op kruinhoogte of
vlak naast het lichaam van elleboog- tot bekken-
hoogte;
- d. op 3/4 reikwijdte van kruin- tot ellebooghoogte
of
op 1/3 tot 1/2 reikwijdte van borst- tot bekken-
hoogte (*getekende handpositie*);
- f. op reikwijdte van neus- tot borsthoogte.



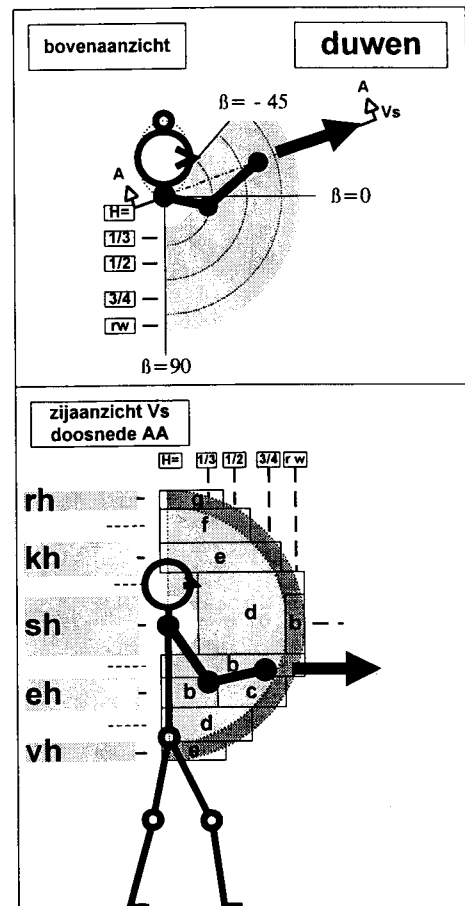
Figuur 6.2 Actiekracht verticaal *omlaag* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

Armkracht horizontaal *duwen* (in een vlak Vs).

De actiekrachten (letter b-g in tabel 6.7) gelden voor horizontale bewegingen of posities van de hand in de volgende gebieden (zie figuur 6.3):

letter beschrijving van het gebied

- b. op schouderhoogte bij reikwijdte of op borsthoogte van naast het lichaam tot reikwijdte (*getekende handpositie*) of op ellebooghoogte van naast het lichaam tot 1/3 reikwijdte;
- c. op ellebooghoogte van 1/2 tot 3/4 reikwijdte;
- d. op neushoogte van 1/3 reik- tot reikwijdte of op schouderhoogte van 1/3 tot 3/4 reikwijdte of op bekkenhoogte van vlak naast het lichaam tot 1/2 reikwijdte;
- e. op vuisthoogte van vlak naast het lichaam tot 1/3 reikwijdte of op kruinhoogte van 1/3 tot 3/4 reikwijdte;
- f. op 3/4 reikhoogte van vlak naast het hoofd tot 1/2 reikwijdte;
- g. op reikhoogte van vlak naast het lichaam tot 1/3 reikwijdte.



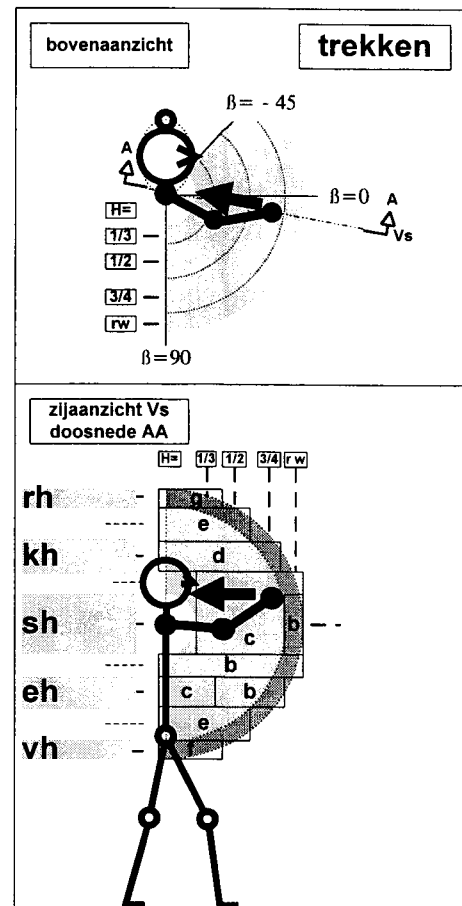
Figuur 6.3 Actiekracht horizontaal *voorwaarts* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

Armkracht horizontaal *trekken* (in een vlak Vs)

De actiekrachten (letter b-g in tabel 6.7) gelden voor horizontale bewegingen of posities van de hand in de volgende gebieden (zie figuur 6.4):

letter beschrijving van het gebied

- b. op schouderhoogte bij reikwijdte of
op borsthoogte van reikwijdte tot naast het li-
chaam of
op ellebooghoogte van 3/4 tot 1/2 reikwijdte;
- c. op ellebooghoogte van 1/3 reikwijdte tot naast
het lichaam of
op neushoogte van reikwijdte tot 1/3 reikwijdte
of
op schouderhoogte van 3/4 tot 1/3 reikwijdte
(getekende handpositie);
- d. op kruinhoogte van 3/4 reikwijdte tot naast het
hoofd;
- e. op bekkenhoogte van 1/2 reikwijdte tot vlak
naast het lichaam
of op 3/4 reikhoogte van 1/2 reikwijdte tot vlak
naast het hoofd;
- f. op vuisthoogte van 1/3 reikwijdte tot vlak naast
het lichaam;
- g. op reikhoogte van 1/3 reikwijdte tot vlak naast
het hoofd.



Figuur 6.4 Actiekracht horizontaal *achterwaarts* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

Armkracht horizontaal *inwaarts* (haaks op vlak Vs)

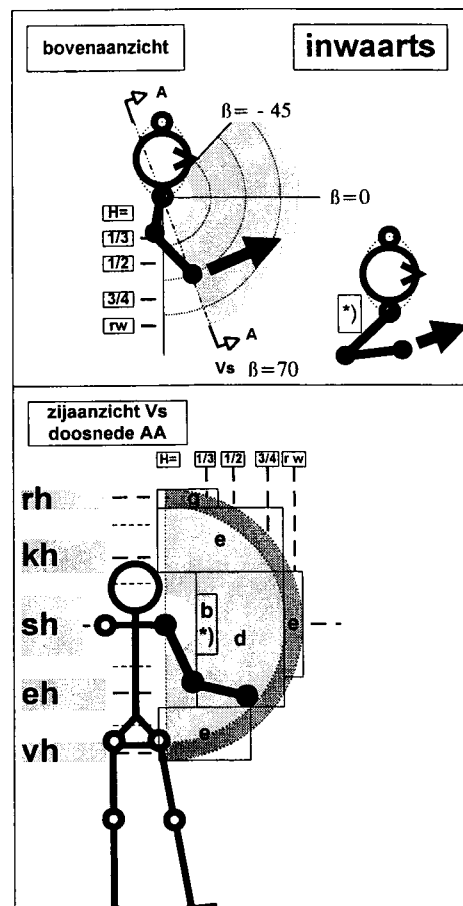
De actiekrachten (letter b-g in tabel 6.7) gelden voor horizontaal zwaaiende arm en posities van de hand binnen de volgende buismantelvormige bieden (zie bovenaanzicht figuur 6.5).
 Let op randvoorwaarden b, anders geldt d):

letter beschrijving geldt voor handbeweging/-posities tussen de twee uiterste vlakken Vs
 ($-45^\circ < \beta < 70^\circ$)

- b. op schouderhoogte en 1/3 reikwijdte*;
- d. op neus- tot ellebooghoogte en 3/4 tot 1/3 reikwijdte (*getekende handpositie*);
- e. op 3/4 reik- of kruinhoogte en 3/4 reikwijdte tot vlak bij het hoofd of
 op neus- tot borsthoogte en reikwijdte of
 op bekken- tot vuisthoogte en 1/2 reikwijdte tot vlak bij het lichaam;
- g. op reikhoogte en 1/3 reikwijdte tot naast het hoofd.

* voorwaarden voor kracht b (zie * in figuur):

- krachtrichting min of meer in het verlengde van de onderarm-as
 (+/- 30° afwijking toegestaan);
- zo nodig afsteuning of schrap zetten
 (via romp, andere hand, voeten).



Figuur 6.5 Actiekracht horizontaal *inwaarts* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

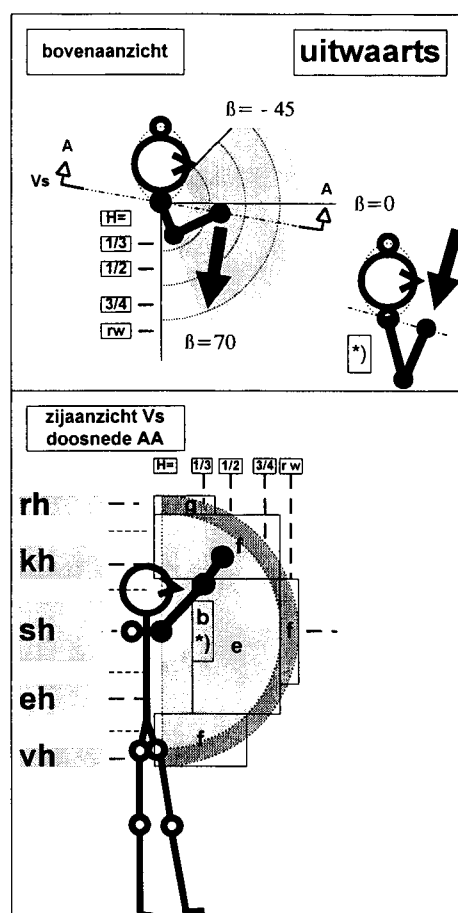
Armkracht horizontaal *uitwaarts* (haaks op vlak Vs)

De actiekrachten (letter b-g in tabel 6.7) gelden voor horizontaal zwaaiende arm en posities van de hand binnen de volgende buismantelvormige bieden (zie bovenaanzicht figuur 6.6).
 Let op randvoorwaarden b, anders geldt e):

letter beschrijving geldt voor handbeweging/ posities tussen de twee uiterste vlakken Vs
 ($-45^\circ < \beta < 70^\circ$)

- b. op schouderhoogte en 1/3 reikwijdte*;
- e. op neus- tot ellebooghoogte en 3/4 tot 1/3 reikwijdte;
- f. op 3/4 reik- of kruinhoogte en 3/4 reikwijdte tot vlak bij het hoofd (*getekende handpositie*) of op neus- tot borsthoogte en reikwijdte of op bekken- tot vuisthoogte en 1/2 reikwijdte tot vlak bij het lichaam;
- g. op reikhoogte en 1/3 reikwijdte tot naast het hoofd.

- * voorwaarden voor kracht b (zie * in figuur)
- krachtrichting min of meer in het verlengde van de onderarm-as
 (+/- 30° afwijking toegestaan)
 - zo nodig afsteuning of schrap zetten
 (via romp, andere hand, voeten).



Figuur 6.6 Actiekracht horizontaal *uitwaarts* en gebieden van de rechterhand waarvoor deze gelden

7. BUIGMOMENTEN ROND POLS EN ROTATIEMOMENTEN ROND ONDERARM-AS

7.1 Literatuur

7.1.1 Inleiding

Het gebruik van handgereedschap vereist vaak uitoefening van *buigmomenten rond de pols*. Dit komt als met de vuist een wringmoment wordt uitgeoefend rond een steel of als er een kracht loodrecht werkt op de as door de hand (as door het middelste middenhandsbeen). De pols kan in 2 draairichtingen een buigmoment overbrengen: flexie-extensierichting en ulnair-radiaalrichting.

Voorbeelden van *buigmomenten rond de pols* zijn:

- het aandrukken van een stanleymes, verfroller of kwast met diagonaalgreep (M_u =ulnair buigmoment);
- het ophouden van een elektrische boormachine met een hand in pistoolgreep of;
- tillen aan een handvat van een krat, getild boven buikhoogte met haakgreep (M_r =radiaal buigmoment);
- hameren met diagonaalgreep (M_r =radiaal en M_u =ulnair buigmoment);
- het tillen van een drillboor met de onderarmen horizontaal in vuistgreep (M_e =extensiemoment);
- het duwen met de palm op een bolgreep van een schuurmachine (M_f =flexiemoment);
- het dichtknijpen van een betonschaar met twee armen, het draaien van een steenbeitel in een gat met vuistgreep (M_f = flexiemoment).

Voorals de werklijn van een kracht buiten de vuist ligt kan een buigend moment rond de pols de beperkende factor worden in het krachtenspel van hand en arm, maar ook als bij krachten door de vuist de pols sterk gebogen moet worden.

Wordt draaikracht rond de as van de hand (as=middelste middenhandsbeen) en de onderarmas geleverd, dan is sprake van een *draaimoment met de onderarm* rond het ellebooggewricht; supinatie=de palm omhoog draaien; pronatie=palm omlaag draaien, bekeken bij horizontaal gestrekte arm.

Voorbeelden van dergelijke actiemomenten zijn:

- eenhandig draaien van een T-greep tegen een weerstand in; zoals roeren met een schep in beton;

- vastdraaien schroevendraaier of indraaien tapijzer (M_s =supinatiemoment);
- tegenhouden eenhandig gehanteerde boormachine (M_p =pronatiemoment).

De actiemomenten in combinatie met grote uitslagen van handbuigingen of onderarmrotaties (zie hoofdstuk 4), een hoog tempo of met lange werkduren vormen een verhoogd gezondheidsrisico of zijn oorzaak voor verminderde krachtprestaties door vermoeidheid. Draaimomenten met de onderarm in combinatie met grote draaihoeken en gestrekte standen van het ellebooggewricht vormen een extra verhoogd risico (Feggeler et al., 1995; Rohmert et al., 1994; Chaffin & Andersson, 1991; Putz-Anderson, 1988).

7.1.2 Buigmomenten rond pols en rotatiemoment rond onderarm-as

Doorgaans zijn de prestaties in de literatuurstudies bepaald met de bovenarm omlaag en een ellebooghoek tussen 90 en 135°. Voor andere armstanden zijn in de beschikbare literatuur geen grenswaarden gevonden. Verder bleken hier en daar omrekeningen nodig uit literatuur over hand-armkracht. De grootste krachten en momenten kan men leveren met een vormgesloten momentoverdracht in de greep.

Vormgesloten koppeling hand-handgreep

We bespreken eerst de vormgesloten momentoverdracht (zie tabel 7.1; een 'i' achter het moment symbool betekent 'isometrisch'; SD=standaard deviatie). Bij vormgesloten koppeling zijn de momentprestaties het minst afhankelijk van de knijpkrachtprestaties.

De gemiddelde flexiemomenten liggen bij alle auteurs tussen 7,3 en 12,3Nm (tabel 7.1); de extensiemomenten zijn doorgaans lager dan de flexiemomenten, 6-10Nm. De spreidingen in gemiddelden tussen auteurs zijn aanzienlijk; vermoedelijk een gevolg van verschillende meetopstellingen en -protocollen. Voor supinatie (13,6-15Nm) en pronatie (14-19) liggen de gemiddelde waarden hoger en dichter bij elkaar.

Tabel 7.1 Maximale isometrische buigmomenten rond de pols (Mfi, Mei, Mri, Mui) en rotatiemomenten rond de onderarm-as (Msi, Mpi) voor mannen bij neutrale standen en optimaal en vormgesloten contact hand-handgreep (90°-135° ellebooghoek)

momentrichting/populatie mannen	gemiddeld moment		bijzonderheden	bron
	Nm	(SD)		
<i>pols: flexiemoment</i> (naar palm)	Mfi			
mannen (n = 10)*	9,8 {11,8}		vuistgreep met knijpkracht	Grant et al., 1997
stafmedewerkers (n = 13)	12,3	(2,7)	gestrekt hand	Daams, 1994
rekruten (n = 96)	8	(1,6)	-	Eastman Kodak, 1986
industrie (n = 15)**	12,2	(4,5)	vuistgreep	Snook et al., 1995
mannen (n = 30)***	7,3		vuistgreep zonder knijpkracht	Hallbeck et al., 1994
<i>pols: extensiemoment</i> (handrug)	Mei			
mannen (n = 10)*	6,5 {7,6}		vuistgreep met knijpkracht	Grant et al., 1997
rekruten (n = 96)	10	(2,2)	-	Eastman Kodak, 1986
industrie (n = 15)**	8,6	(3)	vuistgreep	Snook et al., 1995
mannen (n = 30)***	6		vuistgreep zonder knijpkracht	Hallbeck et al., 1994
<i>pols: radiaal moment</i> (naar duim)	Mri			
jonge mannen (n = 5)	39		vuistgreep	Fährnich et al., 1983
<i>pols: ulnair moment</i> (naar pink)	Mui			
jonge mannen (n = 5)	32		vuistgreep	Fährnich et al., 1983
<i>onderarm: pronatiemoment</i>	Mpi			
(palm omlaag)				
rekruten (n = 96)	14,1	(3)		Eastman Kodak, 1986
handboek	18			Schmale, 1983
jonge mannen (n = 5)	24,2		diagonaalgreep	Fährnich et al., 1983
handboek	14			Salvendy, 1987
industrie (n = 60)	19	(4,4)		Rohmert et al., 1994
<i>onderarm: supinatiemoment</i>	Msi			
(palm omhoog)				
rekruten (n = 96)	15	(2,7)		Eastman Kodak, 1983
handboek	13			Schmale, 1983
jonge mannen (n = 5)	16,6		diagonaalgreep	Fährnich et al., 1983
handboek	14			Salvendy, 1987
industrie (n = 60)	13,6	(3)		Rohmert et al., 1994
testpersonen (n = ?)	13,8			Pheasant, 1975

* Omgerekend naar isometrische waarden voor mannen voor flexiemoment + knijpkrachtuitoefening (8kg); tussen {} de berekende waarden zonder knijpkracht.

** Vrouwen, proefserie 1, omgerekend naar mannen met factor 1,69 uit Eastman Kodak (1986).

*** Omgerekend naar moment met hefboomsarm (polsgewricht-hartlijn greep).

Slechts één bron, Fährnich et al. (1983), vermeldt ulnaire en radiale isometrische momenten in het polsgewricht. Het betreft situaties dat men met één hand gereedschap omhoog moet houden (elektrische boor; troffel) of moet aandrukken (steel verfroller). De maxima zijn relatief genomen wel erg hoog (32-39Nm) ten opzichte van de momenten in andere richtingen (zie tabel 7.1). Het ging hier om een kleine groep jonge mannen (n=5) die relatief sterk kan zijn geweest, immers ook de andere gemiddelden uit deze bron zijn hoger dan de gemiddelden die de overige auteurs rapporteren (zie tabel 7.1). Spreidingsgegevens ontbreken. Omdat de spieren rond het polsgewricht op grotere afstand werken rond het rotatiepunt dan bij flexie en extensie, is het ook niet helemaal verwonderlijk dat men in de ulnaire en radiale draairichtingen grotere prestaties ziet. De onderarm blijkt bovendien als hefboom gebruikt te kunnen worden (Fährnich et al., 1983) om hoge prestaties bij een gefixeerde stand van de pols te kunnen leveren.

(Wrijf)krachtgesloten koppeling hand-handgreep

De maximaal haalbare momenten bij wrijfgesloten koppeling op in de praktijk gebruikelijke materialen voor handgrepen liggen gemiddeld (soms veel) lager dan 14,5Nm voor ulnaire, radiale, pronatie- en supinatiemomenten.

Voorbeelden van onderzoek op gereedschap en producten, zijn: schroevendraaien met kwalitatief goede heften in diagonaalgreep of deksel van pot afdraaien, losdraaien van spaarlamp of verbindingsconnectoren, draaien aan bol- of knopgrepen allen met grote diameters (Daams, 1994; Strasser et al., 1991; Mital, 1986; Salvendy, 1987; Fährnich et al., 1983; Bullinger & Solf, 1979).

Voor wrijfgesloten flexie- of extensiemomenten liggen de gemiddelde isometrische maxima doorgaans lager dan gemiddeld 7 à 8Nm (Daams, 1994; Fährnich et al., 1983; Pheasant et al., 1975).

Over isometrische maximaalwaarden gerelateerd aan risicofactoren als houding van het hand-armsysteem is nog minder literatuur beschikbaar. De volgende risicofactoren zijn wel beschreven:

- buiging van de pols en rotatiestand van de onderarm;
- reikafstand van de hand en handpositie ten opzichte van het lichaam.

Daarnaast gelden de risicofactoren in het tijdsdomein geformuleerd in prEN-1005-3.

7.1.3 Afgeleide risicofactoren

Buiging in het polsgewricht

Voor maximale flexie- en extensiemomenten (vormgesloten koppeling) rond de pols vinden Hallbeck et al. (1994) dat bij buighoeken tussen $\pm 45^\circ$ ten opzichte van de neutrale polsstand het maximale moment niet erg verandert en tussen 8 en 7,3Nm voor het flexiemoment en tussen 6-6,8Nm voor het extensiemoment ligt; marges van rond de 10%.

Bij grotere polsuitlagen is de maximale daling nabij extreme standen ongeveer 28% voor flexie en 16,7% voor extensie. Ook Grant et al. (1997) vinden een reductie 21% (flexie) en 31% (extensie) bij buighoeken in de buurt van extreme standen.

Voor buigmomenten opzij (ulnair M_u en radiaal M_r) zijn geen waarden naar polsbuighoeken onderzocht. We kunnen uit data van Fährnich et al. (1983) wel interpreteren dat bij armhoudingen nabij extreme ulnaire en radiale standen van het polsgewricht de prestaties sterk teruglopen tot 11-13Nm als laagste; ruwweg 1/3 van de maxima in neutrale standen.

Rotatie rond de onderarm-as

Invloed van onderarmrotatie op het supinatie- en pronatiemoment is nauwelijks beschreven in de beschikbare literatuur. Door spierverskorting mag verondersteld worden dat de momentprestaties van de onderarm afnemen. In het handboek van Burandt (1978) is te vinden dat gaande van een neutrale stand (dit is als bij horizontale onderarm de as door de vuist nagenoeg verticaal staat) naar bijna maximale rotatiestand in de draairichting van het moment mee (pronatie of supinatie) het te leveren moment met gemiddeld 25%-40% daalt. Bewegend vanaf de andere zijde van de neutrale stand naar de neutrale stand is men iets sterker; de grenswaarde voor de neutrale standen dekt dit gebied.

Reikafstand en horizontale armpositie

Eén auteur (Rohmert et al., 1994) onderzocht uitgebreid de invloed van reikafstand en handpositie op supinatie- en pronatiemomenten. (Desgevraagd bleken de onwaarschijnlijk lage tabelwaarden in het boek gecorrigeerd te moeten worden (alle waarden x5); persoonlijk bevestigd door Schaub, 1997).

De grootste invloed heeft reikafstand op de onderarmprestaties. Bijna geen invloed had de horizontale schouderadductie van 0-90° (<4%) en enige invloed had de hoogte van de hand ten opzichte van het schouderpunt. Voor een reikafstand van 50-75% van de reikwijdte liggen de maximale pronatiemomenten tussen 15Nm (ooghoogte) en 19Nm (buihoogte); de maximale supinatiemomenten liggen tussen 13Nm (bui-borsthoogte) en 16Nm (ooghoogte).

Voor reikafstanden van 100% (nabij extreme standen) liggen de pronatiemomenten lager, tussen 11 en 15Nm terwijl deze voor supinatie veel lager liggen tussen 6 en 10Nm. Bij strekken van de arm boven 135° ellebooghoek wordt ook door Tichauer (1978) een sterk gereduceerde capaciteit voor het supineermoment gevonden. De supinatiespier werkt dan onder een ongunstige hoek.

7.2 Methode van bepaling van de richtlijn

Om praktische redenen gaan we hier over van [Nm] naar [kgcm] ter inleiding van de tabellen met grenswaarden. Bij benadering geldt 1Nm=10kgcm.

Flexie- en extensiemoment (Mf en Me)

De grenswaarden in tabel 7.1 lopen nogal uiteen. Deels zijn de resultaten uit berekeningen afkomstig van gegevens die andere auteurs vermelden voor zijwaarts duwen en trekken, in krachtrichtingen loodrecht op de handpalm en onderarm-as (hand omklemt verticale greep).

Uit deze gegevens kunnen ook flexie- en extensiemomenten herleid worden die zeker realiseerbaar moeten zijn, wil men de duw- of trekkracht loodrecht op de onderarm-as kunnen leveren. Er is in de literatuur gekeken naar maximale belastingssituaties van het polsgewricht; dit is als de kracht dichtbij het lichaam uitgeoefend wordt ter hoogte van borst en buik (abductie- c.q. adductierichting). De arm is in het sagittale vlak.

De gemiddelde lengte van de draaiarm (centrum vuistgreep-polsgewricht) om een buigend moment om de pols te berekenen is afgeleid uit handantropometrie (Eastman Kodak, 1986). De gemiddelde maximale isometrische krachten loodrecht op het centrum van de handpalm variëren voor flexie-/extensiemomentrichtingen van 21/18kg (43 vliegtuigbeladers, Rohmert et al., 1994); 12/11kg (60 mannen uit een algemene populatie, Rohmert et al., 1994); 23/19kg (jonge mannen, Hunsicker, 1955 in Daams, 1994) en 20/11kg (48 man luchtmacht personeel, Morgan et al., 1963 in Daams, 1994). De berekende buigmomenten variëren van 150-80kgcm voor het flexie- en 130-75kgcm voor het extensiemoment; iets hogere waarden dan in tabel 7.1. We nemen uit deze tabel dan ook niet de laagste waarden. Voor de veiligheid echter ook niet de hoogste; zeker niet als in de praktijk doorgaans ook knijpkracht moet worden uitgeoefend.

Voor het maximaal isometrische flexiemoment in de neutrale polsstand kiezen we een gemiddelde van 110kgcm; voor extensie 80kgcm. De variantiecoëfficiënt varieert tussen 20 en 30% (Rohmert et al., 1994; Eastman Kodak, 1986; Morgan et al., 1963; Hunsicker, 1955 beiden in Daams, 1994). We kiezen 25%; dan worden de respectievelijke percentielwaarden voor de *neutrale polsstand* in kgcm:

	kgcm	afgerond	moment rond polsgewricht
90e %-iel	74	70	flexie
25e %-iel	128	130	
90e %-iel	55	50	extensie
25e %-iel	94	90	

In de praktijk van gereedschapsgebruik komt het voor dat de pols een traject van flexie en extensie doorloopt onder min of meer gelijk blijvende momentbelasting (bijvoorbeeld kwasten). Het minimum van beide maxima, in dit geval het extensiemoment (50/90kgcm), is dan bepalend en moet dan gekozen worden als basisgrenswaarde.

Vaak is alleen een uitoefening van een flexiemoment vereist; alleen dan kan een hogere grenswaarde 70/130kgcm gekozen worden (zie tabel 7.2).

De verandering in leverbaar moment is verwaarloosbaar bij flexie- of extensiehoeken $< \pm 45^\circ$. Daarom wordt voor het hele buigtraject tussen $\pm 45^\circ$ buighoek de waarde van de neutrale stand gekozen.

Wordt de pols gebogen over een grotere hoek, dan is een vermindering met 30% verantwoord.

Ulnair en radiaal buigmoment M_u en M_r

De relatief hoge waarden gevonden door Fährnich et al. (1983) worden niet als representatief gezien (expert guess). Andere bronnen zijn niet gevonden. Een beperkte proef bevestigde dat een gemiddeld persoon niet meer dan ongeveer 180kgcm buigmoment (de helft van Fährnich) kan leveren gedurende enkele seconden. Voor alle andere buigmomenten lukte het wel om ongeveer de gemiddelde waarde te halen uit de literatuur. Een veilige marge van 50% ten opzichte van de waarde van Fährnich wordt hier gehanteerd. Het isometrisch maximum in de neutrale stand wordt gesteld op gemiddeld 180kgcm. Voor een traject van polsuitlagen tot ongeveer $\pm 15^\circ$ wordt dezelfde waarde toelaatbaar geacht. Omdat de pols bij ulnaire en radiale buiging veel minder kracht kan leveren in de ulnaire c.q. radiale richting, in extreme standen maar een derde, wordt nabij extreme standen (buigingen $> 15^\circ$) ongeveer 33% van 180kgcm, zeg 60kgcm toelaatbaar geacht. Omdat spreidingsgegevens ontbreken, wordt met een coëfficiënt van variantie gewerkt als hierboven. Dit levert afgerond de volgende percentiele waarden rond de neutrale stand:

	kgcm	afgerond	buighoek pols (zijwaarts)
90e %-iel	122	120	$< 15^\circ$ rond de neutrale stand van de pols
25e %-iel	210	200	
90e %-iel	41	40	$> 15^\circ$ rond de neutrale stand van de pols
25e %-iel	70	70	

Supinatie- en pronatiemoment (M_s en M_p)

Alleen verbanden van reikafstand en armrotatiemomenten zijn beschreven, niet met polsbuigingen. De verschillen in armadductie zijn verwaarloosbaar. Voor zowel de arm voorwaarts als zijwaarts kunnen dezelfde isometrische grenswaarden gelden. Maakt men ter verdere vereenvoudiging de grenswaarden onafhankelijk van de handhoogte door het minimum van de isometrische waarden die voor verschillende hoogten gelden te kiezen, dan gelden als maxima voor pronatie 150kgcm en voor supinatie 130kgcm. Het is redelijk deze waar-

den samen te nemen voor pronatie en supinatie. Gekozen wordt een gemiddelde van 140kgcm. Dit geldt tot een reikafstand van 75% van de reikwijdte. Voor reikafstanden > 75% worden de laagste gemiddelden uit tabel 7.2 genomen, te weten 110kgcm voor het maximale pronatiemoment en 60 voor het maximale supinatiemoment. Rohmert et al. (1994) deden onderzoek bij een grote groep mannen uit de industrie (n=60); de berekende coëfficiënt van variantie van de waarden uit tabel 7.1 bedraagt 23% c.q. 22%. We kiezen 23%. Dit levert de volgende afgeronde percentiele waarden op:

	kgcm	afgerond	reikwijdte	draaimoment onderarm
90e %-iel	108	110	50-75%	pronatie of supinatie
25e %-iel	178	180		
90e %-iel	73	70	75-100%	pronatie
25e %-iel	127	130		
90e %-iel	42	40	75-100%	supinatie
25e %-iel	69	70		

Voor draaihoeken van de onderarm < 50% van het bereik (neem 40°) lijken deze waarden ook wel geldig (expert guess). Wordt een groot draaitraject naar pro- of supinatie-richting overbrugd of omgekeerd, dan dient het moment met ongeveer 1/3 verminderd te worden gaande van de neutrale stand naar de betreffende extreme stand.

Voor de categorie altijd 'groen' zijn de laagste isometrische grenswaarden in de categorie groen/geel vermenigvuldigd met de kleinste vermenigvuldigingsfactor (0,12) uit tabel 5.1 (prEN 1005-3): bijvoorbeeld onderste regel in tabel: langdurig herhaald schroef indraaien (25 kgcm * 0.12 = 3 kgcm voor rotatiemoment onderarm).

7.3 Arbouwrichtlijn

Bij kracht uitoefening komt het vaak voor dat *met de hand een buigmoment rond de pols of met de hand en onderarm een draaimoment om de lengte-as* geleverd moet worden.

We onderscheiden de volgende actiemomenten en draairichtingen van de rechter hand:

- M_f = buigmoment rond de pols richting handpalm (flexie-moment);
- M_e = buigmoment rond de pols richting handrug (extensie-moment);

- M_r = buigmoment rond de pols opzij richting duim (radiaal-moment);
- M_u = buigmoment rond de pols opzij richting pink (ulnair-moment);
- M_p = rotatiemoment rond onderarm-as; linksom draaiend (pronatie-moment);
- M_s = rotatiemoment rond onderarm-as: rechtsom draaiend (supinatie-moment).

De optredende draaimomenten kunnen aanzienlijk zijn als:

- de werklijn van een gewicht of kracht duidelijk niet door de lengte-as van de hand c.q. de onderarm gaat en ver 'voor' of ver 'opzij' van de vuist ligt;
- als aangedreven handgereedschap een groot reactiemoment genereert.

Voorbeelden waarbij een beoordeling zeker nodig is:

- zwaartepunt van een gereedschap ligt ver voor of opzij van de vuist of opzij van de lijn door 2 vuisten;
- aandrukkracht van een gereedschap ligt ver voor de hand zoals bij een verfroller;
- handmatig wringmoment leveren zoals een schroef of tapijzer indraaien;
- opvangen van een reactiemoment van een boor of schroefmachine met één der handen.

De beoordeling van buig- en rotatiemomenten [kgcm] is altijd:

- | | | |
|---------------|--|----------------------|
| 'rood' | • buigmoment rond pols richting palm-handrug; | M_f of $M_e > 130$ |
| | • buigmoment rond pols in zijwaartse richtingen; | M_u of $M_r > 200$ |
| | • rotatiemoment rond onderarm-as. | M_p of $M_s > 165$ |

Als zich gezondheidsklachten in hand, pols of onderarm voordoen die gerelateerd zijn aan buigen en roteren;

- | | |
|---------------|--|
| 'geel' | Als zich klachten van vermoeidheid voordoen in hand of onderarm; |
|---------------|--|

- | | | |
|----------------|--|--------------------|
| 'groen' | • buigmoment rond pols richting palm-handrug; | M_e of $M_f < 4$ |
| | • buigmoment rond pols in zijwaartse richtingen; | M_r of $M_u < 5$ |
| | • rotatiemoment rond onderarm-as. | M_p of $M_s < 3$ |

Er doen zich geen klachten voor die gerelateerd zijn aan pols-buiging en onderarmverdraaiing.

Voor beoordeling van de basisgrenswaarden in de overige situaties moet tabel 7.2 geraadpleegd worden. De gezondheidskundige grenswaarden bepaalt men met de vermenigvuldigingsfactor uit tabel 5.1 of 5.2 en zonodig ook nog met een factor F_v .

Tabel 7.2 geeft de basisgrenswaarden aan voor *incidenteel maximaal toelaatbare buig- en rotatiemomenten zonder dat sprake is van duidelijk bewegen*.

Tabel 7.2 Basisgrenswaarden: incidenteel maximaal toelaatbare *buigmomenten rond het polsgewricht en rotatiemomenten rond de onderarm-as* in samenhang met polsbuig- en onderarmverdraaiingshoeken en reikafstand van de hand. De maxima gelden voor mannen, momenten uitgeoefend met de voorkeurshand* (pas hierop tabel 5.1 of 5.2 en zonodig de extra veiligheidsfactor Fv toe)

buig,- draaihoek	momentrichting en reikafstand**)	voorbeeld	moment (kgcm)	
			groen/geel	geel/rood
<i>hand buigen naar palm of handrugzijde (flexie-extensie)</i>				
≤45°	<i>momentrichting</i>			
	Mf = flexie	kwasten	70	130
	Me = extensie	kwasten	50	90
> 45°	Mf = flexie	duwen op spaan	50	90
	Me = extensie	draaien troffel	35	60
<i>hand buigen naar duim- of pinkzijde (radiaal-ulnair)</i>				
≤15°	<i>momentrichting</i>			
	Mr = radiaal of Mu = ulnair	verfrollen op wand	120	200
> 15°		tillen met hoekgreep	40	70
<i>palm neer- of opwaarts roteren rond onderarm-as (pronatie-supinatie)</i>				
≤40°	<i>momentrichting/reikafstand</i>			
	Mp = pronatie			
	Ms = supinatie			
	Mp of Ms: 50-75%	.	90	165
	Mp:75-100%	.	70	130
	Ms:75-100%	boor tegenhouden	40	70
> 40°	Mp of Ms: 50-75%	.	60	110
	Mp:75-100%	schroef uitdraaien	45	85
	Ms:75-100%	schroef indraaien	25	45

* -geldig voor handposities tussen oog- en buikhoogte recht voor of opzij van het lichaam aan de zijde van de betreffende arm,
 -bij heen en weer buigen of roteren: neem het minimum van de basisgrenswaarden voor de beide richtingen,
 -voor de niet voorkeurshand moeten de waarden met 10% verminderd worden.

** zie figuur 4.1 voor draairichtingen; reikafstand in % van de reikwijdte vuist-schoudergewricht

8. GRIJP- EN KNIJPKRACHTEN MET 4 OF 5 VINGERS VAN DE HAND

8.1 Literatuur

8.1.1 Inleiding

Grijpkracht wordt uitgeoefend op greep, steel of hengel om een handgereedschap, last of verpakking vast te houden, te sturen of met kracht voort te bewegen; *knijskracht* om heft of heften van een gereedschap naar elkaar toe te bewegen. Hand- en vingerkrachten kunnen de meest beperkende factor zijn in de gehele kinematische keten van schouder tot hand.

Het herhaaldelijk en/of langdurig moeten uitoefenen van grijp- of knijskrachten vormt vooral in combinatie met bepaalde pols- en onderarmbewegingen of -houdingen een risico voor spierversmoegheid, voor aandoeningen aan pezen, peesaanhechtingen of peesscheden van hand en onderarm en van zenuwen en bloedvaten in de handpalm (Hall, 1995; Bystrom, 1991; Chaffin & Andersson, 1991; Armstrong et al., 1989; Putz-Anderson, 1988).

Grijp- of knijskrachten laten zich vaak lastig meten. Deels kan men deze herleiden uit de uitwendige krachten of momenten die met de hand uitgeoefend moeten worden. Zo is de grijpskracht tenminste gelijk aan het te dragen gewicht van een last die aan de vingers hangt (haak- of hoekgreep) of aan de gemeten kracht op heften tijdens het knippen met een kniptang).

Grijp- of knijskrachten kunnen hoger zijn dan men zou verwachten.

Bij schijnbaar lage houd-, trek- en tilkrachten tussen 2 en 5kg vinden Kim et al. (1997) met een handdynamometer, waaraan de last is gehangen, dat de uitgeoefende knijskrachten aan het begin van een actie 2 tot 1,5 maal zo groot zijn als vereist om de actiekracht te kunnen leveren (dus 4 en 7,5kg grijpskracht). Liggen de actiekrachten tussen 5 en 10kg, dan komt voor dat 1,5 tot 1,2 maal zo hard als nodig (7,5-12kg) geknepen wordt. Daarboven is, wat genoemd wordt, het fenomeen 'grip-control' niet bestudeerd; maar de afname suggereert dat dit effect beneden de 10-20% zal blijven. Zij vinden dit resultaat voor zowel vorm- als wrijfgesloten koppeling van de greep. Het fenomeen 'grip-control' verdient nader onderzoek aldus de auteurs, maar bij lage actiekrachten is het niet vanzelfsprekend dat de grijpskrachten ook laag zijn. De consequentie is dat men feitelijk de grijpskracht apart moet screenen.

In eerste instantie zou men dit kunnen beperken tot situaties met sterk verhoogd risico.

De risicofactoren 'al of niet bewegen', herhalingsfrequentie en duur van krachtoefening kwamen aan de orde in hoofdstuk 5. Hieronder wordt nu nader ingegaan op de isometrische grenswaarden die in de literatuur gevonden zijn in samenhang met andere risicofactoren. Doorgaans wordt bij de voor dit document gekozen grijpmethoden kracht op de handgreep geleverd door eind-, middelste en/of binnenste vingerkootjes van de vier betrokken vingers enerzijds en/of de handpalm en duimmuis en duim anderzijds. Maximale knijp- of grijpkracht kan men leveren bij biomechanisch ideale vingerstanden. Hierop wordt ingegaan in paragraaf 8.1.3.

8.1.2 Grenswaarden voor grijp- of knijpkracht

In recente literatuur zijn de diverse isometrische gemiddelde prestatiewaarden voor grijpkracht van mannen gevonden bij min of meer optimale greepomtrek of afstand (tabel 8.1). De waarden uit de Franse norm en de prEN-1005-3 richtlijn zijn omgerekend naar een 10e-%iel mannen met behulp van prestatieratio's man/vrouw en Z-transformaties. In diverse bronnen ontbreken spreidingsgegevens.

Tabel 8.1 Maximale isometrische grijp- of knijpkracht (Kk) voor mannen bij vuist- of knijpgreep en optimale greepomtrek c.q. heftafstand. Polsgewricht in neutrale stand, geen onderarmverdraaiing, ellebooghoek 90° en optimaal contact hand-handgreep.

bron	populatie mannen	n =	Kk (N) gem	(N) SD	90e %-iel	bijzonderheden
Hall, 1995: S VI	stafmedewerkers	7	512	-	-	handdynamometer
Hall, 1995: S V	auto-assemblage	199	498	-	-	idem
Hall, 1995: S I*	-	8	353	100	-	waterpomptang
Meyer et al., 1996	jonge mannen	15	516	66	-	handdynamometer
Marley et al., 1995	jonge mannen	12	560	110	-	idem
Christensen, 1995	vleessnijders	48	550	8,5	-	idem
Duque, 1995	staf	20	410	81	-	?
Chaffin & Andersson, 1991	industrie	-	480	-	-	tanggreep
Putz-Anderson, 1988	industrie	-	450	-	-	handdynamometer
Kamon et al., 1978	industrie	463	450	105	315	idem
Eastman Kodak, 1986	industrie	-	450	130	288	-
prEN 1005-3 1996**	werkenden	-	-	-	332	tanggreep
NF X 35-106**	werkenden	-	-	-	230	idem

* Stalen heften dun en niet bekleed, vermoedelijk is piekdruk limiterende factor geweest.

** Omgerekend vanuit percentielen mannen + vrouwen naar 90e percentiel mannen.

De gemiddelden variëren van 410-560N als de gevonden waarden met de waterpomptang buiten beschouwing blijven. Zeer waarschijnlijk zijn hier lokale piekdrukken bepalend geweest voor de prestatie en minder de spierkracht van de vingers, getuige het redelijk platte verloop van de kracht rond het maximum en de hogere waarden die in ander onderzoek zijn gevonden met handdynamometers en tangen met beter gevormde handgrepen. Nemen we de populatie industrie, dan liggen de gemiddelden bij 45 en 48kg. In de meeste andere onderzoeken komt dat wat hoger uit. Uit de in Eastman Kodak (1986) gegeven waarden is een

10e-%iel te berekenen. Dit komt uit op 28,8kg. Een 10e-%iel bij Kamon (grote populatie) komt uit op 31,5kg. Deze waarden liggen ongeveer tussen de omgerekende grenswaarde in de prEN-richtlijn en de omgerekende 90e percentielwaarde op de Y-as in de NF X-35-106 richtlijn (23kg).

De maximaal leverbare isometrische knijp- of actiekracht verschilt sterk naar afgeleide risicofactoren waarvan de belangrijkste zijn (Hall, 1995; Daams, 1994; Chaffin & Andersson, 1991; Putz-Anderson, 1988; Eastman Kodak, 1986; Bullinger & Solf, 1979):

- aard van de vinger-hand belasting (STAT of DYN; zie hoofdstuk 5);
- voorkeurshand en grijpmethode;
- greepomtrek, -diameter of heftafstand;
- buiging van de hand en verdraaiing van de onderarm;
- kenmerken van het contact tussen hand en handzijde van gereedschap (zie hiervoor hoofdstuk 9 en 10).

8.1.3 Afgeleide risicofactoren

Voorkeurshand en grijpmethode

Er is verschil in voorkeurshand en de niet-voorkeurshand. De niet-voorkeurshand is doorgaans minder sterk dan de voorkeurshand. Hallbeck et al. (1993) vinden als resultaat van een review reductiepercentages van gemiddeld 10% (5-15%). Links- of rechtshandigheid maakt op de knijpkrachtprestatie niet veel uit.

Voor de bouw hebben we ons beperkt tot een aantal grijpmethoden, waarbij zoveel mogelijk vingers bijdragen aan het omklemmen van steel, greep, hengel of handvat (zie § 3.3). De in tabel 8.1 gegeven isometrische grenswaarden gelden voor vuist- of knijpgreep. Over andere grepen is weinig bekend.

- **Vuistgreep**

De maximale grijpkracht hiervan vormt het uitgangspunt (op 100% gesteld). Deze is leverbaar bij de meest gunstige greepdiameters (cilindrische grepen: 35-50mm).

- **Diagonaalgreep**

Voor de diagonaalgreep vermeldt het handboek van Eastman Kodak (1986) 65% als relatieve grijpsterkte. Verder is hierover niets gevonden.

- **Pistoolgreep**

Hiervan zijn geen waarden gevonden in de geraadpleegde literatuur. Bij benadering lijkt de greep op die van de vuistgreep, zij het dat de wijsvinger meer vooruit steekt om het handgereedschap te richten en minder meewerkt in de omklemming van de greep.

- Haak- of hoekgreep

Vooral van toepassing bij het verplaatsen van verpakkingen.

De prestaties zijn sterk afhankelijk van het aantal ingeschakelde vingers van de wijze van vingerbuiging en belasting van de kootjes (zie hierna onder greepomtrek). Hier gaan we uit van 4 vingers bij de haak- of hoekgreepmethode.

Eastman Kodak (1986) geeft voor dragen van handvat met arm omlaag en vingerkootjes gebogen dat de isometrische grenswaarde gelijk is aan die voor knijpkracht in ideale vuistgreep. De maximale kracht is gelijk aan de grijpkracht in vuistgreep en leverbaar bij onderarm, pols, binnenste kootjes ongeveer in elkaars verlengde staan bij gebogen middelste en buitenste kootjes (*haakgreep*). Voorwaarde is een acceptabele contactdruk in de hand (zie hoofdstuk 9). Gezien de biomechanische werking is dit ook geldig voor omlaag of horizontaal trekken aan een handgreep bij dezelfde stand van de kinematische keten elleboog-vingerkootjes.

Bij de *hoekgreep* worden de buitenste kootjes meer belast (zie hieronder).

- Tanggreep

De maximale knijpkracht bij de ideale heftafstand (55-75mm) is gemiddeld 48kg; dit is in de orde van grootte van de vuistgreep (zie tabel 8.1). De knijpkracht is sterk afhankelijk van de heftafstand (zie hieronder).

Samengevat: de maximale kracht van een tanggreep en een haakgreep met de kracht loodrecht op de middelste kootjes is gelijk aan die voor de vuistgreep. Voor de diagonaalgreep geldt een reductiepercentage van 65%. Worden vooral de buitenste kootjes belast, dan is het maximum ongeveer 71-75% van de knijpkracht bij de vuistgreep.

Greepomtrek (greepdiameter, heftafstand)

Grepen kunnen verschillende dwarsdoorsneden hebben: platte, ronde, ovale, afgeronde rechthoeken, driehoeken of zeskanten, etc. Verder is bij bewegende grepen de afstand tussen de heften van belang op het moment dat maximale kracht geleverd moet worden. Als we om de heften een touwtje spannen, kan bij een tanggreep ook gesproken worden over een omtreksmaat. Voor het gemak vatten we het geheel samen onder *greepomtrek*.

Er is een belangrijke samenhang tussen grijpkracht en greepomtrek voor de vingers. De omtrek verandert bij cilindrische grepen met andere diameters en bij de tanggreep bij andere afstanden tussen de heften (Hall, 1995; Chaffin & Andersson, 1991; Eastman Kodak, 1983; Bullinger & Solf, 1979). De standen van de vingers zijn een belangrijke bepalende factor; dat is ook het geval bij de haak- of hoekgreep.

Bullinger en Solf (1979) geven als richtlijn voor kracht loodrecht op de vingerkootjes gaande van de handpalm, de binnenste (proximale) naar de vingertoppen, de buitenste (distale) kootjes, en afhankelijk van de vingerstand de volgende percentages:

	A	B	C	D
kootjes	binnenste	middelste	buitenste	C in % van B
gebogen vingers	100	70	50	71
gestrekte vingers	100	50	20	40

Bij gestrekte vingers is sprake van extreme standen van vingergewrichten; daarom zijn de percentages zoveel lager. Maar belastingen loodrecht op de kootjes bij gestrekte hand zijn niet van toepassing bij de hier behandelde greepmethoden, die vooral gaan over gebogen vingers. Met gebogen vingers is situatie B typerend voor een haakgreep; situatie C voor een hoekgreep. D geeft de berekende krachtprestatieverhouding hoek- tot haakgreep (71%).

In Chaffin en Andersson (1991) is een beknopt biomechanisch model van de hand beschreven. Berekend kan worden dat bij knijpen met gebogen vingers en gelijk blijvende inwendige peeskracht in het polsgewricht de maximale knijpkracht loodrecht op de buitenste vingergewrichten (groot object beetpakken) ongeveer 75% is van de knijpkracht in vuistgreep bij optimale diameter (gemiddeld groot object), waarbij vooral de middelste kootjes kracht uitoefenen. Dit percentage ligt in de orde van grootte van de reductie die Bullinger en Solf (1979) vinden (71% in kolom C).

Uit Hall (1995) kan berekend worden dat bij grote afstand (9-10cm) tussen heften van een waterpomptang de maximale knijpkracht 67% is van het maximum bij de gunstigste afstand (52-68mm; trekken met middelste kootjes). Ook te kleine heftafstanden beperken de vingerprestaties door sterk verkorte spieren. Bij een heftafstand van 40mm (ondergrens) is de kracht tot 65% gereduceerd. De maximale prestaties waren lager dan wat elders in de literatuur gevonden wordt (beperking door piekdrukken door de smalle heften); het is plausibel dat de reductiepercentages dan ook kleiner zijn. Uit Chaffin en Andersson (1991) kan berekend worden, dat deze percentages voor heftafstanden van een tanggreep (voor mannen) als volgt zijn: 5cm (56%), 7,5-8,5cm (100%) en 11cm (80%).

Voor cilindrische grepen is de grijpkracht optimaal bij diameters tussen 40 en 50mm (Daams, 1995; Eastman Kodak, 1986; Bullinger & Solf, 1979; Pheasant, 1975). De maximale kracht op een dynamometer met parallelle halve grepen wordt geleverd bij een greepafstand van 5cm (Eastman Kodak, 1986). In de gemeten range van 3-6cm is te zien dat bij 3cm de knijpkracht 50% bedraagt van het maximum. Voor niet-cirkelvormige greepdoorsneden zijn geen gegevens gevonden voor knijpkracht.

Buiging van de hand en verdraaiing van de onderarm

Grijp- of knijpkrachtprestaties verminderen, als de hand in het polsgewricht wordt gebogen. Vooral bij omhoog buigen van de hand (extensie; richting handrug) maar nog meer bij omlaag buigen (richting handpalm) worden door mechanismen van spierverlenging en verkorting de knijpprestaties verminderd (Chaffin & Andersson, 1991; Putz-Anderson, 1988). Knijpkracht gecombineerd met grote uitslagen in de pols verhoogt de kans op aandoeningen aan pezen, peesdoorleidingen (peescheden) in het polsgewricht en zenuwen die daar gelegen zijn (Hallbeck et al., 1993; Armstrong, 1988; Freivalds, 1987). Ook verdraaiing van de onderarm vermindert de knijpkracht (Freivalds, 1987). In de beschikbare literatuur zijn de volgende percentages van de knijpkracht ten opzichte van die in de neutrale stand gevonden.

Tabel 8.2 Percentages van de maximale isometrische knijpkracht (Kk) in neutrale stand van het gewricht (100%) bij verschillende uitslagen van de hand in het polsgewricht

buiging in polsgewricht	polshoek (°)	% van Kk	bron	opmerkingen
f = flexie (palmzijde)	23 (1/3 bereik)	86	Marley et al., 1995*	u.d. + f: 81%
	-	73	Freivalds, 1987	
	45 (2/3 bereik)	70	Marley et al., 1995*	u.d. + f: 70%
	45	72	Hallbeck et al., 1993	
	45	60	Putz-Anderson, 1988	
	65	57	Hallbeck et al., 1993	
	65	45	Putz-Anderson, 1988	
	einde bereik	59	Duque et al., 1995	
	einde bereik	50	Bullinger & Solf, 1979	
	-	77	Freivalds, 1987	
	45	82	Hallbeck et al., 1993	
e = extensie (rugzijde)	45	75	Putz-Anderson, 1988	
	65	68	Hallbeck et al., 1993	
	einde bereik	65	Duque et al., 1995	
	einde bereik	50	Bullinger & Solf, 1979	
	-	83	Freivalds, 1987	
	25	80	Putz-Anderson, 1988	
r.d. = radiale deviatie (duimzijde)	-	86	Freivalds, 1987	
u.d. = ulnaire deviatie (pinkzijde)	15 (1/3 bereik)	94	Marley et al., 1995*	u.d. + f: 81%
	30 (2/3 bereik)	91	Marley et al., 1995*	u.d. + f: 70%
	45	75	Putz-Anderson, 1988	

* Onderzocht is 1/3 respectievelijk 2/3 van het bewegingsbereik van de pols. De hoeken zijn berekend aan de hand van algemene gegevens over het bereik.

Uit tabel 8.2 kan afgeleid worden dat buiging van de hand richting handpalm de grootste reducties in knijpkracht veroorzaken; gevolgd door buiging richting handrug. De prestaties bij gelijke buighoeken zijn voor 'flexie' 10-15% lager. Een verklaring is dat de vingerspiere in deze buigrichting het meest verlengd en verkort worden (minder effectief), terwijl dit minder het geval is bij opzij buigen van de hand. Marley et al. (1995) onderzochten ook de interactie van opzij (ulnair) en omlaag (flexie) buigen van de hand op de knijpkrachtprestaties. Bij kleinere hoeken (20-25°) is het totale prestatiepercentage het product van elk der percentages per buigrichting (81% voor de combinatie). Bij grotere uitslagen (ulnair deviatie 30°, flexie 45°) is het laagste percentage van elk der richtingen de dominante factor.

In tabel 8.2 gaat het om uitslagen van de hand in het polsgewricht. Over de effecten van onderarmverdraaiing in het ellebooggewricht op knijp- en grijpkracht met gebogen vingers is heel weinig bekend. Alleen Freivalds (1987) presenteert relatieve percentages. Met de klok meedraaien (supinatie) heeft verwaarloosbare invloed (99%). Tegen de klok indraaien echter wel (88%).

Gebruik van werkhandschoenen

Hallbeck et al. (1993) vinden een effect van werkhandschoengebruik op knijpkrachtprestaties. Voor dubbellagige katoen met staalversterking vinden zij een reductie van 20% voor enkellagig katoen 11%. Stijve dikke handschoenen geven meer weerstand tegen vingerbuiing bij een vuist- of haakgreep.

8.2 Methode van bepaling van de richtlijn

Voor de maximale grijpkracht wordt de grenswaarde gekozen uit Eastman Kodak (1986) en Kamon (1978), een waarde die ook door Putz-Anderson lijkt te zijn overgenomen. Redenen voor de keuze zijn: industriële mannelijke populatie, veilige ondergrens ten opzichte van meeste andere gevonden gemiddelden. Berekent men van beide bronnen het 90e respectievelijk 25e %-iel, dan vindt men 28,8kg of 31,5 respectievelijk 53 en 52kg als grenswaarden. De spreidingen in de gegevens waren wat groter dan bij andere auteurs. Voor de Arbouwrichtlijn wordt gekozen voor ronde getallen als basisgrenswaarde. Voor ideale grijpomstandigheden zijn gekozen:

- 30kg voor het 90e %-iel;
- 50kg voor het 25e %-iel.

Inzake de methode van grijpen kan op grond van de literatuur geconcludeerd worden dat de hierboven gevonden waarden onder ideale greepcondities toegepast mogen worden voor vuistgreep, haakgreep met de 5 middelste vinger- kootjes en voor de tanggreep met alle vingers.

Voor de pistoolgreep is geen reductiefactor gevonden. Op grond van de inzet van het aantal vingers voor de omklemming (niet 4 maar 3) lijkt een reductie van 25% plausibel.

Voor de diagonaalgreep en hoekgreep (vingers gebogen en kracht op buitenste kootjes) gelden reductiepercentages van 35 en 30%. Voor de eenvoud wordt voor al deze grepen een reductie van 30% gekozen. Alle waarden in de bovenste helft van tabel 8.3 zijn met 30% verminderd.

Greepomtrek, -diameter, heftafstand

Als optimale afstand (stand om maximaal knijpkracht te leveren) van tangheften ter plaatse van de middelvinger wordt het gemiddelde gekozen uit de literatuur (70-75mm). Voor een knijpbeweging over een knijptraject tussen 75 en 100mm (bij 100 nadert dat extreme vingerstanden) geldt de laagst gevonden isometrische waarde; dat is 67%. Hier nemen we als ronde, eenvoudig te onthouden, waarde: 70%. Een reductiepercentage van 30% kiezen we ook als benadering voor de hoekgreep. Voor knijpbeweging in trajecten liggend tussen 40mm (ondergrens) en 70mm greepafstand is het laagst gevonden reductiepercentage 56%; voor een totaal traject van dichtknijpen vanaf 100mm tot 40mm wordt een veilig percentage gekozen (50%) dat tevens gelijk is aan dat voor kleine diameters bij cilindrische grepen.

De optimale diameter voor maximaal leverbare grijpkracht op een cilindrische greep wordt gesteld op 40-50mm. Voor grepen met elliptische of afgeronde rechthoekige of zeskantige dwarsdoorsneden met een breedte-dikteverhouding $< 1,5$ (bijvoorbeeld bij vijl- of pistoolgrepen) is het plausibel dat het optimum ligt bij een gemiddelde omtrek die gelijk is aan die van de optimale cilinderdiameter (omtrek hiervan dus 125-155mm). Bij diameters tussen 70 en 100mm vindt Hall (1995), dat de eindkootjes vooral op druk (dus ook peeskracht) belast worden. Op grond van het biomechanisch model van de hand (Chaffin & Andersson, 1991) is een reductie van 30% knijpkracht verantwoord voor grotere diameters; voor kleinere 50%.

Buiging van de hand en verdraaiing van de onderarm in het ellebooggewricht

De risicofactor polsbuiging is als belangrijkste invalshoek gekozen voor de opzet van een tabel met basisgrenswaarden van isometrische maxima voor de verschillende afgeleide risicofactoren voor knijp- of grijpkracht. In de praktijk wordt vaker een grote buiging geobserveerd en minder vaak een ongunstige omvang van een handgreep.

In de neutrale standen van de pols en de onderarm (rotatierichting) en onder verder gunstige grijpmethode (bovenste helft van tabel 8.3), gunstig grijpcontact zijn de volgende grenswaarden voor incidenteel maximale knijp- of grijpkracht gekozen: groen/geel: 30kg; geel/rood 50kg. Deze ideale situatie treedt niet vaak op en wordt daarom niet als eerste categorie in tabel 8.3 vermeld (zie rij 4).

Voor de overige indeling in klassen van buiging vereenvoudigingen we eerst de gegevens uit de literatuur (zie tabel 8.2). Men voorkomt dat alle mogelijke hoeken bepaald en beoordeeld moeten worden. Voor kleine buighoeken (tot $\pm 20^\circ$) blijken in de verschillende buigrichtingen prestaties tussen de 80% en 92% van de maximale knijpkracht in de neutrale stand geleverd te kunnen worden. Sommige gegevens zijn berekend uit lineaire interpolatie van beschikbare gegevens over 45° en 0° . Omdat voor combinaties van kleine buighoeken (flexie: 23° plus ulnaire deviatie: 15°) 81% gevonden werd (Marley et al., 1995), is voor

80% gekozen voor de eerste categorie ($\leq 20^\circ$ buiging). Het is verantwoord te stellen dat 80% voor alle buigrichtingen in dit gebied een veilige waarde is, ook voor combinaties van 2 richtingen. Voor de categorie 20-45° is een veilige waarde gekozen uit de percentages bij 45° (tabel 8.2). Met uitzondering van 60% voor flexie (Putz-Anderson) liggen alle percentages tussen 72 en 82%. 70% is als redelijk veilig te beschouwen. Tussenvallende waarden kunnen via interpolatie bepaald worden. De hand kan in de richting van de duim (radiale deviatie) niet tot 45° gebogen worden. Deze beoordelingsklasse geldt dan ook maar voor de 3 overige richtingen.

Boven de 45° kan alleen nog maar met de hand omlaag (flexie) of omhoog (extensie) bewogen worden. De extreme polsstanden (in combinatie met vuistgreep) worden bij veel individuen al rond de 60° bereikt. De percentages die hier gevonden zijn (tabel 8.2) liggen met uitzondering van Putz-Anderson (45%) tussen 57 en 68%. Voor de veiligheid inzake het werken dichtbij extreme standen wordt hier voor 50% gekozen. Verder zijn enkele kleine afrondingen toegepast om waar mogelijk gelijke krachtklassen te creëren als in paragraaf 6.3.

Alleen voor pronatie van de onderarm wordt een reductiepercentage (afgerond op 10%) toegevoegd onder de tabel.

Gebruik van werkhandschoenen

Ronde getallen zijn als reductiepercentages gekozen, 10% respectievelijk 20% voor respectievelijk enkelvoudige katoen en handschoenen met dubbele laag met staalversterking. Bij dikkere handschoenen zoals bij katoen met stijf rubber en duidelijk voelbare weerstand tegen vingerbuiging is nader onderzoek nodig.

8.3 Arbouwrichtlijn

De onderstaande basisgrenswaarden gelden voor grijp- of knijpkracht (K_k) bij grijpmethoden met 4 of 5 vingers van een hand. Dit zijn de meest krachtige grijp- en knijpmethoden en die komen in de bouw het meeste voor. Voor grijp- of knijpmethoden met 2 of 3 vingers moet men een deskundige raadplegen.

Dichtknijpen komt voor bij een snij- of kniptang of bij een handbediende kitspuit. Knijpkracht is verbonden aan een *duidelijke beweging* van de vingers, een dynamische kracht. Grijpkracht is meer verbonden met vasthouden, met statische krachtoefening. Het verschil is van belang bij toepassing van tabel 5.1 in combinatie met tabel 8.3.

De volgende grijpmethoden kan men met de richtlijnen beoordelen:

- *vuistgreep, diagonaalgreep of tanggreep*

De vingers buigen om een greep of om een heft. De palm dient als ondersteuning voor de tegenovergestelde kant van de greep of van het andere heft;

- *haakgreep of hoekgreep*

De kracht komt vrijwel alleen loodrecht op de gebogen vingerkootjes.

Voorbeelden: trekken aan een T- of D-vormige greep of het tillen aan hengsels of handvat aan een verpakking. Bij de haakgreep komt vooral kracht op de middelste kootjes van alle vingers. Bij de hoekgreep, vingers onder een hoek van een kist of doos geplaatst, meer op de buitenste kootjes (vingertoppen).

Wees vooral alert op eventuele klachten en op de volgende situaties:

1. grote krachtoverdracht van hand op gereedschap of verpakking is vereist:

via wrijvingscontact; voorbeelden: zwaar indraaien via schroevendraaierheft, in lengterichting duwen van schepsteel;

via drukcontact; voorbeelden: zwaar tillen aan hengel, eenhandig dichtknijpen van zware schaar of tang;

2. extra hard knijpen om een goede beheersing te houden over het gereedschap

Hoewel de benodigde actiekrachten op het gereedschap niet zo hoog hoeven zijn (bijvoorbeeld tussen 2 tot 10kg) komt het voor dat men toch een hogere dan noodzakelijke grijpkracht uitoefent. Onzekerheid omtrent het krachtverloop of van de gebruiker van het gereedschap kan hiertoe bijdragen. Het verschijnsel staat los van de wijze van krachtoverdracht in de hand (via wrijving, of via contactdruk);

3. grijp- of knijpkracht onder ongunstige condities

Gemiddeld tot grote grijpkrachten in combinaties met te dunne of te dikke grepen, met extreme polsstanden of rotatiehoeken van de onderarm, met een hoog werktempo en lange taakduren moet men zeker apart beoordelen.

De beoordeling vindt voor elke hand apart plaats. Het oordeel van grijp- of knijpkracht (Kk) is in eerste instantie altijd:

- ‘rood’**
 - als $Kk > 50\text{kg}$;
 - als zich gezondheidsklachten in hand, pols of onderarm voordoen die gerelateerd zijn aan grijpen of knijpen;
- ‘geel’**
 - als zich klachten van vermoeidheid in vingers of onderarm voordoen;
 - als $Kk > 30\text{kg}$, is het oordeel tenminste ‘geel’;
- ‘groen’**
 - als $Kk < 1,5\text{kg}$, en
 - extreme polsstanden komen niet voor, en
 - greepdiameter, greepomtrek of heftafstand zijn optimaal, en
 - klachten doen zich niet voor.

Voor beoordeling van alle overige situaties moet tabel 8.3 (*basisgrenswaarden voor grijp- of knijpkracht*) in combinatie toegepast worden met tabel 5.1 of 5.2.

Voor een duidelijke *knijpbeweging* (schaar bijvoorbeeld) kiest men altijd de categorie ‘duidelijk bewegen’ in tabel 5.1.

De basisgrenswaarde bepaalt men aan de hand van de volgende factoren:

- de grijpmethode;
- buiging van hand of vuist in het polsgewricht;
- greepdiameter of -omtrek of heftafstand;
- verdraaiing van de onderarm;
- voorkeurshand of niet al of niet voorzien van handschoen.

Tabel 8.3 Basisgrenswaarden: incidenteel maximaal toelaatbare *grijp- of knijpkracht* uitgeoefend met voorkeurshand en zonder werkhandschoen*; bij verschillende grijpmethoden en ideaal** handcontact afhankelijk van de buiging in het polsgewricht (pas hierna tabel 5.1 of 5.2 en zonodig de extra veiligheidsfactor Fv toe)

grijpmethode en handbuiging in polsgewricht t.o.v. de onderarm		grijp (knijp)kracht (kg)	
	voorbeeld	groen/geel	geel/rood
<i>vuist-, haak- of tanggreep</i>			
<i>buighoek</i>	<i>buigrichting (1)</i>		
≤20°	willekeurig	hilt schepsteel	24 40
20-45°	handpalm, -rug, pink	nijptang	20 35
> 45°	handpalm, -rug	stukadoorsspaan	14 25
neutrale stand	(2)	verstekzaag	30 50
<i>diagonaal-, hoek- en pistoolgreep</i>			
<i>buighoek</i>	<i>buigrichting (1)</i>		
≤20°	willekeurig	verfrollen op wand	17 28
20-45°	handpalm, -rug, pink	tillen met hoekgreep	14 25
> 45°	(handpalm, -rug)	schroef indraaien	10 17
neutrale stand	(2)	elektrische handboor	20 35

- * Voor krachttuitoefening op een handgreep of handvat met de *niet-voorkeurshand* moeten de waarden met 10% verminderd worden.
- Bij verdraaiing van de onderarm tegen de klok in moeten de waarden met 10% verminderd worden.
 - Met *goed passende werkhandschoenen* de grenswaarden verminderen met:
 - 10% bij werkhandschoenen met dunne enkelvoudige weefsellaag (katoen bv);
 - 20% bij werkhandschoenen met dubbele weefsellaag en staalversterking.
 - Bij gebruik van speciaal dikke of stijve werkhandschoenen en sterk moeten buigen van de vingers is nader onderzoek nodig (bv de handschoen Prevent).
- ** *Ideale greepomtrek (omtrek, diameter of heftafstand)* voor mannen zijn bij een:
- cilindrische greep: diameter 40-50mm;
 - ovale of afgeronde min of meer vierkante of zeskantige grepen: omtrek van de dwarsdoorsnede 125-155mm;
 - tanggreep: afstand middenkootje van middelste vinger tot duimuis 70-75mm.
- Verder moet voldaan zijn aan de grenswaarden voor handcontact (hoofdstuk 9 en 10).
- Voor een *niet-ideale greepomtrek* moeten de grenswaarden met de volgende percentages verminderd worden:
- 30%: - diameter 50-90mm of
 - omtrek dwarsdoorsnede 155-280mm,
 - tanggreep: greepafstand van 75-100mm;
 - 50%: - diameter 30-40mm of
 - omtrek dwarsdoorsnede 95-125mm,
 - tanggreep: greepafstand 40-70mm.

- (1) In bepaalde richtingen overschrijden de hoeken het buigbereik van het polsgewricht (opzij: richting duim; richting pink).
- (2) Neutrale stand is als de as van de middelste middenhandsbeen in verlengde ligt van de as van de onderarm.

9. DRUK- EN WRIJVINGSKRACHTEN IN DE HAND

9.1 Literatuur

9.1.1 Inleiding

Om houd- of bewerkingskrachten op handgereedschap te kunnen uitoefenen vindt kracht-overdracht plaats van de handgreep via het contactvlak van de huid en onderliggende weefsels naar bot- en spierstructuren van de handpalm, de vingerkootjes en eventueel de duim. Bij de hier gekozen grijpmethoden worden 4 of 5 vingers en palm of duimmuis gebruikt voor krachtoverdracht op greep of steel. We beperken ons in deze publicatie tot kracht-overdracht via de huid aan de binnenkant van de hand, de palmzijde van palm, vingers en duim. Krachtoverdracht via de zijkanten of bovenkant van de vingers blijft buiten beschouwing (voorbeeld naaischaar).

Normaalkracht, contactdruk, vormgesloten koppeling

Als de krachten *loodrecht op de huid* staan spreken we van *normaalkracht*. *Per eenheid van oppervlakte spreken we van contactdruk* (eenheid: 1 kg/cm^2 afgerond 100 kPa). Door de vorm wordt kracht- of moment van hand op de greep overgedragen.

Voorbeeld: trekt, tilt of draait men met gestrekte arm aan een D- of T-vormige greep, dan is vooral sprake van drukkrachten op de palmzijde van vingerkootjes en de plekken in de palm vlak bij de vingers waar zich gewoonlijk 'eeltknobbels' vormen. Bij draaien (bijvoorbeeld een tapijzer) is sprake van piekdrukken aan de zijkant van de hand.

Wrijvingskracht, (wrijf-)krachtgesloten koppeling

Als een kracht *langs de huid* gericht is, is sprake van *wrijving*. We spreken van (wrijf-)krachtgesloten koppeling, omdat normaalkracht of contactdruk nodig is om kracht of draaimoment langs de omtrek van een greep te kunnen leveren.

Voorbeeld: draait men een schroevendraaier met cilindrisch heft, dan is er sprake van *druk- en wrijvingskrachten* op de huid van de binnenzijde van de palm en van de vingerkootjes.

Mogelijke belastingseffecten

De huid en onderliggende weefsels informeren het centrale zenuwstelsel over kracht, temperatuur, druk en gevaar. Inzake fysieke belasting ervaart men bij oplopende druk het contact als: aanraking of tast, plaatselijke druk, drukongemak of -pijn. Drukpijn kan de bepa-

lende factor worden om de taak te onderbreken of om de belasting aan te passen; dit vermindert de productiviteit (Hall, 1995).

Hoge contactbelasting is een aparte risicofactor voor de hand (Hall, 1995; Kilbom et al., 1993; Kadefors et al., 1994). Hoge plaatselijke drukken of matige drukken over een lange tijd uitgeoefend kunnen huid en de weefsels daaronder (spieren, pezen, peesscheden, bloedvaten of zenuwen) ongunstig belasten of zelfs beschadigen bij langdurige blootstelling. De doorleiding is mede afhankelijk van plaatselijk aanwezige vetlagen onder de huid die de druk goed verdelen. Hoge wrijvingskrachten, al of niet in combinatie met plaatselijke druk, kunnen leiden tot blaar- of eeltvorming.

Illustraties uit het dagelijkse leven zijn: zadelpijn, pijn in de hand bij dragen van zware verpakkingen met te dunne hengsels; eeltvorming bij grondwerkers die veel met een schep werken.

Drukverdelingen in het contactgebied hand-handgreep kan men meten met microdruksensoren of op een heel globale manier met drukgevoelig papier (Hall, 1995). In gereedschapverbeteringsprojecten (Feggeler et al., 1992) wordt vaak volstaan met het bepalen van de omvang van het contactoppervlak. Hiervoor wordt met roet of kleurstof, die op de hand achterblijft na een grijphandeling, op papier een afdruk gemaakt en het oppervlak wordt geschat. Verder kan men gebruikers ook de druk of pijn op bepaalde plekken laten scoren op een schaal voor ongemak en een kaart van de palmzijde van de hand (Hall, 1995).

9.1.2 Grenswaarden voor handcontactdruk

In het proefschrift van Hall (1995) is de stand van de kennis op dit punt vrij goed bijeengebracht. Dit document is als uitgangspunt gekozen. De huidige kennis is vooral gebaseerd op onderzoek naar korte termijneffecten. Hall testte onder meer de gevoeligheid van de binnenzijde van de hand op 64 plaatsen. Gemeten werden:

- de druk bij de pijngrens ('pain pressure threshold', PPT), een momentaan maximum;
- de volhoudtijden tot aan pijn ('time to pain', TTP) en in submaximaalproeven tot aan 50% van de PPT-waarden.

Verder deed zij drukverdelingsmetingen tijdens grijp- en trekproeven met de hele hand op cilinders met verschillende diameters en op grepen van specifieke gereedschappen.

Uit het proefschrift van Hall (1995) blijkt het volgende. Voor de ruw afgebakende gebieden aan de palmzijde van de hand zijn de gemiddelde PPT-waarden voor de onderzochte groep mannen:

PPT (kPa)	kg/cm ²	gebied aan binnenzijde hand
725	7,2	zijkant duim en duimmuis, het gevoeligste deel van de binnenzijde van de hand
775	7,8	binnenzijde handpalm
925	9,2	binnenzijde vingerkootjes, het minst gevoelige deel

De gevoeligheid voor lokale druk lijkt niet met leeftijd samen te hangen wel met geslacht (Hall, 1995); vrouwen zijn gevoeliger. De drukgevoeligheid van de zijanten van vingers (van belang bij schaargebruik bijvoorbeeld) zijn niet gemeten, maar bekend is dat deze gevoeliger zijn voor druk. Voor deze publicatie is dit soort vingergrepen geen onderwerp van studie. In Hall (1995, studie II) zijn enkele spreidingsmaten gevonden waaruit een gemiddelde variantiecoëfficiënt van 0,40 berekend kan worden voor een benadering van percentielen voor mannen bij de hierboven gepresenteerde gemiddelden (zie § 9.2).

Acute schade aan huidweefsel door druk ontstaat bij overschrijden van de rekgrens van de huid. Volgens Yamada, 1970 (geciteerd in Hall, 1995) gebeurt dat pas bij waarden die ongeveer 10 maal zo hoog liggen (7640 kPa). Men wordt door drukpijn dus tijdig gewaarschuwd voor eventuele huidschade.

In Eastman Kodak (1986) is een grenswaarde van 150 kPa gevonden. In dit boek geeft men geen verdere verduidelijking voor welk percentiel dit geldt en hoe lang dit achtereen acceptabel is.

9.1.3 Afgeleide risicofactoren voor contactdruk

Drukcontactplekken op de binnenzijde van de hand

Meer in detail (zie voor 1-3, figuur 9.1) blijkt dat bepaalde plekken in de hand gevoeliger dan gemiddeld zijn. Dit zijn:

1. bovenzijde en palmzijde van de duimmuis en de punt van de duim;
2. de huidvouw tussen duim en wijsvinger;
3. de plek rond het erwtevormig botuitsteeksel aan de pinkzijde kijkend op de palm (os pisi-forme; voor contact met een handgreep niet relevant);
4. centrum van de palm blijkt vooral gevoelig te zijn voor langdurend drukcontact.

Minder drukgevoelig dan gemiddeld zijn:

5. palmzijde van de vingerkootjes (zie figuur 9.1).

De plekken 1 zijn soms en 2, 4 en 5 vaak in contact met een handgreep die door de hele hand omvat wordt; de plek 3 zelden of nooit. Plek 3 wordt bijvoorbeeld wel belast als de

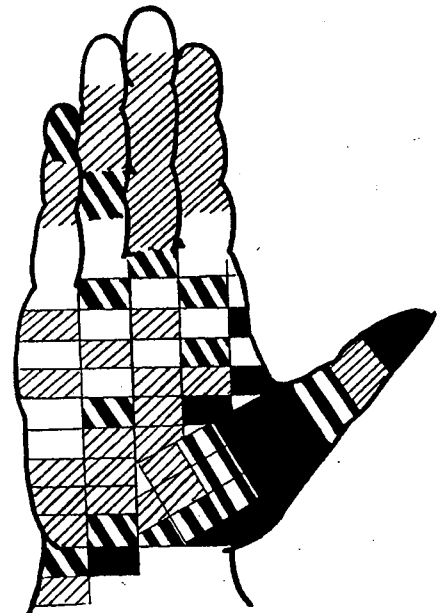
pols op de tafel steunt (gebruik van een computermuis). Hall (1995) vond in een studie met handgereedschap (studie IV) een duidelijke relatie tussen hoge lokale drukken en lokaal ervaren druk en ongemak op of rond die plekken in de hand.

Grootte van het contactoppervlak handgreep

Duidelijk is dat gegeven de uitgeoefende actiekracht (knijp-, duw- trek of draaikracht) de grootte van het contactoppervlak een grote rol speelt. Hoe groter het contactoppervlak, des te beter de drukverdeling over de huid. Klein contactoppervlakken leiden tot ongemak als de uitgeoefende krachten groot zijn.

Lokale hoge drukken komen voor bij:

- te grote greepdoorsneden (druk op eindkootjes en duimtop);
- bij te kleine handvatten (kratuitsparing, hoekpunt doos of hengel aan verpakking; alleen buitenste of middelste vingerkootjes worden belast);
- bij heften met klein effectief grijppoppervlak (zie hiervoor).



Figuur 9.1 Relatieve drukgevoeligheid van plekken op de hand. De zwarte gebieden gaan bij toenemende druk het eerste pijn doen. Witte plekken zijn niet gemeten (Hall, 1995; studie II)

Duur en frequentie

Langdurige oppervlaktedruk beperkt onder meer de bloeddorstrooming nabij een drukplek. Uit dierexperimenteel onderzoek lijkt de kans op schade samen te hangen met het product duur en lokale druk (Hall, 1995). Bruikbare gegevens over duurbelastbaarheid van de huid in de hand zijn er echter nauwelijks. Bij druktesten met een druk van 50% van de PPT-waarden vond Hall (1995) een volhoudtijd tot aan drukpijn (TTP) variërend van ongeveer:

- 1 minuut op plekken als: centrum palm; erwttvormig botje pols;
- 2,7 minuten op de duimuis;
- 3,5 minuten op binnenzijde vingerkootje, de minst gevoelige plek.

Drukken van 10 kPa (0,1kg/cm²) die 1 uur achtereenvolgend worden gehouden zouden al kunnen leiden tot schade (Kosiak et al., 1958; geciteerd in Hall, 1995). Volgens de proefpersonen in het onderzoek van Hall (1995) zouden acceptabele waarden voor een dag werken ongeveer 10-18% van de PPT-waarden (in de orde van grootte van 1-2kg/cm²) bedragen. Een schatting die veel hoger ligt dan de waarden van Kosiak. De exposities waarop de dagdosisvoorspellingen in het onderzoek van Hall (1995) gebaseerd zijn waren echter maar kort. Het is bekend dat voorspellingen dan niet zo betrouwbaar zijn.

Bij 2 tot 3 minuten volgehouden drukken van 200-330 kPa treden ook vaatvernauwingsreflexen op die pas na eliminatie van de druk tot ongemak (tintelingen) in de hand leidt, zo blijkt uit geciteerde literatuur in Hall (1995). Verondersteld wordt dat repeterende blootstelling tot vaataandoeningen kunnen leiden. Voor repeterende belastingen ligt de drukpijngrens bij 196-392 kPa, dat is ongeveer 25-50% van de PPT-grenswaarden (Lindström, 1973 geciteerd door Hall, 1995). Nader onderzoek naar grenswaarden voor repeterend handelen is echter nodig vanwege maskeringseffecten, aldus Hall (1995).

Bevindingen bij gereedschapsgebruik

Hall (1995) vond piekdrukken tot ver boven 1000 kPa bij het dichtknijpen van middelzware en zware plaatscharen. Respondenten scoorden ook relatief hoog op een schaal van ervaren lokale druk en de drukpijngrens werd bij een aantal proeven overschreden. Bij het hanteren van een boor of nijptang waren de piekdrukken gemiddeld lager dan 250 kPa en trad ook weinig ongemak op. Piekdrukken waren redelijk hoog bij gebruik van een schroevendraaier (600 kPa) en matig hoog bij de zaag en de lichte plaatschaar (350 kPa). De gemeten drukken op het Carpalligament (plaats waar pols overgaat in de palm, tussen pink en duimmuis) blijken bij alle gebruikte gereedschappen gering te zijn. De auteur ziet hierin dan ook geen verklaring van eventuele CTS, dit zijn aandoeningen aan de Carpaaltunnel, de doorgang voor pezen en zenuwen van hand naar onderarm. Polsstand en -beweging lijken meer een risicofactor voor CTS.

Bij maximaal knijpen in en trekken (20kg) aan cilindrische grepen van verschillende diameter (10-100mm) vindt Hall (1995) dat de verdeling van de druk over de vingers redelijk tot goed is en de voorkeur van gebruikers (oordeel groep mannen + vrouwen samen) het grootst voor grepen met diameters tussen 30 en 40mm. Voor mannen moet men deze wat groter, voor vrouwen wat kleiner kiezen. Er is duidelijk geen voorkeur voor diameters >60mm en <30mm. Bij grote diameters (>70mm) ontstaan tijdens knijpen piekdrukken op de eindkootjes van met name wijsvinger en duim; bij trekken vooral op de palmzijde van de middelste 3 vingers (haakgreep).

Handschoengebruik

Over de invloed van handschoengebruik kan niet veel geconcludeerd worden door gebrek aan gegevens in de beschikbare literatuur. In geval van piekdrukken kan de handschoen de druk over de huid wel verdelen, zeker als op drukplekken versterkende materialen aangebracht zijn (leren opzetstukken bijvoorbeeld). Anderzijds kan een slechte afwerking van de binnenzijde juist lokale druk veroorzaken.

Opzetstukken die niet goed meebuigen met de vingers kunnen de knijpbelasting verhogen (zie hoofdstuk 8).

Kwalitatieve beoordelingspunten

De volgende aandachtspunten zijn ontleend aan Hall (1995). Deze dienen om ongunstige effecten van te hoge plaatselijke drukken in de hand te vermijden:

- hou knijp- en contactkracht laag;
- maximaliseer contactoppervlak hand en gereedschap;
- maak geen vingergroeven in handgrepen maar volg de contour en ruimte van de hand en gebogen vingers;
- voorzie kanten en hoeken van grote afrondingen;
- voorzie greepoppervlak van enigermate indrukbaar materiaal (rubber of plastic);
- elimineer uitsteeksels in oppervlakte van handgreep (rillen, noppen);
- beperk blootstelling (druk * tijdsduur);
- beperk druk op duimmuis, de huidplooi tussen duim en wijsvinger en het centrum van de palm.

9.1.4 Grenswaarden voor wrijvingskracht in de hand

Optredende lokale wrijvingskrachten langs de huid kunnen oorzaak zijn van blaarvorming (Hall, 1995; Bullinger & Solf, 1979). Bij voldoende drukkracht in de hand en toenemende wrijvingskracht langs de huid rekt de huid eerst 3-7 millimeters ('stick'). De rek is afhankelijk van de plaats op de huid. Daarna treedt afwisselend 'stick' en 'slip' op en vervolgens alleen 'slip' (Bullinger & Solf, 1979). Met name 'stick-slip' is schadelijk voor de huid (Bullinger & Solf, 1979). Het schurende effect van slip veroorzaakt na enige tijd roodverkleuring en vervolgens blaren. De tijd tot het optreden ervan is afhankelijk van het wrijvingsgedrag en de individuele belastbaarheid van de huid.

Het wrijvingsgedrag is van veel factoren afhankelijk, zoals:

- aandrukkracht;
- snelheid van slip als slip optreedt;
- grootte en aard van het contactoppervlak;
- vorm en materiaal van de greep;
- bewegingsrichting ten opzichte van de lijnen op de huid;
- aanpassing van de huid (vereelting);
- al of niet nat, vochtig of vuil worden van het contactvlak;
- al of niet dragen van handschoenen.

In beschikbare ergonomische literatuur is nauwelijks informatie gevonden waaruit concrete richtlijnen zijn te distilleren voor grenswaarden ter bescherming tegen blaarvorming of an-

dere overbelasting door wrijvingskrachten op de huid van de hand. Enige informatie over relatieve wrijvingscoëfficiënten van verschillende soorten materialen en de oppervlaktekennmerken van handgrepen zijn te vinden in Bullinger en Solf (1979). Absolute grenswaarden, afhankelijk van bijvoorbeeld knijpkracht en oppervlaktegesteldheid geven de auteurs evenmin, gezien de complexiteit van de vele (moeilijk meetbare) factoren die een rol spelen. De volgende 3 categorieën voor relatieve wrijvingscoëfficiënten zijn uit de literatuur (Bullinger & Solf, 1979) af te leiden:

- relatieve wrijvingscoëfficiënten van veel gebruikte greepmaterialen (plexiglas = 100%):

nr	kwalificatie	%	materiaal
a	hoog	100-70	plexiglas, (hard)rubber, koper, messing verchroomd
b	middel	70-35	staal verchroomd, aluminium, PVC, glas, gelakt hout
c	laag	35-20	generfd leer, essenhout, beukenhout

- vastgrijpen zonder tussentijds overpakken of verschuiven van de hand op greep of steel
Voor grepen die een grote overdracht van wrijvingskracht vereisen is een hoge wrijvingscoëfficiënt vereist om de knijpkracht beperkt te kunnen houden. Is na een geleverde actiekracht geen overpakken of verschuiven nodig, dan is een *vormgesloten koppeling* hand-greep veel minder belastend (Bullinger & Solf, 1979);
- vastgrijpen met tussentijds overpakken of verschuiven van de hand op greep of steel
Vaak wordt *wrijfgesloten* koppeling in grepen bewust toegepast als de greep ook in de hand moet kunnen schuiven of verdraaien voor een volgende cyclus van kracht zetten. Het resultaat is een groter actiebereik van het gereedschap dan alleen mogelijk of wenselijk zou zijn door gewrichtsuitlagen en de belasting in die segmenten.
- Voorbeelden zijn: steel schep schuift in rechter hand, heft handschroevendraaier draait in hand terug (vingers losjes erom heen) telkens als men een slag gemaakt heeft. In dat geval moet de wrijving niet te hoog zijn (geen materiaal uit klasse 'a'), omdat anders snel blaarvorming optreedt.

In gespecialiseerd onderzoek van gereedschapproducten wordt doorgaans aandacht besteed aan de prestaties met handgereedschap bij wrijfgesloten koppeling (bijvoorbeeld onderzoek aan heften van schroevendraaiers). Geregeld wordt ook de benodigde knijpspierinspanning (EMG) en/of het lokaal ervaren ongemak in de hand bepaald (Strasser, 1994; Kadefors et al., 1993). Productspecifieke richtlijnen zijn niet het doel van deze publicatie.

9.2 Methode van bepaling van de richtlijn

Gezien de stand der kennis kunnen slechts voorlopige globale richtlijnen opgesteld worden. Het is niet aan te geven of deze waarden veilig zijn; enige ongunstige korte termijn effecten kunnen wel voorkomen worden. De prEN 1005-3 vermenigvuldigingsfactoren zijn niet toepasbaar, omdat het hier niet om spierkracht gaat.

Piekdrukken

De drukpijngrens dient bij handgereedschapsgebruik of het vasthouden van een greep, hengel, beugel of uitsparing aan een verpakking niet overschreden te worden.

Met de gemiddelde variantiecoëfficiënt van 0,40 (Hall, 1995 studie II) en Z-transformaties kan als benadering van percentielen voor mannen het volgende berekend worden. Voor de gevoeligste gebieden in de hand mag de toelaatbare piekdruk niet groter worden dan $3,5 \text{ kg/cm}^2$ (10%iel=geel), c.q. 9 kg/cm^2 (75%iel= rood). Wordt alleen de vingerhuid op druk belast (tillen, dragen, trekken met gebogen vingers), dan lijkt kortstondig een grenswaarde van 4,5 c.q. 11,5 verantwoord ($1,25 \times$ de grenswaarden van hierboven (uit Hall, 1995)). Het is plausibel dat direct hierna herstel moet volgen.

Aanvullend op mogelijke knelpunten beschreven in de literatuur is de ervaring dat hoge piekdrukken kunnen ontstaan bij slaan of hard duwen op de kop van handgereedschap, zeker als dit gebeurt met het centrum van de palm (beitel, priem); verder bij het uitoefenen van grote draaimomenten met de vuist in een vormgesloten greep (T-greep om verticale as verdraaien; kurkentrekker; hilt op schepsteel bijvoorbeeld). Hierbij is voorspelbaar dat grote drukken ontstaan aan de uiteinden van de greep op de huid van de pinkmuis, de duim en de wijsvinger. Deze situaties beschouwen we als risicovol.

Incidenteel en kortstondig lijkt het verantwoord piekdrukken tot deze bovenste grenswaarden toe te laten. Arbitraire grenzen van 12/uur (incidenteel) en 3 seconden (kortstondig) worden gehanteerd in de Arbouwrichtlijn.

Veiligheidsmarge

Conform de overwegingen in prEN 1005-3 (zie hoofdstuk 5) is een extra veiligheidsmarge aan te bevelen. Om niet in de buurt van de pijngrens te komen lijkt een reductie tot 70% hier wel acceptabel. De vier grenswaarden voor piekdruk worden dan respectievelijk (afgerond op halve kg): 2,5; 6,5; 3; 8 kg/cm^2 .

Langer volgehouden contactdrukken

Een blootstelling van 50% (PPT) kan maar ongeveer 3 minuten volgehouden worden tot aan de drukpijngrens. We nemen hier ook een veiligheidsmarge van 70%. Onderscheid

naar drukgebieden in de hand zoals vingers, handpalm, etc. is gezien de lagere waarden hier niet meer zo zinvol. Alleen de plek in het centrum van de palm is minder geschikt voor duurbelasting (1 minuut). Voor gespreide exposities over een hele dag (kies > 2 uur in lijn met prEN1005-3), met herstelmogelijkheden tussendoor, zouden voorlopig de acceptabele grenswaarden op 10% PPT gelegd kunnen worden (dit is de door proefpersonen voorspelde laagste acceptabele grens voor duurbelasting op de gevoeligste plekken). De toevoeging tussentijds 'herstel' is op basis van een expert guess, immers in de literatuur wordt voor continue ononderbroken blootstelling een veel lagere waarde (0,1 kg/cm²; 10kPa) genoemd. Voor herhaalde drukuitoefening kunnen geen grenswaarden gedifferentieerd naar frequenties gegeven worden.

Is de situatie zo dat door huidverweking de weerstand van de huid afneemt, dan zijn eigenlijk maatregelen gewenst (handbescherming) of de druk moet zo laag mogelijk gemaakt worden. Voor situaties met langere blootstelduren speelt dit het meest en wordt de categorie 'geel' gegeven.

De grootte van het contactoppervlak en de mate waarin de druk verdeeld is zijn globaal te beoordelen aan de hand van zwartingsafdrukken van de greep op de hand (Feggeler et al., 1992); met drukgevoelige folie tussen greep en handhuid (Hall, 1995) of nauwkeuriger door meting met druksensoren die op de hand aangebracht zijn (Hall, 1995). Dit is echter omslachtig voor een eerste ruwe beoordeling in de bouw (wellicht is zwarting nog wel bruikbaar). In de Arbouwrichtlijn wordt een berekeningsmethode gegeven voor een ruwe schatting.

Wrijvingskrachten op de hand

Lage wrijvingskrachten in de hand hebben de voorkeur boven hoge. Een grenswaarde voor wrijvingskrachten is niet te geven.

Treden klachten op of zijn beginnende aandoeningen of aanpassingen aan de huid zichtbaar (pijn, rood, ruw, drukplekken, eeltvorming of beginnende blaarvorming) of wordt waargenomen dat tijdens krachtzetten 'stick-slip' optreedt, dan zou voor incidenteel voorkomende situaties (arbitrair gesteld op < 4/uur; verdeeld over de dag) het oordeel 'geel' en voor vaker voorkomende handelingen het oordeel 'rood' moeten worden gegeven. Bijna altijd duurt 'slip' maar kort in het deel van de cyclus dat kracht gezet wordt. De hele cyclus bestaat uit vastpakken, overpakken of verschuiven en weer vastpakken.

9.3 Voorlopige Arbouwrichtlijn

De stand der kennis is beperkend voor het opstellen van definitieve valide en praktisch bruikbare richtlijnen. Hieronder worden voorlopige *gezondheidskundige grenswaarden* voor contactdruk en wrijving in de hand geformuleerd. Tabel 5.1 of 5.2 hoeft hier niet toegepast te worden.

9.3.1 Voorlopige richtlijn voor drukcontact in de hand

Bij gebruik van handgereedschap wordt de beoordeling van 'contactdruk in de hand' in eerste instantie altijd:

'rood' In alle volgende gevallen dat:

- lokale *drukpijn* of gevoel van *insnijden* in de hand
 - wordt gerapporteerd, of
 - reden is om de werkzaamheid (tijdelijk) te onderbreken;
- *piekdruk: incidenteel (< 4/uur) en kortdurend (< 3 sec)* optreedt op de:
 - palmzijde van de vingers $> 8\text{kg/cm}^2$
 - palmzijde van de rest van de hand $> 6\text{kg/cm}^2$
- men met handpalm *hard duwt of slaat* op heft of greep met relatief klein oppervlak (beitel, priem);

'geel' Bij gespreid gebruik van handgereedschap over de dag *gedurende meer dan 1 uur en één of meer knelpunten treden op:*

- *hinderlijke drukpunten* (zonder pijn)
- observeerbare plekken op de handgreep die potentiële *piekdrukken* kunnen veroorzaken bij grote krachten of momenten zoals bij:
 - ineffectief gevormd contactoppervlak (cilindrische grepen met kleine diameters ($d < 2\text{ cm}$) of uitsparingen ($b < 2\text{ cm}$) in dunnen wand voor een haakgreep);
 - grote draaimomenten in vormgesloten greep met kleine diameter of omtrek (bijvoorbeeld tapijzer indraaien);
 - greepoppervlak vertoont (vinger)groeven, rillen, noppen, naden;
 - greep drukt op meest gevoelige plekken van de hand (duimmuis, huidplooi, centrum palm);
 - greep volgt niet globaal de contour van de gesloten hand;
 - hoeken of kanten van greep zijn niet voorzien van afrondingen;
 - greep is niet voorzien van enigermate indrukbaar rubber of plastic omhulsel;
 - hand-armtrillingen worden doorgeleid (zie voor nadere beoordeling

hoofdstuk 10);

- combinaties van hoge druk en wrijving op de huid;
- grote kans op huidverweking door vocht of nattigheid

De situatie kan na nader onderzoek alsnog 'groen' worden als aangetoond kan worden dat de drukken lager blijven dan vermeld in tabel 9.1;

- 'groen'
- Als de contactdrukken lager zijn dan $0,1 \text{ kg/cm}^2$.
 - Geen klachten over piekdrukken geuit worden door de gebruikers.

Een beoordeling van toelaatbare drukken kan plaatsvinden aan de hand van de voorlopige richtlijn die in tabel 9.1 is weergegeven. Daaronder staat een rekenprotocol voor een eerste ruwe schatting.

Tabel 9.1 Voorlopige gezondheidskundige richtlijn voor beoordeling van toelaatbare drukken op de palmzijde van vingers en handpalm

blootstelling	druk (kg/cm^2)	
	groen/geel	geel/rood
incidenteel ($< 4/\text{uur}$) en kortdurend ($< 3 \text{ sec}$)		
• handpalm, duim, duimmuis	2,5	6
• vingers, pinkmuis	3	8
< 1 minuut achtereens + ruim herstel erna		
• centrum handpalm	1,5	3
< 3 minuten achtereens + ruim herstel erna		
• vingers, handpalm, duim, duimmuis, pinkmuis	1,5	3
2-8 uur afwisselende contactdruk	0,3	0,6
nagenoeg ononderbroken contactdruk	0,1	0,1

Voor situaties van langdurig herhaald optredende handcontactdruk kiest men het beste uit de onderste 2 rijen.

Rekenprotocol voor een eerste ruwe schatting van contactdruk bij trek-, til- of duwkracht haaks op het effectieve contactvlak van de huid

Voor de drukverdeling bij greepomspannende knijp- of grijpkracht is een nader onderzoek nodig.

Voor tillen, trekken met de vingers of duwen met de palm kan in eerste instantie de volgende ruwe berekeningswijze gehanteerd worden.

Verondersteld is dat de druk op de vingers en de palm redelijk goed verdeeld is

- greep, hengel of uitsparing met relatief kleine diameter ($d < 2 \text{ cm}$) of dikte ($b < 2 \text{ cm}$)
 - A. bereken het effectief drukoppervlak: het product (d of b)*breedte van het contactvlak;
 - B. meet de duw- of trekkracht haaks op dit contactoppervlak;
 - C. bereken B/A [kg/cm^2];
- greep met relatief groot contactoppervlak (bolgreep, grote cilinder, hoekgreep)
 - trek met pen contour op deel van de hand dat ingedrukt is en meet oppervlak;
 - handel verder als bij B en C.

Controleer op ongelijke drukverdeling (observeren, voelen, navragen, deskundige laten meten).

Voorbeeld 1

Stel 18kg met 1 hand en gestrekte arm trekken aan een cilindrische greep met cirkelvormige doorsnede, diameter 4 cm, lang 10 cm. Ter breedte van 3 cm en lengte van 6 cm wordt de kracht goed haaks door het effectieve contactvlak geleid. Let op: contactvlakken die niet loodrecht op de krachtrichting staan niet meetellen; die zijn minder of geheel niet effectief. De globaal berekende druk is dan gemiddeld $18/18 = 1 \text{ kg/cm}^2$.

Voorbeeld 2

Dragen van emmer met gereedschap erin (14kg) en rechthoekige plastic greep (met afrondingen).

Gemeten contactlengte 7cm, dikte 1 cm, dan is de druk op de vingerkootjes gemiddeld 2 kg/cm^2 .

9.3.2 Voorlopige richtlijn voor wrijvingscontact in de hand

Gezondheidskundige grenswaarden voor wrijvingskracht in relatie tot duur en frequentie kunnen niet geformuleerd worden. Op grond van een expert guess zijn wel enkele kwalitatieve beoordelingen mogelijk. Bij gebruik van handgereedschap wordt de beoordeling van 'wrijving in de hand' in eerste instantie altijd:

'rood' In de volgende gevallen:

- wrijvingsklachten of -aandoeningen (blaren, eeltvorming, pijn aan de huid) worden gerapporteerd;
- waarneembare 'stick-slip' tijdens krachtzetten vaker dan ($> 4\text{ keer/uur}$). Dit verschijnsel komt voor als de hand gaat slippen over de greep;

'geel' In de volgende situaties:

- waarneembare 'stick-slip' tijdens incidenteel krachtzetten ($< 4\text{ keer/uur}$);
- onjuiste keuze van de combinatie greep- of heftmateriaal en type grijphandeling (tabel 9.2) als dit vaker dan incidenteel voorkomt ($> 4\text{ keer/uur}$);

Tabel 9.2 Onjuiste combinaties van materialen in samenhang met het type grijphandeling

wrijvingscoëfficiënt (zie tabel 9.3)	grijphandeling
hoog	tussentijds overpakken of verschuiven van de hand is wel vereist
laag	tussentijds overpakken, verschuiven is niet vereist, maar wel een goed houvast

Tabel 9.3 Relatieve wrijvingscoëfficiënt van veel gebruikte handgreepmaterialen (plexiglas = 100%)

relatieve wrijvingscoëfficiënt	%	materiaal
hoog	100-70	plexiglas, hardrubber, koper, messing verchroomd
middel	70-35	staal verchroomd, aluminium, PVC, glas, gelakt hout
laag	35-20	generfd leer, essenhout, beukenhout

'groen' Alle andere situaties met wrijving, waarbij geen klachten optreden.

Aanvullende gegevens voor bepaalde specifieke producten zijn soms in de literatuur te vinden. Door het voorlopige karakter van de richtlijn en het groot aantal factoren dat een rol kan spelen bij het wrijvingscontact met de hand kan geen zekerheid gegeven worden dat de situatie veilig is.

10. HAND-ARMTRILLINGEN

10.1 Literatuur

10.1.1 Inleiding

Men spreekt van hand-armtrillingen als gereedschappen, hendels, apparaten of andere voorwerpen trillingen of stoten in hand, vingers of pols, in arm of elleboog en eventueel ook in schouders, nek of rug veroorzaken.

Aangedreven handgereedschappen komen in de bouw zeer veel voor. Behalve geluid kunnen deze ook vaak trillingen en stoten of mechanische schokken produceren. Doorgeleide trillingen of stoten veroorzaken periodieke, repeterende krachten of piekkrachten op de vingers en handen, die afhankelijk van de demping in het hand-armsysteem verder het bewegingsapparaat, schouders, nek en rug, ingeleid worden. Hoe ver is afhankelijk van de frequentie en de aard van de trillingen of de stoten. Het gevoeligste gebied is het frequentiegebied van 6-16 Hz. Op langere termijn kunnen aandoeningen ontstaan aan bloedvaten, zenuwen, botten, gewrichten en spieren. Behalve lokaliseerbare aandoeningen in handen, polsen, armen of elleboog treden soms ook meer algemene klachten op, zoals vermoeidheid, prikkelbaarheid en slaapstoornissen.

Duidelijk zichtbaar meebewegen van ledematen komt voor bij pneumatische sloophamer of stampers. Soms zijn trillingen of stoten alleen voelbaar en minder goed tot slecht observeerbaar.

De primaire bron van de trillingen of stoten verschilt per situatie. Sommige aangedreven gereedschappen voeren aan de werkHzijde trillende of stotende bewegingen uit, zoals de vlakschuurmachine, klop- of hamerboor, pneumatische sloophamer, kitverwijderaar en schietgereedschap of hebben trillingen als bij-effect van een verspanende bewerking, zoals reciproke-, ketting- of cirkelzaag). *De bewerkingen vormen hier de primaire bron.*

Bij andere handgereedschappen is de *aandrijving de primaire bron* van trillingen. In handgrepen van handgereedschappen die door een verbrandingsmotor aangedreven worden, zoals een kettingzaag of een doorslijpschijf, kunnen flinke trillingsniveaus voorkomen. Maar ook bij elektrische aandrijvingen die versleten zijn, worden vaak trillingen geproduceerd.

Het probleemgebied van *hand-armtrillingen* is omvangrijk en complex. Eerdere richtlijnen voor de bouw (Arbouw-advies nr. 9) bevatten globale informatie over grenswaarden. In dit

document worden recente bronnen met betrekking tot richtlijnen-ontwikkeling gebruikt voor de noodzakelijke aanvullingen.

Specifieke gezondheidseffecten van trillingen en stoten die bij blootgestelde werknemers gevonden zijn (Johanning et al., 1997; Griffin, 1997), zijn aandoeningen aan:

- de bloedcirculatie (bijvoorbeeld tintelingen in hand, witte vingers), vaak gepaard aan effecten van de 3e categorie;
- botten, gewrichten en spieren, vooral in pols- en ellebooggewricht. Spieraandoeningen lijken vooral gerelateerd te zijn aan gebruik van laag frequent trillend en stotend handgereedschap;
- de zenuwgeleiding in hand of arm. Ook effecten op het centrale zenuwstelsel worden beschreven.

De klachten kunnen mede ontstaan door langdurig volgehouden ongunstige houdingen, repeterend handelen en statische belasting van het hand-armsysteem; dat maakt het zoeken naar specifieke oorzaken door trillingen of stoten lastig.

Bij intensieve dagelijkse blootstelling aan trillingen of stoten kunnen na jaren onomkeerbare meervoudige aandoeningen ontstaan (chronische pijn; stoornis in de perifere zenuwgeleiding, huid- en botafwijkingen). Het *sluipende kwaad* is dat de gevolgen soms pas vele jaren later zichtbaar worden (latentietijd).

In *vroege stadia* zijn de effecten nog *enkelvoudig en meestal omkeerbaar*, vooral als het gaat om klachten aan de bloedvaten in de hand. Bij toenemende expositie treedt vaak cumulatie van symptomen op. De epidemiologische kennis over het ontstaan van aandoeningen door trillingen en stoten, met name over de dosis-responsrelaties, is nog verre van volledig (Gemne et al., 1993; Griffin, 1997).

10.1.2 Afgeleide risico's

Toch zijn er al indicaties dat de volgende risicofactoren van groot belang zijn (zie bijlage 1):

- blootstellingsduur in uren per dag en beroepsmatige blootstelling in jaren;
- de gemiddelde trillingssterkte, die uitgedrukt wordt in frequentie-gewogen effectieve versnellingen geproduceerd in de contactzone hand-machine (bijvoorbeeld handgrepen);
- piekversnellingen (duur: enkele seconden tot minuten).

Verder lijken de volgende risicofactoren *medebepalend*, c.q. mogelijk verergerend, voor het ontstaan van gezondheidseffecten in het bewegingsapparaat (Johanning et al., 1997; Griffin, 1997; Gemne, 1993):

- a. impulskarakter van stoten erger dan periodiek, harmonisch of stochastisch karakter;
- b. klein contactvlak handgereedschap-hand erger dan groot;
- c. grote vereiste knijp- en duwkracht met handpalm erger dan kleine;
- d. trillingen in langsrichting van botstaven erger dan dwars erop;
- e. met blote handen werken in kou en vocht;
- f. bestaande klachten aan vingers, handen en armen;
- g. vaatvernauwende leefgewoonten, medicatie of ziekten.

Kwantitatieve gegevens hierover zijn niet voor handen; alleen kwalitatieve.

10.1.3 Bestaande richtlijnen en normen

Het op de juiste wijze meten en correct beoordelen van de verschillende risicofactoren in de praktijk is doorgaans geen eenvoudige zaak; om een juiste meting in de praktijk te doen is apparatuur en deskundigheid nodig. De beoordelings- en wegingsmethodieken voor de trillingsbelasting, zoals die in (NEN) ISO-richtlijnen vastgelegd zijn, staan bloot aan wetenschappelijke kritiek (Griffin, 1997; Gemne et al., 1993).

De kritiek spitst zich toe op de volgende punten:

1. de beperkte voorspellende waarde die de 'type test' voor emissiewaarden van handgereedschap of handgeleid gereedschap heeft voor het gebruik in praktijkomstandigheden (validiteitsvraag). De tests hebben volgens de auteurs uitsluitend een indicatieve waarde;
2. de juistheid van de frequentie-afhankelijke wegingsmethodiek met als gevolg een mogelijke onderschatting van de ongunstige invloed van hoogfrequente trillingen en;
3. de wijze waarop een dag- of jarendosis bij onderbroken blootstellingen wordt bepaald. Het onderscheid tussen een deel van de tijd 'continu werk', of 'intermitterend werk met pauzes', 'seizoenwerk' wordt in vigerende normen niet meegewogen.

De grenswaarden zijn weliswaar bruikbaar maar kunnen niet per se als veilig of onveilig bestempeld worden. Men moet ook alert blijven op eventueel optredende klachten ten gevolge van trillingen of stoten. In onderstaande richtlijnen is het *actief bewaken* van eventueel vroege symptomen van klachten dan ook een belangrijke actiecategorie.

Wettelijke beschermende expositiegrenswaarden zijn er in Nederland (nog) niet, zoals ook in veel andere landen niet. Wel zijn er voorlopige richtlijnen of grenswaarden geformuleerd door diverse gerenommeerde instellingen zoals NIOSH (1989), ACGIH (1994) en de CEN

(Gemne et al., 1993; Griffin, 1997). NIOSH beperkt zich tot de uitspraak dat de trillingsbelasting zo laag mogelijk dient te zijn en benoemt een aantal mogelijke structurele maatregelen.

Op Europees niveau (CEN) is men vrij ver met de consensus over grenswaarden (CEN/TC 281/WG2); ontwikkeling vindt momenteel zoveel mogelijk plaats in harmonie met ISO 5349. In de werkpraktijk richt men zich al vaak naar de (NEN) ISO-richtlijnen.

De machinerichtlijn (89/392EEC) is sinds januari 1997 van kracht (Gaspar & Macdonald, 1996). Daarin is ook een grenswaarde voor emissie van hand-armtrillingen vermeld. Daaraan is een *informatieverplichting* voor de fabrikant/leverancier van de machine gekoppeld. Bij *trillingssterktes* van ' a_f ' > 2,5 ms⁻² (zie bijlage 1), per handgreep gemeten en beoordeeld, moet de trillingssterkte in de handleiding vermeld worden. De trillingsemissie per type machine en per handgreep wordt gemeten tijdens gestandaardiseerde laboratoriumtesten (NEN-ISO 5349); beschrijvingen van specifieke typentesten zijn te vinden in de reeks ISO 8662/1-n; n staat voor een cijfer voor een specifiek type machines).

Voor een *eerste indicatie* is de verplicht vermelde emissiewaarde in combinatie met de blootstellingsduur bruikbaar voor toetsing aan onderstaande ontwerp-richtlijn voor 'fysische agentia' die in EU-verband (EU, 1994) is opgesteld. Franse richtlijnen zijn hiervoor een belangrijke grondslag geweest (ISSA/Christ, 1989). De EEG-ontwerp-richtlijn omvat grenswaarden voor de combinatie van emissiewaarden en blootstellingsduur per werkdag. Hieraan zijn verschillende actiecategorieën verbonden (Griffin 1997; Gemne et al., 1993). De voorstellen liggen bij de Europese raad voor verdere besluitvorming; na eventuele aanpassing en mandatering zal de richtlijn in de Nederlandse wetgeving opgenomen moeten worden.

Grenswaarden voor eq-gemiddelden

Op basis van inzichten dat de *dosis overgedragen equivalente trillingsarbeid* waarschijnlijk één van de belangrijkste bepalende factoren is voor eventuele schadelijke gevolgen van hand-armtrillingen zijn zogenaamde eq-grenswaarden geformuleerd. Dit zijn gemiddelden die gedurende een 8-urige blootstelling per werkdag nog toelaatbaar zijn.

Tabel 10.1 Drie typen grenswaarden voor 8-urige blootstellingen ' a_f (eq8)'

1 ms ⁻²	gezondheidsgrens	'Threshold Level' (TL)
2,5 ms ⁻²	actiegrens	'Action Level' (AL)
5 ms ⁻²	maximum grens	'Exposure Limit' (EL)

De dosismaat houdt in dat aan combinaties van frequentie-gewogen effectieve versnellingen en duur grenzen zijn gesteld (Griffin, 1997). Voor exposities die korter duren dan 8 uur per dag zijn hogere gemiddelden toelaatbaar (Griffin, 1997; zie ook voorbeeld in bijlage 1). De emissiewaarde van $2,5 \text{ ms}^{-2}$ in bovenvermelde machinerichtlijn is gelijk gekozen aan de geformuleerde actiegrens 'AL' voor 8 uur exposities per dag. Voor verdere uitwerking van expositietijden en toelaatbare gewogen versnellingen alsmede de vereiste acties wordt verwezen naar paragraaf 10.3.

Grenswaarden voor eq-pieken

Bij kortstondige blootstellingen (enkele minuten) gepaard aan hoge frequentie-gewogen trillingsversnellingen is de samenhang van de dosis overgedragen trillingsenergie (eq-waarden) enerzijds met een verhoogde kans op aandoeningen op de langere termijn anderzijds wetenschappelijk echter niet goed onderbouwd (Griffin, 1997). In oudere richtlijnen zou bij een EL van $\text{af}(\text{eq}8) = 5 \text{ ms}^{-2}$ en een duur van 1,5 min een $\text{af}(\text{eq} 1,5) = 85 \text{ ms}^{-2}$ de uiterste bovengrens voor de gewogen versnellingen mogen zijn. Dergelijke kortstondige piekbelastingen bieden echter te weinig bescherming (Griffin, 1997).

In de meest recente EU-richtlijnen zijn daarom tevens voorstellen voor grenswaarden voor eq-pieken opgenomen. In het voorstel formuleert men het begrip 'kortstondig', te weten 'enkele minuten'. Wij kiezen '3'. Bij de volgende grenswaarden voor de $\text{af}(\text{eq}3)$ dienen de volgende maatregelen genomen te worden:

$\text{af}(\text{eq}3) > 10 \text{ ms}^{-2}$: gevaar verminderen

$\text{af}(\text{eq}3) > 20 \text{ ms}^{-2}$: gevaarlijke taak: melden aan bevoegd gezag en machine markeren.

Afgewacht moet nog worden welke rol de Nederlandse overheid (Arbeidsinspectie) in navolging op de Europese ontwerp-richtlijn op zich zal nemen bij de monitoring en beheersing van beroepsgebonden trillingsproblematiek.

10.2 Methode van bepaling van de richtlijnen

Het nauwkeurig vaststellen en beoordelen van hand-armtrillingen is complex en vereist deskundigheid. Voor de Arbouw-richtlijn is een eenvoudige opzet vereist. Een eerste ruwe beoordeling wordt daarom gebaseerd op trillingssterktes en een taakanalyse van het gebruik van trillend of stotend gereedschap. Uitgangspunt daarbij is dat leveranciers van handgereedschap voldoen aan de machinerichtlijn, die verplicht tot vermelding van trillingssterktes $\text{af} > 2,5 \text{ ms}^{-2}$.

De bij het handgereedschap geleverde informatie over gestandaardiseerd gemeten emissiewaarden conform ISO 5349 en ISO 8662/1-n (per handgreep of ander contactgebied handgereedschap) biedt slechts een indicatie voor de emissie tijdens gebruiksomstandigheden; vaak zijn de exposities in de praktijk echter hoger dan in de testen. De voorspellende waarde van indicaties is beter naarmate de 'type-testen' en de verschillende gebruiksomstandigheden in de praktijk meer overeenstemmen. Het is verstandig bij het gebruik een *veiligheidsmarge* te hanteren; zeker als het om stotend handgereedschap gaat. Ontbreekt de juiste informatie, dan moet de leverancier om aanvullende informatie gevraagd worden en/of moet daadwerkelijk in de praktijk gemeten worden met versnellingsopnemers op de handzijden van het gereedschap, conform voorgeschreven protocollen. In de praktijk kan men het meten in zulke gevallen beperken tot die situaties waar sprake is van duidelijk voelbare hand-armtrillingen of stoten.

Voor een schatting van de totale blootstellingsduur per dag (uit taakanalyse) worden de *perioden van daadwerkelijk gebruik opgeteld*. In de voorlopige richtlijnen is (nog) geen onderscheid gemaakt tussen perioden van werk met c.q. zonder trillend gereedschap (*intermitterende expositie*) of gedurende een aaneengesloten periode (*continue expositie*) per dag. De EU-ontwerprichtlijn in tabel 10.2 geldt voor continu gebruik. Intermitterend gebruik lijkt veiliger en het streven moet daarop gericht zijn (Griffin, 1997). De beoordeling met behulp van tabel 10.2 blijft bij intermitterend gebruik zodoende al aan de veilige kant. Dit geldt evenzeer voor gebruik gedurende perioden in een jaar (zoals bij seizoenarbeid).

Voor beoordeling van piekniveaus formuleert men het begrip 'kortstondig', namelijk 'enkele minuten'. Wij kiezen hiervoor 3 minuten.

De meest recente EU-ontwerprichtlijn onderscheidt feitelijk 4 actieniveaus; dit sluit niet zo goed aan bij het streven naar een indeling in klassen 'groen, geel, rood' voor een Arbeidsrichtlijn. Om aansluiting te houden met Europese ontwikkelingen (4 klassen) is gekozen voor een extra klasse 'groen/gearceerd', met als actie 'het geven van voorlichting'. Het onderscheid naar de kleuren 'geel en rood' houdt verhoogde risico's in. De kleuren alsmede de aard van de blootstelling (kortstondig versus langdurig) vereisen verschillende soorten acties, waarbij het accent bij overschrijden van grenswaarden voor langdurige blootstellingen ligt op voorlichting, training en bewaking (zie formuleringen bij de tabel 10.3 in § 10.3) en bij overschrijden van 'kortstondige' op maatregelen aan de bron. Volgt men het NIOSH-advies dat niet gekoppeld is aan grenswaarden, dan dient men ook steeds te streven naar zo laag mogelijke niveaus van overgedragen trillingsenergie (dempen van de trillingen zo veel als mogelijk aan de bron en blootstellingsduur zo kort mogelijk). Dit roept de vraag op of er een ondergrens is die geen actie vergt. Op grond van de huidige kennis is het zeer aannemelijk dat de ondergrens van ' $a_f(eq8) < 1 \text{ ms}^{-2}$ ' een veilige is.

Afgewacht moet nog worden welke rol de Nederlandse overheid (Arbeidsinspectie?) in navolging op voorschriften in de Europese richtlijn op zich zal nemen bij het ontvangen van meldingen, bij de monitoring en beheersing van beroepsgebonden trillingsproblematiek. Nader onderzoek lijkt ons vereist als trillingen duidelijk voelbaar of zichtbaar zijn en niet is aangetoond dat deze onschadelijk zijn.

10.3 Arbouw-richtlijn

10.3.1 Toelaatbare grenswaarden voor hand-armtrillingen per handgreep

De onderstaande richtlijn voor hand-armtrillingen dient men in eerste instantie toe te passen op taken waar blootstelling aan hand-armtrillingen, schokken of stoten voorkomt. Dit is het geval bij aangedreven machines die trillingen of stoten genereren of bij niet-aangedreven handgereedschap waarop stoot- of slagkracht uitgeoefend wordt.

De beoordeling vindt plaats per handgreep.

1. *de trillingssterktes aan de handgrepen zijn onbekend*

Zolang geen nader onderzoek is ingesteld om aan te tonen dat de kans op schade klein is, worden onderstaande situaties als volgt beoordeeld:

- de situatie is 'rood' als:
 - de handen, armen of schouders *duidelijk zichtbaar* meebewegen of
 - handgereedschap gebruikt wordt dat een stotende (heen+weer) bewerking uitvoert of
 - specifieke klachten aan handen en armen optreden bij de gebruikers;
- de situatie is 'geel' als:
 - de trillingen of stoten *in handen voelbaar zijn, maar niet erg heftig en niet zichtbaar*, en de contactduur < 4 uur per dag is.

LET OP: 'geel' wordt 'rood' bij één of meer verergerende factoren (zie tabel 10.3)

- De situatie is 'groen', als nauwelijks of geen trillingen voelbaar zijn.

2. *de trillingssterktes aan de handgrepen zijn bekend. De machinerichtlijn is van toepassing op nieuwe machines voor professioneel gebruik. Vermelding van de emissie in de handleiding is verplicht als de trillingssterkte $> 2,5 \text{ ms}^{-2}$*

In de volgende situaties zijn de beoordelingen als volgt:

- altijd 'rood' als:

- de pieksterkte (kortstondig gemeten over 3 minuten) hoog is, $> 20 \text{ ms}^{-2}$.
- altijd ‘geel’ als:
 - de duur van het handcontact < 2 uur/werkdag is (blootstellingsperioden opgeteld) en de trillingssterkte redelijk laag is, $< 2,5 \text{ ms}^{-2}$ (zie handleiding van nieuwe machines)
- altijd ‘groen’ als:
 - de trillingssterkte per handgreep zeer laag is, $< 1 \text{ ms}^{-2}$. Er is geen nadere beoordeling nodig, tenzij onverhoopt toch trillingsgebonden klachten optreden of trillingen duidelijk voelbaar zijn. Waakzaamheid blijft geboden omdat:
 - de gebruikssituatie kan verschillen van de situatie waarin het type is getest;
 - slijtage is opgetreden;

In alle andere situaties wordt tabel 10.2 toegepast.

Tabel 10.2 Richtlijnen voor toelaatbare blootstelling aan hand-armtrillingen bij gebruik van aangedreven handgereedschap (zie § 10.3.2 voor verergerende factoren en § 10.3.3 voor de vereiste maatregelen)

trillingssterkte [ms ⁻²]*	blootstellingsduur per dag**					
	kortstondig < 3 min	3 min-½ uur	1/2-1 uur	1-2 uur	2-4 uur	4-8 uur
1-1,5	groen	groen	groen	groen	groen	groen/arceer
1,5-2,5	groen	groen	groen	groen	groen/arceer	groen/arceer
2,5-5	groen	groen/arceer	groen/arceer	groen/arceer	geel	geel
5-10	groen	groen/arceer	geel	geel	geel	rood
10-20	geel 1)	rood	rood	rood	rood	rood
≥20	rood 2)	rood	rood	rood	rood	rood

* Voor elke handgreep apart te beoordelen; meting en beoordeling aan de hand van de vectorsom van de trillingssterktematen conform (NEN) ISO 5349; als eerste ruwe indicaties kunnen emissiegegevens gebruikt worden uit handleidingen bij de machine of uit normbladen van de serie ISO 8662/1-n). Kies een risicoklasse hoger (meer naar ‘rood’ toe) als sprake is van een of meer verergerende factoren in tabel 10.3.

** Blootstellingsperioden per dag opgeteld. geel 1), rood 2) en ‘arceer’ betreffen extra actiecategorieën; zie paragraaf 10.3.2.

10.3.2 Verergerende factoren

Kunnen geen maatregelen genomen worden om de invloed van deze factoren te verminderen, dan moet in onderstaande gevallen een beoordeling in een hogere klasse, meer naar ‘rood’ gegeven worden.

Tabel 10.3 Verergerende factoren waarbij het oordeel voor de dosis hand-armtrillingen een klasse hoger gekozen moet worden (kleur meer naar 'rood')

a	impulskarakter van stoten of schokken
b	relatief klein contactvlak handgereedschap-hand
c	grote vereiste knijpkracht en duw- of trekkracht met handpalm of vingers
d	trillingen in de richting van de hartlijn van hand, onder- of bovenarm
e	met blote handen werken in kou en vocht
f	bestaande klachten aan vingers, handen en armen
g	vaatvernauwende leefgewoonten, medicatie of ziekten
h	bij gebruik emissiegegevens: praktijkomstandigheden en typen-test verschillen sterk

Handschoengebruik

- Het gebruik van speciale trillingdempende handschoenen is doorgaans weinig effectief in het omlaag brengen van de gewogen effectieve versnelling conform de ISO-richtlijnen. Een beoordeling met een klasse veiliger (meer naar 'groen') is niet verantwoord.
- Indien hinderlijke hoogfrequente trillingen optreden, die door de ISO-norm nauwelijks meegewogen worden in een beoordeling van de dosis, kan men speciaal ontworpen handschoenen wel toepassen. De verwachting is dat de demping doorgaans beperkt is.
- Om de verergerende factoren koude en vocht tegen te gaan kunnen werkhandschoenen wel helpen.

10.3.3 Maatregelen

Maatregelen moeten genomen worden bij de oordelen 'groen/arceer; geel en rood'. Streef er steeds naar om bij alle categorieën anders dan 'groen' de overgedragen dosis trillingen naar de handen zo laag mogelijk te maken. Verder dienen de volgende maatregelen genomen te worden (grotendeels gebaseerd op de ontwerprichtlijn EEG, 1994):

- 'groen':** geen maatregelen nodig, tenzij toch trillingsgebonden gezondheids- of vermoedheidsklachten optreden. Dan dient een deskundige geraadpleegd te worden;
- 'groen/arceer':** voorlichting geven aan de betrokkenen over hand-armtrillingen en de potentiële risico's daarvan;
- 'geel':**
- training geven aan de betrokkenen in nemen van beschermende maatregelen;
 - blootstelling tijdens werk bepalen;
 - beleidsprogramma van preventieve maatregelen opstellen;
 - werknemers recht geven op regelmatige gezondheidsonderzoek met vroegdiagnostiek voor het opsporen van aandoeningen door hand-armtrillingen;

- ‘geel 1)’:**
- dringend maatregelen nemen om gevaar te verminderen, prioriteit geven aan toepassing van trillingsarme handgereedschappen en werkmethoden, desnoods te bereiken door herontwerp;
 - in afwachting van maatregelen het beperken van de blootstellingsduur;
- ‘rood’:** gezondheidsonderzoek als onder ‘geel’ verplicht, overheid van de lidstaat wordt verondersteld de schadelijke effecten te bewaken;
- ‘rood 2)’:** gevaarlijke activiteit, gereedschap voorzien van waarschuwing, niet gebruiken zonder eerst een deskundige geraadpleegd te hebben.

LITERATUUR

- 1 ACGIH. Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Cincinnati, USA, 1994.
- 2 Arbouw. Arbouw richtlijnen voor fysieke belasting in de bouwnijverheid. Amsterdam: Arbouw, 1996.
- 3 Arbouw. Arbouw-advies voor de bouwnijverheid. Trillingen en schokken in de bouw: hand-armtrillingen. Arbouw advies 9. Amsterdam: Arbouw, 1993
- 4 Armstrong TJ. Mechanical considerations of skin in work. Am J Ind Med 1985;8:463-72.
- 5 Armstrong TJ, Punnett L. Subjective worker assessments of hand tools used in automobile assembly. Am Ind Hyg Assoc J 1989;50(12):639-45.
- 6 Bommel van R, Grinten van der MP, Evaluatie van een selectie van houdingen uit een Zweedse atlas met behulp van biomechanische en psycho-fysische gegevens. NIPG-TNO, Leiden, 1990. nr 90-069.
- 7 Byström S. Physiological response and acceptability of isometric intermittent handgrip contractions. Stockholm: National Institute of occupational Health, 1991. Arbete och hälsa 1991:38.
- 8 Bullinger HJ, Solf JJ. Ergonomische arbeitgestaltung I Systematik. Dortmund: BAU, 1979. Forschungsbericht nr 196.
- 9 Bullinger HJ, Solf JJ. Ergonomische arbeitgestaltung II Handgeführte Werkzeuge Fallstudien. Dortmund: BAU, 1979. Forschungsbericht nr 197.
- 10 Burandt U. Ergonomie für Design und Entwicklung. Köln: Verlag O.Schmidt, 1978.
- 11 Chaffin DB, Andersson GBJ, eds. Occupational biomechanics, 2nd ed. New York: Wiley & Sons, 1991.

- 12 Christensen H, Larsen J. Handgrip strength and forearm muscle activity during meat cutting. Premus 1995. In book of abstracts. Inst. de Rech. en Sante et en Secur. du Travail du Quebec, Montreal, 1995:72-4.
- 13 Daams BJ. Human force exertion in user-product interaction. Backgrounds for design. Delft: Fac of Design Engineering, Delft University of Technology, 1994.
- 14 DIN 33411-4. Körperkräfte des Menschen. Maximal statische Aktionskräfte (isodynem). Berlin: Beuth Verlag, 1987.
- 15 Douwes M, Dul J. Studies on the validity of a work-rest-model for static postures. In: Karwowski W, Smith JL, Pacholski L, eds. The ergonomics of materials handling. London (etc.): Taylor & Francis, 1993:341-3.
- 16 Dul J, Douwes M, Smitt P. Ergonomic guidelines for the prevention of discomfort of static postures based on endurance data. Ergonomics 1994;37:807-15.
- 17 Duque J, Masset D, Malchaire J. Evaluation of handgrip force from EMG measurements. Appl Erg 1995:61-6.
- 18 Eastman Kodak Company. Ergonomic design for people at work. Rodgers S et al., eds. Vol 2. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.
- 19 EU (EEC). Machinery Directive, 1989. Directive on the approximation of the laws of the member states, relating to machinery. 89/392/EEC. Amended by 91/368/EEC; 93/44/EEC; 93/68/EEC. Luxembourg: EEC, 1989.
- 20 EU, EEC/C230. Europese richtlijn. Minimum voorschriften inzake veiligheid en gezondheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan risico's van fysieke agentia. 1994.
- 21 Fährnich KP, Kern P, Solf JJ. Ergonomisch Kenngrößen für Umfassungsgreifarten. Dortmund: BAU, 1983. Forschungsbericht nr 331.
- 22 Feggeler A, Yoo JW, Hornung V. Ergonomische Gestaltung von handgeführten elektromotorischen Arbeitsmitteln. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz, 1992. Forschungsbericht Fb 668.

- 23 Freivalds A. The ergonomics of tools. In: Osborne DJ, ed. International review of ergonomics; current trends in human factors research and practice. Vol 1. London (etc.): Taylor & Francis, 1987:44-73.
- 24 Gaspar W, McDonald SSS. Jaarboek machinerichtlijn 1996/1997. Alphen aan den Rijn: Samson Bi, NNI, 1996.
- 25 Gemne G, Lundstrom R, Hansson JE. Disorders induced by work with hand-held vibrating tools. A review of current knowledge for criteria documentation. Stockholm: National Institute of Occupational Health, 1993. Arbete och hälsa 1993:6.
- 26 Grandjean E. Fitting the task to the man. London (etc.): Taylor & Francis, 1988.
- 27 Grant AW, Hallbeck S. The effects of gender, wrist angle, exertion direction, angular velocity and simultaneous grasp force on isokinetic wrist torque. In: Seppälä P, Luopajarvi T, Nygard CH, Mattila M, eds. From Experience to Innovation, IEA'97. Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki 1997: (4)126-8.
- 28 Griffin MJ. Handbook of human vibration. London: Academic Press, 1990.
- 29 Griffin MJ. Measurement, Evaluation, and Assessment of Occupational Exposures to Hand Transmitted Vibration. Occup Environ Med 1997;54(2):73-89.
- 30 Grinten MP van der, Smitt P. Development of a practical method for measuring body part discomfort. In: Kumar S, ed. Advances in Industrial Ergonomics and Safety IV. London (etc.): Taylor & Francis, 1992:311-8.
- 31 Hall Ch. Hand function with special regard to work with tools. Stockholm: National Institute of occupational Health, 1995. Arbete och hälsa 1995:4.
- 32 Hallbeck MS. Flexion and extension forces generated by wrist-dedicated muscles over the range of motion. Appl Erg 1994;25(6):379-85.
- 33 Hallbeck MS, McMullin DL. Maximal Power Grasp and Three-Jaw Chuck Pinch Force as a Function of Wrist Position, Age, and Glove Type. Int J Ind Erg, 1993;11(3):195-206.

- 34 Hallbeck MS, Sheeley GA, Bishu RR. Wrist Fatigue in Pronation and Supination for Dynamic Flexion and Extension. In: Kumar S, ed. *Advances in Industrial Ergonomics and Safety IV*. London (etc.): Taylor & Francis, 1992:713-6.
- 35 Hoffman B. *Arbeitsschutz und Unfallstatistik* 1989. Sankt Augustin: Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften, 1991.
- 36 ISO 5349. Guidelines for the measurement and assessment of human exposure to hand transmitted vibration. Geneve: ISO, 1986.
- 37 ISSA/Christ E. *Vibration at work*. Issa research section, Institut National de Recherche et de securite (INRS). Paris, 1989.
- 38 Johanning E, Hulshof C, Christ E.. Whole body and segmental human vibration, In Erdil M, Dickerson OB (eds) *Cumulative trauma disorders. prevention, evaluation and treatment*. Van Nostrand Reinhold, New york, 1997; 221-250
- 39 Kadefors R, Areskoug A, Dahlman S, et al. An approach to ergonomics evaluation af hand tools. *Appl Erg* 1993;24(3):203-11.
- 40 Kamon E. In plant evaluation of the muscle strength of workers. *Am Ind Hyg Ass J* 1978;39(10):801-7.
- 41 Keyserling WM, Herrin GD, Chaffin DB. An analysis of selcted work muscle strengts. In: *Proc. of the 22nd Annual Hum. Fact. Soc. Meeting*. The Hum. Fact. Soc., Santa Monica CA, 1978.
- 42 Kilbom A. Repetitive work of upper extremity disorders. Part II. Tthe scientific basis for the guide. *Int J Industr Ergon* 1994;14:59-86.
- 43 Kim B, Bishu R. Grasp force: how dependant is it on the load grasped. In: Seppala P, Luopajarvi T, Nygard CN, Mattila M, eds. *From Experience to Innovation, IEA'97*. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health, 1997.
- 44 Kuyvenhoven M. The validity of a work-rest model for static postures: literature review. Amsterdam: VU, Faculty of Human Movement Sciences, 1992. Thesis.

- 45 Marley RJ, Ramalingam AK. Psychophysically acceptable dynamic handforce. In: Bittner AC, Champney PC, eds. *Advances in Industrial Ergonomics and Safety VII*. London (etc.): Taylor & Francis, 1995.
- 46 Marras WS, Schoenmarklin RW. Wrist motions and CTD risk in Industrial and service environments. In: Quiennec Y, Daniellou F, eds. *Designing for everyone*. London (etc.): Taylor & Francis, 1991:36-8.
- 47 Meyer JP, Didry G, Herrault J, Horwat F. Time to exhaustion in gripping contractions. In: *Advances in occupational ergonomics and safety I*. (2 vol), 1996:468-72.
- 48 Meyst WJ, Haslegrave C, Dul J, Smitt P. Maximum holding times of static standing postures. Leiden: TNO-PG, 1995.
- 49 Milner N. Modelling fatigue and recovery in static postural exercise. Nottingham: University of Nottingham, 1985. PhD thesis.
- 50 Mital A. Effect of body posture and common hand tools on peak torque exertion capabilities. *Appl Erg* 1986;17(2):87-96.
- 51 Mital A. Handtools: injuries, illnesses, design and usage. In: Mital A, Karwowski W, eds. *Workspace, equipment and tool design*. Amsterdam: Elsevier Science publishers, 1991:219-56.
- 52 Mital A, Kilbom A. Design, selection and use of hand tools to alleviate trauma of the upper extremities. Part 1 and 2. *Int J Ind Ergon* 1992;10:1-21.
- 53 NF X 35-106. Norme Francaise. Ergonomics, Recommended force limits for work. Paris: AFNOR, 1985.
- 54 NIOSH. Occupational exposure to hand arm vibration. Cincinnati: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, 1989.
- 55 NIOSH. In: Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A, Fine LJ. Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics* 1993;36(7):749-76.

- 56 Pheasant S, O'Neill D. Performance in gripping and turning. A study in hand/handle effectiveness. *Appl Erg* 1975;6(4):205-8.
- 57 prEN 1005-3. Safety of machinery - Human physical performance - part 3: Recommended force limits for machinery operation. Brussels: CEN/TC 122, Brussels, 1998. Draft march, 1998E.
- 58 Putz-Anderson V, ed. Cumulative trauma disorders. A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs. London (etc.): Taylor & Francis, 1988.
- 59 Rohmert W, Berg K, Bruder R. Schaub K. Kräfteatlas. Teil 1. Datenauswertung statischer Aktionskräfte. Berlin: Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, 1994. Forschung Fb 09-004.
- 60 Rohmert W, Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen. *Arbeitsphysiol.* 18 (1960).
- 61 Salvendy G. Handbook of Human Factors. New York: Wiley & Sons, 1987.
- 62 Schaefer HR, Brödler H. Static load limits at dynamic work. In: Quiennec Y, Danniellou F, eds. *Designing for everyone*. London (etc.): Taylor & Francis, 1991:12-4.
- 63 Schaefer HR, Schwarz W. Ansätze zur Verbesserung des Burandt-Schultetus-Verfahrens zur Bestimmung zulässiger Armkräfte. *Z Arb wiss* 1994;48(20):54-9.
- 64 Schaub KG, Berg K, Wakula J. Postural and workplace related influences on maximal force capacities. . In: Seppälä P, Luopajarvi T, Nygard CH, Mattila M, eds. *From Experience to Innovation, IEA '97*. Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki 1997.
- 65 Schmale H. *Ergonomie am Arbeitsplatz*. 1983.
- 66 Schmidtke H, ed. *Ergonomie 1 und 2*. München: Carl Hanser verlag, 1973.
- 67 Schoenmarklin RW, Marras WS. Dynamic capabilities of the wrist joint in industrial workers. *Int J Ind Erg* 1993;11(3):207-24.

- 68 Sjøgaard G. Intramuscular changes during long-term contraction. In: Corlet N, Wilson J, Manenica I, eds. The ergonomics of working postures. London (etc.): Taylor & Francis, 1986:136-43.
- 69 Snook SH, Vaillancourt DR, Ciriello VM, Webster B. Psychophysical studies of repetitive wrist flexion and extension. *Ergonomics* 1995;38(7):1488-1507.
- 70 Sperling L, Dahlman S, Wikström L, et al. A cube model for the classification of work with hand tools and the formulation of functional requirements. *Appl Erg* 1993;24(30):212-20.
- 71 Strasser H. Different grips of screwdrivers evaluated by means of measuring maximum torque, subjective rating and by registering electromyographic data during static and dynamic test work. In: Karwowski W, Yates JW, eds. *Advances in Industrial Ergonomics and Safety*, vol III. London (etc.): Taylor & Francis, 1991:413-20.
- 72 Tichauer ER. *The biomechanical basis of ergonomics*. New York: J. Wiley & Sons, 1978.

Bijlage 1

Meer in detail zijn de belangrijkste meet- en beoordelingsparameters volgens de huidige stand der kennis (Griffin, 1997; Griffin, 1990; ISSA/Christ, 1989).

1. f [Hz] de frequentie, het aantal trillingen of stoten per seconde.
2. T [sec,min,uur] de duur per dag (perioden opgeteld).
- 3a. a [m/sec²] de *trillingssterkte*, de gemiddelde effectieve versnelling; 'root-mean square' (rms)-waarden. Gemeten wordt in de handcontact-zone; dit zijn meestal de handgrepen.
- 3b. af [m/sec²] 1 en 3a worden vaak gecombineerd gemeten als de 'frequentie-gewogen trillingssterkte'; deze maat houdt rekening met verschillen in gevoeligheid voor verschillende versnellingsfrequenties van het menselijk lichaam. Het meest gevoelige gebied bij hand-armtrillingen is $6 f < \text{Hz} \leq 16$.
- 3c. $af(\text{eq}8)$ [m/sec²] 2 en 3b zijn gecombineerd tot zogenaamde eq-maten; ' $af(\text{eq}8)$ ' is de basismaat voor 8 uur blootstelling; ' $af(\text{eq}2)$ ' betreft de waarde voor een blootstelling van 2 uur per dag, ' $af(\text{eq}3)$ ' voor 3 minuten, etc. (zie wetenschappelijke kritiek in hoofdstuk 10).
4. $afv(X,Y,Z)$ [m/sec²] gewogen trillingssterkte in bepaalde trillingsrichtingen ten opzichte van de hand (in vuistgreep). Op basis van recente inzichten wordt de 'vectorsom' van de gewogen versnellingen in elk der richtingen als combinatievariabele voor risicobeoordeling gehanteerd (Griffin, 1997). Als de richting van de trillingen erg dominant in een richting is, kan volstaan worden met de versnellingswaarden voor die richting.
5. J [jaren] beroepsmatige blootstellingsduur. Voorspeld wordt dat na 15 jaar dag in dag uit 8 uur werken met trillende handgereedschap met $afv=2\text{m/sec}^2$ van de blootgestelden 10% last van vaat- en ze-
nuwaandoeningen in de vingers krijgt. Bij $afv=25\text{m/sec}^2$ is dat geschat op 10% na 1 jaar (ISO/CD 5349-1, 1996).

