

# Expositie aan lichaamstrillingen bij tankwagenchauffeurs

José Mulder, Bregt Remijn  
BGD Amsterdam-Oostenburg

## Summary

Exposure to whole-body-vibration of 14 drivers of trailer-truck tankers was measured according to the guidelines of ISO 2631. For each truck measurements were made on the same stretch of a two-lane road. Average weighted acceleration levels were 0,42 m/s<sup>2</sup>, 0,31 m/s<sup>2</sup> and 0,53 m/s<sup>2</sup> for the x-, y- and z-direction respectively, while the vectorsum was 0,91 m/s<sup>2</sup> (loaded tankers). Crest factors for x- and y-direction were on average above 6, for z-direction just below 6. After allowing for exposure time, 64% exceeded the ISO's fatigue-decreased proficiency boundary for x-vibrations, 14% for the y- and 50% for the z-vibrations. Multiple regression analysis showed a significant benefit of an air-suspended seat compared to a mechanically suspended seat (25% less for the vectorsum in loaded tankers).

## Inleiding

Bij de bedrijven die zijn aangesloten bij de BGD Amsterdam-Oostenburg wordt eenmaal per vier jaar een periodiek bedrijfsgezondheidsonderzoek (pbgo) uitgevoerd. Een van de doelstellingen van het pbgo is het aan het licht brengen van (mogelijke) problemen in de arbeidsomstandigheden. Aan het bedrijf worden dan adviezen gegeven over gewenste maatregelen of over nader onderzoek naar bepaalde arbeidsomstandigheden.

In 1986 werd een pbgo uitgevoerd bij een tankautobedrijf. Bij het bedrijf werken circa 90 chauffeurs die pompstations van brandstof voorzien. Uit de resultaten kwam naar voren dat 27% van de chauffeurs hinder had van trillen en schokken en dat 20% ook regelmatig last had van pijn of stijfheid in de rug. In overleg met het bedrijf is besloten tot een gericht onderzoek naar de arbeidsomstandigheden van de groep tankwagenchauffeurs. Er is met een vragenlijst meer gerichte informatie verzameld over voorkomen en aard van de rugklachten, er is een onderzoek gedaan naar

de trillingsbelasting en er volgt nog een onderzoek naar de ergonomische inrichting van de cabines. Hier worden alleen de resultaten van het onderzoek naar de trillingsbelasting weergegeven.

Over de gevolgen van lichaamstrillingen op de gezondheid zijn enkele recente literatuuroverzichten beschikbaar (Hulshof & Veldhuijzen van Zanten 1986, Seidel & Heide 1986). De auteurs concluderen dat langdurige blootstelling aan lichaamstrillingen rugaandoeningen kan veroorzaken. Over een eventuele dosis-respons relatie kan op basis van de bestaande gegevens nog geen uitspraak gedaan worden (Hulshof & Veldhuijzen van Zanten 1986). De gezondheidseffecten zijn niet echt specifiek voor trillingen en er zijn met name ook nog te weinig (meet)gegevens over de daadwerkelijke blootstelling bekend.

Voor een BGD is het zeker zo belangrijk of een onderzoek naar de trillingsbelasting van een groep werknemers ideeën kan opleveren voor concrete maatregelen om deze belasting te verlagen. De vraagstelling van het onderzoek was dan ook niet alleen of de trillingsbelasting de richtlijnen van bijvoorbeeld ISO 2631/1 (1985) overschrijdt, maar ook of er bij het bedrijf tankauto's voorkomen met een duidelijk lagere trillingsbelasting voor de chauffeurs, en zo ja, waarin die wagens zich dan onderscheiden van de andere. Met dit doel zijn in 1987 bij een aantal tankauto's trillingsmetingen verricht.

## Onderzoekopzet

*Tankauto-selectie.* Het bedrijf beschikt over circa 50 tankauto's van het type trekker-oplegger. Twee dezelfde combinaties komen bijna niet voor. Er zijn vier verschillende merken trekkers, met daarin weer een scala aan typen (front-/torpedofrontcabine, vermogen). De leeftijd van de trekkers is ten hoogste vier jaar. Daarna worden zij vervangen. De in de trek-

kers aanwezige stoelen zijn van verschillend type (lucht- en bladgeveerd) en verschillend merk en vrijwel onafhankelijk van het merk trekker. Tot slot varieert ook het laadvermogen van de opleggers. Er zijn bij het bedrijf geen trekkers aanwezig met een luchtgeveerde cabine.

In overleg met enkele bedrijfschefs (waaronder een ex-chauffeur) is een keuze gemaakt voor de tankwagens die in het onderzoek zijn betrokken. Een worst-case benadering was niet mogelijk omdat er bij het bedrijf geen combinaties bekend waren die er duidelijk negatief uitsprongen. Uiteindelijk zijn 14 wagens uitgekozen die een redelijk beeld geven van het beschikbare wagenpark van het bedrijf. Er deden vier verschillende merken mee (Volvo, Scania, MAN, Daf). Vier wagens hadden een motorvermogen van 210 KWatt, een lengte van 13,75 meter, een leeg gewicht van 20 ton en een geladen gewicht van 39 ton. Bij de overige 10 combinaties was dit respectievelijk 250 KWatt, 15,50 meter en 25 en 50 ton.

*Meetmethode.* De metingen van de lichaamstrillingen zijn uitgevoerd met de Bruël & Kjaer 4322 zittingsopnemer gekoppeld aan de Bruël & Kjaer 2512 trillingsmeter. Aangezien geen verdere data-opname en -verwerkingsapparatuur voorhanden was, kon slechts één trillingsrichting tegelijk opgenomen worden. Het inkomende signaal wordt gewogen volgens de vastgelegde frequentie- en richtingsafhankelijke human response curves van ISO 2631/1 (1985). Hierbij wordt de root-mean-square waarde, ofwel de effectieve waarde van de versnelling, over het frequentiegebied 1-80 Hz berekend. De meter kan integreren over een willekeurige tijdsperiode (tot 53 min.) en de gegevens in het geheugen opslaan. Na afloop van de meetperiode kunnen o.a. de tijdsduur van de meting, de gemiddelde gewogen effectieve versnelling over de meettijd en de hoogst opgetreden waarde in de meetperiode worden afgelezen.

*Meetstrategie.* Om vergelijking mogelijk te maken zijn alle metingen uitgevoerd op hetzelfde traject, een tweebaansweg tussen Amsterdam en IJmuiden en weer terug naar Amsterdam. De keuze voor dit traject is gemaakt in overleg met een bedrijfschef en een ervaren chauffeur. Het traject is lang genoeg voor de metingen en de onderhouddsstaat van het wegdek is een redelijke afspiegeling van het Nederlandse (tweebaans) wegennet.

In februari en maart 1987 is met alle

14 combinaties dit traject twee maal afgelegd: eenmaal zonder lading en, na in Amsterdam te hebben getankt, eenmaal met lading. In figuur 1 is het traject schematisch weergegeven, waarbij is aangegeven op welk gedeelte, in welke trillingsrichting gemeten is. De rijtijd over elk afzonderlijk deel van het traject was ca. 5 minuten. Derhalve was ook de meettijd voor elke trillingsrichting steeds 5 minuten. Alle chauffeurs is gevraagd een snelheid van 60 à 70 km/uur aan te houden.

Om de nauwkeurigheid van de meetmethode te bepalen, is uit de metingen in de z-richting op de trajectstukken 1 ( $a_{z1}$ ) en 5 ( $a_{z5}$ ) het percentage of difference (%D) en daarna de CV-waarde berekend (Boleij e.a. 1987):

$$\%D = \frac{|a_{z1} - a_{z5}|}{(a_{z1} + a_{z5})/2} \quad CV = \frac{\sum \%D}{n\sqrt{2}}$$

Het gaat hier dus niet om 'echte' duplo's, maar om metingen in dezelfde trillingsrichting aan twee verschillende zijden van de weg, die overigens op het oog nagenoeg in dezelfde staat verkeerden.

**OnderzoeksvARIABLEN.** Voor verdere verwerking zijn voor respectievelijk de x-, y- en z-richting de trajectgedeelten 4, 2 en 3 gebruikt (figuur 1). Voor elke richting is de op dat traject gemiddelde gewogen versnelling ( $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ ) en de bijbehorende opgetreden hoogste versnelling ( $a_{x,piek}$ ,  $a_{y,piek}$ ,  $a_{z,piek}$ ) bekend. Daaruit kan de crestfactor berekend worden als de hoogst opgetreden waarde gedeeld door de gemiddelde gewogen versnelling ( $a_{x,crest}$ ,  $a_{y,crest}$ ,  $a_{z,crest}$ ) (ISO 1985).

Uit de drie gewogen gemiddelde versnellingen is conform ISO 2631/1 de vectorsom ( $a_{xyz}$ ) bepaald:

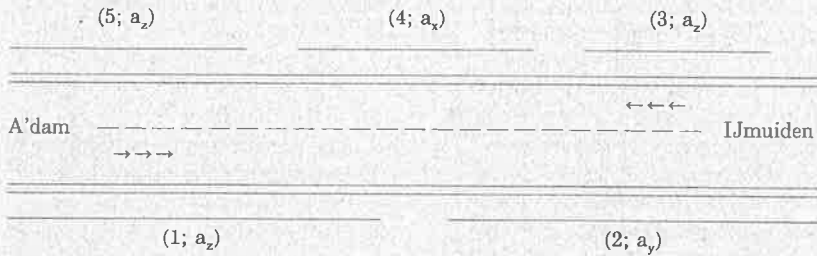
$$a_{xyz}^2 = (1,4 a_x)^2 + (1,4 a_y)^2 + (a_z)^2$$

Verder zijn van elke tankwagen het merk en het typenummer van de trekker, het merk stoel, het type vering van de stoel en het type cabine (front/torpedofront) genoteerd.

## Resultaten

**Meetnauwkeurigheid.** In totaal zijn 22 volledige duplometingen verkregen (bij de eerste drie combinaties werd dit nog niet uitgevoerd). De hieruit berekende %D's lopen uiteen van 0% tot 28%. De CV-waarde blijkt 6,5% te zijn, wat betekent dat in 95% van de keren dat een trillingsmeting wordt uitgevoerd de onnauwkeurigheid beneden de 13% ligt.

**Figuur 1. Traject A'dam - IJmuiden - A'dam met daarin aangegeven op welke stukken de verschillende trillingsrichtingen zijn gemeten ( $a_z$  = trillingen in z-richting, enz.). De gedeelten 1 en 5 zijn gebruikt om de meetnauwkeurigheid te bepalen, de gedeelten 2 t/m 4 voor de verdere analyse van de trillingsbelasting.**



**Tabel 1. Gemiddelde gewogen versnelling ( $m/s^2$ ), hoogst opgetreden waarde ( $m/s^2$ ) en crestfactoren bij 14 tankauto's. Tweebaans weg, 60 à 70 km/uur. Tussen haken: laagste-hoogste waarde. Verschil: volle tank t.o.v. lege tank.**

	Lege tank		Volle tank		Verschil
$a_x$	0,36	(0,24-0,47)	0,42	(0,27-0,71)	+0,06***
$a_{x,piek}$	3,49	(2,00-5,62)	3,61	(1,68-5,31)	+0,12
$a_{x,crest}$	9,61	(7,00-14,8)	8,67	(6,22-12,8)	-0,94
$a_y$	0,30	(0,22-0,42)	0,31	(0,20-0,53)	+0,01
$a_{y,piek}$	2,62	(1,06-5,31)	2,91	(0,94-5,96)	+0,29
$a_{y,crest}$	8,34	(4,41-14,8)	9,03	(4,72-12,7)	+0,69
$a_z$	0,53	(0,32-0,94)	0,53	(0,32-0,94)	0,00
$a_{z,piek}$	3,14	(1,33-6,68)	2,73	(1,15-5,63)	-0,41
$a_{z,crest}$	5,95	(4,49-9,97)	5,05	(4,22-7,11)	-0,90**
$a_{xyz}$	0,85	(0,71-1,19)	0,91	(0,65-1,30)	+0,06**

gepaarde t-toets, tweezijdig: \* =  $p \leq 0,10$   
 \*\* =  $p \leq 0,05$   
 \*\*\* =  $p \leq 0,01$

**Tabel 2. Constante (c), regressiecoëfficiënt (b), standaardfout van de regressiecoëfficiënt (SE(b)) en de correlatiecoëfficiënt (r) van de lineaire regressie van de hoogst opgetreden waarde op de gewogen effectieve versnelling.**

	C	b	SE(b)	r
<i>lege tank</i>				
x-richting	-0,55	11,20***	3,60	0,67
y-richting	-1,80	14,54***	3,37	0,78
z-richting	0,32	5,34***	1,45	0,73
<i>volle tank</i>				
x-richting	0,74	6,82***	1,75	0,75
y-richting	-0,86	11,97***	2,20	0,84
z-richting	-0,41	5,90***	0,65	0,93

\* =  $p \leq 0,10$   
 \*\* =  $p \leq 0,05$   
 \*\*\* =  $p \leq 0,01$

**Invloed van de lading.** In tabel 1 staan de resultaten van de metingen bij de 14 ongeladen en geladen combinaties. Het verschil tussen beide is eveneens aangegeven, alsook het significantieniveau van het verschil (gepaarde t-test). Het blijkt dat de gewogen effectieve versnelling in de x-richting door de ladingstoestand wordt beïnvloed. Bij geladen tanks ondervinden de chauffeurs iets meer trillingen in deze voor-achterwaartse richting

(+0,06  $m/s^2$ ,  $p \leq 0,05$ ), en daardoor ook in de som van de drie richtingen (+0,06  $m/s^2$ ,  $p \leq 0,10$ ). De hoogte van de crestfactor in de z-richting blijkt bij een volle tank significant lager te liggen dan bij een lege tank. **Dominante richting.** Tabel 1 geeft aan dat bij de tankauto's de trillingen in de z-richting het hoogst zijn. Oortman Gerlings e.a. (1987) hebben de zogenaamde 'kritieke richting' bepaald door de gewogen trillings- ▶

waarden in de x- en y-richting met 1,4 te vermenigvuldigen en dan te vergelijken met die in de z-richting. Toegepast op dit onderzoek blijkt dat in de ongeladen situatie de trillingen in de x-richting bij 43% van de 14 tankauto's als hoogste uit de bus komen. Bij 21% is de y-richting dominant en bij 36% de z-richting. Bij geladen opleggers is de x-richting zelfs bij 64% van de wagens dominant. De y- en z-richting bij respectievelijk 14 en 21% van de wagens.

**Relatie gewogen versnelling en piekwaarde.** Opvallend in tabel 1 zijn de hoge piekwaarden en de hoge crest-factoren. Alle door ons gemeten tankauto's hebben in de x-richting een crestfactor hoger dan 6. Ook in de y- en z-richting is dit eerder regelmaat dan uitzondering. De relatie tussen de gewogen effectieve versnelling en de hoogst opgetreden waarde is onderzocht met lineaire regressie. Tabel 2 geeft de resultaten. Beide grootheden blijken opvallend sterk met elkaar overeen te komen. De hoogte van de piekwaarde correleert van  $r = 0,67$  (x-richting, lege tank) tot  $r = 0,93$  (z-richting, volle tank) met de hoogte van de gewogen effectieve versnelling. De hoogte van de pieken blijkt niet, zoals men zou verwachten, van meer toevallige aard te zijn. Daarom worden in de rest van de analyses, naast de gewogen versnellingen, ook de opgetreden piekwaarden meegenomen.

**Invloed van de stoelvering.** Tabel 3 geeft de meetresultaten opgesplitst naar luchtgeveerde en mechanisch geveerde stoelen. Uit deze tabel blijkt overduidelijk dat luchtgeveerde stoelen minder lichaamstrillingen voor de chauffeur tot gevolg hebben. Niet alleen zijn een aantal verschillen statistisch significant, alle vergelijkingen van gewogen effectieve versnellingen en piekwaarden vallen in het voordeel van de luchtgeveerde stoelen uit. Ook de laagste en hoogste waarde zijn, op een enkele uitzondering na, steeds lager dan bij de mechanisch geveerde stoelen.

**Invloed van type cabine.** In tabel 4 zijn de resultaten ditmaal opgesplitst naar trekkers met een frontcabine en trekkers met een torpedofront cabine. Hoewel niet altijd significant, leveren met name bij een volgeladen oplegger de torpedofronts in dit onderzoek meer trillingen op dan de combinaties met een frontcabine. Bij een lege tank evenwel lijken, uitgezonderd in de y-richting, de wagens met een torpedofront iets gunstiger uit de bus te komen.

**Invloed van stoelvering en cabine.** Omdat zowel het type vering van de stoel als de bouw van de cabine in-

vloed kunnen hebben op de trillingsintensiteit, is het effect van beide samen onderzocht in een lineair regressiemodel met de gewogen versnelling en de piekwaarde als afhankelijke variabelen (tabel 5). Uit deze analyse (meervoudige lineaire regressie, gedwongen opname in model) blijkt dat ook na correctie voor het type cabine de invloed van het type stoelvering op de gemiddelde gewogen versnelling aanwezig blijft. De constante uit tabel 5 stelt de trillingsintensiteit voor in een wagen met frontcabine en mechanisch geveerde stoel. Voor een wagen met een luchtgeveerde stoel en/of torpedo-

de eisen van ISO 2631/1. Praktisch gericht onderzoek naar lichaamstrillingen blijkt met de huidige beschikbare meetapparatuur en de richtlijnen van ISO 2631/1 zeer goed mogelijk. Momenteel wordt ISO 2631/1 weer herzien. Het zou triest zijn wanneer de ontwikkeling die Oortman Gerlings e.a. (1986) schetsen bewaarheid wordt: namelijk dat de meet- en verwerkingsprocedures veel complexer worden en daardoor de toepassing van normen en richtlijnen slechts aan gespecialiseerde meetdeskundigen voorbehouden is. Helaas wijst de laatste 'draft proposal' van de ISO (1988) wel in die richting.

**Tabel 3. Gemiddelde gewogen versnelling ( $m/s^2$ ) en hoogst opgetreden waarde ( $m/s^2$ ) bij 14 tankauto's, opgesplitst naar bladgeveerde en luchtgeveerde stoelen. Tussen haken: laagste-hoogste waarde. Verschil: luchtgeveerd t.o.v. bladgeveerd.**

	Bladgeveerde (n = 4)	Luchtgeveerde (n = 10)	verschil
<i>lege tank</i>			
$a_x$	0,39 (0,24-0,47)	0,35 (0,25-0,42)	- 0,04
$a_{x,peik}$	4,08 (2,24-5,62)	3,25 (2,00-5,31)	- 0,83
$a_y$	0,34 (0,25-0,42)	0,29 (0,22-0,38)	- 0,05
$a_{y,peik}$	3,02 (1,58-5,31)	2,46 (1,06-4,73)	- 0,56
$a_z$	0,63 (0,38-0,94)	0,49 (0,32-0,75)	- 0,14*
$a_{z,peik}$	3,28 (2,11-4,22)	3,08 (1,58-6,68)	- 0,20
$a_{xyz}$	0,98 (0,88-1,19)	0,80 (0,71-0,89)	- 0,18***
<i>volle tank</i>			
$a_x$	0,54 (0,33-0,71)	0,38 (0,27-0,56)	- 0,16**
$a_{x,peik}$	4,63 (3,76-5,31)	3,21 (1,68-5,31)	- 1,42**
$a_y$	0,32 (0,25-0,47)	0,31 (0,20-0,53)	- 0,01
$a_{y,peik}$	3,08 (1,50-5,96)	2,84 (0,94-5,01)	- 0,24
$a_z$	0,70 (0,45-0,94)	0,47 (0,32-0,71)	- 0,23**
$a_{z,peik}$	3,67 (2,24-5,63)	2,35 (1,50-3,98)	- 1,32**
$a_{xyz}$	1,14 (1,06-1,30)	0,82 (0,65-0,97)	- 0,32***

tweezijdige t-toets: \* =  $p \leq 0,10$   
 \*\* =  $p \leq 0,05$   
 \*\*\* =  $p \leq 0,01$

frontcabine kan men daarvan de hoogte van de regressiecoëfficiënten 'stoel' en 'cabine', al naar gelang het teken, optellen of aftrekken.

### Discussie

De resultaten van de duplometingen geven aan dat de niet-systematische fout van de meting betrekkelijk laag is. In 95% van de gevallen is deze minder dan 13%. Ter vergelijking, de Amerikaanse Occupational Safety and Health Administration eist voor de nauwkeurigheid van luchtmetingen van chemische stoffen dat in 95% van de metingen de fout lager is dan 25% (Leidel e.a. 1977). Iweco-TNO (Francken e.a. 1987) heeft onderzoek gedaan naar de systematische fout van de ook door ons gebruikte trillingsmeter. De filterkarakteristieken van de meter bleken te voldoen aan

De staat van onderhoud van het tankautopark van dit bedrijf is goed. De trekkers worden om de vier jaar vervangen, en aangezien voornamelijk aan pompstations buiten de bebouwde kom wordt afgeleverd, worden de raspaardjes onder de vrachtwagens gebruikt (groot vermogen, steeds nieuwste model trekker). Omdat de chauffeurs steeds op dezelfde wagens rijden, houden zij het onderhoud zelf in de gaten en worden eventuele mankementen snel verholpen. Het bedrijf geeft daarbij alle medewerking. Desalniettemin blijkt de trillingsbelasting voor de chauffeurs hoog. In tabel 6 zijn de gemeten waarden vergeleken met de beoordelingsrichtlijnen van ISO 2631/1 (1985). Hierbij is uitgegaan van een trillingsexpositie van 5 à 6 uur (het gemiddelde aantal rijuren

per dag van de chauffeurs). De tabel laat zien dat 'comfortabel rijden' vooralsnog toekomstmuziek zal zijn. Verder blijkt dat ook de meest gebruikte richtlijn, de vermoeidheids-grens, bij de meeste chauffeurs wordt overschreden. Wanneer we de vector-som als richtwaarde gebruiken, wordt deze grens zelfs door iedereen over-schreden.

De metingen hebben alleen plaats-gevonden op een tweebaans weg. De tankautochauffeurs rijden echter ook op autosnelwegen, die geacht worden een betere wegdekwaliteit te heb-ben. Er wordt daarop echter wel 10 à 20 km/uur harder gereden, wat meer trillingen tot gevolg heeft (van Drim-melen e.a. 1986). Bovendien zijn de gemeten crestfactoren dermate hoog (regelmatig boven de 6), dat de in-vloed van de trillingen op de gezond-heid en de prestatie mogelijk groter is dan de gewogen versnellingswaarde aangeeft (ISO 1985).

Volgens de kritiek op de huidige norm is er onvoldoende kennis over de lange termijn gevolgen voor de gezondheid door expositie aan tril-lingen om richtlijnen voor een maxi-male expositie te kunnen stellen. Echter, volgens Oortman Gerlings e.a. (1986) is de vermoeidheids-grens vastgesteld na onderzoek bij o.a. chauffeurs. Boven deze grens bestaat er een aanzienlijke kans op verlaging van de werksnelheid, met name bij taken waar duureffecten (vermoeid-heid) de prestatie beïnvloeden. Dat naast de eventuele gevolgen voor de gezondheid, ook vermoeidheid en prestatiebeïnvloeding door trillingen voor een vrachtwagenchauffeur bij-zonder nadelige gevolgen kan hebben, spreekt voor zich.

De gemiddelde trillingsintensiteit in de z-richting bleek het hoogst. Men-sen zijn echter gevoeliger voor tril-lingen in de x- en y-richting. De beoordelingsrichtlijnen voor deze twee horizontale richtingen liggen dan ook lager dan die voor de z-richting. Oortman Gerlings e.a. (1987) die metingen hebben gedaan bij verschillende soorten wegvoertui-gen, vonden steeds de z-richting als dominante richting. Behalve bij tankauto's van het trekker-oplegger type. Daarbij werd enkele malen geconstateerd dat de x-richting de kritieke richting was. De resultaten van dit onderzoek wijzen sterk naar de voor-achterwaartse trillingen als de dominante richting. Technische maatregelen om de trillingsbelasting voor de chauffeurs van trekker-op-legger tankauto's te beperken, zullen zich behalve op de z-richting, dus ook op de x-richting moeten richten. In een literatuuroverzicht van Van ►

**Tabel 4. Gemiddelde gewogen versnelling (m/s<sup>2</sup>) en hoogst opgetreden waarde (m/s<sup>2</sup>) bij 14 tankauto's, opgesplitst naar front-cabines en torpedofrontcabines. Tussen haken: laagste-hoogste waarde. Verschil: torpe-dofront t.o.v. frontcabine.**

	Frontcabine (n = 10)	Torpedofrontcabine (n = 4)	verschil
<i>lege tank</i>			
a <sub>x</sub>	0,38 (0,32-0,47)	0,35 (0,24-0,42)	-0,06*
a <sub>x,piek</sub>	3,37 (2,51-4,47)	3,79 (2,00-5,62)	-0,42
a <sub>y</sub>	0,28 (0,22-0,35)	0,36 (0,22-0,42)	+0,08*
a <sub>y,piek</sub>	2,41 (1,06-4,73)	3,16 (1,33-5,31)	+0,75
a <sub>z</sub>	0,56 (0,33-0,94)	0,46 (0,32-0,71)	-0,10
a <sub>z,piek</sub>	3,43 (1,58-6,68)	2,42 (1,58-3,98)	-1,01
a <sub>xyz</sub>	0,87 (0,75-1,19)	0,82 (0,71-0,96)	-0,05
<i>volle tank</i>			
a <sub>x</sub>	0,41 (0,27-0,71)	0,44 (0,33-0,56)	+0,03
a <sub>x,piek</sub>	3,38 (1,68-5,31)	4,19 (2,66-5,31)	+0,81
a <sub>y</sub>	0,29 (0,20-0,42)	0,39 (0,27-0,53)	+0,10**
a <sub>y,piek</sub>	2,50 (0,94-3,76)	3,91 (1,68-5,96)	+1,41**
a <sub>z</sub>	0,53 (0,35-0,84)	0,55 (0,32-0,94)	+0,02
a <sub>z,piek</sub>	2,67 (1,68-3,98)	4,96 (4,22-5,98)	+2,29
a <sub>xyz</sub>	0,88 (0,65-1,30)	1,01 (0,88-1,11)	+0,13

tweezijdige t-toets: \* = p ≤ 0,10  
 \*\* = p ≤ 0,05  
 \*\*\* = p ≤ 0,01

**Tabel 5. Constante, regressiecoëfficiënten en percentage verklaarde va-riantie (R<sup>2</sup>) van de lineaire regressie van de trillingsintensiteit op stoel-vingertype en cabinebouwtype.**

	constante	Regressiecoëfficiënt		R <sup>2</sup>
		stoel	cabine	
<i>lege tank</i>				
a <sub>x</sub>	0,42	-0,06	-0,07*	0,29
a <sub>x,piek</sub>	3,98	-0,77	+0,20	0,13
a <sub>y</sub>	0,31	-0,03	+0,06*	0,29
a <sub>y,piek</sub>	2,70	-0,37	+0,64	0,10
a <sub>z</sub>	0,71	-0,19*	-0,16	0,29
a <sub>z,piek</sub>	3,87	-0,55	-1,18	0,16
a <sub>xyz</sub>	1,04	-0,21***	-0,11**	0,65
<i>volle tank</i>				
a <sub>x</sub>	0,55	-0,17**	-0,02	0,36
a <sub>x,piek</sub>	4,42	-1,30*	+0,41	0,37
a <sub>y</sub>	0,26	+0,03	+0,11*	0,26
a <sub>y,piek</sub>	2,34	+0,20	+1,47*	0,23
a <sub>z</sub>	0,72	-0,24**	-0,05	0,37
a <sub>z,piek</sub>	3,78	-1,38*	-0,22	0,30
a <sub>xyz</sub>	1,12	-0,30***	+0,04	0,72

stoeltype: mechanisch geveerd = 0  
 luchtgeveerd = 1 \* = p ≤ 0,10  
 cabine type: frontcabine = 0 \*\* = p ≤ 0,05  
 torpedofront = 1 \*\*\* = p ≤ 0,01

**Tabel 6. Classificering gemiddelde gewogen versnellingen volgens be-oordelingsrichtlijnen ISO 2631 voor 5½ uur expositie. Alleen gegevens geladen wagens, percentage wagens boven de richtlijn weergegeven.**

	Comfort (a <sub>x</sub> ,a <sub>y</sub> :0,11) (a <sub>z</sub> ,a <sub>xyz</sub> :0,15)	Vermoeidheid (a <sub>x</sub> ,a <sub>y</sub> :0,35) (a <sub>z</sub> ,a <sub>xyz</sub> :0,49)	Uiterste belasting (a <sub>x</sub> ,a <sub>y</sub> :0,70) (a <sub>z</sub> ,a <sub>xyz</sub> :0,97)
a <sub>x</sub>	100%	64%	7%
a <sub>y</sub>	100%	29%	0%
a <sub>z</sub>	100%	50%	0%
a <sub>xyz</sub>	100%	100%	36%

Drimmelen e.a. (1986) komt naar voren dat torpedofrontcabines in het algemeen minder trillingen voor de bestuurder opleveren dan frontcabines. Dit werd door dit onderzoek niet bevestigd. In hetzelfde overzicht wordt ook vermeld dat bij frontcabines met name in de beladen toestand meer trillingen in de x- en z-richting optreden door het 'dompen' (dit is het 'knikken' om het verbindingspunt (schotel) van de trekker en de oplegger). Bij vergelijking van de gewogen versnellingen tussen lege en volle tanks voor de wagens met een frontcabine, blijkt er geen sprake van een toename van de trillingen in geladen toestand (tabel 4). Dat dit verschil niet optreedt zou het gevolg kunnen zijn van de grote massa die een ongeladen tankauto-oplegger al heeft. De verhouding in gewicht van de oplegger in ongeladen en geladen toestand is daardoor geringer dan bij vrachtwagens. Het effect lijkt overigens wél op te treden voor de auto's met een torpedofront (tabel 4).

Het aanbrengen van een luchtgeveerde stoel in de cabine kan een aanzienlijke reductie in de overdracht van trillingen naar de chauffeur betekenen. Ondanks het feit dat er 'slechts' bij 14 wagens is gemeten, is het voordeel van de luchtgeveerde stoel evident. Uit tabel 5 blijkt dat, op de y-richting bij een volle tank na, alle regressiecoëfficiënten negatief zijn, dat wil zeggen een luchtgeveerde stoel levert minder trillingen op voor de bestuurder dan een mechanisch geveerde. Met name voor de vectorsom van de gewogen trillingen, bij zowel een volle als lege tank, is dit effect sterk aanwezig ( $p \leq 0,01$ ).

Hoewel het effect van stoeltype op de piekhoogte van de trilling met minder significantie aanwezig is, pakken ook hier alle vergelijkingen gunstiger uit voor de luchtgeveerde stoel, uitgezonderd weer de y-richting bij een volle tank. Gezien de samenhang tussen piekhoogte en gemiddelde gewogen versnelling is dit ook niet verwonderlijk. Absoluut gezien is het trillingsreducerende effect van de luchtgeveerde stoel zeer aanzienlijk. Uit tabel 5 kan men afleiden dat bijvoorbeeld voor geladen wagens een luchtgeveerde stoel de gewogen x-trillingen met 31% vermindert, de gewogen z-trillingen met 33% en de vectorsom met 27%. Helaas betekent dit nog niet dat de belasting voor alle chauffeurs dan beneden de vermoeidheidsgrens zal liggen.

#### Literatuur

- Boleij, J., D. Heederik, H. Kromhout; Karakterisering van blootstelling aan

chemische stoffen in de werkomgeving. Pudoc, Wageningen 1987.

- Drimmelen, D. van, L. Burdorf, Y. Musson; Trillend tuig: trillen en schokken tijdens het werk. Deel II: literatuuroverzicht. TU Delft, Vakgroep Veiligheidskunde, Delft, 1986.

- Francken, A.J., B. Bosman, P. Tegelaar; Onderzoek naar het meten van trillingen en schokken op de arbeidsplaats: literatuurstudie, evaluatie meetapparatuur, meettechniek/plaatsing opnemers. ICG-rapport LA-DR-10-03, Ministerie VROM, Den Haag, 1987.

- Hulshof, C.T.J., O.B.A. Veldhuijzen van Zanten; Gezondheidseffekten van langdurige blootstelling aan lichaamstrillingen tijdens arbeid. ICG-rapport LA-DR-10-02, Ministerie VROM, Den Haag, 1986.

- ISO, International Standard 2631/1; Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part I: General requirements. ISO, Geneva, 1985.

- ISO; Guide to the evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration. Draft proposal ISO/DP 2631, ref. no. ISO/TC108/SC4N177. ISO, Geneva, 1988.

- Leidel, N.A., K.A. Busch, J.R. Lynch; Occupational exposure sampling strategie manual. NIOSH, Cincinnati, 1977.

- Oortman Gerlings, P., D. van Drimmelen, Y. Musson; Trillingen en schokken op de arbeidsplaats; inventarisatie van buitenlandse en andere normen. ICG-rapport LA-DR-10-01, Ministerie VROM, Den Haag, 1986.

- Oortman Gerlings, P., D. van Drimmelen, Y. Musson; Trillen en schokken tijdens het werk: resultaten van inventarisatiemetingen. ICG-rapport LA-DR-10-04, Ministerie VROM, Den Haag, 1987.

- Seidel, H., R. Heide; Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature. Int Arch Occup Environ Health (1986) 58: 1-26.