

De invloed van afgeveerde bestuurdersstoelen op de trillingsbelasting

P. Swuste¹, A. Burdorf²,
D. van Drimmelen³

Summary

The levels of exposure to whole body vibration have been assessed for drivers using various types of suspended driver seats. The suspended seat is one of the preventive measures to reduce exposure. Both air-suspended and mechanically suspended seats were tested under laboratory conditions and in practice. The focus has been on their vibration-isolating properties and their ability to reduce exposure. During fieldwork twenty six different driver seats were measured. In the experimental study twenty seats were exposed to eight characteristic vibration spectra. The driver seats used in the two studies are representative for their fields of appliance; transport by road, off the road transport and transport on factory floors. The effectiveness of seats in reducing vibration was tested according to three criteria.

1 the intensity of vibrations on the seat of the chair does not exceed the eight-hours fatigue decreased proficiency limit of ISO 2631/1

2 the seat reduces the offered signal

3 the vectorsom is not larger than 150% of the vertical vibration, due to horizontal vibration

Inleiding

In Nederland worden dagelijks vele mensen op hun werk blootgesteld aan mechanische trillingen. Als deze trillingen via het zitvlak het gehele lichaam in beweging brengen, is er sprake van lichaamstrillingen. Een belangrijke risicogroep vormen chauffeurs en bestuurders van voertuigen. De omvang van de groep met een beroepsmatige blootstelling aan lichaamstrillingen wordt geschat op 400 000 personen. De blootstelling van deze groep chauffeurs en bestuurders ligt tussen de 0,63-1,25 m/s², uitgedrukt in de gewogen effectieve versnelling in de overheersende z-richting (Burdorf e.a., 1986).

Chauffeurs en bestuurders van voertuigen hebben een verhoogde kans op aandoeningen van de rug, zoals lage rugpijn, hernia en verstijving van het wervelgewricht (Hulshof en Veldhuizen 1986). Deze aandoeningen van de rug zijn ook bij Nederlandse chauffeurs gesignaleerd (Bongers en Boshuizen 1990). De statische werkhouding van chauffeurs is een belangrijke oorzakelijke factor. De bovengenoemde trillingsniveaus zijn dermate hoog, dat deze blootstelling gezien kan worden als een additionele risicofactor (Seidel en Heide 1986). Maatregelen ter reductie van de trillingsbelasting zijn gewenst. In de praktijk worden afgeveerde stoelen gezien als een belangrijke beheersmaatregel. In de hier beschreven studie is de trillingsreductie van afgeveerde stoelen en de trillingsbelasting van chauffeurs en bestuurders onderzocht (Swuste e.a., 1991).

More than half of the driver seats reduce vibration. The vibration-isolating properties of chairs are largely determined by the specific seat-vehicle combination and not by the seat itself. The results of the experimental study have a limited value in predicting the vibration-isolating properties of individual seats in practice. Almost all levels of exposure at the seat were far beyond the eight-hours fatigue decreased proficiency limit. This makes suspended seats alone hardly an effective preventive measure to reduce exposure to whole body vibration. Other preventive measures are necessary.

Methode

Algemene onderzoekopzet

Het onderzoek is gericht op het meten van het trillings-isolerende vermogen van veel voorkomende stoelen in vrachtwagens, landbouwtractoren en heftrucks. Bovendien is bekeken of de toepassing van afgeveerde stoelen de trillingsbelasting voldoende kan reduceren. Voorts zijn aspecten van het gebruik van bestuurdersstoelen in de praktijk meegenomen.

Het trillingsisolerende vermogen is bepaald aan de hand van de transmissiefactor: de verhouding tussen het trillingsniveau op de stoelzitting en de binnenkomende trillingen aan de onderzijde van de stoel. De transmissiefactor van een stoel is zowel in een experimentele opstelling als onder praktijkcondities te bepalen. In deze studie zijn beide beoordelingsmethoden gehanteerd.

De bestuurdersstoelen zijn geselecteerd naar drie gebieden met specifieke trillingskarakteristieken, waar veelvuldig gebruik gemaakt wordt van afgeveerde stoelen: het wegvervoer, het terreinvervoer en het vervoer op industrieterreinen. Er zijn 12 stoelen geselecteerd, die representatief zijn voor deze toepassingsgebieden.

Experimenteel onderzoek

Voor het experimentele onderzoek zijn de stoelen bemeten op een triltafel van de vakgroep Voertuigtechniek van de Technische Universiteit Delft. Met harmonische signalen zijn de resonantiefrequentie en de hierbij behorende maximale transmissiefactor van de stoel bepaald. Hiervoor werd op de stoel een dode massa van 75 kg geplaatst. De resonantiefrequentie is vastgesteld met een 'frequency response analyser' (Solartron). Vervolgens is bij aanstoting in de resonantiefrequentie de gewogen effectieve versnelling in de z-richting op de triltafel en op de stoelzitting gemeten (meetduur 170 seconden). De maximale transmissiefactor is te berekenen uit de verhouding van de versnelling op de zitting en de versnelling op de triltafel.

1. Vakgroep Veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft, Kanaalweg 2^b, 2628 EG Delft.

2. Instituut Arbeid en Gezondheid, Erasmus Universiteit Rotterdam.

3. Vakgroep Veiligheidskunde, Technische Universiteit Delft. Thans: Gemeentevervoerbedrijf Amsterdam.

Voor het meten van het trillingsisolerende vermogen van de stoel zijn karakteristieke trillingspectra voor de onderscheiden toepassingsgebieden gebruikt, overeenkomstig de richtlijnen van de Internationale Organisatie voor Standardisatie en het Duitse Normerings Instituut; de ISO-normen 5007, 7096 en de DIN-norm 45678 (DIN 1989, ISO 1979, 1980, 1982, 1985, Magnusson 1982). Een overzicht van de aangeboden signalen staat vermeld in tabel 1. Deze genormeerde standaard stochastische signalen zijn met een triltafel aangeboden aan de geselecteerde stoelen. Het trillingsspectrum voor aanstoting van heftruckstoelen is

de gewogen effectieve versnelling in de drie richtingen op de stoelzitting en de vectorsom. De vectorsom geeft een indruk van de bijdrage van de trillingen in de horizontale richtingen (x- en y-richting) aan de totale trillingsbelasting en wordt berekend met onderstaande formule:

$$a_{w,v} = \sqrt{[(1,4 a_{w,x})^2 + (1,4 a_{w,y})^2 + a_{w,z}^2]}$$

Voor de beoordeling van de trillingsbelasting van de chauffeur is de acht uren-vermoeidheidsgrens $0,32 \text{ m/s}^2$ in de z-richting en de verhouding van de vectorsom en verticale trillingsintensiteit als criterium gebruikt. Wanneer de 150% overschreden wordt, betekent dit een aanzienlijke bijdrage van trillingen in de x- en y-richting aan de totale trillingsbelasting van de bestuurder.

Naast dit meettechnische deel is informatie verzameld over factoren, die van invloed kunnen zijn op de trillingsbelasting, maar die niet kwantitatief te bepalen zijn. Hiervoor is een gestructureerde vragenlijst ontwikkeld, die per meetpunt mondeling beantwoord is door vier groepen die invloed kunnen uitoefenen op aanschaf en gebruik van de stoel: de betreffende bestuurder van het bemeten voertuig, de chef van de technische dienst, de verantwoordelijke arbeidshygiënist of veiligheidskundige en de manager van het betreffende bedrijf. De volgende onderwerpen zijn in de vragenlijst aan bod gekomen:

- de argumenten voor de keuze van de stoel;
- de instelling van de stoel;
- de kwaliteit en de frequentie van het onderhoud van de stoel;
- de kwaliteit en de frequentie van de voorlichting aan de chauffeur over de stoel.

Resultaten van het experimenteel onderzoek

In tabel 2 zijn voor de bemeten stoelen de resonantiefrequentie (f_{res}) en de maximale transmissiefactor (T_{max}) weergegeven. Het blijkt dat de resonantiefrequentie en maximale transmissie van de onderzochte stoelen niet significant verschillen tussen luchtgeveerde en mechanisch geveerde stoelen (t-test, $p > 0,05$). In tabel 3 zijn de resultaten vermeld van de trillingsisolerende eigenschappen van de 12 onderzochte stoelen bij aansturing met gedefinieerde trillingsspectra. De $a_{w,z,zitting}$ geeft de gewogen effectieve versnelling in de z-richting aan op de stoelzitting, die gemeten is bij de aangeboden trillingsspatronen. De transmissiefactor is de maat voor het trillingsisolerende vermogen van de stoelen. Bij nagenoeg alle stoelen blijkt dat de transmissiefactor lager is bij de combinatie van stoel-zware proefpersoon.

Bij aanstoting van de stoelen voor vrachtwagens met een signaal volgens DIN 45678 (klasse 3, $0,95 \text{ m/s}^2$), hebben twee van de zes stoelen een isolerend effect. Dit zijn beide luchtgeveerde stoelen met een lage resonantiefrequentie. Stoel 6 heeft de laagste resonantiefrequentie en heeft bij het aangeboden vrachtwagensignaal een trillingsisolerende werking van 33-50%. Beide mechanisch geveerde stoelen versterken het signaal met 9-28%. Bij toetsing aan de acht uren-vermoeidheidsgrens, $0,32 \text{ m/s}^2$ in de z-richting, voldoet geen van de stoelen.

Bij aanstoting van de afgeveerde stoelen voor het terreinvervoer verzakken bijna alle stoelen het aangeboden signaal. De bereikte trillingsreductie bedraagt in sommige gevallen meer dan 60%. Het aangeboden signaal is echter dermate sterk, de $a_{w,z,bodem}$ bedraagt $2,05 \text{ m/s}^2$ bij landbouwtractoren en $1,40 \text{ m/s}^2$ bij rupsvoertuigen, dat deze goede trillingsreductie bij geen van de stoelen leidt tot trillingsniveaus onder de acht uren-vermoeidheidsgrens. Bij aanstoting van de stoelen voor heftrucks heeft stoel 11 een trillingsreductie van 8-32%. De transmissiefactor van stoel 12 wordt sterk beïnvloed door het aangeboden sig- ▶

Tabel 1. De aangeboden signalen van het experimentele onderzoek, per toepassingsgebied en per voertuig

toepassingsgebied	signaal type	klasse	$a_{w,z,bodem}$ m/s ²	referentie
wegvervoer	vrachtwagen	3	0,93	DIN 45678
terreinvervoer	tractor	1	2,05	ISO 5007
vervoer	rupsvoertuig	4	1,40	ISO 7096
industrievervoer	heftruck 1,5 ton		1,00	Wickström 1977
	heftruck 8 ton		1,20	Wickström 1977

afgeleid uit literatuurgegevens (Wickström e.a. 1977).

Aanstoting met stochastische signalen heeft plaatsgevonden met een 'lichte' en een 'zware' proefpersoon van respectievelijk 53 kg en 95 kg. Met een piëzo-elektrische versnellingsopnemer van Brüel en Kjaer, type 4365, is de versnelling op de triltafel geregistreerd. De opnemer op de stoelzitting was een tri-axiale zittingsversnellingsopnemer, Brüel en Kjaer, type 4322. Per meting is de meetduur 240 seconden. Alle metingen zijn in drievoud uitgevoerd. De bepaalde parameters van dit onderzoeksdeel zijn; de maximale transmissiefactor, de resonantiefrequentie, de gemiddelde transmissiefactor van het aangeboden trillingsspectrum en de gewogen effectieve versnelling in de z-richting op de stoelzitting.

Veldonderzoek

Van de 12 bestuurdersstoelen uit het experimentele onderzoek zijn 11 stoelen in het veldonderzoek opgenomen. Eén mechanisch afgeveerde stoel bleek tijdens het veldonderzoek aanzienlijk minder gangbaar, dan tijdens de selectie van de stoelen vermoed werd.

In het veldonderzoek zijn de binnenkomende trillingen in het stoelframe bepaald door een trillingsopnemer op het bevestigingspunt van de stoel op de cabinevloer van het voertuig te plaatsen. De trillingen op de stoelzitting zijn gemeten met een zittingsopnemer. Deze metingen zijn met dezelfde apparatuur uitgevoerd als in het experimentele onderzoek. De metingen zijn verricht onder meest voorkomende omstandigheden; per stoel-voertuig combinatie zijn twee metingen geselecteerd bij een lage rijsnelheid en een slecht wegdek en twee metingen bij een hoge rijsnelheid en een goed wegdek. 50 km/uur is de lage rijsnelheid voor het wegvervoer en 80 km/uur de hoge rijsnelheid. Bij het terreinvervoer en het industrievervoer geldt een lage rijsnelheid van 10 km/uur of minder en een hoge rijsnelheid van meer dan 10 km/uur. De typering van een goed wegdek voor wegvervoer en het terreinvervoer is een geasfalteerde weg. Bij het industrievervoer is het wegdek 'goed' wanneer op het bedrijfsterrein de rijstroken geasfalteerd zijn of bestaan uit vlak gelegde stelconplaten. Alle andere typen wegdek zijn voor de drie toepassingsgebieden als 'slecht' beoordeeld.

Per meting is de meetduur vijf minuten. De bepaalde parameters van dit onderzoeksdeel zijn; de gemiddelde transmissiefactor van het aangeboden trillingsspectrum,

naal. Bij toetsing aan de acht uren-vermoeidheidsgrens voldoet geen van de stoelen.

Resultaten van het veldonderzoek

Tijdens het veldonderzoek zijn de gewogen effectieve versnellingen in de drie richtingen gemeten van zowel het ingaande signaal, de $a_{w,bodem}$, als het signaal op de zitting van de stoel, de $a_{w,zitting}$. Met deze gegevens zijn de transmissiefactor en de vectorsom berekend. Tabel 4 geeft de resultaten weer van de metingen van verschillende stoelen. Bij de beoordeling van het trillingsisolerende vermogen

van de stoel, de transmissiefactor, is een spreiding van 10% aangehouden. 58% van de stoelen verzwakt het aangeboden signaal. Deze stoelen isoleren het ingaande signaal tot een maximum van 52%. Bij 23% van de stoelen wordt het aangeboden signaal noch verzwakt, noch versterkt en bij de resterende stoelen is er sprake van een versterking van het aangeboden signaal. Dit kan oplopen tot 45% van het ingaande signaal.

De trillingsisolerende werking van een stoel is onafhankelijk van het niveau van het ingaande signaal en afhankelijk van het frequentiespectrum en van de constructieve

Tabel 2. Overzicht van stoeleigenschappen

nr	merk	toepassing	vering	f_{res} (Hz)	T_{max}
1	Grammer MSG 90	wegvervoer	lucht	1,6	1,22
2	Bostrom Air Viking 714	wegvervoer	lucht	1,8	1,49
3	Bostrom Viking 414	wegvervoer	mechanisch	1,6	1,17
4	ISRI 6500/515	wegvervoer	lucht	1,9	1,22
5	ISRI 5000/385	wegvervoer	mechanisch	2,1	2,36
6	Grammer LS 95 H	weg, terreinvervoer	lucht	1,2	2,43
7	ISRI 6500/516	terreinvervoer	lucht	1,2	1,03
8	Bostrom Viking 303 E	terreinvervoer	mechanisch	1,9	1,06
9	Grammer DS 85 H3	terreinvervoer	mechanisch	1,4	2,52
10	Bostrom XH-U2	terreinvervoer	mechanisch	1,7	1,17
11	Bostrom Viking 303 T	industrievervoer	mechanisch	1,7	1,38
12	Grammer GS 12	industrievervoer	mechanisch	2,7	2,32

Tabel 3. Resultaten van experimenteel onderzoek: gemiddelde transmissiefactor en gewogen effectieve versnelling in de verticale richting bij aanstoting met genormeerde trillingspectra voor de drie toepassingsgebieden

stoel	signaal	gemiddelde transmissiefactor				$a_{w,zitting}$ (m/s ²)			
		53 kg		95 kg		53 kg		95 kg	
gewicht	proefpersoon	SD		SD		SD		SD	
<i>wegvervoer</i>									
1-lu	vrachtwagen	0,87	0,01	0,79	0,02	0,83	0,01	0,75	0,02
2-lu	vrachtwagen	1,10	0,01	0,89	0,01	1,05	0,01	0,85	0,01
3-me	vrachtwagen	1,22	0,01	1,09	0,01	1,16	0,01	1,04	0,01
4-lu	vrachtwagen	0,99	0,01	0,81	0,01	0,94	0,01	0,77	0,01
5-me	vrachtwagen	1,28	0,06	1,23	0,02	1,22	0,06	1,17	0,02
6-lu	vrachtwagen	0,67	0,02	0,50	0,01	0,64	0,01	0,48	0,01
<i>terreinvervoer</i>									
6-lu	landbouw tractor	0,48	0,01	0,34	0,01	0,98	0,00	0,70	0,01
	rupsvoertuig	0,33	0,01	0,27	0,01	0,46	0,01	0,37	0,01
7-lu	landbouw tractor	0,72	0,01	0,59	0,01	1,48	0,00	1,21	0,02
	rupsvoertuig	0,83	0,01	0,70	0,01	1,17	0,01	0,98	0,02
8-me	landbouw tractor	1,06	0,01	0,84	0,02	2,17	0,03	1,72	0,04
	rupsvoertuig	1,08	0,01	0,91	0,01	1,52	0,02	1,28	0,01
9-me	landbouw tractor	0,85	0,06	0,55	0,01	1,74	0,12	1,13	0,03
	rupsvoertuig	0,47	0,01	0,38	0,01	0,66	0,01	0,53	0,01
10-me	landbouw tractor	0,69	0,01	0,70	0,02	1,41	0,02	1,44	0,04
	rupsvoertuig	0,78	0,02	0,84	0,01	1,10	0,03	1,18	0,02
<i>industrievervoer</i>									
11-me	heftruck 1,5 ton	0,78	0,02	0,68	0,04	0,78	0,02	0,68	0,04
	heftruck 8 ton	0,92	0,01	0,81	0,04	1,10	0,01	0,97	0,05
12-me	heftruck 1,5 ton	0,68	0,01	0,59	0,01	0,68	0,01	0,59	0,01
	heftruck 8 ton	1,74	0,09	1,65	0,05	2,09	0,11	1,98	0,06

lu: lucht geveerd
me: mechanisch geveerd
SD: standaarddeviatie

eigenschappen van de stoel, waaronder de eigenfrequentie en de dempingskarakteristiek. Het ingaande trillingspatroon is grotendeels onbekend. Dit betekent, dat een zelfde stoel gemonteerd op verschillende voertuigen, een significant ander trillingsisolerend vermogen kan hebben. De resultaten van de metingen geven dit ook aan (figuur 1).

Tijdens het veldwerk zijn lucht geveerde en mechanisch geveerde stoelen bemeten. Het effect van een verschillend type vering van de stoel op de trillingsbelasting wordt zichtbaar in de individuele meetwaarden per voertuig-

lingen in het horizontale vlak, in de x- en y-richting vormen een belangrijke aandeel in de trillingsbelasting van de bestuurder. Bij het wegvervoer en het industrievervoer varieert de vectorsom tussen de 130% en 260%. Bij de voertuigen van het terreinvervoer is de vectorsom extreem hoog. Dit vindt voornamelijk zijn oorzaak in de ruwe ondergrond.

Tabel 4. Resultaten veldonderzoek: gemiddelde trillingsintensiteit, gemiddelde transmissiefactor en vectorsom

stoel en type vering	voertuig	n	$a_{w,z,zitting}$ (m/s^2)		T		vectorsom (%)
<i>wegvervoer</i>							
			SD		SD		
1-lu	autocarrier, Renault G230	4	0,52	0,08	0,77	0,04	150
2-lu	<i>gemiddelde waarde</i>	8	0,66	0,17	1,13	0,14	168
	vrachtwagen, DAF 2100	4	0,63	0,25	1,09	0,03	.
	vrachtwagen, DAF 1300	4	0,60	0,05	1,17	0,20	168
4-lu	<i>gemiddelde waarde</i>	16	0,69	0,25	0,91	0,16	154
	autocarrier, Mercedes 2224	4	0,50	0,13	0,86	0,09	157
	autocarrier, Renault GB231	4	0,55	0,02	0,83	0,15	132
	betonwagen, DAF 2300	4	0,73	0,30	0,88	0,20	176
	tankwagen, DAF 2800	4	0,99	0,10	1,05	0,15	142
5-me	<i>gemiddelde waarde</i>	8	0,58	0,18	0,93	0,10	127
	autocarrier, Renault GB231	4	0,65	0,20	0,98	0,10	127
	vrachtwagen, Volvo FL6-14	4	0,51	0,15	0,88	0,08	.
<i>terreinvervoer</i>							
6-lu	<i>gemiddelde waarde</i>	12	0,48	0,20	0,69	0,15	368
	tractor, Fendt 304	4	0,36	0,05	0,69	0,10	394
	cirkelmaaier, Toro 322D	4	0,53	0,08	0,68	0,20	408
	tractor, Ford 4610	4	0,55	0,33	0,71	0,19	316
7-lu	tractor, MBTrac 1100	4	0,38	0,05	1,07	0,27	177
8-me	tractor, Ford 7710	4	0,47	0,25	1,17	0,06	225
9-me	<i>gemiddelde waarde</i>	12	0,76	0,26	1,10	0,35	181
	tractor, Fendt 303	4	0,78	0,07	0,96	0,03	196
	tractor, Ford 4610	4	0,92	0,30	1,45	0,38	145
	cirkelmaaier, Toro 322D	4	0,58	0,28	0,89	0,23	185
10-me	tractor, Holder A40	4	0,65	0,21	1,26	0,53	223
<i>industrievervoer</i>							
8-me	Tug master, TerBerg	4	0,69	0,10	1,11	0,06	174
11-me	heftruck, Nissan 30	4	0,55	0,12	0,61	0,03	.
	heftruck, Still R70	4	0,72	0,35	0,60	0,06	262
	heftruck, Hyster H3 ¹	4	0,35	0,12	0,88	0,06	.
12-me	heftruck, Nissan 30	4	0,59	0,20	0,78	0,22	.
	heftruck, Hyster H2 ¹	4	0,29	0,03	0,97	0,13	.
	heftruck, Hyster H4	4	0,89	0,21	0,73	0,06	127

lu: lucht geveerde stoel
 me: mechanisch geveerde stoel
 n: aantal metingen
 SD: standaarddeviatie

T: gemiddelde transmissiefactor
 vectorsom: uitgedrukt als percentage van $a_{w,z,zitting}$
 ∴ geen gegevens bekend

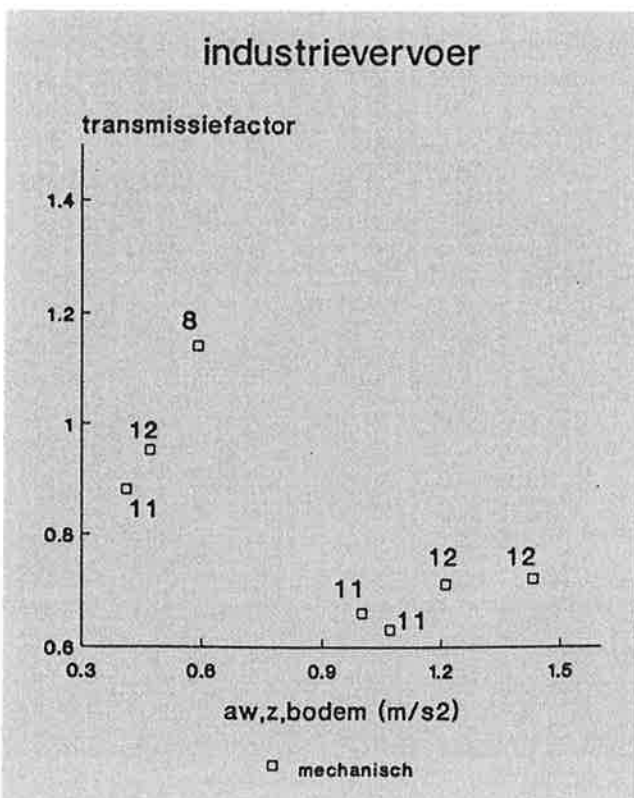
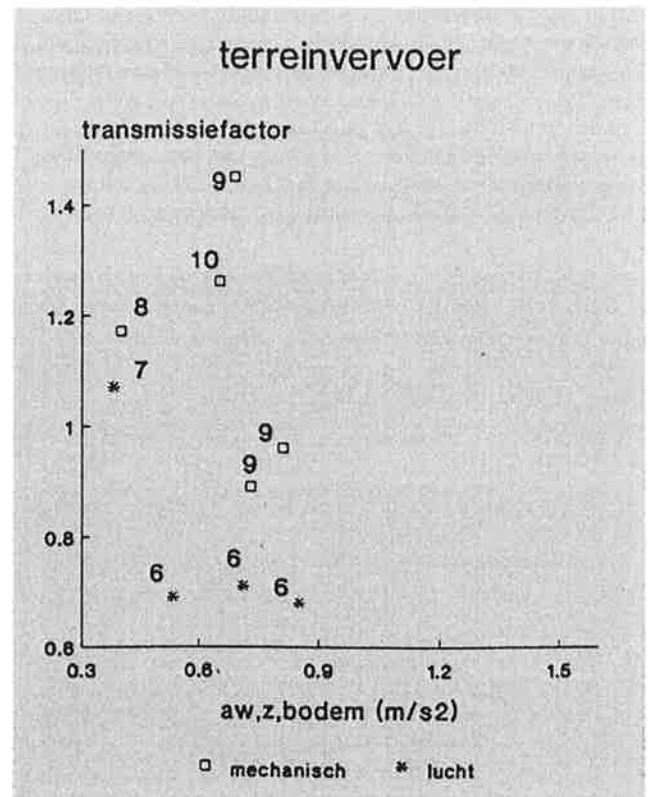
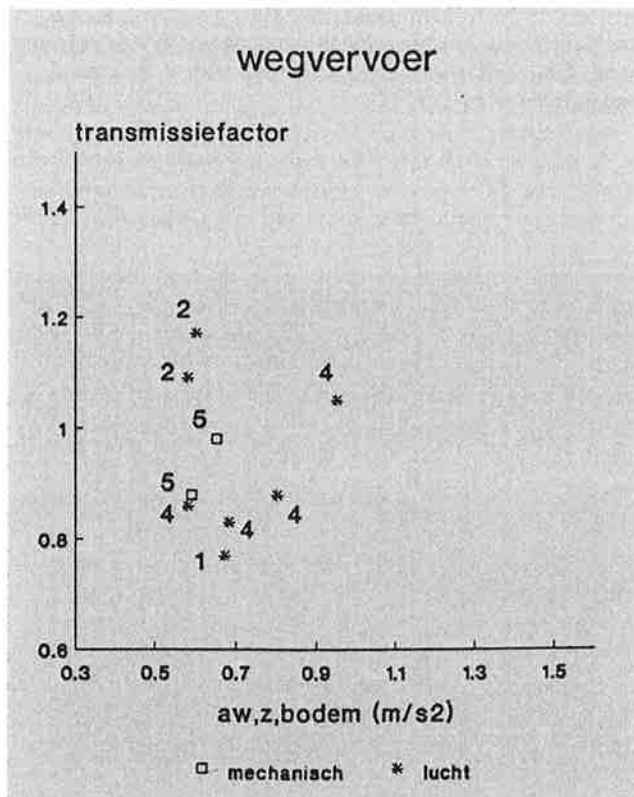
stoel combinatie. Zie hiervoor de tabel 4 of figuur 1. Bij de meetresultaten van de voertuig-stoel combinaties zijn geen significante verschillen aangetroffen in transmissiefactoren van lucht versus mechanisch geveerde stoelen (t-test, $p > 0,05$).

Bij alle stoelen is de gewogen versnelling in verticale richting groter dan $0,32 m/s^2$. Binnen een categorie van voertuigen kunnen belangrijke verschillen aanwezig zijn in de gemeten trillingsbelasting voor de bestuurder. De tril-

Resultaten van het vragenlijstonderzoek

De onderwerpen van de vragenlijst zijn de mogelijke vervanging van de bestuurdersstoel waarmee het voertuig wordt geleverd, de instelling, het onderhoud en de voorlichting over het gebruik van de stoel. Voor deze factoren is een standaard vastgesteld en de resultaten worden als afwijkingen van de standaard aangegeven. Voor de instelling van de mechanisch geveerde stoel is de standaard de gewichtsinstelling 'middenstand veerweg', het midden ►

Figuur 1. Resultaten veldonderzoek: trillingseigenschappen van stoelen in verschillende voertuig-stoel combinaties. De getallen in de figuren corresponderen met de nummers van de stoelen uit tabel 2



tussen het onderste en bovenste aanslagpunt van de veerconstructie. De standaard voor het onderhoud is de controle c.q. vervanging van lagers, van draaipunten van de stoel, de veer, de demper en de slee tijdens het groot onderhoud van het voertuig. Bij voorlichting is een eenmalige voorlichting bij aanschaf van het voertuig of bij een nieuwe bestuurder over de gezondheidseffecten van

lichaamstrillingen en de instelling van de stoel de standaard.

De aanwezige bestuurdersstoel

Het merendeel van de onderzochte voertuigen is bij aanschaf voorzien van een andere bestuurdersstoel, dan waarmee het voertuig geleverd wordt (tabel 5). De vervanging van bestuurdersstoelen vindt zowel plaats bij bedrijven die het voertuig in eigendom hebben als bij bedrijven die het voertuig leasen. Voor de keuze worden door de geïnterviewden drie typen argumenten genoemd: gezondheid, comfort en financiële overwegingen. Door alle geïnterviewden worden gezondheidsklachten zoals rugklachten genoemd om van stoel te veranderen. De financiële overwegingen worden alleen door de hoofden van technische diensten en het management gebruikt. Hierbij wordt aangenomen, dat hogere aanschafkosten van de keuzestoel een betere kwaliteit garandeert. De voorkeur van de bestuurder(s) wordt bij zes bedrijven meegenomen bij de keuze van de stoel.

Instelling van de bestuurdersstoel

Stoelen hebben diverse instelmogelijkheden. Tijdens het vragenlijstonderzoek is onder bestuurders informatie ingewonnen over de gewichtsinstelling van de mechanisch geleverde stoel. Bij drie van de 14 voertuigen is de gewichtsinstelling hoger dan de 'middenstand veerweg'. De reden voor een afwijkende instelling zijn een verbeterd zicht en de onwetendheid van de bestuurder. Bij de drie toepassingsgebieden worden voertuigen door wisselende bestuurders gebruikt. Bij de helft van de bedrijven van het terreinvervoer en het industrievervoer worden de stoelen bij deze wisseling niet op gewicht heringesteld. In de meeste gevallen is herinstelling gewenst.

Het onderhoud van de bestuurdersstoel

Tijdens het onderzoek is gebleken, dat met een levensduur

van gemiddeld 5-10 jaar, de stoelen langer meegaan dan het voertuig. Het onderhoud van de stoel is bij meer dan de helft van de voertuigen geen onderdeel van het groot onderhoud van het voertuig (tabel 5). Bij een aantal bedrijven is geen informatie aanwezig over het onderhoud van de stoel. Het onderhoud is uitbesteed aan een voertuigleverancier, het voertuig is geleased of de technische dienst van het bedrijf is op een andere locatie gevestigd. Bij de resterende bedrijven wordt geen onderhoud aan de stoel verricht ofwel omdat er geen klachten van bestuurders bekend zijn, ofwel omdat aangenomen wordt dat stoelen onderhoudsvrij zijn.

Voorlichting over het gebruik van de bestuurdersstoel

Voorlichting over gezondheidseffecten van lichaamstrillingen en het gebruik van de stoel wordt slechts bij twee bedrijven verzorgd. Bij de andere bedrijven is de activiteit op het gebied van voorlichting moeilijk te achterhalen. Zonder uitzondering melden alle geïnterviewde bestuurders, dat voorlichting in het bedrijf geheel ontbreekt. Als reden wordt opgegeven, dat het bedrijf geen traditie op het gebied van voorlichting heeft. Dit beeld wordt, onafhankelijk van de omvang van het bedrijf, of bevestigd door de andere geïnterviewden of de voorlichting bestaat volgens het leidinggevend personeel uit instructie over de instelmogelijkheden van de stoel. In geen van deze bedrijven wordt informatie verstrekt over de gezondheidseffecten van lichaamstrillingen.

Tabel 5. Resultaten vragenlijstonderzoek: aantal bedrijven en aantal voertuigen met een andere bestuurdersstoel dan standaard geleverd wordt en aantal bedrijven en voertuigen waar geen onderhoud verricht wordt aan de bestuurdersstoel

	aantal bedrijven	aantal voertuigen
vervanging bestuurdersstoel		
wegvervoer	5 (83%)	8 (89%)
terreinvervoer	2 (50%)	7 (70%)
industrievervoer	3 (75%)	5 (71%)
geen onderhoud bestuurdersstoel		
wegvervoer	5 (83%)	8 ¹ (89%)
terreinvervoer	1 (25%)	2 (33%)
industrievervoer	4 (100%)	7 ² (100%)

1. van drie voertuigen is bij het bedrijf geen informatie over het onderhoud aanwezig
2. van vijf voertuigen is bij het bedrijf geen informatie over het onderhoud aanwezig

Discussie

Recent is verslag gedaan van onderzoek naar lichaamstrillingen van tankwagenaanvoerders en van instructeurs van lesvrachtwagens (Mulder en Remijn 1989, Veld 1989a, Veld 1989b). Daaruit bleek een hoge trillingsbelasting voor de chauffeurs en instructeurs. De vermoeidheids-grens, gedefinieerd door de International Organisation for Standardisation werd in het merendeel van de stoelvrachtwagen combinaties overschreden. Het onderzoek van tankwagens liet een trillingsisolerend effect zien van lucht geveerde bestuurdersstoelen. In het hier gepresenteerde onderzoek worden deze resultaten niet bevestigd (tabel

4, stoel 4). Bij de lesvrachtwagens leverde het wegdek een aanzienlijke bijdrage aan de trillingsbelasting van instructeurs (Veld 1989a). In ons onderzoek bleek dat een slecht wegdek en een hoge rijsnelheid de aangeboden trillingsintensiteit verhogen met 0,2-0,4 m/s² (Swuste e.a., 1991). Door Veld werd geconstateerd dat het trillingsisolerende vermogen van bestuurdersstoelen wordt bepaald door de constructieve eigenschappen van de stoelen en door de binnenkomende trillingsspectra. Bij stoelen van een zelfde type kunnen dan ook aanmerkelijke verschillen worden gevonden in de trillingstransmissie (Veld 1989b). Ook deze bevindingen worden door het huidige onderzoek bevestigd.

Met de gebruikte onderzoeksmethode is tijdens het experimentele onderzoek onder gecontroleerde omstandigheden gemeten. Dit maakt een vergelijking van afgeveerde stoelen mogelijk. De resultaten van het experimentele onderzoek zijn te verklaren uit de resonantiefrequentie van de stoel en de trillingsspectra van de aangeboden signalen. Deze spectra zijn als bijlage opgenomen in het uitgebreide verslag van het onderzoek (Swuste e.a. 1991). Wanneer de resonantiefrequentie van de stoel in het gebied ligt van de piek van het aangeboden signaal is opslingering te verwachten. Dit is een aantal keren waargenomen. Het duidelijkste voorbeeld is stoel 12 tijdens het experimentele onderzoek na aanstoting met een signaal voor 8 tons heftrucks. Deze stoel is niet voorzien van een schokdemper en is daarom niet geschikt voor deze toepassing. Een geringere opslingering wordt bereikt door het toepassen van een demper. Stoelen met een lage resonantiefrequentie en een relatief geringe demping geven het beste resultaat in situaties waar de amplitude van de trillingen niet al te groot is. Een sterkere demper verhoogt in de praktijk de resonantiefrequentie. Dit heeft een nadelig effect doordat het gebied waar trillingen worden gereduceerd, het bovenkritische gebied, wordt verkleind. Bovendien heeft een sterkere demper een geringere trillingsisolerende werking binnen het bovenkritische gebied tot gevolg (Drimmelen e.a., 1987). De hoogte van de maximale transmissiefactor is een indicatie voor de sterkte van de toegepaste demper. Alleen daar waar trillingen met lage frequentie en grote amplitude overheersen, is het aan te bevelen een sterkere demper toe te passen.

Bij stoel 3 is de gemiddelde transmissie gemeten met stochastische signalen hoger dan de maximale transmissie bij de resonantiefrequentie uit tabel 2. Dit is te verklaren uit het feit dat de metingen in het eerste geval uitgevoerd zijn met een proefpersoon van 53 kg en in het laatste geval met een dode massa van 75 kg. Over het algemeen lijkt de stoelvering beter te werken voor zware personen. Bij de beoordeling van stoelen, gemeten tijdens het veldonderzoek is de combinatie van de vermoedingsgrens, de vectorsom en de transmissiefactor relevant. Geen van de bemeeten stoelen scoort positief op alle drie criteria. In een aanzienlijk deel van de bemeeten werkomstandigheden versterkt de afgeveerde stoel het trillingssignaal of heeft geen effect. Bij een groot deel van de stoelen leveren de trillingen in het horizontale vlak een aanzienlijke bijdrage aan de trillingsbelasting van de bestuurder. Bij vrijwel alle stoelen wordt de acht uren-vermoeidheids-grens overschreden. Deze resultaten komen overeen met de bevindingen van het eerdergenoemde Nederlands en met Brits en Duits onderzoek (Griffin 1978, Christ en Kaulbars 1986). Bij de bespreking van de resultaten van het veldonderzoek is het gewicht van de bestuurder buiten beschouwing gelaten. Bij geen van de stoelen bleek dat het gewicht van de bestuurder een significante bijdrage leverde aan de verklaring van de gemeten trillingsniveaus. In dit onderzoek is geen significant verschil gevonden tussen de trillingsisolerende werking van de lucht geveerde ►

versus de mechanisch geveerde bestuurdersstoelen. Een dergelijk verband lijkt aanwezig aangezien in acht van de 12 voertuig-lucht geveerde stoel combinaties de trillingen meer dan 10% worden gereduceerd, tegenover slechts 2 van de 7 voertuig-mechanisch geveerde stoel combinaties. Door de kleine aantallen is dit verschil echter niet significant (Fisher Exact toets, $p > 0,05$).

Bij de beoordeling van de trillingsisolerende werking is alleen rekening gehouden met trillingen in het aangeboden signaal. Voor schokken, trillingen met een zeer sterke intensiteit, ontbreken geschikte meet- en beoordelingsprocedures. In de praktijk kan het schokisolerende vermogen van een stoel een grote invloed hebben op het ervaren comfort van een bestuurdersstoel.

De resultaten van het experimentele onderzoek vertonen geen overeenkomst met de resultaten van het veldonderzoek (t-test voor gepaarde waarnemingen, $p > 0,05$). Het is niet mogelijk op basis van experimentele gegevens een goed advies te geven over afgeveerde stoelen onder praktijkcondities. Hiervoor zijn twee redenen aan te geven. Allereerst komen de signalen uit het veldonderzoek niet overeen met de gestandaardiseerde genormeerde signalen. En ten tweede is voor het trillingsisolerende gedrag niet de stoel maar de combinatie van stoel en voertuig bepalend, zoals blijkt uit de grote variatie in gedrag van één specifieke stoel in verschillende voertuigen.

De vier onderzochte factoren van het vragenlijstonderzoek worden door de diverse categorieën geïnterviewden verschillend beïnvloed. Zo bepaalt de bestuurder de instelling van de stoel, wordt het onderhoud door een technische dienst uitgevoerd en is de voorlichting over de risico's van lichaamstrillingen de verantwoordelijkheid van het management. Alle geïnterviewden, inclusief de arbeidshygiënist of de veiligheidskundige, kunnen de keuze van de bestuurdersstoel op het betreffende voertuig beïnvloeden. De instelling van een mechanisch geveerde stoel is bij de meeste voertuigen in de positie 'middenstand veerweg'. Bij het merendeel van de voertuigen wordt bij de aanschaf de geleverde bestuurdersstoel vervangen door een andere stoel. Bij de keuze van de stoel spelen de gezondheidsrisico's van lichaamstrillingen een rol. Gezien de lange gebruiksduur van de stoel is het opvallend, dat bedrijven geen onderhoud aan de stoel plegen. Of, bij uitbesteed onderhoud, niet op de hoogte zijn van het onderhoud. De vierde onderzochte factor, de voorlichting over het gebruik van de stoel, is bij de meeste bedrijven afwezig of lijkt beperkt tot de instelmogelijkheden van de stoel.

De resultaten zijn gebaseerd op gegevens van 14 bedrijven en 26 voertuig-stoel combinaties. De generaliseerbaarheid van de uitspraken is beperkt, maar deze geven een indicatie dat na de aanschaf van de stoel er weinig aandacht is voor onderhoud en juist gebruik van de stoel.

Met de onderzoeksresultaten zijn afgeveerde stoelen beoordeeld op hun trillingsisolerend vermogen en niet in de ondersteuning van de lichaamshouding van de chauffeur of bestuurder. Deze eigenschap van stoelen speelt een belangrijke rol bij mogelijke gezondheidseffecten.

Conclusies

In dit onderzoek is het trillingsisolerende vermogen van 12 verschillende bestuurdersstoelen onderzocht. De gemeten transmissiefactoren van deze stoelen in het experimentele onderzoek vertonen een slechte overeenkomst met de transmissiefactoren onder praktijkcondities. In het veldonderzoek bleken in 15 voertuig-stoel combinaties (58%) de trillingen met meer dan 10% te worden gereduceerd. In vijf voertuig-stoel combinaties (19%) werden de trillingen met meer dan 10% versterkt. Ondanks het trillingsreducerende effect van de meeste onderzochte stoelen zijn afgeveerde stoelen in het algemeen een weinig effectieve

maatregel in de beperking van de trillingsbelasting van de bestuurder tot een aanvaardbaar niveau. Andere beheersmaatregelen zijn vaak noodzakelijk, waaronder het beperken van de rijsnelheid en het verbeteren van het wegdek. Het trillingsgedrag van stoelen wordt in grote mate bepaald door constructieve eigenschappen van de voertuig-stoel combinaties. Dit betekent dat een specifieke stoel in verschillende voertuigen een ander trillingsisolerend gedrag kan vertonen. Het verdient aanbeveling het trillingsgedrag van een stoel (merk en type) in een bepaald voertuig (merk en type) als unieke combinatie te testen.

Nawoord

Het onderzoek is gefinancierd door het Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van SZW. Het verslag van het onderzoek is recent verschenen in de studiereeks van het Directoraat-Generaal van de Arbeid (Swuste e.a., 1991).

Literatuur

- Bongers, P. en H. Boshuizen, 1990; Back disorders and whole-body vibration at work. Proefschrift. Universiteit van Amsterdam.
- Burdorf, A., P. Oortman Gerlings, D. van Drimmelen en Y. Musson, 1986; Schatting van de risikopopulatie voor beroepsmatige blootstelling aan trillingen en schokken. Tijdschrift voor Sociale Gezondheidszorg 64, blz. 654-655.
- Christ, E. en U. Kaulbars, 1986; Schwingungseinwirkung an Arbeitsplätzen von Kraftfahrern auf Nutzfahrzeugen, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), BIA-Report 3/86.
- DIN, 1989; DIN 45678, ontwerpnorm met betrekking tot het testen en het beoordelen van weg vervoerstoelen Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- Drimmelen, D. van, A. Burdorf en Y. Musson, 1987; Aan 'trillend tuig' valt veel te verbeteren. Tijdschrift voor Arbeidsomstandigheden 63, nr. 1, blz. 43-45.
- Griffin, M.J. 1978; The evaluation of vehicle vibration and seats, Applied Ergonomics, 9, p. 15-21.
- Hulshof, C. en O. Veldhuijzen van Zanten, 1986; Gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan lichaamstrillingen tijdens arbeid. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, ICG-rapport LA-DR-10-02, Voorburg.
- International Organisation for Standardisation-ISO, 1979; Agricultural wheeled tractors and field machinery-Measurement of whole-body vibration of the operator, ISO 5008, Geneve.
- International Organisation for Standardisation-ISO, 1980; Agricultural wheeled tractors-Operator seat-Measurement of transmitted vibration, ISO TR 5007, Geneve.
- International Organisation for Standardisation-ISO, 1982; Earth-moving machinery. Operator seat-Transmitted vibration. ISO 7096, Geneve.
- International Organisation for Standardisation-ISO, 1985; Guidelines for the evaluation of human exposure to whole body vibration. ISO-NEN 2631, Geneve.
- Magnusson, G., 1982; The working environment of bus drivers-Vibrations, VTI rapport 227, National Road & Traffic Research Institute, Sweden.
- Mulder, J. en B. Remijn, 1989; Expositie aan lichaamstrillingen bij tankwagenaanrijders. Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 2, nr. 1, blz. 8-12.
- Seidel, H. en R. Heide, 1986; Long-term effects of whole-body vibrations: a critical survey of the literature. International Archives of Occupational and Environmental Health 58, p. 1-26.
- Swuste, P., A. Burdorf, W. Hoefnagels, W. van der Woude en D. van Drimmelen, 1991; Vermindering van trillingsbelasting door afgeveerde stoelen. Rapport studiereeks S 58-3. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Den Haag.
- Veld, A. A. van't, 1989a; Lichaamstrillingen in lesvrachtwagens (1), Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 2, nr. 5, blz. 80-82.
- Veld, A. A. van't, 1989b; Lichaamstrillingen in lesvrachtwagens (2), Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap 2, nr. 5, blz. 83-88.
- Wikström, B. en J. Hansson, 1977; Trillingen van het gehele lichaam in industrietrucks en mijnbouw machines. Arbetarskyddstryrelsen Stockholm. Vertaling: B. van Hatten. ■