

Invloed van wegdek en stoel

# Lichaamstrillingen in lesvrachtwagens (2)

Drs. A.A. van 't Veld,  
Natuurkundewinkel RU Utrecht

**Summary**

Exposure of lorry instructors to whole-body vibration was measured according to the guidelines of ISO 2631/1. The influence that pavement and vertical seat vibration transmission have on the vibration level was defined. Overall weighted acceleration levels exceeded the ISO fatigue decreased proficiency limit for daily exposure times of 8 hours. On brick-pavement the vector sum levels were between 0,71 m/s<sup>2</sup> and 1,30 m/s<sup>2</sup>. Overall weighted transmissions between 0,72 and 1,16 were found. Possible ways of reducing the vibration levels to which lorry instructors are exposed are discussed.

**Inleiding**

Rijden vormt een risicofactor voor het ontstaan van rugklachten (Troup, 1978 en 1986). Van groot belang hierbij zijn statische en dynamische belasting van de rug en blootstelling van de rug aan lichaamstrillingen en schokken. Recente literatuuroverzichten over de invloed van lichaamstrillingen op de mens zijn gegeven door Sandover (1981), Panjabi e.a. (1986), Seidel en Heide (1986) en Hulshof en Veldhuijzen van Zanten (1987). Over de invloed van schokken is veel minder bekend, hoewel de nadelige effecten ervan worden erkend (Sandover, 1981 en Oortman Gerlings e.a., 1987).

In het kader van een onderzoeksproject naar de effecten van herhaalde mechanische schokken op de rug (Van 't Veld, te verschijnen), zijn in 1988 metingen verricht naar het voorkomen van schokken en trillingen bij instructeurs op een viertal lesvrachtwagens. Voor deze groep is gekozen omdat hun werkzaamheden worden gekenmerkt door dagelijkse en langdurige blootstelling aan trillingen. Om een indruk van de grootte

van de trillingsbelasting te krijgen, is de trillingsblootstelling vergeleken met de meest gangbare norm: ISO 2631/1 (1985).

Dit is het tweede van twee artikelen. In het eerste (Van 't Veld, 1989) zijn analyse en beoordeling van trillingsignalen behandeld. In dit tweede artikel staan de volgende vragen centraal:

1. hoe ligt het trillingsniveau van de doelgroep ten opzichte van de grenswaarden uit ISO 2631/1 (1985)?;
2. welke invloed hebben diverse factoren op het trillingsniveau? Bijvoorbeeld wegdek, snelheid, ervaring, stoel- en cabinevering en al dan niet aangekoppeld zijn van een aanhanger;
3. hoe is de situatie te verbeteren?

**Methode**

*Meetomstandigheden*

Metingen zijn uitgevoerd in vier vrachtwagens, van verschillende merken (DAF, Mercedes, Scania), in gebruik bij verkeersscholen in Ede, Utrecht, Amersfoort en Gouda. In elke vrachtwagen is tijdens twee lesritten het trillingsniveau gemeten op de rechterstoel, de bijrijdersstoel

van de instructeur. Tabel 1 geeft een overzicht van de vrachtwagens. Bij elke wagen is bij aanschaf de standaardstoel voor de bijrijder vervangen door een exemplaar met luchtvering in verticale richting, van hetzelfde type als de standaard bestuurdersstoel. De sterkte van de dempers van de stoelen is niet bekend. De stoelen van wagen 4 waren bovendien voorzien van mechanische vering in de lengterichting (x-richting). Luchtvering van de cabine wordt bij lesvrachtwagens nauwelijks toegepast. Navraag bij importeurs leverde slechts één type op, waar de achterzijde van de cabine was voorzien van luchtvering. Een exemplaar van dit type is in de metingen betrokken, wagen 3.

Tabel 2 vermeldt de ritten, de massa van de instructeur en de rijervaring van de chauffeur.

Per wagen zijn de verschillen in rijervaring van de chauffeur gering: steeds 1 punt op de gehanteerde vierpuntsschaal. De chauffeurs van wagen 2 hebben relatief weinig, die van wagen 4 relatief veel ervaring. Tijdens de ritten 3, 4, 5, 6 en 8 werd een willekeurige examenroute van het CBR (Centraal Bureau Rijvaardigheidsbewijzen) gereden in de plaats van vestiging van de verkeersschool. Inclusief de ritten heen en terug bedroeg de gemiddelde lesduur 58 min. Bij rit 1 en 2 was er sprake van een veel langere aanlooproute, van Ede naar de examenplaats Arnhem, duur ca. 20 min. De lessen van deze verkeersschool duurden daarom bijna 2 uur, waarin ca. één tot anderhalve examenroute werd gereden.

Bij een aantal verkeersscholen worden ook lessen gegeven met vrachtwagen plus aanhanger. De grootste invloed van de aanhanger op het trillingsniveau kan worden verwacht in de x-richting en dan vooral binnen de bebouwde kom, bij afremmen, optrekken en schakelen. Om dit te ►

**Tabel 1. Overzicht vrachtwagens**

Wagen nr.	Jaar	Massa (10 <sup>3</sup> kg)	Vering cabine	Stoel	Plaats
1	1987	13	geen	ISRI 8500	Ede/Arnhem
2	1987	10	(v) geen, (a) schroef	ISRI 6500/515	Utrecht
3	1988	13	(v) geen, (a) lucht	ISRI 6500/515	Amersfoort
4	1987	10	geen	ISRI 6500/515	Gouda
4a		10			

Wagen nr.: nummer 4a betreft een aanhanger die gedurende één rit aan wagen 4 was gekoppeld. Jaar: bouwjaar.

Massa: massa vrachtwagen (1 t/m 4) of aanhanger (4a), incl. lading.

Vering cabine: (v) voor- resp. (a) achterzijde cabine.

Stoel: merk en type van instructeursstoel (= bijrijdersstoel). De uitvoering daarvan is voor elke wagen gelijk aan die van de chauffeursstoel. Alle stoelen zijn luchtgeveerd in de z-richting. De stoel in wagen 4 heeft bovendien mechanische vering in de x-richting.

onderzoeken is rit 7 uitgevoerd met vrachtwagen plus aanhanger. Tijdens deze rit zijn uit 2 examenroutes die delen gereden die binnen de bebouwde kom liggen met de instructeur als chauffeur en de auteur als proefpersoon.

De vrachtwagens waren vrij nieuw, bouwjaar 1987 en 1988. Ze waren voor ongeveer de helft van het laadvermogen geladen met betonplaten. Dit is conform de richtlijnen van het CBR.

#### Meetapparatuur, analyse en beoordeling

De gebruikte meetapparatuur en de analyse- (specifiek/integraal) en beoordelingsmethode (mono-/tri-axiaal, TAB) zijn uitgebreid beschreven in het eerste artikel. De significantie van verschillen is bepaald met behulp van de Student t-test uit de significantieniveaus ( $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ,  $p < 0,10$ ) van enkelzijdige betrouwbaarheidsintervallen van verschillen in gemiddelden.

Integrale analyse is uitgevoerd voor alle ritten met uitzondering van rit 7. Voor rit 7 zijn integrale resultaten achteraf benaderd op grond van specifieke analyse van rit 7, bebouwde kom en rit 8, snelweg.

Specifieke analyse is uitgevoerd voor één rit per vrachtwagen: rit 2, 3, 5 en 8. Ook de rit met aanhangwagen, rit 7, is aldus geanalyseerd.

#### Stoeltransmissie

Bij een aantal trajecten zijn de tertsbandspectra van de verticale versnellingen van het stoelframe en de stoelzitting op elkaar gedeeld. Dit levert de transmissie van de stoel als functie van de middenfrequenties van de tertsbanden. Omdat de transmissie frequentieafhankelijk is en niet-lineair (belastingafhankelijk, Köhne e.a. 1982), moet het effect van de stoel op de trillingsbelasting van de chauffeur/instructeur per situatie worden beoordeeld. De aangewezen grootte hiervoor is de frequentiegevoegene effectieve transmissie, ook aangeduid als Seat Effective Amplitude Transmission (SEAT) (Bou-langer, 1986, Griffin, 1978 en AFNOR, 1981). Deze is gedefinieerd als:

$$SEAT = a_{zs}/a_{zf}$$

met  $a_{zs}$  en  $a_{zf}$  de frequentiegevoegen rms-waarde van de versnelling in de z-richting van de stoelzitting, resp. het stoelframe. Een waarde van SEAT groter of kleiner dan 1 betekent dat de stoel de binnenkomende trillingen versterkt resp. verzwakt.

#### Resultaten

De resultaten van de integrale ana-

Tabel 2. Gegevens instructeur en chauffeur

Rit nr.	Vrachtwagen nr.	Massa instructeur (kg)	Ervaring chauffeur
1	1	65	3
2	1	83	2
3	2	80	1
4	2	80	2
5	3	118	2
6	3	118	3
7	4 + aanhanger	78	4
8	4	81	3

De ervaring van de chauffeur is ingedeeld in een vierpuntsschaal:

- 1: Leerling met weinig vrachtwagenervaring
- 2: Gevorderde leerling
- 3: Leerling op examenniveau
- 4: Instructeur als chauffeur

Tabel 3. Versnellingsniveaus en tri-axiale bijdragen, gemeten op de bijrijdersstoel tijdens rit 2, 3, 5 en 8 en berekend met specifieke analyse

rit	trajecttype	duur (min.)	d.r.	$a_d$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{xyz}$ (m/s <sup>2</sup> )	TAB
2	BK, 0-10 km/u	13	y	0,06 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,36 ± 0,03
2	BK, asfalt	51	z	0,42 ± 0,05	0,58 ± 0,06	0,29 ± 0,02
2	BK, klinkers	7	x	0,60 ± 0,07	1,30 ± 0,12	0,36 ± 0,03
2	Asfalt	33	z	0,45 ± 0,09	0,59 ± 0,12	0,24 ± 0,01
2	Betonplaten	9	z	0,79 ± 0,01	1,03 ± 0,01	0,23 ± 0,01
	totaal	113				
3	BK, 0-10 km/u	5	x	0,10	0,17	0,18
3	BK, asfalt	21	z	0,47 ± 0,05	0,56 ± 0,06	0,16 ± 0,02
3	BK, klinkers	4	z	0,92 ± 0,12	1,24 ± 0,20	0,26 ± 0,02
3	Asfalt	25	z	0,58 ± 0,12	0,67 ± 0,14	0,13 ± 0,01
	totaal	55				
5	BK, 0-10 km/u	11	y	0,23 ± 0,06	0,44 ± 0,06	0,28 ± 0,03
5	BK, asfalt	24	z	0,35 ± 0,03	0,58 ± 0,06	0,40 ± 0,02
5	BK, klinkers	10	y	0,34 ± 0,07	0,79 ± 0,08	0,41 ± 0,02
5	Asfalt	13	z	0,38 ± 0,02	0,56 ± 0,05	0,32 ± 0,02
	totaal	58				
8	BK, 0-10 km/u	7	z	0,03	0,04	0,25
8	BK, asfalt	34	z	0,30 ± 0,04	0,42 ± 0,05	0,28 ± 0,01
8	BK, klinkers	6	z	0,46 ± 0,03	0,71 ± 0,04	0,35 ± 0,02
8	Asfalt	16	z	0,49 ± 0,09	0,64 ± 0,12	0,23 ± 0,05
	totaal	63				

d.r. : dominante richting.

$a_d$  : versnelling in dominante richting.

$a_{xyz}$  : versnelling, vectorsom.

TAB : tri-axiale bijdrage.

De vermelding BK duidt op een trajecttype binnen de bebouwde kom. De opgegeven fouten zijn de middelbare fouten in het gemiddelde van de metingen op één traject en in één wagen. Voor alle wagens is op klinkers (BK) de waarde van  $a_{xyz}$  significant groter ( $p < 0,10$ , Student t-test) dan  $a_{xyz}$  op andere trajecten ( $p < 0,10$ ), m.u.v. wagen 8, asfalt (buiten BK). Voor wagen 1 geldt tevens  $a_{xyz, beton} > a_{xyz, asfalt}$  ( $p < 0,01$ ).

lyse zijn vermeld in het eerste artikel, tabel 1. De resultaten van de specifieke analyse van rit 2, 3, 5 en 8 zijn weergegeven in tabel 3.

In enkele gevallen kwam een bepaald type wegdek slechts éénmaal voor en is dus geen maat voor de onnauwkeurigheid beschikbaar. Voor alle wagens, met uitzondering

van wagen 4 op asfalt buiten de bebouwde kom, is het trillingsniveau op klinkers hoger dan op alle andere trajecten ( $p < 0,10$ ). Voor wagen 1 is verder het trillingsniveau op beton significant groter dan op asfalt, buiten de bebouwde kom ( $p < 0,01$ , Student t-test).

De maximale blootstellingsduren over de gehele ritten genomen, zijn ver-

meld in tabel 4 van het eerste artikel. Alle maximale blootstellingsduren liggen onder de 8 uur, ongeacht welke analysemethode wordt toegepast, integraal of specifiek, mono- of tri-axiaal.

Met wagen 4 is één bepaald traject zowel met als zonder aanhanger gereden, de eerste maal met de instructeur, de tweede maal met een ver gevorderde leerling als chauffeur. In tabel 4 worden de trillingsniveaus van beide situaties vergeleken. Van rit 7 was op het traject klinkers slechts één meting mogelijk; een voorzichtige schatting van de onnauwkeurigheid is overname van de procentuele fouten van het traject asfalt van dezelfde rit. Dit geeft als onnauwkeurigheden in  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$  en  $a_{xyz}$  resp.:  $0,03 \text{ m/s}^2$ ,  $0,06 \text{ m/s}^2$ ,  $0,08 \text{ m/s}^2$  en  $0,11 \text{ m/s}^2$ .

Alleen in de x-richting op asfalt in de bebouwde kom bestaat er een significant verschil ( $p < 0,05$ ) tussen de trillingsniveaus met en zonder aanhanger. Dit werkt echter niet significant door in  $a_{xyz}$ . Voor de trillingsbelasting, gebaseerd op dominante richting of vectorsom, kunnen beide situaties dus als equivalent worden beschouwd. Bij het opstellen van tabel 1, rit 7 (eerste artikel) is van dit gegeven gebruik gemaakt. De transmissie van de stoel in wagen 2 op klinkers bij 20 km/u is weergegeven in figuur 1.

Bij lage frequenties treedt versterking op, het maximum ligt in de tertsband van 2,00 Hz bij een transmissie van 1,70. Deze frequentie ligt dicht bij het gebied van maximale gevoeligheid van de wervelkolom voor verticale trillingen, 4-8 Hz volgens ISO 2631/1. In dat gebied is de transmissie echter kleiner dan 1. Ook de waarde van SEAT is kleiner dan 1, nl. 0,93, tabel 5, zodat de stoel over het geheel genomen de trillingsbelasting vermindert op dit traject. De frequentiegewogen effectieve transmissie van enkele andere trajecten is eveneens vermeld in tabel 5. De waarde van SEAT is trajectafhankelijk, op klinkers (wagen 2, traject nr. 6 en 7) is SEAT significant ( $p < 0,05$ ) kleiner dan op asfalt (wagen 2, traject nr. 2, 3, 4, 8 en 9). Bij de stoelen van wagen 3 en 4 liggen op vergelijkbare trajecten (nr. 7 en 10, evenals 2 t/m 4 en 11) de waarden van SEAT 23% resp. 10% lager dan die van wagen 2.

Bij wagen 2 zijn in totaal 9 transmissiemetingen verricht, de waarden van SEAT liggen tussen 0,89 en 1,16. Op sommige trajecten treedt dus na weging over het frequentiespectrum versterking van de trillingsintensiteit op.

**Tabel 4. Trillingsniveaus op bijrijdersstoel van wagen 4, met en zonder aanhangwagen**

Rit	Trajecttype	$a_x \text{ (m/s}^2\text{)}$	$a_y \text{ (m/s}^2\text{)}$	$a_z \text{ (m/s}^2\text{)}$	$a_{xyz} \text{ (m/s}^2\text{)}$
7	BK, asfalt	$0,18 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,03$	$0,36 \pm 0,05$	$0,49 \pm 0,07$
7	BK, klinkers	0,30	0,29	0,55	0,80
8	BK, asfalt	$0,14 \pm 0,01$	$0,15 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,04$	$0,41 \pm 0,05$
8	BK, klinkers	$0,22 \pm 0,02$	$0,32 \pm 0,01$	$0,46 \pm 0,03$	$0,71 \pm 0,04$

Rit 7 met aanhanger, rit 8 zonder.

Alle trajecten liggen binnen de bebouwde kom (BK).

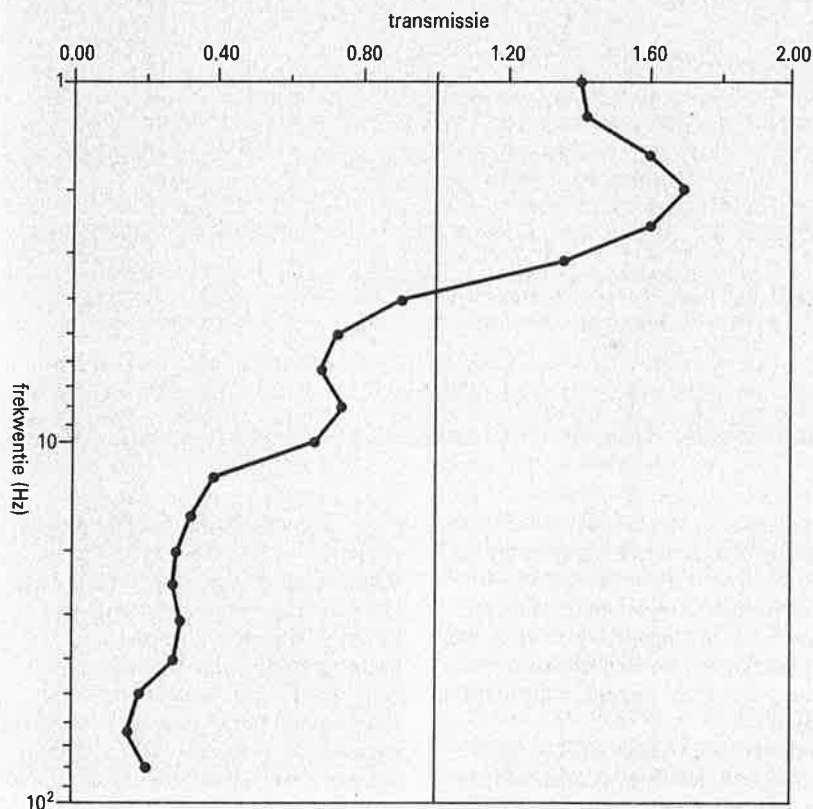
$a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$  : versnelling in x-, y- en z-richting.

$a_{xyz}$  : versnelling, vectorsom.

De opgegeven fouten zijn de middelbare fouten in het gemiddelde (m.u.v. rit 7, klinkers, waar slechts 1 meting is verricht).

Tussen rit 7 en 8 bestaan er bij overeenkomstige trajecttypen geen significante verschillen in trillingsniveaus ( $p < 0,10$ , Student t-test), m.u.v.  $a_x$  op traject asfalt, BK ( $p < 0,05$ ).

**Figuur 1. Tertsbandspectrum van de trillingstransmissie van de instructeursstoel uit wagen 2, rijdend over klinkers met 20 km/u, tabel 5, traject 7**



De stoeltransmissie van wagen 3 op klinkers bij 20 km/u, SEAT = 0,72, is weergegeven in figuur 2. Ook hier treedt bij lage frequenties versterking op, echter veel minder dan bij wagen 2, figuur 1.

#### Schokken

De 'schokachtigheid' van het signaal is onderzocht bij wagen 1 bij twee bandfragmenten met een hoog trillingsniveau. De crest-factoren (ISO 2631) bedroegen, in resp. de x-, y- en z-richting, bij 30 sec. over betonweg met 80 km/u,  $CF_x = 13,2$ ,  $CF_y =$

$11,5$ ,  $CF_z = 2,1$  en bij 30 sec. over klinkers met 20-30 km/u,  $CF_x = 4,5$ ,  $CF_y = 4,3$ ,  $CF_z = 4,2$ . Omdat crestfactoren groter dan 6 voorkomen, is de invloed op gezondheid en prestatie waarschijnlijk groter dan gewogen versnelling volgens ISO 2631/1 aangeeft.

#### Discussie

##### Vergelijking met soortgelijke vrachtwagens

In de literatuur zijn voor soortgelijke vrachtwagens de volgende trillingsni-

veaus vermeld. Oortman Gerlings e.a. (1987) melden voor een DAF 2100, b.j. 1984, ISRI luchtgeveerde stoel, rijdend over asfalt met niet vermelde snelheid:  $a_{xyz} = 0,75 \text{ m/s}^2$ . Voor een DAF 1600, b.j. 1978, mechanisch geveerde stoel, rijdend over klinkers bij 55 km/u, resp. asfalt bij 85 km/u vonden zij:  $a_{xyz} = 1,51 \text{ m/s}^2$  resp.  $a_{xyz} = 0,61 \text{ m/s}^2$ . De eerste en derde waarde stemmen overeen met waarden uit tabel 3, de tweede ligt beduidend hoger.

Christ en Kaulbars (1986) hebben in een pilot-studie bij een geladen Mercedes 2233L, b.j. 1982, ISRI 8500

het wegdek, momenteel goed haalbaar is in middelzware vrachtwagens (zwaarder dan ca.  $7\frac{1}{2}$  ton). Enerzijds is er namelijk sprake van optimaal materiaal: de lesvrachtwagens uit het onderzoek waren alle vrij nieuw en uitgerust met relatief goede stoelen. Anderzijds werd er gereden over wegen van verschillende kwaliteit, die samen representatief zijn voor het Nederlandse wegennet.

#### Trillingsbelasting

Door de spreiding in ervaring van de chauffeurs, in de massa van de instructeurs, in het type vrachtwagen

gen 4 is het verschil tussen klinkers en asfalt buiten de bebouwde kom niet significant ( $p < 0,10$ ). De betonweg is voor de verkeersschool uit Ede de standaard route naar Arnhem. Zonder veel bezwaar kan echter gekozen worden voor een snelweg met asfalt. De maximale blootstelduren  $T_d$  en  $T_{xyz}$  nemen dan 39 min. resp. 20 min toe. Vervanging van de klinkertrajecten door asfalt geeft gemiddeld een toename in  $T_d$  en  $T_{xyz}$  van  $36 \pm 3$  min. resp.  $33 \pm 3$  min.

#### Aanhangwagen

In het onderzochte geval, wagen 4 met mechanische stoelvering in de x-richting, is de invloed van een aanhangwagen op het trillingsniveau in de dominante richting en op de vectorsom te verwaarlozen. Aanvullend onderzoek is nodig om te kunnen beoordelen in hoeverre dat ook geldt voor situaties waar trillingen in de x-richting dominant zijn (zoals bij wagen 3) al dan niet in aanwezigheid van mechanische stoelvering in de lengterichting.

#### Snelheid

Wegens velerlei variërende factoren kon geen verband worden gelegd tussen het trillingsniveau en de snelheid.

#### Ervaring van chauffeurs

Er bestaat een duidelijke correlatie tussen de ervaring van de leerlingchauffeur en het optredende trillingsniveau  $a_{xyz}$ , vergelijk de verschillen tussen de wagens in tabel 2 en in tabel 1 van het eerste artikel. Ook als de twee ritten per wagen onderling worden vergeleken is  $a_{xyz}$  bij twee van de vier wagens meer dan  $0,06 \text{ m/s}^2$  groter bij de minst ervaren chauffeur. In de overige twee gevallen is er binnen  $0,06 \text{ m/s}^2$  overeenstemming. Hierbij is  $0,03 \text{ m/s}^2$  een schatting voor de onnauwkeurigheid in een meting.

#### Vering cabine

Wegens verschillen in massa van de instructeurs, in functioneren van de stoelen, in vering van chassis en in ervaring van de chauffeurs kan op grond van de resultaten geen uitspraak worden gedaan, ook niet bij redelijk onderling vergelijkbare trajecten, over verschillen in trillingsdamping van half-lucht, half-mechanisch of niet-geveerde cabines.

#### Stoel

Vergelijking van de resultaten van wagen 2 met die van wagens 3 en 4, tabel 5, toont dat zelfs bij hetzelfde type stoel nog aanzienlijke verschillen

**Tabel 5. Stoeltransmissie van bijrijdersstoel**

Nr.	Traject	Wagen	$a_{zf}$ ( $\text{m/s}^2$ )	SEAT
1	BK, 0-10 km/u	2	0,08	1,01
2	BK, asfalt	2	0,38	1,01
3	BK, asfalt	2	0,44	1,05
4	BK, asfalt, 0-60 km/u	2	0,37	1,09
5	BK, asfalt met spoorwegovergang	2	0,63	0,89
6	BK, klinkers	2	0,86	0,92
7	BK, klinkers, 20 km/u	2	1,11	0,93
8	Asfalt	2	0,39	1,16
9	Asfalt	2	0,67	1,02
10	BK, klinkers, 20 km/u	3	0,69	0,72
11	BK, asfalt, 10-50 km/u	4	0,27	0,95

BK : traject binnen de bebouwde kom.

$a_{zf}$  : frequentiegewogen r.m.s. waarde van de verticale versnelling van het stoelframe.

SEAT : frequentiegewogen trillingstransmissie tussen stoelframe en stoelzitting.  $SEAT = a_{zf}/a_{zf}$ , met  $a_{zf}$  de frequentiegewogen r.m.s. waarde van de verticale versnelling van de stoelzitting.

Bij wagen 2 bestaat er een significant verschil ( $p < 0,05$ , Student t-test) tussen de SEAT-waarde van fragment 6 en 7 (klinkers) enerzijds en fragment 2, 3, 4, 8 en 9 (asfalt binnen en buiten BK) anderzijds.

luchtgeveerde stoel, in stadsverkeer resp. op een autosnelweg gemeten:  $a_z = 0,26 \text{ m/s}^2$  resp.  $a_z = 0,35 \text{ m/s}^2$ . Deze waarden liggen onder die van tabel 3. Over mogelijke oorzaken van de verschillen met de literatuur, zoals bijvoorbeeld het wegdek, valt niets te zeggen.

Boulanger e.a. (1986) hebben bij mechanisch geveerde stoelen in trekker-oplegger combinaties waarden van SEAT gevonden die merendeels boven 1,0 liggen (minimum 0,85, maximum 1,35). Christ en Kaulbars (1986) vonden op uiteenlopende typen vrachtwagens voor mechanisch geveerde stoelen waarden van SEAT tussen 0,73 en 1,44, voor luchtgeveerde stoelen tussen 0,97 en 1,19. Hoewel onvoldoende metingen zijn verricht voor statistisch significante conclusies, lijken de in dit artikel weergegeven metingen voor de stoeltransmissie gemiddeld wat lager te liggen dan de literatuurwaarden. De volgende stelling lijkt gerechtvaardigd. De resultaten in tabel 3 tonen het trillingsniveau dat, gegeven

en in de gemiddelde wegdekwaliteit geven de onderzoeksresultaten een representatief beeld van de trillingsblootstelling van instructeurs in lesvrachtwagens. Voor alle onderzochte situaties ligt het trillingsniveau waaraan de instructeurs zijn blootgesteld hoger dan de FDP-grenswaarden volgens ISO 2631/1 (1985), ongeacht welke beoordelingsmethode wordt toegepast, zie het eerste artikel, tabel 4. Tri-axiale beoordeling geeft maximale blootstelduren van 3 tot 4 uur; bij mono-axiale evaluatie is dit 4 tot  $7\frac{1}{2}$  uur. Maatregelen ter introductie zijn dus noodzakelijk. Een aantal factoren die van invloed zijn op het trillingsniveau wordt hieronder behandeld. De genoemde spreiding beperkt uiteraard de mogelijkheden tot onderlinge vergelijking van aparte factoren.

#### Wegdek

Klinkers en betonplaten leveren een hogere waarde voor  $a_{xyz}$  dan asfalt, tabel 3 ( $p < 0,10$ ). Alleen voor wa-

in trillingstransmissie op kunnen treden. Mogelijke oorzaken daarvan kunnen zijn onderhoud en de keuze van de demper in verband met het lichaamsgewicht van de chauffeur/instructeur en het trillingsgedrag van de vrachtwagen. Bij lesvrachtwagens ligt hier een probleem, omdat er vaak verschillende instructeurs op een wagen rijden. Om doorslaan van de stoel te voorkomen zal de keuze van de demper moeten worden bepaald door de massa van de zwaarste instructeur, ten nadele van de trillingsdemping van lichtere personen. Dit verklaart mede het goede resultaat

chauffeurs en instructeurs voorkomen, verdienen luchtgeveerde stoelen de voorkeur.

#### Aanbevelingen

Leidraad bij de mogelijkheden tot preventie is een systeem met vijf klassen van maatregelen (Van Drimelen e.a. 1988). Achtereenvolgens zijn dit:

1. eliminatie van de bron,
2. isolatie,
3. onderhoud en controle,
4. maatregelen bij niet te voorkomen blootstelling en
5. medisch ingrijpen ter beperking

Het effect van isolatiemaatregelen is voor de onderzochte vrachtwagens echter waarschijnlijk beperkt: er wordt gereden met vrij nieuw materiaal en relatief goede luchtgeveerde stoelen. Een toepassing van een rondom luchtgeveerde cabine in combinatie met ongeveerde stoelen, of van stoelen met actieve vering (Köhne e.a. 1982, Boulanger e.a., 1986 en Tattermusch, 1988) kan wellicht een verbetering betekenen. Gezien de hoge waarde van de transmissie dient één van de vier onderzochte stoelen op grootte en functioneren van de trillingsdemping gecontroleerd te worden. Dit feit onderstreept het belang van onderhoud en controle.

Resteert klasse 4, in dit geval het terugbrengen van de werktijd op de vrachtwagen, evt. ook door ter afwisseling les te geven in minder trillende personenauto's.

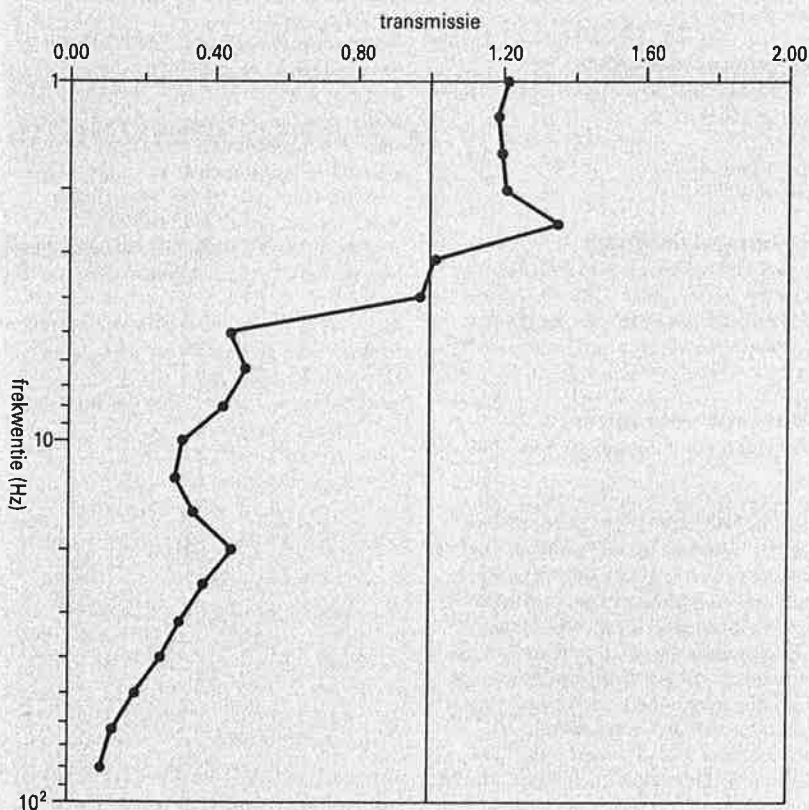
#### Conclusies

1. De gemeten versnellingsniveaus overschrijden alle de FDP-grenswaarden voor 8 uur blootstelling per dag, ongeacht de toegepaste analyse- en beoordelingsmethode.
2. Factoren waarvan de invloed op het trillingsniveau kon worden aangetoond, zijn:
  - a. wegdek: op klinkers en betonplaten werden de hoogste trillingsniveaus ( $a_{xyz}$ ) gevonden, tussen  $0,71 \text{ m/s}^2$  en  $1,30 \text{ m/s}^2$ ;
  - b. ervaring van de chauffeur: in twee van de vier situaties zijn verschillen in  $a_{xyz}$  gevonden groter dan  $0,06 \text{ m/s}^2$ , met het hoogste niveau bij de minst ervaren leerling;
  - c. trillingstransmissie van de stoel: tussen stoelen van hetzelfde type zijn op vergelijkbare trajecten aanmerkelijke verschillen gevonden. De transmissie is verder afhankelijk van het type wegdek.
3. Keuze van wegdek en stoeldemper alsmede onderhoud en controle van de stoel kunnen bijdragen aan trillingsreductie.

#### Literatuur

- AFNOR, Association Française de normalisation; Caractéristiques de l'aptitude d'un siège à réduire les vibrations transmises au conducteur. Spécifications pour les essais en laboratoire, NF E 90-451, 1981.
- Boulanger, P., Donati, P., Galmiche, J.P.; What INRS is doing to improve the lorry driver's vibration environment, Paper to United Kingdom Informal Group on Human Response to Vibration, Loughborough, 1986.
- Christ, E., Kaulbars, U.; Schwingungseinwirkung an Arbeitsplätzen von Kraftfahrern auf Nutzfahrzeugen - Vorstudie zur Prüfung und Auswahl von Führersitzen -, Nachtrag zum Tabellenteil, BIA- ▶

**Figuur 2. Tertsbandspectrum van de trillingstransmissie van de instructeursstoel uit wagen 3, rijdend over klinkers met 20 km/u, tabel 5, traject 10**



van de stoel uit wagen 3 (massa instructeur 118 kg). De relatief slechte transmissie van de stoel in wagen 2 draagt bij aan de daar gemeten hoge waarde van  $a_z$ . Met mechanisch geveerde stoelen kan een trillingsdemping van  $SEAT = 0,73$  worden bereikt (Christ en Kaulbars, 1986). In praktijk lijken echter luchtgeveerde stoelen beter te voldoen (Mulder en Remijn, 1989). Een mogelijke oorzaak hiervan is het feit dat luchtgeveerde stoelen van een automatische, en dus in praktijk vaak nauwkeuriger, gewichtstelling zijn voorzien. Zeker in lesvrachtwagens, waar vaak wisselingen van

van ontstane schade. In een enkel geval, namelijk dat van de verkeersschool die zonder bezwaar de betonplaten kan mijden, is eenvoudig een reductie in de trillingsbelasting haalbaar. Deze reductie is echter nog onvoldoende. Een andere mogelijkheid is vermindering van het aandeel van de klinkerbestrating in de CBR examenroutes. Voor- en nadelen daarvan blijven hier buiten beschouwing. Voor wat betreft de isolatie van trillingen verdient de keuze van de stoel en van de demper daarin in verband met lichaamsgewicht en voertuiggedrag de nodige aandacht.

Report 3/86 - Nachtrag -, Sankt Augustin, 1986.

- Drimmelen, D. van, Musson, Y.; Uitgangspunten voor vermindering van trillingsbelasting, Tijdschrift voor Ergonomie, 13, 2-7 en 15, 1988.

- Griffin, M.J.; The evaluation of vehicle vibration and seats. Applied Ergonomics 9, 15-21, 1978.

- Hulshof, C., Veldhuijzen van Zanten, B.; Whole-body vibration and low-back pain, A review of epidemiologic studies, Int. Arch. Occ. Environ. Health, 59, 205-220, 1987.

- International Organization for Standardization, ISO 2631/1-1985; Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration, Geneve, 1985.

- Köhne, G., Zerlett, G., Duntze, H.; Ganzkörperschwingungen auf Erdbaumaschinen, Entwicklung geeigneter Dämpfersysteme, Schriftenreihe 'Humanisierung des Arbeitslebens' Band 32, Düsseldorf, 1982.

- Mulder, J. Remijn, B.; Expositie aan lichaamstrillingen bij tankwagenauffeurs, Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap, 2 (1989), nr. 1, blz. 8-12.

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

- Panjabi, M.M., Andersson, G.B.J., Jorneus, L., Hult, E., Mattsson, L.; In vivo measurements of spinal column vibrations, J. Bone Joint Surg., 68-A, 695-702, 1986.

- Sandover, J.; Vibration, posture and low-back disorders of professional drivers, Dept. Human Sc., Loughborough Univ. Tech. Report DHS 402, Loughborough, 1981.

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

- Tattermusch, W.; Ergebnisse der praktische Erprobung eines aktiven Schwingungsschutzsystems für Fahrzeugsitze (ASS), Arbeitsschutz, Arbeitshygiene, Dresden, 24, 135-138, 1988.

- Troup, J.D.G.; Driver's back pain and its prevention, A review of the postural, vibratory and muscular factors, together with the problem of transmitted road-shock, Appl. Erg., 9, 207-214, 1978.

- Troup, J.D.G.; Epidemiology of the driver's back, AGARD-CP-378, 1-1 - 1-4, 1986.

- Veld, A.A. van 't; Lichaamstrillingen in lesvrachtwagens (1), Methoden van analyse en beoordeling, Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap 2 (1989), nr. 5, blz. 80-e.v.

- Veld, A.A. van 't; Effects of repeated mechanical shock on the in-vitro spine, A preliminary investigation about suited experimental approaches. Artikel in voorbereiding ter publikatie in Spine.