

Onderzoek Arboconvenant Agrarische Sector

**Analyse van de blootstelling aan
trillingen bij gebruik van
landbouwtrekkers**

*Analysis of the exposure to whole-body and
hand-arm vibrations using agricultural
tractors*

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2007-02



Onderzoek Arboconvenant Agrarische Sector

Analyse van de blootstelling aan trillingen bij gebruik van landbouwtrekkers

*Analysis of the exposure to whole-body and
hand-arm vibrations using agricultural
tractors*

Huub H.E. Oude Vrielink¹

Rapport 2007-02

¹ ErgoLab Research B.V.

Colofon

Titel	Analyse van de blootstelling aan trillingen bij gebruik van landbouwtrekkers
Auteur(s)	Huub H.E. Oude Vrielink
Rapport nummer	2007-02
ISBN-nummer	978-90-8585-154-7
Datum van publicatie	mei 2007
Vertrouwelijkheid	-
Project code	6211001400
Prijs	Dit rapport is vrij beschikbaar via internet adres www.groenkennisnet.nl/platformarbeid/

ErgoLab Research B.V.
Alexanderweg 56
NL-6721 HH Bennekom
Tel: +31 317 47 64 60
E-mail: huub.oudevrielink@wur.nl
Internet: www.groenkennisnet.nl/platformarbeid/

© 2007 ErgoLab Research B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher.
The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.*

Voorwoord

Op 2 juli 2002 is door het tripartiete kader van overheid, werkgevers en werknemers een Arboconvenant voor de agrarische sector getekend. Één van de afspraken hierbinnen is dat via onderzoek actief gewerkt wordt aan kennisvergroting over goede arbo-praktijk op de werkvloer. Het huidige rapport is het resultaat van een dergelijk onderzoek: het vergelijken van de trillingsblootstelling bij gebruik van verschillende landbouwtrekkers in praktijksituaties. Hierbij is tevens aandacht geschonken aan door de chauffeur beïnvloedbare factoren met het oog op een vermindering van de blootstelling.

Het onderzoek is alleen mogelijk geworden door de medewerking van vele betrokkenen. Allereerst worden de vertegenwoordigingen van de fabrikanten New Holland, John Deere en Fendt in Nederland bedankt voor hun bereidwillige medewerking aan het onderzoek en het zonder voorwaarden beschikbaar stellen van de trekkers! De medewerkers van het proefbedrijf van Wageningen UR – PPO agv te Lelystad (Piet, Sybren, Niek, Theo, Gerben, Fokke, Hans en Robert) worden bedankt voor hun medewerking als organisator en chauffeurs. De heer Anton A.J. Looije (A&E Wageningen) wordt bedankt voor zijn assistentie tijdens de metingen. Dr. Jochen Hemming (Wageningen UR – Plant Research International) wordt bedankt voor het vervaardigen van de LabView-computerapplicatie voor de meting en verwerking van trillingsignalen.

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het Arboconvenant voor de Agrarische Sector en is mogelijk gemaakt door een financiële subsidie van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, via de onderzoeksprogramma's BO-07-001 "Koepel Verduurzaming Productie en Transitie" en BO-07-414-I "Naar een Maatschappelijk Geaccepteerde Veehouderij". Met name wordt drs. G.G. van Leeuwen van het Ministerie van LNV, directie Landbouw, bedankt voor zijn inzet en sturing in het onderzoek ten behoeve van het Arboconvenant voor de agrarische sector.

De auteur.

Summary

European and Dutch legislation define maximum values, i.e. action values and limit values, for whole-body vibration (WBV) and hand-arm vibration (HAV) to which employees may be exposed on a working day. A transition period is defined until July 2014 for agriculture and forestry, but this holds only for machinery and equipment available for the workers before July 2007. The legislation is meant to protect the workers from health damage due to exposure to vibrations. If the action value (0.5 and 2.5 m/s^2 for WBV and HAV, respectively) is exceeded, organisational and/or technical measures are to be taken and health surveillance is to be organised, to limit or reduce the exposure. In case of exceeding the limit value (1.15 and 5 m/s^2 , for WBV and HAV), exposure should be brought back immediately to below this limit value. The use of tractors in agriculture and forestry is generally considered to be a set of working activities that need advice how exposure to vibrations can be reduced. The present research aimed to make an estimation of the daily exposure to WBV and HAV when using agricultural tractors during their normal working activities. In addition, it was investigated to which extent exposure can be influenced actively by the driver by his/her choice of different unevenness of surface, driving speed, tyre inflation pressure, tyre type or tractor type.

Exposure measurements have been performed with 7 experienced professional tractor drivers on 11 different tractors and during 17 different activities in agriculture and forestry. Twelve of the activities were evaluated with 2 drivers and on 2 different tractors; the other five activities were performed by 1 or 2 drivers on only one tractor. Vibration evaluation was performed according to ISO (2631-1, 1997, 2631-5, 2001 and 5349-1, 2001) on the seat (WBV) and at the steering wheel (HAV). Besides, vibrations of the tractor cabin at the chair base were measured to determine the effectivity of damping of the chair implemented (SEAT-value). Vibrations for each measurement site were measured in the 3 standard directions: X (for-afterward; a_{wx}), Y (sideward; a_{wy}), and Z (vertical; a_{wz}). During the tests, vibration results were displayed on-line digitally on a laptop computer and were stored. Processing of the data and calculation of definitive outcomes were performed off-line. The effect of different drivers ($n=6$), type of tyre (multi-purpose, ploughing, or low tension), tractor type (3 pairs of modern tractors in the light, medium and heavy power range, distinguishing within each pair with respect to the measures implemented to reduce vibration exposure) and tyre inflation pressure (rear: 0.75 - 2.0 bar; front: 0.5 - 1.0 bar) on vibration was determined during straight, constant velocity drive (speed in 5 categories, varying from 3 - 4 to 40 km/h) over 8 different surface types (flat asphalt road, brick road, unpaved road, flat field, grassland, rough terrain, meadowland, rough farmland). For the interpretation of the vibration values measured into daily exposure values, it was assumed that all of the agricultural activities tested are normally performed during a full working day of 8 hours.

Vibrations transmitted via the steering wheel appeared to exceed the action value for HAV only incidentally. No special measures need to be taken. The application of damping of the front axle appeared to parallel a considerably lower HAV exposure, compared to no front axle damping, and is likely to contribute to an improved driving comfort. Median values of WBV exposure during most of the agricultural activities investigated remain below or around the action value. This does not hold for ensilaging (median $a_{wx}=0.56 \text{ m/s}^2$), tedding of grass ($a_{wx}=0.60 \text{ m/s}^2$),

transport of a trailer or a cubic metre box over uneven surface and at driving speeds above 15 km/hour ($a_{wx}=0.63-0.99 \text{ m/s}^2$), and lugging of trees out of the wood using a tractor ($a_{wy}=1.16 \text{ m/s}^2$). For the transport of a trailer or cubic metre box over asphalt road, the WBV exposure was measured to remain well below the action value for the whole range of speeds tested.

Surface type and driving speed appeared to be the most important contributors to WBV exposure. A more uneven surface resulted into higher exposure values, when keeping the driving speed constant; an increasing driving speed on the same surface type resulted in a progressively increasing WBV exposure. Damping of the tractor cabin and of the axles contributed to a reduction of vibration exposure but, however, only partly compensated for the effects of surface type and driving speed. The mounting of different tyre types or lowering of the tyre inflation pressure did not have a systematic effect on WBV exposure during straight drive at any velocity or surface type. In addition, no effect was observed of tractor mass or power on WBV exposure.

For most of the tractors investigated, the seats showed SEAT values for X- and Y-axis vibrations >100% for the whole range of driving velocities. This implies that cabin vibrations in the horizontal plane are amplified by the seat. Because vibrations in this horizontal plane appeared to be dominant during all of the working activities tested, more attention is needed for damping of the tractor chair in this horizontal plane and better tuning of the damping characteristics of the chair and tractor.

The application of a chair with improved damping in this horizontal plane is advised, in order to lower WBV exposure during ensilaging and tedding of grass. Whether this measure is sufficient to reduce exposure below the action value is to be confirmed by additional measurements. The exceeding of the action value during transportation activities over uneven surfaces at velocities above 15 km/h is conquered most effectively by reducing driving speed or provision (or choice) of a more even surface (or route). In addition, implementation of more advanced damping techniques (i.e. of axles and cabin) will contribute to exposure reduction, but to a limited extent. Again, it is noted that damping characteristics of the chair should be tuned with those of the tractor. The lugging of trees out of the wood using a tractor results into very high exposures. Besides, the impact load, especially in sideward and vertical direction, is such that the activity implies a serious health risk. The main cause is the very rough surface of felled wood and forest trails, where strictly speaking can be driven only at very low driving speeds. The alternative for this type of activity is the use of a forwarder: WBV exposure remains below the action value.

Keywords: whole body vibration, WBV, hand-arm vibration, HAV, exposure reduction, agriculture, tractor driving, forestry, working technique, driving speed, surface, ISO-5349-1, ISO-2631-1.

Inhoud

Voorwoord	5
Summary	7
1 Introductie	11
2 Methode	15
2.1 Personen	15
2.2 Machines, uitrusting en werktuigen	15
2.3 Invloedsfactoren	18
2.3.1 Ondergrond en snelheid	18
2.3.2 Chauffeur	19
2.3.3 Trekertype	19
2.3.4 Bandentype	19
2.3.5 Bandenspanning	19
2.4 Werkzaamheden in de praktijk	20
2.4.1 Beschrijving van de werkzaamheden	20
2.4.2 Normale werkdagpatronen van de werkzaamheden	21
2.5 Meetapparatuur en procedure	21
2.6 Dataverwerking en statistiek	24
2.6.1 Dataverwerking	24
2.6.2 Dataweergave en statistiek	27
3 Resultaten	29
3.1 Snelheid en ondergrond	29
3.2 Chauffeur	30
3.3 Bandenspanning	31
3.4 Bandentype	32
3.5 Trekertype	33
3.5.1 Lichte trekkers	33
3.5.2 Middelzware trekkers	37
3.5.3 Zware trekkers	40
3.6 Agrarische bewerkingen met trekker	44
4 Discussie	49
4.1 Beperking van het huidige onderzoek	49
4.2 Werkmethoden in de praktijk: lichaamstrillingen	50
4.3 Werkmethoden in de praktijk: hand-arm trillingen	51
4.4 Invloedsfactoren	52
5 Conclusies en aanbevelingen	55
Referenties	57
Samenvatting	61
Bijlagen	63

Bijlage A: meetwaarden trekkertypen bij variatie ondergrond en snelheid	63
<i>Tabel A-1: Trekker 1</i>	63
<i>Tabel A-2: Trekker 2</i>	64
<i>Tabel A-3: Trekker 3</i>	65
<i>Tabel A-3: Trekker 3</i>	65
<i>Tabel A-4: Trekker 4</i>	66
<i>Tabel A-5: Trekker 5</i>	67
<i>Tabel A-6: Trekker 6</i>	68
<i>Tabel A-7: Trekker 7</i>	69
Bijlage B: meetwaarden van de blootstellingen bij verschillende bewerkingen	71

1 Introductie

In 2002 is de Europese trillingsrichtlijn 2002/44/EG (EU, 2002) aangenomen welke stelt dat vanaf 5 juli 2005 de lidstaten, waaronder Nederland, deze richtlijn in nationale wetgeving moeten hebben verankerd. In Nederland heeft dit per die datum geresulteerd in een wijziging van het Arbeidsomstandighedenbesluit, beschreven in het Staatsblad (Staatsblad, 2005). De wijziging definieert actie- en grenswaarden voor dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen (whole body vibration, of WBV) en hand-arm trillingen (HAV) van respectievelijk 0.5 en 1.15 m/s² en 2.5 en 5 m/s². Indien een werknemer op enige werkdag de actiewaarde overschrijdt moeten maatregelen genomen worden om de blootstelling aan trillingen te verminderen. Voorbeelden zijn alternatieve werkmethoden, andere arbeidsmiddelen, persoonlijke bescherming en hulpmiddelen, onderhoud van de arbeidsmiddelen, het geven van voorlichting en opleiding, of het beperken van de blootstellingstijd. Bovendien krijgt de werknemer het recht op gezondheidskundig toezicht. De grenswaarden mogen in geen geval worden overschreden. Indien dat het geval is moeten direct maatregelen worden genomen om de blootstelling tot onder de grenswaarde te brengen. Het besluit geldt voor iedere werkdag, daarbij aannemend dat werknemers vele verschillende blootstellingsmomenten zullen hebben op jaarbasis. Alleen indien de dagblootstelling bij uitzondering de grenswaarde overstijgt, dat wil zeggen indien de blootstelling gewoonlijk onder de actiewaarde en de gemiddelde blootstelling over een werkweek (40 uren) onder de grenswaarde blijft, mag de grenswaarde overschreden worden. Daarbij mag er geen gezondheidsrisico zijn en er moet verscherpt gezondheidstoezicht komen, en tevens moet de werknemer vooraf geraadpleegd worden. Het besluit is vanaf juli 2005 van kracht. Echter, voor overschrijdingen van de grenswaarden is een overgangsregeling van kracht, waarbij voor alle industriële sectoren geldt dat een overschrijding van de grenswaarde tot 6 juli 2010 getolereerd wordt voor arbeidsmiddelen die vóór 6 juli 2007 zijn aangeschaft en beschikbaar gesteld. Voor de agrarische sector en de bosbouw geldt deze zelfde regeling, maar dan verlengd tot 6 juli 2014. Het betekent dat arbeidsmiddelen die na 6 juli 2007 worden aangeschaft moeten voldoen aan de blootstellingsbeperking via een lage trillingsemissie. Indien dat niet het geval is dient de blootstelling via organisatorische maatregelen te worden beperkt.

De wetgeving is bedoeld om gezondheidsschade door langdurige blootstelling aan trillingen tijdens het werk te voorkomen. Sinds meerdere decennia is onderzoek uitgevoerd naar de effecten van trillingen op het lichaam. Een overzicht van recente inzichten in gezondheidseffecten van hand-arm trillingen is in een eerdere rapportage beschreven (Oude Vrielink, 2007). Voor lichaamstrillingen hebben verschillende auteurs de effecten samengevat, vooral op grond van epidemiologische studies (Hulshof and Veldhuijzen van Zanten, 1987, Burdorf and Sorock, 1997, Bovenzi and Hulshof, 1998, Bovenzi and Hulshof, 1999, Lings and Leboeuf-Yde, 2000, Pope *et al.*, 2002). Alle studies bevestigen dat er naar alle waarschijnlijkheid een verband bestaat tussen blootstelling aan lichaamstrillingen en het optreden van rugpijn, schade aan de wervelkolom en/of tussenwervelschijven, maar geven tevens aan dat er nog altijd onvoldoende hard bewijs is voor een dosis-effect relatie. Met name kan onvoldoende worden aangegeven welk zelfstandig effect lichaamstrillingen hebben ten opzichte van bijvoorbeeld de werkhouding. Wel wordt aanbevolen de blootstelling aan lichaamstrillingen te reduceren tot het laagst mogelijke niveau (Lings and Leboeuf-Yde, 2000). Dit mede omdat het trillingsgebied van

veel rijdende voertuigen overeen komt met het resonantiegebied van het lichaam van de mens: 4-5 Hz (Pope and Novotny, 1993). De EU (2002) en het Arbobesluit (Staatsblad 372, 2005), ondersteund door de ISO-richtlijn 2631-1 (ISO-2631-1, 1997) schrijven door middel van de eerder genoemde grenzen (actiewaarde en grenswaarde) een waarschuwingszone voor. Vanuit het gezondheidkundig perspectief mag de waarschuwingszone niet worden geïnterpreteerd als “enigszins of tijdelijk acceptabel”, omdat gezondheidsbescherming hierbinnen niet kan worden gegarandeerd (Griffin, 2004, CEN/Tr/15172-2, 2005 E). Blootstelling boven de grenswaarde moet altijd voorkómen worden, blootstelling boven de actiewaarde moet leiden tot actie: gebruik van machines of apparatuur met een lagere emissie van trillingen, beperking van de blootstellingstijd (de duur zowel als de frequentie van blootstelling), gebruik van persoonlijke bescherming, of andere maatregelen die leiden tot blootstelling onder de actiewaarde.

In een eerdere inventarisatie (Vink and Oude Vrielink, 2005), gedaan om een indruk te krijgen van de blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen tijdens werkzaamheden in de land- en bosbouw, zijn voor diverse van deze bewerkingen waarden gevonden die boven de actiewaarde lagen. Onder andere werd het werken met een trekker als een aandachtspunt voor nader onderzoek geïdentificeerd, mede omdat de omstandigheden die betrekking hadden op de gerapporteerde blootstellingen niet altijd voldoende waren beschreven en een deel van de blootstellingen betrekking had op oudere machines. Dit onderzoek hield specifieke metingen in, omdat de blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen op een willekeurige werkdag bij het werken op een trekker alleen dan voldoende nauwkeurig was in te schatten. Dit had en heeft deels te maken met de grote variatie aan machines en de keuze in trillingsemissie-reducerende technische maatregelen die hierin geïmplementeerd kunnen worden. Deels ook met de vele invloedsfactoren (zie hierna) die per situatie sterk kunnen verschillen. En tot slot heeft het te maken met de aard en duur van de werkzaamheden, de wijze en omstandigheden waaronder, en de omgeving (ondergrond!) waar ze uitgevoerd worden.

De belangrijkste bronnen van trillingen bij trekkervoertuigen zijn de motor, het contact tussen wielen en ondergrond, de aan het voertuig bevestigde hulpmiddelen en het rem- en versnellingsgedrag van de bestuurder (CEN/Tr/15172-1, 2005 E). In dit laatst gerefereerde document wordt gesteld dat bij moderne machines, bijzondere omstandigheden daargelaten, de motor geen belangrijke bron van trillingen zal zijn. Het uiteindelijk effect van de andere bronnen op de blootstelling hangt af van een veelheid van factoren. De invloed van deze factoren is door meerdere onderzoekers samengevat (Lines *et al.*, 1995, Stayner, 2003, Scarlett *et al.*, 2005, CEN/Tr/15172-1, 2005 E, CEN/Tr/15172-2, 2005 E, Tiemessen *et al.*, 2007). Een beknopt overzicht hiervan wordt in het navolgende gegeven:

- Massa van het voertuig: in theorie vermindert een grotere massa van de machine de trillingsemissie (Stayner, 2003). Echter, metingen in de praktijk laten zien dat er geen relatie kan worden aangetoond tussen de trillingsblootstelling en de massa van de trekker (Lines *et al.*, 1995). Een te lichte machine ten opzichte van de taak moet echter worden vermeden, mede gezien het volgende punt.
- Belading: doorgaans zal een zwaardere lading de trillingsblootstelling verminderen: in de bosbouw werd een lagere trillingsblootstelling gemeten bij een beladen forwarder, in vergelijking met het rijden met een onbeladen machine (Rehn *et al.*, 2005). Voor heftrucks

werd eenzelfde uitkomst gevonden (Malchaire *et al.*, 1996). Echter, indien een zware lading leidt tot een aanmerkelijke verplaatsing van het massazwaartepunt van de voertuig-lading combinatie kan de blootstelling juist groter worden (Stayner, 2003). Een getrokken lading kan bij ongelijke ondergrond grote invloed hebben en de dominante trillingsas verplaatsen van bijvoorbeeld verticaal naar met name horizontaal (voor-achter). In dit verband moet ook het klotsen van vloeistof in een tank aan of achter de trekker worden genoemd (CEN/Tr/15172-1, 2005 E).

- Ondergrond: het ervaringsgegeven dat de blootstelling hoger wordt met een meer oneffen ondergrond is bevestigd in meerdere metingen (Malchaire *et al.*, 1996, Hostens and Ramon, 2003).
- Rijsnelheid: meerdere studies laten een verhoogde blootstelling aan trillingen zien met oplopende rijsnelheid (Lines *et al.*, 1995, Malchaire *et al.*, 1996, Hostens and Ramon, 2003). Ook in een meer recent CEN document wordt deze invloed bevestigd (CEN/Tr/15172-2, 2005 E), hoewel de precieze bron van de gegevens niet wordt gegeven.
- Bandentype en –spanning: slechts weinig goed gedocumenteerd onderzoek is bekend. Banden fungeren als basaal dempingsysteem (Lines *et al.*, 1995). Lagere bandenspanning kan zowel een hogere als lagere blootstelling tot gevolg hebben, zoals gemeten volgens ISO-2631-1 (1997). In het algemeen zal een verlaging van de bandenspanning (of: een zachtere vulling van een massieve band) een lagere stijfheid van het voertuig veroorzaken en zal daarmee de eigenfrequentie verplaatsen naar een lager niveau (Stayner, 2003). Omdat de blootstelling frequentieafhankelijk is zal het effect van een verandering in bandenspanning mede afhankelijk zijn van deze invloed op de eigenfrequentie. Uit metingen aan een harvester (bosbouw) bleek bij dalende bandenspanning een dalende trend voor de trillingsblootstelling in verticale richting (Sherwin *et al.*, 2004). Ook wielgrootte zal van invloed zijn. De verwachting is dat de blootstelling groter zal worden indien kleine wielen gebruikt worden op relatief ruwe ondergrond (CEN/Tr/15172-1, 2005 E). Aangenomen mag worden dat de montage van dubbele banden de trillingen in de zijwaartse richting vermindert (CEN/Tr/15172-2, 2005 E).
- Cabinedamping: een enkele experimentele studie beschrijft dat het optimaliseren van de dempingkarakteristieken van de cabine en het hebben van voldoende werkingsruimte voor het dempingsysteem bijdragen aan een vermindering van de trillingsblootstelling (Hansson, 1995).
- Stoeldamping: een lagere trillingsblootstelling bij frequenties vanaf ongeveer 3-4 Hz is gemeten bij gebruik van mechanisch geveerde ten opzichte van niet-gedempte stoelen (Malchaire *et al.*, 1996, Paddan and Griffin, 2002) en bij luchtgeveerde in vergelijking met mechanisch geveerde stoelen (Hostens and Ramon, 2003). De dempingkarakteristieken van de stoel moeten passen bij de eigenfrequentie van het voertuig (Donati, 2002, Stayner, 2003, CEN/Tr/15172-1, 2005 E).
- Stoeltype en kussenmateriaal: een marginaal verhoogde gemiddelde trillingsblootstelling en een verlaagde blootstelling aan piekversnellingen is gemeten bij gebruik van een rugsteun ten opzichte van een zitting zonder rugsteun (Hinz *et al.*, 2002). Lagere schuimdichtheid en hogere stevigheid van het zitkussen (en met name de combinatie van beide) hadden een lagere blootstelling tot gevolg (Kolich *et al.*, 2005).

Verder blijkt dat de blootstelling afhankelijk is van het lichaamsgewicht van de bestuurder (Huston *et al.*, 1999). In dit laatste onderzoek had de persoon met het hoogste lichaamsgewicht de laagste blootstelling bij gebruik van diverse luchtgeveerde kussens als demping. Over de invloed van het rijgedrag (o.a. mate van accelereren en afremmen) op de blootstelling zijn geen meetgegevens gevonden. Tot slot moet de agrarische bewerking, de taak zelf, als factor van invloed ook genoemd worden, hoewel hierbij meerdere van bovengenoemde factoren simultaan spelen. Metingen laten zien dat de trillingsblootstelling tussen taken sterk kan verschillen (Rothschild *et al.*, 2002, Scarlett *et al.*, 2005, Vink and Oude Vrielink, 2005).

Het doel van het huidige onderzoek was door middel van metingen een schatting te geven van de normale dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen bij het werken met moderne trekkers door werknemers in de land- en bosbouw tijdens de normale bewerkingen. Deze bewerkingen zijn geselecteerd op grond van mogelijk risico (Vink and Oude Vrielink, 2005). Daarnaast was het doel van het onderzoek aan te geven tot welk niveau de blootstelling kan worden teruggebracht indien technisch geavanceerde machines zouden worden gebruikt. Tot slot was het doel te bepalen in hoeverre de werknemer zelf kan bijdragen aan het verminderen van de blootstelling, via het aanpassen van de rijsnelheid, bandenspanning en/of bandentype.

2 Methode

Trillingsblootstellingen zijn gemeten tijdens rijden op verschillende trekkers onder verschillende omstandigheden en bij verschillende snelheden, alsmede tijdens meerdere werkzaamheden in de praktijk. Alle metingen zijn uitgevoerd met ervaren werknemers en oproepkrachten van het Wageningen UR proefbedrijf van PPO-agv te Lelystad. De testritten en werkzaamheden zijn uitgevoerd in de onmiddellijke omgeving van het proefbedrijf.

2.1 Personen

De metingen zijn uitgevoerd met zeven professionele werkers, alle mannen tussen 23 en 48 jaar en actief als medewerker (n=4) of zelfstandig ondernemer (n=3) in de akkerbouw, vollegrondsgroenteteelt of veehouderij. De mediane werkervaring met trekkerwerk bedroeg 20 jaren, 40 weken per jaar (periode maart – november) en 20 uren per week: zie tabel 1. Tijdens piekperioden werd 12 uren per dag gewerkt op de trekker. Één van de personen rapporteerde een klacht aan de onderrug in het voorbije jaar, de overigen hadden geen enkele klacht ervaren. De klacht van de rug speelde niet meer ten tijde van het onderzoek en werd niet toegeschreven aan het werk. Alle personen namen vrijwillig deel aan het onderzoek en tekenden een vrijwilligheidsverklaring, nadat ze mondeling zowel als schriftelijk over de aard en inhoud van het onderzoek geïnformeerd waren. De bosbouwwerkzaamheden zijn onderzocht met twee aanvullende professionele werkers (leeftijd 31 en 36 jaar), welke onder dezelfde condities als hierboven beschreven hebben geparticipeerd.

Tabel 1: Persoonskenmerken en werkervaring van de onderzochte groep proefpersonen (n=7). Weergegeven zijn de mediane waarde, minimum en maximum van de betreffende variabele over de groep personen.

	Leeftijd (jaren)	Lengte (cm)	Gewicht (kg)	Ervaring trekkerwerk (jaren)	Arbeid met trekker (weken / jaar)	Arbeid met trekker (uren / week)
Mediaan:	40	186	78	20	40	20
Minimum:	23	177	67	7	20	5
Maximum:	48	188	90	30	52	57

2.2 Machines, uitrusting en werktuigen

Het onderzoek is uitgevoerd met 11 trekkers: zie tabel 2. Leveranciers van de trekkerfabrikanten New Holland, John Deere en Fendt zijn van tevoren ingelicht over het onderzoek en gevraagd mee te werken via het adviseren in en eventueel beschikbaar stellen van machines. Deze fabrikanten tezamen bezitten ongeveer 70% van de Nederlandse markt. Vanwege de uiteenlopende toepassingen in de praktijk zijn de landbouwtrekkers geselecteerd in drie vermogensklassen: 70-100 pK (~50-70 kW; lichte trekkers), 100-140 pK (~70-100 kW; middelzware trekkers) en > 140 pK (>~100kW; zware trekkers). Steeds is getracht per vermogensklasse een gangbare trekker te zetten naast de momenteel qua reductie in trillingsemissie beste machine:

Tabel 2: Kenmerken van de trekkeervoertuigen betrokken in het onderzoek.

Nr	Fabrikant ¹ type	Bouwjaar	Massa (leeg) (kg)	Ver- mogen pK(kW)	Bandentype, breedte ²	As-/cabine- vering ³	Stoeltype ⁴	Stoeldemping, richting ⁵
1	MF 3055	1996	3800	76 (56)	MI XM 108 480/65 R24 (v) 600/65 R34 (a)	Niet aanwezig	G Maximo M	Z: m X, Y: -
2	NH TS 100A	2006	4800	101 (74)	MI XM 108 480/65 R28 (v) 650/65 R38 (a)	v, a, c:mr+mv	G Maximo XXL	Z: p X, Y: m
3	JD 6520	2004	5100	125 (92)	MI XM 108 540/65 R28 (v) 650/65 R38 (a)	Niet aanwezig	G Maximo XXL	Z: p X: m Y: -
4	JD 6620	2006	5200	135 (99)	MI XM 108 540/65 R28 (v) 650/65 R38 (a)	v, c: mr	G Maximo XXL	Z: p X, Y: m
5	Fe 818 vario TMS	2006	7200	190 (140)	PI TM 800 600/65 R28 (v) 650/65 R42 (a)	v, c: mv	G Maximo XXL	Z: p X, Y: m
6	Fe 818 vario TMS	2006	7200	190 (140)	PI TM 800 600/65 R28 (v) 650/65 R42 (a)	v, c: h	G Maximo XXL	Z: p X, Y: m
7	Fe 409	2005	5070	95 (70)	MI + PI 480/65 R28 (v) 600/65 R38 (a)	v	G Maximo XXL	Z: p X: m Y: -
8	JD 6420	2004	4700	110 (81)	MI XM 108 540/65 R24 (v) 600/65 R38 (a)	Niet aanwezig	G Maximo XL	Z: p X: m Y: -
9	Werklust WG 18 C	1995	12500	180 (132)	MI (v) 380/20.5 R25(a)	Niet aanwezig	B 9200	Z: m X, Y: -
10	Timberjack 1110	-	15000	163 (120)	700/50 x 26.5 (n=8)	-	B 7150	Z: p X, Y: -
11	Valtra N-serie				No Traction CS (v) (a)			

¹: MF=Massey Ferguson; NH=New Holland; JD=John Deere; Fe=Fendt

²: MI=Michelin; PI=Pirelli; No=Nokian; v=voorbanden; a=achterbanden

³: v=voorasvering; a=achterasvering; c=cabinevering; mv=mechanisch veersysteem;
mr=mechanisch rubberblokken; h=hydraulisch

⁴: G=Grammer; B=BE-GE

⁵: m=mechanisch; p=pneumatisch; X,Y,Z: demping aanwezig in richting(en) conform definitie
gegeven in ISO 2631-1 (1997)

trekker 1 versus trekker 2, trekker 3 versus trekker 4 en trekker 5 versus trekker 6. De beide trekkers 7 en 8 zijn toegepast tijdens specifieke bewerkingen: trekker 7 bij het vergelijken van verschillende bandentypen, trekker 8 bij het bespuiten van akkerland. Machine 9 is een shovel, welke gebruikt is bij het aanrijden van een kuil ten behoeve van het inkuilen van vers gemaaid gras. Machine 10 is een forwarder en machine 11 een trekker aangepast aan bosbouwwerkzaamheden.

Tabel 3: Kenmerken van de bewerkingen en werktuigen betrokken in het onderzoek.

Nr	Bewerking	Hulpmiddel (indien van toepassing)		
		Merk	Type	Bijzonderheden
1	ploegen	Lemken	Vari-Opal 8	5-scharen; diepte 27-28 cm; breedte 40 cm; bandenspanning 1.0 bar (v+a); extra frontlast 1000 kg
2	spitten	Celli	221 103 0	Krukasspitter; breedte 3 m; aftakas 4500 min ⁻¹
3	(wied)eggen	Hatzenbichler		Breedte 12 m
4	cultiveren	Evers	Forest	3 m
5	kunstmest strooien	Bogballe	1600S	Belading 1000 kg
6	spuiten	Dubex	Mentor	Getrokken machine; 48 m breed; tankvulling 1500 l; bandenspanningen: trekker (bar): 0.5 (v), 1.0 (a); spuit: 0.8.
7	maaïen	Pöttingen	EUROCAT	Dubbel cyclomaaier, voor + achter; bandenspanning voor én achter 1 bar
			GF 8501	
8	schudden	Kuhn	MH	Breedte 17 m; 480 min ⁻¹ op aftakas
			Digidrive	
9	wiersen	Kuhn	GA 15021	Breedte 15 m
10	inkuilen	-	-	Bandenspanning (bar): 3.0 (a), 2.5 (v, binnen), 1.5 (v, buiten)
11	injecteren mest	Veenhuis	Euroject 350	Vulling 12.5 m ³
12	maaïen berm	Bos	HE-7500-ID	Klepelmaaier; maaibreedte 1.5 m; armlengte 7.5 m
13	transport van kuubskist	-	-	Kuubskist, 1300 kg belading
14	transport kipwagen	Miedema	230	Belading 14.000 kg; hydraulisch geveerd
15	transport platte wagen	Miedema	4-wiel	Belading 4.800 kg
16	uithalen van stammen (forwarder)	-	-	
17	uitslepen stammen (trekker)	-	-	Uitsleeptang; voorbanden gevuld met water

Tabel 3 toont de werktuigen zoals gebruikt tijdens de verschillende bewerkingen. Alle getrokken werktuigen waren voorzien van een normale pen-koppeling met vaste verbinding zonder demping. Niet apart vermeld is het transport van een kuubskist met lading, welke plaats vond met een normale hefinrichting achter de trekker. Het gewicht van de belading was 1300 kg, inclusief de kist zelf.

2.3 Invloedsfactoren

Trillingsmetingen zijn uitgevoerd tijdens het rijden met de trekkers 1-7 (tabel 2) op verschillende ondergronden in de onmiddellijke omgeving van PPO-agv te Lelystad.

2.3.1 Ondergrond en snelheid

De karakteristieken en locaties van de ondergronden zijn weergegeven in tabel 4. De volgorde van de ondergronden kon per meting wisselen.

Tabel 4: Kenmerken en locatie van de ondergronden.

Nr	Omschrijving	Kenmerken en locatie
1	Asfaltweg	Vlak asfalt, t.w. de Edelhertweg tussen de Swiferringweg en het viaduct met de autoweg A6.
2	Klinkerweg	Met klinkers verharde gedeelte van terrein van PPO-agv te Lelystad, aan zuidkant van het hoofdgebouw, met gebruikelijke oneffenheden en enkele ondiepe verzakkingen (tot enkele cm).
3	Halfverhard pad	Vastgereden pad van klei en veldstenen parallel aan de autoweg A6 ten zuiden van de kruising met de Edelhertweg met gebruikelijke oneffenheden en ondiepe kuilen (tot 7 cm).
4	Vlak bouwland	Onbebouwd, braakliggend vlak terrein van droge klei zonder grote oneffenheden, maar met hier en daar opkomende grasbegroeiing (pollen) en hard geworden kleiklumpen, tussen halfverhard pad en autoweg A6.
5	Grasland	Grasland gezaaid in niet volledig gevlakte voren in kleiland; ten tijde van het onderzoek harde droge klei waardoor hobbelig (hoog-laag verschil 1-2 cm); locatie ten zuiden van de klinkerweg.
6	Ruw terrein	Onbebouwd, braakliggend terrein van droge klei met grote oneffenheden, kuilen en verheffingen, volledig en onoverzichtelijk begroeid met riet en struikgewas, tussen halfverhard pad en autoweg A6.
7	Hooiland	Zeer oneffen grasland, gezaaid in niet gevlakte diepe voren (tot 10 cm) in kleiland, ten tijde van het onderzoek harde droge klei waardoor zeer ongelijk; locatie ten oosten van Swiferringweg en ten noorden van Wisentweg.
8	Ruw bouwland	Vers geploegd land, zware klei, ten noorden van de Edelhertweg onmiddellijk langs de autoweg A6.

De volgende snelheids categorieën werden gehanteerd: 3-4 km/h, 7 km/h, 15 km/h, 25 km/h en 40 km/h. Voor de asfaltweg is de eerste snelheids categorie overgeslagen; voor alle andere ondergronden is 25 km/h als hoogste snelheids categorie aangehouden.

2.3.2 *Chauffeur*

Om de verschillen in blootstelling tussen chauffeurs te meten zijn bij dezelfde twee trekkers (1, 3; zie tabel 2) en bij dezelfde drie ondergronden zes chauffeurs getest. Hierbij is gereden op de ondergronden “glad asfalt”, “halfverhard pad” en “grasland” bij snelheden in de verschillende snelheids categorieën (zie vorige paragraaf). Alle metingen zijn uitgevoerd rijdend met bandentype 1 (Mi XM 108; zie volgende paragraaf) onder normale bandenspanning, d.w.z. 0.5 bar en 1.0 bar voor respectievelijk de voor- en achterbanden.

2.3.3 *Trekkertype*

Om de verschillen in blootstelling tussen trekkers te meten zijn zes trekkers (1-6; zie tabel 2) met twee chauffeurs en bij dezelfde vier ondergronden getest. Hierbij is gereden op de ondergronden “glad asfalt”, “halfverhard pad”, “grasland” en “klinkerweg” bij snelheden in de verschillende snelheids categorieën (zie eerder). Voor de trekkers 3 en 4 is beperkt tot de eerste drie ondergronden, waarbij tevens een platte wagen of kipwagen was aangekoppeld. Alle metingen zijn uitgevoerd rijdend met bandentype 1 (Mi XM 108; zie volgende paragraaf) onder normale bandenspanning, d.w.z. 0.5 bar en 1.0 bar voor respectievelijk de voor- en achterbanden.

2.3.4 *Bandentype*

De mogelijke invloed van verschillende typen banden op de trillingsblootstelling is onderzocht met behulp van één trekker (nummer 7), waarbij alle metingen zijn verricht aan twee chauffeurs. Hierbij is uitsluitend gereden op de drie ondergronden “glad asfalt”, “halfverhard pad” en “grasland” met snelheden in de verschillende snelheids categorieën (zie eerder). De volgende banden zijn gemonteerd: (1) Michelin XM 108 combinatieband, (2) Pirelli TM 800 ploegband en (3) Michelin Xeobib lage spanningsband. Alle banden zijn getest bij de normale bandenspanning, d.w.z. 0.5 bar en 1.0 bar voor respectievelijk de voor- en achterbanden.

2.3.5 *Bandenspanning*

De mogelijke invloed van de bandenspanning op de trillingsblootstelling is onderzocht met behulp van twee trekkers (nummers 1 en 3), waarbij alle metingen zijn verricht met twee chauffeurs, rijdend over de drie ondergronden “glad asfalt”, “halfverhard pad” en “grasland” met snelheden in de verschillende snelheids categorieën (zie eerder). Alle metingen zijn uitgevoerd rijdend met bandentype 1 (Mi XM 108; zie eerder). Vier verschillende bandenspanningen zijn onderzocht: zie tabel 5 voor een overzicht. In de resultaten-sectie zijn de beide hoogste bandenspanningen (achterbanden 1.5 en 2.0 bar; 1 bar = 100 kPa) samengenomen in de categorie “hoog”, omdat er geen onderscheid in de metingen is geconstateerd. Alle metingen zijn steeds gestart met de hoogste bandenspanning-combinatie, waarbij over alle ondergronden werd gereden met de verschillende snelheden. Daarna werd steeds een lagere bandenspanning-combinatie genomen.

Tabel 5: Karakteristieken van de verschillende geteste bandenspanningen.

Nr	Omschrijving	Bandenspanning (bar)	
		voorbanden	achterbanden
1	Laag	0.5	0.75
2	Normaal	0.5	1.0
3	Hoog	0.75	1.5
		1.0	2.0

2.4 Werkzaamheden in de praktijk

2.4.1 Beschrijving van de werkzaamheden

Trillingsblootstelling in de praktijk is gemeten tijdens 17 werkzaamheden. Een korte omschrijving ervan met de gebruikte hulpmiddelen is weergegeven in paragraaf 2.2 en tabel 3. Zoveel mogelijk zijn de metingen verricht aan twee trekkers (meestal de trekkers 3 en 4) en per trekker met twee chauffeurs. Indien in de praktijk meerdere rijsnelheden bleken te worden toegepast zijn ook meerdere snelheden gemeten. Exacte rijsnelheden tijdens de werkzaamheden zijn weergegeven in de bijlage B.

De akkerbouw werkzaamheden ploegen, spitten, cultiveren en wieden zijn verricht op zware kleigrond. Cultiveren is gemeten tijdens twee verschillende rijsnelheden: 3 km/uur en 6 km/uur. Van de werkzaamheden rond de graslandwinning (maaïen, schudden, wiersen en inkuilen) is bij alleen de laatste maar aan één machine gemeten. Deze was een shovel: machine nummer 9 in tabel 2.

Kunstmest strooien is uitgevoerd op drie verschillende ondergronden: vlak bouwland, grasland en vers geploegd land (ruw bouwland). De rijsnelheid werd door de chauffeur bepaald. De strooier functioneerde normaal, alleen was de toevoer van kunstmest geblokkeerd zodat gereden werd met een constante lading.

Injecteren van mest werd uitgevoerd op het grasland, ook weer met geblokkeerde toevoer van de vloeistof. Hetzelfde gold voor het bespuiten van land.

Het maaïen van bermen is gemeten aan één trekker en bij één chauffeur, dit vanwege technische beperkingen (in relatie tot de trekker) en bedieningservaring (in relatie tot de chauffeur).

Transportwerkzaamheden zijn in praktijk zeer divers en vinden ook op verschillende ondergronden plaats. Om deze reden is er voor gekozen de trillingsblootstelling tijdens transportwerkzaamheden te meten bij de verschillende ondergronden en bij verschillende rijsnelheden. Hierbij is wel zoveel mogelijk rekening gehouden met het doel en de aard van de transportwerkzaamheden. Zo is het transport van een volle kuubskist gemeten op ruw bouwland, vlak bouwland en op het halfverhard pad. Het transport van een beladen platte wagen en van de kipwagen is gemeten bij rijden over asfalt, halfverhard pad en grasland, bij verschillende snelheden. Deze laatste transportwerkzaamheden zijn gemeten bij drie chauffeurs.

Voor metingen van het transport van boomstammen zijn twee verschillende locaties in Flevoland en op de Veluwe gebruikt. Het uithalen van stammen uit bos is gemeten aan één persoon op een forwarder. Het uitslepen van stammen is gemeten aan één persoon die een trekker met uitsleeptang bediende. De metingen gebeurden na afspraak tijdens de normale werkzaamheden. Steeds werden enkele werkcycli gemeten.

2.4.2 Normale werkdagpatronen van de werkzaamheden

Voor de meeste werkzaamheden geldt dat deze normaal gesproken in het seizoen gedurende de volledige werkdag worden uitgevoerd. In de praktijk komen kortere, maar ook langere blootstellingstijden voor. Wel is het zo dat de werkzaamheden seizoensgebonden zijn, en niet het gehele jaar worden uitgevoerd. De huidige wetgeving gaat evenwel uit van een willekeurige werkdag en houdt geen rekening met een eventuele seizoensgebondenheid. Om deze reden is er bij de omrekening van de gemeten blootstellingen naar de geschatte dagblootstelling voor iedere bewerking aangenomen dat deze blootstelling gedurende 8 uren plaatsvindt.

2.5 Meetapparatuur en procedure

Procedures voor het doen van metingen van de trillingsblootstelling zijn in hoge mate gestandaardiseerd en beschreven in de ISO-richtlijnen. Voor de huidige metingen zijn de richtlijnen van ISO-2631-1 (1997), ISO/DIS 2631-5 (ISO/DIS-2631-5, 2001), ISO-5349-1 (ISO-5349-1, 2001) en ISO-5349-2 (ISO-5349-2, 2001) gevolgd. Voor de verwerking van de gegevens is tevens ISO-8041 (ISO-8041, 2005) gebruikt, voor zover deze additionele informatie verstrekke boven de genoemde richtlijnen.

Bij iedere meting werd de trillingsblootstelling gemeten aan één hand aan het stuur zowel als op de zitting van de stoel. Bovendien werd de trillingsemissie van de trekercabine aan de stoelbasis direct onder de stoel gemeten. Alle trillingen werden gemeten in de voorgeschreven drie richtingen. Voor stoelzitting en stoelbasis betekende dit voor-achterwaarts (X), zijwaarts (Y) en verticaal (Z). Voor hand-arm trillingen is als X-richting gedefinieerd de as van handrug naar handpalm, als Y de as van pink- naar duimzijde en als Z de as van pols in de richting van de vingers.

Lichaamstrillingen werden op de zitting gemeten met behulp van een Bruel & Kjaer (B&K, DK) stoeltrillingsopnemer 4322 PE, welke bestaat uit een 3-richtingen trillingsopnemer gefixeerd in een rubber omhulsel. De opnemer werd met bouwtape op de zitting gefixeerd (zie figuur 1), zodanig dat de zitbeenderen van de bestuurder tijdens het rijden midden boven de trillingsopnemer waren gepositioneerd. Voor de meting van hand-arm trillingen aan het stuur is een B&K aluminium handadapter (UA 0891; gewicht ongeveer 20 g) gebruikt, waarin drie versnellingsopnemers (B&K, 4374 L; gewicht per stuk ongeveer 0.7 g) waren gefixeerd. De handadapter werd tussen wijsvinger en middelvinger zódanig op het stuur geklemd, dat deze voortdurend goed contact hield met het stuur. Trillingen van de stoelbasis werden in drie richtingen gemeten met behulp van een B&K opnemer 4321. De opnemer was gemonteerd op een stevige metalen bevestigingsstrook, welke in de juiste positie middels één van de bevestigingsbouten van de stoel aan de stoelbasis werd gefixeerd (figuur 2).

De signalen van alle opnemers werden via afgeschermd kabels geleid naar drie versterkers (B&K, Nexus 2692). Hierin vond tevens basale signaalfiltering plaats voor lichaamstrillingen (high-pass 0.1 Hz, low-pass 100 Hz), hand-arm trillingen (high-pass 1 Hz, low-pass 1 kHz) en stoelbasis trillingen (high-pass 0.1 Hz, low-pass 1 kHz). Via een 16-bit A/D kaart (National

Instruments, DAQ 6036E met BNC 2090) werden de signalen van de 9 kanalen met een frequentie van 4096 Hz, tezamen met informatie over de versterking per kanaal, opgeslagen op een draagbare personal computer (PC; Dell Latitude D610, 2.0 GHz; zie figuur 3 voor de meetopstelling). Ook werden de meetsignalen on-line frequentie-gewogen volgens ISO 5349-1 (2001) en konden zowel de ruwe als gewogen signalen worden gevolgd op het beeldscherm met behulp van programmatuur ontworpen in LabView (v. 8.0, National Instruments, US) en Matlab (v. 6.5.1, The Mathworks Inc., US). Versnellingsopnemers en versterkers zijn voorafgaand aan de metingen geijkt bij de fabrikant. De gehele meetketen (van opnemers tot PC) is voor elk opnemer kanaal geijkt met behulp van een vooraf door de fabrikant geijkte calibrator (B&K 4291). Meetversterkers zowel als PC werden tijdens de metingen gevoed met behulp van 12 V accu's.

Tijdens de metingen werd door middel van acht functietoetsen op de PC (F5-F12) aangegeven welke actie begon (iedere vooraf gedefinieerde activiteit werd gekoppeld aan een unieke functietoets, t.w. vijf snelheidscategorieën, draaien, optrekken of afremmen, of bijzondere situatie), dit om de analyse achteraf te sturen. De waarde van de ingedrukte functietoets werd gelijktijdig met de meetdata opgeslagen. Voor de bepaling van de exacte rijsnelheid en de positie is tijdens de metingen een GPS ontvanger (Garmin GPS 60, Olathe, US) op de trekker bevestigd. Positiedata werden met een frequentie van 1 Hz opgeslagen en enkele keren per dag overgebracht naar de PC. Iedere dag werd voorafgaand aan de metingen de klok van de PC gesynchroniseerd met die van de GPS ontvanger.

De blootstellingsmetingen om de invloed van de factoren ondergrond, snelheid, trekkertype, bandentype, bandenspanning en chauffeur te bepalen, vonden plaats volgens een vast protocol: parcours en snelheid werden van tevoren gedefinieerd om voor de verschillende chauffeurs en trekkers een zoveel mogelijk vergelijkbare experimentele situatie te creëren. Metingen zijn verricht met oplopende snelheid. Per snelheidscategorie werd per meting een indicatieve duur van ongeveer 1 minuut aangehouden. Alle metingen zijn zoveel mogelijk uitgevoerd met twee chauffeurs op twee verschillende trekkers (zie paragraaf 2.3 voor details per invloedsfactor). Om een indruk te krijgen van de mate van invloed van de chauffeur is tevens een meting uitgevoerd met zes chauffeurs op drie verschillende ondergronden met twee trekkers en bij verschillende snelheden. Tevens zijn zes verschillende trekkers volgens een vergelijkbaar protocol met twee chauffeurs gemeten. Metingen van de meeste agrarische bewerkingen werden, behoudens het perceel, niet geïnstrueerd. Dit om een werksituatie te verkrijgen die zoveel mogelijk bij de normale gangbare praktijk zou aansluiten. Indien meerdere snelheden in de praktijk gangbaar bleken is gekozen meerdere snelheden te meten. Voor transportwerkzaamheden is een protocol vergelijkbaar met die voor de invloedsfactoren “ondergrond en snelheid” gekozen, dit vanwege de zeer variabele ondergronden en rijsnelheden. Alle metingen zijn uitgevoerd met twee verschillende trekkers en met minimaal twee chauffeurs, behalve daar waar specifieke ervaring beperkt bleek tot één enkele bestuurder (zie paragraaf 2.4). De beide chauffeurs werden ingezet op grond van ruime ervaring met de bewerking. Om deze reden betreffen de meetresultaten niet steeds hetzelfde paar chauffeurs.



Figuur 1: illustratie bij de meting van trillingen tijdens trekkerwerk: montage van de opnemer voor trillingen op de stoelzitting.



Figuur 2: illustratie bij de meting van trillingen tijdens trekkerwerk: montage van de opnemer voor trillingen aan de stoelbasis.



Figuur 3: illustratie bij de meting van trillingen tijdens trekkerwerk: montage van de meetapparatuur in de cabine.

2.6 Dataverwerking en statistiek

2.6.1 Dataverwerking

Opgeslagen data zijn off-line verwerkt. Dit is gedaan in meerdere stappen. In de eerste stap is van ieder opgeslagen signaal softwarematig een frequentie-gewogen signaal berekend, volgens ISO-richtlijnen 2631-1 (1997) en 5349-1 (2001). Deze weging is gedaan met behulp van Matlab (v. 6.5.1, The Mathworks Inc.). Bij de frequentieweging zijn tevens de uitkomstwaarden voor lichaamstrillingen en die van de stoelbasis vermenigvuldigd met een factor k overeenkomstig ISO-2631-1 (1997): $k=1.4$ voor trillingen in de X- en Y-richting, $k=1.0$ voor trillingen in de Z-richting. Vervolgens is van ieder frequentie-gewogen signaal een zogenoemd “running rms” berekend. In onderstaande formule is de berekenwijze weergegeven:

$$a(t_0) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \cdot \int_{t_0-\tau}^{t_0} a^2(t) \cdot d(t)} \quad (1)$$

waarin a de instantane versnellingswaarde (in m/s^2) van het frequentie-gewogen trillingssignaal op tijdstip t en τ de integratietijd. Deze laatste werd constant gehouden op 1 s, volgens aanbeveling in ISO-2631-1 (1997).

Als tweede stap werd van ieder meetkanaal (n=9: 3 kanalen lichaamstrillingen, 3 kanalen hand-arm trillingen, 3 kanalen trillingen van de stoelbasis) het ruwe signaal, het frequentie-gewogen signaal en het running rms signaal weergegeven op het beeldscherm, tezamen met de functietoets- en rijsnelheidinformatie. Stabiele datasegmenten (d.w.z. stabiel zowel wat betreft trillingswaarden over alle 9 kanalen als rijsnelheid) werden geselecteerd tijdens de verschillende acties, onderscheiden middels de functietoetsen: zie paragraaf 2.5. Root-mean-square (rms) trillingswaarden van deze segmenten (a_{wki} , in m/s^2) over de 9 frequentie-gewogen kanalen zowel als over de drie ongewogen kanalen van de trillingsmeting aan de stoelbasis, zijn berekend volgens

$$a_{wki} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_{wk}^2(t) \cdot d(t)} \quad (2)$$

waarin $a_{wk}(t)$ de instantane waarde in de as richting k (met $k=X, Y$ of Z) van het trillingssignaal op tijdstip t en T de duur van het geselecteerde i^e segment.

De Europese trillingsrichtlijn 2002/44/EG (EU, 2002) stelt dat bij de beoordeling van lichaamstrillingen de lidstaten in plaats van de bovengenoemde rms waarde de dosismaat VDV (vibration dose value, ofwel trillingsdosis waarde, in $m/s^{1.75}$) kunnen toepassen. De VDV is als volgt berekend:

$$VDV_{ki} = \sqrt[4]{\int_0^T a_{wk}^4(t) \cdot d(t)} \quad (3)$$

met VDV_{ki} de VDV waarde van het i^e segment voor de as k .

Voor de hand-arm trillingen is vervolgens de gecombineerde blootstelling over de 3 assen voor het i -de segment, a_{hvi} (in m/s^2), berekend volgens

$$a_{hvi} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (4)$$

waarin a_{hwx} de rms trillingswaarde van het i^e segment in de X-richting, etc.

De trillingswaarden van de verschillende segmenten ($i = 1$ tot n) van dezelfde persoon tijdens dezelfde actie zijn gecombineerd volgens

$$a_{wk} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wki}^2 T_i} \quad (5)$$

voor rms trillingswaarden, voor lichaamstrillingen (gewogen) en die van de stoelbasis (gewogen en ongewogen), waarbij T_i de duur is van het i -de segment en T_0 de duur van alle segmenten samen, volgens

$$VDV_k = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n VDV_{ki}^4} \quad (6)$$

voor VDV trillingswaarden, en volgens

$$a_{hv} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (7)$$

voor hand-arm trillingen.

Om de effectiviteit van een gemonteerde stoel te kunnen beoordelen is de SEAT waarde berekend voor de rms trillingswaarden. SEAT staat voor “seat effective amplitude transmissibility”, zoals beschreven door Griffin (Paddan and Griffin, 2002). $SEAT_{rms}$ is de procentuele ratio van de frequentie-gewogen rms versnellingswaarde op de zitting in één van de trillingsrichtingen a_w en de frequentie-gewogen rms versnellingswaarde van de stoelbasis in diezelfde richting a_{sb} :

$$SEAT_{rms} = \frac{a_w}{a_{sb}} \times 100\% \quad (8)$$

Om het effect van meervoudige blootstelling aan schokken te beoordelen heeft ISO een voorstel gedaan in ISO/DIS 2631-5 (2001). Gemeten ongewogen versnellingen van de stoelzitting worden modelmatig in een versnellingsrespons van de wervelkolom omgezet. Op grond van pieken in die versnellingsrespons wordt een versnellingsdosis D_k (in m/s^2) berekend voor elk van de drie versnellingsrichtingen $k=X, Y$ of Z , volgens

$$D_k = \left[\sum_i A_{ik}^6 \right]^{1/6} \quad (9)$$

waarin A_{ik} de piekversnelling van de i^e piek in de versnellingsrespons.

De dagelijkse versnellingsdosis D_{kd} wordt vervolgens berekend door de volgens formule 9 bepaalde D_k te schalen naar de normale dagelijkse blootstellingstijd, volgens

$$D_{kd} = D_k \times \left(\frac{t_d}{t_m} \right)^{1/6} \quad (10)$$

waarin t_d de duur van de normale dagelijkse blootstelling en t_m de duur van de meting is.

Om een eventueel negatief gezondheidseffect door de blootstelling aan schokken te kunnen schatten worden de bovengenoemde maten voor versnellingsdosis omgerekend naar een

equivalent van de statische compressie stress S_e (in MPa) en van de dagelijkse compressie dosis S_{ed} (in MPa) volgens

$$S_e = \left[\sum_{k=x,y,z} (m_k D_k)^6 \right]^{1/6} \quad (11)$$

en

$$S_{ed} = \left[\sum_{k=x,y,z} (m_k D_{kd})^6 \right]^{1/6} \quad (12)$$

waarin de volgende waarden voor m_k worden aanbevolen: $m_x = 0.015 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$, $m_y = 0.035 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$, $m_z = 0.032 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$. Bij dagelijkse blootstelling gedurende het gehele jaar (i.e. 240 dagen / jaar) wordt in de ISO/DIS richtlijn aangegeven dat de kans op rugschade laag is indien de S_{ed} onder 0.5 MPa blijft. Een hoge kans ontstaat bij een S_{ed} boven 0.8 MPa. Bij een geringer aantal blootstellingsdagen worden deze waarden gecorrigeerd: zie tabel 6 in de Resultaten-sectie.

2.6.2 Dataweergave en statistiek

Voor het vergelijken van personen en experimentele situaties zijn medianen berekend per snelheidscategorie (voor het onderzoek naar invloedsfactoren) en per bewerking (en soms opgesplitst naar snelheidscategorie) voor het onderzoek naar bewerkingen. De resultaten zijn weergegeven als boxplots. Een boxplot geeft mediane waarden en interkwartielen als box (de box omvat dus 50% van de waarnemingen) en uiterste waarden als lijnen (en eventueel cirkels) boven en onder de box. In de figuren zijn door middel van onderbroken lijnen tevens de niveaus van actie- en grenswaarden voor een acht-urige werkdag getoond.

Statistische toetsing van verschillen is gedaan met behulp van SPSS (v.12.0.1). Organisatie van de data vóór toetsing is gedaan met behulp van Matlab (v. 6.5.1). Verschillen tussen de mediane waarden van de trillingsrichtingen a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} en a_{hv} zijn per trekker en per ondergrond als paar getoetst door middel van Wilcoxon's matched-pairs signed-ranks test. Dezelfde toets is gebruikt voor het onderzoeken van verschillen tussen de opeenvolgende snelheidscategorieën, tussen de ondergronden asfaltweg, halfverhard pad en grasland, en tussen verschillende bandentypen en –spanningen voor die situaties waar de omvang van de data voldoende groot was. Alleen voor de vergelijking van de trekkers 1 en 2 zijn verschillende personen ingezet, waardoor geen paarsgewijze vergelijking mogelijk was. In dit geval is, om toch de grootte van de verschillen te kunnen kwantificeren, een Mann-Whitney U-test gedaan voor onafhankelijke waarnemingen.

Eventuele systematische verschillen tussen de trekkerchauffeurs zijn getoetst door middel van een variantie-analyse (ANOVA) met behulp van een univariaat lineair model (afhankelijke factoren: a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} en a_{hv} ; vaste factor: snelheidscategorie; random factor: persoon).

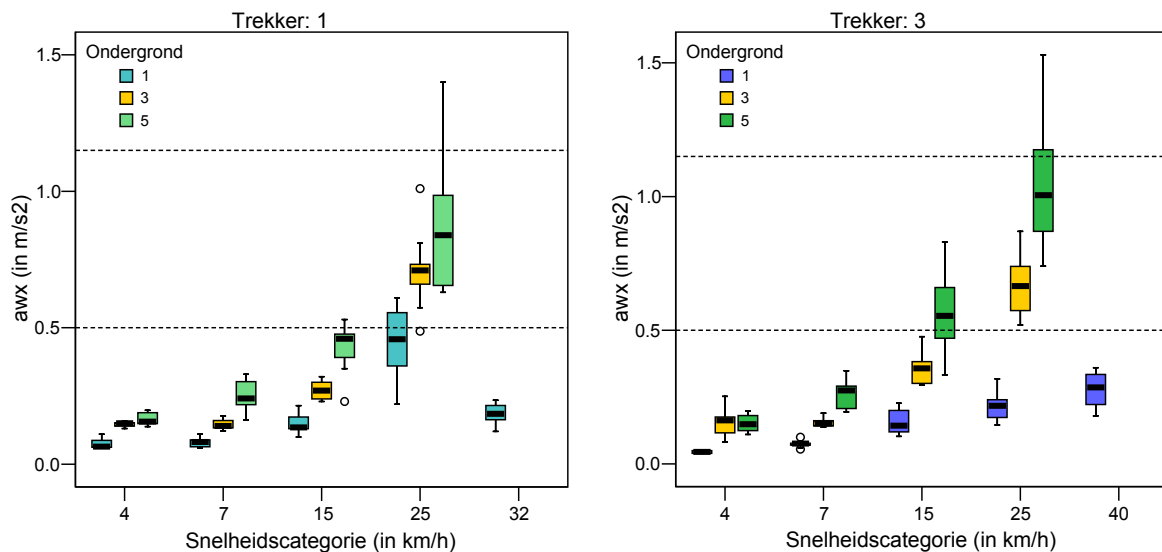
Voor alle toetsen is aangehouden dat significante verschillen een p-waarde kleiner dan 0.05 hebben.

3 Resultaten

3.1 Snelheid en ondergrond

In het algemeen bleek de dominante trillingsrichting variabel te zijn en afhankelijk van de rijsnelheid. Statistische toetsing is gedaan over de trekkers 1 tot 7 en over de ondergronden klinkerweg, halfverhard pad en grasland bij de snelheidscategorieën van 4 tot 25 km/h. Bij de laagste snelheden 4 en 7 km/h bleek de Y-richting (zijwaarts) voor alle trekkers de belangrijkste trillingsrichting (statistisch significant). Bij 25 km/h was bij relatief de meeste trekkers ($n=3$; trekkers 1, 2 en 3) de X-richting (voor-achterwaarts) significant dominant. Voor één trekker (7) was dit de Z-richting (verticaal). Bij de overige trekkers bleken de verschillen tussen twee of alle drie richtingen niet significant. De testen zijn gedaan over de gecombineerde ondergronden “klinkerweg”, “halfverhard pad” en “grasland”.

De meetwaarden van alle trillingsrichtingen zijn weergegeven in de tabellen van bijlage A. Het betreft de data van twee tot zes personen welke de verschillende ondergronden onder dezelfde omstandigheden hebben getest.



Figuur 4: frequentie-gevoeg blootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de X-richting a_{wx} (ordinaat, in m/s^2) voor drie ondergronden (1=asfaltweg; 3=halfverhard pad; 5=grasland) als functie van de rijsnelheid (x-as, in vijf snelheidscategorieën en in km/uur) voor de trekkers 1 (links) en 3 (rechts) tijdens normaal rechthoek rijden met constante snelheid. Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de mediane waarden over zes personen. Let wel: de x-as is als categorie-schaal weergegeven. De beide onderbroken horizontale lijnen per figuur zijn de niveaus van actie- en grenswaarde voor een acht-urige werkdag.

Figuur 4 toont de lichaamstrillingen in de X-richting. De figuur laat zien dat met oplopende rijsnelheid en ruwere ondergrond de blootstelling aan lichaamstrillingen van de trekkerchauffeur toeneemt. De beide andere trillingsrichtingen lieten een overeenkomstig patroon zien. De toename is curvilineair, dat wil zeggen dat de trilling sterker oploopt naarmate de rijsnelheid

hoger wordt (n.b.: de getoonde figuren lijken een sterk curvilineair verband te tonen, maar dit wordt vertekend omdat de snelheidscategorieën op de x-as equidistant weergegeven zijn maar dit in werkelijkheid niet zijn). In bovenstaand figuur bleken voor de X-richting alleen de verschillen tussen 4 en 7 km/h op het asfalt (ondergrond 1) en halfverhard pad (ondergrond 3) voor beide trekkers niet significant. Alle overige verschillen tussen de snelheidscategorieën binnen eenzelfde ondergrond bleken statistisch significant (p-waarden variërend tussen 0.005 en 0.022). In de Y-richting bleken minder vaak (d.w.z. tussen minder snelheidscategorieën) significante verschillen, met name op asfalt en voor trekker 1. Voor de Z-richting waren de resultaten vergelijkbaar met die voor de X-richting. Voor een systematisch overzicht van alle verschillen wordt verwezen naar bijlage A. Het oplopende patroon toont voor de beide trekkers veel overeenkomst. In de X-richting waren de verschillen gering. De significante verschillen tussen beide trekkers zijn aangegeven in de bijlage A (zie hiervoor de tabel van trekker 3). Trekker 1 kende veelal een lagere blootstelling in de Y-richting. Echter, voor trillingen in de Z-richting en op het stuur scoorde trekker 3 in de meeste experimentele situaties lager. De bovenstaande figuur laat verder zien dat het rijden op een gladde ondergrond (asfalt) geen actie behoeft wat betreft trillingsreductie, ook niet bij de hoogste snelheid. Opvallend was de onbalans in trekker 1 rond 25 km/h, welke leidde tot resonantie van de gehele trekker, inclusief stoel, en de daarop gemeten relatief hoge trillingswaarde. Ook illustreert de figuur dat de trillingsblootstelling sterker toeneemt naarmate de ondergrond ruwer is. Behalve voor de laagste snelheid loopt voor zowel trekker 1 als trekker 3 de trillingsblootstelling significant op indien de verschillen tussen asfaltweg en halfverhard pad, en tussen halfverhard pad en grasland worden bekeken: zie de tabellen van de trekkers 1 en 3 van bijlage A. Voor trekker 3 zou de trillingsblootstelling bij rijden over grasland gedurende een volledige werkdag met een snelheid van 15 km/uur of hoger tot overschrijding van de actiewaarde leiden.

Uit de data van bijlage A blijkt dat de ondergronden “klinkerweg”, “vlak bouwland” en “grasland”, hoewel statistisch verschillen aantoonbaar zijn, meer of minder vergelijkbaar zijn wat betreft trillingsblootstelling. Ruw terrein leverde hoge blootstellingswaarden op en hier kon alleen met lage snelheden worden gereden. Met name de zijwaartse versnellingen (Y-richting) scoorden hier hoog. Omdat niet alle ondergronden met een voldoende grote groep personen is getest is bij deze ondergronden een statistische toetsing achterwege gelaten.

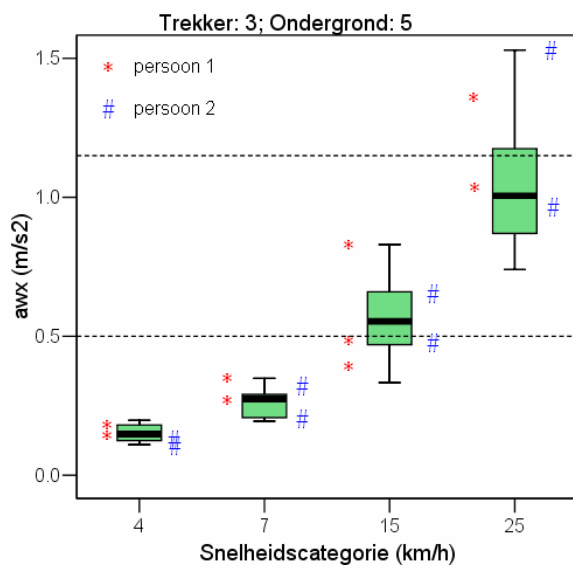
De vectorsom a_{hv} van de hand-arm trillingen overgebracht door het stuur bleef tijdens vrijwel alle omstandigheden en bij beide trekkers onder de actiewaarde van 2.5 m/s^2 . Alleen voor trekker 1 en dan alleen voor de snelheidscategorie 15 km/uur werd een waarde gemeten tussen de actiewaarde en grenswaarde in, mogelijk veroorzaakt door de eerder genoemde optredende resonantieverschijnselen in deze trekker.

3.2 Chauffeur

Uit de voorgaande figuur blijkt dat de spreiding over de proefpersonen per meetpunt (dat wil zeggen: per trekker en per ondergrond bij iedere snelheidscategorie) aanzienlijk is, ondanks de strikte vastlegging van het gereden traject en de snelheid. De verschillen tussen de chauffeurs bleken evenwel niet systematisch; de ANOVA liet slechts voor twee combinaties (t.w.: trekker 3

bij ondergrond 1 voor a_{wx} en trekker 3 bij ondergrond 3 voor a_{nv}) een significant persoonseffect zien. Voor alle overige combinaties bleek geen persoonseffect. Dit laatste is geïllustreerd in figuur 5. De spreiding van de meetpunten van twee personen is weergegeven naast de spreiding in data van de totale groep. De figuur bevestigt het algemene beeld dat (1) de spreiding in de meetdata niet wordt veroorzaakt door een systematisch verschil tussen de chauffeurs, en (2) een herhaalde meting met eenzelfde persoon een spreiding in de meetgegevens kan opleveren van dezelfde orde van grootte als die met een andere persoon.

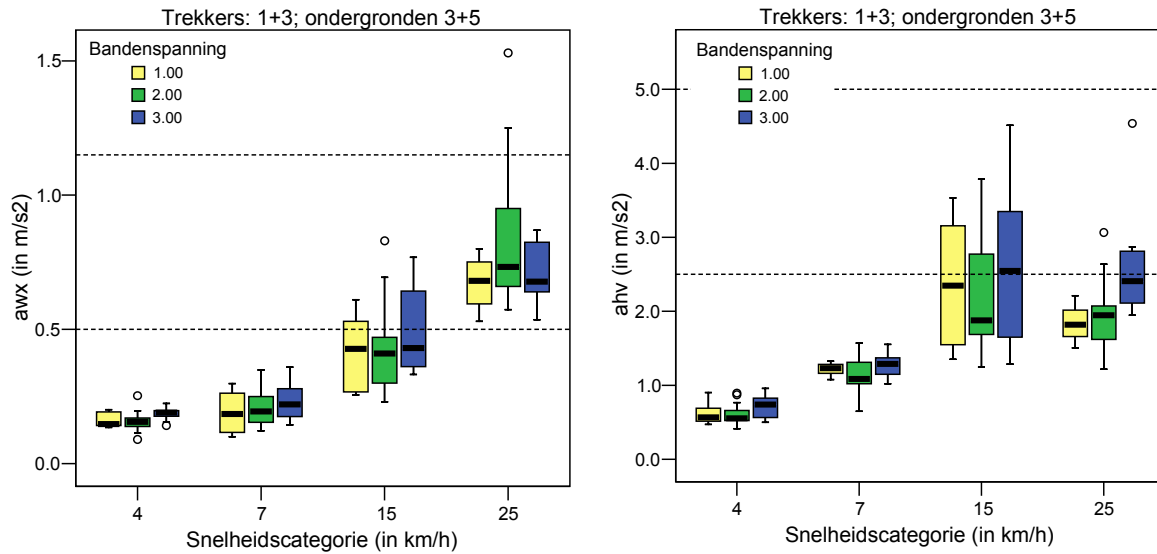
In de navolgende resultaten zijn om bovenstaande reden de meetgegevens van meerdere personen voor gelijkwaardige meetsituaties samengevoegd.



*Figuur 5: frequentie-gewogen blootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de X-richting a_{wx} (ordinaat, in m/s^2) voor ondergrond 5 (grasland) als functie van de rijsnelheid (x-as, in vier snelheidscategorieën in km/uur) voor trekker 3 tijdens normaal rechthoek rijden met constante snelheid. Weergegeven zijn de data over alle zes personen (als boxplots) alsmede de individuele waarden van twee personen (links en rechts van de box als symbolen * en #).*

3.3 Bandenspanning

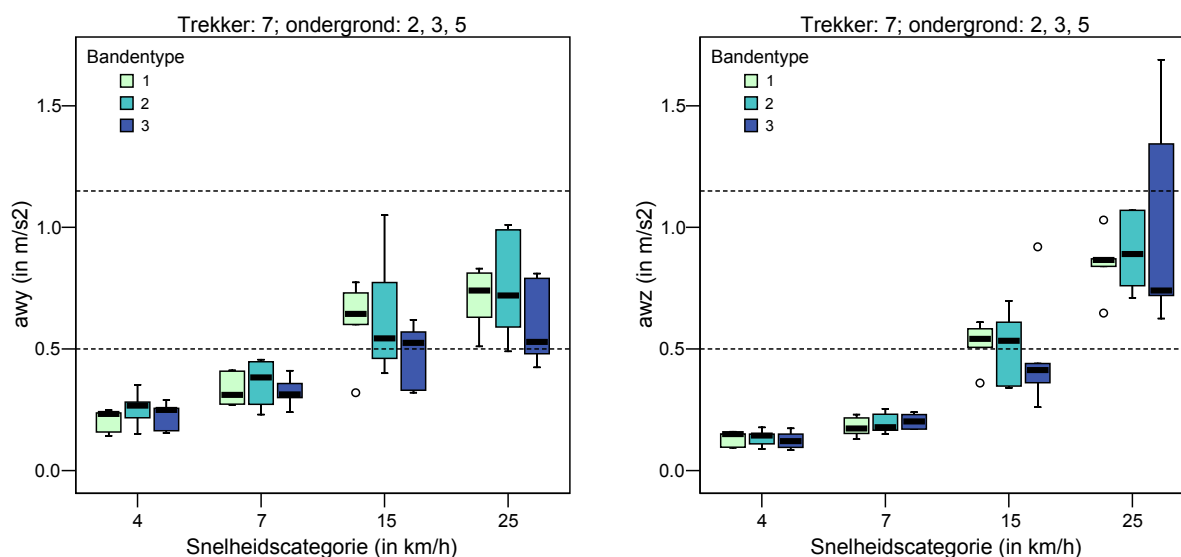
Geen systematische verschillen konden worden geconstateerd tussen de twee geteste trekkers. Om deze reden zijn de data van beide samengevoegd. Alleen bij de laagste rijsnelheid kon een significant effect worden aangetoond: lagere bandenspanning ging samen met een verlaagde trillingsblootstelling in de Z-richting ($p=0.018$). Bij de hogere snelheden kon geen enkel betekenisvol effect van verandering in bandenspanning op de lichaamstrillingen worden geconstateerd bij elk van de ondergronden. Figuur 6 (linker paneel) illustreert dit voor de samengevoegde data van de twee personen en de ondergronden “halfverhard pad” en “grasland”. Alleen de hoogste as van blootstelling voor de lichaamstrillingen, de X-richting, is weergegeven. Voor hand-arm trillingen (zelfde figuur, rechter paneel) lijkt een verhoogde bandenspanning een hogere trillingsblootstelling aan de handen via het stuur te veroorzaken, maar dit effect bleek niet significant.



Figuur 6: frequentie-gevoegen trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de x-richting, a_{wx} (linker paneel) en hand-arm trillingen a_{hv} (rechterpaneel) als functie van de rijsnelheid (in vier snelheidscategorieën in km/uur) tijdens normaal rechthoek rijden met constante snelheid, voor drie groepen bandenspanningen (1=laag; 2=normaal; 3=hoog; zie tabel 5). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de trekkers 1 en 3, de ondergronden 3 en 5 en twee personen.

3.4 Bandentype

Lichaamstrillingen in de x-richting, a_{wx} , lieten slechts een zeer beperkt onderscheid zien naar de drie verschillende typen banden voor elk van de vier bereden ondergronden. Alleen bij 4 km/uur werd een klein maar significant verschil geconstateerd tussen bandentype 1 en 3 ($3 > 1$, $p=0.043$). Een groter onderscheid werd waargenomen voor de hand-arm trillingen, waarbij echter geen systematisch effect werd gezien met de rijsnelheid. Voor de lichaamstrillingen in de Y- en Z-richting echter, werd waargenomen dat bandentype 3 (Xeobib) tendeerde naar lagere trillingswaarden; deze trend was aanwezig voor alle ondergronden, met uitzondering van de asfaltweg. Om deze reden zijn de data voor de ondergronden “klinkerweg”, “halfverhard pad” en “grasland” van beide personen samengevoegd. De resultaten zijn weergegeven in figuur 7. De trend naar mediaan lagere trillingswaarden bij de snelheden 15 en 25 km/uur is duidelijk. Significante verschillen werden alleen gevonden voor a_{wy} bij 4 km/uur ($p=0.043$ met bandentype 1, waarbij deze laatste lager bleek) en bij 25 km/uur ($p=0.027$ met bandentype 2; $p=0.043$ met bandentype 1, waarbij bandentype 3 lager bleek). Voor a_{wz} waren geen van de bandentype-snelheidscombinaties significant verschillend.



Figuur 7: frequentie-gevoegen trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de y-richting, a_{wy} , (linker paneel) en in de z-richting a_{wz} (rechterpaneel) als functie van de rij snelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechthoek rijden met constante snelheid, voor drie typen banden (1=XM 108; 2=TM 800; 3=Xeobip). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen.

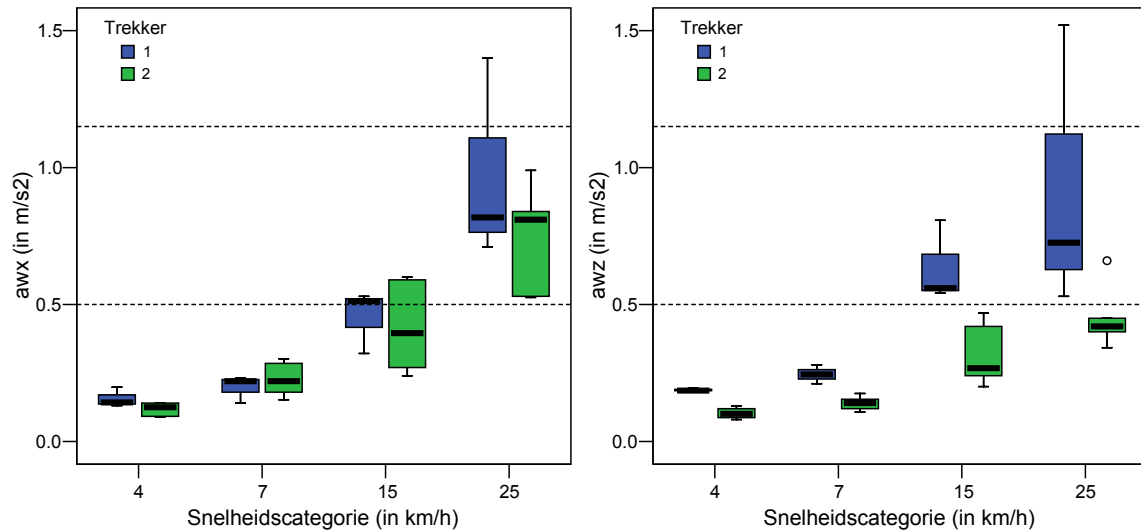
3.5 Trekkertype

Mediane meetwaarden voor alle trekkers in de 3 richtingen voor lichaamstrillingen en voor de hand-arm trillingen zijn per ondergrond en snelheids categorie gegeven in de bijlagen A. Indien de meetwaarden voor meerdere ondergronden zijn samengevoegd zijn die resultaten ook daar weergegeven. De meetdata in de tabellen laten zien dat de trillingsblootstelling bij het rijden op een bepaalde ondergrond bij een bepaalde snelheid vergelijkbaar is bij trekkers van verschillende zwaarte. Er is geen algemene trend geconstateerd voor een afnemende blootstelling bij toenemend vermogen. Wél zijn verschillen tussen de trekkers binnen een vermogensklasse gevonden. In de volgende paragrafen worden deze verschillen toegelicht.

3.5.1 Lichte trekkers

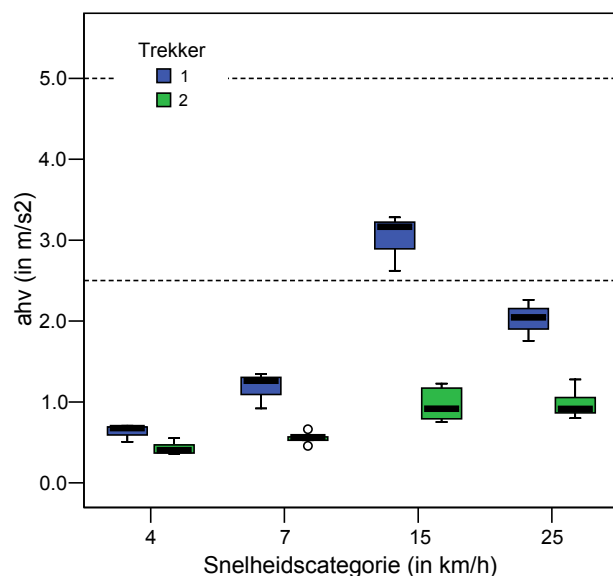
Voor trekker 1 (MF 3055) bleek de X-richting de belangrijkste trillingsrichting voor lichaamstrillingen bij het rijden op de ondergronden klinkerweg, halfverhard pad en grasland bij een snelheid vanaf 25 km/h. Onderstaande figuur 8, linker paneel, laat zien dat het moderne alternatief, trekker 2 (NH TS 100A), de trillingsblootstelling voor de samengevoegde ondergronden klinkerweg, halfverhard pad en grasland in deze voor-achterwaarts richting niet vermindert. Wel moet worden aangetekend dat de beide trekkers door verschillende paren chauffeurs zijn bestuurd. Om deze reden is geen toetsing volgens gepaarde waarneming uitgevoerd, maar een toets op onafhankelijke waarnemingen. Evenzo werden voor trillingen in de Y-richting geen verschillen tussen beide trekkertypen gemeten. Wel bleek de eerder vermelde verhoogde trilling in de X-richting bij rijden over asfalt bij 25 km/uur niet voor te komen bij trekker 2. In de Z-richting bleek trekker 2 een aanzienlijke vermindering van de trillingsblootstelling op te leveren, en wel zódanig dat over het gehele snelheidsbereik de

trillingsblootstelling onder de actiewaarde bleef (zelfde figuur, rechter paneel). De vermindering bleek significant bij iedere snelheids categorie ($p < 0.003$).



Figuur 8: frequentie-gewogen trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de x-richting, a_{wx} (linker paneel) en in de z-richting a_{wz} (rechterpaneel) als functie van de rij snelheid (in vier snelheids categorieën, in km/uur) tijdens normaal rechttuit rijden met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 1 (MS 3055) en 2 (NH TS 100A). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen.

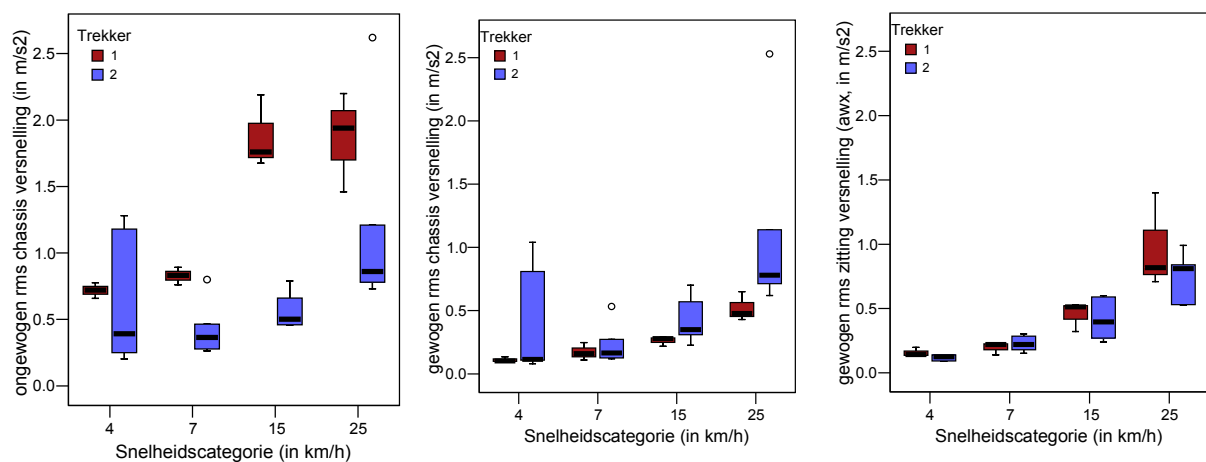
Ook voor hand-arm trillingen, overgebracht via het stuur, bleek de trekker 2 een significante verbetering te brengen ten opzichte van trekker 1: zie figuur 9. Ook hier bleek vermindering significant bij iedere snelheids categorie ($p < 0.0005$).



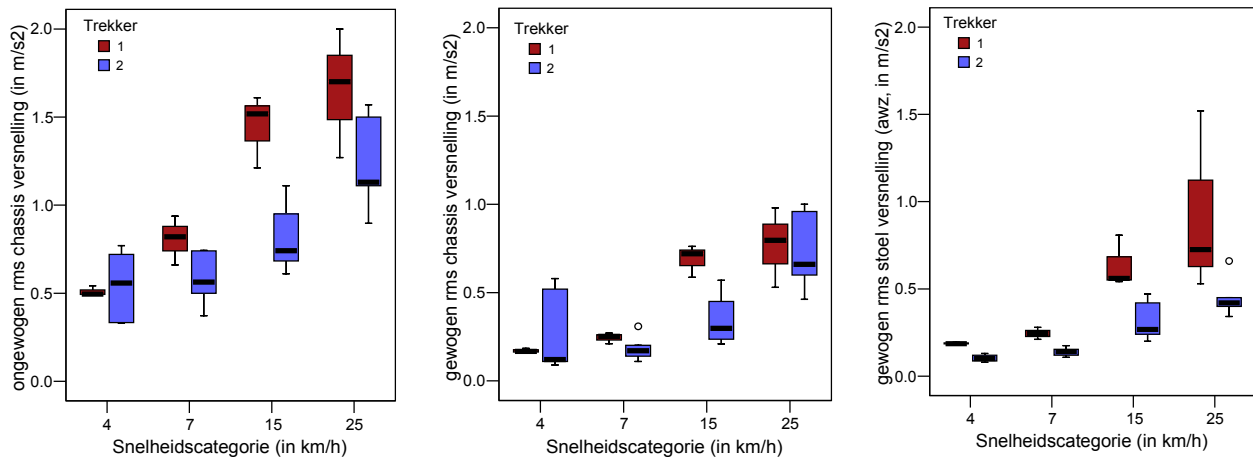
Figuur 9: frequentie-gewogen trillingsblootstelling aan de handen a_{hv} (in m/s^2) als functie van de rij snelheid (in vier snelheids categorieën, in km/uur) tijdens normaal rechttuit rijden met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 1 (MS 3055) en 2 (NH TS 100A). Weergegeven zijn de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen (als boxplots).

In figuur 10 zijn de versnellingen in de X-richting (i.e. voor-achterwaarts) die aan de stoelbasis zijn gemeten vergeleken met die op de stoel zelf voor de beide trekkers 1 en 2. De plaatjes vormen per trekker een samenvoeging van de data van drie ondergronden en twee personen. De ongewogen versnellingen zijn weergegeven in het linker paneel. Let wel dat voor deze ongewogen versnellingen geen vermenigvuldigingsfactor 1.4 voor de X- en Y-richting is toegepast! Duidelijk is dat over het gehele snelheidsbereik de cabine van trekker 2 ter hoogte van de bevestiging van de stoel minder trilt. Echter, de trillingen van deze trekker 2 hebben een zódanige frequentie-inhoud dat de weging middels de toegepaste ISO-frequentieweging voor lichaamstrillingen deze trillingen maar beperkt beïnvloedt (zie zelfde figuur, middenpaneel; n.b.: de waarden in het middenpaneel zijn frequentie-gewogen én volgens richtlijn met een factor 1.4 vermenigvuldigd). De waarden na weging voor trekker 2 zijn echter wél significant verlaagd voor elke snelheidscategorie. Het effect is echter veel sterker voor trekker 1, waarvan de ongewogen cabinetrilling relatief sterk gereduceerd wordt door de toegepaste weging, ondanks de ook hier toegepaste factor 1.4 (de verschillen zijn significant voor elke snelheidscategorie). Het effect van de stoel wordt vervolgens gedemonstreerd in het rechter paneel: voor trekker 2 heeft de stoel een tendens naar een verminderde blootstelling in de hoogste snelheidscategorie (hoewel niet significant: $p=0.08$), maar voor trekker 1 tendeert de blootstelling gemeten op de zitting van de stoel naar een hogere waarde dan die gemeten aan de stoelbasis (alleen significant voor de hoogste snelheidscategorie: $p=0.043$).

Het patroon voor trillingen dwars op de rijrichting (Y-richting) is grotendeels vergelijkbaar met het hierboven beschreven patroon voor de X-richting, alleen met lagere trillingswaarden.

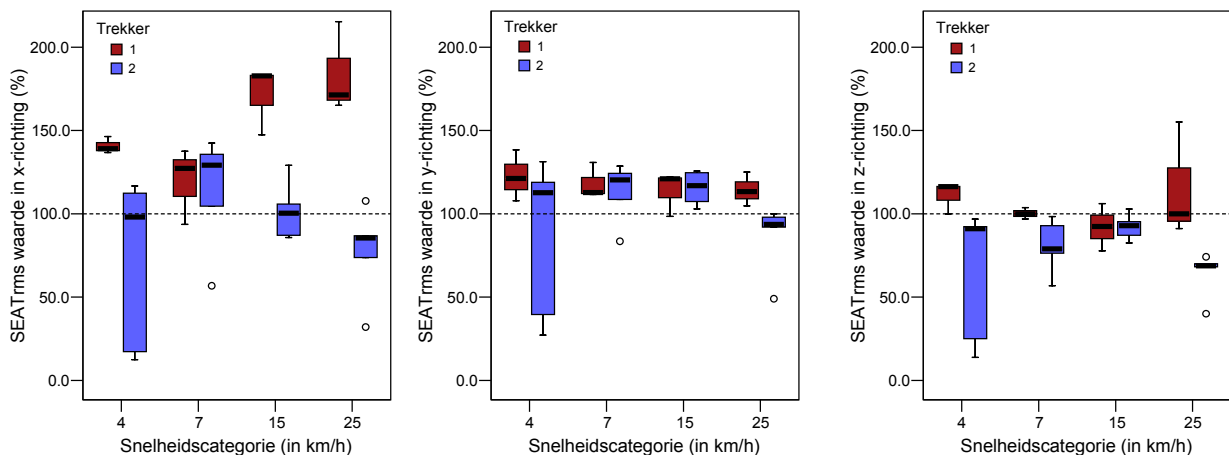


Figuur 10: ongewogen (linker paneel) en frequentie-gewogen (midden- en rechter paneel) trillingsmeting van de cabine ter hoogte van de bevestiging van de stoel (linker en middenpaneel) en op de stoelzitting (rechter paneel) in de X-richting als functie van de rij snelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechthoek rijden met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 1 (MS 3055) en 2 (NH TS 100A). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen.



Figuur 11: ongewogen (linker paneel) en frequentie-gewogen (midden- en rechter paneel) trillingsmeting van de cabine ter hoogte van de stoelbasis (linker en middenpaneel) en op de stoelzitting (rechter paneel) in de Z-richting als functie van de rijsnelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechttuit rijden met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 1 (MS 3055) en 2 (NH TS 100A). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen.

Voor de Z-richting is de gemaakte vergelijking tussen ongewogen en gewogen cabinetrilling en blootstelling op de stoelzitting weergegeven in figuur 11. Voor beide trekkers is te zien dat de frequentie-weging van de stoelbasis trillingen een verlaging van de rms-waarde veroorzaakt (alle verschillen tussen linker- en middenpaneel voor trekkers 1 en 2 zijn significant voor elke snelheidscategorie). De stoel heeft vervolgens in trekker 1 geen groot effect op de trillingsblootstelling (geen significante verschillen); in trekker 2, echter, is een sterke afname te zien, en wel



Figuur 12: $SEAT_{rms}$ waarden (in %) als functie van de rijsnelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) voor frequentie-gewogen trillingen in de X-richting (linker paneel), Y-richting (middenpaneel) en Z-richting (rechter paneel) tijdens normaal rechttuit rijden met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 1 (MS 3055) en 2 (NH TS 100A). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen.

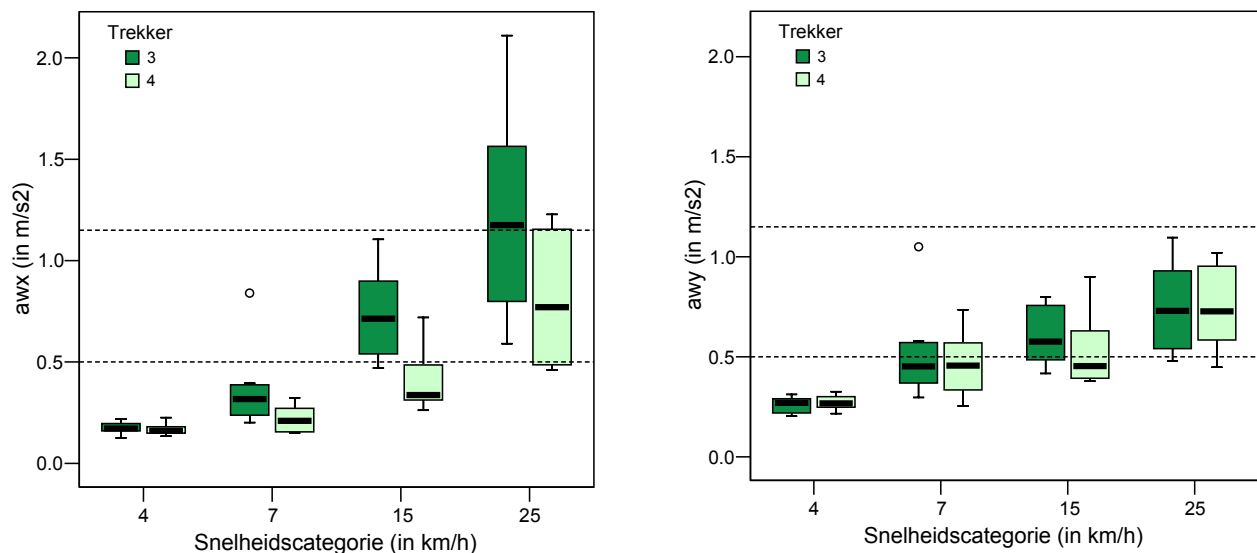
zódanig dat de blootstelling in het gehele snelheidsbereik onder de actiewaarde van 0.5 m/s^2 blijft (voor trekker 2 zijn de verschillen voor elke snelheids categorie significant).

Figuur 12 toont de SEAT_{rms} waarden voor de drie trillingsrichtingen. Deze waarde geeft aan in welke mate de gemonteerde stoel effectief is in het reduceren van de aangeboden frequentie-gewogen trillingen. Er is geen systematisch verband tussen de SEAT_{rms} waarden en de rijsnelheid. Wel lijkt de stoel van trekker 2 effectiever de trillingen te reduceren in de X-richting (en in mindere mate in de Y-richting) bij hogere rijsnelheden en in de Z-richting over het gehele snelheidsbereik.

3.5.2 Middelzware trekkers

Vergelijking van de trekkers 3 (JD 6520) en 4 (JD 6620) is alleen uitgevoerd tijdens transportwerkzaamheden, waarbij eenzelfde platte wagen of kipwagen achter de trekker gekoppeld was. Het type aangekoppelde wagen bleek niet onderscheidend. Vanwege de aangekoppelde wagen wijken de trillingswaarden af ten opzichte van het onbeladen rijden over de verschillende ondergronden.

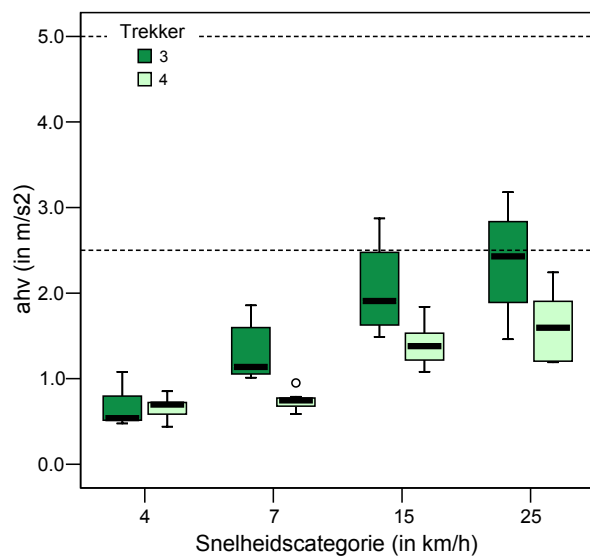
Voor trekker 3 was de X-richting de belangrijkste trillingsrichting (zie eerder). Indien met trekker 4 wordt gereden blijkt voor de samengevoegde ondergronden “halfverhard pad” en “grasland” de trillingsblootstelling te verminderen: zie figuur 13, links. De vermindering is significant ($p=0.028$) vanaf 7 km/uur. De vermindering is aanzienlijk en levert bij 15 km/uur een reductie op tot onder de actiewaarde. Bij 25 km/uur komt de trillingsblootstelling evenwel nog boven de actiewaarde.



Figuur 13: frequentie-gewogen trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de X-richting, a_{wx} (linker paneel) en in de Y-richting a_{wy} (rechterpaneel) als functie van de rijsnelheid (in vier snelheids categorieën, in km/h) tijdens normaal rechthoekig rijden met aangekoppelde wagen met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 3 (JD 6520) en 4 (JD 6620). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 3 en 5 en twee personen.

Voor de Z-richting werd een met de X-richting vergelijkbare relatieve reductie welke alleen bij de hoogste snelheid significant werd ($p=0.028$). Voor beide trekkertypen bleef de mediane trillingsblootstelling voor deze richting in het gehele snelheidsbereik onder de actiewaarde. Geen verandering in blootstelling werd waargenomen in de Y-richting; zie zelfde figuur, rechter paneel. Voor trekker 4 blijkt de trilling in deze Y-richting van vergelijkbaar niveau te zijn ten opzichte van de X-richting, terwijl voor trekker 3 de X-richting duidelijk verhoogd was ten opzichte van de Y-richting.

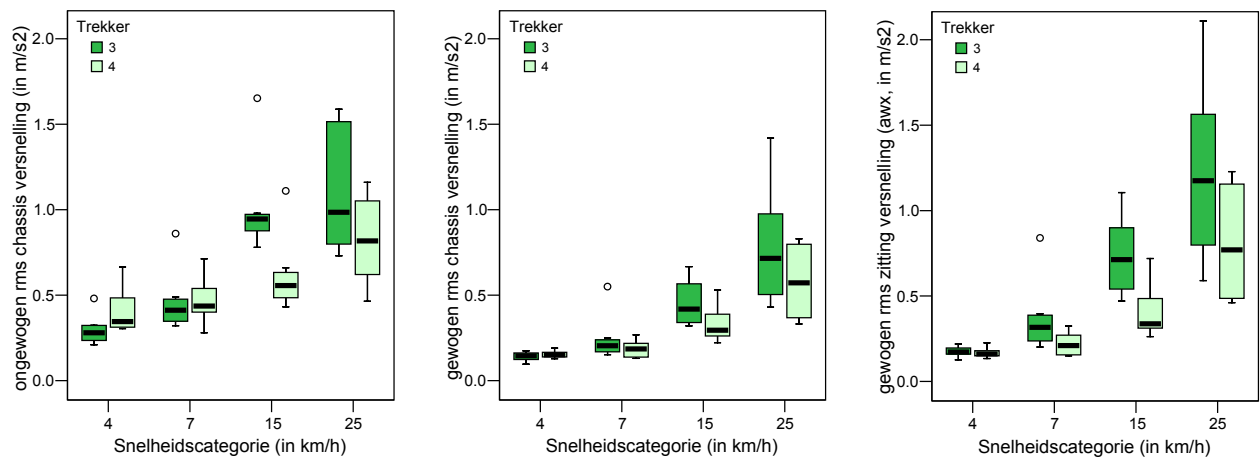
Ook de hand-arm trillingen werden bij het rijden op trekker 4 aanmerkelijk (en significant vanaf 7 km/uur; $p=0.028$) verminderd. Het trillingsniveau bleef over het gehele gemeten snelheidsbereik ruim onder de actiewaarde: zie figuur 14.



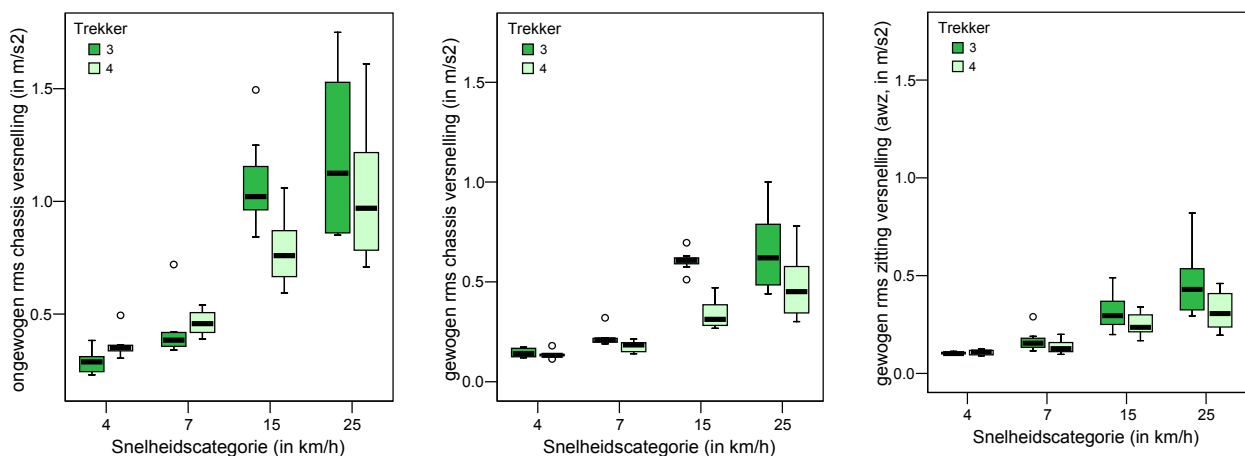
Figuur 14: frequentie-gewogen trillingsblootstelling aan de handen a_{hv} (in m/s^2) als functie van de rij snelheid (in vier snelheids categorieën, in km/uur) tijdens normaal rechttuit rijden met aangekoppelde wagen met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 3 (JD 6520) en 4 (JD 6620). Weergegeven zijn de samengevoegde waarden over de ondergronden 3 en 5 en twee personen (als boxplots).

Figuur 15 laat de resultaten zien van de metingen van trillingen in de X-richting (voor-achter) aan de stoelbasis en boven op de zitting. De linker paneel geeft de ongewogen rms trillingsdata voor de trekkers 3 en 4. Het verschil tussen beide trekkers wordt significant ($p=0.028$, beide) vanaf 15 km/uur. De gewogen trillingsdata (volgens de ISO-2631-1 frequentie karakteristiek, middenpaneel) laten een afname zien, wederom voor beide trekkers verschillend ($p=0.028$, beide) vanaf 15 km/uur. De meting op de stoelzitting (rechter paneel), tenslotte, laat voor beide trekkers voor elke snelheids categorie een hogere ($p=0.012$) rms trillingswaarde zien dan die gemeten aan de stoelbasis. Voor trekker 4 is de stijging significant minder ($p=0.028$, vanaf 7 km/uur) dan voor trekker 3, zodat kan worden geconstateerd dat de stoel van trekker 4 effectiever is in het reduceren van trillingen in de gemeten rij situatie.

De chassistrillingen in de Z-richting bleken een patroon te beschrijven vergelijkbaar met die van de X-richting; zie figuur 16. Echter, de rms niveaus gemeten op de stoelzitting waren lager (significant voor elke snelheid, $p=0.012$) dan die gemeten aan de stoelbasis, voor beide trekkers. De stoelen blijken een zelfstandige bijdrage te leveren aan het reduceren van de trillingsblootstelling.



Figuur 15: ongewogen (linker paneel) en frequentie-gewogen (midden- en rechter paneel) trillingsmeting van de cabine ter hoogte van de stoelbasis (linker en middenpaneel) en op de stoelzitting (rechter paneel) in de X-richting als functie van de rij snelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechthoek rijden met aangekoppelde wagen met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 3 (JD 6520) en 4 (JD 6620). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden voor kipwagen en platte wagen, rijdend over de ondergronden 3 en 5 en twee personen.

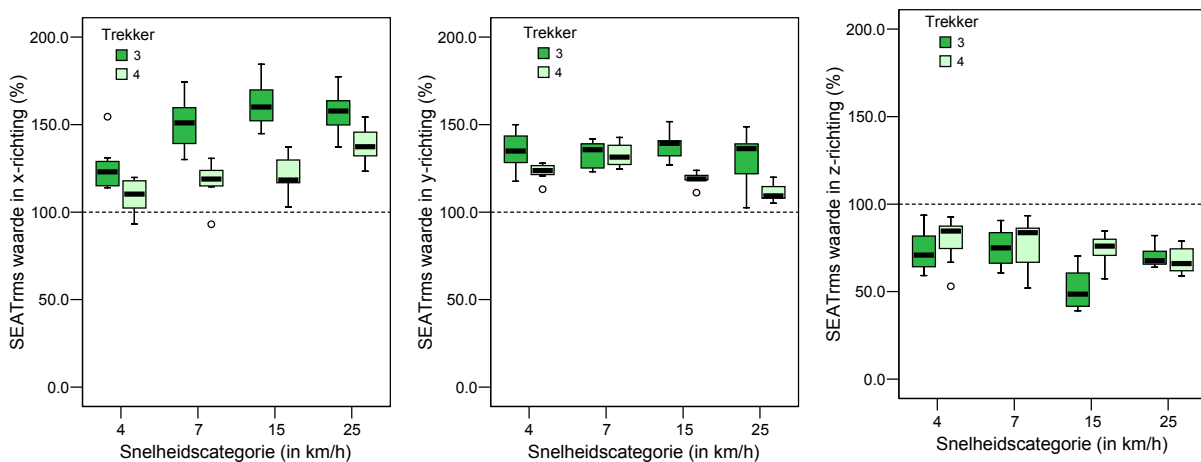


Figuur 16: ongewogen (linker paneel) en frequentie-gewogen (midden- en rechter paneel) trillingsmeting van de cabine ter hoogte van de stoelbasis (linker en middenpaneel) en op de stoelzitting (rechter paneel) in de Z-richting als functie van de rij snelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechthoek rijden met aangekoppelde wagen met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 3 (JD 6520) en 4 (JD 6620). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden voor kipwagen en platte wagen, rijdend over de ondergronden 3 en 5 en twee personen.

Voor de Y-richting zijn geen verschillen geconstateerd tussen beide trekkers voor de ongewogen en gewogen trillingen van de stoelbasis alsook die op de stoel, en is een patroon gevonden vergelijkbaar met die voor de X-richting: de frequentie-gewogen rms trillingswaarde gemeten op

de stoelzitting bleek verhoogd ten opzichte van die gemeten aan de stoelbasis. De niveaus van de trillingen waren echter lager dan die in de X-richting.

De effectiviteit van trillingsreductie van de stoelen van beide trekkers is geïllustreerd in figuur 17: voor de X-richting voldoet de stoel van trekker 4 beter vanaf 7 km/uur, maar blijft de $SEAT_{rms}$ waarde over het gehele snelheidsbereik boven de 100%, indicierend dat beide stoelen zorgen voor een versterking van de trilling op de stoel ten opzichte van die van de cabine. Voor de Y-richting geldt dat ook hier een versterking van de trilling is waargenomen en er bleek geen verschil tussen beide trekkers. Dit laatste is ook het geval voor de verticale trillingsrichting Z; wel wordt hier een demping van de trilling gemeten.

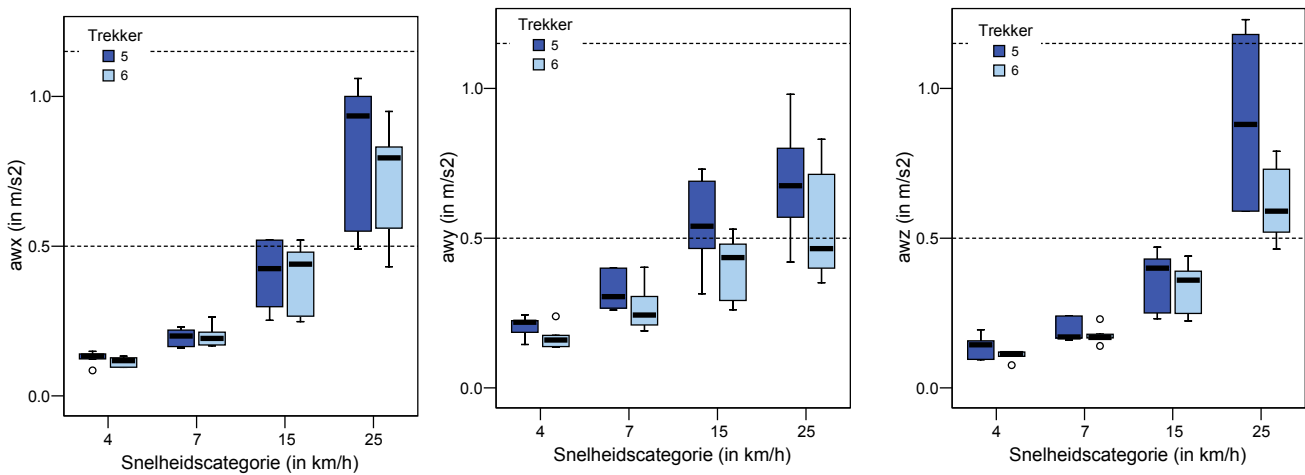


Figuur 17: $SEAT_{rms}$ waarden (in %) als functie van de rij snelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) voor frequentie-gewogen trillingen in de X-richting (linker paneel), Y-richting (middenpaneel) en Z-richting (rechter paneel) tijdens normaal rechthoek rijden met aangekoppelde wagen met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 3 (JD 6520) en 4 (JD 6620). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden voor kipwagen en platte wagen, rijdend over de ondergronden 3 en 5 en twee personen.

3.5.3 Zware trekkers

Voor de beide zware trekkers 5 (FE 818) en 6 (FE 818+) gold dat rijden op de asfaltweg over het gehele snelheidsbereik tot 40 km/uur een trillingsblootstelling onder de actiewaarde opleverde. Geen verschil werd gevonden tussen beide trekkertypen.

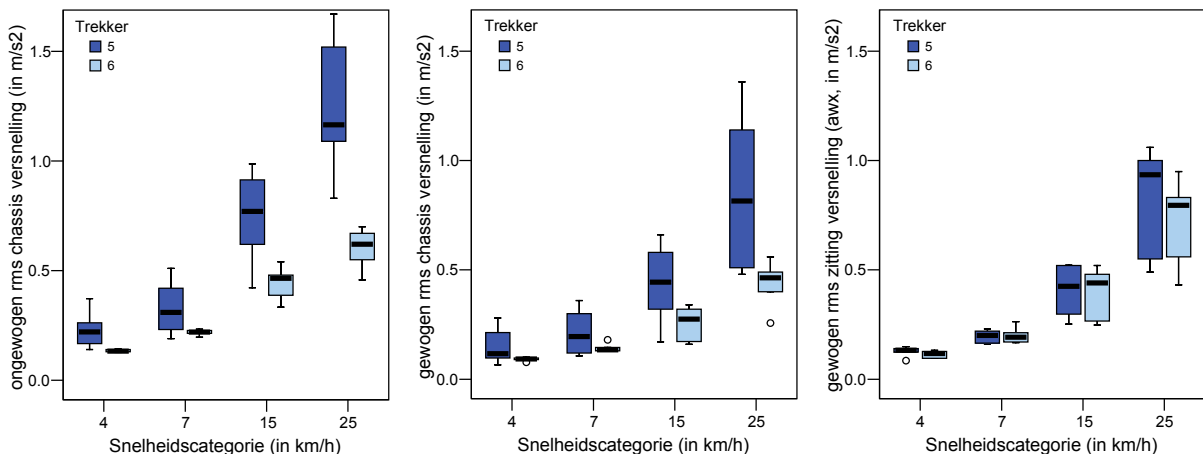
Voor het rijden op de samengevoegde ondergronden “klinkerweg”, “halfverhard pad” en “grasland” is de vergelijking in trillingsblootstelling tussen beide trekkers weergegeven in figuur 18. De belangrijkste trillingsrichting blijkt snelheidsafhankelijk waarbij rond 15 km/uur de trilling in de Y-richting boven de actiewaarde uitstijgt (figuur 15, midden). Trekker 6 levert in deze situatie een significante verlaging van de trillingsblootstelling tot onder de actiewaarde ($p=0.028$). Bij hogere snelheid vormen de X- en Z-richting de belangrijkste trillingsassen. Voor de X-richting levert trekker 6 geen significante vermindering van de trillingsblootstelling (figuur 15, links).



Figuur 18: frequentie-gewogen trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de X-richting, a_{wx} (linker paneel), de Y-richting a_{wy} (middenpaneel) en in de Z-richting a_{wz} (rechter paneel) als functie van de rij snelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechthoek rijden met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 5 (FE 818) en 6 (FE 818+). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen.

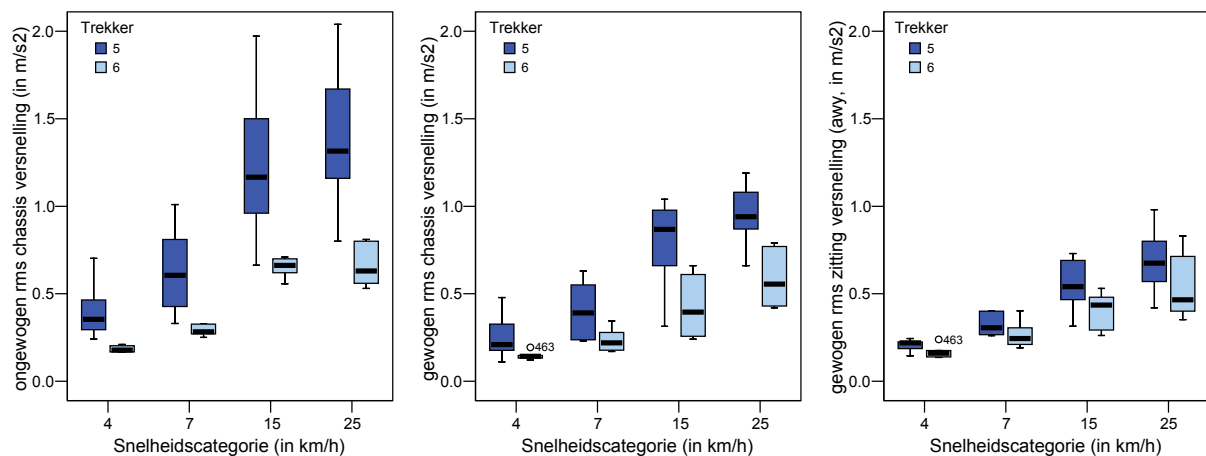
Voor de Y- en Z-richtingen is er wél sprake van een vermindering (voor de Y-richting significant over het gehele snelheidsbereik; voor de Z-richting allen bij de hoogste snelheid: $p=0.046$). De blootstelling aan hand-arm trillingen bleef bij alle snelheidscategorieën onder de actiewaarde van 2.5 m/s^2 . Ook werden geen significante verschillen geconstateerd tussen de beide trekkers.

Figuur 19 (linker paneel) laat zien dat trekker 6 een beter gedempte constructie heeft voor trillingen in de X-richting. De ongewogen rms waarden gemeten aan de stoelbasis zijn significant



Figuur 19: ongewogen (linker paneel) en frequentie-gewogen (midden- en rechter paneel) trillingsmeting van de cabine ter hoogte van de stoelbasis (linker en middenpaneel) en op de stoelzitting (rechter paneel) in de x-richting als functie van de rij snelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechthoek rijden met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 5 (FE 818) en 6 (FE 818+). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen.

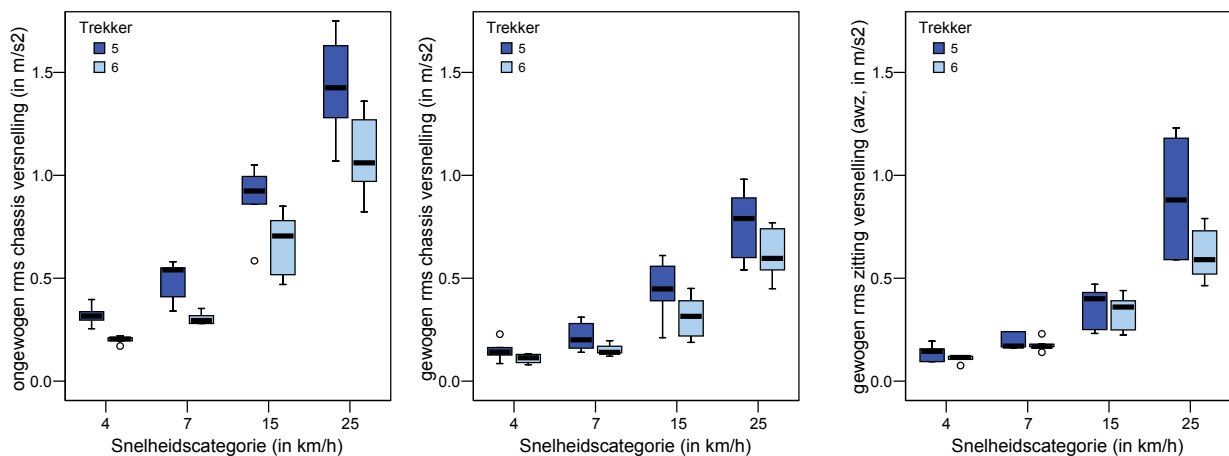
lager (behalve bij 7 km/uur) dan die van trekker 5. De frequentie-gewogen rms trillingswaarden voor beide trekkers (middenpaneel) zijn lager (voor alle snelheden: $p=0.028$) dan de ongewogen waarden, maar het verschil tussen beide trekkers is minder groot. Het rechterpaneel laat vervolgens zien dat de stoel van trekker 5 niet bijdraagt aan een verdere blootstellingsvermindering; echter, voor trekker 6 is een significant (p -waarde tussen 0.028 en 0.043) verhoogde rms waarde te zien, zodat moet worden geconstateerd dat de stoel zelfstandig bijdraagt aan een hogere blootstelling dan op grond van de meting aan de cabine verwacht zou worden. In figuur 22, linker paneel, wordt dit ook duidelijk aan de hand van de $SEAT_{rms}$ waarde.



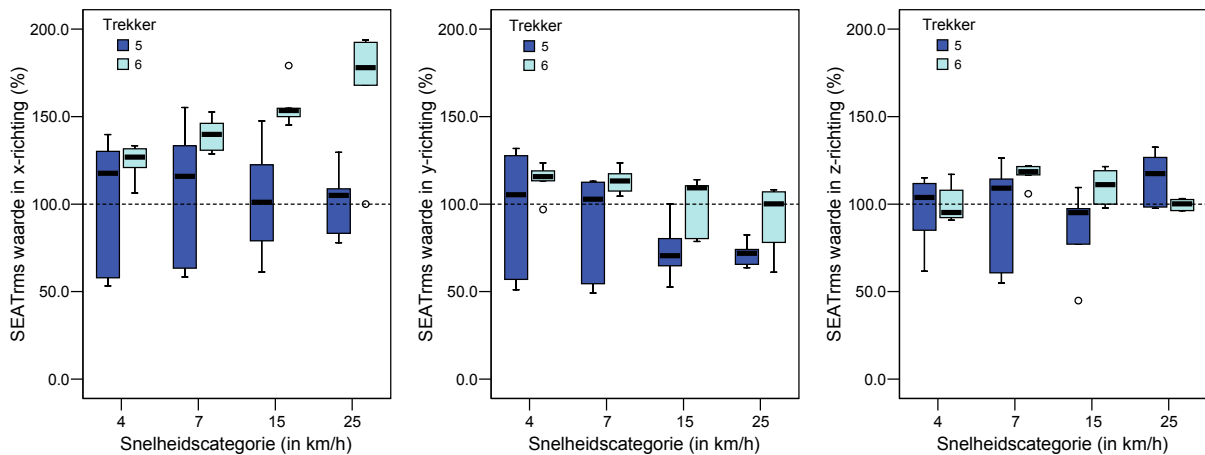
Figuur 20: ongewogen (linker paneel) en frequentie-gewogen (midden- en rechter paneel) trillingsmeting van de cabine ter hoogte van de stoelbasis (linker en middenpaneel) en op de stoelzitting (rechter paneel) in de y-richting als functie van de rijnsnelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechthoek rijden met constante snelheid, voor de twee trekkertypen 5 (FE 818) en 6 (FE 818+). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen.

Voor trillingen in de Y-richting (figuur 20) is het beeld enigszins afwijkend ten opzichte van het voorgaande. Ook hier wordt bij trekker 6 een significant ($p=0.028-0.043$) verbeterde trillingsdemping gezien ten opzichte van trekker 5, indien de ongewogen en gewogen trillingssignalen worden beschouwd. Echter, de stoel van trekker 5 draagt bij aan een verdere vermindering van de trillingsblootstelling (significant vanaf 15 km/uur: $p=0.043$ en 0.028), terwijl bij trekker 6 geen vermindering wordt gemeten. Bij de beide laagste snelheden treedt zelfs een significante ($p=0.028$) verhoging van de blootstelling plaats. Zie hiervoor ook figuur 22, middenpaneel.

In de Z-richting (figuur 21) is wederom sprake van een significant betere trillingsdemping (p varieert tussen 0.028 en 0.043) van de ongewogen trilling voor trekker 6. Ook het frequentie-gewogen signaal (zelfde figuur, midden) is, behalve bij de snelheid 15 km/uur, significant ($p=0.043$) lager voor trekker 6. Voor beide trekkers draagt echter de stoel niet systematisch meer bij aan een verdere vermindering van de frequentie-gewogen trilling: zie rechter paneel, en figuur 22, rechter paneel.



Figuur 21: ongewogen (linker paneel) en frequentie-gewogen (midden- en rechter paneel) trillingsmeting van de cabine ter hoogte van de stoelbasis (linker en middenpaneel) en op de stoelzitting (rechter paneel) in de z -richting als functie van de rij snelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechthoek rijden met constante snelheid, voor de twee trekcertypen 5 (FE 818) en 6 (FE 818+). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen.



Figuur 22: $SEAT_{rms}$ waarden (in %) als functie van de rij snelheid (in vier snelheidscategorieën, in km/uur) voor frequentie-gewogen trillingen in de x -richting (linker paneel), y -richting (middenpaneel) en z -richting (rechter paneel) tijdens normaal rechthoek rijden met constante snelheid, voor de twee trekcertypen 5 (FE 818) en 6 (FE 818+). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de ondergronden 2, 3 en 5 en twee personen.

3.6 Agrarische bewerkingen met trekker

De gemeten blootstellingen van zowel lichaamstrillingen als hand-arm trillingen zijn per bewerking opgenomen in de bijlage B. Naast de totale meetduur van de bewerking en de gemiddelde rijsnelheid zijn hierin per trillingsrichting X, Y, of Z voor lichaamstrillingen de gewogen en met factor k vermenigvuldigde rms trillingswaarden a_w gegeven, alsmede de VDV-waarden en de statische compressie waarden D , S_e en S_{ed} volgens ISO/DIS-2631-5 (2001). Voor de hand-arm trillingen is de vectorsom a_{hv} over de 3 assen gegeven. De dosis indicatoren VDV en S_{ed} zijn steeds berekend onder de aanname dat de werkmethode gedurende 8 uur op een willekeurige werkdag (i.e. $t_d = 28800$ s) wordt uitgevoerd. In de praktijk zullen ook werkdagen van kortere en langere blootstellingsduur voorkomen.

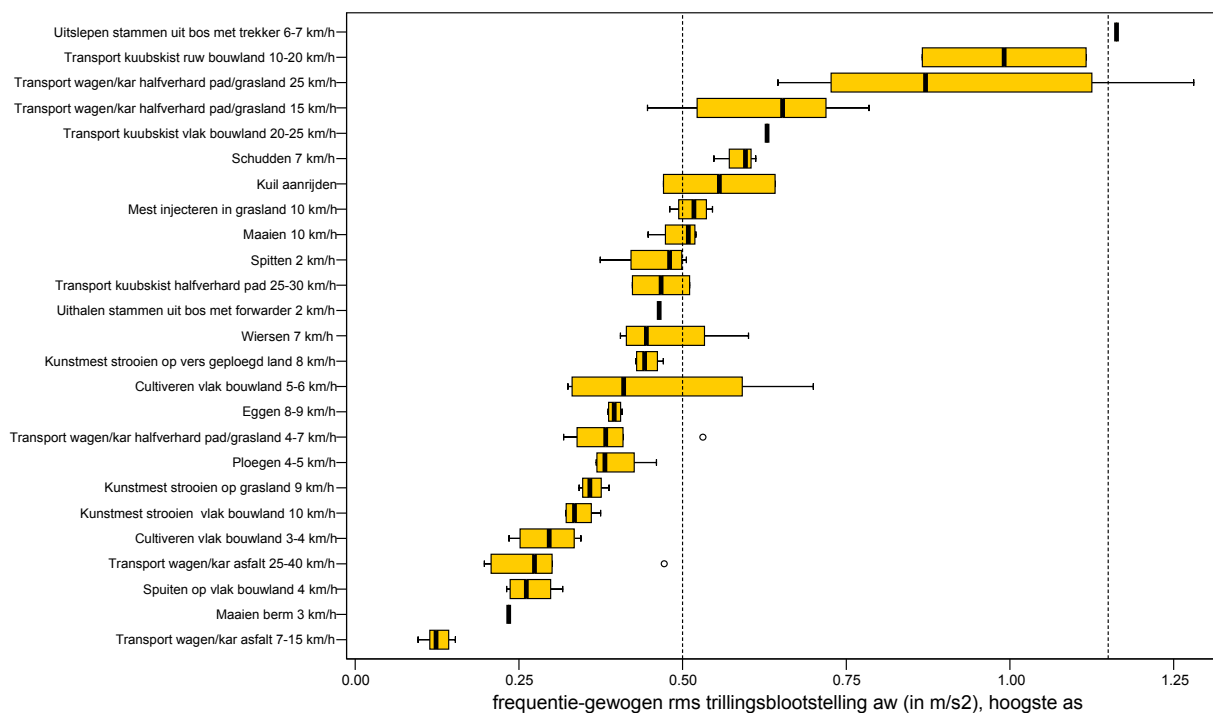
De meeste bewerkingen zijn met twee machines en bij twee personen uitgevoerd, omvatten dus in totaal vier metingen. Afwijkingen hierop zijn:

- inkuilen en transport van een geladen kuubskist: hiervoor was maar één machine (trekker 4) beschikbaar; wél zijn twee personen gemeten (metingen: $n=2$);
- berm maaien, uithalen van stammen uit het bos met forwarder en uitslepen van stammen uit het bos met een trekker: slechts één meting (één persoon op één machine) is uitgevoerd (metingen: $n=1$);
- transport van kar of wagen: alle metingen zijn uitgevoerd bij drie personen op twee machines (metingen: $n=6$).

De totale meetduur per bewerking is tevens in de tabellen af te lezen. Van iedere meting is de trillingsrichting X, Y, of Z met de hoogste trillingswaarde a_w geselecteerd. Dit bleek consequent de X- of de Y-richting (zie bijlage B). De meetwaarden (per persoon en machine) van de richting of richtingen met de hoogste a_w zijn per bewerking samengevoegd en als boxplots weergegeven in figuur 23. In de figuur zijn tevens de actie- en grenswaarde geïndiceerd voor een normale werkdag.

De figuur geeft aan dat de volgende bewerkingen mediaan gesproken onder de actiewaarde blijven: maaien, spuiten, cultiveren, kunstmest strooien, ploegen, eggen, wiersen, spitten uithalen van stammen met forwarder, transport van kar of wagen op asfalt, transport van kar of wagen op halfverhard pad of grasland bij lage snelheid en transport van kuubskist over halfverhard pad. Dat betekent dat geen actie hoeft te worden ondernomen, gesteld dat de omstandigheden overeenkomen met de hier onderzochte situatie.

Bij de volgende bewerkingen kwamen één of twee metingen boven de actiewaarde: transport van een wagen of kar over grasland of halfverhard pad met lage snelheid, cultiveren met hoge snelheid, wiersen, transport van een kuubskist over een halfverhard pad met hoge snelheid en spitten. Een korte nadere beschouwing hiervan per bewerking:



Figuur 23: frequentie-gewogen r.m.s. trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen a_w (in m/s^2) per bewerking, uitgevoerd door meerdere personen ($n=1-3$) en op meerdere machines ($n=1-2$). De boxplots zijn samenvoegingen van de richtingen met de hoogste trillingswaarde a_w per meting (i.e. één persoon op één machine). Actiewaarde en grenswaarde voor een normale werkdag zijn geïndiceerd als verticale onderbroken lijnen.

- Transport van een wagen of kar over grasland of halfverhard pad met lage snelheid: het betreft het samenvoegen van de metingen van 4 km/uur en 7 km/uur. Bij de laatste snelheid is voor individuele stukken van de afgelegde route vaker een overschrijding van de actiewaarde gemeten, met name bij het grasland. Bij de bewuste meting heeft het resultaat van de 7 km/uur meting op grasland het resultaat gedomineerd. Bij een normale variatie van lage snelheden en ondergronden is de verwachting dat de blootstelling onder de actiewaarde zal blijven.
- Cultiveren van vlak bouwland met hoge snelheid (5-6 km/uur): de overschrijding betrof een meting met trekker 4, zonder bijzondere omstandigheden, maar mogelijk op een ruwer gedeelte van het land. De overschrijding bleek aanzienlijk: $a_{wy}=0.70 m/s^2$. Verbeterde demping van de stoel in de Y-richting zou bijdragen aan reductie van de blootstelling, alsmede het terugnemen van de rijsnelheid indien de ondergrond meer ongelijk wordt.
- Wiersen: tijdens één van de beide metingen met trekker 3 werd een trillingswaarde a_{wx} gemeten van $0.60 m/s^2$. Evenals bovenstaand zijn geen bijzondere omstandigheden te vermelden.
- Bij transport van een kuubskist over een halfverhard pad met hoge snelheid en spitten blijken de overschrijdingen minimaal: a_w in respectievelijk de X- en Y-richting was $0.51 m/s^2$.

De bewerkingen maaien, mest injecteren in grasland en kuil aanrijden met een shovel vormen grensgevallen waarbij de mediane blootstelling juist boven de actiewaarde kwam.

- Mest injecteren: de variatie in blootstelling bleek gering: a_w in de Y-richting spreidde van 0.48 tot 0.55 m/s².
- Maaien: trekker 3 resulteerde in blootstellingen in de X-richting tussen 0.50 en 0.52 m/s² (gemiddelde rijsnelheid 9.6 en 10.2 km/uur, respectievelijk), terwijl die voor trekker 4 lagen tussen 0.45 en 0.52 m/s², bij gemiddelde rijsnelheden van respectievelijk 9.5 en 10.4 km/uur.
- Kuil aanrijden: het betreft slechts twee metingen, met de hoogste blootstellingen gemeten in de X-richting, tussen beide personen variërend tussen 0.47 en 0.64 m/s².

Tot slot zijn er de bewerkingen waarvan (vrijwel) alle metingen boven de actiewaarde lagen.

Naast het schudden van gras waren dit de transportwerkzaamheden. Een korte toelichting:

- Schudden: trekker 3 resulteerde in blootstellingen in de X-richting van 0.59 en 0.60 m/s² (gemiddelde rijsnelheid 7.0 km/uur voor beide personen), terwijl die voor trekker 4 lagen tussen 0.55 en 0.61 m/s² in de Y-richting, bij een gemiddelde rijsnelheid van 7.4 km/uur voor beide. Meer geavanceerde trekkertechniek leidde niet duidelijk tot een vermindering van de blootstelling.
- Transport van een kuubskist op vlak bouwland met hoge snelheid: het betrof slechts één meting met een zeer moderne trekker (trekker 4).
- Transport van een kipwagen of aanhangende platte wagen over grasland of halfverhard pad met snelheden boven 15 km/uur: bij gebruik van trekker 3 ($a_{wx} = 0.72$ m/s² bij 15.3 km/uur; 1.13 m/s² bij 25.4 km/uur) bleek de blootstelling systematisch hoger uit te komen dan bij trekker 4: $a_{wy} = 0.52$ m/s² bij 14.8 km/uur, $a_{wx} = 0.73$ m/s² bij 24.7 km/uur. Geconcludeerd mag worden dat moderne trekkertechniek aanzienlijk bijdraagt aan een vermindering van de blootstelling. Evenwel, de reductie is niet voldoende voor het toestaan van dit werk gedurende een volledige werkdag. Veel agrariërs zullen dit werk ook niet gedurende een gehele dag uitvoeren en zullen mogelijk geen probleem ervaren. Voor de loonwerksector en akkerbouw ten tijde van de oogst speelt echter wél een probleem. Een lagere rijsnelheid zal de blootstelling tot onder de actiewaarde terugbrengen.
- Transport van een kuubskist over ruw bouwland met een matige snelheid: het betrof twee metingen met trekker 4, waarbij de blootstelling varieerde tussen 0.87 m/s² bij 10.0 km/uur en 1.12 m/s² bij 20.6 km/uur. De hoogste trillingsas was tijdens beide metingen de X-richting.
- Uitslepen van stammen uit het bos met behulp van een trekker met sleeptang: het betrof slechts één meting, evenwel zijn verschillende cycli (een cyclus is: onbeladen rijden – laden – beladen slepen – lossen) gemeten. De hoogste trillingswaarden voor alle richtingen werden gemeten bij het onbeladen rijden over bospad en door het bos (gemiddelde snelheid: 9.3 km/uur), waarbij de Y-richting de hoogste waarde noteerde: 1.49 m/s². Bij het slepen was de Y-richting wederom de hoogste: 1.13 m/s² (gemiddelde snelheid: 9.0 km/uur), terwijl tijdens laden en lossen de trillingen in de X-richting het hoogst bleken: respectievelijk 0.95 en 0.92 m/s².

Schokbelasting is apart beoordeeld aan de hand van de richtlijn ISO/DIS-2631-5 (2001). De maat die hierin wordt gebruikt is de S_{ed} , ofwel het equivalent van de dagelijkse statische compressie dosis. In de genoemde richtlijn wordt geadviseerd dat de S_{ed} waarde beneden 0.5 MPa moet liggen om een lage kans te hebben op gezondheidsschade aan de wervelkolom door

schokken. Boven de waarde 0.8 MPa is de schadekans groot. Echter, deze waarden gaan uit van een dagelijkse blootstelling gedurende 240 dagen per jaar. Voor de meeste seizoenswerkzaamheden gelden aanzienlijk minder blootstellingsdagen op jaarbasis. Onderstaande tabel 6 indiceert de S_{ed} grenswaarden voor lage en hoge schadekans op basis van een variabel aantal dagen per jaar. De tabel laat zien dat voor een blootstelling gedurende één werkweek per jaar de grenzen 1.0 en 1.5 MPa zijn; verdere extrapolatie naar bijvoorbeeld slechts één dag per jaar levert grenzen van 1.2 en 2.0 MPa op.

Tabel 6: grenzen voor de dagelijkse statische compressie dosis S_{ed} bij een variabel aantal dagen blootstelling aan schokken per jaar door de verrichte werkzaamheden. De getallen zijn geïndiceerd op basis van ISO/DIS-2631-5 (2001). S_{ed} in MPa. De vermenigvuldigingsfactor is de factor waarmee de S_{ed} -grenswaarden van een volledig jaar blootstelling (240 dagen) moeten worden vermenigvuldigd.

Dagen per jaar	240	120	60	30	10	5	2	1
Vermenigvuldigingsfactor	1.00	1.12	1.26	1.41	1.70	1.91	2.22	2.49
Gezondheidsschadekans								
laag: $S_{ed} <$	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2
aanwezig: $S_{ed} <$	0.8	0.9	1.0	1.1	1.4	1.5	1.8	2.0
hoog $S_{ed} >$	0.8	0.9	1.0	1.1	1.4	1.5	1.8	2.0

In bijlage B is te lezen dat de S_{ed} voor slechts weinig van de onderzochte werkzaamheden boven de waarde 0.5 uitkomt:

- uithalen van stammen uit het bos met een forwarder: 0.51 MPa;
- transport van een wagen of kar over halfverhard pad of grasland bij 25 km/h: 0.58 MPa;
- inkuilen: 0.67 MPa;
- transport van een kuubskist op ruw bouwland bij 10-20 km/h: 0.69 MPa;
- uitslepen van stammen uit het bos met een trekker: 4.74 MPa.

Aangezien de vier eerstgenoemde werkzaamheden op jaarbasis meestal gedurende minder dan 30 dagen plaats vinden zal de schokbelasting hier niet een gezondheidsrisico vormen, gegeven de gestelde normen. Echter, het uitslepen van stammen uit het bos met een trekker resulteert in een groot gezondheidsrisico. Wel is de aantekening op zijn plaats dat het hier slechts één langer durende meting betrof bij één persoon en op één trekker. Indien het huidige meetresultaat model staat voor het normale werk tijdens het uitslepen, dan is aandacht voor schokdemping bij deze werkzaamheid op zijn plaats.

4 Discussie

Het huidige onderzoek had als doelen (1) in te schatten in hoeverre het gebruik van moderne landbouwtrekkers tijdens werkzaamheden in de praktijk voldoet aan de norm voor de maximale dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen, en (2) aan te geven welke technische en gedragsmatige maatregelen effectief zijn in het verlagen van de trillingsblootstelling. Met betrekking tot het eerste doel wordt geconstateerd dat de meeste van de geteste werkzaamheden in de praktijk onder of rond de actiewaarde blijven bij gebruik van modern materieel en geen speciale actie behoeven. Echter, voor transportwerkzaamheden op alle ondergronden behalve glad asfalt en bij snelheden vanaf 15 km/uur is aandacht nodig voor blootstellingsvermindering omdat de actiewaarde overschreden wordt. Speciale aandacht verdient het uitslepen van stammen uit bos met een sleeptang. Hand-arm trillingen blijken zelden een probleem. Met betrekking tot het tweede doel toont het onderzoek aan dat beperking van de rijnsnelheid, vlakke ondergrond en geavanceerde dempingstechniek toegepast in de trekker in deze volgorde bijdragen aan het verlagen van de blootstelling aan lichaamstrillingen. Bandentype, bandenspanning en trekkervermogen (of –massa) blijken maar zeer beperkte invloed te hebben. Geconstateerd wordt dat de demping van de gemonteerde stoel niet steeds is afgestemd op die van de trekker, zodat soms de trillingen juist versterkt worden doorgegeven.

4.1 Beperking van het huidige onderzoek

Een algemene opmerking moet worden gemaakt over de betrekkelijke beperktheid van de omvang van metingen per werkmethode in de praktijk in het huidige onderzoek. Veel werkmethoden zijn beoordeeld aan twee middelzware trekkers en twee chauffeurs, dus in totaal vier metingen. De toevoeging van meer metingen door middel van het inzetten van meer chauffeurs, wordt niet geacht de huidige uitkomsten sterk te beïnvloeden. Dit op grond van de beperkte bijdrage van meer chauffeurs aan de spreiding van de uitkomsten, zoals weergegeven in paragraaf 3.2. Aangegeven is daar dat de invloed van een herhaalde meting met eenzelfde chauffeur op de spreiding van dezelfde grootte-orde is als die van een extra chauffeur. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het meetprotocol de vrijheid in het rijgedrag beperkte en alleen kleine afwijkingen in het afgelegde traject toestond. Metingen zullen dus onderling verschillen vanwege meer of minder ongelijkheden in de ondergrond die zijn meegenomen, omdat niet exact hetzelfde pad is gevolgd. Snelheidsvariaties als oorzaak zijn uitgesloten omdat uitsluitend datasegmenten zijn gebruikt met een constante snelheid. De afwijkingen golden in dezelfde mate voor herhaalde metingen van dezelfde chauffeur als voor verschillende chauffeurs. De huidige metingen van de werkmethoden in de praktijk omvatten daarom perioden van 10-15 minuten per chauffeur en zijn daarmee aanzienlijk langer dan de metingen van de invloedsfactoren. Dit om ervoor te zorgen dat de normale spreiding in rijgedrag en ondergrond in voldoende mate werd meegenomen in de metingen. Ook de invloed van het inzetten van meer en verschillende trekkers is mogelijk beperkt: bij de meeste agrarische werkzaamheden is er geen systematisch verschil te constateren tussen de trekkers 3 en 4 (zie bijlage B), behalve voor het transport bij hogere snelheden. Ook uit de metingen van de invloedsfactoren blijkt dat het effect van demping vooral optreedt bij de hoogste rijnsnelheden, terwijl de verschillen in blootstelling

tussen trekkers, zowel technische uitvoering als klasse, bij lagere snelheden gering zijn. Ongetwijfeld van grote invloed op de uitkomst zou de keuze van andere ondergronden en werksnelheden zijn geweest. De ondergrond voor de werkzaamheden hier was droge klei en is ingeschat als hobbelig en weinig meegevend. De blootstellingsmetingen zullen daarmee in vergelijking met bijvoorbeeld zandgrond eerder tot een overschatting dan een onderschatting van de Nederlandse situatie leiden. Echter, indien de werksnelheid op andere (lichtere) ondergronden hoger wordt, zal dan ook de blootstelling aanzienlijk kunnen afwijken (i.e. hoger komen te liggen), gezien de sterke invloed van de rijsnelheid. Ook is in het huidige onderzoek de werkmethode beperkt tot één werktuig, terwijl het aanbod in de praktijk groot is. Ook de keuze van werktuig zal invloed kunnen hebben op de blootstelling, hoewel de grootte van invloed niet bekend is.

4.2 Werkmethoden in de praktijk: lichaamstrillingen

Uit het huidige onderzoek blijkt dat de meeste agrarische werkzaamheden in de praktijk bij gebruik van modern materieel een trillingsblootstelling hebben onder de actiewaarde en geen verdere actie behoeven. Dit blijkt niet alleen uit de rms-waarden, ook de door de EU vastgestelde alternatieve maat VDV blijft voor de werkzaamheden onder de actiewaarde $9.1 \text{ m/s}^{1.75}$, en de beoordeelde schokblootstelling S_{ed} blijft onder de alert-zone. De geldigheid van deze uitspraak blijft wellicht beperkt tot het gebruik van modern materieel, waarbij in het onderzoek is aangetoond dat moderne trillingsdempende technieken bijdragen aan het verlagen van de blootstelling van de chauffeur. Alleen voor het schudden van gras en het inkuilen, naast die voor het transport, zijn waarden gemeten boven de actiewaarde. Van de beide eerstgenoemde blijkt met name bij het inkuilen de VDV in de voor-achterwaartse richting sterk verhoogd (zie bijlage B). Deze VDV is, meer dan de rms waarde a_w , gevoelig voor pieken in de blootstelling (Griffin, 2004). Het heen en weer rijden op de kuil zorgt blijkbaar voor versnellingspieken die onvoldoende door demping van machine en/of stoel worden opgevangen. Een rustiger rijgedrag zal in de vaak hectische perioden van grasoogst geen weerklank vinden in de praktijk. De huidige geteste stoel heeft geen demping in horizontale richting. Het verdient daarom aanbeveling een stoel te monteren met trillingsdemping in de voor-achterwaartse richting. Of deze maatregel voldoende effect sorteert zal moeten blijken uit nadere metingen.

Het huidige onderzoek constateert dat de de Y-richting vaak de belangrijkste trillingsas is tijdens agrarische werkzaamheden. Bij transport van een wagen of kar blijkt dit de X-as (met name transport over ongelijke ondergrond bij hogere snelheden: zie bijlage B). Deze bevindingen worden bevestigd in eerder onderzoek (Scarlett *et al.*, 2005). Deze laatstgenoemde onderzoekers geven ook aan dat het relatieve belang van de horizontale trillingen mede wordt bepaald door de voorgeschreven methodologie: de trillingen in de X- en Y-richting worden vermenigvuldigd met factor 1.4, terwijl aan de verticale trillingen geen vermenigvuldigingsfactor wordt toegekend. Zonder vermenigvuldigingsfactor zou de verticale as (Z) de belangrijkste as zijn geweest.

In vergelijking met de eerder uitgebrachte inventarisatie van beschikbare literatuurgegevens (Vink and Oude Vrielink, 2005) komt de schatting van de blootstelling voor veel agrarisch werk in het huidige onderzoek lager uit. Voor een deel kan dit worden verklaard door de toepassing van

moderne techniek. Bovendien zijn de precieze omstandigheden van veel van de in het eerdere rapport gerefereerde metingen niet goed omschreven, en kunnen zich daar beperkingen in de vertaling naar de Nederlandse situatie hebben voorgedaan. In eerder uitgevoerd Engels onderzoek zijn ook meerdere werkmethoden op trillingen beoordeeld (Scarlett *et al.*, 2005). Voor transport van een geladen kipwagen over enigszins ongelijke ondergrond bleek de uitkomst vergelijkbaar met het huidige onderzoek. Voor spuiten en cultiveren bleken de meetwaarden hoger dan hier gerapporteerd. Echter, ook de rijsnelheid was hoger en de beschrijving van de omstandigheden doet vermoeden dat de ondergrond minder vlak was. Voor de door hen gemeten hogere waarde voor ploegen kan niet *a priori* een verklaring worden gegeven omdat de rijsnelheid met 5 km/uur vergelijkbaar was. Metingen uitgevoerd in Denemarken naar ploegen, eggen en trekker rijden over ruw terrein levert a_w waarden op van respectievelijk 0.60, 1.35 en 0.89 m/s^s, alle in de X-richting (Rothschild *et al.*, 2002). De metingen werden uitgevoerd met één trekker, waarbij het ploegen met hogere snelheid (7.2 km/uur) werd uitgevoerd dan bij de huidige metingen. Echter, de snelheid van eggen was vergelijkbaar: 8.0 km/uur versus 8.2-8.7 km/uur, en biedt geen verklaring voor de daar gemeten aanzienlijk hogere trillingswaarde. De meting in ruw terrein is van dezelfde orde als in het huidige onderzoek, echter is moeilijk vergelijkbaar zonder nadere gegevens over de aard van de ondergrond zelf.

Dat de specifieke omstandigheden zeer sterk bepalend zijn voor de uitkomsten van de blootstellingsmetingen blijkt ook uit Zweeds onderzoek aan forwarders (Rehn *et al.*, 2005). De rms blootstelling over alle metingen varieerde tussen 0.26 en 1.35 m/s^s, met in vele situaties meetwaarden die aanzienlijk hoger waren dan die in het huidige rapport. Echter, indien die Zweedse meetsituaties worden geselecteerd die vergelijkbaar zijn met die in Nederland (i.e. geen of beperkte helling en een ondergrond zonder rotsige obstakels), dan blijkt de spreiding tussen 0.26 en 0.70 m/s² te liggen, met veruit de meeste waarnemingen rond 0.4 m/s². Deze waarden komen goed overeen met die in het huidige rapport. Mogelijk vormt de andere ondergrond ook een verklaring voor de hogere trillingswaarde bij het gebruik van een forwarder elders in Zweden, met een overall rms waarde a_w in de Y-richting van 0.69 m/s² (Rothschild *et al.*, 2002). Bij dit laatste onderzoek werd een S_{ed} gemeten van 1.36 MPa, welke aangeeft dat de schokbelasting aanzienlijk hoger is geweest dan tijdens de huidige metingen (0.51 MPa; zie bijlage B).

4.3 Werkmethoden in de praktijk: hand-arm trillingen

Het huidige onderzoek laat zien dat het overbrengen van hand-arm trillingen via het stuur slechts zelden leidt tot een overschrijding van de actiewaarde van 2.5 m/s² en daarmee geen groot gezondheidsrisico zal vormen. Eerder onderzoek hiernaar heeft uiterst beperkt plaatsgehad. In een Kroatisch onderzoek (Goglia *et al.*, 2003) is een aanmerkelijk hogere blootstelling gevonden: blootstelling tot bijna 18 m/s². Echter, dit onderzoek heeft plaatsgevonden aan een kleine, waarschijnlijk stilstaande trekker, terwijl de motor stationair en vol gas heeft gedraaid. De uitkomsten kunnen niet representatief voor de praktijk worden gesteld. Wel laat het huidige onderzoek zien dat trillingen van het stuur aanzienlijk minder zal zijn zodra demping van de vooras is toegepast. Omdat vermindering van de stuurtrillingen zal bijdragen aan het vergroten van het rijcomfort, zal een investering in demping van de vooras vooral bijdragen aan het comfort. Engels onderzoek (Lines *et al.*, 1995) geeft aan dat demping van de voorwielen of

vooras mogelijk gunstig is voor beheersing van het stuur. Deze onderzoekers geven aan dat er hiervan nauwelijks effect mag worden verwacht voor het verminderen van lichaamstrillingen, omdat de stoel zich normaal gesproken nagenoeg boven achteras bevindt.

4.4 Invloedsfactoren

In het huidige onderzoek is op gestandaardiseerde wijze de blootstelling gemeten tijdens het rijden over verschillende ondergronden. Dit is gedaan om te kunnen meten in welke mate door de werker actief beïnvloedbare factoren de blootstelling veranderen. Omdat de metingen zijn verricht aan een onbeladen trekker tijdens rechthoekig rijden op constante snelheid, worden de resultaten veiligheidshalve alleen gebruikt om het effect van de factoren zelf te beoordelen. Vergelijking van de meetresultaten met metingen eerder en elders wordt bemoeilijkt door de andere omgeving, omstandigheden, snelheidsvariaties, de vele typen trekkers en fabrikanten en de voortdurende technische ontwikkelingen in en aanpassingen aan de machines. Deze vergelijking wordt des te lastiger naarmate in die onderzoeken minder van de genoemde factoren goed en gekwantificeerd omschreven zijn.

Het huidige onderzoek constateert dat ondergrond en rijnsnelheid de belangrijkste factoren zijn die invloed hebben op de blootstelling aan lichaamstrillingen. Engels onderzoek (Scarlett *et al.*, 2005) kwam tot dezelfde conclusie. Voor de factor rijnsnelheid is in het huidige rapport een progressief oplopende trillingsblootstelling met toenemende rijnsnelheid beschreven voor alle trekkers en ondergronden. Dit wijst op een brede geldigheid van dit verband, hoewel het mechanisme hierachter niet eenvoudig kan worden aangereikt, vanwege de complexe interactie tussen constructie van machine en de verschillende dempingsystemen. In een CEN rapport (CEN/Tr/15172-2, 2005 E) wordt eenzelfde curvilineair verband aangegeven voor trekkers, maar wordt tevens geïllustreerd dat het verband tussen blootstelling en rijnsnelheid ook lineair of degressief (afnemend) oplopend kan zijn voor andere typen voertuigen. Ander onderzoek (Lines *et al.*, 1995) suggereert een asymptotisch verband voor trekkerwerk, met de hoogste waarde bereikt rond 15-20 km/h. Echter, in dit laatstgenoemde onderzoek is de spreiding zeer groot en is onduidelijk of de verschillende snelheden bij dezelfde ondergrond zijn gemeten. Ook Chen en co-onderzoekers (Chen *et al.*, 2003) vonden, weliswaar voor een geheel verschillende beroepsgroep, namelijk taxi-chauffeurs, een asymptotische relatie tussen blootstelling en rijnsnelheid.

De huidige metingen laten zien dat binnen de hier geteste grootteklassen van trekkers geen verband kan worden gelegd tussen massa of vermogen van de trekker en de blootstelling aan lichaamstrillingen bij het onbeladen rijden met constante snelheid over verschillende ondergronden. Dit resultaat is in tegenspraak met de theoretische verwachting (Stayner, 2003), maar in overeenstemming met eerdere metingen tijdens praktijkwerkzaamheden (Lines *et al.*, 1995). De zwak oplopende relatie tussen trekkermassa en blootstelling tijdens sommige werkzaamheden schrijven de laatste auteurs toe aan een verhoogde rijnsnelheid indien een zwaardere trekker wordt gebruikt. Ook Scarlett en collega's (Scarlett *et al.*, 2005) constateren dat de taken de belangrijkste invloedsfactor op de blootstelling zijn, en dat de technische uitvoering van de trekker veel minder bepalend is.

Het blootstelling-verminderend effect van as- en cabinedemping op lichaamstrillingen is voor de praktijkwerkzaamheden eigenlijk alleen waar te nemen voor het transport van een wagen of kar over ongelijke ondergrond in combinatie met snelheden vanaf 15 km/uur (zie bijlage B). Ditzelfde is ook waarneembaar in Engels onderzoek (Scarlett *et al.*, 2005). De vermindering (hoewel niet statistisch getoetst vanwege de beperkte omvang van de data) geldt voor alle trillingsrichtingen, met de sterkste verlaging waarneembaar in de X-richting. Scarlett en collega's (2005) constateerden eveneens dat het effect van as- en cabinedemping op de blootstelling marginaal is voor de meeste agrarische bewerkingen maar duidelijker aanwezig indien alleen de trillingen van de stoelbasis worden vergeleken. Voor de gestandaardiseerde metingen van de invloedsfactoren in het huidige rapport was bovengenoemd effect alleen aanwezig voor de X- en Z-richting en ontbrak een effect op trillingen in de Y-richting, dat wil zeggen de horizontale trilling dwars op de rijrichting. Omdat de dominante richting van lichaamstrillingen tijdens praktijkwerkzaamheden trillingen vooral in de dwarsrichting ligt, verdient verbetering van de demping juist in deze richting meer aandacht. Die aandacht zou dan uitgebreid moeten worden naar de stoelen. De moderne betere trekkerstoelen zijn meestal voorzien van een luchtgeveerde demping in verticale richting en mechanisch geveerde demping horizontaal, standaard alleen in de voor-achterwaartse richting, maar optioneel in de zijwaartse richting. Gezien de huidige uitkomsten dient zijwaartse demping ook als standaard ingevoerd te worden. En bij voorkeur zou ook in het horizontale vlak luchtdemping in plaats van mechanische demping moeten worden ingevoerd.

Opvallend wordt het effect van de toegepaste dempingstechniek van de trekker zelf indien de ongewogen trillingen, gemeten aan de stoelbasis, worden beschouwd: de trekkers 2, 4 en 6 blijken soms een zeer forse vermindering van de ongewogen trillingsemissie te demonstreren. Wordt de ongewogen waarde vergeleken met die na weging volgens voorschrift (ISO-2631-1, 1997), dan valt het volgende op. De oudere trekker 1 laat weliswaar een sterk verhoogde trillingsemissie zien van de stoelbasis ten opzichte van de moderne trekker 2 indien alle frequenties worden meegenomen, maar na weging blijkt het verschil verdwenen. De constructie van trekker 1 geeft klaarblijkelijk een breed spectrum van trillingen, ook de hoge frequenties, door aan de stoel. De constructie van trekker 2 blijkt effectief in het reduceren van deze trillingen. Echter, de verbetering kan niet volledig worden toegeschreven aan het aanwezig zijn van as- en cabinevering. Dit omdat de ongewogen versnellingen gemeten aan de stoelbasis van trekker 3, ook een trekker zonder assen- en cabinevering, aanzienlijk lager zijn dan die van trekker 1 onder overigens nagenoeg dezelfde omstandigheden. De frequentieweging van ISO suggereert dat de hogere frequenties niet zeer belangrijk zijn in het ontstaan van gezondheidsschade, en daarom niet hoeven te worden meegenomen in de beoordeling van de blootstelling. Om deze reden komt de gewogen trillingsemissie aan de stoelbasis van trekker 1 uit op aanmerkelijk verlaagde waarden ten opzichte van de ongewogen waarden, maar niet voor trekker 2. Voor de trekker 3 en 4 zijn de verschillen geringer. Het zal duidelijk zijn dat het elimineren van de hoge trillingsfrequenties zoals gebeurt bij trekker 2 in ieder geval het rijcomfort voor de bestuurder ten goede komt.

De SEAT waarden van alle trekkers 1-6 tonen geen verband aan met de snelheid. Toch lijkt voor trekker 2 een tendens te bespeuren naar een grotere effectiviteit bij hogere rijnsnelheid. Opvallend is dat deze stoel in het lage snelheidsbereik 7-15 km/uur voor horizontale trillingen mediane

waarden laat zien die groter dan 100% zijn, dat wil zeggen dat de trilling van de cabine bij deze snelheden versterkt wordt doorgegeven aan de berijder. Ditzelfde geldt voor de stoelen van de trekkers 3, 4 en 6. Ditzelfde fenomeen werd geconstateerd door Scarlett en co-onderzoekers (2005). Deze onderzoekers geven aan dat trillingen op de stoel gemeten hoger kunnen zijn dan die gemeten aan de stoelbasis, met name in de X- en Y-richting, in verband met de grotere afstand tot het schommelpunt. Alleen de stoel van trekker 5 toont zich boven de 15 km/uur voor trillingen in de Y-richting effectief in het verminderen van de trillingsblootstelling. En voor trillingen in het verticale vlak zijn de stoelen van de trekkers 2-4 over het gehele snelheidsbereik effectief en worden waarden bereikt die vergelijkbaar zijn met die gerapporteerd in de “state-of-the-art” waarden in de literatuur: <60 tot 90% (CEN/Tr/15172-2, 2005 E). Voor trekker 6 moet een andere stoel overwogen worden omdat in alle richtingen en in het gehele snelheidsbereik de blootstelling op de stoelzitting groter of gelijk is aan de gewogen trillingsemissie van de stoelbasis.

5 Conclusies en aanbevelingen

De stand der techniek van landbouwtrekkers is zodanig dat veel van het agrarisch werk aan of op het land gedurende een volledige werkdag uitgevoerd kan worden zonder dat er sprake is van overschrijding van de actiewaarden voor lichaamstrillingen en hand-arm trillingen.

Voor de bewerkingen inkuilen en schudden van gemaaid gras dient aandacht te worden besteed aan het verminderen van de trillingen in het horizontale vlak. Of de toepassing van een verbeterde stoel, met een uitstekende demping in dit vlak, voldoende oplossing is zou uit metingen moeten blijken.

Transport met behulp van een trekker over zeer vlakke asfaltwegen kan, wat betreft trillingsblootstelling, veilig worden uitgevoerd, ongeacht de rijsnelheid. Echter, alle transportwerkzaamheden over andere dan zeer vlakke ondergronden leiden bij snelheden vanaf ongeveer 15 km/uur tot overschrijding van de actiewaarde voor lichaamstrillingen. Meest effectief in het verminderen van de trillingsblootstelling is het terugnemen van de snelheid en het zorgen voor een meer vlakke ondergrond of kiezen van een vlakke asfaltroute. Ook draagt de toepassing van geavanceerde dempingstechniek (i.e. as- en cabinedemping) in de trekker bij aan een vermindering van de blootstelling. Let wel dat de stoelkeuze zeer bewust moet zijn afgestemd op de demping van de trekker: verkeerde keuze kan leiden tot het versterkt doorgeven van de trillingen via de stoel aan de bestuurder.

Het uitslepen van stammen uit bos met behulp van een trekker met sleeptang leidt tot een zeer sterke overschrijding van de norm voor lichaamstrillingen. De schokbelasting in alle richtingen, maar met name verticaal en zijwaarts horizontaal, is zódanig groot dat hier sprake is van een groot gezondheidsrisico. De basisoorzaak hiervoor is de zeer ongelijke ondergrond van gekapt bos en bospaden, welke voor trekkers eigenlijk alleen acceptabel berijdbaar worden indien de rijsnelheid zeer laag gehouden wordt. Het alternatief voor dit werk is het gebruik van een forwarder, waarbij de blootstelling onder de actiewaarde blijft.

De mate van ongelijkheid van de ondergrond en de rijsnelheid zijn de belangrijkste bepalende factoren zijn voor de blootstelling aan lichaamstrillingen van trekkerchauffeurs. Demping van de cabine en de assen draagt bij aan een vermindering van de lichaamstrillingen, maar kan het effect van ongelijke ondergrond en hoge rijsnelheid maar ten dele compenseren. Bandentype en bandenspanning blijken een zeer beperkte invloed te hebben op de trillingsblootstelling tijdens normaal rechttuit rijden. Ditzelfde geldt voor de zwaarte (in massa of vermogen) van de trekker.

Tijdens de meeste praktijkwerkzaamheden is de belangrijkste trillingsrichting die dwars op de rijrichting. Bij transport is dat voor-achterwaarts. Belangrijk is daarom dat hier met de stoelkeuze rekening mee gehouden wordt: de stoel moet, naast de meestal al aanwezige pneumatische verticale demping, voorzien in een uitstekende demping in beide richtingen in het horizontale vlak. Een verbeterde effectiviteit van de stoeldemping in dit vlak en de afstemming ervan op de demping van de trekker zijn gewenst.

De hand-arm trillingen blijken zelden een knelpunt te vormen voor trekkerwerk. De toepassing van voorasdemping in de trekker blijkt samen te gaan met een aanzienlijke vermindering van de trillingen van het stuur. Hoewel deze trillingen dus niet direct een gezondheidsrisico vormen draagt voorasdemping bij aan het vergroten van het rijcomfort voor de bestuurder.

Referenties

- Bovenzi, M. and Hulshof, C. T. J., 1998. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. *Journal of Sound and Vibration*. 215, 595-611.
- Bovenzi, M. and Hulshof, C. T. J., 1999. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997). *Int Arch Occup Environ Health*. 72, 351-365.
- Burdorf, A. and Sorock, G., 1997. Positive and Negative Evidence of Risk Factors for Back Disorders. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*. 23, 243-256.
- CEN/Tr/15172-1, 2005 E. Whole-body vibration - Guidelines for vibration hazards reduction - Part 1: Engineering methods by design of machinery. CEN/TC231, Brussels (B).
- CEN/Tr/15172-2, 2005 E. Whole-body vibration - Guidelines for vibration hazards reduction - Part 2: Management measures at the workplace. CEN/TC231, Brussels (B).
- Chen, J. C., Chang, W. R., Shih, T. S., Chen, C. J., Chang, W. P., Dennerlein, J. T., Ryan, L. M. and Christiani, D. C., 2003. Predictors of whole-body vibration levels among urban taxi drivers. *Ergonomics*. 46, 1075-1090.
- Donati, P., 2002. Survey of technical preventative measures to reduce whole-body vibration effects when designing mobile machinery. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 169-183.
- EU, 2002. Richtlijn 2002/44/EG van het Europees Parlement en de Raad van 25 juni 2002 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia (trillingen) (zestiende bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG) - Gezamenlijke verklaring van het Europees Parlement en de Raad. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen. L 177 (6.7.2002), 13-19.
- Goglia, V., Gospodaric, Z., Kosutic, S. and Filipovic, D., 2003. Hand-transmitted vibration from the steering wheel to drivers of a small four-wheel drive tractor. *Applied Ergonomics*. 34, 45-49.
- Griffin, M. J., 2004. Minimum health and safety requirements for workers exposed to hand-transmitted vibration and whole-body vibration in the European Union; a review. *Occupational and Environmental Medicine*. 61, 387-397.
- Hansson, P.-A., 1995. Optimization of agricultural tractor cab suspension using the evolution method. *Computers and Electronics in Agriculture*. 12, 35-49.
- Hinz, B., Seidel, H., Menzel, G. and Bluthner, R., 2002. Effects related to random whole-body vibration and posture on a suspended seat with and without backrest. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 265-282.
- Hostens, I. and Ramon, H., 2003. Descriptive analysis of combine cabin vibrations and their effect on the human body. *Journal of Sound and Vibration*. 266, 453-464.
- Hulshof, C. and Veldhuijzen van Zanten, B., 1987. Whole-body vibration and low-back pain. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 59, 205-220.
- Huston, D. R., Johnson, C. C., Wood, M. A. and Zhao, X., 1999. Vibration attenuating characteristics of air filled seat cushions. *Journal of Sound and Vibration*. 222, 333-340.
- ISO-2631-1, 1997. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General Requirements. ISO, Geneva, pp. 31.
- ISO-5349-1, 2001. Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements. ISO, Geneva, pp. 24.

- ISO-5349-2, 2001. Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace. ISO, Geneva, pp. 39.
- ISO-8041, 2005. Human response to vibration - measuring instrumentation. ISO, Geneva, pp. 90.
- ISO/DIS-2631-5, 2001. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks. ISO, Geneva, pp. 20.
- Kolich, M., Essenmacher, S. D. and McEvoy, J. T., 2005. Automotive seating: the effect of foam physical properties on occupied vertical vibration transmissibility. *Journal of Sound and Vibration*. 281, 409-416.
- Lines, J. A., Stiles, M. and Whyte, R. T., 1995. Whole body vibration during tractor driving. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*. 14, 87-104.
- Lings, S. and Leboeuf-Yde, C., 2000. Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 73, 290-297.
- Malchaire, J. B., Piette, A. and Mullier, I., 1996. Vibration exposure on fork-lift trucks. *Annals of Occupational Hygiene*. 40, 79-91.
- Oude Vrielink, H. H. E., 2007. Analysis of the exposure to hand-arm vibrations using petrol-engine chainsaws. Report 2007-01 (in Dutch; English summary). ErgoLab Research BV & Wageningen UR, Bennekom/Wageningen, report 2007-01, 38 pp.
- Paddan, G. S. and Griffin, M. J., 2002. Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 215-241.
- Pope, M., Magnusson, M., Lundstrom, R., Hulshof, C., Verbeek, J. and Bovenzi, M., 2002. Guidelines for whole-body vibration health surveillance. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 131-167.
- Pope, M. H. and Novotny, J. E., 1993. Spinal biomechanics. *Journal of Biomechanical Engineering*. 115, 569-574.
- Rehn, B., Lundstrom, R., Nilsson, L., Liljelind, I. and Jarvholm, B., 2005. Variation in exposure to whole-body vibration for operators of forwarder vehicles - aspects on measurement strategies and prevention. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 35, 831-842.
- Rothschild, K., Spang, K. and Voss, P., 2002. Whole body vibration in mobile machinery - A pilot study of consequences of new evaluation methods. Nordtest report TR 516, Espoo, Finland, 17 pp.
- Scarlett, A. J., Price, J. S., Semple, D. A. and Stayner, R. M., 2005. Whole-body vibration on agricultural vehicles: evaluation of emission and estimated exposure levels. Health & Safety Executive, HSE Books, Sudbury (UK), report, 231 pp.
- Sherwin, L. M., Owende, P. M. O., Kanali, C. L., Lyons, J. and Ward, S. M., 2004. Influence of tyre inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvester. *Applied Ergonomics*. 35, 253-261.
- Staatsblad, 2005. Besluit van 5 juli 2005 tot wijziging van het Arbeidsomstandighedenbesluit (voorschriften inzake veiligheid en gezondheid met betrekking tot blootstelling van werknemers aan risico's van fysieke agentia (mechanische trillingen)). *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*. 372, 1-18.
- Stayner, R. M., 2003. Whole-body vibration measurement and control of exposure. Presentation held at Meeting "Good practice for handling vibration exposure within EU agriculture" on September 19, 2003, at Danish Institute of Agricultural Engineering, Research Centre Bygholm, DK.

- Tiemessen, I. J., Hulshof, C. T. J. and Frings-Dresen, M. H. W., 2007. An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 37, 245-256.
- Vink, A. and Oude Vrielink, H. H. E., 2005. Maatregelen ter vermindering van de blootstelling aan trillingen. Deel 1: inventarisatie van de problematiek per tak (in Dutch). Agrotechnology & Food Innovations, Wageningen UR, rapport 466, 58 pp.

Samenvatting

Europese en Nederlandse wetgeving definiëren maxima, dat wil zeggen actiewaarde en grenswaarde, voor de blootstelling aan lichaamstrillingen (WBV) en hand-arm trillingen (HAV) waaraan werknemers op een werkdag mogen worden blootgesteld. Weliswaar is er een overgangperiode tot juli 2014 voor de land- en bosbouw, maar die geldt alleen voor arbeidsmiddelen die vóór juli 2007 beschikbaar zijn gesteld. De wetgeving is bedoeld om gezondheidsschade door langdurige blootstelling aan trillingen te voorkomen. Indien de actiewaarde (0.5 en 2.5 m/s^2 , voor respectievelijk WBV en HAV) wordt overschreden dienen organisatorische, technische en gezondheidkundige maatregelen te worden genomen om verdere blootstelling te beperken. Bij overschrijding van de grenswaarde (1.15 en 5 m/s^2 , WBV en HAV) moet de blootstelling meteen teruggebracht worden tot onder deze waarde. Het gebruik van landbouwtrekkers wordt als één van de situaties gezien waarbij mogelijk maatregelen nodig zijn om de blootstelling aan trillingen te verminderen. Het huidige onderzoek heeft als doel een schatting te geven van de dagblootstelling bij gebruik van een landbouwtrekker tijdens normale agrarische werkzaamheden. Tevens is nagegaan in hoeverre de bestuurder door middel van het beïnvloeden van ondergrond, rijsnelheid, bandenspanning, bandentype of trekkertype de eigen blootstelling kan verminderen.

Blootstellingsmetingen zijn uitgevoerd bij 7 ervaren professionele trekkerchauffeurs op 11 verschillende trekkers en tijdens 17 verschillende werkzaamheden in de land- en bosbouw. Hiervan zijn 12 werkzaamheden beoordeeld aan twee chauffeurs op twee trekkers; de overige aan 1-2 chauffeurs op één trekker. De trillingen zijn volgens voorschrift (ISO-2631-1, 1997 en ISO-5349-1, 2001) gemeten op de stoelzitting en aan het stuur. Bovendien zijn trillingen van de cabine aan de stoelbasis gemeten om de effectiviteit (SEAT) van de stoel te bepalen. Alle trillingen zijn per meetpunt bepaald in 3 richtingen X (voor-achter; a_{wx}), Y (zijwaarts; a_{wy}), en Z (verticaal; a_{wz}). De data zijn tijdens de metingen on-line digitaal weergegeven en opgeslagen en off-line verwerkt. De invloed van chauffeur ($n=6$), bandentype (combinatieband, ploegband, lage-spanningsband), trekkertype (3 paren trekkers in de lage, gemiddelde en hoge vermogen klasse, binnen elk paar onderscheid gemaakt naar de geïmplementeerde maatregelen om trillingsblootstelling te beperken) en bandenspanning (achter: $0.75\text{-}2.0 \text{ bar}$; voor: $0.5\text{-}1.0 \text{ bar}$) op de trillingen is bepaald tijdens normaal rechthoekig rijden op constante snelheid (5 categorieën, variërend tussen $3\text{-}4$ en 40 km/uur) over 8 verschillende ondergronden (asfaltweg, klinkerweg, halfverhard pad, vlak bouwland, grasland, ruw terrein, hooiland, ruw bouwland). Voor een interpretatie van de meetdata naar dagblootstellingen is ervan uit gegaan dat alle geteste werkzaamheden normaal gesproken gedurende een volledige werkdag van 8 uren plaatsvinden.

De trillingen aan het stuur blijken slechts tijdens incidentele situaties de actiewaarde voor HAV te overschrijden en behoeven geen nadere maatregelen met het oog op gezondheidshandhaving. Wel blijkt de toepassing van voorasdemping in de trekker samen te gaan met een aanzienlijke vermindering van de trillingen van het stuur en daarmee bij te dragen aan het vergroten van het rijcomfort. Ook voor lichaamstrillingen blijven de meeste van de geteste werkzaamheden in de praktijk mediaan onder of rond de actiewaarde. Dit geldt niet voor het aanrijden van een kuil (mediane $a_{wx}=0.56 \text{ m/s}^2$), het schudden van gemaaid gras ($a_{wx}=0.60 \text{ m/s}^2$), het transport van een

platte wagen, kipwagen of kuubskist over enigszins ongelijke ondergrond en bij rijsnelheden boven ongeveer 15 km/uur ($a_{wx}=0.63-0.99$ m/s²), en het uitslepen van stammen uit bos met behulp van een trekker met sleeptang ($a_{wy}=1.16$ m/s²). Transport van een platte wagen, kipwagen of kuubskist over glad asfalt blijft voor het gehele geteste snelheidsbereik onder de actiewaarde voor WBV.

De belangrijkste invloed op de blootstelling aan WBV blijken ondergrond en rijsnelheid te hebben. Een meer ruwe ondergrond leidt tot hogere trillingsblootstelling bij eenzelfde rijsnelheid, en oplopende rijsnelheid leidt voor dezelfde ondergrond tot een progressief oplopende blootstelling. Damping van de cabine en de assen draagt bij aan een vermindering van WBV, maar kan het effect van ongelijke ondergrond en hoge rijsnelheid maar ten dele compenseren. Het rijden op andere bandentypen of het verlagen van de bandenspanning blijkt over het gehele geteste snelheidsbereik geen eenduidige invloed te hebben op blootstelling aan WBV tijdens normaal rechtuit rijden. Ook is geen invloed aangetoond van de zwaarte of het vermogen van de trekker.

Voor de meeste onderzochte trekkers bleek de SEAT voor trillingen in het horizontale vlak meer dan 100% voor het gehele snelheidsbereik. Dit geeft aan dat de trillingen van de cabine versterkt worden doorgegeven aan de bestuurder. Omdat de belangrijkste trillingsrichting tijdens de meeste praktijkwerkzaamheden die dwars op de rijrichting is, en bij transport die in de voor-achterwaartse richting, is meer aandacht voor stoeldamping in het horizontale vlak en stoelkeuze nodig. Bij dit laatste is het belangrijk de stoeldamping goed af te stemmen op de damping van de trekker.

Voor de geconstateerde overschrijding van de actiewaarde bij de bewerkingen inkuilen en schudden van gemaaid gras wordt aanbevolen aandacht te besteden aan het verminderen van de trillingen in het horizontale vlak. Met name wordt gedacht aan de toepassing van een verbeterde stoel, met een uitstekende damping in dit vlak, maar of dit een voldoende oplossing is zou uit metingen moeten blijken. Om de overschrijding van de toegestane blootstelling tijdens transportwerkzaamheden over enigszins ongelijke ondergrond bij snelheden boven 15 km/uur tegen te gaan is het terugnemen van de snelheid en het zorgen voor een meer vlakke ondergrond of kiezen van een vlakke asfaltroute het meest effectief. Ook draagt de toepassing van geavanceerde dampingstechniek (i.e. as- en cabinedamping) in de trekker bij aan een vermindering van de blootstelling, waarbij vervolgens nadrukkelijk stoeldamping moet worden aangepast aan de dempingskarakteristieken van de trekker zelf. Het uitslepen van stammen uit bos met behulp van een trekker met sleeptang leidt tot een zeer sterke overschrijding van de norm voor lichaamstrillingen. De schokbelasting in alle richtingen, maar met name verticaal en zijwaarts horizontaal, is zódanig groot dat hier sprake is van een groot gezondheidsrisico. De basisoorzaak hiervoor is de zeer ongelijke ondergrond van gekapt bos en bospaden, welke voor trekkers eigenlijk alleen acceptabel berijdbaar worden indien de rijsnelheid zeer laag gehouden wordt. Het alternatief voor dit werk is het gebruik van een forwarder, waarbij de blootstelling onder de actiewaarde blijft.

Bijlagen

Bijlage A: meetwaarden trekkertypen bij variatie ondergrond en snelheid

*Tabel A-1: Trekker 1. Rms-metwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2-6 personen (n, in eerste kolom) voor lichaamstrillingen (WBV; assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hy}) voor het rijden op trekker 1 over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel meetseries de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaal tijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest. Eveneens zijn in de laatste rijen gepoolde data voor de daar genoemde ondergronden samengevat. De onderstreepte waarden zijn significant verschillend ten opzichte van de voorafgaande snelheidscategorie. #: significant verschillend van asfaltweg (zelfde snelheid). *: significant verschillend van halfverhard pad (zelfde snelheid)*

Trekker 1		WBV									HAV			meting	tijd
Trillingsmeting:		a _{wx}			a _{wy}			a _{wz}			a _{hy}				
ondergrond (n= aantal personen)	S	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	(n)	(sec)
asfaltweg (n=6)	4	.064	.110	.060	.080	.150	.070	.130	.134	.100	.690	.741	.598	3	130
	7	.082	.110	.060	.110	.140	.070	.238	.300	.154	1.453	2.203	1.212	10	640
	15	<u>.135</u>	.214	.100	<u>.140</u>	.280	.100	.289	.479	.225	<u>3.139</u>	5.072	2.155	10	681
	25	<u>.458</u>	.610	.220	.155	.260	.096	<u>.200</u>	.298	.140	<u>.894</u>	1.346	.736	10	707
	32	<u>.185</u>	.235	.120	.165	.200	.120	.229	.450	.160	<u>.779</u>	.824	.677	8	464
klinkerweg (n=2)	4	.133	.166	.100	.158	.166	.150	.186	.232	.140	.643	.763	.523	2	185
	7	.189	.207	.172	.324	.360	.288	.265	.274	.255	1.215	1.217	1.214	2	181
	15	.425	.450	.400	.570	.570	.570	.650	.650	.650	3.181	3.778	2.583	2	68
	25	.850	.980	.720	.605	.610	.600	.920	.970	.870	2.007	2.264	1.750	2	40
half-verhard pad (n=5)	4	.150	.158	.131	.196	.232	.170	.189	.250	.156	.668	.894	.590	9	716
	7	.140#	.177	.122	<u>.249#</u>	.323	.184	<u>.258</u>	.307	.201	<u>1.460</u>	1.696	1.220	9	722
	15	<u>.270#</u>	.321	.230	<u>.380#</u>	.430	.326	<u>.469#</u>	.542	.395	<u>3.065</u>	4.422	1.688	9	599
	25	<u>.710#</u>	1.010	.487	<u>.438#</u>	.610	.350	<u>.591#</u>	.730	.490	<u>1.990#</u>	2.155	1.218	9	504
vlak bouwland (n=2)	4	.239	.268	.210	.333	.380	.286	.271	.272	.270	.665	.721	.609	2	156
	7	.310	.339	.280	.524	.597	.450	.369	.399	.340	1.319	1.710	.927	2	126
	15	.492	.514	.470	.556	.602	.510	.850	1.121	.580	2.770	3.481	2.059	2	104
	25	.704	.704	.704	.415	.415	.415	.594	.594	.594	2.532	2.532	2.532	1	38
grasland (n=6)	4	.156	.198	.138	.219	.305	.165	.201*	.245	.165	.588	.871	.493	10	713
	7	<u>.241*</u>	.330	.162	<u>.360*</u>	.480	.267	<u>.264</u>	.383	.220	<u>1.203*</u>	1.537	.921	10	662
	15	<u>.460*</u>	.530	.230	<u>.593*</u>	.680	.370	<u>.710*</u>	.962	.450	<u>2.886</u>	3.333	1.878	10	469
	25	<u>.839</u>	1.400	.630	.650*	.880	.290	.815	1.520	.520	<u>2.084</u>	3.065	1.381	8	217
ruw terrein (n=2)	4	.239	.270	.208	.385	.410	.360	.213	.226	.200	.671	.969	.373	2	161
	7	1.044	1.540	.547	1.544	2.220	.869	.857	1.180	.535	1.668	1.768	1.568	2	230
Pool: halfverhard pad grasland (n=2)	4	.142	.198	.131	.238	.266	.170	.186	.195	.185	.676	.705	.507	3	194
	7	.220	.232	.140	.336	.340	.228	.244	.280	.211	1.262	1.345	.921	3	223
	15	.513	.530	.321	.602	.620	.429	.560	.808	.542	3.166	3.282	2.620	3	151
	25	.818	1.400	.710	.517	.680	.350	.726	1.520	.530	2.046	2.262	1.756	3	95

Tabel A-2: Trekker 2. Rms-metwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2 personen (n, in eerste kolom) voor lichaamstrillingen (WBV; in 3 assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hv}) voor het rijden op trekker 2 over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel meetseries de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaal tijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest. Eveneens zijn in de laatste rijen gepoolde data voor de daar genoemde ondergronden samengevat.

Trekker 2		WBV									HAV			meting	tijd
Trillingsmeting:		a _{wx}			a _{wy}			a _{wz}			a _{hv}				
ondergrond (n= aantal personen)	S	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	(n)	(sec)
asfaltweg (n=2)	4	.064	.070	.058	.110	.120	.100	.073	.077	.070	.526	.585	.467	2	101
	7	.077	.080	.074	.122	.124	.120	.067	.070	.064	.554	.560	.548	2	114
	15	.185	.210	.160	.235	.250	.220	.105	.110	.100	.455	.463	.447	2	88
	25	.200	.200	.200	.150	.150	.150	.190	.190	.190	.475	.475	.475	1	39
	40	.320	.336	.303	.257	.265	.248	.319	.388	.251	.680	.707	.654	2	158
klinkerweg (n=2)	4	.110	.130	.090	.150	.160	.141	.084	.087	.080	.419	.470	.368	2	171
	7	.241	.302	.180	.292	.308	.276	.142	.175	.108	.548	.569	.527	2	156
	15	.395	.451	.340	.497	.554	.440	.246	.292	.200	.847	.941	.752	2	111
	25	.840	.840	.840	.530	.530	.530	.450	.450	.450	.799	.799	.799	1	24
half-verhard pad (n=2)	4	.130	.140	.120	.206	.223	.190	.115	.130	.100	.384	.408	.360	2	107
	7	.171	.190	.152	.251	.270	.232	.125	.130	.120	.512	.567	.457	2	116
	15	.255	.270	.240	.333	.340	.327	.242	.243	.240	.840	.890	.791	2	178
	25	.528	.530	.526	.456	.470	.442	.381	.420	.342	.960	1.055	.866	2	140
grasland (n=2)	4	.116	.140	.092	.188	.210	.165	.111	.120	.102	.475	.552	.398	2	154
	7	.267	.285	.250	.383	.410	.355	.152	.154	.150	.612	.663	.560	2	230
	15	.595	.600	.590	.710	.710	.710	.445	.470	.420	1.200	1.227	1.172	2	89
	25	.900	.990	.810	.730	.740	.720	.530	.660	.400	1.096	1.278	.915	2	53
Pool: klinkerweg, halfverhard pad grasland (n=2)	4	.125	.140	.090	.178	.223	.141	.101	.130	.080	.403	.552	.360	6	431
	7	.220	.302	.152	.292	.410	.232	.140	.175	.108	.564	.663	.457	6	502
	15	.395	.600	.240	.497	.710	.327	.268	.470	.200	.916	1.227	.752	6	379
	25	.810	.990	.526	.530	.740	.442	.420	.660	.342	.915	1.278	.799	5	217

Tabel A-3: Trekker 3. Rms-metwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2-6 personen (n, in eerste kolom) voor lichaamstrillingen (WBV; assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over 3 assen: a_{hv}) voor rijden op trekker 3 over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). In de laatste twee kolommen is tevens het aantal meetseries (n, in voorlaatste kolom) en de totaal tijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen aangegeven. Eveneens zijn in de laatste rijen gepoolde data voor de daar genoemde ondergronden samengevat (de gepoolde data betreft het rijden met aanhangende wagen). De onderstreepte waarden zijn significant verschillend ten opzichte van de voorafgaande snelheidscategorie. De in vet weergegeven waarden zijn significant verschillend van de overeenkomstige waarden van Trekker 1.

Trekker 3		WBV									HAV			meting	tijd
Trillingsmeting:		a _{wx}			a _{wy}			a _{wz}			a _{hv}				
ondergrond (n= aantal personen)	S	med	max	min	med	max	min	med	max	min	med	max	min	(n)	(sec)
asfaltweg (n=6)	4	.045	.050	.040	.073	.076	.070	.073	.086	.060	.455	.526	.384	2	171
	7	.076	.100	.055	.084	.120	.070	.076	.080	.060	.830	1.097	.661	10	742
	15	.143	.227	.103	.162	.184	.143	.152	.189	.135	.999	1.232	.751	10	726
	25	.217	.318	.146	.228	.260	.167	.128	.161	.114	1.070	1.330	.715	10	677
	40	.287	.360	.180	.205	.230	.147	.222	.300	.170	.906	1.321	.862	8	382
klinkerweg (n=2)	4	.141	.154	.129	.193	.208	.178	.082	.085	.080	.468	.605	.332	2	184
	7	.210	.210	.210	.395	.420	.370	.140	.150	.130	.803	.806	.800	2	103
	15	.636	.668	.605	.721	.781	.660	.433	.466	.401	1.537	1.614	1.459	2	119
	25	1.079	1.094	1.063	.733	.775	.690	.662	.760	.564	1.908	2.355	1.462	2	75
half-verhard pad (n=5)	4	.163	.253	.081	.257	.390	.137	.103	.111	.080	.529	.604	.398	10	733
	7	.151#	.190	.137	.298#	.402	.255	.129#	.160	.120	.955#	1.378	.848	10	840
	15	.357#	.476	.295	.487#	.644	.440	.275#	.355	.243	1.562#	1.812	1.238	10	693
	25	.665#	.870	.520	.533#	.646	.490	.370#	.440	.319	1.630#	2.064	1.126	10	532
vlak bouwland (n=2)	4	.161	.166	.156	.228	.276	.180	.118	.126	.110	.452	.520	.384	2	160
	7	.240	.242	.237	.430	.468	.392	.182	.193	.171	.926	.956	.895	2	198
	15	.497	.540	.455	.530	.560	.500	.363	.400	.325	1.885	2.117	1.653	2	103
	25	.781	.781	.781	.610	.610	.610	.401	.401	.401	2.161	2.161	2.161	1	38
grasland (n=6)	4	.149	.198	.110	.259	.366	.189	.108	.120	.093	.442*	.553	.369	10	747
	7	.275*	.349	.195	.493*	.636	.390	.176*	.234	.150	1.023	1.089	.805	10	629
	15	.554*	.830	.333	.640*	1.010	.473	.385*	.650	.310	1.772	2.121	1.495	10	432
	25	1.005*	1.530	.740	.825*	1.010	.640	.555*	1.390	.370	1.995*	2.636	1.760	8	238
ruw terrein (n=2)	4	.230	.255	.206	.322	.335	.310	.134	.135	.133	.780	.836	.725	2	189
	7	.631	.786	.476	.983	1.110	.855	.353	.401	.305	1.426	1.488	1.364	2	314
hooiland (n=2)	4	.325	.390	.260	.425	.493	.357	.130	.131	.129	.691	.806	.576	2	179
	7	.448	.485	.410	.701	.757	.644	.248	.252	.244	1.404	1.467	1.342	2	152
	15	.813	.897	.729	.840	.843	.837	.406	.446	.366	2.509	2.679	2.339	2	156
Pool: halfverhard pad grasland (n=4)	4	.172	.219	.126	.270	.312	.203	.102	.113	.099	.538	1.079	.476	8	623
	7	.317	.840	.201	.452	1.050	.297	.155	.290	.115	1.137	1.856	1.012	8	504
	15	.713	1.106	.470	.576	.800	.417	.295	.490	.199	1.908	2.872	1.489	8	489
	25	1.175	2.110	.590	.730	1.097	.480	.430	.820	.294	2.430	3.179	1.462	8	311

Tabel A-4: Trekker 4. Rms-meetwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2-6 personen (n, in eerste kolom) voor lichaamstrillingen (WBV; in 3 assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hv}) voor het rijden op trekker 4 met aanhangende wagen over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel waarnemingen de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaaltijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest. Eveneens zijn in de laatste rijen gepoolde data voor de daar genoemde ondergronden samengevat (de data “hooiland” betreft het rijden zonder aanhangende wagen).

<i>Trekker 4</i>		<i>WBV</i>									<i>HAV</i>			<i>meting</i>	<i>tijd</i>
<i>Trillingsmeting:</i>		<i>a_{wx}</i>			<i>a_{wy}</i>			<i>a_{wz}</i>			<i>a_{hv}</i>				
<i>ondergrond (n= aantal personen)</i>	<i>S</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>(n)</i>	<i>(sec)</i>
asfaltweg (n=2)	4														
	7	.068	.071	.061	.095	.100	.082	.070	.070	.060	.743	.840	.713	3	224
	15	.127	.140	.120	.130	.193	.110	.100	.130	.080	.934	1.462	.832	3	208
	25	.190	.217	.178	.271	.320	.179	.120	.124	.093	1.044	1.240	.707	3	157
	40	.305	.360	.162	.274	.310	.260	.155	.240	.140	1.191	1.267	.874	4	175
half-verhard pad (n=2)	4	.151	.170	.134	.272	.326	.240	.103	.116	.094	.660	.853	.439	4	338
	7	.156	.176	.150	.334	.421	.255	.111	.120	.098	.717	.788	.587	4	254
	15	.312	.317	.262	.393	.407	.379	.212	.226	.168	1.263	1.489	1.080	4	358
	25	.486	.530	.461	.584	.625	.448	.237	.273	.196	1.205	1.562	1.192	4	339
grasland (n=2)	4	.178	.226	.154	.267	.315	.216	.115	.125	.090	.699	.744	.547	4	332
	7	.271	.324	.243	.570	.735	.490	.158	.200	.134	.746	.950	.684	4	291
	15	.485	.720	.357	.630	.900	.500	.300	.340	.246	1.476	1.840	1.291	4	198
	25	1.155	1.228	1.010	.953	1.020	.830	.409	.460	.340	1.903	2.243	1.630	4	118
hooiland (zonder wagen!) (n=2)	4	.276	.296	.256	.475	.490	.459	.123	.130	.116	.615	.630	.599	2	159
	7	.396	.426	.367	1.020	1.029	1.011	.246	.272	.220	.726	.742	.711	2	146
	15	.518	.539	.497	.809	.833	.786	.381	.396	.365	1.442	1.491	1.394	2	141
Pool: halfverhard pad grasland (n=2)	4	.161	.226	.134	.267	.326	.216	.110	.125	.090	.698	.853	.439	8	670
	7	.209	.324	.150	.456	.735	.255	.127	.200	.098	.746	.950	.587	8	546
	15	.337	.720	.262	.453	.900	.379	.236	.340	.168	1.379	1.840	1.080	8	557
	25	.770	1.228	.461	.728	1.020	.448	.306	.460	.196	1.596	2.243	1.192	8	457

Tabel A-5: Trekker 5. Rms-metwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2-6 personen (n, in eerste kolom) voor lichaamstrillingen (WBV; in 3 assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hv}) voor het rijden op trekker 5 over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel waarnemingen de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaal tijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest. Eveneens zijn in de laatste rijen gepoolde data voor de daar genoemde ondergronden samengevat.

<i>Trekker 5</i>		<i>WBV</i>									<i>HAV</i>			<i>meting</i>	<i>tijd</i>
<i>Trillingsmeting:</i>		<i>a_{wx}</i>			<i>a_{wy}</i>			<i>a_{wz}</i>			<i>a_{hv}</i>				
<i>ondergrond</i> <i>(n= aantal</i> <i>personen)</i>	<i>S</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>(n)</i>	<i>(sec)</i>
asfaltweg (n=2)	4														
	7	.073	.090	.057	.088	.090	.086	.080	.080	.080	.642	.736	.547	2	124
	15	.092	.110	.074	.120	.140	.100	.109	.118	.100	1.012	1.100	.924	2	127
	25	.144	.171	.117	.193	.241	.145	.140	.143	.137	.516	.570	.462	2	121
	40	.405	.511	.300	.318	.450	.187	.250	.251	.250	.627	.748	.506	2	121
klinkerweg (n=2)	4	.104	.124	.085	.165	.186	.145	.095	.095	.094	.442	.470	.414	2	225
	7	.175	.190	.160	.280	.300	.260	.165	.170	.160	.556	.584	.527	2	107
	15	.506	.521	.490	.640	.730	.550	.425	.431	.420	.967	1.169	.765	2	63
	25	.990	1.060	.920	.675	.680	.670	1.065	1.180	.950	.995	1.014	.977	2	46
half-verhard pad (n=2)	4	.143	.149	.136	.234	.244	.225	.169	.194	.143	.439	.480	.399	2	149
	7	.187	.210	.165	.288	.310	.266	.168	.170	.166	.613	.673	.553	2	133
	15	.275	.298	.253	.390	.466	.315	.241	.250	.231	1.021	1.040	1.001	2	173
	25	.520	.550	.490	.495	.570	.420	.590	.590	.590	1.089	1.205	.972	2	105
grasland (n=2)	4	.135	.140	.130	.219	.224	.214	.151	.157	.145	.463	.473	.454	2	167
	7	.225	.230	.220	.400	.400	.400	.240	.240	.240	.563	.598	.528	2	126
	15	.440	.520	.360	.610	.690	.530	.425	.470	.380	1.359	1.418	1.300	2	100
	25	.975	1.000	.950	.890	.980	.800	1.020	1.230	.810	1.520	1.614	1.426	2	47
Pool: klinker- weg, half- verhard pad grasland (n=2)	4	.133	.149	.085	.219	.244	.145	.144	.194	.094	.462	.480	.399	6	541
	7	.200	.230	.160	.305	.400	.260	.170	.240	.160	.568	.673	.527	6	367
	15	.425	.521	.253	.540	.730	.315	.400	.470	.231	1.105	1.418	.765	6	336
	25	.935	1.060	.490	.675	.980	.420	.880	1.230	.590	1.109	1.614	.972	6	198

Tabel A-6: Trekker 6. Rms-metwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2-6 personen (n, in eerste kolom) voor lichaamstrillingen (WBV; in 3 assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hv}) voor het rijden op trekker 6 over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel waarnemingen de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaal tijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest. Eveneens zijn in de laatste rijen gepoolde data voor de daar genoemde ondergronden samengevat.

<i>Trekker 6</i>		<i>WBV</i>									<i>HAV</i>			<i>meting</i>	<i>tijd</i>
<i>Trillingsmeting:</i>		<i>a_{wx}</i>			<i>a_{wy}</i>			<i>a_{wz}</i>			<i>a_{hv}</i>				
<i>ondergrond</i> <i>(n= aantal</i> <i>personen)</i>	<i>S</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>(n)</i>	<i>(sec)</i>
asfaltweg (n=2)	4														
	7	.050	.050	.049	.074	.079	.068	.089	.089	.088	.554	.598	.511	2	143
	15	.089	.098	.080	.089	.097	.080	.124	.130	.117	.724	.839	.609	2	160
	25	.125	.150	.100	.150	.170	.130	.155	.160	.150	.466	.503	.429	2	120
	40	.305	.330	.280	.190	.200	.180	.180	.190	.170	.614	.634	.594	2	81
klinkerweg (n=2)	4	.096	.096	.095	.137	.138	.136	.091	.105	.076	.371	.435	.308	2	181
	7	.182	.194	.170	.243	.257	.230	.153	.167	.140	.547	.568	.526	2	125
	15	.440	.450	.430	.475	.530	.420	.365	.390	.340	.911	1.032	.791	2	65
	25	.795	.820	.770	.465	.470	.460	.705	.790	.620	1.096	1.219	.974	2	50
half-verhard pad (n=2)	4	.121	.127	.115	.204	.239	.170	.120	.120	.120	.441	.492	.391	2	148
	7	.179	.190	.167	.200	.210	.191	.169	.170	.167	.595	.602	.589	2	135
	15	.257	.266	.248	.277	.292	.261	.236	.248	.224	1.195	1.267	1.124	2	168
	25	.496	.560	.431	.376	.400	.351	.492	.520	.464	1.328	1.616	1.040	2	130
grasland (n=2)	4	.126	.133	.120	.163	.175	.150	.115	.117	.112	.444	.493	.395	2	156
	7	.238	.263	.213	.354	.403	.305	.204	.230	.179	.548	.551	.544	2	125
	15	.500	.520	.480	.465	.480	.450	.410	.440	.380	1.162	1.243	1.082	2	96
	25	.891	.950	.831	.772	.830	.713	.645	.730	.560	1.645	1.776	1.514	2	54
Pool: klinker- weg, half- verhard pad grasland (n=2)	4	.118	.133	.095	.160	.239	.136	.115	.120	.076	.415	.493	.308	6	484
	7	.192	.263	.167	.243	.403	.191	.169	.230	.140	.560	.602	.526	6	385
	15	.440	.520	.248	.435	.530	.261	.360	.440	.224	1.103	1.267	.791	6	328
	25	.795	.950	.431	.465	.830	.351	.590	.790	.464	1.367	1.776	.974	6	233

Tabel A-7: Trekker 7. Rms-metwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2-6 personen (n, in eerste kolom) voor lichaamstrillingen (WBV; in 3 assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hv}) voor het rijden op trekker 7 (normale bandenspanning) over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel waarnemingen de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaaltijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest.

<i>Trekker 7</i>		<i>WBV</i>									<i>HAV</i>			<i>meting</i>	<i>tijd</i>
<i>Trillingsmeting:</i>		<i>a_{wx}</i>			<i>a_{wy}</i>			<i>a_{wz}</i>			<i>a_{hv}</i>				
<i>ondergrond</i> <i>(n= aantal</i> <i>personen)</i>	<i>S</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>med</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>(n)</i>	<i>(sec)</i>
asfaltweg (n=2)	4														
	7	.076	.107	.045	.130	.135	.126	.087	.089	.085	.729	.871	.588	2	125
	15	.078	.080	.077	.115	.120	.110	.125	.130	.120	.988	1.249	.727	2	78
	25	.112	.115	.110	.142	.182	.102	.170	.200	.140	.632	.779	.485	2	118
	40	.325	.377	.272	.229	.254	.203	.376	.534	.219	1.167	1.211	1.124	2	115
klinkerweg (n=2)	4	.088	.099	.077	.150	.158	.143	.095	.096	.094	.557	.685	.429	2	294
	7	.171	.176	.165	.290	.311	.270	.163	.173	.153	.636	.638	.635	2	206
	15	.414	.450	.378	.687	.730	.644	.558	.610	.506	1.565	2.007	1.122	2	89
	25	.642	.654	.630	.685	.740	.630	.948	1.030	.866	1.033	1.082	.984	2	92
half-verhard pad (n=1)	4	.107	.107	.107	.248	.248	.248	.160	.160	.160	.629	.629	.629	1	55
	7	.147	.147	.147	.273	.273	.273	.129	.129	.129	.702	.702	.702	1	49
	15	.250	.250	.250	.320	.320	.320	.360	.360	.360	1.181	1.181	1.181	1	39
	25	.450	.450	.450	.511	.511	.511	.839	.839	.839	1.205	1.205	1.205	1	41
grasland (n=2)	4	.139	.147	.130	.235	.237	.232	.150	.151	.150	.590	.633	.546	2	247
	7	.244	.263	.225	.410	.412	.408	.223	.230	.216	.687	.739	.635	2	209
	15	.385	.414	.356	.687	.774	.601	.562	.583	.541	1.534	1.589	1.479	2	162
	25	.618	.633	.603	.821	.830	.812	.759	.870	.647	1.414	1.482	1.346	2	84
Pool: klinker - weg, half- verhard pad grasland (n=2)	4	.107	.147	.077	.232	.248	.143	.150	.160	.094	.629	.685	.429	5	596
	7	.176	.263	.147	.311	.412	.270	.173	.230	.129	.638	.739	.635	5	464
	15	.378	.450	.250	.644	.774	.320	.541	.610	.360	1.479	2.007	1.122	5	290
	25	.630	.654	.450	.740	.830	.511	.866	1.030	.647	1.205	1.482	.984	5	217

Bijlage B: meetwaarden van de blootstellingen bij verschillende bewerkingen

Gebruikte symbolen:

reference axis : richting van de trillingsmeting

t_m : totale meettijd in s

average speed : gemiddelde rijsnelheid in km / uur

a_w : frequentie-gewogen rms versnelling (incl. k-factor) lichaamstrillingen in m/s^2

a_{hv} : vectorsom van frequentie-gewogen rms versnelling hand-arm trillingen in m/s^2

VDV : trillingsdosis waarde in $m/s^{1.75}$

D : versnellingsdosis volgens ISO/DIS-2631-5 (2001) in m/s^2

S_e : equivalent statische compressie stress volgens ISO/DIS-2631-5 (2001), in MPa

t_d : expositietijd op een werkdag in s

8h VDV : trillingsdosis over een werkdag van 8 uur, gegeven t_d , in $m/s^{1.75}$

S_{ed} : equivalent dagelijkse statische compressie dosis ISO/DIS-2631-5 (2001), in MPa

Ploughing (Ploegen) 4-5 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s^2)	a_{hv} (m/s^2)	VDV ($m/s^{1.75}$)	D (m/s^2)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV ($m/s^{1.75}$)	S_{ed} (MPa)
3	x	1569	4.3	0.337	1.560	3.02	3.96	0.16	28800	7.44	0.29
	y			0.369		2.98	4.50			7.34	
	z			0.169		1.43	2.11			3.52	
4	x	1363	4.6	0.288	1.161	2.51	3.79	0.15	28800	6.37	0.28
	y			0.426		3.31	4.22			8.42	
	z			0.161		1.44	1.74			3.64	

Digging (Spitten) 2 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s^2)	a_{hv} (m/s^2)	VDV ($m/s^{1.75}$)	D (m/s^2)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV ($m/s^{1.75}$)	S_{ed} (MPa)
3	x	1431	1.8	0.433	3.258	2.88	5.29	0.17	28800	7.31	0.31
	y			0.427		2.81	4.81			7.08	
	z			0.274		1.80	2.30			4.54	
4	x	1213	2.1	0.368	2.309	2.46	4.25	0.17	28800	6.45	0.33
	y			0.487		3.07	4.90			8.05	
	z			0.237		1.49	1.59			3.90	

Harrowing (Eggen) 10 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s^2)	a_{hv} (m/s^2)	VDV ($m/s^{1.75}$)	D (m/s^2)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV ($m/s^{1.75}$)	S_{ed} (MPa)
3	x	1926	8.7	0.395	1.592	3.30	4.92	0.13	28800	7.73	0.24
	y			0.378		3.02	3.80			7.06	
	z			0.226		1.70	2.18			3.98	
4	x	1473	8.2	0.328	1.103	2.62	3.76	0.12	28800	6.57	0.23
	y			0.397		2.91	3.51			7.29	
	z			0.216		1.87	2.19			4.65	

Cultivating flat land (Cultiveren vlak bouwland) 3-4 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s^2)	a_{hv} (m/s^2)	VDV ($m/s^{1.75}$)	D (m/s^2)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV ($m/s^{1.75}$)	S_{ed} (MPa)
3	x	823	3.5	0.290	0.840	2.33	3.27	0.09	28800	6.74	0.19
	y			0.279		2.01	2.61			5.79	
	z			0.117		0.71	1.12			2.06	
4	x	331	3.7	0.287	0.723	1.56	2.28	0.08	28800	5.68	0.18
	y			0.296		1.56	2.15			5.66	
	z			0.148		0.70	1.04			2.55	

Cultivating flat land (Cultiveren vlak bouwland) 6-7 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	475	6.1	0.374	1.155	2.30	3.30	0.12	28800	7.59	0.26
	y			0.410		2.36	3.38			7.78	
	z			0.166		0.89	1.41			2.95	
4	x	221	5.6	0.467	0.987	2.16	3.35	0.11	28800	8.78	0.29
	y			0.512		2.24	3.26			9.19	
	z			0.210		0.89	1.40			3.61	

Mowing (Maaien) 10 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	1749	9.9	0.510	1.888	3.88	6.54	0.19	28800	9.30	0.34
	y			0.503		3.75	5.31			8.98	
	z			0.347		2.72	4.09			6.52	
4	x	1595	10.0	0.463	1.765	3.48	5.66	0.16	28800	8.55	0.29
	y			0.482		3.54	4.54			8.71	
	z			0.308		2.21	2.94			5.42	

Tedding (Schudden) 7 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	1201	7.0	0.596	1.273	4.08	7.07	0.16	28800	10.73	0.30
	y			0.548		3.63	4.42			9.56	
	z			0.256		1.67	2.32			4.39	
4	x	1106	7.4	0.399	0.960	2.60	4.08	0.18	28800	6.97	0.35
	y			0.580		3.91	5.11			10.52	
	z			0.213		1.34	1.94			3.61	

Windrowing (Wiersen) 7-8 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	1640	6.5	0.503	2.040	3.98	6.93	0.15	28800	10.07	0.27
	y			0.350		2.61	4.03			6.53	
	z			0.239		1.75	2.78			4.43	
4	x	1426	8.0	0.427	1.680	3.12	5.23	0.16	28800	7.94	0.30
	y			0.445		3.13	4.59			7.92	
	z			0.276		1.91	2.90			4.84	

Ensiling (Inkuilen)

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
9	x	1032	3.6	0.556	1.428	6.48	12.49	0.34	28800	17.67	0.67
	y			0.420		4.18	7.22			11.42	
	z			0.334		3.98	9.26			10.88	

Spreading fertiliser on flat onion land (Kunstmest strooien op vlak uienland) 10 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	364	10.0	0.335	2.196	1.66	2.55	0.09	28800	5.88	0.20
	y			0.334		1.76	2.36			6.25	
	z			0.249		1.17	1.96			4.17	
4	x	412	9.4	0.285	1.494	1.48	2.43	0.08	28800	5.08	0.19
	y			0.348		1.81	2.39			6.22	
	z			0.186		0.91	1.51			3.14	

Spreading fertiliser on grassland (Kunstmest strooien op grasland) 7-15 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	1271	9.4	0.346	1.622	2.70	4.69	0.15	28800	7.02	0.27
	y			0.347		2.58	3.61			6.69	
	z			0.283		2.30	4.12			5.97	
4	x	1289	9.2	0.331	1.218	2.90	4.58	0.16	28800	7.51	0.31
	y			0.376		2.93	4.62			7.58	
	z			0.210		1.72	3.08			4.45	

Spreading fertiliser on ploughed land (Kunstmest strooien op vers geploegd land) 7-10 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	1245	7.9	0.427	1.627	3.22	4.25	0.15	28800	8.40	0.28
	y			0.449		3.28	4.22			8.57	
	z			0.305		2.04	3.14			5.32	
4	x	1244	7.6	0.382	1.219	2.99	3.97	0.15	28800	7.81	0.29
	y			0.442		3.30	4.35			8.60	
	z			0.244		1.68	2.47			4.38	

Injecting manure in grassland (Mest injecteren in grasland) 10-12 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	637	10.4	0.483	1.784	2.95	4.63	0.20	28800	9.09	0.42
	y			0.536		3.26	5.62			10.06	
	z			0.262		1.53	2.14			4.71	
4	x	726	10.4	0.410	1.726	2.63	4.16	0.16	28800	7.87	0.33
	y			0.494		3.05	4.53			9.12	
	z			0.209		1.48	2.13			4.40	

Spraying on flat land (Sputten op vlak bouwland) 7 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
1	x	2096	4.2	0.183	1.440	1.71	2.85	0.10	28800	3.91	0.17
	y			0.237		2.11	2.73			4.83	
	z			0.215		1.83	2.00			4.20	
8	x	1595	4.4	0.209	1.353	1.81	3.04	0.18	28800	4.41	0.34
	y			0.299		3.52	5.20			8.76	
	z			0.126		0.96	1.46			2.36	

Transport of cubic metre box on rough land (Transport kuubskist over ruw bouwland) 10-20 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
4	x	102	15.3	0.991	1.663	3.58	5.89	0.24	28800	17.45	0.69
	y			0.920		3.47	6.71			16.94	
	z			0.554		2.13	4.44			10.36	

Transport of cubic metre box on flat land (Transport kuubskist over vlak bouwland) 20-25 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
4	x	44	22.4	0.629	1.584	2.28	4.22	0.13	28800	11.54	0.37
	y			0.469		1.74	3.55			8.80	
	z			0.309		1.11	2.04			5.64	

Transport of cubic metre box on unpaved road (Transport kuubskist over halfverharde weg) 25-30 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
4	x	391	26.8	0.467	1.667	2.55	3.85	0.12	28800	8.94	0.27
	y			0.369		1.94	3.37			6.79	
	z			0.229		1.14	1.66			3.99	

Transport of trailer on asphalt road (Transport wagen/kar op asfalt weg) 7-15 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	379	10.3	0.122	1.046	0.55	1.37	0.03	28800	1.97	0.08
	y			0.124		0.60	0.98			2.19	
	z			0.099		0.45	0.72			1.73	
4	x	432	11.0	0.099	0.887	0.49	1.05	0.03	28800	1.92	0.07
	y			0.114		0.51	0.72			2.15	
	z			0.086		0.40	0.52			1.49	

Transport of trailer on asphalt road (Transport wagen/kar op asfalt weg) 25-40 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	374	31.4	0.272	0.893	1.27	2.49	0.06	28800	4.04	0.15
	y			0.211		0.90	1.68			3.70	
	z			0.159		0.60	0.93			2.36	
4	x	302	31.3	0.231	0.940	0.98	1.93	0.06	28800	3.71	0.15
	y			0.276		1.12	1.55			4.05	
	z			0.133		0.52	0.77			2.15	

Transport of trailer on unpaved road/grassland (Transport wagen/kar op halfverhard pad/grasland) 4-7 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	1127	5.4	0.256	0.972	1.82	3.22	0.11	28800	4.74	0.22
	y			0.367		2.60	3.20			6.97	
	z			0.133		0.83	1.23			2.27	
4	x	1216	5.3	0.198	0.758	1.29	1.95	0.11	28800	4.08	0.22
	y			0.398		2.39	2.75			8.05	
	z			0.127		0.71	0.88			2.14	

Transport of trailer on unpaved road/grassland (Transport wagen/kar op halfverhard pad/grasland) 15 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	489	15.3	0.719	2.004	4.09	8.32	0.17	28800	14.92	0.41
	y			0.587		3.06	4.76			11.29	
	z			0.298		1.68	2.58			8.23	
4	x	557	14.8	0.434	1.520	2.32	3.98	0.16	28800	7.92	0.38
	y			0.522		2.54	3.43			10.06	
	z			0.241		1.33	2.07			4.46	

Transport of trailer on unpaved road/grassland (Transport wagen/kar op halfverhard pad/grasland) 25 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	311	25.4	1.125	2.169	5.51	10.56	0.23	28800	24.57	0.58
	y			0.736		3.90	6.67			13.44	
	z			0.391		1.93	3.24			9.77	
4	x	457	24.7	0.727	1.420	4.95	10.47	0.21	28800	15.78	0.50
	y			0.668		3.52	5.13			12.81	
	z			0.302		1.90	3.52			5.60	

Mowing roadside (Berm maaien) 2-4 km/h

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
3	x	4256	3.1	0.208	0.768	2.11	2.94	0.11	28800	4.04	0.16
	y			0.234		2.27	3.03			4.36	
	z			0.134		1.18	1.51			2.27	

Collection and transport of timber out of wood using forwarder (Uithalen stammen uit bos met forwarder)

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
11	x	4654	1.4	0.356	-	4.82	8.35	0.34	28800	9.04	0.51
	y			0.464		6.14	9.59			11.52	
	z			0.304		4.14	5.19			7.77	

Lugging of trees out of wood using tractor (Uitslepen van stammen uit bos met trekker)

tractor	reference axis	t_m (s)	average speed (km/h)	a_w (m/s ²)	a_{hv} (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	D (m/s ²)	S_e (MPa)	t_d (s)	8h VDV (m/s ^{1.75})	S_{ed} (MPa)
12	x	2328	6.6	0.946	-	9.29	14.22	2.78	28800	20.71	4.74
	y			1.163		18.37	44.59			40.97	
	z			0.595		23.78	86.35			53.05	