



Biofideldummies in der behördlichen Anwendung

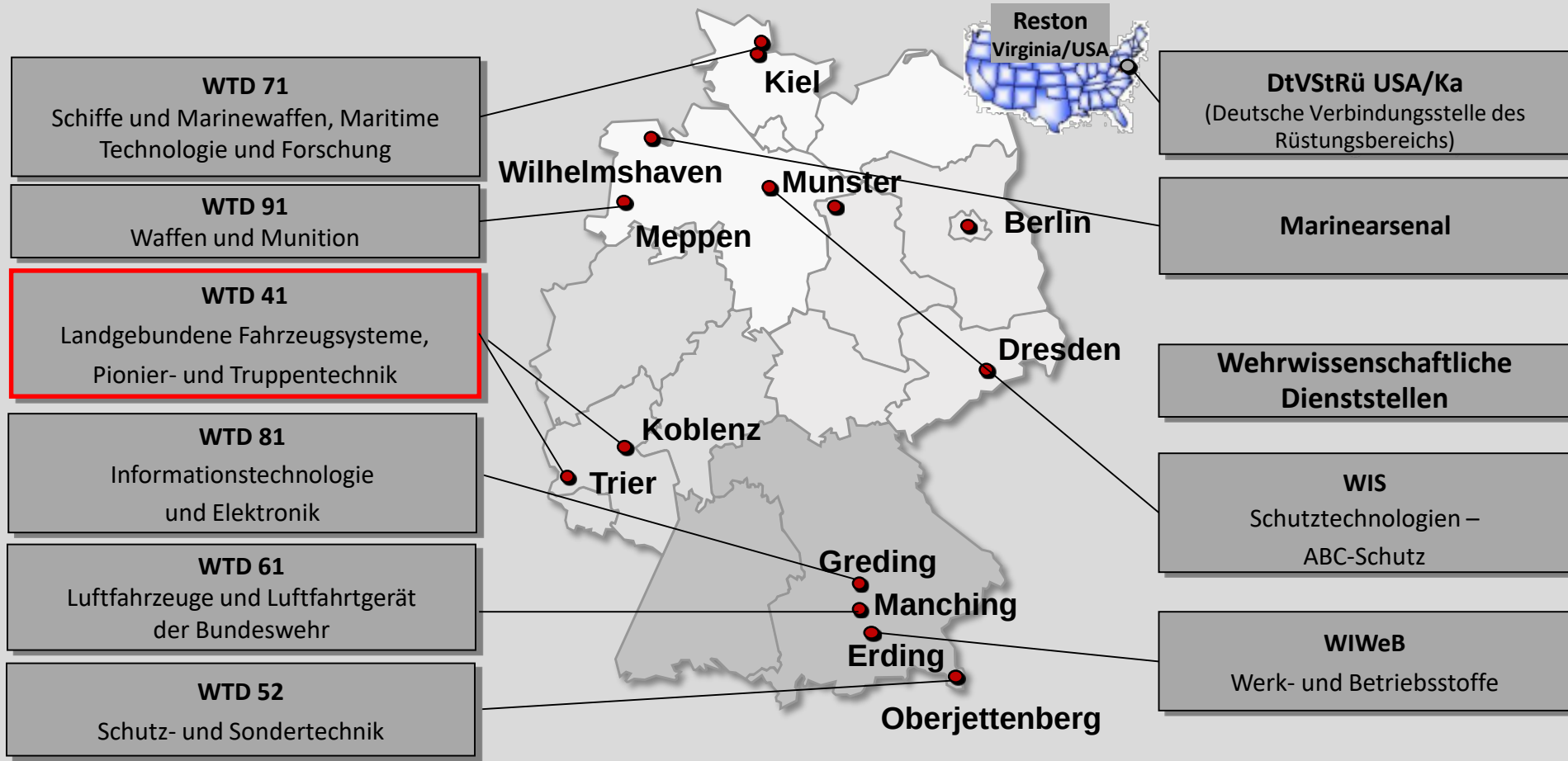


Ermittlung von Humanschwingungen in Bundeswehrfahrzeugen





WEHRTECHNISCHE DIENSTSTELLEN





WEHRTECHNISCHE DIENSTSTELLE 41

Aufgabe:

**Amtl. Untersuchung und Bewertung
landgebundener Fahrzeugsysteme,
Pionier- und Truppentechnik**

Mitarbeiter:

469 (Stand 9/2017)

Liegenschaften:

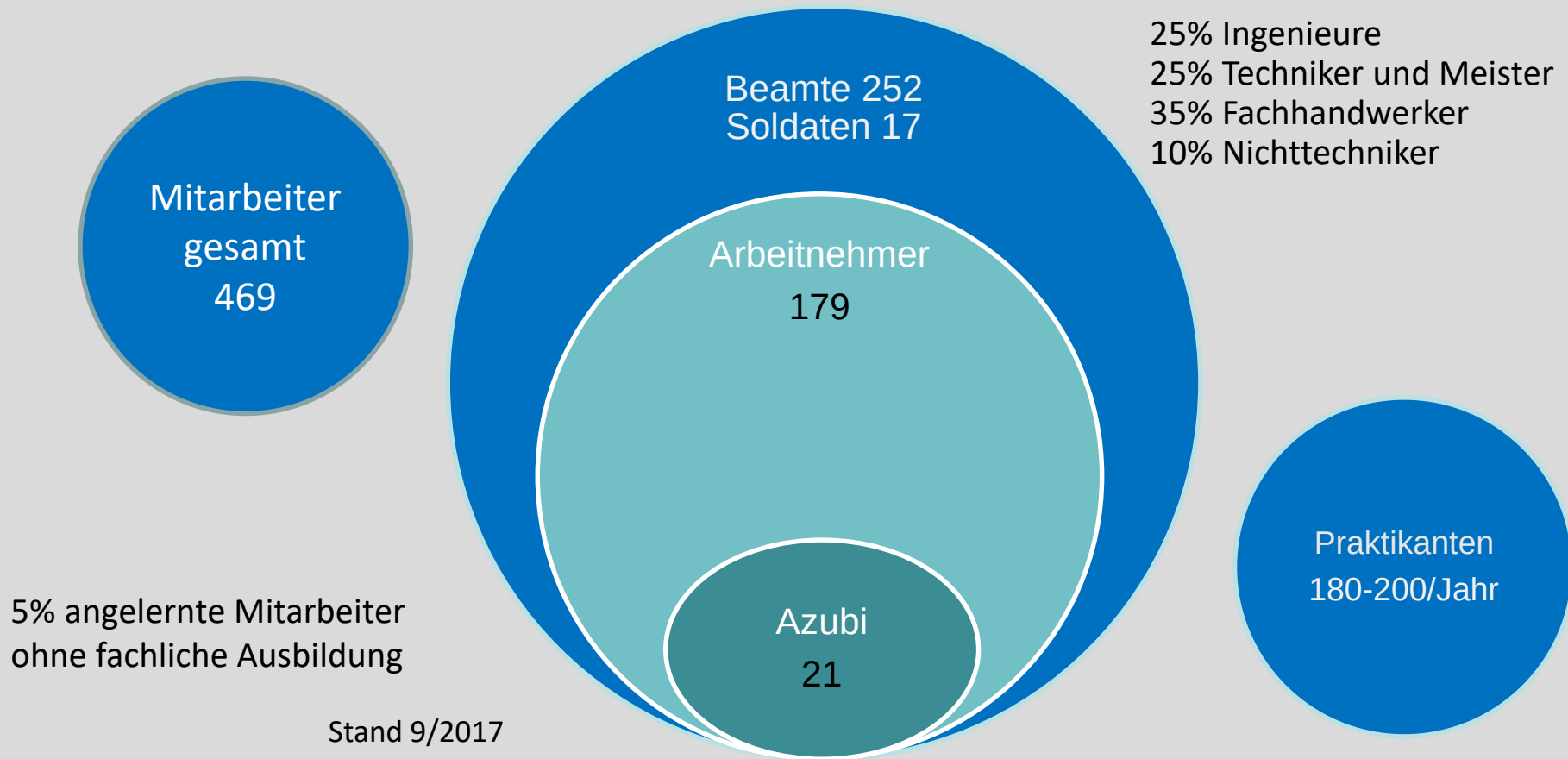
-  **Trier Grüneberg**
-  **Koblenz Metternich**
-  **Koblenz Rübenach 1**
-  **Koblenz Rübenach 2**
-  **Föhren**
-  **Baumholder**
-  **Saarlouis Fraulautern**



Hauptauftraggeber: Bundesamt für Ausrüstung Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr



Personalstruktur der WTD 41



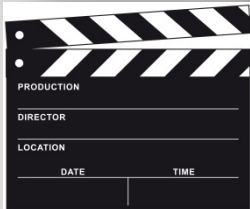


WEHRMATERIAL AN DER GRENZE...



Quelle: Alaska e-post Online

Aus Murphy's law für Soldaten:
#32 Vergiss nicht: Deine Waffe ist vom billigsten Anbieter
[...]
#58 Es werden mehr Fahrzeuge durch Ersatzteilmangel ausgeschaltet als
durch Feindbeschuss





WEHRMATERIAL AN DER GRENZE...



Ausfälle nach weniger als
Schlechtwegstrecke

2000 km

Achsbrüche bei GFF Kl.4 8x8
(oben) und GFF Kl.4 6x6 (rechts)





DER AUFTRAG.....

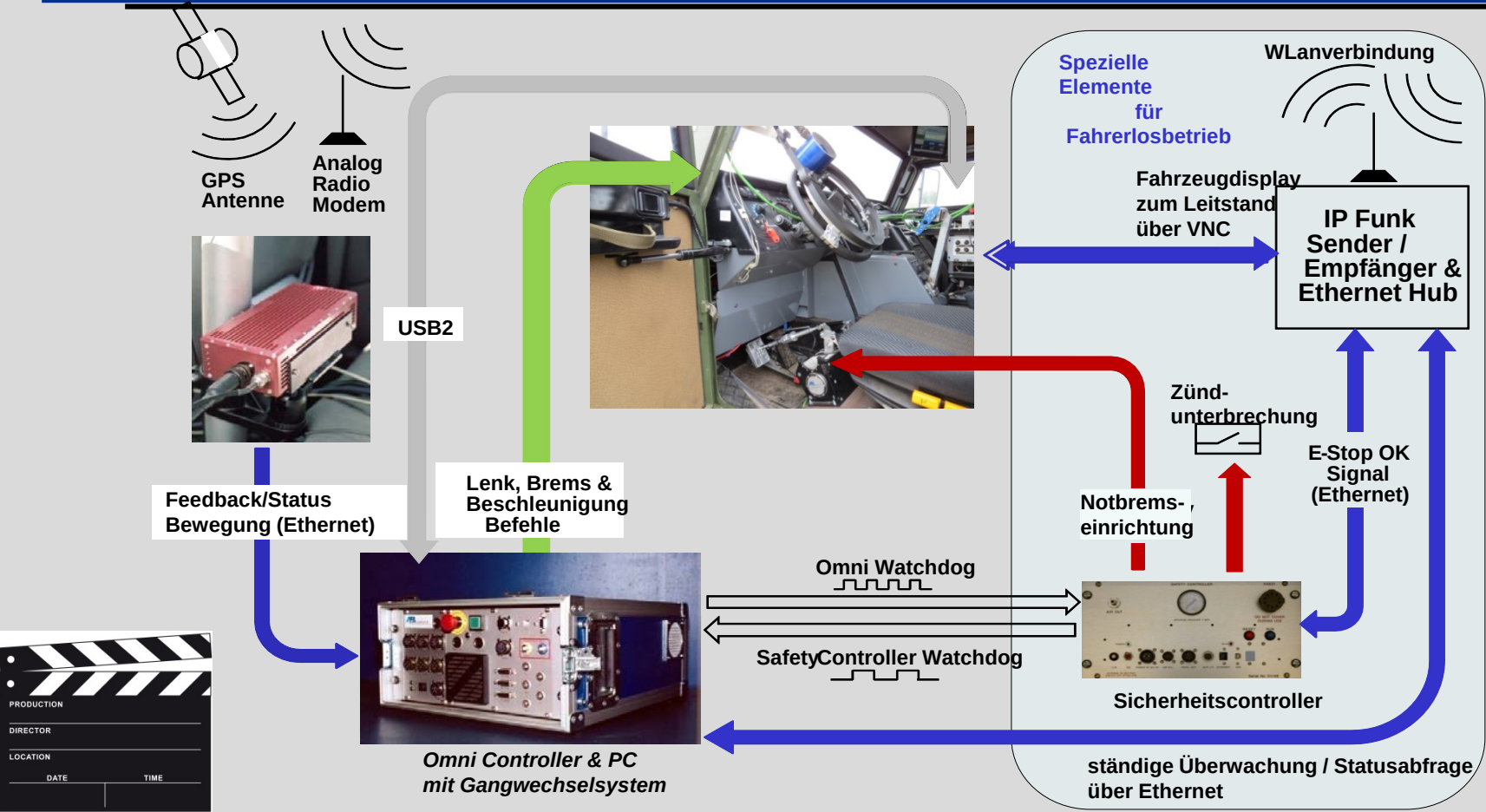


Untersuchungen zur Schwachstellenerkennung bei Fahrzeugen, Containern und Rüstsätzen





FAHRERLOSE ERPROBUNG





SCHWINGUNGSBELASTUNGEN

E
i
n
f
l
u
s

Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit

Bedienung und Erfassung (Handling)

Kinetose (Reisekrankheit)

Pathologische Degeneration Wirbelsäule

Unfallartige Verletzungen



i Sitzbewertung erfolgt im Laborversuch

i Diverse Normen für unterschiedliche Fahrzeugarten

i Unterschiedliche Anregungssignale
(Amplitude und Frequenz)

i Auswertung durch SEAT Faktor $SEAT = \frac{a_{wS}}{a_{wP}}$

i Anforderungen an Versuchspersonen: Körpermassen 55kg, 75kg & 98kg

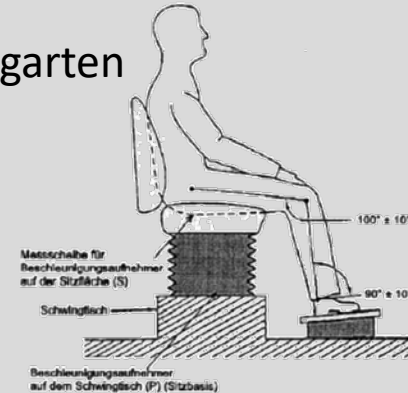


Bild 2: Haltung der Versuchsperson bei der Sitzprüfung (Quelle: DIN EN ISO 7096)



- i Anwendungsfall bei der Bundeswehr
 - i Nutzung unterschiedlichster Personen mit unterschiedlichster Ausrüstung und Schutzausstattung
 - i Fahrzeugnutzung in allen Regionen der Erde mit extremen Schlechtweganteilen
 - i Nutzung in unterschiedlichster „Taktischer Gangart“
 - i Aussagen zu zulässigen täglichen Fahrzeiten und zu erlittenen Gesundheitsstörungen
- i Messung der humanrelevanten Schwingungsbelastung erfolgt im [Probandenversuch](#)
- i Auswertung mit Festlegung von Expositionszeiten nach [ISO 2631](#)
- i unsere Absicht: Einführung einer [Dummy-Puppe](#)



- Vorteile eines passiven Mensch-Modells
 - Reproduzierbarkeit der Messergebnisse
 - Belastungsversuche im Extrembereich möglich
 - Vermeidung der Beeinflussung der Messergebnisse durch Körperproportionen, temporären Muskelanspannung usw.
 - keine Akquisition und Zeitplanung für Versuchspersonen
 - Vermeidung der hohen Sicherheitsanforderungen bei Menschenversuchen (DIN EN ISO 13090-1)



Vorversuche mit Hybrid Dummies





 **BAuA-Studie*** über Schwingungs-Dummy **MOSIME**

 Versuchsergebnisse **vielversprechend**

 **Prototyp** aus Studie kann zur Verfügung gestellt werden

* Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

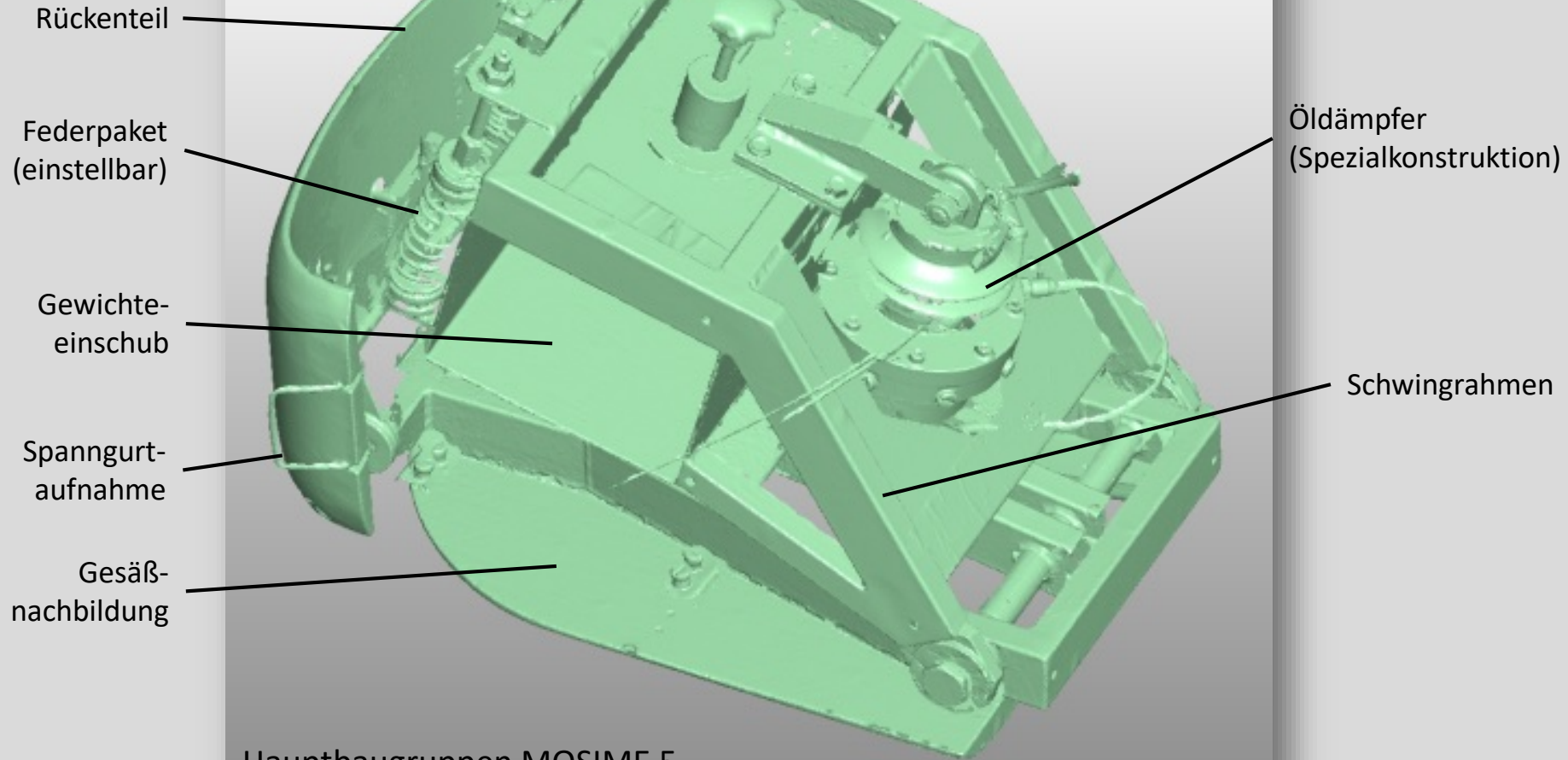


... zur Durchführung orientierender Vergleichsuntersuchungen (August-Dezember 2017)

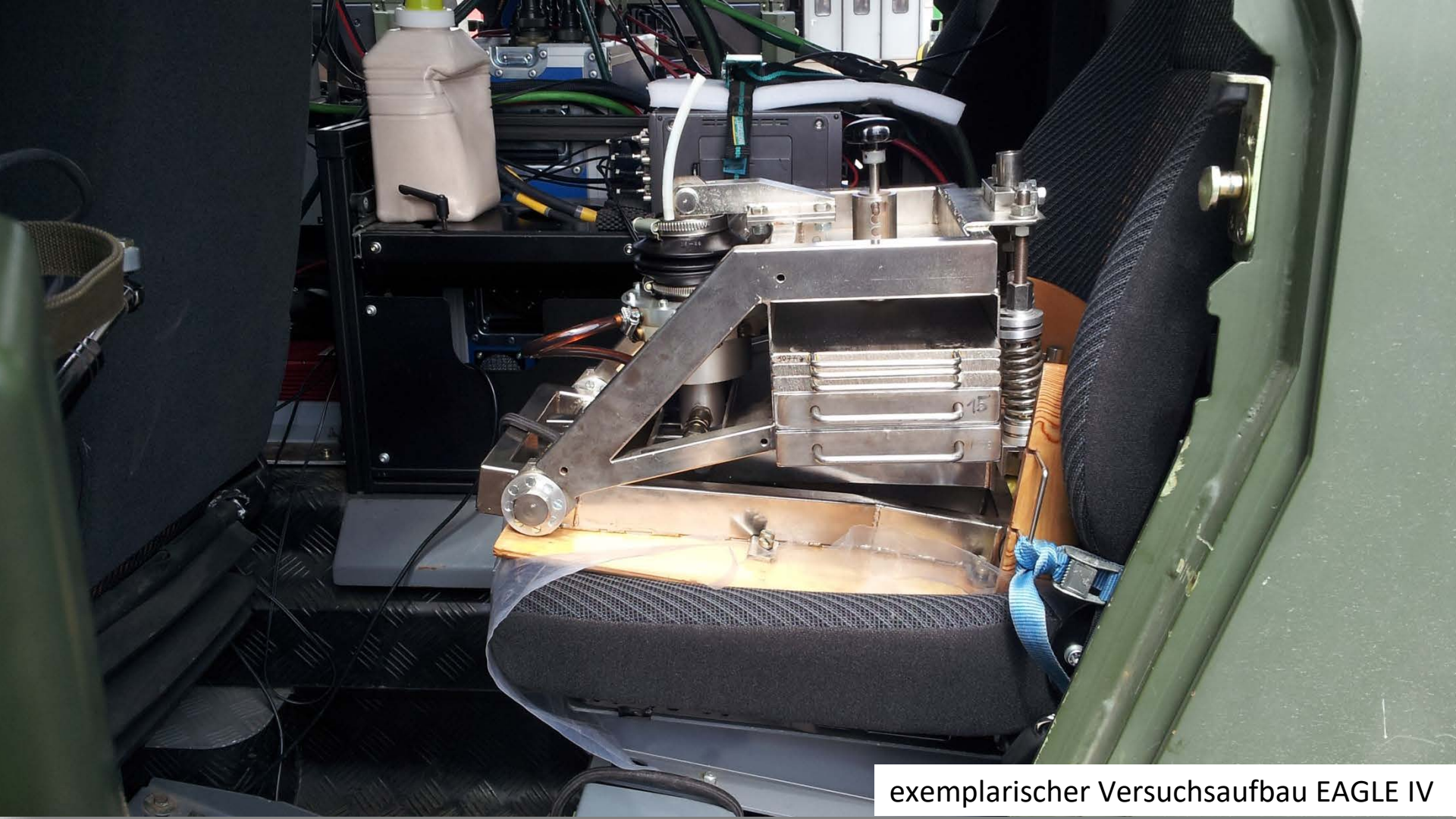
 ausgewählte **Bestandsfahrzeuge**

 repräsentative **Fahrbahnbeschaffenheiten** und **Fahrgeschwindigkeiten**

 Aussage zur **Verwendbarkeit des MOSIME** für militärtypischen Belastungsspektren



Hauptbaugruppen MOSIME 5



exemplarischer Versuchsaufbau EAGLE IV



Randbedingungen:

- ✓ Horizontalfixierung mit Spanngurt an seitlichen Rechteckösen um Rückenlehne herum
- ✓ Vertikalfixierung (improvisiert) mit Expandern am Schwingrahmen-Unterteil, Einhakung am Sitzuntergestell
- ✓ Befahrung verschiedener Fahrbahnen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten
- ✓ Probandengewicht konstant 75 kg





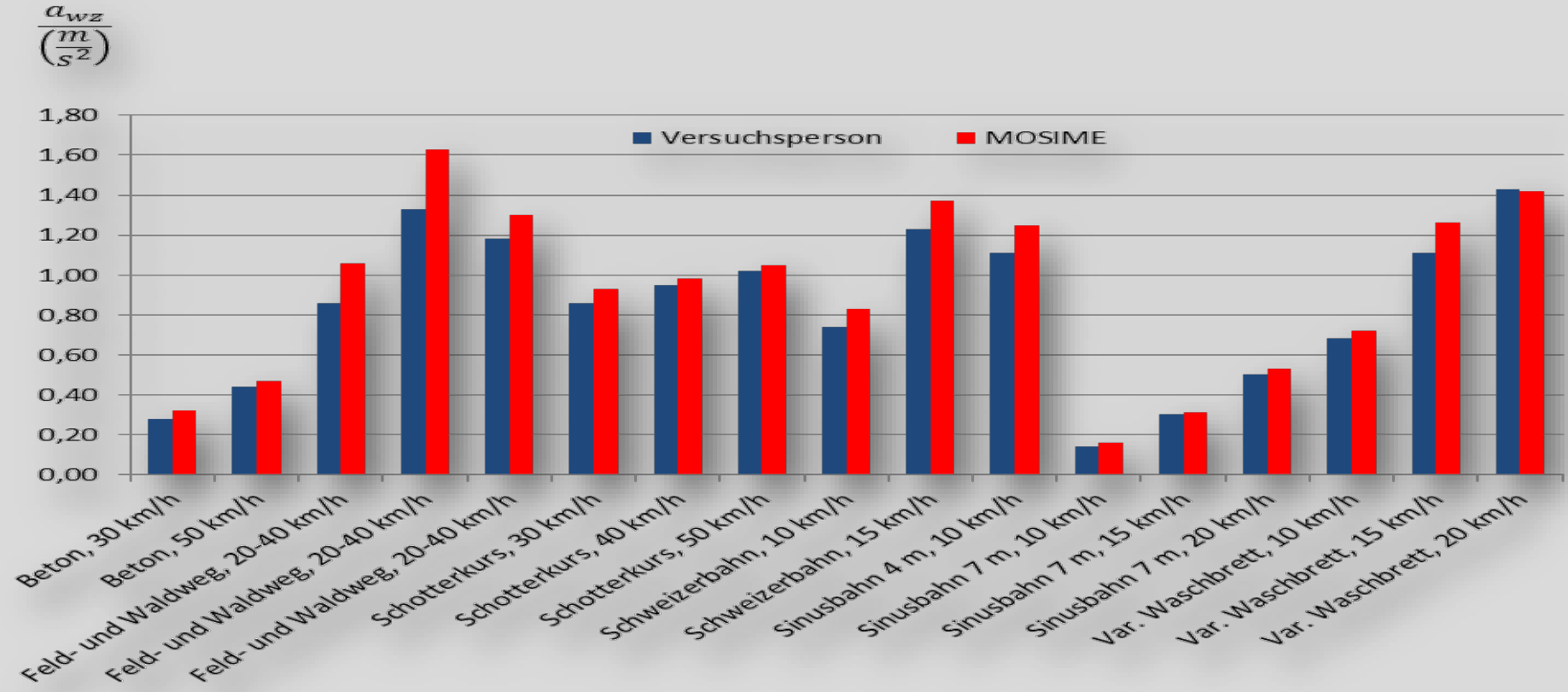
Ergebnis EAGLE IV

		VP	MOSIME	VP	MOSIME	
Beton, 30 km/h	30	0,28	0,32	> 8 h	> 8 h	14
Beton, 50 km/h	50	0,44	0,47	> 8 h	> 8 h	7
Feld- und Waldweg, 20-40 km/h	20-40	0,86	1,06	416 min	275 min	23
Feld- und Waldweg, 20-40 km/h	20-40	1,33	1,63	173 min	116 min	23
Feld- und Waldweg, 20-40 km/h	20-40	1,18	1,30	220 min	182 min	10
Schotterkurs, 30 km/h	30	0,86	0,93	414 min	358 min	8
Schotterkurs, 40 km/h	40	0,95	0,98	342 min	323 min	3
Schotterkurs, 50 km/h	50	1,02	1,05	294 min	281 min	3
Schweizerbahn, 10 km/h	10	0,74	0,83	318 min	295 min	12
Schweizerbahn, 15 km/h	15	1,23	1,37	159 min	136 min	11
Sinusbahn 4 m, 10 km/h	10	1,11	1,25	108 min	128 min	13
Sinusbahn 7 m, 10 km/h	10	0,14	0,16	> 8 h	> 8 h	14
Sinusbahn 7 m, 15 km/h	15	0,30	0,31	> 8 h	> 8 h	3
Sinusbahn 7 m, 20 km/h	20	0,50	0,53	> 8 h	> 8 h	6
Var. Waschbrett, 10 km/h	10	0,68	0,72	> 8 h	> 8 h	6
Var. Waschbrett, 15 km/h	15	1,11	1,26	250 min	194 min	14
Var. Waschbrett, 20 km/h	20	1,43	1,42	151 min	153 min	-1

bewertete Effektivbeschleunigung $a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_{w(t)}^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$



Ergebnis EAGLE IV





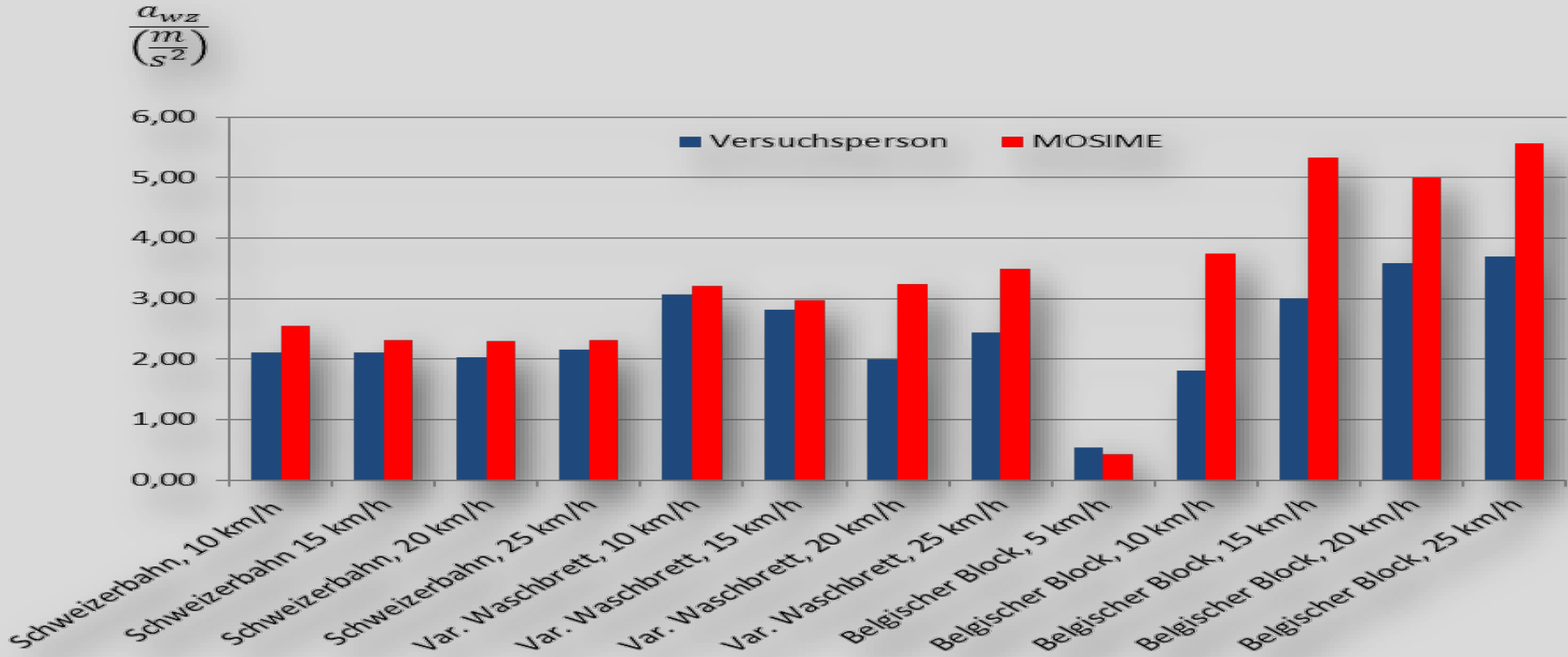
Ergebnis UTF IVECO 15 t

Messbahn	v [km/h]	a _{wz} [m/s ²]		resultierende Expositionszeit		MOSIME ^{wz} [%]
		VP	MOSIME	VP	MOSIME	
Schweizerbahn, 10 km/h	10	2,11	2,55	69 min	47 min	21
Schweizerbahn 15 km/h	15	2,10	2,31	69 min	58 min	10
Schweizerbahn, 20 km/h	20	2,02	2,30	75 min	58 min	14
Schweizerbahn, 25 km/h	25	2,16	2,31	66 min	57 min	7
Var. Waschbrett, 10 km/h	10	3,07	3,20	33 min	30 min	4
Var. Waschbrett, 15 km/h	15	2,82	2,97	39 min	35 min	5
Var. Waschbrett, 20 km/h	20	2,00	3,23	76 min	29 min	62
Var. Waschbrett, 25 km/h	25	2,44	3,49	52 min	25 min	43
Belgischer Block, 5 km/h	5	0,54	0,42	152 min	138 min	-22
Belgischer Block, 10 km/h	10	1,80	3,74	95 min	22 min	108
Belgischer Block, 15 km/h	15	3,00	5,32	34 min	11 min	77
Belgischer Block, 20 km/h	20	3,59	4,99	24 min	12 min	39
Belgischer Block, 25 km/h	25	3,69	5,56	23 min	10 min	51

$$\text{bewertete Effektivbeschleunigung } a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_{w(t)}^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$$



Ergebnis UTF IVECO 15 t



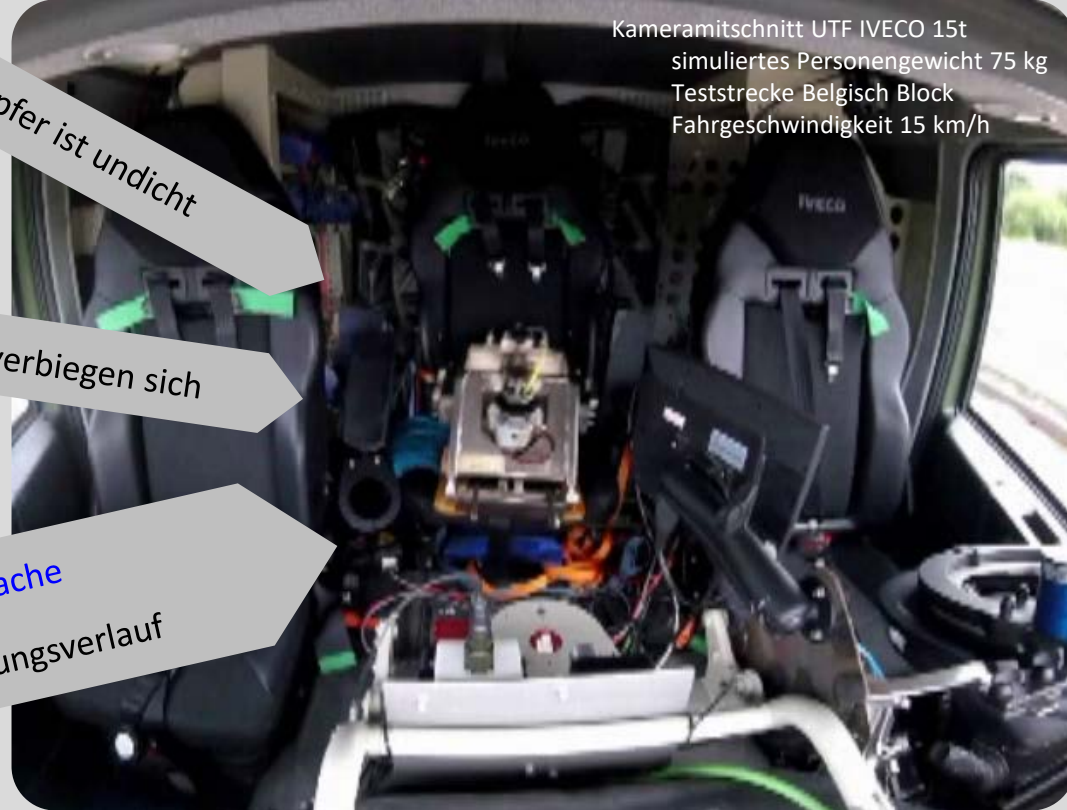


Visuelle Auswertung

Öldämpfer ist undicht

Rechteckkösen verbiegen sich

Deutliche Hüpfbewegung als **Ursache**
für die Auffälligkeiten im Beschleunigungsverlauf



Kameramitschnitt UTF IVECO 15t
simuliertes Personengewicht 75 kg
Teststrecke Belgisch Block
Fahrtgeschwindigkeit 15 km/h



Vorläufiges Resümee

mäßige Schwingungsbelastung	⇒	relative Übereinstimmung der a_{wz} -Werte
Abweichungen der Dummy-Werte	⇒	tendenziell nach oben
stoßhaltige Schwingungsbelastung	⇒	extremes Ausbrechen der a_{wz} -Werte
wahrscheinlichste Ursache	⇒	Hüpfbewegung des Dummy-Körpers
Dummy-Fixierung	⇒	ungenügend
Öldämpfer	⇒	undicht und nicht handelsüblich



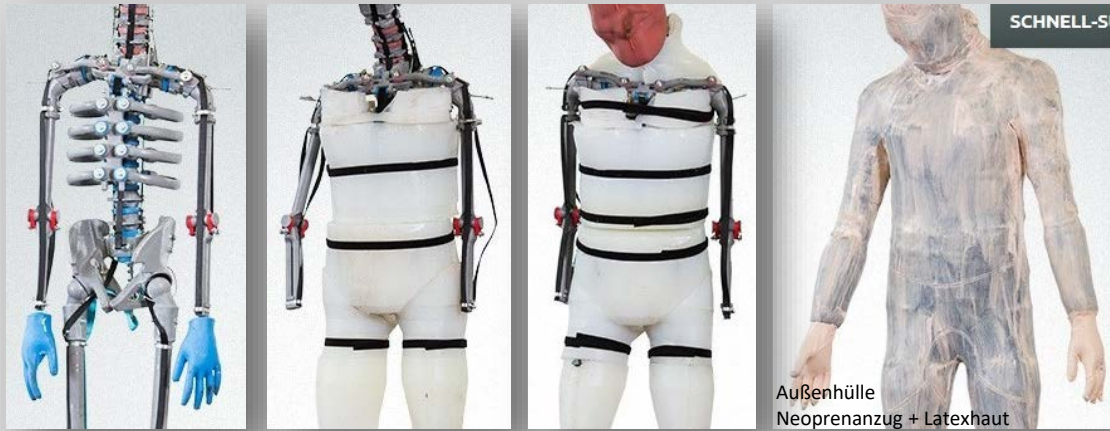
Auf Einladung der WTD 91-450 Ergonomie Teilnahme unseres AF 120 an einem Crash-Versuch

Veranstaltungsort: Firma CTS Crashtest-Service in Münster

Hierbei Vorstellung neuartiger Mensch-Dummys, speziell für biomechanische Versuchsanwendungen



Der Biofidel-Dummy

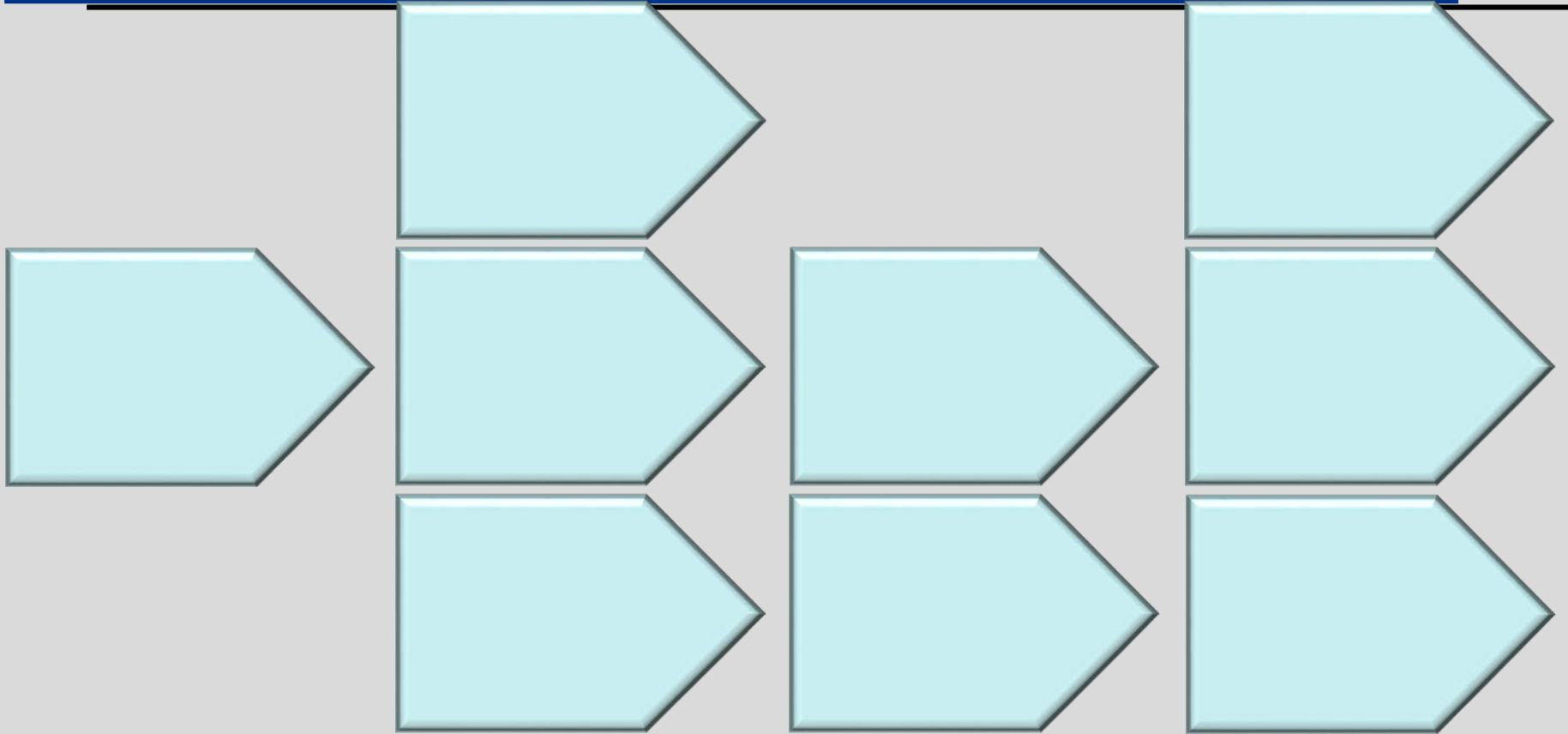


- ↑ **Knochendichte und Knochenstruktur** sowie **Dämpfungs- und Elastizitätsverhalten** des Weichgewebes sind dem menschlichen Vorbild nachempfunden.
- ↓ Der vorgestellte Dummy ist ein „**Stehend-Dummy**“. Er muss für uns also noch angepasst werden.
- ↓ **Fehlende Modularität** (Platzkonflikte bei Roboterbetrieb, Verbringung des Dummy an schwer zugängliche Sitzplätze im Fahrzeug).



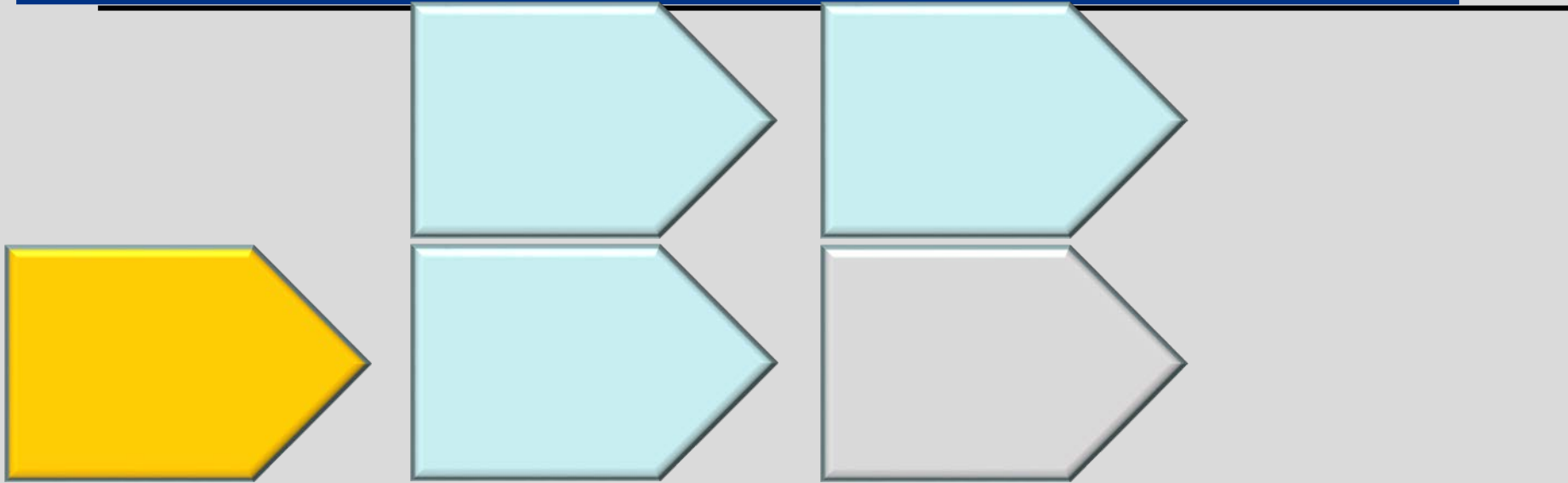


nächste Schritte



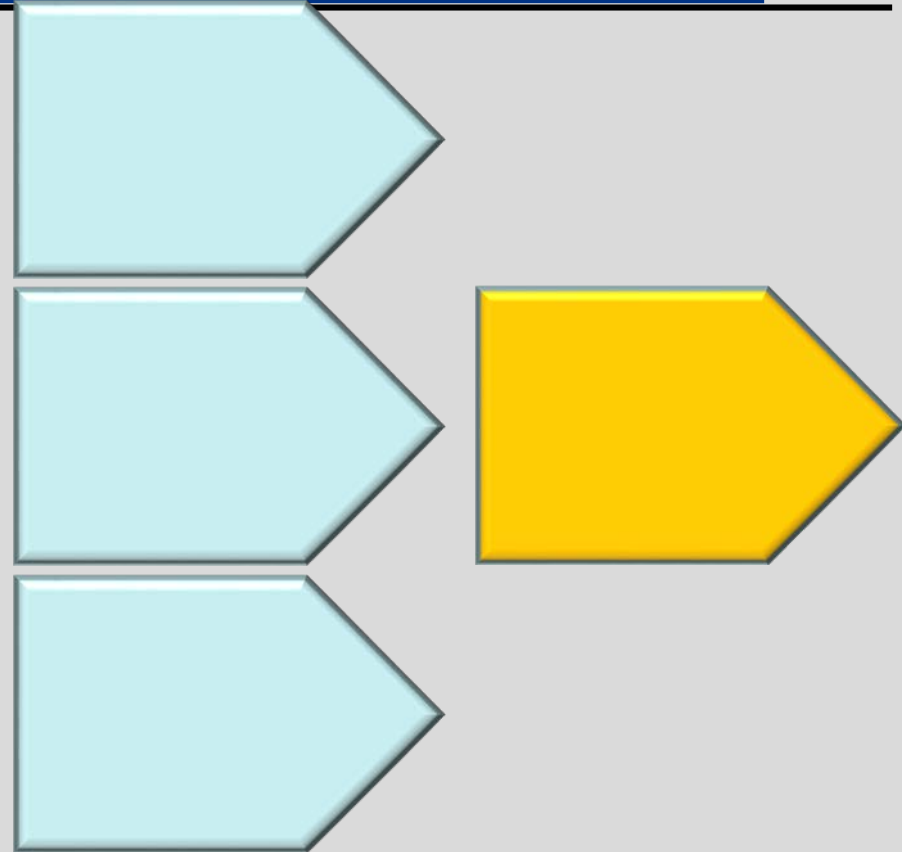


nächste Schritte





nächste Schritte





Neue Erkenntnis

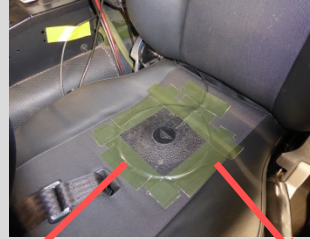
Stehenddummy 77 kg, 1,73 m



Erste Versuchsfahrten zum Vergleich der Beschleunigungswerte



UTF RMMV 15t WLS



Roboterbetrieb

2 Sandsäcke als Fahrer



Mensch als
Fahrer

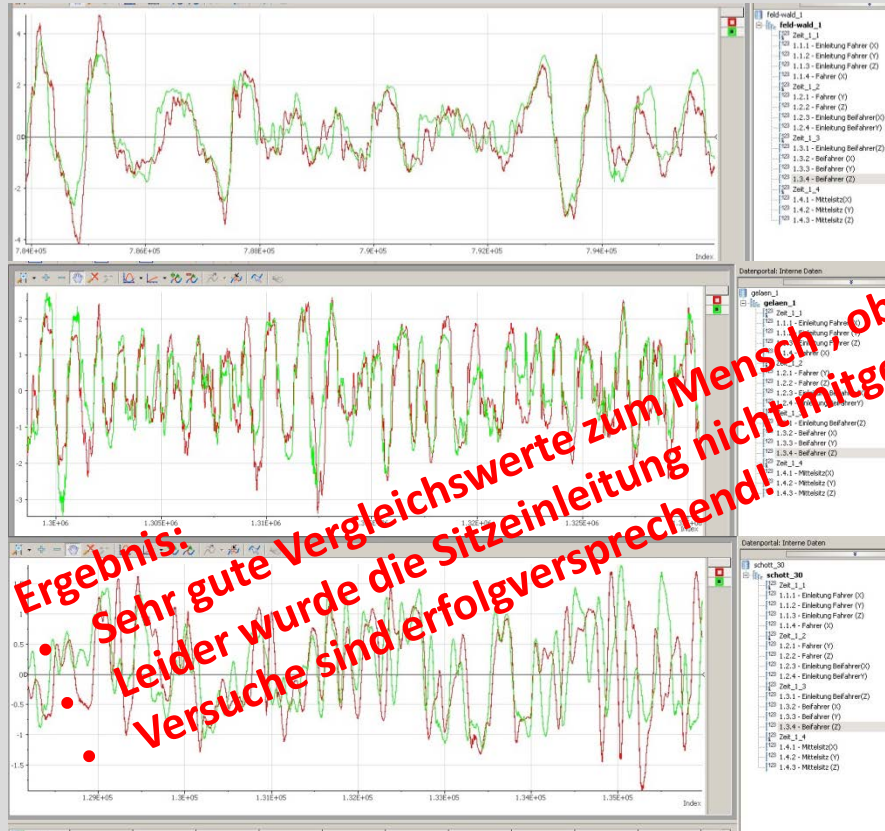
- Feld-Wald-Fahrt
- Geländefahrt
- Schotterkurs

Beifahrer: Dummy





Erste Versuchsfahrten mit CTS-Dummy zum Vergleich der Beschleunigungswerte



Fahrer (Mensch) mit Dummy als Beifahrer

- Feld-Wald-Fahrt
- Gelände-Fahrt
- Schotterkurs

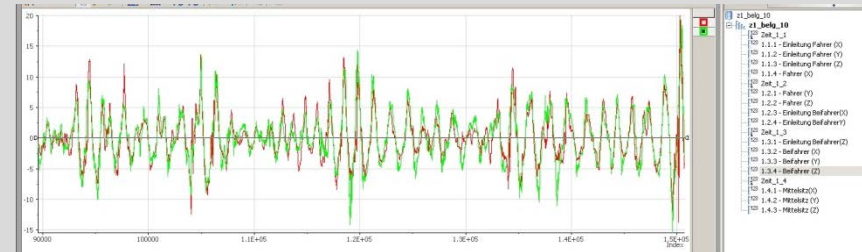
Einstellung der beiden Schwingsitze:

- möglichst identisch
- möglichst weich (Ausnutzung des gesamten Schwingwegs)
- möglichst ohne Stöße gegen Endanschläge während Fahrt

Roboterbetrieb

2 Sandsäcke auf Fahrersitz und Dummy auf Beifahrersitz

- Belgisch Block (20 km/h)





Vergleichsversuche

Juni-Juli 2020

- Mensch* (80 kg) zu Dummy (80 kg)
- Mensch* (70 kg) zu Mensch* (100 kg)

mit Gegenüberstellung aller Ergebnisse

* passive Sitzhaltung



Gute Vergleiche bieten „Variables Waschbrett“
und „Schweizer Bahn“

hier: 4 Versuche „Variables Waschbrett“, $v = 10$ km/h
(Die Geschwindigkeit aller 4 Versuche war nahezu konstant)

Versuchsvorgaben:

Variables Waschbrett, $v = 10$ km/h (möglichst konstant)

Versuchsfahrzeug: Dingo (starre Rücksitze, keine Schwingsitze)

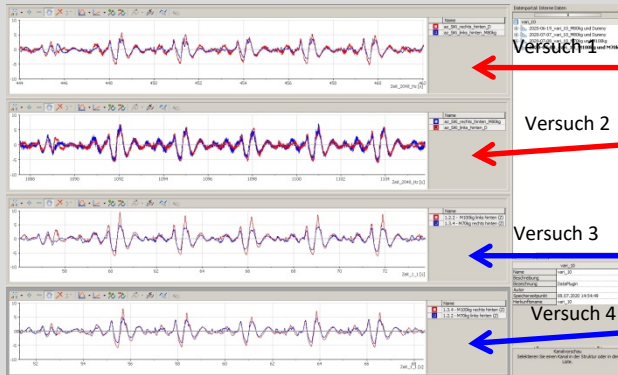
Fahrer: Person (kein Roboterbetrieb) / Beifahrer: Messtechniker

Auf den Rücksitzen:

- Person (80 kg) und Dummy (80 kg) oder
- 2 Personen (70 kg und 100 kg)

Die Personen saßen möglichst passiv!

Versuchsanfänge



Versuch 1

rot: Dummy (80 kg)
blau: Person (80 kg)

Versuch 2

Sitztausch
rot: Dummy / blau: Person (80 kg)

Versuch 3

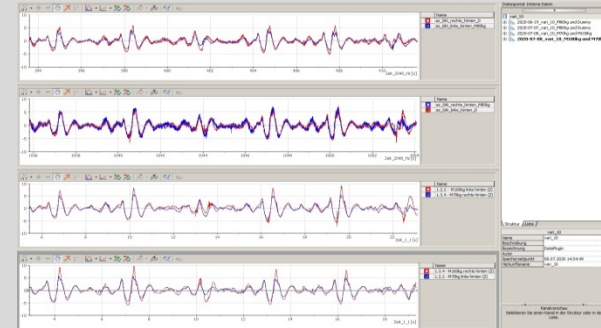
blau: Person (70 kg)
rot: Person (100 kg)

Versuch 4

Sitztausch
blau: 70 kg / rot: 100 kg

Beschleunigung (m/s^2) über Zeit (s)

Versuchsenden (dieselben Versuche wie links, sehr
gute Übereinstimmung über gesamten
Versuchsverlauf)



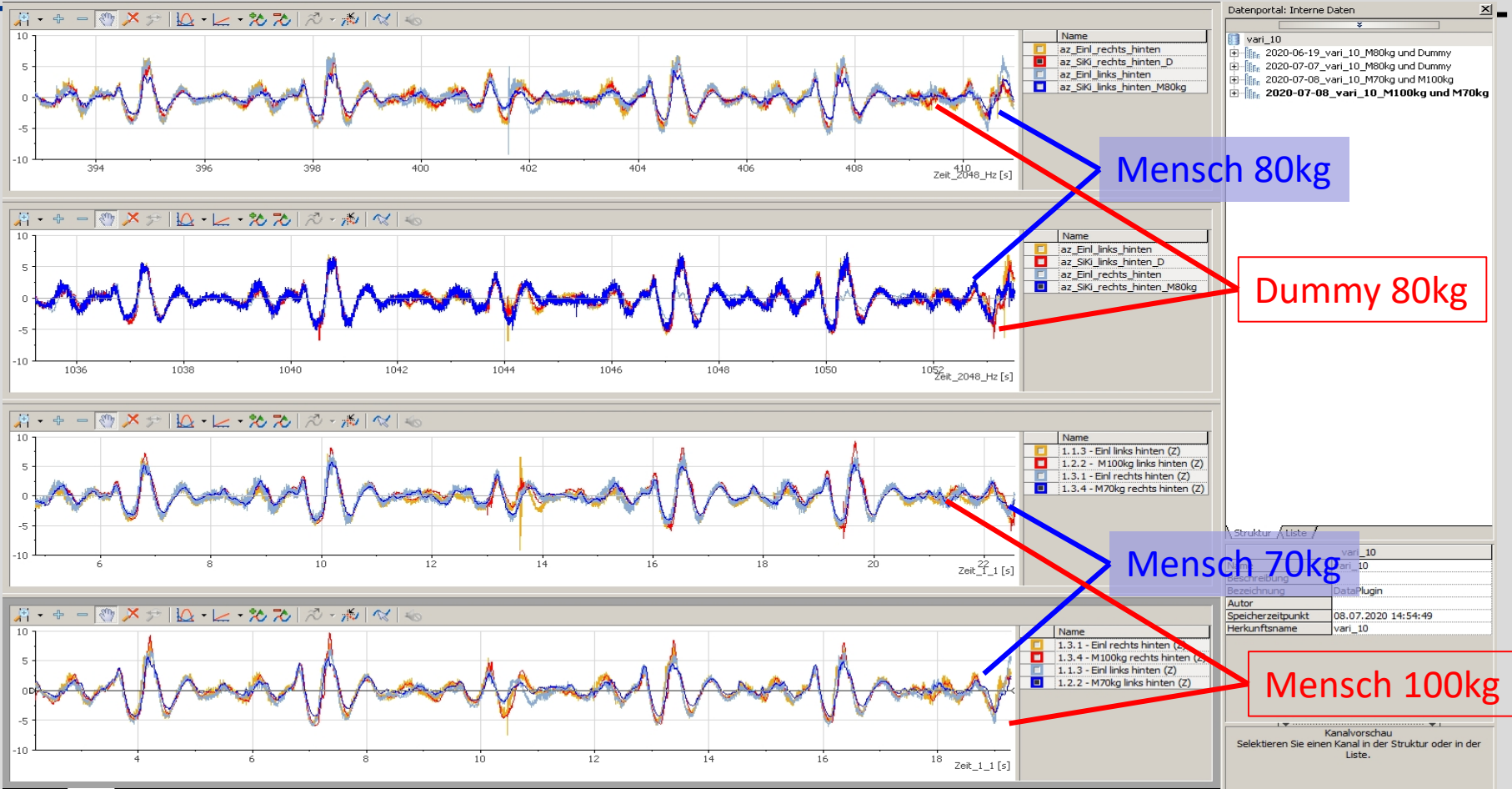


Vergleichsversuche Juni-Juli 2020

Mensch (80 kg) vs. Dummy (80 kg) und Mensch (70 kg) vs. Mensch (100 kg)



Bundeswehr
Wir. Dienen. Deutschland.





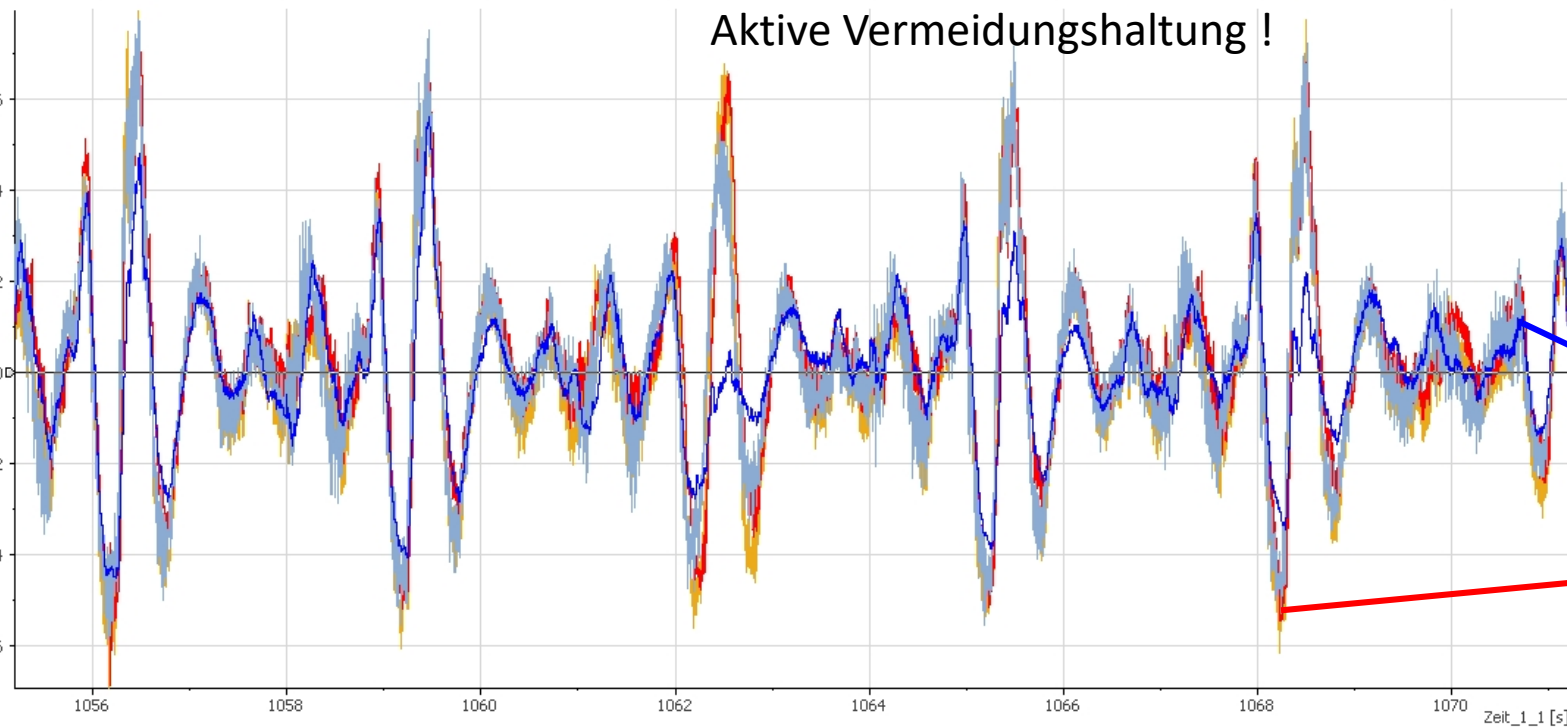
Vergleichsversuche Juni-Juli 2020

Mensch (80 kg) vs. Dummy (80 kg) und Mensch (70 kg) vs. Mensch (100 kg)



Bundeswehr
Wir. Dienen. Deutschland.

Aktive Vermeidungshaltung !



Name	
Einheit	
☐ 1.1.3 - Einl links hinten (Z)	M/S^2
☐ 1.2.2 - Dummy links hinten (Z)	M/S^2
☐ 1.3.1 - Einl rechts hinten (Z)	M/S^2
☐ 1.3.4 - Mensch rechts hinten (Z)	M/S^2

Mensch 80kg

Dummy 80kg

Person 1 (80 kg) und Dummy (80 kg)

Energetische Mittelwerte																	
Seite 3 von 4	01.07.2020			Dingo , Mensch vs. Dummy													
Messbahn	Mensch Einleitung			Mensch			Dummy Einleitung			Dummy			Veränderung %				
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z		
Beton	0,13	0,12	0,36	0,21	0,15	0,28	0,13	0,12	0,36	0,16	0,14	0,34	-24	-7	21		
Feld-/Waldweg	0,48	0,87	0,82	0,68	0,97	0,66	0,50	0,86	0,84	0,57	0,99	0,74	-16	2	12		
Schotterkurs	0,26	0,43	0,85	0,43	0,51	0,70	0,26	0,43	0,87	0,30	0,49	0,80	-30	-4	14		

Schwingungsbelastungsprofil (a _{we} - Werte nach VDI 2057 von 2002, Zeiten nach LärmVibrationArbSchV 2007)																									
Seite 2 von 4		01.07.2018		Dingo		Mensch vs. Dummy																			
Messbahn	v	Mensch Einleitung				Mensch				Dummy Einleitung				Dummy				Veränderung in %							
		(km/h)	X	Y	Z	X	Y	Z	(min)	X	Y	Z	X	Y	Z	(min)	X	Y	Z	(min)	X	Y	Z		
Beton	30	0,10	0,13	0,28	0,14	0,14	0,23	>8h	0,10	0,13	0,28	0,12	0,15	0,28	>8h	-14	7	22	-	-	-	-	-	-	
Beton	50	0,17	0,11	0,39	0,24	0,15	0,30	>8h	0,18	0,11	0,39	0,20	0,13	0,37	>8h	-17	-13	23	-	-	-	-	-	-	
Beton	60	0,10	0,12	0,40	0,23	0,14	0,29	>8h	0,10	0,15	0,14	0,23	0,12	0,28	>8h	-12	28	3	-	-	-	-	-	-	
Feld-/Waldweg	5-10	0,46	0,84	0,67	0,64	0,94	0,55	>8h	0,48	0,83	0,68	0,54	0,96	0,59	>8h	-16	2	7	-	-	-	-	-	-	
Feld-/Waldweg	5-10	0,49	0,89	0,95	0,72	1,00	0,75	>8h	0,52	0,88	0,97	0,60	1,01	0,85	>8h	-17	1	13	-	-	-	-	-	-	
Schotterkurrs	20	0,25	0,35	0,69	0,41	0,42	0,60	>8h	0,25	0,36	0,69	0,27	0,41	0,63	>8h	-34	-2	5	-	-	-	-	-	-	
Schotterkurrs	30	0,27	0,40	0,82	0,40	0,47	0,68	>8h	0,27	0,40	0,83	0,30	0,45	0,78	>8h	-25	-4	15	-	-	-	-	-	-	
Schotterkurrs	40	0,27	0,53	1,02	0,48	0,63	0,81	47%	0,27	0,52	1,04	0,33	0,59	0,97	32%	-31	-6	20	-	-	-	-	-	-	

Person 2 (70 kg) und Person 3 (100 kg)

Energetische Mittelwerte																
Seite 3 von 4 , 10.07.2020				Dingo , Lothar links, Christian rechts												
Messbahn	Einleitung			Lothar			Einleitung			Christian			Veränderung in %			
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
Sinusbahn 4m	0,59	0,17	0,27	0,79	0,24	0,25	0,59	0,17	0,29	0,83	0,22	0,29	5	-8	16	
Sinusbahn 7m	0,47	0,14	0,40	0,89	0,18	0,37	0,46	0,13	0,41	0,91	0,18	0,61	2	0	65	
Var. Waschbrett	0,65	0,67	1,77	1,14	0,87	1,53	0,68	0,67	1,64	1,08	0,83	1,83	-5	-5	20	
Waschbrett	1,28	0,60	4,63	1,01	0,55	3,20	1,24	0,44	2,79	1,22	0,40	1,98	21	-27	-38	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Messbahn	Einleitung			Christian			Einleitung			Lothar			Veränderung in %			
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
Sinusbahn 4m	0,65	0,17	0,28	0,88	0,25	0,36	0,65	0,17	0,28	0,90	0,21	0,27	5	-18	-25	
Sinusbahn 7m	0,53	0,12	0,43	1,01	0,17	0,61	0,50	0,10	0,41	0,98	0,14	0,38	-3	-18	-38	
Var. Waschbrett	0,64	0,67	1,80	1,14	0,87	1,91	0,69	0,67	1,87	1,17	0,78	1,36	3	-10	-29	
Waschbrett	1,17	0,49	4,18	1,06	0,46	3,10	1,12	0,42	2,67	1,09	0,39	1,53	-7	-15	-51	

Schwingsbelastungsprofil (a _h - Werte nach VDI 2057 von 2002, Zeiten nach LärmvibrationArbSchV 2007)																															
Seite 2 von 4		10.07.2020		Dingo		Lohr, links		Christian		rechts																					
Messbahn		v						Fahrer Einleitung						Lohr						Beifahrer Einleitung						Lohr					
		[km/h]		X		Y		Z		[mm/s]		X		Y		Z		[mm/s]		X		Y		Z		[mm/s]					
5	Simusbahn 4m	0,5	0,59	0,17	0,27	-8h	0,79	0,14	0,25	-8h	0,59	0,17	0,27	-8h	0,59	0,17	0,27	-8h	0,59	0,17	0,27	-8h	0,59	0,17	0,27	-8h	0,59	0,17	0,27	-8h	
5	Simusbahn 7m	10	0,31	0,11	0,19	-8h	0,54	0,14	0,18	-8h	0,31	0,10	0,21	-8h	0,56	0,15	0,23	-8h	0,31	0,10	0,21	-8h	0,56	0,15	0,23	-8h	0,31	0,10	0,21	-8h	
7	Simusbahn 7m	15	0,45	0,12	0,30	-8h	0,79	0,15	0,30	-8h	0,45	0,12	0,32	-8h	0,81	0,16	0,32	-8h	0,45	0,12	0,32	-8h	0,81	0,16	0,32	-8h	0,45	0,12	0,32	-8h	
7	Simusbahn 7m	20	0,61	0,19	0,59	-8h	1,21	0,23	0,53	-8h	0,59	0,17	0,60	-8h	1,24	0,23	0,72	-8h	0,61	0,19	0,59	-8h	1,24	0,23	0,72	-8h	0,61	0,19	0,59	-8h	
10	Var. Viaschreit	10	0,58	0,74	1,07	-8h	1,04	0,93	1,41	-8h	0,57	0,73	1,02	-8h	1,04	0,91	1,15	-8h	0,58	0,74	1,07	-8h	1,04	0,91	1,15	-8h	0,58	0,74	1,07	-8h	
10	Var. Viaschreit	15	0,56	0,70	1,22	-8h	0,90	0,88	1,05	-8h	0,52	0,70	1,18	-8h	0,92	0,90	1,05	-8h	0,56	0,70	1,22	-8h	0,92	0,90	1,05	-8h	0,56	0,70	1,22	-8h	
10	Var. Viaschreit	20	0,68	0,73	1,61	-8h	1,37	0,96	1,39	-8h	0,65	0,74	1,52	-8h	1,23	0,91	1,85	-8h	0,68	0,73	1,61	-8h	1,37	0,96	1,39	-8h	0,68	0,73	1,61	-8h	
10	Var. Viaschreit	25	0,67	0,70	2,12	-8h	1,37	0,97	1,86	-8h	0,78	0,75	1,89	-8h	1,08	0,98	2,13	-8h	0,67	0,70	2,12	-8h	1,37	0,97	1,86	-8h	0,67	0,70	2,12	-8h	
10	Var. Viaschreit	30	0,70	0,57	2,45	-8h	1,13	0,78	2,14	-8h	0,70	0,56	2,20	-8h	1,09	0,74	2,44	-8h	0,70	0,57	2,45	-8h	1,13	0,78	2,14	-8h	0,70	0,57	2,45	-8h	
10	Var. Viaschreit	35	0,91	0,54	4,40	-8h	1,67	0,49	2,84	-8h	0,98	0,48	2,70	-8h	1,42	0,40	2,79	-8h	0,91	0,54	4,40	-8h	1,67	0,49	2,84	-8h	0,91	0,54	4,40	-8h	
10	Var. Viaschreit	40	0,85	0,54	4,40	-8h	1,67	0,49	2,84	-8h	0,98	0,48	2,70	-8h	1,42	0,40	2,79	-8h	0,85	0,54	4,40	-8h	1,67	0,49	2,84	-8h	0,85	0,54	4,40	-8h	
10	Var. Viaschreit	45	1,33	0,59	5,17	-8h	1,12	0,52	3,63	-8h	1,29	0,42	3,57	-8h	1,23	0,38	2,92	-8h	1,33	0,59	5,17	-8h	1,12	0,52	3,63	-8h	1,33	0,59	5,17	-8h	
10	Var. Viaschreit	50	1,51	0,68	4,29	-8h	1,25	0,61	3,08	-8h	1,49	0,42	2,97	-8h	1,41	0,31	2,82	-8h	1,51	0,68	4,29	-8h	1,25	0,61	3,08	-8h	1,51	0,68	4,29	-8h	
Messbahn		v						Einleitung						Christian						Einleitung						Lohr					
		[km/h]		X		Y		Z		[mm/s]		X		Y		Z		[mm/s]		X		Y		Z		[mm/s]					
5	Simusbahn 4m	0,5	0,65	0,17	0,26	-8h	0,86	0,25	0,36	-8h	0,65	0,17	0,28	-8h	0,90	0,21	0,27	-8h	0,65	0,17	0,28	-8h	0,90	0,21	0,27	-8h	0,65	0,17	0,28	-8h	
5	Simusbahn 7m	10	0,38	0,10	0,20	-8h	0,67	0,13	0,21	-8h	0,37	0,10	0,20	-8h	0,67	0,12	0,18	-8h	0,38	0,10	0,20	-8h	0,67	0,12	0,18	-8h	0,38	0,10	0,20	-8h	
7	Simusbahn 7m	15	0,45	0,11	0,29	-8h	0,95	0,15	0,33	-8h	0,45	0,11	0,33	-8h	0,95	0,16	0,30	-8h	0,45	0,11	0,29	-8h	0,95	0,16	0,30	-8h	0,45	0,11	0,29	-8h	
7	Simusbahn 7m	20	0,70	0,14	0,65	-8h	1,40	0,22	0,97	-8h	0,69	0,10	0,61	-8h	1,35	0,15	0,57	-8h	0,70	0,14	0,65	-8h	1,40	0,22	0,97	-8h	0,70	0,14	0,65	-8h	
10	Var. Viaschreit	10	0,61	0,73	1,01	-8h	1,03	0,95	1,21	-8h	0,61	0,73	0,96	-8h	1,01	0,90	0,85	-8h	0,62	0,74	1,02	-8h	1,03	0,96	0,82	-8h	0,61	0,73	1,01	-8h	
10	Var. Viaschreit	15	0,58	0,74	1,21	-8h	1,04	0,93	1,41	-8h	0,56	0,70	1,15	-8h	0,92	0,93	1,10	-8h	0,58	0,74	1,21	-8h	1,04	0,93	1,10	-8h	0,58	0,74	1,21	-8h	
10	Var. Viaschreit	20	0,66	0,70	1,75	-8h	1,03	0,91	1,96	-8h	0,68	0,70	1,63	-8h	1,01	0,96	1,88	-8h	0,66	0,70	1,75	-8h	1,03	0,96	1,88	-8h	0,66	0,70	1,75	-8h	
10	Var. Viaschreit	25	0,74	0,66	2,01	-8h	1,18	0,84	2,13	-8h	0,81	0,65	1,88	-8h	1,28	0,73	1,90	-8h	0,74	0,66	2,01	-8h	1,18	0,84	2,13	-8h	0,74	0,66	2,01	-8h	
10	Var. Viaschreit	30	0,81	0,56	2,56	-8h	1,07	0,77	2,51	-8h	0,88	0,56	2,35	-8h	1,15	0,61	1,78	-8h	0,81	0,56	2,56	-8h	1,07	0,77	2,51	-8h	0,81	0,56	2,56	-8h	
10	Var. Viaschreit	35	0,85	0,48	4,24	-8h	1,07	0,77	3,82	-8h	0,89	0,48	3,82	-8h	1,11	0,47	3,71	-8h	0,85	0,48	4,24	-8h	1,07	0,77	3,82	-8h	0,85	0,48	4,24	-8h	
10	Var. Viaschreit	40	1,22	0,51	4,77	-8h	1,10	0,49	3,13	-8h	1,22	0,43	2,79	-8h	1,10	0,41	1,88	-8h	1,22	0,51	4,77	-8h	1,10	0,49	3,13	-8h	1,22	0,51	4,77	-8h	
10	Var. Viaschreit	45	1,39	0,48	3,43	-8h	1,31	0,48	2,13	-8h	1,22	0,37	2,17	-8h	1,31	0,38	1,34	-8h	1,39	0,48	3,43	-8h	1,31	0,48	2,13	-8h	1,39	0,48	3,43	-8h	



Ergebnis:

- Der biofidele Dummy lieferte mit Abstand die besten Vergleichswerte aller vorher erprobten Dummy-Versionen.
- Er bildete einen guten Vergleichswert zu einem 80kg-Mensch und einen guten Mittelwert zwischen einem 70kg- und einem 100kg-Menschen ab. (Menschen in passiver Sitzhaltung!)
- Der Beschleunigungsverlauf ließ sich im Gegensatz zu den bisher eingesetzten Dummies nicht mehr von einem Menschen mit passiver Sitzhaltung unterscheiden.



WEITERFÜHRENDE BETRACHTUNGEN

Probleme bei der Versuchsdurchführung und Bewertung

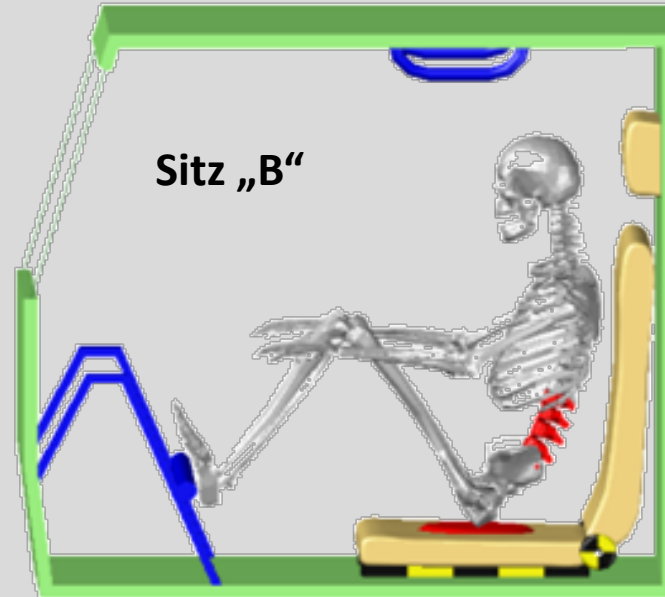
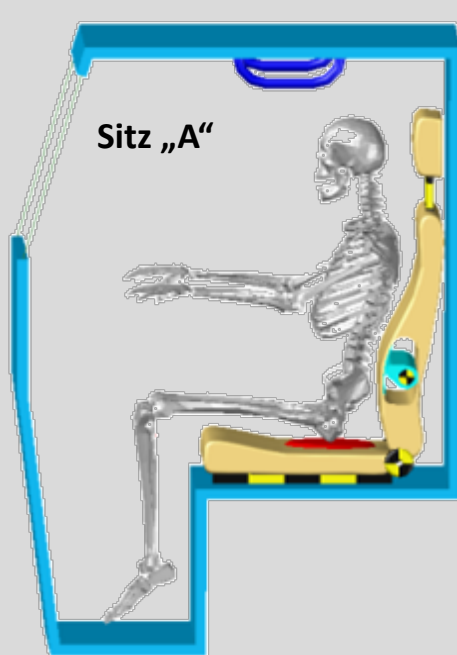


Diese Probleme sind in den bisher angewandten Verfahren nicht
berücksichtigt



WEITERFÜHRENDE BETRACHTUNGEN

Einfluss der Arbeitsplatzgestaltung



Sitz „A“

- Stöße nur durch Sitzpolster gedämpft
- fehlende Fußstütze

Sitz „B“

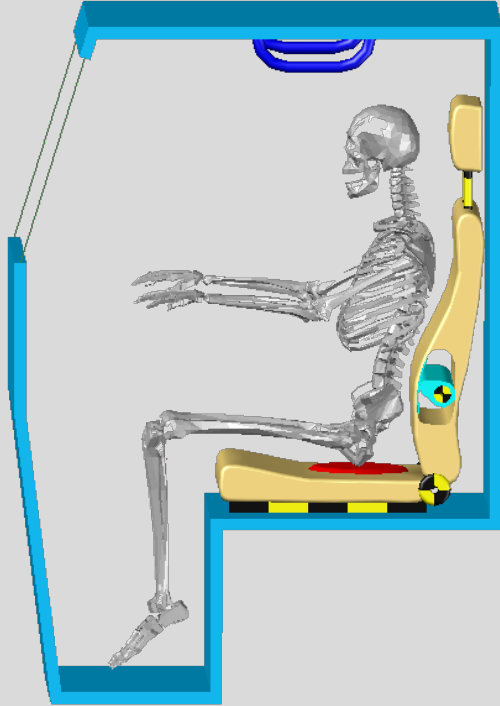
- Körperhaltung
(gekrümmter Rücken / ungünstige Gelenkwinkel)
- Stöße nur durch Sitzpolster gedämpft

- Fußstütze wirkungslos
- keine verstellbare Kopfstütze
- Einsätze bis zu 96 Stunden



WEITERFÜHRENDE BETRACHTUNGEN

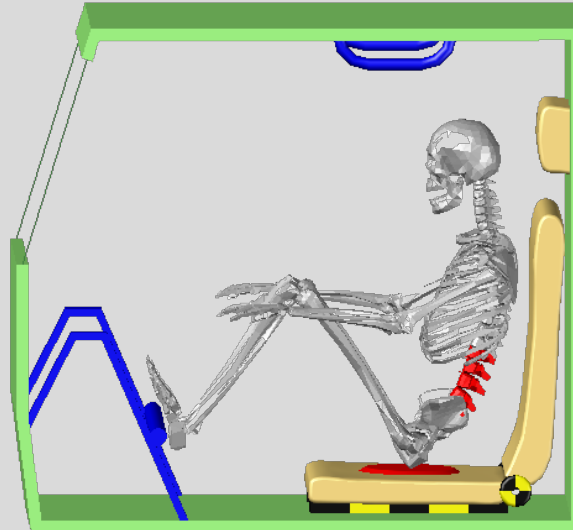
Sitzverhalten der Insassen



Sitzhaltung A, „passiv“

V Versuchsergebnis:

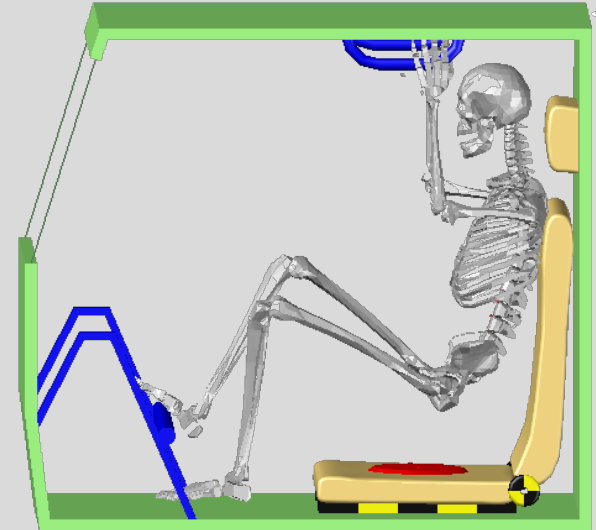
zul. Expos.-Zeit: 6 h



Sitzhaltung B, „passiv“

V Versuchsergebnis:

zul. Expos.-Zeit: 6 h



Vermeidungshaltung B, „aktiv“

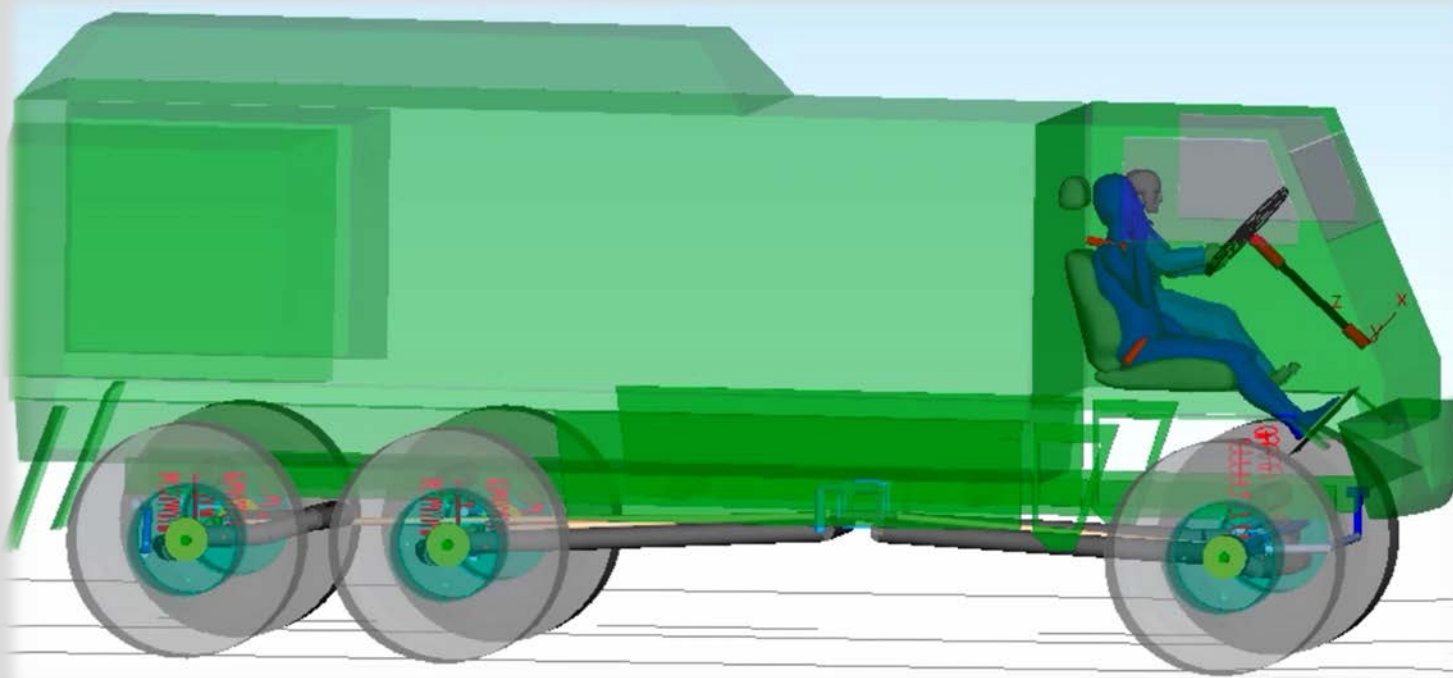
V Versuchsergebnis:

zul. Expos.-Zeit: 7 h



DYNAMISCHE BELASTUNG

Befahrung synthetische Erprobungsbahn Belgisch Block

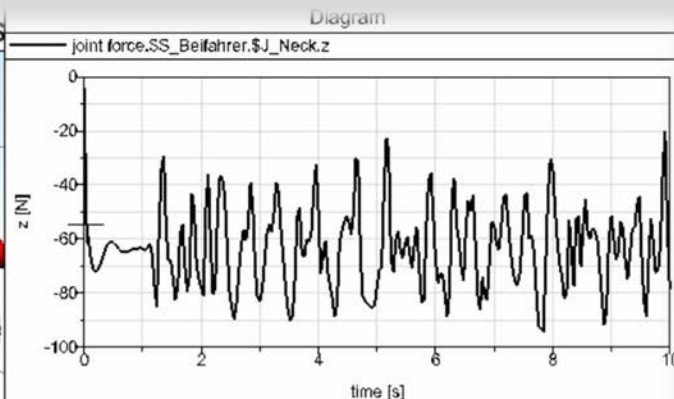
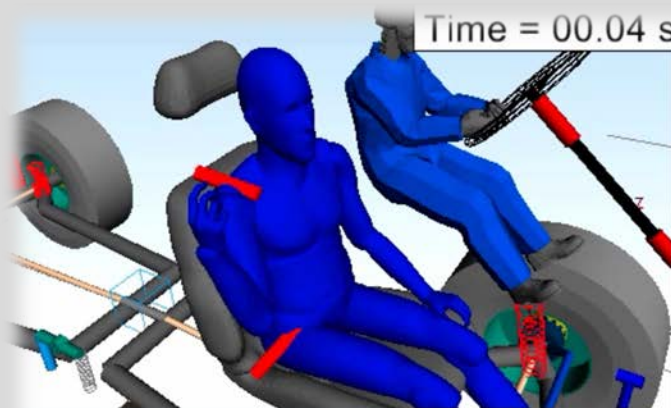


YAK Trägerfahrzeug
Konstantfahrt $v = 30 \text{ km/h}$



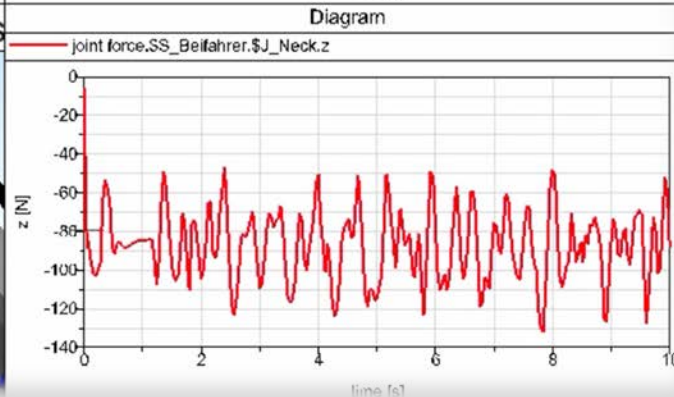
DYNAMISCHE BELASTUNG

Variantenrechnung zur humanrelevanten Schwingungsbelastung von Fz-Insassen



Einzelanalyse HWS
Kraftverlauf in z-Richtung

ohne Gefechtschelm



mit Gefechtschelm



DYNAMISCHE BELASTUNG

Realversuche

