

31.08.2022

VDI

Wissensforum

SUBMARINING – DIVERSE HBMS
IM AUTOMATISIERTEN FAHREN

M.SC. AMBRISH SRIVATS, DR.-ING. MARTIN UNGER, M.SC. ALEXANDER SPORBERT

IAT
Ingenieurgesellschaft
für Automobiltechnik mbH

GLIEDERUNG

- Ausgangslage
- Submariningverhalten THUMS v6 gegenüber THUMS v4, v5 und THOR
- Probandenstudie Wirbelpositionen
- Einfluss unterschiedlicher Wirbelsäulenkrümmungen auf die Lendenwirbelsäulenbelastung bei THUMS v4 vs. THUMS v6
- Fazit und Ausblick

GLIEDERUNG

- Ausgangslage
- Submariningverhalten THUMS v6 gegenüber THUMS v4, v5 und THOR
- Probandenstudie Wirbelpositionen
- Einfluss unterschiedlicher Wirbelsäulenkrümmungen auf die Lendenwirbelsäulenbelastung bei THUMS v4 vs. THUMS v6
- Fazit und Ausblick

AUSGANGSLAGE

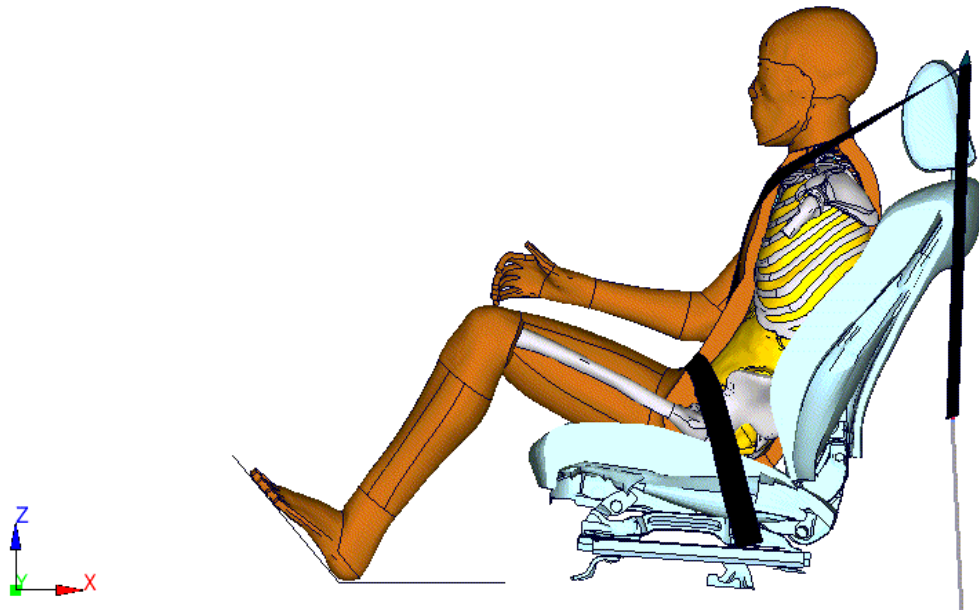
- Die voranschreitende **Automatisierung** von Kraftfahrzeugen werden eine **Vielfalt an unterschiedlichen Sitzpositionen** für die Insassen ermöglichen.
- Aktuelle Rückhaltesysteme sind auf diese **entspannten, teils liegenden** Sitzpositionen nicht ausgelegt.
- Neue Herausforderungen werden somit an die Fahrzeugsicherheitsentwicklung gestellt.
- Der nach hinten geneigte Oberkörper hat die Tendenz zum **Submarining**.



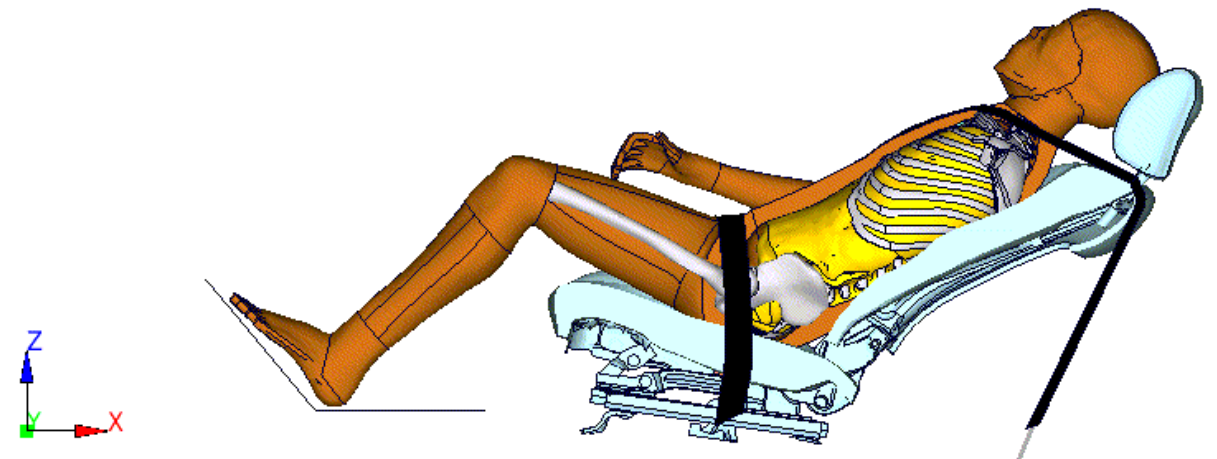
Quelle: www.volvocars.com, 2016

AUSGANGSLAGE

- Untersuchungen mit FE-Menschmodelle [Human Body Models] – THUMS.
- Liegt **kein** Submarining vor, so wird besonders die **Lendenwirbelsäule** belastet, da im Vergleich zu einer aufrechten Sitzposition die Belastung in Richtung der Wirbelsäule verläuft.

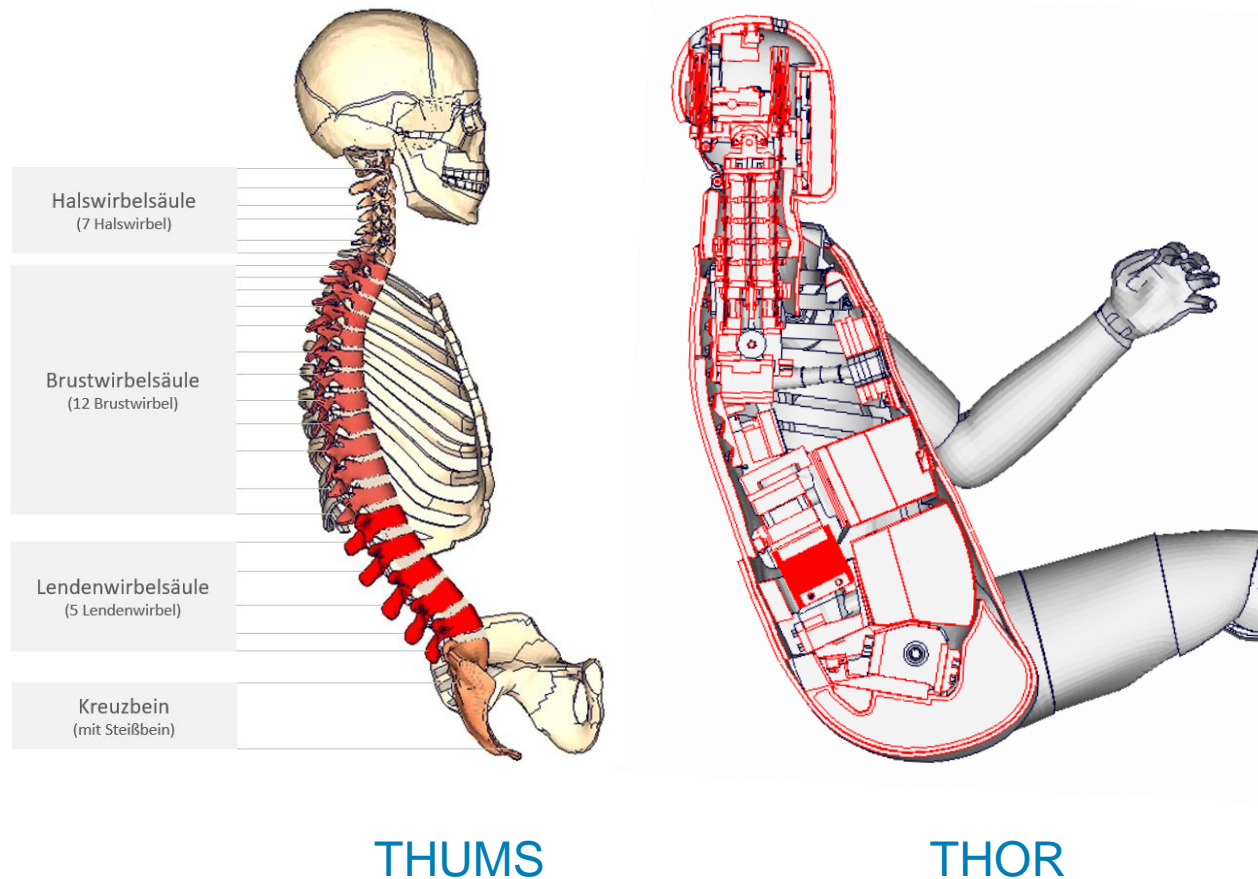


„aufrechte“ Sitzposition

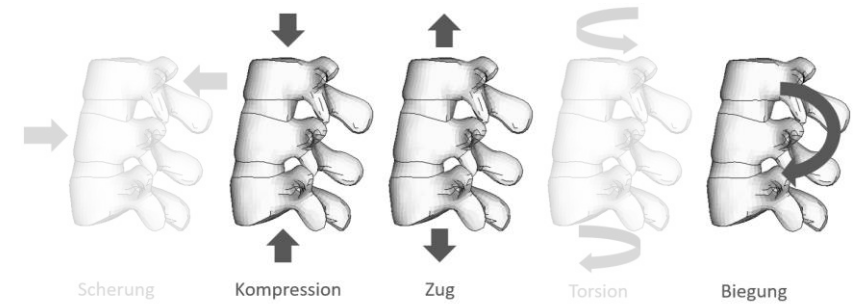


„entspannte“ Sitzposition (ohne „Submarining“)

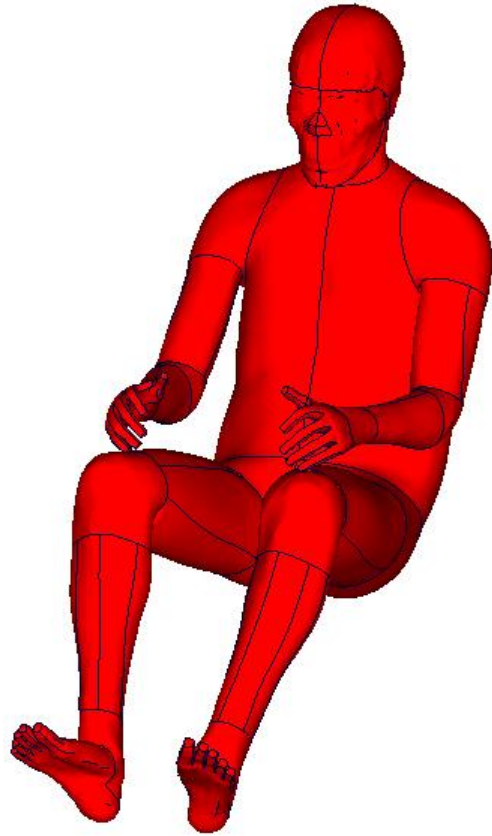
AUSGANGSLAGE



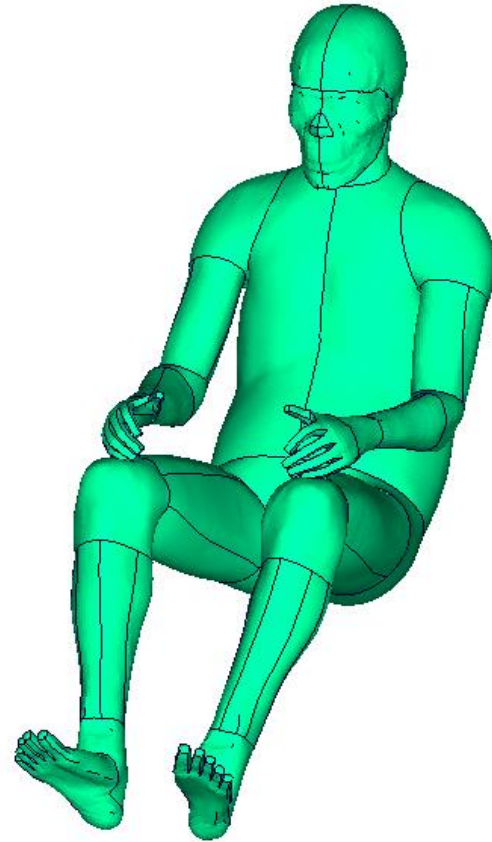
- Für einen erwachsenen Mann mit $m_{Thorax} \approx 43kg$, werden die Lendenwirbelkörper durch Axialkraft und eingeleitete Momente teils überkritisch beaufschlagt [4].
- Kompressionsfrakturen bei Stauchversuche: $F_z = 2kN$ bis $6kN$ [3]. Für aktuelle Studie $\rightarrow 6kN$.



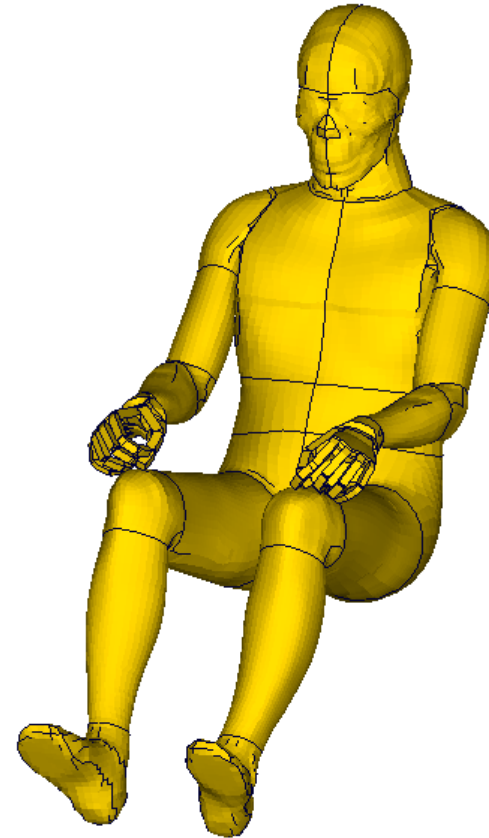
AUSGANGSLAGE



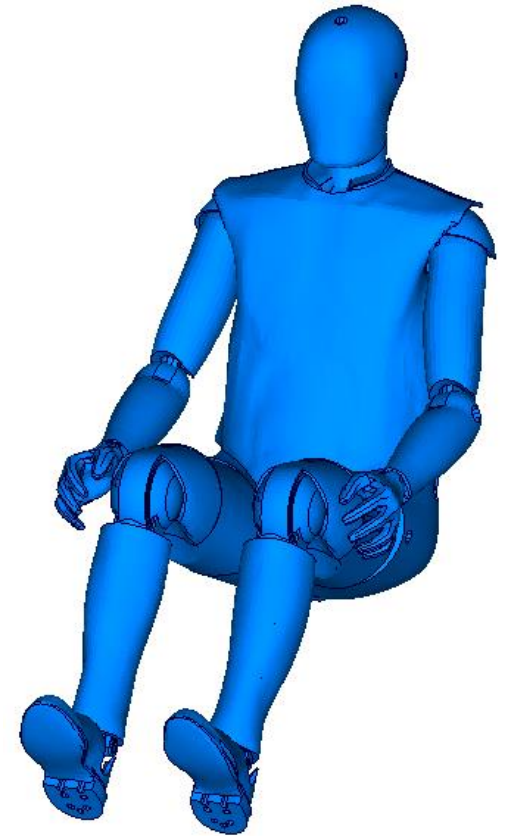
THUMS v6.1



THUMS v4.02

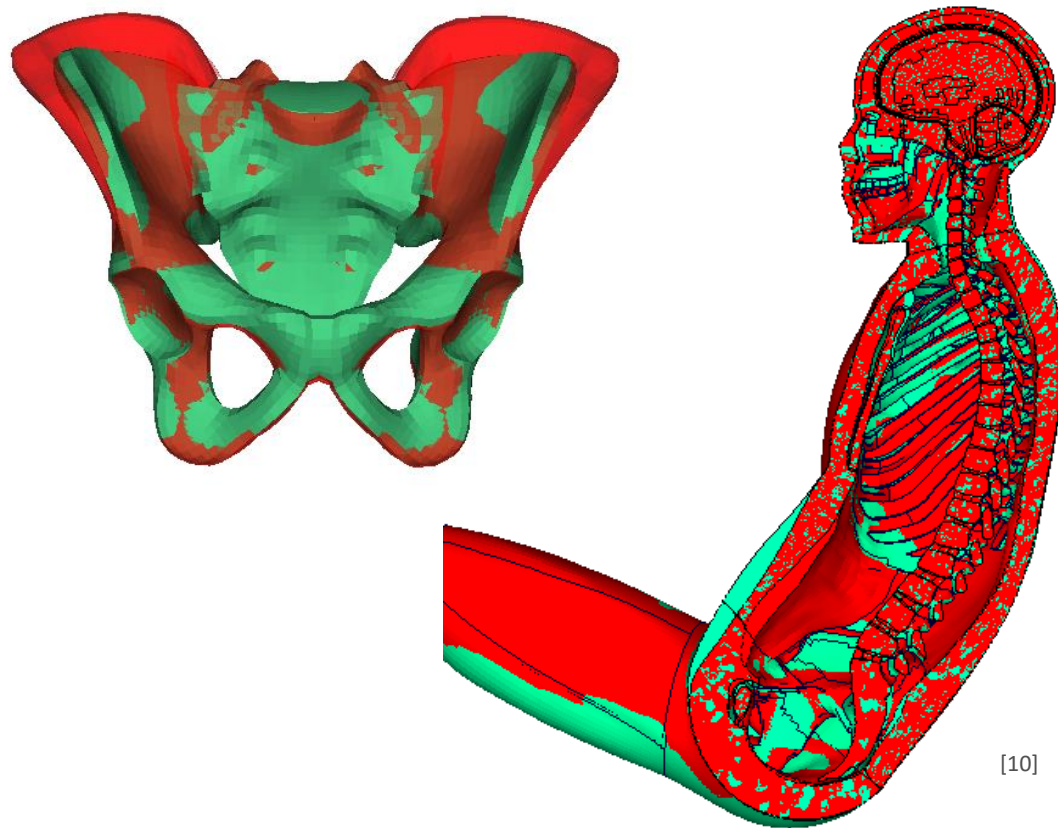


THUMS v5.0



THOR v1.01

THUMS V6 vs. ANDERE MODELLE

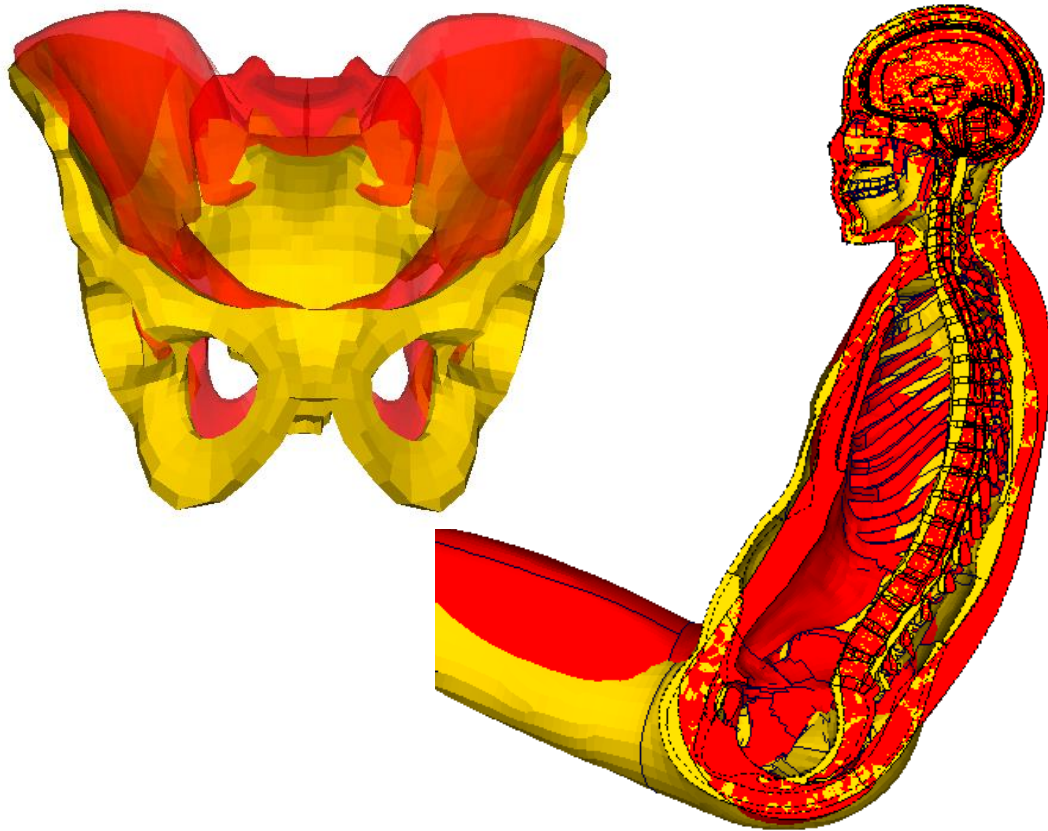


THUMS v6

THUMS v4

- Beckengeometrie in THUMS v6 wurde angepasst → UMTRI Daten.
- Bessere Abbildung der Interaktion zwischen Gurt und AM50 Becken.
- Kortikalis bei Rippen und Wirbel/ Geometrie der Bauchbereich → angepasst für AM50.
- THUMS v6 → Muscle Controller - „braced“ und „controller-normal“ Muskelmodell [10].

THUMS V6 vs. ANDERE MODELLE

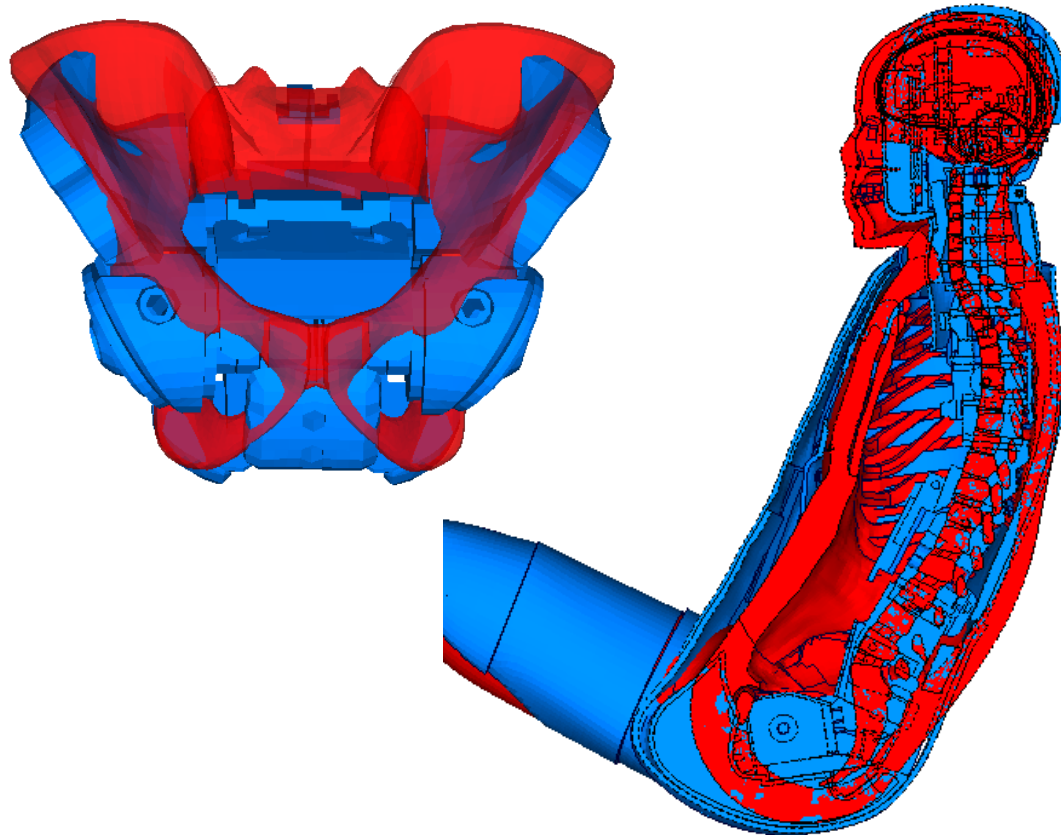


THUMS v6

THUMS v5

- Beckengeometrie in THUMS v6 wurde angepasst → UMTRI Daten.
- Bessere Abbildung der Interaktion zwischen Gurt und AM50 Becken.
- Kortikalis bei Rippen und Wirbel/ Geometrie der Bauchbereich → angepasst für AM50.
- THUMS v6 → Muscle Controller - „braced“ und „controller-normal“ Muskelmodell [10].

THUMS V6 vs. ANDERE MODELLE



THUMS v6

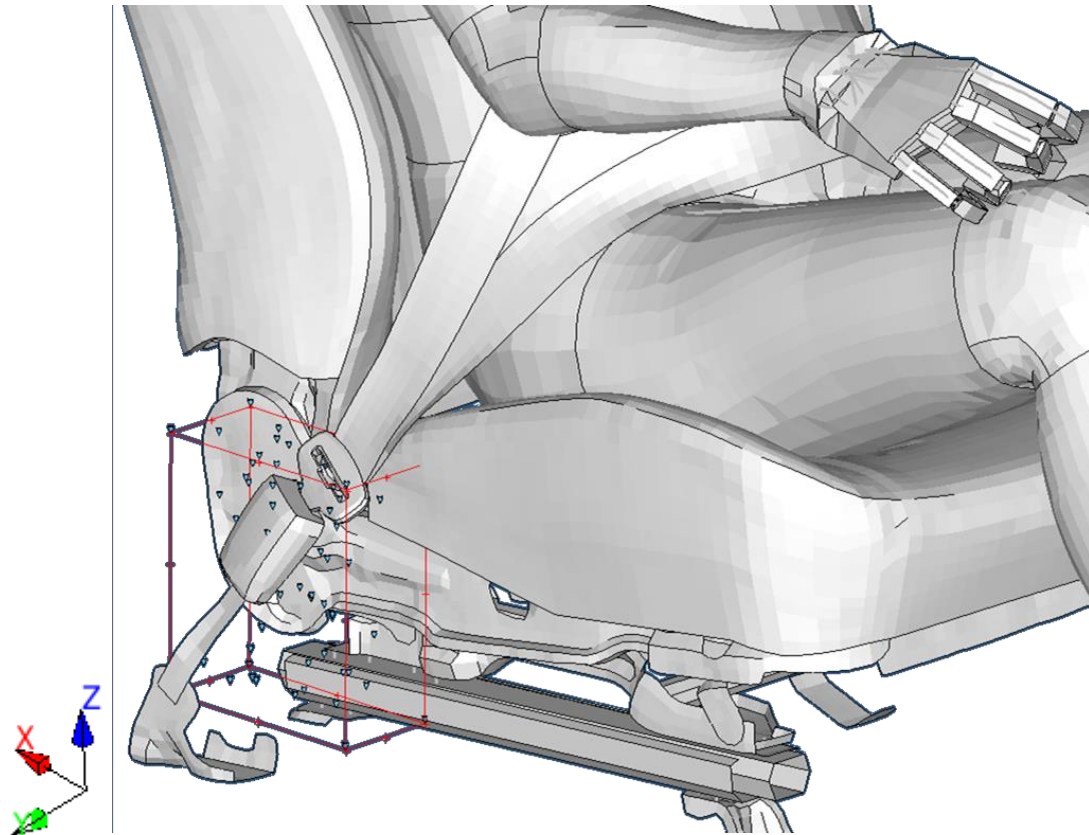
THOR

- Beckengeometrie in THUMS v6 wurde angepasst → UMTRI Daten.
- Bessere Abbildung der Interaktion zwischen Gurt und AM50 Becken.
- Kortikalis bei Rippen und Wirbel/ Geometrie der Bauchbereich → angepasst für AM50.
- THUMS v6 → Muscle Controller - „braced“ und „controller-normal“ Muskelmodell ^[10].

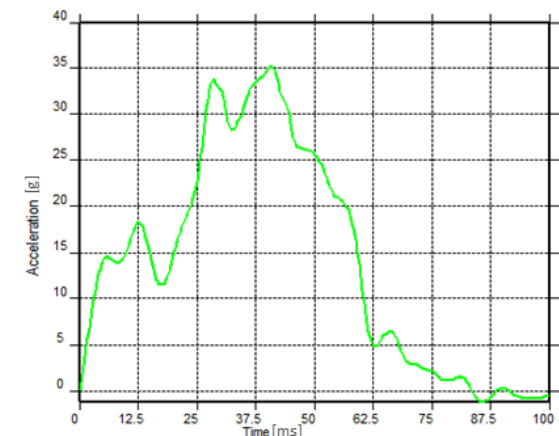
GLIEDERUNG

- Ausgangslage
- Submariningverhalten THUMS v6 gegenüber THUMS v4, v5 und THOR
- Probandenstudie Wirbelpositionen
- Einfluss unterschiedlicher Wirbelsäulenkrümmungen auf die Lendenwirbelsäulenbelastung bei THUMS v4 vs. THUMS v6
- Fazit und Ausblick

SUBMARINING DOE

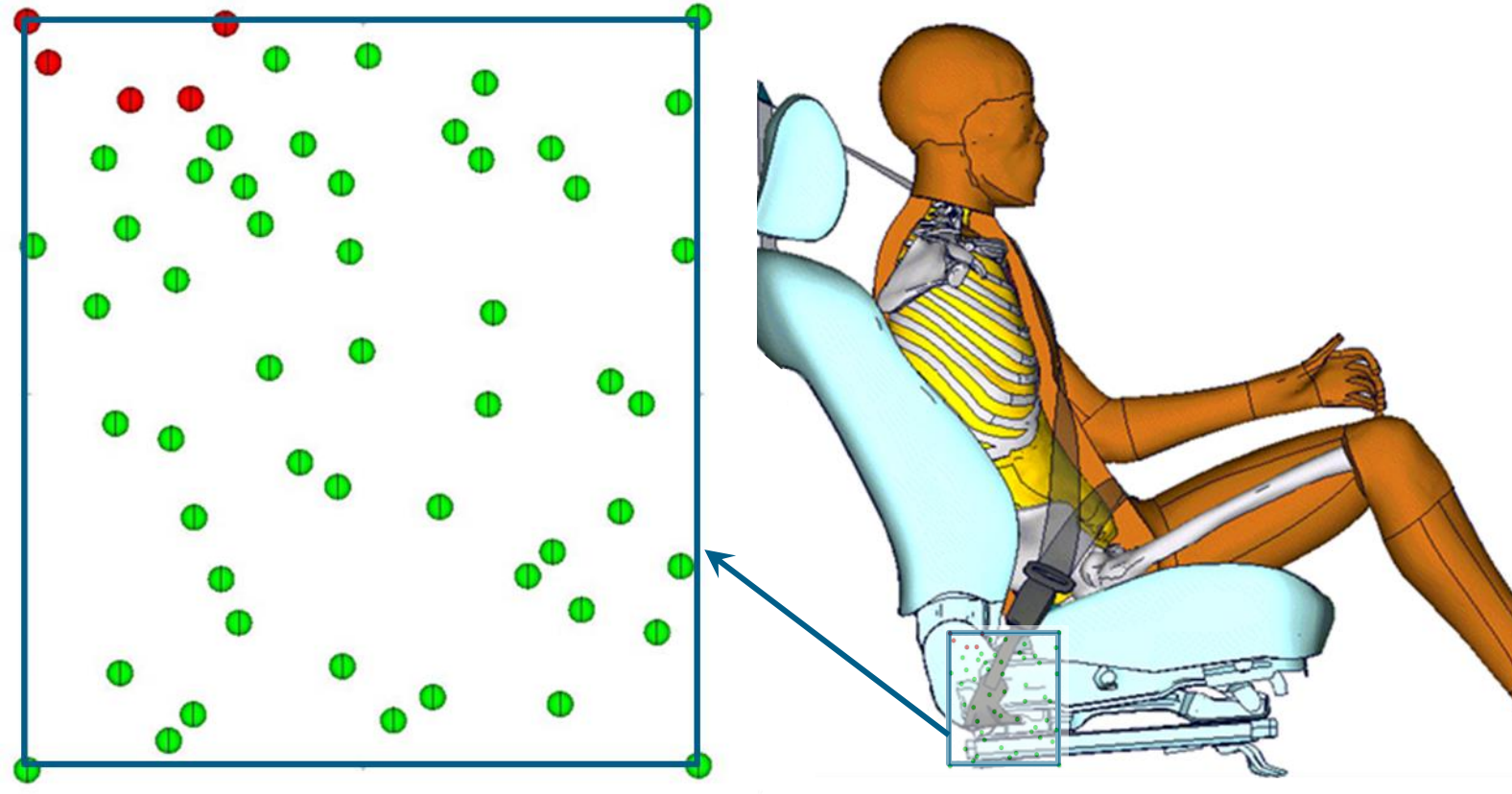


- 3D Designraum für DOEs – Submarininganalyse (150mm x 70mm x 170mm).
- Das Submariningverhalten des THOR-Dummys und des THUMS v5 Menschmodell wurde bereits untersucht und gegenübergestellt [6].
- Generische Frontcrash Puls mit Sitz, Gurt, Gurtstraffer und Gurtkraftsbegrenzer – Literatur [11].



[11]

SUBMARINING DOE

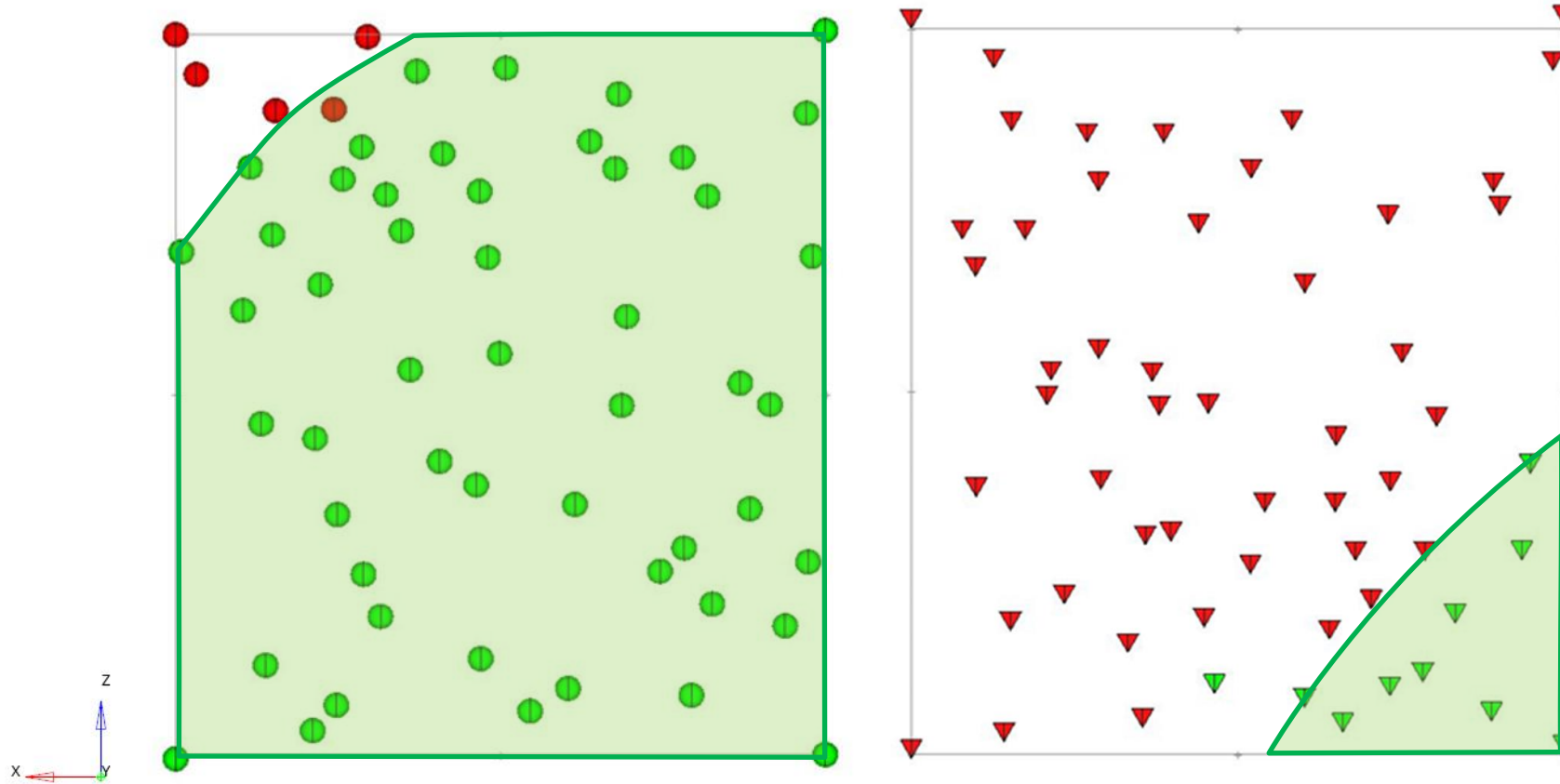


- 2D Designraum DOEs – Submarininganalyse

- keine „Submarining“
- „Submarining“

SUBMARINING DOE

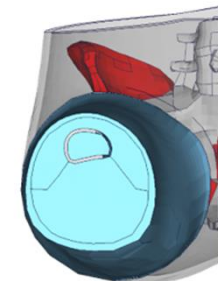
- THUMS v5 hat eine deutlich geringere Submariningneigung hier.
- THOR hat im Vergleich zum THUMS v5 ein schmaleres Becken – und darüber hinaus einen in z-Richtung kürzeren Beckenkamm [6].



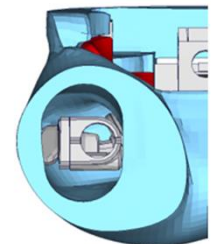
THUMS v5

THOR

keine „Submarining“

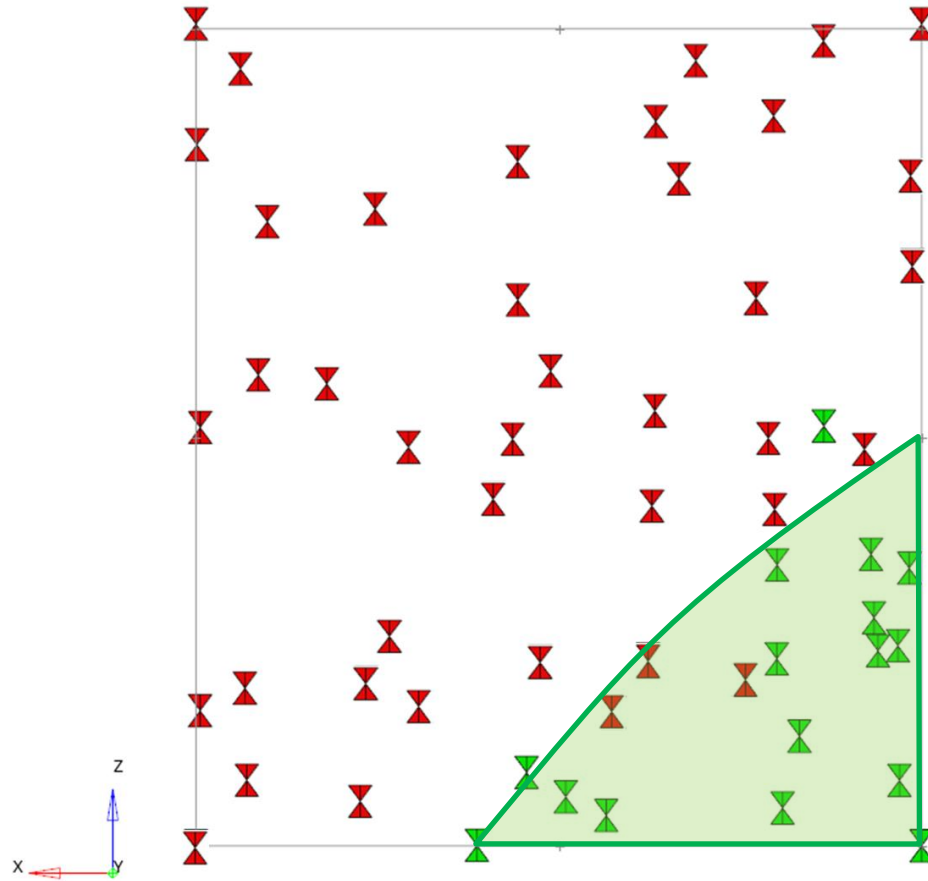


THUMS v5



THOR

SUBMARINING DOE

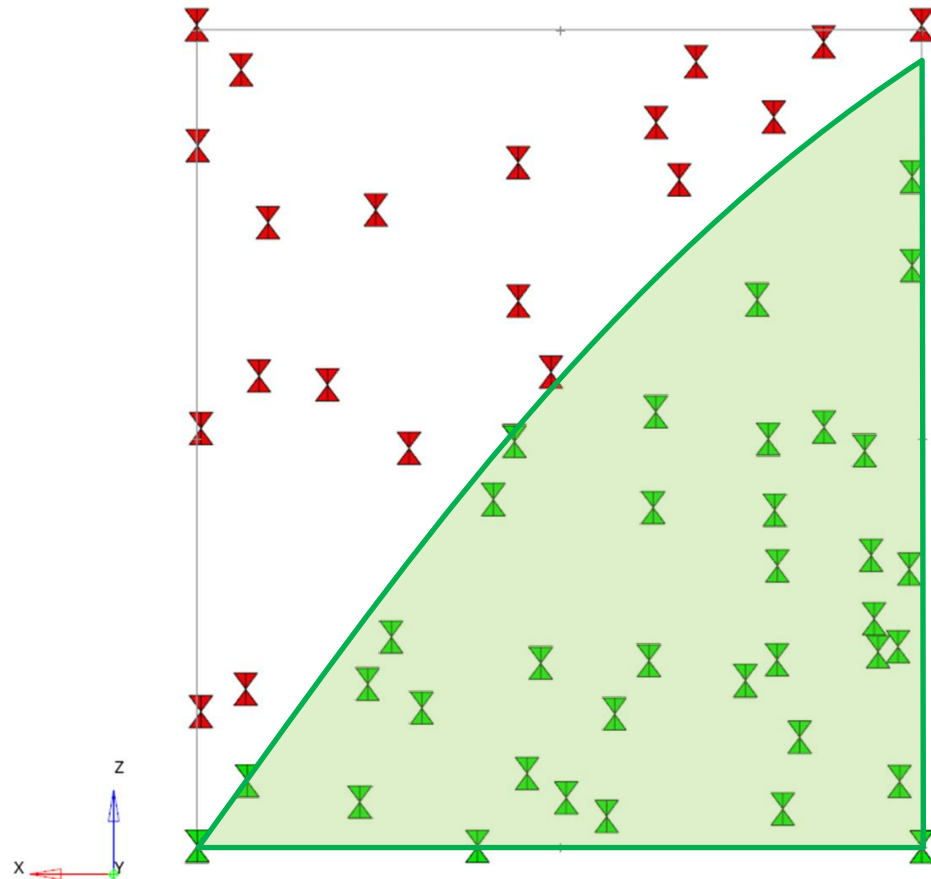


keine „Submarining“

- THUMS v4 NMA*

*NMA – No Muscle Activation

SUBMARINING DOE

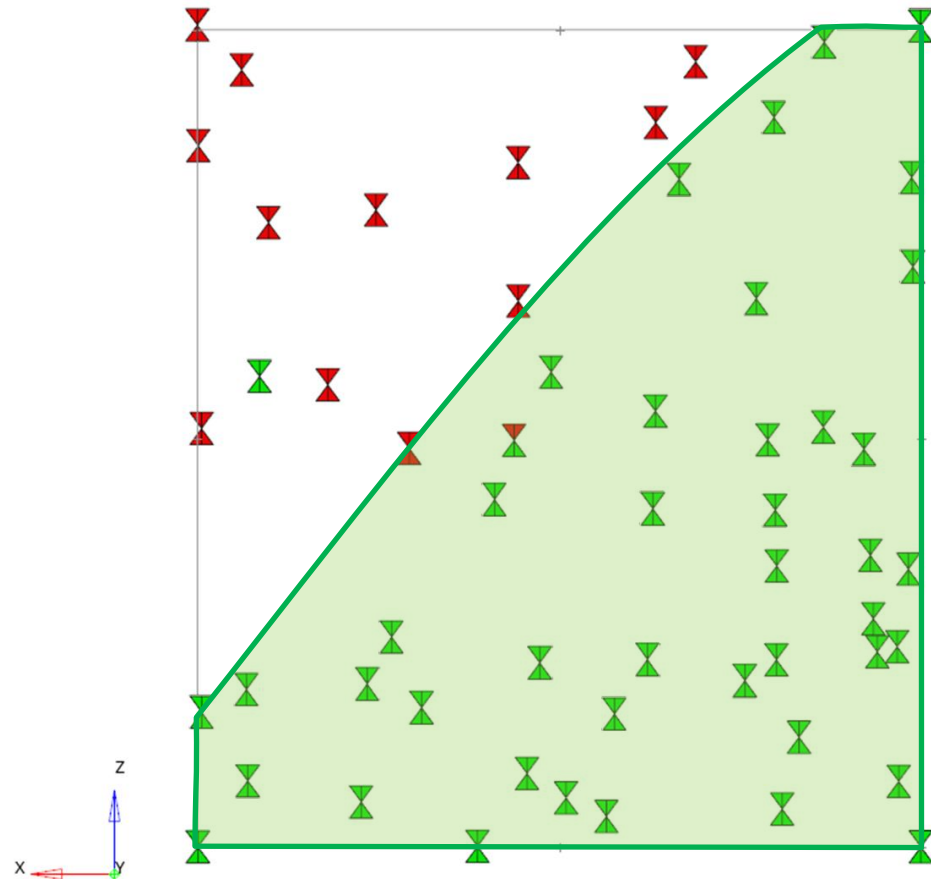


keine „Submarining“

- THUMS v6 NMA*

*NMA – No Muscle Activation

SUBMARINING DOE

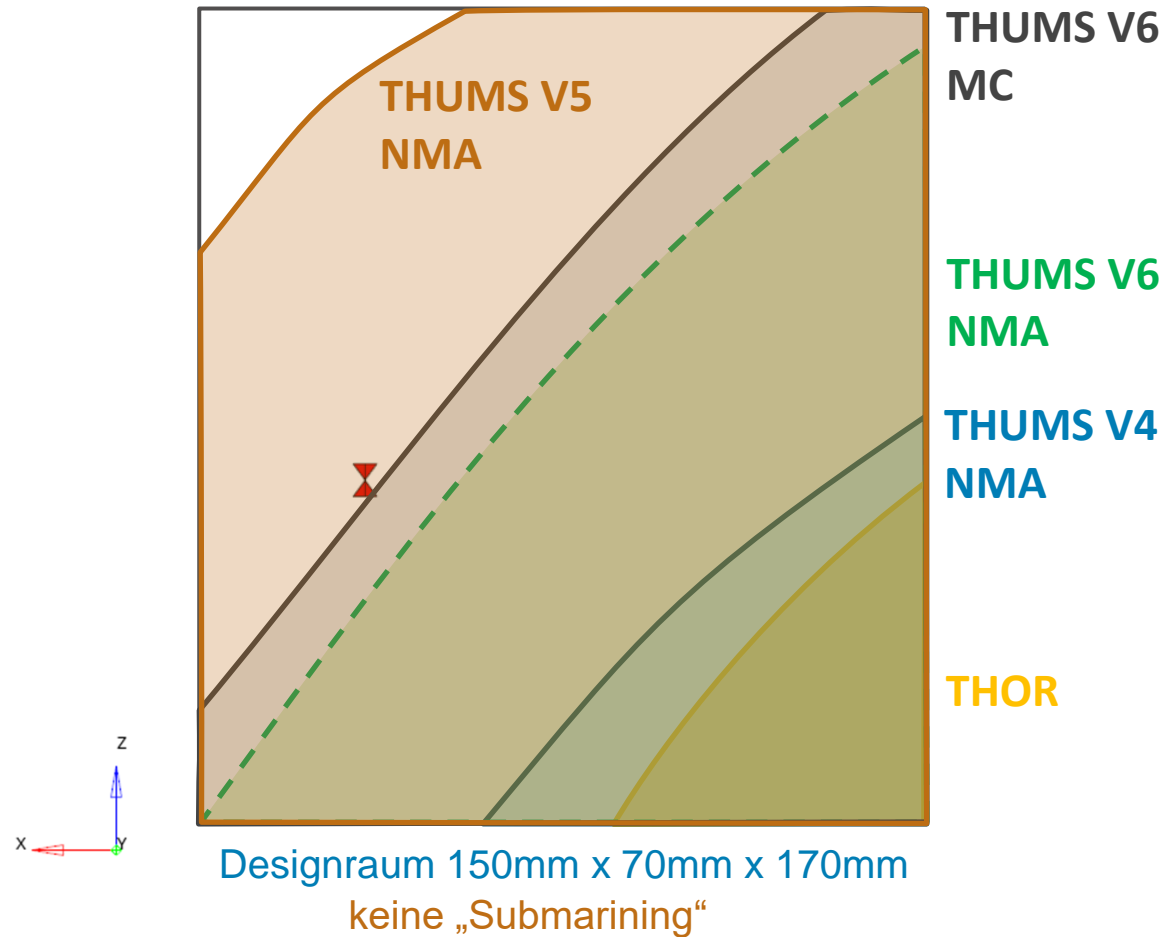


keine „Submarining“

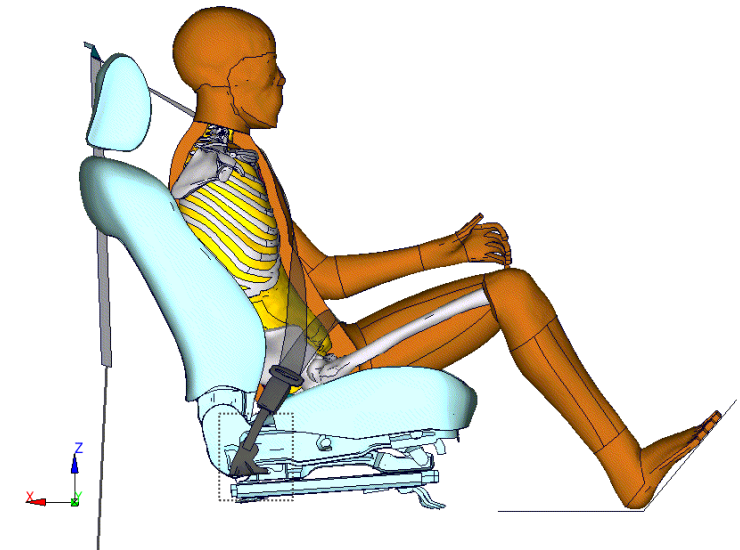
- THUMS v6 MC*

*MC – Muscle Controller

SUBMARINING DOE- VERGLEICH



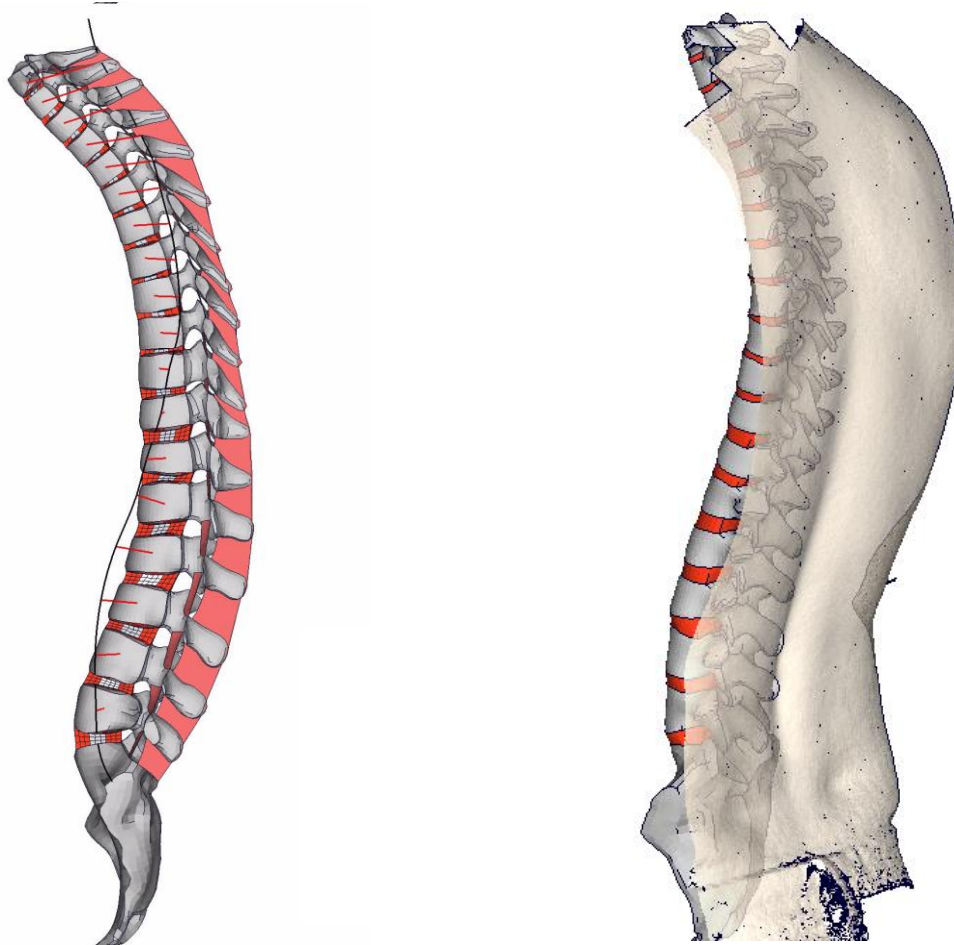
- Submariningrisiko abhängig vom Insassenmodell.
- Beispiel – Submarining in THUMS v6 NMA.



GLIEDERUNG

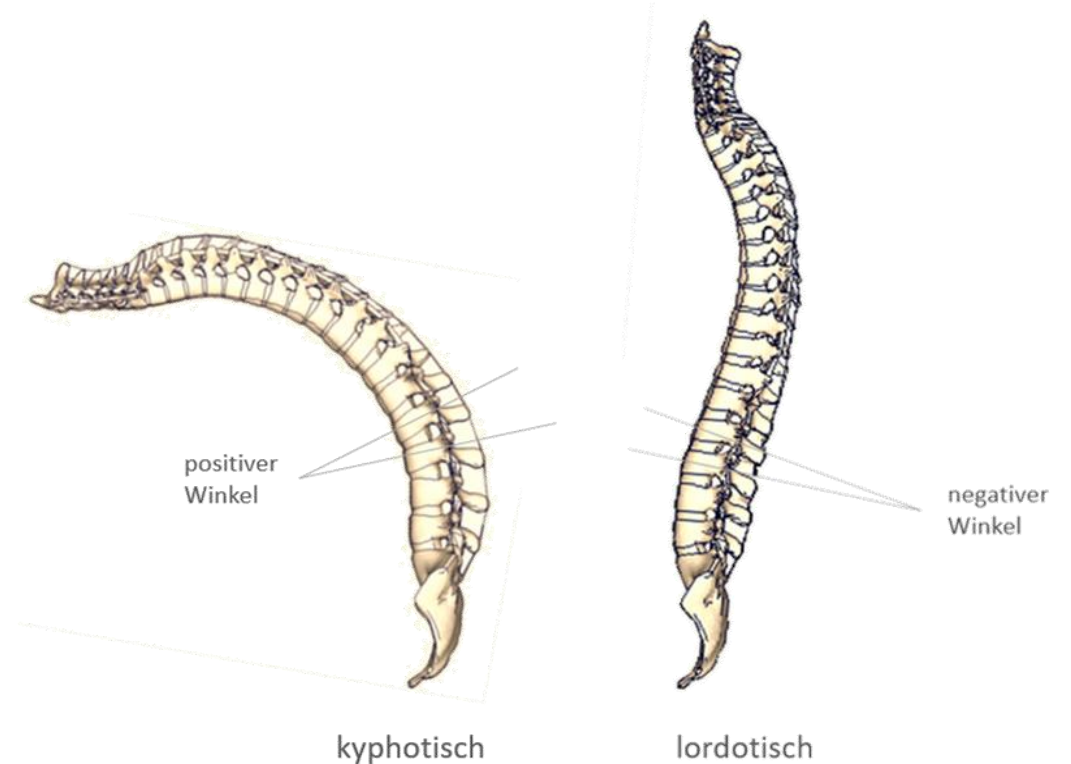
- Ausgangslage
- Submariningverhalten THUMS v6 gegenüber THUMS v4, v5 und THOR
- Probandenstudie Wirbelpositionen
- Einfluss unterschiedlicher Wirbelsäulenkrümmungen auf die Lendenwirbelsäulenbelastung bei THUMS v4 vs. THUMS v6
- Fazit und Ausblick

PROBANDENSTUDIE WIRBELPOSITIONEN



- Die Positionierung von einzelne Wirbel spielt eine große Rolle auf Lendenwirbelkraft bzgl. Verletzung.
- Studie- Ermittlung natürlicher Wirbelsäulenkrümmung mit 25 Probanden [9].
- Die erhobenen Daten werden in drei Personengruppen mit gleichem Umfang aufgeteilt.
- Überprüfung der Daten mit Hilfe von 3D Rückenscans.
- Die Literatur bestätigt die Messgenauigkeit des Systems [6].

PROBANDENSTUDIE WIRBELPOSITIONEN



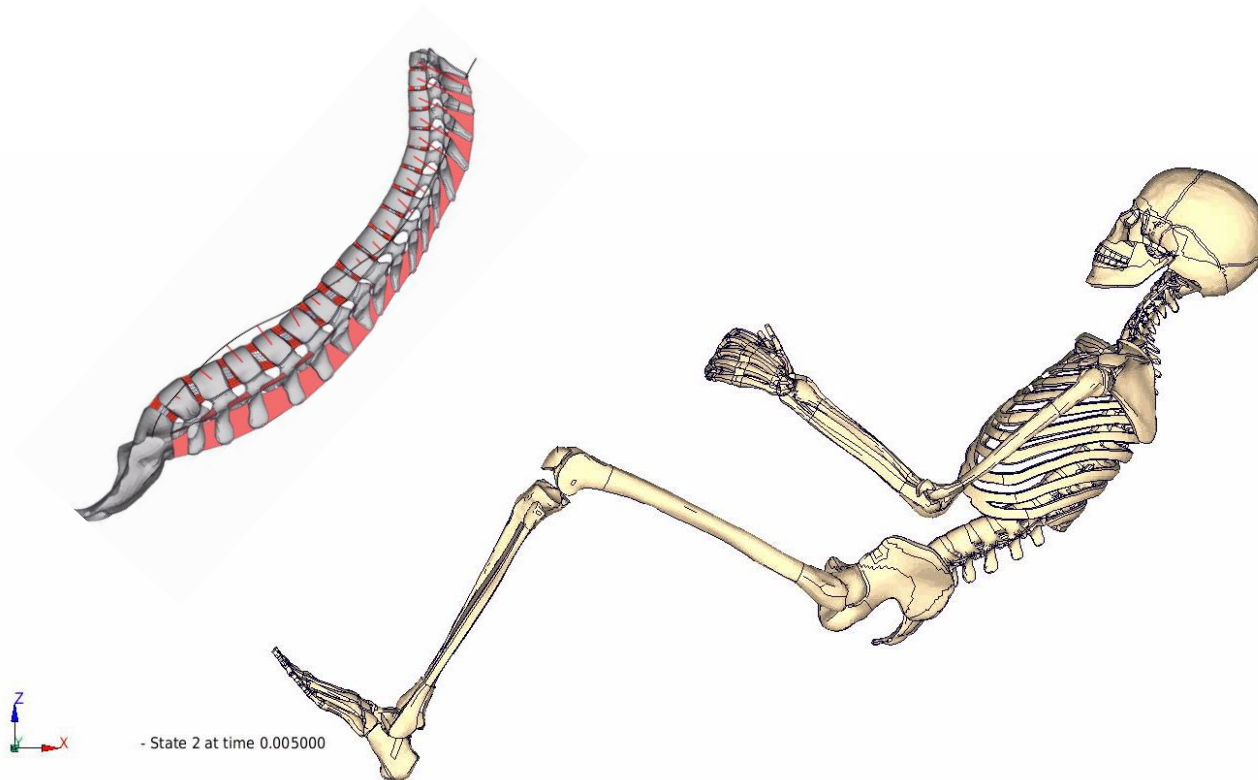
- Einstellbare Sitzkiste mit Schlitzung der Rückenlehne für Abtastung der Wirbelsäule – Aufrecht/ Entspannt/ Flach.

- In entspannter Sitzposition (Sitzlehnewinkel $\sim 60^\circ$), weist die Probanden eine zunehmend **lordotische** Lendenwirbelsäule auf [9].

GLIEDERUNG

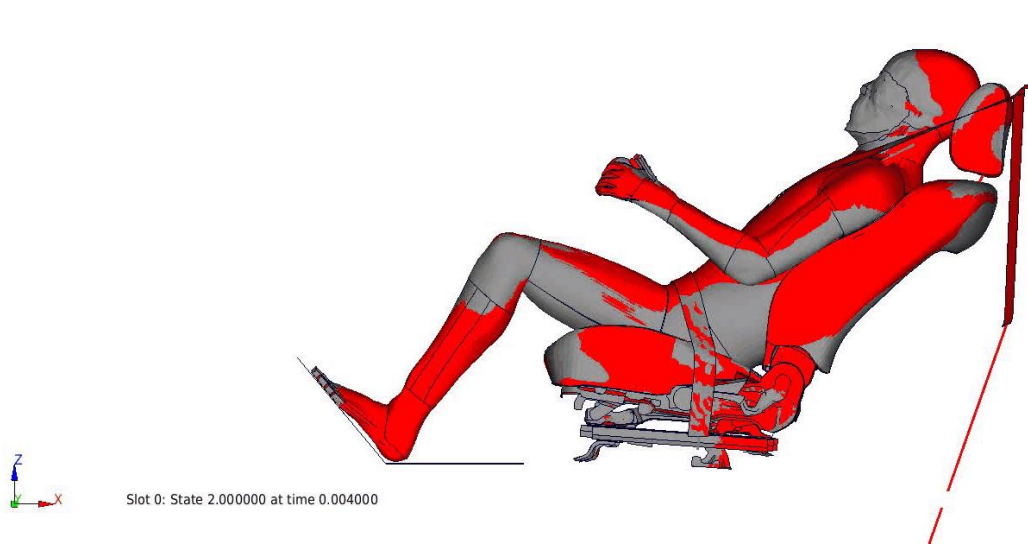
- Ausgangslage
- Submariningverhalten THUMS v6 gegenüber THUMS v4, v5 und THOR
- Probandenstudie Wirbelpositionen
- Einfluss unterschiedlicher Wirbelsäulenkrümmungen auf die Lendenwirbelsäulenbelastung bei THUMS v4 vs. THUMS v6
- Fazit und Ausblick

LORDOTISCHER VERLAUF IN LIEGEPOSITION



- Positionierung der Wirbelkörper zueinander nach Vorgabe der Messdaten.
- Die Körperhaltung wird durch die Krümmung der Wirbelsäule bestimmt.
- Genauere Abbildung bei entspannter Sitzposition– Kyphotisch/ Lordotisch.

THUMS V6 IN LIEGEPOSITION



lordotischer
Wirbelsäulenverlauf

kyphotischer
Wirbelsäulenverlauf

THUMS V4 UND V6 IN LIEGEPOSITION

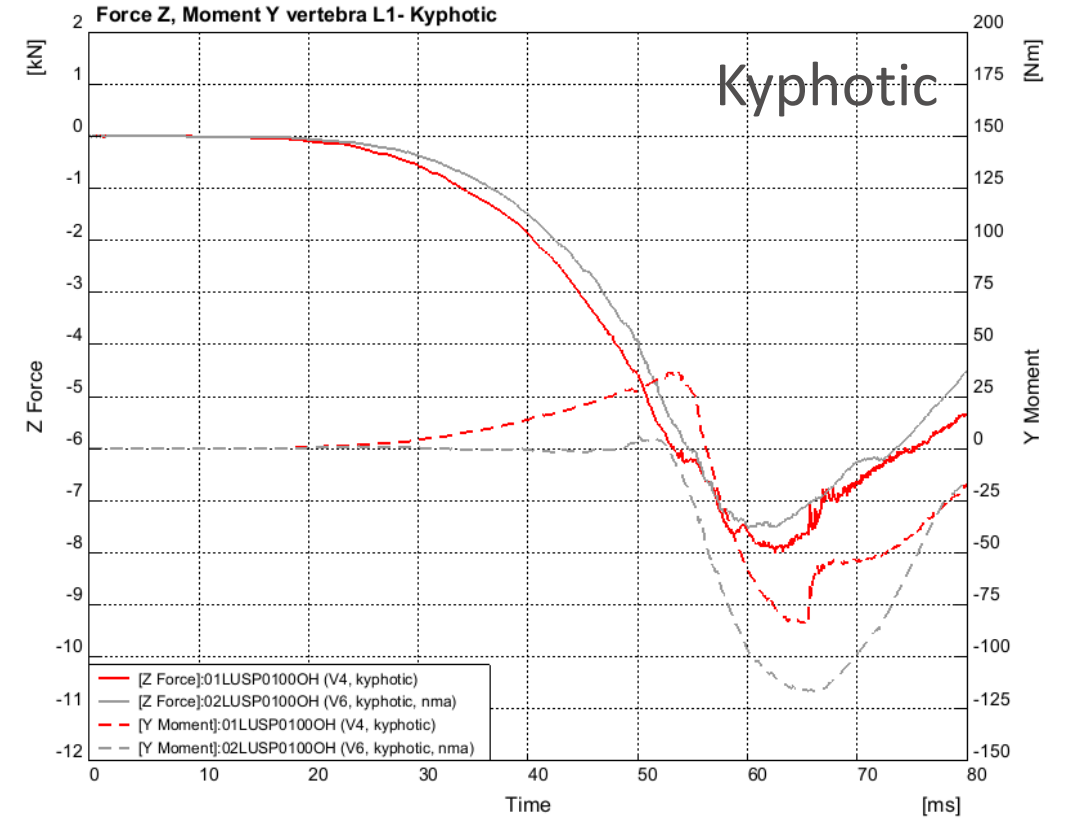
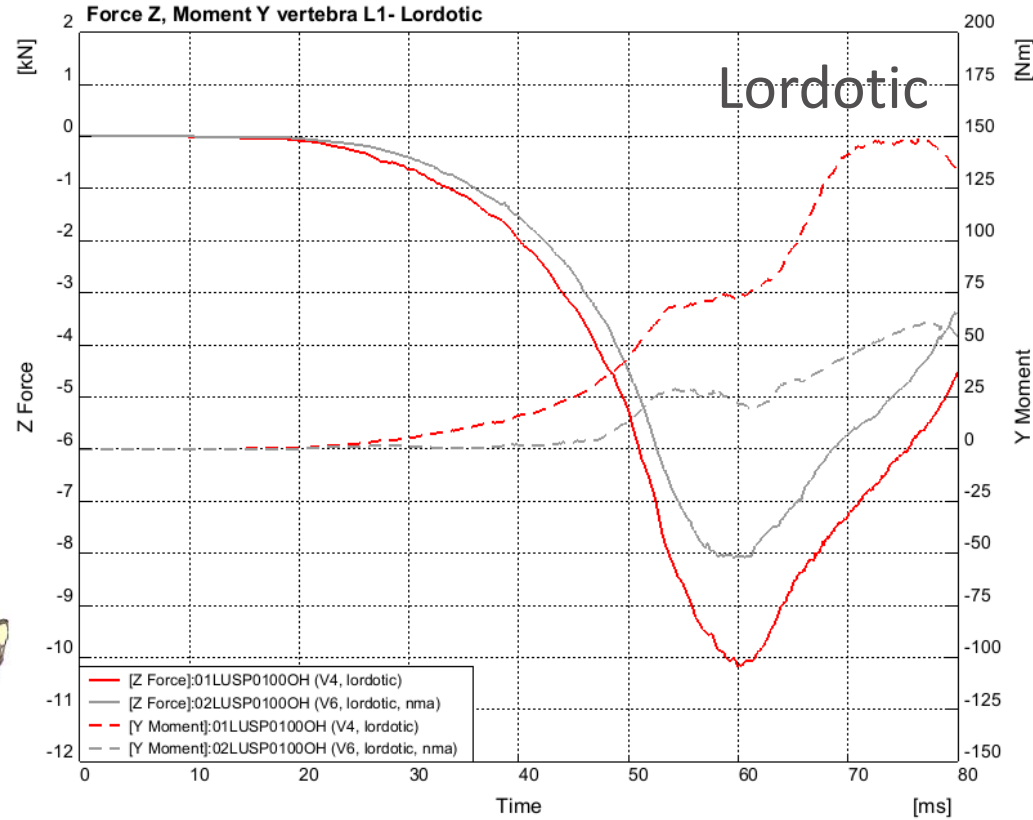
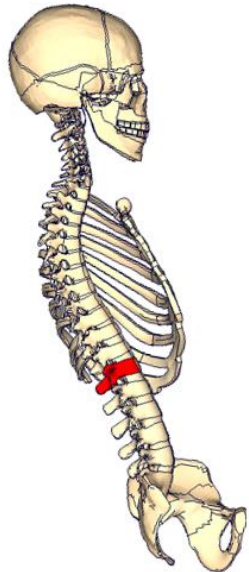


THUMS v4

THUMS v6

- THUMS v6 → andere Kopf- und Oberkörperkinematik gegenüber THUMS v4.
- Lendenwirbelsäule Kraft 25% bis 30% größer in THUMS v4.

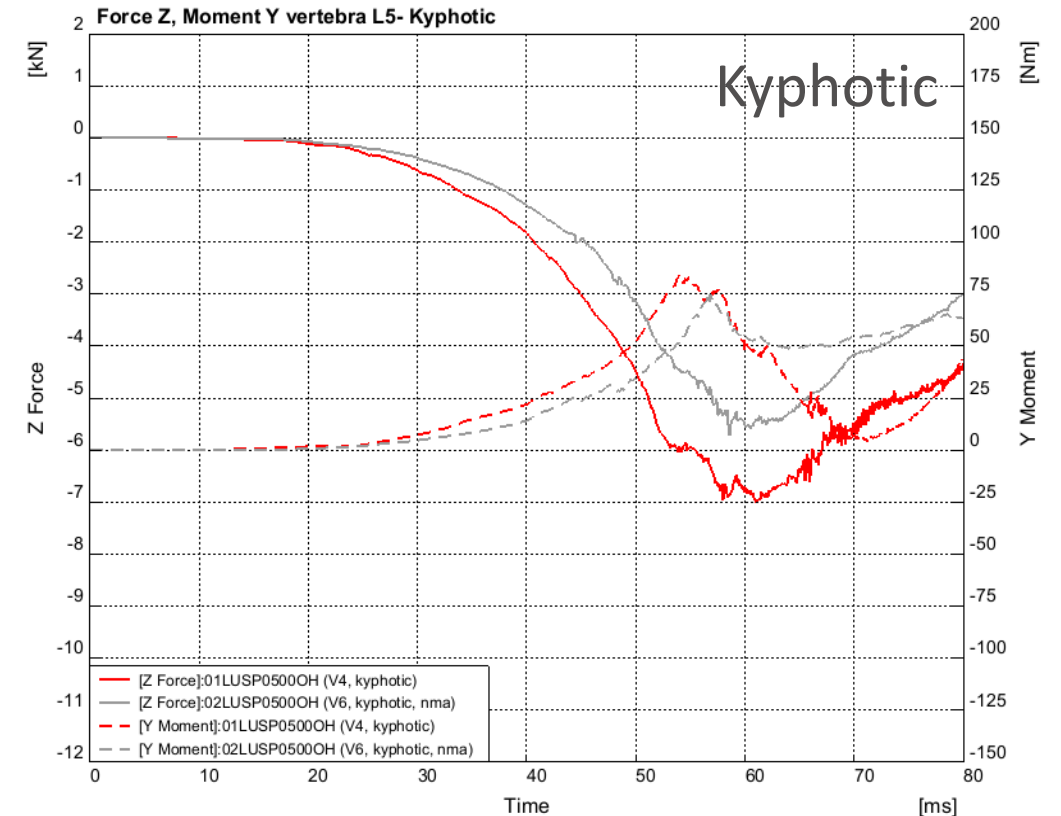
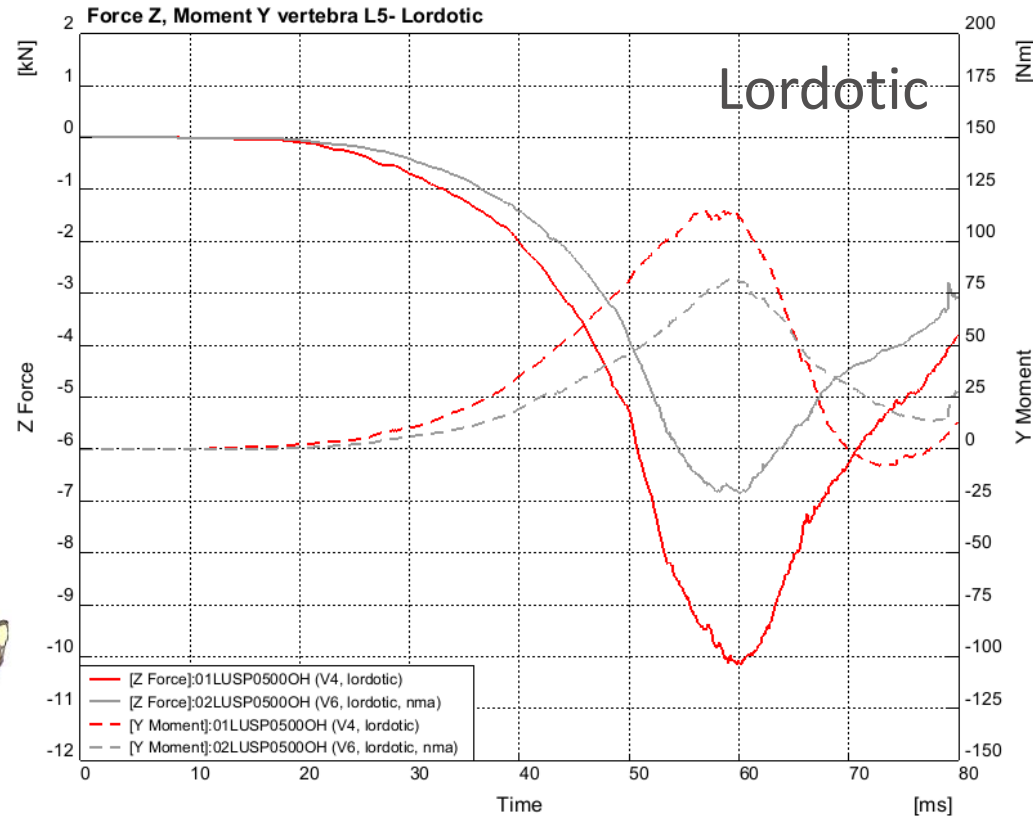
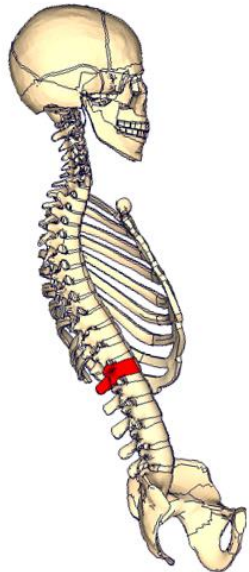
THUMS V4 UND V6 IN LIEGEPOSITION- L1



THUMS v4

THUMS v6

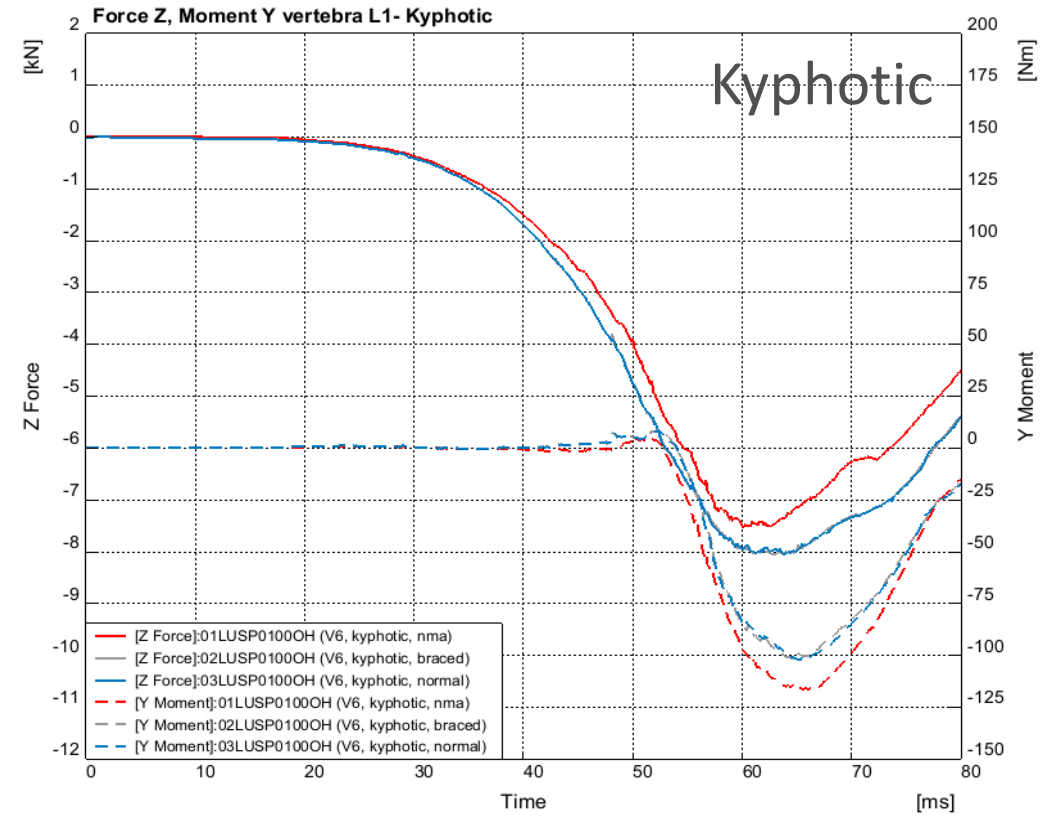
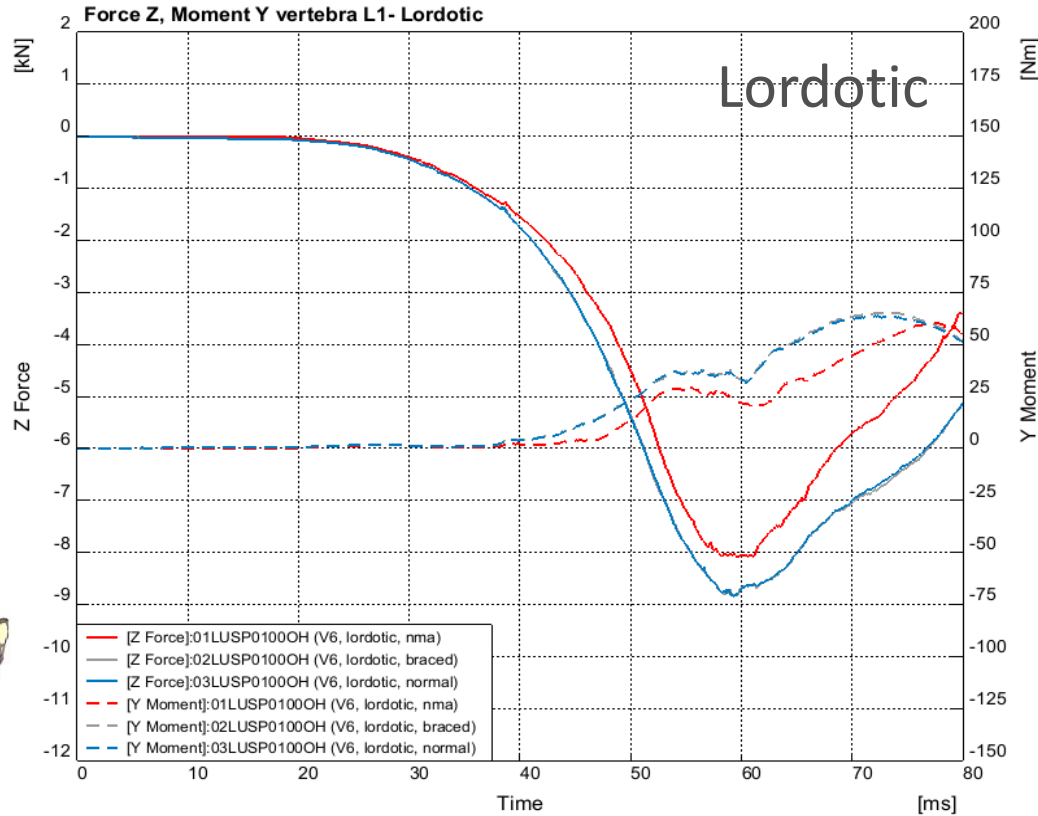
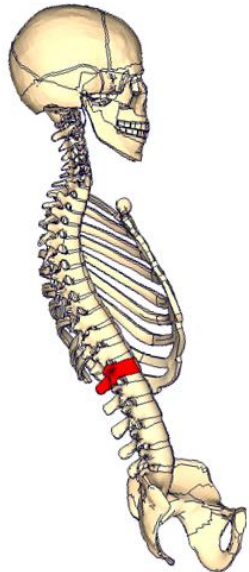
THUMS V4 UND V6 IN LIEGEPOSITION- L5



THUMS v4

THUMS v6

THUMS V6 IN LIEGEPOSITION- L1

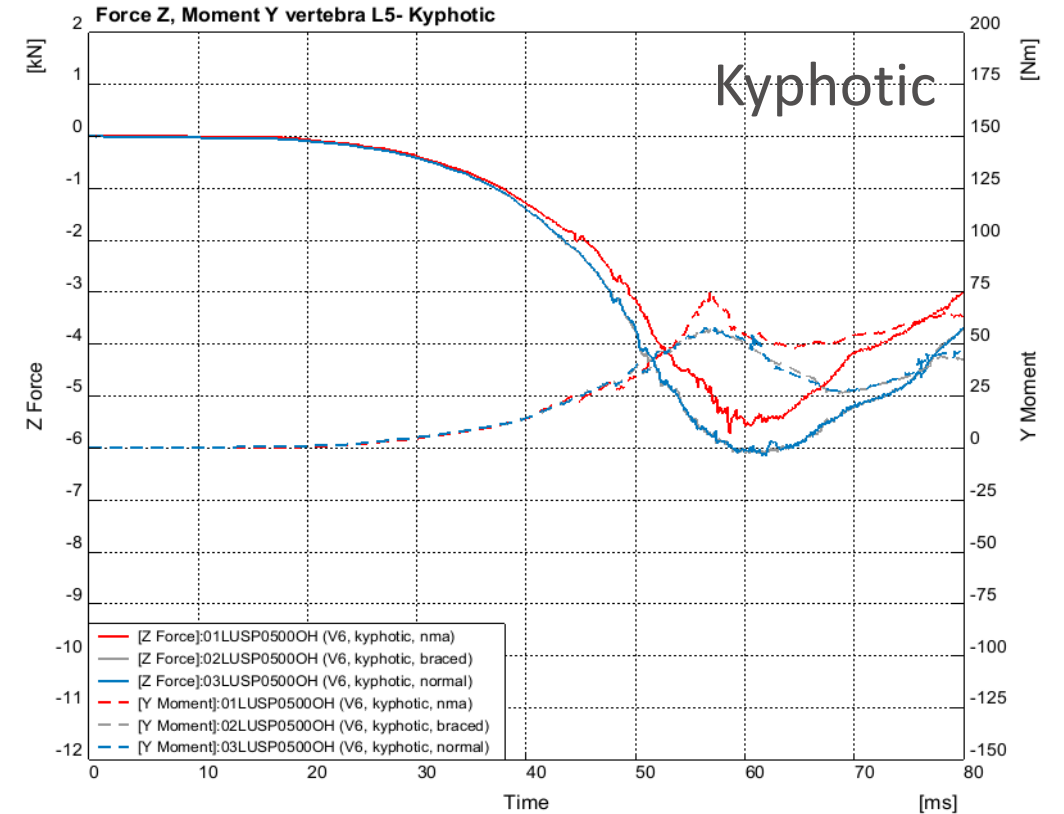
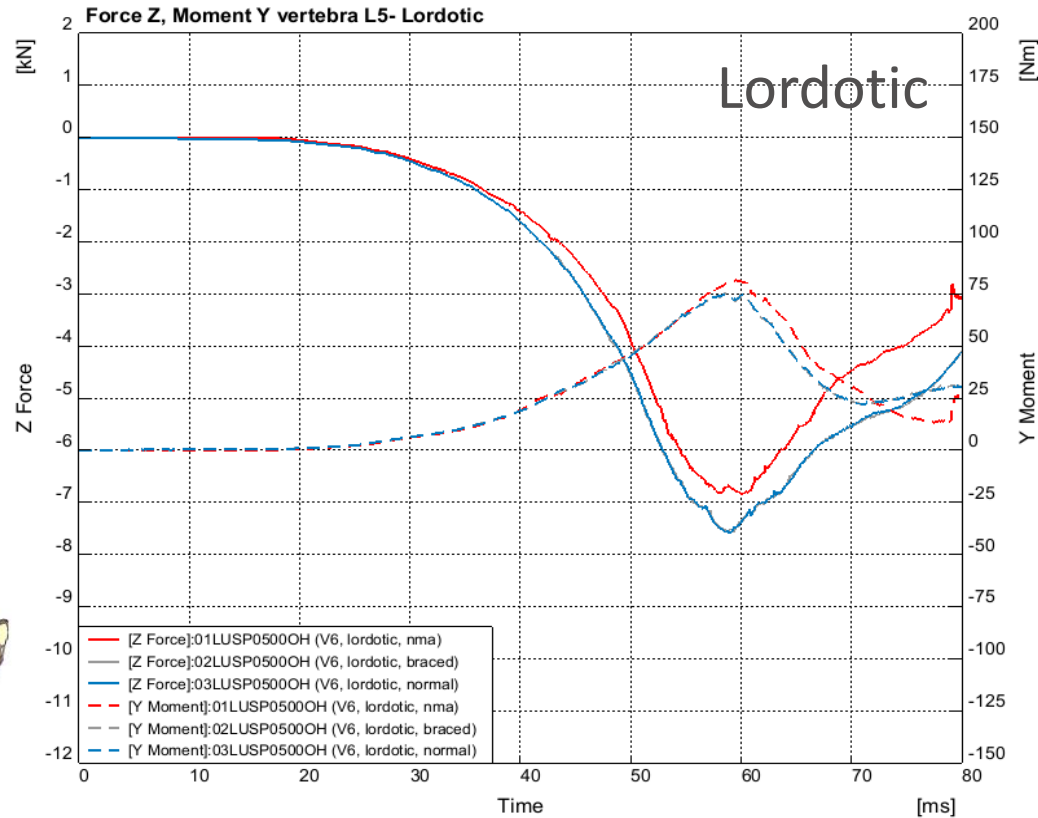
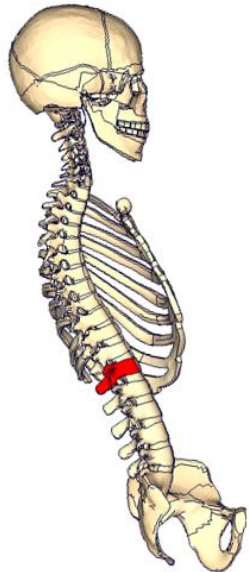


NMA- No Muscle Activation

Braced

Controller Normal

THUMS V6 IN LIEGEPOSITION- L5



NMA- No Muscle Activation

Braced

Controller Normal

GLIEDERUNG

- Ausgangslage
- Submariningverhalten THUMS v6 gegenüber THUMS v4, v5 und THOR
- Probandenstudie Wirbelpositionen
- Einfluss unterschiedlicher Wirbelsäulenkrümmungen auf die Lendenwirbelsäulenbelastung bei THUMS v4 vs. THUMS v6
- Fazit und Ausblick

FAZIT

- Ein Vergleich des Submariningverhaltens zeigt, dass die unterschiedlich reagierenden THUMS Modelle durch die **neuere Version** eine geeignete **Ergänzung** finden.
- **THUMS v4** ist für **Worst-Case**-Betrachtungen am geeignetsten, aber **weniger repräsentativ**. Submariningneigung ist mit dem THOR vergleichbar.
- **THUMS v6** bietet einen guten **Kompromiss**. Eine bessere Abbildung der **Interaktion zwischen Gurt und Becken** ist erkennbar. Der Muskeltonus kann zusätzlich zur Abstimmung hinzugezogen werden, um die **Robustheit** des Systems zu überprüfen.

FAZIT

- In der **Liegeposition** zeigt der Vergleich von **THUMS v4** zu **THUMS v6** erkennbare **Unterschiede** in Bezug auf die Lendenwirbelbelastung.
- Beim **THUMS v4** tritt durch die kleinere Beckengeometrie **Submarining häufiger** auf. Eine Bewertung der **Lendenwirbelbelastungen** ist in diesen Fällen nicht möglich. **THUMS v6** ist basiert auf **UMTRI** Daten und entspricht besser einem AM50. Daher stellt der THUMS v6 hierfür das **geeignete Menschmodell** dar.

AUSBLICK

- Die Untersuchungen sind ausschließlich mit **50-Perzentil**-Menschmodellen durchgeführt.
- Zusätzliche Studien mit **5-Perzentil**-Menschmodellen sind für deren Modellbewertung ebenfalls notwendig.
- Studien mit dem neuem **THOR AV** können die Fortschritte in der Dummy-Entwicklung aufzeigen.
- Auch bieten **unterschiedliche Körperproportionen** das Potential auf **individuelle Bedürfnisse der Insassen** Rücksicht zu nehmen, um so den Insassenschutz in der Fahrzeugsicherheit in Zukunft zu erhöhen.

QUELLEN

- [1] EuroNCAP. Assessment Protocol – Adult Occupant Protection. 2015.
- [2] Pipping, T., Verletzungen der Wirbelsäule bei nicht tödlichen Rettungsausstiegen mit dem Schleudersitz, Flug- und Reisemedizin 2015, 20-25.
- [3] Schmitt, Kai-Uwe, et al. Trauma-Biomechanik. Zürich: Springer Vieweg, 2014. Bd. 2. Auflage.
- [4] BIOMECHANICAL RESPONSE OF THE LUMBAR SPINE IN DYNAMIC COMPRESSION. Duma, Stefan M., et al. s.l.: Virginia Tech – Wake Forest, Center for Injury Biomechanics, Toyota Motor Corporation, 2018.
- [6] A new skin-surface device for measuring the curvature and global and segmental ranges of motion of the spine: reliability of measurements and comparison with data reviewed from the literature. Mannion, Anne F., et al. Zürich, Switzerland: Springer Verlag, 2003.
- [7] Unger, M., Cebeci, Ö.: An approach to compare the submarining behavior of THUMS vs. THOR, 6. Internationales Symposium “Human Modeling and Simulation in Automotive Engineering”, Heidelberg, 2016.
- [8] Unger, M., Cebeci, Ö.: Neue Sitzpositionen im automatischen Fahrmodus – Eine Herausforderung für die Bewertung von Submarining, 11. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit VDI-Berichte 2312, VDI Verlags GmbH, Düsseldorf 2017.
- [9] Unger, M., Hintze, D.: Entspannte Sitzpositionen im automatisierten Fahrmodus – Gefahr für die Lendenwirbelsäule bei einem Crash?, 12. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit VDI-Berichte 2364, VDI Verlags GmbH, Berlin 2019.
- [10] THUMS AM50 Occupant Model. Version 6.1 – Documentation. 2021.
- [11] Richard, O., Uriot, J., Trosseille, X., Sokolowski, M.: Occupant restraint optimization in frontal crash to mitigate the risk of submarining in OOP situation. IRCOBI, 2015.

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

Ambrish Srivats

Ingenieurgesellschaft für Automobiltechnik mbH

Aroser Allee 68

13407 Berlin

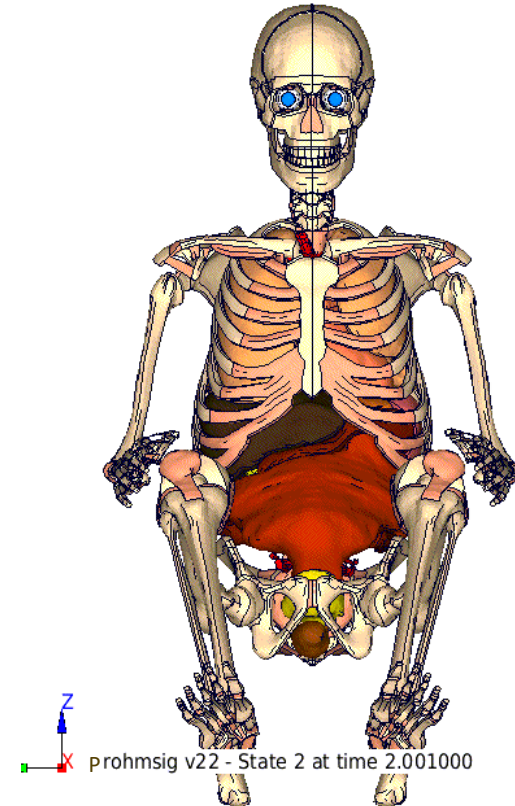
Deutschland

Telefon: +49 30 473931 000

Fax: +49 30 473931 018

E-Mail: info@IATmbH.com

Besuchen Sie unsere Website: <http://www.iatmbh.com>



VDI

Wissensforum

PROBANDENSTUDIE WIRBELPOSITIONEN

PROBANDENSTUDIE WIRBELPOSITIONEN



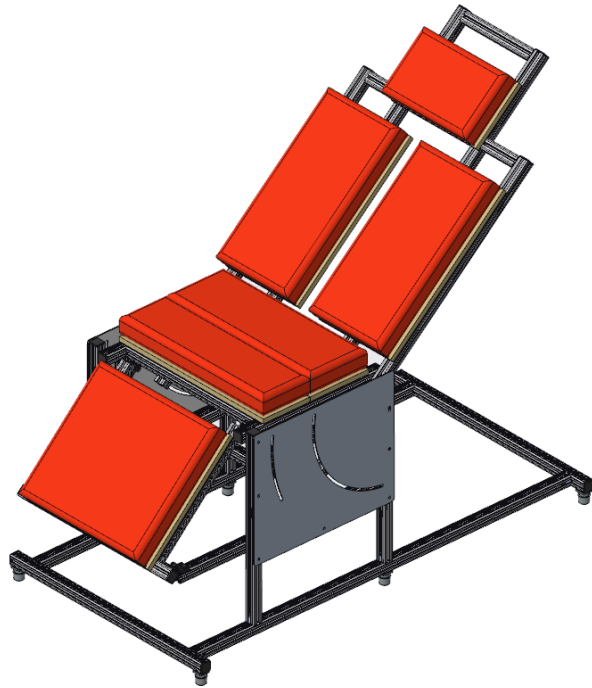
[13]



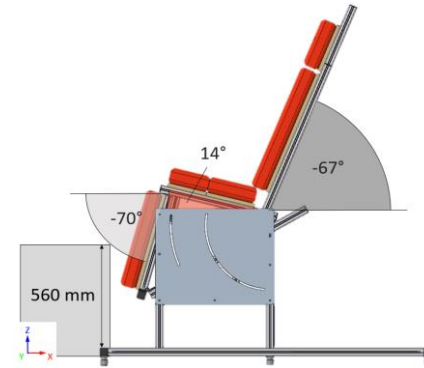
[13]

- Ermittlung natürlicher Wirbelsäulenkrümmung mit Hilfe der IDIAG Spinal Mouse durch Abtastung (nichtinvasiv, nichtradiologisch).
- Vermessung von 25 Probanden in 3 unterschiedlichen Sitzpositionen.

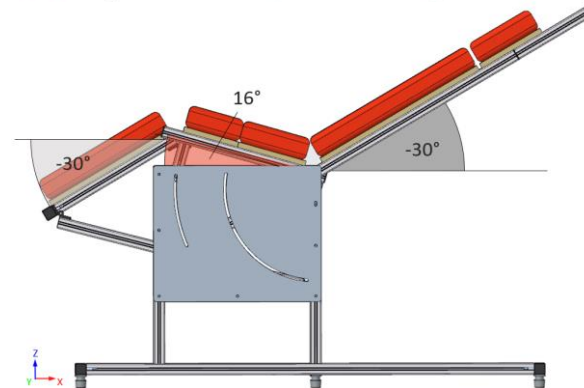
PROBANDENSTUDIE WIRBELPOSITIONEN



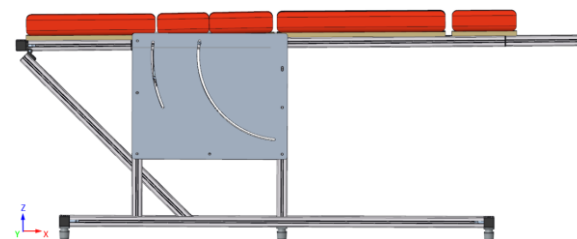
- Einstellbare Sitzkiste mit Schlitzung der Rückenlehne für Abtastung der Wirbelsäule.



- Aufrechte Sitzposition

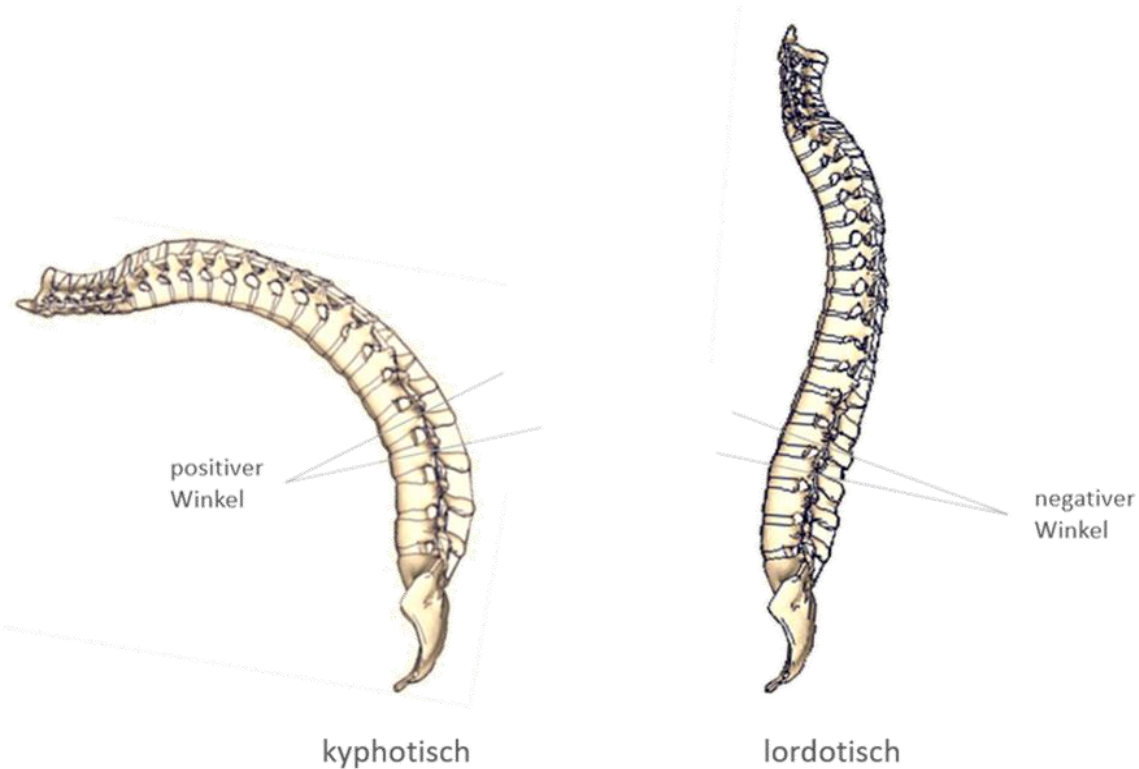


- Entspannte Sitzposition



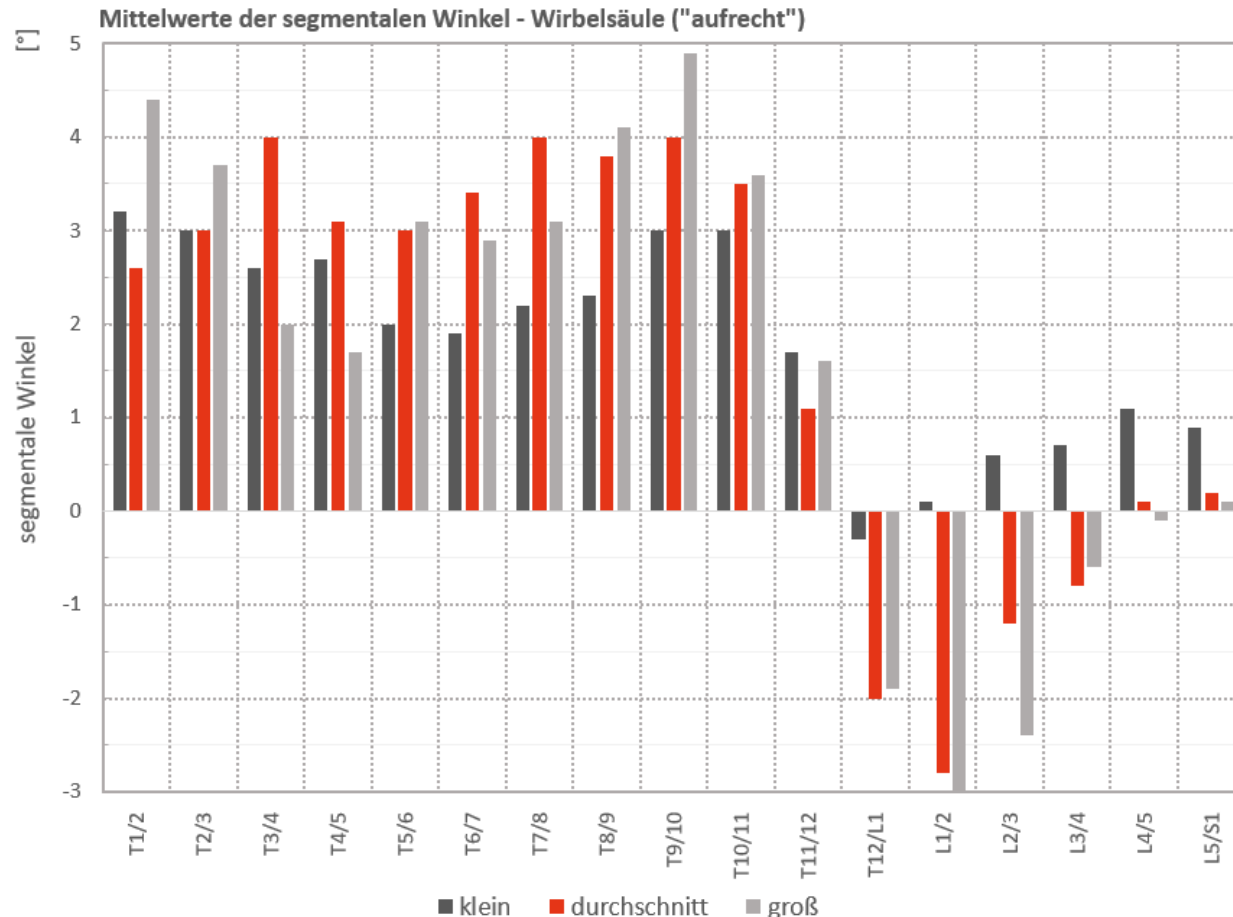
- Flach liegend

PROBANDENSTUDIE WIRBELPOSITIONEN



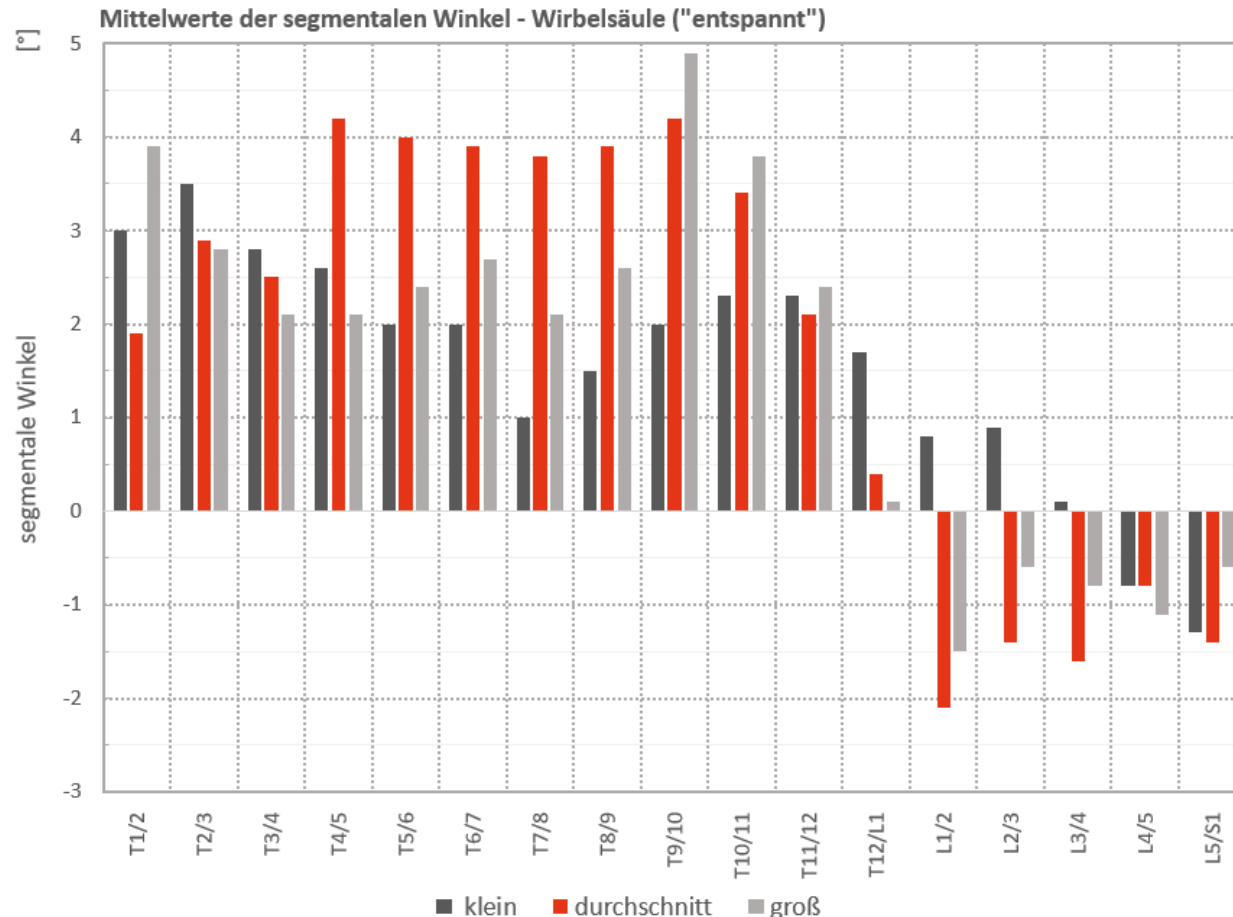
- Die erhobenen Daten werden in drei Personengruppen mit gleichem Umfang aufgeteilt.
- „**klein**“ unter 179cm Körperlänge
- „**durchschnittlich**“ 179cm bis 184cm
- „**groß**“ ab 185cm

PROBANDENSTUDIE WIRBELPOSITIONEN



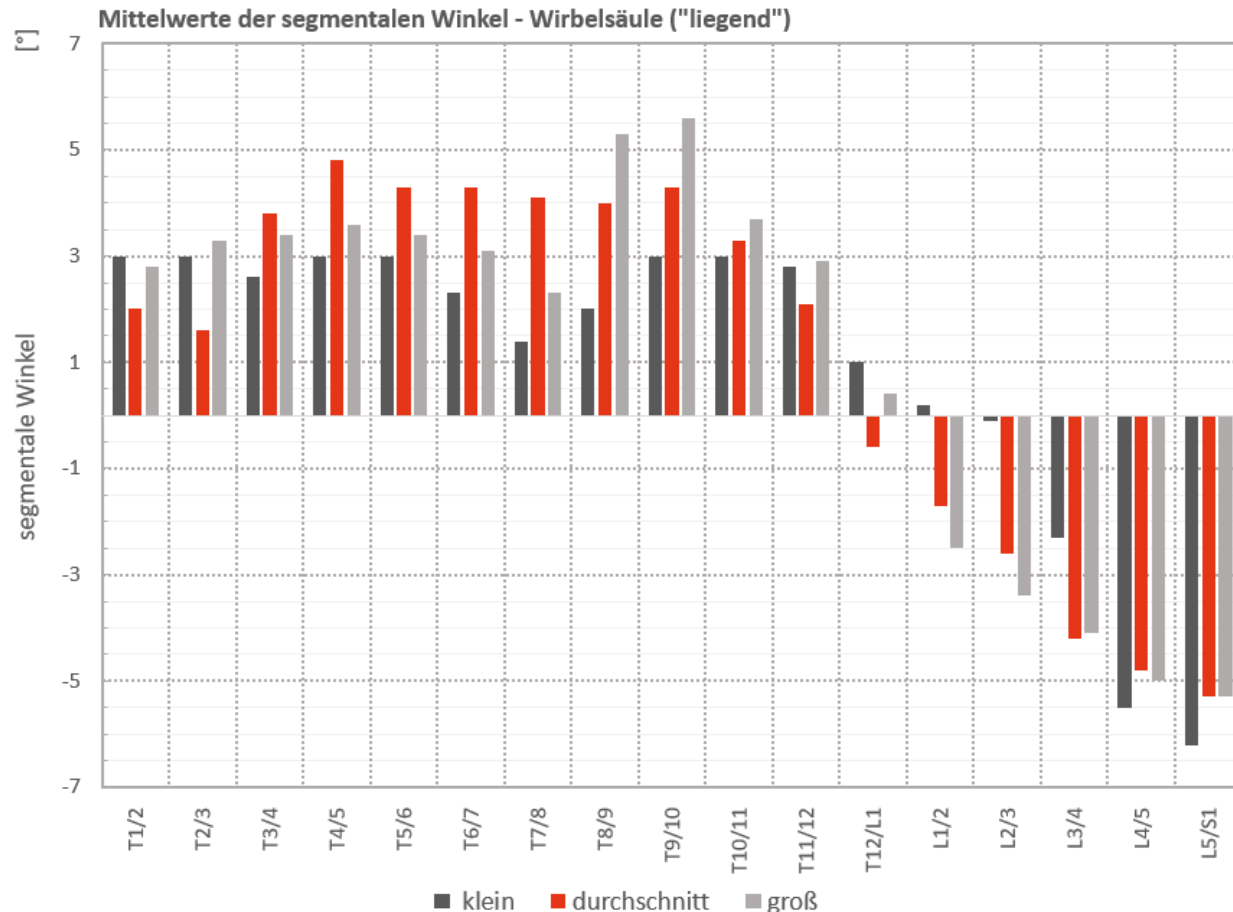
- Die Lendenwirbelsäule weist bei der Gruppe der kleinen Probanden einen kyphotischen Verlauf auf.
- Die Gruppen der durchschnittlichen und großen Probanden haben im Gegensatz dazu eine lordotische Krümmung.

PROBANDENSTUDIE WIRBELPOSITIONEN



- Die Winkel der Thoraxwirbelsäule sind durch das Rippengerüst von geringerer Variabilität gekennzeichnet.
- In entspannter Sitzposition weist auch die Gruppe der kleinen Probanden eine zunehmend lordotische Lendenwirbelsäule auf.

PROBANDENSTUDIE WIRBELPOSITIONEN



- In flach liegender Position weisen alle Personengruppen eine stark lordotische Wirbelsäulenkrümmung auf.
- Die Mittelwerte der Winkelmessungen liegen weniger stark auseinander als bei den anderen Sitzpositionen.

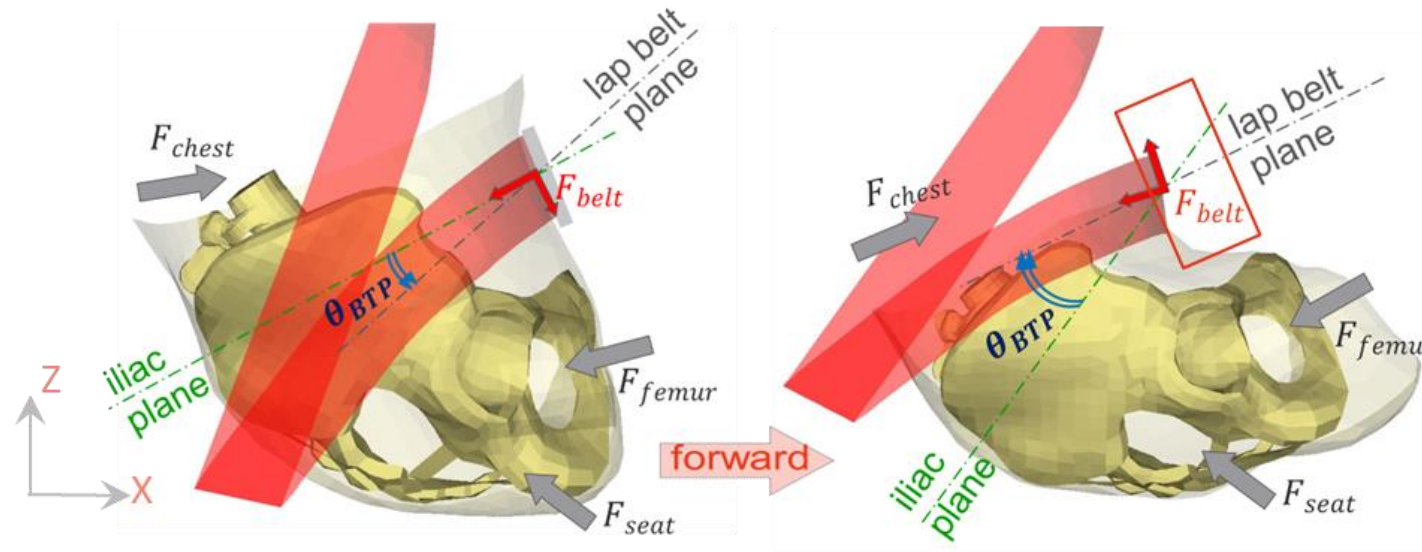
VDI

Wissensforum

SUBMARINING BEWERTUNG

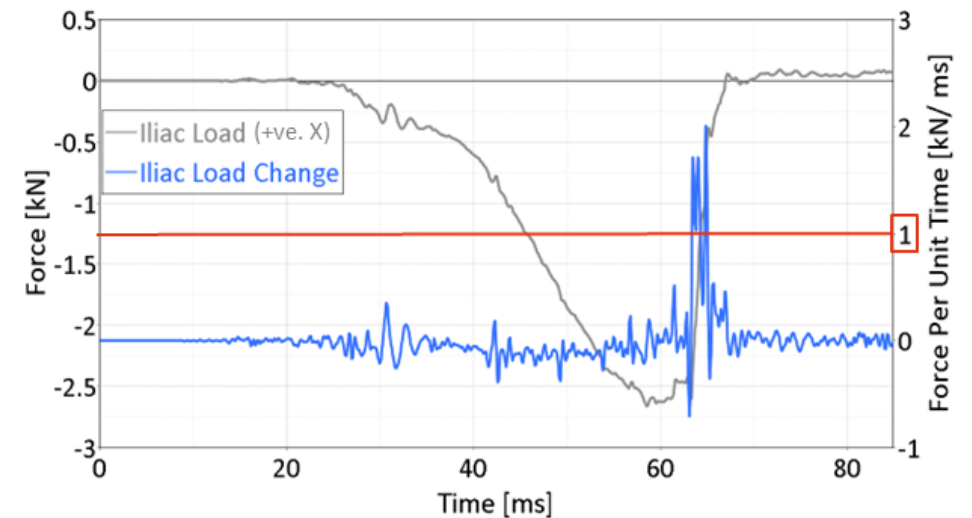
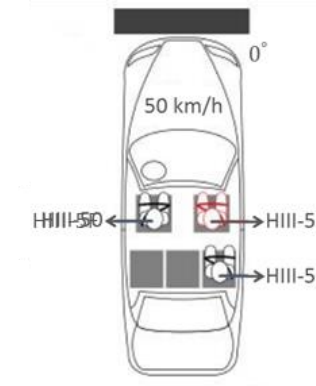
SUBMARINING BEWERTUNG

- Favourable condition: Low θ_{BTP} .
- Unfavourable condition: High θ_{BTP} .
- Non-equilibrium of forces & complex geometries.



SUBMARINING BEWERTUNG

- Optical estimation (ambiguous).
- Stable design: Lap belt strap angle $> 45^\circ$ laterally.
- Lateral lap belt edge–iliac edge distance.
- Euro NCAP [*]
 - Full width frontal crash @ 50 km/h with HIII-5F.
 - Iliac load change of 1 kN within 1 ms.



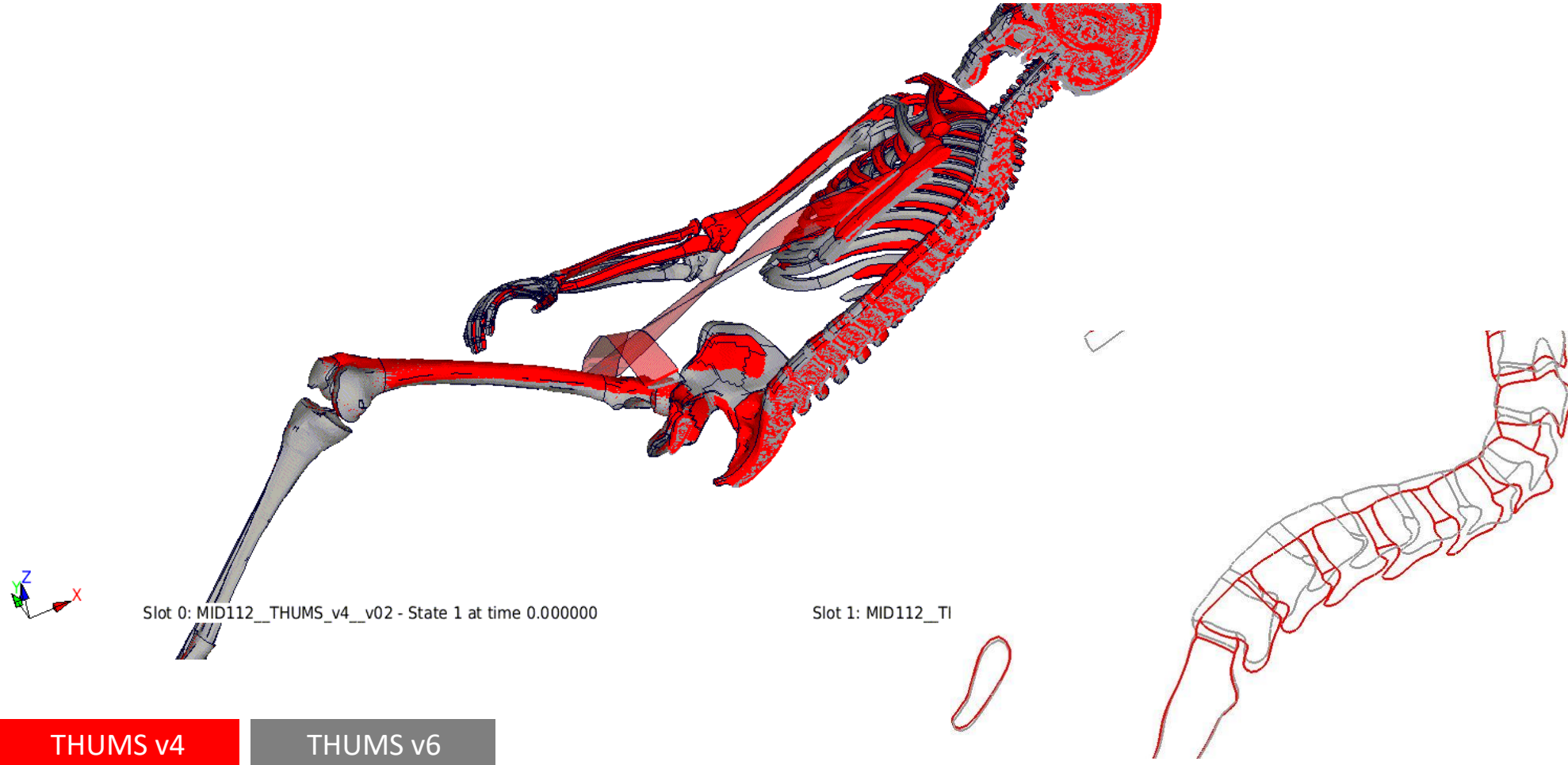
[*] European New Car Assessment Programme: Assessment Protocol. The Dynamic Assessment of Car Seats: Testing Protocol, Version 7.0.3, 2015.

VDI

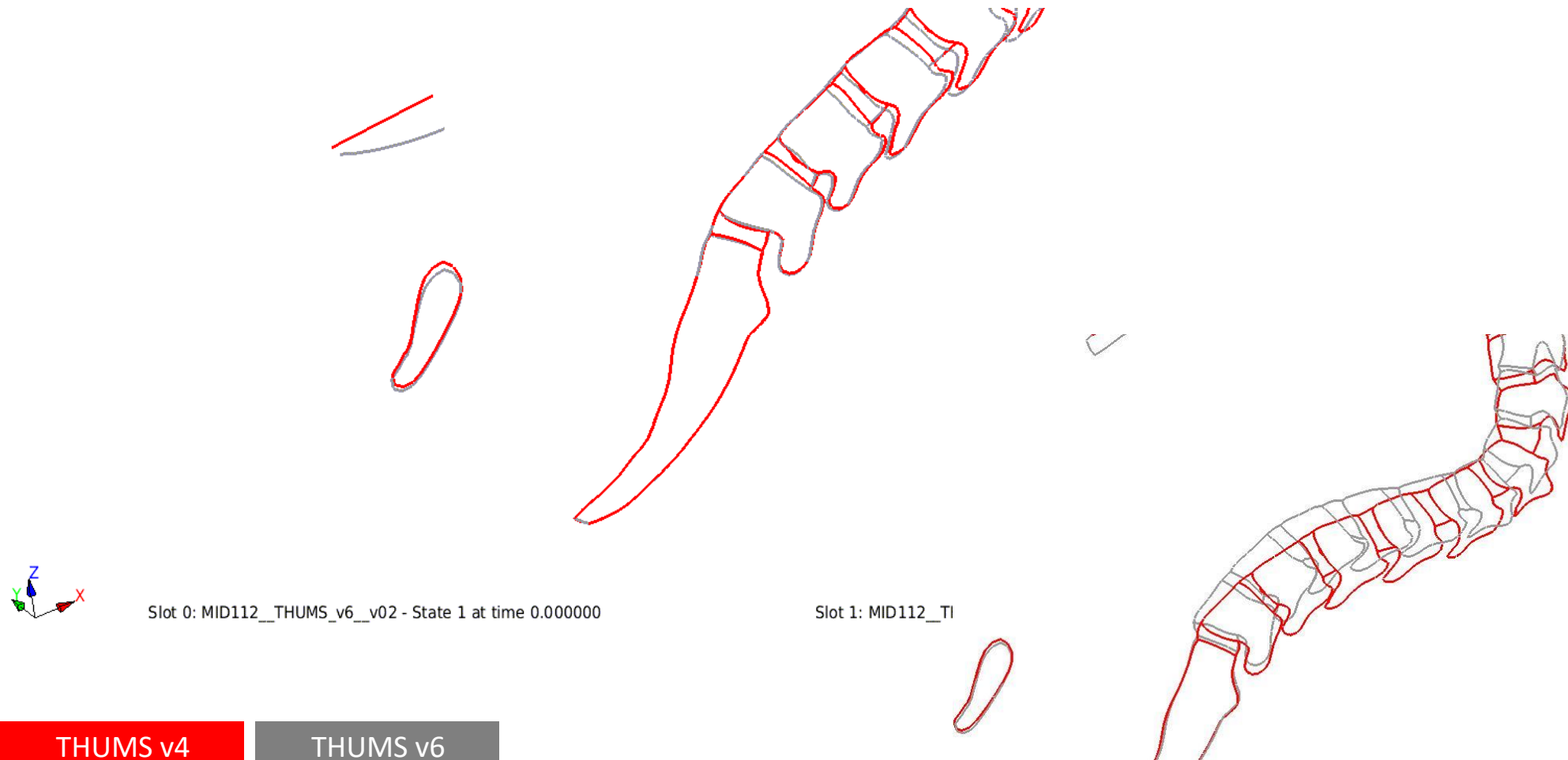
Wissensforum

THUMS v6 BECKEN

THUMS V4 UND V6 IN LIEGEPOSITION



THUMS V4 UND V6 IN LIEGEPOSITION



THUMS v4

THUMS v6