

Entwicklung des Dummymodells BioRID2

Peter Schuster*
Sebastian Stahlschmidt*
Ulrich Franz**
Andreas Rieser***
Heribert Kassegger***

*DYNAmore GmbH, Stuttgart, Deutschland
**DYNAmore GmbH, Langlingen, Deutschland
***Technische Universität Graz, Österreich

Korrespondenz

Peter Schuster
DYNAmore GmbH, Zentrale Industriestraße 2
D-70565 Stuttgart
Tel. +49-(0)7031-76318-90
E-mail: peter.schuster@dynamore.de

Kurzfassung:

Der BioRID2 wird benötigt um Verletzungsgrößen in Heckaufpralllastfällen abzuschätzen. Eine häufige Verletzung stellt hier ein Halswirbelsäulen-Schleudertrauma, oder auch Whiplash genannt, dar. Die Ursachen der Verletzung selbst und sehr hohe Folgekosten fordern Handlungsbedarf bei der Entwicklung von sicheren Sitzstrukturen.

Wie schon bei zahlreichen Seitencrashmodellen bildet ein FAT-Arbeitskreis auch hier wieder die Grundlage der Entwicklung. Es beteiligen sich fünf Automobilhersteller, drei Sitzhersteller und ein Zulieferer.

Aufwendige Tests aller relevanten Materialien, Komponenten und am Gesamtdummy, werden der Komplexität des BioRID2 gerecht. Das bietet die Grundlage zur Entwicklung eines detaillierten, hoch validierten FE-Dummy-Modells für LS-DYNA. Dazu zählt insbesondere die Wirbelsäule mit ihrem vorgespannten Muskelerersatzsystem.

Im Folgenden sollen der Umfang und die Vorgehensweise des Modellaufbaus und die Konzepte der Validierung aufgezeigt werden.

Schlüsselwörter

BioRID2, Whiplash, HWS, Vorspannung, Muskelerersatzsystem, Chalmers-Sitz, FAT, Validierung

1 Allgemeines

Schleudertrauma (Whiplash):

Unter einem Schleudertrauma versteht man eine Weichteilverletzung der Halswirbelsäule (HWS). Ursachen sind z.B. Heck-Auffahrunfälle bei denen die Insassen des getroffenen Fahrzeugs dieser Gefahr ausgesetzt sind. Durch Lastwechsel aus Beschleunigungen und Abbremsungen im Nackenbereich treten starke Beugungen und Überstreckungen auf (analog: QTF, Spitzer). Oft heilt die Verletzung nur sehr schwer aus, was einen großen volkswirtschaftlichen Schaden zur Folge hat.

FAT-Arbeitskreis 27 UA „BioRID“

Die „Forschungsvereinigung Automobiltechnik“ FAT hat mit der Bildung des Arbeitskreises „BioRID“ die Entwicklung von FE-Simulationsmodellen des BioRID2 zur Aufgabe. Mitglieder sind: „Audi“, „CR-Hammerstein“, „DaimlerChrysler“, „Johnson Controls“, „Karmann“, „Keiper“, „Opel“, „Porsche“ und „Volkswagen“.

Drei Softwarehäuser haben die Aufgabe für die jeweiligen Codes die Simulationsmodelle aufzubauen und zu validieren. Die DYNAMore GmbH ist als erfahrener Entwicklungspartner von Dummymodellen bekannt und für LS-DYNA vertreten.

BioRID2

Seit vielen Jahren ist in der Diskussion das der Hybrid-3-Dummy, mit seiner starren Brustwirbelsäule und der einfachen Nackenstruktur, nicht die Kinematik zeigt, um Verletzungsgrößen eines Schleudertraumas liefern zu können [6] (Abb. 1).

In den späten 90er Jahren hat die CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY in Schweden in Zusammenarbeit mit SAAB und VOLVO einen neuartigen Dummy entwickelt. Der Biofidelic Rear Impact Dummy „BioRID“ ist in der Lage das Risiko von Nackenverletzungen in Sitzstrukturen bei Heckaufpralllastfällen einzuschätzen (Abb. 2 u. 3). Der heutige Hardwarestand ist der BioRID2. Dieser wird von DENTON COE hergestellt.

Im Folgenden wird bei der Erläuterung des FE-Modells auf den Aufbau und die Besonderheiten des Dummys eingegangen.

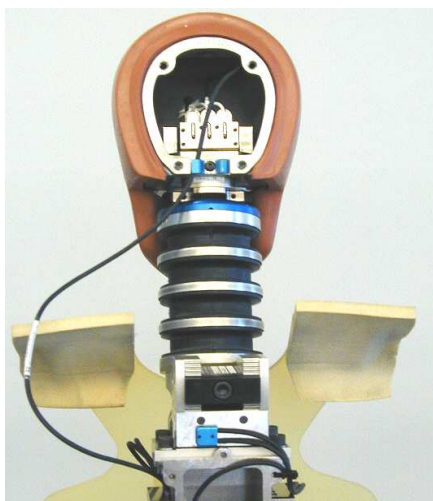


Abb. 1: Anschluss starre Brustwirbelsäule und Nacken Hybrid-3



Abb. 2: komplex detaillierte Wirbelsäule BioRID2

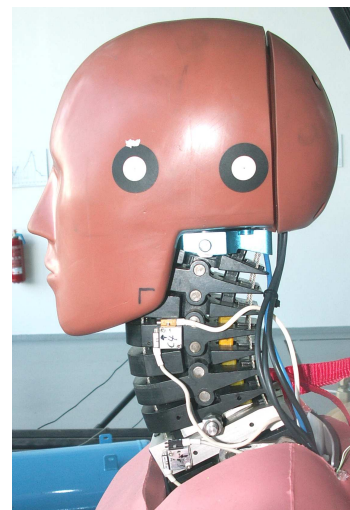


Abb. 3: Nacken BioRID2

2 Modellbeschreibung

2.1 Gesamtmodell

Der BioRID2 entspricht in Gewicht und Körpergröße einem 50%-Dummy. Neben vielen Neuentwicklungen hat man auf Übernahmeteile des Hybrid-3 zurückgegriffen (Abb. 4). Dabei sind die Extremitäten und der Kopf unverändert eines Hybrid 3-50 entnommen (Abb. 5). Neuentwicklungen stellen die Wirbelsäule, das Torsofleisch und ein modifiziertes Hybrid-3-Becken dar (Abb. 6).

Dem FAT- Arbeitskreis „BioRID“ stehen alle CAD-Daten zur Verfügung und dienen als Grundlage des Modellaufbaus. Somit gilt das BioRID2-Modell als komplette Neuentwicklung und wird mit Hilfe umfangreicher Gesamtdummy-, Material- und Komponententest validiert.

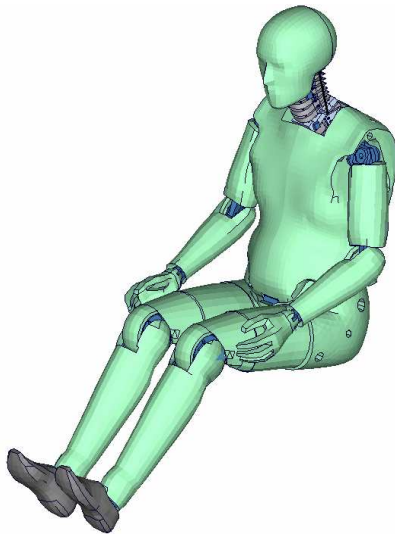


Abb. 4: Gesamtmodell BioRID2

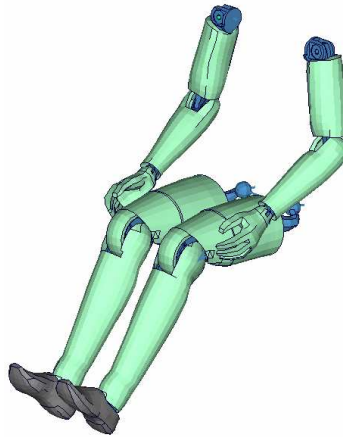


Abb. 5: Extremitäten als Hybrid-3-Komponenten

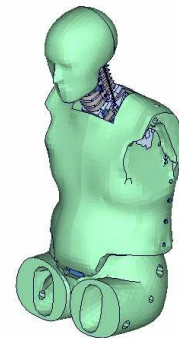


Abb. 6: BioRID2-Komponenten mit Hybrid-3-Kopf

2.2 Wirbelsäule

Um eine gute Übereinstimmung mit dem Menschen zu erhalten (biofidelic), wurde die Wirbelsäule sehr detailliert aufgebaut. Sie ist in Form des Doppel-S-Schlags aber auch in Anzahl der Wirbelkörper der menschlichen Wirbelsäule ähnlich.

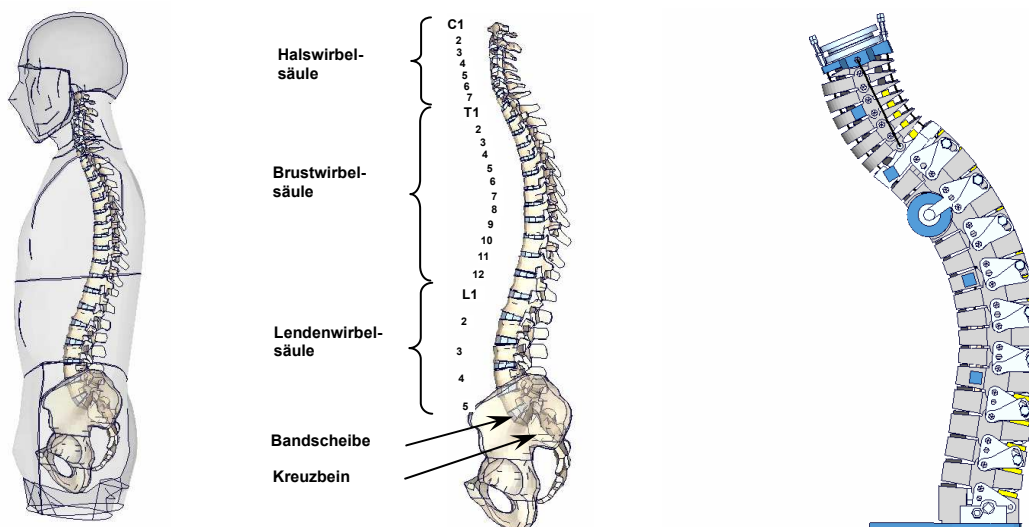


Abb. 7: Vergleich zwischen menschlicher Wirbelsäule aus dem Thums-Modell 1.4-040526 und BioRID2 (rechts)

Die Adapterplatte, die als Anschluss zum Becken dient, ersetzt das Kreuzbein. Die untere Wirbelsäule besteht aus fünf, die Brustwirbelsäule aus 12 Wirbelkörpern, welche gelenkig über Bolzen miteinander verbunden sind. Die Bolzen sind durch seitliche Scheibeführungen biegesteif miteinander verpresst. Dadurch entsteht eine Leiterstruktur, welche durch ihre Bolzenverbindung als Torsionsfedern dem Wirbelsäulenbereich eine Elastizität verleiht (Abb. 8). Zwischen den Wirbelkörpern befinden sich Gummipuffer die ab einer bestimmten Krümmung eine Druckfaser im vorderen bzw. hinteren Bereich bilden können.

Ein spannungsfreier, vorgeschriebener Ausgangszustand wird erreicht indem mit Hilfe einer Einstellschablone die Scheiben der Bolzenverbindung entsprechend ausgerichtet und fixiert werden (Abb. 8 rechts). Dabei wird die Schablone in die Spalten der vorderen Wirbelsäule zwischen den Wirbelkörpern eingeführt. Erst danach wird das Torsofleisch vervollständigt.



Abb. 8: Einstellschablone, Wirbelsäule, Leiterstruktur und Bolzenverbindung mit Einstellmöglichkeit der Krümmung des BioRID2

2.3 Nacken mit Musklersatzsystem

Der Hals des BioRID2 besteht aus sieben Wirbelkörpern, welche über Bolzen gelenkig miteinander verbunden sind. Als Besonderheit ist ein Musklersatzsystem verbaut (Abb. 9).

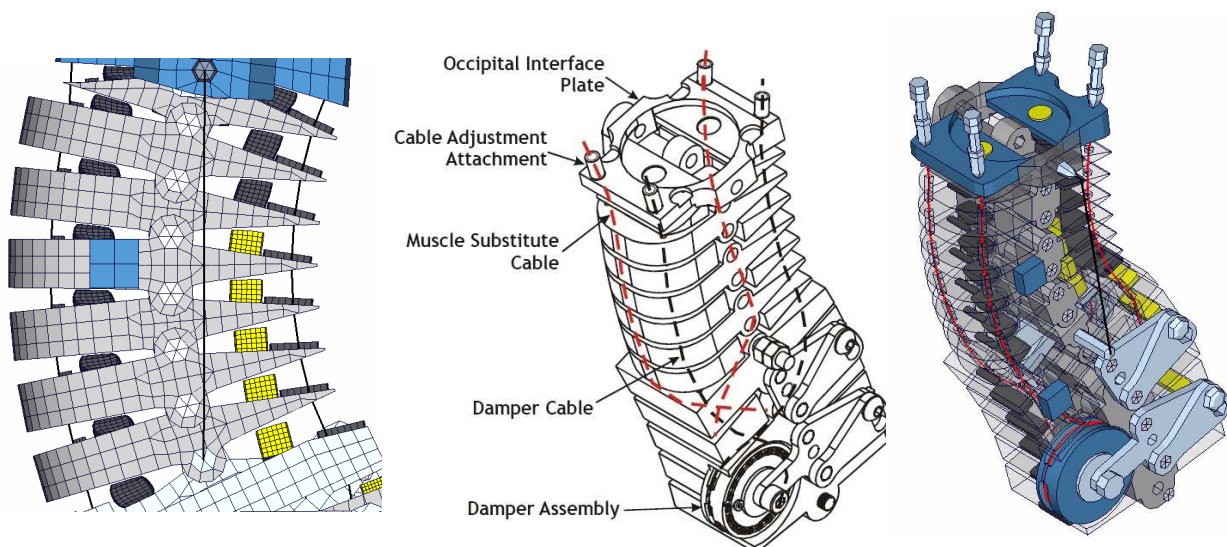


Abb. 9: Halswirbelsäule mit deformierten Puffern des Modells im vorgespannten Ausgangszustand (links), Seilführungen durch den Nacken des BioRID2 schematisch und Modell (rechts)

Zwei Seilführungen auf der rechten Seite verbinden die obere Halsplatte mit Federhülsen. Die Seile werden über Bohrungen durch die Wirbel C1 bis T3 geführt und enden über Bowdenzüge ab T3 in zwei getrennten Federhülsen im mittleren Wirbelsäulenbereich. Auf der linken Seite führt ein, Seil ebenfalls durch Bohrungen, von C1 bis T3 und ist dann um einen Rotationsdämpfer geschlaucht.

Das System ist als Parallelschaltung eines Dämpfers mit zwei unabhängig voneinander funktionierenden Federn zu beschreiben, welche über die obere Halsplatte gekoppelt sind. Die Puffer sind in einigen Wirbelbereichen schon ohne Seilkraft vordeformiert und somit vorgespannt. Da die Kalibrierforschrift einen bestimmten Relativwinkel zwischen der oberen Halsplatte OC und dem zweiten Brustwirbel T2 vorschreibt, wird über die Federn eine zusätzliche Zugkraft anfänglich in den Seilen eingestellt. Der Nacken wird sozusagen nach vorn gezogen bis der gewollte Ausgangszustand erreicht ist. Der Vorspannweg der unterschiedlich steifen Federn muss dabei immer eine Differenz von 14mm aufweisen. Um das zu gewährleisten ist ein möglichst exakter Modellaufbau nötig. Der BioRID2 ist damit das erste Dummymodell bei dem eine Vorspannung im Anfangszustand unbedingt gewährleistet werden muss. Eine genauere Beschreibung der Vorspannung erfolgt in den folgenden Abschnitten.

3 Vorgehen Modellaufbau

3.1 Wirbelsäule

Gleichgewicht der Puffer ohne Seilkraft

Da die CAD-Geometrie einen Zustand ohne Verformung der Puffer beschreibt, waren zwei Vorsimulationen nötig (Abb. 10). Zuerst musste über beidseitiges Überkrümmen der Halswirbel die deformierte Puffergeometrie im CAD-Zustand errechnet werden (Abb. 11). Im größten Krümmungsstadium wurde der Kontakt der Puffer zu den Wirbeln eingeschaltet, wobei die Rückbelastung in den Ausgangszustand der CAD-Geometrie die Pufferdeformation lieferte (Abb. 12). Das erfolgte für die Puffer vorn und hinten jeweils getrennt.

Die deformierten Puffer im CAD-Stand der Halswirbel, stehen unter Berücksichtigung ihrer Druckspannung nicht im Gleichgewicht (Abb. 13). Somit war eine zweite Vorsimulation nötig. Da der undeformierte Ausgangszustand der Puffer bekannt war, konnte dieser als Referenzgeometrie genutzt werden. Mit LS-DYNA ist damit eine Spannungsinitialisierung zu gewährleisten, die auch bei der späteren Nutzung des Modells benutzerfreundlich und leicht zu handhaben ist.

Durch die jetzt mögliche Vorspannung der Puffer wurde über das freilassen der Wirbelkörper ein in sich selbst ausgleichendes System errechnet (Abb. 14 und 15). Das Ergebnis war eine Ausgangsgeometrie, die genutzt werden konnte, um den vorgeschriebenen Relativwinkel zwischen oberer Halsplatte und T2 mit einer folgenden Simulation zu errechnen.

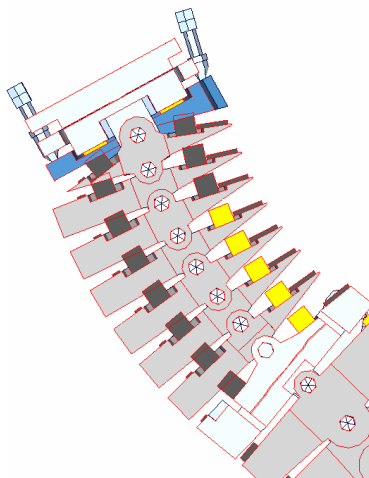


Abb. 10: Modellschnitt im Zustand CAD-Geometrie mit Durchdringungen der undeformierten Puffer

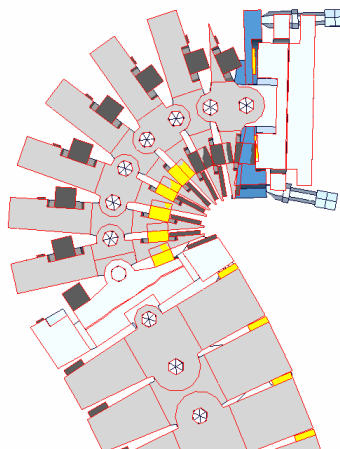


Abb. 11: Modellschnitt im Zustand der größten rückwärtigen Halskrümmung und Kontaktzuschaltung

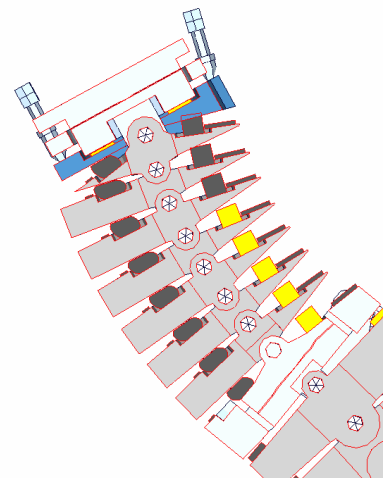


Abb. 12: vordere Puffer im deformierten Zustand nach erster Vorsimulation mit Wirbelstellung in CAD-Position

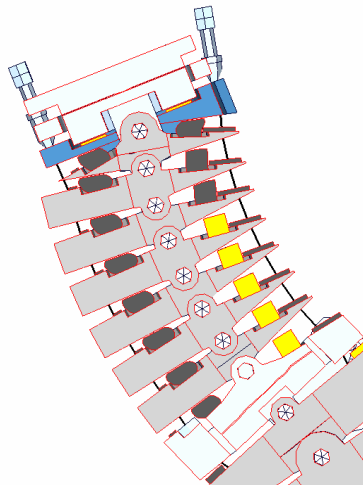


Abb. 13: Modellschnitt mit deformierten Puffern in CAD-Position der Wirbel

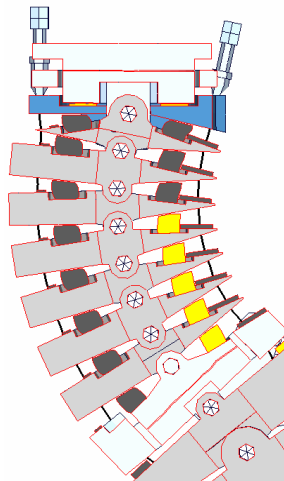


Abb. 14: Modellschnitt im Gleichgewichtszustand der Puffer ohne Seilkräfte

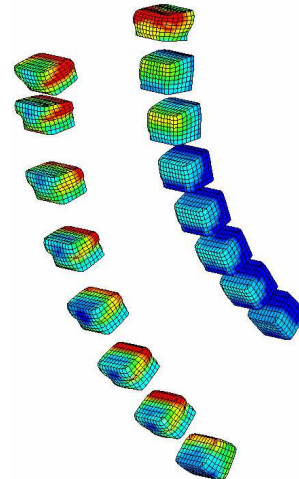


Abb. 15: Zustand der Puffer im Gleichgewicht als Vergleichsspannungsplot

Gleichgewicht zwischen Puffer und Seilkraft nach vorgeschriebener Winkelstellung

Die Simulation der richtigen Winkelstellung zwischen oberer Halsplatte und T2 erfolgte ähnlich dem Vorgehen in der Werkstatt. Im Ausgangszustand liegen die Seile, welche mit Gurtelementen diskretisiert wurden, spannungsfrei und ohne Seillose an (Abb. 16 links).

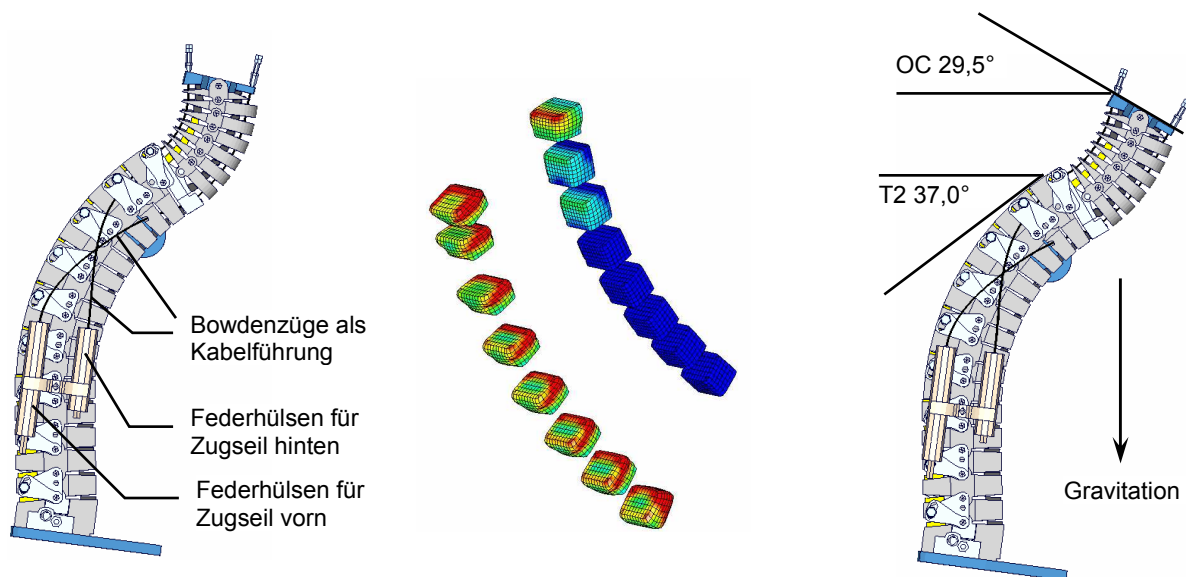


Abb. 16: Ausgangszustand (links), Vergleichsspannungsplot der Puffer im Zielzustand (mitte), Gleichgewichtszustand der Halswirbelsäule zwischen Puffer und Zugkraft der Seile durch Federjustierung (rechts)

Die vordere Zugfeder wird anfänglich 14mm vorgespannt. Damit ist der vorgeschriebenen Wegdifferenz der beiden Federn unterschiedlicher Konstante Rechnung getragen. Wird der Zielzustand nicht erreicht wird der Vorspannweg der vorderen Feder erhöht und der Vorspannweg der hinteren Feder gleichermaßen verringert (Abb. 16 links). Das geschieht iterativ solange bis der Relativwinkel zwischen OC und T2 unter Gravitation richtig eingestellt ist (Abb.16 rechts). Der Zustand unter Vorspannung und richtiger Geometrie wurde zum weiteren Modellaufbau genutzt. Dabei ist der spannungsfreie Zustand der Torsionsstäbe in Schablonenstellung berücksichtigt.

3.2 Torsofleisch

Das Torsofleisch ist anders als im Vergleich zu bisherigen Dummies, ein die Wirbelsäule umschließender Silikonkörper. Als Besonderheit befindet sich im vorderen Abdomenbereich eine Wasserblase mit 2,06 Litern Volumen, bei der kein Luftvolumen mit eingeschlossen ist.

Befestigt ist das Torsofleisch an den Einstellscheiben der Wirbelsäule mittels Haltestiften. Im unteren Bereich stellt ein eingegossener Aluminiumkamm die Verbindung zur Pelvis-Adapterplatte dar. Im Schulterbereich sind zusätzlich Haltebleche zur Stabilisierung eingegossen.

Das Silikonfleisch ist mit Hexaederelementen abgebildet, wobei eingegossenen Teile direkt angenetzt sind. Die Haltestifte stecken im Fleisch und werden mittels Kontaktdefinition gehalten. Elemente, die sich im Bereich der Wasserblase befinden, wurden mit Nullmaterial und einer entsprechenden Zustandsformulierung für Wasser diskretisiert.

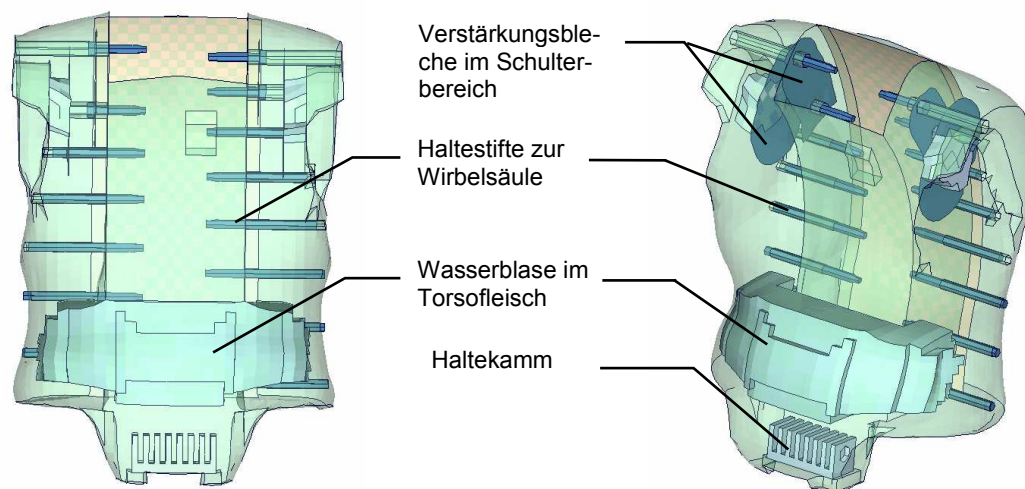


Abb. 17: Torsofleisch des BioRID2 mit Wasserblase, Haltestiften, Verstärkungsblechen und Haltekamm

3.3 Extremitäten und Kopf

Die Extremitäten wurden vom FAT-Arbeitskreis abgetastet und als CAD-Daten aufbereitet. Der bisherige Modellstand der Version 0.2 nutzt derzeit noch Teile des Washington University Hybrid-3 Dummies [8]. Diese wurden in Material und Steifigkeit überarbeitet. Zukünftige Versionen werden die CAD-Daten des Arbeitskreises enthalten, welche den wichtigen Unterschenkelbereich besser abbilden.

Der Kopf wurde ebenfalls abgetastet und als CAD-Daten aufbereitet. Um die Massenträgheiten sauber zu erfassen, wurde hier das Volumenmodell komplett abgebildet ohne diskrete Massen zu verwenden.

4 Test und Versuchsumfänge

Ein Großteil der Arbeit im FAT bestand darin, geeignete Versuchsumfänge festzulegen, welche einen sicheren und dem späteren Lastniveau entsprechenden Validierungsumfang zulassen. In erster Linie stehen hier Materialtests der Teile, die entscheidend die Lastpfade bestimmen. Die getesteten Proben wurden direkt vom Hersteller zur Verfügung gestellt. Des Weiteren wurden umfangreiche Versuche mit der Wirbelsäule als wichtigste Funktionseinheit durchgeführt. Die Versuche am Gesamtdummy werden auf dem Chalmerssitz getestet, welcher eine hohe Reproduzierbarkeit und Wiederholbarkeit besitzt. Im Folgenden werden die Test- und Versuchsumfänge detaillierter beschrieben.

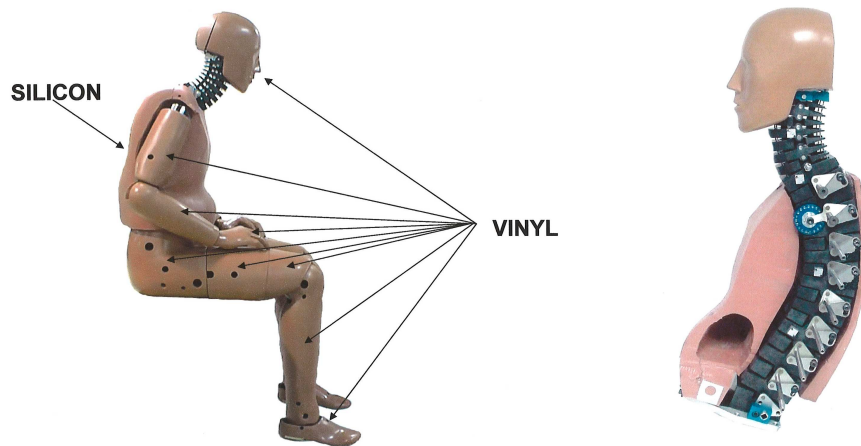


Abb. 18: Ansicht BioRID2 (links) mit Schnitt durch Torsofleisch (rechts)

4.1 Materialtests

Puffer - Urethan

Der Anfangszustand und die durch die Vorspannung generierte Anfangssteifigkeit des Modells ist in erster Linie abhängig von der Materialeigenschaft der Puffer zwischen den Wirbelkörpern. Hinzu kommt, dass das spätere Lastniveau, trotz der Eigenschaften eines Niedriglastfalls, lokal hohe Dehnraten zur Folge hat. Somit wurden für die Materialien der Puffer Urethan-gelb und Urethan-schwarz quasistatische und dynamische Druckversuche verdämmt und unverdämmt durchgeführt. Wichtig war hierbei das Dehnratenspektrum gut abzudecken (0 bis 400 1/s). Das Zugverhalten wurde ebenfalls quasistatisch und dynamisch getestet.

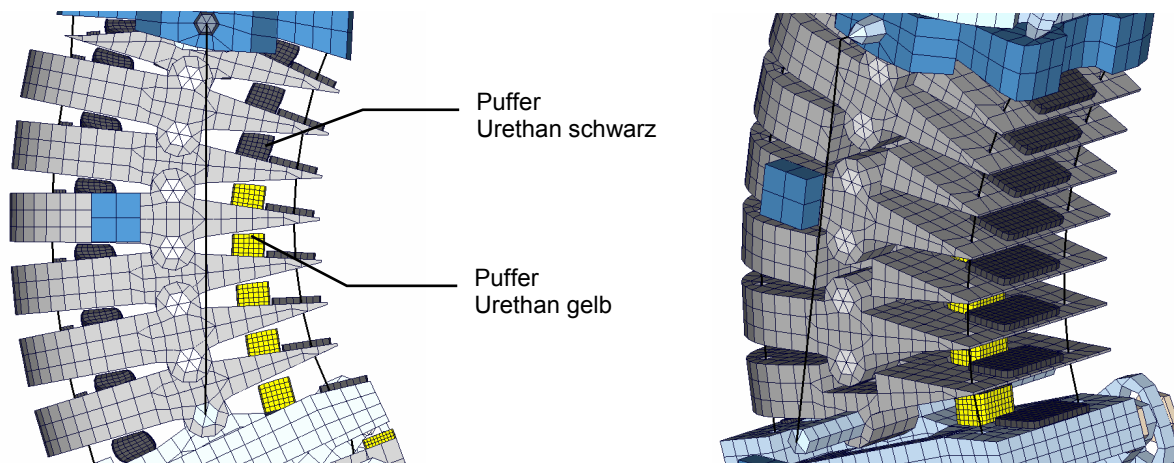


Abb. 19: Materialien der Puffer im vorderen und hinteren Wirbelsäulenbereich stellen einen entscheidenden Lastpfad dar und sind für die Genauigkeit der Vorspannung und Halskinematik wichtig.

Torsofleisch - Silikon

Das Verhalten des Gesamtdummys wird während der Belastungsphase und im Rebound sehr stark von der Massenverteilung und dem Lastangriff des Fleisches beeinflusst. Hinzu kommt die Wasserblase als Kopplung der Massenverteilung im Abdomenbereich (Abb. 18). Die Weichheit des Fleisches hat in Verbindung mit dem Wasserbauch ein Schwingverhalten zur Folge, welches nur durch genaue Materialmodellierung zu berücksichtigen ist.

Schwierig ist die Situation der Lasteinleitung beim ATD-Schlittentest, welcher ohne Extremitäten und Becken als Kalibriertest von DENTON COE vorgeschrieben wird. Dabei wird über eine relativ kleine Fläche die Last über ein Halbrohr in den Torso eingeleitet, was große lokale Deformationen zur Folge hat.

Auch hier wurden Tests als Druck- und Zugversuche mit verschiedenen Dehnraten durchgeführt. Um das Kompressionsverhalten genau zu beschreiben, sind die Versuche auch hier verdämmt und unverdämmt vorgenommen worden. Der quasistatische Bereich wurde ebenfalls abgedeckt.

Häute - Vinyl

Obwohl die Belastung auf den Kopf hauptsächlich durch die Kopfstützensteifigkeit bestimmt wird, sind auch mit dem Vinylmaterial der Kopfhaut Versuche gleicher Umfänge durchgeführt worden.

Die Vinylhäute werden auch in den Extremitäten verwendet (Abb. 18). Da der Unterschenkelbereich durch Lastpfade der vorderen Sitzstruktur bestimmt ist, wird auch hier eine möglichst genaue Modellierung nötig. Der Versuchsumfang war gleich der anderen gummiähnlichen Materialien zuvor.

Schäume

Die Schaumkomponenten des FAT-BioRID-Modell befinden sich in den Extremitäten und im Becken. Da diese Hybrid-3-Komponenten dem Arbeitskreis in ihrer Materialbeschreibung nicht vorlagen, wurden quasistatische und dynamische Druckversuche durchgeführt. Dabei wurden Schaumproben von Arm, Becken, Knie, Oberschenkel und Unterschenkel untersucht. Auch hier sind alle relevanten Dehnraten berücksichtigt worden.

4.2 Komponententests

Rotationsdämpfer

Um physikalisch sinnvolle Dämpfersteifigkeiten im Modell zu verwenden, sind die Eigenschaften anhand von Fallgewichtversuchen untersucht worden. Die Dämpfersteifigkeit wird über eine Einstellschraube in der Beipassöffnung reguliert. Die Versuche wurden mit zwei Fallgewichten der Masse 9kg und 16,8kg durchgeführt. Drei Beipassschraubenöffnungen mit 1/4, 1/1 und 3/2 wurden gewählt. Diese entsprechen dem Einstellbereich während der Kalibrierung im ADT-Schlitten. Wichtig war auch ein mögliches nichtlineares Verhalten zu berücksichtigen.

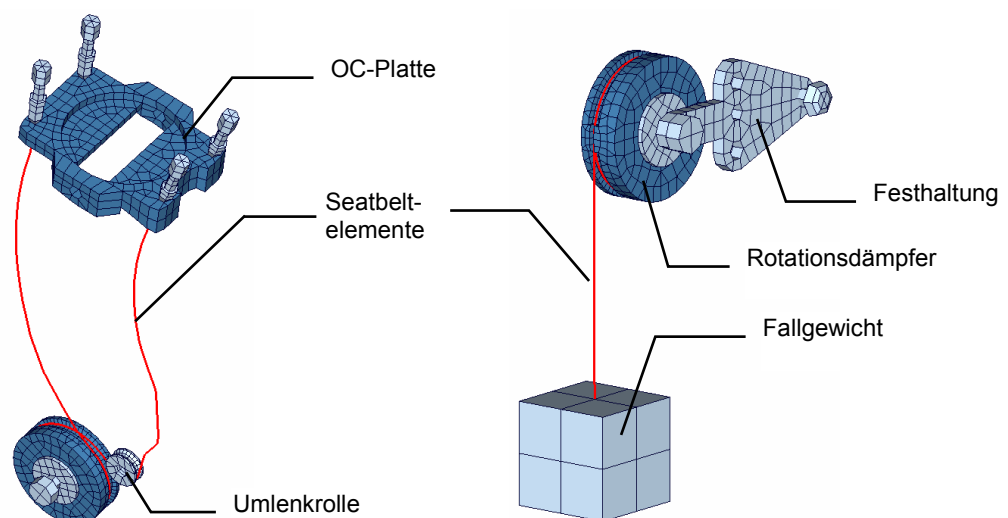


Abb. 20: Seilführung des Dämpferseils im BioRID2 (links) und Aufbau Dämpferfest (rechts)

Wirbelsäule

Um die Kinematik der Wirbelsäule und den Einfluss von Vorspannung und Dämpfung zu bewerten, wurden Komponententests ohne Fleisch festgelegt. Der in Abb. 21 dargestellte Versuchsaufbau besteht aus einer Haltekonstruktion die eine variable Abstützung der Wirbelsäule ermöglicht. Nach einer anfänglichen Lagerung der gesamten Wirbelsäule wurden die Teilbereiche T2 bis T7 gelöst und als weiterer Versuch nur noch die Anschlussplatte gehalten. Alle drei Lastfälle wurden jeweils voll kalibriert, ohne Dämpfung, und ohne Vorspannung durchgeführt. Mit vier verschiedenen Dummies ergab der Versuchsumfang 36 Schüsse.

Um den Einfluss des Torsofleisches zu berücksichtigen ist ein Versuchsaufbau ähnlich dem ATD-Kalibrierschlitten aufgebaut worden (Abb. 22). Dabei wird die Belastung über die Anschlussplatte zum Becken und das Halbrohr eingeleitet. Auch diese Versuche wurden jeweils voll kalibriert, ohne Dämpfung und ohne Vorspannung durchgeführt. Mit wiederum vier Dummies wurde 12 Mal getestet.

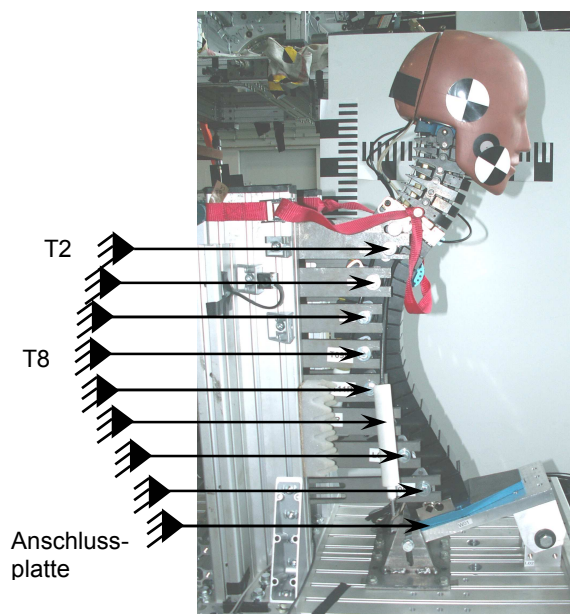


Abb. 21: Versuchsaufbau mit variablen Festhaltungen der Wirbelsäule

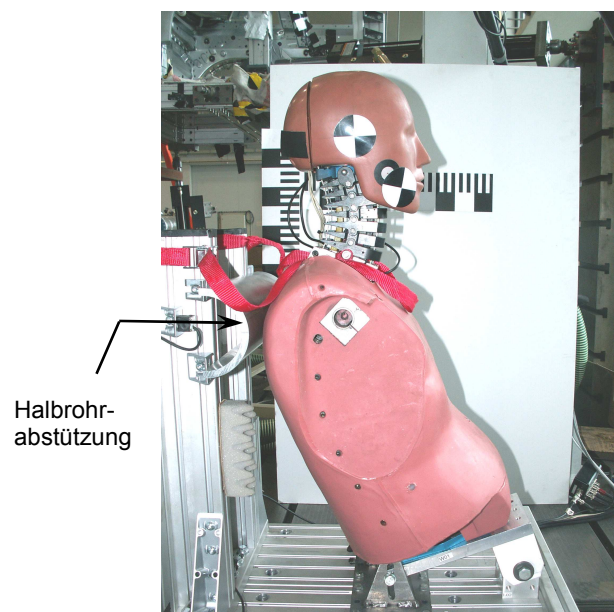


Abb. 22: Versuchsaufbau ähnlich dem ATD-Kalibrierschlitten

4.3 Versuche am Gesamtdummy

Der FAT- Arbeitskreis „BioRID“ hat als Versuchsgrundlage am Gesamtdummy den von der „Chalmers University of Technology“ entwickelten Referenzsitz gewählt (Abb. 23). Die Begründung liegt im relativ einfachen Aufbau, der guten Wiederholbarkeit und der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse [6].

Funktionsweise

Der hintere Halterahmen und die Sitzauflage sind mit dem Schlitten fest verbunden. Ein zweiter, innerer Halterahmen (Lehnenrahmen) ist im unteren Bereich gelenkig gelagert und stützt sich am hinteren Rahmen über einen Dorn in einer Biegeblechbremse ab. Die Lehne besteht aus unabhängig voneinander beweglichen Paneelen, welche sich über lineare Federsysteme am Lehnenrahmen abstützen (Abb. 23).

Mit Hilfe der Paneelfedern kann die Steifigkeit des Sitzschaums und der Federunterlagen eines Seriensitzes eingestellt werden. Mit unterschiedlich dicken Biegeblechen kann die eigentliche Sitztragstruktur angeglichen werden. Die Belastung der Paneele auf den Lehnenrahmen generiert ein Moment um den unteren Lagerpunkt. Ist die Abstützkraft größer als die elastische Steifigkeit der Biegeblechbremse, beginnt ein Rückverlagern des Lehnenrahmens durch Plastizieren des Biegeblechs.

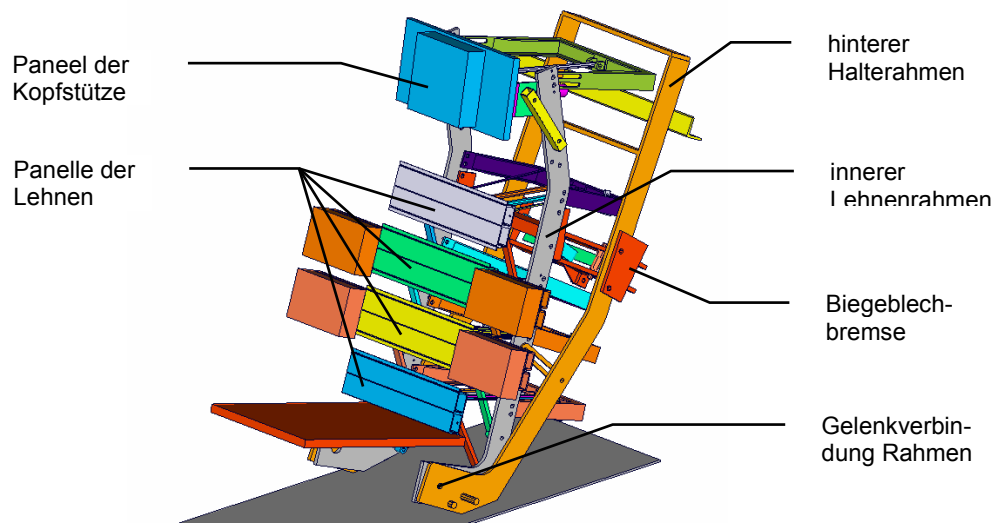


Abb. 23: Chalmers-Sitz mit Modifikationen des FAT

Modifikationen des FAT

Ziel ist es, das Modell auf das später wahrscheinlichste Lastniveau zu validieren. Mit Hilfe von zahlreichen Vorversuchen am Hardware-Dummy und der Simulation mit ersten Modellständen des BioRIDs, wurde der Chalmers-Sitz auf ein qualitativ und quantitativ ähnliches Verhalten eines Fahrzeugsitzes eingestellt (Abb. 24 und 25).

Die hauptsächlichsten Änderungen waren hierbei:

- Modifikation der Kopfstütze durch gelenkige Pendel-Lagerung und Federführung
- Schaumauflage auf der Kopfstütze mit bereits bekannten Materialdaten
- Modifikation der Federsteifigkeiten der einzelnen Paneele
- Neigung der Sitzauflage
- Einstellen der Biegeblechbremse durch Stützweitenregulierung und Blechdicke

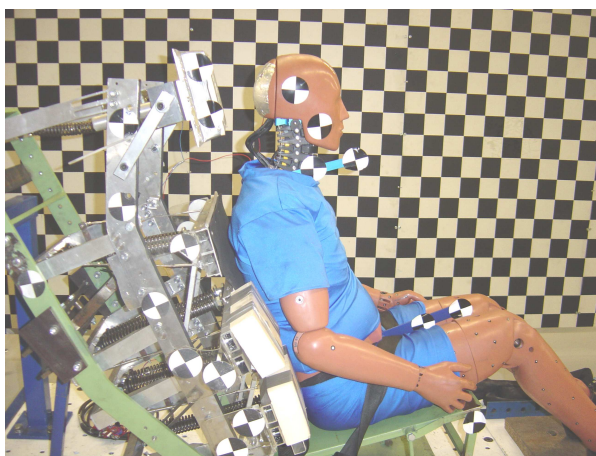


Abb. 24: Ansicht des BioRID2 während der ersten Vorversuche der Modifikationen

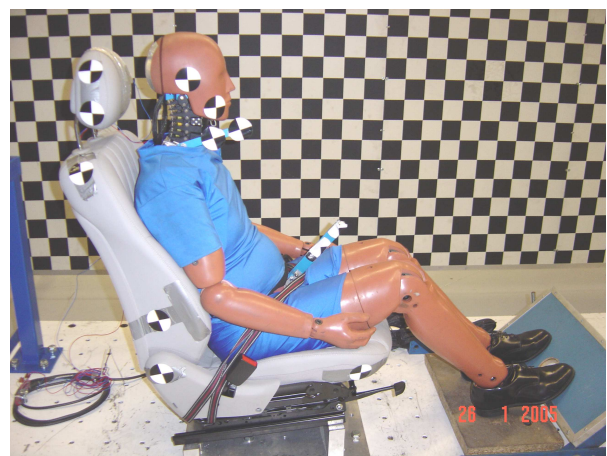


Abb. 25: Ansicht BioRID2 im Versuchsaufbau eines Seriensitzes als Referenzlastfall

Die Vorversuche wurden mit dem IIWPG-Dreieckspuls der Belastung 10g gefahren. In Abb. 26 ist ein Vergleich zwischen dem LS-DYNA-BioRID2-Modell im Versions-Stand 0.2 und dem Chalmers-Sitz zu sehen. Der gezeigte Stand ist noch nicht den endgültigen Einstellmodifikationen entsprechend. Die eigentlichen Versuchsreihen stehen noch aus. Diese sollen mit verschiedenen Pulsen durchgeführt werden. Auch hier werden vier Dummies eingesetzt, um eine hohe Reproduzierbarkeit und Wiederholbarkeit zu gewährleisten.

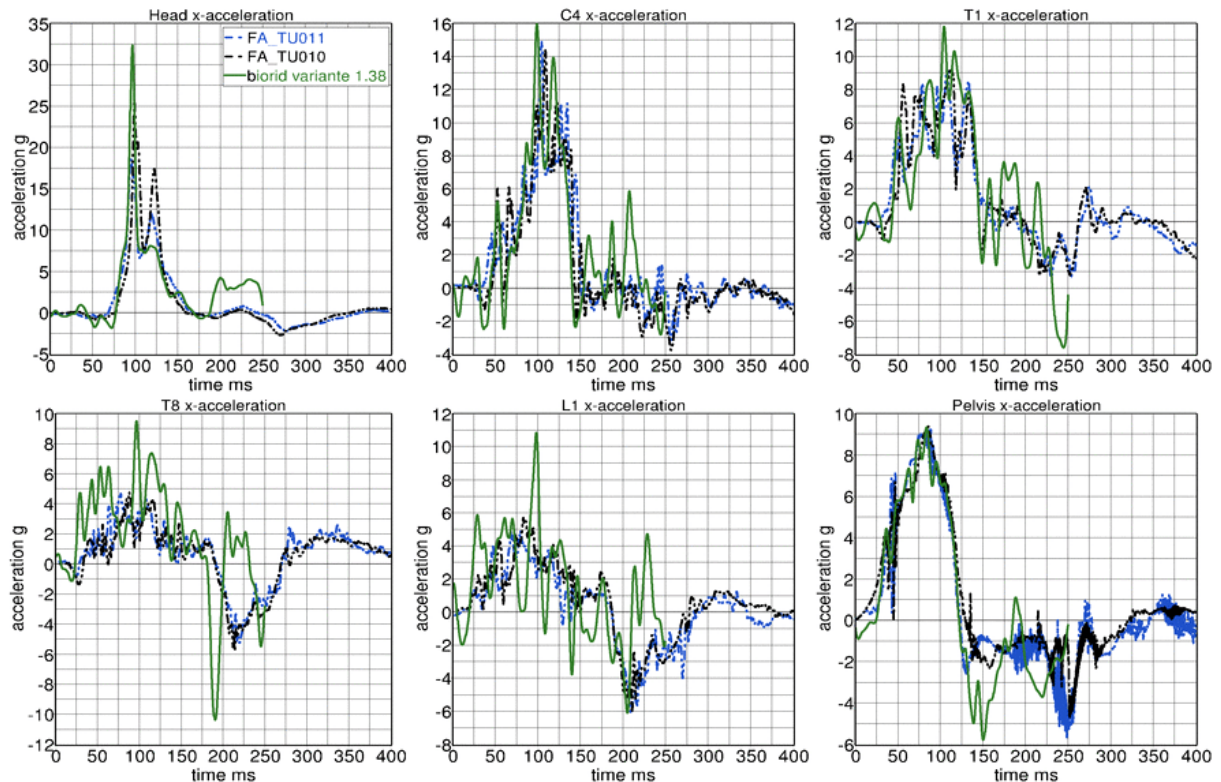


Abb. 26: Vergleich zwischen dem LS-DYNA-BioRID2-Modell Version 0.2 (grün, durchgehend) und den Testdaten (gestrichelt) eines frühen Vorversuchs der Sitzmodifikationen

5 Kalibriertest ATD-Schlitten

Bevor der BioRID2 zum Test eingesetzt werden darf, muss er im Kalibriertest bestimmte Korridorwerte aufzeigen. Nach der vorgeschriebenen Einstellprozedur der Wirbelsäule wird mittels der Dämpfereinstellung die Kalibrierung vorgenommen.

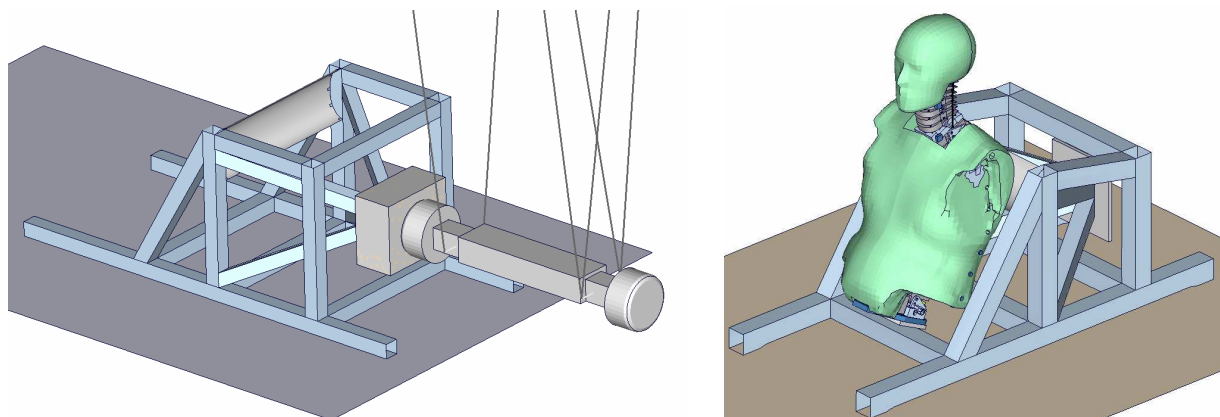


Abb. 27: Ansicht ATD-Kalibrierschleitten (13kg) mit Pendel (33,4kg, 4,76m/s, Schaumblock) [links] und BioRID2-Modell im Kalibrierschleitten (rechts)

Der in Abb. 27 dargestellte Kalibrierschlitten wird mittels eines Pendels beschleunigt. Der Schlitten liegt auf einer reibarmen Unterlage auf. In der Simulation wurde die Schlittenbeschleunigung als Belastung aufgetragen.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse ist zu beachten, dass nur ein Kalibriertest vorliegt und noch keine vollständigen Materialdaten eingearbeitet sind (Abb. 28). Erst mit dem Umfang der kompletten Testmatrix ist das Modell vollständig zu bewerten.

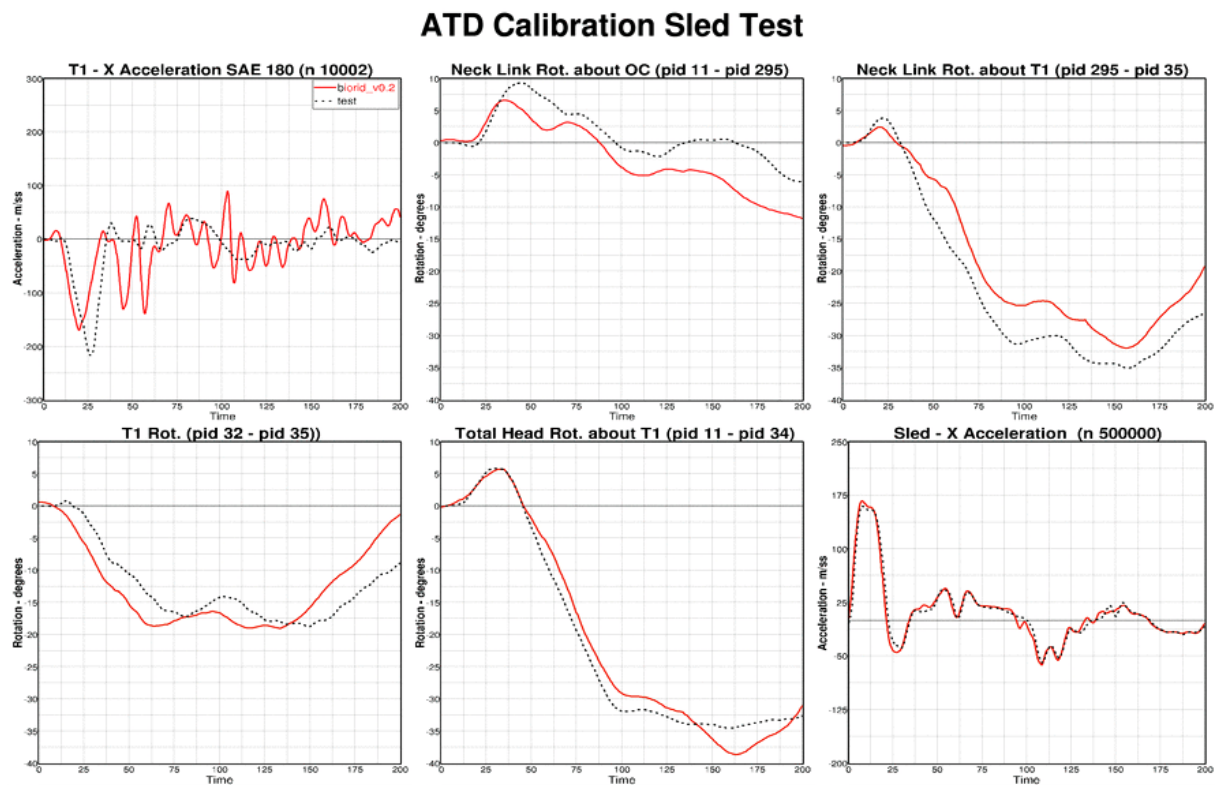


Abb. 28: Ergebnisse der BioRID2-Version 0.2 im ATD-Kalibrierschlitten (BioRID2_v0.2 – rot durchgehend, Test – gestrichelt)

6 Zusammenfassung

Der BioRID2 verlangt ein Modell bei dem eine Anfangsvorspannung des Muskeleratzsystems berücksichtigt werden muss. LS-DYNA bietet über die Nutzung der Referenzgeometrie eine benutzerfreundliche Möglichkeit, welche auch nach Einsitzsimulationen problemlos angewendet werden kann. Die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten der Modellbildung in LS-DYNA lassen eine genaue Abbildung der sehr detaillierten Funktionseinheit der Wirbelsäule zu.

Eine umfangreiche Versuchsmatrix der Materialien, Komponenten und am Gesamtdummy, ermöglicht eine dem späteren Lastniveau entsprechende Validierung. Die Ergebnisse zeigen bereits jetzt, dass mit einer möglichst genauen Modellierung und Materialuntersuchung das Verhalten in guter Übereinstimmung mit der Wirklichkeit steht. In den nächsten zwölf Monaten werden weitere Fein- und Nachvalidierungen vorgenommen.

Die Arbeitsumgebung des FAT ist auch für die Entwicklung des BioRID2-Modells eine sehr gute Grundlage. Der Vorteil, dass von Beginn an die Erfahrungen der späteren Anwender und der Modellbauer zusammenfließen, ermöglicht die Entwicklung sehr genauer und anwenderfreundlicher Simulationsmodelle.

7 Literatur

- [1] Franz U., Schuster P., Stahlschmidt S.: „Influence of Pre-Stressed Parts in Dummy Modeling – Simple Considerations –“, 8th International LS-DYNA User Conference 2004, Detroit, USA
- [2] Franz U., Schuster P., Schmid W.: „FAT Side Impact Dummy models – Remarks on Usage and potential Pitfalls“, 4th European LS-DYNA User Conference 2003, Ulm, Germany
- [3] Franz U., Schmid W., Schuster P.: „Observations During Validation of Side Impact Dummy Models – Consequences of the Development of the FAT ES-2 Model“, Nordic LS-DYNA User Conference 2002, Gothenburg, Schweden
- [4] Schuster P., Stahlschmidt S, Franz U.: „Development of BioRID-II Dummy Model in Cooperation with the German Automotive Industry“, 5th European User Conference 2005, Birmingham, UK
- [5] Robert A. Denton, Inc., „BioRID II Users Guide“, 2002
- [6] Davidsson J.: „BioRID II final report“, Chalmers University of Technology Gothenburg, Schweden, 1999
- [7] Schmitt A., Denton Coe GmbH; Arthur J., Denton ATD: Private Communications
- [8] Kan C-D. S., Marzougui D., Bedewi N. E.: „Development of a 50th Percentile Hybrid III Dummy Model“, 4th European LS-DYNA User Conference 2003, Ulm, Germany
- [9] LS-DYNA Keyword User Manual, Version 970