

Masterarbeit

**Entwicklung eines
Komponentenprüfstandes für die
Darstellung der Insassenbelastung
beim Seitencrash**

Birgit Reitbauer

Institut für Fahrzeugsicherheit
Technische Universität Graz



Begutachter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hermann Steffan
Betreuer TU Graz: Dipl.-Ing. Dr. techn. Gregor Gstrein
Betreuer ViF: Dipl.-Ing. (FH) Harald Marbler-Gores

Graz, Dezember 2013

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, den 3. Dezember 2013

BIRGIT REITBAUER

Danksagung

Die vorliegende Masterarbeit entstand am Kompetenzzentrum - Das virtuelle Fahrzeug - in Kooperation mit der Audi AG. Für die Möglichkeit der Durchführung dieser Arbeit und die kompetente Betreuung möchte ich mich besonders bei Herrn Dipl.-Ing. (FH) Harald Marbler-Gores (ViF), Herrn Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Maik Galle (Audi AG), Herrn Dipl.-Ing. (FH) Daniel von Koschitzky (Audi AG), sowie bei meinen Kollegen der Area D (ViF) bedanken, die mir jederzeit hilfreich zur Seite gestanden haben.

Seitens der TU Graz wurde diese Masterarbeit vom Institut für Fahrzeugsicherheit betreut. Mein besonderer Dank gilt daher dem Institutsvorstand Herrn Univ.-Prof. Dr. techn. Hermann Steffan und meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Gregor Gstrein, der keine Zeit und Mühe gescheut hat mich bei der Durchführung dieser Arbeit zu unterstützen.

Für die Durchführung der Versuche möchte ich mich bei den Mitarbeitern der Firma DSD bedanken.

Ein großes Danke auch an meine Eltern und meine Familie, die mir dieses Studium überhaupt erst ermöglicht haben und auf deren Unterstützung ich immer zählen konnte.

Kurzfassung

Bei einem Seitencrash besteht im Vergleich zu anderen Unfalltypen ein höheres Verletzungsrisiko. Ein Fokus der Automobilhersteller liegt daher darauf, das Fahrzeug bezüglich des Seitencrashverhaltens sicherer zu gestalten. In der frühen Phase der Fahrzeugentwicklung stehen üblicherweise nur wenige Komponenten für Versuche und zur Validierung der Simulationsmodelle zur Verfügung. Um diese dennoch unter realistischen Bedingungen zu testen und somit den Entwicklungsaufwand mit teuren Prototypen zu reduzieren, werden sogenannte Komponententests durchgeführt.

Ziel dieser Masterarbeit ist die Ausarbeitung einer Methode zur Entwicklung eines Komponentenprüfstandes für einen Seitencrash für die Entwicklung von Rückhaltesystemen. Als Bewertungskriterien werden ausgewählte Insassenbelastungswerte herangezogen. Als Ausgangsbasis dienen ein Gesamtfahrzeugsimulationsmodell und Versuchsdaten, welche von der Audi AG zur Verfügung gestellt wurden. Das Simulationsmodell wurde zunächst auf die notwendigen Komponenten reduziert und die Intrusionen der Tür relativ zum Insassen durch Knotenverschiebungen des Türinnenblechs und der B-Säule nachgestellt. Anschließend wurden die Knotenverschiebungen durch flächige Positionierung von 4 Intrusionszylindern, welche an geeigneten Positionen die Intrusionen der Türkomponenten relativ zum Insassen nachstellen, ersetzt. Ziel war es, den Ersatzversuch im Modell so auszulegen, dass er mit dem ASIS-System der Fa. DSD im Versuch umgesetzt werden kann. Die Vorgabekurven der Intrusionszylinder wurden aus der Gesamtfahrzeugsimulation abgeleitet und derart angepasst, dass sich einerseits eine bestmögliche Übereinstimmung zur Gesamtfahrzeugsimulation ergibt und andererseits die Leistungsgrenzen von ASIS und HyperG eingehalten werden.

Nach der Auslegung wurden 4 Realversuche mit dem ASIS durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Versuchen wurden anschließend mit dem Ersatzversuchmodell verglichen und bewertet. Systembedingt kam es zu unterschiedlichen Startzeitpunkten der einzelnen Intrusionszylinder und des HyperG gegenüber der Simulation, das zu großen Abweichungen der Belastungswerte führt. Durch eine Anpassung der Reglerparameter konnte dieses Zeitfenster jedoch deutlich reduziert werden. Zur Ermittlung wodurch die Abweichungen der Belastungswerte auftreten, wurden nach den Versuchen zusätzliche Untersuchungen mit dem Simulationsmodell durchgeführt. Da im Gesamtfahrzeugmodell jedoch nicht alle Phänomene der Realität abgebildet werden können, konnten keine Verbesserungen bei den Belastungswerten erzielt werden. Die Überlagerung der Bewegung des Türinnenblechs zwischen Versuch und Simulation, sowie die Auswertung der nachgefahrenen Pulse der Zylinder ergaben eine gute Reproduzierbarkeit des Versuchs.

Die Methode, die in dieser Arbeit entwickelt wurde, dient als mögliches Vorgehensschema für die Fahrzeugentwicklung, mit deren Hilfe sowohl die benötigte Entwicklungszeit, als auch die Entwicklungskosten erheblich reduziert werden können. Die Methode lässt sich durch eine gegebenenfalls notwendige Anpassung der Zylinderpositionierung, der Vorgabekurven der Intrusionszylinder und des HyperG gut auf andere Lastfälle und Insassen übertragen.

Abstract

In a car accident, the risk to get injured in a side impact is higher than in a frontal impact. Therefore, a main focus of car manufactures is to arrange the vehicle safer concerning the side crash behavior. In the early phase of the vehicle development usually only a few components are available for experiments and validation of simulation models. To test the components under real conditions and to reduce development costs by avoiding expensive tests with prototypes, so-called component tests are accomplished.

Aim of this master thesis is to find a method for developing a component test bed for a side impact to develop restraint systems. Occupant load values are used as evaluation criteria. Audi AG provided a full vehicle simulation model and some experimental data as basis. The simulation model was first reduced to the necessary components. The intrusion of the door relative to the occupant was adjusted by nodal displacements of the door inner panel and the B-pillar. Then, the nodal displacements were replaced by flat positioning of 4 intrusion cylinders, adjusting intrusions of the door components relative to the occupant at qualified positions. The purpose was to design a surrogate experiment that can be implemented to the ASIS system from DSD. The default curves of intrusion cylinders, derived from the full vehicle simulation, were adapted in a way on the one hand with the best possible match of the results to the full vehicle simulation and on the other hand with the performance limits of ASIS and HyperG.

A number of 4 real experiments were carried out with the ASIS according to the interpretation. The results of the experiments were compared with the simulation model. Due to the system used, there were different start times between the individual cylinders and HyperG and the simulation, leading to large variations of load values. However, by adapting the controller parameters this time window could be significantly reduced. To determine the deviations of load values from the experiments, additional studies were performed using the simulation model. Because of the fact, that it's impossible to design all phenomena of reality in the full vehicle

model, no improvements in the load values were achieved. However, the superposition of the movement of the inner door panel between experiment and simulation, and the evaluation of the pulses of the cylinders in the experiment showed a good reproducibility.

All in all, the method described in this thesis represents a possible new approach for vehicle development, significantly reducing time and costs. Furthermore it can be, by any necessary adjustment of the positioning cylinder and the default curves of the intrusion of the cylinder and HyperG, well transferred to other load cases and occupants.

Abkürzungsverzeichnis

F _x	Kraft in X
F _y	Kraft in Y
F _{res}	resultierende Kraft
M _y	Moment um Y
M _z	Moment um Z
ASIS	Advanced Side Impact System
BS	B-Säule
BSVKL	B-Säulenverkleidung
DSD	Dr. Steffan Datentechnik
EPP	Polypropylenschaumstoff
ES-2	EuroSid 2 (Dummy)
FE	Finite Elemente
GF bzw. GFZ	Gesamtfahrzeug
KAB	Kopfairbag
Miko	Mittelkonsole
NCAP	New Car Assessment Program
R21	Gesamtfahrzeugsimulation
SAB	Seitenairbag
SIS	Seitenaufprall-Simulator von Messring
Sim	Simulation
Sum	Summe
TVKL	Türverkleidung
V01	Versuch 01
ViF	Kompetenzzentrum - Das Virtuelle Fahrzeug
Z1	Intrusionszylinder 1

Inhaltsverzeichnis

1	Komponententests beim Seitencrash	1
1.1	Impaktoren-Tests	1
1.2	Schlittentests	2
1.2.1	Schlittenanlage TRW	3
1.2.2	Schlittenanlage Magna Steyr	4
1.3	Tests mit Intrusionszylindern	6
1.3.1	ASIS	6
1.3.2	Funktion ASIS Intrusionszylinder	7
1.3.3	HyperG	8
1.3.4	ASIS On-Sled Konzept	9
1.3.5	ASIS Off-Sled Konzept	9
1.3.6	Messring SIS	10
1.3.7	Nachstellung von Gesamtfahrzeugversuchen mit ASIS	11
1.3.7.1	Anzahl und Positionierung der Intrusionszylinder	11
1.3.7.2	Verwendung von Fahrzeugkomponenten	13
1.3.7.3	Intrusionsprofil des Türinnenblechs	13
1.4	Zusammenfassung	16
2	Aufgabenstellung	18
2.1	Vorgehensweise	18
2.2	Ausgangsbasis Gesamtfahrzeugsimulation	19
2.3	Ausgewählter Lastfall: Japan-NCAP	19
2.4	Vergleich Gesamtfahrzeugsimulation und Realversuch	20
3	Untersuchung der Einflussgrößen anhand des Submodells	26
3.1	Bauteilumfang	26
3.2	Reduktion des Gesamtfahrzeugmodells	27
3.3	Aufbringen von Knotenverschiebungen	28
3.4	Überlagerung der Simulationen	30
3.5	Aufgetretene Probleme und Lösungen	35
3.5.1	Abweichung der B-Säulen-Deformation im unteren Bereich	35
3.5.2	Abweichung der Sitzbewegung innenseitig	37
3.5.3	Abweichungen durch den Kopfairbag	39

3.5.4	Abweichung der Armbewegung	42
3.5.5	Gesamtergebnis	44
4	Reduktion der Bauteile und Freiheitsgrade	48
4.1	Reduktion der Bauteile	48
4.1.1	Reduktion von Mittelkonsole und Kopfairbag	49
4.1.2	Reduktion B-Säule	50
4.2	Reduktion der Freiheitsgrade	53
5	Ersatzversuch mit Intrusionszylindern	58
5.1	Positionierung der Intrusionszylinder	58
5.2	Adapterplatten	59
5.3	zusätzliche Anbindungen und Verschiebungen	60
5.4	Ableitung der Bewegungsvorgaben für Intrusionszylinder und Sitz	61
5.5	Ersatzstrukturen	65
5.5.1	Kopfabstützung	65
5.5.2	Ersatzstruktur Mittelkonsole	66
5.6	Sensibilitätsanalyse	67
5.7	Modifizierung der Pulse	76
5.8	Konstruktion des Prüfstandes	80
5.8.1	Konstruktion Prüfstandsabstützung	81
5.8.2	Konstruktion Kopfabstützung	82
5.8.3	Konstruktion B-Säulen-Aufnahme	83
5.8.4	Ersatzkonstruktion Mittelkonsole	83
5.8.5	Konstruktion Sitzanbindung	84
5.8.6	Konstruktion Gurtanbindung	85
5.8.7	Konstruktion Adapterplatten	85
5.8.8	Massen	86
5.9	FE-Modell basierend auf der Konstruktion	87
5.9.1	Materialmodelle	88
5.9.2	B-Säulenaufnahme	89
5.9.3	Adapterplatten	90
5.9.4	Simulation des Ersatzversuchs	90
5.9.5	Integration der askonstruierten Ersatzkomponenten	93
5.9.6	Zusammenfassung	94
5.9.7	Modifizierung des Pulses Intrusionszylinder 1	95
6	Versuchsdurchführung	97
6.1	Versuchsvorbereitung	97
6.1.1	Bauteilzuschnitte	97
6.1.2	Positionierung Dummy und Sitz	99

6.1.3	Sensoren	100
6.1.4	Kameras	101
6.1.5	Aufgetretene Probleme	101
6.1.5.1	Fehlender Versteifungsteil B-Säule	101
6.1.5.2	Falscher EPP-Schaum	103
6.1.5.3	Stehenbleiben der Intrusionszylinder	103
6.1.5.4	Positionierung Prüfstand	106
6.1.5.5	Positionierung Dummy	107
6.2	Versuchsauswertung	107
6.2.1	Versuch 01	107
6.2.1.1	Auswertung der gefahrenen Pulse	108
6.2.1.2	Vergleich der Startzeiten	109
6.2.1.3	Aufgetretene Wegfehler	110
6.2.2	Versuch02 - Versuch04	112
6.2.2.1	Änderungen gegenüber Versuch01	112
6.2.2.2	Fehlerhafte Sensoren	113
6.2.2.3	Performance Intrusionszylinder und HyperG	114
6.2.2.4	Startzeiten Versuch 02 - Versuch 04	116
6.2.2.5	Verschiebungsfehler auf Grund des zeitlichen Versat- zes Versuch 02 - Versuch 04	116
6.2.2.6	Vergleich Versuch 02 mit Simulation	117
6.2.2.7	Zusätzliche Untersuchungen	125
6.2.2.8	Vergleich Versuche 02-04 mit GF-Versuch	133
6.2.2.9	Abschließender Kommentar	136
7	Fazit	137
7.1	Zusammenfassung	137
7.2	Ergebnis	137
7.3	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse	138
7.4	Übertragbarkeit der Methode	138
7.4.1	Andere Fahrzeuge	138
7.4.2	Anderer Lastfall	139
7.4.3	Andere Insassen	139
7.5	Einschränkungen	139
8	Ausblick	141
	Abbildungsverzeichnis	142
	Literaturverzeichnis	148

1 Komponententests beim Seitencrash

Der Seitenanprall ist mit etwa 27,3% die zweithäufigste Anprallart nach der Frontalkollision mit etwa 65,7%. Die Verletzungsfolgekosten sind beim Seitenanprall mit einem Häufigkeitsanteil von ca. 39,7% sehr hoch. Das Verletzungsrisiko ist somit beim Seitenanprall höher als beim Frontalanprall. Ein besonderes Augenmerk der Automobilhersteller wird darauf gelegt das Fahrzeug bezüglich seines Seitencrashverhaltens sicherer zu gestalten. Da der Raum zwischen Tür und Insasse sehr begrenzt ist, stellt eine gute Konzeption der Rückhaltesysteme eine große Herausforderung dar. Um gute Ergebnisse bei den vorgeschriebenen Tests zu erreichen und die strenger werdenden maximalen Bealstungswerte auf den Insassen einhalten zu können, müssen die Fahrzeugkomponenten ständig weiterentwickelt werden.

Da in der frühen Phase der Fahrzeugentwicklung nur einzelne Komponenten des Fahrzeuges für Tests zur Verfügung stehen und weil die Kosten für Versuche mit Prototypen sehr hoch sind, werden im Bereich der Fahrzeugsicherheit sogenannte Komponententests durchgeführt. Bei solchen Komponententests werden einzelne Komponenten bzw. Baugruppen, wie z.B. der Entfaltungsraum des Seitenairbags, untersucht und können anschließend weiterentwickelt werden. Weiters werden solche Tests auch zur Validierung von Simulationsmodellen eingesetzt. Komponententests können, neben anderen, in folgende Prüfstandsprinzipien eingeteilt werden [1]:

- Impaktoren-Tests
- Schlittentests
- Tests mit Intrusionszylindern

1.1 Impaktoren-Tests

Zur Entwicklung von Airbags oder anderen Fahrzeugkomponenten werden Tests mit verschiedenen Impaktoren eingesetzt - z.B. bei der Entwicklung von Seitenairbags bildet der Impaktor den Oberkörper des Dummys nach und wird gegen den Seitenairbag gedrückt, der auf der anderen Seite Kontakt mit der Türverkleidung hat. Das Prinzip eines Impaktor-Tests, z.B. zur Verbesserung der Seitenairbagentfaltung, ist in Abbildung 1.1 dargestellt. [1]

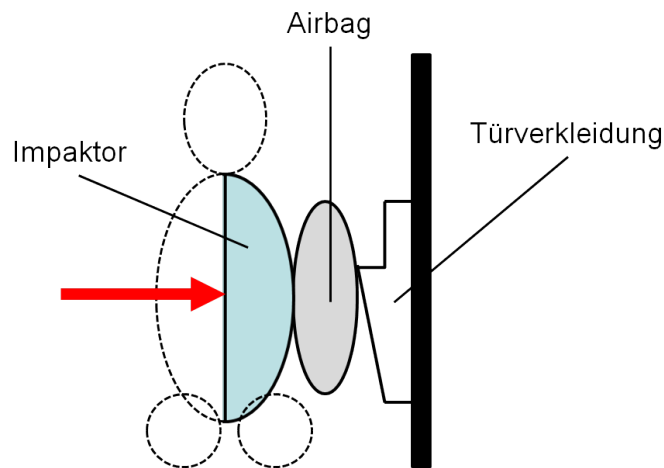


Abbildung 1.1: Impaktoren-Test

Gegenüber einem Gesamtfahrzeugtest haben Impaktor-Tests den Vorteil, dass sie kostengünstiger in der Entwicklung eingesetzt werden können. Die statische Bewegung der Impaktoren entspricht jedoch nicht den Intrusionen eines Gesamtfahrzeuges. Impaktoren-Tests werden im Bereich des Fußgängerschutzes, z.B. beim Euro-NCAP eingesetzt, um die Stoßbelastung auf den Kopf, das Becken, sowie die unteren Extremitäten nachzubilden. [6]

1.2 Schlittentests

Zur Entwicklung von Rückhaltesystemen, wie z.B. Sicherheitsgurt und Airbags, können sogenannte Schlittentests eingesetzt werden. Um die Rückhaltesysteme auf dem Prüfstand befestigen zu können, werden oft Teile der Karosserie auf dem Schlitten montiert, welche jedoch versteift werden um eine große Anzahl von Tests unbeschadet zu überstehen. Dem Schlitten wird die Verzögerung des Fahrzeuges während der Kollision aufgeprägt. Auf Grund der Versteifung und der damit verbundenen Verfälschung des Verhaltens der Teilkarosserie lassen sich verletzungsrelevante Intrusionen nicht realistisch nachbilden. Es kann gegebenenfalls zu großen Abweichungen der Insassenbelastung kommen. Vorteil hierbei ist, dass die Funktion Rückhaltesysteme überprüft werden kann, ohne einen kompletten Fahrzeug-Prototypen zu benötigen. Auch die versteiften Karosserieteile können für mehrere Tests verwendet werden. So kann z.B. das Entfaltungsverhalten verschiedener Airbags oder Sitze getestet werden, indem nur einzelne Komponenten ausgetauscht werden. [1]

1.2.1 Schlittenanlage TRW

Als Beispiel sei hier die Schlittenanlage von der Firma TRW, bei der 3 Schlitten eingesetzt werden, erwähnt. Der Stoßschlitten wird aus dem Stillstand auf die Eindringgeschwindigkeit beschleunigt, um die Kontaktgeschwindigkeit zwischen Insassen und Tür nachzubilden. Bei der in Abbildung 1.2 gezeigten Schlittenanlage von TRW befinden sich in der Ausgangssituation die Fahrgastzelle mit dem Dummy und der Seitentür in Ruhelage. Der Stoßschlitten ist mit einer Schließvorrichtung versehen, welche zum Berührungszeitpunkt die Tür mit dem Schlitten verriegelt. Ab diesem Zeitpunkt dringt die Tür mit der vom Stoßschlitten aufgezwungenen Geschwindigkeit in die Fahrgastzelle ein und trifft auf den Dummy, welcher bis dahin noch in Ruhelage war. Bei Kontakt des Stoßschlittens mit der Fahrgastzelle wird der Sitz, der sich auch einem eigenen Schlitten befindet, bewegt.

Die Intrusionstiefe ist von der Geschwindigkeit und dem Defo-Element zwischen Stoßschlitten und Fahrgastzelle abhängig, daher ist man beim Intrusionsprofil und dem Intrusionsverlauf über der Zeit eingeschränkt. Ein weiterer Nachteil gegenüber einem Gesamtfahrzeugversuch ist, dass die Tür nur in 1 Richtung bewegt werden kann. Da nur eine Geschwindigkeit, im Gegensatz zu z.B. Tests mit Intrusionszylindern, in einer Richtung auf die Tür aufgeprägt werden kann und dieses Verhalten nicht einem realen Seitencrash entspricht, erhält man für die Dummybelastungen andere Ergebnisse als im Gesamtfahrzeugversuch. Beachtet man die getroffenen Vereinfachungen, kann die Funktion von Rückhaltesystemen und der Einfluss auf die Dummybelastungen beurteilt werden. Ein Vorteil dieses Systems ist, dass die Anlage relativ einfach aufgebaut ist und die Karosserieteile mehrfach verwendet werden können. Durch Verwendung von Stauchrohren auf dem Stoßschlitten kann das Auftreffen des Schlittens variabel gestaltet werden. Will man die Insassenbelastung realistisch nachstellen, müssen jedoch alternative Crashanlagen verwendet werden. [1]

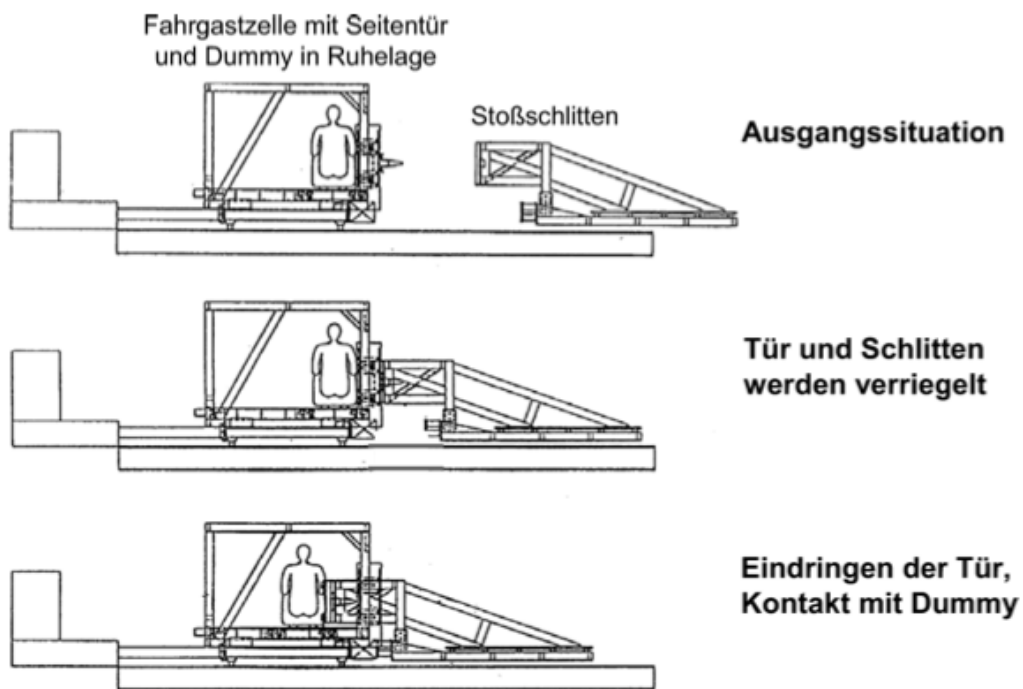


Abbildung 1.2: Schlittenanlage für Seitenkollisionen nach TRW [1]

1.2.2 Schlittenanlage Magna Steyr

Die von Magna Steyr entwickelte Katapult-Schlittenanlage baut auf einer bestehenden Anlage, Abbildung 1.3, auf.

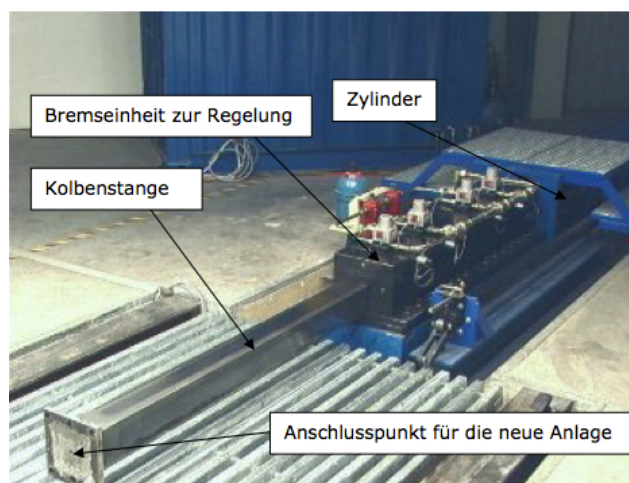


Abbildung 1.3: Bestehende Schlittenanlage Magna Steyr [10]

Das Konzept der Schlittenanlage ist in Abbildung 1.4 dargestellt - dabei sind Sitz- und Türelemente auf 2 entkoppelten Schlitten montiert. Der Türschlitten wird über

die vorhandene Anlage gesteuert, der Sitzschlitten durch eine unregelmäßige Pneumatikeinheit zwischen den beiden Schlitten. Die Tür- und Sitzbeschleunigungssignale können dadurch entkoppelt werden. Die Anpassung des Sitzpulses an den Versuch erfolgt über den Befüllungsdruck des Pneumatikzylinders, die Füllmenge und die Pulswegbegrenzung durch einen verstellbaren Anschlag.

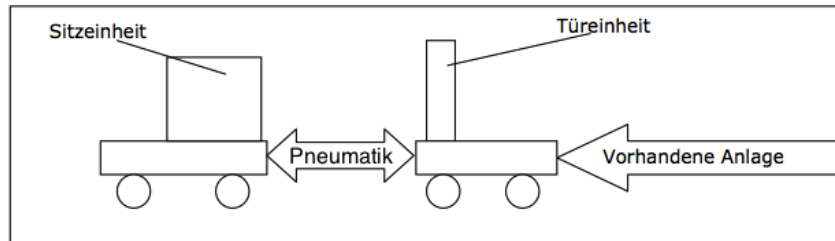


Abbildung 1.4: Konzept der Schlittenanlage nach [10]

Abbildung 1.5 zeigt die entwickelte Anlage. Der Türschlitten trägt dafür alle für die Simulation der Türbewegung notwendigen Bauteile und fixiert den Sitzschlitten bis zum Auslösen des Versuchs. Der Sitzschlitten trägt neben dem Sitz selbst alle Bauteile, die mit dem Sitz mitbewegt werden, z.B. das Gurtsystem und den Dummy. Für den Unterbau wird ein Rahmenaufbau verwendet, welcher den Aktuator und den Puffer trägt und die Kräfte ins Fundament überträgt. Der Puffer ist verstellbar, um die Pulswegbegrenzung zu realisieren.

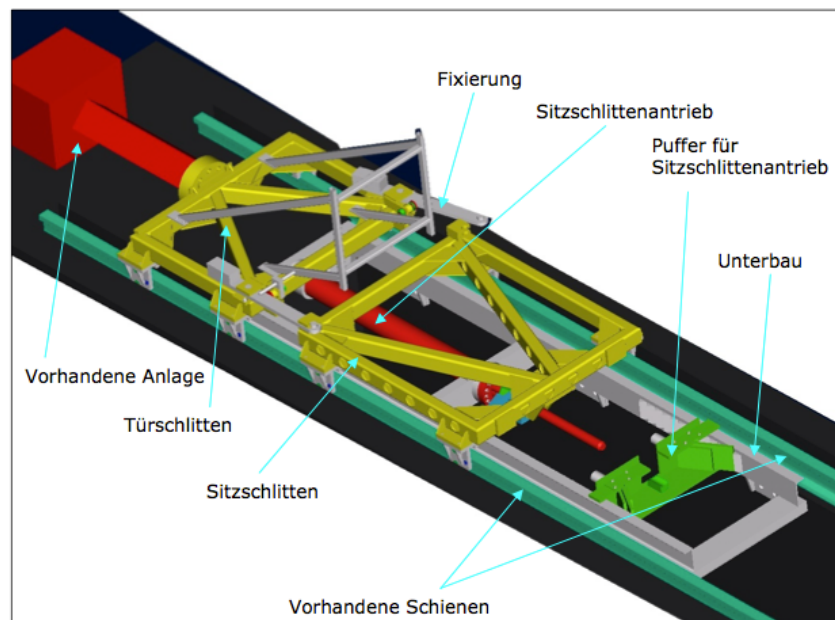


Abbildung 1.5: Schlittenanlage [10]

Ein Vorteil dieser Anlage ist, dass die Beschleunigungspulse von Tür und Sitz entkoppelt sind. Weiters kann zur Nachbildung des Pulses eine vorhandene Schlittenanlage verwendet werden. Ein Test kann daher mit dieser Anlage einfach durchgeführt werden.

Nachteilig ist, dass nur 1 Geschwindigkeit auf die Tür aufgeprägt werden kann und daher keine Türbewegung, wie im Versuch, nachgestellt werden kann. Es kann daher zu anderen Insassenbelastungswerten kommen, als im Gesamtfahrzeugversuch. [10]

1.3 Tests mit Intrusionszylindern

Herkömmliche Schlittentests simulieren die Deformation der Tür mit einem Stoßschlitten und damit auch nur mit einer gleichförmigen Intrusionsbewegung auf der gesamten Tür. Sie können daher die Deformation des Sitzes durch die Tür nicht realistisch nachbilden. Bei Testverfahren mit mehreren Intrusionszylindern kann das Verhalten der Tür und die Belastung auf den Insassen simuliert werden. Da der Intrusionsverlauf durch das Aufprägen verschiedener Geschwindigkeiten durch die Intrusionszylinder variabel ist, erhält man realistischere Ergebnisse als bei Schlittentests. In den folgenden Kapiteln wird die Testmethode der Firma DSD Linz genauer erläutert. [2]

1.3.1 ASIS

Da der im Rahmen dieser Diplomarbeit entwickelte Ersatzversuch für das Seitencrashsystem ASIS (Advanced Side Impact System) geeignet sein soll, wird dieses System hier genauer erläutert. Abbildung 1.6 zeigt das ASIS der Firma DSD. [3]



Abbildung 1.6: Seitencrashsystem ASIS auf HyperG [3]

Die folgenden Leistungen können vom ASIS erbracht werden [3]:

- max. Kräfte 120kN/Zyl. (200 bar System)
- max. Beschleunigungen 200g
- Beschleunigungsanstiege bis 20g/ms
- Minimaler Abstand zwischen den einzelnen Zylindern (ca. 200mm)
- Maximaler Hub 300mm
- bis zu 9 Intrusionszylinder

1.3.2 Funktion ASIS Intrusionszylinder

Bei diesem Seitencrashsystem werden sogenannte Intrusionszylinder eingesetzt, um die auftretenden Intrusionen realistischer als mit einem Schlittentest nachzubilden. Dies ist möglich, da mit mehreren Intrusionszylindern die Intrusionen an unterschiedlichen Positionen der Tür verschiedene Intrusionsverläufe aufgeprägt werden können. Bei einem Schlittentest kann nur eine Geschwindigkeit für alle Komponenten eingestellt werden. Die Intrusionszylinder beziehen die Schubkraft, wie der HyperG, aus einer vorgespannten Luftfeder und die Regelung des Beschleunigungsverlaufs wird über eine hydraulische Bremse realisiert. Auf Grund der in Kapitel 1.3.1 erklärten Leistungsgrenzen, können jedoch nicht alle beliebigen Beschleunigungsverläufe mit den Intrusionszylindern nachgefahren werden. Weiters kann es auf Grund verschiedener Einflüsse, wie z.B. Reibung oder Kräfte durch Verspannungen, zu einer

Abweichung vom vorgegebenen Beschleunigungsverlauf kommen. Ein Intrusionszylinder ist in Abbildung 1.7 dargestellt. [3], [2]

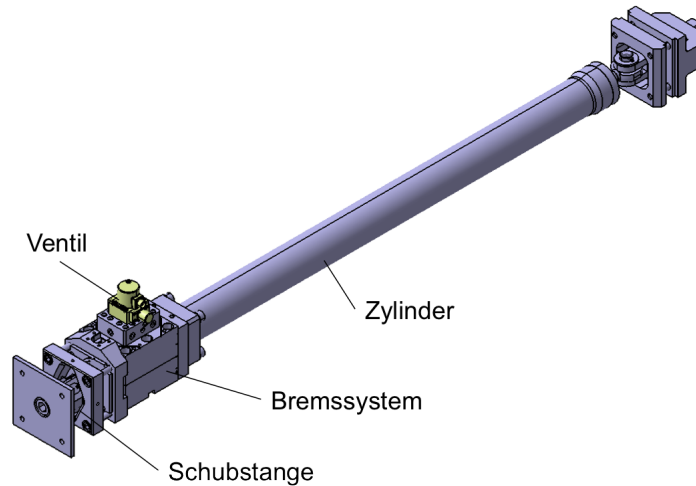


Abbildung 1.7: ASIS Intrusionszylinder [3]

1.3.3 HyperG

Mit Hilfe des HyperG kann der Schlitten, auf dem der Prüfstand montiert ist, beschleunigt werden. Das Beschleunigungssystem besteht aus einem geführten Kolben, der mit Druckluft verschoben werden kann und der den Katapultschlitten dadurch beschleunigt. Der Kolben ist mit einer hydraulischen Bremseinheit versehen. Nachfolgend sind die Leistungen des HyperG aufgelistet [4]:

- effektive Schubkraft 1,5MN
- max. Zuladegewicht 4000kg
- Ruck bis 13g/ms
- Max. Beschleunigung ohne Aufbau 70g
- Max. Nutzhub 1,3m

Als Zuladegewicht wird alles bezeichnet, was auf dem Schlitten montiert ist. Der ASIS-Rahmen mit 4 Intrusionszylindern und das Fangnetz wiegen zusammen 2850kg, die Schlittenplatten ca. 600kg. Durch steigendes Zuladegewicht sinkt die maximal erreichbare Beschleunigung. Bei einem Zuladegewicht von z.B. 700kg kann noch eine Beschleunigung von 53g erreicht werden. [4]

1.3.4 ASIS On-Sled Konzept

Beim ASIS On-Sled Konzept wird das Seitencrashsystem auf dem Katapultschlitten, wie in Abbildung 1.8, montiert. Die Beschleunigung des Schlittens erfolgt mit Hilfe des HyperG. Ein Vorteil bei diesem System ist, dass die Intrusionszylinder nur den relativen Weg gegenüber dem HyperG nachstellen müssen, woraus sich ein kürzerer notwendiger Hub für die Zylinder ergibt. Da für die Intrusionszylinder keine Rückwärtsbewegung möglich ist, ergibt sich eine Abhängigkeit der Beschleunigung vom HyperG. So können z.B die Intrusionszylinder keine geringere Geschwindigkeit als der HyperG nachfahren, wodurch sich höhere Intrusionen, als erwünscht, durch die Zylinder ergeben können. [3]

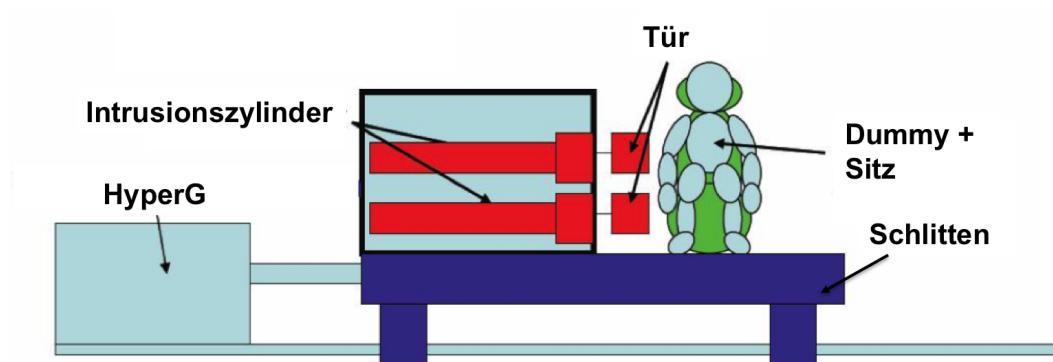


Abbildung 1.8: ASIS On-Sled Konzept nach [3]

1.3.5 ASIS Off-Sled Konzept

Im Vergleich zum On-Sled Konzept ist das Off-Sled Konzept ein stationäres System, wobei das ASIS auf einem eigenen Fundament installiert ist. Die Fahrzeugbewegung wird hierbei nur durch den Sitz, der sich auf einem Schlitten befindet, nachgestellt. Die Intrusionszylinder müssen daher in der Lage sein den absoluten Weg, Eindringweg und Fahrzeugbewegung zu fahren und nicht nur den relativen Weg gegenüber dem HyperG, wie das beim On-Sled-Konzept der Fall ist. Das bedeutet, dass ein deutlich höherer Hub erforderlich ist. Ein Vorteil dieses Systems ist, dass die Beschleunigungsverläufe des HyperG und jene der Intrusionszylinder voneinander unabhängig sind und somit die Intrusionszylinder auch geringere Geschwindigkeiten als der Zylinder, der den Sitz beschleunigt, nachstellen können. Dies ist z.B. beim Nachstellen von Barrierentests relevant. Das Off-Sled Konzept ist schematisch in Abbildung 1.9 dargestellt.

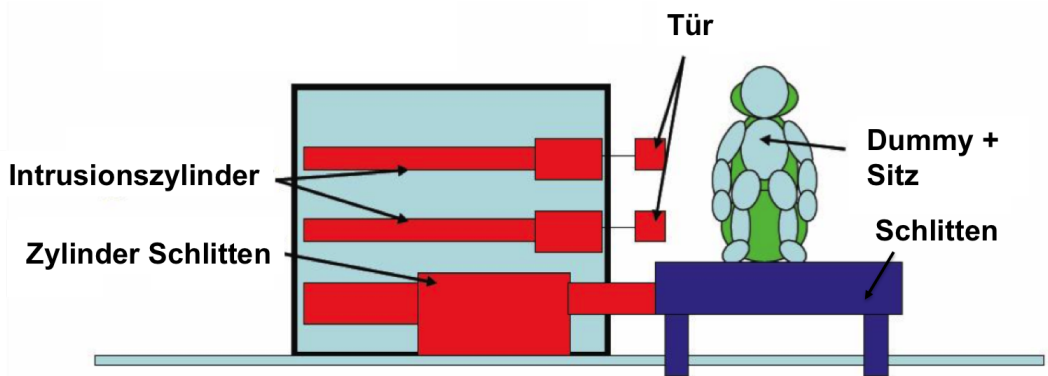


Abbildung 1.9: ASIS Off-Sled Konzept nach [3]

Der in der Diplomarbeit entwickelte Ersatzversuch wird auf dem ASIS On-Sled Konzept aufgebaut.

1.3.6 Messring SIS

Im Vergleich zum ASIS soll hier noch ein weiteres System mit Aktuatoren und Schlitten beschrieben werden. Der Seitenaufprall-Simulator SIS von Messring verfügt über 3 unabhängig voneinander, hydraulisch angetriebene Schlitten. Ein Schlitten dient zur Beschleunigung des Sitzes, auf dem der Dummy sitzt, ein Schlitten bewegt die Tür mit den Karosserieteilen und der 3. Zylinder stellt Dachintrusionen nach. Der Aufbau des Simulators ist in Abbildung 1.10 zu sehen. Alternativ zum Schlitten kann die Tür auch mit bis zu 9 Aktuatoren, die auf einem Modul variabel befestigt werden können, beschleunigt werden. Diese Aktuatoren werden einzeln hydraulisch angetrieben. Durch die einzeln angetriebenen Zylinder und die variable Positionierung und die angetriebenen Schlitten können verschiedene Beschleunigungen auf die zu prüfenden Komponenten aufgeprägt werden. Da die Zylinder für die Dachintrusion und das Modul mit den Aktuatoren nicht am Sitzschlitten montiert werden, müssen die Zylinder einen höheren Hub bewältigen können, als jene am ASIS On-Sled-System. Einen Vorteil stellt die Unabhängigkeit der Beschleunigungen zueinander dar. Der Türschlitten erreicht lt. Herstellerangabe bei einem maximalen Hub von 515mm eine Geschwindigkeit von max. 13m/s, wenn ein Test mit einem 95% Dummy gefahren wird. Die erreichbaren Beschleunigungen liegen dabei zwischen -50g und +150g. [5]

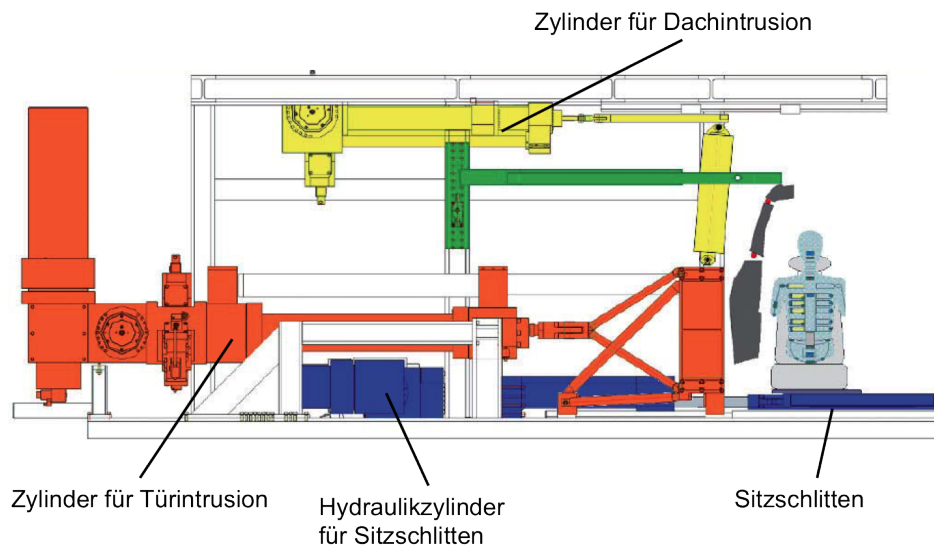


Abbildung 1.10: Messring Seitenaufprall-Simulator SIS nach [5]

1.3.7 Nachstellung von Gesamtfahrzeugversuchen mit ASIS

Im Folgenden werden noch einige wesentliche Aspekte bei der Darstellung von Ersatzversuchen mit dem ASIS diskutiert und bereits umgesetzte Lösungen erläutert.

1.3.7.1 Anzahl und Positionierung der Intrusionszylinder

In einer Untersuchung von A. Kinoshita et. al wurde der Einfluss unterschiedlicher Anzahl von Aktuatoren auf die Dummybelastung untersucht. Um die Insassenbelastung beim Seitencrash in Komponentenversuchen mit dem ASIS gut nachzustellen, sind die Anzahl und die Anordnung der Intrusionszylinder sehr wichtig. Typischerweise treten beim Seitencrash hohe Belastungen auf die Brust, das Becken, das Abdomen und das Schambein auf. Durch die Türintrusionen sollen die Dummybelastungen nachgestellt werden. Dazu wurden die optimalen Positionen der Intrusionszylinder in Simulationen und Versuchen ermittelt. Dafür wurden 1-4 Intrusionszylinder mit darauf montierten Ersatzstrukturen in den Regionen von Brust, Abdomen, Becken und Knie, Abbildung 1.11, angeordnet und die Ergebnisse analysiert. [2]

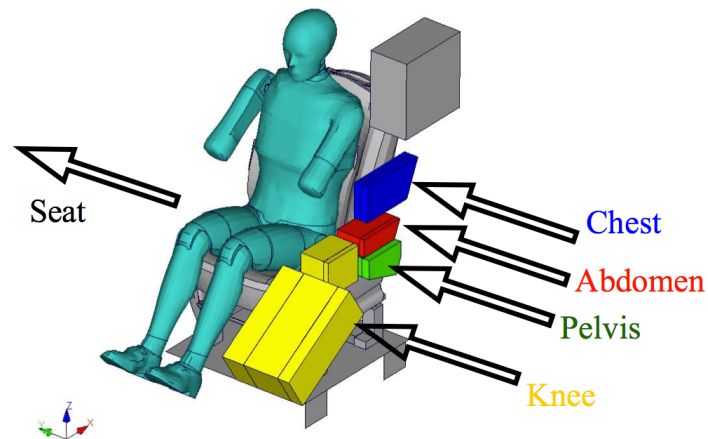


Abbildung 1.11: ASIS Konfiguration [2]

Bei der Analyse, in Abbildung 1.12, wurde festgestellt, dass die Ergebnisse der Insassenbelastung stark von der Anzahl der Intrusionszylinder abhängen. So weichen die Belastungen bei Verwendung von 1 Intrusionszylinder sowohl bei der Brust, dem Abdomen und dem Becken stark von der Gesamtfahrzeugsimulation ab. Bei 4 Zylindern kann eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse erreicht werden.

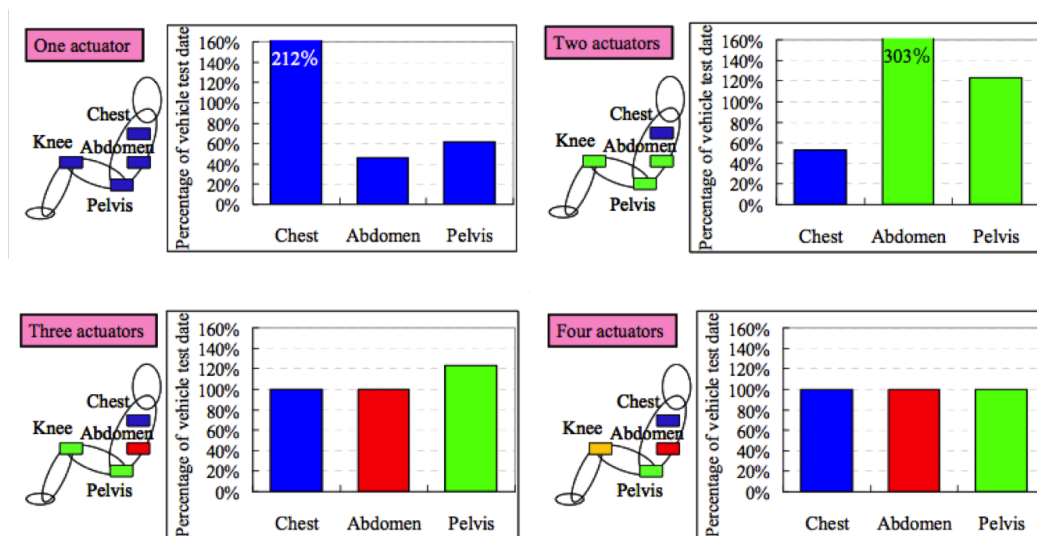


Abbildung 1.12: Anzahl Intrusionszylinder [2]

Bei Verwendung des ASIS-Systems kann die gezeigte Anordnung der Intrusionszylinder z.B. zur Nachstellung des Euro-NCAP oder des IIHS Seitenaufpralls angewendet werden. Bei einem Pol-Test könnte gegebenenfalls eine Anordnung der Zylinder direkt übereinander zu besseren Ergebnissen führen.

Auf Grund des notwendigen minimalen Abstands zwischen den Intrusionszylindern können im Bereich von Schulter, Brust und Becken jedoch keine 3 Intrusionszylinder, sondern nur 2, positioniert werden. Ein Beispiel für die Anordnung ist in Abbildung 1.13 zu sehen. [2]

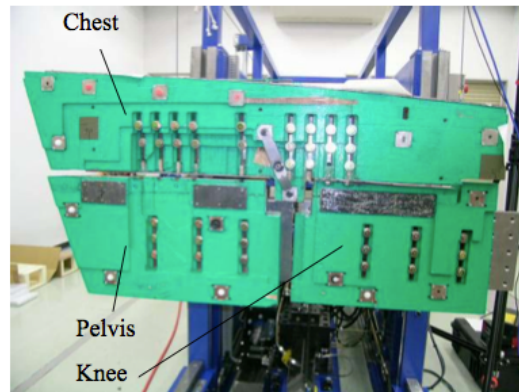


Abbildung 1.13: Anordnung Intrusionszylinder [2]

1.3.7.2 Verwendung von Fahrzeugkomponenten

Zur Nachstellung von Gesamtfahrzeugversuchen mit dem ASIS sollte, wenn vorhanden, die Originalhardware der eindringenden Komponenten, wie Türinnenblech und Türverkleidung, verwendet werden. Die Intrusionen können damit realistischer nachgebildet werden, weil bei Ersatzstrukturen Vereinfachungen in der Form der Komponenten angenommen werden und damit Unterschiede im Verformungsverhalten auftreten.

Möchte man z.B. das Verhalten verschiedener Seitenairbags miteinander vergleichen, können statt dem Türinnenblech und der Türverkleidungen auch Ersatzstrukturen aus z.B. EPP-Schaum verwendet werden. Zu beachten ist, dass sich die Ersatzstrukturen anders verhalten als die Originalbauteile und sich damit unter Umständen Unterschiede zu den Intrusionen des Gesamtfahrzeugversuchs ergeben. [8]

1.3.7.3 Intrusionsprofil des Türinnenblechs

Bei einem Ersatzversuch mit dem ASIS-System ergibt sich ein anderes Deformationsbild des Türinnenbleches als im Gesamtfahrzeugversuch. Im Ersatzversuch werden die Intrusionen lokal über die Intrusionszylinder im Gesamtfahrzeugversuch durch die deformierbare Barriere erzeugt.

Das Türinnenblech kann im undeformierten, vordeformierten oder enddeformierten Zustand auf dem ASIS montiert werden. Der Vorteil des undeformierten Türinnenblechs ist, dass die Originalhardware vor dem Versuch nicht verformt werden muss. Weiters bleibt das für die Airbagentfaltung relevante Spaltmaß zwischen Dummy und Türverkleidung erhalten und die Airbagentfaltung somit repräsentativ. Das Deformationsbild des Türinnenblechs entspricht jedoch nicht jenem des Gesamtfahrzeugversuchs.

Verwendet man ein enddeformiertes Türinnenblech, so soll dieses sehr steif sein und sich während des Versuchs nicht weiter verformen. Daher stimmen die Deformationsbilder am Versuche überein, am Versuchsbeginn sind jedoch große Unterschiede vorhanden. Die Verformung und Versteifung vor dem Versuch stellen einen zusätzlichen Aufwand dar. Weiters sind die Entfaltungsräume der Airbags nicht gleich wie im Gesamtfahrzeugversuch und daher nicht repräsentativ. Da es je nach Lastfall zu einem anderen Türdeformationsbild kommt, muss das Türinnenblech für jeden Fall anders verformt und versteift werden.

Die Verwendung eines vordeformierten Türinnenblechs ist wesentlich komplexer. So muss zuerst ein Zeitpunkt des Gesamtfahrzeugversuchs gewählt werden zu diesem die Deformation der Tür herangezogen wird. Im Gegensatz zum enddeformierten Blech soll das vordeformierte sich während des Versuchs noch weiter verformen. [8]

In der Untersuchung von H. Ikeno et. al wurde der Einfluss verschiedener Intrusionsprofile der Tür, mit der in Abbildung 1.14 gezeigten und in FE simulierten Schlittenanlage, untersucht. Die Türverkleidung wurde im unverformten Zustand verwendet und auf dem Türinnenblech befestigt.

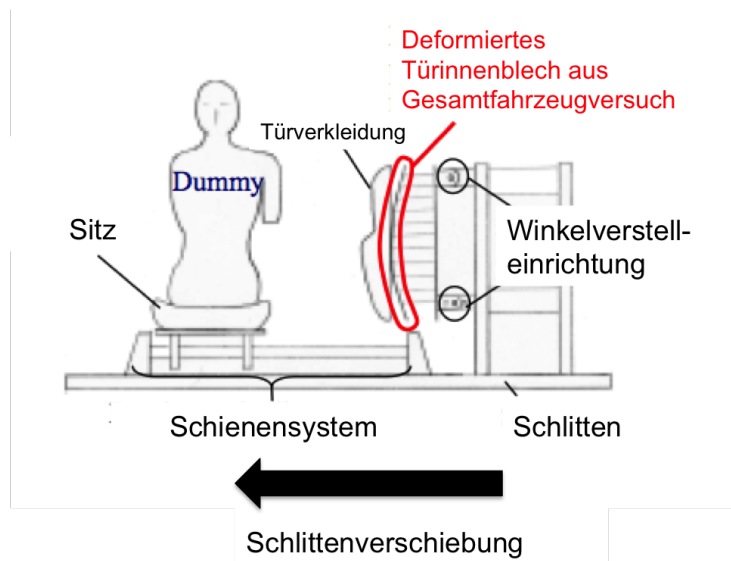


Abbildung 1.14: Schema einer Schlittenanlage nach [9]

Für die Untersuchung wurde einmal die umverformte Tür, einmal die vordeformierte Tür bei 20ms und 34ms, sowie die enddeformierte Tür bei 50ms, herangezogen. Die Intrusionsprofile der Tür sind in Abbildung 1.15 zu sehen.

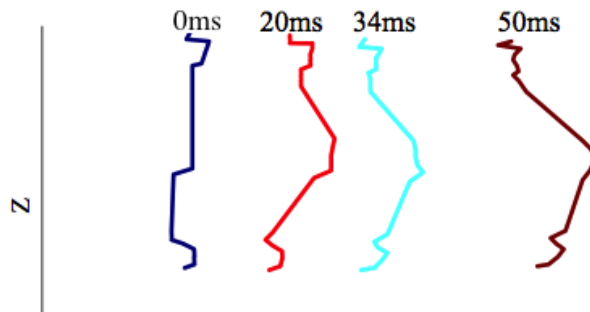


Abbildung 1.15: Intrusionsprofile nach [9]

Diese 4 Varianten wurden simuliert und der Einfluss auf die Rippen eindrückung, die Bauchkräfte und die Schambeinkraft ausgewertet. Die Unterschiede in den Belastungswerten durch die Intrusionsprofile sind in Abbildung 1.16 dargestellt.

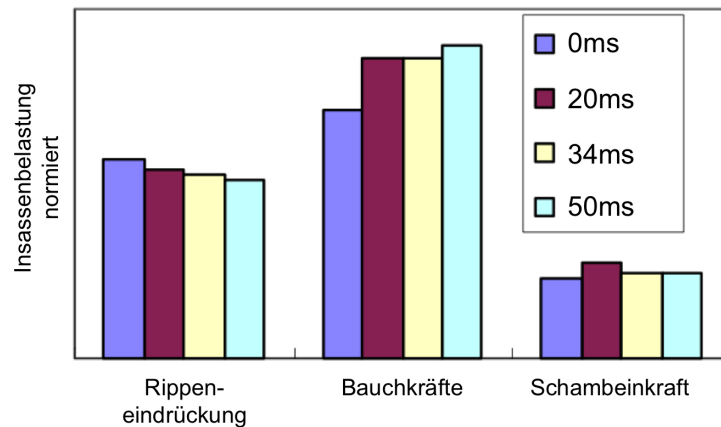


Abbildung 1.16: Insassenbelastung bei verschiedenen Intrusionsprofilen nach [9]

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bauchkräfte bei Verwendung von deformierten Blechen, tendenziell ansteigen. Bei der Rippeneindrückung und der Schambeinkraft zeigen sich nur minimale Einflüsse des Intrusionsprofils. [9]

Bei Verwendung von vordeformierten Blechen ist jedoch der hohe Aufwand in der Vorbereitung des Bleches zu beachten. Für jeden Lastfall muss extra das Deformationsbild bestimmt und das Blech geformt werden. Durch ein deformiertes Türinnenblech wird auch die Montage der Türverkleidung auf diesem erschwert. Es könnte jedoch auch die Türverkleidung selbst vordeformiert werden. Diesen zusätzlichen Aufwand und das Problem der Montage weiterer Fahrzeugkomponenten hat man bei undeformierten Originalteilen nicht.

1.4 Zusammenfassung

Mit den beschriebenen Schlittenanlagen kann sehr einfach und schnell ein Seitencrashversuch durchgeführt werden. Nachteilig ist, dass nur 1 Geschwindigkeit auf die eindringenden Komponenten, wie z.B. Türinnenblech und Türverkleidung, aufgebracht werden kann. Dadurch kommt es zu großen Abweichungen der Insassenbelastung gegenüber dem Gesamtfahrzeugversuch.

Bei Testverfahren mit Intrusionszylindern, können im Gegensatz dazu, verschiedene Geschwindigkeiten auf die Komponenten aufgeprägt werden. Dadurch liefern diese Tests bessere Übereinstimmungen der Insassenbelastungen mit dem Gesamtfahrzeugversuch als Schlittentests.

Aus diesem Grund soll für diese Diplomarbeit ein Testverfahren mit Intrusionszyklern eingesetzt werden. Da das ASIS für diesen Zweck zur Verfügung stand, wird die Methode für dieses System entwickelt.

2 Aufgabenstellung

Um die gesetzlichen Vorschriften zu erfüllen und bei den Verbrauchertests ein gutes Ergebnis zu erzielen, ist es hilfreich die Insassenbelastung bei einem Seitencrash in einem frühen Stadium der Fahrzeugentwicklung durch Versuche und Simulationen ermitteln zu können. Durch die Simulation kann die Entwicklungszeit und auch die notwendige Anzahl der teuren Gesamtfahrzeugversuche mit Prototypen reduziert werden. Da für die Simulation verschiedene Vereinfachungen, wie z.B. starre Verbindungen zwischen Bauteilen oder eine vereinfachte Airbagentfaltung, getroffen werden, müssen die Ergebnisse durch Ersatzversuche mit realen Fahrzeugkomponenten oder einem Gesamtfahrzeug überprüft werden. Dabei ist zu beachten, dass auch bei diesen Versuchen Vereinfachungen getroffen werden müssen. Somit wird das anprallende Fahrzeug z.B. durch eine Barriere ersetzt.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es eine allgemein gültige Vorgehensweise zur Entwicklung von Rückhaltesystemen mit Hilfe eines Komponentenprüfstandes mit Intrusionszylindern zu entwickeln. Um die Gültigkeit der Methode nachzuweisen, werden die Ergebnisse, sowohl der Gesamtfahrzeugsimulation mit einem Gesamtfahrzeugversuch, als auch die Ergebnisse der Ersatzversuchsimulation mit den Ersatzversuchen selbst verglichen. Der Prüfstand soll auf dem Seitencrashsystem ASIS (Advanced Side Impact System) der Firma DSD basieren.

2.1 Vorgehensweise

Als Ausgangsbasis wurde von der Audi AG ein Finite Elemente Modell eines Referenzfahrzeugs zur Verfügung gestellt. Als Lastfall wurde der Japan-NCAP ausgewählt, da die Aufprallgeschwindigkeit der Barriere höher ist als beim Euro-NCAP und somit auch die Belastung auf den Insassen. Aus der Gesamtfahrzeugsimulation werden zuerst die Belastungswerte des Insassen bestimmt und mit einem realen Versuch verglichen. Anschließend wird aus dem Gesamtfahrzeugmodell ein reduziertes Submodell zur Untersuchung der Einflussgrößen, wie z.B. Freiheitsgrade oder Bauteile, abgeleitet. Danach wird ein, für das ASIS geeigneter Ersatzversuch entwickelt und die Positionen der Intrusionszylinder festgelegt. Weiters werden aus der Gesamtfahrzeugsimulation die benötigten Zeit-Weg-Kurven bzw. die Zeit-Beschleunigungs-Kurven für die Intrusionszylinder des ASIS und des HyperG abgeleitet. Nach der

Konstruktion und dem Bau des Prüfstandes werden abschließend Versuche durchgeführt und mit der Simulation des Ersatzversuches verglichen.

2.2 Ausgangsbasis Gesamtfahrzeugsimulation

Das validierte FE-Modell enthält das Fahrzeug mit Rückhaltesystemen, die deformierbare Barriere und den Dummy. Die Aufprallkonfiguration ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Simuliert wurde ein Japan-NCAP Seitencrash, jedoch mit einem linksgelenkten Fahrzeug. Als Simulationszeit wurden 91,1ms gewählt, da nach dieser Zeit die Belastungen auf den Dummy nur mehr gering sind. Bei dem Dummy handelt es sich um ein Modell des ES-2, welcher beim Japan-NCAP Seitencrash verwendet wird.

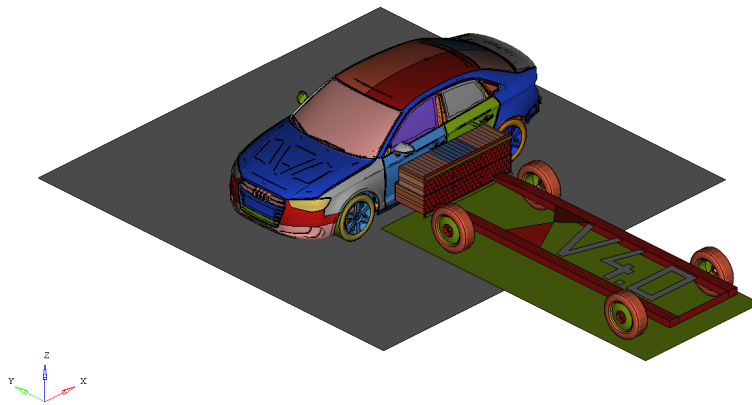


Abbildung 2.1: Aufprall-Konfiguration

2.3 Ausgewählter Lastfall: Japan-NCAP

Beim gewählten Lastfall trifft die 950kg schwere und deformierbare Barriere mit 55km/h im rechten Winkel auf das Fahrzeug. Im Vergleich zum EuroNCAP, welcher in Europa den wichtigsten Lastfall für den Kunden darstellt, sind die Geschwindigkeit und die auftretenden Intrusionen höher. Es ist davon auszugehen, dass auch die Insassenbelastung höher ist. Alternativ hätte auch z.B. der Poletest gewählt werden können, bei dem das Fahrzeug seitlich auf einen Pfahl auftrifft. Da der Barrierenanprall in Europa höhere Bedeutung hat, wurde in Absprache mit der Audi AG der Barrierenanprall mit den Japan-NCAP Konfigurationen, jedoch mit linksgelenktem Fahrzeug, simuliert. Auf dem Fahrersitz wird ein Dummy positioniert, um die auf den Insassen einwirkende Belastung zu bestimmen. Die Konfiguration des Japan-NCAP

ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Das Ergebnis der Gesamtfahrzeugsimulation ist als Bilderfolge in Abbildung 2.3 abgebildet.

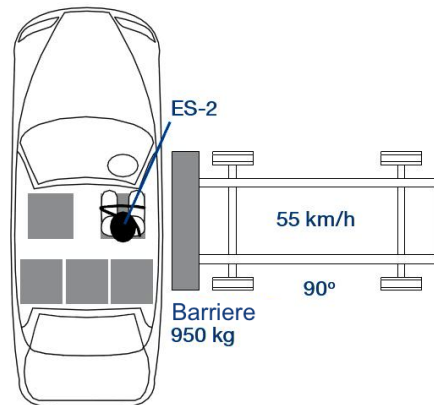


Abbildung 2.2: Japan-NCAP nach [6]

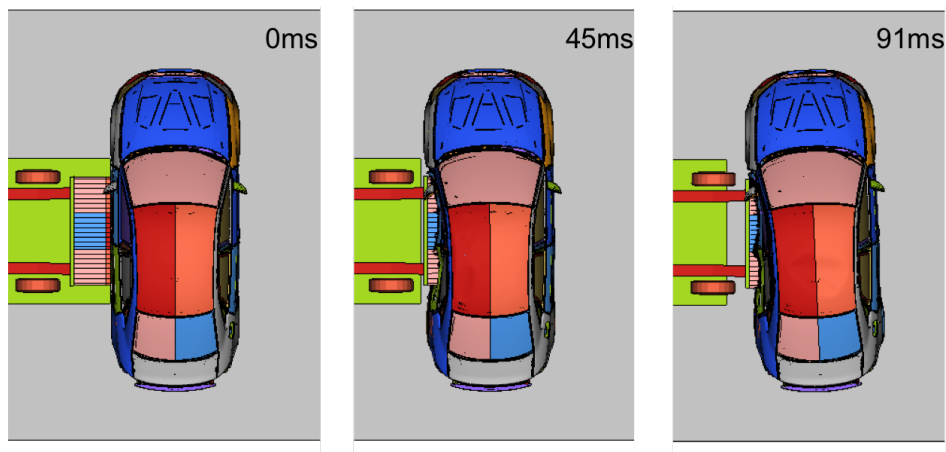


Abbildung 2.3: Verlauf Japan-NCAP

2.4 Vergleich Gesamtfahrzeugsimulation und Realversuch

Um zu sehen wie gut die Insassenbelastung aus der Gesamtfahrzeugsimulation mit der Belastung in einem Realversuch übereinstimmt, wurden Belastungskriterien ausgewählt, die Gesamtfahrzeugsimulation ausgewertet und mit dem Realversuch verglichen. Als relevante Belastungskriterien wurde eine Auswahl der im Japan-NCAP bewerteten Kriterien gewählt:

- Bauchkräfte

- Rippeneindrückung
- Schambeinkraft

Die Kopfbeschleunigung wird in dieser Arbeit nicht betrachtet, da aus Versuchen der Audi AG bekannt ist, dass der Kopf bei den unterschiedlichen Seitenanprall-Konfigurationen durch den Kopfairbag ausreichend geschützt wird und keinen Entwicklungsschwerpunkt für den zu entwickelnden Prüfstand darstellt.

Da beim Seitenaufprall die Türverkleidung und das Türinnenblech direkt auf den Arm und die Schulter des Dummy auftreffen, wurden zusätzlich zu den Belastungskriterien des Japan-NCAP noch die Schulterkräfte ausgewählt. Um die Komplexität des Komponentenprüfstandes zu reduzieren, soll im Ersatzversuch auch auf den Kopfairbag verzichtet werden. Da der Kopfairbag auf der Schulter aufliegt, ist davon auszugehen, dass dieser die Schulterkräfte beeinflusst.

Weiters sollen noch die Kräfte und Momente im Rücken betrachtet werden, da diese durch den Sitz und den Gurt stark beeinflusst werden können. Diese Belastungswerte werden jedoch nicht als Hauptauslegungskriterien betrachtet.

Die ausgewählten Sensoren des ES-2 sind in Abbildung 2.4 dargestellt.

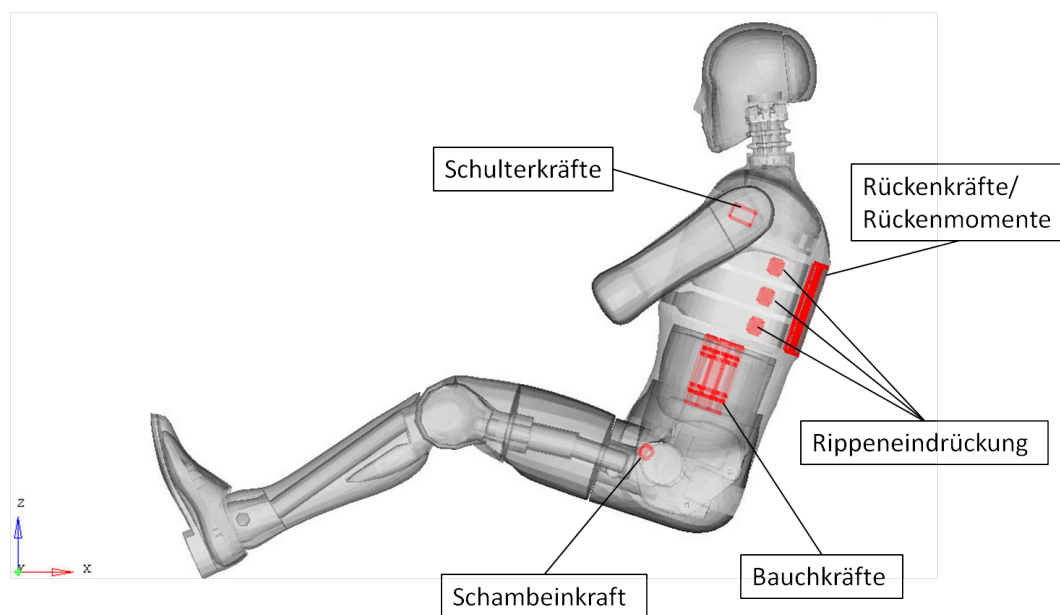


Abbildung 2.4: Sensoren im Dummy

Zuerst wurde die Kinematik des Gesamtversuchs mit der Kinematik der Gesamtfahrzeugsimulation verglichen. Der Vergleich ist in Abbildung 2.5 dargestellt. Oben sieht man den Gesamtfahrzeugversuch, in der unteren Reihe die Simulation.

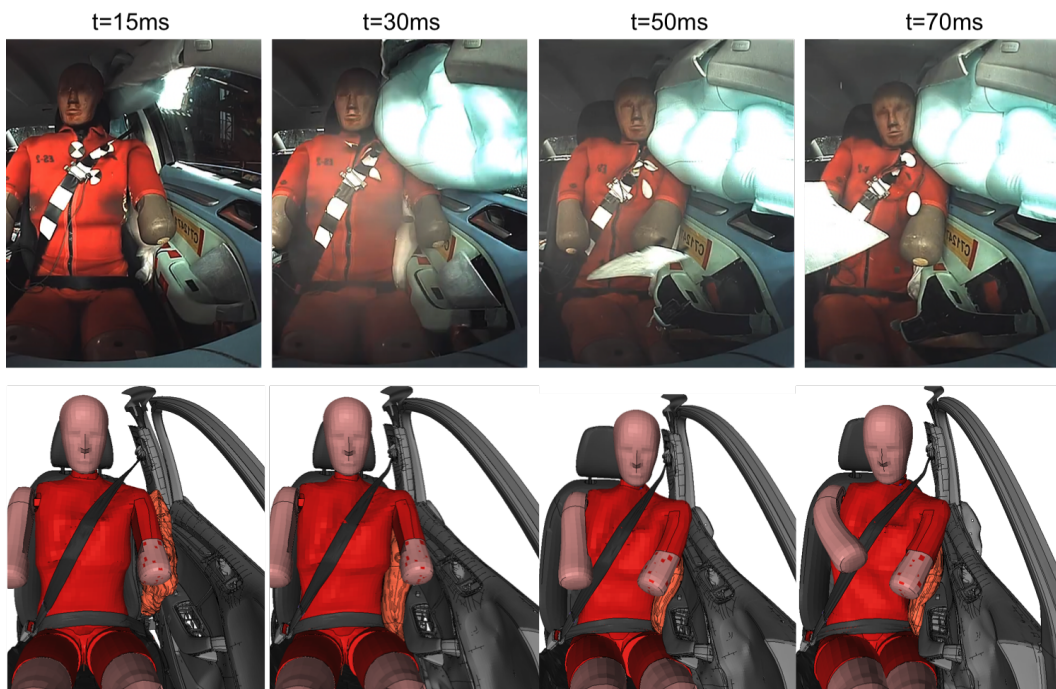


Abbildung 2.5: Vergleich Kinematik GF-Versuch mit GF-Simulation

Bei 15ms, 30ms und 50ms sind in den Bildern keine relevanten Unterschiede in der Dummykinematik zu erkennen. Bei 70ms erkennt man, dass der linke Arm des Dummys in der Simulation weiter nach innen gedrückt wird, die Türverkleidung den Dummy jedoch nur im Bereich der Schulter berührt. Im Bild des Versuchs sieht man, dass die Türverkleidung flächig auf den ganzen Arm des Dummys drückt, dieser jedoch weniger weit ins Fahrzeuginnere gedrückt wird. Dadurch können Unterschiede in der Schulterkraft auftreten.

Die Ergebnisse der Insassenbelastung sind in den Diagrammen 2.6 bis 2.11 dargestellt. Beim Vergleich der Auswertungen erkennt man, dass die Verläufe der Simulation teilweise relativ stark von den Verläufen des Realversuches abweichen. So sind z.B. die Bauchkräfte deutlich höher und steigen auch etwa 10ms früher an.

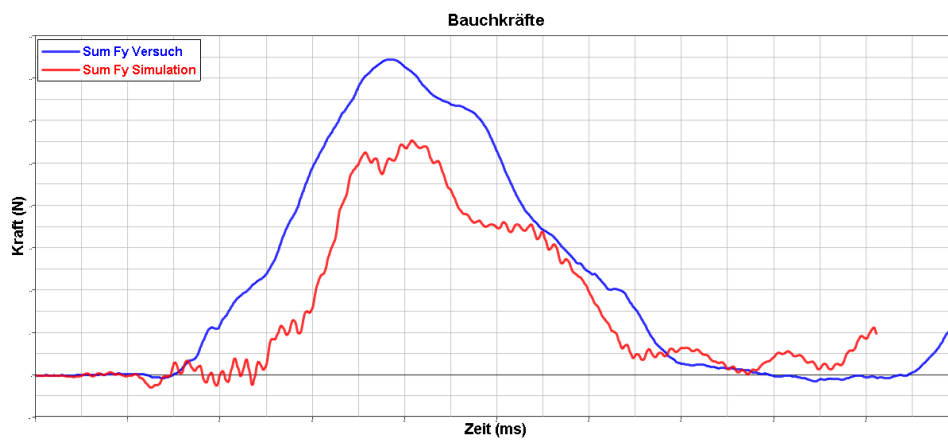


Abbildung 2.6: Vergleich Bauchkräfte

Die Schulterkräfte steigen im Versuch deutlich steiler an und erreichen einen fast doppelt so hohen Maximalwert.

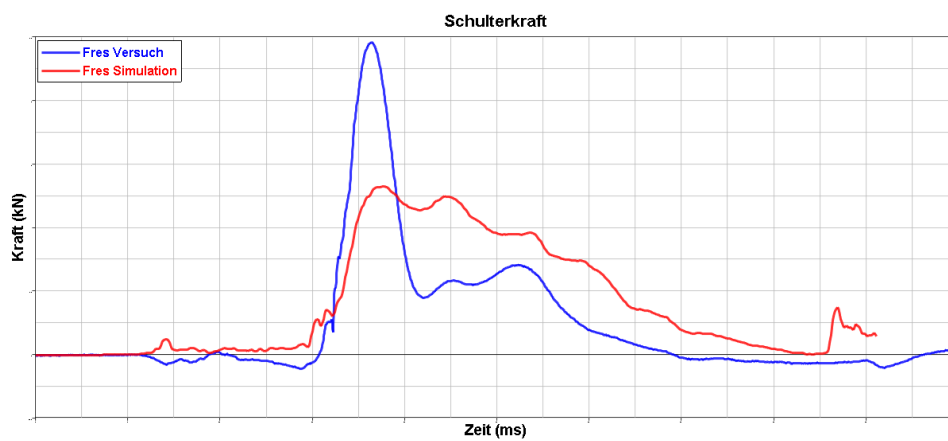


Abbildung 2.7: Vergleich Schulterkraft

Die Kräfte und Momente im Rücken steigen im Versuch deutlich früher an, erreichen einen höheren Maximalwert und fallen später ab.

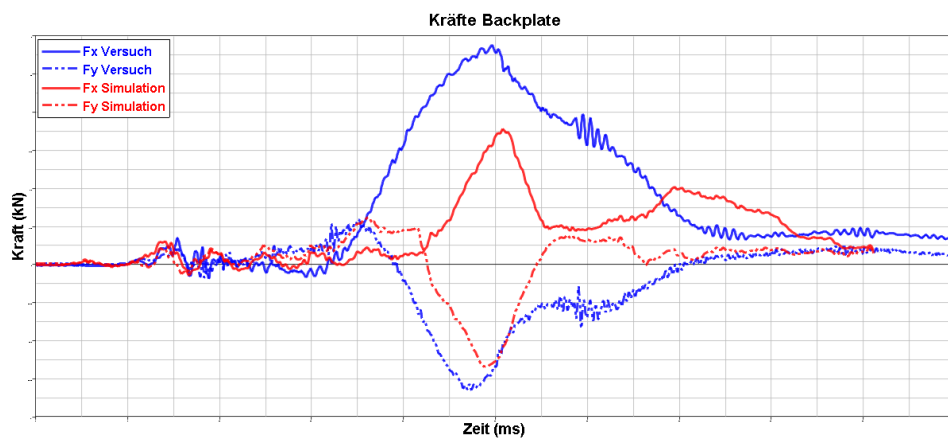


Abbildung 2.8: Vergleich Kräfte Rücken

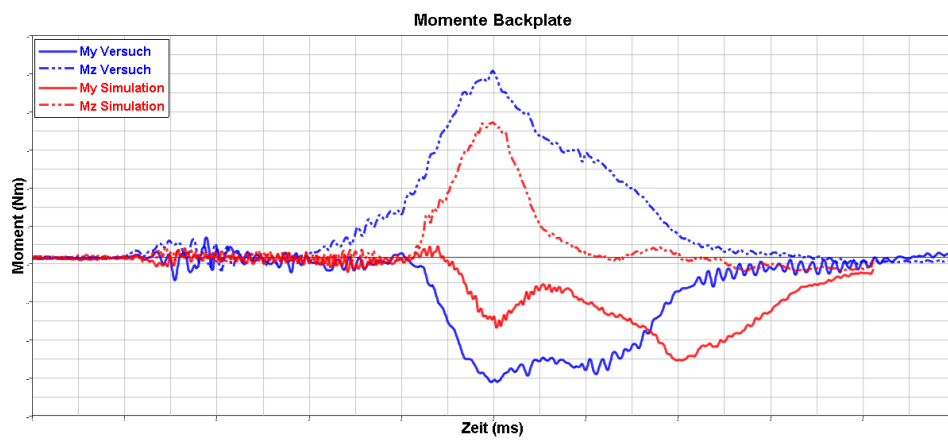


Abbildung 2.9: Vergleich Momente Rücken

Auch die Rippeneindrückung erreicht im Versuch früher den etwa 30% höheren Maximalwert.

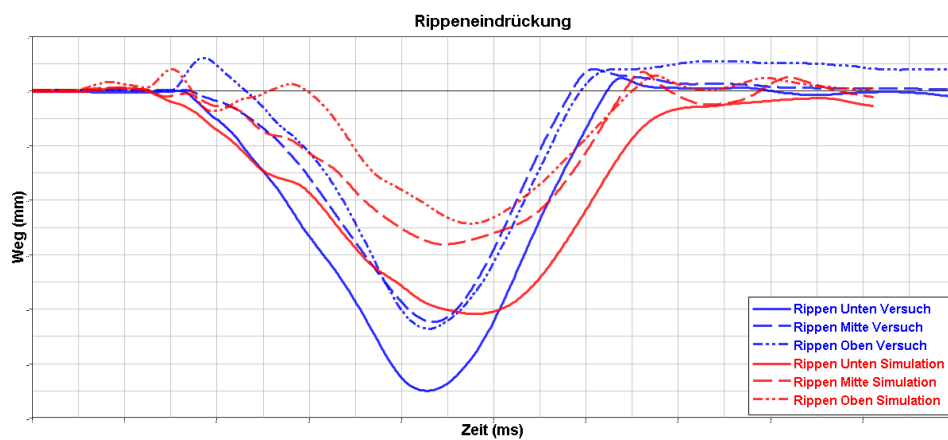


Abbildung 2.10: Vergleich Rippeneindrückung

Die Schambeinkraft steigt zuerst im Versuch gleich an wie in der Simulation, bricht jedoch bei ca. 45ms weg.

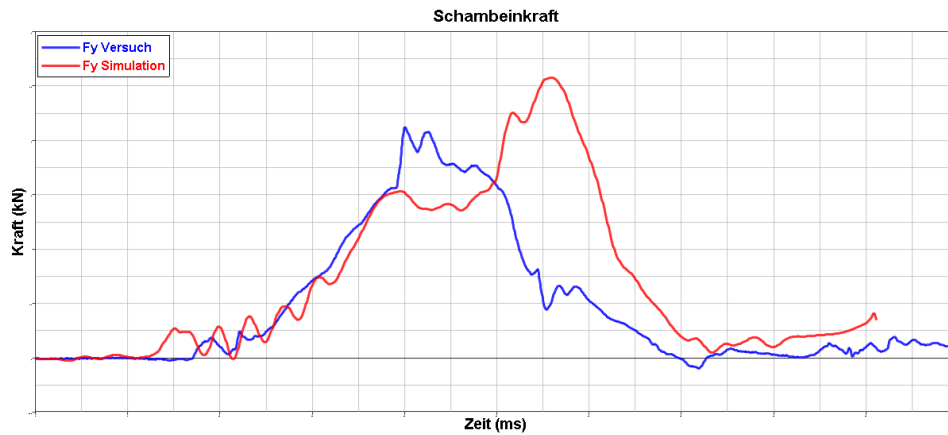


Abbildung 2.11: Vergleich Schambeinkraft

Die Abweichungen sind möglicherweise auf eine große Streuung bei den Versuchen durch veränderte äußere Einflüsse oder auf Fehler im Simulationsmodell, wie z.B. ein anderes Versagensverhalten oder abweichende Materialdaten zurückzuführen. Um das Ausmaß der Streuung beurteilen zu können, wären weitere Daten von Realversuchen nötig. Da der Fokus auf der Entwicklung eines Ersatzversuchs auf Basis einer Simulation liegt, werden trotzdem die Verläufe der Gesamtfahrzeugsimulation herangezogen. Auf Grund der Abweichungen des Modells von der Realität, können zwischen den Ergebnissen des Ersatzversuchs und den Ergebnissen der Ersatzversuchsimulation Unterschiede auftreten. Der relevante Zeitbereich für die Simulation des Ersatzversuches liegt zwischen 30ms und 55ms, da in diesem Bereich alle Maxima der im Japan-NCAP bewerteten Belastungskriterien liegen.

3 Untersuchung der Einflussgrößen anhand des Submodells

Als FE-Solver wurde PamCrash von der Firma ESI-Group, als Pre-Prozessor Hypermesh und Post-Prozessor Altair Hyperview bzw. Hypergraph verwendet.

3.1 Bauteilumfang

Für die Entwicklung der allgemein gültigen Methode zur Abbildung der Insassenbelastung mit einem Komponentenprüfstand, wurde ausgehend vom Gesamtfahrzeugmodell ein Submodell abgeleitet. In dieses Submodell wurden als Ausgangsbasis alle Fahrzeugkomponenten aufgenommen, welche beim Seitencrash direkt mit dem Dummy in Kontakt kommen. Eine Ausnahme bildet, auf Grund des großen Bauteilumfangs und des damit steigenden Aufwands für den Prüfstand, der Fußraum des Fahrzeuges. Durch Vernachlässigung der Kontakte des Fußraums mit dem Dummy können Fehler bei den Insassenbelastungswerten auftreten. Vor allem auf die Schambeinkraft und die Kräfte und Momente im Rücken könnte der Fußraum Einfluss haben. Dieser Einfluss kann später durch eine geeignete Wahl der Vorgabekurven für die Intrusionszylinder ausgeglichen werden.

Die folgenden Komponenten wurden im Submodell berücksichtigt:

- Sitz incl. Seitenairbag
- Gurt incl. Gurtretractor und Gurtstraffer
- Türverkleidung
- Türinnenblech

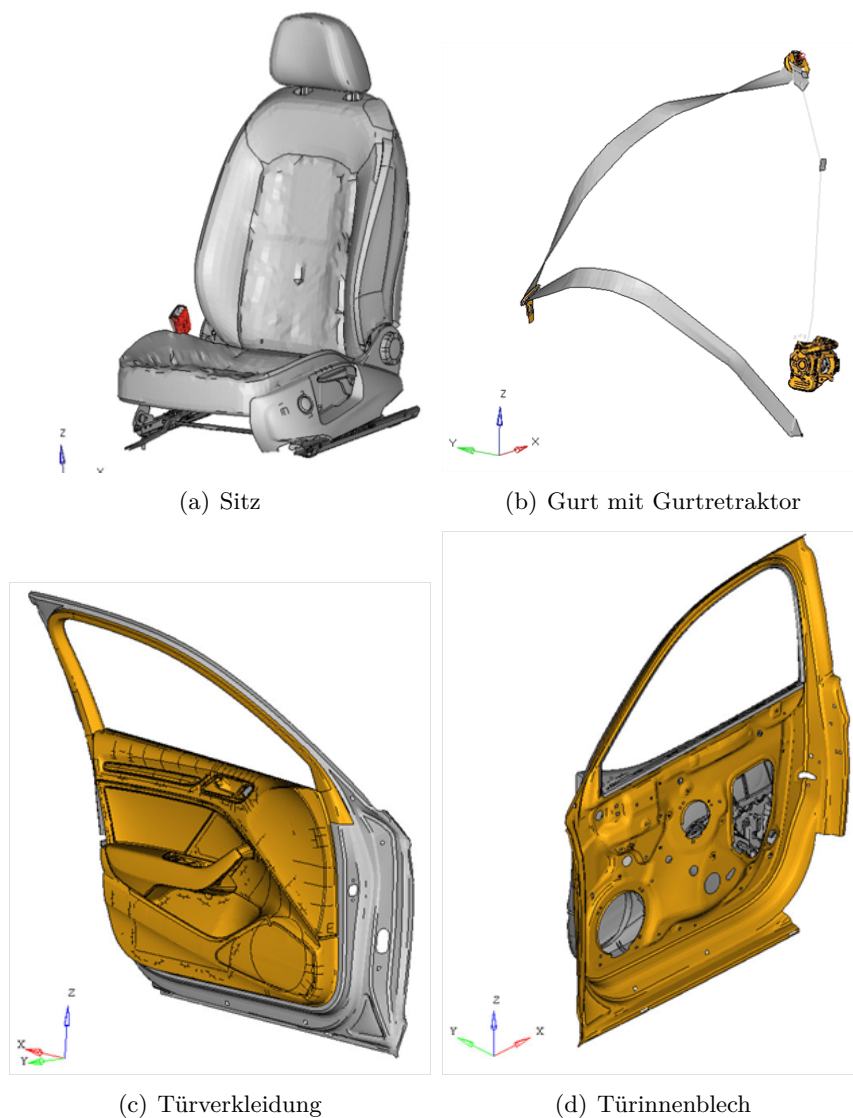


Abbildung 3.1: Komponenten

3.2 Reduktion des Gesamtfahrzeugmodells

Die B-Säule und die B-Säulenverkleidung treten mit dem Dummy nicht direkt in Kontakt, können aber auf Grund des Kontaktes mit dem Sitz Einfluss auf die Insassenbelastungswerte, vor allem auf die Kräfte und Momente im Rücken haben. Ob es für eine realistische Nachbildung der Insassenbelastung notwendig ist auch die B-Säule, die B-Säulenverkleidung und den Gurtretractor einzubauen, soll durch die Simulation verschiedener Varianten geklärt werden. Aus diesem Grund wurden die B-Säule und die B-Säulenverkleidung ebenfalls in das Submodell integriert. Das reduzierte Submodell ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

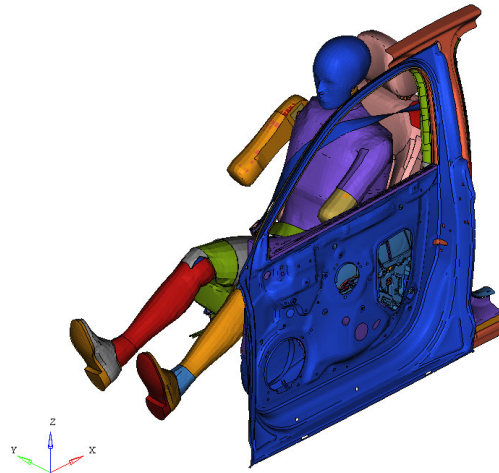


Abbildung 3.2: reduziertes FE-Modell

3.3 Aufbringen von Knotenverschiebungen

Da im Ersatzversuch das Auftreffen der Barriere auf das FE-Netz des Fahrzeugs nachgestellt werden muss, wurden die Bewegungen einzelner Knoten, als Verschiebung über der Zeit aus dem Gesamtfahrzeugmodell ausgelesen und auf das Ersatzmodell übertragen. Dazu wurde ein Raster über das Türinnenblech und die B-Säule gelegt und die Schnittpunkte zum Aufbringen der Bewegungen in alle 3 Raumrichtungen herangezogen. Die möglichen Verdrehungen der Knoten um die 3 Raumachsen wurden als erste Näherung im Ersatzmodell gesperrt. Abbildung 3.3 zeigt den gewählten Raster und die bewegten Knoten.

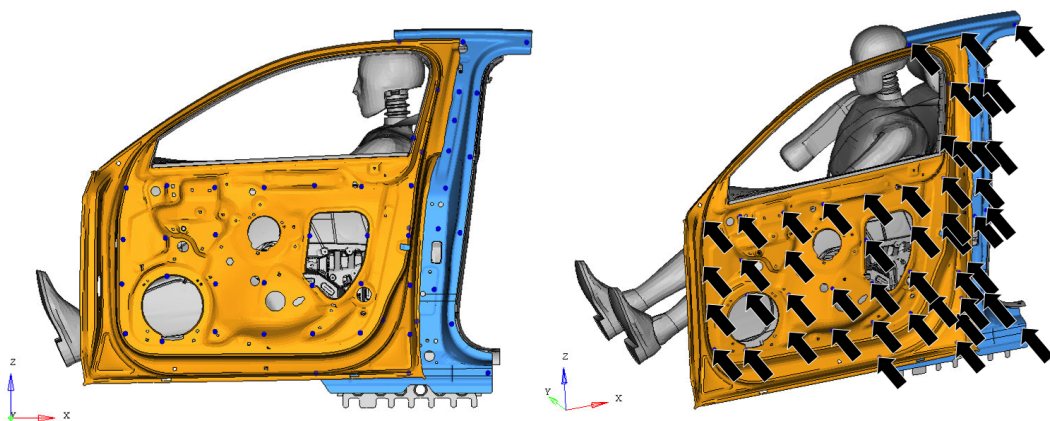


Abbildung 3.3: Knotenverschiebungen Türinnenblech und B-Säule

Um die Verschiebung des Sitzes nachzubilden, wurden die Knotenverschiebungen an 4 Anbindungspunkten, die in Abbildung 3.4 gekennzeichnet sind, ausgewertet und auf das Ersatzmodell übertragen.

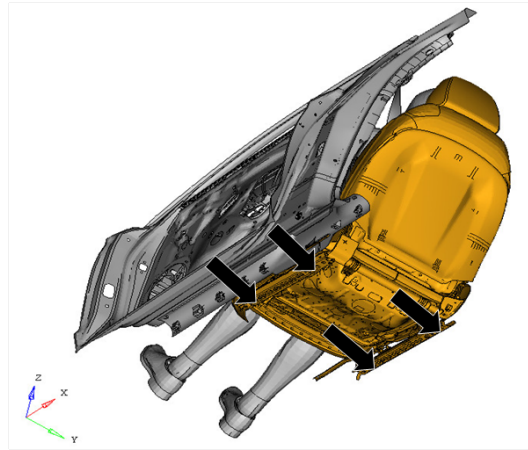


Abbildung 3.4: Anbindungspunkte Sitz

Die Knotenverschiebung dieser 4 Punkte über die Zeit und die mittlere Sitzbewegung sind in Abbildung 3.5 dargestellt. Da im Versuch später nur 1 Verschiebung durch den HyperG auf den Sitz aufgebracht werden kann, wurden die Verschiebungen arithmetisch gemittelt. Die maximale Streuung der Kurven beträgt ca. 12%. Der Einfluss auf die Insassenbelastungswerte wird später in Kapitel 4.2 untersucht.

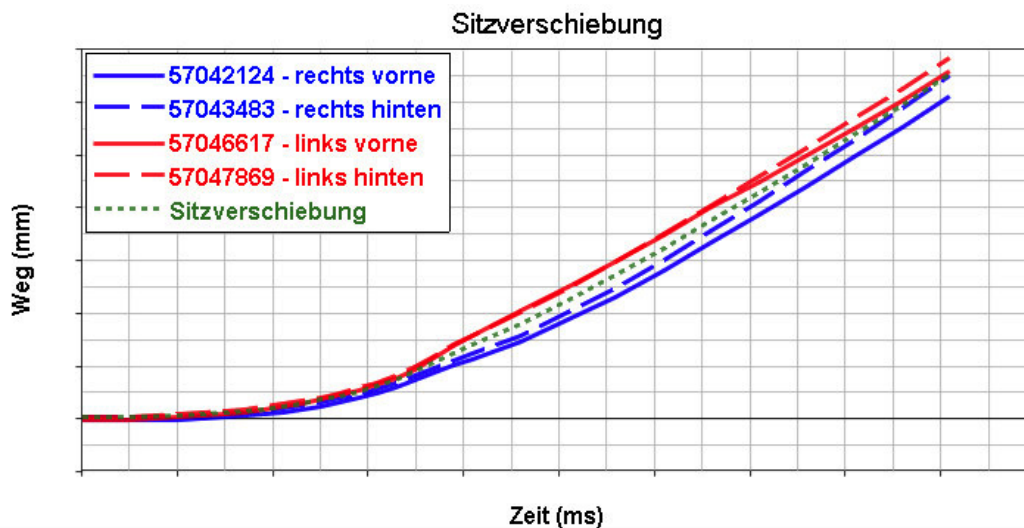


Abbildung 3.5: Knotenbewegungen Sitz

Da der Gurtendbeschlag durch das Reduzieren des Modells nicht mehr am Schweller befestigt ist, wurde auch die Bewegung dieser Anbindung aus der Gesamtfahrzeug-

simulation ausgelesen und wie in Abbildung 3.6 ersichtlich, auf das Modell aufgebracht. Der Gurtretraktor mit dem Gurtaufroller kann bei Integration der B-Säule und der B-Säulenverkleidung, wie im Gesamtfahrzeugmodell, direkt an der B-Säule befestigt werden.

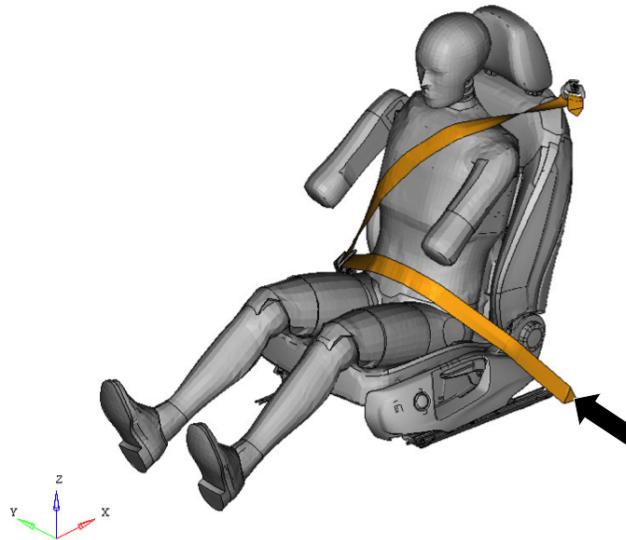


Abbildung 3.6: Verschiebung des Gurtendbeschlags

3.4 Überlagerung der Simulationen

Der zuvor beschriebene Ersatzversuch wurde mit den angegebenen Knotenverschiebungen simuliert und anschließend wurden die Insassenbelastungswerte mit der Gesamtfahrzeugsimulation verglichen. Als Bewertungskriterien für die Insassenbelastung werden der Anstiegszeitpunkt der Belastung, der Maximalwert und der zeitliche Verlauf der Belastung herangezogen. Da die Maximalwerte der Insassenbelastung im Japan-NCAP bewertet werden liegt das Hauptaugenmerk auf den Maximalwerten. Die Auswertungen der Insassenbelastungen sind in den Abbildungen 3.7 bis 3.12 dargestellt.

Bei den Bauchkräften ergibt sich eine gute Übereinstimmung beim zeitlichen Anstieg, der Maximalwert ist jedoch im Vergleich zur Gesamtfahrzeugsimulation zu niedrig.

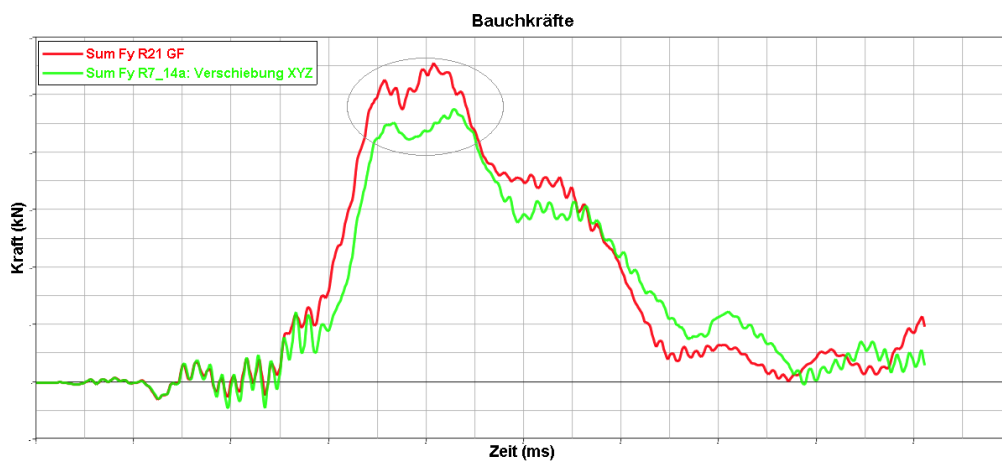


Abbildung 3.7: Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Bauchkräfte

Die Schulterkräfte weisen einen deutlichen Unterschied beim Anstieg der Kräfte auf. Weiters ist der Maximalwert zu niedrig und liegt zeitlich später als bei der Gesamtfahrzeugsimulation.

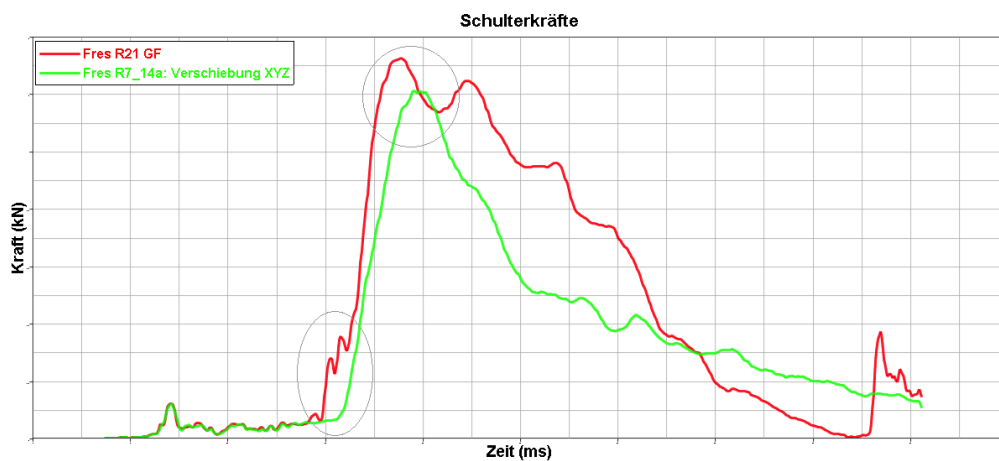


Abbildung 3.8: Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Schulterkraft

Die Maximalwerte der Kräfte und Momente im Rücken sind im Ersatzversuch deutlich zu hoch und sinken erst später.

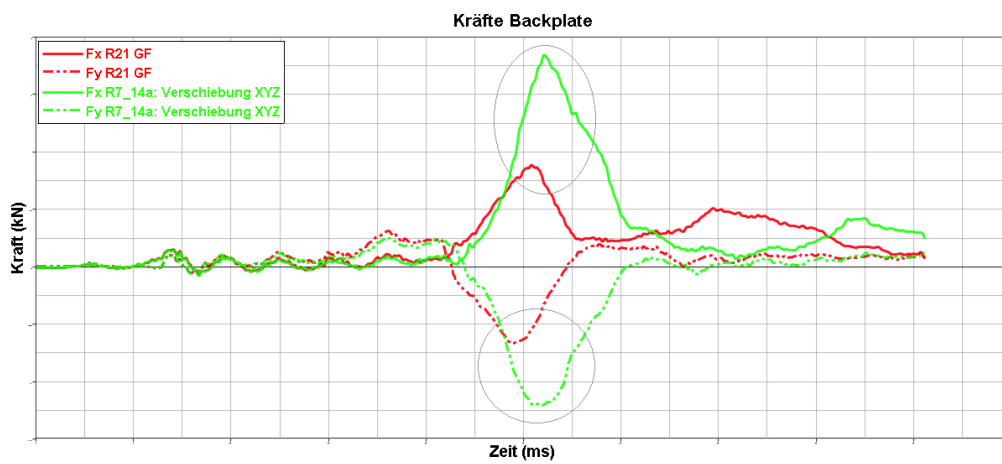


Abbildung 3.9: Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Kräfte Rücken

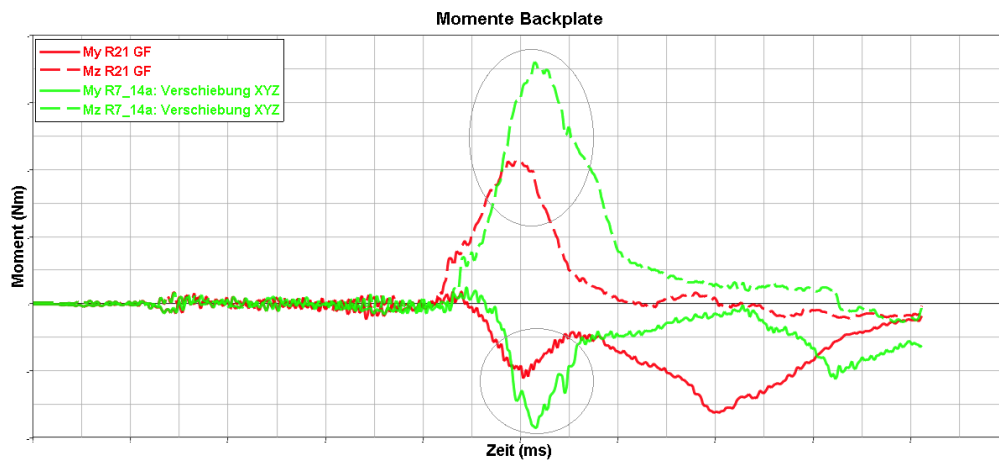


Abbildung 3.10: Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Momente Rücken

Alle 3 Rippeneindrückungen sind in der Gesamtfahrzeugsimulation höher als im Ersatzversuch. Der zeitliche Anstieg stimmt jedoch gut überein.

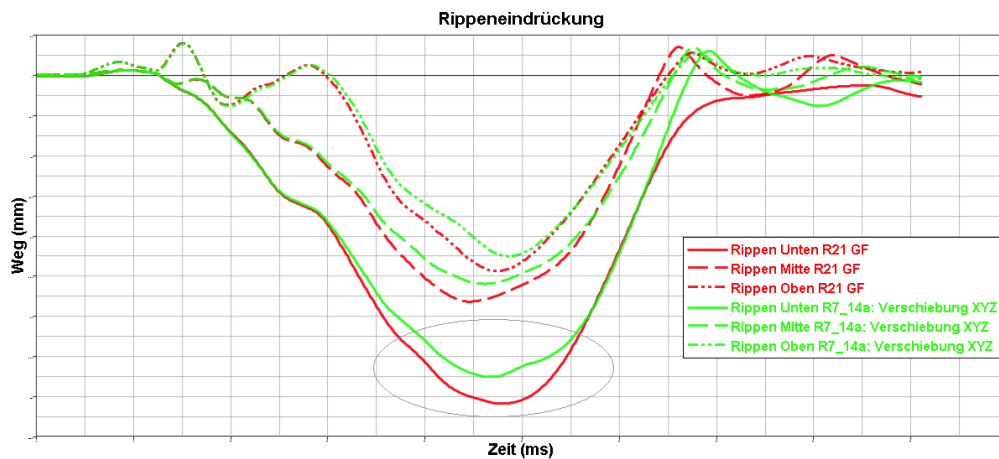


Abbildung 3.11: Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Rippeneindrückung

Die Schambeinkraft steigt im Ersatzversuch länger an und erreicht einen höheren Maximalwert.

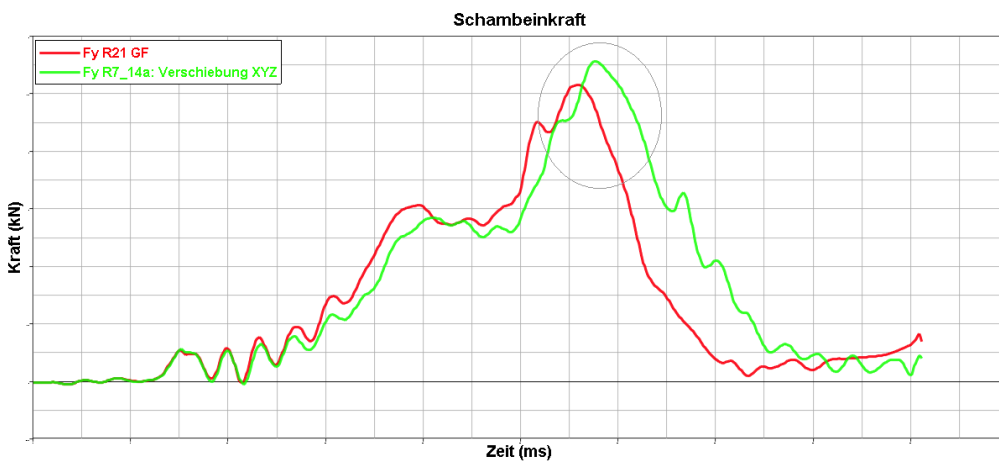


Abbildung 3.12: Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Schambeinkraft

Die aufgetretenen Abweichungen können beispielsweise durch das punktuelle Aufprägen der Geschwindigkeiten auf die einzelnen Knoten der Bauteile und deren höherer Nachgiebigkeit dadurch, zustande kommen.

Da nicht nur die Insassenbelastungswerte sondern auch die Kinematik des Dummies so gut wie möglich mit der Gesamtfahrzeugsimulation übereinstimmen soll, wurden zusätzlich zu den Insassenbelastungswerten noch die Beschleunigungen des Kopfes, des Thorax und des Beckens mit der Gesamtfahrzeugsimulation verglichen. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 3.13 bis 3.15 dargestellt. Auf Grund des fehlenden Kopfairbags im Ersatzversuch erkennt man eine starke Abweichung der Kopfbeschleunigung. Im Gegensatz dazu stimmt die Kinematik des Thorax und die

des Beckens gut mit der Gesamtfahrzeugsimulation überein, jedoch ist noch ein zeitlicher Versatz zu erkennen, welcher, wie die Abweichungen der Insassenbelastung, durch die punktuelle Krafteinleitung über die einzelnen Knoten zustande kommen kann. Dieser Versatz kann später durch eine geeignete Anpassung der Vorgabekurven für die Intrusionszylinder ausgeglichen werden.

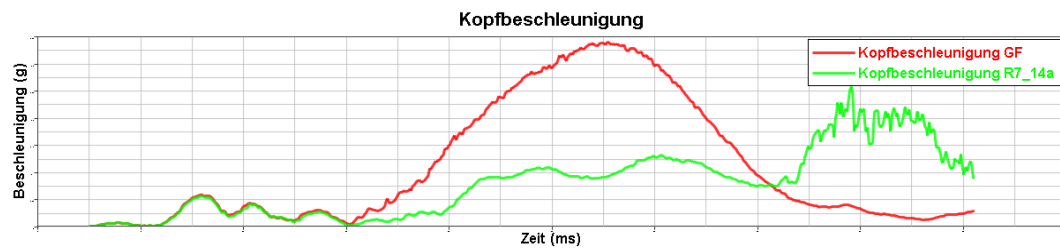


Abbildung 3.13: Kopfbeschleunigung

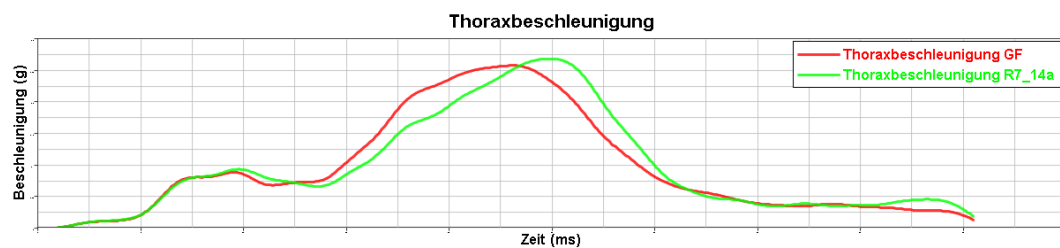


Abbildung 3.14: Thoraxbeschleunigung

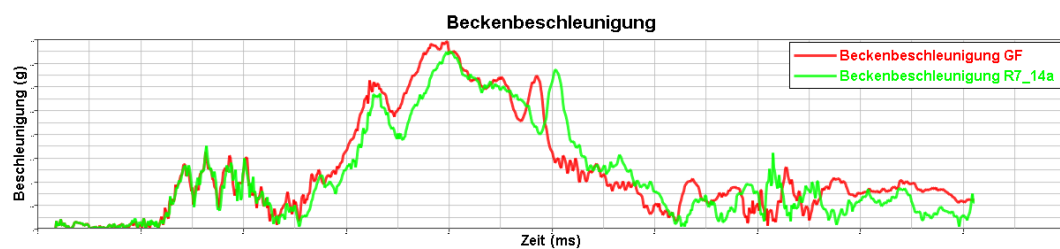


Abbildung 3.15: Beckenbeschleunigung

Im Folgenden werden verschiedene Änderungen am Modell vorgenommen, um eine bessere Übereinstimmung von Submodell mit dem Gesamtfahrzeug zu erreichen. Die aufgetretenen Probleme und mögliche Lösungsansätze sind im folgenden Kapitel beschrieben.

3.5 Aufgetretene Probleme und Lösungen

Beim Vergleich der Ergebnisse des Ersatzversuchs mit der Gesamtfahrzeugsimulation fielen starke Unterschiede bei den Belastungswerten des Insassen und auch bei der Verschiebung und Deformation einzelner Bauteile auf. Um die Abweichungen zu minimieren, wird zuerst versucht, die Gesamtfahrzeugsimulation so genau wie möglich nachzubilden. Im Folgenden werden Unterschiede zwischen Gesamtfahrzeugsimulation und Ersatzversuch beschrieben.

3.5.1 Abweichung der B-Säulen-Deformation im unteren Bereich

Die B-Säulenverkleidung trifft auf den Sitz im Bereich des Verstellrades auf und beeinflusst somit die Sitzbewegung. In der Gesamtfahrzeugsimulation sind mehr Bauteile wie z.B. ein Versteifungsteil im unteren Bereich der B-Säule vorhanden. Aus diesem Grund verhält sich die B-Säule steifer und schiebt den Sitz gegenüber der Ersatzversuchsimulation weiter ins Fahrzeuginnere. Die Abweichung der Position ist in Abbildung 3.16 dargestellt. Die Sitzposition hat wiederum Einfluss auf die Kräfte und Momente im Rücken.

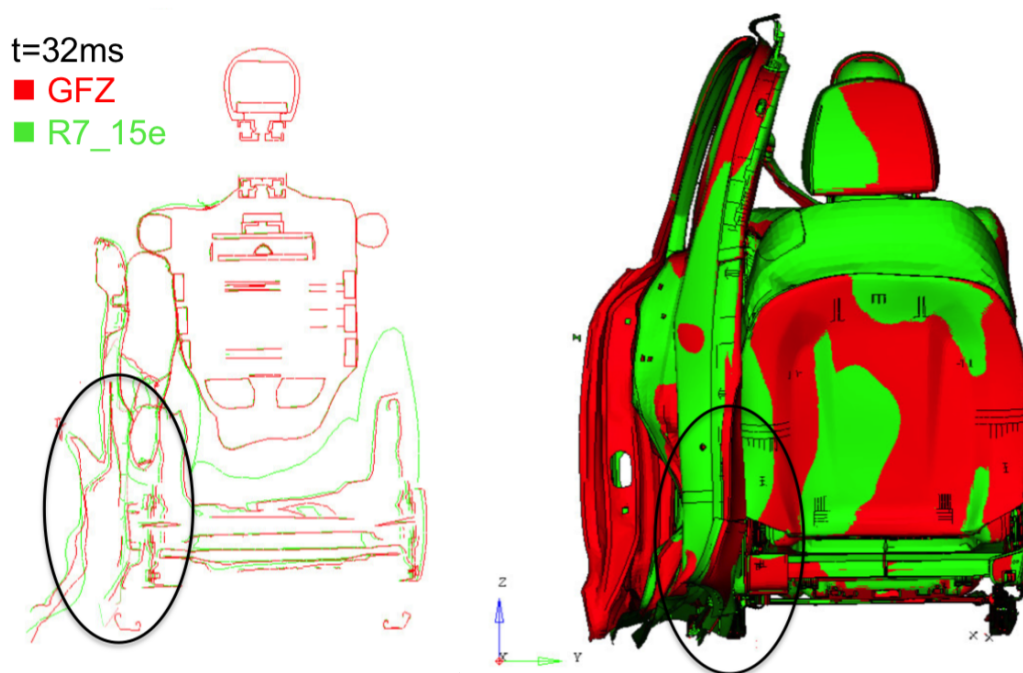


Abbildung 3.16: Abweichung der B-Säulen-Deformation

Um die Kinematik der B-Säule und der B-Säulenverkleidung im Ersatzversuch genauer nachzubilden, wurden im unteren Bereich der B-Säule zusätzliche Knoten aus-

gewählt und Knotenverschiebungen aufgeprägt. Weiters wurde der Versteifungsteil, der in der Gesamtfahrzeugsimulation vorhanden ist, in die Ersatzversuchsimulation übertragen. Dem Versteifungsteil wurden ebenfalls Knotenverschiebungen aufgeprägt. Die hinzugefügten Knotenverschiebungen sind in Abbildung 3.17 zu sehen.

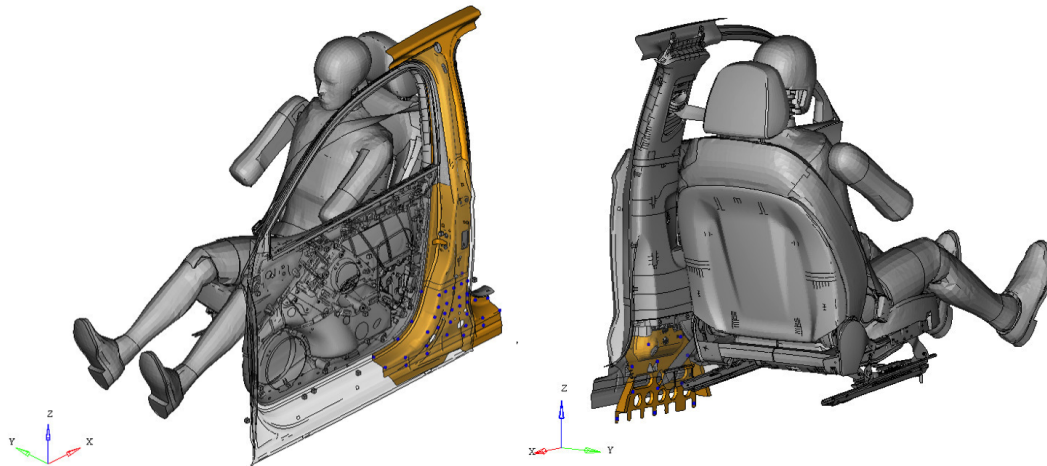


Abbildung 3.17: zusätzliche Knotenverschiebungen und Einbau des Versteifungsteils

Die beschriebenen Änderungen wurden simuliert und mit den Ergebnissen der vorherigen Simulationen verglichen. Die, durch die Änderungen beeinflussten Ergebnisse der Insassenbelastung, sind in den Abbildungen 3.18 bis 3.19 dargestellt.

Durch die Änderungen kommt es zu einer besseren zeitlichen Übereinstimmung der Kräfte und Momente im Rücken im Vergleich zur Gesamtfahrzeugsimulation. Die Maximalwerte sind jedoch noch immer deutlich zu hoch.

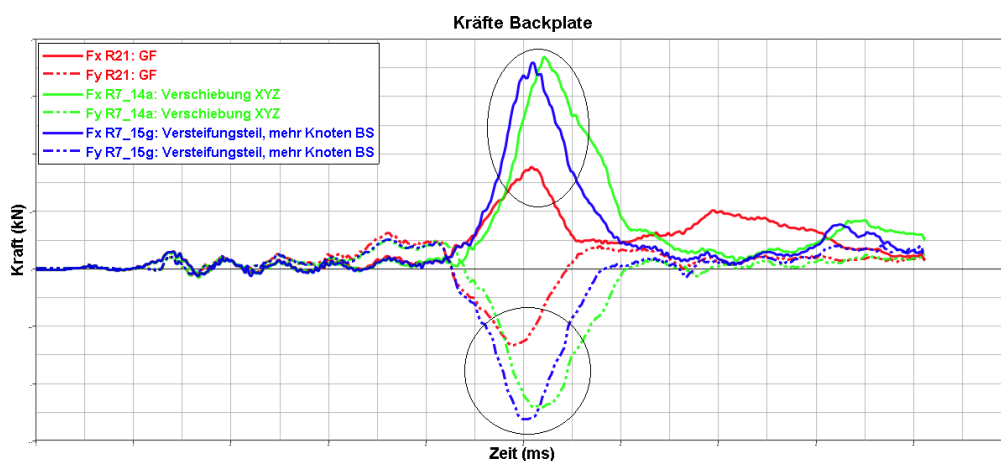


Abbildung 3.18: zus. Knotenverschiebungen, Versteifungsteil: Kräfte Rücken

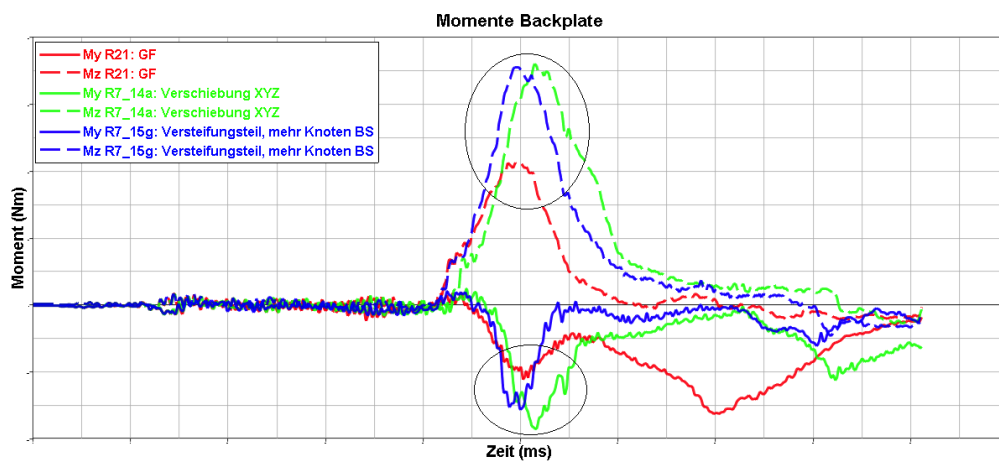


Abbildung 3.19: zus. Knotenverschiebungen, Versteifungsteil: Momente Rücken

Bei allen anderen Insassenbelastungswerten treten nur minimale Änderungen auf, welche meist nicht im relevanten Zeitbereich liegen.

3.5.2 Abweichung der Sitzbewegung innenseitig

In der Gesamtfahrzeugsimulation kann sich der Sitz innenseitig an der Mittelkonsole abstützen. Die fehlende Mittelkonsole im Ersatzversuch führt nun zu einer Abweichung der Position des Sitzes. Durch die Abweichung des Sitzes sind auch die Sitzwangen gegenüber dem Dummyrücken verschoben, was Einfluss auf die Kräfte und Momente im Rücken haben kann. Diese Abweichung ist in Abbildung 3.20 dargestellt.

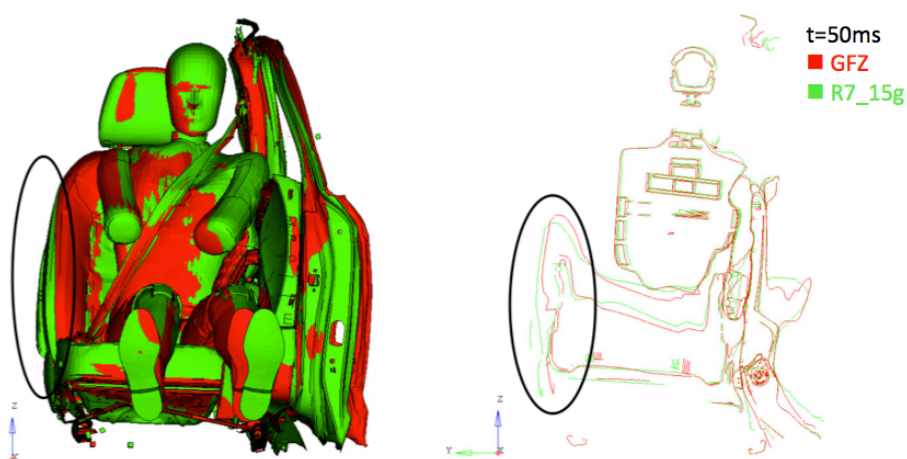


Abbildung 3.20: Abweichung der Sitzbewegung innenseitig

Um den tatsächlichen Einfluss der Mittelkonsole abschätzen zu können, wurde einerseits einmal die Mittelkonsole mit aufgebrachtten Knotenverschiebungen in das Submodell integriert und einmal die Gesamtfahrzeugsimulation ohne Mittelkonsole durchgeführt. Diese Varianten sind in Abbildung 3.21 dargestellt.

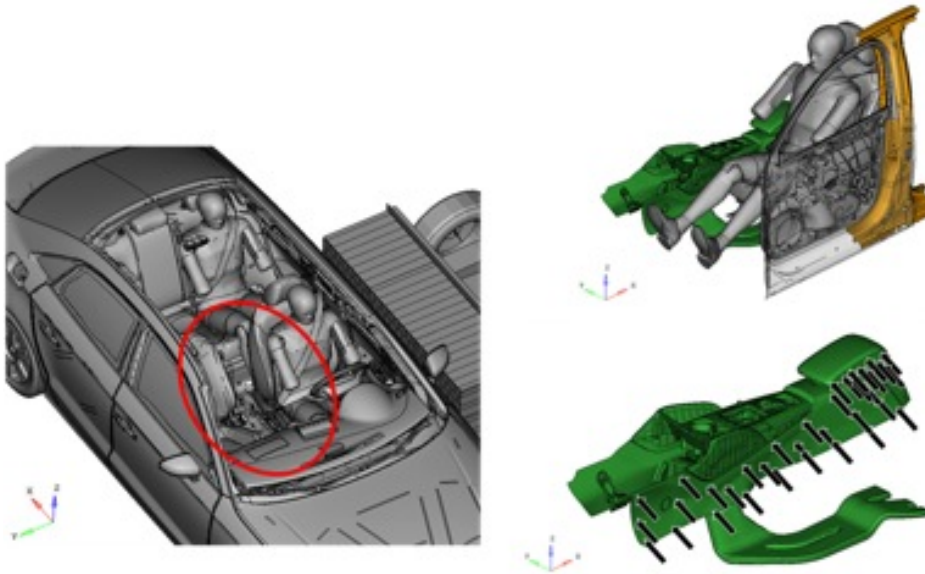


Abbildung 3.21: Gesamtfahrzeug ohne Mittelkonsole und Ersatzversuch mit Mittelkonsole

Die Simulation des Ersatzversuches mit Mittelkonsole führte zu einer starken Absenkung der Kräfte und Momente im Rücken. Auch in der neuen Gesamtfahrzeugsimulation ist der Einfluss auf den Rücken ersichtlich. Alle anderen Belastungswerte bleiben weitestgehend unbeeinflusst. Die Belastungswerte des Rückens sind in den Abbildungen 3.22 und 3.23 ersichtlich.

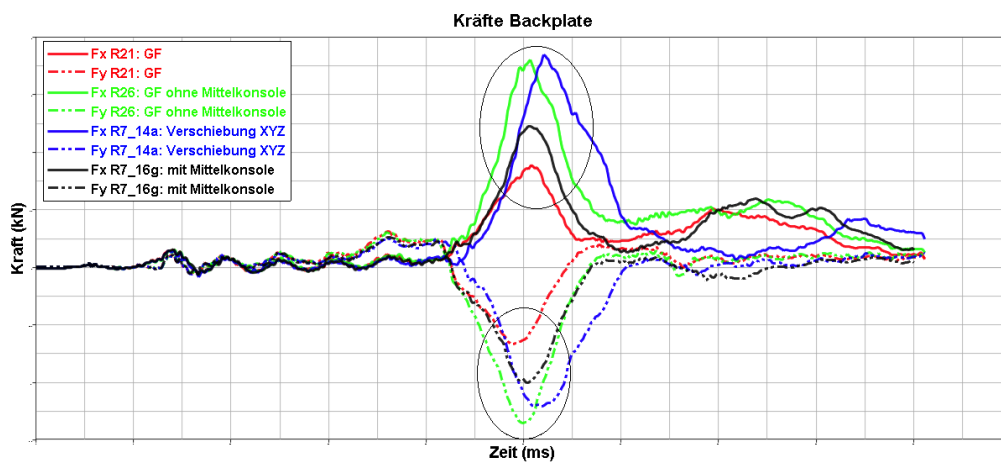


Abbildung 3.22: GF ohne, Ersatzversuch mit Mittelkonsole: Kräfte Rücken

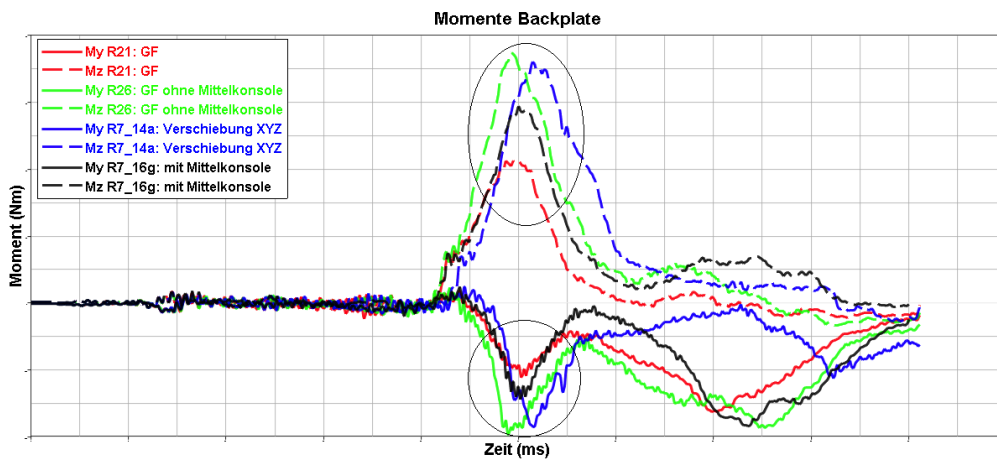


Abbildung 3.23: GF ohne, Ersatzversuch mit Mittelkonsole: Momente Rücken

3.5.3 Abweichungen durch den Kopfairbag

In der Gesamtfahrzeugsimulation entfaltet sich der vorhandene Kopfairbag so, dass er auf der Schulter des Insassens drückt. Im Vergleich mit der Ersatzversuchsimulation treten dadurch starke Abweichungen in der Kinematik und der Belastung der Schulter auf. Durch die Abstützung der Schulter am Kopfairbag wird der Dummy nicht so stark in den Sitz gedrückt, was auch die Kräfte und Momente im Rücken beeinflusst. Das Aufliegen des Airbags und die Abweichung der Schulter sind in Abbildung 3.24 zu sehen.

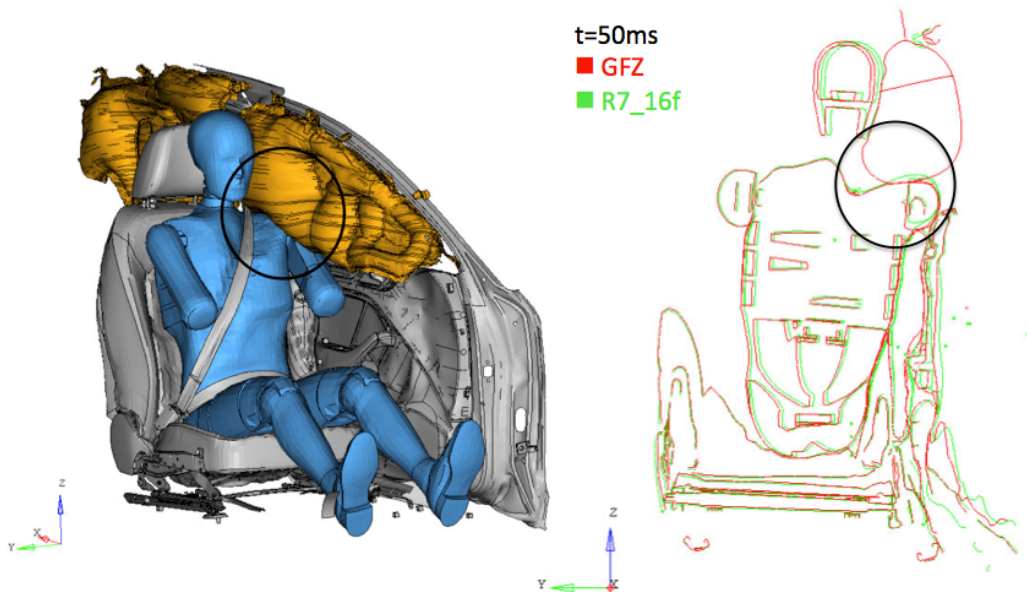


Abbildung 3.24: Aufliegen des Kopfairbags auf der Schulter

Um den Einfluss des Kopfairbags auf die Insassenbelastung quantifizieren zu können, wurde eine neue Gesamtfahrzeugsimulation durchgeführt, bei der der Sensor zum Auslösen des Kopfairbags deaktiviert wurde. Weiters wurde auch ein Ersatzversuch mit eingebautem Kopfairbag, mit Knotenverschiebungen an den vorhandenen Klipps, berechnet. Da jedoch im Submodell die Karosserie, das Dach und die Seitenscheibe des Fahrzeuges nicht integriert sind, kann sich der Kopfairbag, nicht wie im Gesamtfahrzeug, an diesen abstützen. Da der Kopfairbag durch die fehlende Seitenscheibe nach außen pendelt, kann dieser den Insassen nicht stützen. Dessen Verhalten im Ersatzversuch ist daher nicht mit dem Verhalten in Gesamtfahrzeugversuch vergleichbar.

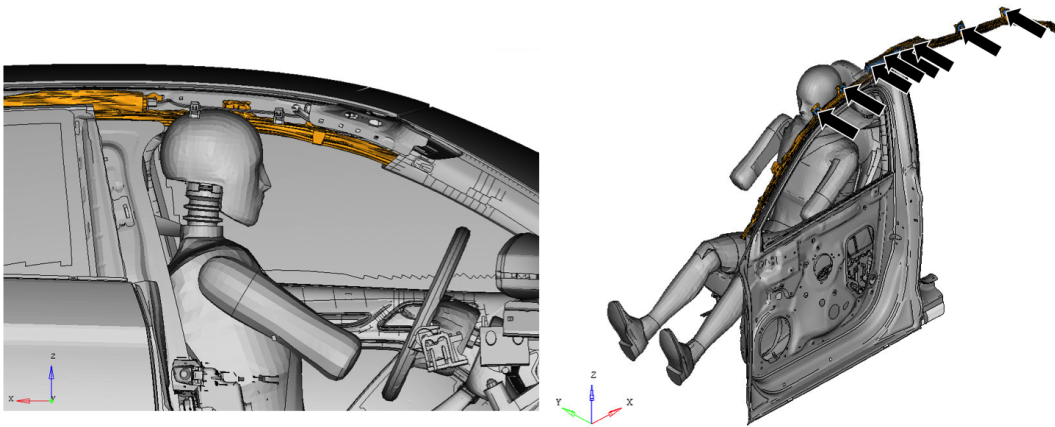


Abbildung 3.25: Gesamtfahrzeug ohne Kopfairbag und Ersatzversuch mit Kopfairbag

Das Ergebnis der Gesamtfahrzeugsimulation ohne Kopfairbag zeigt deutlich, dass der Kopfairbag großen Einfluss auf den zeitlichen Verlauf der Schulterkraft, Abbildung 3.26, hat. Die Schulterkraft fällt nach dem Erreichen des Maximalwertes sehr schnell ab. Weiters kommt es durch den Kopfairbag zu einem früheren und steilen Anstieg der Schulterkraft im Vergleich zur Variante ohne Kopfairbag.

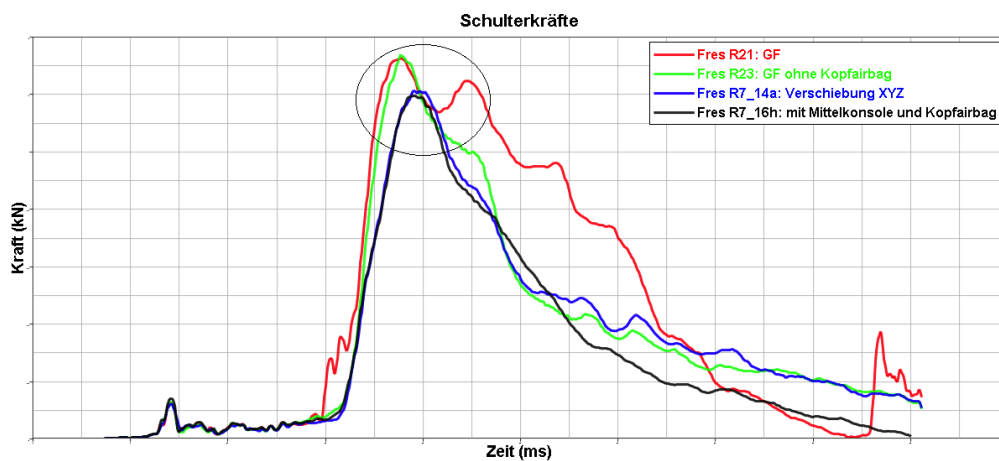


Abbildung 3.26: GF ohne, Ersatzversuch mit Kopfairbag: Schulterkraft

Der Einbau des Kopfairbags in den Ersatzversuch führt, trotz unterschiedlicher Entfaltung und fehlender Abstützung durch Karosserieteile, zu einer Senkung der Kräfte und Momente im Rücken, welche nun sehr gut mit dem Gesamtfahrzeug übereinstimmen. Die Ergebnisse der Auswertung sind in den Abbildungen 3.27 und 3.28 dargestellt.

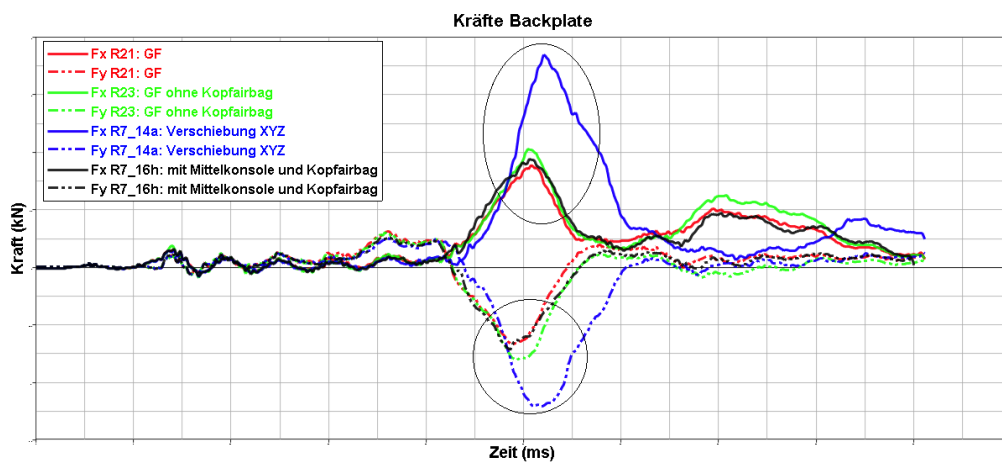


Abbildung 3.27: GF ohne, Ersatzversuch mit Kopfairbag: Kräfte Rücken

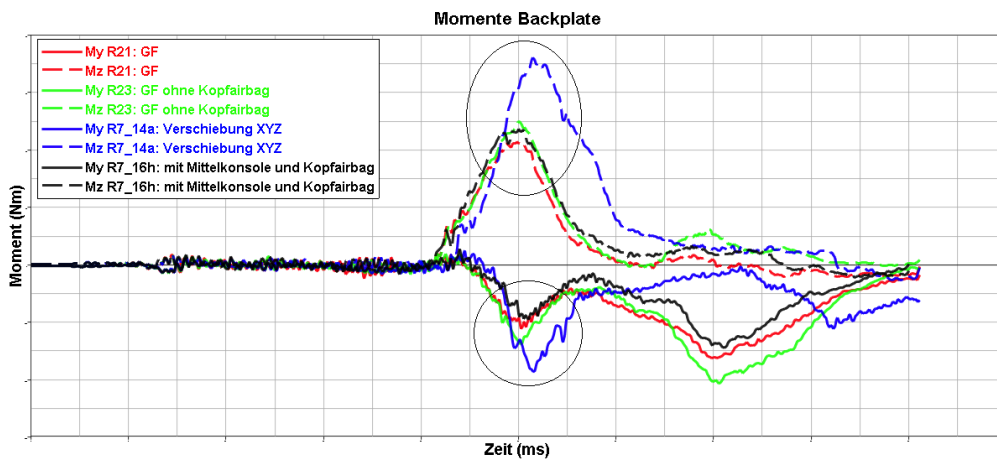


Abbildung 3.28: GF ohne, Ersatzversuch mit Kopfairbag: Momente Rücken

3.5.4 Abweichung der Armbewegung

Vergleicht man die Animationen des Gesamtfahrzeugs und des Ersatzversuches, wie in Abbildung 3.29, erkennt man eine Abweichung von ca. 15mm bei der Armbewegung. Im Gesamtfahrzeug wird der Arm des Dummies weiter nach innen gedrückt als im Ersatzversuch, was Einfluss auf die resultierende Schulterkraft hat.

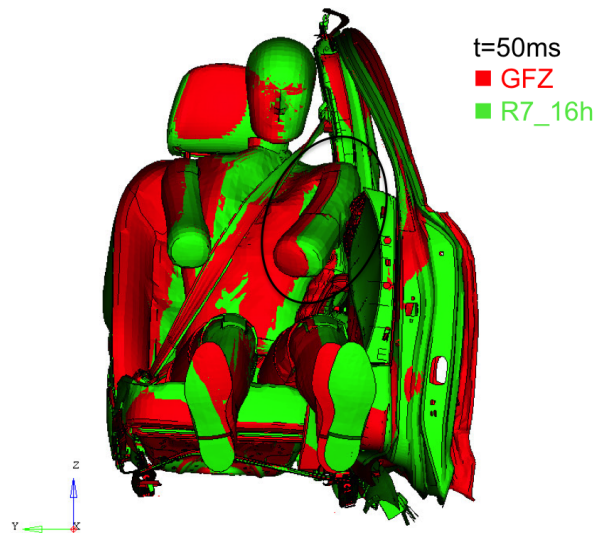


Abbildung 3.29: Abweichung der Armbewegung

Durch den groben Raster der Knotenverschiebungen am Türinnenblech, der in Kapitel 3.3 beschrieben ist, kommt es zu einer sehr punktuellen Krafteinleitung. Aus diesem Grund kann die Verschiebung des Türinnenblechs, im Bereich des Armes,

im Ersatzversuch lokal von der Verschiebung in der Gesamtfahrzeugsimulation abweichen, was zu der gezeigten Abweichung führen kann. Um die Bewegung des Armes besser nachzustellen wurde nun auch der Raster für die Knotenverschiebungen am Türinnenblech im Bereich des Armes verfeinert. Abbildung 3.30 zeigt links die Knotenverschiebungen vor der Verfeinerung des Rasters und rechts den verfeinerten Raster.

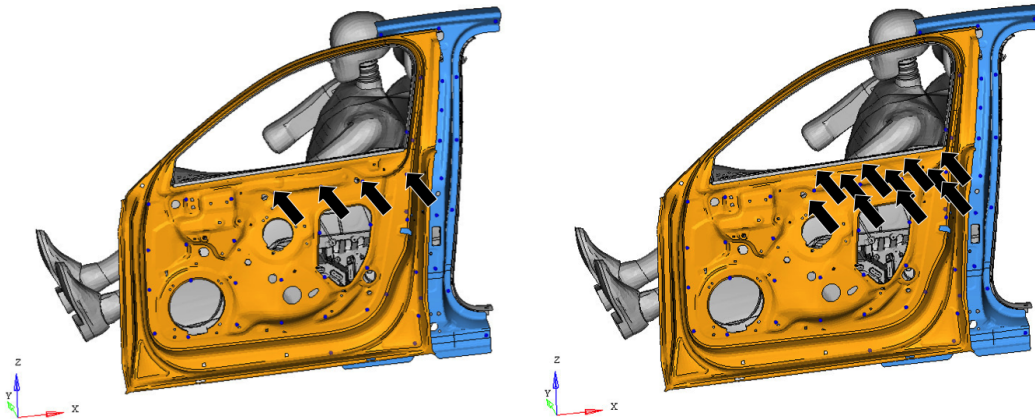


Abbildung 3.30: zusätzliche Knotenverschiebungen im Bereich des Armes

Die Verfeinerung des Rasters im Bereich des Armes führt zu einem Anstieg der Schulterkraft. Der Maximalwert stimmt nun mit der Gesamtfahrzeugsimulation überein. Der Verlauf der Schulterkraft ist in Abbildung 3.36 dargestellt.

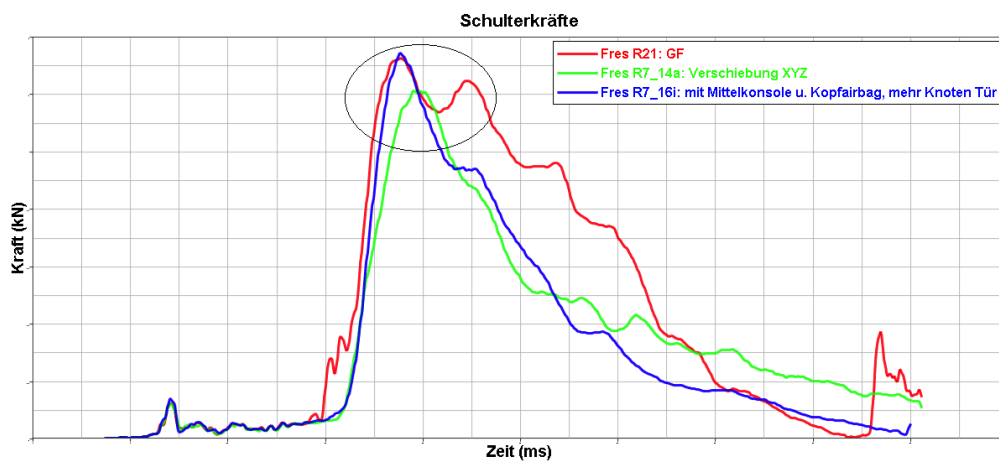


Abbildung 3.31: zus. Knotenverschiebungen Armhöhe: Schulterkraft

3.5.5 Gesamtergebnis

Durch die beschriebenen getroffenen Anpassungen stimmen die Belastungswerte nun relativ gut mit der Gesamtfahrzeugsimulation überein. Die Verbesserungen der Ergebnisse sind in den Abbildungen 3.32 bis 3.37 dargestellt.

Bei den Bauchkräften zeigt sich, durch die durchgeführten Änderungen, ein Anstieg des Maximalwertes, welcher nun besser mit der Gesamtfahrzeugsimulation übereinstimmt.

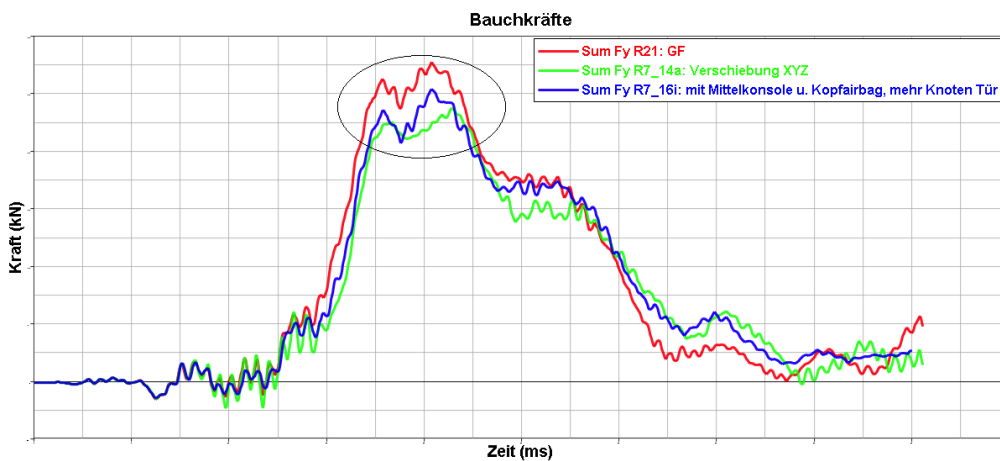


Abbildung 3.32: Verbesserung: Bauchkräfte

Sowohl der Maximalwert als auch der zeitliche Anstieg der Schulterkraft, stimmen sehr gut mit der Gesamtfahrzeugsimulation überein.

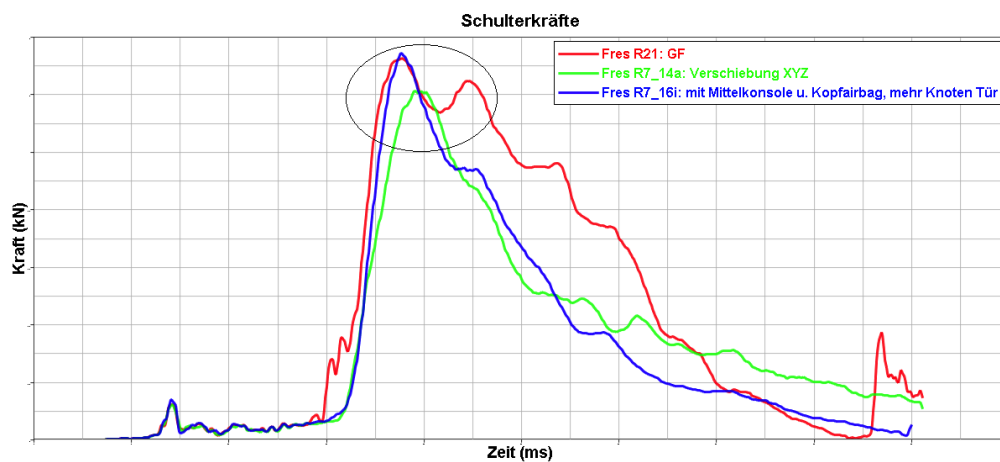


Abbildung 3.33: Verbesserung: Schulterkraft

Auch bei den Kräften und Momenten im Rücken konnten die viel zu hohen Maximalwerte stark reduziert werden und stimmen nun ebenfalls gut mit der Gesamtfahrzeugsimulation überein.

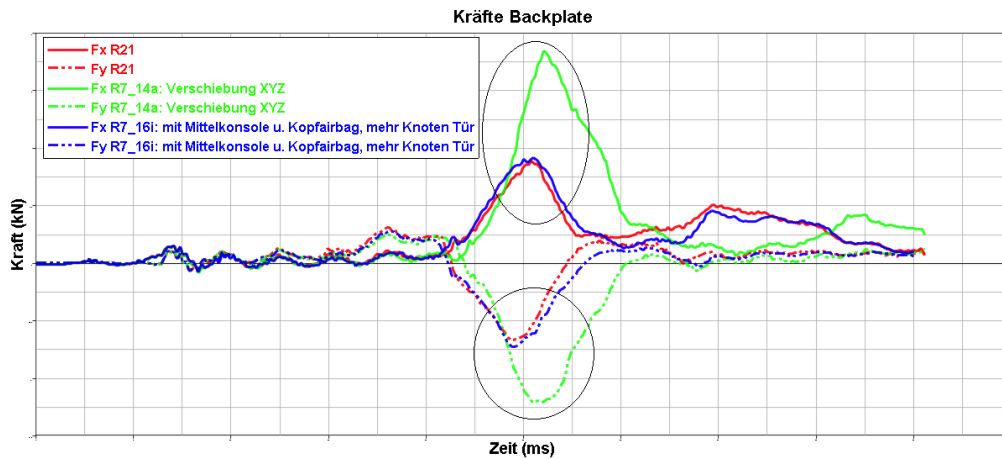


Abbildung 3.34: Verbesserung: Kräfte Rücken

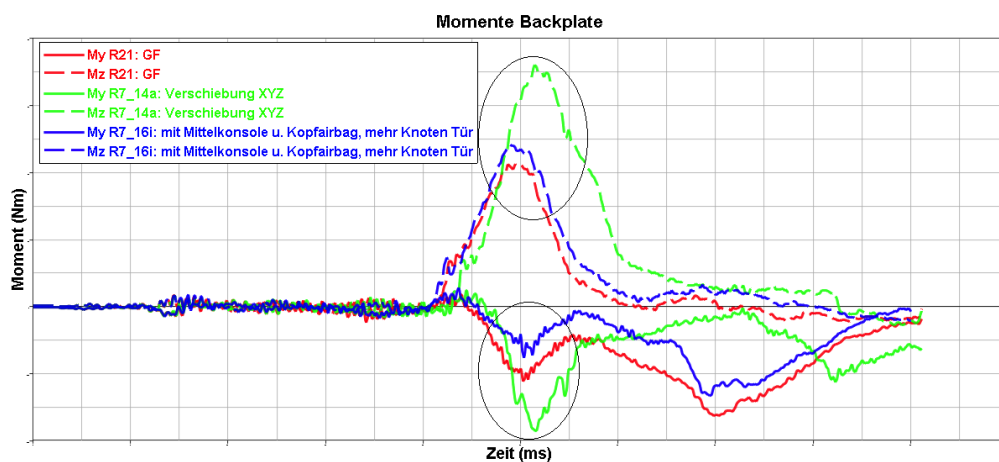


Abbildung 3.35: Verbesserung: Momente Rücken

Auf die Rippeneindrückungen haben die durchgeführten Anpassungen kaum Einfluss.

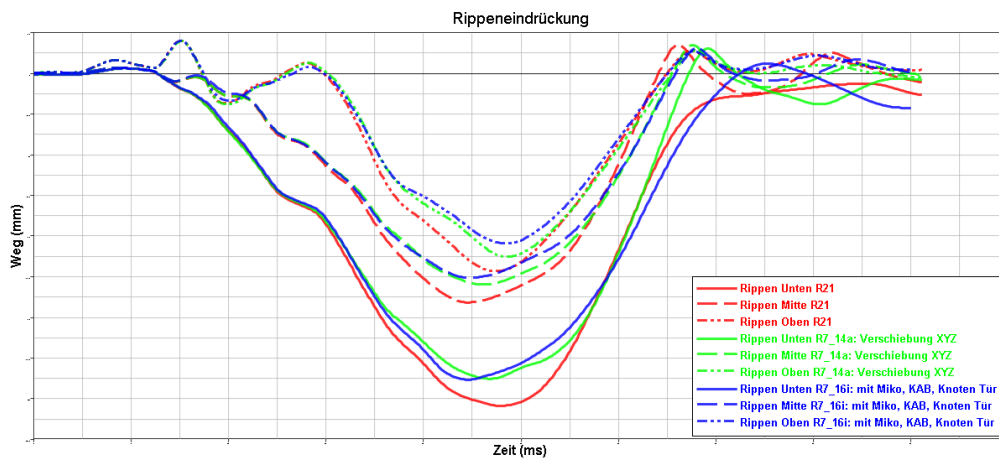


Abbildung 3.36: Verbesserung: Rippeneindrückung

Bei der Schambeinkraft konnte eine Verbesserung des Maximalwertes erreicht werden. Der zeitliche Versatz konnte durch die Änderungen nicht reduziert werden.

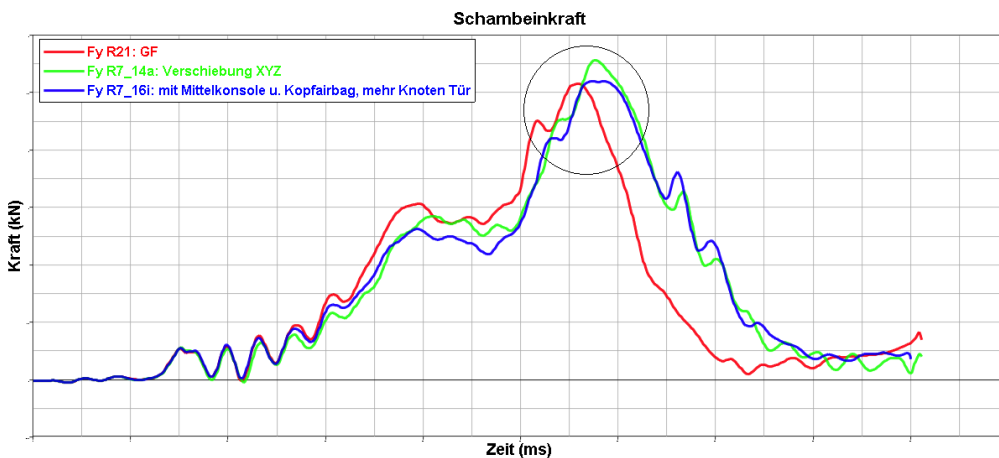


Abbildung 3.37: Verbesserung: Schambeinkraft

Durch eine weitere Verfeinerung des Rasters und durch Integration weiterer Fahrzeugkomponenten könnte eine noch bessere Übereinstimmung der Insassenbelastungswerte erreicht werden. Da jedoch im Versuch die gesamten Knotenverschiebungen durch eine begrenzte Anzahl von Intrusionszylinder aufgebracht werden sollen, wären diese Verbesserungen nicht umsetzbar. Für die Anpassungen mussten folgende zusätzliche Bauteile in den Ersatzversuch integriert werden:

- Kopfairbag
- Mittelkonsole
- Versteifungsteil Gurtautomat

Weiters mussten folgende zusätzliche Randbedingungen definiert werden:

- zusätzliche Knotenverschiebungen im unteren Bereich der B-Säule
- zusätzliche Knotenverschiebungen am Türinnenblech im Bereich des Armes
- Knotenverschiebungen auf Versteifungsteil und Mittelkonsole

Abbildung 3.38 zeigt das Modell mit allen aufgebrauchten Knotenverschiebungen.

blau: Türinnenblech und B-Säule R7_14a
gelb: mehr Knoten Türinnenblech Armhöhe
grün: mehr Knoten B-Säule unten
rot: Gurthanbindung
türkis: Kopfairbag-Klipps
magenta: Mittelkonsole
schwarz: Versteifungsteil

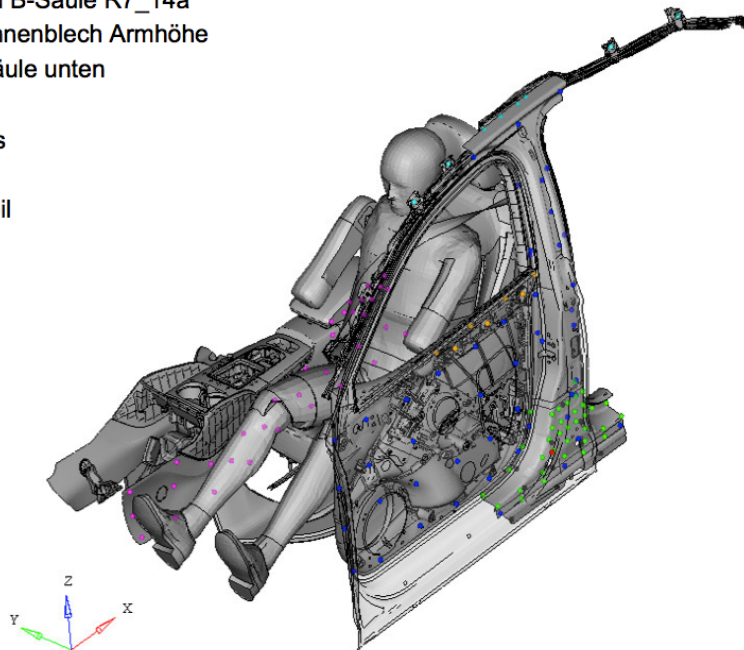


Abbildung 3.38: Knotenverschiebungen

Im Folgenden soll eine Analyse der Einflüsse einerseits durch Reduktion von Bauteilen, vereinheitlichten Bewegungsvorgaben, sowie reduzierter Freiheitsgrade der einzelnen Komponenten durchgeführt werden. Letztendlich soll daraus ein für das ASIS geeigneter Ersatzversuch abgeleitet werden. Das gezeigte Modell dient als Ausgangsbasis für die Entwicklung des Komponentenprüfstands und das Ableiten der Vorgabekurven.

4 Reduktion der Bauteile und Freiheitsgrade

4.1 Reduktion der Bauteile

Da im Ersatzversuch so wenig originale Fahrzeugkomponenten wie möglich enthalten sein sollen, werden nun die zusätzlichen Bauteile wieder reduziert. Diese Reduktionen werden zu einer Verschlechterung der Übereinstimmung der Belastungswerte führen. Ziel dieser Untersuchung ist es darzustellen welchen Einfluss die Reduktion einzelner Komponenten auf die Insassenbelastung im Vergleich zur Gesamtfahrzeugsimulation hat. Nach der Quantifizierung des Einflusses kann entschieden werden, welche Bauteile im Ersatzversuch wegfallen können und ob Ersatzstrukturen benötigt werden. Weiters stellt sich heraus, mit welchen Abweichungen bei den Ergebnissen durch das Weglassen von Bauteilen zu rechnen ist.

Um zu klären ob die B-Säule und die B-Säulenverkleidung für eine realistische Nachbildung des Gesamtfahrzeugversuchs notwendig sind, werden auch Varianten ohne diese Teile gerechnet. Die einzelnen Varianten sind in Abbildung 4.1 dargestellt.

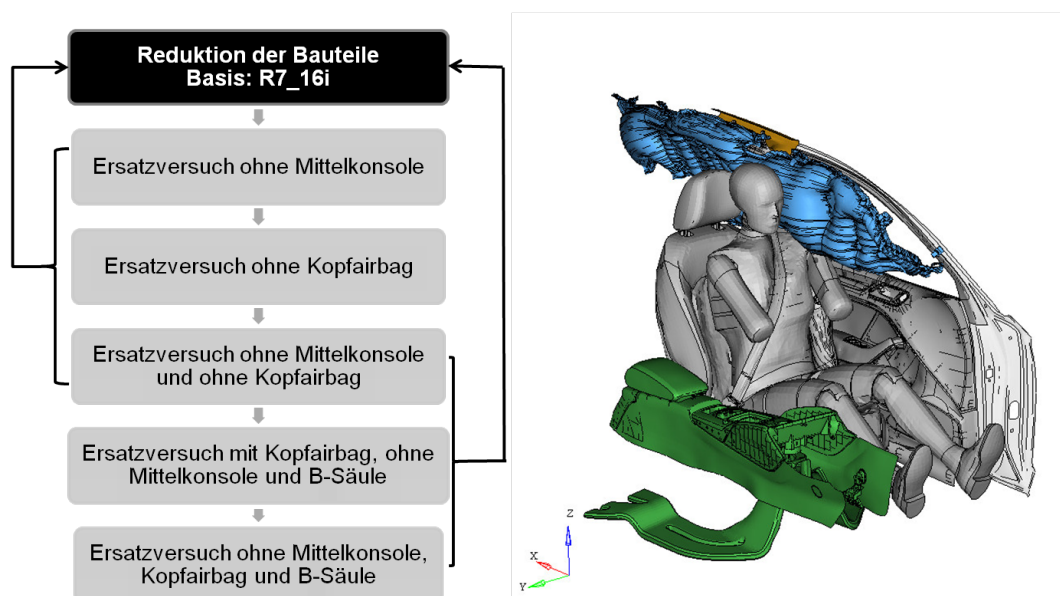


Abbildung 4.1: Reduktion der Bauteile

4.1.1 Reduktion von Mittelkonsole und Kopfairbag

Die Simulationen der ersten 3 Varianten ohne Mittelkonsole bzw. Kopfairbag führten aus den in Kapitel 3.5.2 und 3.5.3 erläuterten Gründen zu einem starken Anstieg der Kräfte und Momente im Rücken gegenüber der Basis-Variante. In den Simulationsergebnissen ist auch ersichtlich, dass der Kopfairbag den größeren Einfluss auf die Kräfte und Momente im Rücken hat als die Mittelkonsole. Die Verläufe der Belastungswerte sind in Abbildung 4.2 und 4.3 dargestellt.

Da die Mittelkonsole nicht direkt mit dem Dummy in Kontakt kommt und die Belastung des Kopfes kein relevantes Bewertungskriterium ist, können diese beiden Komponenten durch Ersatzkonstruktionen ersetzt werden.

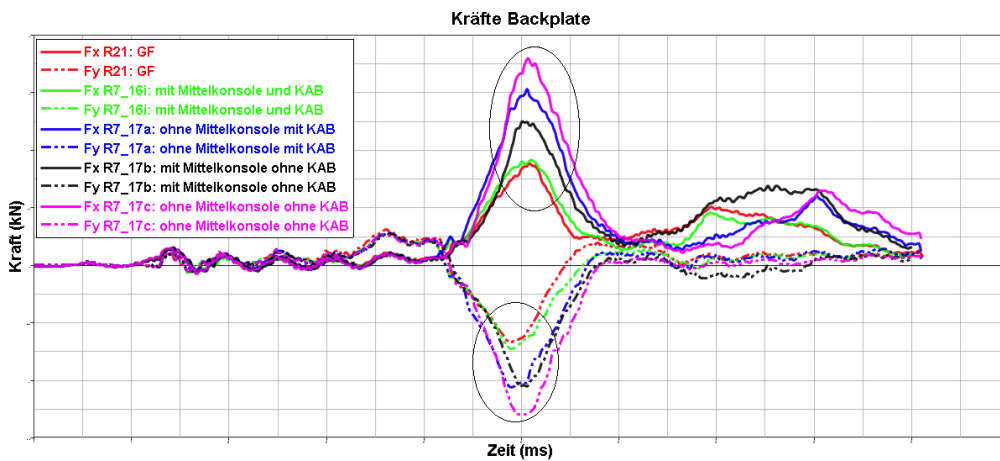


Abbildung 4.2: Reduktion Mittelkonsole und Kopfairbag: Kräfte Rücken

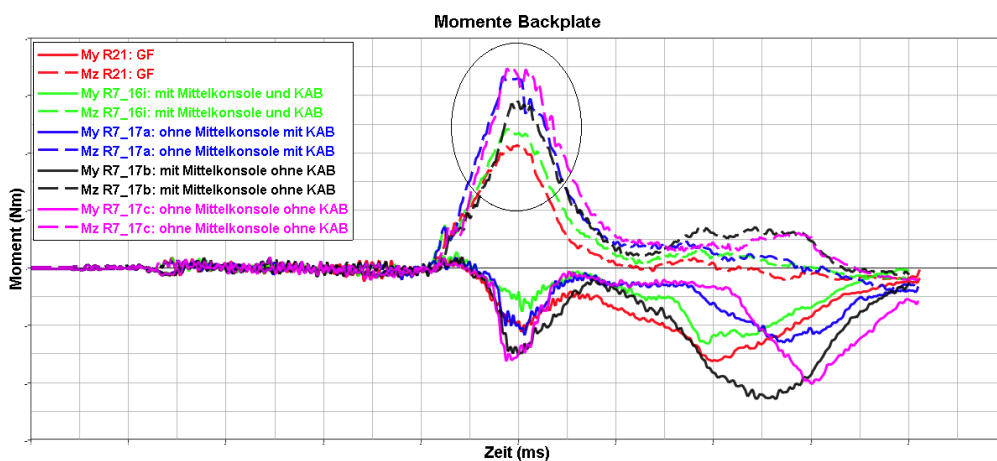


Abbildung 4.3: Reduktion Mittelkonsole und Kopfairbag: Momente Rücken

Auf die restlichen Belastungswerte hat die Reduktion von Mittelkonsole bzw. Kopfairbag keinen Einfluss.

4.1.2 Reduktion B-Säule

Die Ergebnisse nach Reduktion der B-Säule und der B-Säulenverkleidung sind in den Abbildungen 4.4 bis 4.9 dargestellt.

Durch die Reduktion der B-Säule und der B-Säulenverkleidung sinkt der Maximalwert der Bauchkräfte im Vergleich zur Gesamtfahrzeugsimulation.

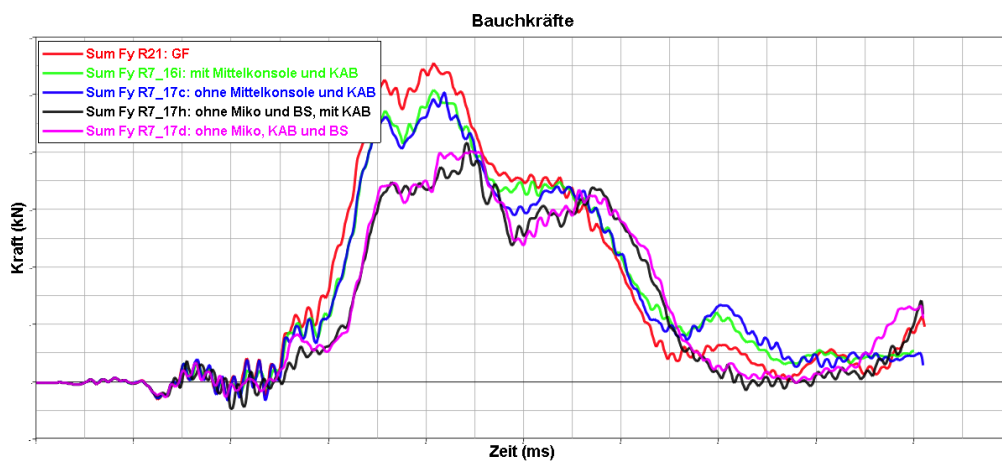


Abbildung 4.4: Reduktion B-Säule und BSVKL: Bauchkräfte

Beim Verlauf der Schulterkraft ist eine bessere Übereinstimmung mit der Gesamtfahrzeugsimulation zu erkennen. Der Maximalwert wird durch die Reduktion nicht beeinflusst.

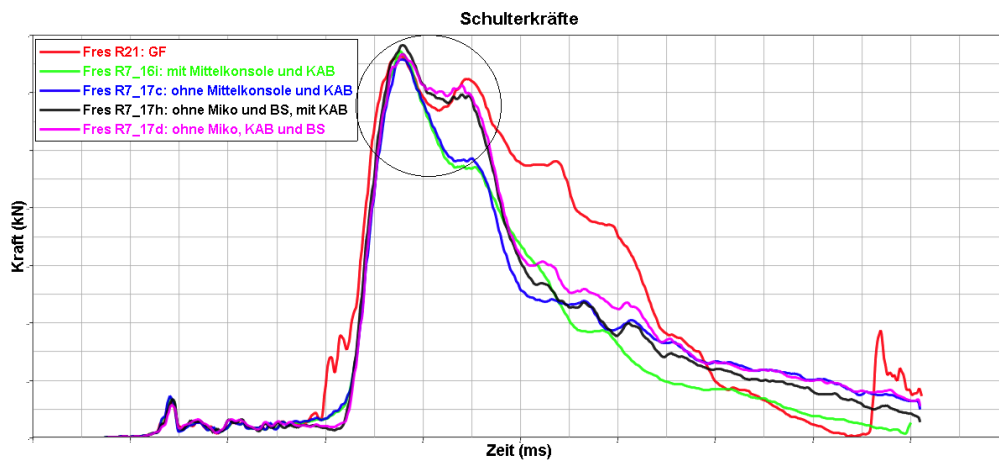


Abbildung 4.5: Reduktion B-Säule und BSVKL: Schulterkraft

4 Reduktion der Bauteile und Freiheitsgrade

Bei den Kräften und Momenten tritt nun sowohl ein zeitlicher Versatz, sowie ein Anstieg der Maximalwerte auf.

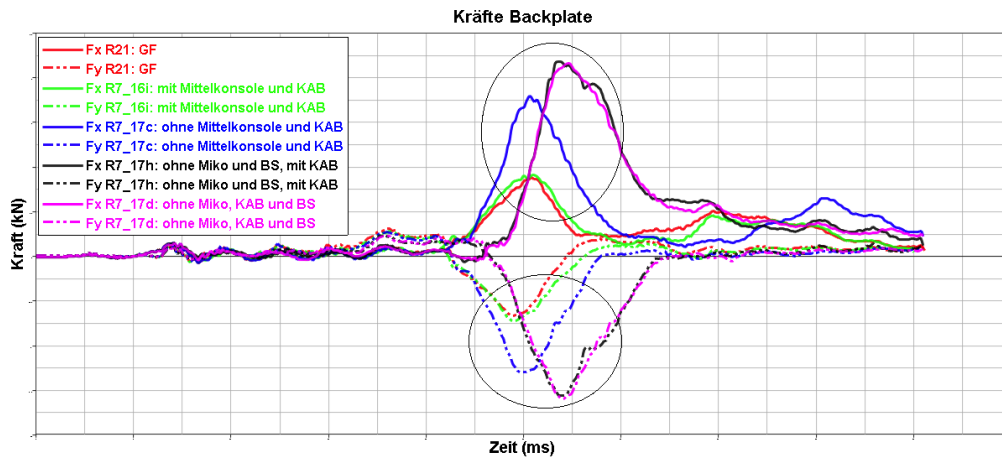


Abbildung 4.6: Reduktion B-Säule und BSVKL: Kräfte Rücken

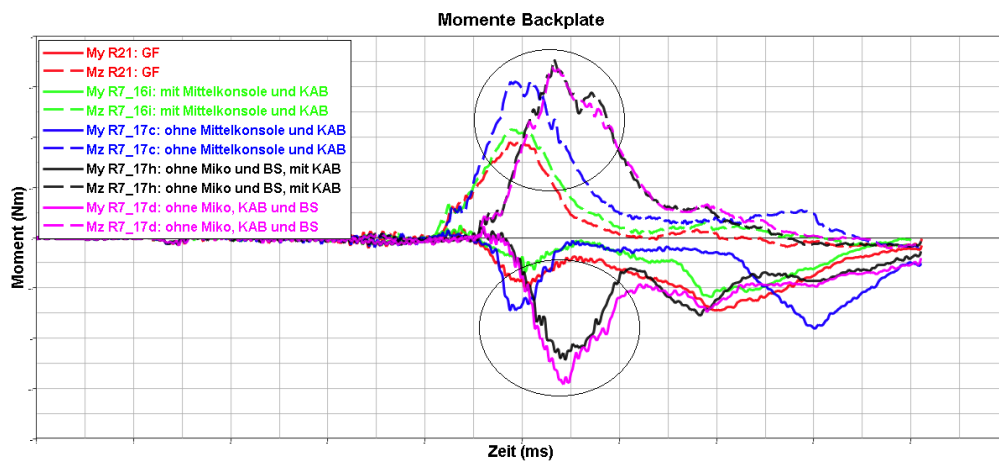


Abbildung 4.7: Reduktion B-Säule und BSVKL: Momente Rücken

Auch bei den Rippeneindrückungen ist ein zeitlicher Versatz zu erkennen.

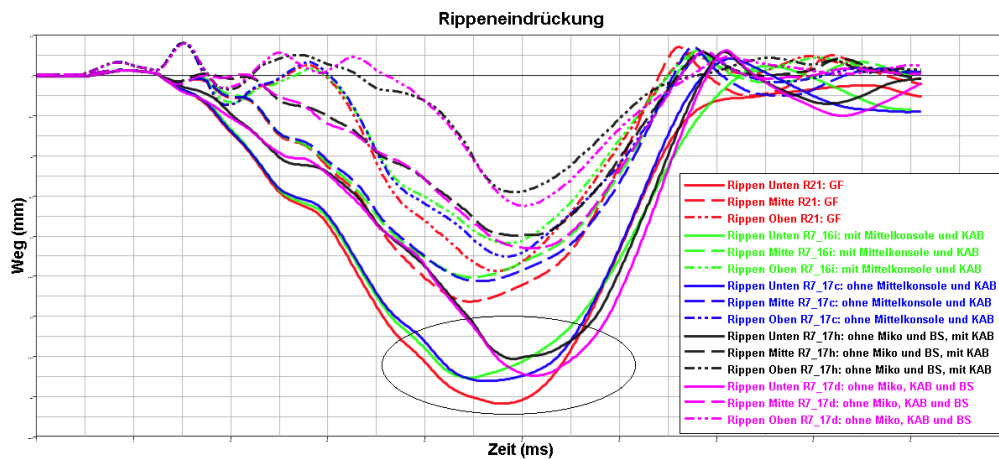


Abbildung 4.8: Reduktion B-Säule und BSVKL: Rippeneindrückung

Die Schambeinkraft steigt im Vergleich zur Gesamtfahrzeugsimulation an.

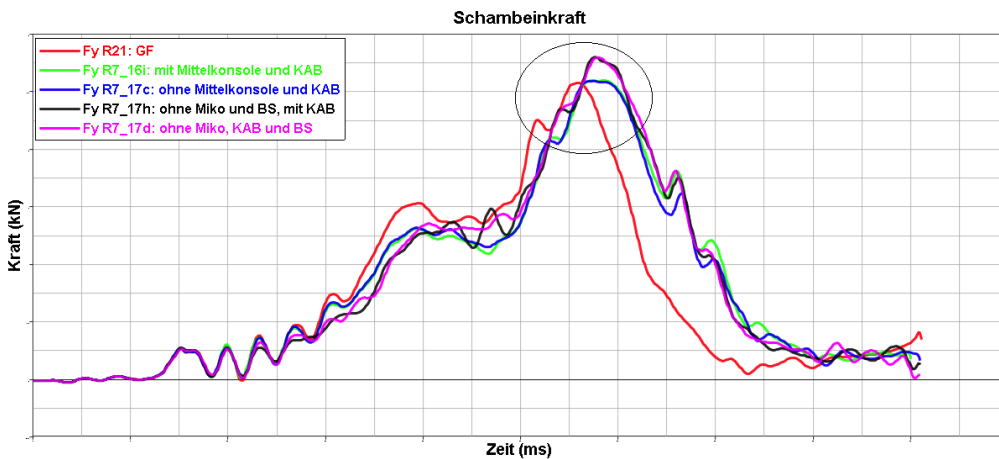


Abbildung 4.9: Reduktion B-Säule und BSVKL: Schambeinkraft

Die Auswertung der Varianten ohne B-Säule und B-Säulenverkleidung zeigen, dass die Integration von B-Säule und Verkleidung für eine gute Übereinstimmung der zeitlichen Verläufe der Insassenbelastung notwendig ist. Weiters können auch der Gurtretractor und der D-Ring des Gurtes direkt an der B-Säule und der Verkleidung angebracht werden. Ansonsten wäre eine entsprechende Ersatzstruktur notwendig. Aus diesen Gründen und wegen der besseren Übereinstimmung der Insassenbelastungswerte, sowie der Sitzbewegung, wurden die B-Säule und die B-Säulenverkleidung wieder in den Ersatzversuch integriert. Nachteilig ist das höhere Gewicht, welches im Versuch durch den HyperG beschleunigt werden muss.

Abbildung 4.10 zeigt die Befestigung des D-Rings und des Gurtretractors an der B-Säule und den Einfluss der B-Säule auf die Sitzbewegung.

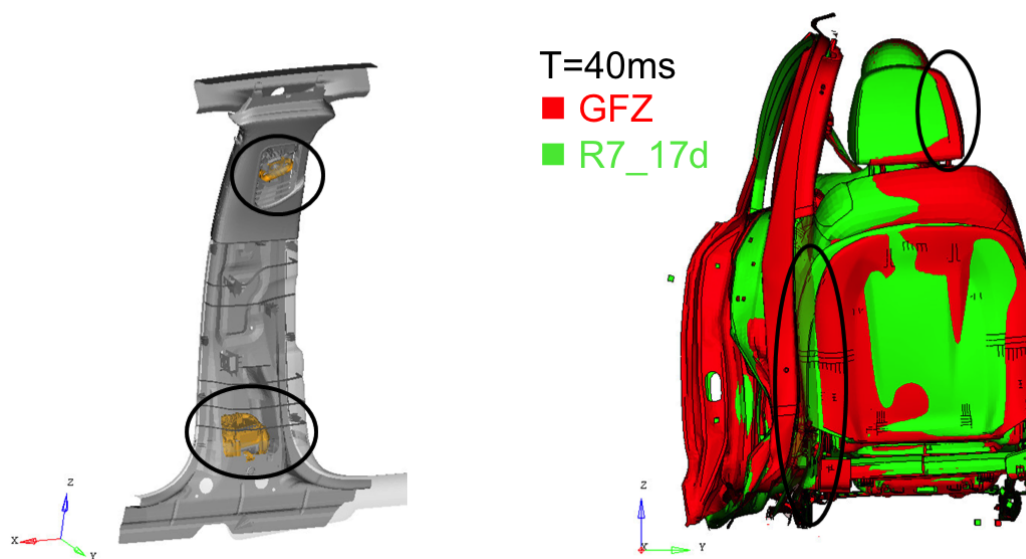


Abbildung 4.10: Notwendigkeit B-Säule und B-Säulenverkleidung

4.2 Reduktion der Freiheitsgrade

Nach der Untersuchung der Einflüsse einzelner Komponenten auf die Insassenbelastung soll nun der Einfluss von Verschiebungen in X- und Z-Richtung untersucht werden. Ziel der Untersuchung ist es zu erkennen, ob diese Verschiebungen vernachlässigbar sind, da es im Versuch mit dem ASIS nicht möglich ist eine Verschiebung in Z-Richtung auf die Komponenten aufzubringen. Eine Verschiebung in X-Richtung könnte nur mit größerem Aufwand, durch eine Schrägstellung des Sitzes, umgesetzt werden. Da der Betrag der Verschiebungen des Sitzes und des Türinnenbleches in X- und Z-Richtung, wie in Abbildung 4.11 dargestellt, viel kleiner als die Verschiebung in Y-Richtung ist wurden in der ersten Variante alle Komponenten nur in Y-Richtung verschoben. Mit dem HyperG kann nur 1 Bewegung auf den Sitz aufgebracht werden, aus diesem Grund wurden die Verschiebungen der Anbindungspunkte des Sitzes arithmetisch gemittelt und eine eigene Variante berechnet. Alternativ könnte auch die Verschiebung eines äußeren Anbindungspunktes aufgeprägt werden, da diese den größeren Einfluss auf die Sitzposition haben. Die durchgeführten Simulationen sind in Abbildung 4.12 dargestellt.

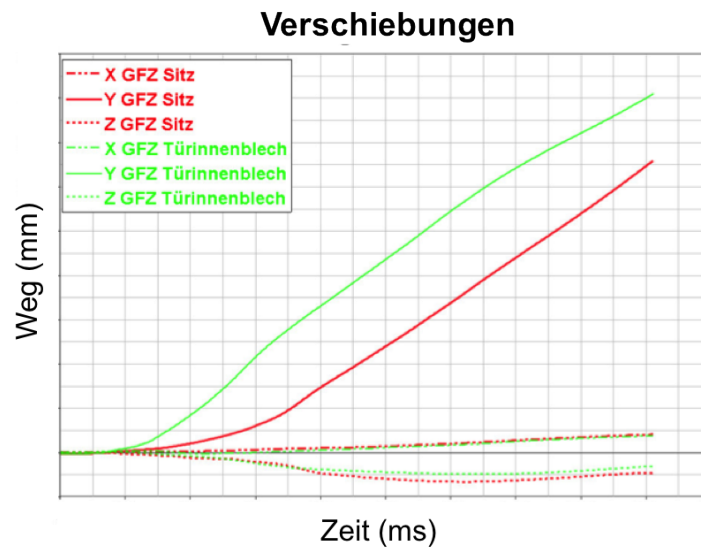


Abbildung 4.11: Verschiebungen Sitz und Türinnenblech in X-, Y- und Z-Richtung

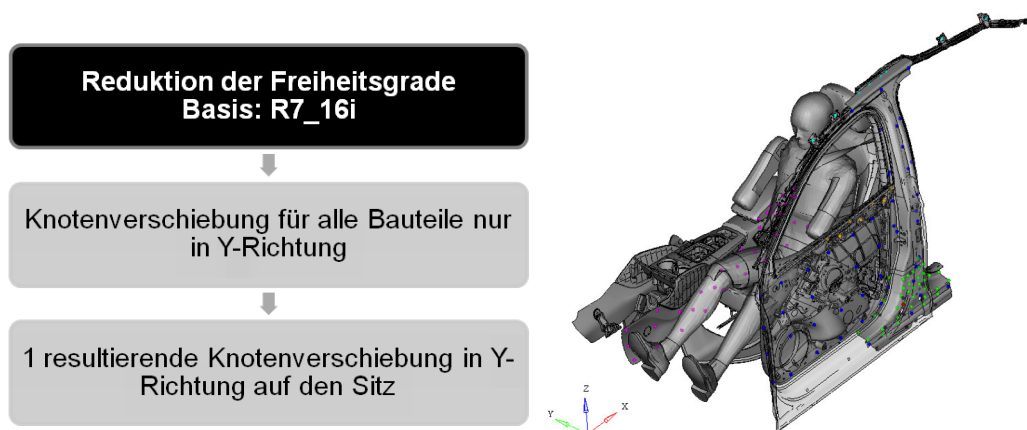


Abbildung 4.12: Reduktion der Freiheitsgrade

In den folgenden Diagrammen, Abbildungen 4.13 bis 4.16, sind die Auswirkungen der Reduktion der Freiheitsgrade auf die Belastungswerte dargestellt.

Bei Vernachlässigung der X- und Z-Richtung steigt die Schulterkraft leicht an. Auf den zeitlichen Verlauf haben die Vereinfachungen keinen Einfluss.

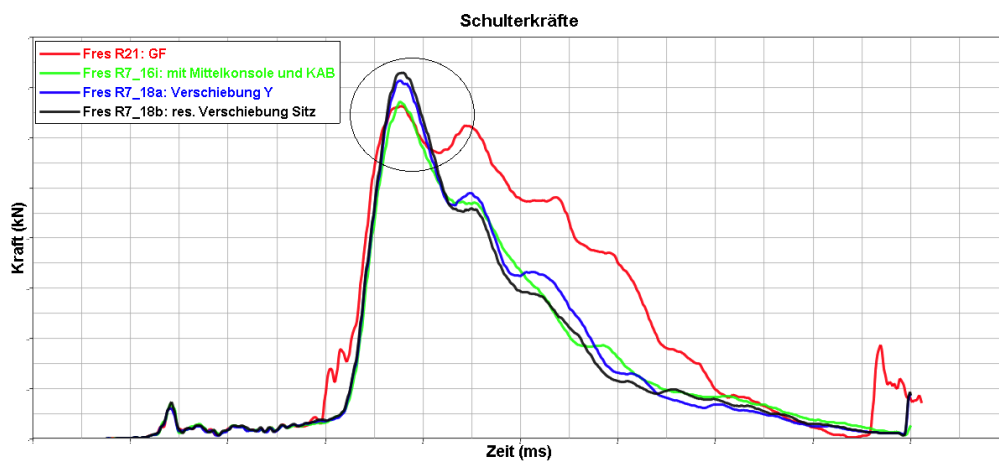


Abbildung 4.13: Reduktion Freiheitsgrade: Schulterkraft

Bei den Kräften und Momenten im Rücken führen die Vernachlässigungen von X- und Z-Verschiebung zu einem deutlichen Anstieg der Maximalwerte. Ein weiterer Anstieg ist durch die angepasste Sitzverschiebung zu erkennen.

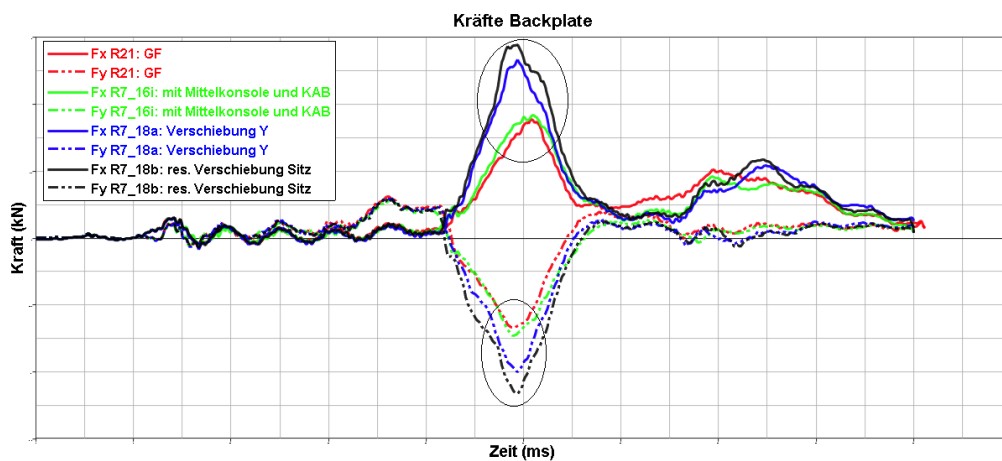


Abbildung 4.14: Reduktion Freiheitsgrade: Kräfte Rücken

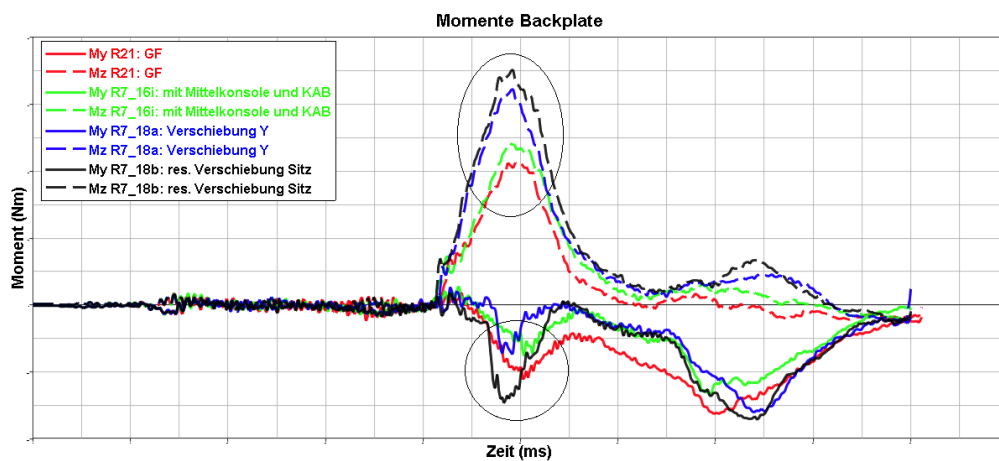


Abbildung 4.15: Reduktion Freiheitsgrade: Momente Rücken

Durch die Verschiebungen nur in Y-Richtung sinkt die Schambeinkraft. Durch die gemittelte Sitzverschiebung steigt die Schambeinkraft jedoch wieder an, ist jedoch noch immer niedriger als in der Gesamtfahrzeugsimulation.

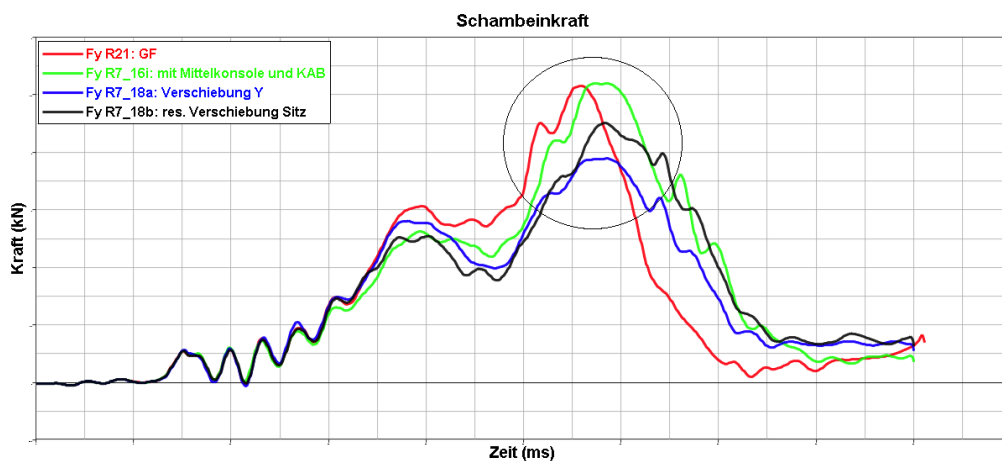


Abbildung 4.16: Reduktion Freiheitsgrade: Schambeinkraft

Da nur die Variante mit der resultierenden Bewegung des Sitzes und den Verschiebungen in Y-Richtung im Versuch umsetzbar ist, stellen die Ergebnisse der Insassenbelastungswerte dieser Variante den Bestfall für die Übereinstimmung zwischen Ersatzversuch und Gesamtfahrzeugsimulation dar.

Nächster Schritt in Richtung Umsetzung im Versuch ist die Reduktion von etwa 100 Knotenverschiebungen auf 4 Verschiebungen durch Intrusionszylinder an definierten Positionen.

In weiterer Folge werden noch weitere Abweichungen der Insassenbelastungswerte durch Positionierung der Intrusionszylinder und durch die Vorgabekurven auftre-

ten. Da mit einer Verschlechterung der Belastungswerte zu rechnen ist, kann später versucht werden, diese durch eine Anpassung der Vorgabekurven für die Intrusionszylinder so gering wie möglich zu halten bzw. sogar zu verbessern.

5 Ersatzversuch mit Intrusionszylindern

Ausgehend von dem zuvor beschriebenen Ersatzmodell mit B-Säule, Verschiebungen der Bauteile nur in Y-Richtung und der gemittelten Sitzverschiebung in Y, sollte nun ein Ersatzversuch mit dem Advanced Side Impact System (ASIS) abgeleitet werden. Dafür werden zunächst die Knotenverschiebungen durch Verschiebung von 4 Intrusionszylindern im Bereich des Dummies ersetzt. Auf Grund des geringen Platzangebots und weil mit 4 Intrusionszylindern der Dummy gut abgedeckt werden kann, wird auf weitere Intrusionszylinder verzichtet. Ob die Leistungsgrenzen des ASIS mit den aufgeprägten Verschiebungen eingehalten werden, soll anschließend überprüft werden.

5.1 Positionierung der Intrusionszylinder

Die Intrusionszylinder wurden in den Bereichen jener Dummyteile positioniert, welche zur Auswertung der Insassenbelastung herangezogen werden, also 1 Intrusionszylinder im Bereich der Schulter und der Rippen und ein 2. im Bereich des Beckens. Da der untere Bereich der B-Säule großen Einfluss auf die Sitzverschiebung hat, wurde ein 3. Intrusionszylinder in diesem Bereich positioniert. Der 4. Zylinder wurde in der Mitte des Türinnenbleches positioniert. Um eine unkontrollierte Bewegung des Bleches im vorderen Bereich zu vermeiden, ist eine zusätzliche Anbindung des Türinnenblechs an den 4. Zylinder vorgesehen. Bei der Positionierung wurde darauf geachtet, dass der Mindestabstand von 200mm zwischen den 3 Reihen des ASIS, in denen die Zylinder positioniert werden können, eingehalten wurden. Da die Ventile auf einer Seite der Intrusionszylinder ebenfalls Platz brauchen, musste darauf geachtet werden, dass der benötigte Platz bei jedem Intrusionszylinder vorhanden ist. Die Intrusionszylinder können jeweils immer um 90° verdreht am ASIS-Rahmen montiert werden, sodass die Ventile auf jeder Seite zu liegen kommen können. Die Positionen der Intrusionszylinder sind in Abbildung 5.1 dargestellt. Betrachtet man andere Insassenbelastungswerte oder stellt einen anderen Lastfall nach, muss die Positionierung der Intrusionszylinder angepasst werden. Bei einem Poletest z.B. könnte eine Positionierung der Intrusionszylinder direkt übereinander unter Umständen bessere Ergebnisse liefern.

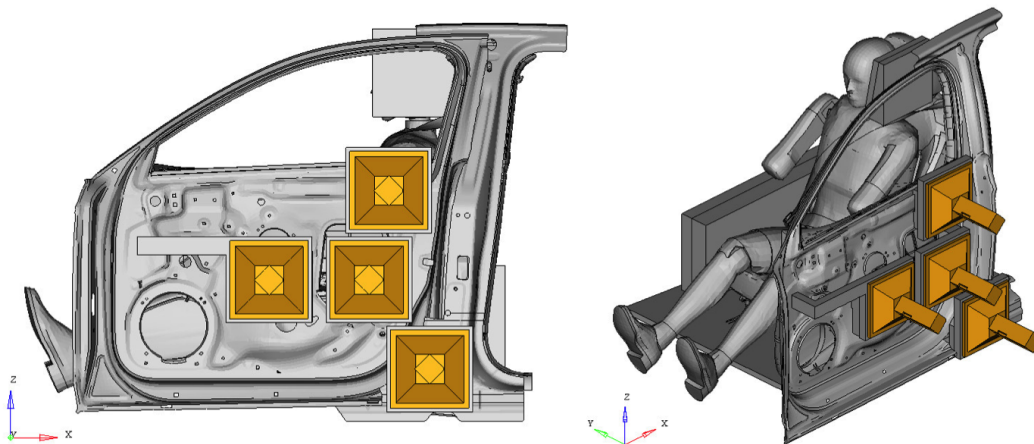


Abbildung 5.1: Positionierung der Intrusionszylinder

5.2 Adapterplatten

Bei der Beschleunigung von Tür und Dummy treten enorme Kräfte auf, die eine ausreichend flächige Abstützung des Türinnenblechs erforderlich machen. Zu diesem Zweck wurden Adapterplatten konstruiert, welche eine grob an die Kontur des Türinnenblechs bzw. der B-Säule angepasste Oberfläche haben. Durch diese Kontur der Adapterplatten kann sich das Türinnenblech im Verlauf der Kollision nicht wie im Gesamtfahrzeugmodell deformieren. Die Deformationsbilder stimmen deswegen nicht mehr überein.

Bei Verwendung von enddeformierten Komponenten ergibt sich der Nachteil, dass der Raum für die Airbagentfaltung nicht mehr repräsentativ ist. Nachteilig bei verformten Komponenten ist ebenso, dass die Originalhardware vor dem Test zuerst verformt werden müsste. Auch die Adapterplatten müssten für jeden Lastfall angepasst werden. Verwendet man die Kontur der unverformten Komponenten, können z.B. für den EuroNCAP und für den Japan-NCAP die gleichen Adapterplatten verwendet werden. Der Einfluss der gewählten Kontur kann durch eine Anpassung der Vorgabekurven, z.B. einer Skalierung der Kurven, ausgeglichen werden. [8]

Aus Gewichtsgründen wurde als Werkstoff für die Adapterplatten Aluminium gewählt. Die Adapterplatten können auf den Intrusionszylinder befestigt werden. Das Türinnenblech kann dann im Realversuch mit Gewindestangen direkt auf den Adapterplatten befestigt werden. Die Adapterplatten sind in Abbildung 5.2 dargestellt.

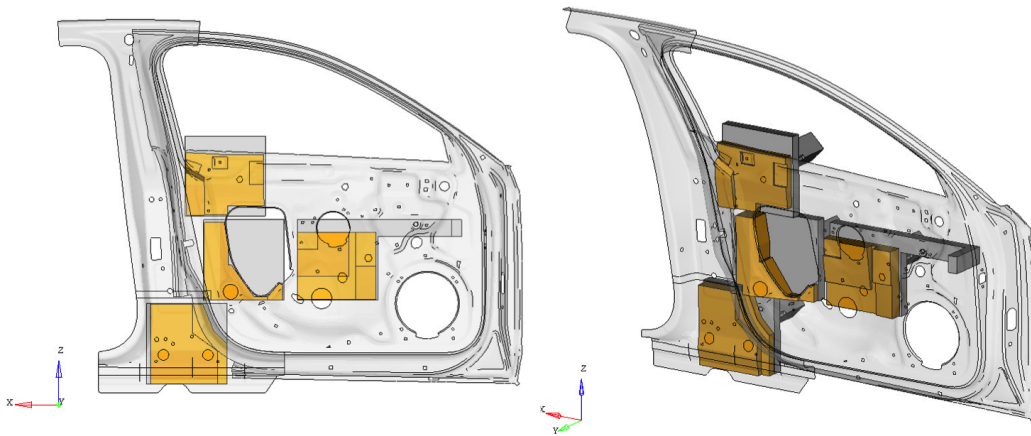


Abbildung 5.2: Adapterplatten

5.3 zusätzliche Anbindungen und Verschiebungen

Da die Verschiebung des Gurtendbeschlags in der Gesamtfahrzeugsimulation nur gering von der Sitzbewegung abweicht, wird für die Verschiebung des Gurtendbeschlags kein eigener Intrusionszylinder vorgesehen. Stattdessen wird dem Gurtendbeschlag die gemittelte Verschiebung des Sitzes in Y-Richtung aufgeprägt. Das entspricht einer Befestigung an der Bodenplatte im Realversuch.

Durch die Kräfte, welche durch die Intrusionszylinder auf das Türinnenblech aufgeprägt werden, könnte das Türinnenblech im vorderen Bereich zu schwingen beginnen. Um dies zu vermeiden, wurde eine zusätzliche Verbindung von der Adapterplatte in der Mitte des Türinnenblechs zum Türinnenblech selbst, wie in Abbildung 5.3 dargestellt, konstruiert. Diese Anbindung wird einfach mit dem Türinnenblech verschraubt und stellt eine zusätzliche Abstützung im vorderen Bereich dar.

Die B-Säule wird unten durch einen eigenen Intrusionszylinder beschleunigt, das obere Ende durchläuft im Versuch aber eine deutlich unterschiedliche Bewegung. Um ein Kippen der B-Säule um die X-Achse zu verhindern, wird der B-Säule, wie in Abbildung 5.3 zu sehen ist, die Sitzbewegung aufgeprägt. Für den oberen Bereich der B-Säule soll kein eigener Intrusionszylinder angebracht werden. Die B-Säule soll sich im Versuch über eine Stütze auf der Bodenplatte abstützen. Alternativ könnte die B-Säule im oberen Bereich auch über eine Verbindung mit dem Intrusionszylinder im Bereich der Schulter verschoben werden. Da die Unterschiede der Verschiebungen zwischen B-Säule und Sitz geringer sind als zwischen dem Intrusionszylinder im Bereich der Schulter und der B-Säule, wurde die Sitzbewegung und damit die Abstützung auf der Bodenplatte gewählt.

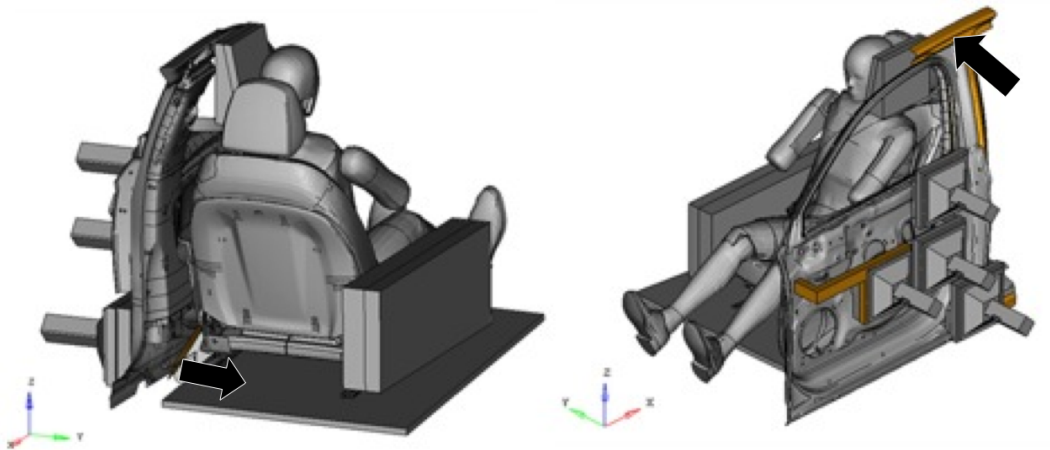


Abbildung 5.3: zusätzliche Anbindungen und Verschiebungen

5.4 Ableitung der Bewegungsvorgaben für Intrusionszylinder und Sitz

Für die Verschiebung der Intrusionszylinder wurde je eine Verschiebung eines Knotens aus dem mittleren Bereich des Zylinders herangezogen, da die Verschiebungen in den einzelnen Bereichen nicht stark voneinander abweichen. Diese Vorgehensweise muss je nach Lastfall angepasst werden, da bei anderen Lastfällen, wie z.B. einem Poletest, erhebliche Unterschiede bei den Verschiebungen im Bereich eines Zylinders auftreten können. Alternativ könnten auch die Verschiebungen aus den Sensoren in diesem Bereich, eine arithmetische Mittelung der Knotenverschiebungen im Bereich der Intrusionszylinder oder eine willkürliche Verschiebung vorgegeben werden. Vorteilhaft bei der Verwendung der Verschiebungen der Sensoren wäre, dass auch Verschiebungen aus Realversuchen verwendet werden könnten. Es müsste jedoch im Bereich jedes Intrusionszylinders ein Sensor in der zugrunde liegenden Gesamtfahrzeugsimulation vorhanden sein.

Die herangezogenen Knoten sind in Abbildung 5.4 und die sich daraus ergebenden Verschiebungen in Y-Richtung in Abbildung 5.5 dargestellt. Bei diesen Verschiebungen sind die Leistungsgrenzen des ASIS, wie z.B. der maximale Hub noch nicht berücksichtigt. Die Einhaltung der Grenzen soll im weiteren Verlauf überprüft werden.

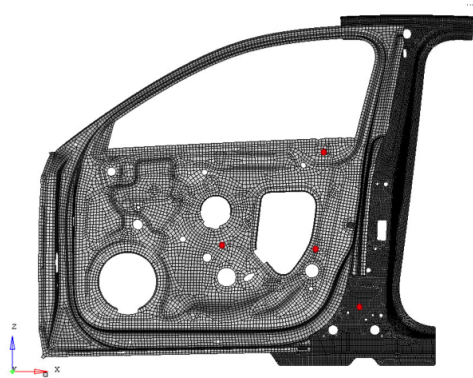


Abbildung 5.4: Ausgewertete Knoten

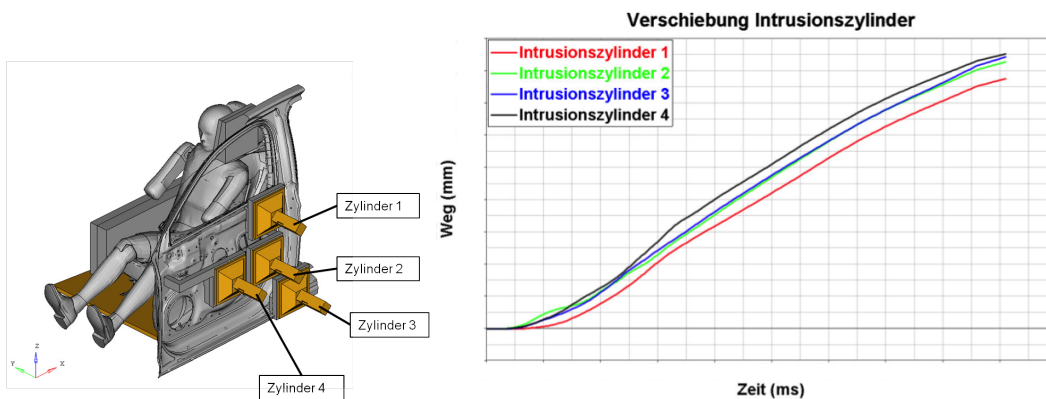


Abbildung 5.5: Absolute Verschiebung der Intrusionszylinder

Für die Verschiebung des Sitzes wurde, wie in Abbildung 5.6 gezeigt, die aus den 4 Anbindungspunkten arithmetisch gemittelte Verschiebung des Sitzes angenommen. Auf Grund der Umsetzbarkeit mit dem HyperG wurde nur die Verschiebung in Y aufgebracht. Die maximale Verschiebung im Fall des Japan-NCAP, des HyperG beträgt ca. 300mm, die der Intrusionszylinder ca. 450mm.

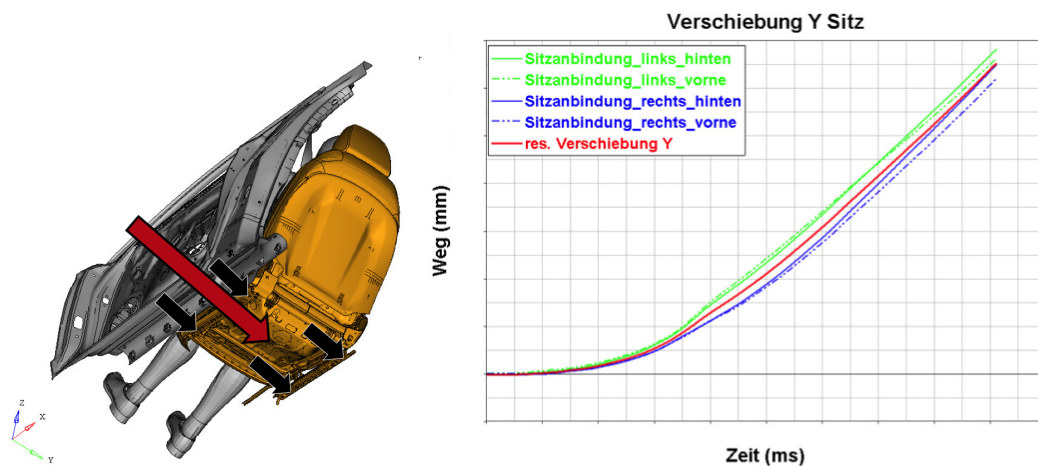


Abbildung 5.6: Verschiebung des Sitzes

Da dem ASIS und dem HyperG im Realversuch jedoch Beschleunigungskurven und keine Wegkurven vorgegeben werden müssen, wurden alle Wegkurven 2 mal abgeleitet. Diese Kurven wurden dann anstatt der bisher vorgegebenen Wegkurven dem Ersatzversuch aufgeprägt. Die Beschleunigungskurven sind in den Abbildungen 5.7 und 5.8 dargestellt. Die maximal auftretende Beschleunigung beträgt bei den Intrusionszylindern 90g, beim HyperG 25g und liegen somit in den jeweiligen Leistungsgrenzen.

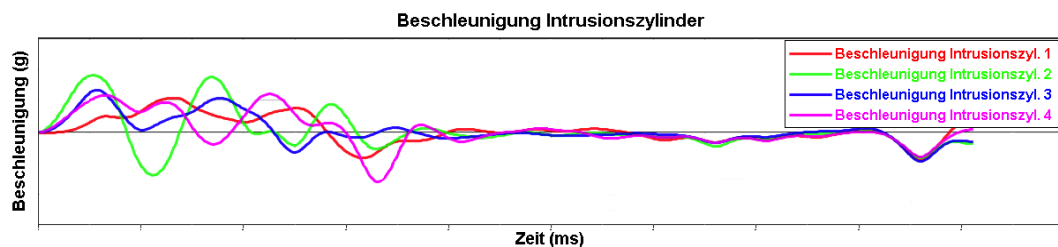


Abbildung 5.7: Beschleunigungsverläufe Intrusionszylinder

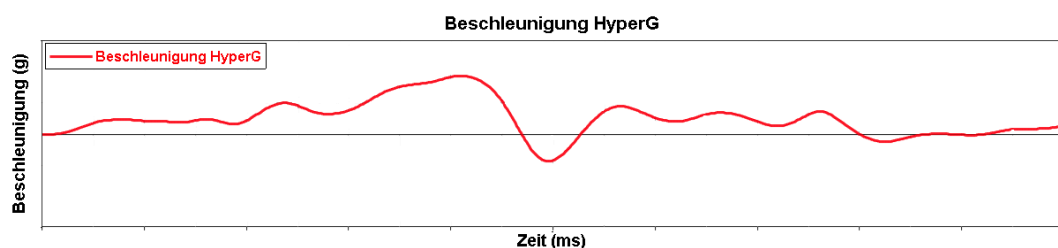


Abbildung 5.8: Beschleunigungsverlauf HyperG

Mit der gewählten Positionierung der Adapterplatten und den beschriebenen Beschleunigungen für die Intrusionszylinder und den HyperG wurde ein neuer Ersatz-

versuch simuliert und mit der Gesamtfahrzeugsimulation und dem im besten Fall erreichbaren Ersatzversuch, aus Kapitel 4.2, verglichen. In den Abbildungen 5.9 bis 5.11 dargestellten Ergebnissen erkennt man eine große Abweichung des Maximalwertes, sowie des zeitlichen Verlaufes der Schulterkraft.

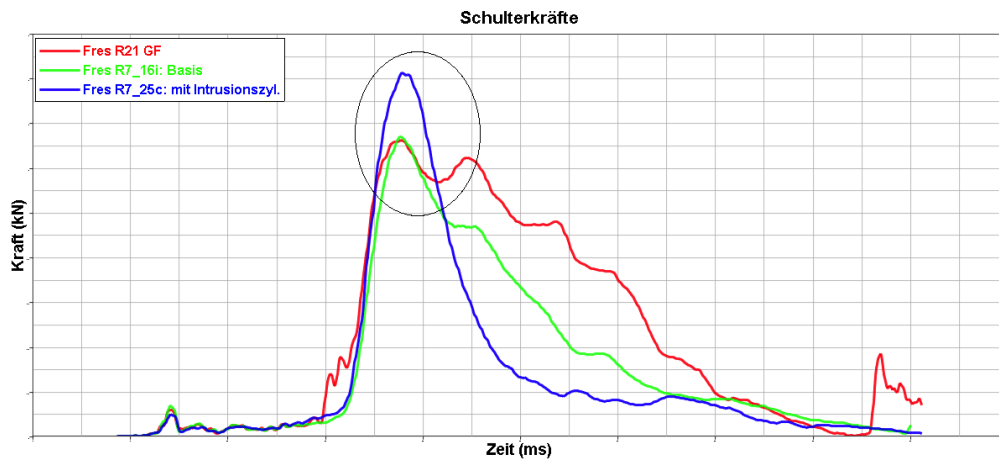


Abbildung 5.9: Ersatzversuch mit Intrusionszylindern: Schulterkraft

Beim Vergleich der Kinematik, wie in Abbildung 5.10 dargestellt, erkennt man, dass bei der neuen Variante mit Intrusionszylindern, die Intrusion der Tür im Bereich der Schulter höher ist als bei der Basisvariante. Dies kann durch die Wahl der Vorgabekurven zustande kommen.

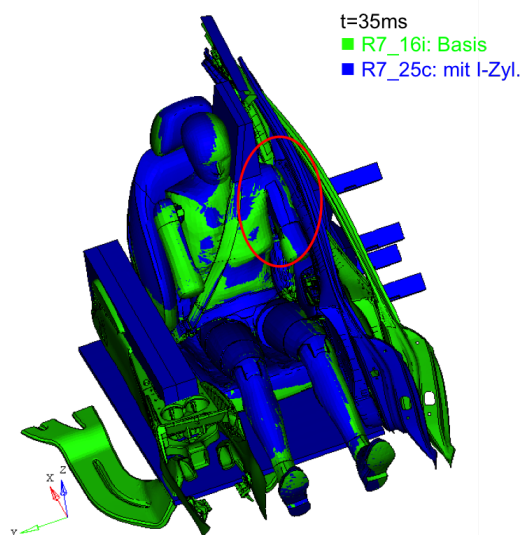


Abbildung 5.10: Ersatzversuch mit Intrusionszylindern: Kinematik

Beim Vergleich der Rippeindrückungen ist zu sehen, dass diese im Vergleich zur Gesamtfahrzeugsimulation zu hoch sind.

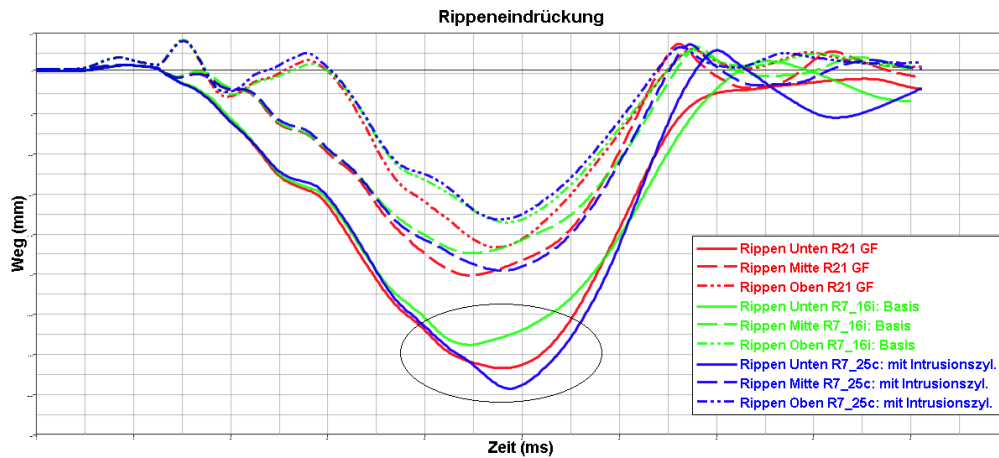


Abbildung 5.11: Ersatzversuch mit Intrusionszylindern: Rippeneindrückung

Auch diese Abweichung kann gegebenenfalls durch eine Anpassung der Vorgabekurven reduziert werden. Für die restlichen Insassenbelastungswerte haben sich keine signifikanten Änderungen ergeben.

5.5 Ersatzstrukturen

5.5.1 Kopfabstützung

Da die Kopfbeschleunigung im Ersatzversuch nicht betrachtet wird, der Dummy jedoch auch nicht durch einen Aufprall auf die B-Säule beschädigt werden soll, wurde eine Ersatzstruktur für den Kopfairbag eingebaut. Da der Kopfabstützung die Bewegung des Sitzes aufgeprägt wird, wird der Dummykopf über die gesamte Versuchsdauer angeschoben. Wäre ein Kopfairbag vorhanden, würde der Kopf nur abgestützt und nicht angeschoben werden. Die Kinematik des Kopfes stimmt im Ersatzversuch nicht mit der aus der Gesamtfahrzeugsimulation überein. Die Kopfabstützung besteht, wie in Abbildung 5.12 abgebildet, aus EPP-Schaum (grün) und einer Stahlplatte (blau). Der Ersatzversuch wurde mit EPP-Schäumen verschiedener Dichte, 70kg/m^3 , 140kg/m^3 und 210kg/m^3 simuliert, wobei keine Unterschiede in der Insassenbelastung festgestellt werden konnten. Aus diesem Grund und der geringeren Belastung des Dummykopfes durch einen weicheren EPP-Schaum wurde für den Versuch der EPP-Schaum mit 70kg/m^3 ausgewählt. Der Kopfabstützung wird in Y-Richtung eine Verschiebung über die Stahlplatte aufgeprägt. Da eine Befestigung der Kopfabstützung auf der Bodenplatte einfacher umzusetzen ist, als eine

Befestigung an der Adapterplatte im Bereich der Schulter, wird der Kopfabstützung die Bewegung des Sitzes aufgeprägt.

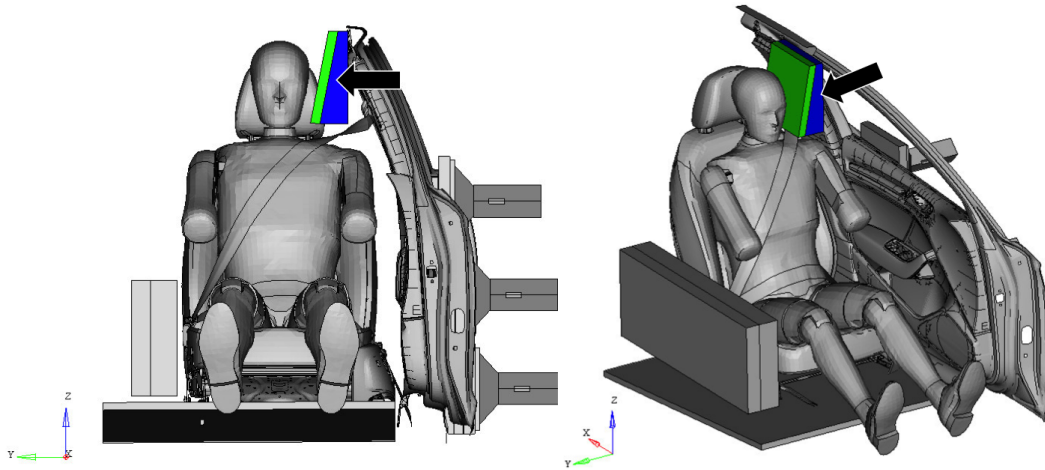


Abbildung 5.12: Kopfabstützung

5.5.2 Ersatzstruktur Mittelkonsole

Auch die Mittelkonsole wurde, wie die Kopfabstützung, durch eine Struktur aus EPP-Schaum und Stahl ersetzt. Auch hier wurde der Ersatzversuch mit den verschiedenen EPP-Schäumen, wie bei der Kopfabstützung, simuliert. Auf die Insassenbelastung hat die Dichte des EPP-Schaums keinen Einfluss. Aus diesem Grund wurde auch hier der EPP-Schaum mit einer Dichte von 70kg/m^3 gewählt. Dieser Ersatzstruktur wird ebenfalls die Verschiebung des Sitzes in Y-Richtung aufgeprägt. Obwohl dem Sitz und der Ersatzstruktur die gleiche Verschiebung aufgeprägt werden, stützt sich der Sitz, auf Grund der Pendelbewegung um die X-Achse, an der Ersatzstruktur ab. Die Ersatzstruktur ist in Abbildung 5.13 dargestellt.

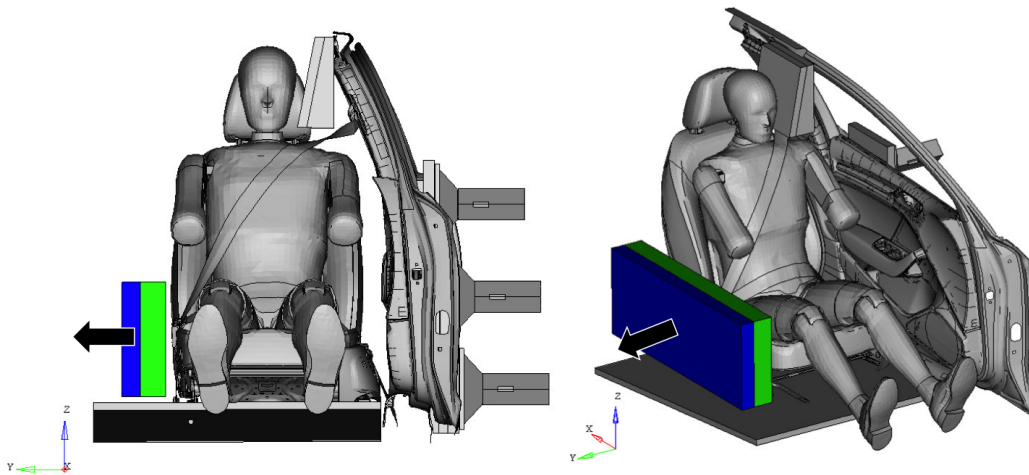


Abbildung 5.13: Ersatzstruktur Mittelkonsole

5.6 Sensibilitätsanalyse

Im Realversuch können die Vorgabekurven nicht ganz genau nachgeregelt werden, was zu Abweichungen der Verschiebungen führt. Um beurteilen zu können, wie empfindlich die Insassenbelastungswerte auf solche Abweichungen reagieren, wurde eine Sensibilitätsanalyse durchgeführt. Weiters können aus dieser Analyse Erkenntnisse zur Anpassung der Vorgabekurven für eine bessere Übereinstimmung der Insassenbelastungswerte gewonnen werden. Durch eine Anpassung der Vorgabekurven können dann die, durch die getroffenen bzw. notwendigen Vereinfachungen auftretenden Abweichungen zwischen Gesamtfahrzeugsimulation und Ersatzversuchsimulation, gegebenenfalls reduziert werden.

Für die Sensibilitätsanalyse wurde, ausgehend von der Variante mit den Intrusionszylindern, die Beschleunigungskurve eines Intrusionszylinders oder des HyperG einmal um +10% und einmal um -10% skaliert. Die sich daraus ergebenden Varianten sind in Abbildung 5.14 dargestellt.

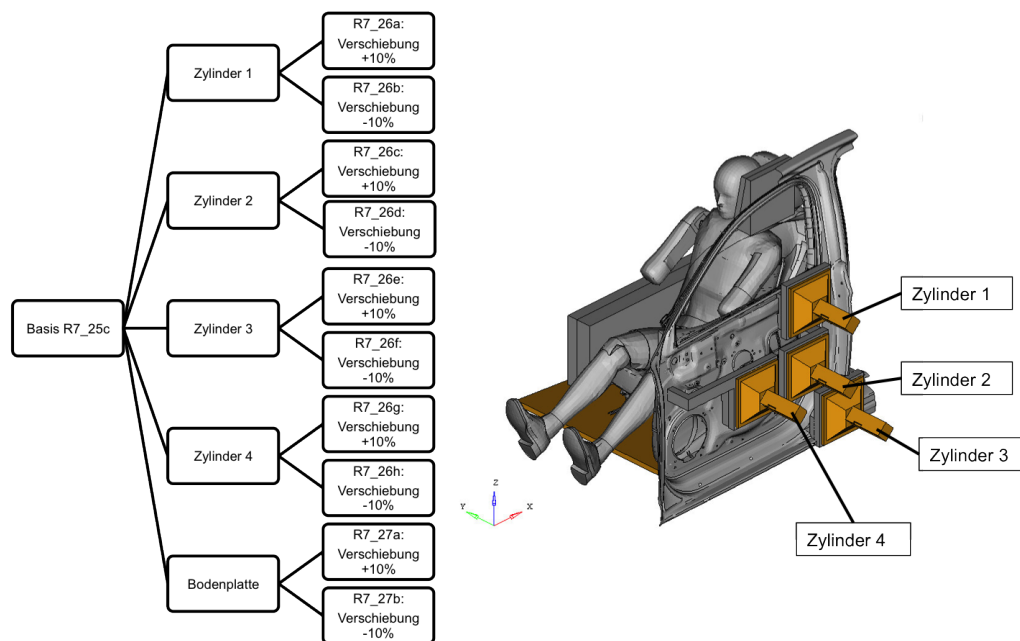


Abbildung 5.14: Varianten der Sensibilitätsanalyse

Auf Grund der Vielzahl an Diagrammen werden nur jene Insassenbelastungswerte gezeigt, die durch den jeweiligen Zylinder beeinflusst werden.

Ergebnis Analyse Intrusionszylinder 1:

Variiert man die Beschleunigungskurve des Intrusionszylinders 1, erkennt man dass diese Abweichungen sehr starken Einfluss auf die Schulterkraft, Abbildung 5.15, haben. Eine Abweichung von +10% führt z.B. zu einem Anstieg der Schulterkraft um ca. 25% im Vergleich zur Basisvariante. Da die Vorgabekurven theoretisch frei wählbar sind, könnte der Verlauf der Schulterkraft mit einer modifizierten Vorgabekurve nachgebildet werden. Die dafür benötigte Vorgabekurve hätte jedoch auch starken Einfluss auf die anderen Insassenbelastungswerte und könnte in Summe zu einer Verschlechterung der Übereinstimmung der Belastungswerte zwischen Gesamtfahrzeugsimulation und Ersatzversuch führen.

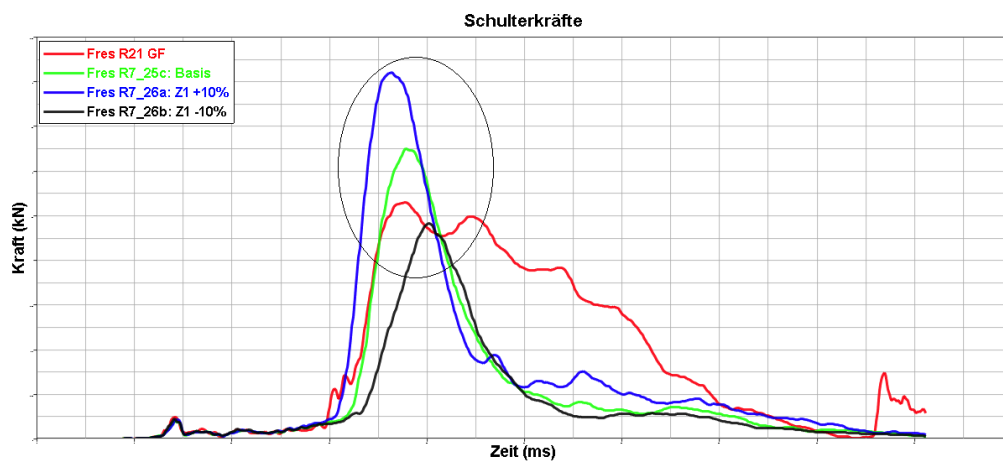


Abbildung 5.15: Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 1: Schulterkraft

Zusätzlich werden auch die Kräfte und Momente im Rücken, Abbildungen 5.16 und 5.17, durch den Zylinder 1 beeinflusst. Eine Abweichung von -10% führt bei den Kräften zu einem Anstieg von ca. 30%.

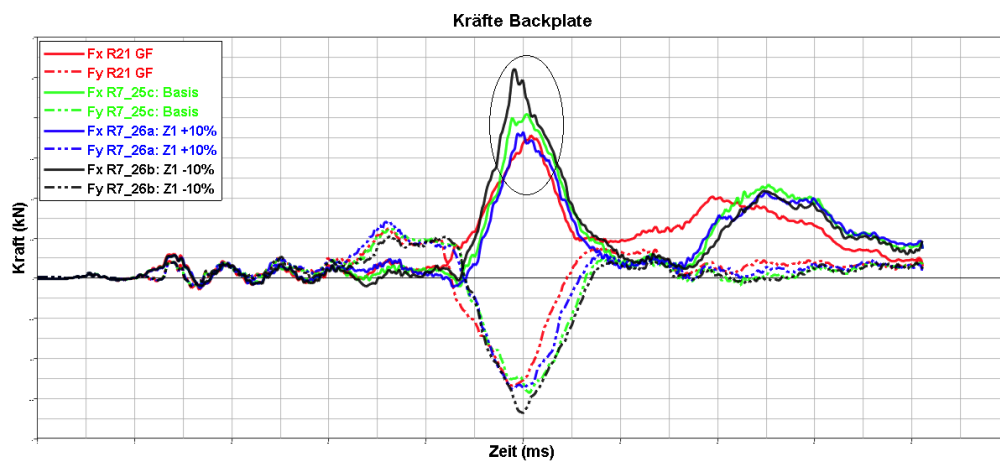


Abbildung 5.16: Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 1: Kräfte Rücken

Eine Verringerung der Intrusion von Zylinder 2 um 10% führt zu einer Erhöhung der Momente im Rücken um ca. 10%.

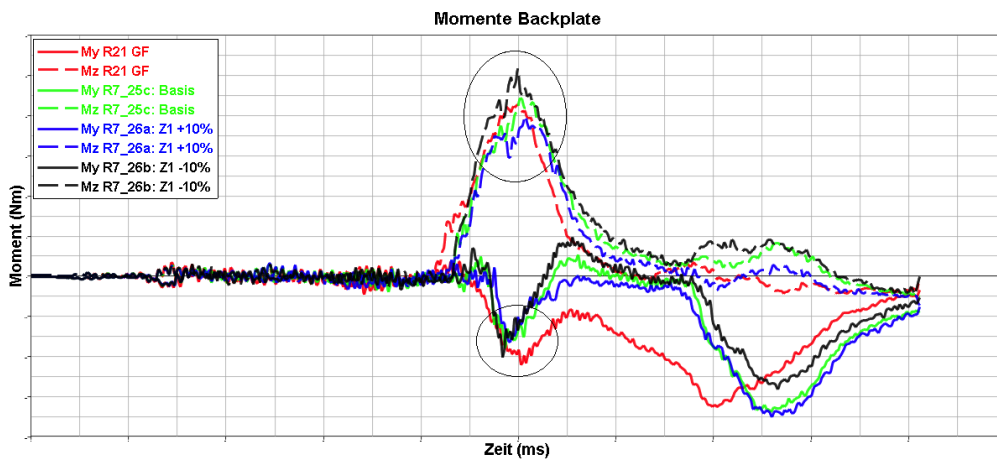


Abbildung 5.17: Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 1: Momente Rücken

Bei allen anderen Insassenbelastungswerten erkennt man nur sehr geringe Abweichungen.

Ergebnis Analyse Intrusionszylinder 2:

Durch Abweichungen der Beschleunigung von der vorgegebenen Beschleunigung, werden durch den Intrusionszylinder 2 vor allem die Bauchkräfte, Abbildung 5.18 beeinflusst. Eine Abweichung von +10% von der Vorgabekurve führt zu einem Anstieg der Bauchkräfte um ca. 20%.

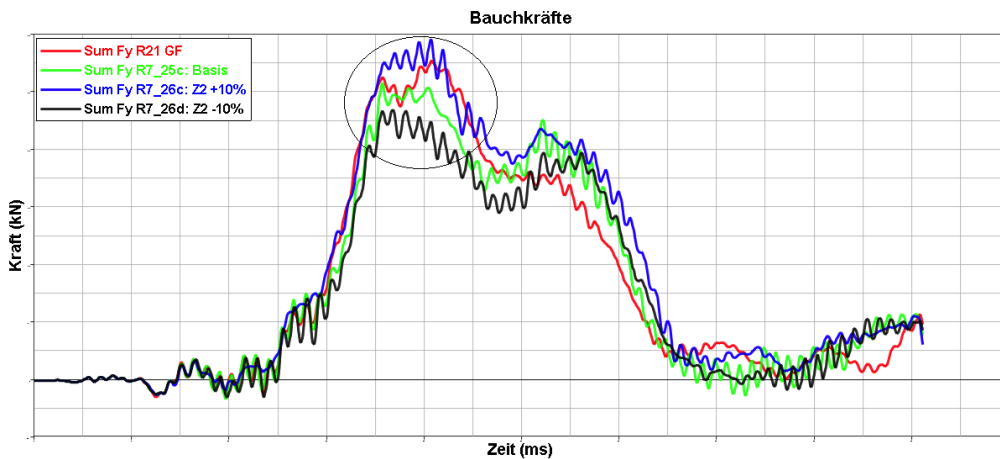


Abbildung 5.18: Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 2: Bauchkräfte

Weiters steigt die Rippeneindrückung, Abbildung 5.19, um ca. 10% im Vergleich zur Basisvariante an.

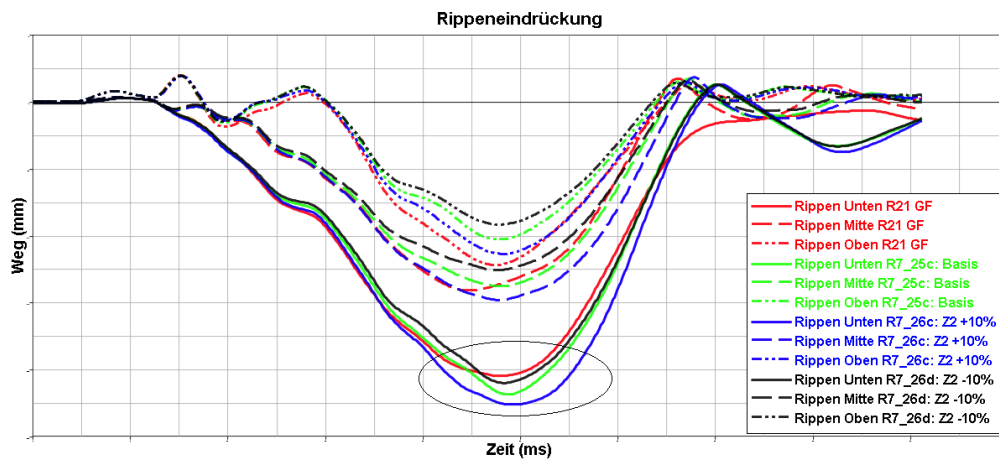


Abbildung 5.19: Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 2: Rippeneindrückung

Die anderen Belastungswerte bleiben weitestgehend unbeeinflusst.

Ergebnis Analyse Intrusionszylinder 3:

Eine Variation der Beschleunigung um +10% und um -10% beeinflusst die zeitlichen Verläufe und die Maximalwerte der Kräfte und Momente im Rücken. Der Einfluss ist in den Abbildungen 5.20 bis 5.22 dargestellt. Die Kräfte steigen bei der Variante mit +10% um ca. 50% an, die Momente um ca. 20%.

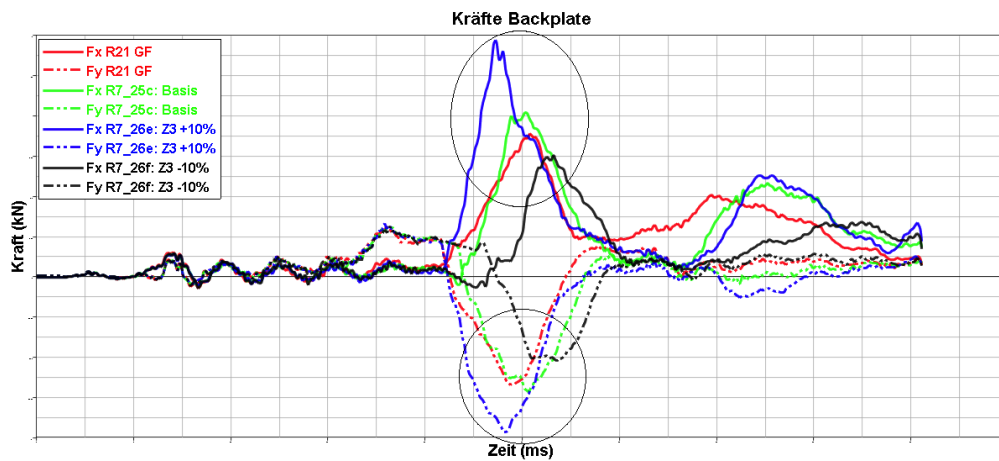


Abbildung 5.20: Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 3: Kräfte Rücken

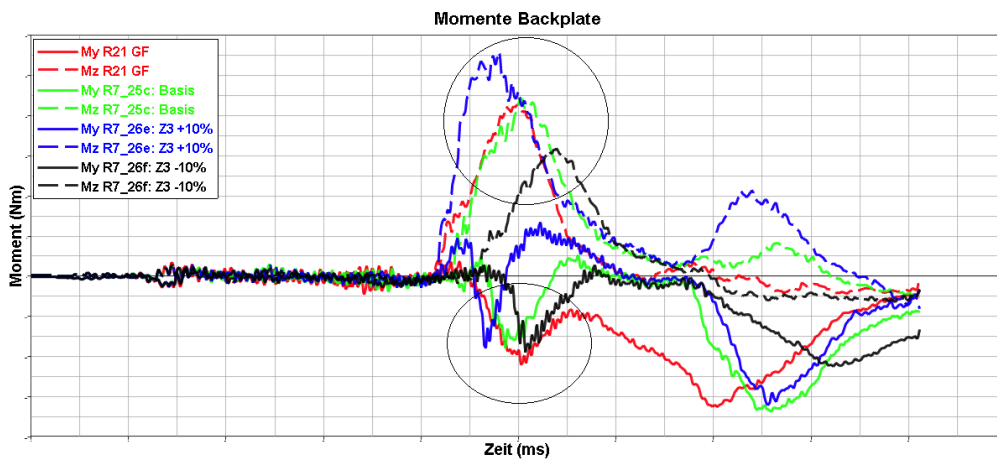


Abbildung 5.21: Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 3: Momente Rücken

Die Rippeneindrückung steigt bei der Variante mit +10% um ca. 10% an, bei der Variante mit -10% sinkt sie um ca. 10%.

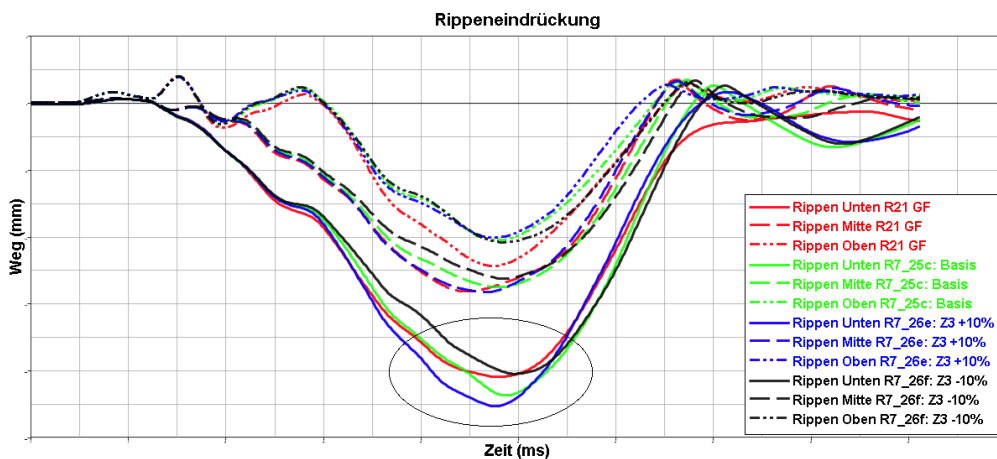


Abbildung 5.22: Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 3: Rippeneindrückung

Auf die übrigen Belastungswerte haben diese Variationen keine Auswirkungen.

Ergebnis Analyse Intrusionszylinder 4:

Die Sensibilitätsanalyse des Intrusionszylinders 4 ergibt Abweichungen des zeitlichen Verlaufs und des Maximalwertes der Schambeinkraft, wie in Abbildung 5.23 ersichtlich. Dabei schwankt der Zeitpunkt des Maximalwertes um ca. ± 10 ms. Bei der Variante mit +10% Abweichung von der Vorgabekurve, sinkt die Schambeinkraft um ca. 10%.

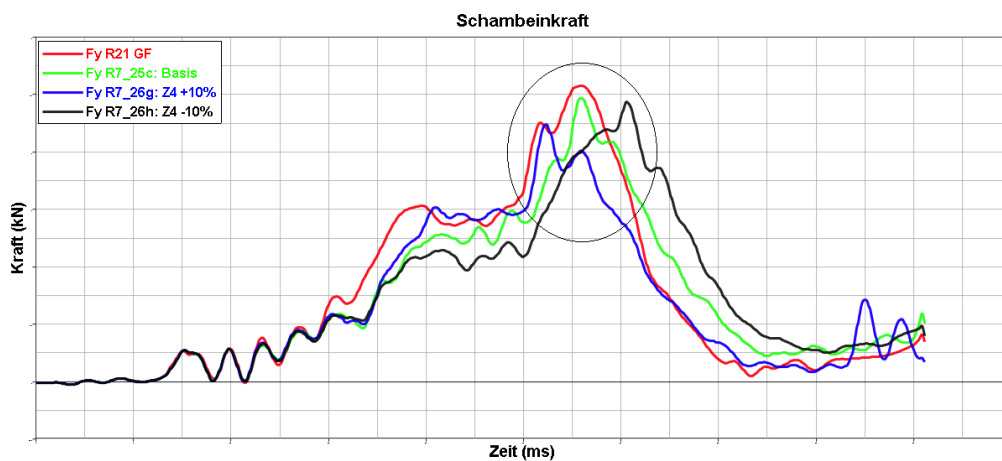


Abbildung 5.23: Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 4: Schambeinkraft

Durch diesen Intrusionszylinder werden die anderen Belastungswerte nicht beeinflusst.

Ergebnis Analyse HyperG:

Zusätzlich zu den 4 Intrusionszylinder wurde auch die Beschleunigungskurve des HyperG um +10% und -10% variiert. Die Auswertung der Simulationen zeigen, dass der Weg des HyperG Einfluss auf die Schulterkraft, die Rippen eindrückung, die Schambeinkraft und auch auf die Kräfte und Momente im Rücken hat. Nur die Bauchkraft bleibt unbeeinflusst. Die Auswertungen sind in den Abbildungen 5.24 bis 5.28 ersichtlich.

Die Schulterkräfte steigen bei einer Abweichung von -10% um ca. 5% an und bei sinken bei einer Abweichung von +10% um den gleichen Betrag.

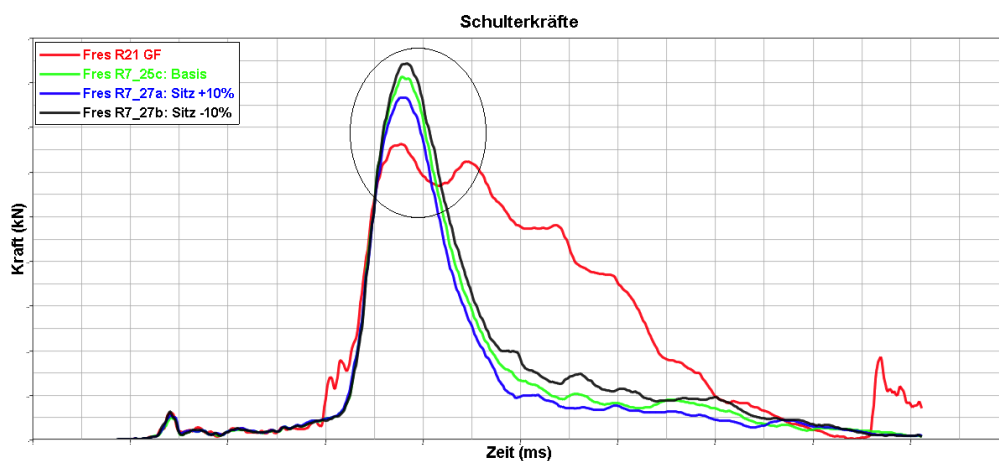


Abbildung 5.24: Sensibilitätsanalyse HyperG: Schulterkraft

Die Kräfte im Rücken steigen und sinken mit der Abweichung um ca. 10%.

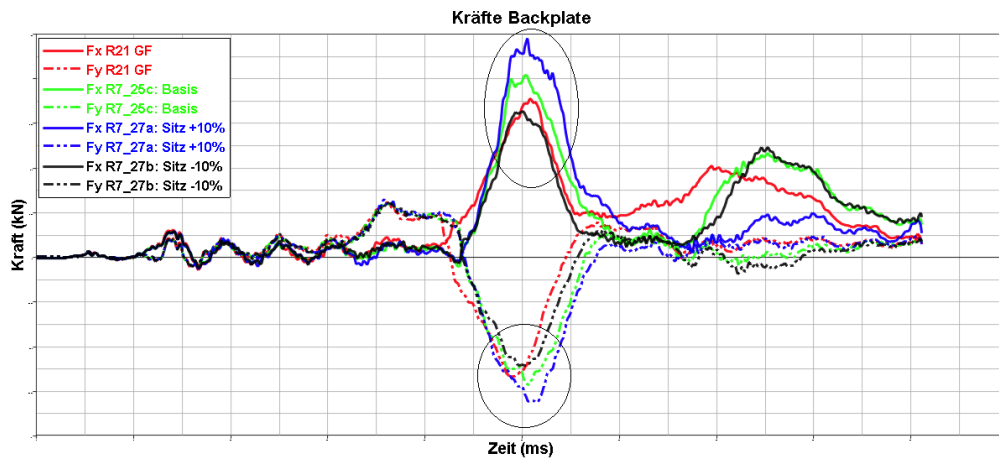


Abbildung 5.25: Sensibilitätsanalyse HyperG: Kräfte Rücken

Die Momente im Rücken verhalten sich wie die Kräfte im Rücken und steigen und sinken mit der Abweichung ebenfalls um ca. 10%.

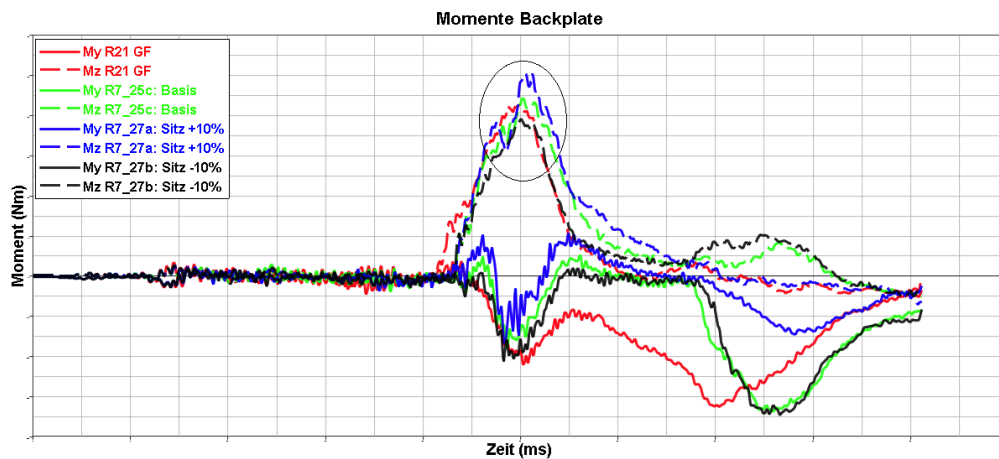


Abbildung 5.26: Sensibilitätsanalyse HyperG: Momente Rücken

Bei der Rippeindrückung zeigt sich bei der Variante mit +10% Abweichung keine Änderung des Maximalwertes, bei der Variante mit -10% Abweichung steigt die Eindrückung um ca. 5%.

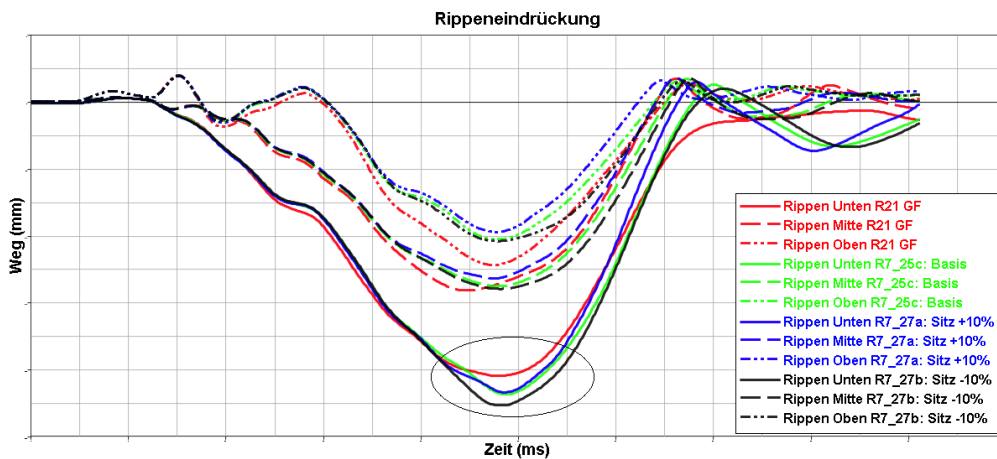


Abbildung 5.27: Sensibilitätsanalyse HyperG: Rippeneindrückung

Der Maximalwert der Schambeinkraft steigt und sinkt mit der Abweichung von der Vorgabekurve um ca. 5%.

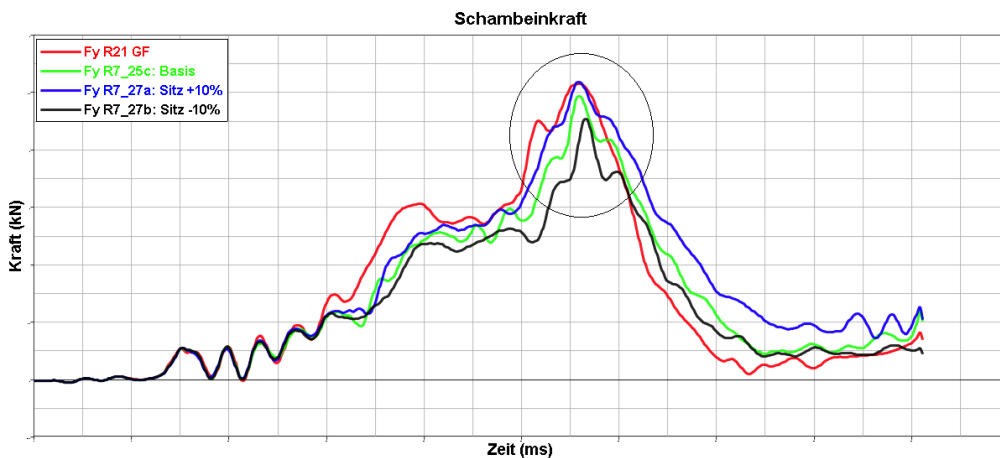


Abbildung 5.28: Sensibilitätsanalyse HyperG: Schambeinkraft

Die Sensibilitätsanalyse zeigt, dass bereits geringe Abweichungen von den Vorgabekurven, zu teils großen Abweichungen der Insassenbelastungswerten führen. Den größten Einfluss haben die Abweichungen auf die Schulterkraft sowie die Kräfte und Momente im Rücken.

Die gezeigten Effekte können nun auch zur Modifizierung der Vorgabekurven verwendet werden. So können durch geeignete Wahl der Vorgabekurven die Ergebnisse der Ersatzversuchsimulation an die Ergebnisse der Gesamtfahrzeugsimulation angelehert werden.

5.7 Modifizierung der Pulse

Um die Leistungsgrenzen des ASIS und des HyperG, welche in den Kapiteln 1.3.1 und 1.3.3 diskutiert wurden, einzuhalten, wurde der Ruck aus den Beschleunigungsverläufen in Kapitel 5.3 ausgewertet. Bei einer Überschreitung der Leistungsgrenzen könnten die Intrusionszylinder die vorgegebenen Kurven nicht nachfahren und es würde zu großen Abweichungen der Insassenbelastungswerte kommen. Die Wege, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und die Ruck-Verläufe sind in den Abbildungen 5.29 bis 5.36 zu sehen.

Sowohl die Beschleunigungen der einzelnen Zylinder, als auch die Geschwindigkeiten und Hübe, liegen innerhalb der Leistungsgrenzen des ASIS.

Der maximale Hub der Intrusionszylinder beträgt 430mm. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass im Versuch ein Teil des Weges vom HyperG übernommen wird, da das ASIS auf der Bodenplatte des HyperG montiert wird (On-Sled-Konzept).

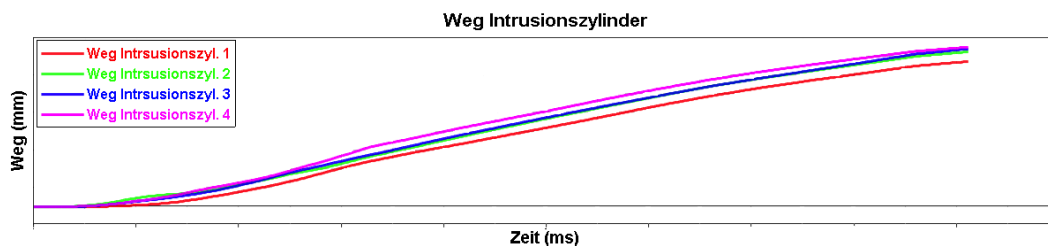


Abbildung 5.29: Wege Intrusionszylinder

Bei der Geschwindigkeit liegt das Maximum bei 8,5m/s und tritt beim Intrusionszylinder, welcher in der Mitte des Türinnenbleches montiert ist, auf.

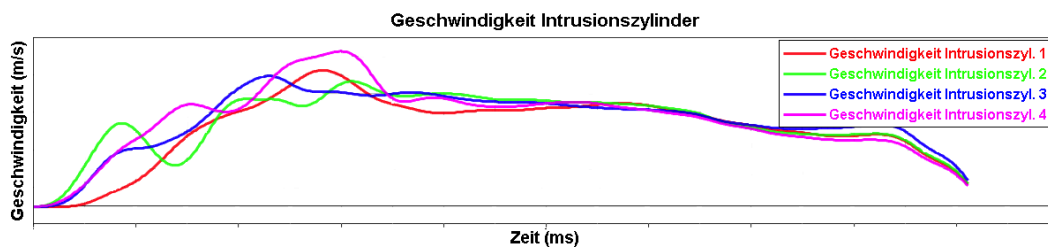


Abbildung 5.30: Geschwindigkeiten Intrusionszylinder

Die Beschleunigungen der Intrusionszylinder übersteigen 90g nicht. Maximale Beschleunigung für das ASIS beträgt 200g. Bei einer Zulademasse von 100kg beträgt die maximale Beschleunigung noch etwa 175g. Die Beschleunigungsverläufe sind daher mit dem ASIS umsetzbar. [3]

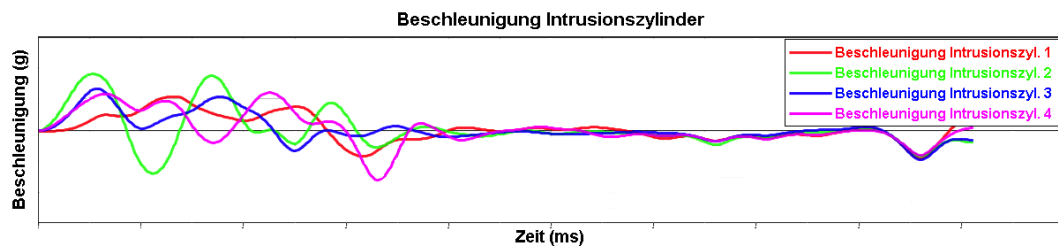


Abbildung 5.31: Beschleunigungen Intrusionszylinder

Man erkennt, dass der Ruck des Intrusionszylinders 2 und des Intrusionszylinders 3 über den Leistungsgrenzen des ASIS liegen. Der Ruck des Intrusionszylinders 2 liegt nur knapp unter der Leistungsgrenze. Da der Ruck im Versuch nicht gefahren werden kann, kann es zu großen Abweichungen beim Weg kommen. Die Vorgabekurven müssen daher angepasst werden.

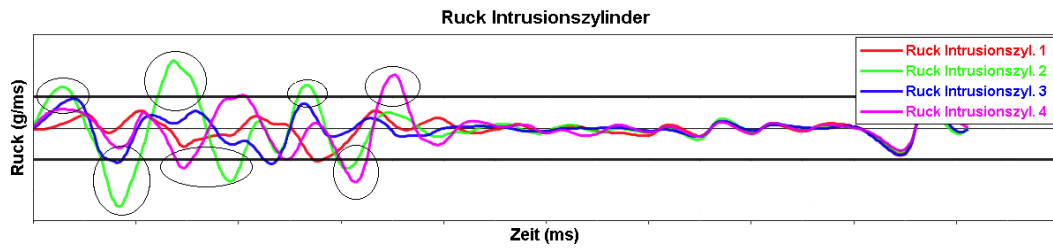


Abbildung 5.32: Ruck Intrusionszylinder

Auch für den HyperG müssen die Verläufe kontrolliert werden um die Leistungsgrenzen nicht zu überschreiten. Der notwendige Hub beträgt in diesem Fall etwa 325mm, bei einem maximalen Nutzhub von 1,3m.

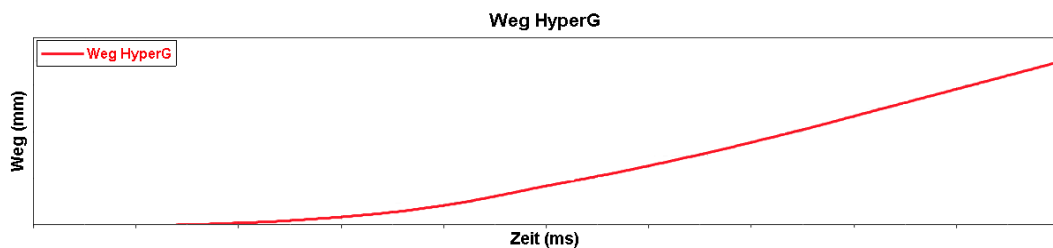


Abbildung 5.33: Wege HyperG

Bei der Betrachtung des Geschwindigkeitsverlaufs erkennt man, dass dieser nicht über 6m/s steigt. Mit dem HyperG kann, je nach Zuladegewicht, eine Geschwindigkeit von maximal 22,2m/s erreicht werden. [3]

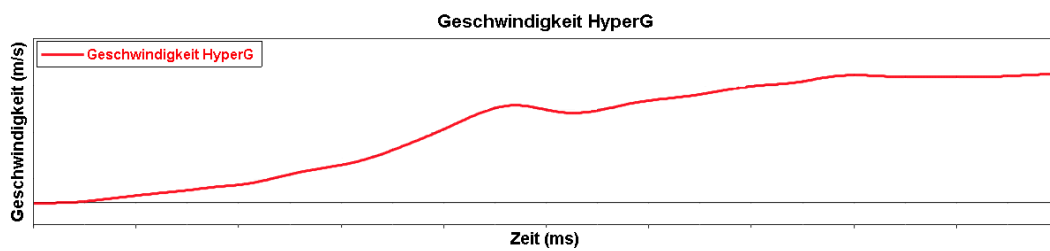


Abbildung 5.34: Geschwindigkeiten HyperG

Der Beschleunigungsverlauf erreicht mit 25g sein Maximum und ist damit im Vergleich zu den Beschleunigungen der Intrusionszylinder relativ niedrig.

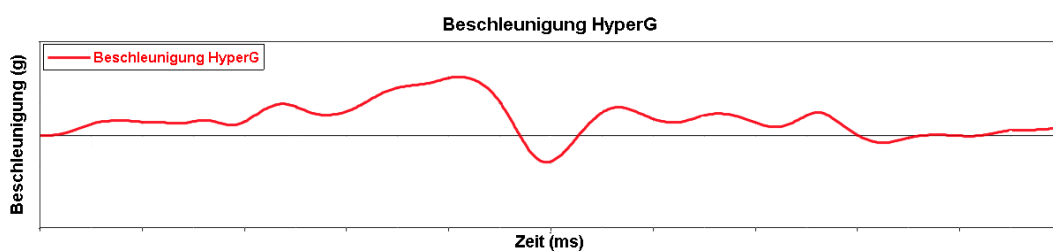


Abbildung 5.35: Beschleunigungen HyperG

Der Ruck des HyperG liegt zwischen +7g/ms und -10g/ms. Der Ruck liegt somit in den Leistungsgrenzen des HyperG und die Vorgabekurve muss nicht angepasst werden.

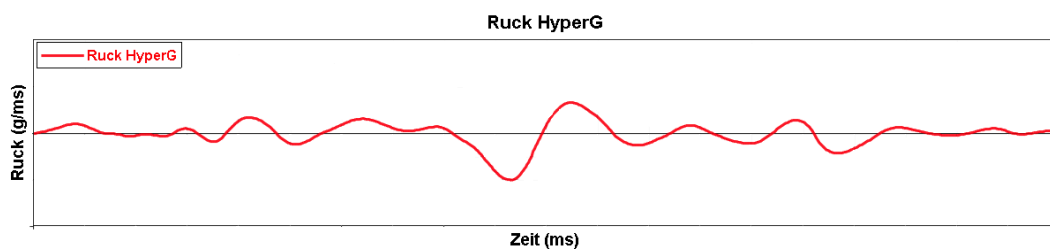


Abbildung 5.36: Ruck HyperG

Da der Ruck bei den abgeleiteten Vorgabekurven die Leistungsgrenzen des ASIS übersteigt, wurden die Beschleunigungskurven der Intrusionszylinder mit einem Optimierungstool des ViF optimiert. Grundlage für die Optimierung war, dass der vorgegebene Weg möglichst genau eingehalten werden und der Ruck innerhalb von +10g/ms und -10g/ms liegen soll, um einen Sicherheitsabstand zur Leistungsgrenze zu haben. Der Weg wurde hier als Basis gewählt, da der den auftretenden Intrusionen entspricht. Dies kann jedoch dazu führen, dass die optimierten Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufe stark von den Basisverläufen abweichen. Das Tool gibt

für den Beschleunigungsverlauf ein Polynom mit gewünschten Grad vor, welches für den Weg die geringsten Abweichungen ergibt und den Ruck in den Grenzen hält. Die Optimierung wurde mit Polynomen verschiedene Grade durchgeführt, wobei das beste Ergebnis mit einem Polynom 6. Grades erzielt wurde. Die neuen Verläufe sind, im Vergleich zu den vorherigen Verläufen, in den Abbildungen 5.37 und 5.40 dargestellt. Der relevante Zeitraum beträgt auf Grund der auftretenden Maximalwerte bei der Insassenbelastung zwischen 0ms und 75ms.

Für den Weg beträgt die größte Abweichung von der Basis ca. 15% und tritt bei der Vorgabekurve für den Intrusionszylinder im Bereich der Schulter auf.

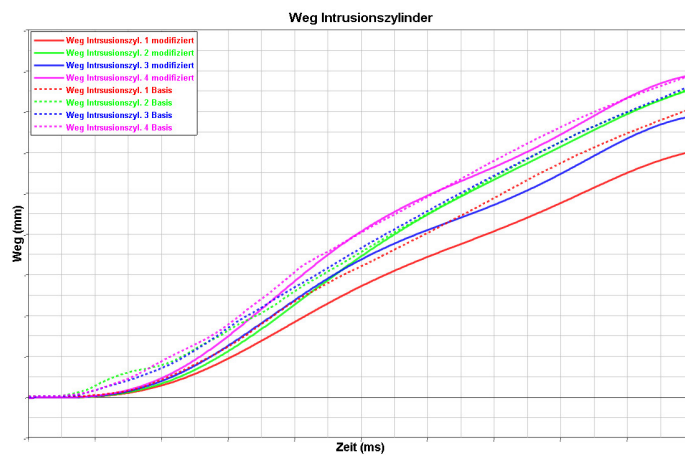


Abbildung 5.37: optimierte Wege

Bei den Geschwindigkeitsverläufen erkennt man deutliche Unterschiede im Anstieg in den ersten 30ms, danach sind die Abweichungen deutlich geringer.

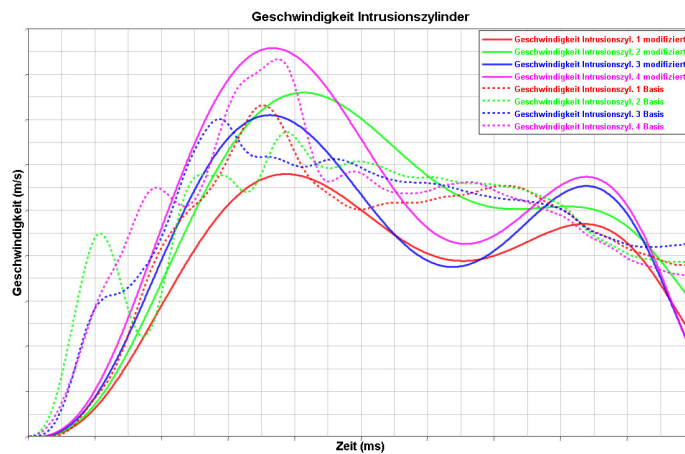


Abbildung 5.38: optimierte Geschwindigkeiten

Wie bei den Geschwindigkeitsverläufen zeigen auch die Beschleunigungsverläufe deutliche Abweichungen von den Basiskurven in den ersten 30ms.

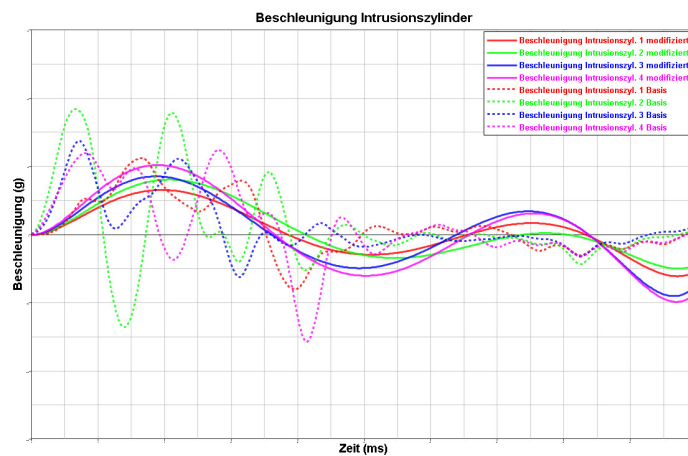


Abbildung 5.39: optimierte Beschleunigungen

Der Ruck ist nun wie gewünscht deutlich niedriger und liegt in den Leistungsgrenzen des ASIS.

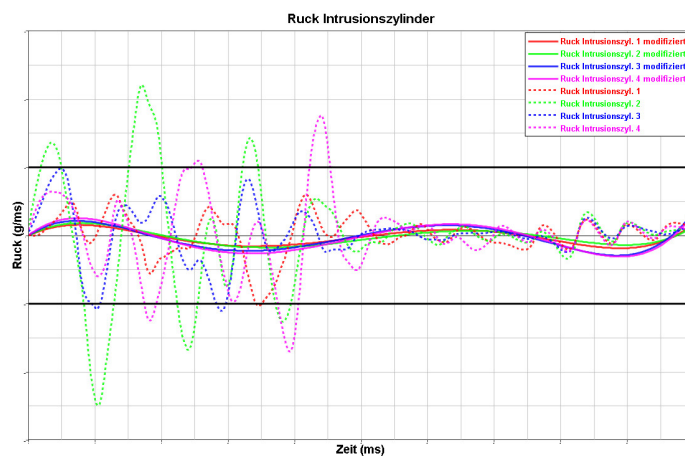


Abbildung 5.40: optimierter Ruck

Um umsetzbare Vorgabekurven für die Versuche zu erzielen, mussten die Kurven aus der Gesamtfahrzeugsimulation modifiziert werden. Dabei tritt ein maximaler Wegfehler von bis zu 15% auf.

5.8 Konstruktion des Prüfstandes

Der komplette Prüfstandsaufbau incl. Ersatzstrukturen und Anbindungen, wie auch die benötigten Adapterplatten wurden vom ViF, nach den Vorgaben durch das FE-

Modell konstruiert. Da der HyperG den gesamten Prüfstand beschleunigen muss, wurde bei der Konstruktion darauf geachtet, dass der Prüfstand so leicht wie möglich ist. Die Konstruktion des gesamten Prüfstands ist in Abbildung 5.41 dargestellt. Das abgebildete Netz dient dem Schutz des Dummys für den Fall, dass der Gurt den Dummy, wegen der Verzögerung des HyperG am Ende des Versuchs, nicht am Sitz hält.

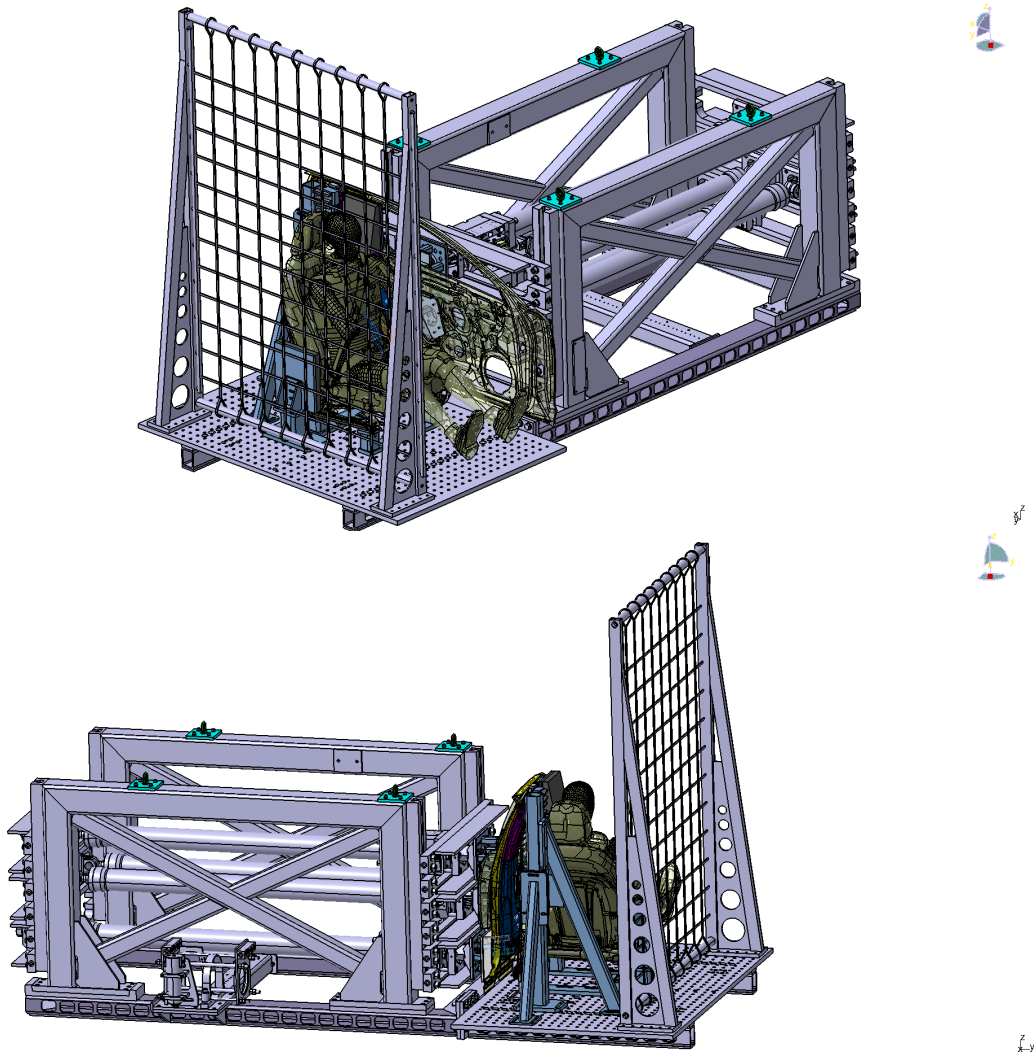


Abbildung 5.41: Konstruktion Prüfstand

5.8.1 Konstruktion Prüfstandsabstützung

Der grundsätzliche Aufbau des Prüfstandes besteht aus einer Hauptstütze, die von 2 Streben abgestützt wird. Die Stütze und die Streben sind auf der Bodenplatte des HyperG verschraubt. Die Verbindungsteile zwischen den Stützen sind mit

Langlöchern so ausgeführt, dass ein gewisses Spiel ausgeglichen werden kann. Die Abstützung ist in Abbildung 5.42 dargestellt.

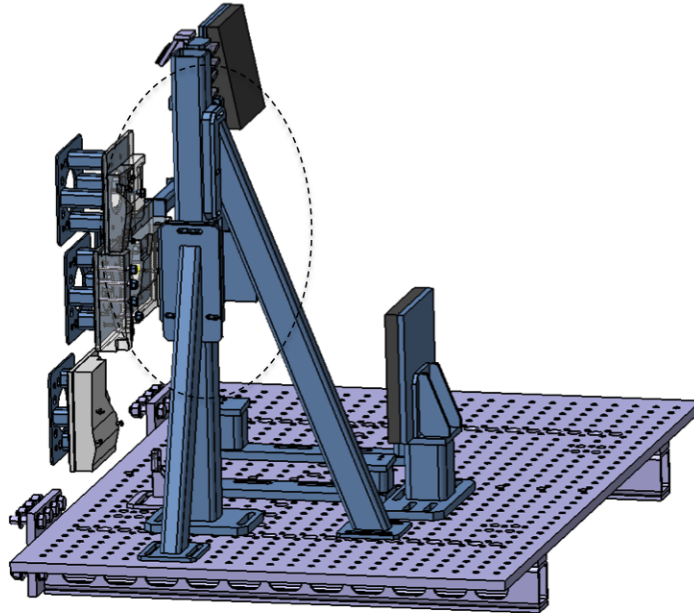


Abbildung 5.42: Konstruktion Abstützung

5.8.2 Konstruktion Kopfabstützung

Die Kopfabstützung wurde auf Basis des FE-Modells nachkonstruiert. Die EPP-Einheit ist wechselbar ausgeführt, um bei jedem Versuch die gleichen Randbedingungen zu haben und die Versuche damit vergleichbar zu machen. Durch ein Formrohr wird die Kopfabstützung mit der Hauptstütze verbunden. Die Kopfabstützung ist in Abbildung 5.43 dargestellt.

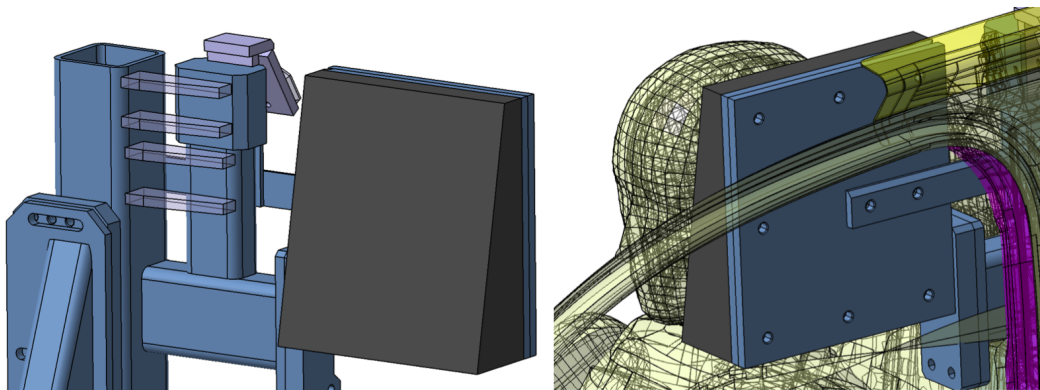


Abbildung 5.43: Konstruktion Kopfabstützung

5.8.3 Konstruktion B-Säulen-Aufnahme

Damit für die Bewegung der B-Säule in jedem Versuch gleiche Bedingungen geschaffen werden, muss die Bewegung der B-Säule oben definiert werden. Aus diesem Grund wird die obere Öffnung der B-Säule zur Fixierung genutzt und die B-Säule durch Klemmen mit der Prüfstandsabstützung verbunden. Die Konstruktion der B-Säulen-Aufnahme ist in Abbildung 5.44 dargestellt.

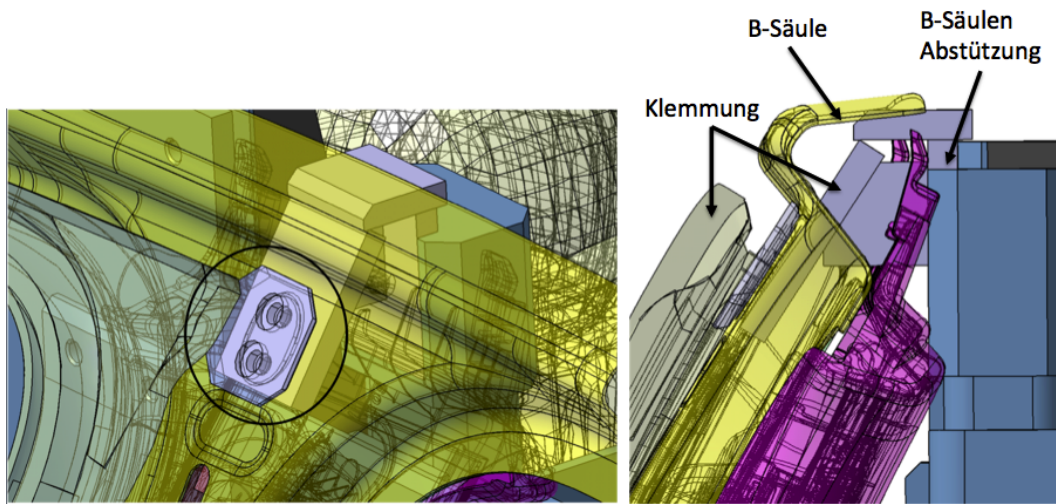


Abbildung 5.44: Konstruktion B-Säulen-Aufnahme

5.8.4 Ersatzkonstruktion Mittelkonsole

Die Ersatzkonstruktion der Mittelkonsole wurde im Vergleich zum FE-Modell verkleinert, da sich der Sitz nur im Bereich der Rückenlehne an der Mittelkonsole ab-

stützt. Die EPP-Einheit wurde wegen der Vergleichbarkeit der Versuche, wie bei der Kopfabstützung, wechselbar ausgeführt. Die Ersatzkonstruktion der Mittelkonsole ist in Abbildung 5.45 dargestellt.

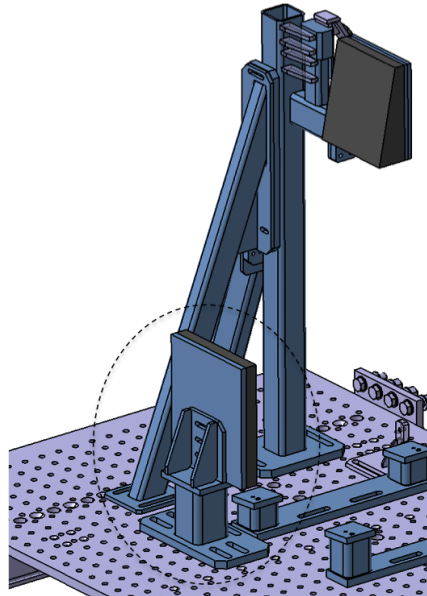


Abbildung 5.45: Ersatzkonstruktion Mittelkonsole

5.8.5 Konstruktion Sitzanbindung

Die Sitzanbindungen wurden aus Stahlplatten und Formrohren konstruiert, die mit der Bodenplatte verschraubt werden. Der Sitz kann dann einfach mit den Sitzanbindungen verschraubt werden. Die Sitzanbindungen sind in Abbildung 5.46 ersichtlich.

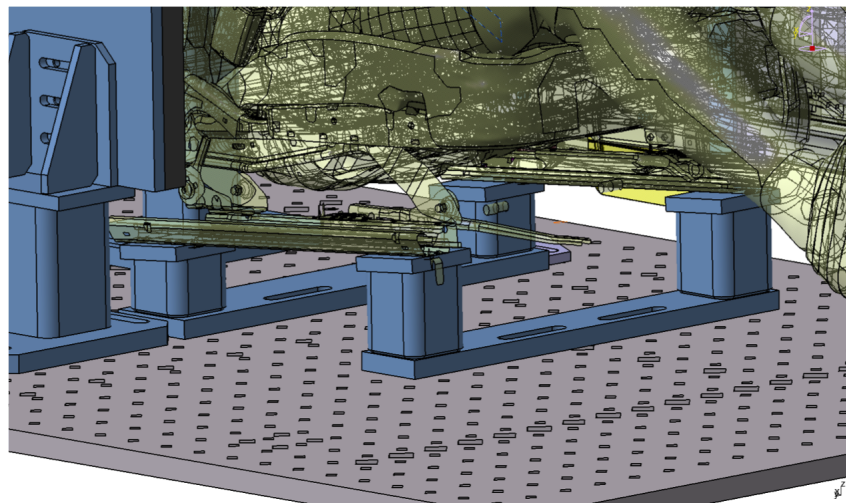


Abbildung 5.46: Konstruktion Sitzanbindungen

5.8.6 Konstruktion Gurtanbindung

Da es zu einer Kollision zwischen der Gurtanbindung und dem Versteifungsteil kommen würde, wenn die Anbindung auf der Bodenplatte an derselben Position wie im Gesamtfahrzeugmodell befestigt wäre, wurde die Gurtanbindung um 45mm weiter nach innen gesetzt. Die Anbindung in herkömmlicher und mit geänderter Position ist in Abbildung 5.47 dargestellt. Durch diese Maßnahmen ändert sich zwar die Position des Gurtes (roter Gurt) im unteren Bereich, was jedoch, wie durch dementsprechende Simulationen überprüft wurde, keine Auswirkungen auf die Insassenbelastungswerte hat.

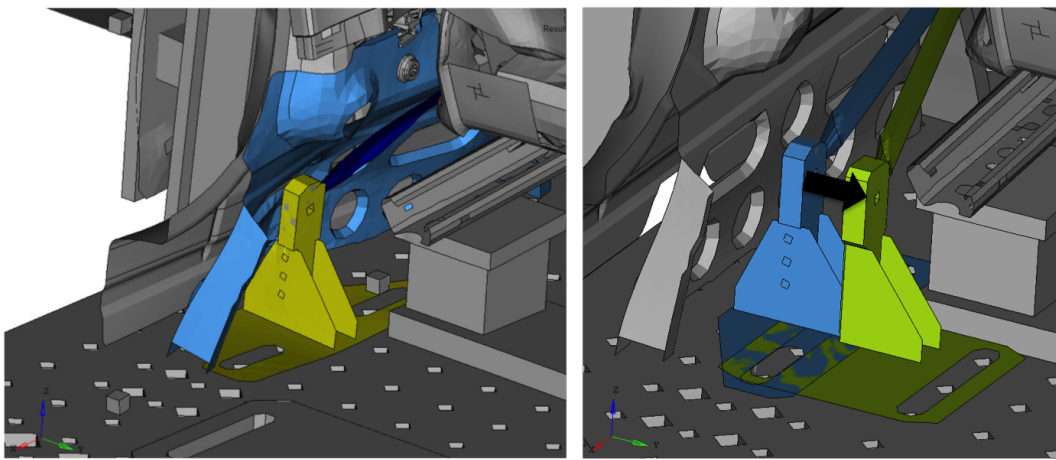


Abbildung 5.47: Problemstellung Gurtanbindung

5.8.7 Konstruktion Adapterplatten

Die Adapterplatten wurden auf Basis des FE-Modells konstruiert. Sie werden aus Aluminium gefertigt und können über Gewindestangen und Muttern mit dem Türinnenblech und der B-Säule verbunden werden. Nach Möglichkeit wurden für die Verschraubung bereits vorhandene Bohrungen genutzt. Die Befestigung der Impaktoren ist in den Abbildungen 5.48 und 5.49 zu sehen.

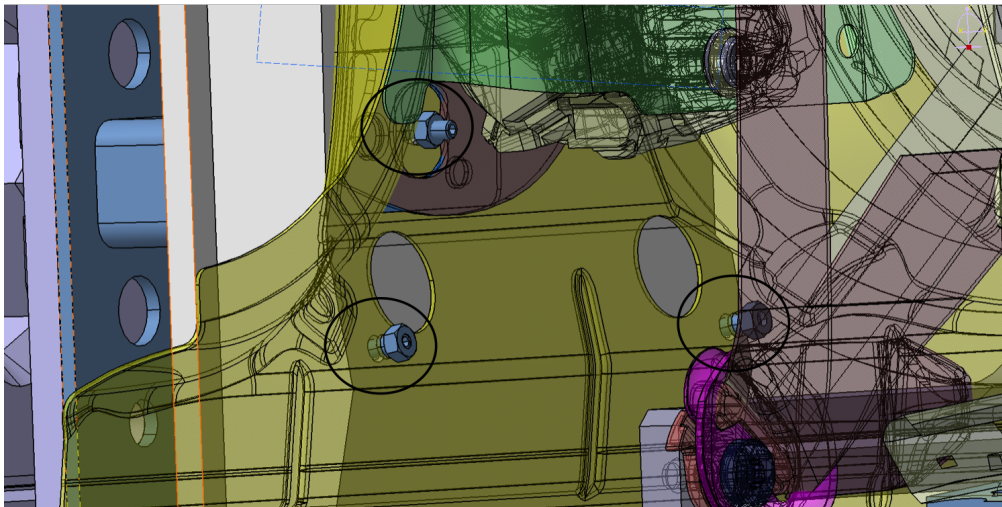


Abbildung 5.48: Konstruktion Impaktor B-Säule

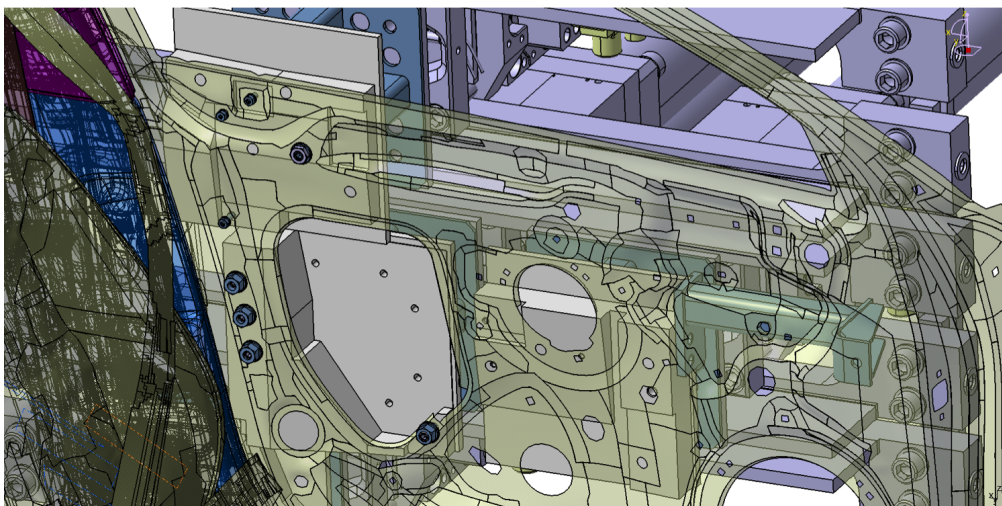


Abbildung 5.49: Konstruktion Impaktoren Türinnenblech

5.8.8 Massen

Bei der Konstruktion des Prüfstandes wurde sehr auf Leichtbau geachtet, da alle Massen vom HyperG beschleunigt werden müssen. In der folgenden Tabelle sind die Einzelmassen des Prüfstandes aufgelistet. Da das Gewicht des ASIS-Rahmen mit Fangnetz beträgt 2850kg, das der Schlittenplatten etwa 600kg. Als Zuladegewicht sind alle Komponenten zu berücksichtigen, welche auf dem Schlitten montiert werden. In der folgenden Tabelle sind die Massen des Prüfstandes aufgliedert.

Prüfstandsaufbau ohne Boden	120,6kg
Dummy	75kg
Gurt	1,9kg
Seitenairbag	0,5kg
BSVKL	1,2kg
Sitz	21,1kg
TVKL	3,2kg
B-Säule	7,3kg
Türinnenblech	4,9kg
Adapterplatten	41,2kg
Schlitten	600kg
ASIS	2850kg
SUMME	3726,9kg

Das maximale Zuladegewicht von 4000kg wird somit nicht überschritten. Bei anderen Fahrzeugen oder Lastfällen kann das maximale Zuladegewicht jedoch eine Einschränkung darstellen.[3]

5.9 FE-Modell basierend auf der Konstruktion

Damit der Prüfstandsaufbau im Ersatzmodell mit der gezeigten Konstruktion übereinstimmt, wurden die Prüfstandsbauteile vernetzt und ein neues FE-Modell aufgebaut. Die Übereinstimmung ist notwendig, um bei der Simulation realistische Ergebnisse zu erzielen und gegebenenfalls Schwachstellen der Konstruktion, wie z.B. zu geringe Festigkeit, aufzuzeigen. Das neue FE-Modell ist in Abbildung 5.50 dargestellt. Die aufgeprägten Verschiebungen auf Ersatzkonstruktion Mittelkonsole, Kopf-abstützung und B-Säule oben, werden nun durch die Anbindung auf der Bodenplatte des HyperG ersetzt.

- Bodenplatte (grau)
- Sitzanbindung (hellblau)
- Versteifungen (gold)
- Ersatzkonstruktion Mittelkonsole (blau)
- Abstützung und Halterung für Kopfabstützung (rot)
- Kopfabstützung (violett)
- B-Säulenaufnahme oben (grün)
- Gurtanbindung (gelb)

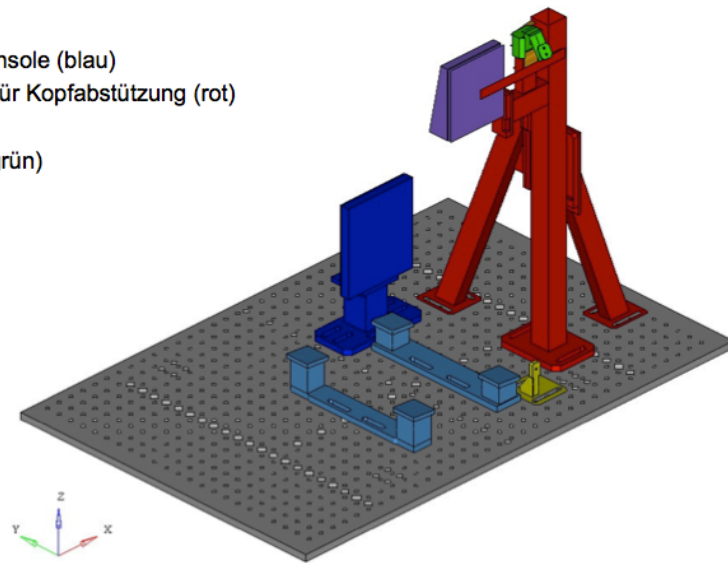


Abbildung 5.50: FE-Modell Prüfstandaufbau

Der gesamte Prüfstandaufbau mit den vorgegebenen Bauteilen der Audi AG ist in Abbildung 5.51 zu sehen.

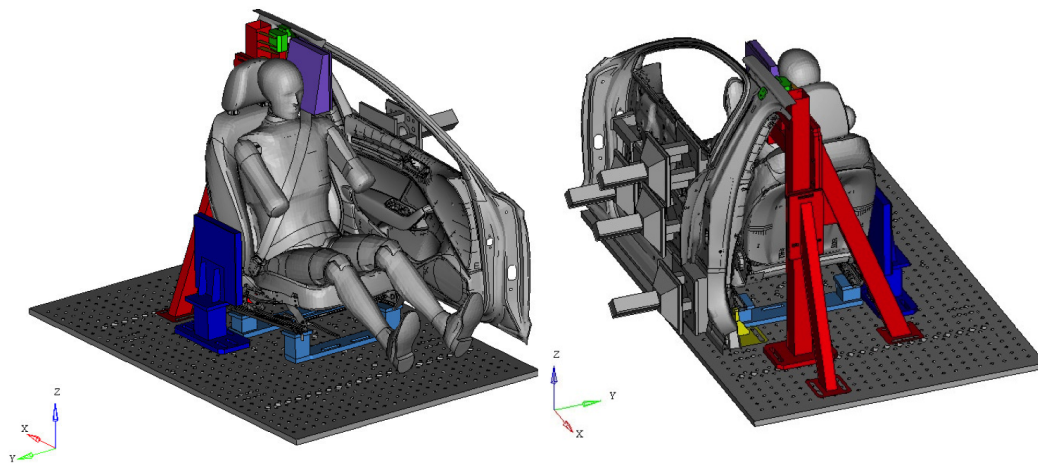


Abbildung 5.51: FE-Modell Prüfstand

5.9.1 Materialmodelle

Allen Bauteilen im Simulationsmodell müssen ein Material und damit bestimmte Materialeigenschaften zugewiesen werden. Der Prüfstandaufbau besteht haupt-

sächlich aus den beiden Stählen S235 und S355, sowie dem EPP-Schaum für die Kopfabstützung und die Ersatzkonstruktion der Mittelkonsole.

Für den EPP-Schaum wurde im Simulationsmodell ein Materialmodell verwendet, welches einem hochkompressiblen, nichtlinearem elastischem Schaumstoff entspricht. Die Daten für das Spannungs-Dehnungs-Verhalten des Werkstoffes wurden von der Audi AG aus Versuchen gewonnen und sind in dem Materialmodell integriert.

Die Materialmodelle der beiden Stähle S235 und S355 stellen einen Werkstoff mit elastisch-plastischem Verhalten und isotroper Aushärtung dar.

Das Spannungs-Dehnungsverhalten der Werkstoffe wurde, wie beim EPP-Schaum in Versuchen untersucht und die Spannungs-Dehnungskurven in das Materialmodell eingetragen. [7]

5.9.2 B-Säulenaufnahme

Die für die B-Säulenaufnahme notwendigen Bauteile wurden vernetzt und in das Simulationsmodell des Ersatzversuchs integriert. Die Klemmung der B-Säule oben wurde durch Tieds zwischen Außenteil-B-Säule und Innenteil-B-Säule umgesetzt. Tieds entsprechen dabei einer starren Verbindung zwischen den Bauteilen. Eine starre Verbindung tritt im Realversuch wegen den elastischen Verformungen und dem vorhandenen Spiel zwischen den Bauteile nicht auf. Eine realistische Nachbildung der Klemmung im Simulationsmodell wäre wegen der notwendigen Vorspannung der Klemmung sehr aufwendig und hätte vernachlässigbaren Einfluss auf die Insassenbelastung. Aus diesen Gründen wurde diese Vereinfachung getroffen. Die Versteifungselemente wurden ebenfalls im FE-Modell nachgebildet. Die Versteifungselemente sind in Abbildung 5.52 dargestellt.

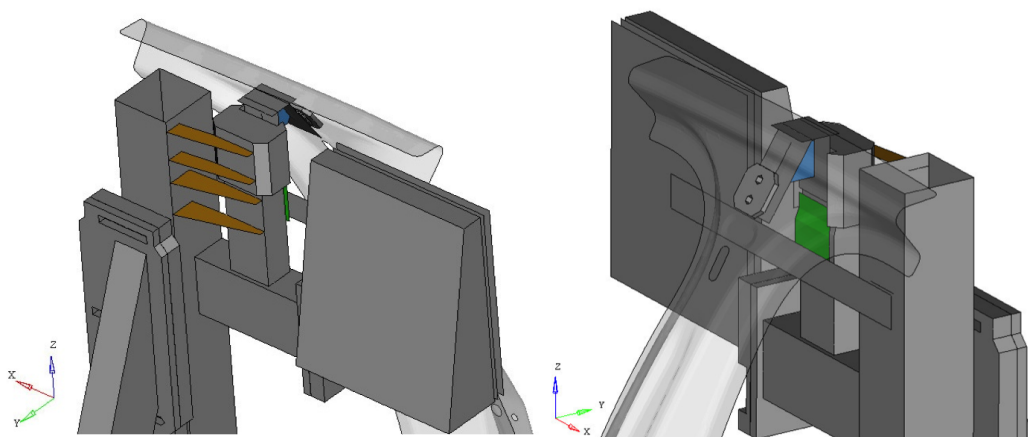


Abbildung 5.52: FE-Modell Versteifungselemente

5.9.3 Adapterplatten

Die Impaktoren, die Anbindung an die Intrusionszylinder und die zusätzliche Anbindung des Türinnenbleches wurden, basierend auf der Konstruktion, im Hypermesh vernetzt und in das Simulationsmodell des Ersatzversuchs integriert. Die Verschraubungen der Impaktoren mit Hilfe von Gewindestangen und der zusätzlichen Anbindung an Türinnenblech und B-Säule wurden wieder mit Tieds an den dafür vorgesehenen Positionen umgesetzt. Auch hier bilden die gewählten Tieds nur eine grobe Vereinfachung der Schraubverbindung im Versuch. Ein Einfluss auf die Insassenbelastung ist jedoch nicht zu erwarten. Abbildung 5.53 zeigt die FE-Modelle der Impaktoren (blau), die Anbindung an die Intrusionszylinder (gold), die zusätzliche Anbindung (grün), sowie die Positionen der eingefügten Tieds (rot).

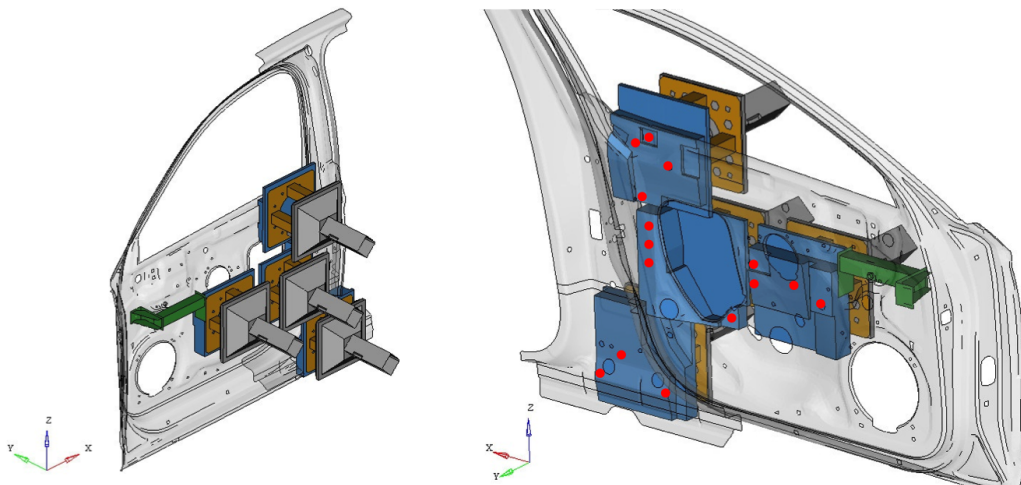


Abbildung 5.53: FE-Modell Impaktoren

5.9.4 Simulation des Ersatzversuchs

Nachdem der Prüfstands Aufbau neu vernetzt und in das Modell des Ersatzversuchs eingefügt worden ist, wurde wieder eine Simulation durchgeführt, die Insassenbelastung ausgewertet und mit dem vorherigen Ergebnis verglichen. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 5.54 bis 5.55 dargestellt.

Bei den Bauchkräften ist ein Anstieg des Maximalwertes zu erkennen. Der zeitliche Verlauf stimmt ansonsten gut mit der Ausgangsbasis überein.

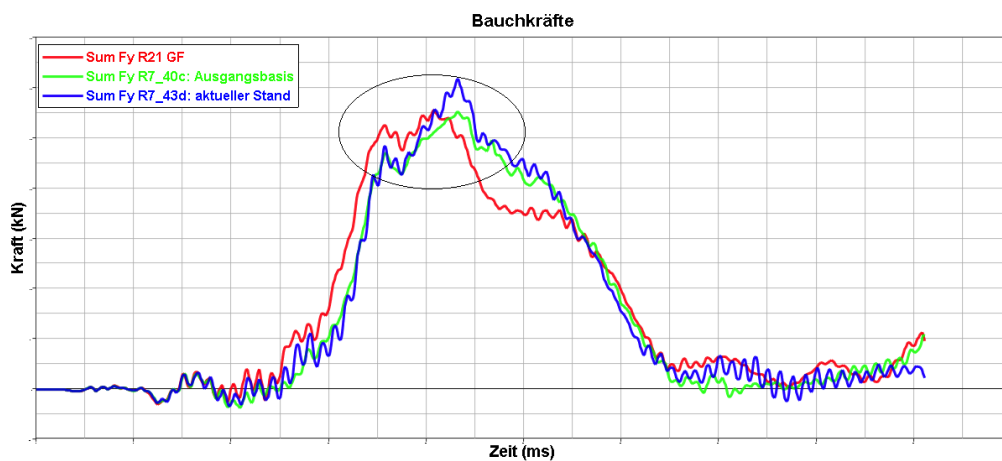


Abbildung 5.54: Ersatzversuch mit Prüfstands Aufbau: Bauchkräfte

Zu einem zeitlichen Versatz des Anstiegs von ca. 5ms kommt es bei den Schulterkräften. Der Maximalwert steigt auch deutlich an. Dies kann unter Umständen auf den späteren Kontakt mit dem Türinnenblech mit höherer Geschwindigkeit zurückgeführt werden. Ein weiterer möglicher Grund wäre, dass durch die Klemmung und damit definierter Position der B-Säule im oberen Bereich, die B-Säule im Vergleich zur Ausgangsbasis, Abbildung 5.56, stärker zurückgehalten wird und damit der Seitenairbag einen anderen Entfaltungsbereich hat. Der Seitenairbag kann dadurch von unten stärker gegen den Arm drücken und damit die Schulterkraft beeinflussen.

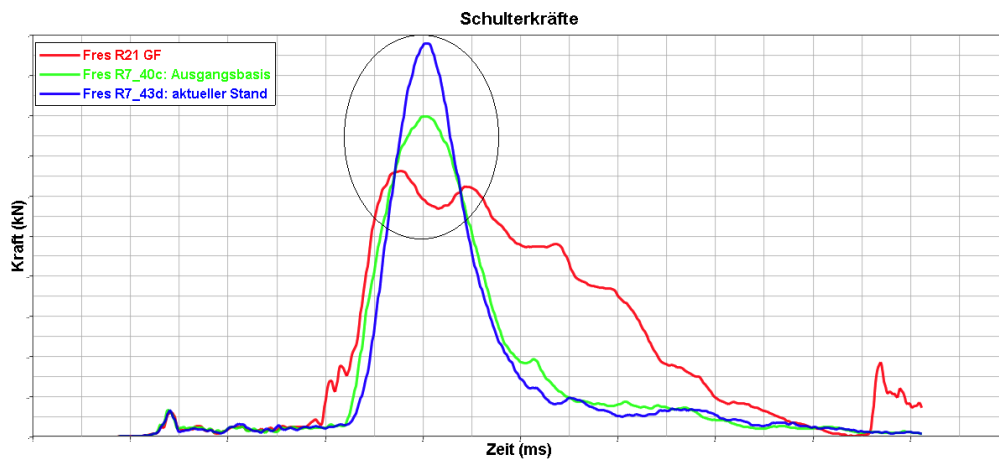


Abbildung 5.55: Ersatzversuch mit Prüfstands Aufbau: Schulterkraft

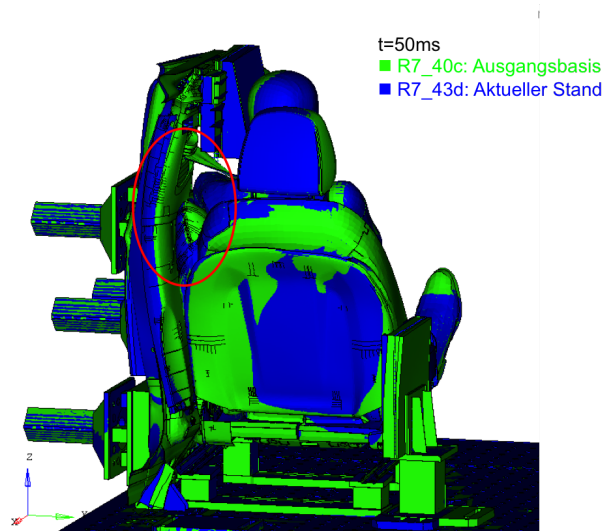


Abbildung 5.56: Vergleich B-Säulen-Kinematik

Um dies zu untersuchen wurde der Innendruck des Seitenairbags beider Varianten verglichen. Abbildung 5.57 zeigt den Unterschied des Innendrucks des Seitenairbags zwischen der aktuellen Simulation und der Ausgangsvariante. Man erkennt deutlich, dass der Innendruck der aktuellen Variante höher ist als bei der vorherigen, was die erhöhte Schulterkraft erklärt.

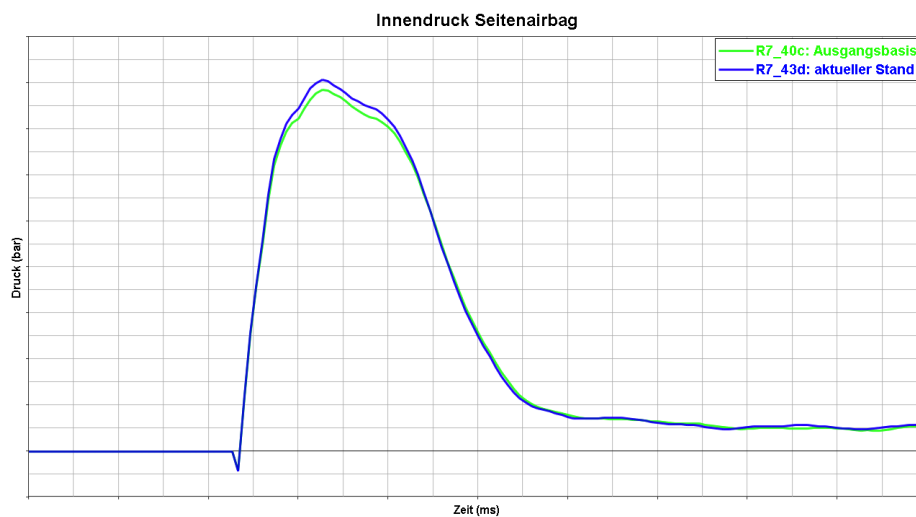


Abbildung 5.57: Innendruck Seitenairbag

Die Kräfte im Rücken sinken durch die Integration der Prüfstandskomponenten etwas und stimmen in X-Richtung nun gut mit der Gesamtfahrzeugsimulation überein.

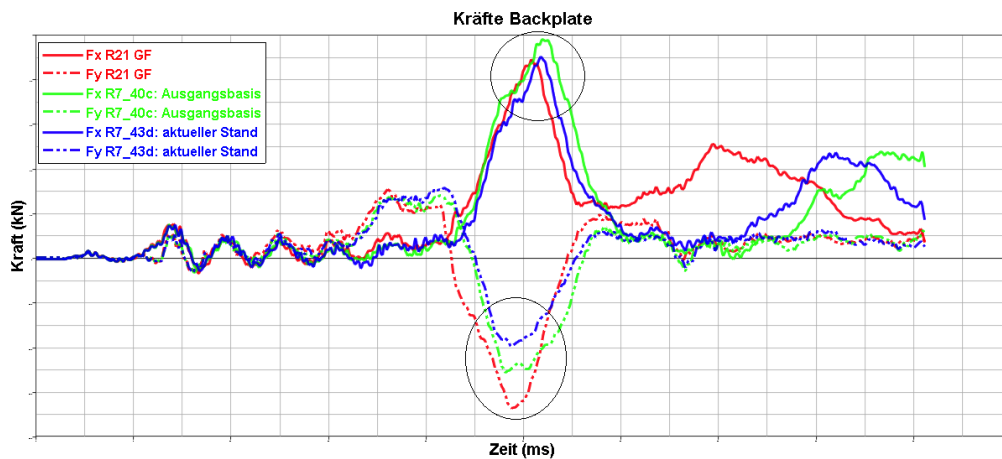


Abbildung 5.58: Ersatzversuch mit Prüfstands Aufbau: Kräfte Rücken

Für die restlichen Insassenbelastungswerte ergeben sich keine Abweichungen durch die Prüfstandskomponenten.

5.9.5 Integration der askonstruierten Ersatzkomponenten

Da mit diesem Prüfstands Aufbau mehrere Versuche unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden sollen, wurde der Prüfstand auf plastische Dehnungen untersucht. Wegen der Vergleichbarkeit dürfen keine größeren bleibenden Verformungen auftreten. Die Abbildungen 5.59 und 5.60 zeigt den untersuchten Prüfstands Aufbau und die Adapterplatten. Man sieht leichte Dehnungen im Bereich der B-Säulenaufnahme oben und bei den Verschraubungen der Adapterplatten an die Intrusionszylinder. Diese plastischen Dehnungen liegen im Bereich von 1% und betreffen nur einzelne Elemente. Es wird davon ausgegangen, dass im Versuch weder relevante plastische Dehnungen noch Bauteilversagen auftreten.

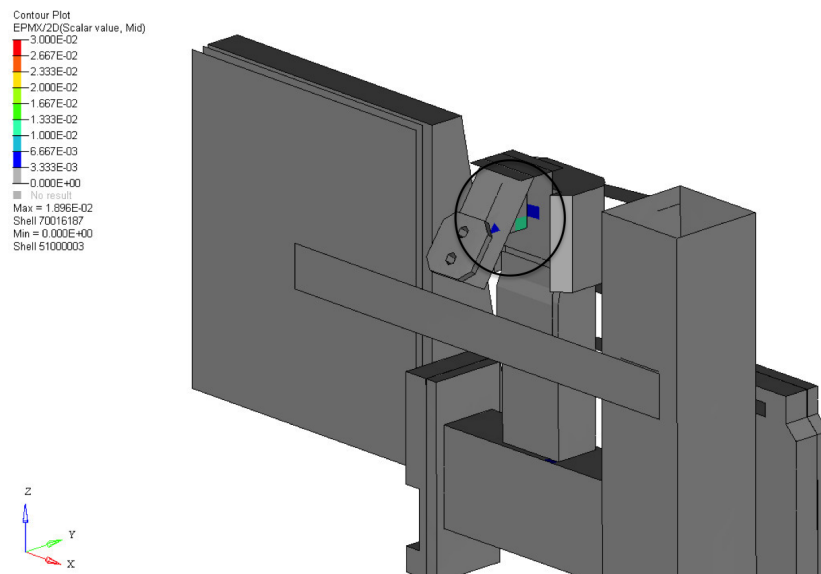


Abbildung 5.59: Plastische Dehnungen Prüfstands Aufbau

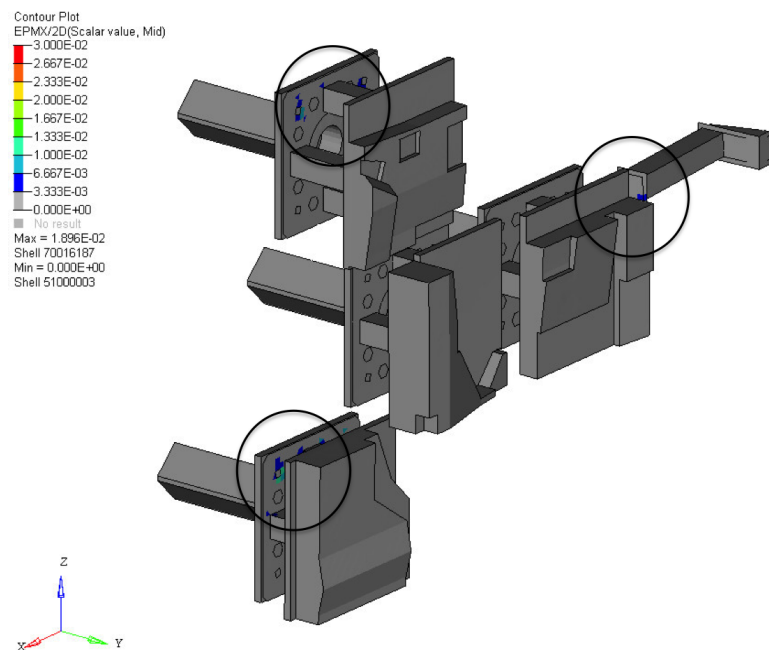


Abbildung 5.60: Plastische Dehnungen Impaktoren

5.9.6 Zusammenfassung

Durch die Übertragung der Konstruktion in das FE-Modell und der Ausprägung von anderen Bewegungen im Vergleich zur Auslegungsbasis, kommt es zu einer stark erhöhten Schulterkraft. Diesem Problem kann mit einer Modifizierung der Pulse oder

einer anderen Anbindung der B-Säule oben, entgegengewirkt werden. Die anderen Insassenbelastungswerte werden kaum beeinflusst.

Da bei der Überprüfung der plastischen Dehnungen nur bei einzelnen Elementen eine Verformung von 1% auftraten, ist gewährleistet, dass mit diesem Aufbau mehrere Versuche mit vergleichbaren Ergebnissen durchgeführt werden können.

5.9.7 Modifizierung des Pulses Intrusionszylinder 1

Da der Verlauf der Schulterkraft stark vom Verlauf der Gesamtfahrzeugsimulation abweicht, soll dieser durch eine Modifizierung der Pulse wieder verbessert werden. Es wurde dafür, basierend auf den Ergebnissen der Sensibilitätsanalyse in Kapitel 5.6, der Puls des Intrusionszylinders 1 variiert. Der Puls wurde dafür skaliert, einmal um +5%, einmal um -5% und einmal um -10%. Der Weg könnte alternativ auch nur im Bereich, der für die Schulterkraft relevant ist, verringert oder vergrößert werden bzw. auch ein ganz neuer Wegverlauf erstellt werden. Die Wege die sich durch die Skalierung ergeben sind in Abbildung 5.61 zu sehen.

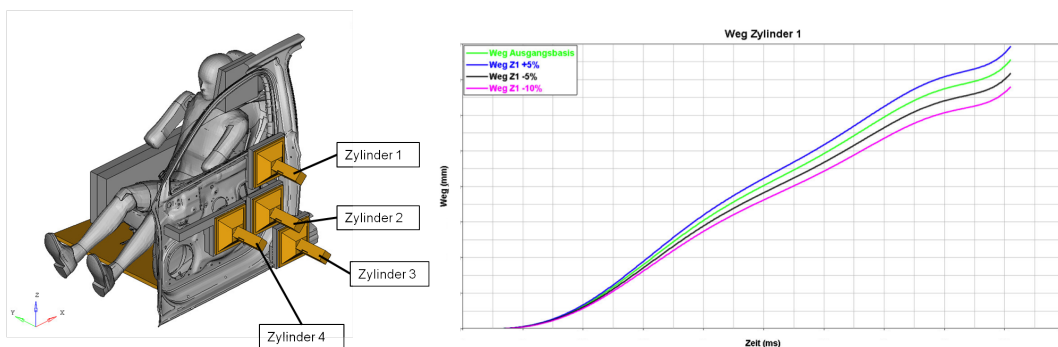


Abbildung 5.61: Wege Variation Intrusionszylinder 1

Anschließend an die Simulationen wurde die Schulterkraft ausgewertet und in Abbildung 5.62 dargestellt. Eine Wegänderung um 15% führt dabei zu einer Kraftänderung von ca. 60%. Der zeitliche Versatz ändert sich dabei um ca. 10ms.

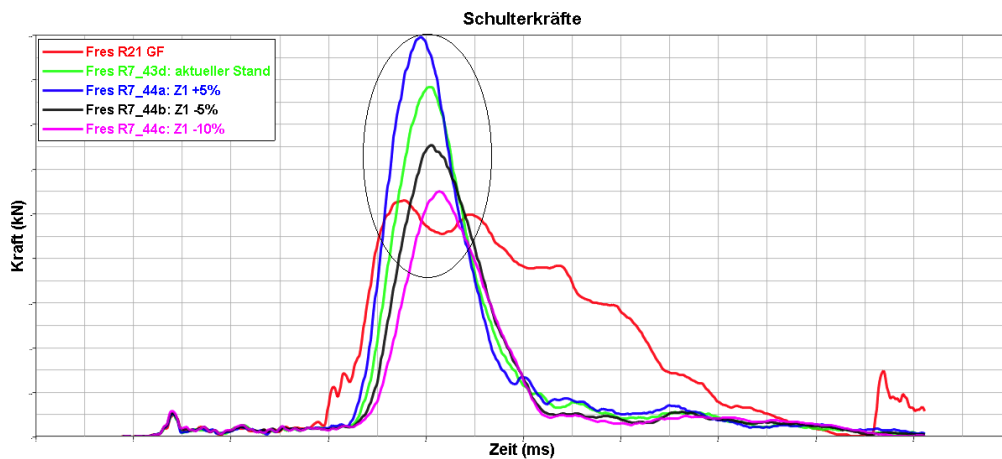


Abbildung 5.62: Variation Puls Z1: Schulterkraft

Aus den Ergebnissen der Simulationen wird ersichtlich, dass durch die Variation der Beschleunigung um -10% der Maximalwert der Schulterkraft mit dem aus der Gesamtfahrzeugsimulation übereinstimmt. Es kommt jedoch zu einem starken zeitlichen Versatz des Verlaufs. Dieser zeitliche Versatz wirkt sich jedoch nur geringfügig auf die anderen Insassenbelastungswerte aus.

Mit Absprache der Audi AG wurde schließlich die Variante mit -10% für den Versuch ausgewählt. Da der Schulterverlauf, auf Grund des fehlenden Kopfairbags sowieso stark von der Gesamtfahrzeugsimulation abweicht, erschien die Variante, bei der der Maximalwert übereinstimmt, als die geeignetste.

6 Versuchsdurchführung

Zum Nachweis der Tauglichkeit der gezeigten Methode werden reale Versuche durchgeführt und mit der Simulation verglichen. Um gute Aussagen über die Reproduzierbarkeit der Versuche und der auftretenden Streuung zwischen den Versuchsergebnissen, treffen zu können sollten mindestens 3 Versuche durchgeführt werden.

6.1 Versuchsvorbereitung

Nach Auswahl der Variante mit den besten Ergebnissen für die Insassenbelastungswerte, sollte das Ergebnis der Simulation in einem Realversuch überprüft werden. Damit der Realversuch mit der Simulation verglichen werden kann, müssen alle Positionen der Bauteile und des Dummys übereinstimmen. Auch die Triggerzeit des Seitenairbags muss aus der Simulation übernommen werden und beträgt 7ms. Die durchgeführten Vorbereitungen werden nachfolgend beschrieben.

6.1.1 Bauteilzuschnitte

Um unerwünschte Kollisionen von Bauteilen mit der Prüfstandsabstützung zu vermeiden, mussten einige Bauteile zugeschnitten werden. Das Türinnenblech musste wie in Abbildung 6.1, beschnitten werden, da ansonsten die Adapterplatte 3 nicht direkt an der B-Säule befestigt hätte werden könnte.

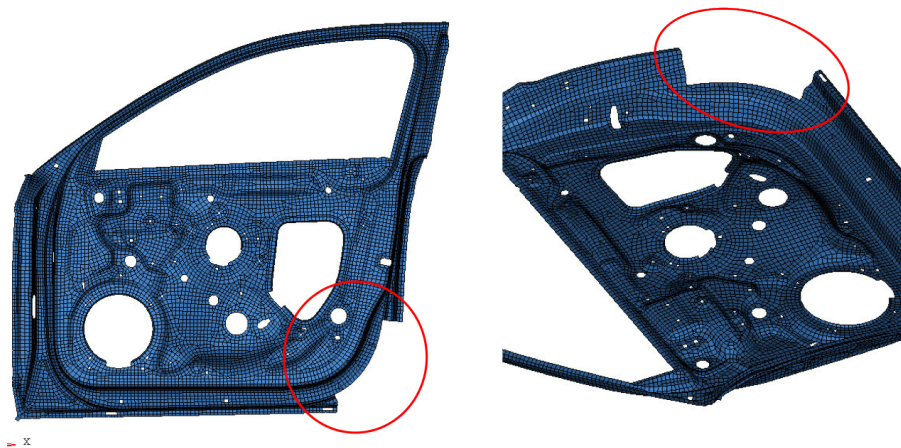


Abbildung 6.1: Zuschnitt Türinnenblech

Weiters musste der obere Teil der B-Säulenverkleidung, wie in Abbildung 6.2 dargestellt, gekürzt werden, da die B-Säule an der Kopfabstützung aufgehängt ist und die Verkleidung ansonsten bereits vor dem Versuch mit der Kopfabstützung kollidieren würde.

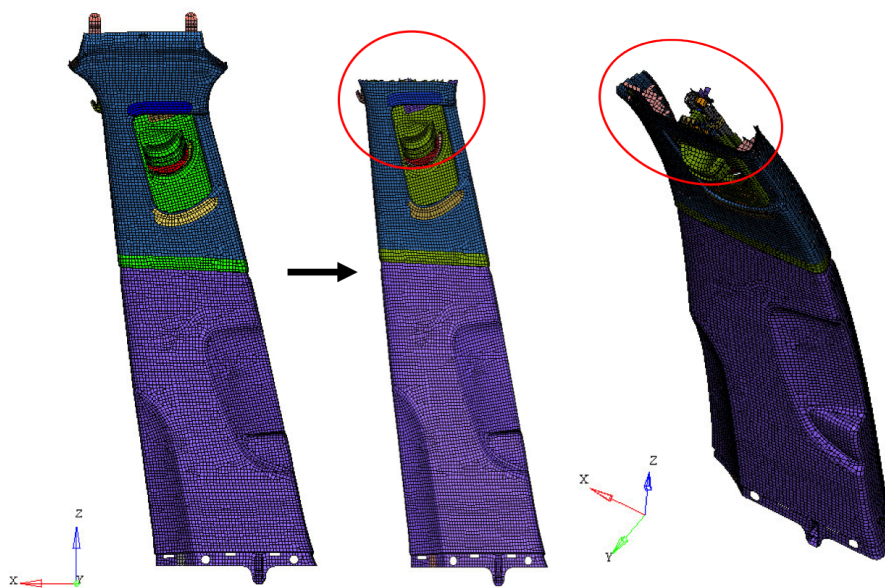


Abbildung 6.2: Zuschnitt B-Säulenverkleidung

Auch der Versteifungsteil wurde, wie in Abbildung 6.3, gekürzt, um eine Kollision mit der Gurtanbindung zu vermeiden.

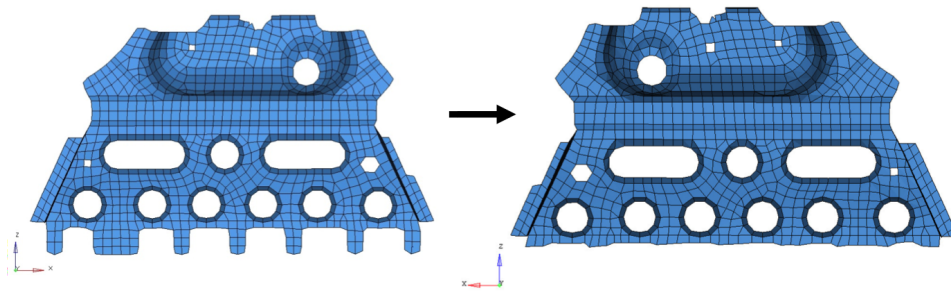


Abbildung 6.3: Zuschnitt Versteifungsteil

6.1.2 Positionierung Dummy und Sitz

Für eine gute Übereinstimmung der Insassenbelastungswerte ist es wichtig, dass der Dummy und der Sitz gleich wie in der Simulation positioniert werden. Dafür wurden einige Koordinaten des Sitzes und des Dummys zur Positionierung angegeben. Mit Hilfe eines Laser-Koordinaten-Messgeräts können die Komponenten am Prüfstand genau positioniert werden. Die verwendeten Hilfspunkte für die Positionierung des Dummys und des Sitzes sind in Abbildung 6.4 dargestellt. Zusätzlich zu den Koordinaten wurden noch der Schienenversatz und der Lehnenwinkel angegeben.

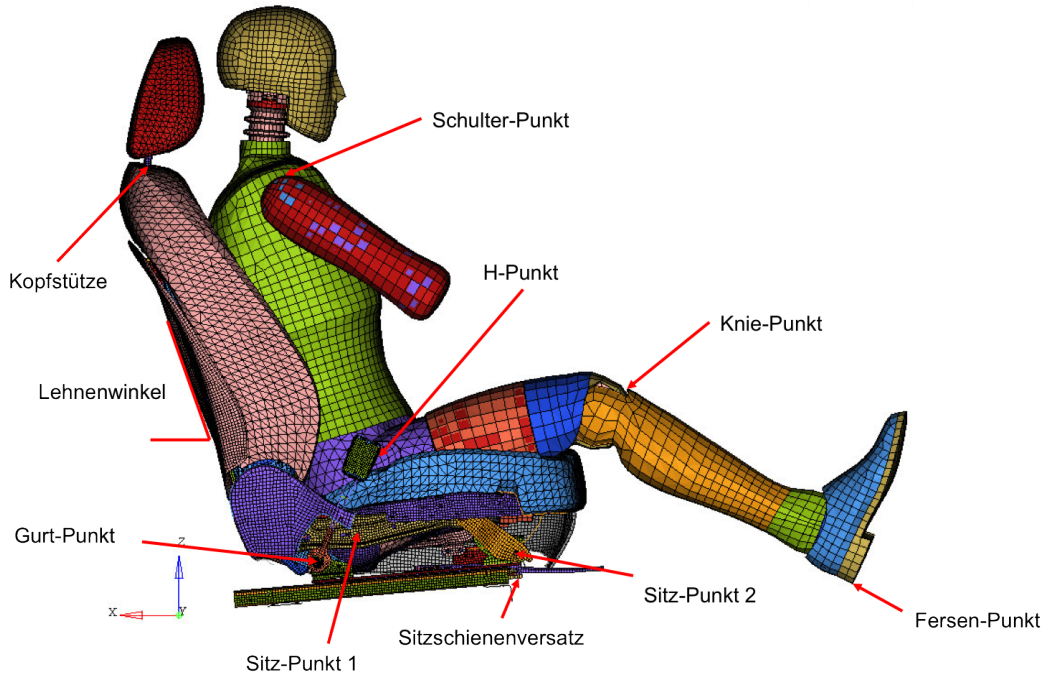


Abbildung 6.4: Positionierung Dummy und Sitz

6.1.3 Sensoren

Um die im Realversuch auftretenden Beschleunigungen des Türinnenblechs, der Türverkleidung, der B-Säule und des Sitzes, mit denen der Simulation vergleichen zu können, werden im Versuch Beschleunigungssensoren verklebt. Der Vergleich dient zur Überprüfung der Bauteilverschiebungen und um mögliche Fehlerquellen auszuschließen. Für das Türinnenblech, die Türverkleidung und die B-Säule wurden Sensoren ausgewählt, die auch in der Gesamtfahrzeugsimulation vorhanden sind und im Bereich des Dummies oder der Intrusionszylinder liegen. Die gewählten Sensoren sind in den Abbildungen 6.5 und 6.6 dargestellt.

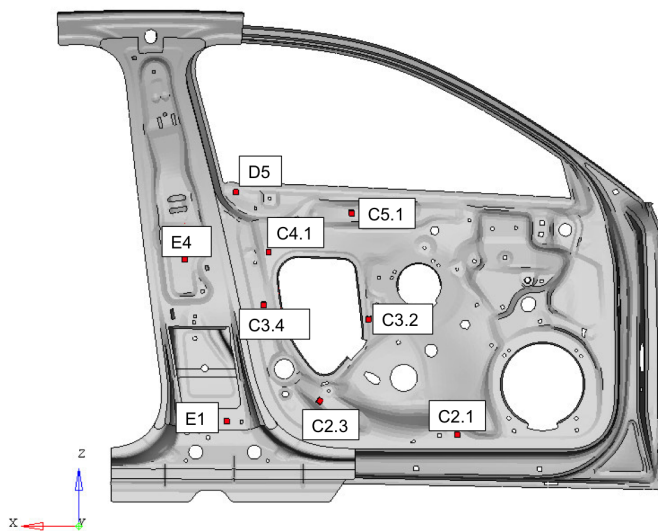


Abbildung 6.5: Sensoren Türinnenblech und B-Säule

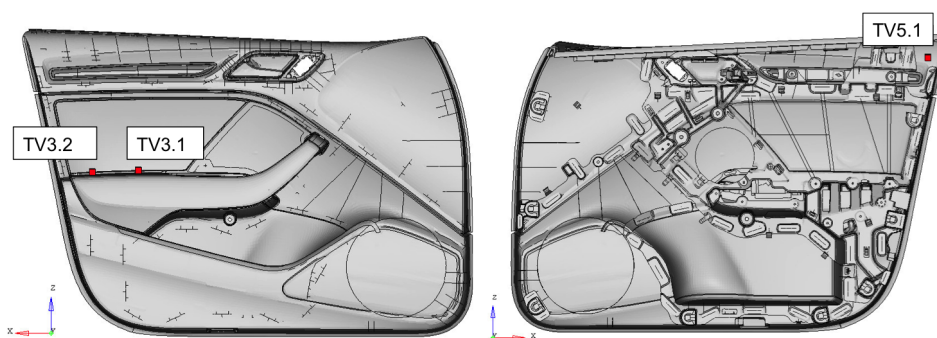


Abbildung 6.6: Sensoren Türverkleidung

Für den Sitz wurde jeweils ein Sensor im oberen bzw. im unteren Bereich und einer an jeder Seitenflächen gewählt. Die Sitzsensoren sind in Abbildung 6.7 zu sehen. Die

Bezeichnung der Sensoren entsprechen den Bezeichnungen im Gesamtfahrzeugmodell. Für die genaue Positionierung wurde wieder jeweils die X- und die Z-Koordinate des Sensors angegeben.



Abbildung 6.7: Sensoren Sitz

6.1.4 Kameras

Zusätzlich zu den Sensoren werden 3 Kameras positioniert um den Versuch zu dokumentieren und um die Kinematik mit der Simulation vergleichen zu können. Eine Kamera wurde senkrecht über dem Prüfstand angebracht, eine direkt vor dem Dummy, welche die Entfaltung des Airbags dokumentieren sollte und eine schräg vor dem Dummy um das Verhalten des kompletten Prüfstands aufbaus zu filmen.

6.1.5 Aufgetretene Probleme

Bei dem Aufbau des Prüfstandes und der Positionierung der Fahrzeugkomponenten und des Dummies kam es zu ein paar Problemen, welche in den folgenden Abschnitten genauer erläutert werden

6.1.5.1 Fehlender Versteifungsteil B-Säule

Der Versteifungsteil wurde nicht mitgeliefert deshalb wurde der Einfluss dieses Bauteils auf die Insassenbelastung durch eine Simulation des Ersatzversuchs ohne den Versteifungsteil, überprüft. In den Abbildungen 6.8 und 6.9 erkennt man deutlich, dass es durch das Fehlen des Bauteils zu einer Abweichung des zeitlichen Verlaufs

und des Maximalwertes der Kräfte, sowie auch zu einer Abweichung der Momente im Rücken, kommt.

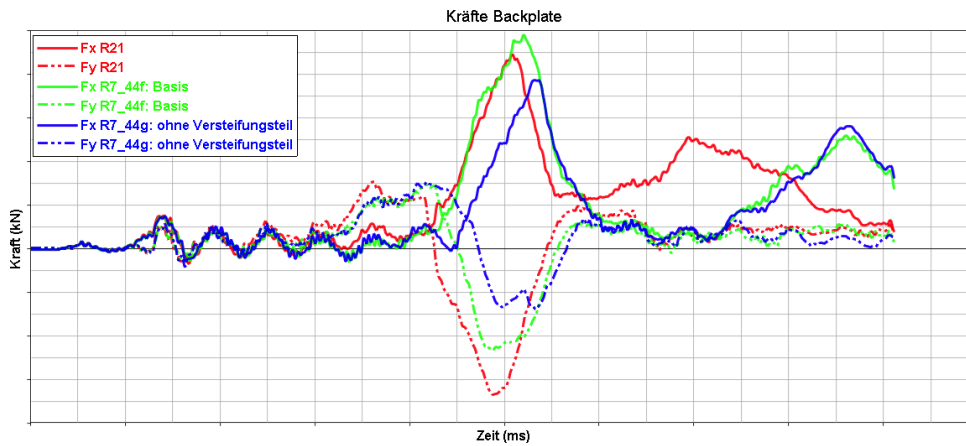


Abbildung 6.8: Ersatzversuch ohne Versteifungsteil: Kräfte Rücken

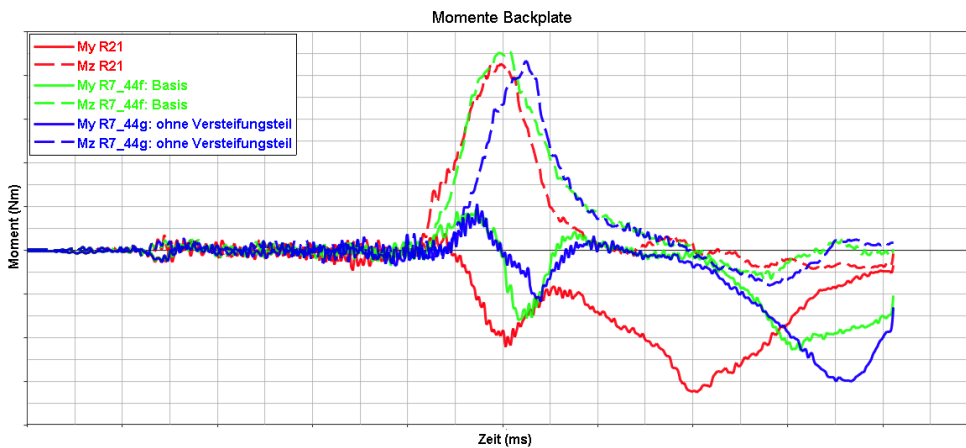


Abbildung 6.9: Ersatzversuch ohne Versteifungsteil: Momente Rücken

Durch das Fehlen des Versteifungsteils sinkt die Rippeneindrückung leicht ab. Der Maximalwert stimmt nun besser mit der Gesamtfahrzeugsimulation überein.

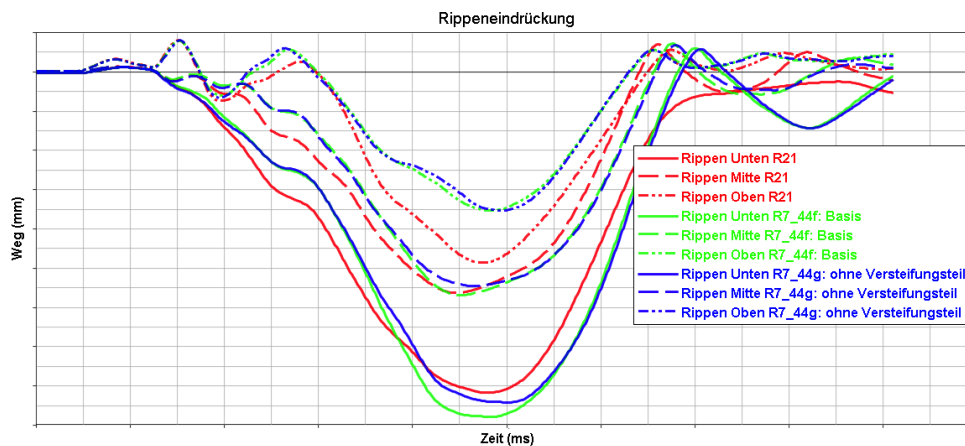


Abbildung 6.10: Ersatzversuch ohne Versteifungsteil: Rippeneindrückung

Trotz dieser Abweichungen wird der Versuch wie geplant durchgeführt, da nun bekannt ist zu welchen Abweichungen der fehlende Versteifungsteil führt. Als Vergleichsbasis für den Versuch wird nun die neu berechnete Variante herangezogen.

6.1.5.2 Falscher EPP-Schaum

Für die Ersatzkonstruktion der Mittelkonsole und der Kopfabstützung stand nur ein EPP-Schaum mit einer Dichte von 180kg/m^3 , anstatt mit 70kg/m^3 zur Verfügung. Der EPP-Schaum wurde in früheren Simulationen variiert und nur ein vernachlässigbarer Einfluss auf die Belastungswerte festgestellt.

6.1.5.3 Stehenbleiben der Intrusionszylinder

Um zu quantifizieren welche Abweichungen von den Vorgabekurven im Versuch auftreten werden, wurden die Pulse für die Intrusionszylinder und den HyperG eingeschossen. Einschießen bedeutet, dass Versuch ohne die Originalbauteile, sondern nur mit dementsprechenden Ersatzmassen auf den Intrusionszylindern, gefahren wird. Der tatsächliche Beschleunigungsverlauf jedes einzelnen Zylinders wird anschließend mit der Vorgabekurve verglichen und der Wegfehler ausgewertet. Die Beschleunigungsverläufe der Intrusionszylinder sind in Abbildung 6.11, die Wege in Abbildung 6.13 dargestellt.

Die Auswertung zeigt deutlich, dass die Intrusionszylinder die Beschleunigungsvorgabekurve nicht nachfahren können. Das liegt daran, dass ab einem gewissen Zeitpunkt die Geschwindigkeit des HyperG höher ist, als die der Intrusionszylinder. Da die Intrusionszylinder systembedingt nicht zurückfahren können, haben sie ab

diesem Zeitpunkt die gleiche Geschwindigkeit und Beschleunigung wie der HyperG, wie in Abbildung 6.12 ersichtlich.

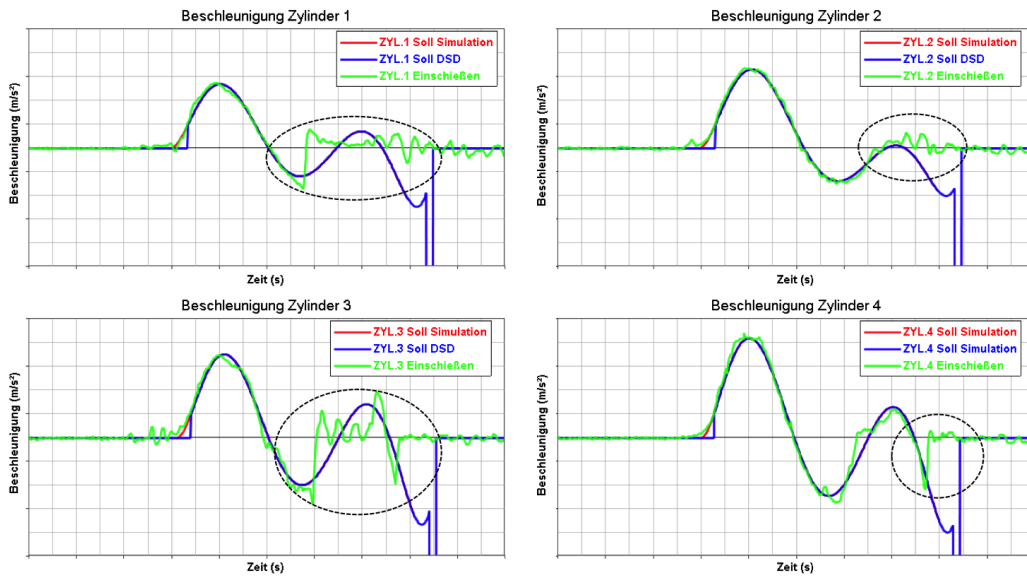


Abbildung 6.11: Beschleunigungsverläufe der Intrusionszylinder

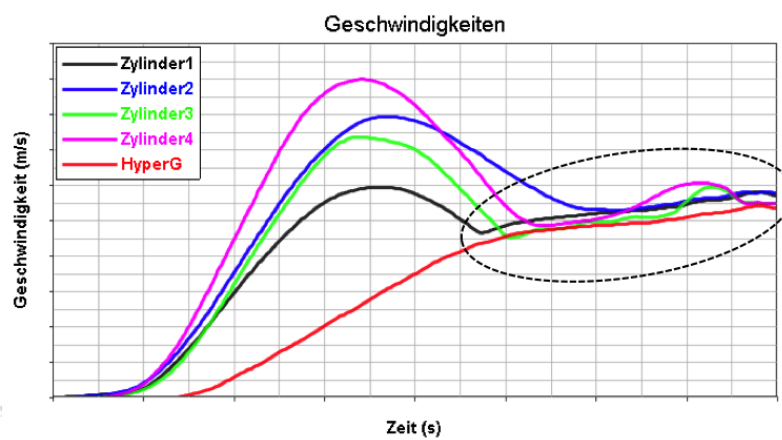


Abbildung 6.12: Stehenbleiben der Intrusionszylinder

Durch das Stehenbleiben der Zylinder kommt ein Wegfehler bei den Intrusionszylindern von bis zu 50mm zustande.

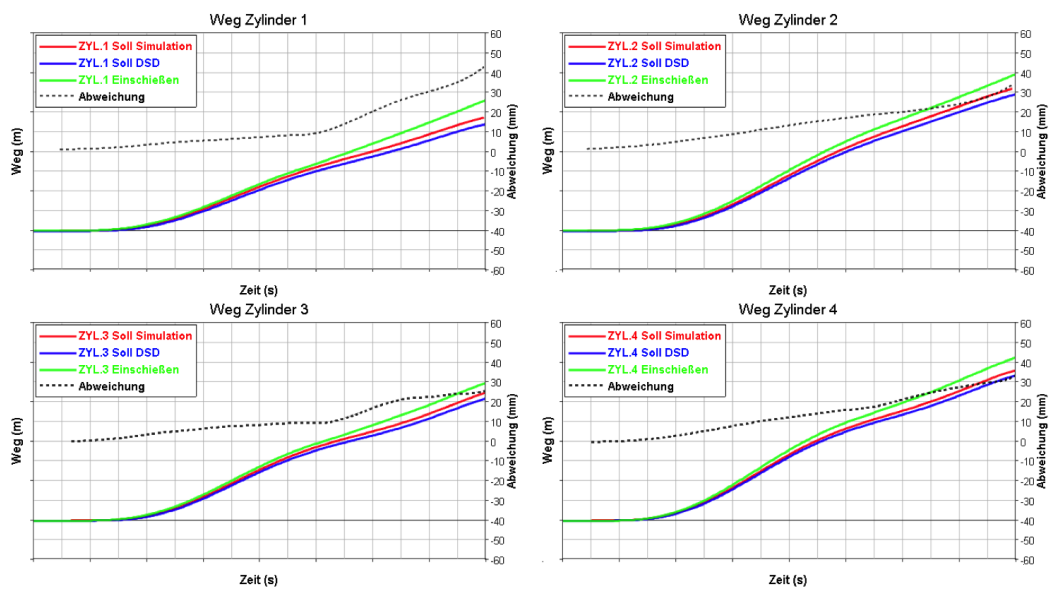


Abbildung 6.13: Wege der Intrusionszylinder

Das Stehenbleiben der Zylinder verursacht zu tiefe Intrusionen von Türinnenblech und B-Säule, welche Auswirkungen auf die Insassenbelastung haben. Aus diesem Grund wurde ein Ersatzversuch mit den Beschleunigungsverläufen aus dem Einschießversuch simuliert. Aus diesem Ersatzversuch geht hervor, dass das Stehenbleiben der Intrusionszylinder, wie in den Abbildungen 6.14 und 6.15 ersichtlich, vor allem Auswirkungen auf den zeitlichen Verlauf, auf den Maximalwert der Kräfte und auch auf die Momente im Rücken hat. Die Verläufe sind zeitlich nach hinten verschoben. Der Maximalwert der Kräfte und des Momentes um Y sinkt und der Maximalwert des Momentes um Z steigt an.

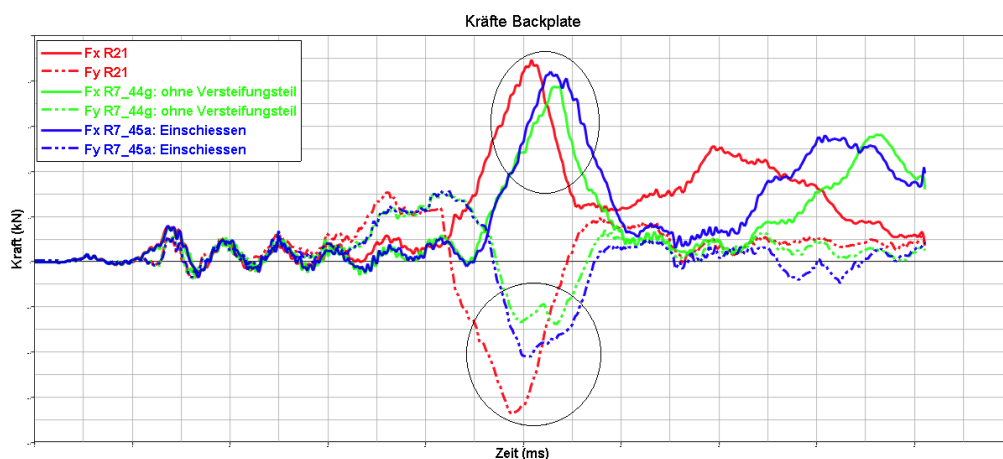


Abbildung 6.14: Einschießen: Kräfte Rücken

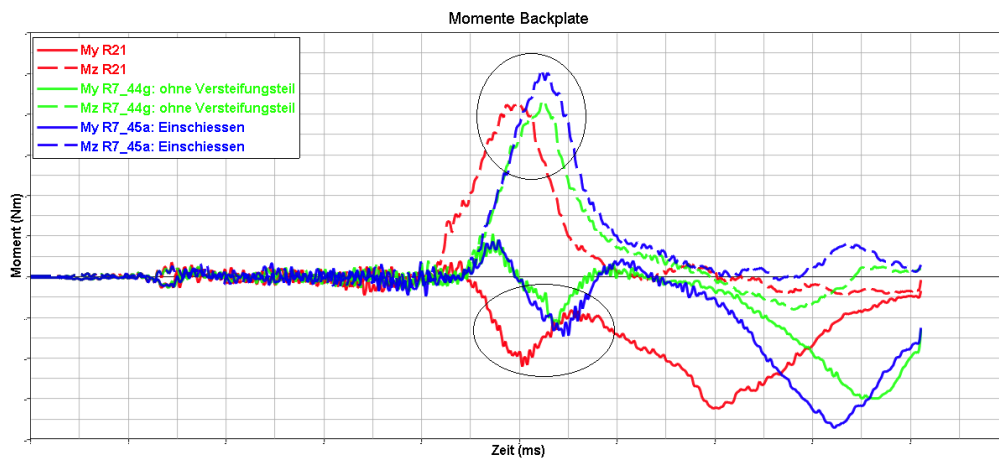


Abbildung 6.15: Einschießen: Momente Rücken

Auf die restlichen Insassenbelastungswerte hat das Stehenbleiben keinen Einfluss. Um diese Abweichungen zu vermeiden, müsste der Realversuch mit einem Off-Sled-Konzept durchgeführt werden, da die Beschleunigungen von HyperG und ASIS dann unabhängig voneinander wären. Da jedoch nur das On-Sled-Konzept zur Versuchsdurchführung zur Verfügung steht, soll der Versuch damit durchgeführt werden.

6.1.5.4 Positionierung Prüfstand

Auf Grund von falsch positionierten Langlöchern bei der Befestigung der Hauptstütze, ist die Hauptstütze nicht korrekt auf der Bodenplatte positionierbar. Das führte dazu, dass die Hauptstütze und damit auch die Kopfabstützung um 7mm näher bei dem Dummy, wie in Abbildung 6.16 dargestellt, positioniert werden musste. In der vergleichenden Simulation soll die Kopfabstützung deshalb auch um diese Abweichung näher am Dummykopf positioniert werden.

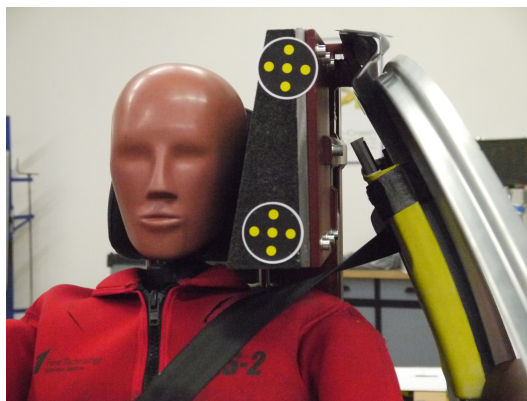


Abbildung 6.16: Falsche Position Kopfabstützung

6.1.5.5 Positionierung Dummy

Bei der Positionierung des Dummys fiel auf, dass dieser nicht so aufrecht sitzend wie in der Simulation, positioniert werden kann. Der Dummy liegt viel stärker an der Rückenlehne des Sitzes an. Da die meisten Insassenbelastungswerte im Oberkörper des Dummys bestimmt werden, soll die Positionsabweichung des Oberkörpers so gering wie möglich gehalten werden. Aus diesem Grund wurde der Toleranzbereich des H-Punktes von +10mm ausgenutzt und der H-Punkt des Dummys und somit das Becken, weiter hinten positioniert, damit der Dummy aufrechter sitzt. Die Abweichungen der vorgegebenen Koordinaten wurden dokumentiert und sollen in der vergleichenden Simulation angepasst werden. Diese Positionierung wird für die folgenden Versuche beibehalten. Da der Dummy den Sitz durch die neue Positionierung anders belastet, muss das Sitzmodell angepasst werden. Auch das Gurtmodell muss angepasst werden, damit der Gurt wieder direkt am Oberkörper des Dummys anliegt.

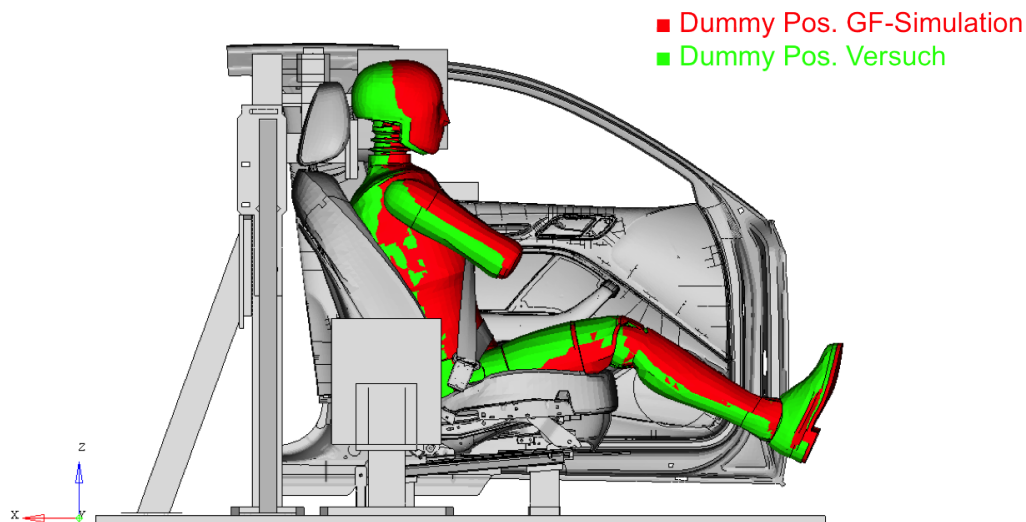


Abbildung 6.17: Neue Dummypositionierung

6.2 Versuchsauswertung

6.2.1 Versuch 01

Nach der Durchführung des 1. Versuchs wurden die Ergebnisse ausgewertet.

6.2.1.1 Auswertung der gefahrenen Pulse

Um zu sehen wie gut die Intrusionszylinder und der HyperG den vorgegebenen Pulsen im Versuch folgen konnten, wurden die Beschleunigungsverläufe verglichen und die Abweichung des Weges bestimmt. Man erkennt in den Abbildungen 6.18 und 6.19, dass die einzelnen Intrusionszylinder den vorgegebenen Kurven, bis zum Zeitpunkt des Stehenbleibens der Zylinder, gut folgen konnten.

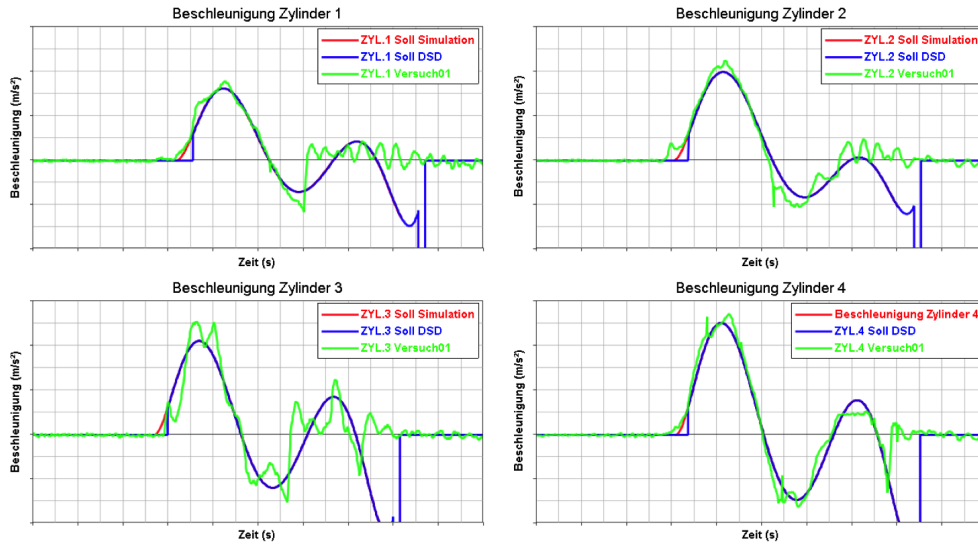


Abbildung 6.18: Vergleich der Beschleunigungsverläufe Versuch01

Beim Vergleichen der Wege erkennt man hohe Abweichungen von bis zu 50mm. Die hohen Abweichungen treten durch das Stehenbleiben der Zylinder auf.

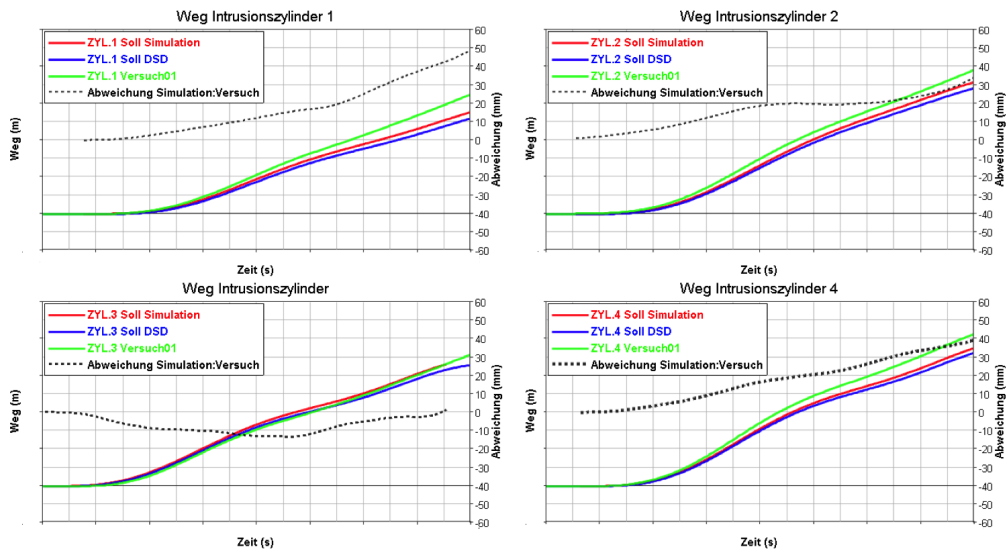


Abbildung 6.19: Abweichung des Weges Versuch01

Abbildung 6.20 zeigt den Vergleich der Beschleunigungsverläufe und die Abweichung des Wegs für den HyperG. Die maximale Abweichung des HyperG am Ende des Versuchs ist mit ca. 6mm, bei einem Hub von ca. 300mm, relativ gering.

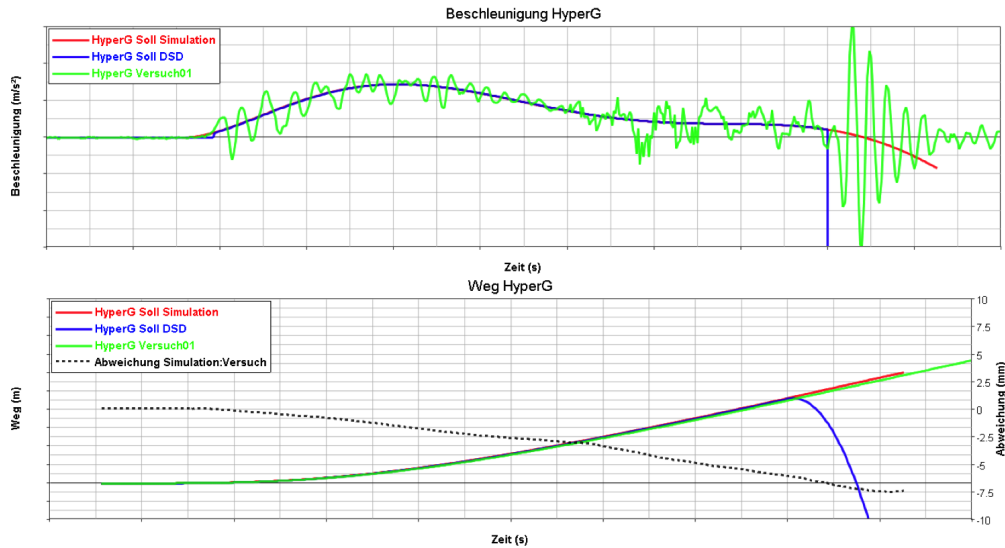


Abbildung 6.20: Beschleunigung und Abweichung HyperG Versuch01

6.2.1.2 Vergleich der Startzeiten

Da es systembedingt nicht gewährleistet ist, dass alle Intrusionszylinder und der HyperG zeitgleich losfahren, soll auch der zeitliche Versatz der Startzeiten überprüft werden. In Abbildung 6.21 sind die Vorgabekurven (strichliert) aus der Simulation zu sehen. Die durchgezogenen Kurven stellen die im Versuch aufgetretenen Vorgabekurven dar. Man erkennt, dass der Zeitversatz zwischen Zylinder 3 und Zylinder 1 6,8ms beträgt. In dieser Zeit legt Zylinder 3 bereits etwa 5mm an Weg zurück.

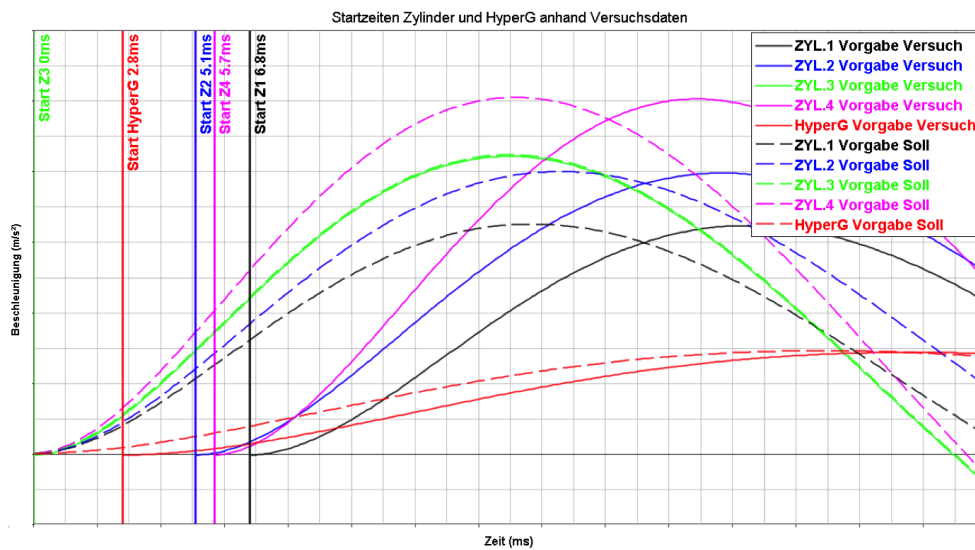


Abbildung 6.21: Startzeiten Versuch01

Der Grund für diesen zeitlichen Versatz kann sein, dass das Öl in den Bremsen nicht auf Betriebstemperatur war und damit eine andere Viskosität aufweist. Dadurch kann es, lt. DSD, zu Problemen beim Lösen der Bremsen zum Anfahren der Zylinder gekommen sein. Um dies zu vermeiden sollten die Einschieß-Versuche und der Realversuch am selben Tag stattfinden und ein 0-Bar-Test durchgeführt werden. Weiters können bei den Einschieß-Versuchen Reglerparameter geändert werden, um eine bessere Synchronität der Zylinder zu erhalten. Hier muss ein Kompromiss gefunden werden, da eine Änderung der Parameter dazu führen kann, dass die vorgegebenen Beschleunigungsverläufe nur mit größeren Abweichungen nachgefahren werden können.

6.2.1.3 Aufgetretene Wegfehler

Der große Zeitversatz führt zu sehr großen Abweichungen der Insassenbelastung. Hier wurden Versuch und Simulation auf Zylinder 3 synchronisiert, was zu einer Abweichung von 0-6,8ms führt. Alternativ könnte auch auf jeden anderen Zylinder oder den mittleren Startzeitpunkt von 3,4ms synchronisiert werden. Den hohen zeitlichen Versatz, durch die unterschiedlichen Startzeitpunkte der Beschleunigungsverläufe, sieht man in Abbildung 6.22.

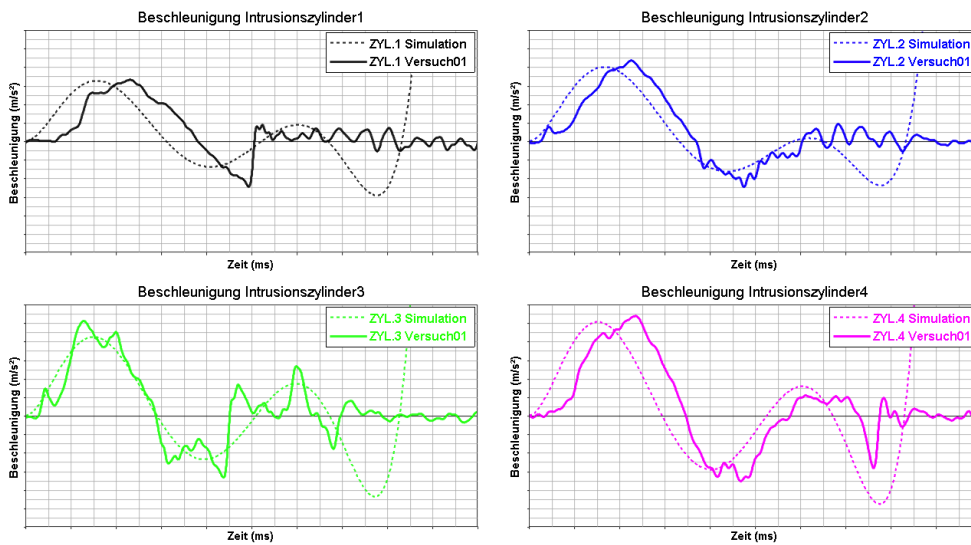


Abbildung 6.22: Beschleunigungen Intrusionszylinder Versuch01

Dieser Versatz erklärt auch die hohen Abweichungen beim Weg von bis zu 40mm im relevanten Zeitraum.

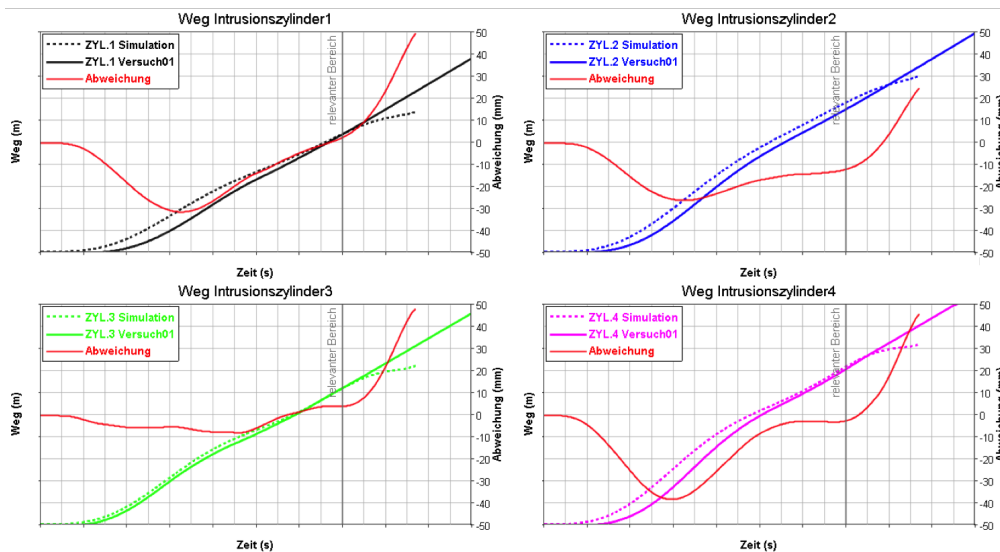


Abbildung 6.23: Abweichung Weg Intrusionszylinder Versuch01

Betrachtet man den Beschleunigungsverlauf des HyperG, erkennt man auch hier deutlich den zeitlichen Versatz. Dies führt zu Abweichungen vom Weg von bis zu 25mm.

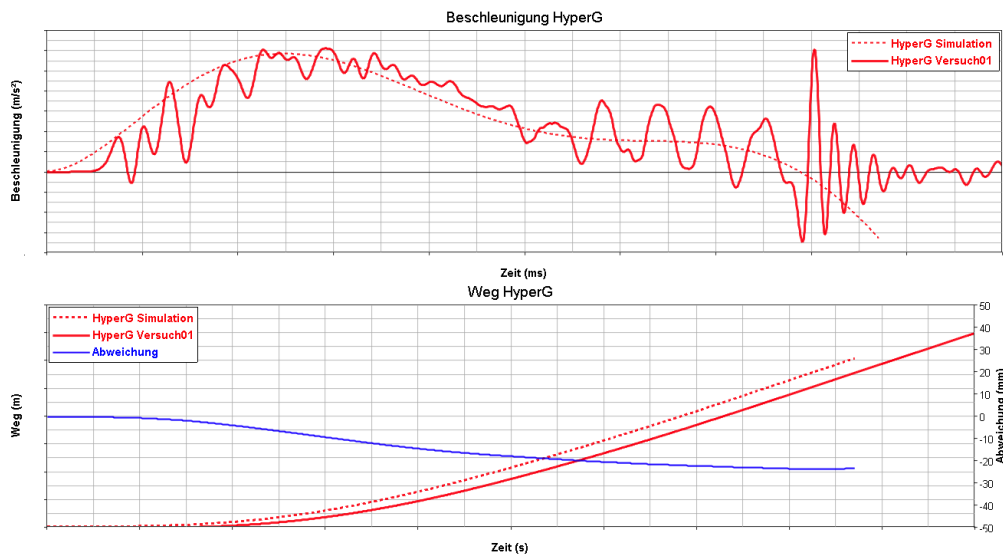


Abbildung 6.24: Beschleunigung und Abweichung Weg HyperG Versuch01

Es ist davon auszugehen, dass der zeitliche Versatz der Beschleunigungsverläufe zu größeren Abweichungen führt als das Schwanken des tatsächlichen Beschleunigungsverlaufes gegenüber der Vorgabekurve.

Auf Grund des aufgetretenen großen zeitlichen Versatzes der Startzeiten, ist dieser Versuch als ungültig zu betrachten.

6.2.2 Versuch02 - Versuch04

Nach einigen Änderungen, welche im Folgenden beschrieben werden, wurden 3 idente Versuche zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit durchgeführt. Eine gute Reproduzierbarkeit des Versuches ist wichtig, um den Ersatzversuch sinnvoll in der Fahrzeugentwicklung einsetzen zu können, da ansonsten nicht zu erkennen ist, ob Fehler durch äußere Einflüsse aufgetreten sind.

6.2.2.1 Änderungen gegenüber Versuch01

Auf Grund der großen Abweichungen der Startzeiten im Versuch 01 wurden folgende Änderungen zur Verbesserung der Synchronität der Zylinder durchgeführt:

- Vorversuche am selben Tag, um die Anlage auf Betriebstemperatur zu bringen
- Anpassung der Reglerparameter mit Fokus auf die Synchronität der Zylinder

- Die Schraube zur Befestigung der B-Säule im oberen Bereich, siehe Abbildung 6.25, wurde erst nach der Bremsschlupfreaktion angezogen, um unerwünschte Beschleunigungsausschläge und Verspannungen zu vermeiden. Verspannungen könnten unter Umständen zu größeren Streuungen beim Losbrechen der Zylinder führen, da das Losbrechen von der auftretenden Reibung abhängig ist.



Abbildung 6.25: Schraube im oberen Bereich der B-Säule

6.2.2.2 Fehlerhafte Sensoren

Im Versuch 02 traten bei 2 Sensoren Probleme auf. Das Kabel des Sensors E1, der im Bereich des Gurtretractors befestigt ist, wurde im Versuch zwischen der B-Säule und der Gurteinbindung eingeklemmt und dadurch beschädigt. Weiters hat sich der Sitzsensor S3 während des Versuchs gelöst. Die Signale der beiden Sensoren sind daher falsch und werden in weiterer Folge nicht berücksichtigt. Die Sensorpositionen sind in Abbildung 6.26 dargestellt.

In den Versuchen 03 und 04 kommt es zu großen Abweichungen des Signals von E1, da Zylinder 3 zu früh losbricht und die B-Säule schon nach kurzer Zeit auf Anschlag mit dem Sitz geht der Zylinder durch den HyperG weiter beschleunigt wird.

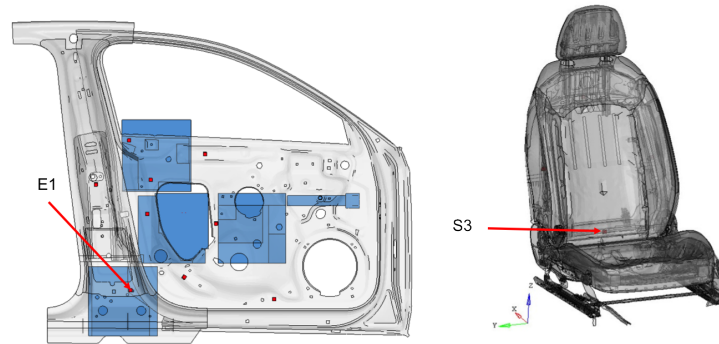


Abbildung 6.26: Sensoren E1 und S3

6.2.2.3 Performance Intrusionszylinder und HyperG

Wie auch bei Versuch 01, wurden die Beschleunigungsverläufe sowie die Abweichungen in der Verschiebung der Intrusionszylinder und des HyperG mit der Vorgabe verglichen. Die Beschleunigungsverläufe der Zylinder sind in Abbildung 6.27 dargestellt, die Verschiebung in Abbildung 6.28. Man erkennt, dass die Beschleunigungsverläufe nur sehr geringfügig voneinander abweichen. Auch bei diesen Versuchen ist das Stehenbleiben der Zylinder und die Beeinflussung durch den HyperG deutlich zu erkennen.

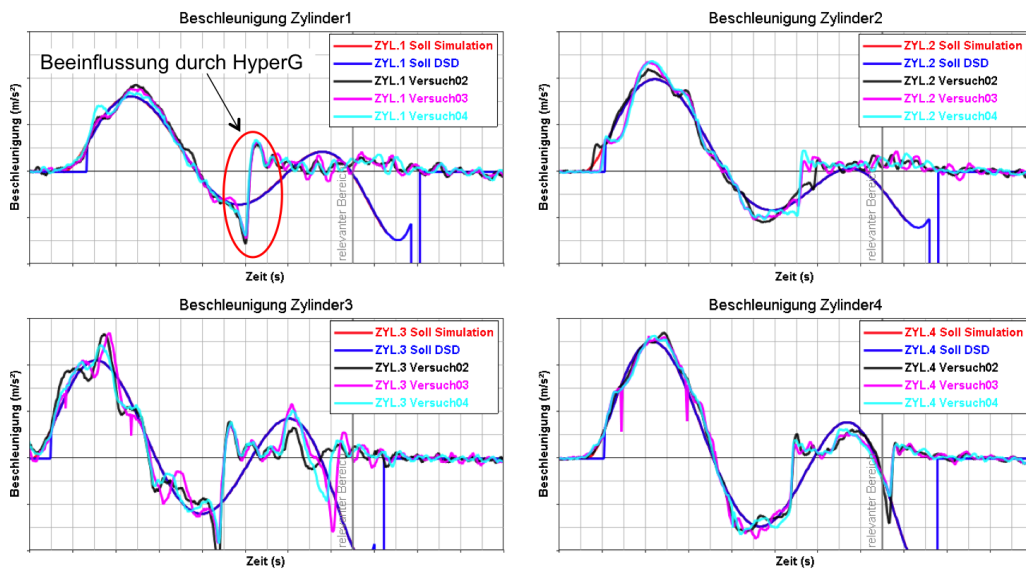


Abbildung 6.27: Beschleunigungsverläufe Versuch 02-04

6 Versuchsdurchführung

Durch das Stehenbleiben der Zylinder kommt es auch zu größeren Abweichungen des Weges. Die größte Abweichung ist bei Intrusionszylinder 1 und Versuch 04 mit 40mm im relevanten Zeitbereich zu erkennen.

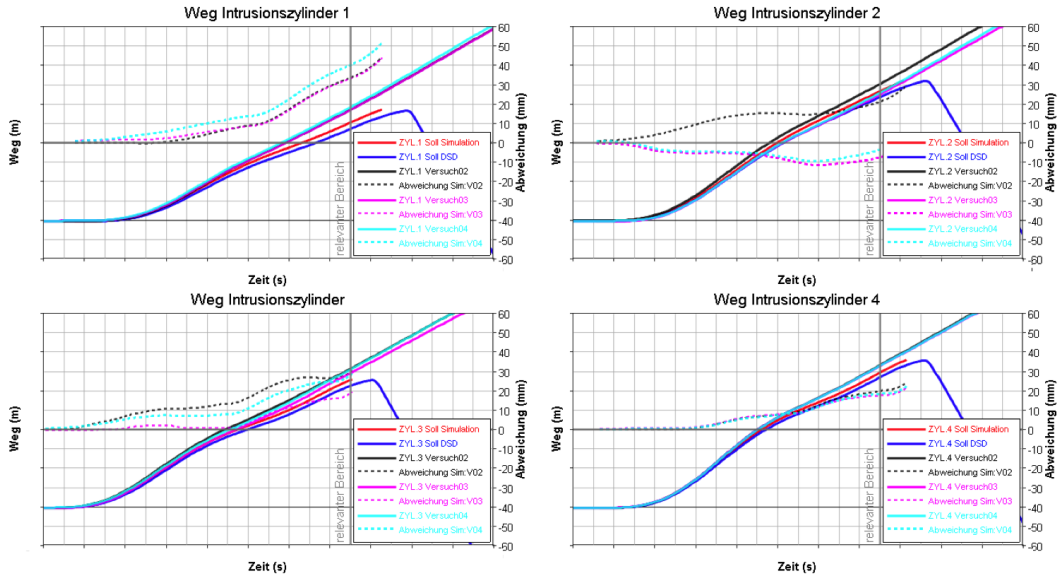


Abbildung 6.28: Verschiebung Versuch 02-04

Die Performance des HyperG ist in Abbildung 6.29 dargestellt. Auch hier weichen die Beschleunigungen nur sehr geringfügig voneinander ab. Die Abweichungen der Verschiebungen liegen auch unter 5mm. Die geringen Abweichungen der Beschleunigungsverläufe zeigen, dass die vorgegebenen Pulse in den Versuchen gut reproduzierbar sind.

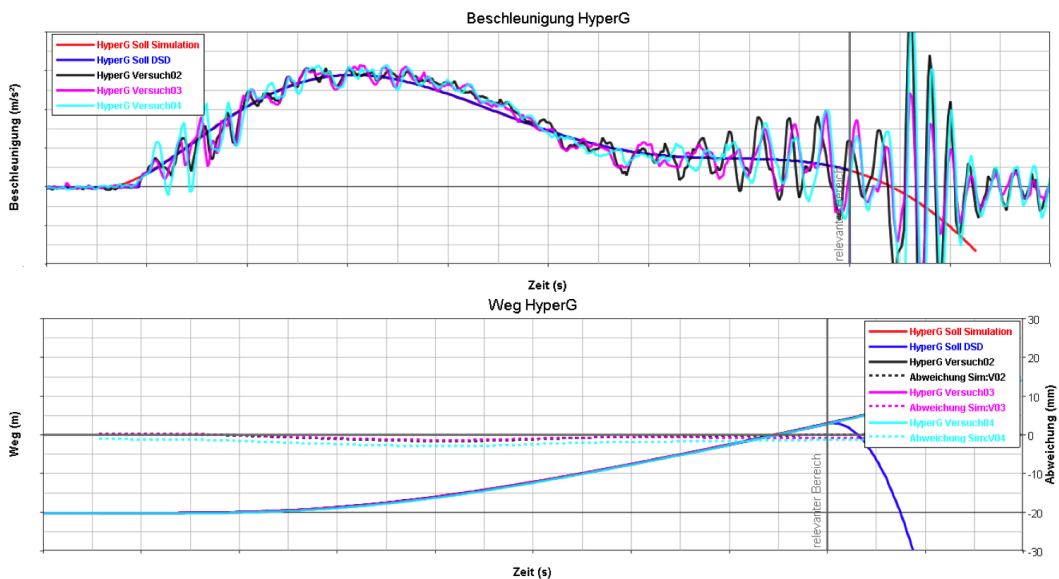
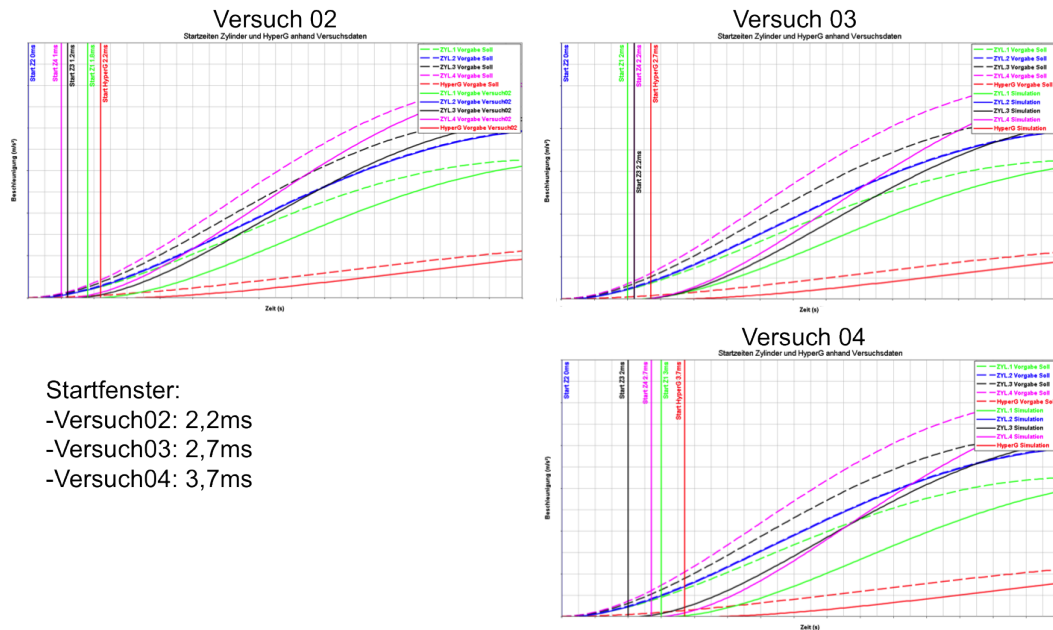


Abbildung 6.29: HyperG Versuch 02-04

6.2.2.4 Startzeiten Versuch 02 - Versuch 04

Die in Abbildung 6.30 dargestellte Auswertung der Startzeiten in den Versuchen 02 bis 04 zeigen eine gegenüber Versuch 01 deutlich bessere Synchronität der Zylinder und des HyperG. Die Abweichungen konnten von 6,8ms in Versuch 01 auf 2,2ms bis 3,7ms, reduziert werden.



Startfenster:
 -Versuch02: 2,2ms
 -Versuch03: 2,7ms
 -Versuch04: 3,7ms

Abbildung 6.30: Startzeiten Versuch 02-04

6.2.2.5 Verschiebungsfehler auf Grund des zeitlichen Versatzes Versuch 02 - Versuch 04

Da die Zylinder trotz der Anpassungen der DSD nicht gleichzeitig starten, kommt es zu einem Verschiebungsfehler im Vergleich zur Simulation. Diese Abweichungen sind in Abbildung 6.31 zu sehen. Hierbei wurden alle Versuche auf den Startzeitpunkt des Zylinder 2 synchronisiert, da dieser in allen 3 Versuchen als erster startet. Der größte Verschiebefehler beträgt ca. 22mm und tritt bei Versuch 02 und dem Intrusionszylinder 3 auf.

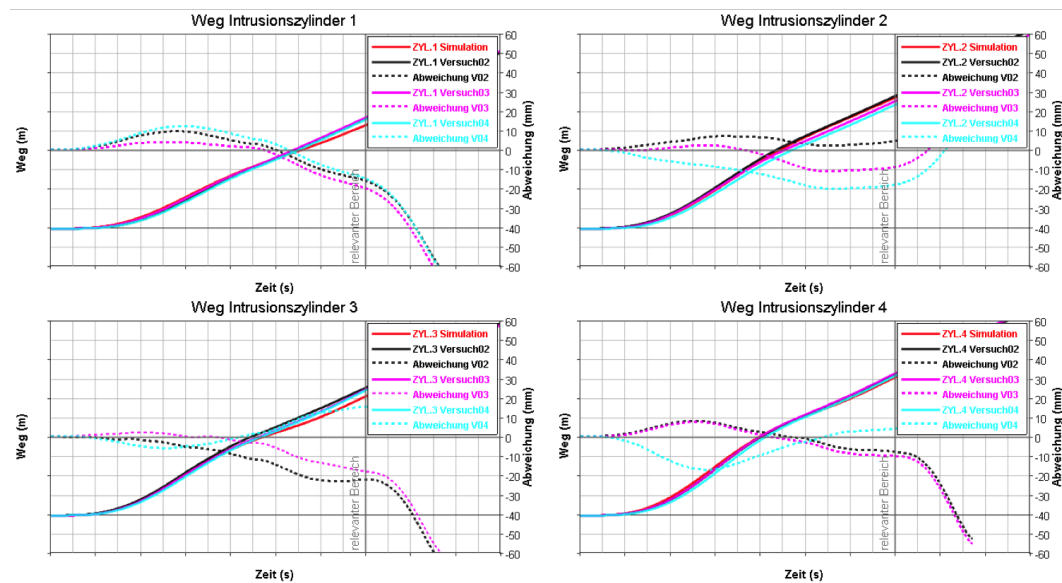


Abbildung 6.31: Verschiebefehler Versuch 02-04

Bei den Versuchen 02 bis 04 treten nur geringe Unterschiede zwischen den Sensorsignalen auf. Weiters konnte das Zeitfenster, in dem die Zylinder starten, gegenüber Versuch 01 deutlich reduziert werden. Diese Prüfstandskonfiguration liefert daher gut reproduzierbare Ergebnisse.

6.2.2.6 Vergleich Versuch 02 mit Simulation

Die Auswertung der Versuche 02 - 04 wird hier exemplarisch anhand der besten Variante (Versuch 02) dargestellt. Zum Vergleich dient die neue Simulationsbasis, welche im Vergleich zur Auslegungsbasis die neue Dummyposition und den dadurch anzupassenden Sitz und Gurt berücksichtigt. Als Vorgabekurven wurden die aus der Gesamtfahrzeugsimulation abgeleiteten und modifizierten Pulse angenommen. Ziel ist die Darstellung der Prognosefähigkeit des Modells.

Zur Überprüfung der Kinematik von Türinnenblech, Türverkleidung und B-Säule wurden Beschleunigungssensoren, wie in Abbildung 6.32, angebracht, ausgewertet und anschließend mit der GF-Simulation und der Simulationsbasis verglichen.

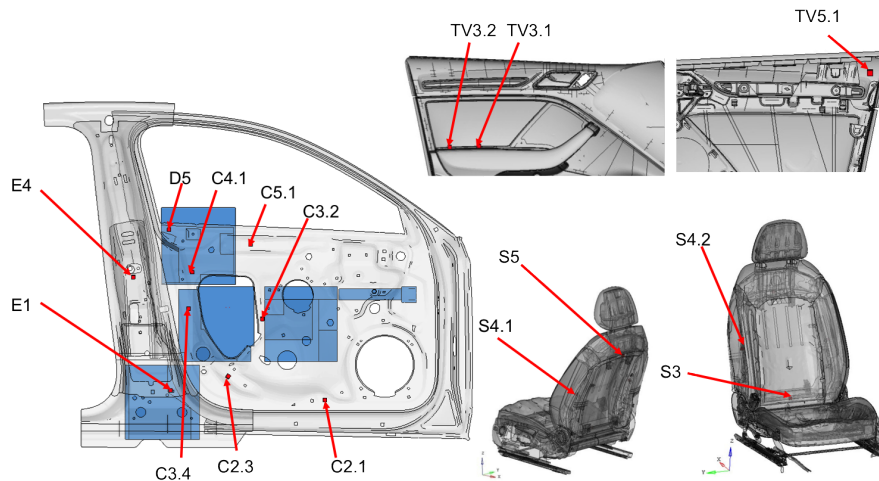


Abbildung 6.32: Übersicht Sensoren

Abbildung 6.33 zeigt die Auswertung der Sensoren, welche im Bereich der Schulter liegen und den Sensor E4 im oberen Bereich der B-Säule. Bei den Sensoren C4.1 und D5, welche direkt vor den Intrusionszylindern liegen, beträgt die maximale Abweichung im relevanten Bereich ca. 10mm. Der Sensor C5.1 liegt etwas entfernt vom Intrusionszylinder und hat eine maximale Abweichung von ca. 20mm. Eine hohe Abweichung von ca. 25mm tritt beim Sensor E4 auf.

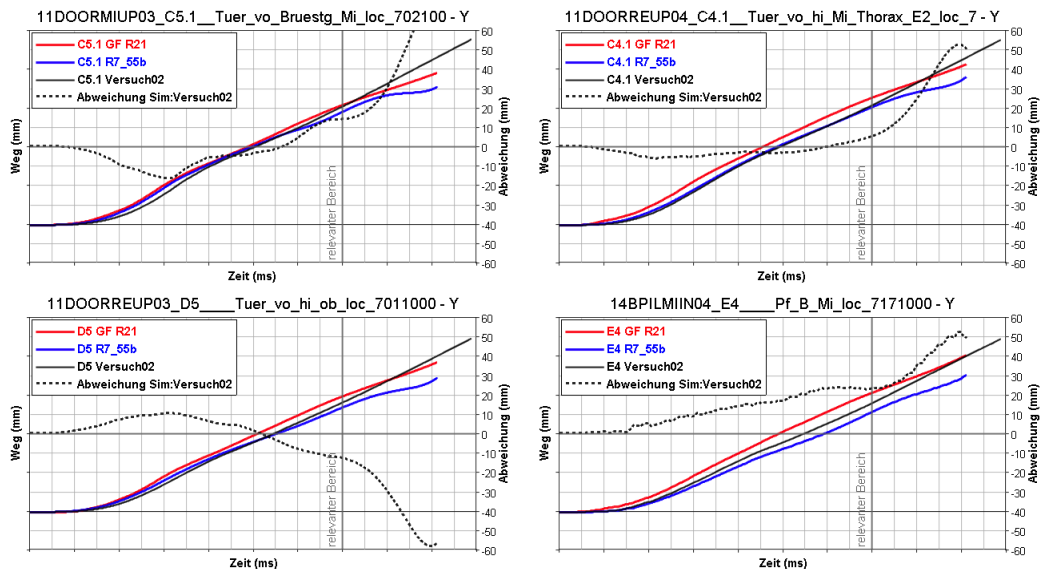


Abbildung 6.33: Sensorauswertung Versuch 02

Die Sensoren in Abbildung 6.34 liegen im Bereich des Dummybeckens. Die beiden Sensoren C3.2 und C2.3 weisen eine maximale Abweichung von ca. 10mm auf, das bei einem Hub von ca. 400mm gering ist, die Sensoren C3.4 und C2.1 ca. 20mm.

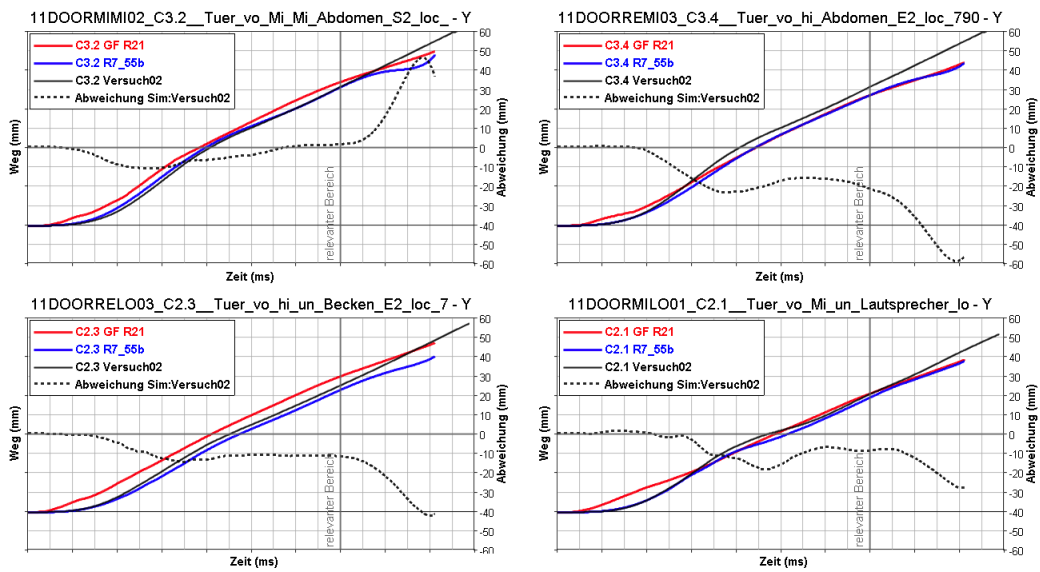


Abbildung 6.34: Sensorauswertung Versuch 02

Die Auswertung der Sensoren der Türverkleidung und der B-Säule im unteren Bereich ist in Abbildung 6.35 zu sehen. Die maximalen Abweichungen der Türverkleidungssensoren betragen ca. 10mm, das dafür spricht, dass sich die Türverkleidung wie in der Simulation verhält. Der Sensor E1 wurde, wie vorhin beschrieben, in Versuch 02 beschädigt. Die Abweichung ist damit ungültig.

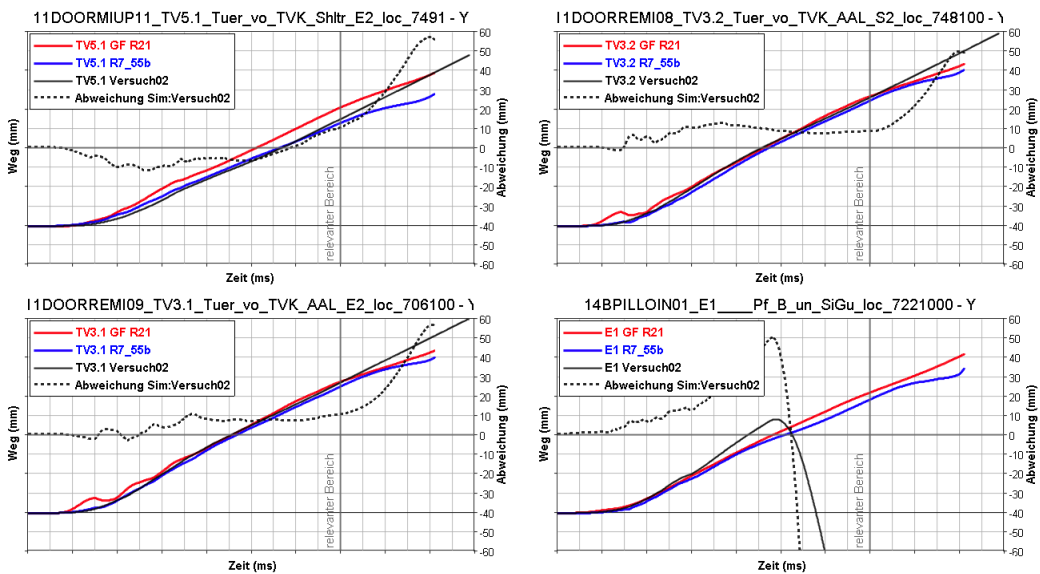


Abbildung 6.35: Sensorauswertung Versuch 02

Die Abweichungen der Sitzsensoren von der Simulationsbasis, Abbildung 6.36, sind mit teilweise 20mm relativ hoch. Das liegt unter Umständen daran, dass durch

den frühen Start vom Zylinder in Beckenhöhe der Sitz im oberen Bereich bereits mit höherer Geschwindigkeit angeschoben wird, als die Sitzanbindung durch den HyperG. Das Signal von S3 ist ungültig, da sich der Sensor gelöst hat.

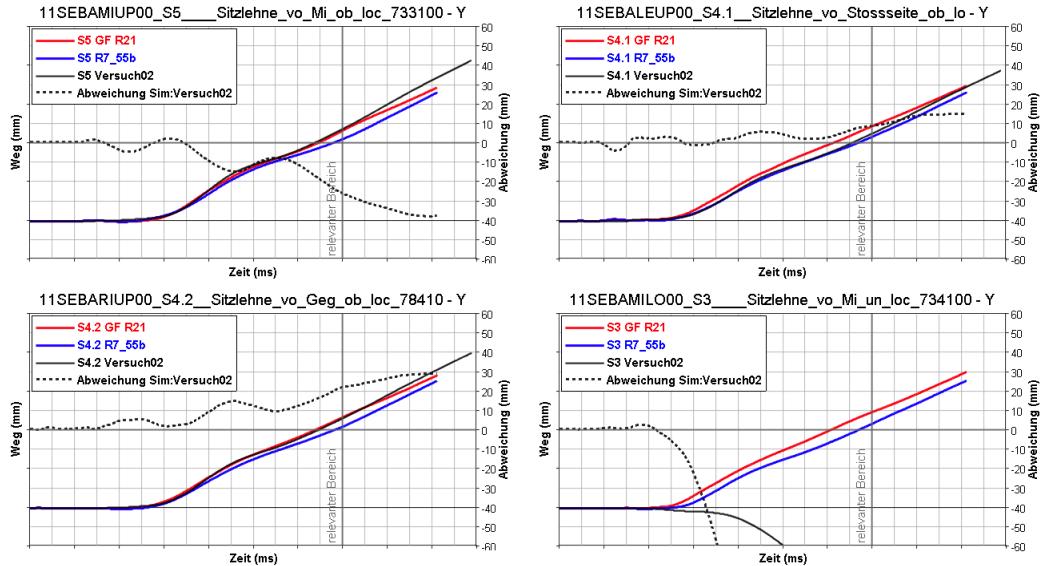


Abbildung 6.36: Sensorauswertung Versuch 02

Zur einfacheren Beurteilung wurden die Abweichungen vom Versuch 02 mit der Simulation vom Versuch 02 verglichen und in nachfolgende Tabelle eingetragen. Weiters wurde die Streuung der Versuche 02 bis 04 bestimmt. Diese Auswertung zeigt, dass die mittleren Abweichungen alle unter 10mm, die maximalen Abweichungen größtenteils unter 15mm liegen. Das deutet auf Fehler im FE-Modell hin, z.B. auf lokale Deformationen des Blechs. Die Streuung der Sensoren liegt größtenteils zwischen 5mm und 20mm. Bei den Sitzsensoren S5, S4.1 und S4.2 erkennt man, dass die maximalen Abweichungen alle bei 45ms auftreten. Zu diesem Zeitpunkt bleiben die Intrusionszylinder stehen und werden durch den HyperG beeinflusst.

Abweichung im relevanten Zeitraum 0-70ms				Streuung
R7 56a vs. Versuch02				V02-V04
Sensor	max - s	max - t (ms)	mean	(mm)
C5.1	8,4	30	2,3	3,8
C4.1	5,4	70	2,5	6,0
D5	1,4	37	0,4	3,5
E4	15,5	49	9,4	23,0
C3.2	5,5	70	3,3	28,3
C3.4	17,3	38	8,7	31,5
C2.3	6,3	52	2,8	12,8
C2.1	21,9	47	6,3	6,3
TV5.1	5,6	59	1,8	19,5
TV3.2	7,1	36	3,7	8,6
TV3.1	6,0	36	2,2	11,7
E1	Zylinder 3 geht auf Anschlag --> große Abweichungen			
S5	16,7	45	6,7	13,3
S4.1	5,0	45	0,1	7,3
S4.2	16,2	45	6,6	9,9
S3	Sensor hat sich gelöst			4,1

Abbildung 6.37: Vergleich der Sensorauswertungen

Zusätzlich zu der gezeigten Auswertung wurden auch die Verschiebungen der Sensoren am Türinnenblech die im Bereich der Intrusionszylinder mit den Signalen der Intrusionszylinder verglichen. Auch hier wurde Versuch 02 ausgewertet und mit der Simulationsbasis verglichen. Das Ergebnis der Auswertung ist in Abbildung 6.38 zu sehen. Beim Vergleich der Sensoren und der dahinterliegenden Zylinder sind, abgesehen von Zylinder 3, gute Übereinstimmungen zwischen Simulation und Versuch vorhanden.

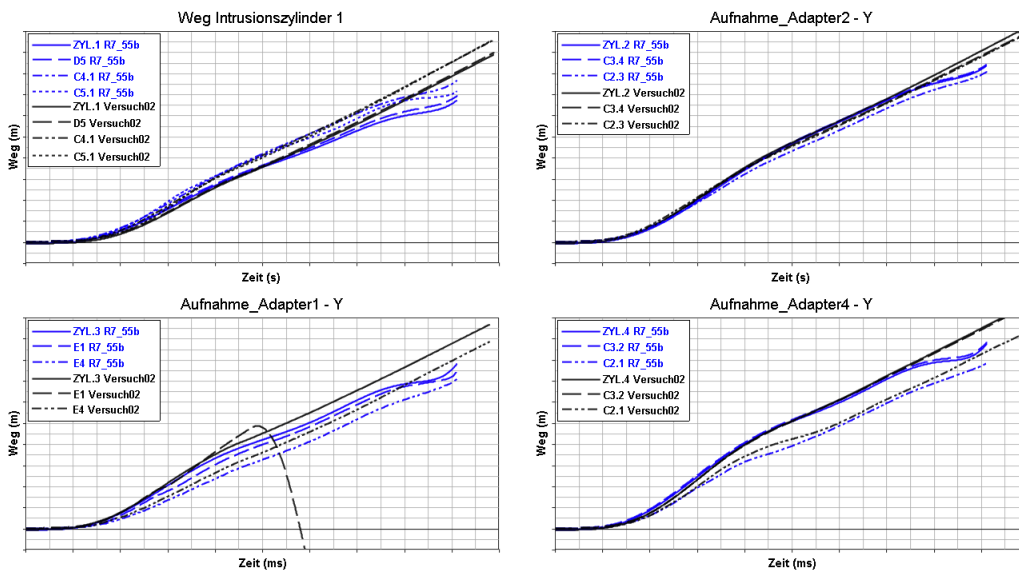


Abbildung 6.38: Vergleich Verschiebungen Sensoren mit Zylindern

Nach der Auswertung der Kinematik, wird auch die Insassenbelastung des Versuchs 02 mit der Simulationsbasis, wie in Kapitel 6.2.2.6 beschrieben und einer Simulation mit den Versuchspulsen aus Versuch 02 verglichen. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 6.39 bis 6.44 dargestellt.

Die Bauchkräfte sind im Versuch ca. 30% höher als bei den Simulationen. Weiters steigen die Bauchkräfte auch um etwa 5ms früher an.

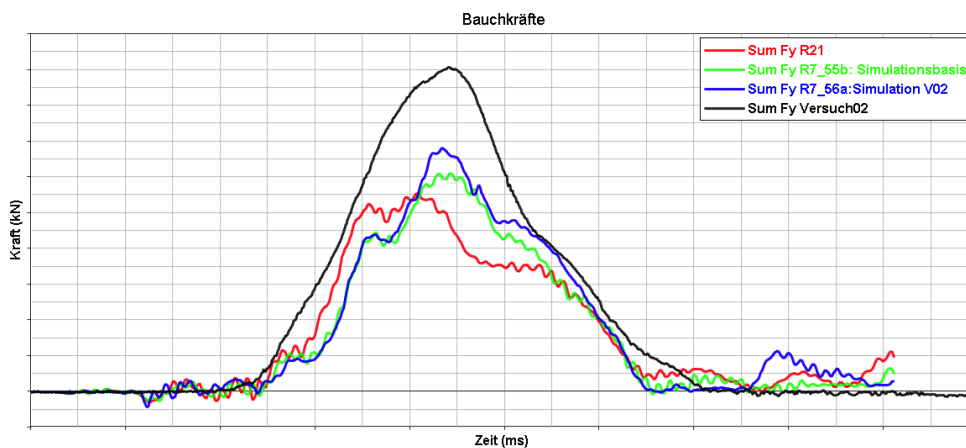


Abbildung 6.39: Vergleich: Bauchkräfte

Die Schulterkräfte sind im Vergleich zur Simulation des Versuchs um ca. 25% zu niedrig, beim Anstieg zeigt sich ein Versatz von ca. 3ms.

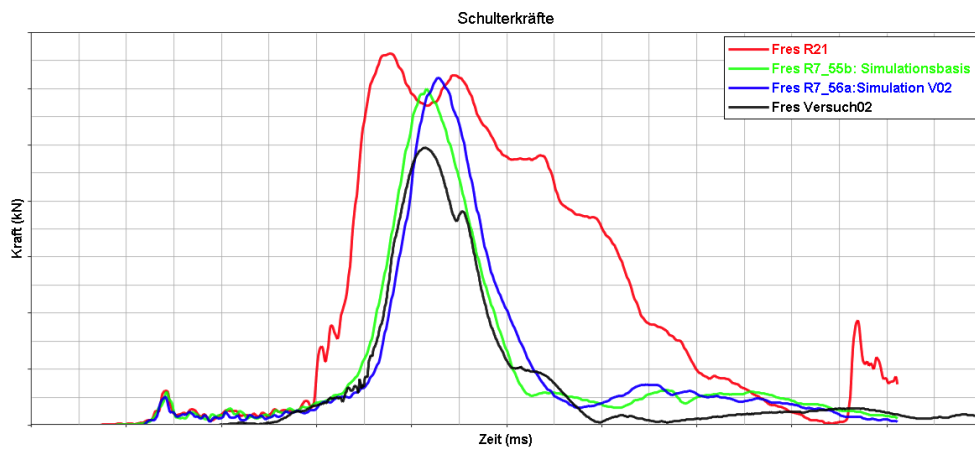


Abbildung 6.40: Vergleich: Schulterkräfte

Ein deutlicher zeitlicher Versatz von ca. 10ms zeigt sich auch bei den Kräften im Rücken. Der Maximalwerte entsprechen den Maximalwerten der Simulation mit den Versuchspulsen.

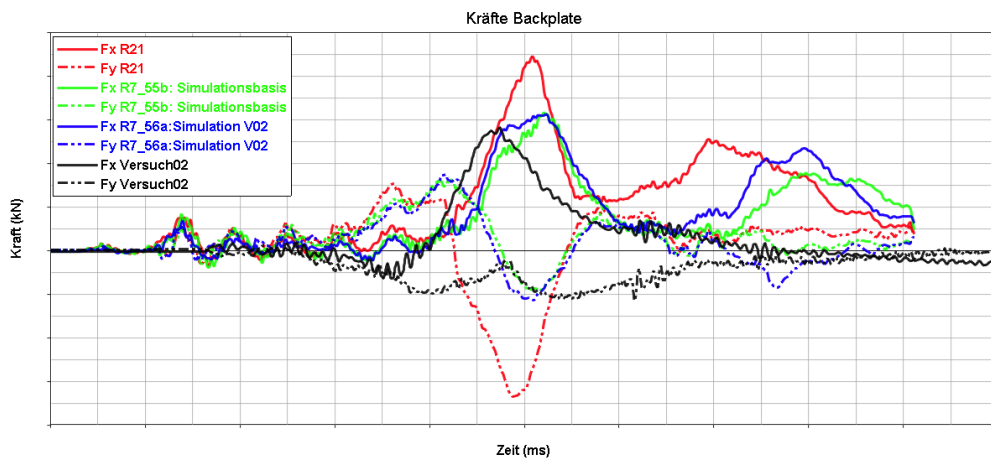


Abbildung 6.41: Vergleich: Kräfte Rücken

Die Momente steigen im Versuch zu früh an und sind um ca. 50% zu niedrig.

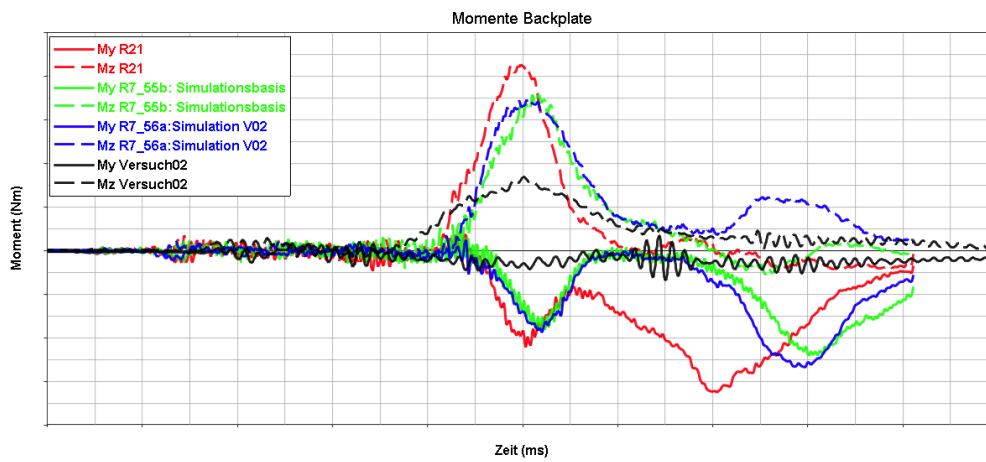


Abbildung 6.42: Vergleich: Momente Rücken

Bei der Rippeneindrückung unten zeigt sich gegenüber der Simulation des Versuchs ein zeitlicher Versatz des Anstiegs von 10ms. Die Maximalwerte unterscheiden sich in Wert und Zeitpunkt, jedoch nur geringfügig.

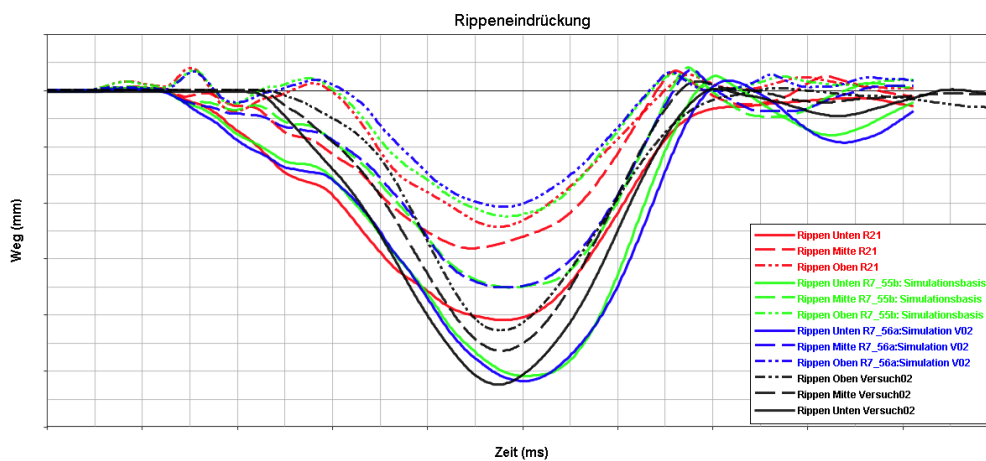


Abbildung 6.43: Vergleich: Rippeneindrückung

Die Schambeinkraft steigt zuerst wie in den Simulationen an, bricht jedoch nach etwa 40ms weg.

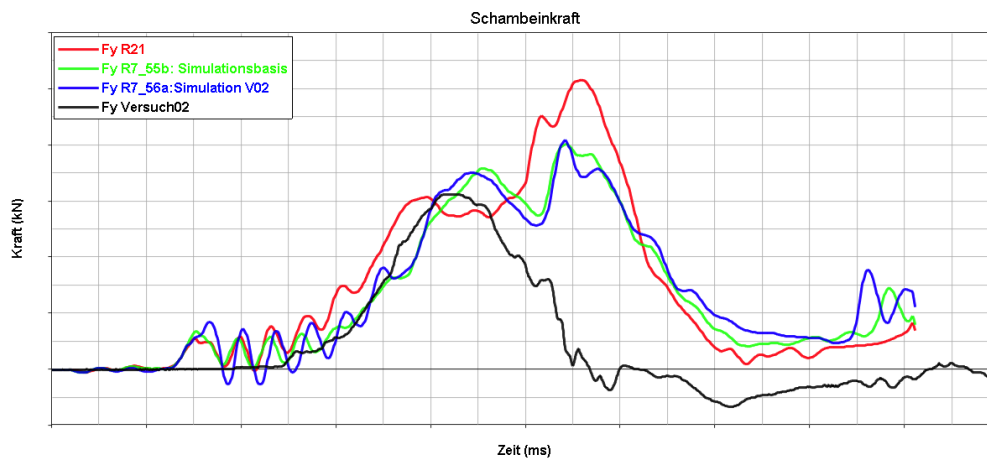


Abbildung 6.44: Vergleich: Schambeinkraft

Die aufgetretenen teils sehr großen Abweichungen zwischen Versuch und Simulation des Versuchs deuten auf Unterschiede des FE-Modells zum Real-Versuch hin. Ein großer Einflussfaktor auf das Ergebnis ist der Validierungsstand des Gesamtfahrzeugmodells, da dieser als Basis für die Auslegung des Versuchs dient. Weiters hat das Verhalten der Detailkomponenten, z.B. der Reißnaht des Sitzes oder die Position des Seitenairbags großen Einfluss. So könnten durch eine andere Position des Seitenairbags Vents verdeckt werden, sodass es zu Unterschieden beim Innendruck kommt, oder auch die Ankoppelung des Airbags an den Thorax unterschiedlich sein.

Um die Abweichungen des Modells zu bestimmen, werden die Ersatzversuche in weiterer Folge mit einem Gesamtfahrzeugversuch verglichen.

6.2.2.7 Zusätzliche Untersuchungen

Zur Abklärung woher die großen Abweichungen zwischen Ersatzversuch und Simulation kommen, wurden einige mögliche Fehler nachsimuliert.

Da Unterschiede bei der Seitenairbagentfaltung nicht ausgeschlossen werden konnten, wurden folgende Maßnahmen getroffen:

- Triggerzeit des Seitenairbags +2ms
- Triggerzeit des Seitenairbags -2ms
- Gastemperatur Seitenairbag +10%
- Gastemperatur Seitenairbag -10%

Die Triggerzeit wurde variiert, weil der Airbag durch den ersten losfahrenden Zylinder ausgelöst wird. Da die Startzeiten im Versuch 02 2,2ms auseinander liegen, wurden hier 2ms gewählt.

Da die Öffnungen des Seitenairbags, aus denen die Luft entweichen kann, im Versuch möglicherweise durch Bauteile verdeckt wurden, kann es zu Unterschieden des Innendrucks im Vergleich zur Simulation kommen. Um den veränderten Innendruck zu simulieren, wurde hier die Gastemperatur des Airbags variiert.

Auf Grund der anderen Positionierung der Kopfabstützung im Versuch wurde der EPP-Schaum in der Simulation 7mm näher am Dummykopf positioniert.

Die aufgezählten Varianten wurden simuliert und mit der Simulationsbasis und der Gesamtfahrzeugsimulation verglichen. Stellvertretend seien hier die Ergebnisse der Schulterkraft, Abbildung 6.45, dargestellt. Wie durch die Sensibilitätsanalyse bekannt ist, reagiert die Schulterkraft relativ sensibel auf Änderungen.

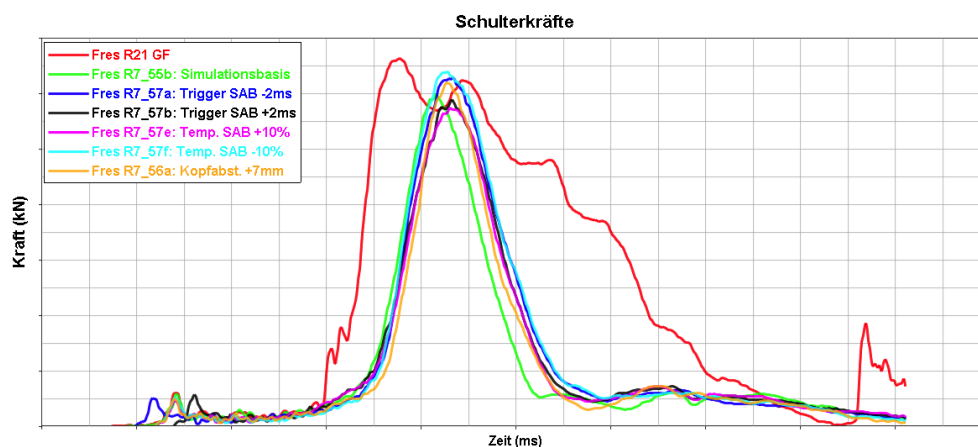


Abbildung 6.45: Maßnahmen: Schulterkräfte

Die Variationen der Triggerzeit, der Gastemperatur und der Kopfabstützungsposition führten zu keiner Verbesserung der Insassenbelastungswerte. Alle Simulationen weisen nur minimal abweichende Ergebnisse auf.

Weiters wurden auch die Airbagentfaltungen der vergleichenden Simulationen miteinander verglichen. Da die Zylinder in jedem Versuch andere Startzeitpunkte haben, variiert auch die Position des Sitzes gegenüber der Tür, das zu unterschiedlicher Airbagentfaltung führen kann. Abbildung 6.46 zeigt, dass keine Unterschiede in der Airbagentfaltung auftreten, sondern nur ein geringer zeitlicher Versatz, welcher auf die verschiedenen Startzeiten der Zylinder und den damit unterschiedlichen Positionen des Sitzes, zurückzuführen sind.

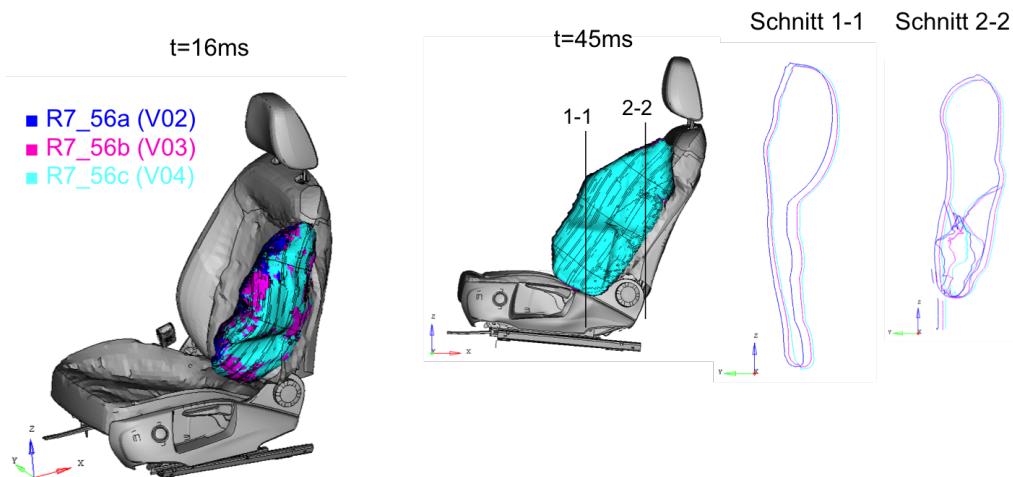


Abbildung 6.46: Vergleich der Airbagentfaltung

Anschließend wurde zusätzlich zu den Beschleunigungen der Zylinder und des HyperG die Beschleunigungen der Sensoren aus dem Versuch im Ersatzmodell aufgeprägt. Dadurch wird der Versuch noch genauer nachgestellt. Hierzu wurde der Versuch 03 ausgewählt, da bei Versuch 02 teilweise Sensorsignale fehlerhaft waren. Die Auswertungen der Insassenbelastungen sind in den Abbildungen 6.47 bis 6.52 dargestellt.

Die Bauchkraft steigt durch diese Maßnahme nur leicht an und weicht noch immer stark vom Versuchsergebnis ab.

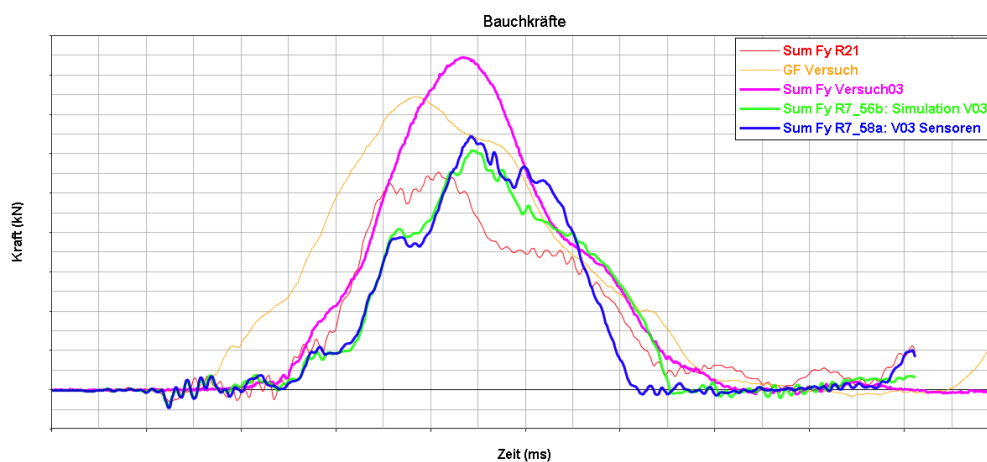


Abbildung 6.47: Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Bauchkräfte

Bei der Schulterkraft zeigt sich eine gute Übereinstimmung des Maximalwertes mit dem Versuch. Jedoch tritt ein zeitlicher Versatz von etwa 3ms auf.

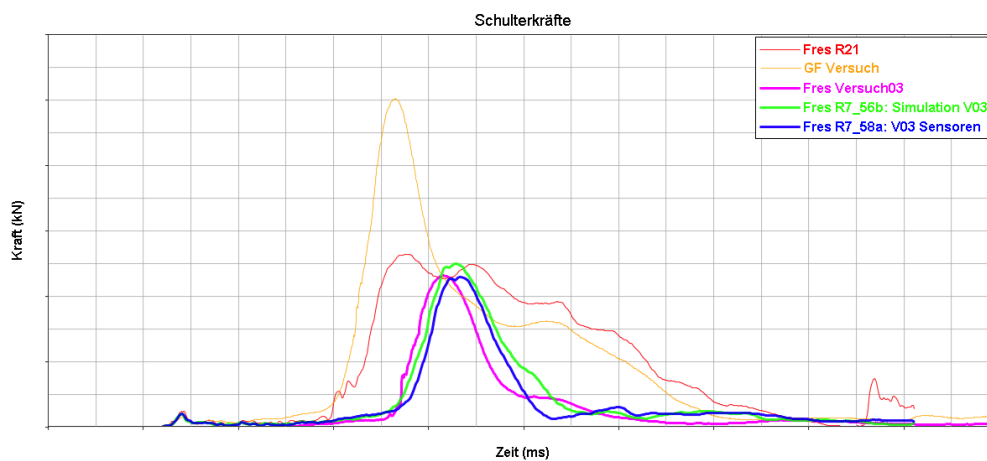


Abbildung 6.48: Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Schulterkräfte

Die Kräfte und Momente im Rücken steigen in der Simulation mit den Sensorbeschleunigungen früher an und erreichen einen höheren Maximalwert als im Versuch.

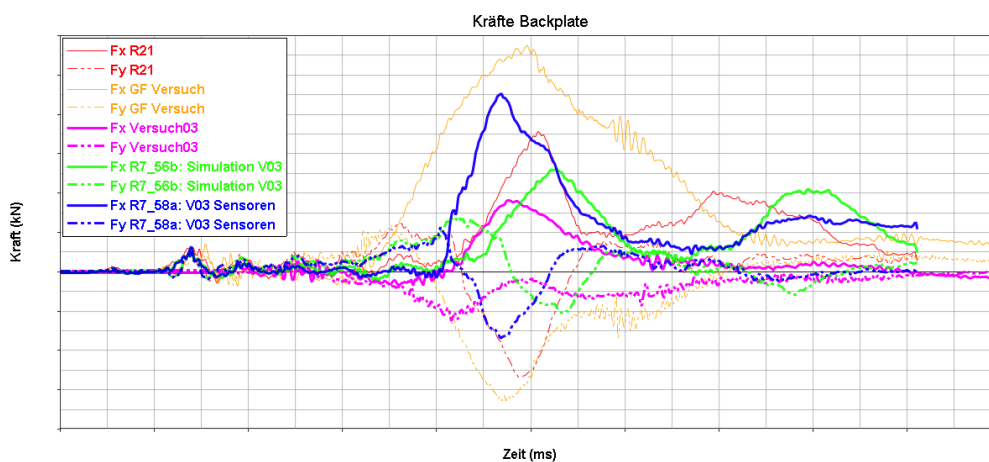


Abbildung 6.49: Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Kräfte Rücken

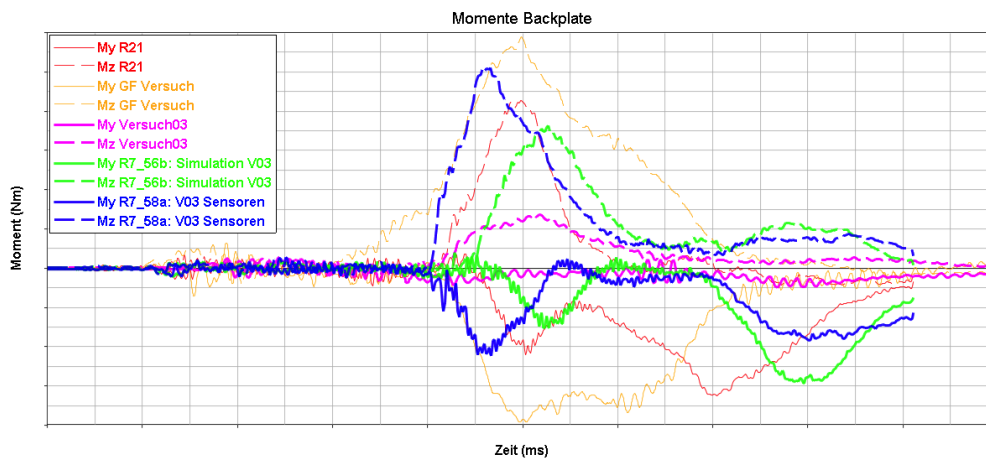


Abbildung 6.50: Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Momente Rücken

Bei den Rippeindrückungen zeigen sich stark erhöhte Maximalwerte im Vergleich zum Versuch.

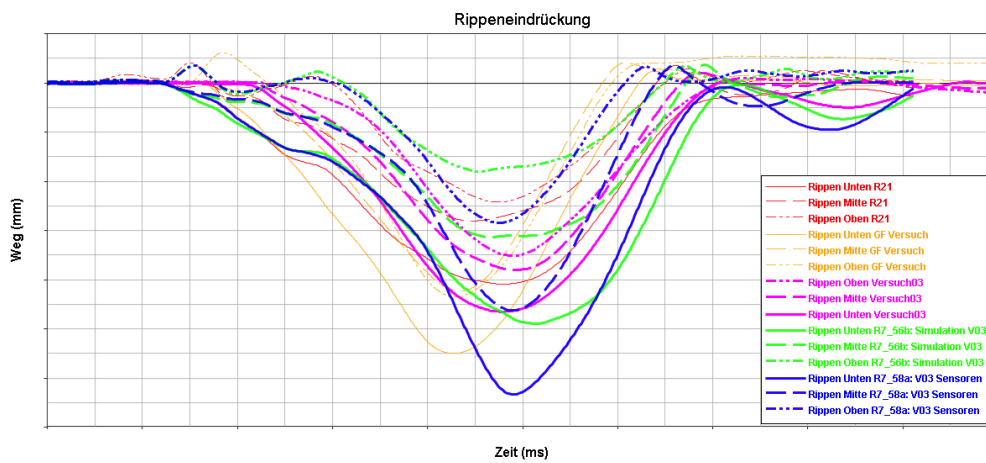


Abbildung 6.51: Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Rippeneindrückung

Bei der Schambeinkraft zeigen sich nur geringfügige Unterschiede im Vergleich zur Simulation des Versuchs ohne aufgeprägte Beschleunigungen auf die Sensoren.

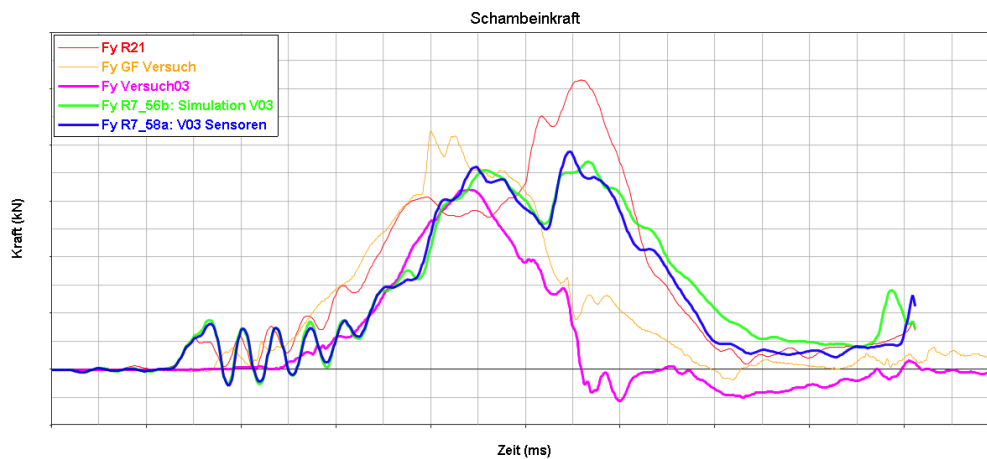


Abbildung 6.52: Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Schambeinkraft

Die aufgetretenen Abweichungen könnten z.B. durch ein anderes Verhalten der Sitz-Reißnaht oder einer unterschiedlichen Seitenairbagposition auftreten. Durch verdeckte Vents kann es z.B. zu einem erhöhten Innendruck des Airbags kommen.

Durch keine der zusätzlichen Untersuchungen konnten die Tendenzen in Hinsicht auf die Dummy-Versuchsergebnisse verbessert werden.

Zur weiteren Untersuchung der auftretenden Abweichungen bei den Insassenbelastungswerten wurde auch die Gurtstraffung der Versuche miteinander verglichen. Abbildung 6.53 zeigt den Vergleich der Gurtstraffung zwischen dem GF-Versuch und dem Ersatzversuch 02. Man sieht im GF-Versuch eine sehr deutliche Gurtstraffung von etwa 15cm. Da im Ersatzversuch keine Gurtmarkierung vorhanden war, konnte die Gurtstraffung nicht genau bestimmt werden. Man erkennt am Versuchsvideo keine Gurtstraffung. Unter Umständen kommt dieser Unterschied durch eine fehlerhafte Auslösung der Gurtstraffung zustande.

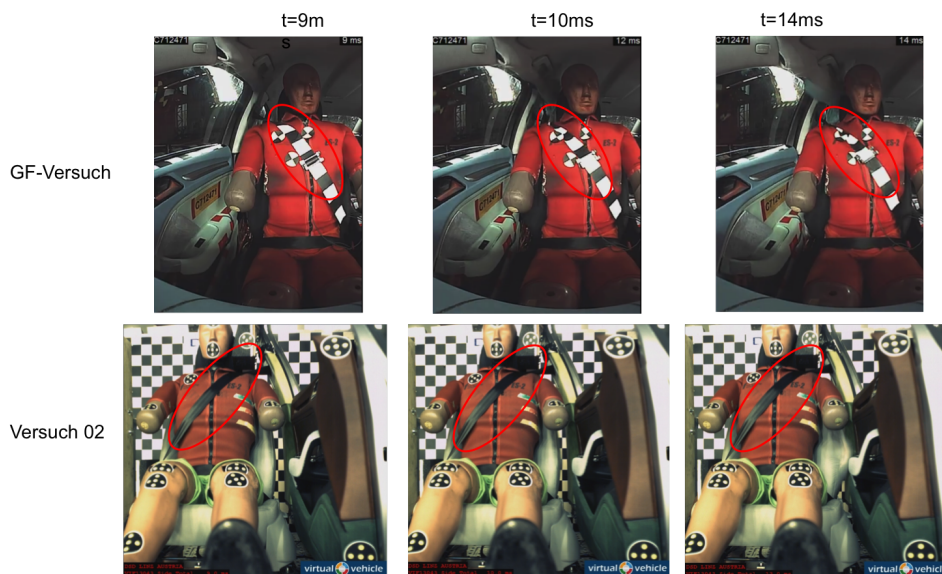


Abbildung 6.53: Gurtstraffung Vergleich

Weiters wurde auch die GF-Simulation mit der Auslegungsbasis und der Simulation vom Versuch 02 verglichen. Dieser Vergleich ist in Abbildung 6.54 dargestellt. In der Gesamtfahrzeugsimulation und der Auslegungsbasis wird der Gurt 16cm eingezogen, in der Simulation des Versuchs 02 etwa 15cm. Der Unterschied ist unter Umständen auf die neue Dummyposition und das angepasste Gurtmodell zurückzuführen, da der Dummy nun etwas anders im Sitz sitzt. Der Unterschied zwischen den Simulationen ist jedoch nicht so ausgeprägt wie in den Versuchen.

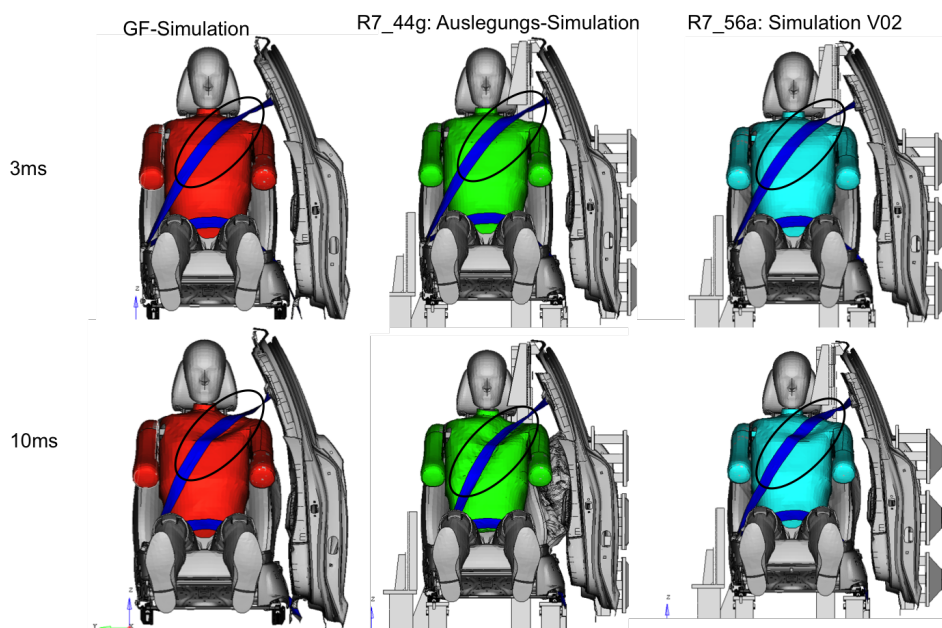


Abbildung 6.54: Gurtstraffung Simulationsvergleich

Zusätzlich zur Gurtstraffung wurde auch die Zündung und die Entfaltung des Seitenairbags verglichen. Durch das frühe Losfahren des Zylinders 2, wird auch die Airbagzündung früher ausgelöst. Da die Sitzposition gegenüber der Tür auch anders als beim gleichzeitigen Losfahren der Zylinder in der Simulation ist, ergibt sich ein anderer Entfaltungsraum für den Airbag. Abbildung 6.55 zeigt den Vergleich zwischen GF-Versuch und Ersatzversuch. Die Airbagzündungen wirken ident.

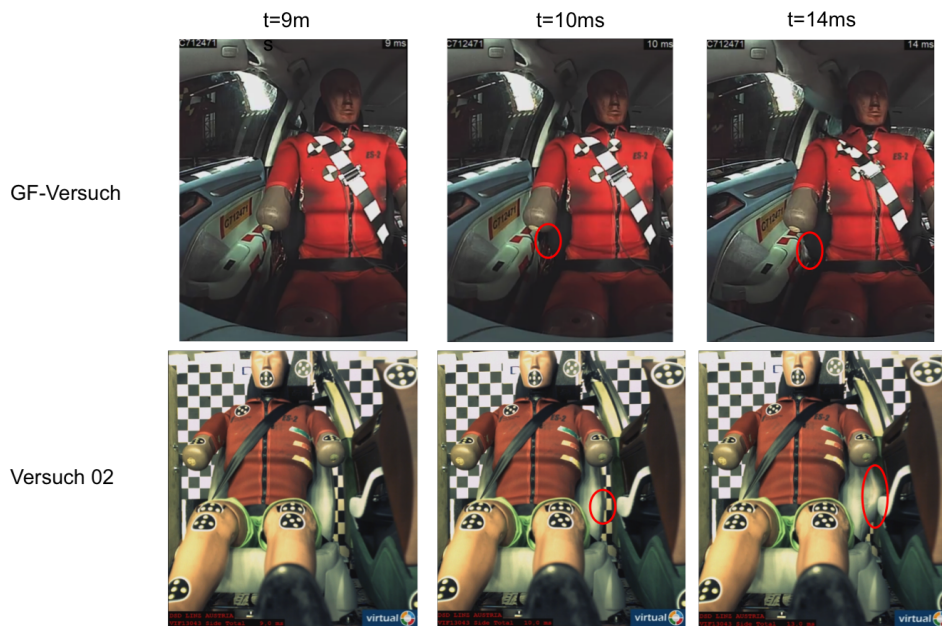


Abbildung 6.55: Airbag Versuchsvergleich

Abbildung 6.56 zeigt den Vergleich der Simulationen. Die Zündung und das Austreten des Airbags sind in den Simulationen ident. In den Versuchen wirkt es jedoch so, als würde der Seitenairbag nach unten hin aus dem Sitz austreten. In den Simulationen erfolgt der Austritt eindeutig nach oben hin. Dies kann man auf Fehler im Airbagmodell oder der Reißnaht des Sitzes zurückführen.

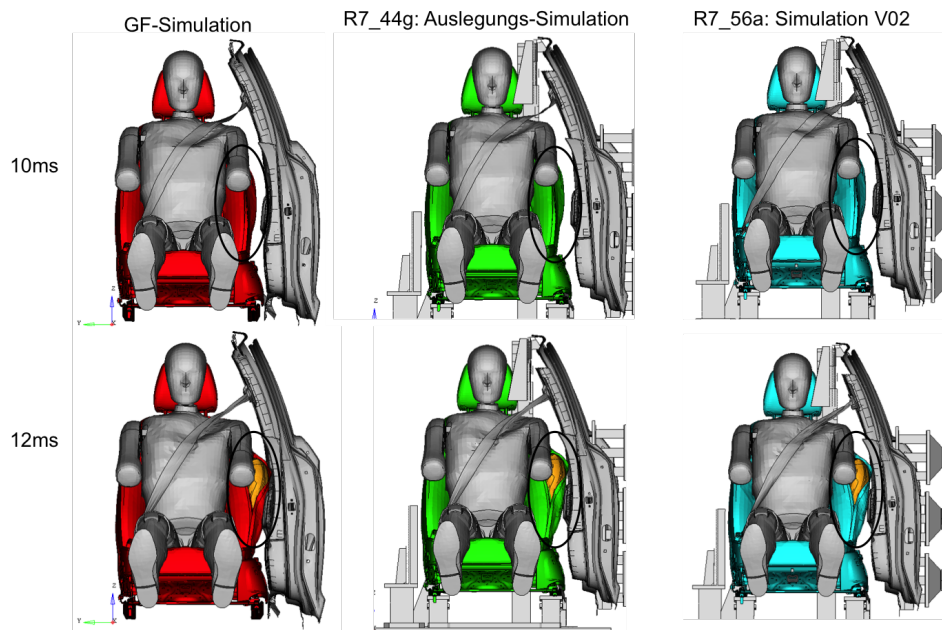


Abbildung 6.56: Airbag Simulationsvergleich

6.2.2.8 Vergleich Versuche 02-04 mit GF-Versuch

Da aus den bisherigen Auswertungen nicht zu erkennen war, woher die großen Abweichungen der Insassenbelastungswerte stammen, wurden die Versuchsergebnisse mit den Ergebnissen eines Gesamtfahrzeugversuchs verglichen.

Dieser Vergleich ist in den folgenden Abbildungen 6.57 bis 6.62 zu sehen. Bei den Bauchkräften erkennt man im Gesamtfahrzeugversuch, sowie im Ersatzversuch, einen deutlich zu hohen Maximalwert.

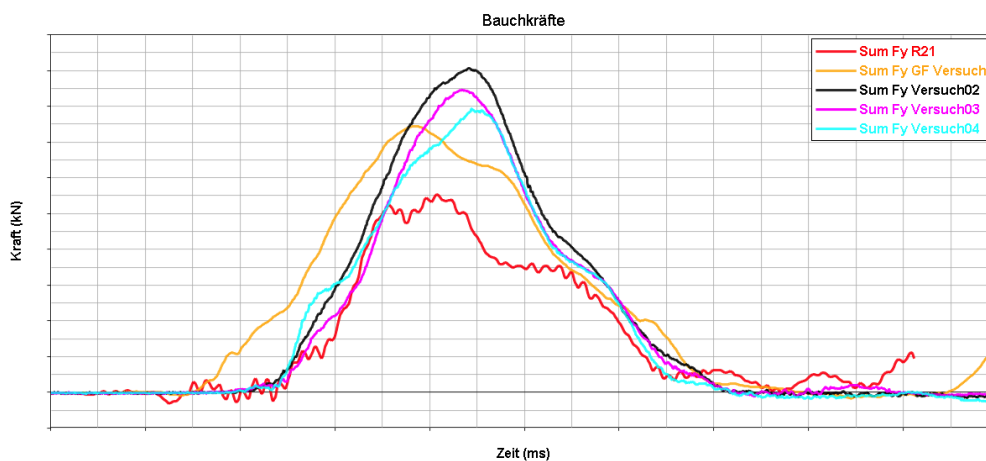


Abbildung 6.57: Vergleich mit GF-Versuch: Bauchkräfte

Bei der Schulterkraft zeigt sich ein früherer und steilerer Anstieg im Gesamtfahrzeugversuch als in der Simulation. Weiters ist der Maximalwert ungefähr doppelt so hoch. Bei dem Ersatzversuch zeigt sich im Gegensatz dazu ein flacherer Anstieg und ein niedrigerer Maximalwert.

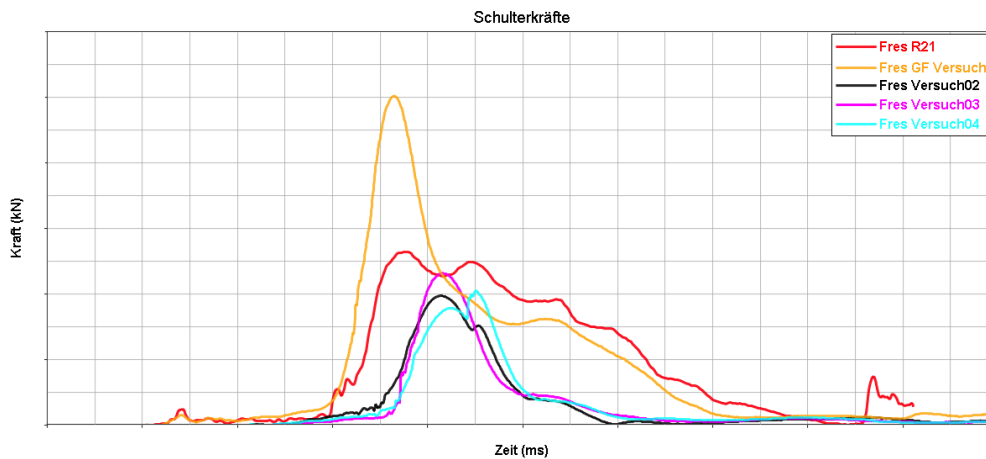


Abbildung 6.58: Vergleich mit GF-Versuch: Schulterkräfte

Bei den Kräften und Momenten im Rücken ergeben sich im Gesamtfahrzeugversuch ebenfalls deutlich höhere Werte als in der Simulation. Die Ergebnisse aus den Ersatzversuchen sind jedoch deutlich zu niedrig.

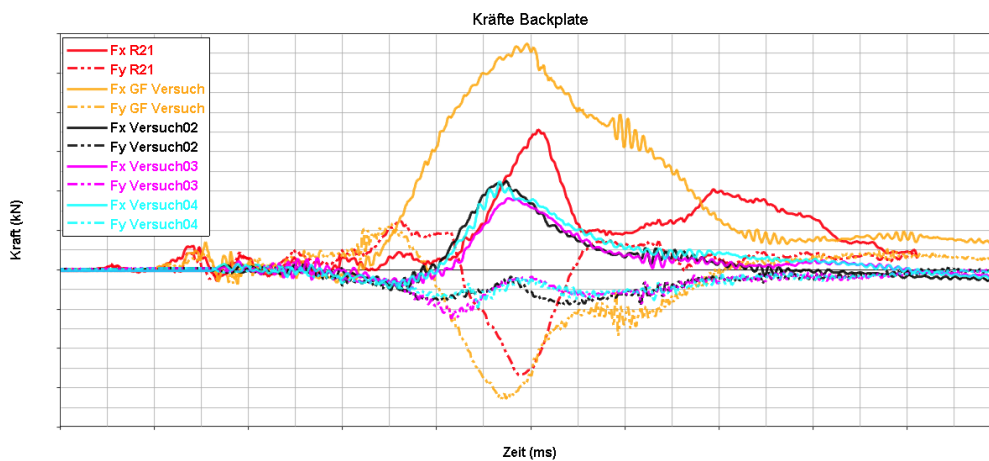


Abbildung 6.59: Vergleich mit GF-Versuch: Kräfte Rücken

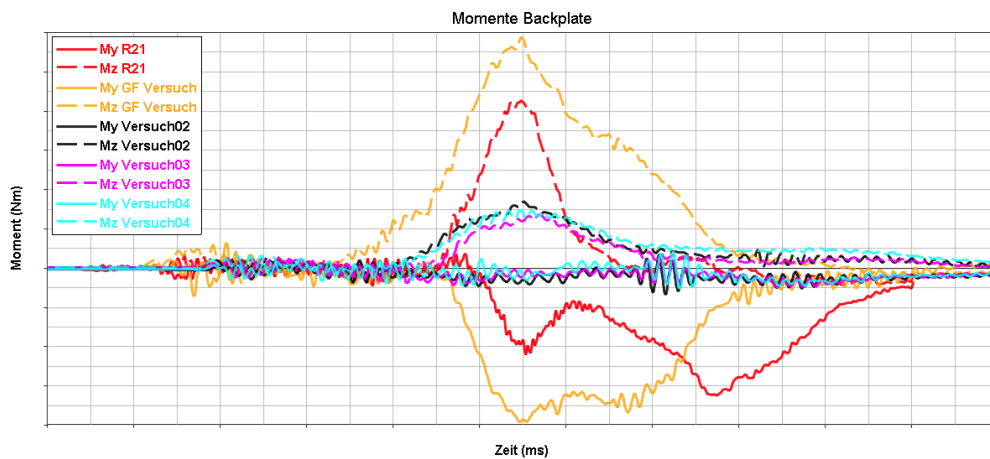


Abbildung 6.60: Vergleich mit GF-Versuch: Momente Rücken

Die Rippeneindrückung ist im Gesamtfahrzeugversuch, sowie auch in den Ersatzversuchen deutlich höher als in der Simulation. Zwischen den Versuchen tritt jedoch ein zeitlicher Versatz auf. Das Maximum wird in der Gesamtfahrzeugsimulation um ca. 10ms früher erreicht.

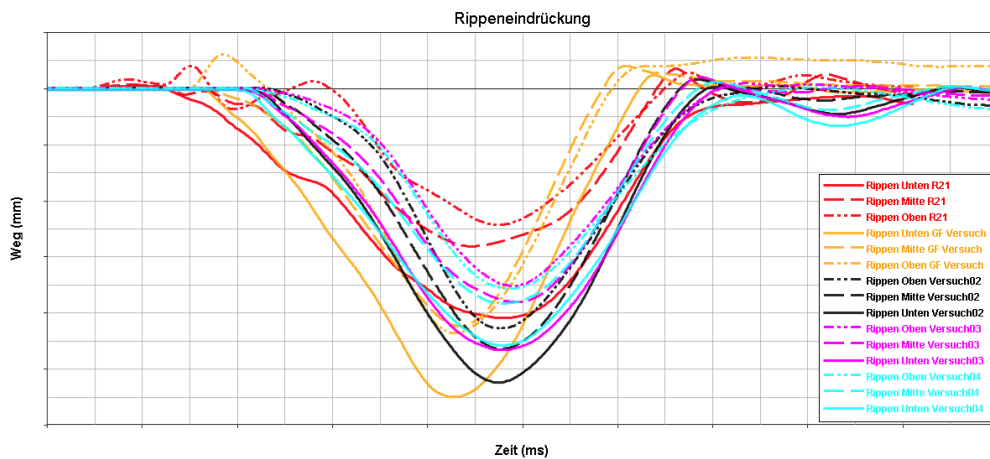


Abbildung 6.61: Vergleich mit GF-Versuch: Rippeneindrückung

Das Wegbrechen der Schambeinkraft in den Ersatzversuchen ist auch im Gesamtfahrzeugversuch deutlich zu erkennen, jedoch ist der Maximalwert in den Ersatzversuchen etwas niedriger.

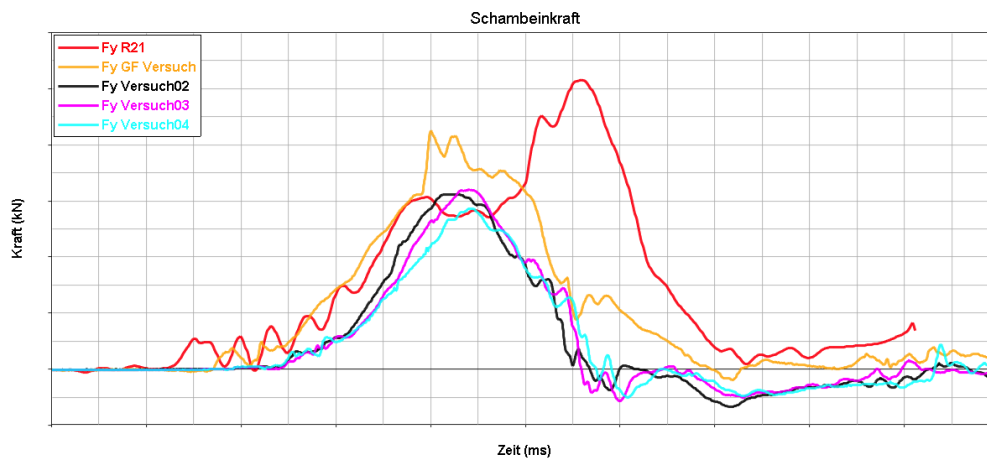


Abbildung 6.62: Vergleich mit GF-Versuch: Schambeinkraft

Durch diese sehr großen Abweichungen zwischen GF-Versuch und GF-Simulation, ist nicht bekannt wie genau die Ersatzversuchsimulationen mit den Versuchen nachgestellt werden können.

6.2.2.9 Abschließender Kommentar

Die Vergleiche der Ersatzversuche mit der Simulationsbasis, sowie der Gesamtfahrzeugsimulation mit dem Gesamtfahrzeugversuch zeigen deutliche Unterschiede in den Ergebnissen der Insassenbelastungswerte. Bei den Bauchkräften, der Rippen-eindrückung und der Schambeinkraft sind in den Ersatzversuchen die gleichen Tendenzen zu erkennen wie im Gesamtfahrzeugversuch. Die sehr großen Abweichungen der Ergebnisse sind größtenteils darauf zurückzuführen, dass im FE-Modell nicht alle Phänomene der Realität abgebildet werden können. Daher erkennt man nicht, ob die Abweichungen durch äußere Fehler oder durch Fehler in der Auslegung zustande kommen.

7 Fazit

7.1 Zusammenfassung

Ziel dieser Masterarbeit ist die Ausarbeitung einer Methode zur Entwicklung eines Komponentenprüfstandes für die Entwicklung von Rückhaltesystemen. Als Ausgangsbasis dient ein Gesamtfahrzeugsimulationsmodell und Versuchsdaten, welche von der Audi AG zur Verfügung gestellt wurden. Das Simulationsmodell wurde auf die geforderten Komponenten reduziert und die Belastung auf den Insassen durch Intrusionen des Türinnenblechs und der B-Säule nachgestellt. Anschließend wurden die Knotenverschiebungen durch Intrusionszylinder ersetzt und die Vorgabekurven optimiert. Ausgelegt wurde das Modell für das Seitencrashsystem ASIS der Firma DSD. Nach der Auslegung wurden 4 Realversuche mit dem ASIS durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Versuchen wurden anschließend mit dem Ersatzversuchmodell verglichen und bewertet.

7.2 Ergebnis

Mit der in dieser Diplomarbeit beschriebenen Methode kann die Insassenbelastung bei einem Seitencrash mit Hilfe eines Komponentenprüfstandes relativ einfach nachgebildet werden. Dabei ist zu beachten, dass die Intrusionszylinder im Falle einer geringeren Beschleunigung als der HyperG einfach stehenbleiben, da sie systembedingt nicht zurückfahren können. Bei dem nachgestellten Seitencrash konnte jedoch festgestellt werden, dass das Stehenbleiben der Zylinder in diesem Fall keinen großen Einfluss auf die Insassenbelastung hat. Bei anderen Fahrzeugtypen oder Lastfällen wie z.B. einem Poletest, kann das Stehenbleiben der Zylinder jedoch starken Einfluss auf die Belastungswerte haben.

Da das Referenzmodell nicht alle Phänomene der Realität abbildet, traten große Abweichungen bei den Insassenbelastungswerten zwischen Ersatzversuchsimulation und Ersatzversuch auf.

Die, in dieser Diplomarbeit zusätzlichen Untersuchungen zur Abklärung der Abweichungen, konnten keine Tendenzen zur Verbesserung der Belastungswerte aufgezeigt

werden. Um bessere Übereinstimmungen zwischen den Dummybelastungen von Ersatzversuch und Simulation zu erhalten, müsste das verwendete Modell auf mögliche Fehler, z.B. im Versagensverhalten der Komponenten, untersucht werden.

Die Versuchsergebnisse sind jedoch gut reproduzierbar und der abgeleitete Ersatzversuch kann daher gut in der Fahrzeugentwicklung eingesetzt werden. Durch Austauschen einzelner Komponenten, wie z.B. des Seitenairbags oder des Sitzes, kann die Belastung auf den Insassen untersucht werden.

7.3 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden 4 Versuche durchgeführt. Bis auf den 1. Versuch, der aufgrund der stark abweichenden Startzeiten der Intrusionszylinder für ungültig erklärt wurde, sind nur geringe Abweichungen bei den Ergebnissen der Insassenbelastungen zwischen den Versuchen aufgetreten. Bei gleichem Prüfstandsaufbau und Reglereinstellungen lassen sich somit gut reproduzierbare Ergebnisse erzielen. Eine gute Reproduzierbarkeit ist wichtig, um die Auswirkungen auf den Insassen durch z.B. Änderung von einzelnen Komponenten, direkt auf diese zurückführen zu können.

7.4 Übertragbarkeit der Methode

7.4.1 Andere Fahrzeuge

Aufgrund der unterschiedlichen Abmessungen unterschiedlicher Fahrzeugtypen, kann die, in dieser Diplomarbeit gezeigte, Konstruktion des Prüfstandsaufbaus, aufgrund der fehlenden Verstellbarkeit, nicht für andere Fahrzeuge verwendet werden. Hierfür müsste ein komplett verstellbarer Prüfstandsaufbau konstruiert werden, was eine deutliche Zunahme des Gesamtgewichts bedeuten würde. Auch bei einem verstellbaren Prüfstandsaufbau müssten die Adapterplatten für das Türinnenblech und die B-Säule bei jedem Fahrzeug angepasst werden. Der grundsätzliche Aufbau des Prüfstandes kann jedoch für alle Fahrzeugtypen verwendet werden. Auch die Beschleunigungspulse für die Intrusionszylinder und den HyperG, sowie die Positionierung der Intrusionszylinder, müssten für jedes Fahrzeug und jeden Lastfall wegen den unterschiedlichen Abmessungen und Konfigurationen, neu ermittelt werden. Die Pulse können jedoch, mit der in dieser Diplomarbeit beschriebenen Vorgehensweise, ermittelt werden.

7.4.2 Anderer Lastfall

Soll ein Ersatzversuch für einen anderen Lastfall ausgelegt werden, kann die in dieser Diplomarbeit beschriebene Methode verwendet werden. Die Positionierung der Adapterplatten muss jedoch dem Lastfall und den betrachteten Belastungswerten angepasst werden. So könnten bei einem Poletest z.B. die Intrusionszylinder direkt übereinander positioniert werden und die Adapterplatten an die Pfahlkontur angepasst werden. Auch bei Barrierentests müssen die Beschleunigungspulse für jeden Lastfall neu aus der Gesamtfahrzeugsimulation ermittelt werden, da es je nach Lastfall zu unterschiedlichen Intrusionen kommt.

7.4.3 Andere Insassen

Die Methode ist sehr gut auf andere Insassen übertragbar, da die Intrusionen von Tür und B-Säule sich dadurch nicht ändern. Es ist jedoch darauf zu achten, ob sich durch andere Insassen eine andere Sitzposition ergibt. Ist dies der Fall, müssen die Positionen der Intrusionszylinder und die Beschleunigungsverläufe neu ermittelt werden. Ändert sich die Sitzposition nicht, kann auch der Prüfstands Aufbau übernommen werden.

Auch die Beschleunigungspulse für die Intrusionszylinder und den HyperG, sowie die Positionierung der Intrusionszylinder, müssten für jedes Fahrzeug und jeden Lastfall, auf Grund der unterschiedlichen Abmessungen und Konfigurationen, neu ermittelt werden. Die Pulse können jedoch, mit der in dieser Diplomarbeit beschriebenen Vorgehensweise, ermittelt werden.

7.5 Einschränkungen

Auf Grund der Leistungsgrenzen und dem maximalen Hub der Intrusionszylinder und des HyperG, können nicht alle beliebigen Pulse im Versuch nachgefahren werden. Für einen Poletest sind die großen Intrusionen des Pfahls möglicherweise nicht mit den Intrusionszylindern nachzustellen. Überschreiten die Vorgabekurven den maximalen Ruck der Intrusionszylinder, so können die Vorgabekurven gut mit dem Optimierungstool angepasst und der Ruck eingehalten werden.

Weiters stellt die begrenzte Anzahl der Intrusionszylinder von 9 Stück, die am ASIS montiert werden können, eine Einschränkung dar. Mit den 9 Zylinder kann jedoch schon eine sehr große Fläche und somit alle Fahrzeugtypen, abgedeckt werden. Das Gewicht des ASIS wird bei Verwendung von 9 Zylindern jedoch sehr hoch. Es muss

darauf geachtet werden, dass das Zuladegewicht das zulässige Zuladegewicht des HyperG nicht übersteigt.

Bei diesem On-Sled-System ist zu beachten, dass die Beschleunigungen der Intrusionszylinder von der Beschleunigung des HyperG abhängig sind. Das bedeutet, dass die Geschwindigkeit der Intrusionszylinder nicht geringer als die Geschwindigkeit des HyperG sein kann, da die Intrusionszylinder systembedingt nicht zurück fahren können. In so einem Fall würden die Intrusionszylinder stehen bleiben und von HyperG mitgeschoben werden. Dies führt zu unerwünscht hohen Intrusionen. Um das Stehenbleiben der Intrusionszylinder zu vermeiden, müsste ein Off-Sled-System mit einem weiteren Intrusionszylinder anstelle des HyperG verwendet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass bei einem Off-Sled-System die Intrusionszylinder einen größeren Weg, in diesem Fall wären es ca. 700mm statt 400mm, zurücklegen müssen.

8 Ausblick

Die entwickelte Methode zur Darstellung der Insassenbelastung mit einem Komponentenprüfstand, kann zur Entwicklung von Rückhaltesystemen eingesetzt werden. Dadurch könnten viele sehr teure Prototypenversuche mit vollständigen Fahrzeugen eingespart werden.

Diese Methode liefert reproduzierbare Ergebnisse in den Versuchen und kann auch auf andere Seitencrashversuche, wie z.B. Pfahltests, übertragen werden. Der in dieser Diplomarbeit entwickelte Prüfstandsaufbau wurde zum Nachweis der Funktion erstmal nur für ein Fahrzeug entwickelt. Um den Versuch auf andere Fahrzeugtypen übertragbar zu machen und die unterschiedlichen Abmessungen der Fahrzeugkomponenten zu berücksichtigen, müsste ein variabler Prüfstandsaufbau entwickelt werden. Dafür müsste untersucht werden, für welche Fahrzeugtypen der Prüfstandsaufbau verwendet und welche Variabilitäten dafür notwendig wären.

Der aktuelle Prüfstandsaufbau, kann auf Grund der guten Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, für Komponententests verwendet werden. Z.B. könnte der Aufbau in der Seitenairbagentwicklung eingesetzt werden, indem man verschiedene Airbags in den Sitz einbaut. Gegenüber Versuchen mit Prototypen ist der Ersatzversuch deutlich günstiger umzusetzen und somit lassen sich viele teure Prototypenversuche einsparen.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Impaktoren-Test	2
1.2	Schlittenanlage für Seitenkollisionen nach TRW [1]	4
1.3	Bestehende Schlittenanlage Magna Steyr [10]	4
1.4	Konzept der Schlittenanlage nach [10]	5
1.5	Schlittenanlage [10]	5
1.6	Seitencrashsystem ASIS auf HyperG [3]	7
1.7	ASIS Intrusionszylinder [3]	8
1.8	ASIS On-Sled Konzept nach [3]	9
1.9	ASIS Off-Sled Konzept nach [3]	10
1.10	Messring Seitenaufprall-Simulator SIS nach [5]	11
1.11	ASIS Konfiguration [2]	12
1.12	Anzahl Intrusionszylinder [2]	12
1.13	Anordnung Intrusionszylinder [2]	13
1.14	Schema einer Schlittenanlage nach [9]	15
1.15	Intrusionsprofile nach [9]	15
1.16	Insassenbelastung bei verschiedenen Intrusionsprofilen nach [9]	16
2.1	Aufprall-Konfiguration	19
2.2	Japan-NCAP nach [6]	20
2.3	Verlauf Japan-NCAP	20
2.4	Sensoren im Dummy	21
2.5	Vergleich Kinematik GF-Versuch mit GF-Simulation	22
2.6	Vergleich Bauchkräfte	23
2.7	Vergleich Schulterkraft	23
2.8	Vergleich Kräfte Rücken	24
2.9	Vergleich Momente Rücken	24
2.10	Vergleich Rippeneindrückung	24
2.11	Vergleich Schambeinkraft	25
3.1	Komponenten	27
3.2	reduziertes FE-Modell	28
3.3	Knotenverschiebungen Türinnenblech und B-Säule	28
3.4	Anbindungspunkte Sitz	29
3.5	Knotenbewegungen Sitz	29

3.6	Verschiebung des Gurtendbeschlags	30
3.7	Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Bauchkräfte	31
3.8	Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Schulterkraft	31
3.9	Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Kräfte Rücken	32
3.10	Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Momente Rücken	32
3.11	Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Rippeneindrückung	33
3.12	Ersatzversuch mit Knotenverschiebungen: Schambeinkraft	33
3.13	Kopfbeschleunigung	34
3.14	Thoraxbeschleunigung	34
3.15	Beckenbeschleunigung	34
3.16	Abweichung der B-Säulen-Deformation	35
3.17	zusätzliche Knotenverschiebungen und Einbau des Versteifungsteils	36
3.18	zus. Knotenverschiebungen, Versteifungsteil: Kräfte Rücken	36
3.19	zus. Knotenverschiebungen, Versteifungsteil: Momente Rücken	37
3.20	Abweichung der Sitzbewegung innenseitig	37
3.21	Gesamtfahrzeug ohne Mittelkonsole und Ersatzversuch mit Mittelkonsole	38
3.22	GF ohne, Ersatzversuch mit Mittelkonsole: Kräfte Rücken	38
3.23	GF ohne, Ersatzversuch mit Mittelkonsole: Momente Rücken	39
3.24	Aufliegen des Kopfairbags auf der Schulter	39
3.25	Gesamtfahrzeug ohne Kopfairbag und Ersatzversuch mit Kopfairbag	40
3.26	GF ohne, Ersatzversuch mit Kopfairbag: Schulterkraft	41
3.27	GF ohne, Ersatzversuch mit Kopfairbag: Kräfte Rücken	41
3.28	GF ohne, Ersatzversuch mit Kopfairbag: Momente Rücken	42
3.29	Abweichung der Armbewegung	42
3.30	zusätzliche Knotenverschiebungen im Bereich des Armes	43
3.31	zus. Knotenverschiebungen Armhöhe: Schulterkraft	43
3.32	Verbesserung: Bauchkräfte	44
3.33	Verbesserung: Schulterkraft	44
3.34	Verbesserung: Kräfte Rücken	45
3.35	Verbesserung: Momente Rücken	45
3.36	Verbesserung: Rippeneindrückung	46
3.37	Verbesserung: Schambeinkraft	46
3.38	Knotenverschiebungen	47
4.1	Reduktion der Bauteile	48
4.2	Reduktion Mittelkonsole und Kopfairbag: Kräfte Rücken	49
4.3	Reduktion Mittelkonsole und Kopfairbag: Momente Rücken	49
4.4	Reduktion B-Säule und BSVKL: Bauchkräfte	50
4.5	Reduktion B-Säule und BSVKL: Schulterkraft	50

4.6	Reduktion B-Säule und BSVKL: Kräfte Rücken	51
4.7	Reduktion B-Säule und BSVKL: Momente Rücken	51
4.8	Reduktion B-Säule und BSVKL: Rippeneindrückung	52
4.9	Reduktion B-Säule und BSVKL: Schambeinkraft	52
4.10	Notwendigkeit B-Säule und B-Säulenverkleidung	53
4.11	Verschiebungen Sitz und Türinnenblech in X-, Y- und Z-Richtung . .	54
4.12	Reduktion der Freiheitsgrade	54
4.13	Reduktion Freiheitsgrade: Schulterkraft	55
4.14	Reduktion Freiheitsgrade: Kräfte Rücken	55
4.15	Reduktion Freiheitsgrade: Momente Rücken	56
4.16	Reduktion Freiheitsgrade: Schambeinkraft	56
5.1	Positionierung der Intrusionszylinder	59
5.2	Adapterplatten	60
5.3	zusätzliche Anbindungen und Verschiebungen	61
5.4	Ausgewertete Knoten	62
5.5	Absolute Verschiebung der Intrusionszylinder	62
5.6	Verschiebung des Sitzes	63
5.7	Beschleunigungsverläufe Intrusionszylinder	63
5.8	Beschleunigungsverlauf HyperG	63
5.9	Ersatzversuch mit Intrusionszylindern: Schulterkraft	64
5.10	Ersatzversuch mit Intrusionszylindern: Kinematik	64
5.11	Ersatzversuch mit Intrusionszylindern: Rippeneindrückung	65
5.12	Kopfabstützung	66
5.13	Ersatzstruktur Mittelkonsole	67
5.14	Varianten der Sensibilitätsanalyse	68
5.15	Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 1: Schulterkraft	69
5.16	Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 1: Kräfte Rücken	69
5.17	Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 1: Momente Rücken	70
5.18	Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 2: Bauchkräfte	70
5.19	Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 2: Rippeneindrückung	71
5.20	Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 3: Kräfte Rücken	71
5.21	Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 3: Momente Rücken	72
5.22	Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 3: Rippeneindrückung	72
5.23	Sensibilitätsanalyse Intrusionszylinder 4: Schambeinkraft	73
5.24	Sensibilitätsanalyse HyperG: Schulterkraft	73
5.25	Sensibilitätsanalyse HyperG: Kräfte Rücken	74
5.26	Sensibilitätsanalyse HyperG: Momente Rücken	74
5.27	Sensibilitätsanalyse HyperG: Rippeneindrückung	75
5.28	Sensibilitätsanalyse HyperG: Schambeinkraft	75

5.29	Wege Intrusionszylinder	76
5.30	Geschwindigkeiten Intrusionszylinder	76
5.31	Beschleunigungen Intrusionszylinder	77
5.32	Ruck Intrusionszylinder	77
5.33	Wege HyperG	77
5.34	Geschwindigkeiten HyperG	78
5.35	Beschleunigungen HyperG	78
5.36	Ruck HyperG	78
5.37	optimierte Wege	79
5.38	optimierte Geschwindigkeiten	79
5.39	optimierte Beschleunigungen	80
5.40	optimierter Ruck	80
5.41	Konstruktion Prüfstand	81
5.42	Konstruktion Abstützung	82
5.43	Konstruktion Kopfabstützung	83
5.44	Konstruktion B-Säulen-Aufnahme	83
5.45	Ersatzkonstruktion Mittelkonsole	84
5.46	Konstruktion Sitzanbindungen	84
5.47	Problemstellung Gurtanbindung	85
5.48	Konstruktion Impaktor B-Säule	86
5.49	Konstruktion Impaktoren Türinnenblech	86
5.50	FE-Modell Prüfstandaufbau	88
5.51	FE-Modell Prüfstand	88
5.52	FE-Modell Versteifungselemente	89
5.53	FE-Modell Impaktoren	90
5.54	Ersatzversuch mit Prüfstandaufbau: Bauchkräfte	91
5.55	Ersatzversuch mit Prüfstandaufbau: Schulterkraft	91
5.56	Vergleich B-Säulen-Kinematik	92
5.57	Innendruck Seitenairbag	92
5.58	Ersatzversuch mit Prüfstandaufbau: Kräfte Rücken	93
5.59	Plastische Dehnungen Prüfstandaufbau	94
5.60	Plastische Dehnungen Impaktoren	94
5.61	Wege Variation Intrusionszylinder 1	95
5.62	Variation Puls Z1: Schulterkraft	96
6.1	Zuschnitt Türinnenblech	98
6.2	Zuschnitt B-Säulenverkleidung	98
6.3	Zuschnitt Versteifungsteil	99
6.4	Positionierung Dummy und Sitz	99
6.5	Sensoren Türinnenblech und B-Säule	100

6.6	Sensoren Türverkleidung	100
6.7	Sensoren Sitz	101
6.8	Ersatzversuch ohne Versteifungsteil: Kräfte Rücken	102
6.9	Ersatzversuch ohne Versteifungsteil: Momente Rücken	102
6.10	Ersatzversuch ohne Versteifungsteil: Rippeneindrückung	103
6.11	Beschleunigungsverläufe der Intrusionszylinder	104
6.12	Stehenbleiben der Intrusionszylinder	104
6.13	Wege der Intrusionszylinder	105
6.14	Einschießen: Kräfte Rücken	105
6.15	Einschießen: Momente Rücken	106
6.16	Falsche Position Kopfabstützung	106
6.17	Neue Dummypositionierung	107
6.18	Vergleich der Beschleunigungsverläufe Versuch01	108
6.19	Abweichung des Weges Versuch01	108
6.20	Beschleunigung und Abweichung HyperG Versuch01	109
6.21	Startzeiten Versuch01	110
6.22	Beschleunigungen Intrusionszylinder Versuch01	111
6.23	Abweichung Weg Intrusionszylinder Versuch01	111
6.24	Beschleunigung und Abweichung Weg HyperG Versuch01	112
6.25	Schraube im oberen Bereich der B-Säule	113
6.26	Sensoren E1 und S3	114
6.27	Beschleunigungsverläufe Versuch 02-04	114
6.28	Verschiebung Versuch 02-04	115
6.29	HyperG Versuch 02-04	115
6.30	Startzeiten Versuch 02-04	116
6.31	Verschiebefehler Versuch 02-04	117
6.32	Übersicht Sensoren	118
6.33	Sensorauswertung Versuch 02	118
6.34	Sensorauswertung Versuch 02	119
6.35	Sensorauswertung Versuch 02	119
6.36	Sensorauswertung Versuch 02	120
6.37	Vergleich der Sensorauswertungen	121
6.38	Vergleich Verschiebungen Sensoren mit Zylindern	122
6.39	Vergleich: Bauchkräfte	122
6.40	Vergleich: Schulterkräfte	123
6.41	Vergleich: Kräfte Rücken	123
6.42	Vergleich: Momente Rücken	124
6.43	Vergleich: Rippeneindrückung	124
6.44	Vergleich: Schambeinkraft	125
6.45	Maßnahmen: Schulterkräfte	126

6.46 Vergleich der Airbagentfaltung	127
6.47 Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Bauchkräfte	127
6.48 Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Schulterkräfte	128
6.49 Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Kräfte Rücken	128
6.50 Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Momente Rücken	129
6.51 Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Rippeneindrückung	129
6.52 Sensorbeschleunigungen aufgeprägt: Schambeinkraft	130
6.53 Gurtstraffung Versuchsvergleich	131
6.54 Gurtstraffung Simulationsvergleich	131
6.55 Airbag Versuchsvergleich	132
6.56 Airbag Simulationsvergleich	133
6.57 Vergleich mit GF-Versuch: Bauchkräfte	133
6.58 Vergleich mit GF-Versuch: Schulterkräfte	134
6.59 Vergleich mit GF-Versuch: Kräfte Rücken	134
6.60 Vergleich mit GF-Versuch: Momente Rücken	135
6.61 Vergleich mit GF-Versuch: Rippeneindrückung	135
6.62 Vergleich mit GF-Versuch: Schambeinkraft	136

Literaturverzeichnis

- [1] F. Kramer: Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen, Vieweg+Teubner, 2009
- [2] A. Kinoshita, N. Shigeno, T. Fukushima, Nissan Motor Co. Ltd. Japan, H. Steffan, DSD: Development of a Pole Side Impact Sled Test Method using multiple Actuators, SAE Paper 11-0072, 2012
- [3] F. Nyvelt: ASIS Advanced Side Impact System - Der neue Aufprallsimulator, DSD Linz, 2011
- [4] E. Diesenreither: E-Mail vom 12.11.2013
- [5] V.A.: Messring Seitenaufprall Simulator SIS
www.messring.de/wp-content/uploads/1AD_VD_E.pdf, Abruf: 27.09.2013
- [6] V.A.: SafetyCompanion 2013, Carhs, 2013
- [7] V.A.: Virtual Performance Solution 2009 - Solver Manual, ESI-Group, 2009
- [8] W. Leitgeb: Diplomarbeit Entwicklung einer Prozedur für die Anwendung für Seitencrashsystemen bei der Fahrzeugentwicklung, TU Graz, 2008
- [9] H. Ikeno, M. Okada, N. Suzuki, Mitsubishi Motors Corp.: Side Impact Sled Test Method for Investigation to reduce Injury Index, Paper 266
<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/Files/18ESV-000266.pdf>
Abruf: 14.11.2013
- [10] A. Rieser: Diplomarbeit Entwicklung eines Schlittens zur Simulation des PKW Seitenaufpralls, TU Graz, 2004