



Masterarbeit

Entwicklung eines Leichtbauschlittens für die
physische Erprobung von Rückhaltesystemen

Verfasser:

Roland Rieger, BSc

Magna Steyr Engineering AG & CO KG

Betreuer: Dipl.-Ing. Bernhard Fellner, Magna Steyr Engineering & CO KG
 Dipl.-Ing. Patrick Rossbacher, TU Graz, Institut für Fahrzeugtechnik

Graz, Jänner 2016

Danksagung

Diese Masterarbeit wurde in Zusammenarbeit mit Magna Steyr Engineering AG & CO KG erstellt.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Dipl.- Ing. Johannes Wernig, Abteilungsleiter der Fahrzeugsicherheit bei Magna Steyr Engineering AG & CO KG am Standort Graz, für die Bereitstellung der Ressourcen und somit das Ermöglichen dieser Arbeit.

Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Dipl. Ing. Bernhard Fellner. Er hatte stets Zeit für eine fachliche Diskussion und war während der gesamten Zeit sehr um den Erfolg dieses Projektes bemüht. Außerdem scheute er keine Mühen mir die Finite Elemente Simulation näher zu bringen und hat somit einen wesentlichen Aspekt dieser Arbeit überhaupt erst ermöglicht.

Außerdem bedanke ich mich bei Herrn Ass. Prof. Dipl.- Ing. Dr.techn. Univ.-Doz. Mario Hirz und Dipl.- Ing. Patrick Rossbacher vom Institut für Fahrzeugtechnik. Durch ihre zahlreichen Tipps und fachlichen Vorschläge haben sie diese Arbeit sehr unterstützt.

Abschließend bedanke ich mich noch bei meiner Familie die mich in sämtlichen Hinsichten jederzeit unterstützt hat.

Eidesstattliche Erklärung

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

Bärnbach, am

.....

(Roland Rieger)

Kurzfassung

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit war, einen Leichtbauschlitten für eine Beschleunigungsschlittenanlage zu entwickeln. Durch die Reduzierung der bewegten Masse können die geforderten Crashpulse mit weniger Energieaufwand und einer höheren Genauigkeit dargestellt werden. Es wurden verschiedene Konzepte für den Schlitten, die Karosserieaufnahme und den Kamerarahmen erarbeitet, aus denen jeweils das Geeignetste ausgewählt und konstruktiv umgesetzt wurde. Die Konstruktion wurde, während mehrerer Entwicklungsschleifen, unter zahlreichen verschiedenen Randbedingungen in LS DYNA dynamisch simuliert. Es wurden auch Schadensfälle, wie z.B. das Versagen einzelner Bauteile an ungünstigen Stellen, untersucht. Das entwickelte System ist in nachfolgender Arbeit erläutert und die Berechnungsergebnisse werden beschrieben. Durch die zahlreichen Anforderungen seitens der Anwender hat sich ein umfangreiches Produkt entwickelt. Die Realisierung der Schrägstellung für die aufzubauenden Karossen, variable Lochplatten, welche je nach Bedarf montiert werden können, sind nur einige wenige Merkmale des Leichtbaucrasheschlittens. Abschließend wurden sämtliche, für den Aufbau benötigten Einzelteil- und Baugruppenzeichnungen erstellt, womit der Umfang dieser Arbeit ausgeschöpft ist. Das Einholen mehrerer Angebote wurde zusätzlich durchgeführt und legt somit die Basis für eine erfolgreiche Umsetzung des Projektes, um eine zukünftig optimierte Anlage zur Durchführung von Schlitten Crash Versuchen zu erhalten.

Abstract

The task of this work was to develop a lightweight sled for a catapult sled system. By reducing the moving mass, the required crash pulses can be represented with less energy consumption and a higher accuracy. Different concepts were developed for the sled, the body carrier and the camera frame. Always the most appropriate concept was selected and implemented constructively. The construction was simulated in LS DYNA under many different conditions, during several development loops. There were also cases of damage investigated, such as failure of individual components. The developed structure is explained in the following work and the results of the calculations are described. Because of the many requirements from the users a very extensive product has developed. The realization of the skew for the bodies to be set up and variable perforated plates, which can be assembled as needed, are just a few features of the lightweight crash sled. Finally, all required single part and assembly drawings were created, whereby the goal of this work is achieved. Additionally, some offers were invited, which lays the foundation for a successful implementation of the project and a future optimized catapult sled system.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	ii
Eidesstattliche Erklärung	iii
Kurzfassung.....	iv
Abstract.....	v
1 Einleitung	1
1.1 Allgemein	1
1.2 Historische Entwicklung der Fahrzeugsicherheit.....	3
1.3 Crash-Tests	6
1.3.1 Euro NCAP	7
1.3.2 US NCAP.....	8
1.3.3 IIHS	8
1.3.4 JNCAP	9
1.3.5 FMVSS.....	10
1.3.6 UN	10
2 Motivation und Zielsetzung.....	12
2.1 Zielsetzung.....	12
2.2 Funktionale Anforderungen.....	13
2.3 Umfang.....	13
2.4 Terminplan.....	14
3. Verwendete CAE Werkzeuge.....	15
3.1 Numerische Simulation	15
3.1 Crash Simulation LS-DYNA.....	17
3.1.1 Preprocessing	18
3.1.2 Solver.....	22
3.1.3 Postprocessing.....	22
3.2 CAD Programme.....	23
3.2.1 Funktionale Konstruktion	23
3.2.2 Parametrisch-assoziative Konstruktion.....	23
3.2.3 Catia V5	24
4 Physische Erprobung.....	25
4.1 Schlittencrash Anlagen.....	26
4.2 Beschleunigungsschlitten HyperG in Graz.....	27
4.2.1 Der Schlitten	28

5 Konzeptphase	31
5.1 Schlitten Konstruktionsvarianten	31
5.1.1 Formrohr-Rahmen-Schlitten	33
5.1.2 Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlitten	34
5.1.3 Lochplatten-Schlitten.....	35
5.1.4 Schalen-Schlitten	36
5.1.5 Fachwerk-Schlitten.....	36
5.1.6 Bewertung Schlitten-Konstruktionsvarianten	37
5.2 Winkelabbildungskonzepte.....	38
5.2.1 Verzahnung	38
5.2.2 Trapez-Anschlag	38
5.3 Niederhalter Konzepte.....	39
5.3.1 U-Niederhalter.....	39
5.3.2 Trägerklemmen	40
5.3.3 Verschraubung	41
5.3.4 Schraubklemmen	42
5.3.5 Keilniederhalter	42
5.3.6 Überlappende Verzahnung.....	44
5.4 Gerader Anschlag.....	44
5.5 Festlegung.....	45
6 Detailbetrachtung der ausgewählten Konzepte.....	46
6.1 Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlitten	46
6.2 Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlitten mit variablen Lochplatten.....	47
7 Modellbildung des Leichtbauschlittens.....	49
8 Schlitten Simulationen	52
8.1 Pulse	52
8.2 Erstes Schlittenmodell	54
8.2.1 Druckstück vorne	56
8.2.2 Auswertung gerader Anschlag	58
8.2.3 Auswertung schräggestellte Karosse	61
8.2.4 Komponenten Versuch	63
8.2.5 Notbremsung.....	64
8.2.6 Absicherung gegen Misuse	65
8.2.7 Weitere Lastfälle	66
8.3 Finales Modell	66
8.3.1 Funktionale Anforderungen	68

9 Detailkonstruktion	73
9.1 Strukturelemente	73
9.1.1 Druckstück vorne	74
9.1.2 Schubfelder	75
9.1.3 Kamerarahmenanbindung und Langträger	76
9.1.4 Lochplattenträger	77
9.1.5 Notbremsanschlage	78
9.2 Anbauteile	79
9.2.1 Anschläge	81
9.2.2 Karosserieaufnahme	82
9.2.3 Kameragestell	82
9.3 Bremssystem und Schienenführung	83
9.4 Zusammenfassung	85
10 Fertigung und Fertigungszeichnungen	87
11 Angebote	89
11.1 Bremssystem	90
12 Zusammenfassung und Ausblick	91
13 Abbildungsverzeichnis	- 1 -
14 Tabellenverzeichnis	- 4 -
15 Literatur	- 5 -
16 Anhang	- 6 -
16.1 Stücklisten	- 6 -

1 Einleitung

1.1 Allgemein

Die Durchführung von Crash-Tests zur Simulation von Fahrzeugunfällen stellt einen wesentlichen Schritt in der Entwicklung von Automobilen dar. Durch die Vielzahl der verschiedenen zu untersuchenden Unfallszenarien, aber auch die zahlreichen auftretenden Modellvarianten müssten von einem Standardfahrzeug über 100 Gesamtfahrzeuge gecrasht werden. Und dies, ohne die zur Entwicklung benötigten Untersuchungen zu berücksichtigen. Aufgrund der hohen Kosten, welche schon durch einen einzelnen Versuch entstehen, werden immer mehr und auch umfangreichere Untersuchungen mit Hilfe von Simulationsprogrammen durchgeführt. Hier kann in erster Betrachtung zwischen Struktursimulationen und Rückhaltesystemsimulationen unterschieden werden. Für die Struktur entscheidend, ist die Fahrgastzelle so gut als möglich in ihrer Form zu erhalten und somit den Überlebensraum für die Insassen sicherzustellen. Ebenfalls sollte das Fahrzeug die auftretenden Differenzgeschwindigkeiten mit einem möglichst langen und gleichmäßig hohen Kraftniveau ausgleichen. Für die Rückhaltesysteme gilt es, den Insassen so früh als möglich an die Beschleunigungen der Karosse anzubinden und somit ebenfalls eine möglichst lange und gleichmäßige Krafteinleitung zu erhalten. In sämtlichen Entwicklungssimulationen ist noch eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen, die in gegenseitigen Wechselwirkungen stehen und somit das Erreichen optimaler Ergebnisse weiter erschweren. Am aktuellen Stand der Technik sind trotz sehr umfangreicher und detaillierter Simulationen physische Erprobungen unerlässlich. Der Umfang reicht hier von einzelnen Bauteilen, über Komponenten und Baugruppen bis hin zu gesamten Systemen und den bereits erwähnten Gesamtfahrzeugen. Jede dieser Untersuchungen trägt zum besseren Systemverständnis bei und legt somit einen Grundstein zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit. Der Umfang reicht hier von quasi statischen Untersuchungen, über dynamische Versuche bis hin zu temperaturabhängigen Analysen. Nach dem Gesamtfahrzeug-Crash-Test stellt die Erprobung von Rückhaltesystemen auf Beschleunigungsschlittenanlagen die umfangreichste Betrachtung dar. Hier können unterschiedliche Komponenten unter möglichst realen und reproduzierbaren Bedingungen, wie z.B. ein Gurtstraffer, der Fahrerairbag usw. in einer Rohkarosse getestet werden. Je nach Versuchsumfang kommen mehrere Dummies zum Einsatz anhand derer die Effektivität der Systeme bewertet werden kann. Bei diesen Anlagen werden verstärkte Rohkarossen verwendet, um eine Mehrfachverwendung zu ermöglichen. Diese physische Erprobung wird bereits während der Entwicklungsphase durchgeführt, somit sind die zu diesem Entwicklungszeitpunkt vorhandenen Karossen Prototypen und dadurch auch sehr kostenintensiv in der Herstellung. Die „gepanzerte“ Karosse, so wird eine zur Mehrfachverwendung verstärkte Karosse genannt, wird für den Versuch auf eine bewegte Plattform, den sogenannte Crash-Schlitten, siehe Abbildung 1, montiert. Dieser Aufbau wird mittels eines Zylinders entgegen der Fahrtrichtung beschleunigt. Dadurch treten Beschleunigungen im Fahrgastinnenraum auf, die denen eines realen Crash-Tests entsprechen. Die verbauten Rückhaltesysteme werden hier wie bei einem Gesamtfahrzeug-Crash-Test beansprucht.



Abbildung 1 Beschleunigungsschlittenanlage mit Zylinder und Schlitten mit Kamerarahmen (Seattle Safety, 2016)

Die Vorteile gegenüber Gesamtfahrzeug-Crash-Tests liegen vor allem in der Wiederverwendbarkeit der Karosse und den damit wesentlich niedrigeren Versuchskosten. Aber auch die hohe Reproduzierbarkeit und eine rasche Anpassung der zu simulierenden Beschleunigungen, an beispielsweise neuentwickelten Strukturelementen, sind Vorteile der Beschleunigungsschlitten-Versuche. Wie bereits erahnt werden kann, ist für die Durchführung eines solchen Schlittenversuches eine beträchtliche Kraft notwendig. In allen gängigen Anlagen wird diese von einem Gaszylinder bereitgestellt. Je nach zu untersuchendem Fahrzeug muss die Anlage in der Lage sein den Aufbau innerhalb eines Meters auf bis zu 64 km/h zu beschleunigen. Steigende Karosseriegewichte, höhere Beschleunigungen sowie die Anforderungen an ein exakteres Erreichen der geforderten Beschleunigungsverläufe, stellen die Anlagen vor immer größere Herausforderungen, welche oft nur durch einen Mehraufwand in der Einstellung der Anlagenparameter gemeistert werden können. Neben dem zu erreichenden Beschleunigungsverlauf, welcher in Fachkreisen auch Puls genannt wird, hat vor allem die zu bewegende Masse einen wesentlichen Einfluss auf den Aufwand, der betrieben werden muss, um zufriedenstellende Ergebnisse zu erreichen. Durch die Reduzierung der zu beschleunigenden Massen kann, bei gleichbleibender Anlage, eine Vielzahl von Verbesserungen erreicht werden. Zum einen wird der benötigte Gasdruck im Zylinder gesenkt, wodurch weniger Energie aufgewendet werden muss. Ebenfalls können höhere Beschleunigungen erreicht werden, was speziell bei Komponentenversuchen einen wichtigen Punkt darstellt. Nicht zuletzt können die Abweichung von der Soll-Beschleunigung und damit auch der Aufwand zur Einstellung der Anlage reduziert werden.

Durch diese Anforderungen und die aufgezeigten Verbesserungspotenziale wurde als Ziel für diese Arbeit eine Gewichtsreduktion des Schlittens und der Karosserieaufnahme definiert. Als Zielwert wurde anhand vorhandener Untersuchungen und der langjährigen Erfahrung der Schlittenbetreiber eine Einsparung von 250kg festgehalten. Durch diese Reduktion der bewegten Massen können mehrere Einstellversuche eingespart werden, aber auch neue Untersuchungen werden damit ermöglicht. Durch die fundamentale Neuentwicklung des Crash-Schlittens sind weitere Ziele definiert worden. So ist für die Anbindung der Karosse auf dem Schlitten eine Schrägstellung ohne Zwischenrahmen um $\pm 18^\circ$ zu ermöglichen. Die schräggestellten Versuche sind nötig, um Crash-Tests mit einer teilweisen Barrieren-Überdeckung simulieren zu können. Bei diesen Versuchen bewegen sich die Dummies leicht schräg nach vorne, der Fahrer meist in Richtung A-Säule. Da diese Rotation um die Hochachse am Schlitten nahezu unmöglich simuliert werden kann, wird die gesamte Karosse mit einem zuvor berechneten Schrägstellungswinkel auf den Schlitten montiert. Dadurch wird der zu untersuchende Realunfall so gut als möglich nachempfunden. Neben dieser Erhöhung der Funktionalität und gleichzeitiger Gewichtsreduktionen mussten sämtliche, auch die nicht explizit genannten, Eigenschaften zumindest in gleichwertiger Art und Weise wieder vorhanden sein. Hier kann einleitend kurz ein Beispiel beschrieben werden. Eine dieser Eigenschaften ist die Relativbewegung des Kamerarohres zum Schlitten. Dieses Verhalten ist entscheidend, da eine Vielzahl von Auswertungen auf den mitbewegten Hochgeschwindigkeitskameras passiert. Sind diese Relativbewegungen zu groß, werden die Videoauswertungen verfälscht und eine Optimierung der Systeme deutlich erschwert. Gegenteilig führt eine Reduzierung der Differenzbewegungen zur genaueren Erfassung der vorhandenen Größen und dadurch zu besseren und exakteren Auswertungen. Diese und eine Vielzahl weiterer Eigenschaften mussten im Zuge der Entwicklung berücksichtigt werden.

1.2 Historische Entwicklung der Fahrzeugsicherheit

Durch die noch immer stetig steigende Anzahl an Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen weltweit, stellt die Fahrzeugsicherheit ein wesentliches Kerngebiet der Automobilindustrie dar. Speziell bis in die 1970er stieg die Zahl der schweren sowie tödlichen Verletzungen pro Personenkilometer. Dieser Entwicklung konnte durch Verbesserungen in der Verkehrssicherheit, besserer Ausbildung der Verkehrsteilnehmer und vor allem durch wesentliche Fortschritte in der Fahrzeugsicherheit entgegengewirkt werden. Dennoch waren im Jahr 2009 weltweit 1,2 Mio. Verkehrstote zu verzeichnen.

Wesentlich für die anfängliche Entwicklung der Fahrzeugsicherheit ist neben Béla Barényi, welcher 1952 das Patent „Das Prinzip des gestaltfesten Fahrerraumes“ anmeldete, auch Prof. Koeßler von der TU Braunschweig mit der Definition für die Automobilentwicklung: „Die Fahrzeuge müssen so konstruiert und hergestellt werden, dass sie ein Transportgut möglichst schnell, sicher und komfortabel von einem Punkt A zu einem Punkt B bewegen können“. Einen weiteren wichtigen Schritt in der Entwicklung der Fahrzeugsicherheit stellte der Verbraucheranwalt Ralph Nader dar, welcher gemeinsam mit der National Highway and Traffic Safety Administration, kurz NHTSA, die Sicherheitsgesetze vorantrieb. (Braess & Seiffert, 2013, S. 444)

Aktuell gibt es zahlreiche Sicherheitsgesetze, die wesentlichen stellen das Federal Motor Vehicle Safety Standard (USA), kurz FMVSS, und die Economic Commission for Europe (Europa), kurz ECE, dar. Darüber hinaus tragen die Verbraucherschutzorganisationen wie EuroNCAP, IIHS und USNCAP dazu bei, dass die Sicherheitsstandards ständig steigen. (Hermann, 2014)

In Abbildung 2 ist eine Übersicht über die verschiedenen Bereiche der Fahrzeugsicherheit dargestellt. Um den Umfang nicht zu sprengen, wird lediglich auf die für diese Arbeit relevanten Gebiete kurz eingegangen. Hierzu zählt unter dem Hauptgebiet unfallfolgenmildernde Sicherheit, der Insassenschutz. Zu den Rückhaltesystemen zählen neben Sicherheitsgurt, Airbags, Gurtkraftbegrenzer und Gurtstraffer auch aktive Kopfstützen, Anti-Submarining usw.. Um die Insassen so gut als möglich vor Verletzungen zu schützen, ist es wichtig sie möglichst lange bei einem ausreichend hohen und möglichst gleichmäßigen Kraftniveau an die Beschleunigung des Fahrzeuges anzubinden. Der Fahrzeuginnenraum muss ebenso spezielle Anforderungen erfüllen, wie auch z.B. das Lenkrad, die Pedalerie, das Armaturenbrett, die Türverkleidung, die A-Säulenverkleidung usw.. Es dürfen im Falle eines Unfalles keine scharfen Kanten entstehen, etwa durch den Bruch eines Bauteiles. Ebenso sollten die Steifigkeiten der Verkleidungselemente so optimiert werden, dass sie möglichst gut dazu beizutragen den Insassen bei direktem Kontakt vor Verletzungen zu schützen. Der dritte Unterpunkt im Insassenschutz ist die Struktur. Hier wird auf die Kompatibilität, das Crashverhalten von zwei Personenkraftwagen unterschiedlicher Bauart (z.B. Kleinwagen mit SUV) sowie auf das Deformationsverhalten in den unterschiedlichen Kollisionen (frontal, seitlich, sowie rückwärtig) und den Fahrzeugüberschlag eingegangen. Neben dem Erreichen eines möglichst frühen und gleichmäßig hohen Kraftniveaus bei einer Kollision, muss vor allem der Überlebensraum für die Fahrgäste sichergestellt werden. Hierzu wird die Fahrgastzelle so gut als möglich vor Deformationen und der Intrusionen umliegender Bauteile geschützt. (Braess & Seiffert, 2013)

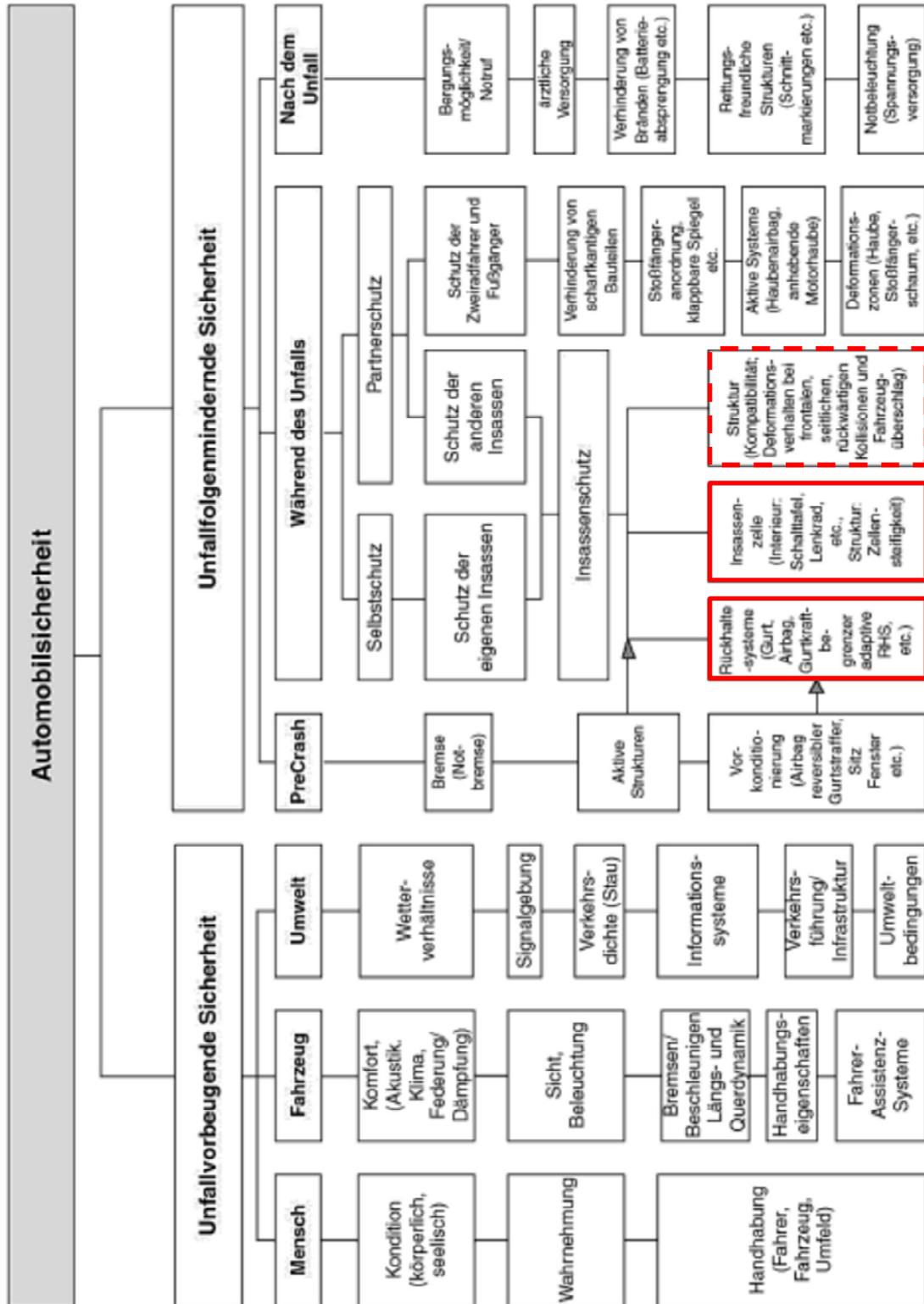


Abbildung 2 Gebiete der Automobilsicherheit (Braess & Seiffert, 2013)

1.3 Crash-Tests

Die in der Realität vorkommende Vielzahl von unterschiedlichsten Fahrzeugkollisionen kann selbstverständlich nicht in ihrer Gesamtheit durch Crashversuche dargestellt werden. Die Auswertung von Unfalldatenbanken und polizeilichen Aufzeichnungen hat zur Festlegung verschiedener Crash-Tests mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, Überdeckungen, Massen, aber auch Geltungsbereichen und Bewertungen geführt. Diese Versuche unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung durch immer neue Entwicklungen, Erkenntnisse und Auswertungen. Sämtliche sicherheitsrelevanten Gebiete werden durch Gesetze geregelt, die damit ein Mindestmaß an Fahrzeugsicherheit gewährleisten. Abbildung 3 zeigt eine Übersicht der bestehenden Gesetze in Europa und den USA.

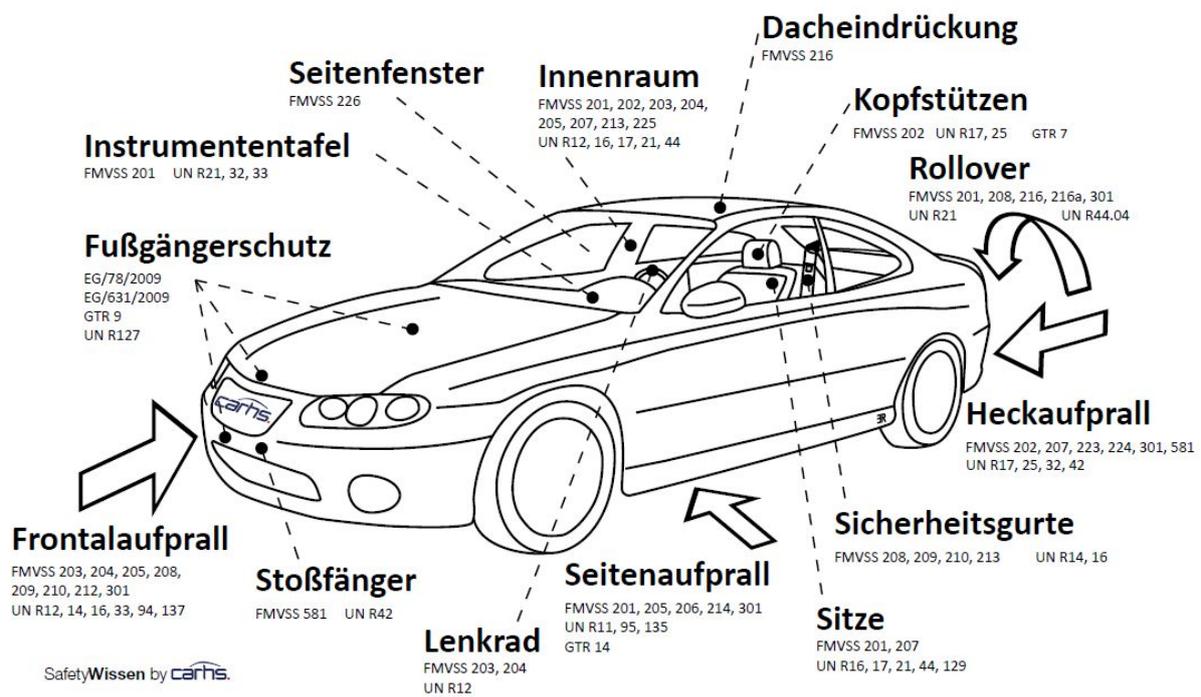


Abbildung 3 Crash-Gesetze in Europa und den USA (carsh.training gmbh, 2016)

Darüber hinaus gibt es seit über 35 Jahren Verbraucherschutztests. Diese haben ihren Ursprung im Department of Transportation in den USA. Hier wurde erlassen, dass Neufahrzeuge unter sicherheitstechnischen und ökonomischen Gesichtspunkten zu vergleichen sind und die Ergebnisse publiziert werden. Das Ziel war die Fahrzeughersteller zum Wettbewerb zu motivieren, um ihre Fahrzeuge über den gesetzlichen Standard hinaus zu optimieren. Seitdem haben mehrere Organisationen (Euro NCAP, IIHS, JNCAP, ADAC, AMS, ANCAP) diese Idee aufgegriffen und eine Vielzahl von unterschiedlichen Tests und auch Bewertungen wurden eingeführt. Nicht selten führten die vielen verschiedenen Untersuchungen zur Verunsicherung der Verbraucher. Aus diesem Grund wurden die Versuche und auch Bewertungen in letzter Zeit wieder mehr vereinheitlicht. Eine führende Rolle stellt hier der Euro NCAP dar, siehe nachfolgenden Abschnitt. Hier werden einige aktuelle Verbraucherschutztests sowie vom Gesetz geforderte Crash-Tests kurz vorgestellt, welche für die Entwicklung des Leichtbauschlittens von Bedeutung sind. Die wichtigste Gruppe stellen die Frontal-Crashversuche dar, aber auch die geforderten Seiten- und Heck-Crashversuche wurden berücksichtigt.

1.3.1 Euro NCAP

Seit 1997 nimmt der Euro NCAP (new car assesment program) Versuch eine führende Rolle bei den Verbraucherschutztests ein. Zu den anfänglichen Front- und Seitenaufpralltests kamen später der seitliche Pfahlaufprall sowie der Fußgängerschutz hinzu. 2003 wurde die Kindersicherheit und im Jahre 2008 der Heckaufprall einbezogen. Nachdem ein neues Bewertungssystem eingeführt wurde kam im Jahre 2015 der dargestellte Full-Width Frontalaufprall hinzu. Ebenso wurde das Portfolio im selben Jahr, zusätzlich zur passiven Sicherheit, mit Tests der aktiven bzw. integrierten Sicherheit erweitert. Die für die Entwicklung des Leichtbau-Crashschlittens relevanten Crash-Tests des Euro NCAP stellen neben dem dargestellten Full Width, Crash-Test mit voller Fahrzeug/Barrierenüberdeckung und dem ODB 40%, Crash-Test mit einer teilweisen Überdeckung der Barriere zum Fahrzeug, auch den Wiplash Versuch dar. Hier wird ein Heckaufprall mit einer definierten Beschleunigung, welcher innerhalb eines festgelegten Korridors liegen muss, simuliert. Bei den ODB Crash-Tests kommt es fast immer zu einer Fahrzeugrotation um die Hochachse. Diese wird, wie bereits erwähnt, bei den Schlittenversuchen durch eine Schrägstellung der Karosse am Schlitten simuliert, um den Kontakt der Insassen mit den Rückhaltesystemen so realistisch wie möglich zu gestalten. (carsh.training gmbh, 2016)

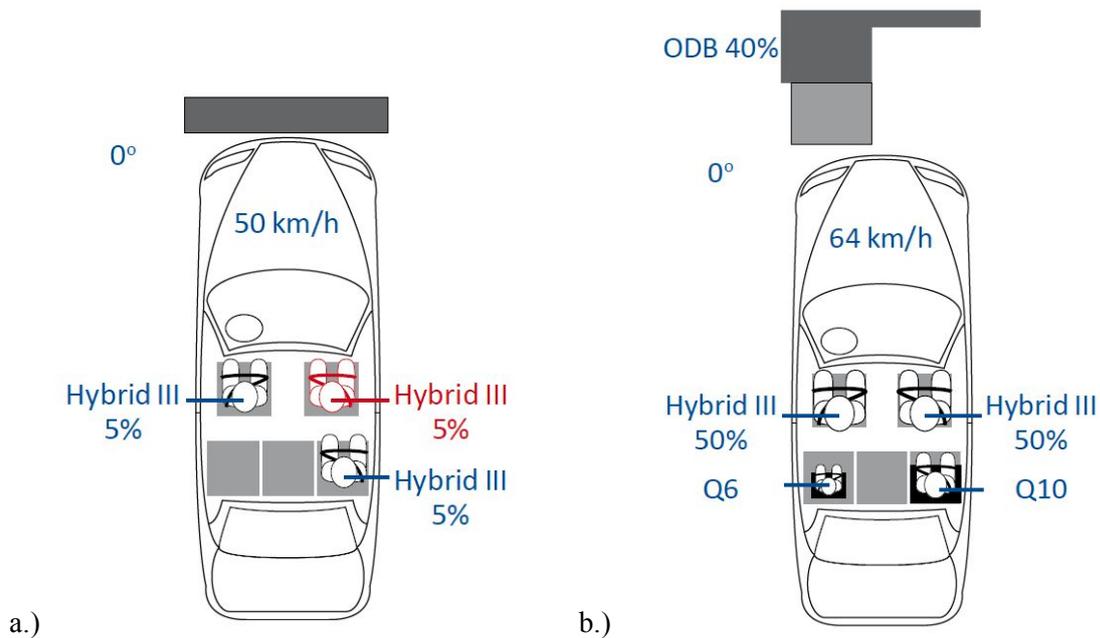


Abbildung 4 Euro NCAP Verbraucherschutz-Tests a.) Full Width b.) ODB (carsh.training gmbh, 2016)

1.3.2 US NCAP

Der US NCAP Full Width Crash-Test stellt einen der relevantesten Versuche für die Auslegung des Crash-Schlittens dar. Die Versuchsgeschwindigkeit ist mit 56km/h relativ hoch. Als Barriere kommt eine starre Wand zum Einsatz. Diese wird vom Fahrzeug mit voller Überdeckung getroffen. Dadurch kommt es zu den höchsten Beschleunigungen der Karosse. Als Bewertung wird, anders als beim Euro NCAP, nicht ein Produkt aus den Bewertungen der einzelnen Körperregionen gebildet, sondern die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer schweren Verletzung bewertet. Dazu werden vor allem das HIC (Head Injury Criterion), sowie die Belastung auf den Oberschenkelknochen und die Brust herangezogen. (carsh.training gmbh, 2016)

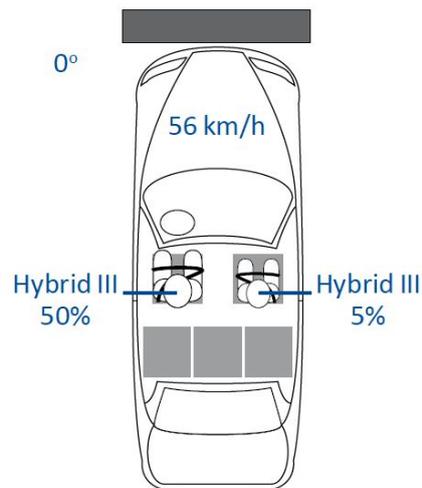


Abbildung 5 US NCAP Full Width Verbraucherschutz-Test (carsh.training gmbh, 2016)

1.3.3 IIHS

Das Insurance Institute for Highway Safety ist eine unabhängige, non-profit Organisation. Sie wurde 1959 von drei großen Versicherungen in den USA gegründet und beschäftigt sich 1992 intensiv mit Crash-Tests. Der 1995 eingeführte Frontcrash mit einer teilweisen Überdeckung führte durch die einseitige, aber sehr starke Beanspruchung der Fahrzeugstruktur zu schlechten Bewertungen für viele Modelle. Ebenso stellt der 2012 eingeführte small overlap front test die Fahrzeugindustrie vor eine Herausforderung. Die starre, abgerundete Barriere wird mit 64km/h und lediglich 25% Überdeckung getroffen. Dadurch kommt es wie schon bei dem zuvor genannten Crash-Test zu einer sehr starken lokalen Beanspruchung der Fahrzeugstruktur und teilweise auch zu Intrusionen in die Fahrgastzelle. Bei beiden Versuchen kommt es beim Fahrzeug zu einer Rotation um die Hochachse, was im Bezug auf die Simulation am Beschleunigungsschlitten mittels einer Schrägstellung realisiert wird. (carsh.training gmbh, 2016)

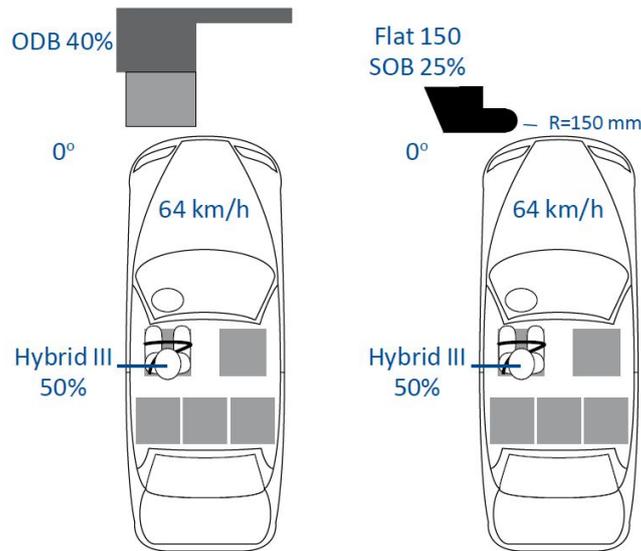


Abbildung 6 IIHS Verbraucherschutz-Test (carsh.training gmbh, 2016)

1.3.4 JNCAP

Der Japan NCAP wurde von der National Agency for Automotive Safety and Victims' Aid eingeführt. Zu dem 1995 festgelegten Full wrap frontal Crashtest wurde im Jahr 2000 der ebenfalls dargestellte Off-set frontal Crashtest eingeführt. Weitere Versuche z.B. für Kindersitze, Fußgänger und Heckkollisionen stellen nur einen Auszug aus dem bis zum Jahr 2009 stetig erweiterten Untersuchungsumfang dar. Für den 100% überdeckten Fronterash mit einer starren Barriere ist die Kollisionsgeschwindigkeit mit 55km/h leicht geringer als beim US NCAP. Der ODB Versuch mit 40% Überdeckung ist ähnlich dem des Euro NCAP. (carsh.training gmbh, 2016)

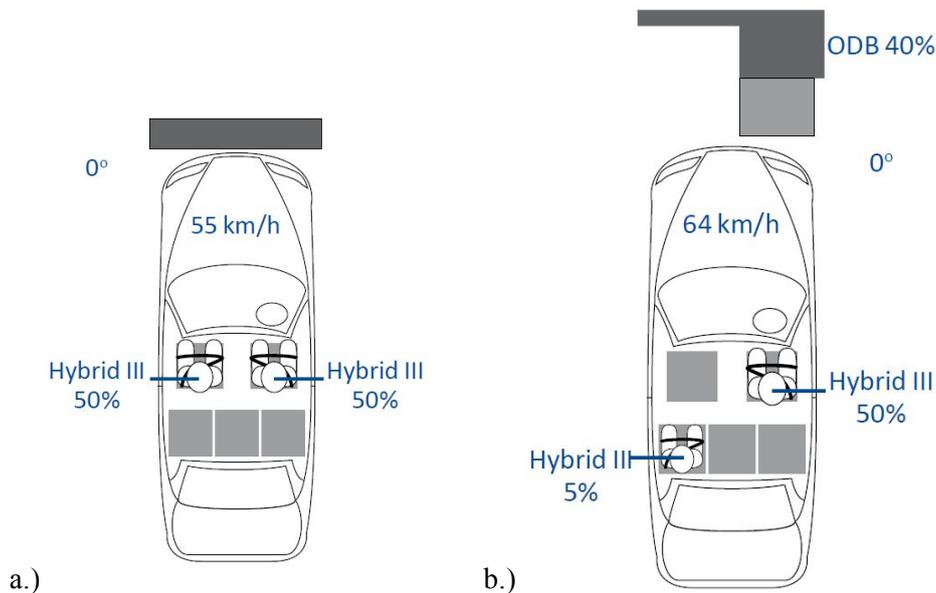


Abbildung 7 JNCAP Verbraucherschutz-Test a.) Full Width b.) ODB (carsh.training gmbh, 2016)

1.3.5 FMVSS

In den Federal Motor Vehicle Safety Standards werden die Mindestsicherheitsanforderungen für Kraftfahrzeuge und Teile von Kraftfahrzeugen für den US-amerikanischen Raum geregelt. Diese wurden im Jahr 1967 eingeführt und seitdem entsprechend dem Stand der Technik erweitert. In diesen Gesetzen ist aber auch die amerikanische Mentalität verankert. So wird davon ausgegangen, dass dem Fahrgast das Anlegen eines Sicherheitsgurtes nicht zugemutet werden kann. Deshalb muss der Fahrzeughersteller sicherstellen, dass auch ein ungegurter Insasse so wenige Verletzungen wie möglich erleidet. Diese Anforderung ist vor allem für die im FMVSS 208 beschriebenen Front Crashtests extrem schwierig zu erfüllen. (carsh.training gmbh, 2016)

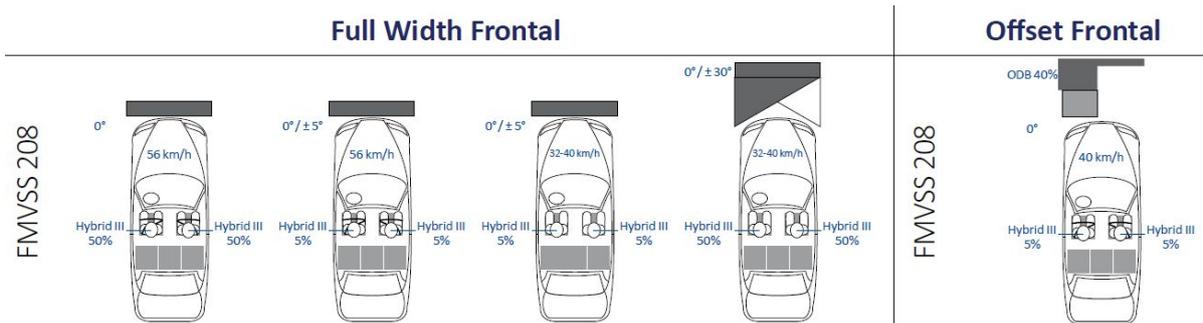


Abbildung 8 US Gesetze zum Insassenschutz FMVSS (carsh.training gmbh, 2016)

1.3.6 UN

Die UN Regelung stellt das europäische Gegenstück zum amerikanischen FMVSS dar. Die Mitgliedstaaten gehen dabei auch weit über den europäischen Raum hinaus. Teilweise handelt es sich auch um nicht offizielle Mitglieder, sondern um solche, welche die UN Regelungen anerkennen. Seit der Einführung der damals als ECE bezeichneten Regelungen, wurden bis dato über 100 solcher Regelungen verabschiedet. Besondere Relevanz für die physische Simulation von Crashtests weisen der UN R137 und der UN R94 auf. Für den Full Width Frontal wird mit 50km/h auf eine starre Barriere aufgefahren. Der Offset Frontal ist mit 56km/h Aufprallgeschwindigkeit, 40% Überdeckung und einer deformierbaren Barriere, in Bezug auf die auftretenden Beschleunigungen ebenfalls deutlich geringer als die Verbraucherschutztests. (carsh.training gmbh, 2016)

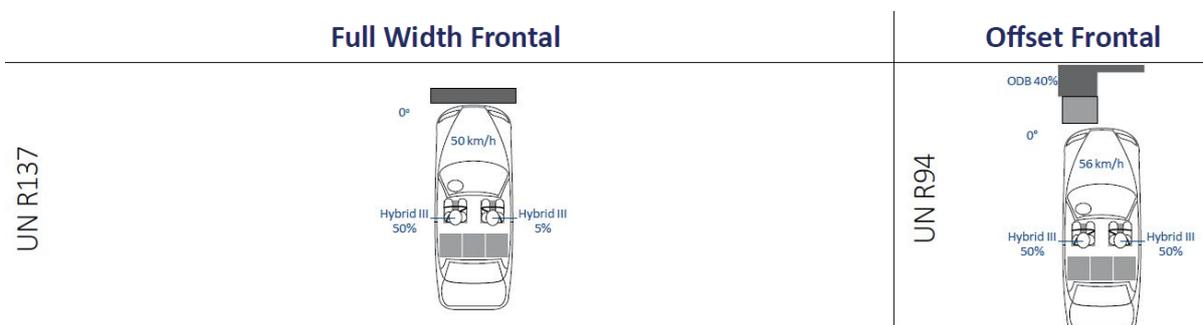


Abbildung 9 Europäische Gesetze zum Insassenschutz UN (carsh.training gmbh, 2016)

Zusätzlich zu den, dem aktuellen Stand der Technik entsprechenden Crash-Tests, wurden auch zukünftige Crash-Tests im Zuge der Masterarbeit untersucht. Hier wurde der Frontal Oblique Offset Crash-Test anhand vorhandener Videos von bereits durchgeführten Versuchen mittels einer Computersoftware ausgewertet. Bei diesem Versuch wird ein Schlitten mit einer Masse von 2000 Kilogramm und 90 km/h, 15 Grad fahrerseitig von vorne auf das stehende Fahrzeug geschossen. Die Überdeckung beträgt 35% und auf dem Schlitten ist eine deformierbare Barriere befestigt. Die daraus resultierenden Beschleunigungen auf die Fahrgastzelle und die erforderliche Schrägstellung für einen Schlittenversuch wurden erfasst und als Input für die Simulationen aufbereitet.

2 Motivation und Zielsetzung

Die Motivation dieser Arbeit besteht darin, in der physischen Simulation von Rückhaltesystemen auf einer Beschleunigungsschlittenanlage, mit der Entwicklung der Fahrzeuggewichte und den erforderlichen Crashpulsen Schritt zu halten. Die steigenden Fahrzeugabmessungen und die damit verbundenen Gewichtserhöhungen der Rohkarossen führen ebenso zu steigenden Anforderungen an die Schlittenanlagen, wie die immer steiferen Crashstrukturen vor allem der Kleinfahrzeuge. Durch diesen Trend entstand die Motivation, die versuchsunabhängigen bewegten Massen der Beschleunigungsschlittenanlage zu reduzieren. Anhand der physikalischen Grundgesetze kann leicht festgestellt werden, dass bei gleichbleibender Kraft und einer Reduktion der Masse sich die Beschleunigung erhöht beziehungsweise kann, wenn die Beschleunigung ebenfalls gleich gehalten wird, die benötigte Kraft reduziert werden. Somit ergibt sich für alle durchgeführten Versuche eine positive Beeinflussung. Crash-Tests die zurzeit nahe der Maximalleistung der Anlage liegen, könnten dann leichter und mit geringerem Einstellaufwand durchgeführt werden. Für sämtliche Tests kann bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen der benötigte Energieaufwand reduziert werden. Gewisse Untersuchungen werden durch eine Gewichtsreduktion der zu beschleunigenden Massen überhaupt erst ermöglicht.

Im Jahr 2011 wurde bereits eine Feasibility-Studie bei Magna Steyr durchgeführt. Hier wurde eine Abschätzung zum möglichen Gewichtseinsparungspotenzial der bewegten Massen der bestehenden Beschleunigungsschlittenanlage getroffen. Es wurde untersucht wie viel Gewicht am bestehenden Schlitten, durch Wandstärkenreduktion und zusätzlichen Ausnehmungen, eingespart werden könnte. Ebenso wurde die Anbindung der Karosse zum Schlitten einbezogen und ein aktuell in Verwendung befindlicher Zwischenrahmen aus dem Konzept genommen. Die Abschätzung ergab ein Einsparungspotenzial von ca. 240kg, wobei der Großteil aus dem Wegfall des Zwischenrahmens stammt und am Schlitten nur 89kg eingespart wurden

2.1 Zielsetzung

Die Zielsetzung dieser Arbeit wurde gemeinsam mit den verantwortlichen Personen, wie etwa den Schlittenführern, dem Schlittenverantwortlichen, der Messtechnik, aber auch den Entwicklungsingenieuren der Rückhaltesysteme erarbeitet. Das Ziel dieser Arbeit ist ein gewichtsoptimierter Schlitten für die HyperG Anlage bei Magna Steyr in Graz. Dadurch lässt sich die Dauer zwischen den einzelnen Versuchen reduzieren und die Pulsqualität erhöhen. Durch die Gewichtseinsparung kann der erforderliche Gasdruck gesenkt werden, was sich positiv auf den Energieaufwand, sowie die Ladedauer des Zylinders auswirkt. Ebenfalls gesenkt werden kann, vor allem bei sehr schwierigen Pulsen, der Einstellaufwand der Anlage um innerhalb der geforderten Toleranzen des Puls zu bleiben. Die festgelegte Gewichtsreduktion muss für den gesamtheitlichen Aufbau mindestens 250kg betragen. Der Aufbau schräggestellter Karossen muss ebenfalls ohne Zwischenrahmen, direkt am Schlitten vorgesehen werden um auch für diese Versuche die geforderte Gewichtseinsparung zu erreichen. Weiteres müssen sämtliche Funktionen des bestehenden Schlittens zumindest gleichwertig erfüllt werden.

2.2 Funktionale Anforderungen

- Sichere Aufnahme der Karosserie in allen Lastfällen, auch in Sonderlastfällen wie etwa einer Notbremsung.
- Lösbare Verbindung zwischen Schlitten und Karosse, welche in unterschiedlichen Winkeln montiert werden kann.
- Aufnahme der Messtechnik im gleichem Umfang wie im am bestehenden Schlitten (Beschleunigungssensoren, Verteilerbox, ect.). Kabelführung ermöglichen.
- Anbindung an die bestehende Kolbenstange und Vorsehen einer Halterung für die Einziehvorrichtung
- Positionierung der Hochgeschwindigkeitskameras in entsprechendem Abstand zum Schlitten durch das bestehende Kameragestell oder ein neues mit zumindest gleichwertiger Stabilität.
- Anbindung an die vorhandenen Schienen mit den aktuellen oder neu entwickelten Schienenführungen und Bremszylindern.
- Aufnahme des Bremssystems im selben Umfang wie aktuell bestehend. Kompatibilität mit Software beachten.
- Anbindung der bestehenden Energiekette an den Schlitten.
- Rüstzeiten müssen möglichst gering bleiben.
- Fertigungskosten der Karosserieanbindung müssen in vergleichbarem Umfang zur aktuellen Lösung bleiben. Bei teurerer Anbindung, mehrfache Verwendung vorsehen.
- Die Kompatibilität mit einer Partnerfirma muss erhalten bleiben.
- Ein Lochmuster mit Verschraubungspunkten in 100mm Abstand muss direkt am Schlitten oder in einer montierbaren Vorrichtung integriert sein.
- Die Betriebsfestigkeit des Schlittens muss für mindestens 10 Jahre gegeben sein, ca. 10.000 Versuche.
- Fertigungskosten des Schlittens sollen möglichst gering sein.

2.3 Umfang

Der zu Beginn der Arbeit definierte Arbeitsumfang beinhaltet sämtliche Fertigungs- und Schweißbaugruppenzeichnungen die für den Aufbau des neuen Schlittens, sowie aller Anbauteile die geändert bzw. neu entwickelt werden, benötigt werden. Die Zeichnungen sind in pdf-Format zu übergeben. Dies ermöglicht eine problemlose Handhabung und Kommunikation. Ebenfalls zu überlassen sind sämtliche relevanten CAD Daten, um für eventuelle weiterführende Arbeiten oder Anpassungen eine solide Basis sicherzustellen. Mit diesem Umfang ist der Arbeitgeber nach Abschluss der Arbeit unabhängig vom Dienstnehmer und kann zu beliebiger Zeit und von verschiedensten Herstellern das Produkt erstellen lassen.

2.4 Terminplan

Der Terminplan der Arbeit ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Umfänge der einzelnen Projektphasen wurden am Anfang der Arbeit definiert, mussten aber im Laufe des Projektes aufgrund des wachsenden Systemverständnisses angepasst werden.

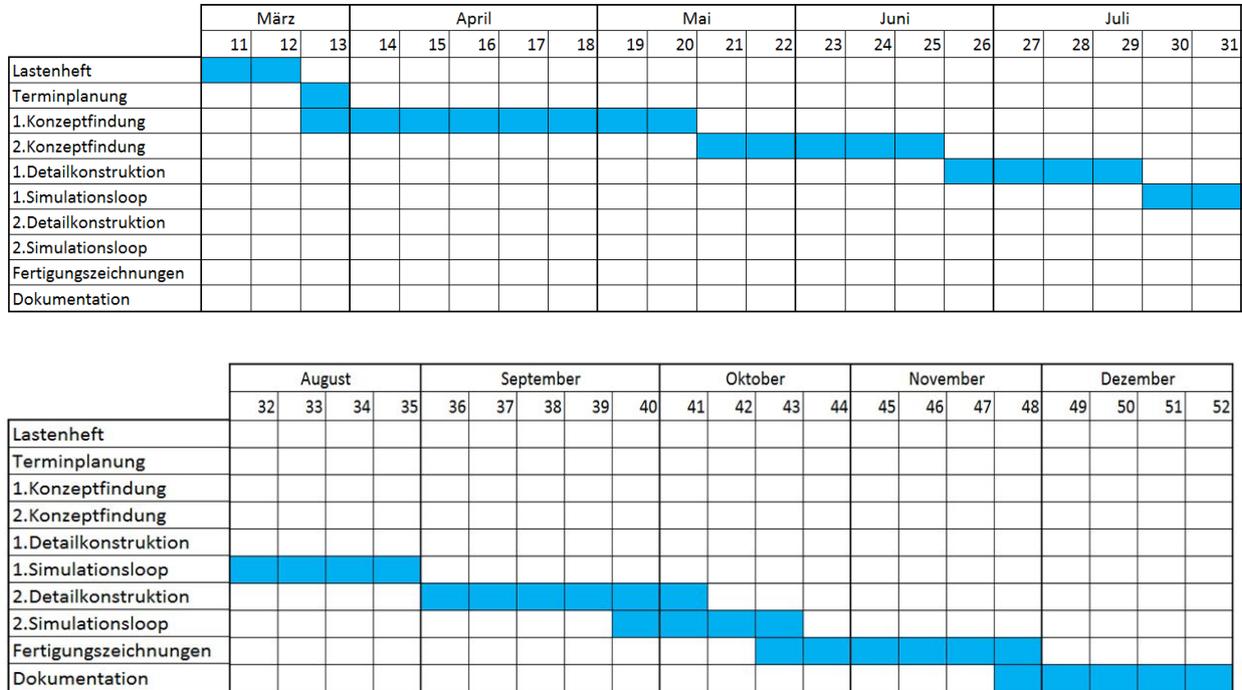


Abbildung 10 Terminplan zur Entwicklung des Leichtbauschlittens

3. Verwendete CAE Werkzeuge

Für einen Großteil dieser Arbeit wurde auf die Unterstützung von computerbasierenden Entwicklungsprogrammen zurückgegriffen. Für die gesamte virtuelle Entwicklung des Schlittens wurde Catia V5, ein parametrisch assoziatives Konstruktionsprogramm, verwendet. Hier wurden bereits bei der Erarbeitung der Lösungsvarianten erste Abschätzungen bezüglich Gewichtseinsparungspotenzial, Fertigungsaufwand und Entwicklungsaufwand getroffen. Für die erste Detailkonstruktion wurde ebenso wie für die finale Konstruktion und die Erstellung sämtlicher Fertigungszeichnungen Catia verwendet. Diese Modelle dienten als Grundlage für die durchgeführten Simulationsschleifen. Als Schnittstelle wurden neutrale Übergabeformate in Form von stp-Dateien verwendet. Die Finite Elemente Simulationen erfolgten dynamisch in LS DYNA mit einem expliziten Solver. Dadurch konnten sämtliche, hochdynamische Beschleunigungsverläufe abgebildet werden. Mit diesen Programmen konnten alle zur Entwicklung notwendigen Gebiete abgedeckt werden. Nachfolgend werden diese Werkzeuge beschrieben.

3.1 Numerische Simulation

Um Kraftfahrzeuge zum Straßenverkehr zulassen zu können ist es unumgänglich physische Crash-Tests durchzuführen. Diese bilden sämtliche Einflüsse realitätsgetreu ab und ermöglichen somit detaillierte Aussagen über das Crashverhalten im öffentlichen Straßenverkehr. Der Nachteil solcher Versuche liegt in der zeit- und kostenaufwendigen Vorbereitung und Durchführung, dadurch und durch die immer kürzer werdenden Entwicklungszeiten in der Automobilindustrie wurde die numerische Simulation zu einem wichtigen Werkzeug für die gesamte Branche. Bereits ab der Konzeptphase kann ein Fahrzeug mit Hilfe der rechnerischen Simulation optimiert werden ohne aufwendige Prototypen zu fertigen. In der Serienentwicklung der Fahrzeugsicherheit ist es mittlerweile möglich bestimmte Modellvarianten für definierte Crash-Tests nur mehr mittels einer numerischen Simulation abzusichern ohne eine physische Simulation durchführen zu müssen. Dieser Umstand ist auch unter prototypenfreie bzw. virtuelle Entwicklung bekannt. Die Bestätigung der Simulation bzw. die Homologation erfolgt im Nachhinein an Vorserienfahrzeugen. Dies ist durch den hohen Detaillierungsgrad in der Struktur-, Insassen-, aber auch Rückhaltesystemberechnung möglich. Grundsätzlich kann man die rechnerische Simulation in zwei Verfahren einteilen. Zum einem die Mehr-Körper-Systeme, kurz MKS, und die Finite-Elemente-Methode, kurz FEM. Beide Verfahren bieten ihre Vorzüge und kommen sowohl alleine als auch gemeinsam zum Einsatz. (Kramer, Franz, Göring, Lorenz, Steffan, & Schöneburg, 2008)

Bei der Mehr-Körper-Simulation werden die darzustellenden Bauteile als starre Körper abgebildet, zwischen ihnen werden Verbindungen definiert, welche die Freiheitsgrade, translatorische und rotatorische, der Körper bestimmen. Die Verbindungen können wiederum, je nach Art, in zwei Gruppen aufgeteilt werden. Hier spricht man zum einem von der geometrischen Kopplung zwischen zwei Körpern, wenn Punkte, Linien oder Ebenen immer zusammenfallen, wie etwa bei Drehgelenken, Schubgelenken, aber auch bei Verbindungen mit höheren Elementpaaren wie etwa Stirnradverzahnungen oder Kurvengetrieben. Diese Kopplung bestimmt die Kinematik des Systems und die Freiheitsgrade und führt zu Zwangskräften. Die zweite Gruppe bilden die physikalischen Kopplungen, dazu zählen sämtliche innerlichen und äußerlichen aufgeprägten Kräfte wie z.B. Federn,

Dämpfer, Kraftfelder usw.. Die Vorteile der MKS sind die kurzen Berechnungszeiten bei einer guten Genauigkeit, die Modelle rechnen sehr stabil und entsprechen bei richtigem Aufbau gut der Realität. Nachteilig wirken sich die starren Körper und die damit verbundene Unmöglichkeit, viele Simulationen in denen deformierbare Körper entscheidend sind, darzustellen. (Meywerk)

Die Finite-Elemente-Methode stellt einen wesentlichen Bereich der strukturmechanischen Berechnung, wie z.B. Verformungen, Spannungen, Dehnungen, Temperaturverteilung, usw. dar. Das grundlegende Vorgehen besteht darin, die zu untersuchenden Bauteile in einfache Teilbereiche zu unterteilen. Dies erfolgt entsprechend der Geometrie der Bauteile und der auftretenden Belastungen bzw. der zu untersuchenden Lastfälle, in passender Geometrie, ausreichender Genauigkeit und Größe der Elemente. Die Ecken dieser Balkenelemente, Schalenelemente oder Volumenelemente werden Knoten genannt. Für diese werden die aufgestellten Differenzialgleichungen unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen numerisch gelöst bzw. angenähert und zwischen den Knoten linear angeglichen. Somit ergeben sich für das gesamte Bauteil elastische und auch plastische Deformationen, anhand derer eine Spannungsverteilung berechnet werden kann, welche einer Plausibilitätsprüfung und anschließend einer Auswertung unterzogen wird. Die Vorteile der FEM liegen ganz klar in den nahezu uneingeschränkten Möglichkeiten in der Simulation, detaillierte Untersuchungen führen jedoch schnell zu sehr hohen Rechenzeiten, außerdem sind Fehler durch welche die Ergebnisse von der Realität abweichen und somit falsch sind leicht zu generieren und nur mit Erfahrung auf den ersten Blick zu erkennen. (Kramer, Franz, Göring, Lorenz, Steffan, & Schöneburg, 2008)

Abbildung 33 stellt die Überführung eines realen Systems in ein Modell des Mehr-Körper-Systems bzw. für die Finite Elemente Methode dar. Die Modellbildung erfolgt zum einem durch physikalische Diskretisierung mit Parametern, wie z.B. Masse, Trägheit, Steifigkeit usw. und im Fall von FEM durch mathematische Diskretisierung der Unterteilung des Kontinuums in einfache Flächen- oder Volumenstücke, welche mittels Knoten an den Ecken verbunden sind.

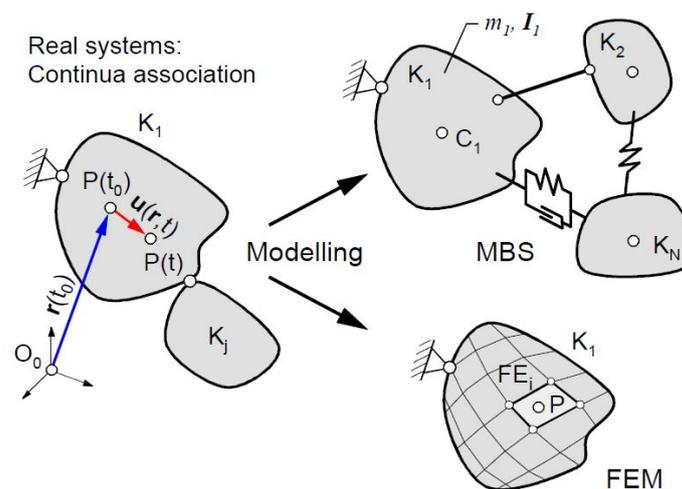


Abbildung 11 Modellbildung eines realen Systems für das MKS und die FEM (Hirz, 2013)

Die zwei beschriebenen Methoden bieten für die jeweiligen Einsatzgebiete sehr gute Ergebnisse, für manche Berechnungen kann es durchaus nötig sein eine Kombination aus beiden zu schaffen, um optimale Resultate zu erhalten. Es besteht die Möglichkeit die Ergebnisse aus einer FEM Berechnung in die Eingabedaten für eine MBS einfließen zu lassen oder umgekehrt. Eine weitere Möglichkeit stellt ein simultaner Datenaustausch dar, hier werden während der Berechnung regelmäßig Daten zwischen den beiden Berechnungen ausgetauscht. Ein Beispiel stellt ein Crash-Test mit einem Dummy dar, wobei die FEM Rechnung die Kontaktkräfte und Deformationen mittels der Steifigkeiten zwischen dem Dummy und dem Fahrzeug berechnet und die MKS Simulation die Bewegungen des Dummies ermittelt, siehe Abbildung 34. Ein weiteres Beispiel wäre die Kombination eines Strömungs-Simulations-Programmes und eines FEM Programmes, um die Entfaltung eines Airbags zu berechnen. Die Vorteile dieser Kombinationen liegen in den reduzierten Rechenzeiten sowie dem optimalen Einsatz des jeweiligen Programmes in seinem Spezialgebiet. Nachteilig können sich der Aufwand für die Umsetzung sowie die Lizenzgebühren auswirken, ebenso sind gute Kenntnisse beider eingesetzter Programme notwendig. (Kramer, Franz, Göring, Lorenz, Steffan, & Schöneburg, 2008)

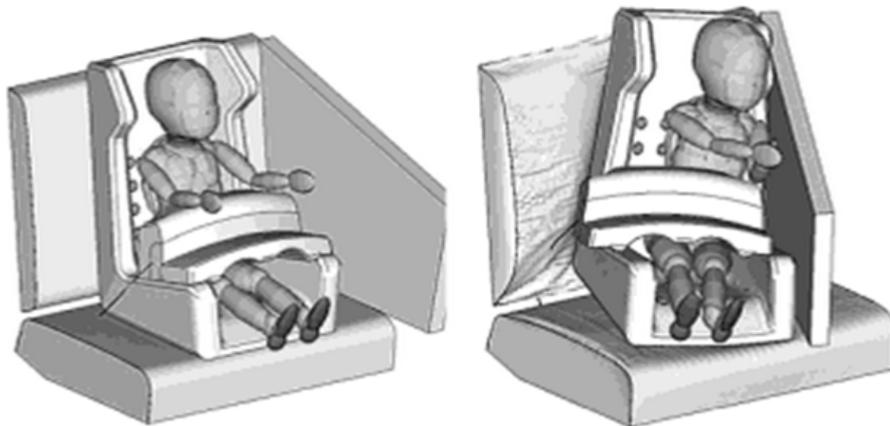


Abbildung 12 Simulation eines Kinderrückhaltesystems in einer Kopplung von LS-DYNA und MADYMO (Kramer, Franz, Göring, Lorenz, Steffan, & Schöneburg, 2008)

3.1 Crash Simulation LS-DYNA

Sämtliche im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen wurden mit LS-DYNA gemacht. Dies ist ein Simulationsprogramm welches mittels der Finite Elemente Methode arbeitet. Durch den Einsatz einer expliziten Zeitintegration können auch hochdynamische Problemstellung behandelt werden, was für diese Arbeit von grundlegender Bedeutung ist. Nachfolgend wird der Ablauf und die wesentlichen Punkte für die Durchführung einer FEM Simulation beschrieben.

Im Ablauf einer FEM Berechnung lassen sich drei Teilschritte identifizieren; Preprocessing, Solving und Postprocessing. Der Umfang kann sich zwischen verschiedenen Berechnungsprogrammen geringfügig ändern, entspricht aber im Großen und Ganzen den folgend dargestellten Punkten.

3.1.1 Preprocessing

Der erste Schritt ist gleichzeitig auch der wichtigste und aufwendigste, das Preprocessing. In diesem Schritt werden sämtliche Eigenschaften des Modelles festgelegt, die später für die Aussagekraft der Berechnung entscheidend sind. Zu Beginn wird meist ein CAD Modell in ein geeignetes Preprocessor Programm, als STP oder IGES Format, eingelesen. Nur selten wird eine Struktur ohne Vorlage aus einem CAD Programm vernetzt, da dies schon bei kleinen Bauteilen sehr zeitaufwendig sein kann. Das eingelesene Bauteil wird, wenn es sich um ein dünnes und großflächiges Teil handelt, auf seine Mittelebene reduziert und mittels verschiedener Makros vernetzt. Das Ergebnis bildet eine möglichst gleichmäßige Struktur aus finiten Elementen in Form von Drei- und Vierecken. Diese sind durch die Knoten definiert, die sie aufspannen und müssen bereits gewisse Bedingungen erfüllen um schlussendlich ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, z.B. dürfen die Seitenlängen nicht zu stark variieren und gewisse Werte nicht unterschritten bzw. überschritten werden, darüber hinaus dürfen die Winkel nicht zu groß oder klein sein und selbstverständlich dürfen sich die Elemente auch nicht überschneiden. Nicht flächige, stark unebene und vor allem sehr dicke Bauteile können auch mittels Volumenelementen, wie Tetraeder- oder Hexaederelementen vernetzt werden, hier sind wieder andere Bedingungen zu beachten, außerdem steigt durch die höhere Knotenanzahl der Rechenaufwand und somit die Rechendauer. Weitere Elemente stellen Beam Elemente und Nodes dar, siehe Abbildung 35.



Abbildung 13 Beginnend von links, Nodes, Beam, Shell-, Tetraeder- und Hexaederelement (Eichberger, 2014)

Nachdem sämtliche benötigte Bauteile mit den entsprechenden Elementen vernetzt wurden, müssen die Kontakte zwischen den Bauteilen hergestellt werden. Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten. Eine ist z.B. es soll eine Verbindung zwischen dem Teil A und Teil B, beides Shell Elemente hergestellt werden. Hierzu wird in einem Bauteil A eine Beam Kette, an den zu verbindenden Stellen erzeugt, diese Beams suchen sich durch einen Tied Kontakt den nächst nächsten Knoten des Bauteiles B und verbinden sich starr damit. Eine zweite Möglichkeit stellen sogenannte Rigids dar, diese Beam Elemente sind, wie ihr Name schon sagt, starr und sperren für die verbundenen Knoten sämtliche Freiheitsgrade zueinander. Ein weiteres Beispiel, welches im Zuge dieser Arbeit mehrfach angewendet wurde ist die Abbildung einer Verschraubung mittels vorgespannter Beamelemente. Zuerst werden auf beiden Seiten der Verschraubung Rigids definiert, welche die Auflage des Schraubenkopfes bzw. der Mutter darstellen. Diese Rigids werden mittels eines Beams verbunden für den anschließend eine Kraft/Wegkurve definiert wird, somit sind die Bauteile wie mit einer realen Schraube zueinander vorgespannt. Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten Bauteile miteinander zu verbinden, unabhängig davon ob es sich um eine starre oder eine Verbindung mit Freiheitsgraden handelt, es muss aber immer darauf geachtet werden so gut wie möglich dem realen Aufbau zu entsprechen bzw. diesen so gut und einfach wie möglich abzubilden.

Nachdem alle Bauteile, so wie gewünscht, miteinander verbunden sind, müssen die Randbedingungen des Systems definiert werden. Diese können, je nach den zu untersuchenden Eigenschaften stark variieren. Für Crashversuche kann z.B. der Boden mit modelliert, das Fahrzeug mit einer Anfangsgeschwindigkeit beaufschlagt und ein Beschleunigungsfeld definiert werden, welches die Gravitation darstellt. Für andere Versuche ist es ausreichend bestimmte Bauteile oder Knoten mit Randbedingungen zu versehen, die deren Freiheitsgrade entsprechend des realen Systems einschränken. Weitere Randbedingungen wie z.B. aufgebrachte Kraft-/Zeit- oder Beschleunigungs-/Zeitkurven können für Knoten oder ganze Bauteile definiert werden. Dies wurde auch bei der Simulation des Leichtbau-Schlittens durchgeführt. Die Schubstange wurde als eigenes Bauteil im Modell abgebildet und mit einem, dem Puls entsprechenden, Beschleunigungs-/Zeitverlauf beaufschlagt. An den Anbindungsflächen zur Schienenführung wurden einige Elemente, entsprechend der Realität, teilweise in ihren Freiheitsgraden gesperrt um eine gerade Bewegung in horizontaler Ebene zu erhalten. In Kapitel 7 wird darauf im Detail eingegangen.

Sind sämtliche geometrischen Bauteile und Zugehörigkeiten im Preprocessor Programm definiert wird das Modell im benötigten Code-Format gespeichert. Dieser Code kann mittels eines entsprechenden Editors bearbeitet und erweitert werden. Bei LS-DYNA ist der Code durch sogenannte Keywords aufgebaut, es gibt ein weit über 1000 seitiges User Manual in dem alle Keywords beschrieben sind, in deren Anschluss die jeweiligen Eigenschaften des Befehls definiert werden. Hier müssen z.B. die automatischen Kontakte definiert werden, welche Bauteile im Kontakt stehen, wie groß der Suchradius für die Verbindung der einzelnen Knoten sein soll usw.. Außerdem müssen die Materialeigenschaften festgelegt werden, dazu müssen Eigenschaften wie die Dichte, der E-Modul, die POISSON-Zahl, die Streckgrenze etc. festgelegt werden. Dies kann sich bei komplizierten Sandwichbauteilen mit Klebeverbindungen oder Dekoreinlagen beispielsweise im Fahrzeuginnenraum durchaus schwierig gestalten. Ein ebenso wichtiger Punkt ist die Definition der verschiedenen Kurven für die Bestimmung des plastischen Materialverhaltens, der Randbedingungen, uvm. Mit diesen Informationen ist die Berechnung des Crash-Schlittens bereits möglich, weshalb auf die Aufzählung der zahlreichen weiteren Möglichkeiten verzichtet wird. Abschließend ist noch die Organisation der Eingabeinformationen der grundlegenden Keywords in Abbildung 14 dargestellt. Jeder Node besitzt drei Koordinaten die ihn eindeutig definieren. Ein Element beinhaltet, abhängig von der Form, mehreren Nodes. Diese Elemente wiederum den entsprechenden Parts zugeordnet usw.

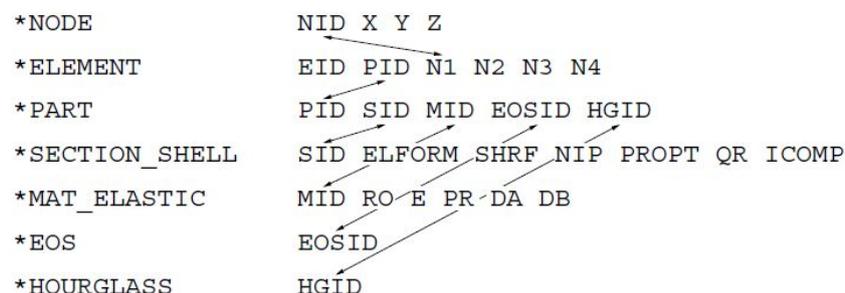


Abbildung 14 Organisation der Keyword Eingabe


```

$-----
$
$                                     BAUTEIL SELBST-KONTAKT DEFINITION
$~~~~~1~~~~~2~~~~~3~~~~~4~~~~~5~~~~~6~~~~~7~~~~~8
*CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE_ID
$HWCOLOR GROUPS 9900003      5
$#      cid                                     title
      9900003Global_Kontakt_Schlitten_Kamerarahmen
$#      ssid      msid      sstyp      mstyp      sboxid      mboxid      spr      mpr
      0          0          3          0          0          0          0          0
$#      fs        fd        dc        vc        vdc        penchk      bt        dt
      0.200000  0.200000  0.000  0.000  0.000  0          0.000  0.000
$#      sfs       sfm       sst       mst       sfst       sfmt       fsf       vsf
      0.000      0.000      0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000
$~~~~~1~~~~~2~~~~~3~~~~~4~~~~~5~~~~~6~~~~~7~~~~~8

```

Abbildung 16 Beispiel einer Selbst-Kontakt Definition aus einem LS-DYNA Eingabecode

```

$-----
$-----
$
$                                     TIED KONTAKT DEFINITION
$~~~~~1~~~~~2~~~~~3~~~~~4~~~~~5~~~~~6~~~~~7~~~~~8
*CONTACT_TIED_NODES_TO_SURFACE_OFFSET_ID
$HWCOLOR GROUPS 10040      3
$#      cid                                     title
      10040T_N2S_10040
$#      ssid      msid      sstyp      mstyp      sboxid      mboxid      spr      mpr
      50002784  50002785  2          2          0          0          1          1
$#      fs        fd        dc        vc        vdc        penchk      bt        dt
      0.000      0.000      0.000  0.000  0.000  0          0.000  0.000
$#      sfs       sfm       sst       mst       sfst       sfmt       fsf       vsf
      0.100000  0.100000  25.000000  25.000000  0.000  0.000  0.000  0.000
*SET_PART_LIST_TITLE
SET_PROPERTIES_0000813519
$#      sid      da1      da2      da3      da4      solver
      50002784  0.000  0.000  0.000  0.000
$#      pid1     pid2     pid3     pid4     pid5     pid6     pid7     pid8
      108       0       0       0       0       0       0       0
*SET_PART_LIST_TITLE
SET_PROPERTIES_0907011067
$#      sid      da1      da2      da3      da4      solver
      50002785  0.000  0.000  0.000  0.000
$#      pid1     pid2     pid3     pid4     pid5     pid6     pid7     pid8
      10       130     240     370     400     470     0       0
$~~~~~1~~~~~2~~~~~3~~~~~4~~~~~5~~~~~6~~~~~7~~~~~8

```

Abbildung 17 Tied Kontakte zur Simulation von Verbindungen zwischen Bauteilen in LS-DYNA

3.1.2 Solver

Sind alle für die Berechnung erforderlichen Daten definiert, kann das Berechnungsmodell dem Solver zugeführt werden. Aus Handhabungs- und Übersichtlichkeitsgründen, eine Rohkarosse hat mehrere Millionen Zeilen Eingabecode, werden Includefiles einzeln bearbeitet und in einem Steuerfile „zusammengebaut“. Im Steuerfile sind grundsätzlich Informationen der Simulation enthalten, wie z.B. die vorgegebenen Zeitschritte, die Berechnungsdauer, alle benötigten Includefiles und deren Kontakte zueinander, usw.. Als Includefile werden Untergruppen einer gesamten Simulation bezeichnet, dabei kann es sich von Airbags über Dummies bis hin zu Karossen handeln. Bevor das Modell zur Berechnung geschickt wird, wird es getestet ob es funktioniert und somit rechnerfähig ist, dies erfolgt entweder lokal auf der Workstation oder mit geringer CPU Anzahl auf einer eigenen Queue. Ist das Modell rechnerfähig, erfolgt die Berechnung in Clustern welche mehrere tausend CPU's umfassen und von ganzen Firmen genutzt werden. Hier wird das Steuerfile hochgeladen und die gewünschte Prozessoranzahl, sowie der zu verwendete Solver gewählt. Die benötigten Files werden automatisch, der Pfad muss im Steuerfile hinterlegt sein, auf den Cluster hochgeladen. Während der Berechnung werden alle relevanten Informationen in einem Logfile mitgeschrieben, welches zu jeder Zeit einsehbar ist und vor allem zu Beginn der Berechnung auf Plausibilität überprüft werden sollte. Die darin enthaltenen Daten sind z.B. berechnete Masse, voraussichtliche Berechnungsdauer, hinzugefügte Masse, bei zu kleinen Elementen für den gewählten Zeitschritt muss Masse hinzugefügt werden, um eine stabile Berechnung zu ermöglichen, Elementversagen, uvm. Weiteres werden die zu berechnenden Ergebnisse, je nach Anforderung elastische und plastische Knotenverschiebungen, sowie die daraus errechenbaren Spannungen usw., in Zwischenschritten abgespeichert. Ist die Berechnung bis zur geforderten Zeit durchgeführt, wird sie abgeschlossen und sämtliche Dateien auf einem Netzlaufwerk archiviert, gleichzeitig erhält der Auftraggeber eine Mitteilung über den Abschluss der Rechnung. Ebenso wird der Berechnungsingenieur informiert wenn die Rechnung abgebrochen wird mit dem Verweis im Logfile den Fehler zu analysieren. Nach einer erfolgreich durchgeführten Berechnung erfolgt das Postprocessing.

3.1.3 Postprocessing

Im Postprocessing werden die berechneten Daten ausgewertet, dazu werden die im Solving erstellten Dateien in ein geeignetes Programm wie z.B Animator eingelesen und ausgewertet. Dieses Programm dient hauptsächlich dem visuellen Darstellen der Geometrie mit den auftretenden Spannungen und Verformungen. Ein weiteres Programm stellt Hypergraph dar, mit dem Schnittkräfte, Beschleunigungen, Verschiebungen, uvm. mittels Graphen dargestellt werden können. Die Auswertung erfolgt im ersten Schritt meist automatisch durch Makros verschiedenster Art, so z.B. durch ein Sessionfile bei dem Programm Animator. Hier können sämtliche Ansichten, darzustellende Bauteile und berechnete Eigenschaften mit passender Skalierung, sowie die Erstellung von Bildern und Videos, das Anzeigen der globalen Maxima der verschiedenen Funktionen bei definierten Zeitschritten festgelegt und automatisch gespeichert werden. Weiterführend besteht auch die Möglichkeit die erarbeiteten Ergebnisse direkt in eine Präsentation einzulesen und abzuspeichern. Diese und viele weitere automatische Auswertungen sind möglich, bedürfen aber einer umfangreichen Erfahrung und sorgfältigen Vorbereitung. Nichtsdestotrotz müssen die Ergebnisse vom Ingenieur auf Plausibilität überprüft werden. Da schon geringe Unstimmigkeiten, vor allem bei den Kontakten, zu

verfälschten Ergebnissen führen und der Ingenieur, für die von ihm durchgeführte und für richtig befundene Berechnung verantwortlich ist.

3.2 CAD Programme

CAD Systeme dienen dazu, geometrische Bauteile und Produkte zu beschreiben. Es werden volumenartige Körper bzw. Oberflächen, aber auch für die Fertigung relevante Eigenschaften dokumentiert. Hierzu zählen z.B. Materialangaben, Gewichte, Fertigungstoleranzen usw.. Die Beschreibung der geometrischen Formen erfolgt durch eine Zusammensetzung aus mathematisch einfach beschreibbaren geometrischen Grundformen. Dazu zählen z.B. Fläche, Ebene, Zylinder, Linie, Punkt, aber auch Volumenkörper wie Kugel, Quader usw.. Die CAD-Systeme können in ihrer Arbeitsweise in zwei Gruppen unterschieden werden, nämlich in die funktionale Konstruktion und die parametrisch-assoziative Konstruktion. (Brill, 2006)

3.2.1 Funktionale Konstruktion

Die funktionale Konstruktion erlaubt es dem Anwender Geometrieelemente mit Hilfe von Funktionen zu erzeugen oder zu ändern. Diese Elemente bestehen aus einer mathematischen Beschreibung, sowie grafischen Attributen, wie z.B. Farbe, Strichstärke usw.. Die Verwaltung dieser Geometrieelemente erfolgt im CAD System, wobei diese unabhängig voneinander existieren. Wird ein neues Element erstellt oder ein bestehendes modifiziert, legen die entsprechenden Funktionen fest, wie und mit welchen Vorgaben der vorhandenen Werte dies geschieht. Als Beispiel kann hier das Ausrunden zweier Flächen beschrieben werden. Das Ausrunden erfolgt mit Hilfe einer Funktion und einem bestimmten Radius. Die erhaltene Fläche entspricht diesen Anforderungen und stellt die Ausrundung dar. Will man nachträglich den zuvor bei der Ausführung dieser Funktion festgelegten Radius ändern, ist dies nicht möglich. Es kann lediglich die erzeugte Ausrundungsfläche gelöscht werden und eine neue erstellt werden. (Brill, 2006)

3.2.2 Parametrisch-assoziative Konstruktion

Als assoziative Konstruktion bezeichnet man CAD-Systeme, die bei der Anwendung einer Funktion wieder ein parametrisch-assoziatives Geometrieelement erzeugen. Dieses Element enthält neben der mathematischen Beschreibung seiner Eigenschaften auch die Informationen der Erzeugungsfunktion. Somit merkt sich das Element die Vorgabeparameter, sowie die Vorgabeparameterelemente und kann in weiterer Folge wieder Vorgabeelement für andere Funktionen sein. Die daraus entstehende vernetzte Struktur zwischen den Elementen, auch als Assoziationen bezeichnet, ergibt ein Bauteil, das alle verwendeten Befehle und Abhängigkeiten vollständig beinhaltet. Hier können auch nachträgliche Änderungen der Parameter durchgeführt und Vorgabeelemente ausgetauscht werden. Dies macht es erforderlich, dass nach jeder Änderung die einzelnen Elemente in der vorhandenen Reihenfolge mit den aktuellen Vorgabeelementen und –parametern neu berechnet werden. Diese nachträgliche Änderung der Parameterwerte wird auch als parametrische Konstruktion bezeichnet. Zusammen mit der Möglichkeit der nachträglichen Änderung der Vorgabeelemente, auch als assoziative Konstruktion bezeichnet, ergibt sich die parametrisch-assoziative Konstruktion. (Brill, 2006)

3.2.3 Catia V5

Das für die Entwicklung des Leichtbau-Schlittens eingesetzte Programm Catia (Computer aided three-dimensional Interactive Application) V5 ist ein parametrisch-assoziatives Konstruktionsprogramm. Catia wurde von der Firma Dassault Systemes ursprünglich für den Flugzeugbau entwickelt, erst später fand es durch Erweiterungen Einzug in einer Vielzahl von Branchen. Neben der Erstellung von dreidimensionalen Modellen und den zugehörigen zweidimensionalen Zeichnungen, bietet es eine Vielzahl weiterer Module. Beginnend bei der Erstellung von Renderingbildern über Einbauuntersuchungen und einfache Finite-Elemente Berechnungen bis hin zur Erstellung eines NC-Maschinencodes wird eine Vielzahl von Funktionen angeboten. Im Zuge dieser Arbeit wurde hauptsächlich mit dem Part design, welches zur Erstellung von parametrisch-assoziativen Volumenkörpern dient, dem Assembly design, zur Erstellung von parametrisch-assoziativen Baugruppen aus den Einzelteilen, und dem Drafting, zum Erstellen sämtlicher Fertigungszeichnungen, gearbeitet. In Abbildung 18 ist die Benutzeroberfläche des Programmes Catia V5 im Part design dargestellt.

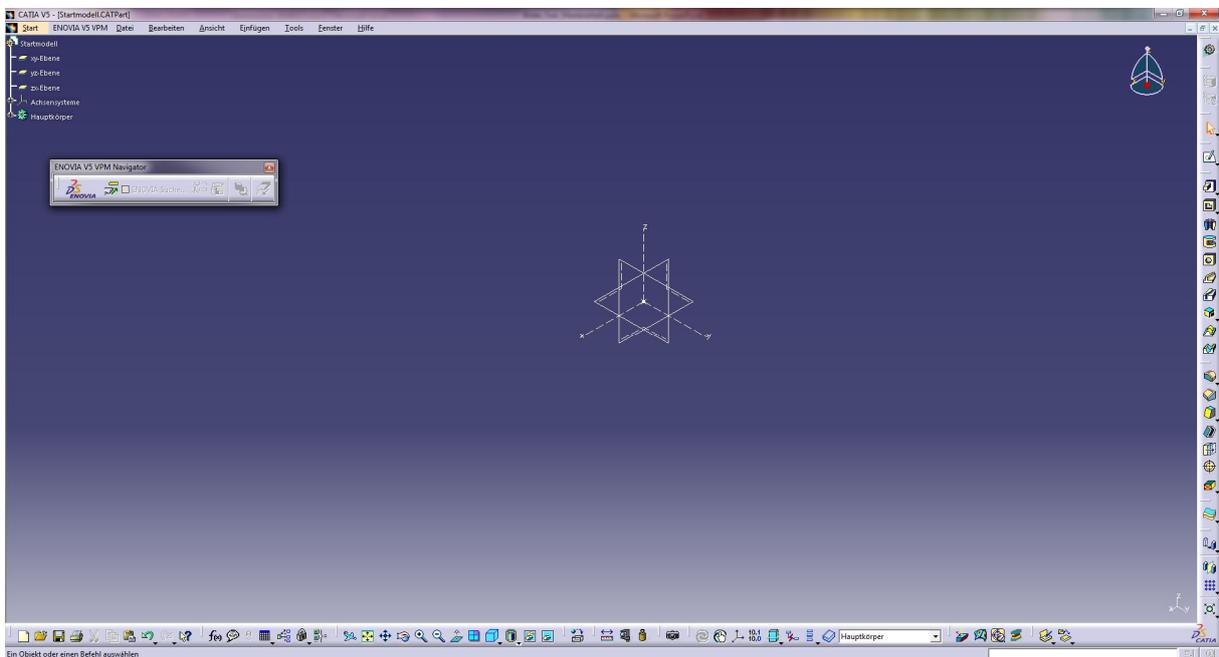


Abbildung 18 Benutzeroberfläche Catia V5 im Part design

4 Physische Erprobung

Mit Hilfe der physischen Simulation werden die Sicherheitsmaßnahmen von Fahrzeugen unter möglichst realistischen Bedingungen getestet. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten wurden genormte Versuche definiert, wie bereits in Kap. 2 erläutert, mit Hilfe derer die Automobilindustrie ihre Produkte optimiert. Die umfangreichsten und realitätstreuesten Versuche stellen die Gesamtfahrzeug-Crash-Tests dar. Hier wird über das Deformationsverhalten, mögliche Intrusionen in den Fahrgastinnenraum bis hin zu der Funktion der Rückhaltesysteme mit den damit verbundenen Belastungen auf den Insassen alles, unter Berücksichtigung sämtlicher Einflussgrößen, dargestellt. Durch die vielen, unterschiedlichen Crash-Tests und die in der Produktion sehr aufwendig und teuren Prototypen werden Komponenten aber auch ganze Systeme, z.B. das Insassenrückhaltesystem, mit Hilfe von Schlittencrashanlagen erprobt. Solche Anlagen bieten eine sehr hohe Reproduzierbarkeit und kommen mit einem wesentlich geringeren Aufwand als Gesamtfahrzeugversuche aus. Abbildung 19 gibt eine Übersicht, über die mögliche Einteilung von Craschanlagen und der für die Durchführung von Versuchen benötigten Einrichtung (Kramer, Franz, Lorenz, Remfrey, & Schöneburg, 2013)

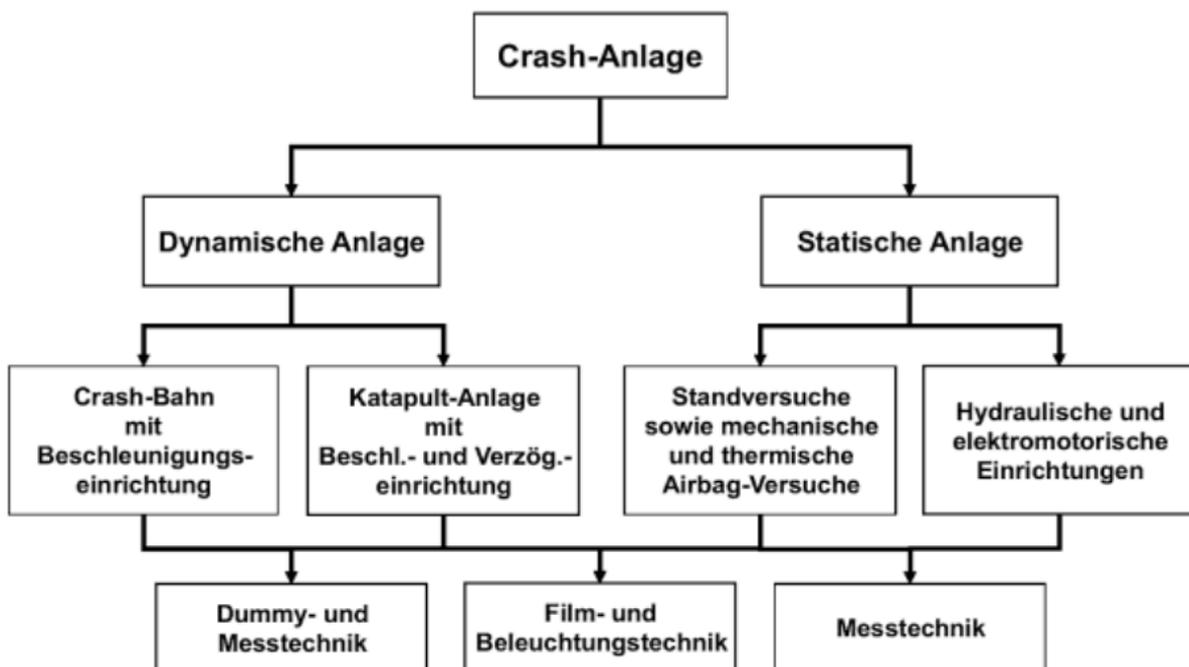


Abbildung 19 Einteilung der Craschanlagen mit zugehöriger Einrichtung (Kramer, Franz, Lorenz, Remfrey, & Schöneburg, 2013)

4.1 Schlittencrash Anlagen

Die physische Erprobung von Systemen und Komponenten auf Schlittenanlagen, speziell von Insassenrückhaltesystemen, bietet den wesentlichen Vorteil, dass, wie bereits erwähnt, nicht die gesamte Karosserie zerstört wird, sondern lediglich die irreversiblen, getesteten Komponenten. Großteils wird für solche Versuche eine Rohkarosserie auf den Schlitten montiert und verstärkt (gepanzert) damit diese bis zu 50 Versuche übersteht. Der Deformation des Gesamtfahrzeuges entsprechenden Intrusionen, wie z.B. die Intrusion des Lenkrades oder der Pedale in den Fahrgastinnenraum, können nur mit zusätzlichen Mechanismen bzw. Zylindern realisiert werden und bedeuten einen erheblichen Mehraufwand. Grundsätzlich kann in zwei Schlittenarten unterschieden werden.

Der Beschleunigungsschlitten oder auch Katapultschlitten genannt, wird entgegen der Fahrtrichtung mittels eines Pneumatikzylinders beschleunigt. Der Beschleunigungsverlauf über die Zeit, auch Puls genannt, entspricht der Verzögerung, welche auf die Karosserie wirkt, wenn das Fahrzeug den entsprechenden Crash-Test absolviert. Nach dem Beschleunigen wird das Fahrzeug, das sich jetzt mit der Anfangsgeschwindigkeit des durchgeführten Crash-Tests entgegen der Fahrtrichtung bewegt, mittels entsprechender Bremsen zum Stillstand gebracht. Aktuelle Systeme verwenden im Antriebszylinder eine Stickstoffgasfeder, welche unter hohem Druck komprimiert wird. Die Druckerzeugung erfolgt mittels eines Hydraulikaggregates und wird mit Hilfe eines Kolbens auf den Stickstoff übertragen. Um den exakten Beschleunigungsverlauf des Fahrzeuges wiedergeben zu können, wird eine entsprechende zusätzliche Steuerung benötigt. Eine Möglichkeit stellt Abbildung 20 dar, hier wird die Kolbenstange, auch als Schubstange bezeichnet, mit Hilfe von Hochdruckhydraulik und Reibbelägen gebremst, welche durch hochdynamische Servoventile geregelt werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Kolben nicht direkt mit der Gasfeder zu beaufschlagen, sondern eine Hydraulikflüssigkeit zu verwenden, deren Zustrom mit unterschiedlich großen Servoventilen geregelt wird. Eine seltene Variante bildet das Bentix-Prinzip, hier werden durch den Steuerkolben beim Öffnen des Hydraulik-Zuflusses, je nach Stellung, unterschiedliche Querschnitte freigegeben. Der wesentliche Nachteil besteht darin, dass der Steuerkolben, um andere Pulse darstellen zu können, ausgewechselt werden muss. (Kramer, Franz, Lorenz, Remfrey, & Schöneburg, 2013)

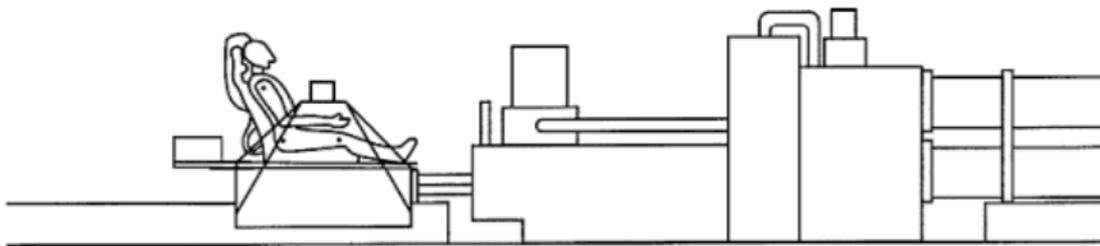


Abbildung 20 Schematische Darstellung eines Beschleunigungsschlittens (Kramer, Franz, Lorenz, Remfrey, & Schöneburg, 2013)

Bereits beim Herstellen der Versuchsbereitschaft werden die Schienenbremsen des Schlittens mit leichtem Druck beaufschlagt. Dies stellt sicher, dass der Schlitten während des Pulses nicht von der Kolbenstange abhebt und auch sicher und möglichst spielfrei in den Schienen geführt wird. Nach dem Ende des Pulses wird die Schlittenbremse mit dem Maximaldruck beaufschlagt und somit der Schlitten zum Stillstand gebracht. In der Anlage sind mehrere Sicherheitsmaßnahmen integriert, so kann ein Versuch nur durchgeführt werden wenn alle Türen der Versuchshalle geschlossen sind. Weiteres sind im Pneumatikzylinder bzw. am Ende der Gleise Stauchrohre verbaut, um im Falle des Versagens der hydraulischen Bremsen am Zylinderrohr bzw. der Bremsen am Schlitten einen Schaden an der Anlage und der Menschen in der näheren Umgebung zu verhindern.

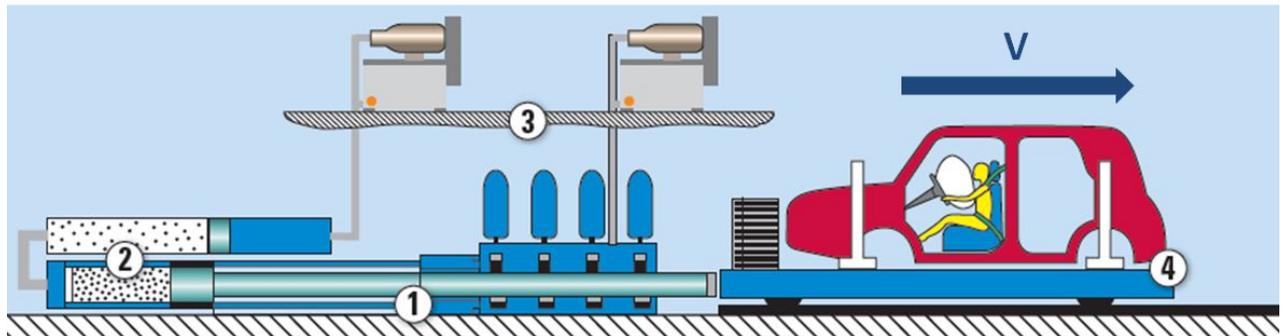


Abbildung 22 Schematischer Aufbau der HyperG plus Anlage (Instron Structural Testing Systems GmbH, 2010)

Einige Eckdaten des HyperG in Graz:

- Max. Zylinderkraft: 2200kN
- Schlittenleergewicht: 800kg
- Max. Zuladung: 4000kg
- Max Beschleunigung: 70g
- Max. Verzögerung: 8g
- Max Geschwindigkeit: 80km/h
- Max Hub: 1,7m

Teilweise sind die maximalen Werte abhängig von der Zuladung wie z.B. der Beschleunigung usw.

4.2.1 Der Schlitten

Der aktuelle Schlitten des HyperG ist in Abbildung 23 dargestellt. Auf das hier dargestellte Koordinatensystem wird im gesamten weiteren Verlauf dieser Arbeit Bezug genommen. Die X-Achse ist entgegen der Fahrtrichtung der aufgespannten Karosse und damit in Bewegungsrichtung des Schlittens festgelegt. Die Y-Achse zeigt vom Fahrer zum Beifahrer für Linkslenker und die Z-Achse entgegen der Erdbeschleunigung von unten nach oben. Als vorne wird somit jene Seite bezeichnet, welche die niedrigeren X-Koordinaten aufweist.

Die Schienenführungen, welche auch die Schienenbremsen beinhalten, werden an den vier Ecken des Schlittens montiert (1). Hier sind Zylinderrollenlager zur Führung und eine Bremszange mit Hydraulikzylinder und Reibbelägen im Einsatz. Die Krafteinleitung durch den Pneumatikzylinder erfolgt am Druckstück (2). Dieses Bauteil stellt somit den Kontakt zwischen Schlitten und Schubstange her und ist gleichzeitig eines der höchstbelasteten Bauteile. Die gekennzeichneten Bohrungen (3) sind die Schnittstelle zwischen Schlitten und Karosserie bzw. dem Zwischenrahmen, der als Adapter dient. Vorne am Schlitten befindet sich eine formschlüssige Abstützung, somit müssen die Schrauben nicht die gesamte Belastung tragen. Jedoch müssen sie massiv genug ausgelegt sein, um im Falle einer Notbremsung die Karosse sicher am Schlitten zu halten. Von einer Notbremsung spricht man, wenn bei Versagen der Bremsen der Schlitten von 6 Stauchrohren, die sich am Ende der Gleise, zwei mittig und jeweils zwei seitlich befinden, sicher zum Stillstand gebracht wird. Zur Erzeugung des hydraulischen Drucks für die Schlittenbremsen ist eine Kombination aus Druckluft- und Hydraulikzylindern an einer Querstrebe befestigt (4). Um nach einem Crash-Versuch die Schubstange wieder einzufahren und den Schlitten in seine Ausgangsposition zurückzubringen, ist vorne am Schlitten eine Einziehvorrichtung (5) angebracht, in welche ein Hydraulikzylinder einhackt, der am Zylinderrohr befestigt ist und den Schlitten wieder zum Zylinderrohr zieht.

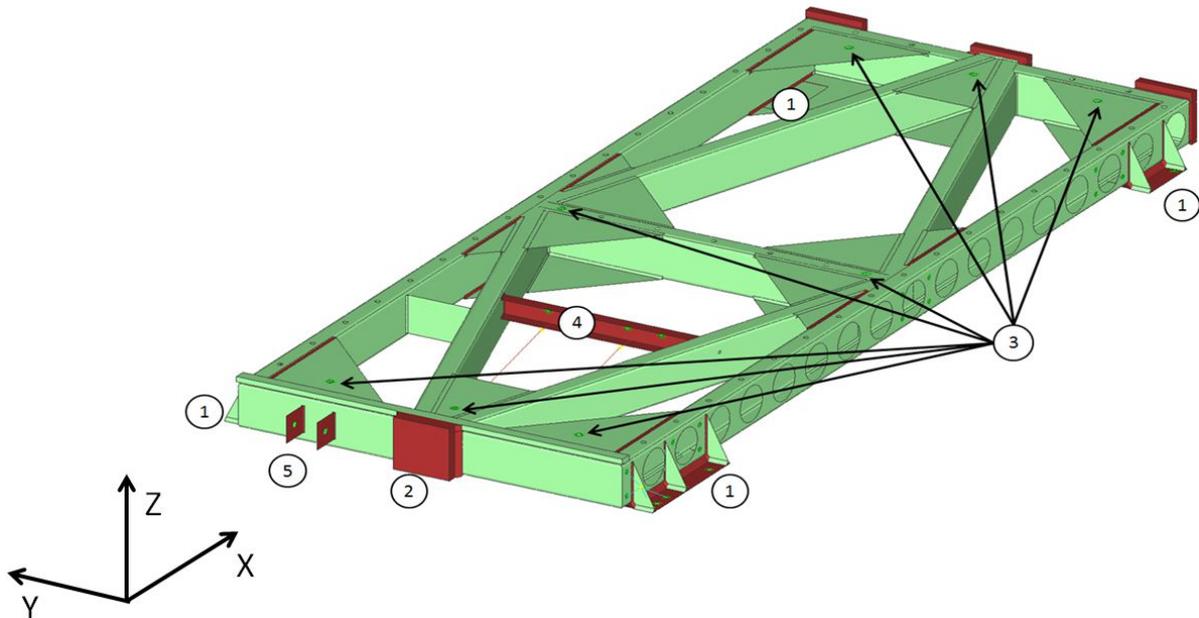


Abbildung 23 Aktueller Crash-Schlitten (EGB-F, 2003)

Der Zwischenrahmen (2), der als Adapter zwischen Schlitten (1) und Karosse (3) dient, ist in Abbildung 24 dargestellt. Er besteht aus C-Profilen und ist als Schweißkonstruktion ausgeführt. Schlittenseitig wird er mit acht M20 Verschraubungen, siehe Abbildung 23 Punkt 3, befestigt und vorne formschlüssig abgestützt. Die Aufnahme der Karosse erfolgt über ein Lochmuster mit 100mm Abstand und M16 Verschraubung. Dieses Lochmuster ist in den C-Profilen des Zwischenrahmens eingearbeitet und wird karosserieseitig durch Laserplatten, die mit Abstützungen an die Karosse angeschweißt werden, abgebildet. Weiteres muss der Schlitten das Kameragestell (4) aufnehmen. Die Verschraubung erfolgt pro Anbindungsstrebe durch je vier M16 Schrauben.

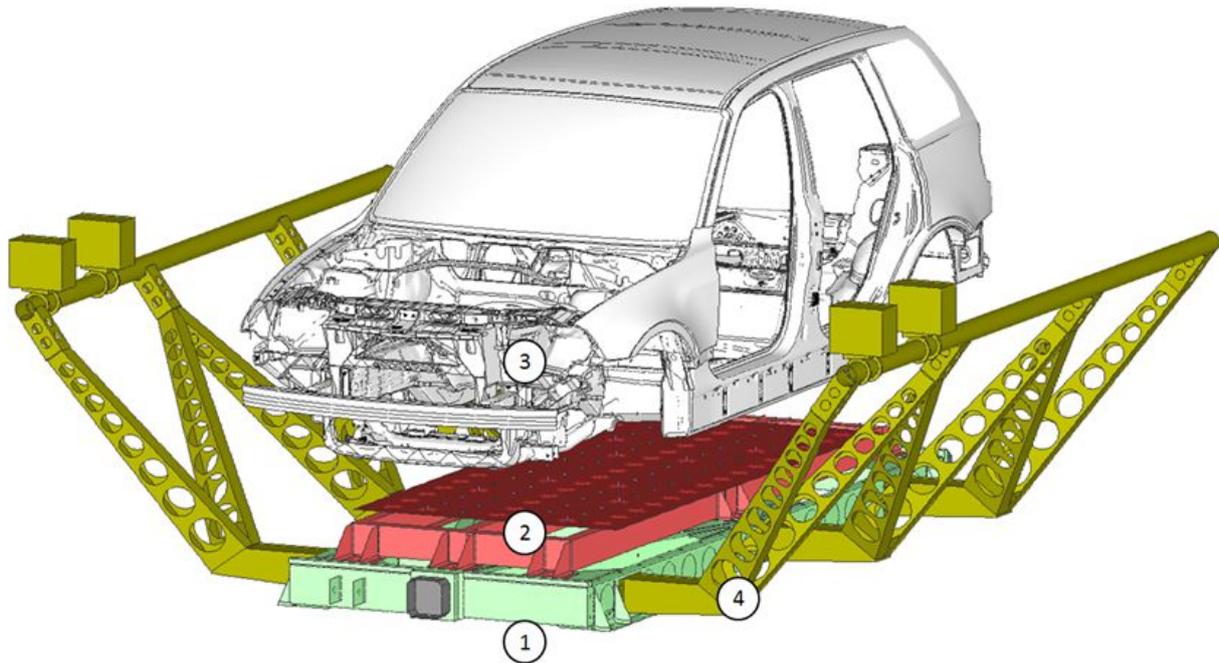


Abbildung 24 Gesamtaufbau des aktuellen Crash-Schlittens mit Karosse (EGB-F, 2003)

Eine Auflistung der einzelnen Bauteilgewichte des bestehenden Schlittens ist an dieser Stelle im Hinblick auf den weiteren Umfang der Arbeit durchaus sinnvoll.

Bauteil	Gewicht [kg]
Schlitten	950
Zwischenrahmen	250
Kamerarahmen gesamt	243
Anbindung Karosse (Laserplatinen, Schrauben)	86
Gesamt	1529

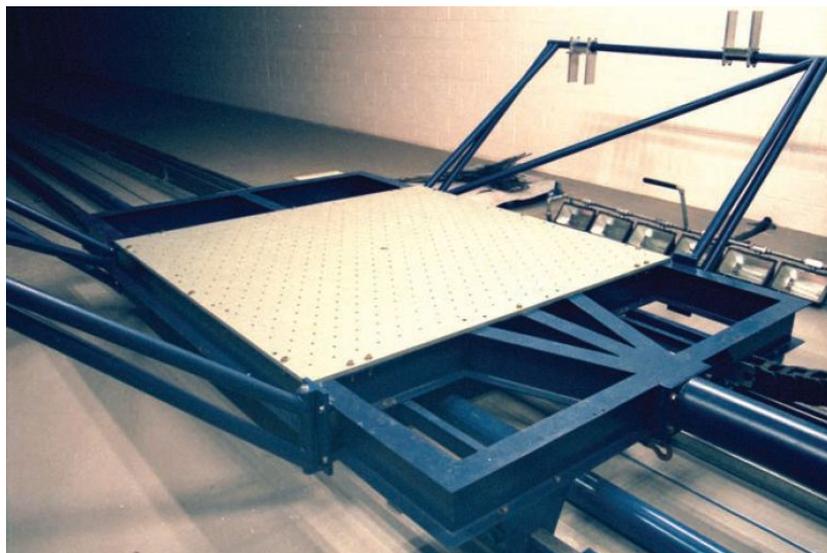
Tabelle 1 Gewichtsauflistung der Crash-Schlitten-Baugruppen

5 Konzeptphase

Die Konzeptphase stellt den Beginn des Lösungsfindungsweges dar. Es wurde viel Zeit in die ersten Untersuchungen und Bewertungen der Varianten investiert, was sich aber in der weiteren Produktentwicklung durchaus positiv auswirkte. So konnte mit den ausgewählten Konzepten das Ziel erreicht werden und während der Entwicklung mussten keine wesentlichen Rückschritte gemacht werden. Nach der Auswahl der geeignetsten Konzepte, wurden diese mit einem ausreichenden Detaillierungsgrad auskonstruiert. Eine erste Simulationsschleife mit zahlreichen kleinen Entwicklungsschritten brachte ein bereits sehr ausgereiftes Modell hervor. Sämtliche Änderungen wurden in eine erneute Konstruktion eingebracht. In dieser Zweiten Detailkonstruktion wurden zahlreiche weitere Änderungen eingearbeitet und somit auch bei der zweiten Simulationsschleife berücksichtigt. Hier konnten durch die zahlreichen Simulationen weitere Verbesserungen, bei einer gleichzeitigen Reduktion des Gewichtes erreicht werden. Alle diese Details wurden in der finalen Konstruktion umgesetzt und in den daraus abgeleiteten Fertigungszeichnungen festgehalten.

5.1 Schlitten Konstruktionsvarianten

Der Konzeptphase ging eine Benchmark Untersuchung voran, in der vorhandene Schlitten analysiert wurden. Allen voran der Formrohr-Schlitten in der Fahrzeugsicherheit bei Magna Steyr, hier war schnell ersichtlich das der Strukturrahmen um die Mittelachsen symmetrisch aufgebaut ist. Die Strukturen sind als Dreiecke aufgebaut und durch massive Stegbleche an den Knotenpunkten abgestützt. Zur Gewichtsreduktion wurden teilweise Ausnehmungen in die Formrohre eingearbeitet. Der Aufbau ist sehr unkompliziert und fertigungstechnisch gut umzusetzen, jedoch gewichtsmäßig nicht optimal. Eine weitere Schlittenbauart, die analysiert wurde, ist der Lochplattenschlitten, hier ist auf der Oberseite des Schlittens eine massive Alu- oder Stahlplatte angebracht, die ein Lochmuster zur Befestigung der zu testenden Objekte aufweist, meist mit einem Lochabstand von 100mm. Diese Lochplatte kann in die tragende Struktur des Schlittens integriert werden, was zu einer Gewichtseinsparung aber erhöhten Fertigungsaufwand führt, oder auf der Grundstruktur des Schlittens befestigt werden. Abbildung 15 zeigt Schlitten mit aufgesetzter und integrierter Lochplatte.



a.)



b.)

Abbildung 25 Schlitten mit a.) aufgesetzter Lochplatte und b.) integrierter Lochplatte (Seattle Safety, 2015)

Nach dem Benchmarking wurden unterschiedliche Konzepte für die Auslegung der Hauptstruktur erarbeitet. Diese werden im folgenden Abschnitt vorgestellt und bewertet.

5.1.1 Formrohr-Rahmen-Schlitten

Diese Bauart entspricht zum Großteil dem bestehenden Schlitten, jedoch gewichtsoptimiert. Der Vorteil dieses Konzeptes liegt vor allem in der einfachen Herstellbarkeit sowie den bereits vorhandenen Erfahrungswerten des bestehenden Schlittens. Die Basis bilden rechteckige Formrohre und Stege aus Stahlblech. Die Hauptpfade des Kraftflusses bilden die V-Verstrebungen. Die Längsträger links und rechts binden die Ecken gemeinsam mit den Querträgern vorne und hinten so gut als möglich in die Struktur ein und dienen gleichzeitig als Befestigungspunkte für Anbauteile. Der Aufbau ist um die Y-Achse, sowie die X-Achse nahezu symmetrisch. Dies ist aufgrund der unterschiedlichen Krafteinleitung sowie der Größe dieser eingeleiteten Kräfte nicht notwendig. Einschränkungen bezüglich festigkeits- und gewichtsoptimierter Gestaltung ergeben sich aus der begrenzten Normteilevielfalt. Hier kann mit Ausnehmungen und Stegblechen gearbeitet werden, um ein gewichts- und festigkeitsmäßig optimiertes Produkt zu erhalten. Das Gewichtseinsparungspotenzial ist bei gleichbleibenden Schlittenabmessungen ausreichend. Abbildung 26 zeigt ein CAD-Modell des bestehenden Schlittens, anhand dessen die Untersuchungen durchgeführt wurden.

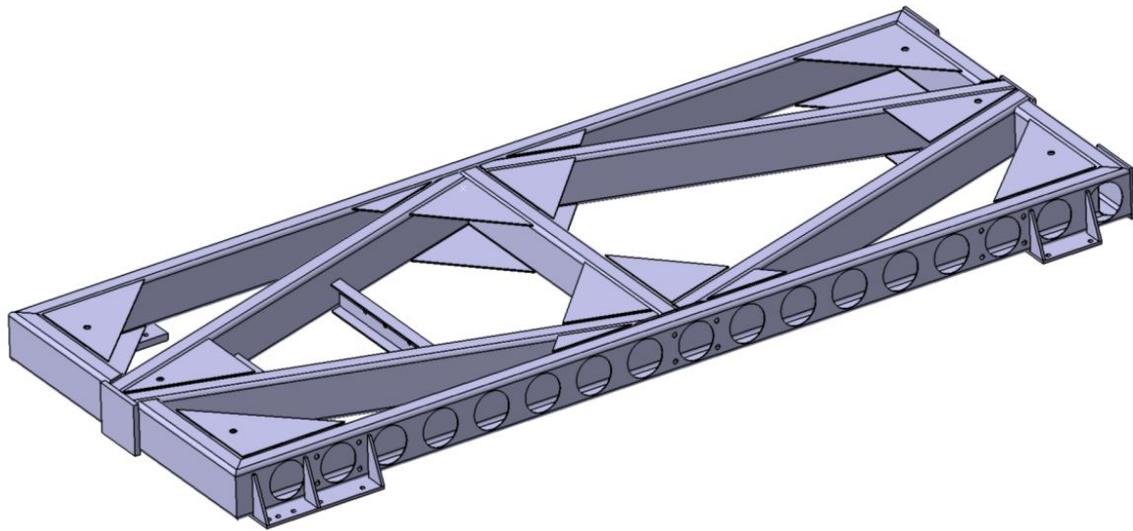


Abbildung 26 CAD-Modell des bestehenden Crash-Schlittens

5.1.2 Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlitten

Eine Abwandlung des Formrohr-Rahmens stellt der Formrohr-Frästeil-Rahmen dar. Die Idee besteht darin, an allen hoch belasteten Stellen Fräs- bzw. Drehteile zu integrieren und somit die anschließenden Normteile schlanker ausführen zu können, was zu einer weiteren Gewichtsreduktion führt. Auch einfache Biegeteile können im Zuge einer Schweißkonstruktion zwischen den Normteilen eingebunden werden. Darüber hinaus können diese Bauteile auch aus einem Werkstoff höherer Güte bestehen und damit eventuell noch dünner ausgeführt werden, was sich ebenfalls günstig auf das Gewicht auswirkt. Besonders die Anbindung zur Schubstange vorne am Schlitten sowie die Anbindungspunkte des Kamerarahmens sind Paradebeispiele für den Einsatz dieser Fräs- und Biegeteile. Aber auch einfachere Komponenten können hier durch eine Umstellung des Materials hin zu einer höheren Güte positiv beeinflusst werden. Durch die zahlreichen verschiedenen Realisierungsmöglichkeiten steigt bei diesem Konzept der Entwicklungsaufwand und auch der Fertigungsaufwand an. Zum einen muss in der Entwicklung die Zugänglichkeit zu sämtlichen Schweißnähten berücksichtigt werden. Zum anderen stellt der Einsatz von Materialien höherer Güte, viele Fertiger vor ein großes Problem. In Abbildung 27 ist das Konzept mit den roten Bauteilen, die beispielhaft die integrierten Frästeile aufzeigen, dargestellt. Neben den bereits erläuterten Einbindungspunkten von Fräs- und Biegeteilen ist auch an den Verschraubungen der Karosse zum Schlitten ein Einsatz angedacht.

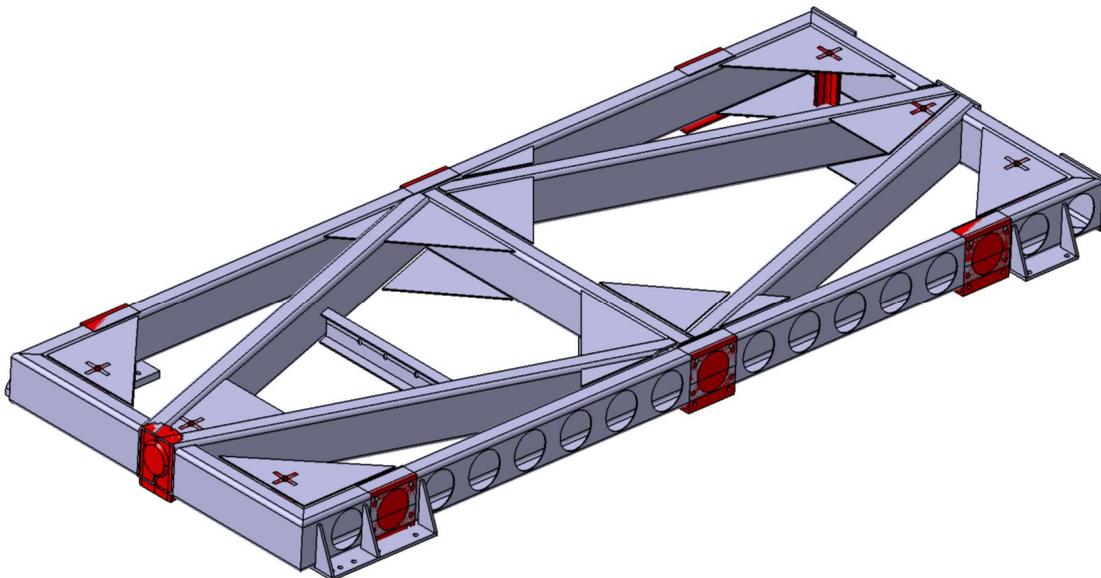


Abbildung 27 CAD Modell des Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlittens

5.1.3 Lochplatten-Schlitten

Das Konzept des Lochplatten-Schlittens baut auf die durch das Benchmarking erhaltenen Informationen auf. Aktuelle Schlitten sind meist mit einer Lochplatte ausgestattet. Grundsätzlich kann hier nochmals in zwei Unterkategorien unterschieden werden. Zum Ersten in die Ausführung mit einer in die Struktur integrierten Lochplatte. Dabei wird auf der Unterseite der Lochplatte eine Struktur aufgebaut. Dies erfolgt meist mit U-Profilen sowie Biegeteilen und Stegblechen. Eine solche Konstruktion erhöht den Fertigungs- und Entwicklungsaufwand ungemein, zudem muss die Lochplatte aus Stahl bestehen, um eine Verschweißung an die Normbauteile zu ermöglichen. Die zweite Untergruppe stellen die aufgesetzten Lochplatten dar. Hier wird die Struktur z.B. durch einen Formrohrrahmen gebildet, auf den eine Lochplatte aufgesetzt wird. Diese wird aus Gewichtsgründen meist aus Aluminium ausgeführt und dient als Schnittstelle zu allen weiteren Versuchsaufbauten. Eine Stahlplatte mit z.B. 15mm Dicke führt bei den aktuellen Schlittenabmessungen zu einem Mehrgewicht von 550 kg, wodurch das gesetzte Zielgewicht nicht mehr zu erreichen ist. Durch eine integrierte Lochplatte und Ausnehmungen zur Gewichtsreduktion wären die 250kg Einsparung realistisch. Problematisch ist allerdings, dass durch die Ausnehmungen in der Lochplatte schnell sehr viele Anbindungspunkte verloren gehen. Damit wird die weitere Anbindung der Karossen und Komponenten erschwert, daher ist ein solches Konzept nur mehr bedingt sinnvoll.

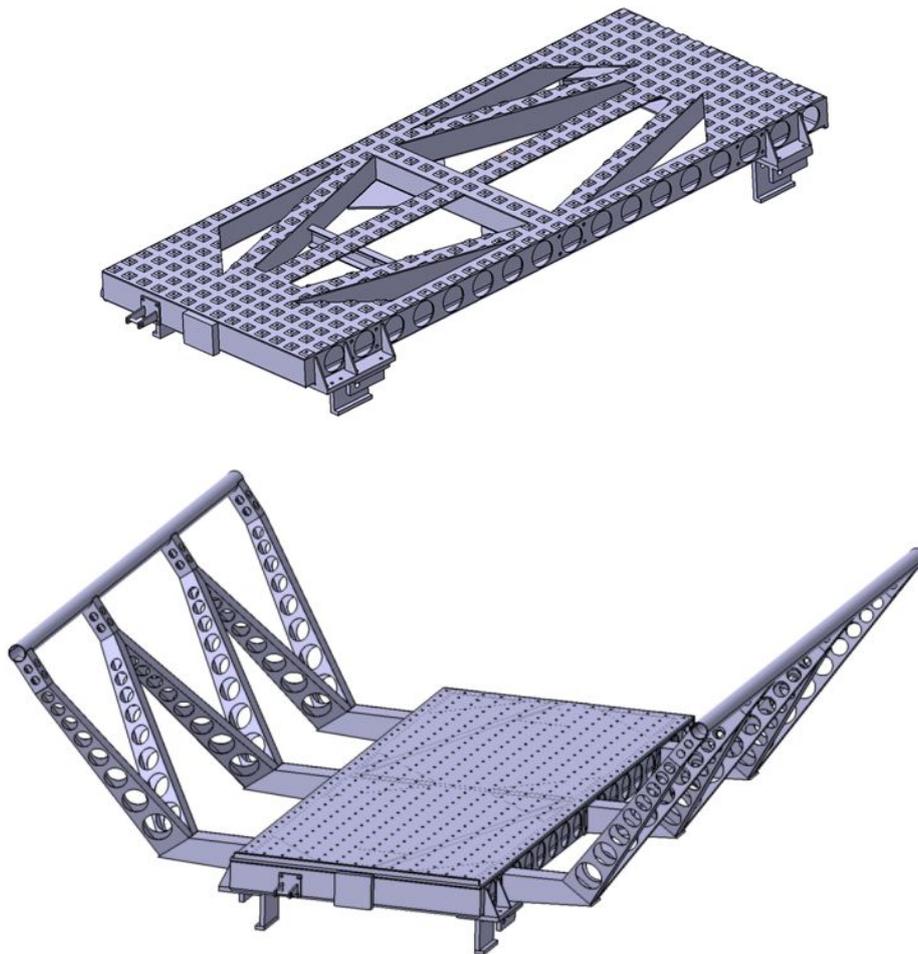


Abbildung 28 CAD Modell Lochplatten-Schlitten mit und ohne Ausnehmungen

5.1.4 Schalen-Schlitten

Die Integration des Kameragestes direkt in die Struktur des Schlittens wurde im Konzept des Schalen-Schlittens umgesetzt. Der wesentliche Vorteil ist eine sehr steife Gesamtstruktur. Das Kameragestell wird mit einer Rundung ausgeführt, um einen durchgehenden Verlauf der Geometrie zu erreichen. Die Geometrie des Grundschlittens ist auf die auftretenden Belastungen ausgelegt und baut im vorderen und hinteren Bereich massiver als in der Mitte. Die Herstellung ist mit einem Blech auf der Ober- und Unterseite und dazwischen liegenden Stegen durchaus eine Herausforderung. Bei ausreichendem Entwicklungsaufwand dürfte das Erreichen der geforderten Gewichtsreduktion kein Problem darstellen. Nachteilig wirken sich hingegen das nicht demontierbare Kameragestell, der sehr hohe Fertigungsaufwand und ein sehr kleiner Freiraum für die Schrägstellung der Karossen aus. Wobei letzteres sehr problematisch ist und nur mit einem größeren Schlitten gelöst werden kann. Dies würde aber eine Gewichtsreduktion gegenüber dem bestehendem System erschweren.

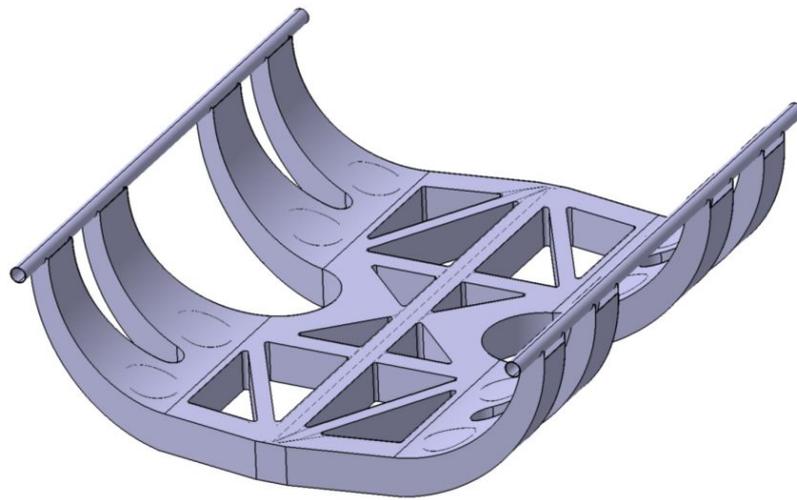


Abbildung 29 CAD Modell Schalen-Schlitten mit integriertem Kameragestell

5.1.5 Fachwerk-Schlitten

Ausgehend von der Anforderung an den Leichtbau sowie der erforderlichen sehr hohen Steifigkeit wurde das Konzept des Fachwerk Schlittens angedacht. Die Verstrebungen zur Erzeugung der Struktur könnten wie in dem Kamerarahmen, welcher in Abbildung 30 dargestellt ist, ausgeführt werden. Die Oberseite des Schlittens wird zumindest teilweise als Lochplatte ausgeführt und der Kamerarahmen in ähnlicher Weise. Der Vorteil liegt, wie schon einleitend erwähnt, an dem geringen Gewicht bei vergleichsweise hohen Steifigkeiten. Eine Umsetzung gestaltet sich aber durch den sehr hohen Fertigungsaufwand und die großen Unsicherheiten bei der Entwicklung sowie der Belastung des Fachwerkes auf Scherung als äußerst schwierig.



Abbildung 30 Fachwerkausführung eines Kamerarahmens (Seattle Safety, 2015)

5.1.6 Bewertung Schlitten-Konstruktionsvarianten

Zur besseren Veranschaulichung der Entscheidung welche Konzepte weiterverfolgt werden, wurden die Eigenschaften der einzelnen Konzepte im Rahmen einer Besprechung mit den involvierten Personen nach dem Schulnotensystem bewertet und anschließend addiert. Das Ergebnis in Tabelle 2 zeigt die Vorteile der beiden Formrohrkonzepte auf, wobei wenn weiterführend der Entwicklungsaufwand als untergeordnete Eigenschaft und die Gewichtseinsparung als sehr wichtig bewertet werden, ergibt sich ein Vorteil für den Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlitten. Der Lochplatten-Schlitten kann durch das voraussichtliche nicht Erreichen der geforderten Gewichtsreduktion ausgeschieden werden. Der Fachwerk Schlitten stellt einen Exoten dar, der durch die beschränkte Entwicklungszeit, die voraussichtlich hohen Fertigungskosten und die Unsicherheit bei der Belastung des Fachwerks auf Scherung, als unrealistische Lösung anzusehen ist. Für den Schalenschlitten spricht der gesamtheitliche Ansatz durch die Integration des Kamerarahmens, jedoch durch den geringen Freiraum für die Schrägstellung der Karosse, die unzureichende Zugänglichkeit zur Karosse bei der Versuchsvorbereitung und den ebenfalls hohen Fertigungsaufwand scheidet auch dieses Konzept aus der Entwicklung aus.

Konstruktionsvarianten	Formrohr-Rahmen-Schlitten	Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlitten	Lochplatten-Schlitten	Schalenschlitten	Fachwerk-Schlitten
Gewichtseinsparung	2	1	3	2	1
Fertigungsaufwand	1	2	2	3	4
Entwicklungsaufwand	1	2	2	3	3
Summe	4	5	7	8	8

Tabelle 2 Bewertung der Schlitten-Konzepte

5.2 Winkelabbildungskonzepte

Für die bereits unter Kapitel 1.3 erläuterten Crash-Tests sind besonders für die ODB Versuche, aber auch für die Gesetze des Insassenschutzes und den Frontal Oblique Offset Crash-Test, Schrägstellungen der Karosse am Schlitten notwendig, um mit den Tests bestmöglich der Realität zu entsprechen. Als Ziel wurde eine maximale Verdrehung von $\pm 18^\circ$ und eine Unterteilung in 2 Gradschritten festgelegt. Außerdem sollte die Montage möglichst einfach und schnell erfolgen können. Für die Erreichung der genannten Anforderungen wurden zwei Konzepte ausgearbeitet.

5.2.1 Verzahnung

Eine gerade Verzahnung, also ohne Evolventen- oder Zykloiden-Profil, stellt eine sehr robuste und gleichzeitig variable Lösung dar. Bei einem Drehradius von 1500mm und einer Unterteilung von 2° ergeben sich Zähne mit über 20mm Kopfbreite. Durch seitliches Spiel und angemessene Fertigungstoleranzen lässt sich auch bei einer Schrägstellung die formschlüssige Abstützung gut realisieren. Das Aufsetzen der Karosse mit den beiden ausverzahnten Zahnkranzsegmenten, vorne und hinten, muss von oben erfolgen, dies entspricht aber auch der aktuellen Vorgehensweise. Einen Nachteil stellen die hohen Fertigungskosten durch das Fräsen der Verzahnung mit einem entsprechend kleinem Fräser dar. In Abbildung 31 ist eine Lochplatte mit aufgesetzter Karosserieaufnahme und Verzahnung, gesamthaft um 18° verdreht und die Verzahnung im Detail dargestellt.

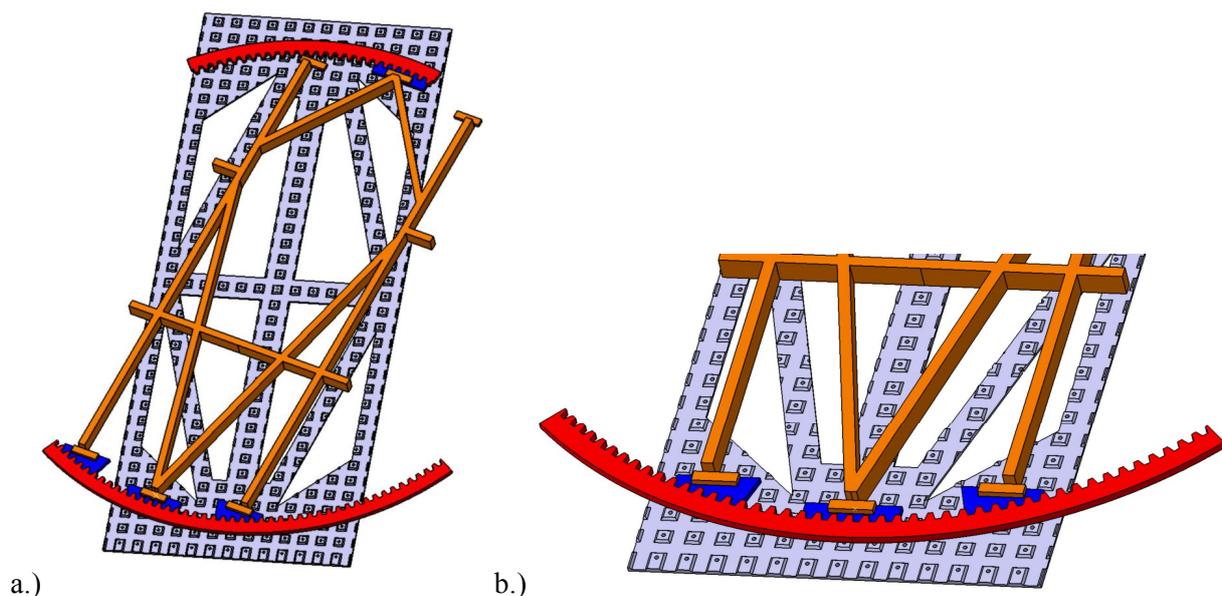


Abbildung 31 CAD Modell einer möglichen Verzahnung a.) gesamt und b.) Detail Verzahnung vorne

5.2.2 Trapez-Anschlag

Als eine weitere Möglichkeit wurden Anschläge in Trapezform untersucht. Der Vorteil liegt in der einfacheren Herstellung der Konturen sowie der Möglichkeit der direkten Verschweißung der Trapeze mit der Karosserieaufnahme um eine Schraubverbindung einzusparen. In der Untersuchung wurde aber schnell erkannt, dass die Trapeze bei 2° Schritten und auch bei 18° Verdrehung sich selbst sehr stark überschneiden und somit die formschlüssige Abstützung nicht mehr gewährleistet werden kann, siehe Abbildung 32.

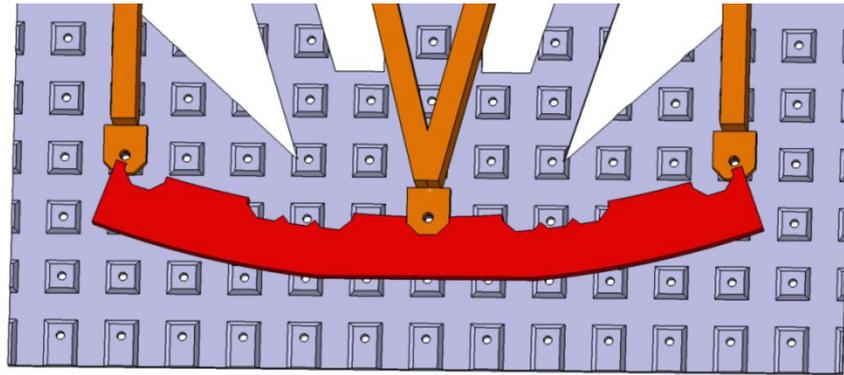


Abbildung 32 CAD Modell trapezförmige Abstützung für 6, 8, 10 und 18 Gradschritten

5.3 Niederhalter Konzepte

Um die Anbindung der Karosse bzw. des Karosserieaufnahmerahmens an den Schlitten sicherzustellen wurden wieder mehrere Konzepte ausgearbeitet. Die Anforderungen waren vor allem eine sichere Anbindung in allen möglichen Lastfällen, kurze und einfache Montage und Demontage sowie angemessene Herstellungskosten bei einer ausreichenden Lebensdauer.

5.3.1 U-Niederhalter

Das erste Anbindungskonzept für die Karosse an den Schlitten ist sehr einfach. Hier wird mit unterschiedlich breiten, geschweißten U-Profilen der Karosserieahmen eingeklemmt, siehe Abbildung 33. Die Verschraubung der U-Profile erfolgt auf dem im Schlitten eingearbeiteten Lochmuster. Diese Lösung bietet die Vorteile eines überschaubaren Montageaufwands und einer sehr günstigen Herstellung der benötigten Teile. Nachteilig wirken sich die Zugänglichkeit zu den Verschraubungspunkten unterhalb der Karosse und die bei einer Schrägstellung der Karosse sehr breit werdenden U-Profile, um den nächsten freien Verschraubungspunkt zu erreichen, aus. Die Festigkeit kann anhand des Aufbaues der Profile ausreichend angepasst werden.

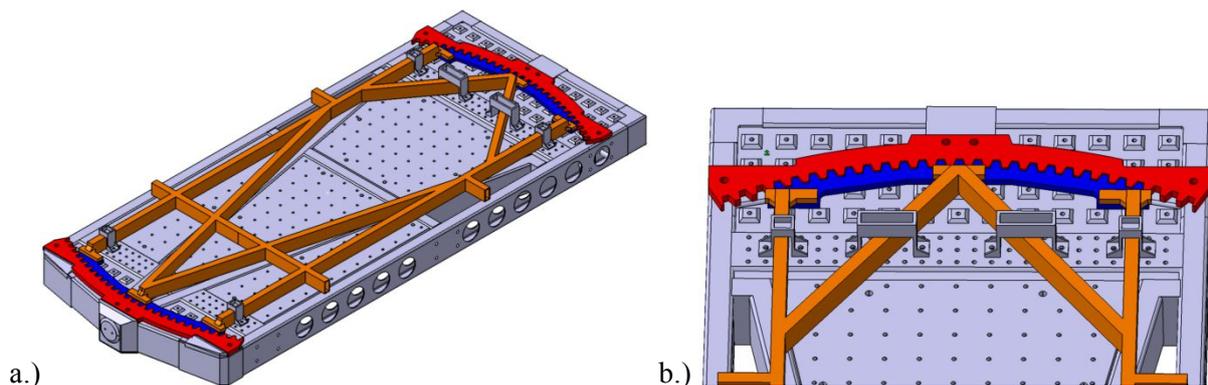


Abbildung 33 CAD Modell Schlitten mit Karosserieaufnahme und U-Niederhalter a.) gesamter Schlitten b.) Detail hinten

Eine Erweiterung für dieses Konzept kann mittels zusätzlicher, verzahnter Segmente und einer beidseitigen Verzahnung des hinteren Zahnkranzes erfolgen. Hierbei wird die Relativbewegung der Karosse, in x Richtung, zusätzlich durch zwei Zahnkranzsegmente unterbunden. Die Anbindung dieser Bauteile erfolgt ebenso über das Lochmuster am Schlitten und kann mittels Langlöcher bei der Montage der Karosse angepasst werden. Um bei größeren Verdrehungen auf den nächsten Verschraubungspunkt im Muster wechseln zu können, sind zwei weitere Langlöcher pro Segment vorgesehen, siehe Abbildung 34.

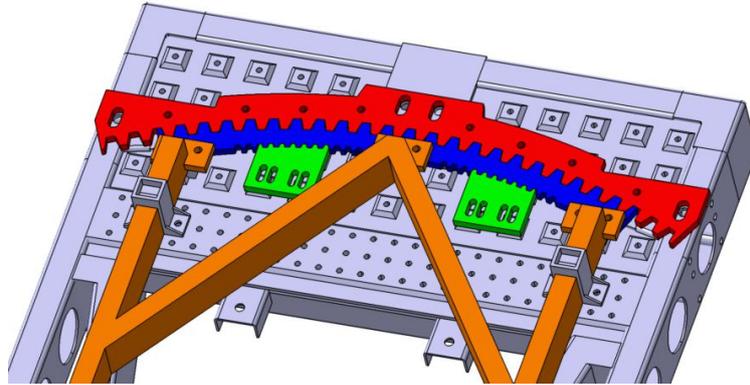
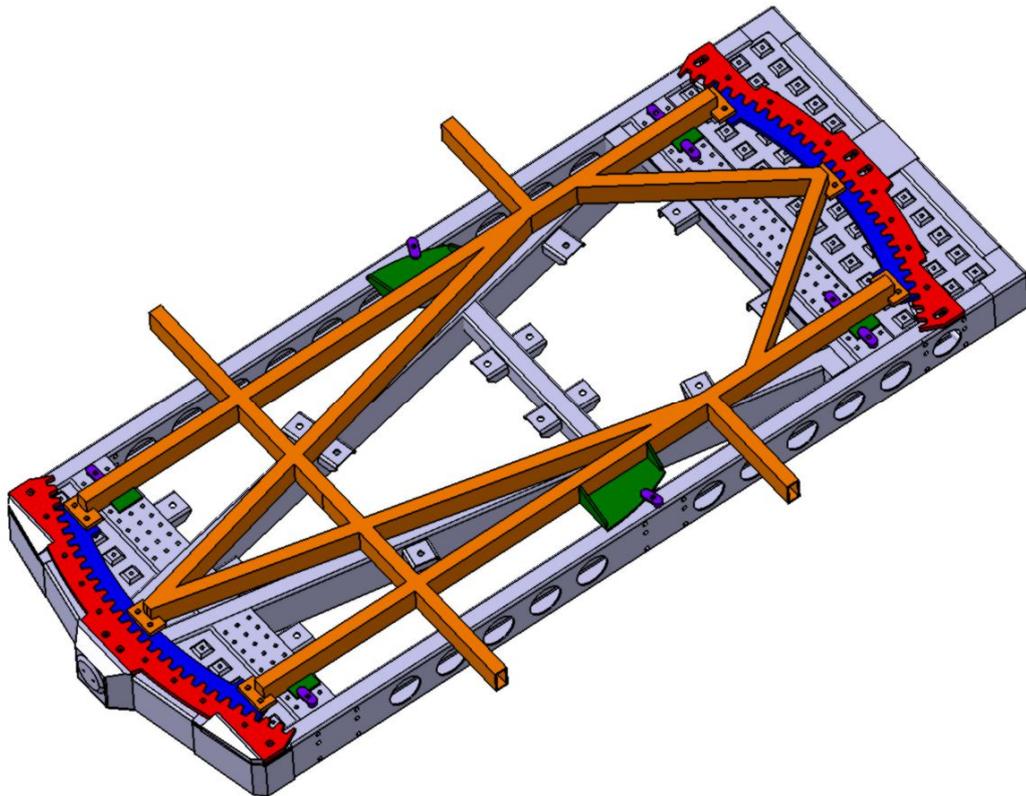


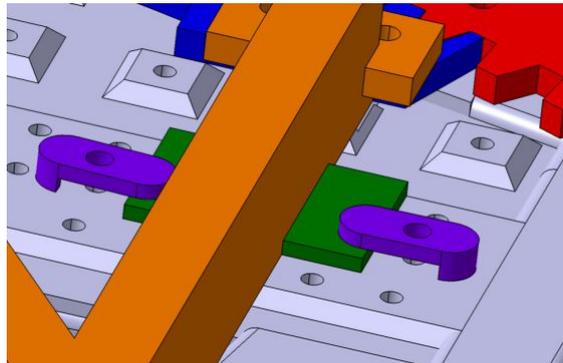
Abbildung 34 Zusätzliche Zahnkranzsegmente (grün) und doppelt verzahnter Zahnkranz hinten

5.3.2 Trägerklemmen

Eine Abwandlung der bereits erläuterten U-Niederhalter stellen Trägerklemmen dar. Diese kommen grundsätzlich im Stahlbau mit I-Trägern zum Einsatz und dienen zur Befestigung dieser. Das Klemmen der Bauteile erfolgt durch die Hebelwirkung. Der Vorteil besteht darin, dass es sich um Normteile handelt und diese somit sehr günstig erworben werden können. Die Tragkraft einer M16 Trägerklemme liegt bei ca. 10kN, somit müssen zumindest 4 Trägerklemmen im hinteren Bereich, zwei im mittleren und zwei weitere im vorderen Bereich vorgesehen werden, siehe Abbildung 35. Der damit verbundene Montageaufwand ist überschaubar jedoch ist die Zugänglichkeit zu den Verschraubungspunkten schwierig. Außerdem sind Trägerklemmen für statische Anwendungen konzipiert und schon bei geringfügig falscher Montage reduziert sich die Tragfähigkeit drastisch, dies ist vor allem bei schräg gestellter Karosse schwierig da hier die Verschraubungspunkte des Lochmusters nicht immer optimal liegen. Ebenso wird die Erstellung des Karosserieaufnahmerahmens aufwendiger da sämtliche Anbindungspunkte für die Trägerklemmen entsprechend stabil ausgeführt werden müssen.



a.)



b.)

Abbildung 35 CAD Modell des Trägerklemmen Anbindungskonzeptes a.) gesamt und b.) im Detail

5.3.3 Verschraubung

Die Ausführung der Verbindung zwischen Schlitten und Karosse als liegende Verschraubung stellt eine formschlüssige Anbindung dar. Es wird in horizontaler Richtung durch den hinteren schlittenseitigen, in den hinteren karosserie seitigen Zahnkranz geschraubt. Diese Anbindung begrenzt die Relativbewegung in allen Richtungen und ermöglicht eine sehr stabile Anbindung in allen abbildbaren Winkelschritten. Durch die hochdynamische Belastung des gesamten Aufbaues ist die Lebensdauer der Verschraubung sehr kritisch zu sehen, da speziell die ersten tragenden Gewindegänge extremen Belastungen ausgesetzt werden. Weiteres kann es bei unzureichender Vorspannung, speziell im hinteren Bereich zu einer starken Scherbelastung der Schrauben kommen.

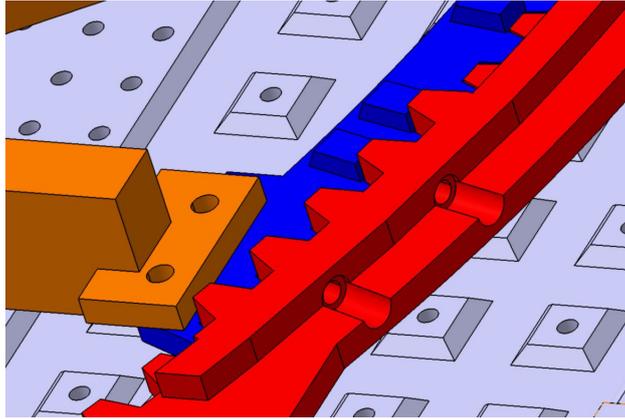


Abbildung 36 CAD Modell der horizontalen Verschraubung in der hinteren Verzahnung

5.3.4 Schraubklemmen

Durch ein Klemmen der beiden hinteren Zahnkränze mittels Schraubklemmen wird eine Relativbewegung besonders in x-Richtung unterbunden. Ein Abheben der Karosse kann nur über den Reibschluss oder zusätzliche Niederhalter anderer Konzepte realisiert werden. Um eine sichere Aufnahme gewährleisten zu können sind überschlagsmäßig 400kN Vorspannkraft, nach Abzug der Reduzierung durch die einwirkende Beschleunigung, notwendig. Dies ist selbst mit mehreren, sehr massiven Schraubklemmen nur schwierig zu realisieren. Als zusätzliche Anbindung, zu einem anderen Niederhalterkonzept, um ein Ausgleiten in horizontaler Richtung aus der Verzahnung zu verhindern, bieten die Schraubklemmen durch die leichte Fertigbarkeit und einfache Handhabung durchaus Vorteile.

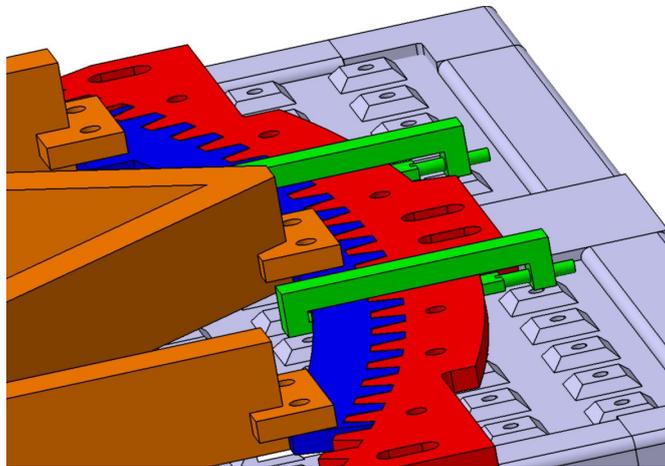


Abbildung 37 CAD Modell der Schraubklemmen im Bereich der hinteren Verzahnung

5.3.5 Keilniederhalter

Eine der schnellsten Montagemöglichkeiten stellt das Anbinden der Karosse mittels selbsthemmenden Keilen und einem Hydraulikzylinder dar. Dazu werden an der Karosserieaufnahme entsprechende Aufnahmen mit Ausnehmungen, passend zu den verwendeten Keilen, angebracht. Nach dem Aufsetzen der Karosse werden die Hydraulikzylinder mit Druck beaufschlagt und die Keile spannen die beiden Bauteile fest aneinander. Durch die Selbsthemmung kann auch im Falle eines

Druckabfall eine sichere Anbindung gewährleistet werden. Optional besteht noch die Möglichkeit eine Verschraubung in die Anbindungsplatte zu integrieren. Gegenüber den massiven Vorteilen die dieses Konzept bietet, gibt es auch einige Schwierigkeiten. Aktuell gibt es am Schlitten kein Hydrauliksystem das verwendet werden kann, das Bremssystem ist dafür nicht ausgelegt. Das Konzept kann in dieser Ausführung nur für gerade Crash-Tests verwendet werden. Bei Verschmutzung oder Schmierung der Keiloberflächen verringert sich die Reibung und die Selbsthemmung entfällt.

Ebenso ist der Lösevorgang unklar, da der Hydraulikzylinder weniger Kraft in diese Richtung hat und es durch den flachen Keilwinkel leicht zu einer Klemmung kommen kann. Eine weitere Herausforderung ist der Platzbedarf des Zylinders, welcher mitsamt Keil und Führung benötigt wird. Aber auch die Integration der Bedienung der Zylinder sowie die sicherheitstechnische Absicherung (kein Versuch bei zu geringem Hydraulikdruck, Positionsabfrage, usw.) in die vorhandene Systemsteuerung übersteigen den Umfang dieser Arbeit.

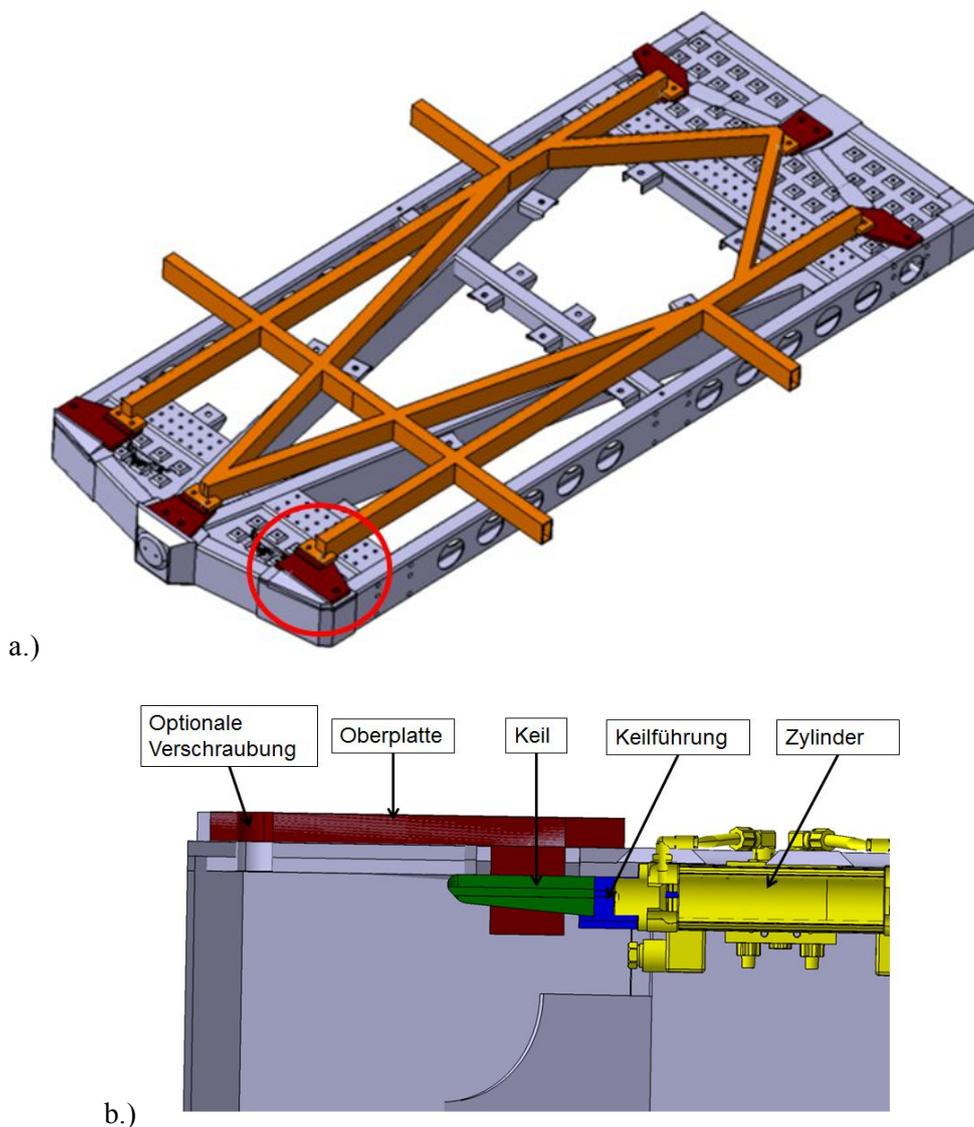


Abbildung 38 CAD Modell Konzept Keilniederhalter a.) gesamt und b.) im Schnitt

5.3.6 Überlappende Verzahnung

Um die Anbindung der Karosserieaufnahme möglichst einfach und gut zugänglich zu gestalten wurde das Konzept der überlappenden Verzahnung erarbeitet. Hier kann in zwei Ansätze unterschieden werden. Einmal wird eine gesonderte Platte an der äußeren Verzahnung verschraubt, welche die innere Verzahnung überdeckt und somit ein Abheben verhindert, dargestellt in Abbildung 39 a.). Für diese Ausführung ergaben bereits erste Berechnungen massive Festigkeitsprobleme, welche durch zusätzliche Versteifungen und Rippen zu beheben wären. Als zweite Ausführung wurde die innere Verzahnung, inklusiver der Überlappung über die äußere, aus einem Teil konstruiert, siehe Abbildung 39 b.). Dieses Teil wird direkt verschraubt und ergibt damit eine sehr stabile Anbindung. Durch ein geeignetes Lochmuster ist eine Anbindung in allen zwei Gradschritten gegeben. Nicht optimal sind hier die relativ hohen Fertigungskosten sowie das nicht unerhebliche Gewicht dieser massiven Verzahnung.

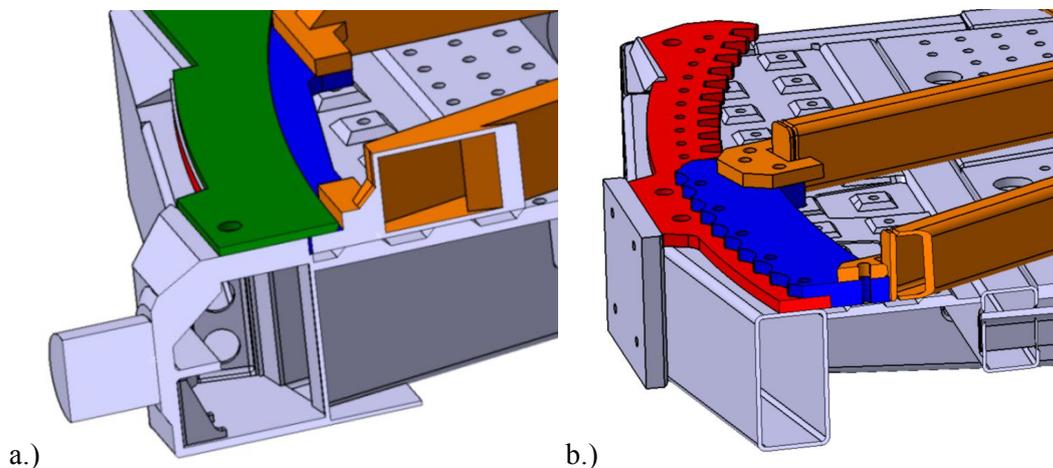


Abbildung 39 CAD Modell der überlappenden Verzahnung a.) als eigenes Bauteil b.) integrierte in die innere Verzahnung

5.4 Gerader Anschlag

Um die Lebensdauer der Verzahnung zu erhöhen aber auch aus Gewichtsgründen wurde eine eigene Anbindung der Karosse für gerade Versuche entwickelt. Das Bauteil konnte, da es nur in einer Position zum Einsatz kommt, gewichts- und festigkeitsmäßig optimiert werden. Die Schnittstelle zum Karosserieaufnahmerahmen entspricht der Schnittstelle für schräggestellte Versuche. Im hinteren Anschlag sind Langlöcher eingearbeitet um eine Anpassung etwaiger Fertigungstoleranzen ausgleichen zu können. Abbildung 40 zeigt einen ersten Entwurf eines geraden Anschlages.

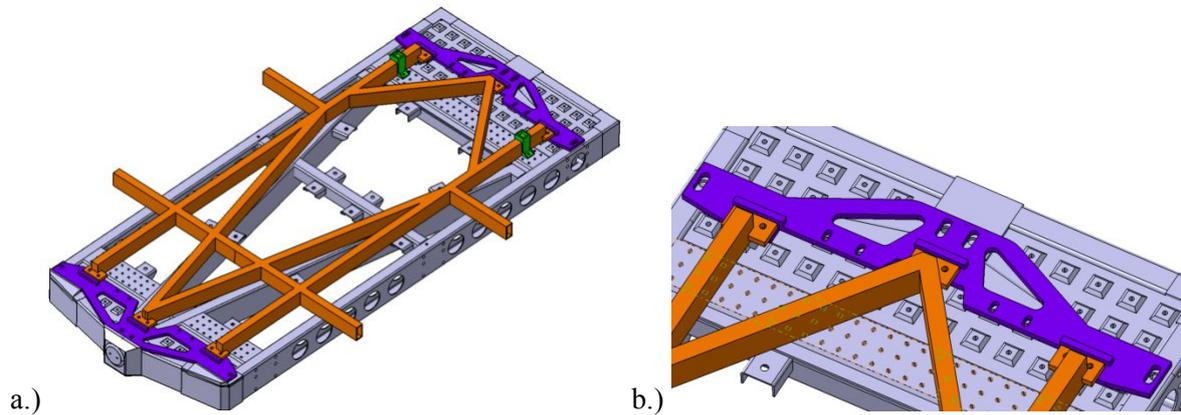


Abbildung 40 CAD Modell gerader Anschlag a.) gesamt mit zusätzlichen U-Niederhaltern b.) Detail hinten

5.5 Festlegung

Wie bereits unter Kapitel 5.1.6 festgehalten, werden für den Schlitten die Konzepte des Formrohrrahmens und des Formrohr-Frästeilrahmens weiter verfolgt. Der Aufbau zweier detaillierter CAD Modelle stellt einen überschaubaren Aufwand dar und liefert voraussichtlich genügend Informationen, um vor der Simulation eine Entscheidung für eines der Konzepte zu treffen.

Als Konzept für die Verdrehung der Karosse auf dem Schlitten wird die Verzahnung als einziges funktionierendes Konzept festgelegt. Für die Anbindung an den Schlitten stehen mehrere interessante Konzepte zur Auswahl. Die Anbindung mittels Keilniederhalter wird aufgrund des hohen Aufwandes und den Unsicherheiten bezüglich des Lösen der Verbindung verworfen. Ebenso wird die horizontale Verschraubung wegen der geringen Lebensdauer als Anbindungskonzept fallen gelassen. In die weitere Entwicklung integriert wurde der U-Niederhalter. Durch seine hohe Tragfähigkeit und wegen der einfachen Herstellbarkeit ist das Konzept sehr interessant. Untersuchungen in der Simulation bezüglich der Traglast werden genauere Aussagen erlauben. Es kann aber schon festgehalten werden, dass die Zugänglichkeit bei einer aufgesetzten Karosse nicht besonders gut ist, vor allem auf der Innenseite hinter den Längsträgern des Karosserieaufnahmerahmens. Eine wesentlich bessere Zugänglichkeit weist hier die überlappende Verzahnung auf. Der Montageaufwand ist ebenso überschaubar wie bei den U-Niederhaltern. Über die Traglast kann wiederum erst nach den ersten Simulationen eine Aussage gemacht werden. In der Herstellung erfordert die überlappende Verzahnung jedoch einen klaren Mehraufwand. Die verbleibenden Konzepte zur Befestigung der Karosserieaufnahme am Schlitten sind die Trägerklemmen und die Schraubklemmen. Die Trägerklemmen werden wegen der Unsicherheit bei der hochdynamischen Beanspruchung und der starken Traglastreduktion bei nicht exakter Montage als primäre Anbindungsquelle ausgeschieden. Die Schraubklemmen werden ebenso ausgeschieden, da eine Anbindung mit so hohen Kräften unrealistisch ist und einen unzumutbaren Montageaufwand darstellt. Die zwei letztgenannten Konzepte werden jedoch als zusätzliche Anbindung für spezielle Lastfälle oder Anbindungswinkel in der Hinterhand behalten.

6 Detailbetrachtung der ausgewählten Konzepte

Sämtliche in der Konzeptphase gewonnenen Erfahrungen und getroffenen Entscheidungen wurden in die erste Detailkonstruktion der Strukturelemente eingearbeitet. Die resultierenden Ergebnisse sind nachfolgend beschrieben.

6.1 Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlitten

Die Hauptstruktur ist gekennzeichnet durch eine V-förmige Verstrebung vorne und hinten am Schlitten, diese wird durch Querstreben stabilisiert. Die Umrandung wird durch Formrohre gebildet, in die Ausnehmungen zur Gewichtsoptimierung eingearbeitet sind. An diese Struktur wird an den vier Ecken die Schienenführung montiert sowie je an drei Stellen pro Seite das Kameragestell. Das Druckstück vorne mittig am Schlitten bildet die Schnittstelle zur Schubstange und verteilt die eingeleitete Last möglichst gleichmäßig auf die anliegenden Bauteile weiter. Vorne am Schlitten sind drei Erhebungen zur formschlüssigen Abstützung der Karosserie eingearbeitet gemeinsam mit je einen oder zwei Verschraubungspunkten. In die Querträger sind teilweise Verschraubungspunkte integriert, um die Montage der Niederhalter zu ermöglichen. Diese Konstruktion ist sehr leicht, hier können nach ersten Abschätzungen, ohne Finite Elemente Berechnung, alleine am Schlitten über 300kg Gewicht eingespart werden. Der Funktionsumfang dieser Konstruktion ist jedoch sehr gering so können keine anderen Aufnahmerahmen montiert werden und auch für Versuche für welche ein Lochmuster notwendig ist, wie z.B. dem Whiplashversuch, muss ein neuer Adapter für eine Lochplatte, die aufgesetzt wird, entwickelt werden. Dies führt zu zusätzlichen Kosten, aber auch das Gewicht des Schlittens steigt dadurch sehr stark, was sich wiederum nachteilig auf die Pulsqualität auswirkt.

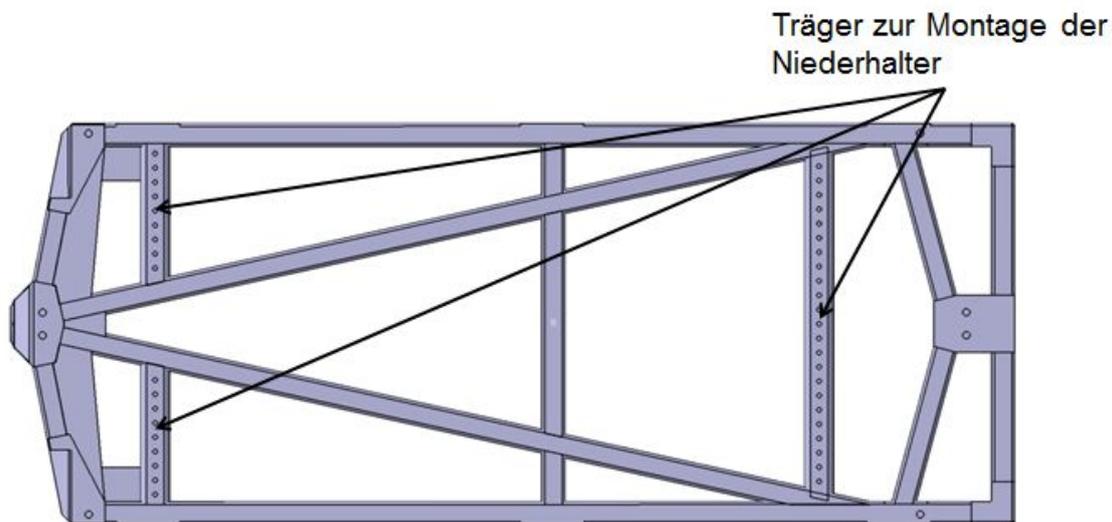


Abbildung 41 CAD Modell Formrohr-Frästeil Rahmen-Schlitten, Draufsicht

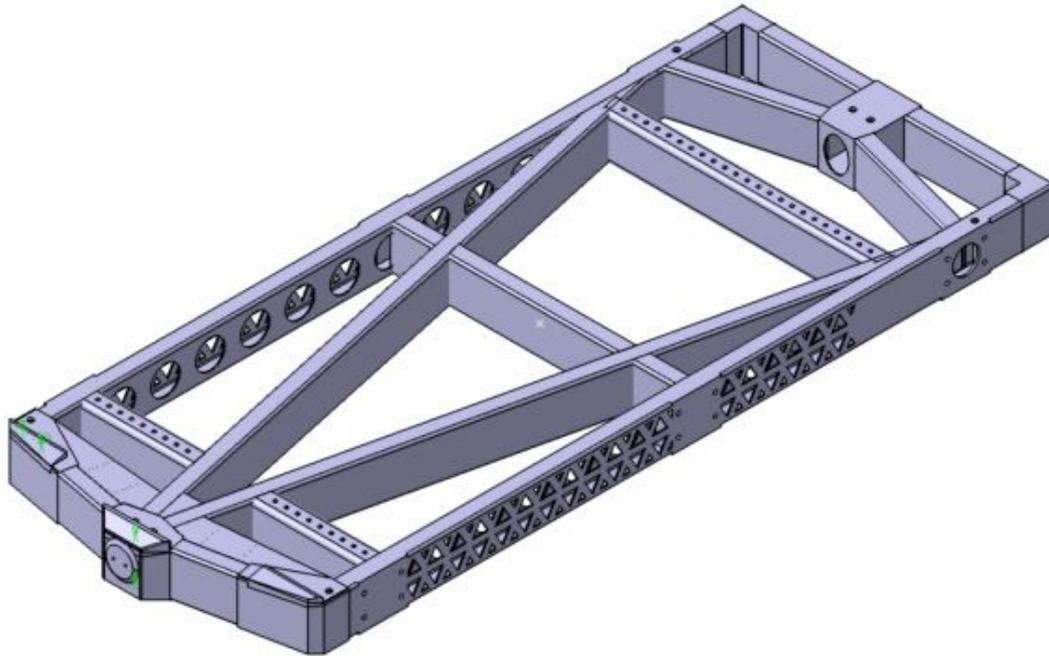


Abbildung 42 CAD Modell Formrohr-Frästeil Rahmen-Schlitten, Isometrische Ansicht

6.2 Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlitten mit variablen Lochplatten

Aus den zahlreichen beim Benchmarking gefundenen Schlitten mit integrierter Lochplatte und der Anforderung das Gewicht möglichst niedrig zu halten, entstand die Idee der variablen Lochplatten. Hier sind die Lochplatten nicht fest mit dem Schlitten verbunden, somit kann ein ausreichend geringes Gewicht des Schlittens sichergestellt werden und bei Bedarf können die Lochplatten montiert werden. Mit den eingesetzten Lochplatten ist die Gesamtmasse des Schlittens deutlich erhöht aber noch immer wesentlich geringer als ein Zwischenrahmen mit aufgesetzter Lochplatte. In Abbildung 43 a.) ist der Schlitten ohne Lochplatten dargestellt. Vorne und hinten werden fixe Lochpatten in die Struktur des Schlittens eingeschweißt, dies erhöht zum einen die Steifigkeit des Schlittens und dient gleichzeitig dazu, in Verbindung mit den variablen Lochplatten, über die Abmessungen des gesamten Schlittens Anbindungspunkte in regelmäßigen Abständen anzubieten. Das Lochmuster dient auch zur Befestigung der Niederhalter, wozu in einem kleinen Bereich ein Muster mit 50mm Abstand vorgesehen wurde, um die Flexibilität zu erhöhen. Die Gewichtseinsparung am Schlitten liegt bei ca. 250kg und ist somit, bei einer Erweiterung der Funktionen, ausreichend.

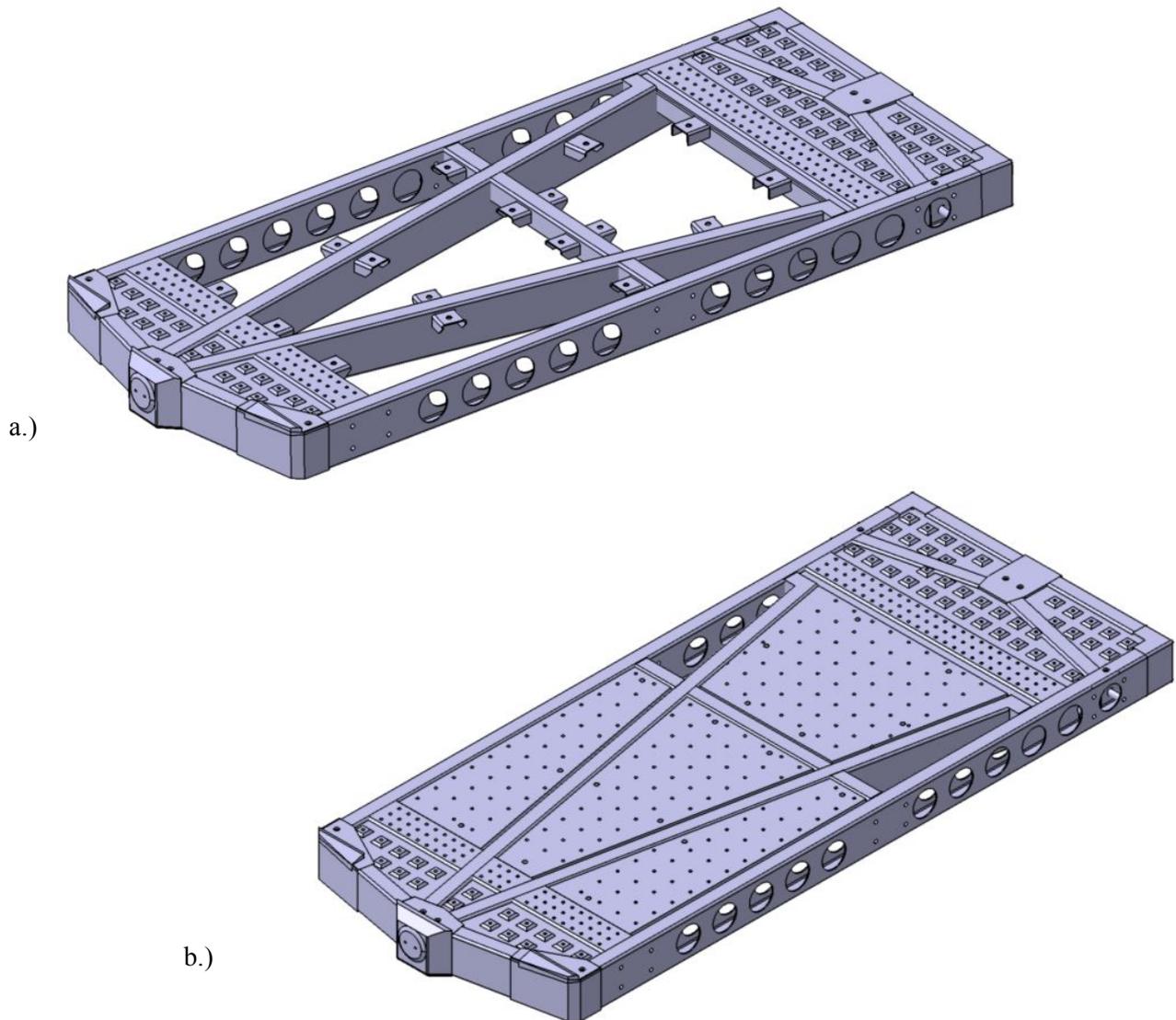


Abbildung 43 CAD Modell des Schlittens a.) ohne und b.) mit variablen Lochplatten

Aufgrund des hohen Aufwandes für die Modellerstellung für die FE-Simulation, das Erreichen der Gewichtvorgabe, sowie der hohen Funktionalität und Flexibilität des Frästeil-Formrohr-Schlittens mit variablen Lochplatten, wird nur mehr dieses Konzept weiterverfolgt.

7 Modellbildung des Leichtbauschlittens

Folgend wird der Aufbau und die Umsetzung des Modelles, vom Leichtbau-Crashschlitten, für die Finite Elemente Simulation erläutert. Sämtliche Normprofile und Blechbiegeteile wurden mittels Shellelementen, hauptsächlich Vierecke, mit einer durchschnittlichen Abmessung von 10x10mm, vernetzt. Die Anschläge für den Karosserieaufnahmerahmen sowie das Druckstück vorne mittig am Schlitten und die fixen und variablen Lochplatten wurden mit Solid Elementen, in Form von Quads vernetzt. Weitere Modelle, welche ebenfalls als Includefiles, in der Simulation berücksichtigt wurden sind in Abbildung 44 dargestellt. Dazu zählen neben dem Modell der Schubstange die als rigid ausgeführt ist und den Beschleunigungs-Zeitverlauf beinhaltet, das Kameragestell sowie die Karosse und die für die Auslegung des Schlittens notwendige, aus Stauch-Rohren ausgeführte, Notbremse.

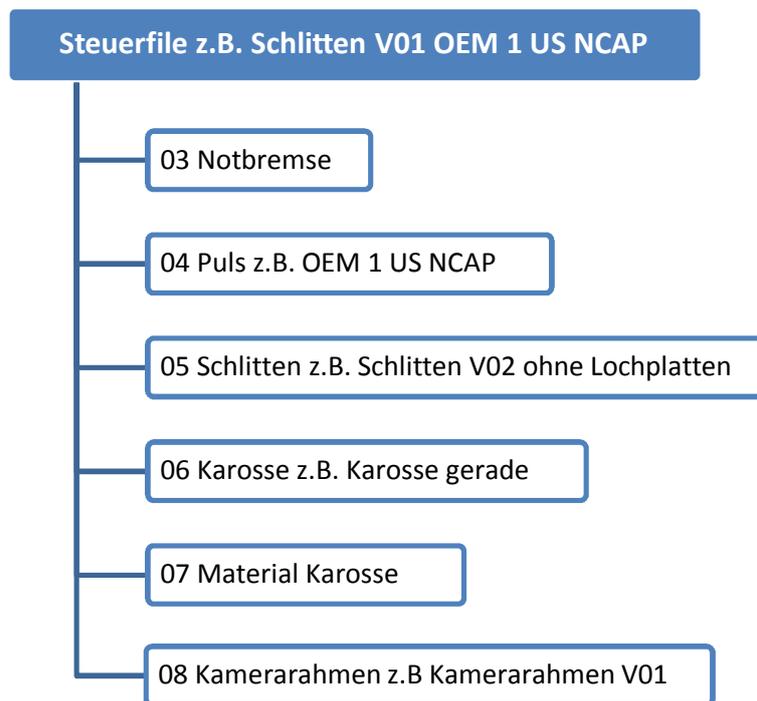


Abbildung 44 Aufbau der Include-Struktur des Modelles für den Leichtbauschlitten

Es wurden drei Arten von Kontakten definiert. In den jeweiligen Baugruppen wurden Kontakte definiert, welche die Schweißnähte abbilden und somit innerhalb der Include-Datei arbeiten. Diese wurden je nach Gegebenheit mittels Tied Kontakten oder durch Rigid-Elemente abgebildet. Die zweite Art waren globale Kontakte im Steuerfile, die physischen bzw. real vorhandenen Bauteile einschließen. Die nicht benötigten Nullschalen und Beam-Elemente werden nicht in den globalen Kontakt aufgenommen. Die Beam-Elemente stellen lediglich die Schweißnähte visuell dar, diese würden nur zu Überschneidungen der Elemente führen und werden daher ausgeschlossen. Die Nullschalen dienen als Verbindung zwischen den einzelnen Includedateien z.B. zwischen der Karosse und dem, im Schlitten-Include abgebildeten Karosserieaufnahmerahmen. Es werden die Elemente des Rahmens, welche an die Karosserie angebunden werden in das Karosserie-Include kopiert und als Nullschalen definiert. Diese Elemente sind an der Karosse angebunden und durch die Deckungsgleichheit der Knoten auch mit dem Rahmen aus dem Schlittenmodell verbunden. Dasselbe

Prinzip wird bei der Anbindung des Kamerarahmens verwendet. Durch die Überschneidung der Elemente müssen somit diese Nullschalen von dem Globalen Kontakt ausgenommen werden.

Die Modellierung der Verschraubungen erfolgte, wie in Abs. 3.1.1 erklärt, mittels vorgespannter Beam-Elemente. Dazu werden an der Kopf- und auf der Mutternaufgabe Rigids erzeugt und diese durch einen Beam verbunden. Eine Zusammenfassung der Beams erfolgte anhand des vorgesehene Schraubendurchmessers sowie der zu verbindenden Bauteile. Die Vorspannung wurde bei den Anbindungen der Anschläge und Karosserie mit der Hälfte der maximalen Vorspannkraft, der jeweiligen Schraube definiert, um eine ausreichende Sicherheit für den Betrieb sicherzustellen. Bei der Kamerarahmen Verschraubung wurde die Vorspannung mit 90 Prozent festgelegt. Die, für die Vorspannung hinterlegten Kurven, sind im Ausgangspunkt mit den oben genannten Kräften festgelegt. Die Steigung ergibt sich aus dem E-Modul und dem jeweiligen Kerndurchmesser der Schraube, ist die maximale Vorspannkraft erreicht wird dieses Niveau gehalten und ein Versagen der Schraube visuell im Postprocessing erfasst. Im negativen Bereich kann die Steigung nicht so steil wie im positiven Bereich erfolgen, da für die Modellbildung die Abstände zwischen den Bauteilen nicht ganz auf 0 gesetzt werden können, es würde zu Unbestimmtheiten und somit Fehlern in der Berechnung führen. Daher wird ein flacherer Abfall der Vorspannung festgelegt, dies entspricht ausreichend der Realität, da auch beim Anziehen einer Schraube, ein Nachgeben der verschraubten Bauteile durch weiteres Festziehen ausgeglichen wird.

Ein weitere Punkt in der Modell Erstellung waren die Randbedingungen. Hierzu zählt neben dem Beschleunigungs-/Zeitverlauf der Schubstange auch die Begrenzung der Freiheitsgrade einzelner Knoten des Schlitten. Das Modell der Schubstange ist mit exakt denselben Abmessungen wie die reale Schubstange ausgeführt und um auch kleinste Verformungen zu vermeiden als Rigidbody ausgeführt. Das Modell ist zusammen mit dem jeweiligen Puls im Includefile 04 Puls eingebunden. Die Führung des Schlittens, um eine reine Bewegung in X-Richtung zu erhalten, ist ebenso dem realen Aufbau so gut als möglich nachempfunden. Dazu wurde unterhalb der schlittenseitigen Anbindungsfläche für die Schienenführung eine Platte, welche die Schienenführung darstellt, modelliert. Diese Platte wurde in ihrer Bewegung in Y- und Z-Richtung gesperrt. Die Anbindung zum Schlitten wurde mittels vorgespannter Beams, der realen Verschraubung nachempfunden. Damit verhält sich die Simulation so realistisch wie möglich und auch die berechneten Belastungen sind sehr genau eingestuft werden. In Abbildung 45 und 46 ist das Simulationsmodell des Leichtbau-Crashschlitten dargestellt. Der Schlitten (blau), die geraden Anschläge (gelb), der Karosserieaufnahmerahmen (rot), der Kamerarahmen (grün) und die zylindrische Schubstange (ebenfalls rot).

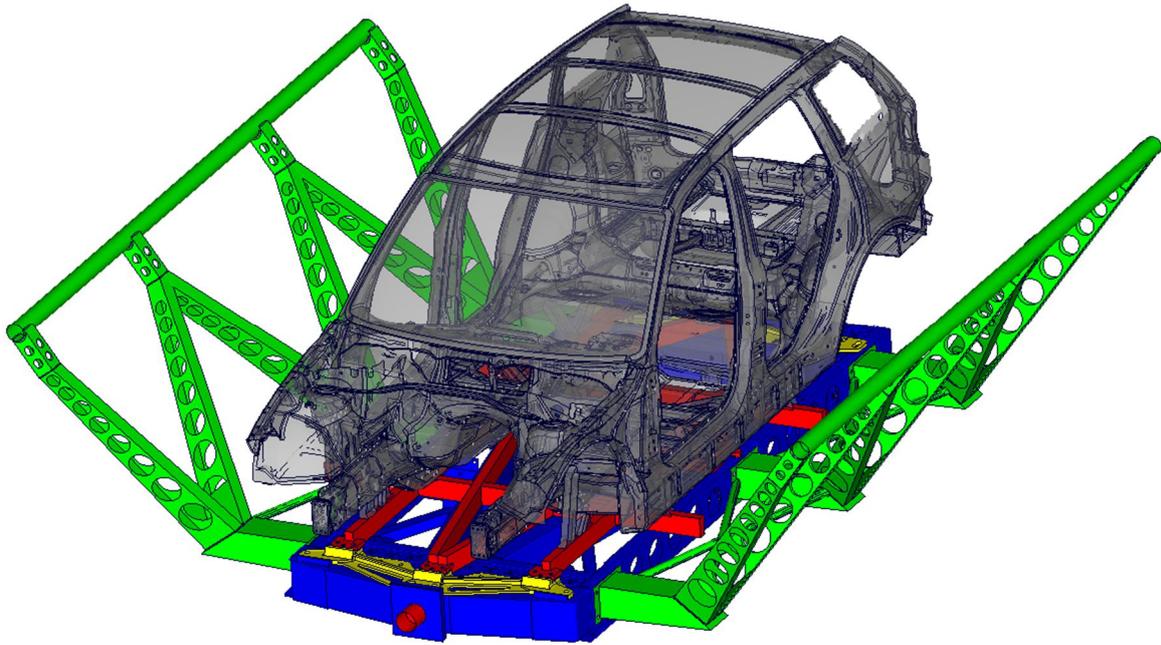


Abbildung 45 Gesamtes Simulationsmodell des Schlittens mit geradem Anschlag sowie Karosse, Kamerarahmen und Schubstange

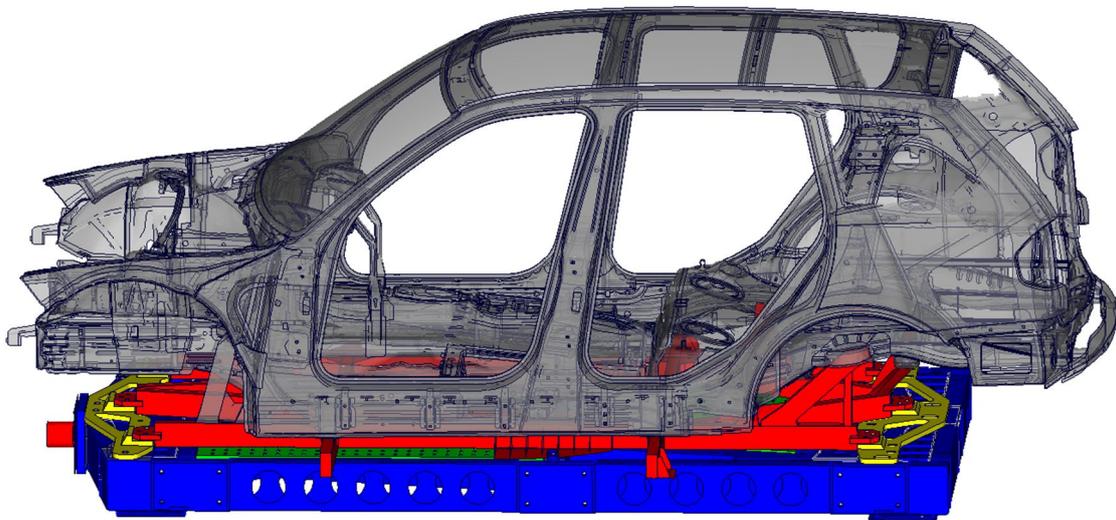


Abbildung 46 Simulationsmodell des Schlittens mit geradem Anschlag, Karosse und Schubstange

8 Schlitten Simulationen

Die Simulation des Leichtbauschlittens wurde in LS-DYNA durchgeführt. Als Preprocessor diente hauptsächlich HyperMesh, aber auch LS-Prepost und OasysPrimer. Zur Auswertung der berechneten Ergebnisse wurde Animator und HyperGraph verwendet. Es wurden zwei Simulationsschleifen durchlaufen um die Berechnung so realitätsgetreu wie möglich zu gestalten. Die nachstehende Beschreibung der durchgeführten Arbeit bezieht sich teilweise auf Firmen, die aus Datenschutzgründen mit OEM und eine fortlaufenden Nummerierung bezeichnet werden.

8.1 Pulse

Die Festlegung der Beschleunigungs-Zeitkurven für die unterschiedlichen Simulationen stellt einen wesentlichen Punkt in der Vorbereitung für die Simulationen dar. Hierzu wurde eine Vielzahl von Crash-Test-Protokollen ausgewertet. Für die geraden Versuche konnte der US NCAP Crash-Test in drei verschiedenen Gewichts- und Fahrzeugklassen als Simulationsbasis festgelegt werden. In Abbildung 47 ist der OEM 2 Puls dargestellt. Dieser stellt den mittelschweren US NCAP Versuch dar.

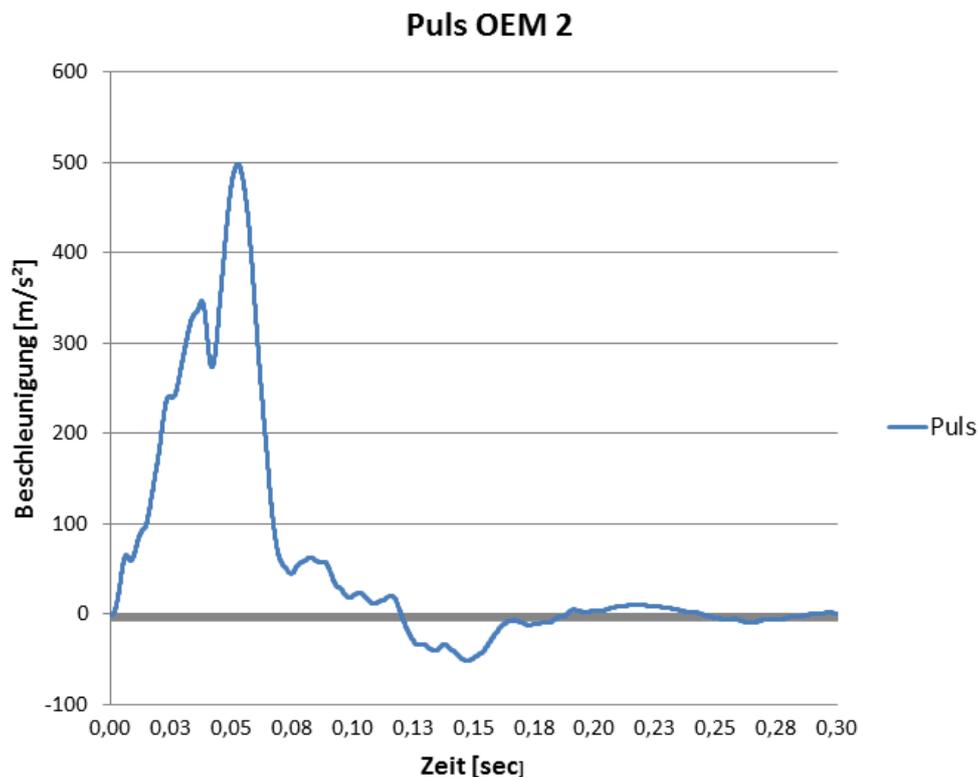


Abbildung 47 Puls des OEM 2 für einem US NCAP Crashtest

Darüber hinaus wurde ein 8° schräggestellter OEM 4 Puls und ein 18° OEM 5 Puls ausgewählt. Aus einer Videoauswertung eines zukünftig verpflichtenden Crash-Tests, dem Frontal Oblique Offset Versuches von einem Honda CR-V, wurde ein Puls und eine zugehörige Schrägstellung von 18° generiert. Zur simulativen Absicherung der variablen Lochplatten wurde ein Komponentenversuch mit einer 100kg schweren Batterie und einem sinusförmigen Puls von 60g festgelegt. Um stets die

maximalen Belastungen für den Schlitten darzustellen, wurde gemeinsam mit dem Schlittenbetreiber das maximale Gewicht für die US NCAP Pulse ermittelt. Dazu wurden die Beschleunigungs-Zeit-Kurven in das Schlittenbetriebsprogramm eingelesen und die Masse der Karosse so lange erhöht bis die Anlage an ihre Leistungsgrenze, maximaler Ladedruck, stieß. Diese Daten wurden ausgewertet und sind in Abbildung 48 mit einer Näherungsfunktion dargestellt. Zusätzlich zum gesamten Schlittengewicht musste das Gewicht der Schubstange von 635kg berücksichtigt werden.

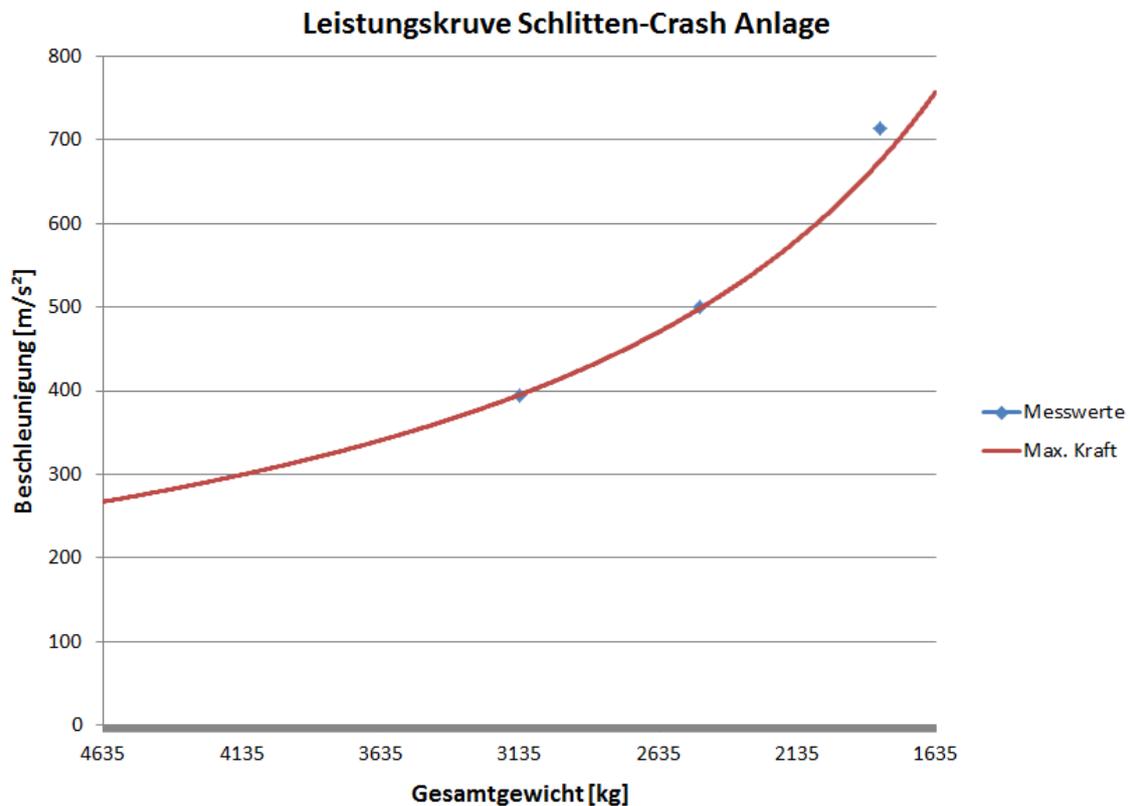


Abbildung 48 Maximal Leistungskurve der HyperG Schlitten Crashanlage

Anhand dieser berechneten maximalen Gesamtgewichte wurden die Massen für die einzelnen Simulationen eingestellt. Für die schräggestellten Versuche wurde das Gesamtgewicht aus den Versuchsprotokollen gleich gehalten und ein Sicherheitspolster durch eine 10-prozentige Erhöhung der Pulse geschaffen. Als Karosse diente in allen Simulationen eine OEM 6 Rohkarosse. Nachfolgend ist in Tabelle 3 eine Gewichtsauflistung des ersten Schlittenmodells und den zusätzlich eingebrachten Massen in Kilogramm erfasst. Die zusätzlich eingebrachte Masse wurde gleichmäßig auf die gesamte Karosse verteilt. Für den OEM 1 Puls wurde ein tatsächliches Gesamtgewicht von 1598 kg erreicht, weil keine Gewichtsreduktion der Karosse möglich ist, wurde die daraus resultierende Überbelastung als Sicherheitspolster in die Dimensionierung eingearbeitet.

Puls	max. a [m/s ²]	Gesamt- gewicht	Schlitten	Anschlag	Karosse	Karosserie- anbindung	Kamera- rahmen	Zusatz- gewicht
OEM 1	716	1200	595	80	468	220	235	-
OEM 2	500	1850	924	80	468	220	235	-
OEM 3	395	2500	924	80	468	220	235	530
OEM 4, 18°	423	2434	924	120	468	220	235	420
OEM 5, 8°	350	2340	924	120	468	220	235	370

Tabelle 3 Übersicht über die einzelnen Gewichte für den jeweiligen Versuch

8.2 Erstes Schlittenmodell

Das Simulationsmodell des Leichtbauschlittens wurde von einem Dienstleister erstellt. Dazu wurden die CAD Daten des Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlittens herangezogen und vernetzt. Die Anbindung der Karosse war zu diesem Zeitpunkt mit U-Profil Niederhaltern vorgesehen. Der Aufbau des Modells wurde, wie in Kapitel 7 beschriebenen durchgeführt. In Tabelle 4 ist eine Matrix aus den grundlegenden, durchgeführten Berechnungen dargestellt. Diese werden nachfolgend noch im Detail erläutert. Es wurde noch eine Vielzahl weiterer Simulationen durchgeführt. Insgesamt sind mit den Untersuchungen zur Strukturentwicklung, den Anbindungsstudien der Karosse, den Betrachtungen der Funktionalen Eigenschaften und den zahlreichen Sonderfällen mehr als 50 unterschiedliche Simulationen durchgeführt worden.

Montage	Grad	US NCAP			ECE R21	ECE R95		
		OEM 1 o. Lochplatten	OEM 2	OEM 3 +530kg	OEM 4 +420kg	OEM 5 +370kg	Oblique +420kg	Batterie 60g 100kg
Anschlag gerade	0°	X	X	X				
Anschlag verzahnt	0°		X					
	8°					X / +10%		
	18°				X / +10%		X	
Lochplatte								X

Tabelle 4 Matrix der durchgeführten Versuche in der Simulation

Der OEM 1 Puls stammt aus einem US NCAP Crash-Test eines Kleinfahrzeuges. Durch die sehr kleine Knautschzone in diesem Fahrzeug, sind die auftretenden Beschleunigungen entsprechend hoch, siehe Abbildung 49. Das mit diesem Puls maximal zu beschleunigende Gewicht beträgt für die bestehende Beschleunigungsschlittenanlage, siehe Tabelle 3, 1200kg. Das minimale Gewicht des gesamten Aufbaues erreicht in der Simulation jedoch 1598kg. Da eine Gewichtsreduktion nicht umsetzbar war, wurde die Simulation mit dem minimalen Aufbaugewicht durchgeführt. Diese Untersuchung über der maximalen Anlagenleistung beinhaltet somit ein Sicherheitspolster von ca. 20%. Die weiteren Pulse stammen von einem Kleinbus, OEM 2 und von einem SUV, OEM 3. Bei diesen Simulationen wurden die Massen entsprechend der maximalen Anlagenleistung angepasst.

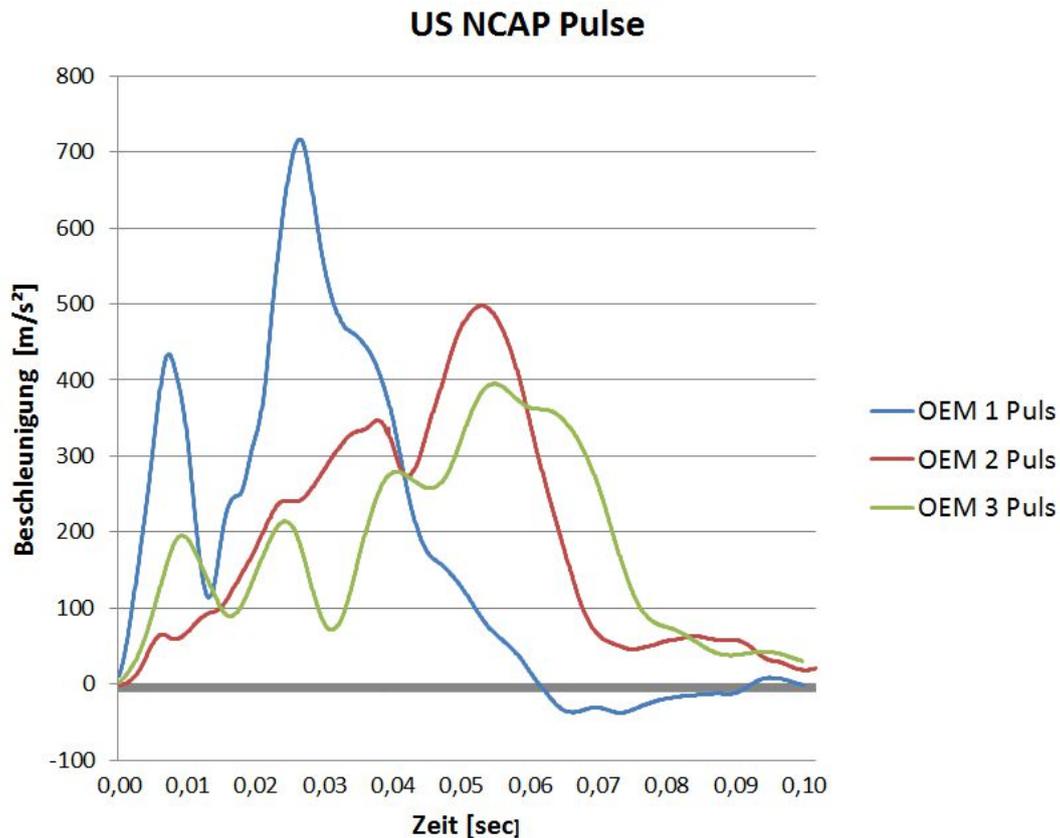


Abbildung 49 Beschleunigungsverläufe für die simulierten US NCAP Versuche

Für die Simulation mit schräggestellter Karosserie wurde wie bereits einleitend erwähnt das Gewicht aus den realen Schlittenversuchen verwendet. Darüber hinaus wurde der vorhandene Puls auf 110% skaliert um den „Worstcase“ abzubilden. In Tabelle 5 sind die Eckdaten der Simulationen sowie die draus resultierende Kraft auf den Schlitten angegeben.

Versuch	Max. Beschleunigung [m/s ²]	Gesamtgewicht [kg]	Max. Kraft [kN]
OEM 1	716	1598	1144
OEM 2	500	1850	925
OEM 3	395	2500	988
OEM 4	423	2434	1026
OEM 5	350	2340	819
Oblique	315	2434	767
Batterie	589	1339	789

Tabelle 5 Eckdaten der grundlegenden Simulationen mit berechneter Maximalkraft

8.2.1 Druckstück vorne

Bereits in den ersten Simulationen wurde erkannt, dass das Druckstück, welches die Schnittstelle zur Schubstange bildet, stark überbelastet wird. Die anfängliche Konstruktion aus einem Frästeil, an welches die weiterführende V-Verstrebung sowie die Querträger angeschweißt werden, musste komplett überarbeitet werden. Durch die erforderlichen Zugänglichkeiten beim Schweißen sowie die geplante Integration der Verschraubungspunkte für die Karosserieaufnahme auf der Oberseite des Frästeiles entstand eine Unterbrechung im Lastpfad. Zwar wurden im Frästeil Verstreibungen vorgesehen, diese konnten den enormen Belastungen jedoch nicht Stand halten. Abbildung 50 zeigt ein bereits mehrfach verstärktes Druckstück aus den ersten Simulationen. Trotz vier zusätzlich eingearbeiteten Abstützungen wird das Bauteil, vor allem im vorderen Bereich, noch sehr stark überlastet. Im anfänglichen Modell waren überhaupt nur die mittels Volumenelementen vernetzten Strukturen vorgesehen. Daher kam es in diesen Simulationen auch zu massiven plastischen Deformationen am Druckstück. Die Obergrenze der Vergleichsspannungen ist in allen Auswertungen mit 325N/mm² festgelegt. Diese ist somit geringfügig unter der Streckgrenze des hauptsächlich verwendeten Materials S355, wodurch ein Sicherheitspolster gegen eine Überlastung des Materials generiert wurde.

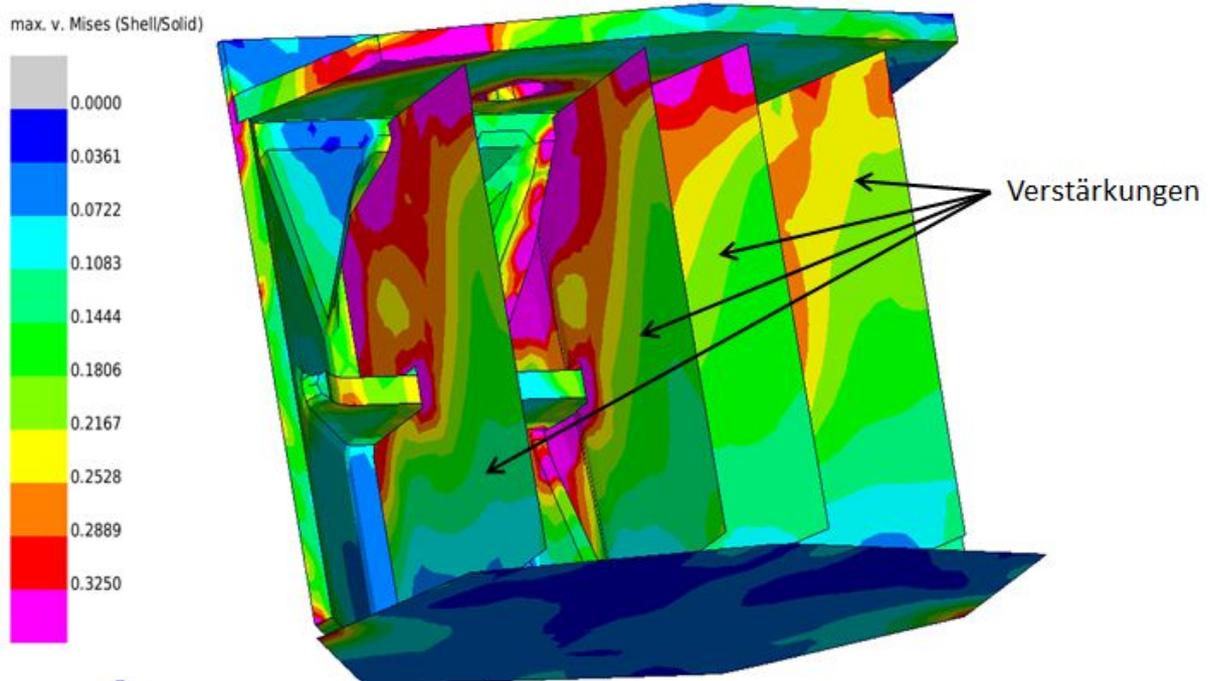


Abbildung 50 Druckstück aus den ersten Simulationen bereits mit Verstärkungen

Das in Abbildung 51 dargestellte, neu entwickelte Druckstück besteht aus einer 30mm dicken Stahlplatte als Schnittstelle zur Schubstange. Danach folgt ein Keil aus hochfestem Feinkornbaustahl, der die Kräfte direkt weiter in die anschließende V-Verstrebung leitet. Für den eingesetzten Keil dürfen die Spannungen bis zu 500N/mm^2 betragen.

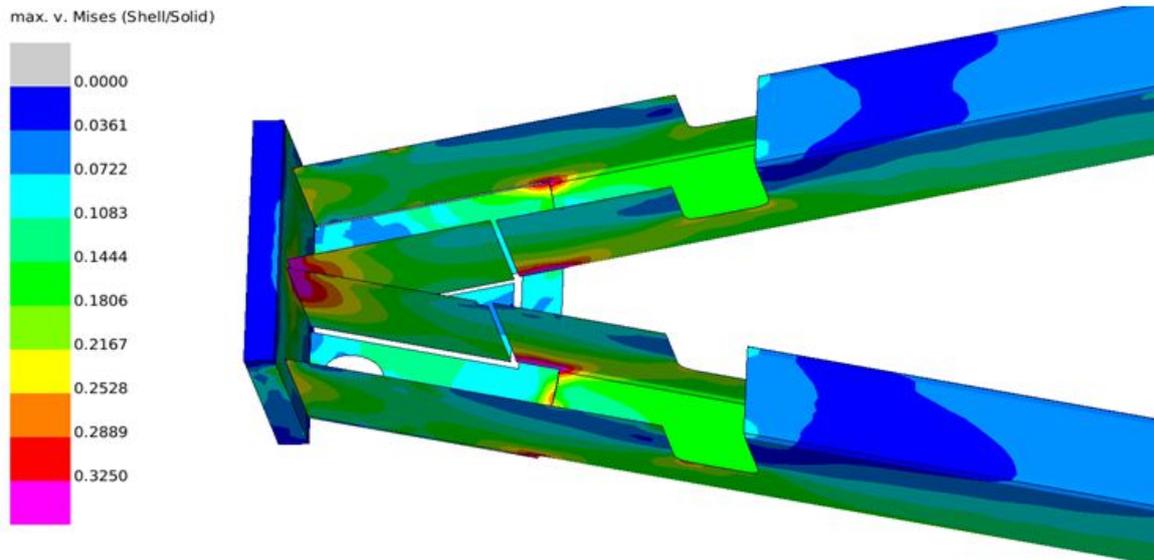
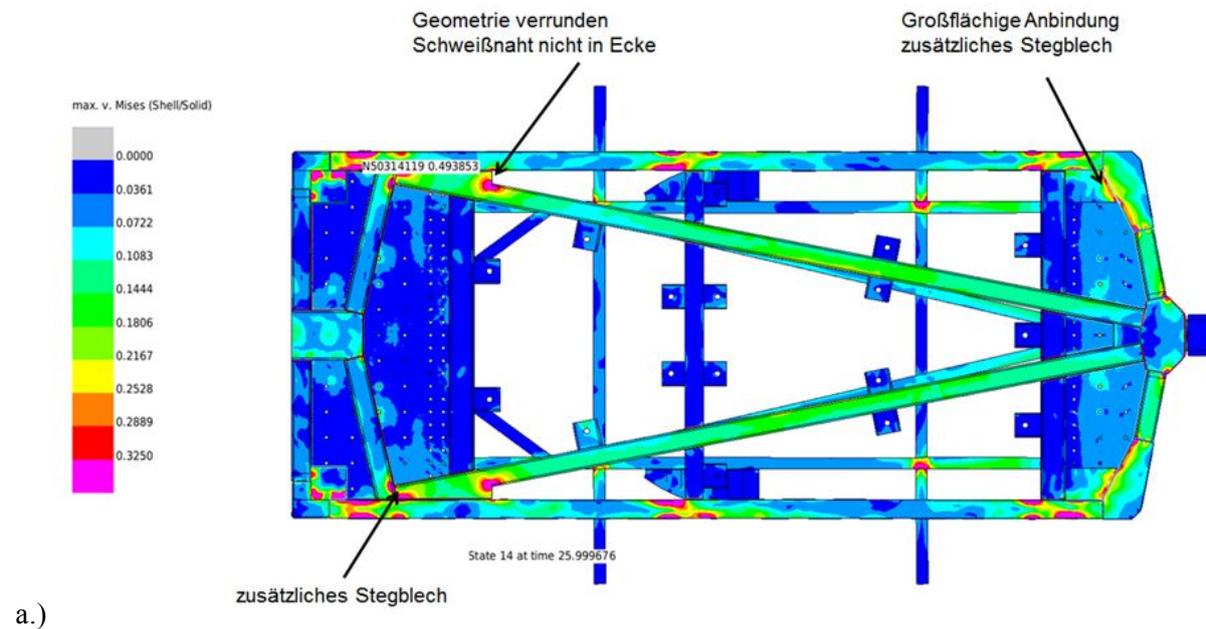


Abbildung 51 Neu entwickeltes Druckstück mit Einsatz aus hochfestem Feinkornbaustahl

8.2.2 Auswertung gerader Anschlag

Die Auswertungen der Berechnungen erfolgten im Programm Animator, dazu wurden die Van-Mises Vergleichsspannungen untersucht. Weitere Belastungen wie z.B. Schraubenkräfte usw. wurden mit Hilfe des Programmes HyperGraph ausgewertet. Nach dem Vergleich der Ergebnisse wurde festgestellt, dass die Belastungen am Schlitten bei dem OEM 1 Puls und die Belastungen der Karosserieanbindung und der Anschläge bei dem OEM 3 Puls am höchsten sind. Daher werden in weiterer Folge für die Auslegung des Schlittens und der geraden Anschläge nur noch diese beiden Pulse berücksichtigt. Das Ergebnis der Simulationen des Schlittens ohne Lochplatten und dem OEM 1 Puls ist in Abbildung 52 a.), in der Untersicht mit Anmerkungen für Verbesserungen und in b.) in der Draufsicht, dargestellt. In Abbildung 53 ist das vordere Druckstück im Detail dargestellt, die Belastung ist so hoch, dass durch die nicht direkt angebundene V-Verstrebung, eine plastische Verformung auftritt, die mit diesem Konzept nicht zu verhindern ist. Daher musste, wie bereits zuvor beschrieben ein neues Druckstück entwickelt werden um die Krafteinleitung zu verbessern.



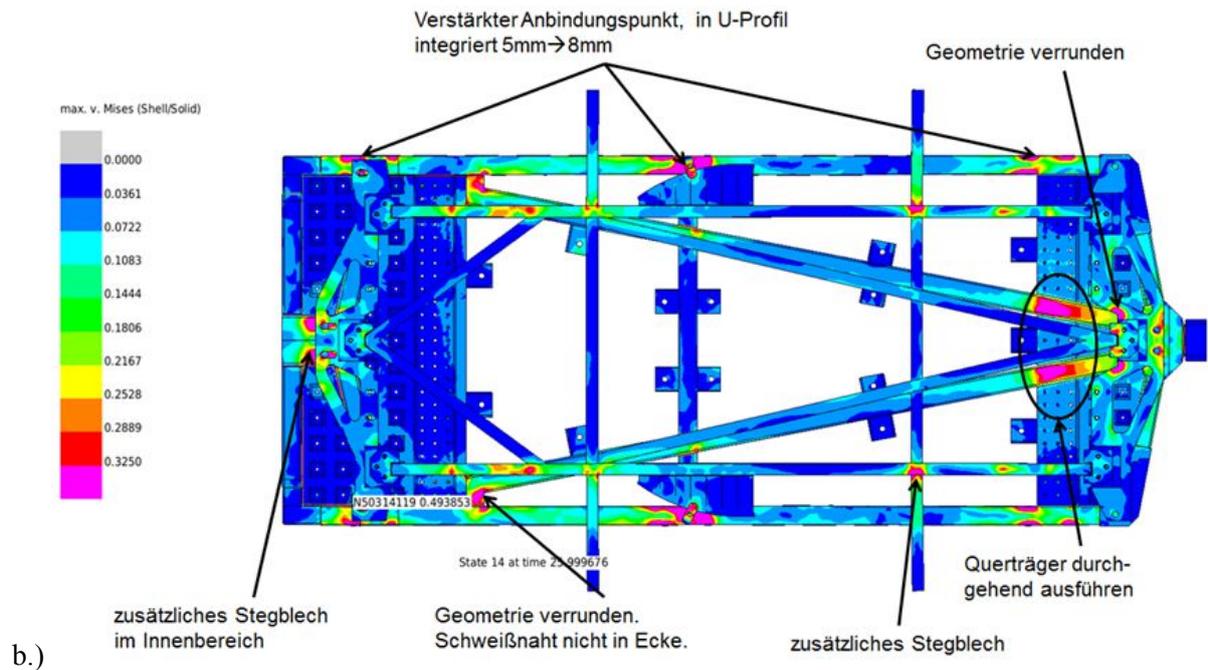


Abbildung 52 Auswertung FEM Berechnung Schlitten ohne Lochplatten und Fiat Puls a.) Ansicht von unten, b.) Ansicht von oben

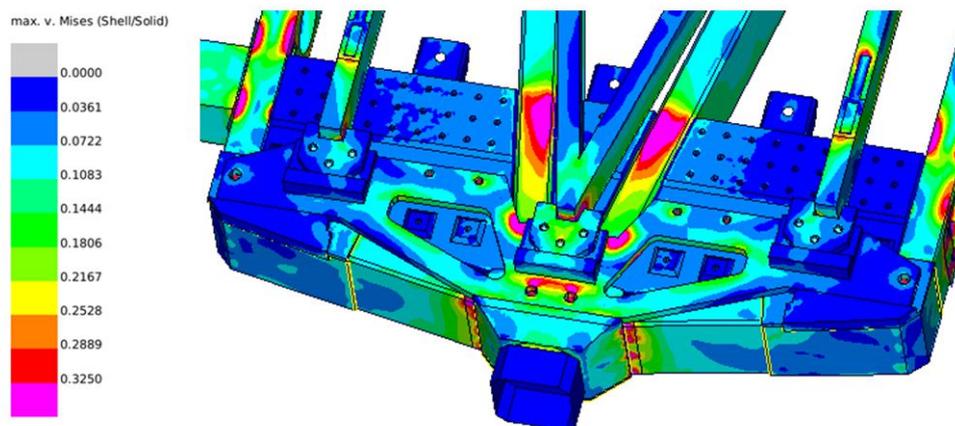


Abbildung 53 Berechnete Spannungsverteilung am Druckstück vorne

Für den OEM 3 Puls mit dem Zusatzgewicht von 530kg ergab die Auswertung keine wesentlichen Unterschiede bezüglich der Spannungen in der Karosserieaufnahme und den Anschlägen, im Vergleich zum OEM 1 Puls. Eine Verbesserung der Spannungsverteilung im Karosserieaufnahmerahmen konnte durch Wandstärkenänderungen und zusätzliche Stegbleche leicht durchgeführt werden. Zur Optimierung des Schlittens wurden einige weitere Berechnungen mit zusätzlichen Verstrebungen durchgeführt. In Abbildung 54 ist die Verbesserung gegenüber der Abbildung 52 b.) durch einen durchgehenden Querträger ersichtlich. Mittels einer Zugentlastung, in Abbildung 55 dargestellt, wurden die auftretenden Spannungen weiter reduziert.

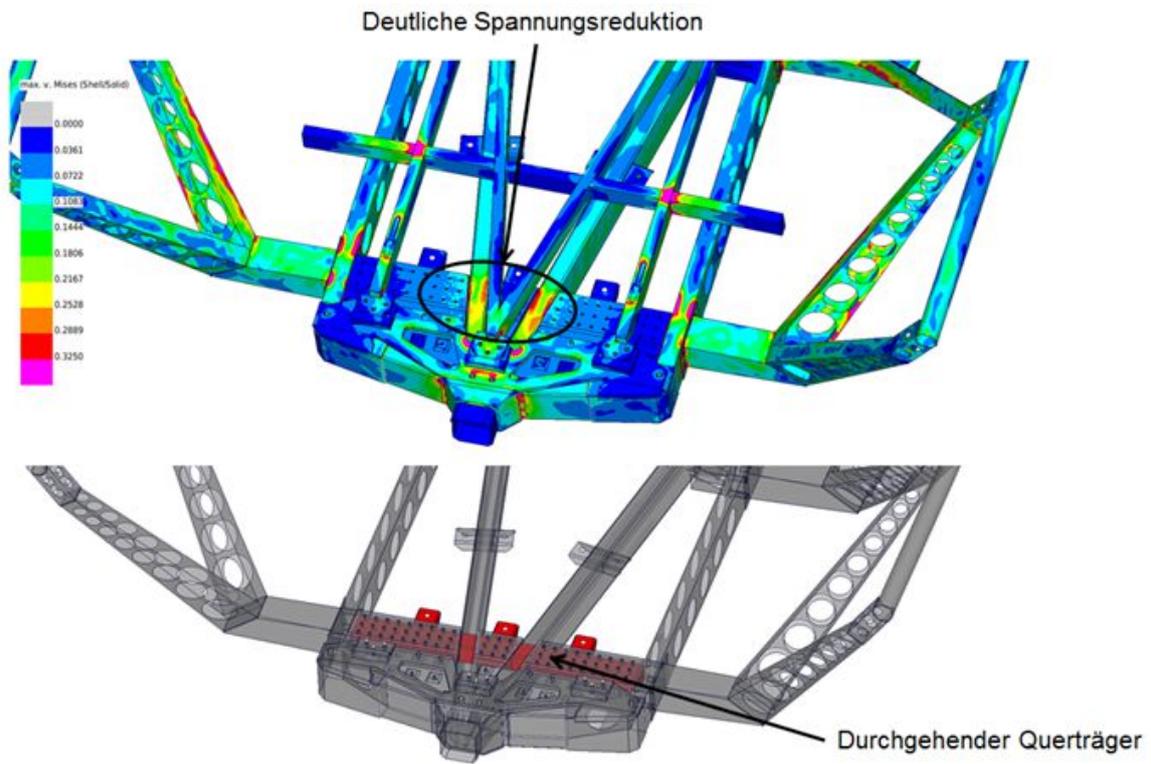


Abbildung 54 Darstellung der Spannungsreduktion durch einen durchgehenden Querträger

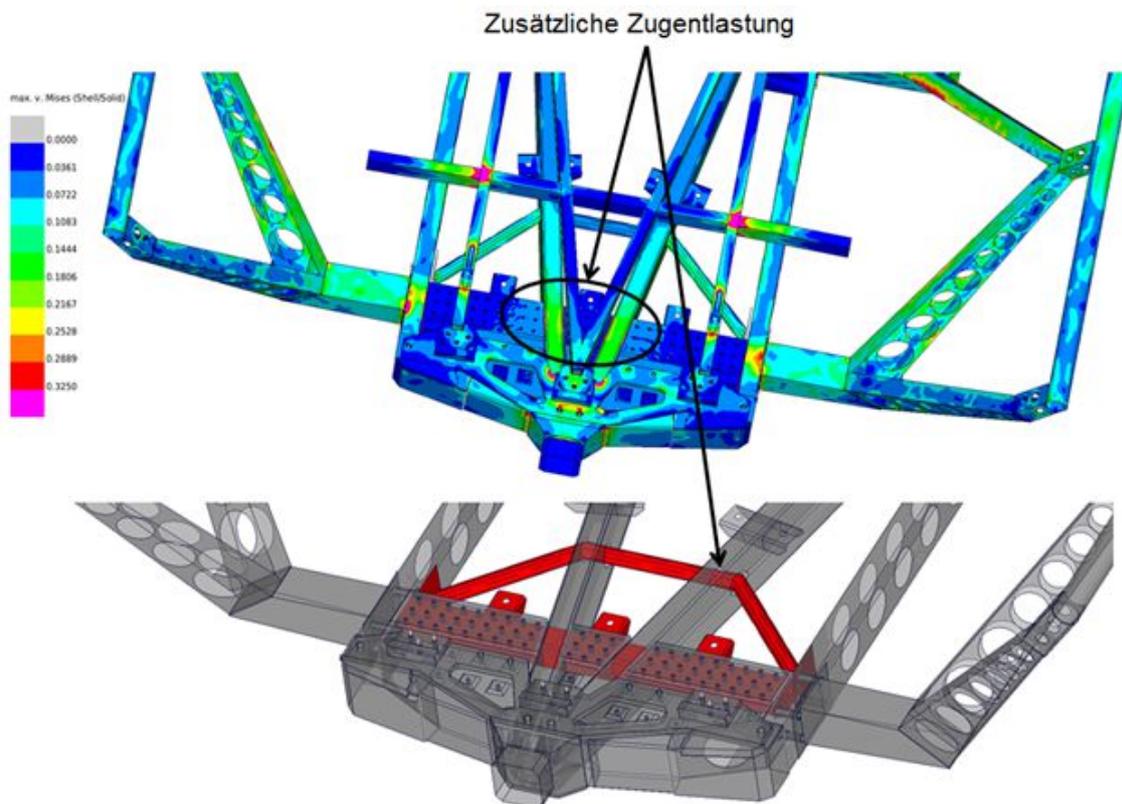


Abbildung 55 Optimierung der Spannungsverteilung durch eine Zugentlastung

8.2.3 Auswertung schräggestellte Karosse

Bei den Simulationen mit den schräggestellten Karossen konnte der 18° schräggestellte OEM 4 Puls mit 10 prozentiger Erhöhung als „Worstcase“ identifiziert werden. Durch die Zuladung von 420kg und das Überstehen des Karosserieaufnahmerahmens über den Schlitten an den Ecken war die Belastung, an den freikragenden Bereichen besonders hoch. Die Verzahnung wurde hier bereits als überlappende Verzahnung ausgeführt, da die U-Niederhalter in den Simulationen, durch die sehr breite Ausführung, um eine Anbindung an das Lochmuster zu ermöglichen, die Karosse nur ungenügend an den Schlitten anbinden konnten. Eine Draufsicht der berechneten Ergebnisse ist in Abbildung 56 dargestellt. Gut zu erkennen ist die sehr hohe Spannung im auskragenden Bereiche. Ebenso problematisch ist das Abheben der Karosse von bis zu 8,5mm, trotz der Trägerklemmen im mittleren Bereich links und rechts am Rahmen. Um eine möglichst stabile Anbindung sicherzustellen wurde eine zusätzliche Verschraubung an den hinteren seitlichen Auslegern vorgesehen. Weiteres wurde auch eine stabilere Anbindung der Karosse auf den Aufnahmerahmen, nicht nur seitlich sondern auch zu der mittleren Verstrebung umgesetzt, um die Krafteinleitung möglichst gleichmäßig zu verteilen. Die neue Karosserieanbindung ist in Abbildung 57 dargestellt und die damit generierte Verbesserung der Spannungen sowie die Reduzierung der vertikalen Bewegung auf maximal 2,5mm, durch die zusätzliche Verschraubung, wird in Abbildung 58 gezeigt.

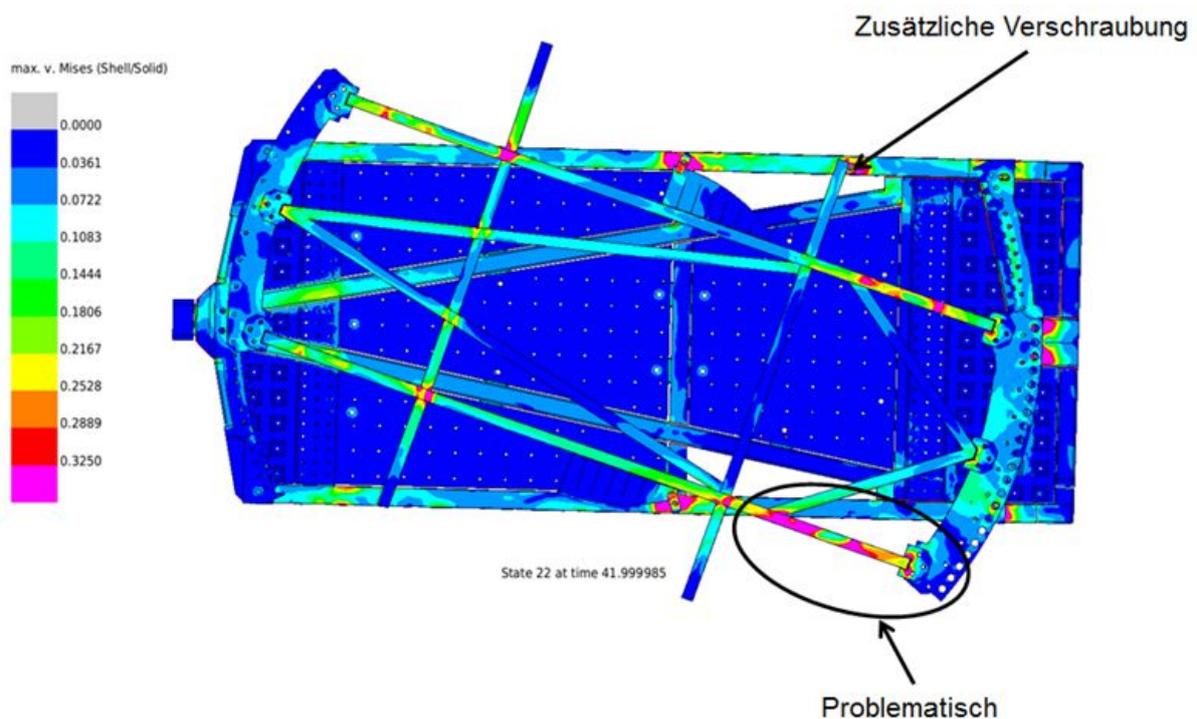


Abbildung 56 Auswertung der Simulation mit 18° Drehung und verstärktem OEM 4 Puls

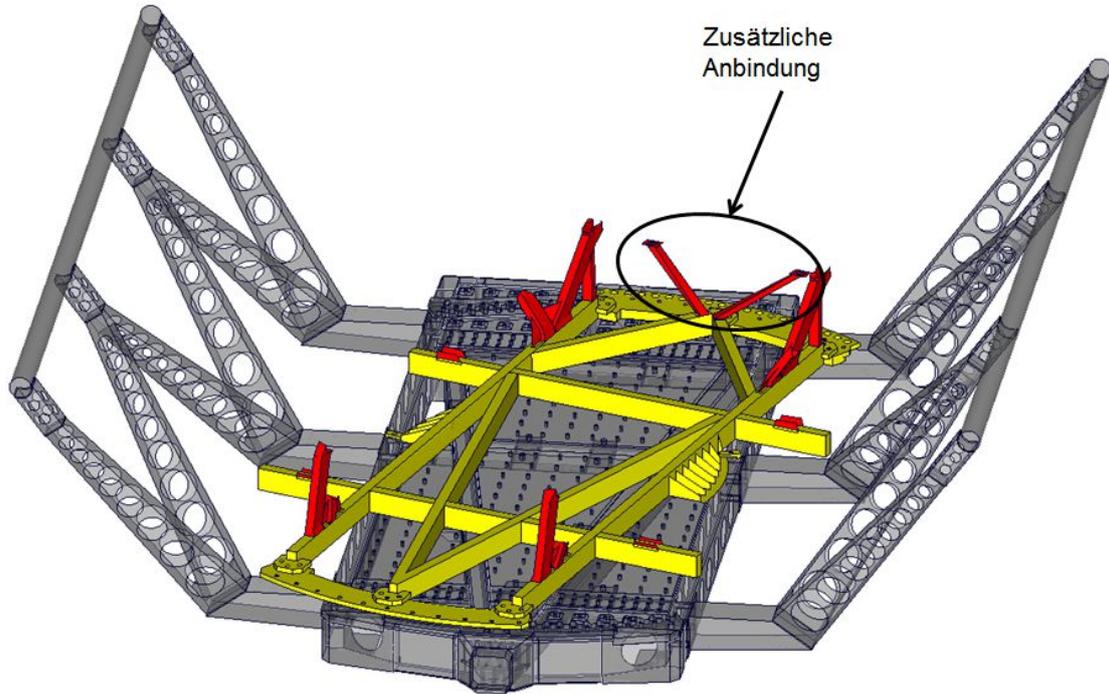


Abbildung 57 Modell des Schlittens mit Kamerarahmen, Karosserieaufnahmerahmen und überlappender Verzahnung (gelb) und Karosserieanbindung (rot)

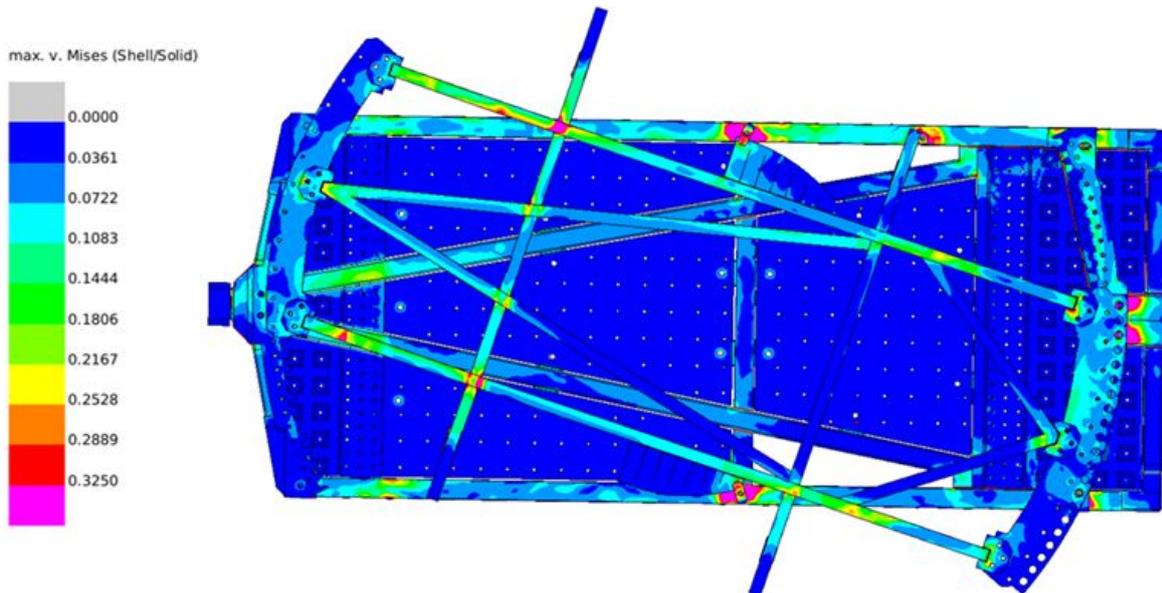


Abbildung 58 Vergleichsspannungen im Rahmen deutlich reduziert durch verbesserte Anbindungen und Verschraubungen

Zusätzlich zu den bereits erläuterten Simulationen wurde, wie in Tabelle 4 festgehalten, eine Berechnung mit dem OEM 2 Puls, der Verzahnung als Anschlag und 0° Verdrehung durchgeführt. Dieser Puls stellt die maximale Leistung der Anlage dar und diente zur Absicherung, falls nur wenige Versuche durchzuführen sind und ein Umrüsten auf die geraden Anschläge sich nicht auszahlt, dass die Verzahnung auch diese Belastung aushält. In der Auswertung wurden geringere Spannungen als bei dem 18° OEM 4 Puls ermittelt, was sicherstellt, dass wenn der Aufbau den OEM 4 Puls aushält auch ein gerader Crash-Test ohne Bedenken durchgeführt werden kann.

8.2.4 Komponenten Versuch

Die Befestigung der Lochplatten am Schlitten sowie die Lochplatten selbst wurden mittels einer Simulation eines Komponentenversuches simulativ abgesichert. Ein Massenpunkt mit 100kg wurde an allen vier Seiten an je 5 Verschraubungspunkten, mittels L-Profilen, befestigt. Dieser Aufbau wurde mit einem sinusförmigen 60g Puls über 45ms beschleunigt. Mit diesem sehr harten Puls ergibt sich eine Belastung von über 10 Tonnen in x-Richtung, zusätzlich zu den auftretenden Nickmomenten. Um diese Belastung zu bewältigen, ist es essentiell, dass die Lochplatte vorne formschlüssig an dem Lochplattenträger anliegt. In Abbildung 59 ist die Unterseite des Schlittens, in Abbildung 60 die Oberseite mit der Komponentenbefestigung zum Zeitpunkt der maximalen Belastung dargestellt. Die variablen Lochplatten sowie der Schlitten weisen akzeptable Spannungen auf und sind daher, für diese Art von Versuchen, ausreichend dimensioniert. Bei einer großflächigeren Anbindung über mehrere Lochplattensegmente verteilt sich die Belastung noch besser und die Beladung kann wesentlich erhöht werden.

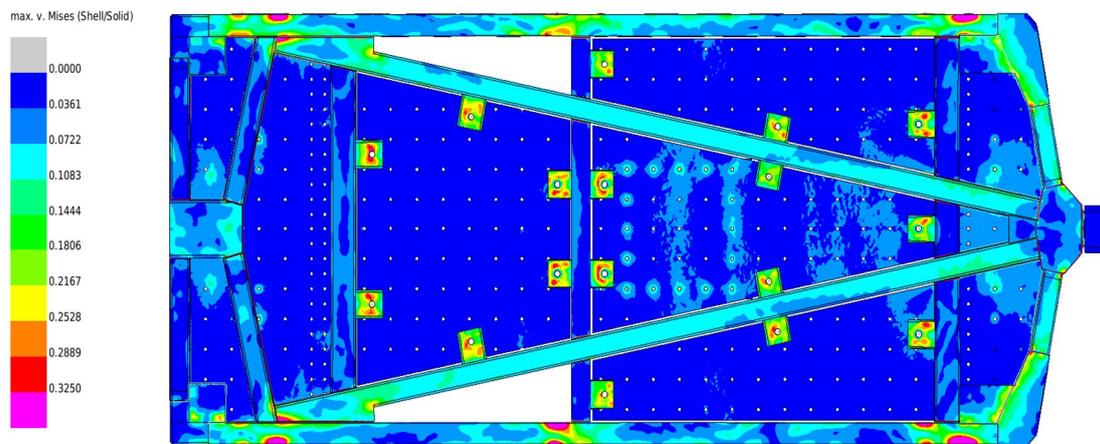


Abbildung 59 Spannungsverteilung in den Anbindungspunkten für die Lochplatten

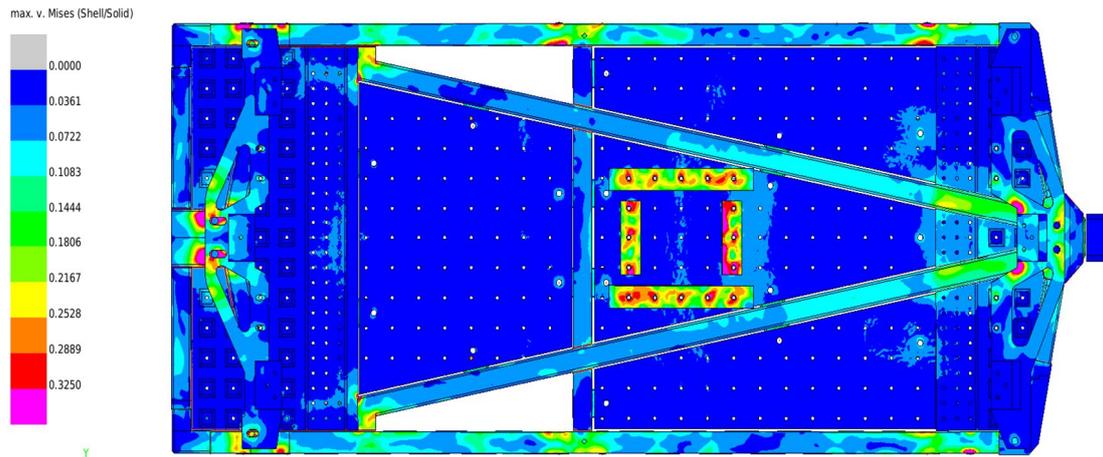


Abbildung 60 Auswertung Komponentenversuch Batterie mit 100kg und 60g Beschleunigung

8.2.5 Notbremung

Als Notbremse, im Falle des Versagens der Schienenbremsen, wurden Stauchrohre vorgesehen. Für jeden Anbindungspunkt sind je 2 Rohre mit 78mm Durchmesser und einer Wandstärke von 2mm simuliert worden, wobei je ein Druckpunkt seitlich und einer mittig auf der Hinterseite des Schlittens liegt. Diese Abmessungen ergeben sich aus der Anforderung, auch bei totalem Bremsenversagen den Schlitten ohne Beschädigung sicher zum Stillstand zu bringen. Als Abdeckung der Rohre für die Notbremse muss schlittenseitig zumindest eine 20mm dicke Stahlplatte vorgesehen werden, um eine möglichst gleichmäßige Spannungsverteilung zu erreichen. Weiteres sind die mittleren Stauchrohre 600mm und die seitlichen 500mm lang, dies bringt den Vorteil, dass der Schlitten nicht gleichzeitig mit allen Stauchrohren in Kontakt kommt. Dadurch wird einen zu großen Sprung, in den auf den Schlitten wirkenden Kräften, verhindert. Dies wirkt sich positiv auf die auftretenden Spannungen und damit auch in weiterer Folge auf das Schlittengewicht aus. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei einer leichten Kollision mit dem Schlitten lediglich die mittleren Rohre getauscht werden müssen. In Abbildung 61 ist der Beginn einer Notbremung in einer Simulation dargestellt und ebenso die Spannungsverteilung in den betroffenen Schlittenbauteilen.

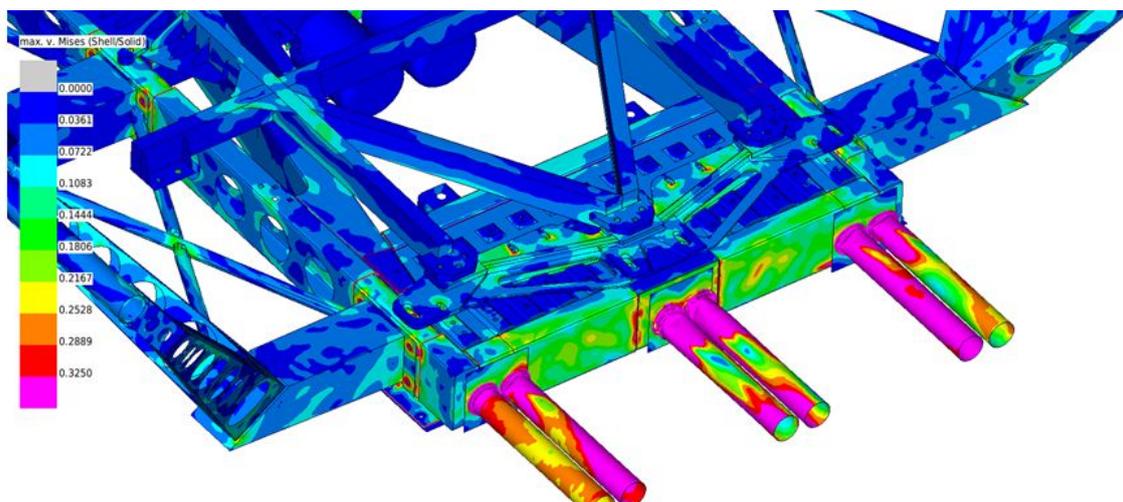
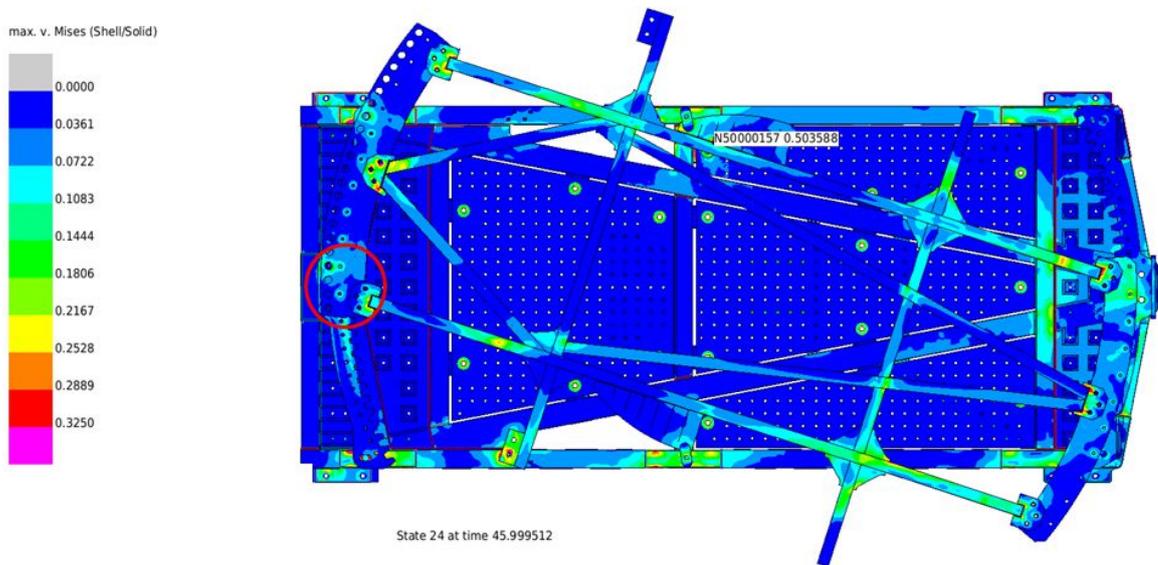


Abbildung 61 Simulation einer Notbremung mit Stauchrohren

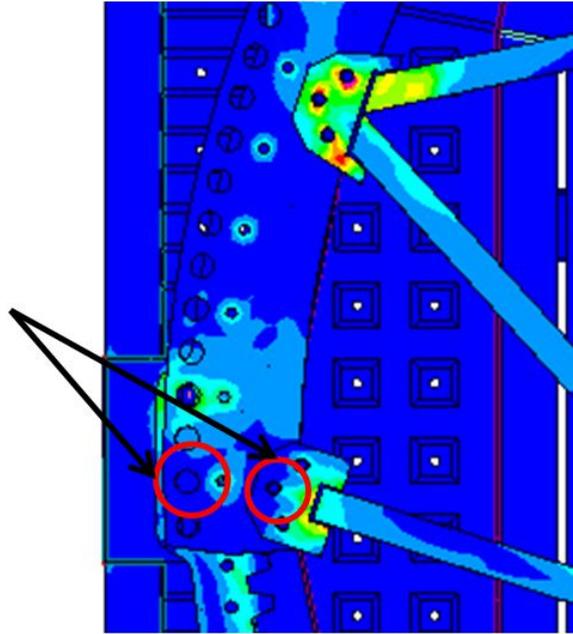
8.2.6 Absicherung gegen Misuse

In der Entwicklung sämtlicher Produkte, vor allem in sicherheitsrelevanten Bereichen, ist zu gewährleisten, dass auch in nicht optimalen Betriebszuständen das Produkt zumindest in eingeschränkter Weise funktioniert bzw. die Sicherheit von Personen keinesfalls gefährdet wird. Diese ungünstigen Betriebszustände können durch Bauteilversagen sowie einer unbemerkten Änderung der Einflussgrößen, wie z.B. Reduzierung der Reibung zwischen der Karosserieaufnahme und dem Schlitten durch unerwünschte Verschmutzung, auftreten. Aber auch menschliches Versagen wie beispielsweise das Vergessen einzelner Schrauben bei der Montage, der Karosse, oder die unbeabsichtigte Verwendung eines falschen und zu hohen Pulses kann Grundlage für den Betrieb unter sehr ungünstigen Bedingungen sein. Hier sei angemerkt, dass diese Misuse Lastfälle nur zur Absicherung dienen und seit Bestehen der Beschleunigungsschlittenanlage bei Magna Steyr in Graz noch nie vorgekommen sind. Was hauptsächlich an den hochqualifizierten Mitarbeitern sowie den strengen Sicherheitsstandards des Unternehmens liegt.

Die durchgeführten Simulationen gehen von einer reduzierten Reibung zwischen dem Schlitten und der Karosserieaufnahme über unterschiedliche Vorspannungen der verwendeten Schrauben bis hin zum Fehlen einzelner Schrauben. Für die zuletzt genannten Simulation wurden hinten und vorne je eine Schraube aus der höchstbelasteten Karosserie-Verzahnungsschnittstelle sowie eine weitere in nächster Umgebung aus der Verzahnung-Schlittenverschraubung entfernt. Abbildung 62 zeigt die Simulationsergebnisse dieses Misuse Lastfalles.



Fehlende
Schrauben



b.)

Abbildung 62 Misuse Lastfall fehlen einzelner Schrauben a.) gesamter Schlitten und b.) in Detailansicht

8.2.7 Weitere Lastfälle

Es wurden noch zahlreiche weitere Simulationen mit unterschiedlichen Parametern durchgeführt. In einer weiteren Simulation wurde zum Beispiel die Karosse versteift, um ein Verschleifen der Belastungsspitzen aus der Beschleunigung durch die vorhandenen Elastizitäten zu verhindern. Diese direkte Anbindung der Massen führt vor allem in den Anschlägen zu einer Erhöhung der Spannung. Für alle diese Sonderlastfälle wurde ein positives Berechnungsergebnis generiert, weiteres wurden die gewonnenen Ergebnisse in die zahlreichen Simulationsschleifen zur Gewichtsoptimierung eingearbeitet.

8.3 Finales Modell

Die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Simulationen wurden in eine neue Konstruktion eingearbeitet. Es wurden eigene, massivere Biegeteile für die Kameraanbindung vorgesehen, das Druckstück vorne wurde komplett überarbeitet, die fixen Lochplatten wurden gekürzt usw.. Ebenso integriert wurde eine geänderte Anbindung am Kamerarahmen. Aus dieser verbesserten Konstruktion, im Detail beschrieben in Kapitel 9, wurde wieder von einem Dienstleister ein Finite Elemente Modell erstellt. Für die Simulation wurden nur noch die Pulse verwendet, welche in der ersten Simulationsschleife die höchsten Belastungen ergaben, der OEM 1, der OEM 3 mit 530kg Zuladung und der OEM 4 Puls mit 18° Schrägstellung. In nachfolgender Abbildung 63 ist die maximale Belastung am Schlitten durch den OEM 1 Puls dargestellt. Sämtliche Spannungen sind unter der maximal erlaubten Höchstspannung von 325N/mm² lediglich die Kamerarahmenanbindungspunkte sind durch die sehr hohe Vorspannung der Verschraubungen stark belastet. Da an diesen Stellen jedoch ein Material höherer Güte zum Einsatz kommt und vorwiegend Druckspannung auftritt, sind die Belastungen in Ordnung.

8. Schlitten Simulation

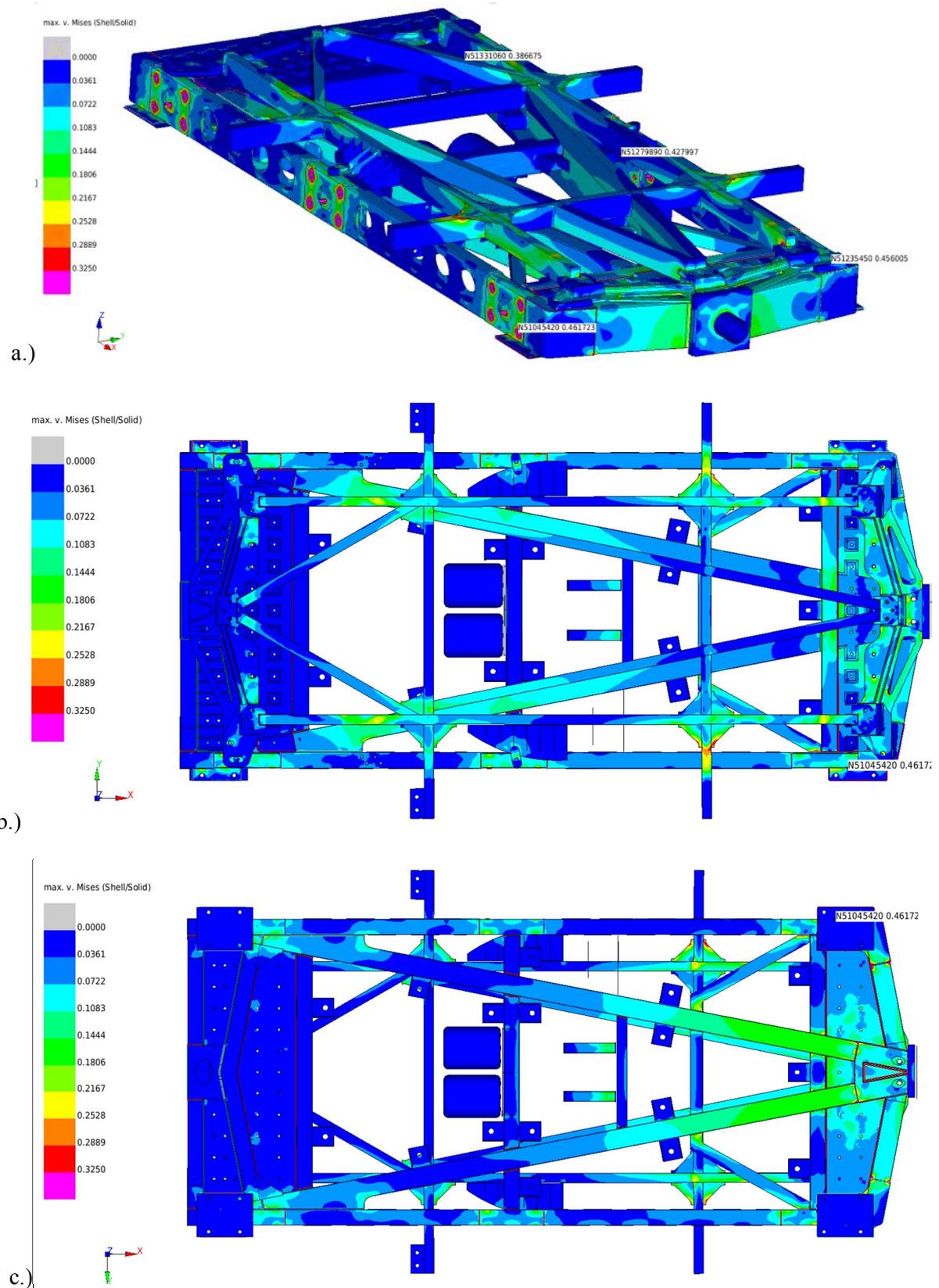


Abbildung 63 Spannungsverteilung im Leichtbauschlitten mit Karosserieaufnahme und ausgewerteten Spannungsspitzen a.) isometrische Ansicht, b.) Draufsicht c.) Unteransicht

8. Schlitten Simulation

Die Belastungen in Karosserieaufnahme und den Anschlägen in der Simulation mit dem OEM 3 Puls waren wesentlich geringer als die Spannungen aus der Berechnung mit dem 18° gedrehten OEM 4 Puls. Das Ergebnis aus der Optimierung der Karosserieanbindung, siehe Abschnitt 8.2.3, konnte durch eine verbesserte Vorspannung und kleine Änderungen in der Geometrie weiter verbessert werden, siehe Abbildung 64.

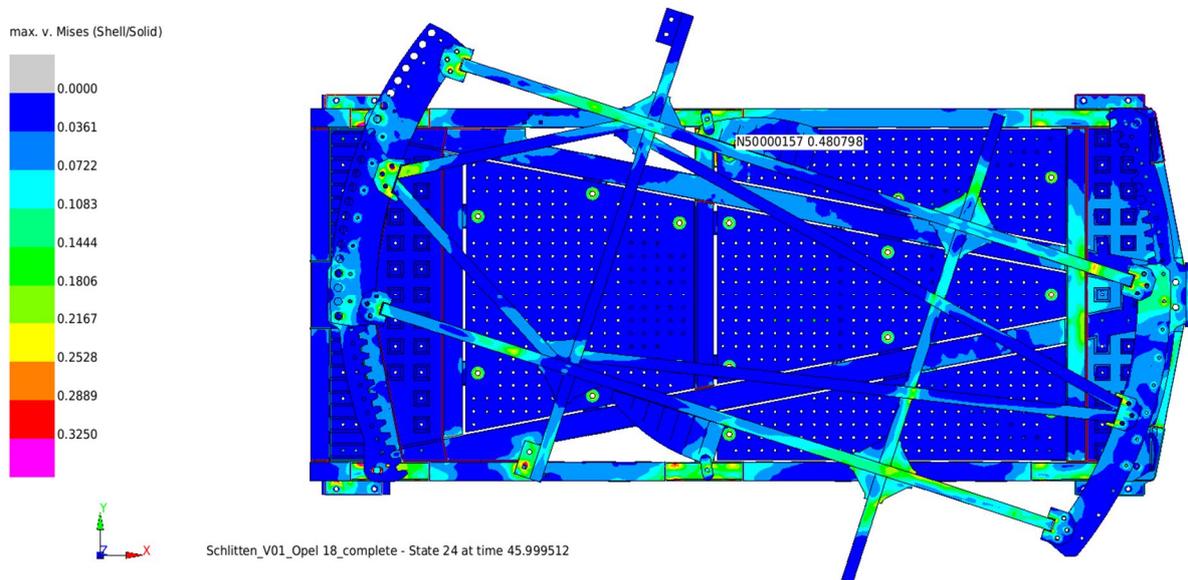


Abbildung 64 Vergleichsspannung finales Modell 18° schräggestellter Opel Puls mit 10% Überhöhung

Sämtliche entwickelte Bauteile sind für die geforderten Randbedingungen festigkeits- und gewichtsmäßig optimiert. Neben diesen Eigenschaften sind aber auch die funktionalen Anforderungen an den Schlitten optimiert und ausgewertet worden.

8.3.1 Funktionale Anforderungen

Einen wichtigen Punkt der funktionalen Eigenschaften stellt die Relativbewegung des Kamerarohres zum Schlitten dar. Hier wird durch Hochgeschwindigkeitskameras der Versuch aufgezeichnet und somit eine Auswertung für die verschiedenen Rückhaltesysteme und Insassen wie z.B. die Entfaltung des Airbags, die Bewegung des Kopfes der Dummies usw.. ermöglicht. Aufgrund des veränderten Aufbaus des Schlittens wurde die Steifigkeit, vor allem bei der mittleren Kamerarahmenanbindung deutlich verringert. Ein CAD Modell des bestehenden Schlittens ist in Abbildung 65 dargestellt. Hier kann man gut den massiven Knoten im mittleren Bereich der Kamerarahmenanbindung erkennen. Nachteilig ist hier besonders die Ausführung der Verschraubung zum Schlitten. Diese bindet das Kamerarig lediglich auf die Außenseite des Formrohres, welches den Längsträger darstellt, an.

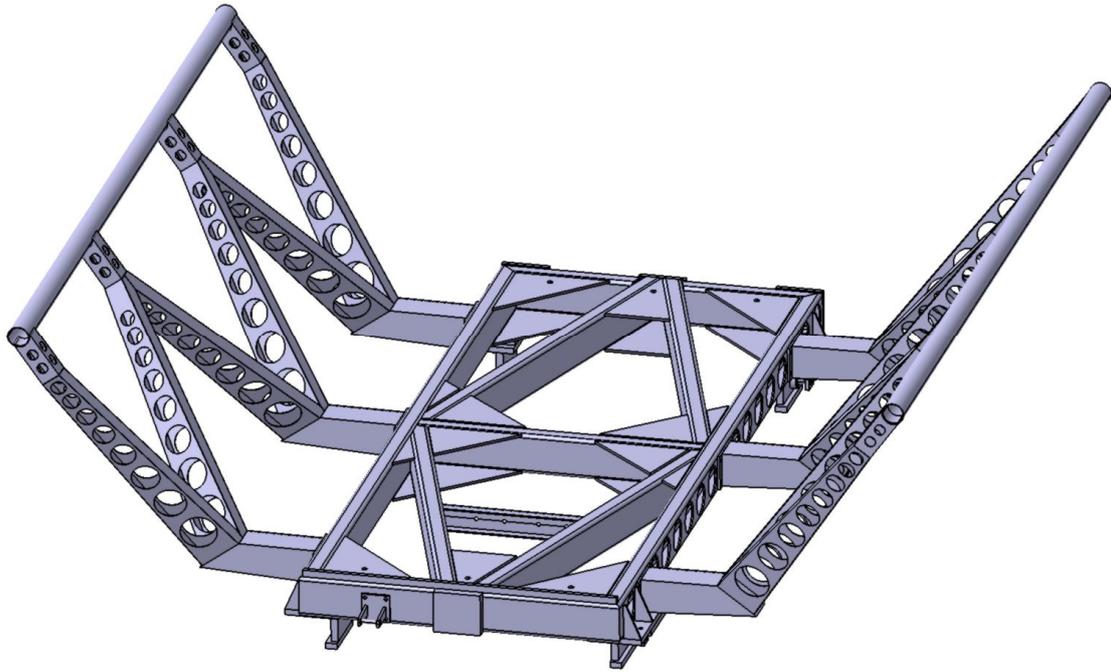


Abbildung 65 CAD Modell des bestehenden Schlitten mit Kamerarig

In Abbildung 66 ist zum Vergleich der neu entwickelte Leichtbau Schlitten dargestellt. Durch die Gewichthsoptimierung wurden die Längsträger, sowie die mittleren Kamerarahmenanbindungen weniger steif, gegenüber den vom Kameragestell eingeleiteten Kräften. Dadurch musste eine zusätzliche Versteifung in den Kamerarahmen eingearbeitet werden.

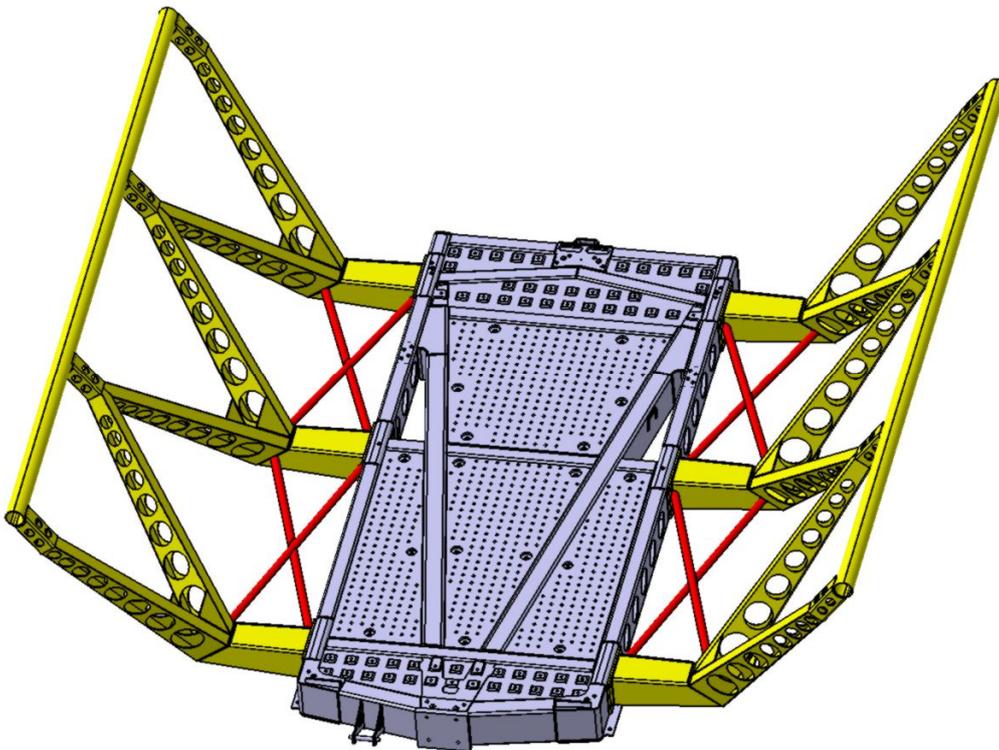
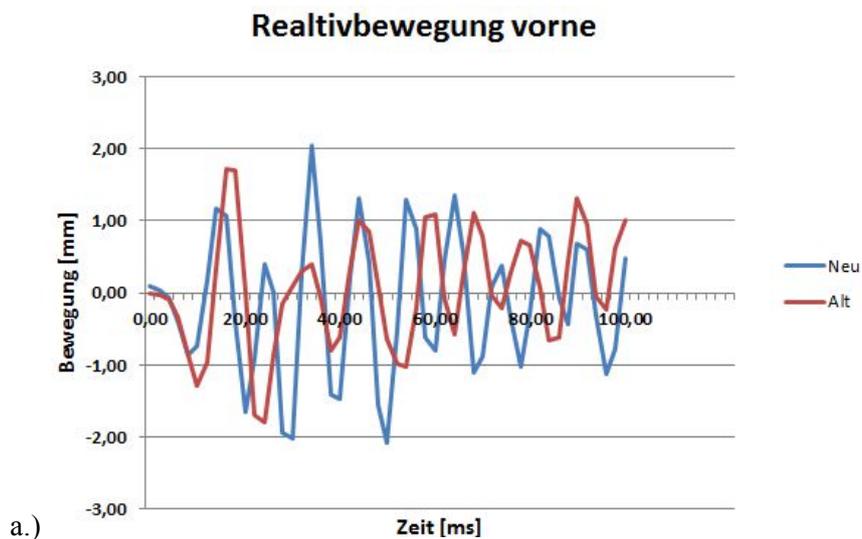


Abbildung 66 CAD Modell des Schlittens mit Kamerarahmen und Verstrebungen (rot)

Für die Auswertung der Relativbewegung wurden zwei Simulationen durchgeführt. Zum einen mit dem bestehenden Schlitten mit Kamerarahmen zum anderen mit dem neu entwickelten Leichtbauschlitten und dem Kamerarahmen mit geänderter Anbindung und zusätzlicher Verstrebung. Beide Versuche wurden mit 80% des OEM 1 Pulses simuliert, da dies fast die maximale Leistung der Anlage darstellt und somit eine sehr realistische Untersuchung ist. Als Messpunkte wurden, wie für die Kameraanbindung üblich, die Mitten am Kamerarohr zwischen den Anbindungspunkten der gelochten Streben gewählt. Die auftretenden Bewegungen stammen aus einer Überlagerung zweier Schwingungen. Zum einen durch die Schwingung der gelochten Verstrebung. Diese entsteht aus den Elastizitäten der Anbindung zum Schlitten sowie dem Übergang der horizontalen Rechteckprofile auf die Verstrebung selbst. Zum anderen schwingt das Rohr selbst mit Eigenfrequenzen, wobei die jeweiligen Anbindungspunkte Schwingungsknoten darstellen. Es wurden alle drei Bewegungsrichtungen einzeln und zusammengefasst ausgewertet. Die Bewegung in x-Richtung hat sich an allen Messpunkten verbessert, in y- und z-Richtung war das Ergebnis nicht so eindeutig. Hier kam es teilweise zu Verbesserungen, aber auch zu Verschlechterungen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die neu entwickelte Kamerarahmenanbindung zusammen mit dem Leichtbauschlitten zumindest gleichwertige Eigenschaften aufweist wie das bestehende System. Die zusammengefassten Relativbewegungen sind in nachfolgenden Diagrammen in Abbildung 67 dargestellt.



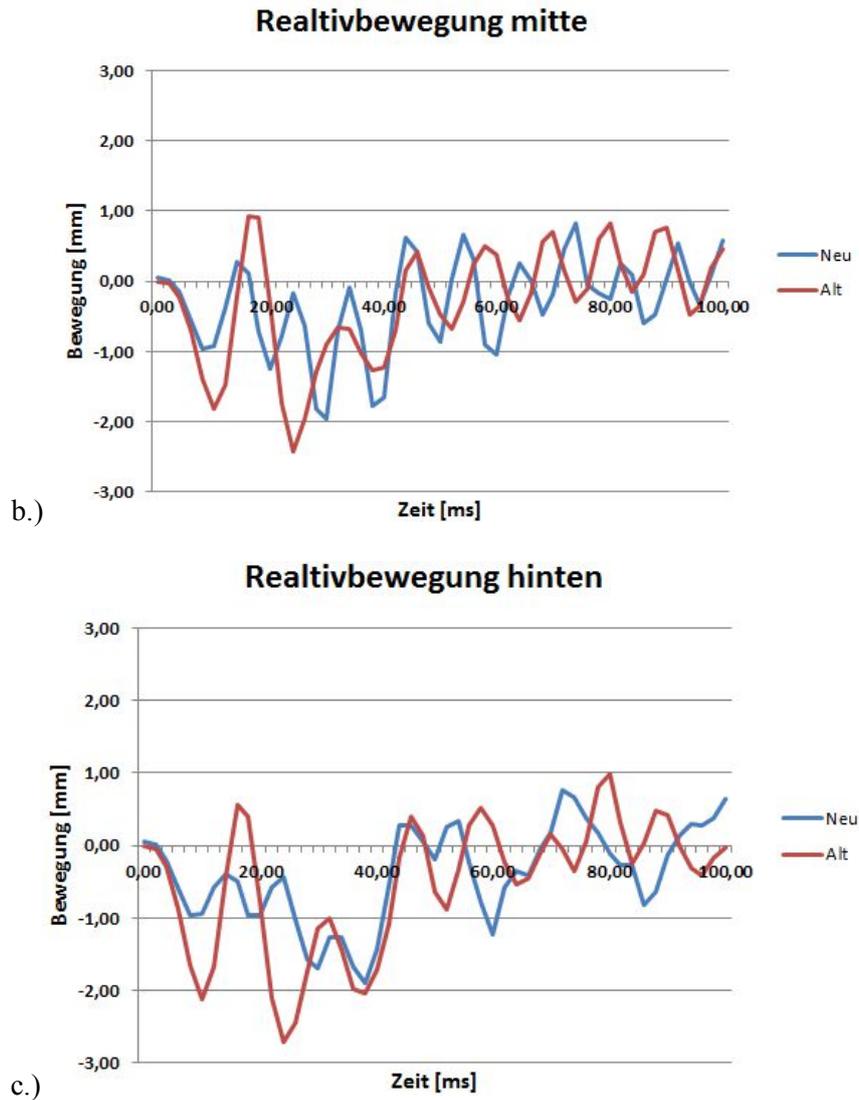


Abbildung 67 Auswertung der totalen Relativbewegung am Kameraaufnehmerrohr a.) vorne, b.) mittig und c.) hinten

Ein weiterer wichtiger Bereich der untersucht wurde ist das vertikale Abheben des Karosserieaufnehmerahmens beim neuen bzw. des Zwischenrahmens beim bestehenden Schlitten. Dies entsteht durch das auftretende Nickmoment während der Versuche, als Produkt aus Beschleunigung, Masse und Schwerpunktabstand des Aufbaus. Als erster Schritt wurde während eines durchgeführten Versuches die Schnittstelle Schlitten und Zwischenrahmen mitgefilmt und ausgewertet. Der Versuch ist mit einem Aufbaugewicht von 1300kg und einer maximalen Beschleunigung von 335m/s^2 als mittelschwer einzustufen. Die Relativbewegung in z-Richtung betrug am höchsten Stand 3mm. Für die neue Anbindung stellte der gerade Versuch mit den Trägerklemmen im mittleren Bereich keine Probleme dar. Problematisch war in ersten Untersuchungen die 18° schräggestellte Karosse mit dem Opel Puls und der 10% Überhöhung. Hier betrug der maximale vertikale Abstand, welcher immer an den hinteren, äußeren Querstreben auftritt, über 8mm. Als Lösung wurde, wie in Abbildung 56, S. 68 dargestellt, eine zusätzliche Verschraubung vorgesehen. Mit dieser Maßnahme konnte das vertikale Abheben auf maximal 2,5mm für alle möglichen Versuche begrenzt werden. Dies stellt eine wesentliche Verbesserung dar, denn für einen mittelschweren,

geraden Versuch so wie er am bestehenden Schlitten ausgewertet wurde, konnte die betrachtete Bewegung halbiert werden.

Die Verschraubungen der Anschläge stellen sehr sicherheitsrelevante Bauteile dar. Sie wurden in sämtlichen Simulationen realitätsgetreu abgebildet und ausgewertet. In Abbildung 68 sind die auftretenden Zugkräfte in einigen M24 und M16 Schraubenschäften dargestellt.

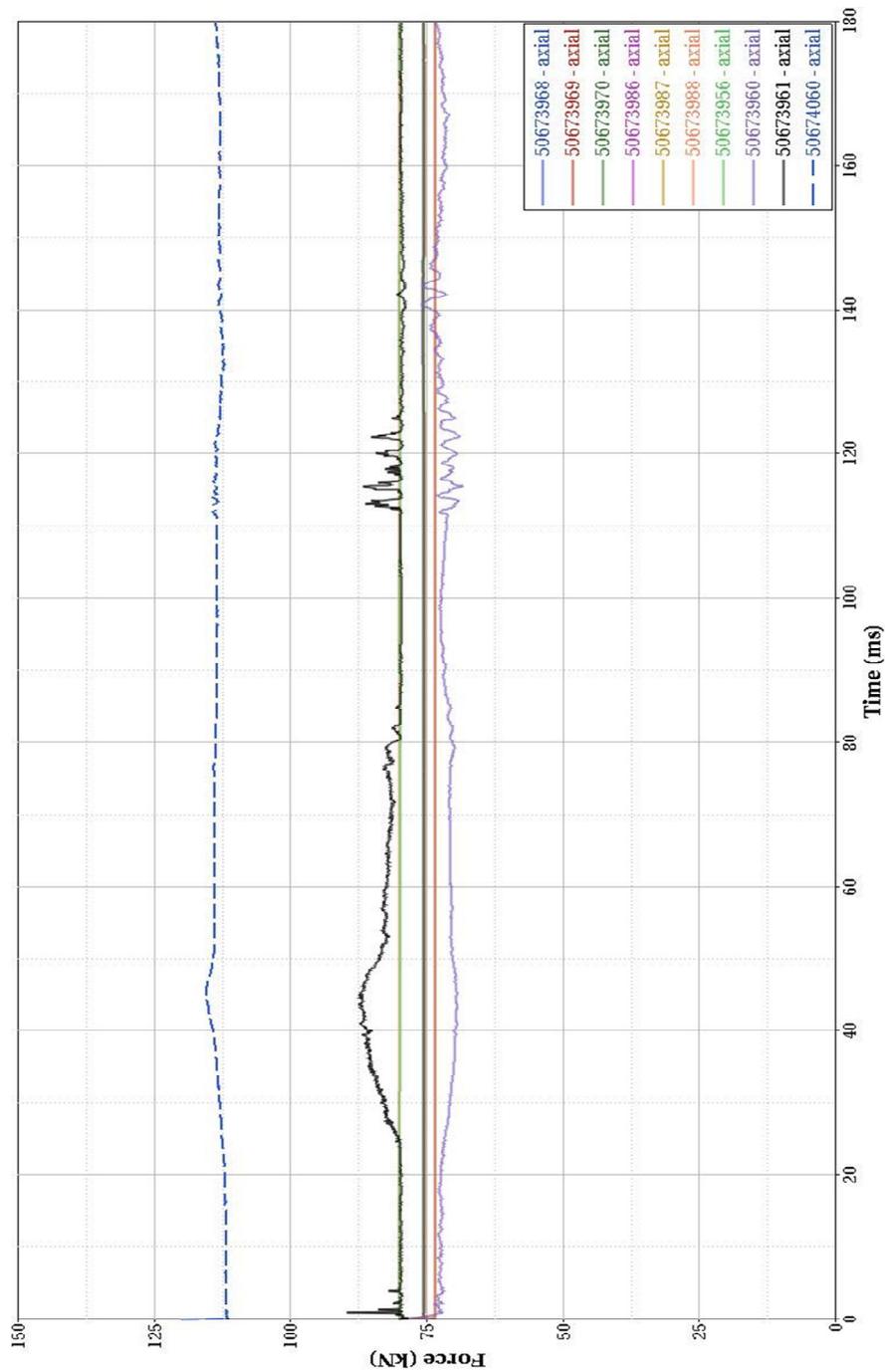


Abbildung 68 Auftretende Schraubenkräfte an den höchstbelastenden Schrauben während eines OEM 4, 18° Versuches

9 Detailkonstruktion

Die Entwicklung des Leichtbau-Crash-Schlittens erfolgte in mehreren Schleifen zwischen Konstruktion und Simulation. Die finale Entwicklung wird in diesem Kapitel vorgestellt und im Detail erklärt. Es mussten neben der Festigkeits- und Gewichtsoptimierung auch die Fertigungskosten möglichst niedrig gehalten werden, um einen möglichst hohen ökonomischen Nutzen zu erreichen. Aus diesen Gründen ergab sich, wie bereits in der Konzeptphase vorgesehen, eine Kombination aus Formrohren, Blech- und Blechbiegeteilen die in einer Schweißkonstruktion zusammengefügt werden.

9.1 Strukturelemente

Der Großteil des Schlittens gehört zu den Strukturelementen. Diese stellen den tragenden Rahmen dar und bilden die Basis für sämtliche weitere Anbauteile. In Abbildung 69 ist der Strukturrahmen mit einer Aufteilung in verschiedene Bereiche dargestellt die nachfolgend erläutert werden. Dazu zählen das Druckstück vorne, das Schubfeld vorne, die Längsträger, die Lochplattenträger, das Schubfeld hinten, die Schienenführung und die Notbremsanschläge hinten seitlich und mittig.

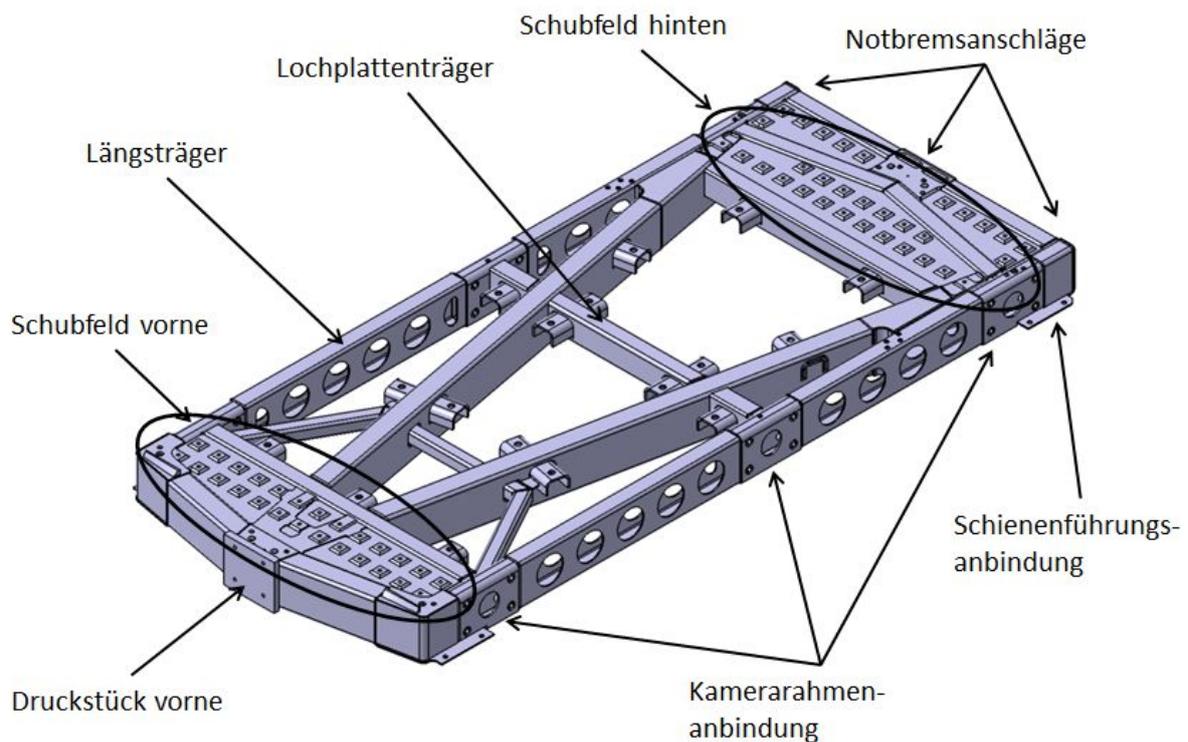


Abbildung 69 CAD Modell des Strukturrahmens und Aufteilung in verschiedene Bereiche

9.1.1 Druckstück vorne

Der Hauptkrafteinleitungspunkt, auch als Druckstück bezeichnet, stellt eines der höchstbelasteten Bauteile dar. Hier wird die gesamte Kraft des Pneumatikzylinders von bis zu 2200 kN eingeleitet. Die erste Platte ist aus 30mm dickem Stahlblech gefertigt um die Belastung möglichst gleichmäßig auf die weiterführenden Bauteile zu verteilen. Diese angebundenen Bauteile sind je ein Formrohr links und rechts, in welchen ein Einsatz integriert ist um ein Kollabieren zu verhindern, ein Stahlblech auf der Unterseite, mittig ein Keil mit zwei Stegen und auf der Oberseite eine Stahlplatte, die als Lochplatte ausgeführt wird. Der Keil in der Mittelebene kann als Verlängerung der weiterführenden V-Verstrebung gesehen werden, es ist aber aus festigkeitsmäßigen sowie fertigungstechnischen Gründen notwendig ihn als eigenes Bauteil auszuführen. Der Aufbau ist in Abbildung 70 im Schnitt dargestellt. Die Druckplatte vorne dient gleichzeitig als formschlüssige Abstützung für die Anschläge, welche auf den Schlitten montiert werden können.

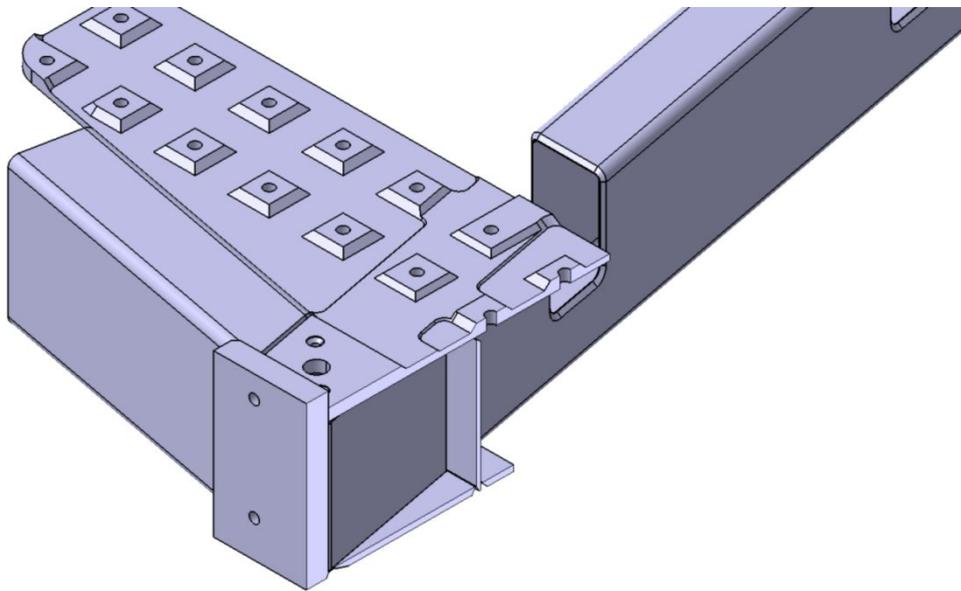


Abbildung 70 Druckstück vorne mit angebundenen Bauteilen im Schnitt durch die Symmetrieebene

In Abbildung 71 ist selbiger Aufbau nochmals in einem horizontalen Schnitt dargestellt. Hier besonders gut zu erkennen ist der eingesetzte Keil aus hochfestem Feinkornbaustahl, welcher auch eine höhere Wandstärke als die weiterführenden Formrohre aufweist. Dieser Einsatz kann separat gefertigt werden. Dies ist nötig um die Zugänglichkeiten für die Schweißungen sicherzustellen. Eine nachfolgende Bearbeitung, vor dem Einbau ist abhängig von der Qualität der Schweißung und kann gegebenenfalls entfallen. Für den Zusammenbau des Schlittens ist besonders in diesem Bereich eine Einhaltung der auf den Schweißbaugruppenzeichnungen festgehaltenen Reihenfolge unerlässlich. Nur so kann sichergestellt werden, dass für alle auszuführenden Schweißnähte eine ausreichende Zugänglichkeit besteht.

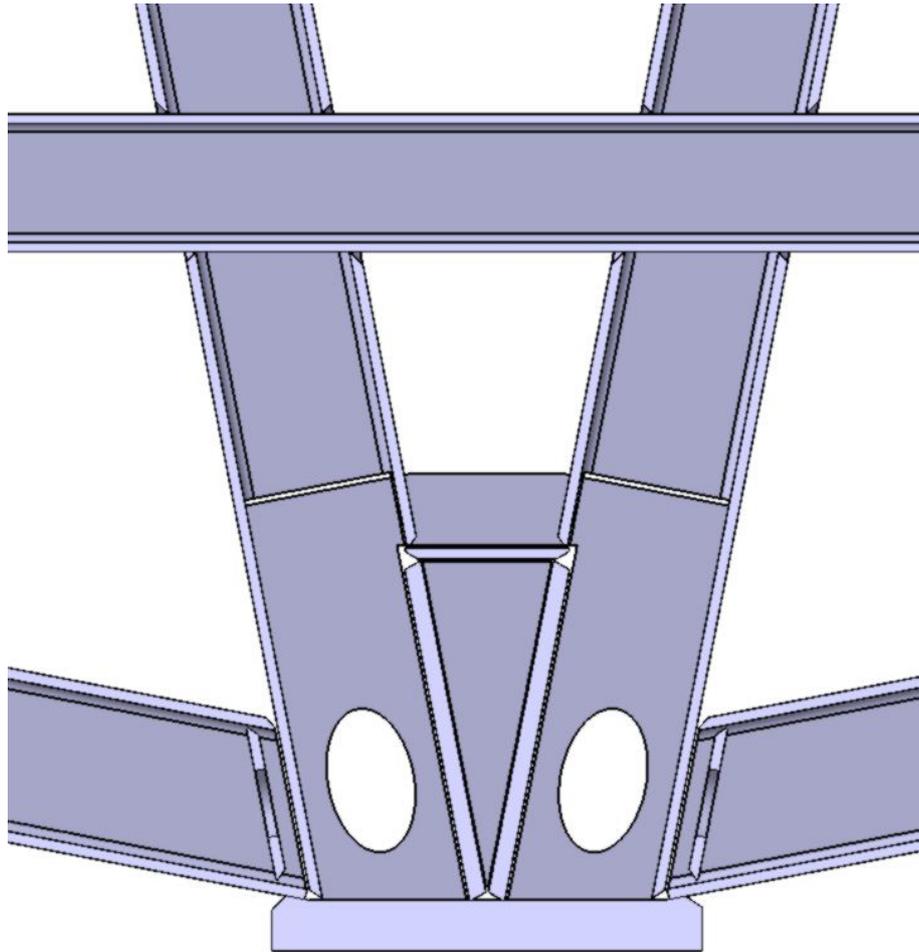


Abbildung 71 Druckstück vorne mit weiterführenden Bauteilen im Schnitt

9.1.2 Schubfelder

Als Schubfelder werden die in Abbildung 69 beschriebenen Bereiche bezeichnet. Die Begrenzung erfolgt im vorderen Bereich durch die vorderen Querträger, den anschließenden Ecken sowie der Kameraaufnahmen und abschließend mit dem durchgehenden Querträger, der auch als Lochplattenträger dient. Beim Schubfeld hinten erfolgt die Umrandung ebenso durch die Querträger hinten mit den Ecken und den Kameraaufnahmen, sowie einem Querträger im vorderen Bereich der die variablen Lochplatten trägt. Jedoch wird die fixe Lochplatte hier durch eine V-Verstrebung in zwei Teile unterteilt. Die Lochplatten dienen vorne sowie hinten als tragende Struktur und beinhalten Verschraubungspunkte für die Anschläge, sowie für das 100x100mm Lochmuster. Die Ecken sind vorne als auch hinten als Schweißkonstruktion mit Blechen und Blechbiegeteilen ausgeführt, wobei bei den vorderen Ecken ein Frästeil die Oberseite darstellt und somit die formschlüssige Abstützung der Anschläge ermöglicht. Die Schubfelder stellen durch die Umrandung mit Formrohren und den Verschluss mit einem Stahlblech eine sehr steife Konstruktion dar. Besonders die Biegung um die Y-Achse und die damit verbundene Anbindung der Ecken ist ein wesentlicher Benefit dieser Konstruktion. Im vorderen Bereich wurde aufgrund der sehr hohen, nur mittig eingeleiteten Kräfte, eine Unterstützung in Form einer Zugentlastung angebracht. Dadurch konnten die entstehenden Spannungen weiter reduziert und die Formrohre der V-Verstrebung mit geringeren Wandstärken

ausgeführt werden. Insgesamt wurde auch hier sehr auf eine Gewichtsoptimierung geachtet. Die Ausnehmungen in der fixen Lochplatte sind an den Kraftfluss angepasst und die Wandstärken sind unter Berücksichtigung der Sicherheiten, auf ein Minimum reduziert. In Abbildung 72 ist ein Kraftflussbild dargestellt. Hierzu ist festzuhalten, dass die Prozentangaben sich nur auf die durch die Struktur weitergeleiteten Kräfte beziehen. Ein erheblicher Anteil der von der Schubstange übertragenen Kraft, wird über das Druckstück in die fixe Lochplatte und die darauf befestigten Anschläge geleitet.

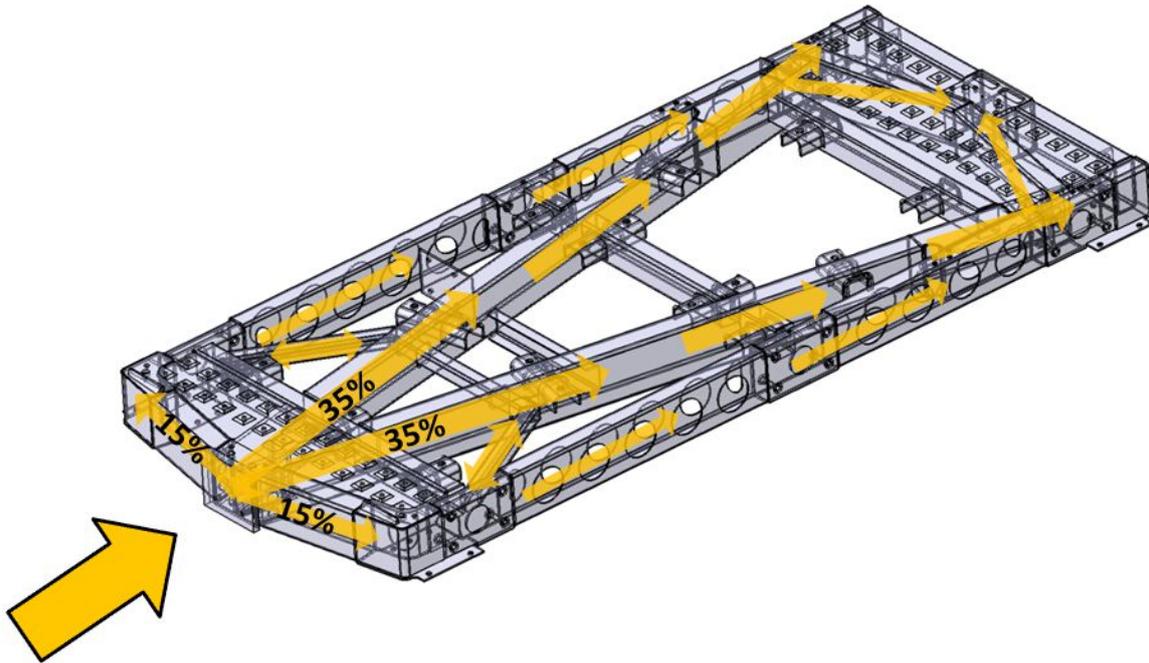


Abbildung 72 Kraftfluss im Schlitten während eines Versuches

9.1.3 Kamerarahmenanbindung und Langträger

Die Kameraanbindung stellt eine hochbelastete Schnittstelle dar. Hier müssen sämtliche Kräfte die durch die Beschleunigung des, pro Seite, über 100kg schweren Kamerarahmens auftreten, aufgenommen werden und dies mit möglichst hoher Steifigkeit, da bereits minimale Bewegungen in der Anbindung eine beachtliche Bewegung am Kamerarohr hervorrufen und somit die Aufzeichnungen der Hochgeschwindigkeitskameras beeinflussen. Am bestehenden Schlitten wird die Verschraubung lediglich an der Außenseite des Formrohres durchgeführt, dies ist bei Zugbelastungen sehr nachteilig da die Steifigkeit relativ gering ist. Am neuen Schlitten wird der Längsträger, welcher als Formrohr mit Ausnehmungen ausgeführt ist, unterbrochen und ein U-Profil aus etwas dickerem Blech mit einem Bodenblech und eingesetzten Hülsen eingearbeitet. Dies ermöglicht ein Durchschrauben des Profils, ohne es durch die Vorspannung der Schrauben zu verformen. Im hinterem Längsträger und der hinteren Kamerarahmenanbindung sind Verschraubungspunkte eingearbeitet. Aufgrund der geringen Wandstärke der Profile ist es nötig ein ausreichend dickes Blech auf der Innenseite anzubringen, um die Herstellung eines Gewindes zu ermöglichen. In Abbildung 73 ist das CAD Modell der Kameraaufnahme rechts vorne und des anschließenden Längsträgers dargestellt. An den Absatz, der in das U-Profil eingearbeitet ist, wird das Anbindungsblech für die Schienenführung angeschweißt, dies führt zu einer besseren Verbindung der einzelnen Bauteile.

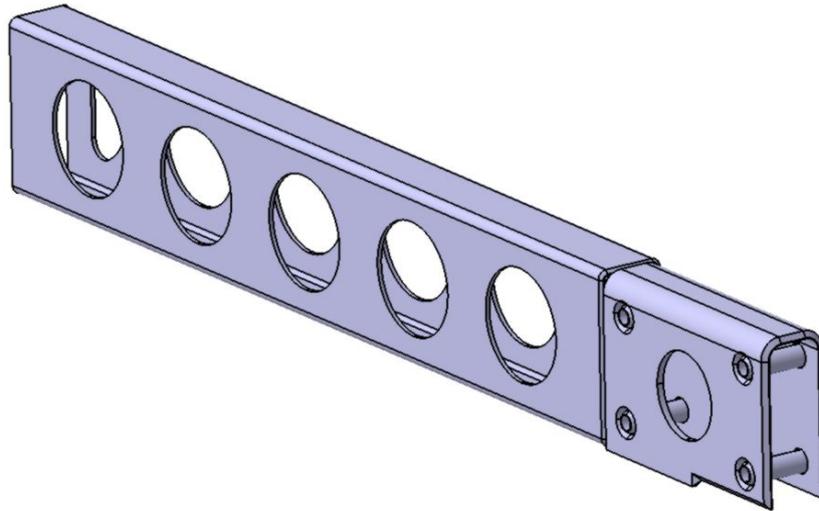


Abbildung 73 CAD Modell Kameraaufnahme mit angebundenem Langträger

9.1.4 Lochplattenträger

Die sichere Aufnahme der variablen Lochplatten wird mittels der Lochplattenträger ermöglicht. Diese haben neben ihrer Funktion als Querträger in der tragenden Struktur zusätzliche U-Profile integriert, welche immer durch den Träger gehen und somit auf beiden Seiten verschweißt werden, siehe Abbildung 74. Dadurch kann die Steifigkeit für die Anbindung, aber auch die Belastung am Träger deutlich verbessert werden.

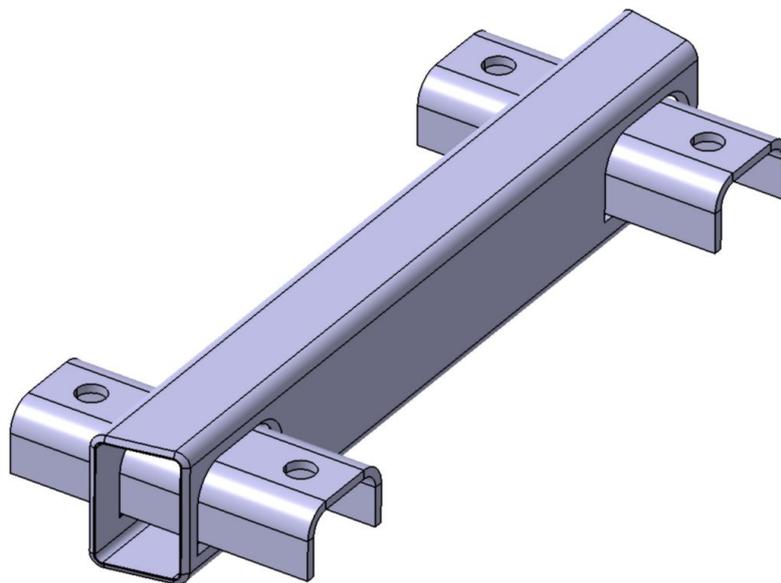


Abbildung 74 Lochplattenträger mit durchgehenden U-Profilen zur Aufnahme der variablen Lochplatten

9.1.5 Notbremsanschlage

Die Notbremse wird in Form von 6 Stauchrohren realisiert. Das Kraft-Niveau der vorgesehenen Rohre beträgt fast 100kN. Somit sind pro Anschlag fast 200kN abzustützen, dies erfordert eine möglichst steife Ausführung der Konstruktion. Die Langträger werden in ihrer Form bis an den Anschlag der Notbremse, abgebildet um eine direkte Kraftweiterleitung zu ermöglichen. Zusätzlich zu dieser Biegeteil-Schweißkonstruktion der Ecken ist in den hinteren Formrohren ebenfalls ein Einsatz vorgesehen der eine Deformation verhindert. Mittig wird durch ein massiveres Blech und Stege im Innenbereich eine möglichst gute Krafteinleitung in die fixe Lochplatte angestrebt, welche den weiteren Kraftfluss auf die Karosserie ermöglicht. In Abbildung 76 ist ein Kraftflussbild für den Lastfall der Notbremsung dargestellt. Die Kräfte werden von den drei Anschlägen, über die Längsträger und die V-Verstrebung bis hin zu den vorderen Karosserieanbindungspunkten geleitet. In den Ecken, sowohl vorne als auch hinten integriert, sind die Anbindungsbleche für die Schienenführung. Diese stellen eine wichtige Schnittstelle dar und sind daher durch Stege und zusätzliche Anbindungen versteift. Die beschriebenen Bauteile sind in Abbildung 75 dargestellt.

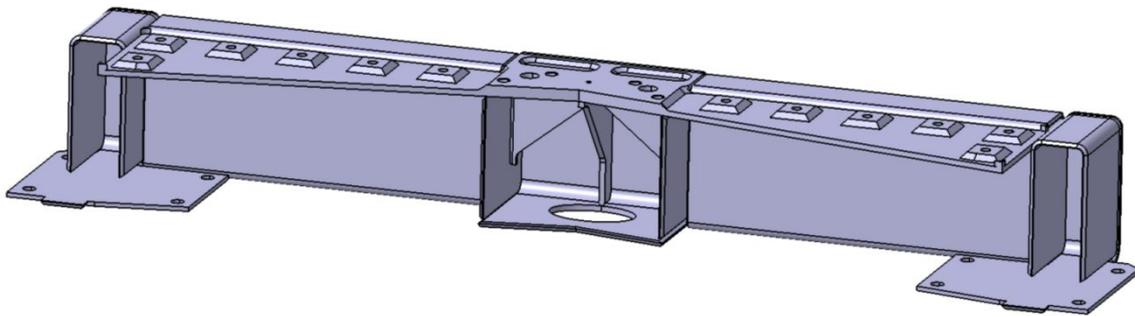


Abbildung 75 CAD Modell Notbremsanschlage mit Querträger, fixer Lochplatte und Schienenfuhrungsaufnahme

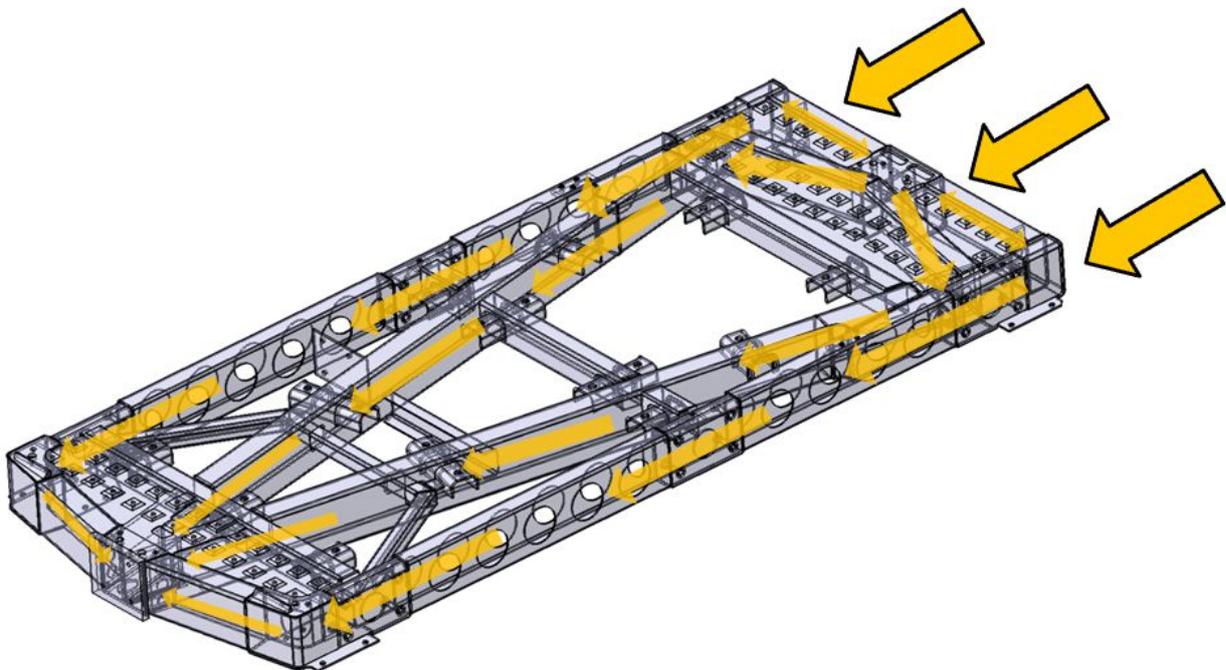


Abbildung 76 Kraftflussbild für den Lastfall der Notbremsung

9.2 Anbauteile

Die Anbauteile können in fix angeschweißte und verschraubte Bauteile unterschieden werden. Sämtliche Anbauteile, die in diesem Abschnitt beschriebenen sind, sind in Abbildung 77 dargestellt und nochmals als Detail hervorgehoben. Vorne am Schlitten wird die Einziehvorrichtung auf den rechten Querträger angeschweißt. Diese dient dazu den Schlitten nach einem Versuch wieder in die Startposition zurückzubringen. Dazu wird ein Hydraulikzylinder, welcher am Zylinderrohr befestigt ist, ausgefahren und hackt in den Bolzen der Einziehvorrichtung ein. Beim Einfahren des Hydraulikzylinders wird der Schlitten dadurch zurück in die Ausgangsposition gezogen. Ein weiteres Anschweißteil ist die Öse hinten am Schlitten. Dieses U-Profil wird auf der Hinterseite des Schlittens angebracht und dient zur spielfreien Positionierung der Karosserie in X-Richtung. Dazu wird die Karosse aufgesetzt und sämtliche Befestigungsschrauben werden handfest angezogen. Danach wird die Karosserie mit einem Hydraulikstempel, welcher sich in der Öse abstützt, nach vorne gedrückt. Dies ist erforderlich, damit die zu untersuchenden Aufbauten von Beginn an, an die Beschleunigung des Schlittens angebunden sind. Ein auch sehr wichtiges Anbauteil ist die Energiekettenbefestigung. Da eine Vielzahl von Sensoren, Ventilen und Kameras auf dem Schlitten montiert sind, ist es notwendig elektrische Leitungen zum Schlitten zu führen. Darüber hinaus muss auch eine Druckluftleitung zum Schlitten führen. Diese wird für das Bremssystem benötigt. Selbstverständlich sind diese Leitungen während des gesamten Versuches angeschlossen und müssen daher auch die auftretenden Beschleunigungen ertragen. Dazu wird eine Energiekette parallel zur Fahrtrichtung des Schlittens geführt, die alle Leitungen sicher aufnimmt und sich während des Versuches aufrollt. Das Gewicht der Energiekette mitsamt Leitungen beträgt ca. 10kg und ergibt bei Beschleunigungen von bis zu 80g eine Belastung von ca. 800kg auf den Energiekettenhalter. Dieses Anbauteil muss daher ausreichend stabil ausgeführt werden, was durch ein C-Profil und eine zusätzliche schräge Abstützung erreicht wurde. Ebenfalls zu den Anbauteilen zählen die variablen Lochplatten mit dem 100x100mm Lochmuster. Diese werden aus 20mm dickem Grobblech hergestellt und mit mehreren M24 Verschraubungen an den Schlitten angebunden. Weitere Anbauteile sind sämtliche Anschläge, die Schienenführung mit den Bremsen und die optimierte Kamerarahmenanbindung. Diese werden nachfolgend noch im Detail beschrieben. Alle diese Bauteile wurden am bestehenden Schlitten analysiert und in gewichtsoptimierter Form am neuen Schlitten integriert.

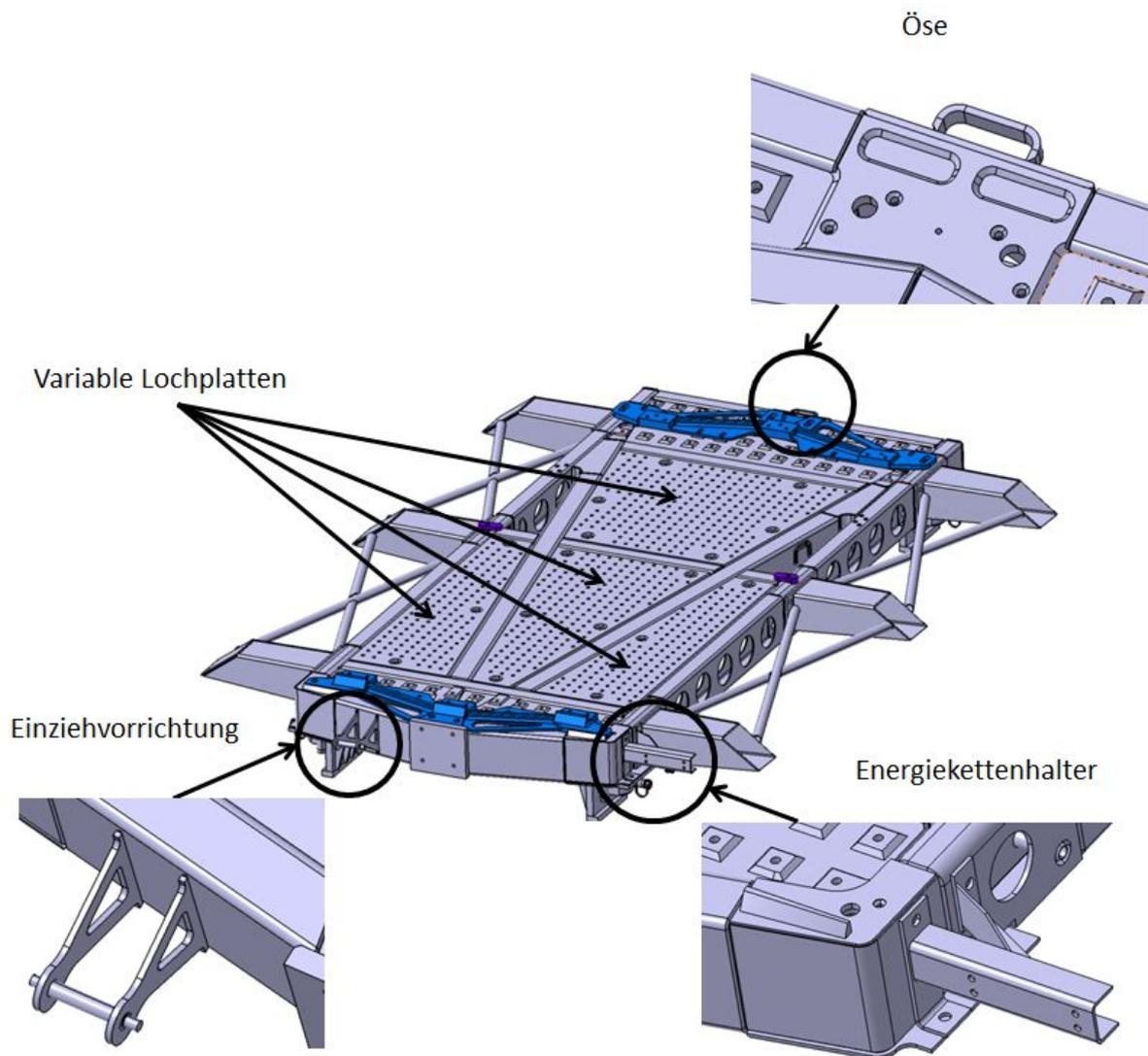


Abbildung 77 CAD Modell Schlitten mit entwickelten Anbauteilen

9.2.1 Anschläge

Die sichere Anbindung der Karosse auf den Schlitten wird fast ausschließlich durch die Anschläge ermöglicht. Es sind zwei unterschiedliche Anschläge entwickelt worden, zum einem der gerade Anschlag. Dieser ist speziell für die 0° Versuche ausgelegt und gewichtsoptimiert. Für die Schrägstellung wurde ein Anschlag mit einer Verzahnung entwickelt, welcher die Drehung in 2° Schritten ermöglicht, hier musste selbstverständlich ein Gegenstück der Verzahnung für die Karosserieaufnahme vorgesehen werden. In horizontaler Richtung erfolgt die Abstützung am vorderen Anschlag formschlüssig zwischen Anschlag und Schlitten, sowie zwischen Karosserieaufnahme und Anschlag, der hintere Anschlag wird gleich wie der vordere in vertikaler Richtung über die Verschraubungen gehalten. Dazu sind am geraden Anschlag vorne und hinten je vier M24 und vier M16 Verschraubungen vorgesehen. Für die Anbindung des verzahnten Anschlages am Schlitten sind je vier M24 Schrauben vorgesehen, die beiden Zahnkränze werden durch mehrere M16 und je nach Position durch zumindest drei der vier zuvor genannten M24 Schrauben verbunden. Die Anbindung der Karosserieaufnahme erfolgt an jedem der sechs Anbindungspunkte durch je drei M16 Schrauben. Sämtliche Schrauben sind als hochfeste Sechskantschrauben der Güteklasse 10.9 ausgeführt und werden mit 50% des maximalen Anzugsmomentes befestigt, dies bringt eine ausreichend große Sicherheit um durch die zusätzliche Belastung ein Versagen der Schrauben auszuschließen und reicht auch aus um die Karosse sicher an den Schlitten anzubinden. Um eine möglichst hohe Steifigkeit bei geringem Gewicht zu erreichen wurde in den geraden Anschlägen eine Versteifungsrippe integriert. Dies ist aus funktionellen Gründen für die verzahnten Anschläge nicht möglich, durch die Überlappung und die zahlreichen Verschraubungen wurde jedoch eine ausreichende Stabilität erreicht. In Abbildung 78 sind die geraden a.) vorne und b.) hinten, sowie die verzahnten Anschläge c.) vorne und d.) hinten dargestellt.

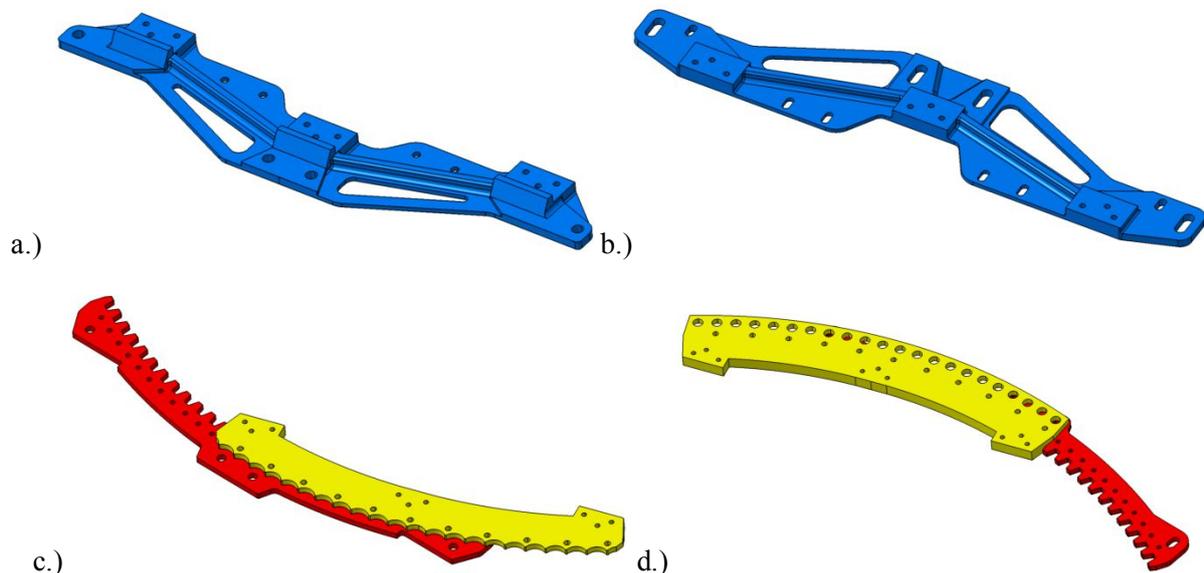


Abbildung 78 CAD Modell der geraden a.) und b.), sowie der verzahnten Anschläge c.) und d.)

9.2.2 Karosserieaufnahme

Die Karosserieaufnahme besteht im Wesentlichen aus einem Formrohrrahmen, den Anbindungsblechen zu den Anschlägen und dem Kreisniederhalterblech für die Trägerklemmen. Die Struktur des Rahmens ist mit den V-Verstrebungen ähnlich aufgebaut wie die des Schlittens. Als Formrohre kommen 100x50mm Profilrohre zum Einsatz, diese massive Ausführung ist notwendig um die von der Karosse eingeleiteten Kräfte aufnehmen zu können und an die Anbindungspunkte der Anschläge weiterzuleiten. Zusätzlich sind noch seitliche Querträger angebracht, an denen die Karosse ebenfalls befestigt wird und für Schrägstellungen größer als 10° , können diese zusätzlich an den Schlitten geschraubt werden. In Abbildung 79 ist der Aufbau der Karosserieaufnahme dargestellt.

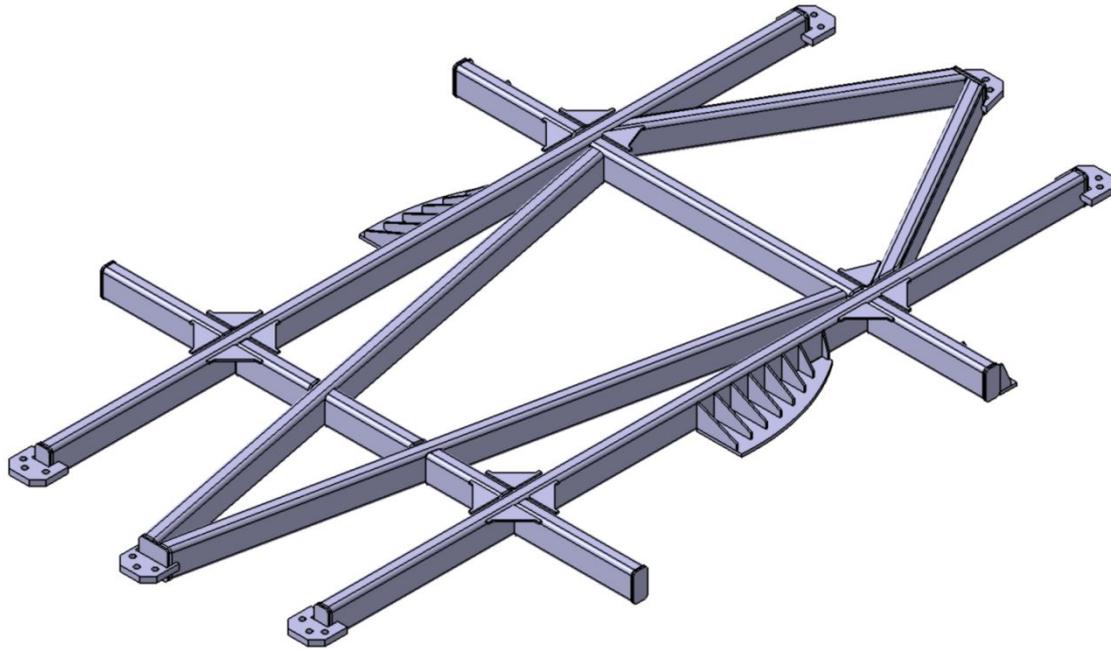


Abbildung 79 CAD Modell der Karosserieaufnahme

9.2.3 Kameragestell

Das Kameragestell wurde bereits gewichts- und steifigkeitsoptimiert, durch die Neuentwicklung des Schlittens ergab sich aber die Möglichkeit vor allem die Anbindung zum Schlitten nochmals zu verbessern. Durch die Verwendung höherer Profilrohre im Strukturrahmen konnten auch die Anbindungspunkte bei der Schnittstelle zwischen Kamerarahmen und Leichtbauschlitten weiter auseinandergezogen werden. Dadurch wird die Abstützbasis größer und die auftretenden Kräfte verringern sich. In weitere Folge wurde auch das Profil, welches direkt an die Flanschplatten angeschweißt wird, vergrößert. Aus Stabilitätsgründen wurden zusätzliche Verstrebungen zwischen den Anbindungsprofilen, in Form von Rohren, integriert. Diese können mittels profilierter Bleche abgedeckt werden und ermöglichen somit einen sicheren Stand bei etwaigen Arbeiten am Schlitten oder während der Montage der Karosse. In Abbildung 80 sind alle 6 neu entwickelten Profile mit den Verstrebungen dargestellt. Auf diese rechteckigen Abschnitte werden weiterführend die gelochten Verstrebungen des bestehenden Kameragestells aufgeschweißt. Durch diese teilweise Wiederverwendung des bestehenden Kamerarahmens können Fertigungskosten gespart werden.

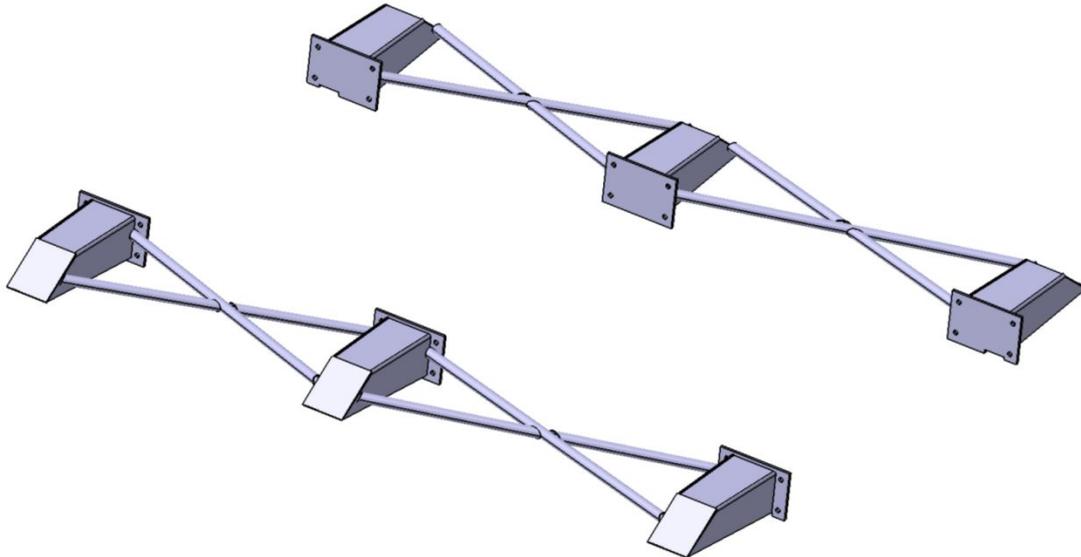


Abbildung 80 Entwickelte Kamerarahmenanbindung mit Verstrebungen

9.3 Bremssystem und Schienenführung

Um den Schlitten nach dem Beschleunigungsvorgang wieder sicher zum Stillstand zu bringen sind an den vier Schienenführungen Bremszylinder vorhanden. Diese klemmen die Schienen mit Hilfe von Gegenstücken und Reibbelägen, dadurch entsteht die erforderliche Bremskraft. In Abbildung 81 ist die Schlittenstruktur mit den Schienenführungen mit Bremszylindern dargestellt.

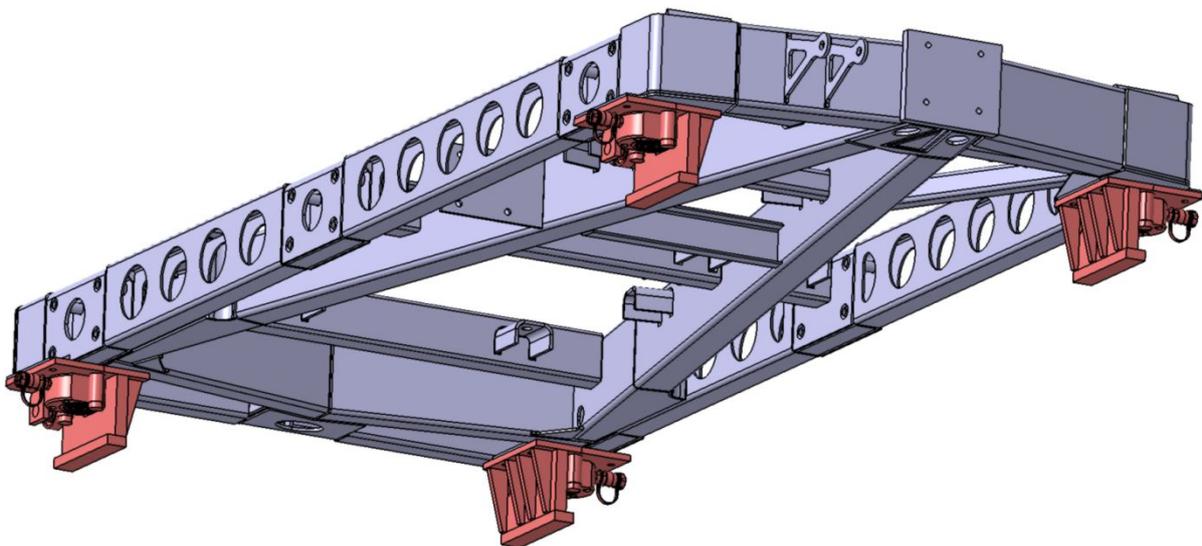


Abbildung 81 Schlittenstruktur mit den vier Schienenführungen und Bremsen

Das Bremssystem funktioniert mittels Hydraulikflüssigkeit und erreicht Drücke von ca. 100bar. Aufgrund der hohen Beschleunigungen ist ein direkt am Schlitten vorhandenes Hydraulikaggregat nicht möglich. Der Druck wird mittels zweier Kombizylinder, was ein mit druckluftgesteuerter, federvorgespannter Pneumatikzylinder ist, erzeugt. Diese Kombizylinder drücken auf zwei Zugankerzylinder, welche im Hydrauliksystem den Druck erzeugen. Für den Aufbau, dargestellt in Abbildung 82, wird weiteres ein Blasenspeicher und ein Ausgleichsbehälter benötigt. Durch mehrere Pumpvorgänge der Kombi- und Zugankerzylinder wird der benötigte Druck erreicht.

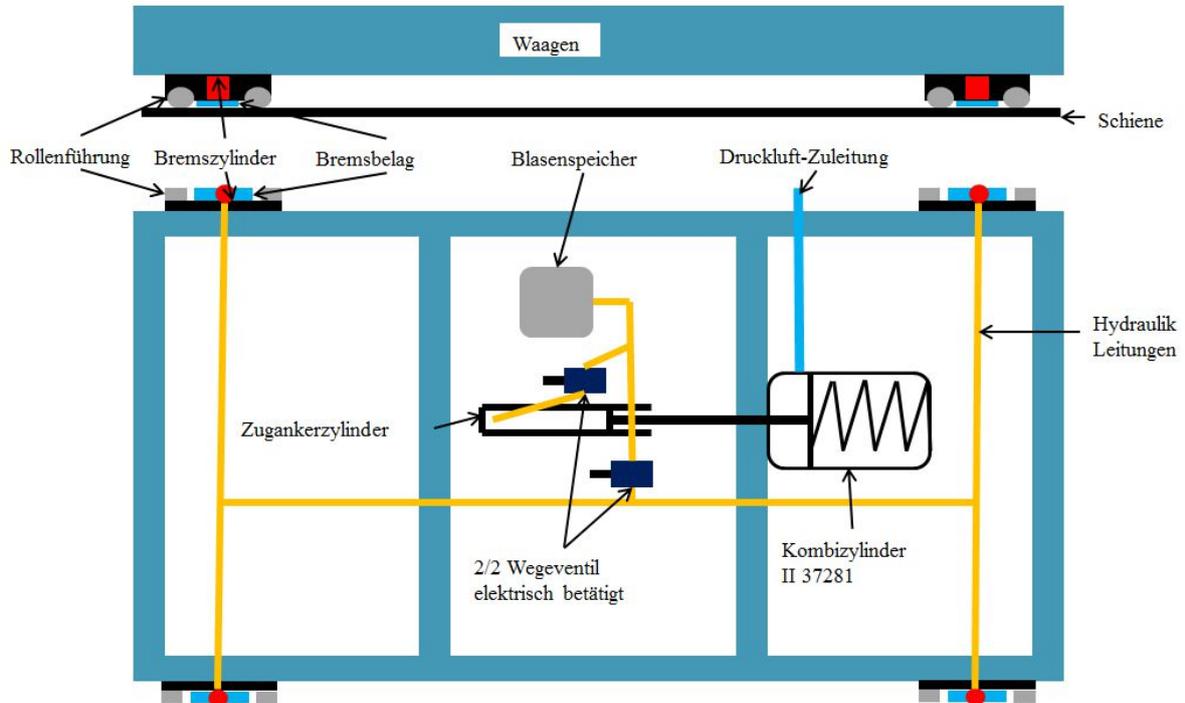


Abbildung 82 Schematischer Aufbau des Bremssystems am Schlitten der Schlittenbeschleunigungsanlage

Zum Herstellen der Versuchsbereitschaft werden die Bremsen mit ca. 10bar vorgespannt. Dies verhindert ein Ablösen des Schlittens von der Schubstange der Anlage während der Beschleunigungsphase und gewährleistet eine möglichst spielfreie Führung des Schlittens auf den Schienen.

Das Bremssystem ist identisch mit dem bestehenden System. Es wurden zahlreiche alternative Konzepte erarbeitet und auch ausgearbeitet. Jedoch ist der Aufwand bei einer Änderung des Aufbaus durch die damit verbundenen Anpassungsmaßnahmen in der Steuerung und Software sehr hoch. Eine weitere Alternative stellte noch eine fertige Lösung der Firma 3, Name aus Datenschutzgründen nicht genannt, dar, die auch Erfahrung mit Beschleunigungsschlittenanlagen haben. Aus Kostengründen und weil der Bedarf nicht gegeben ist bzw. der Mehrnutzen sehr gering wäre, wird am bestehenden System festgehalten.

9.4 Zusammenfassung

Der Aufbau des Crash-Schlittens wurde speziell an die Anforderungen der auftretenden Belastungen angepasst. Die am bestehenden Schlitten vorhandene Symmetrie um die Y-Achse wurde bereits in der Konzeptphase fallen gelassen. Die entwickelte Struktur ist entsprechend den wirkenden Kräften im vorderen Bereich durch eine spitze V-Verstrebung ausgeführt. Dadurch kann ein guter Kraftfluss auch zu den hinteren Karosserieanbindungspunkten erreicht werden. Im hinteren Bereich wird für die Notbremsung ein Kraftfluss vom mittigen Anschlag zu den seitlichen Längsträgern benötigt. Dieser wird mit Hilfe einer relativ breiten V-Verstrebung realisiert. Die dadurch entstandene unsymmetrische Struktur stellt unter der Berücksichtigung der Fertigbarkeit und der Anforderung des Leichtbaues ein Optimum dar. Die an die Struktur angepassten Lochplattenträger, welche auch gleichzeitig als Querträger verwendet werden, sind zur sicheren Aufnahme der variablen Lochplatten nur geringfügig massiver ausgeführt. Neben der bereits erläuterten Konstruktionsausführung wurden noch zahlreiche weitere Stege und Einsätze eingearbeitet. Der daraus entstandene Basisschlitten stellt ein festigkeits- und vor allem gewichtsoptimiertes Produkt dar und legt somit die Basis für den Anbau sämtlicher Aufbauten. Die Anbauteile wurden ebenso in einer Vielzahl von Entwicklungsschritten optimiert. Die Anschläge zur Aufnahme der Karosserie wurden in zwei Varianten ausgeführt. Die geraden Anschläge stellen eine gewichtsoptimierte Ausführung, für die sehr häufig vorkommenden geraden Versuche dar. Mit den verzahnten Anschlägen können Karossen, mit Schrägstellungen von -18° bis $+18^\circ$ und einer Schrittweite von 2° , am Schlitten montiert werden. Als Schnittstelle zu den unterschiedlichsten Karossen wurde ein Karosserieaufnahmerahmen entwickelt. Dieser weist eine ähnliche Struktur auf wie der Basisschlitten. Die verwendeten Formrohre sind jedoch aus Fertigungsgründen einheitlich gewählt. Die Anbindung zu den Anschlägen wird mittels Verschraubungen realisiert. Dies stellt eine sehr stabile, aber auch lösbare Verbindung dar. Die Anbindungen der Karosserien auf den Karosserieaufnahmerahmen müssen für jedes Modell individuell festgelegt werden.

Es konnte durch den gesamtheitlichen Ansatz in der Struktur und der Fertigung mit abschließender mechanischer Bearbeitung aller Anbindungspunkte eine solide Basis für ein sehr hochwertiges Produkt geschaffen werden. In Tabelle 6 sind sämtliche ermittelten Gewichte der neu entwickelten Bauteile des Leichtbau-Crashschlittens und im Vergleich dazu, die Gewichte des bestehenden Schlittens aufgelistet. Zur direkten Ermittlung der Gewichtseinsparung werden in Tabelle 7 die beiden Aufbauten direkt verglichen, wobei der neue Schlitten ohne die variablen Lochplatten zum Einsatz kommt.

Komponente	Bestehend [kg]	Neu [kg]	Differenz [kg]
Strukturrahmen	755	526	229
Anbauteile	195	150	45
Lochplatten	-	321	-321
Anschlag gerade	-	57	-57
Schrägstellung	50	110	-60
Zwischenahmen	250	-	250
Karosserieaufnahme	86	240	154
Kamerarahmen	243	280	37

Tabelle 6 Gewichtsauflistung sämtlicher Bauteile des neuen und bestehenden Schlittens

Aufbau	Bestehend [kg]	Neu [kg]	Einsparung [kg]
0° Versuch	1529	1253	276
2°-18° Versuch	1579	1306	273

Tabelle 7 Gegenüberstellung der Gesamtgewichte der unterschiedlichen Versuchsaufbauten

Abschließend kann festgehalten werden, dass auch das Hauptziel, die Gewichtseinsparung von 250kg, erreicht bzw. mit einem Endergebnis von 276kg deutlich übertroffen werden konnte.

10 Fertigung und Fertigungszeichnungen

Die Fertigung wurde schon bei der Bewertung der Konstruktionsvarianten berücksichtigt. Hier wurde bereits der Aufwand abgeschätzt und als wesentliche Größe in die Bewertung eingebracht. Während der Erarbeitung der ersten Detailkonstruktionen mussten unzählige Anpassungen durchgeführt werden, weil vor allem die Zugänglichkeiten zu den erforderlichen Schweißungen sichergestellt werden mussten. Nach der ersten Simulationsschleife musste das vordere Druckstück grundlegend neu entwickelt werden. Hier stellte die Fertigbarkeit einen Hauptaspekt dar. In der finalen Konstruktion wurde bei jedem einzelnen Bauteil die Fertigung berücksichtigt, um die daraus resultierenden Fertigungskosten möglichst gering zu halten. Als Beispiel kann hier die Schweißnahtanarbeitung genannt werden. Die für die Ausführung einer HV-Naht erforderliche Fase wurde immer auf dem Bauteil ausgeführt, auf dem bereits eine andere mechanische Bearbeitung durchzuführen ist. Darüber hinaus wurden die Anarbeitungen möglichst auf einer Seite des Bauteiles durchgeführt um ein Umspannen während der Fertigung zu vermeiden. Mit diesen Maßnahmen könnte der Aufwand der Fertigung auf ein Minimum reduziert werden. Selbstverständlich war dies nicht in allen Fällen möglich, denn vorrangig mussten die Zugänglichkeiten zu den Schweißnähten sowie die geforderten Güten der Schweißungen behandelt werden. Eine weitere Herausforderung in der Fertigung stellten die verschiedenen Eckenradien der Formrohre und Biegeteile dar. Für die Biegeteile aus hochfestem Feinkornbaustahl, welche meist auch noch eine größere Wandstärke als die angrenzenden Formrohre hatten, musste ein Mindestbiegeradius eingehalten werden. Dieser Radius war in manchen Fällen um mehr als das Doppelte größer als jener der Formrohre. Hier wurde mit Einsätzen in den Formrohren gearbeitet, um einen ununterbrochenen Kraftfluss sicherstellen zu können. Ein weiterer Punkt war die Verschweißung der fixen Lochplatten. Gemeinsam mit einem Fertiger wurde an den Grobblechen eine beidseitige Schweißnahtanarbeitung festgelegt, welche eine sichere Durchschweißung und das Erreichen der geforderten Anforderungsklasse der Schweißnaht ermöglicht.

Die einzuhaltenden Toleranzen stellen bei Schweißkonstruktionen durch den auftretenden Verzug immer eine Herausforderung dar. Durch den Aufbau einer Schweißbaugruppe von innen nach außen können die entstehenden Eigenspannungen gering gehalten werden. Der Verzug ist jedoch höher, als wenn die Fertigung von außen nach innen erfolgt. Wird beispielsweise der äußere Rahmen einer Konstruktion zuerst verschweißt und die innerhalb liegenden Bauteile danach, ist der Verzug geringer. Die Eigenspannungen hingegen, sind meist höher. Da der Leichtbau-Crash-Schlitten nach dem Schweißen spannungsarm geglüht wird, kann eine verzugsarme Schweißreihenfolge gewählt werden.

Die zur Herstellung des Crashschlittens benötigten Fertigungszeichnungen wurden ebenfalls im Zuge dieser Arbeit erstellt. Die normgerechten Zeichnungen wurden für sämtliche Einzelteile wie z.B. Laserteile, Biegeteile, Formrohre usw. erstellt. Weiters wurden auch sämtliche Schritte in der Schweißkonstruktion, mit allen Positionsnummern, in fertigungsgerechten Schweißbaugruppenzeichnungen festgehalten. Die abschließende mechanische Bearbeitung wurde ebenfalls mit sämtlichen Maßeinträgen für die Ober- und Unterseite in einer Fertigungszeichnung erfasst. Auf jeder Zeichnung ist die erforderliche Norm für die Form- und Lagetoleranzen, die Toleranzen für thermisches Trennen, die Allgemeintoleranz für Schweißkonstruktionen, die Anforderungsklasse für die zu erstellende Schweißnaht und die Norm für die Auswahl des Schweißzusatzes eingetragen. Dadurch sind möglichst alle Anforderungen definiert und das Produkt sollte unabhängig vom Lieferanten immer dieselben Eigenschaften aufweisen. Zur einfacheren Handhabung wurden von allen Zeichnungen pdf-Dateien erstellt und für die Laserzuschnitt- und Biegeteile zusätzlich noch dxf-Dateien, diese werden zum Einlesen bei CNC Maschinen benötigt.

Selbstverständlich wurden auch Stücklisten für den Schlitten sowie die Karosserieaufnahme erstellt. Diese ermöglichen, schnell einen Überblick über die zur Fertigung benötigten Teile zu erhalten und vereinfachen die Kommunikation sehr. Sämtliche Stücklisten sind im Anhang abgebildet und beinhalten die Positionsnummer, die Menge, die Benennung, die Norm-Kurzbezeichnung und den Werkstoff.

11 Angebote

Um die Fertigbarkeit des Leichtbau-Crashschlittens sicherzustellen, wurde bereits während der Detailkonstruktionsphase mit den ersten Lieferanten Kontakt aufgenommen. In mehreren Gesprächen und auch Besprechungen wurden die Anforderungen seitens der Hersteller, zur einfacheren, kostengünstigeren und auch genaueren Fertigung berücksichtigt und in die Konstruktion eingearbeitet. Bei der Verarbeitung des an den hochbelasteten Stellen mit hochfestem Feinkornbaustahl ausgestatteten Schlittens kamen viele mögliche Fertiger schnell an ihre Grenzen. Die Verarbeitung musste von einem zertifizierten Schweißer erfolgen, da der gesamte Schlitten nach der Wärmebehandlung und der mechanischen Bearbeitung einer TÜV Abnahme unterzogen wird. Nach zahlreichen Kontaktaufnahmen mit verschiedenen Firmen konnten zwei gefunden werden, welche die nötigen Qualifikationen aufwiesen. Da die Abklärung der Fertigbarkeit eine umfassende Betrachtung des zu erstellenden Produktes erforderte, wurde mit wenig Mehraufwand gleich ein Angebot eingeholt. Parallel wurde in der hauseigenen Fertigung eine Anfrage zur Legung eines Angebotes für den Schlitten mit sämtlichen Anbauteilen und Anschlägen, sowie der Karosserieaufnahme getätigt. Da die interne Fertigung aber nicht für solche massiven Stahlbauteile und großflächigen mechanischen Bearbeitungen, wie am Schlitten erforderlich, eingerichtet ist, konnte kein aussagekräftiges Angebot gelegt werden. Für den Karosserieaufnahmerahmen wurde intern jedoch eine Abschätzung getroffen, um einen Vergleich zum bestehenden System zu ermöglichen.

Die Karosserieanbindung wird, durch das neuentwickelte Anbindungssystem und der damit verbundenen Kompatibilität für gerade und schräge Versuche, sowie dem Entfall des Zwischenrahmens der als tragende Struktur diente, massiver ausgeführt als bisher. Dadurch steigen vor allem die Fertigungskosten für diesen Rahmen. Jedoch kann dieser durch eine geeignete Anbindung der Karosse wieder von ihr getrennt werden und somit ergibt sich die Möglichkeit einer Mehrfachverwendung. In Tabelle 8 sind die Kosten des bestehenden Systems und die der Neuentwicklung gegenüber gestellt. Bereits durch eine zweifache Verwendung des neuen Karosserieaufnahme Rahmens halten die Kosten sich die Waage. Bei einer häufigeren Anwendung, welche in der Praxis erprobt werden muss, können die Kosten sogar gesenkt werden.

Komponente	Materialkosten [€]	Fertigungsaufwand [h]
Karosserieaufnahme alt	550	14
Karosserieaufnahme neu	300	40

Tabelle 8 Gegenüberstellung Kosten Karosserieaufnahme alt / neu

Für den Schlitten wurden, wie bereits erwähnt, zwei Angebote eingeholt, diese sind in Tabelle 9 aufgelistet. Aus Datenschutzgründen werden die Namen nicht genannt. Zum Schlitten selbst zählen in dieser Aufstellung sämtliche Anbauteile wie die variable Lochplatten, die Energiekettenbefestigung und auch die neue Anbindung des Kamerarahmens. Extra angeführt, sind aufgrund der hohen Kosten, die sechs benötigten Anschläge, welche aus dem Vollen gefräst werden.

Hersteller	Baugruppe	Kosten [€]
Firma 1	Schlitten	42.800
	Anschläge	33.400
	Summe	76.200
Firma 2	Schlitten	17.051
	Anschläge	13.226
	Summe	30.277

Tabelle 9 Auflistung der eingeholten Angebote

Aufgrund der starken Abweichungen, auch bei den Frästeilen, muss hier noch abgeklärt werden wie diese zustande kommen. Außerdem sollte noch ein weiteres Angebot eingeholt werden, um eventuell einen der vorliegenden Preise zu entkräften.

11.1 Bremssystem

Für das Bremssystem wurde ebenfalls ein Angebot eingeholt, dabei handelt es sich um das, in Abschnitt 9.3 beschriebene, neue Bremssystem der Firma 3. Es wurden zwei Varianten angefragt, wobei die erste nur die Softwareanpassung beinhaltet und sämtliche Umbauten in Eigenregie durchgeführt werden müssten, dazu sind noch weitere Kosten für Bauteile zu berücksichtigen. Bei der zweiten Variante wurde eine gesamte Lösung mit sämtlichen Komponenten und Umrüstarbeiten angefragt. Zum Vergleich wurden auch die Bauteilkosten des bestehenden Bremssystems und der zum Aufbau am neuen Schlitten notwendige Arbeitsaufwand ausgewertet, siehe Tabelle 10.

Variante	Kosten [€]	Arbeitsaufwand [h]
Software zukaufen	6.000	200
Gesamtsystem zukaufen	20.000	-
Bestehendes System	2.500	50

Tabelle 10 Vergleich Bremssystem Neues zukaufen oder Bestehendes übernehmen

12 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung der Automobile hin zu immer größeren Karossen sowie die steigenden Steifigkeiten der Crashstrukturen stellt die Beschleunigungsschlittenanlage in der Fahrzeugsicherheit bei Magna Steyr Graz vor immer größere Herausforderungen. Daraus entstand die Motivation einer Gewichtsreduktion an den bewegten Massen der Anlage. Dadurch kann der Aufwand zur Durchführung der Versuche reduziert werden, beziehungsweise das Gewicht der Zuladung oder die zu erreichende Beschleunigung erhöht werden. Als Ziel wurden 250kg Einsparung am gesamten bewegten Aufbau festgelegt. Darüber hinaus mussten zahlreiche funktionale Anforderungen berücksichtigt werden.

Die Neuentwicklung des Leichtbau-Crashschlittens stellte eine umfangreiche Herausforderung dar. Es mussten zahlreiche Parameter berücksichtigt werden, die teilweise in einem Zielkonflikt zueinander standen. Beispielsweise die Schlittengröße, welche auch alle zukünftigen Karossen sicher aufnehmen sollte und das Schlittengewicht, welches so niedrig wie möglich sein sollte. In zahlreichen Simulationen wurde nach den ersten Detailkonstruktionen der entwickelte Aufbau optimiert. Für den Schlitten setzte sich das Konzept des Formrohr-Frästeil-Rahmens mit variablen Lochplatten durch. In die, der Belastung angepassten Struktur können Lochplatten eingesetzt werden. Diese besitzen ein 100x100mm Lochmuster und dienen somit als Anbindungsbasis für verschiedenste Aufbauten. Durch dieses Prinzip kann der Schlitten mit einem nahezu durchgängigen Lochmuster versehen werden, ohne das Gewicht stark zu erhöhen. Für die Anbindung der Karossen wurden Anschläge entwickelt. Zum einen die geraden Anschläge, welche für den sehr häufig auftretenden geraden Crashtest verwendet werden. Zum anderen sind verzahnte Anschläge entwickelt worden, mit Hilfe derer die Karossen in 2° Schritten in einem Winkelbereich von -18° bis +18° befestigt werden können. Für die Anbindung des Kameragestes wurde ebenso eine Neuentwicklung vorgesehen. Hier konnte anhand der durchgeführten Simulationen eine steifere Anbindung erreicht werden. Diese führt zu einer Reduktion der auftretenden Relativbewegung und ermöglicht eine exaktere Videoauswertung. Für sämtliche weiteren Funktionen konnte eine Verbesserung bzw. zumindest ein gleichwertiges Ergebnis erreicht werden. Das Hauptziel der Gewichtseinsparung konnte mehr als nur erreicht werden. Hier wurde mit einer Reduktion von 276 Kilogramm das geforderte Ziel um mehr als 10% übertroffen.

Die Anschaffungskosten bestehen zum Hauptteil aus den Fertigungskosten des Schlittens und der Anbauteile. Lediglich die Komponenten des Bremssystems und die Inbetriebnahme stellen keine Fertigungskosten dar. Durch die Einbindung potenzieller Fertiger bereits in der Entwicklungsphase, konnte der Fertigungsaufwand so gering wie möglich gehalten werden. Die tatsächlichen Fertigungskosten konnten noch nicht exakt ermittelt werden, da die eingeholten Angebote sehr stark variierten. Die vermutlichen Anschaffungskosten werden zwischen den eingeholten Angeboten liegen und stellen einen durchaus nennenswerten Betrag dar. Die Anschaffungskosten für die Bremsbauteile spielen nur eine untergeordnete Rolle. Mehr Einfluss auf die gesamten Umsetzungskosten haben hier die Kosten für die Mannstunden, welche für den Aufbau des Schlittens sowie die Inbetriebnahme erforderlich sind. Hier muss durchaus mit einer einwöchigen Umrüst- und Anlaufphase gerechnet werden.

Für eine Kosten- / Nutzenrechnung muss mit Sicherheit die längerfristige Strategie des Unternehmens berücksichtigt werden, da die Betriebszeit des Schlittens zumindest 10 Jahre beträgt. Je nach geplanter Auslastung und Modernisierung der Anlage kann sich die Umsetzung des Leichtbau-Crash-Schlittens bereits innerhalb weniger Jahre rentieren. Im Fall einer Reduktion der durchgeführten Versuche bzw. die Vergabe dieser Versuche an einen externen Dienstleister, ist eine Umsetzung des Leichtbauschlittens von lediglich untergeordneter Bedeutung.

Die Fahrzeugsicherheit hat sich in den letzten Jahrzehnten sehr stark weiterentwickelt. Durch die immer realitätsgetreueren Simulationen und die ständig steigende Rechenleistung der Berechnungszentren werden immer mehr Untersuchungen mit Hilfe der Finiten Elemente Methode durchgeführt. Dadurch können bereits zu Beginn der Entwicklung erste Untersuchungen durchgeführt und spätere, kostenintensive Änderungen vermieden werden. Die physische Erprobung der entwickelten Bauteile und Systeme wird aber auch in mittelfristiger Zukunft nicht entfallen können, denn hier werden sämtliche Einflüsse auf das zu untersuchende System berücksichtigt. Bei neueren Fahrzeugen werden, durch den Einsatz höchstfester Materialien, die auftretenden Beschleunigungen während eines Crashtests immer höher. Dies führt gemeinsam mit den steigenden Rohkarossgewichten zu erhöhten Anforderungen an die, für die physische Erprobung notwendigen Beschleunigungsschlittenanlagen. Darüber hinaus wird auch von den OEMs eine exaktere Abbildung der auftretenden Beschleunigungen gefordert. Allen diesen Anforderungen kann mit einer Reduktion der bewegten Massen entgegen gekommen werden. Ebenso wird eine möglichst effiziente Versuchsdurchführung durch die reduzierten Ladezeiten des Pneumatikzylinders erreicht. Mit der Umsetzung des Leichtbau-Crash-Schlittens würde somit die Basis gelegt werden, um für die physische Erprobung von zukünftigen Rückhaltesystemen auf Beschleunigungsschlittenanlagen gerüstet zu sein.

13 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Beschleunigungsschlittenanlage mit Zylinder und Schlitten mit Kamerarahmen (Seattle Safety, 2016)	2
Abbildung 2 Gebiete der Automobilsicherheit (Braess & Seiffert, 2013)	5
Abbildung 3 Crash-Gesetze in Europa und den USA (carsh.training gmbh, 2016)	6
Abbildung 4 Euro NCAP Verbraucherschutz-Tests a.) Full Width b.) ODB (carsh.training gmbh, 2016)	7
Abbildung 5 US NCAP Full Width Verbraucherschutz-Test (carsh.training gmbh, 2016)	8
Abbildung 6 IIHS Verbraucherschutz-Test (carsh.training gmbh, 2016)	9
Abbildung 7 JNCAP Verbraucherschutz-Test a.) Full Width b.) ODB (carsh.training gmbh, 2016)	9
Abbildung 8 US Gesetze zum Insassenschutz FMVSS (carsh.training gmbh, 2016)	10
Abbildung 9 Europäische Gesetze zum Insassenschutz UN (carsh.training gmbh, 2016)	10
Abbildung 10 Terminplan zur Entwicklung des Leichtbauschlittens	14
Abbildung 11 Modellbildung eines realen Systems für das MBS und die FEM (Hirz, 2013)	16
Abbildung 12 Simulation eines Kinderrückhaltesystems in einer Kopplung von LS-DYNA und MADYMO (Kramer, Franz, Göring, Lorenz, Steffan, & Schöneburg, 2008)	17
Abbildung 13 Beginnend von links, Nodes, Beam, Shell-, Tetraeder- und Hexaederelement (Eichberger, 2014)	18
Abbildung 14 Organisation der Keyword Eingabe	19
Abbildung 15 Auszug aus einem LS-DYNA Eingabecode mit Knoten Definition, Element Definition und Bauteil Definition	20
Abbildung 16 Beispiel einer Selbst-Kontakt Definition aus einem LS-DYNA Eingabecode	21
Abbildung 17 Tied Kontakte zur Simulation von Verbindungen zwischen Bauteilen in LS-DYNA	21
Abbildung 18 Benutzeroberfläche Catia V5 im Part design	24
Abbildung 19 Einteilung der Crashanlagen mit zugehöriger Einrichtung (Kramer, Franz, Lorenz, Remfrey, & Schöneburg, 2013)	25
Abbildung 20 Schematische Darstellung eines Beschleunigungsschlittens (Kramer, Franz, Lorenz, Remfrey, & Schöneburg, 2013)	26
Abbildung 21 Schematische Darstellung eines Verzögerungsschlittens durch Flüssigkeitsverdrängung (Messring, 2015)	27
Abbildung 22 Schematischer Aufbau der HyperG plus Anlage (Instron Structural Testing Systems GmbH, 2010)	28
Abbildung 23 Aktueller Crash-Schlitten (EGB-F, 2003)	29
Abbildung 24 Gesamtaufbau des aktuellen Crash-Schlittens mit Karosse (EGB-F, 2003)	30
Abbildung 25 Schlitten mit a.) aufgesetzter Lochplatte und b.) integrierter Lochplatte (Seattle Safety, 2015)	32
Abbildung 26 CAD-Modell des bestehenden Crash-Schlittens	33
Abbildung 27 CAD Modell des Formrohr-Frästeil-Rahmen-Schlittens	34

Abbildung 28 CAD Modell Lochplatten-Schlitten mit und ohne Ausnehmungen.....	35
Abbildung 29 CAD Modell Schalen-Schlitten mit integriertem Kameragestell	36
Abbildung 30 Fachwerkausführung eines Kamerarahmens (Seattle Safety, 2015).....	37
Abbildung 31 CAD Modell einer möglichen Verzahnung a.) gesamt und b.) Detail Verzahnung vorne	38
Abbildung 32 CAD Modell trapezförmige Abstützung für 6, 8, 10 und 18 Gradschritten	39
Abbildung 33 CAD Modell Schlitten mit Karosserieaufnahme und U-Niederhalter a.) gesamter Schlitten b.) Detail hinten.....	39
Abbildung 34 Zusätzliche Zahnkranzsegmente (grün) und doppelt verzahnter Zahnkranz hinten	40
Abbildung 35 CAD Modell des Trägerklemmen Anbindungskonzeptes a.) gesamt und b.) im Detail .	41
Abbildung 36 CAD Modell der horizontalen Verschraubung in der hinteren Verzahnung	42
Abbildung 37 CAD Modell der Schraubklemmen im Bereich der hinteren Verzahnung.....	42
Abbildung 38 CAD Modell Konzept Keilniederhalter a.) gesamt und b.) im Schnitt	43
Abbildung 39 CAD Modell der überlappenden Verzahnung a.) als eigenes Bauteil b.) integrierte in die innere Verzahnung.....	44
Abbildung 40 CAD Modell gerader Anschlag a.) gesamt mit zusätzlichen U-Niederhaltern b.) Detail hinten	45
Abbildung 41 CAD Modell Formrohr-Frästeil Rahmen-Schlitten, Draufsicht	46
Abbildung 42 CAD Modell Formrohr-Frästeil Rahmen-Schlitten, Isometrische Ansicht.....	47
Abbildung 43 CAD Modell des Schlittens a.) ohne und b.) mit variablen Lochplatten	48
Abbildung 44 Aufbau der Include-Struktur des Modelles für den Leichtbauschlitten	49
Abbildung 45 Gesamtes Simulationsmodell des Schlitten mit geradem Anschlag sowie Karosse, Kamerarahmen und Schubstange	51
Abbildung 46 Simulationsmodell des Schlitten mit geradem Anschlag, Karosse und Schubstange	51
Abbildung 47 Puls des OEM 2 für einem US NCAP Crashtest	52
Abbildung 48 Maximal Leistungskurve der HyperG Schlitten Crashanlage	53
Abbildung 49 Beschleunigungsverläufe für die simulierten US NCAP Versuche.....	55
Abbildung 50 Druckstück aus den ersten Simulationen bereits mit Verstärkungen.....	57
Abbildung 51 Neu entwickeltes Druckstück mit Einsatz aus hochfestem Feinkornbaustahl.....	57
Abbildung 52 Auswertung FEM Berechnung Schlitten ohne Lochplatten und Fiat Puls a.) Ansicht von unten, b.) Ansicht von oben.....	59
Abbildung 53 Berechnete Spannungsverteilung am Druckstück vorne	59
Abbildung 54 Darstellung der Spannungsreduktion durch einen durchgehenden Querträger	60
Abbildung 55 Optimierung der Spannungsverteilung durch eine Zugentlastung.....	60
Abbildung 56 Auswertung der Simulation mit 18° Drehung und verstärktem OEM 4 Puls	61
Abbildung 57 Modell des Schlittens mit Kamerarahmen, Karosserieaufnahmeahmen und überlappender Verzahnung (gelb) und Karosserieanbindung (rot).....	62
Abbildung 58 Vergleichsspannungen im Rahmen deutlich reduziert durch verbesserte Anbindungen und Verschraubungen	62

Abbildung 59 Spannungsverteilung in den Anbindungspunkten für die Lochplatten	63
Abbildung 60 Auswertung Komponentenversuch Batterie mit 100kg und 60g Beschleunigung	64
Abbildung 61 Simulation einer Notbremsung mit Stauchrohren	64
Abbildung 62 Misuse Lastfall fehlen einzelner Schrauben a.) gesamter Schlitten und b.) in Detailansicht.....	66
Abbildung 63 Spannungsverteilung im Leichtbauschlitten mit Karosserieaufnahme und ausgewerteten Spannungsspitzen a.) isometrische Ansicht, b.) Draufsicht c.) Unteransicht	67
Abbildung 64 Vergleichsspannung finales Modell 18° schräggestellter Opel Puls mit 10% Überhöhung.....	68
Abbildung 65 CAD Modell des bestehenden Schlitten mit Kamerarig	69
Abbildung 66 CAD Modell des Schlittens mit Kamerarahmen und Verstrebungen (rot)	69
Abbildung 67 Auswertung der totalen Relativbewegung am Kameraaufnehmerohr a.) vorne, b.) mittig und c.) hinten.....	71
Abbildung 68 Auftretende Schraubenkräfte an den höchstbelastenden Schrauben während eines OEM 4, 18° Versuches.....	72
Abbildung 69 CAD Modell des Strukturrahmens und Aufteilung in verschiedene Bereiche	73
Abbildung 70 Druckstück vorne mit angebundenen Bauteilen im Schnitt durch die Symmetrieebene	74
Abbildung 71 Druckstück vorne mit weiterführenden Bauteilen im Schnitt	75
Abbildung 72 Kraftfluss im Schlitten während eines Versuches	76
Abbildung 73 CAD Modell Kameraaufnahme mit angebundenem Langträger	77
Abbildung 74 Lochplattenträger mit durchgehenden U-Profilen zur Aufnahme der variablen Lochplatten.....	77
Abbildung 75 CAD Modell Notbremsanschlüge mit Querträger, fixer Lochplatte und Schienenführungsaufnahme	78
Abbildung 76 Kraftflussbild für den Lastfall der Notbremsung.....	78
Abbildung 77 CAD Modell Schlitten mit entwickelten Anbauteilen	80
Abbildung 78 CAD Modell der geraden a.) und b.), sowie der verzahnten Anschläge c.) und d.)	81
Abbildung 79 CAD Modell der Karosserieaufnahme.....	82
Abbildung 80 Entwickelte Kamerarahmenanbindung mit Verstrebungen.....	83
Abbildung 81 Schlittenstruktur mit den vier Schienenführungen und Bremsen	83
Abbildung 82 Schematischer Aufbau des Bremssystems am Schlitten der Schlittenbeschleunigungsanlage.....	84

14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Gewichtsauflistung der Crash-Schlitten-Baugruppen.....	30
Tabelle 2 Bewertung der Schlitten-Konzepte.....	37
Tabelle 3 Übersicht über die einzelnen Gewichte für den jeweiligen Versuch	54
Tabelle 4 Matrix der durchgeführten Versuche in der Simulation	54
Tabelle 5 Eckdaten der grundlegenden Simulationen mit berechneter Maximalkraft.....	56
Tabelle 6 Gewichtsauflistung sämtlicher Bauteile des neuen und bestehenden Schlittens	86
Tabelle 7 Gegenüberstellung der Gesamtgewichte der unterschiedlichen Versuchsaufbauten.....	86
Tabelle 8 Gegenüberstellung Kosten Karosserieaufnahme alt / neu	89
Tabelle 9 Auflistung der eingeholten Angebote	90
Tabelle 10 Vergleich Bremssystem Neues zukaufen oder Bestehendes übernehmen	90

15 Literatur

- Braess, H. H., & Seiffert, U. (2013). *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlag GmbH.
- Brill, M. (2006). *Parametrische Konstruktion mit CATIA V5*. Sinderfliegen: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- carsh.training gmbh. (2016). *Safety Companion 2016*. Alzenau: carsh.training gmbh.
- EGB-F, G. W. (2003). *Crash Schlitten*. Graz: Magna Steyr.
- Eichberger, A. (2014). *CAX in Automotive und Engine Technology Chapter: Simulation in Active and Passive Vehicle Safety*. Graz: Institut of Automotive Engineering.
- Hermann, S. (2014). *Vehicle Safety I*. Graz.
- Hirz, M. (2013). *Motivation of CA-applications and survey of CAx methods*. Graz: Institut of Automotive Engineering TU Graz.
- Instron Structural Testing Systems GmbH. (2010). *Crash Simulationsanlage HyperG plus*. Darmstadt: Instron Structural Testing Systems GmbH.
- Kramer, F., Franz, U., Göring, T., Lorenz, B., Steffan, H., & Schöneburg, R. (2008). *Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner GWV Fachverlage GmbH.
- Kramer, F., Franz, U., Lorenz, B., Remfrey, J., & Schöneburg, R. (2013). *Integrale Sicherheit von Kraftfahrzeugen*. Wiesbaden: Springer Verlag.
- Messring, S. (2. Dezember 2015). *Messring*. Abgerufen am 2. Dezember 2015 von http://www.messring.de/wp-content/uploads/2MC_VD_E.pdf
- Meywerk, M. (kein Datum). *Rechner und Simulationenmethoden in der Fahrzeugtechnik Mehrkörpersimulation*. Hamburg: Universität IKK der Bundeswehr Hamburg.
- Seattle Safety. (2015). *ServoSled Catapult Sled System*. Kent: Seattle Safety.
- Seattle Safety. (03. Januar 2016). *seattlesafety*. Abgerufen am 03. Januar 2016 von <http://www.seattlesafety.com/>

16 Anhang

16.1 Stücklisten

Pos.	Menge	Einh.	Benennung	Sachnr./Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff
1.1	1	Stk	V-Verstrebung vorne rechts	Formrohr EN10219/1+2 200x100x6	S275J2H
1.2	1	Stk	Biegeteil V-Verstrebung vorne rechts	Flach EN 10025-2 470x507x6	S355J2H
1.3	2	Stk	Verschlussteil V-Verstrebung vorne	Flach EN 10025-2 200x80x6	S355J2H
1.4	2	Stk	Lochplattenhalter schräg Rohteil	Flach EN 10149-2 290x190x8	S500MC
1.5	2	Stk	Lochplattenhalter einseitig schräg	Flach EN 10149-2 190x190x8	S500MC
2.1	2	Stk	Querträger vorne	Formrohr EN10219/1+2 200x100x6	S275J2H
2.2	2	Stk	Einsatz Querträger	Flach EN 10149-2 184x84x6	S500MC
3.1	1	Stk	Ecke rechts vorne Oberseite Rohteil	Flach EN 10025 206x217x30	S355J2+N
3.2	1	Stk	Ecke rechts vorne Aussenseite	Flach EN 10149-2 367x192x6	S500MC
3.3	1	Stk	Ecke vorne rechts Boden	Flach EN 10149-2 361x273x8	S500MC
3.4	1	Stk	Ecke rechts vorne Innenseite	Flach EN 10149-2 221x182x6	S500MC
4.1	1	Stk	U-Profil Kameraaufnahme rechts vorne	Flach EN 10149-2 445x300x8	S500MC
4.2	2	Stk	Boden Kameraaufnahme vorne	Flach EN 10149-2 148x60x6	S500MC
4.3	24	Stk	Hülse Kameraaufnahme	Rundstahl EN10278 26x80	S355J2
5.1	2	Stk	Langträger vorne	Formrohr EN10219/1+2 200x100x5	S235J2H
5.2	18	Stk	Einsatz Übergang Ecke	Flach EN 10149-2 25x25x6	S500MC
6.1	2	Stk	U-Profil Kameraaufnahme mitte Rohteil	Flach EN 10149-2 445x300x8	S500MC
6.2	2	Stk	Boden Kameraaufnahme mitte	Flach EN 10149-2 300x64x6	S500MC
6.3	2	Stk	Einsatz Verschraubung Kameraaufnahmemitte	Flach EN 10029 60x60x16	S355J2+N
7.1	2	Stk	Langträger hinten	Formrohr EN10219/1+2 200x80x5	S235J2H
7.2	2	Stk	Einsatz Verschraubung Langträger hinten Rohteil	Flach EN 10029150x65x16	S355J2+N
8.1	1	Stk	U-Profil Kameraaufnahme rechts hinten Rohteil	Flach EN 10149-2 447x300x8	S500MC
8.2	2	Stk	Boden Kameraaufnahme hinten	Flach EN 10149-2 158x60x6	S500MC
9.1	2	Stk	U-Profil Ecke hinten	Flach EN 10149-2 445x144x6	S500MC
9.2	1	Stk	Boden Ecke rechts hinten	Flach EN 10149-2 466x250x8	S500MC
				Maßstab:	
				Benennung:	
				Stückliste Schlitten vollständig	
				Zeichnungsnummer:	
				Blatt 1/4	
				Bl.	
Zust	Änderung	Datum	Name	Rieger	File:

Pos.	Menge	Einh.	Benennung	Sachnr./Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff
10.1	2	Stk	Querträger hinten	Formrohr EN10219/1+2 200x80x5 S235J2H	
11.1	1	Stk	Boden Box hinten	Flach EN 10149-2 367x260x8 S500MC	
11.2	1	Stk	Seite Box rechts hinten	Flach EN 10149-2 172x166x6 S500MC	
11.3	1	Stk	Steg 1 Box hinten	Flach EN 10149-2 174x130x8 S500MC	
11.4	1	Stk	Steg 2 rechts Box hinten	Flach EN 10149-2 123x120x6 S500MC	
12.1	2	Stk	V-Verstrebung hinten	Formrohr EN10219/1+2 200x80x5 S235J2H	
12.2	2	Stk	Einsatz V-Verstrebung hinten	Flach EN 10149-2 186x66x6 S500MC	
13.1	1	Stk	Lochplattenträger hinten	Formrohr EN10219/1+2 120x80x4 S275J2H	
13.2	7	Stk	Lochplattenhalter einseitig Rohteil	Flach EN 10149-2 185x175x8 S500MC	
14.1	1	Stk	Lochplattenträger mitte	Formrohr EN10219/1+2 120x80x6 S355J2H	
14.2	2	Stk	Lochplattenhalter beidseitig Rohteil	Flach EN 10149-2 270x190x8 S500MC	
14.3	1	Stk	Halter Kombizylinder	Flach EN 10149-2 420x65x8 S500MC	
14.4	3	Stk	Steg Halter Komizylinder	Flach EN 10149-2 60x30x6 S500MC	
15.1	1	Stk	Lochplattenträger rechts mitte	Formrohr EN10219/1+2 120x80x4 S355J2H	
16.1	1	Stk	Lochplattenträger vorne	Formrohr EN10219/1+2 120x80x5 S355J2H	
17.1	2	Stk	Zugentlastung V-Strebe	Formrohr EN10219/1+2 60x60x5 S275J2H	
18.1	1	Stk	Zugentlastung Querstrebe	Formrohr EN10219/1+2 60x60x5 S275J2H	
19.1	1	Stk	Druckplatte	Flach EN 10025 250x220x35 S355J2+N	
19.2	1	Stk	Boden Druckstück vorne	Flach EN 10149-2 282x250x8 S500MC	
20.1	1	Stk	Seitenwand rechts Keil	Flach EN 10149-2 201x180x10 S500MC	
20.2	1	Stk	Rückwand Keil	Flach EN 10149-2 180x95x6 S500MC	
20.3	1	Stk	Boden Keil	Flach EN 10149-2 190x75x8 S500MC	
21.1	1	Stk	Fixe Lochplatte vorne Rohteil	Flach EN 10025 1276x378x22 S355J2+N	
22.1	1	Stk	Fixe Lochplatte mitte Rohteil	Flach EN 10025 1276x289x22 S355J2+N	
23.1	1	Stk	Fixe Lochplatte hinten Rohteil	Flach EN 10025 1276x267x22 S355J2+N	
				Maßstab:	
				Datum	Name
				Bearb	11.12 Rieger
				Gepr	
				Norm	
				Benennung:	
				Stückliste Schlitten vollständig	
				Zeichnungsnummer:	
				Blatt	
				2/4	
				Bl.	
Zust	Änderung	Datum	Name	Rieger	
				File:	

Pos.	Menge	Einh.	Benennung	Sachnr./Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff
24.1	1	Stk	Halter Zugankerzylinder	U-Profil EN10162 50x100x50x5	S235JR+AR
25.1	1	Stk	Halter Blasenspeicher	Flach EN 10149-2 273x170x8	S500MC
26.1	2	Stk	Steg Zugentlastung	Flach EN 10149-2 63x47x6	S500MC
27.1	2	Stk	Steg Ecke vorne Boden	Flach EN 10149-2 123x78x6	S500MC
28.1	2	Stk	Steg V-Verstrebung hinten	Flach EN 10149-2 100x100x6	S500MC
30.1	1	Stk	Biegeteil EK-Halter	Flach EN 10025-2 229x60x6	S355J2C+N
30.2	1	Stk	C-Profil EK-Halter	C Profil EN10162 50x70x50x5	S235JR+AR
30.3	1	Stk	L-Profil EK-Halter	L Profil EN10162 80x40x4	S235JR+AR
30.4	1	Stk	Flanschplatte EK-Halter	Flach EN 10149-2 100x45x6	S500MC
31.1	1	Stk	Steg Einziehvorrichtung innen	Flach EN 10149-2 200x170x8	S500MC
31.2	1	Stk	Steg Einziehvorrichtung außen	Flach EN 10149-2 217x170x8	S500MC
31.3	1	Stk	Bolzen Einziehvorrichtung	Rundstahl EN10278 D20x143	S355J2
32.1	1	Stk	Kabelhalter	C-Profil EN10162 40x40x10x2,0	S235JR+AR
33.1	1	Stk	Verzahnung schliittenseitig vorne	Flach EN 10025 1440x306x20	S355J2+N
34.1	1	Stk	Verzahnung schliittenseitig hinten	Flach EN 10025 1440x306x20	S355J2+N
35.1	1	Stk	Verzahnung karossenseitig vorne	Flach EN 10025 1190x230x40	S355J2+N
36.1	1	Stk	Verzahnung karossenseitig hinten	Flach EN 10025 1215x280x40	S355J2+N
37.1	1	Stk	Anschlag gerade vorne	Flach EN 10025 1362x290x60	S355J2+N
38.1	1	Stk	Anschlag gerade hinten	Flach EN 10025 1420x310x40	S355J2+N
39.1	6	Stk	Anbindung Kamera Rig Oberseite	Flach EN 10025-2 525x326x5	S355J2C+N
40.1	6	Stk	Anbindung Kamera Rig Unterseite	Flach EN 10025-2 536x325x5	S355J2C+N
41.1	4	Stk	Anbindung Kamera Rig 1	Flach EN 10025-2 280x190x10	S355J2C+N
42.1	2	Stk	Anbindung Kamera Rig 2	Flach EN 10025-2 280x190x10	S355J2C+N
43.1	17	Stk	Beilage Lochplatten	Rundstahl EN10278 70x10	S235JR+AR
44.1	1	Stk	Lochplatte vorne mitte	Flach EN 10025 1330x686x22	S355J2+N
				Maßstab:	
				Benennung:	
				Datum	Name
				Bearb	11.12
				Gepr	Rieger
				Norm	
				Stückliste Schlitten vollständig	
				Zeichnungsnummer:	
				Blatt	
				3/4	
				Bl.	
Zust	Änderung	Datum	Name	Rieger	
				File:	

Pos.	Menge	Einh.	Benennung	Sachnr./Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff
45.1	2	Stk	Lochplatte vorne seitlich	Flach EN 10025 1330x439x22	S355J2+N
46.1	1	Stk	Lochplatte hinten mitte	Flach EN 10025 1060x870x22	S355J2+N
52.1	1	Stk	Bügel Spannzylinder	Flach EN 10149-2 161x25x8	S500MC
53.1	2	Stk	Verstrebung 1 vorne Kamerarahmen	Rohr EN 10219-1 D38x2,6	S235JRH
53.2	2	Stk	Verstrebung 2 vorne Kamerarahmen	Rohr EN 10219-1 D38x2,6	S235JRH
53.3	2	Stk	Verstrebung 3 vorne Kamerarahmen	Rohr EN 10219-1 D38x2,6	S235JRH
54.1	2	Stk	Verstrebung 1 hinten Kamerarahmen	Rohr EN 10219-1 D38x2,6	S235JRH
54.2	2	Stk	Verstrebung 2 hinten Kamerarahmen	Rohr EN 10219-1 D38x2,6	S235JRH
54.3	2	Stk	Verstrebung 3 hinten Kamerarahmen	Rohr EN 10219-1 D38x2,6	S235JRH
55.1	2	Stk	Grundblech Zweilochmutter vorne mitte	Flach EN 10029 95x70x8	S355J2+N
56.1	2	Stk	Grundblech Zweilochmutter vorne seitlich	Flach EN 10029 100x60x8	S355J2+N
57.1	2	Stk	Grundblech Zweilochmutter hinten seitlich	Flach EN 10029 100x50x8	S355J2+N
58.1	2	Stk	Grundblech Zweilochmutter hinten mitte	Flach EN 10029 87x70x8	S355J2+N
101.1	1	Stk	V-Verstrebung vorne links	Formrohr EN10219/1+2 200x100x6	S275J2H
101.2	1	Stk	Biegeteil V-Verstrebung vorne links	Flach EN 10025-2 470x507x6	S355J2H
103.1	1	Stk	Ecke links vorne Oberseite Rohteil	Flach EN 10025 206x217x30	S355J2+N
103.2	1	Stk	Ecke links vorne Aussenseite	Flach EN 10149-2 367x192x6	S500MC
103.3	1	Stk	Ecke vorne links Boden	Flach EN 10149-2 361x273x8	S500MC
103.4	1	Stk	Ecke links vorne Innenseite	Flach EN 10149-2 221x182x6	S500MC
104.1	1	Stk	U-Profil Kameraaufnahme links vorne	Flach EN 10149-2 445x300x8	S500MC
108.1	1	Stk	U-Profil Kameraaufnahme links hinten Rohteil	Flach EN 10149-2 447x300x8	S500MC
109.2	1	Stk	Boden Ecke links hinten	Flach EN 10149-2 466x200x8	S500MC
111.2	1	Stk	Seite Box links hinten	Flach EN 10149-2 172x166x6	S500MC
111.4	1	Stk	Steg 2 links Box hinten	Flach EN 10149-2 123x120x6	S500MC
115.1	1	Stk	Lochplattenträger links mitte	Formrohr EN10219/1+2 120x80x4	S355J2H
120.1	1	Stk	Seitenwand links Keil	Flach EN 10149-2 201x180x10	S500MC
				Maßstab:	
				Datum	Name
				Bearb 11.15	Rieger
				Gepr	
				Norm	
				Benennung:	
				Stückliste Schlitten vollständig	
				Zeichnungsnummer:	
				Blatt 4/4	
				Bl.	
Zust	Änderung	Datum	Name	Rieger	Matr.Nr.1030853
				File:	

Pos.	Menge	Einh.	Benennung	Sachnr./Norm-Kurzbezeichnung	Werkstoff
47.1	4	Stk	Anbindung Karosserieaufnahme seitlich	Flach EN 10025-2 130x110x20	S355J2+N
48.1	1	Stk	Anbindung Karosserieaufnahme mittig	Flach EN 10025-2 130x110x20	S355J2+N
48.5	1	Stk	Anbindung Karosserieaufnahme hinten mittig	Flach EN 10025-2 173x110x20	S355J2+N
49.1	2	Stk	Langträger Karosserieaufnahme	Formrohr EN10219/1+2 100x50x6	S275J2H
49.2	8	Stk	Verschluss 1 Karosserieaufnahme	Flach EN 10025 100x50x8	S355J2+N
49.3	2	Stk	V-Strebe hinten Karosserieaufnahme	Formrohr EN10219/1+2 100x50x6	S275J2H
49.4	1	Stk	Querstrebe hinten mitte Karosserieaufnahme	Formrohr EN10219/1+2 100x50x6	S275J2H
49.5	2	Stk	V-Verstrebung vorne Karosserieaufnahme	Formrohr EN10219/1+2 100x50x6	S275J2H
49.6	1	Stk	Querstrebe vorne mitte Karosserieaufnahme	Formrohr EN10219/1+2 100x50x6	S275J2H
49.7	2	Stk	Querstrebe vorne seitlich Karosserieaufnahme	Formrohr EN10219/1+2 100x50x6	S275J2H
49.8	4	Stk	Querträger seitlich außen Karosserieaufnahme	Formrohr EN10219/1+2 100x50x6	S275J2H
49.9	1	Stk	Verschluss 2 Karosserieaufnahme	Flach EN 10025 102x100x8	S355J2+N
49.10	1	Stk	Verschluss 3 Karosserieaufnahme	Flach EN 10025 116x100x8	S355J2+N
49.11	12	Stk	Steg 1 Karosserieaufnahme	Flach EN 10025 100x100x6	S355J2+N
49.12	2	Stk	Steg 2 Karosserieaufnahme	Flach EN 10025 100x103x6	S355J2+N
50.1	2	Stk	Verschraubung Querträger	Flach EN 10025 140x60x6	S355J2+N
50.2	4	Stk	Steg Verschraubung Querträger	Flach EN 10025 80x40x6	S355J2+N
51.1	2	Stk	Kreisniederhalter Boden	Flach EN 10025 450x159x10	S355J2+N
51.2	2	Stk	Kreisniederhalter Steg 1	Flach EN 10025 140x80x6	S355J2+N
51.3	2	Stk	Kreisniederhalter Steg 2	Flach EN 10025 130x80x6	S355J2+N
51.4	2	Stk	Kreisniederhalter Steg 3	Flach EN 10025 125x80x6	S355J2+N
51.5	2	Stk	Kreisniederhalter Steg 4	Flach EN 10025 115x80x6	S355J2+N
51.6	2	Stk	Kreisniederhalter Steg 5	Flach EN 10025 100x80x6	S355J2+N
51.7	2	Stk	Kreisniederhalter Steg 6	Flach EN 10025 80x80x6	S355J2+N
51.8	2	Stk	Kreisniederhalter Steg 7	Flach EN 10025 80x50x6	S355J2+N
51.9	2	Stk	Kreisniederhalter Steg 8	Flach EN 10025 80x20x6	S355J2+N
				Maßstab:	
				Datum	Name
				Bearb	11.12
				Gepr	Rieger
				Norm	
				Benennung:	
				Stückliste Karosserieaufnahme	
				Zeichnungsnummer:	
				Blatt 1/1	
				Bl.	
Zust	Änderung	Datum	Name	Rieger	Matr.Nr.1030853
				File:	