



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Ahmad Masood Samaei

Anpassung und Konzeptionierung eines Torsionsprüfstands für Fahrzeugkarosserie-Modelle

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Ahmad Masood Samaei
Anpassung und Konzeptionierung eines
Torsionsprüfstands für
Fahrzeugkarosserie-Modelle

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Fahrzeugtechnik
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. Eckart Nast
Zweitprüfer/in: Prof. Peter Seyfried

Abgabedatum: 08.02.2022

Zusammenfassung

Ahmad Masood Samaei

Thema der Bachelorthesis

Anpassung und Konzeptionierung eines Torsionsprüfstands für Fahrzeugkarosseriemodelle

Stichworte

Konstruktion, Entwurf, Fertigung, Aufbau, Erprobung, Messung und Rechnung

Kurzzusammenfassung

Inhalt dieser Arbeit ist die Anpassung und Konzeptionierung eines bereits vorhandenen Torsionsprüfstands, mit dem Verformungen infolge von Torsion sowie die Torsionssteifigkeit bestimmt werden können, für das Mechanik-Labor des Departments Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau. Der Prüfstand soll zusätzlich zur Messung von Personenkraftwagenkarosserien auch Nutzfahrzeugkarosserien verwendet werden können. Hierzu sind zwei unterschiedliche Nutzfahrzeugkarosseriemodelle des gleichen Grundfahrzeugs zu entwerfen, zu fertigen und zu erproben.

Ahmad Masood Samaei

Title of the paper

Adaptation and conception of a torsion test bench for vehicle body models

Keywords

Construction, design, manufacture, assembly, testing, measurement and calculation

Abstract

The content of this thesis is the adaptation and conception of an already existing torsion test bench, with which deformations due to torsion and the torsional stiffness can be determined, for the mechanics laboratory of the vehicle technology and aircraft construction department. In addition to measuring car bodies, the test bench should also be able to be used for commercial vehicle bodies. For this purpose, two different commercial vehicle bodies of the same basic vehicle are to be designed, manufactured and tested.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei meinem Erstprüfer Prof. Dr.-Ing. Eckart Nast für die Aufgabenstellung und für die Betreuung während der Bachelorthesis bedanken.

Außerdem bedanke ich mich bei meinem Zweitprüfer Prof. Peter Seyfried.

Besonderer Dank gilt dabei der ZLW der HAW Hamburg für die Fertigung der Einzelbauteile der Karosseriemodelle und der Fertigung der Gabeln für den Prüfstand. Zusätzlich bedanke ich mich bei den Mitarbeitern der ZLW für die Hilfe, beim Zusammenfügen der Einzelbauteile. Ein ganz spezieller Dank geht an Frau Stuke der ZLW für die Hilfestellung in der Werkstatt der ZLW.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Prof. Dr. Christoph Großmann und dem Förderkreis Wagenbauschule für die finanzielle Unterstützung.

Aufgabenstellung

für die Bachelorthesis

von Herrn **Ahmad Masood Samaei**

Martikelnnummer: **2242275**

Thema: Anpassung und Konzeptionierung eines Torsionsprüfstands für Fahrzeugkarosserie-Modelle

Mit Unterstützung der Ditze-Stiftung, des Förderkreises Wagenbauschule sowie des Zukunftsprogramms der Fakultät TI wurden zur Verbesserung der Lehre im Bereich der technischen Mechanik, wurden mehrere Versuchsaufbauten und mechanische Modelle im Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau konzipiert und beschafft.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll für das Mechaniklabor des Departments Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau zwei Nutzfahrzeugkarosseriemodelle entworfen und gefertigt werden. Diese Modelle sollen mithilfe des Prüfstands auf Verformungen infolge von Torsion untersucht werden, sowie die Torsionssteifigkeit bestimmt werden. Der Prüfstand soll so weit angepasst werden, dass außer Personenkraftwagenkarosseriemodelle auch Nutzfahrzeugkarosseriemodelle geprüft werden können.

Schwerpunkte:

- Einarbeitung in die Thematik und Literaturrecherche
- Anpassung des Prüfstand-Konzeptes unter Verwendung möglichst vieler Standardbauteile aus dem Bestand des Mechanik-Labors
- Beschaffung und Fertigung erforderlicher Komponenten
- Entwurf und Fertigung von zwei unterschiedlichen Nutzfahrzeugkarosserien (Modelle)
- Aufbau und Erprobung des Prüfstands mit den Nutzfahrzeugkarosserien
- Dokumentation der mit dem Prüfstand möglichen Versuche und Erstellung einer Versuchsanleitung
- Vergleich von Messung und Rechnung auf Basis der vorgeschlagenen Berechnungsmethode

Inhalt

1. Einleitung	1
1.1 Ziel der Arbeit.....	3
1.2 Kapitelübersicht	3
2. Istzustand	4
2.1 Allgemeine Beschreibung der Versuchsmodelle	4
2.2 Allgemeine Beschreibung des Prüfstands	4
3. Lasten-und Pflichtenheft	6
3.1 Lastenheft	6
3.1.1 Zielbestimmung.....	6
3.1.2 Produkteinsatz	6
3.1.3 Produktfunktion	6
3.1.4 Qualitätsanforderung.....	7
3.1.5 Bedienung Prüfstand.....	7
3.1.6 Beschaffung der Nutzfahrzeugkarosseriemodelle	7
3.1.7 Herstellungsprozess.....	8
3.2 Pflichtenheft	8
3.2.2 Produkteinsatz	8
3.2.3 Produktfunktion	8
3.2.4 Qualitätssicherung	9
3.2.5 Bedienung Prüfstand.....	9
3.2.6 Beschaffung der Nutzfahrzeugkarosseriemodelle	9
3.3 Anforderungsliste	10
3.3.1 Anforderungsliste Nutzfahrzeugkarosseriemodelle.....	10
3.3.2 Anforderungsliste Prüfstand	11
3.4 Gantt Diagramm.....	12
3.5 Beschreibung der Arbeitspakete	12
4. Konzeptwahl- und lösungen	14
4.1 Lösungsansätze für Versuchsmodelle.....	14
4.2 Fahrgestellstruktur	15
4.2.1 Fahrgestellrahmen	16
4.2.1.1 Rahmenbauweise	16
4.2.1.2 Selbsttragende Bauweise.....	16
4.2.1.3 Mittragende Bauweise.....	16
4.2.1.4 Morphologischer Kasten.....	17
4.3 Auswahl von zwei Varianten	19
4.4 Konzeptwahl für Nutzfahrzeugmodelle.....	20
4.5 Werkstoffauswahl.....	20
4.5.1 Kunststoffe	20
4.5.2 Chemischer Aufbau.....	23
4.5.3 Herstellung.....	23

4.5.4 Allgemeine Stoffbeschreibung.....	24
4.6 Fügeverfahren.....	24
4.6.1 Vorteile von Kleben	25
4.6.2 Festigkeit einer Klebung.....	26
4.6.3 Klebgerechte Gestaltung.....	26
4.6.4 Oberflächenbehandlung.....	26
4.6.5 Wahl der Klebstoffart.....	27
4.7 Lösungsansätze für Prüfstand.....	27
5. Konstruktion.....	28
5.1 CAD-Konstruktion Kastenwagen	30
5.1.1 CAD- Konstruktion Leiterrahmen.....	33
5.1.2 Fahrerhaus:.....	35
5.2 CAD-Konstruktion Pritschenwagen	39
6. Fertigung	39
6.1 Fertigung der Karosseriemodelle	39
6.2 Fertigung der Verbindungselemente für den Prüfstand	43
7. Versuch zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit.....	44
7.1 Einleitung	44
7.2 Versuchsaufbau.....	44
7.2 Versuchsvorbereitung	45
7.3 Versuchsdurchführung	46
7.4 Messpunkte	46
7.5 Versuchsauswertung.....	47
8. Berechnung	52
8.1 Begriffserklärung.....	53
8.2 Berechnung der Torsionssteifigkeit	54
8.3 Torsionssteifigkeit je Messuhr	54
8.4 Ergebnisse und Diskussion	56
9. Zusammenfassung	56
Literaturverzeichnis.....	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1/ Mechaniklabor am Department Flugzeugbau und Fahrzeugtechnik (HAW)	2
Abbildung 2/ Lagerung der Modelle an der Vorderachse (HAW)	5
Abbildung 3/ Einspannung an der Hinterachse der Modelle (HAW)	5
Abbildung 4/ Prüfstand im Mechaniklabor (HAW)	5
Abbildung 5/ Einspannung der Hinterachse des Modells	5
Abbildung 6/ Güterverkehr in Deutschland (Hoepke und Breuer 2016)	15
Abbildung 7/ Bauarten von Fahrgestellrahmen	16
Abbildung 8/ Transporter (Volkswagen AG)	18
Abbildung 9/ Pick up (Volkswagen AG)	18
Abbildung 10/ Kofferaufbau (ALOIS KOBER GMBH)	19
Abbildung 11/ Van (Volkswagen AG)	19
Abbildung 12/ Einteilung der Polymere (Friedrich 2017)	21
Abbildung 13/ Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Polymere (Friedrich 2017)	21
Abbildung 14/ Wichtigsten Einflussparameter auf das Verformungsverhalten von Kunststoffen (Friedrich 2017)	22
Abbildung 15/ Chemischer Aufbau von Polycarbonat (Elsner et al. 2012)	23
Abbildung 16/ Polycarbonat (Elsner et al. 2012)	24
Abbildung 17/ Adhäsions- und Kohäsionskräfte einer Klebeverbindung (Dr. Wolfgang Fleischmann juni/2010)	25
Abbildung 18/ Festigkeit einer Klebeverbindung in Abhängigkeit von bestimmten Parametern (Dr. Wolfgang Fleischmann)	26
Abbildung 19/ Oberflächenbehandlung einer Klebeverbindung (Dr. Wolfgang Fleischmann juni/2010)	26
Abbildung 20/ Gabelkopf als Verbindungselement	27
Abbildung 21/ Gabelkopf (Adolf Würth GmbH & Co. KG)	27
Abbildung 22/ Fahrgestevon einem Nutzfahrzeug (Volkswagen AG)	28
Abbildung 23/ Darstellung eines Transporter mithilfe der sss-method (Brown et al. 2002)	29
Abbildung 24/ CAD-Konstruktion der Bauteile oberhalb des Fahrgestells des Kastenwagens	31
Abbildung 25/ Cad-Konstruktion der Bodengruppe und des Leiterrahmens des Kastenwagens	32
Abbildung 26/ Einzelbauteilzeichnung werden unter anderem als Model erstellt	32
Abbildung 27/ Profil des Längsträgers	33
Abbildung 28/ Das Profil wird in gewünschte Länge gezogen	34
Abbildung 29/ Zusammenfügen von Längsträger und Queträger	34
Abbildung 30/ Sketch (Skizze) Seitenwand	35
Abbildung 31/ Erzeugung der Fläche für die Seitenwände	36
Abbildung 32/ Fahrerhaus-Seitenwand fertig konstruiert	36
Abbildung 33/ Dach	37
Abbildung 34/ Zusammenfügen der Einzelbauteile	38
Abbildung 35/ Positionierung der Einzelbauteile	38
Abbildung 36/ Pritschenwagen	39
Abbildung 37/Prinzip des Abrasivverfahrens (Fahrenwaldt et al. 2014)	40
Abbildung 38/ Trennverfahren in Vergleich (Fritz und Schulze 2015)	41
Abbildung 39/Anwendungsgebiete des Hochdruckwasserstrahls (Fritz und Schulze 2015)	42
Abbildung 40/ Schnittgeometrien im Vergleich (Fahrenwaldt et al. 2014)	42

Abbildung 41/ Skizze für Verbindungselement	43
Abbildung 42/ Kernlochbohrung in der ZLW (HAW)	44
Abbildung 43/ Verbindungselement Prüfstand (HAW)	44
Abbildung 44/ Versuchsaufbau Front-, Seitenansicht	45
Abbildung 45/ Messpunkte am Pritschenfahrzeug.....	46
Abbildung 46/ Messpunkte am Kastenwagen	46
Abbildung 47/ Torsionsachse.....	48
Abbildung 48/ Infinitesimal kleiner Kreiszyylinder (Linke und Nast 2015).....	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1/Anforderungsliste Nutzfahrzeugkarosseriemodelle	10
Tabelle 2/ Anforderungsliste Prüfstand	11
Tabelle 3/ Gantt Diagramm.....	12
Tabelle 4/ Beschreibung der Arbeitspakete	12
Tabelle 5/ morphologischer Kasten	17
Tabelle 6/ vergleich von Polycarbonat und Acrylglas (Acrylshop24 2019).....	22
Tabelle 7/ mechanische Eigenschaften Polycarbonat (AKKUT Kunststoffe)	24
Tabelle 8/ Stückliste.....	43
Tabelle 9/ Verschiebungen an den Modellen während des Versuchs	47
Tabelle 10/ Verdrehwinkel der Modelle je Messuhr und aufgebrachtem Torsionsmoment	49
Tabelle 11/ Darstellung des aufgebracht Torsionsmoments über dem Verdrehwinkel	50
Tabelle 12/ Darstellung des aufgebracht Torsionsmoments über dem Verdrehwinkel	50
Tabelle 13/ Grafische Darstellung des aufgebracht Torsionsmoments über dem Verdrehwinkel.....	51
Tabelle 14/ Grafische Darstellung des aufgebracht Torsionsmoments über dem Verdrehwinkel.....	51
Tabelle 15/ Grafische Darstellung des aufgebracht Torsionsmoments über dem Verdrehwinkel.....	52
Tabelle 16/ Torsionssteifigkeit je Messuhr	54

1. Einleitung

Fahrzeugstrukturen müssen hohe Belastungen bewältigen. Neben den gesetzlichen Verordnungen der Festigkeit einer Fahrzeugstruktur sind Fahrzeughersteller auch die funktionalen Anforderungen besonders wichtig. Die Belastungen, die auf die Struktur wirken, sind statisch oder dynamisch. Diese Belastungen können unter anderem durch Fahrbahnunebenheiten oder einem Crash entstehen. Somit ist das Tragwerk folgenden Belastungen ausgesetzt. (Hoepke und Breuer 2008, S.266)

Statische Belastung bei ebener Fahrbahn:

- Biege und Torsionsbelastung aus Gewichtskraft

Quasistatische Zusatzbelastungen:

- Biege- und Torsionsbelastung infolge einseitiger Beladung, Fahrt auf seitlich geneigter Fahrbahn und Fahrt bei Seitenwind
- Biegebelastung als Folge von Achslastverlagerungen durch Bodenunebenheiten in Fahrtrichtung
- bei Fahrzeugen mit mehr als zwei Achsen
- Biegebelastung aus Hangabtriebskräften an Steigungen oder Gefällen
- Torsionsbelastung infolge Radlastverlagerung aus diagonalen Bodenunebenheiten
- Horizontalbiegung durch langsame Kurvenfahrt mit mehr als einer ungelenkten Achse

Langsame dynamische Belastungen:

- Biege- und Torsionsbelastung infolge Kurvenfahrt, Wank- und Nickschwingungen
- Biegebelastung aus Beschleunigungs- und Bremskräften
- Horizontalbiegung aus seitlichen Komponenten eventueller Deichselkräfte

Schnelle dynamische Belastungen:

- örtliche Biege- und Torsionsbelastungen aus kurzweiligen Fahrbahnstößen
- Stoß durch Querrillen auf der Fahrbahn auf beide Vorder- und /oder beide Hinterräder
- Biegebelastungen aus eventuell auftretenden Schwingungen innerhalb des Fahrzeuges

Fahrzeugstrukturen werden auf ihre Torsionssteifigkeit untersucht. Die Torsionssteifigkeit ist einer der wichtigsten Kriterien für die Auslegung von Fahrzeugstrukturen. Die Steifigkeit beschreibt den Widerstand eines Körpers gegen elastische Verformung. Sie ist abhängig von der Geometrie und dem Werkstoff des Körpers. Um die optimalen Steifigkeitswerte für Fahrzeugstrukturen zu finden,

werden sie untersucht. Bei der Auslegung von Fahrzeugstrukturen müssen folgende Punkte berücksichtigt werden: Die Struktur darf nicht zu steif ausgelegt sein, da bei einer auftretenden Belastung die Struktur beschädigt werden könnte. Andererseits könnte bei einer zu niedrigen Steifigkeit die Struktur so weit verformen, dass es dadurch ebenfalls zu Beeinträchtigungen oder zur Schädigung kommen könnte. Durch die Veränderung der Steifigkeit wird oft auch das Gewicht beeinflusst, das auch ein sehr wichtiges Karosserieauslegungskriterium ist. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Steifigkeitswerte in Bezug mit dem Gewicht zu sehen. (Tecosim 2022)

Bei der Entwicklung von Karosserien kann auf Versuche nicht verzichtet werden. Im frühen Entwicklungsprozess werden Karosseriestrukturen mithilfe von CAE-Programmen unter anderem auf ihre Festigkeit, auf das Crashverhalten und der Steifigkeit erprobt. Erst durch die Versuche erhält man den endgültigen Nachweis dafür, ob eine Karosserie die an sie gestellten Anforderungen erfüllt. (Pippert 1998)

Das Mechanik-Labor im Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau bietet den Studenten die Möglichkeit ihre theoretisch erlernten Berechnungsverfahren in den Lehrveranstaltungen TM1 (Technische Mechanik 1/ Statik), TM2 (Technische Mechnik 2/ Festigkeitslehre) und FIL (Festigkeitslehre im Leichtbau) an realen Versuchsmodellen zu erproben. Die Laborteilnehmer/-innen sollen die theoretischen Berechnungsverfahren dadurch besser verstehen und die Erkenntnis erlangen, dass es zwischen Theorie und Praxis Unterschiede in den Lösungen geben kann. Ein wichtiger Schritt für besseres Verständnis ist die Ursachenfindung für diese Abweichungen.



Abbildung 1/ Mechaniklabor am Department Flugzeugbau und Fahrzeugtechnik (HAW)

1.1 Ziel der Arbeit

Im Mechanik-Labor am Department für Flugzeugbau und Fahrzeugtechnik befindet sich ein Prüfstand, mit dem die Torsionssteifigkeit als auch die Verformung infolge von Torsion von Personenkraftwagenkarosserien ermittelt werden kann. Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Prüfstand so anzupassen, dass zusätzlich zu den Personenkraftwagenkarosserien auch Nutzfahrzeugkarosserien erprobt werden können. Für die Versuchsdurchführung werden zwei Nutzfahrzeugkarosserien konstruiert, gefertigt und erprobt. Zusätzlich soll parallel eine Berechnungsmethode für die Torsionsverformung der Nutzfahrzeugkarosseriemodelle vorgeschlagen und dokumentiert werden.

1.2 Kapitelübersicht

In dem ersten Kapitel wird das Mechanik-Labor im Department Fahrzeugbau und Flugzeugbau näher dargestellt und die Thematik und die Struktur der Bachelorarbeit werden erklärt.

Im zweiten Kapitel werden die benötigten Mittel für die Durchführung des Versuchs erläutert.

Anschließend wird im dritten Kapitel mithilfe eines erarbeiteten Lasten -und Pflichtenhefts, welches die Anforderungen an die Versuchsmodelle und dem Prüfstand beinhaltet, eine Anforderungsliste erstellt.

Im vierten Kapitel wird ein Konzept zur Umsetzung dieser Anforderungen erarbeitet. Das Kapitel beinhaltet neben der Lösungsfindung, den Lösungsideen für die Versuchsmodelle und dem Prüfstand auch alle weiteren benötigten Schritte bis zur Gesamtkonzeption.

Im fünften Kapitel werden nun aus den gewählten Konzepten die Versuchsmodelle mit einem CAD-Programm konstruiert und erläutert. Nach der Konstruktion der Einzelbauteile werden sie von der ZLW der HAW-Hamburg gefertigt, die Fertigung der Teile wird in Kapitel sechs beschrieben.

Im siebten Kapitel wird der Versuch beschrieben und der Versuch zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit sowie die Verformung infolge von Torsion durchgeführt. Anschließend wird der Versuch ausgewertet.

Nach der Durchführung des Versuchs an den Modellen wird in Kapitel acht mithilfe der gemessenen Werte eine einfache Berechnung zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit durchgeführt und dokumentiert.

Im neunten Kapitel wird die Bachelorarbeit kurz zusammengefasst.

2. Istzustand

2.1 Allgemeine Beschreibung der Versuchsmodelle

Die Modelle, an denen die Versuche durchgeführt werden sollen, sind Prinzipstrukturen. Sie sollen uns nur zeigen, wie sich die unterschiedlichen Nutzfahrzeugkarosserien bei einer Torsionsbelastung verhalten.

Jedes dieser Modelle hat seine eigene Karosseriestruktur und aus diesem Grunde auch seine eigenen Struktureigenschaften und die daraus resultierende spezifische Torsionssteifigkeit. (Prof. Woydack 13.02.1993)

Jedes dieser Modelle besteht laut der Aufgabenstellung aus dem gleichen Grundfahrzeug. Es setzt sich zusammen aus Fahrerhaus und Fahrgestell, das heißt bei beiden Modellen bringt das Grundfahrzeug den gleichen Anteil an Steifigkeit zur Gesamttorsionssteifigkeit mit ein. Die Unterschiede der beiden Karosseriestrukturen liegen in der Geometrie der Aufbauten.

Die Dimension der Nutzfahrzeugkarosserien orientiert sich an dem bestehendem Prüfstand und der Personenkraftwagenkarosserien.

2.2 Allgemeine Beschreibung des Prüfstands

Der bereits bestehende Prüfstand besteht aus einem Messtisch, der aus RK-Aluprofilen gefertigt ist. Der Messtisch hat Gummiuntersetzer an den Füßen, um ein Verrutschen des Prüfstandes während der Versuchsdurchführung zu verhindern. Auf dem Prüfstand können bisher Personenkraftwagenkarosseriemodelle montiert und belastet werden. Die auftretenden Verschiebungen werden über Messuhren, welche an Messuhrhaltern befestigt sind, bestimmt. Die Messuhren werden am Messtisch verschraubt. Die Messuhren lassen sich auf den RK-Aluprofilen beliebig verschieben und befestigen (siehe Abb.4). Die Vorderachse ist auf einer Seite an Aufnahmen gelenkig gelagert und am anderen Ende mit dem Hebelarm (siehe Abb.2). Die Hinterachse ist an den Aufnahmen mit dem Prüfstand fest eingespannt (siehe Abb.3).

Zur Erzeugung der Last wird am Hebelarm, der an der Vorderachsaufnahme gelagert wird, Gewicht rangehängt. Der Hebelarm leitet über die Aufnahmen an der Vorderachse ein Torsionsmoment auf die Struktur ein.



Abbildung 4/ Prüfstand im Mechaniklabor (HAW)



Abbildung 2/ Lagerung der Modelle an der Vorderachse (HAW)

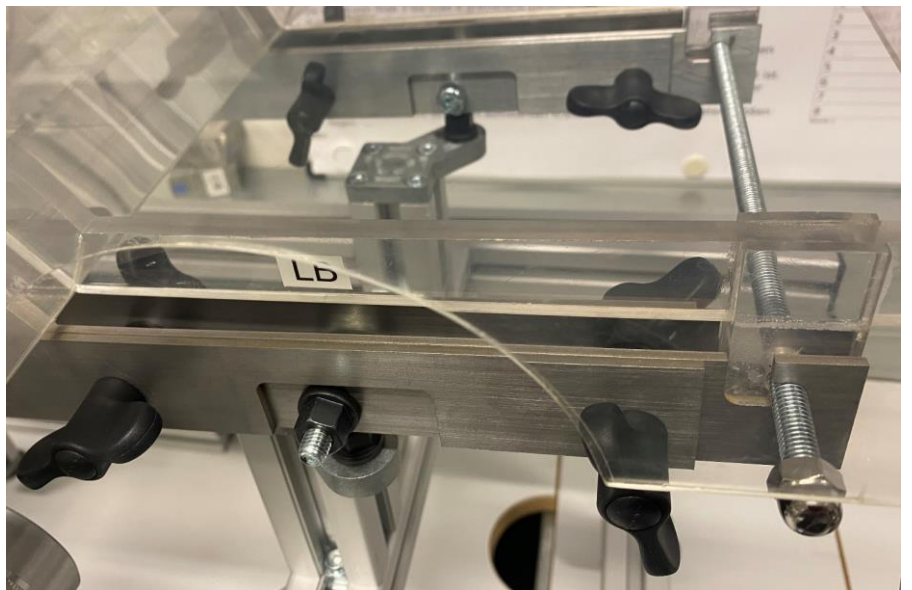


Abbildung 3/ Einspannung an der Hinterachse der Modelle (HAW)

3. Lasten-und Pflichtenheft

3.1 Lastenheft

Das Lastenheft ist ein Dokument, das in der Regel die Anforderungen an das gewünschte Produkt beschreibt. Es soll helfen, eine passende Lösung zu erarbeiten. Um eine passende Lösung zu finden, wurden folgende Punkte formuliert.

3.1.1 Zielbestimmung

Das Ziel ist die Anpassung und Konzeptionierung eines Torsionsprüfstands dahingehend, dass außer PKW-Karosserien auch Nutzfahrzeugkarosserien genutzt werden können. Hierzu sind zwei Nutzfahrzeugkarosserien des gleichen Grundfahrzeugs zu entwerfen, zu erproben und zu fertigen.

3.1.2 Produkteinsatz

Der bereits bestehende Prüfstand und die Kunststoffmodelle für Nutzfahrzeugkarosserien sollen im Mechanik-Labor des Departments Flugzeugbau und Fahrzeugtechnik, zur Verbesserung der Lehre und zum besseren Verständnis für Studenten im Bereich der technischen Mechanik, zum Einsatz kommen.

3.1.3 Produktfunktion

Der Prüfstand soll aus einem Messtisch bestehen. Die Versuchsmodelle sollen an der Vorderachse drehbar gelagert und an der Hinterachse fest eingespannt werden können. Eine Last soll an dem vorderen Loslager an den Modellaufnahmen über einen Hebelarm auf die Struktur wirken.

Die auftretenden Verschiebungen an der Struktur sollen mittels Messuhr, die an einem Messuhrständer befestigt sind, abgelesen werden können.

Die Nutzfahrzeugkarosseriemodelle sollen aus einem Kunststoff gefertigt werden. Sie sollen aus demselben Grundfahrzeug bestehen. Die Fahrzeugstruktur soll eine hohe Festigkeit nachweisen. Außerdem sollen die Modelle leichtbaugerecht konstruiert werden und einer Belastung von 40 N Stand halten können ohne zu versagen. An Vorder,- und Hinterachse müssen die Modelle am Prüfstand befestigt bzw. gelagert werden können.

3.1.4 Qualitätsanforderung

Prüfstand:

- Hohe Tragfähigkeit
- Versuchsdurchführung zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit
- Reibungsfreie Lastübertragung auf die Struktur
- Messung der Verschiebungen
- Anbauteile befestigt
- Lange Lebensdauer

Modelle:

- Hohe Festigkeit
- Leichtbau
- Belastbarkeit von mindestens 40 N
- Haltbarkeit bei Gebrauch der Modelle
- Lange Lebensdauer
- Die Verbindung der Einzelbauteile sollte halten

3.1.5 Bedienung Prüfstand

Folgende Funktionen sind für die Bedienung des Prüfstands wichtig und sollten weitgehend selbsterklärend, unkompliziert und zuverlässig sein:

- Die Lasteinleitung
- Aufnehmen der Messwerte
- Ändern der Parameter
- Montage der Versuchsmodelle

3.1.6 Beschaffung der Nutzfahrzeugkarosseriemodelle

Die Materialbeschaffung sollte möglichst einfach, mit kurzen Lieferzeiten und geringen Kosten verbunden sein. Für die Einzelteilmontage ist ein geringer Fertigungsaufwand und geringe Fertigungskosten wünschenswert. Für das Fügen der Bauteile ist ein einfaches und kostengünstiges Fügeverfahren zu wählen.

3.1.7 Herstellungsprozess

Die Herstellung sollte möglichst einfach und mit geringen Kosten verbunden sein. Die Herstellung der Einzelbauteile soll in der ZLW der HAW Hamburg erfolgen.

3.2 Pflichtenheft

Das Pflichtenheft beschreibt die Realisierung des zuvor angefertigten Lastenhefts.

3.2.1 Technische Zielbestimmung

Der Prüfstand erfüllt alle erforderlichen Anforderungen für die Durchführung des Versuchs zur Ermittlung der Verformungen infolge von Torsion und der Torsionssteifigkeit von Nutzfahrzeugkarosserien. Für die Lagerung der Nutzfahrzeugkarosseriemodelle muss lediglich ein Bauteil konzipiert und hergestellt werden, das als Verbindungselement zwischen den Gewindestangen an der Vorderachse und den Aufnahmen am Modelle fungiert. Die Nutzfahrzeugkarosseriemodelle werden so konstruiert und dimensioniert, dass die Versuche am bereits bestehendem Prüfstand problemlos durchgeführt werden können. Die Dimension der Modelle orientiert sich an den bereits bestehenden Fahrzeugmodellen des Mechanik-Labors.

3.2.2 Produkteinsatz

Anwendungsort:

Der Prüfstand und die Nutzfahrzeugkarosseriemodelle sollen im Mechanik-Labor des Departments Flugzeugbau und Fahrzeugtechnik zum Einsatz kommen.

Anwender:

Studenten der Haw Hamburg sollen mithilfe des Prüfstands und der Karosseriemodelle Versuche durchführen können und ein besseres Verständnis für die an der HAW angebotenen Lehrveranstaltungen aufbauen.

3.2.3 Produktfunktion

Der Prüfstand besteht aus einem Messtisch, worauf die Nutzfahrzeugkarosseriemodelle montiert und justiert werden. Lastaufnahmestützen, die an der Vorderachse befestigt werden, welche an den Enden axial verstellbare Aufnahmelager haben, dienen der nahezu reibungsfreien Lastübertragung auf die Struktur. Die Last wird über Massestücke, deren Gewichtskraft an einem Hebelarm wirkend ein Kräftepaar hervorbringt, an den vorderen Stützen als Torsionsmoment auf die Struktur

eingeleitet. Die auftretenden Verschiebungen werden über Messuhren, welche an Messuhrhalter befestigt sind, bestimmt. Die Messuhrhalter sind am Messtisch verschraubt.

Die Nutzfahrzeugkarosseriemodelle haben dasselbe Grundfahrzeug. Die Fahrzeugstruktur bietet eine hohe Festigkeit. Die Modelle erfüllen die Anforderungen hinsichtlich Leichtbau. An Vorder,- und Hinterachse haben die Modelle Aufnahmen, die am Prüfstand befestigt werden können.

3.2.4 Qualitätssicherung

Prüfstand:

- Hohe Tragfähigkeit durch robuste Bauweise und Materialwahl
- Reibungsfreie Lastübertragung auf die Struktur
- Messung der Verschiebungen mithilfe von Messuhren
- Lange Lebensdauer durch geeignete Materialwahl und Konstruktion

Modelle:

- Hohe Festigkeit durch geeignete Materialwahl
- Materialeichtbau, Strukturleichtbau
- Hohe Belastbarkeit durch geeignete Materialwahl und Konstruktion
- Die Modelle sind robust und haben eine lange Lebensdauer
- Einzelbauteile werden mit einem Spezialklebstoff zusammengefügt und bieten eine starke Verbindung

3.2.5 Bedienung Prüfstand

Die Bedienung des Prüfstands ist unkompliziert und selbsterklärend. Die Studenten der HAW können sehr einfach ihre Versuche mithilfe des Prüfstands und der Versuchsmodelle durchführen. Die Versuchsmodelle können montiert, justiert und belastet werden. Die Verschiebungen können an befestigten Messuhren problemlos abgelesen werden.

3.2.6 Beschaffung der Nutzfahrzeugkarosseriemodelle

Die Nutzfahrzeugkarosseriemodelle bestehen aus Polycarbonat. Die Beschaffung des Materials, für die Fertigung der Einzelbauteile, erfolgt in Absprache mit der Zentralen Laborwerkstatt (ZLW) der HAW Hamburg.

3.2.7 Geplante Herstellung

Zuerst werden die Nutzfahrzeugkarosseriemodelle als CAD-Modelle konstruiert. Anschließend wird eine Stückliste zusammen mit den Einzelbauzeichnungen an die ZLW der HAW Hamburg zur Fertigung weitergeleitet. Nachdem die Einzelbauteile gefertigt wurden, werden sie zu einer Gesamtstruktur zusammengefügt.

3.3 Anforderungsliste

Eine Anforderungsliste ist eine tabellarische Darstellung von Anforderungen. Sie basiert auf dem Pflichtenheft und ist ein Hilfsmittel zur Suche von Lösungen. Sie erfüllt die Anforderungen.

3.3.1 Anforderungsliste Nutzfahrzeugkarosseriemodelle

Tabelle 1/Anforderungsliste Nutzfahrzeugkarosseriemodelle

Nr.	F/W	Beschreibung	Kommentar/ Daten
1		Geometrie	
1.1	F	Länge	745 mm
1.2	F	Breite	280 mm
1.3	F	Höhe	250 mm
1.4	W3	Einzelbauteile dünnwandig	
1.5	F	Ebene Einzelbauteile	
2		Gewicht/ Leichtbauweise	
2.1	F	Struktur	
2.2	F	Material	Polycarbonat
3		Materialeigenschaften	
3.1	W3	hohe Festigkeit	
3.2	W3	robust	
3.3	W3	hohe Steifigkeit	
3.4	F	einfach zu bearbeiten	
3.5	F	einfach zu fügen	
3.6	F	hohe Belastbarkeit	
3.7	F	niedrige Kosten	
4		mechanische Beanspruchung	
4.1	F	Torsion	

4.2	F	Biegung	
4.3	F	Druck/Zug	
5		Fertigung	
5.1	F	Einfach	
5.2	F	Kostengünstig	
5.3	W3	nicht scharfkantig	

F= Forderung, W4 = sehr wichtig, W3 = wichtig, W2 = interessant, W1 = wenn möglich

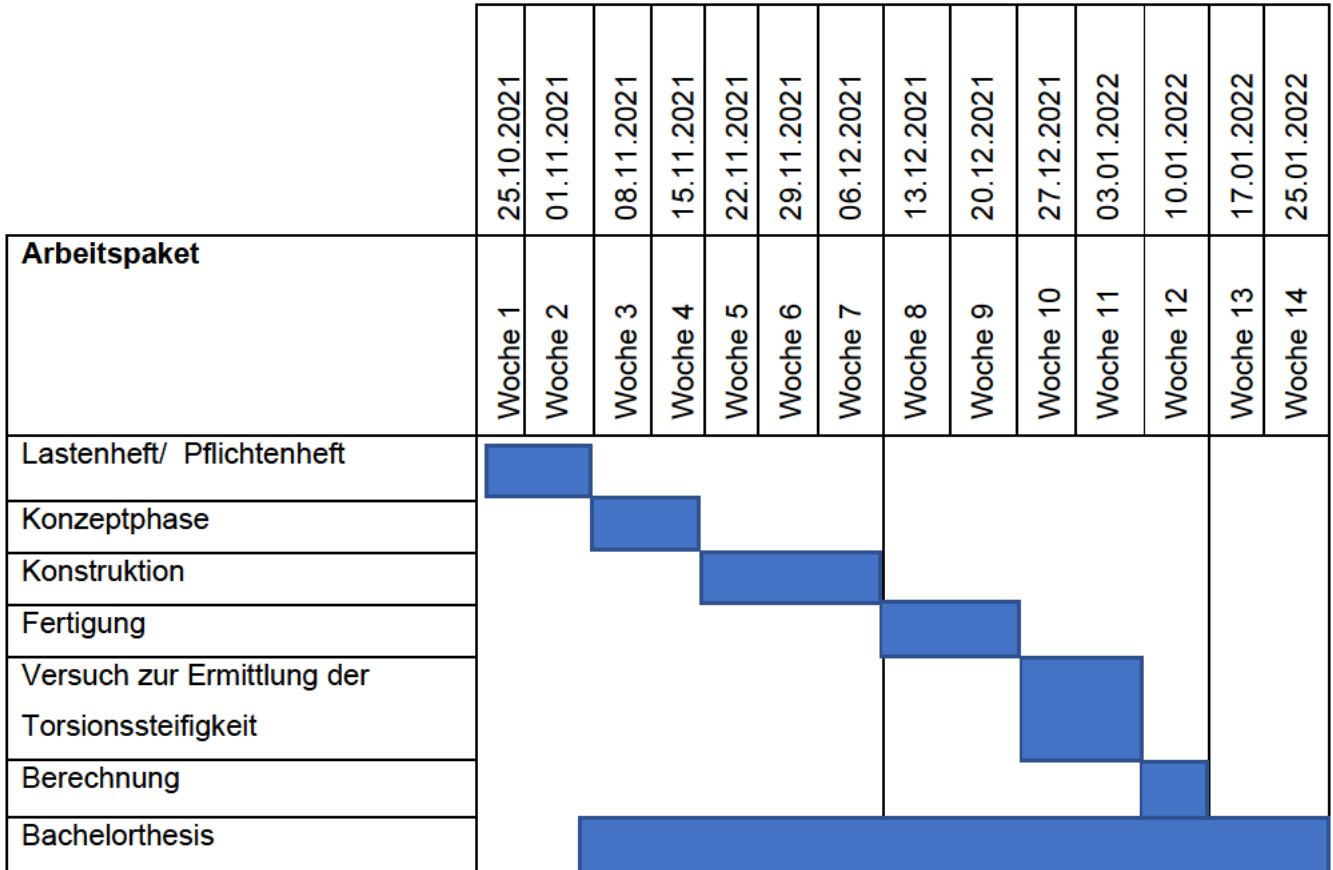
3.3.2 Anforderungsliste Prüfstand

Tabelle 2/ Anforderungsliste Prüfstand

Nr.	F/W	Beschreibung	Kommentar/Daten
1		Funktion	
1.1	W4	leichte Montage der Versuchsmodelle	
1.2	W4	leichte Lasteinleitung	
1.3	W3	Verschiebungen leicht ablesbar	
1.4	W3	leichte Justierung der Versuchsmodelle	
2		Material/Leichtbau	
2.1	W3	leichte Struktur	
3		Kräfte und Momente	
3.1	F	Torsionsmoment	
3.2	F	Biegemoment	
3.3	F	Zugkraft	
3.4	F	Druckkraft	
4		Nutzung	
4.1	W3	einfache Nutzung	
4.2	W3	schnelle Versuchsdurchführung	
4.3	W2	gute Austauschbarkeit der Einzelteile	
5		Sicherheit	
5.1	F	Sicherung gegen ungewollte Bewegung	
6		Fertigung	
6.1	W3	Einfach	
6.2	F	Kostengünstig	
6.3	W3	kurze Fertigungszeit	

3.4 Gantt Diagramm

Tabelle 3/ Gantt Diagramm



3.5 Beschreibung der Arbeitspakete

Tabelle 4/ Beschreibung der Arbeitspakete

Lastenheft/Pflichtenheft	
Inhalt	Zielsetzung Produkteinsatz-, funktion Materialbeschaffung und Herstellung Anforderungsliste Zeitplan
Ergebnis	Lastenheft, Pflichtenheft mit Anforderungsliste
Zeitraum	25.10.2021-08.11.2021

Konzeptphase	
Inhalt	Ideenfindung morphologischer Kasten Werkstoffauswahl Fügeverfahren
Ergebnis	
Zeitraum	08.11.2021-15.11.2021

Konstruktion	
Inhalt	Konstruktion Einzelbauteile mittels CAD Zusammenfügen der Einzelbauteile mittels CAD
Ergebnis	Karosseriemodelle (Kastenwagen, Pritsche)
Zeitraum	15.11.2021-06.12.2021

Fertigung	
Inhalt	Wasserstrahlschneiden Stückliste Fertigung der Nutzfahrzeugkarosseriemodelle Fügen der Einzelbauteile Fertigung des Verbindungselements für den Prüfstand
Ergebnis	Nutzfahrzeugkarosseriemodelle
Zeitraum	06.12.2021-20.12.2021

Versuch zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit	
Inhalt	Versuchsaufbau Versuchsvorbereitung Versuchsdurchführung Versuchsauswertung
Ergebnis	Kennwerte, Verschiebungen
Zeitraum	20.12.2021-03.01.2022

Berechnung	
Inhalt	Allgemeine Formeln
Ergebnis	Verdrehwinkel, Torsionsteifigkeit
Zeitraum	03.01.2022-10.01.2022

Bachelorthesis	
Inhalt	
Ergebnis	Bachelorarbeit
Zeitraum	10.01.2022-25.01.2022
Verlängerung Abgabe	08.02.2022

4. Konzeptwahl- und lösungen

4.1 Lösungsansätze für Versuchsmodelle

Allgemeines zu Nutzfahrzeuge:

Nutzkraftwagen werden für den Transport von Personen und Gütern genutzt. Sie nehmen beim Güterverkehr im Vergleich zur Bahn oder der Schifffahrt eine führende Stellung ein. 1997 wurden 61 Prozent der Güter im Straßennahverkehr und 23 Prozent im Fernverkehr mit Nutzfahrzeugen transportiert. Der Anteil der Bahn betrug nur 8 Prozent, der Anteil der Schifffahrt nur 6 Prozent und 2 Prozent war der Anteil der sonstigen Transportträger (siehe Abb. 6). Der Hauptgrund für den Anstieg des Güterverkehrs mit Nutzfahrzeugen ist die hohe Flexibilität. Die Güter können direkt vom Absender zum Empfänger transportiert werden, ohne dass dazwischen noch das Transportmittel gewechselt werden muss. Beim Transport mit der Bahn muss das Gut zum Beispiel mit einem LKW (Lastkraftwagen) zur Bahn und von der Bahn zum Empfänger gebracht werden. In der Zukunft wird der Anteil des Transports von Gütern per Nutzfahrzeuge weiterhin ansteigen. Es gibt keine anderen Transportmittel, die diese Kapazität tragen könnte. Daher müssen Nutzfahrzeuge so sicher, umweltfreundlich und wirtschaftlich, wie es nur möglich ist, sein. (Hoepke und Breuer 2016)

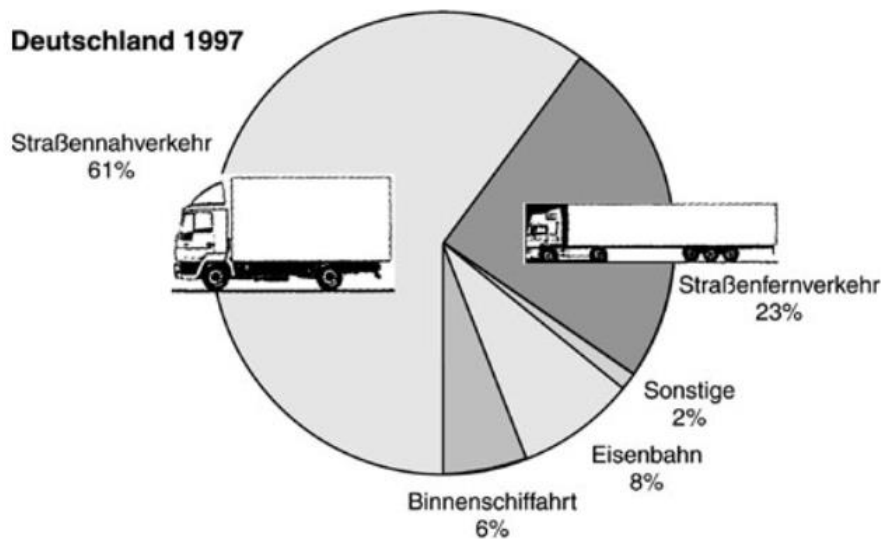


Abbildung 6/ Güterverkehr in Deutschland (Hoepke und Breuer 2016)

Nutzfahrzeuge werden in folgende Typen unterteilt: (Pippert 1998)

- Geländewagen
- Transporter
- Lastkraftwagen
- Lastzug
- Sattelzug
- Omnibus

Hierbei werden beispielsweise Nutzfahrzeuge mit Pritsche, mit Kofferaufbau oder als Kastenwagen unterschieden.

4.2 Fahrgestellstruktur

Nutzfahrzeug-Fahrgestelle lassen sich in die wichtigsten Hauptgruppen Fahrgestellrahmen, Fahrwerk, Antriebsstrang und Fahrerhaus einteilen. Der Fahrgestellrahmen ist die tragende Baugruppe des Fahrgestells, an der sowohl die anderen Baugruppen als auch der Aufbau befestigt sind. Diese Einteilung und Nutzung einheitlicher Grundkomponenten macht es möglich eine große Vielfalt an Abmessungen, Tragfähigkeit und zur Gestaltung der Aufbauten zu realisieren. (Hoepke und Breuer 2016)

4.2.1 Fahrgestellrahmen



Abbildung 7/ Bauarten von Fahrgestellrahmen

4.2.1.1 Rahmenbauweise

Fahrgestellrahmen sind Leiterrahmen, sie bestehen aus zwei Längsträger und mehreren Querträgern. Leiterrahmen eignen sich vor allem für eine vielfältige Fertigung, da viele Änderungen am Aufbau ohne Änderungen am Rahmen erfolgen können. Der Rahmen selber kann für große Lasten ausgelegt werden.

Bei der Rahmenauslegung sind Biegesteifigkeit und Torsionssteifigkeit besonders wichtige Argumente. (Fischer 2009)

4.2.1.2 Selbsttragende Bauweise

Bildet das Fahrgestell und der Aufbau eine Einheit, spricht man von einer selbsttragenden Bauweise. Die Karosserie übernimmt die Aufgabe des Leiterrahmens. (Fischer 2009)

4.2.1.3 Mittragende Bauweise

Die mittragende Bauweise ist eine Sonderform der selbsttragende Bauweise. Dabei werden Kunststoffaußenhäute auf die selbsttragende Karosserie aufgesetzt. (Fischer 2009)

4.2.1.4 Morphologischer Kasten

Der morphologische Kasten ist eine Methode zur systematischen Analyse komplexer Aufgabenstellungen und Lösungssuche. Das Kernstück ist eine mehrdimensionale Matrix. In dieser Matrix werden alle wichtigen Merkmale (Parameter) festgelegt und untereinander aufgelistet. Dann werden rechts neben den Parametern alle möglichen Ausprägungen (Ausführungsmöglichkeiten) niedergeschrieben. Nun können potentielle Lösungen durch Kombination von Parameterlösungen gebildet werden. (Erkan Dogan 2021)

Tabelle 5/ morphologischer Kasten

Parameter	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4
Aufbauform	Kombilimousine	Mehrzweckfahrzeug	Pick up	Van
Gewicht	leicht	sehr schwer	schwer	mittel
Fahrgestell	Leiterrahmen torsionsweich	Leiterrahmen torsionshart	Leiterrahmen und Hilfsrahmen	selbsttragend
Aufbau	offen	geschlossen	halboffen	geschlossen
Bauart	mittragende Bauweise	getrennte Bauweise	getrennte Bauweise	selbsttragende Bauweise
Steifigkeit	niedrig	mittel	hoch	hoch
Anzahl der Türen	Zwei	Drei	Vier	Fünf
Fügeverfahren	Kleben	Nieten	Verschrauben	Schweißen

Variante eins Kombilimousine:

Variante 1 ist ein Kastenwagen (siehe Abb. 8). Der Aufbau bildet zusammen mit dem Fahrerhaus eine Einheit. Diese sind auf dem Fahrgestellrahmen, dem Leiterrahmen, angebracht. Der Leiterrahmen ist torsionshart ausgeführt. Es gibt insgesamt 3 Türen, zwei am Fahrerhaus und eine am Heck zum Be- und Entladen. Der Träger ist biegesteif. Der Laderaum ist durch eine Trennwand von der Fahrerkabine getrennt.



Abbildung 8/ Transporter (Volkswagen AG)

Variante zwei Pick up

Variante zwei ist eine Pritsche (siehe Abb. 9). Die Karosserie besteht aus dem Fahrerhaus und einer festen Ladefläche, die nach oben offen ist. Je nach Einsatzzweck kann er auch nach einer, zwei oder drei Seiten kippbar sein. Der Laderaum ist ebenfalls durch eine Trennwand von der Fahrerkabine getrennt. Fahrerhaus und Aufbau sind ebenfalls auf einem Leiterraum montiert.



Abbildung 9/ Pick up (Volkswagen AG)

Variante drei:

Variante drei ist ein Kofferaufbau (siehe Abb. 10). Ein Kofferaufbau ist ein Fahrzeugaufbau mit festen Wänden in Form eines Kastens. Der Aufbau ist fest mit dem Fahrgestell verbunden. Beim LKW ist das Fahrerhaus räumlich getrennt vom Aufbau. Bei kleinen Transportern mit Kofferaufbau gibt es auch Varianten mit Durchgang zum Fahrerhaus, beispielsweise Transporter mit Kofferaufbauten für Paketzustellung.



Abbildung 10/ Kofferaufbau (ALOIS KOBER GMBH)

Variante vier:

Variante vier ist ein Multivan (siehe Abb. 11). Die Karosserie ist eine selbsttragende Karosserie.



Abbildung 11/ Van (Volkswagen AG)

4.3 Auswahl von zwei Varianten

Für die Auswahl von zwei Nutzfahrzeugmodellen werden folgende Kriterien berücksichtigt:

- zwei stark unterschiedliche Strukturen/ Karosserieformen
- Am besten eine offene und eine geschlossene Struktur
- Die Modelle sollen laut Aufgabenstellung dasselbe Grundfahrzeug besitzen
- Einfache Konstruktion sowie Herstellung

Die Karosseriesteifigkeit ist einer der wichtigsten Auslegekriterien für die Sicherheit, dem Komfort und der Haltbarkeit eines Nutzfahrzeugs. Bei unterschiedlichen Karosserieformen fällt die Steifigkeit unterschiedlich aus. Man kann generell sagen, dass ein geschlossenes Fahrzeug eine wesentlich höhere Steifigkeit aufweist als ein offenes.

Bei den oben genannten Varianten ist das Grundfahrzeug von Kastenwagen und Pritsche von fast jedem Automobilhersteller gleich. Lediglich die Aufbauten sind unterschiedlich. Der Kastenwagen hat einen geschlossenen Aufbau, der mit dem Fahrerhaus und dem Fahrgestell verbunden ist. Der Unterschied der Pritsche ist lediglich, dass der Aufbau offen ist. Wie in der technischen Mechanik gelehrt wird, spielt bei dünnwandigen Querschnitten eine große Rolle, ob der Querschnitt geschlossen oder offen ist. Geschlossene Querschnitte sind deutlich widerstandsfähiger gegenüber Torsion als offene Querschnitte.

4.4 Konzeptwahl für Nutzfahrzeugmodelle

Um die im Bereich der technischen Mechanik gelehrt Inhalte auch praktisch nachvollziehen zu können, werden die zwei Nutzfahrzeugkarosseriemodelle als Kastenwagen und Pritsche entworfen, gefertigt und erprobt.

4.5 Werkstoffauswahl

Laut der Aufgabenstellung sollen die Versuchsmodelle aus einem Kunststoff gefertigt werden. Die bereits bestehenden Personenkraftwagenkarosseriemodelle im Mechanik-Labor sind aus Polycarbonat gefertigt.

4.5.1 Kunststoffe

Auf dem Markt gibt es eine hohe Vielfalt an Kunststoffen. Man unterscheidet zwischen Hochleistungskunststoffen, technische Textilien bis hin zu Faserverbundsystemen. In der Automobilbranche kommen Kunststoffe aufgrund der spezifisch einstellbaren Eigenschaftskombinationen immer öfter zum Einsatz. Sie werden im Interieur und Exterieur eingesetzt.

Polymere lassen sich in die drei Grundklassen Thermoplaste, Duromer und Thermoplaste einteilen (siehe Abb. 12). Thermoplaste sind unvernetzte, eindimensionale, lineare oder ineinander verzweigte Polymere. Sie können rein amorph oder teilkristallin sein. Rein amorphe Polymere sind ungeordnet ineinander verwickelte Fasern und teilkristalline sind geordnet. (Friedrich 2017)

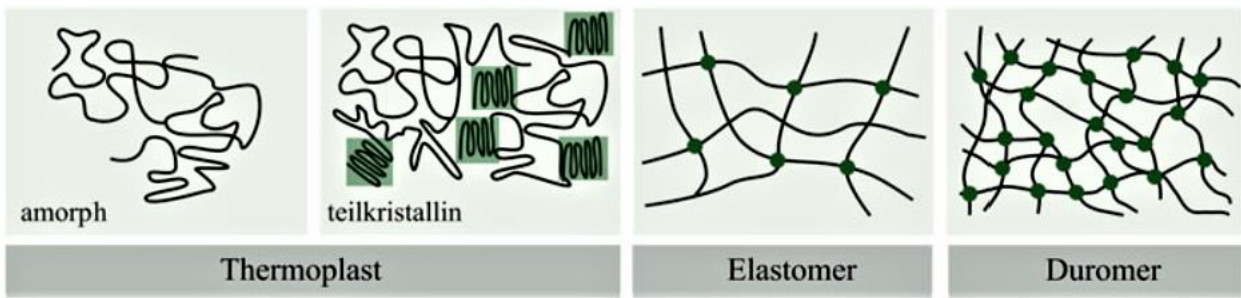


Abbildung 12/ Einteilung der Polymere (Friedrich 2017)

Elastomere sind weitmaschig und gummielastisch. Sie kehren nach ihrer Verformung in ihre Ausgangsform zurück. Elastomere lassen sich bis zu mehreren 100 Prozent dehnen, genau das unterscheidet sie von Thermoplasten und Duromeren.

Duromere sind im Vergleich zu den Elastomeren engmaschig vernetzt und haben die Eigenschaft sich ab einer bestimmten Temperatur zu zersetzen. (Friedrich 2017)

Besonders wichtig sind die mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen. Bei einem Zugversuch wird das Spannungs-Dehnungsverhalten, also das Verhalten des Werkstoffes unter Zugbelastung, ermittelt. Bei dem Versuch wird ein stabförmiger Körper bei konstanter Geschwindigkeit so lange beansprucht, bis es versagt. Außer dem Werkstoff spielen andere Faktoren wie Geometrie, Temperatur, Dauer der Belastung und umgebende Medien auch eine Rolle bei den Ergebnissen. Das Spannungs-Dehnungsverhalten der Polymere ist in Abb. 13 zusehen. Sprödes Materialverhalten zeigen Duromere, während zähelastisches Verhalten bei den teilkristallinen Thermoplasten und weichelastisches Verhalten bei den Elastomeren zu beobachten ist. (Friedrich 2017)

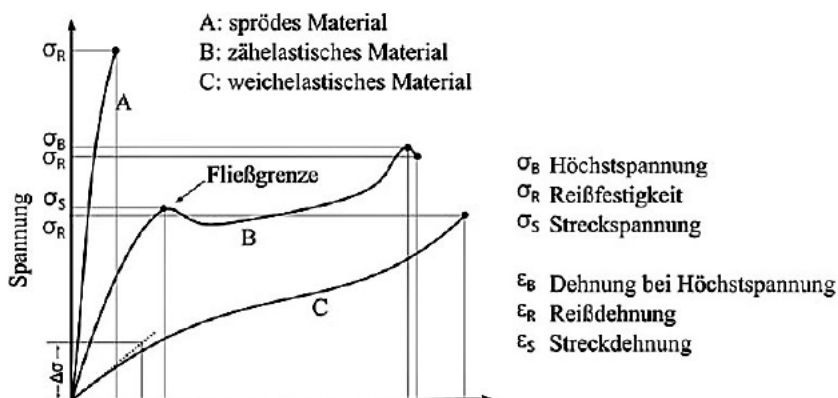


Abbildung 13/ Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Polymere (Friedrich 2017)

Abb. 14 zeigt die allgemeinen Grundeigenschaften des Verformungsverhaltens von Kunststoffen.

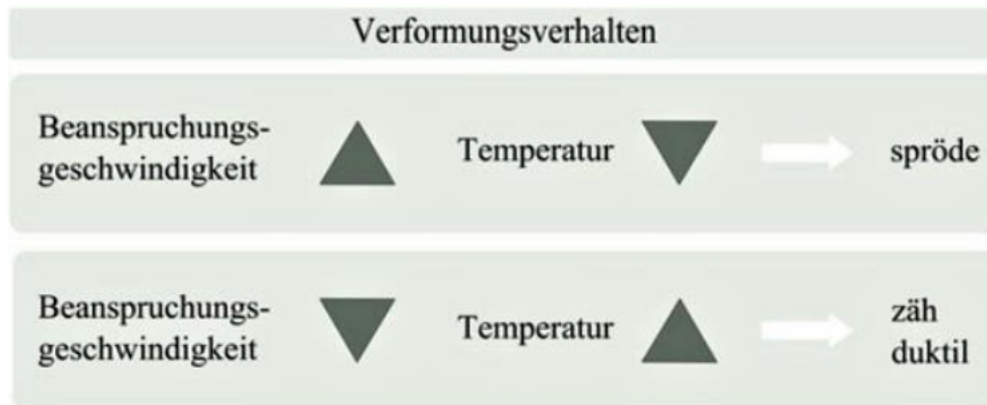


Abbildung 14/ Wichtigsten Einflussparameter auf das Verformungsverhalten von Kunststoffen (Friedrich 2017)

Der Werkstoff, aus dem die Modelle gefertigt werden sollen, soll wie bereits in den Anforderungen aufgelistet eine hohe Festigkeit, eine hohe Steifigkeit besitzen und belastbar sein. Außerdem soll der Werkstoff einfach zu bearbeiten und zu fügen sein. Außer den mechanischen Eigenschaften sind die Kosten und die Lieferzeit sehr wichtig. Die Modelle werden in der ZLW (Zentrale Laborwerkstatt) der HAW gefertigt. Um eine kostengünstige und geeignete Werkstoffauswahl zu treffen, wurde in der ZLW angefragt, ob und welche Kunststoffe vorrätig sind. Zur Auswahl standen Acryl und Polycarbonat.

Polycarbonat ist im Vergleich zu Acrylglas bruchsicherer und schlagzäher. Es ist praktisch unzerbrechlich. Acrylglas ist weniger kratzempfindlich und 5 % transparenter als Polycarbonat. Dadurch ist es auch optisch ein besserer Ersatz für Glas. Dafür ist Polycarbonat belastbarer. In der nachfolgenden Tabelle werden die Vor- und Nachteile bewertet: (Acrylshop24 2019)

Tabelle 6/ Vergleich von Polycarbonat und Acrylglas (Acrylshop24 2019)

	Acrylglas	Polycarbonat
Bruchfestigkeit / Hagelbeständigkeit	★ ★	★ ★ ★
Lichtdurchlässigkeit / Transparenz	★ ★ ★	★ ★
UV Stabilität	★ ★ ★	★ ★
Kratzbeständigkeit	★ ★ ★	★ ★
Stoßfestigkeit	★ ★	★ ★ ★
Gewicht	★ ★	★
Gebogene Anwendungen	nicht möglich	★ ★ ★
Temperaturbeständigkeit	bis ca. 70° C	bis ca. 120° C
Wärmedämmung	★ ★	★ ★ ★

Die mechanischen Eigenschaften sind für den Versuch zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit mehr von Bedeutung als die optischen Eigenschaften. Dadurch dass Polycarbonat bessere mechanische Eigenschaften für den Versuch aufweist als Acrylglas, ist die Werkstoffauswahl auf Polycarbonat gefallen.

Polycarbonat ist ein thermoplastisches Polymer. Es ist besonders druck- und stoßfest. Seine mechanischen Eigenschaften ändern sich bei Temperaturen zwischen - 40° C bis + 120° C nicht. Die hohe Flexibilität macht Polycarbonat interessant für Oberflächen mit komplexen Geometrien. Durch die elastische Verbindung lässt sich Polycarbonat sogar im kalten Zustand leicht biegen, ohne die Festigkeit zu verschlechtern. Polycarbonat hat eine lange Lebensdauer und seine Eigenschaften ändern sich mit der Zeit nicht. (Alplast 2021)

4.5.2 Chemischer Aufbau

Polycarbonate sind lineare, thermoplastische Polyester der Kohlensäure mit aliphatischen oder aromatischen Dihydroxy-Verbindungen (siehe Abb. 15):

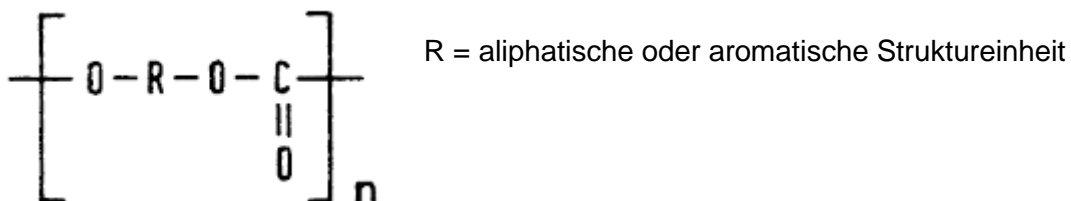


Abbildung 15/ Chemischer Aufbau von Polycarbonat (Elsner et al. 2012)

4.5.3 Herstellung

Die meisten technischen Kunststoffe aus Polycarbonat bestehen aus dem Hauptbestandteil Bisphenol A, das aus Phenol und Aceton hergestellt wird. Es gibt drei Möglichkeiten Polycarbonat herzustellen. Ein großer Teil des Polycarbonats wird nach dem Phasengrenzflächenverfahren hergestellt. Dabei wird es aus Bisphenol A durch Lösen in wässriger Natronlauge und Einleiten von Phosgen hergestellt. Die zweite Möglichkeit ist das Bisphenol A durch Umesterung mit Diphenylcarbonat unter Phenolabspaltung bei hohen Temperaturen in der Schmelze herzustellen. Die dritte Möglichkeit ist durch Lösen in Pyridin und Umsetzen mit Phosgen bei 30 °C.

4.5.4 Allgemeine Stoffbeschreibung

Zwischen der großen Auswahl an Polycarbonaten ist der wichtigste Vertreter das Bisphenol A-Polycarbonat. Es besitzt sehr anwendungstechnisch wertvolle Eigenschaften.

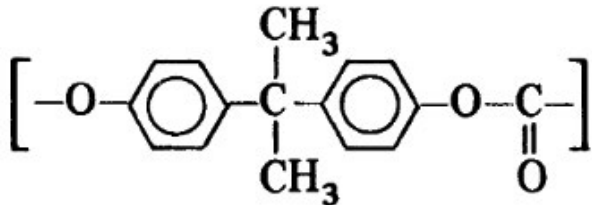


Abbildung 16/ Polycarbonat (Elsner et al. 2012)

In der nachfolgenden Tabelle sind die mechanischen Eigenschaften von Polycarbonat aufgelistet:

Tabelle 7/ mechanische Eigenschaften Polycarbonat (AKKUT Kunststoffe)

Mechanische Eigenschaften	Wert	Dichte
Dichte (spezifisches Gewicht)	1.2	g/cm ³
E-Modul	2300	N/mm ²
Schlagzähigkeit nach Charpy	30	kJ/m ²
Min. zulässiger Kaltbiegeradius	150 x Dicke	Mm
Kugeldruckhärte	130	N/mm ²

Polycarbonat hat folgende Eigenschaften:

- Hohe Transparenz
- Hohe Steifigkeit
- Hohe Festigkeit
- Hohes Kriechmodul
- Ausgezeichnete Schlagzähigkeit
- Hohe Wärmeformbeständigkeit

4.6 Fügeverfahren

Die Einzelbauteile werden nach der Fertigung zusammengefügt. Polycarbonat lässt sich kleben oder schweißen. Das Schweißen benötigt an Erfahrung und bestimmte Geräte zum Fügen der Bauteile. Das Kleben dagegen ist kostengünstiger und kann einfacher durchgeführt werden, man braucht

keinen Fachmann zum Fügen der Bauteile. Aus diesen Gründen werden die Einzelbauteile miteinander verklebt.

Klebung:

Aufgrund der Kombination verschiedener Leichtbauwerkstoffe und Geometrien ist das Kleben als Fügeverfahren besonders geeignet. Kleben wird durch das Zusammenspiel verschiedener Kräfte möglich. Besonders durch die Adhäsions- und Kohäsionskräfte (siehe Abb. 17). Kohäsion beschreibt die Festigkeit der inneren Kräfte eines Stoffes. Adhäsion bezeichnet die Bindungskraft zweier verschiedener Stoffe. Beim Kleben ist es die Bindungskraft zwischen Bauteil und Klebstoff. (Prof. Dr.-Ing. Tim Jüntgen)

Die kontinuierliche kraftschlüssige Verbindung der Einzelbauteile miteinander wird durch Kleben hergestellt. (Dr. Wolfgang Fleischmann juni/2010)



Abbildung 17/ Adhäsions- und Kohäsionskräfte einer Klebeverbindung (Dr. Wolfgang Fleischmann juni/2010)

4.6.1 Vorteile von Kleben

- Kombination von verschiedenen Werkstoffen
- keine Materialverletzung (Löcher)
- gleichmäßige Spannungsverteilung
- sehr gute Dauerschwingfestigkeit
- Fügezeugeigenschaften können optimal ausgenutzt werden
- Keine Bohrungen
- Hohe dynamische Festigkeit
- Keine Korrosion

4.6.2 Festigkeit einer Klebung

Die Festigkeit von Kleben ist abhängig von folgenden Parametern:

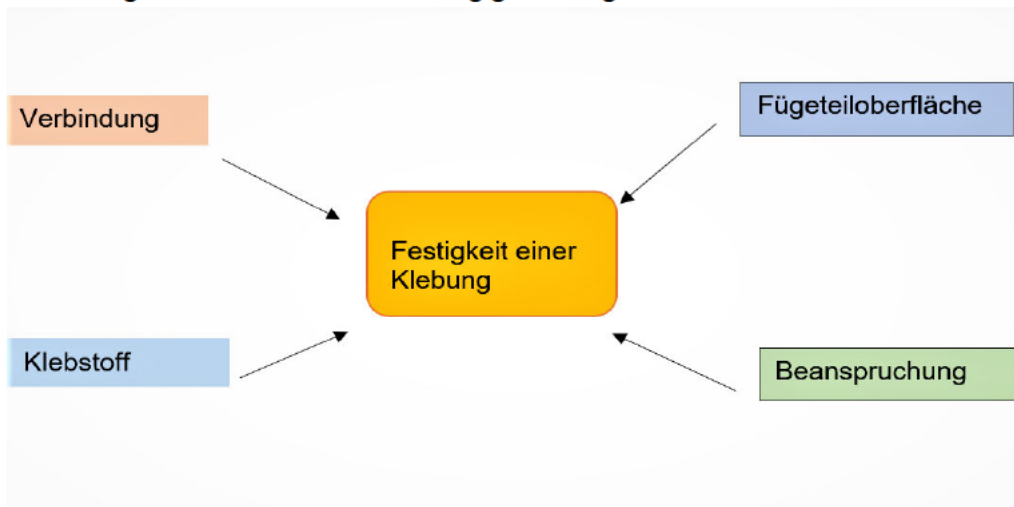


Abbildung 18/ Festigkeit einer Klebeverbindung in Abhängigkeit von bestimmten Parametern (Dr. Wolfgang Fleischmann)

4.6.3 Klebgerechte Gestaltung

Aufgrund der viel geringeren Festigkeit von Klebstoffen im Vergleich zu anderen Stoffen wie z.B. Stahlwerkstoffen, müssen Klebstoffverbindungen geometrisch so gestaltet werden, dass diese Festigkeitsnachteile durch die Klebefläche ausgeglichen werden.

4.6.4 Oberflächenbehandlung

Um eine optimale Qualität der Verklebung zu erreichen, muss die Oberfläche definiert behandelt werden. (Dr. Wolfgang Fleischmann juni/2010)

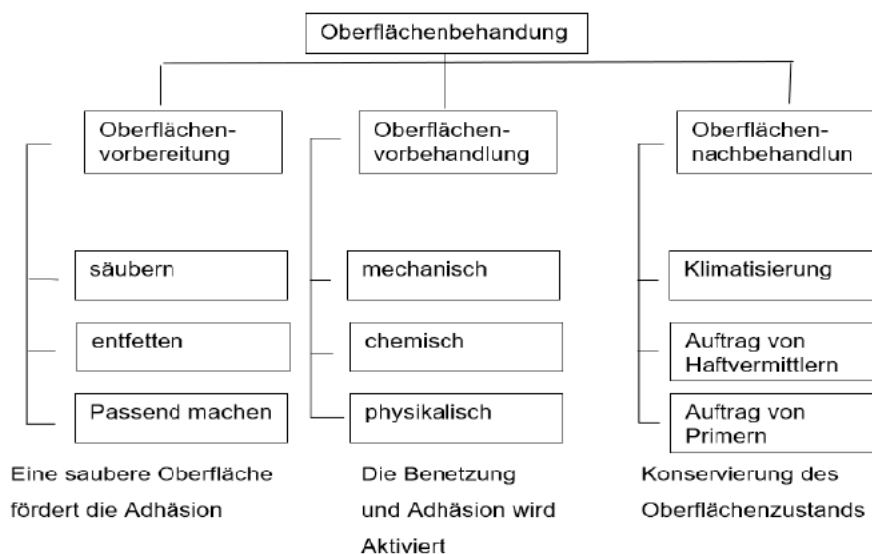


Abbildung 19/ Oberflächenbehandlung einer Klebeverbindung (Dr. Wolfgang Fleischmann juni/2010)

4.6.5 Wahl der Klebstoffart

Die Einzelbauteile werden mit dem Klebstoff Acrifix R 0192 zusammen gefügt. Es ist ein 1-Komponenten Polymerisationsklebstoff. Der Klebstoff hat eine klare, viskose Lösung, die durch Lichteinfluss polymerisiert. Der Klebstoff eignet sich für farblose Kunststoffe wie z. B. Acrylglas, Polycarbonat, Polystyrol oder Celluloseacetatbutyrat. (Evonik Performance Materials GmbH August / 2015)

4.7 Lösungsansätze für Prüfstand

Der bereits bestehende Prüfstand im Mechanik-Labor am Department Flugzeugbau und Fahrzeugtechnik erfüllt fast alle Anforderungen für die Erprobung der Nutzfahrzeugkarosseriemodelle. Die einzige Komponente an dem Prüfstand, die angepasst werden muss, ist das Verbindungselement zwischen den Modellen und der Gewindestange (siehe Abb. 20). Das Verbindungselement ist von den Abmessungen zu klein, um die Nutzfahrzeugkarosseriemodelle an den jeweiligen Aufnahmen darin zu lagern. Der bestehende Gabelkopf ist von der Abmessung b_1 , wie in Abb. 21

zu sehen ist, zu schmal. Um die Nutzfahrzeugkarosseriemodelle problemlos in dem Verbindungselement lagern zu können, muss b_1 mindestens 18 mm betragen. Das Verbindungselement muss ein M8 Gewinde besitzen, damit es mit der Gewindestange verschraubt werden kann.



Abbildung 20/ Gabelkopf als Verbindungselement

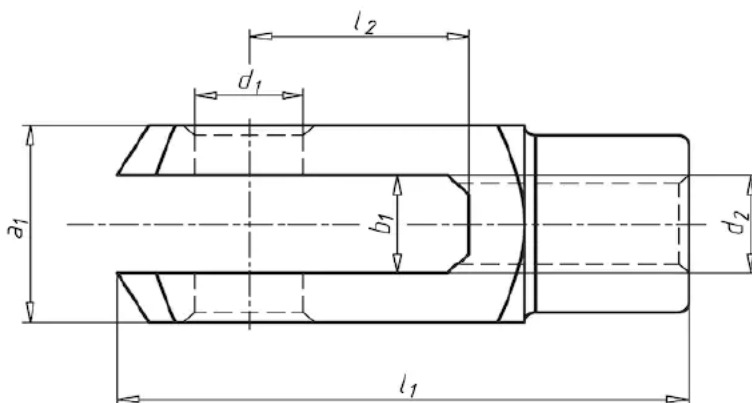


Abbildung 21/ Gabelkopf (Adolf Würth GmbH & Co. KG)

5. Konstruktion

Die Konstruktion der Nutzfahrzeugkarosseriemodelle erfolgt mit dem CAD (Computer Aided Design)-Programm Siemens NX. Wie in der Aufgabenstellung gefordert ist, bestehen die Modelle aus demselben Grundfahrzeug.

Grundsätzlich besteht die Karosserie der Nutzfahrzeuge aus dem Fahrgestellrahmen (1), dem Fahrerhaus (2) und dem Aufbau. Auf dem Fahrgestellrahmen sind das Fahrerhaus und der Aufbau angebracht. Durch die Trennung der drei Komponenten ist eine Vielzahl an Varianten erst möglich (siehe Abb. 22).

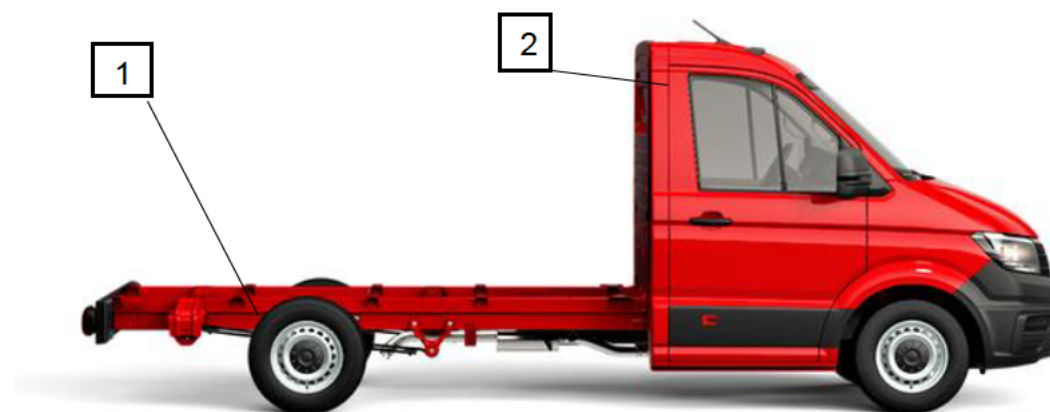


Abbildung 22/ Fahrgestell eines Nutzfahrzeugs (Volkswagen AG)

Das Grundfahrzeug der beiden Modelle besteht aus dem gleichen Fahrgestellrahmen und dem Fahrerhaus. Lediglich der Aufbau ist verschieden. Viele Aufbaubetriebe können die Fahrgestelle als Basis nutzen und haben die Möglichkeit ihre Aufbauten je nach Nutzen und Kundenanforderung frei zu gestalten. Dies entspricht der Plattformstrategie, die auf Henry Ford zurückgeht. Die Idee hinter der Plattformstrategie ist einfach, anstatt für jedes Modell eigene Komponenten zu nutzen, werden gleiche Grundkomponenten und Systeme für viele verschiedene Modelle benutzt. (Hoepke und Breuer 2016)

Die Konstruktion der Versuchsmodelle erfolgt nach dem simple structural surface-method (sss-method). Die sss-method ermöglicht es, die Belastungsarten, die auf die einzelnen Strukturelemente wirken, zu kennen. Ein Hauptmerkmal der Methode ist, den kontinuierlichen Lastpfad durch die ganze Struktur sicherzustellen. Ein mit der sss-method erstellte Struktur entspricht nicht exakt einer realen Struktur (Brown et al. 2002, 3). Abbildung 23 zeigt eine Möglichkeit, einen Transporter mit der sss-method darzustellen. Die Längsträger (1) (2), die Querträger (3) (4) und die Seitenwände (5) (6) nehmen in diesem Model die Biegekräfte auf. Die Seitenwände (5) (6), das Dach (7), das Fahrerhaus (8), sowie, das Heck (9) und die Bodenplatte (10) nehmen Torsionskräfte auf.

Die Konstruktion der Versuchsmodelle unterscheidet sich von der Darstellung des Transporters mit der sss-method in Abb. 23 nur darin, dass die Fahrerhaus-Seitenwand und Seitenwand-Aufbau getrennt konstruiert sind. Dadurch war es möglich zwei unterschiedliche Nutzfahrzeugkarosserien, Kastenwagen und Pritsche, desselben Grundfahrzeugs mit wenig Aufwand zu konstruieren und zu fertigen.

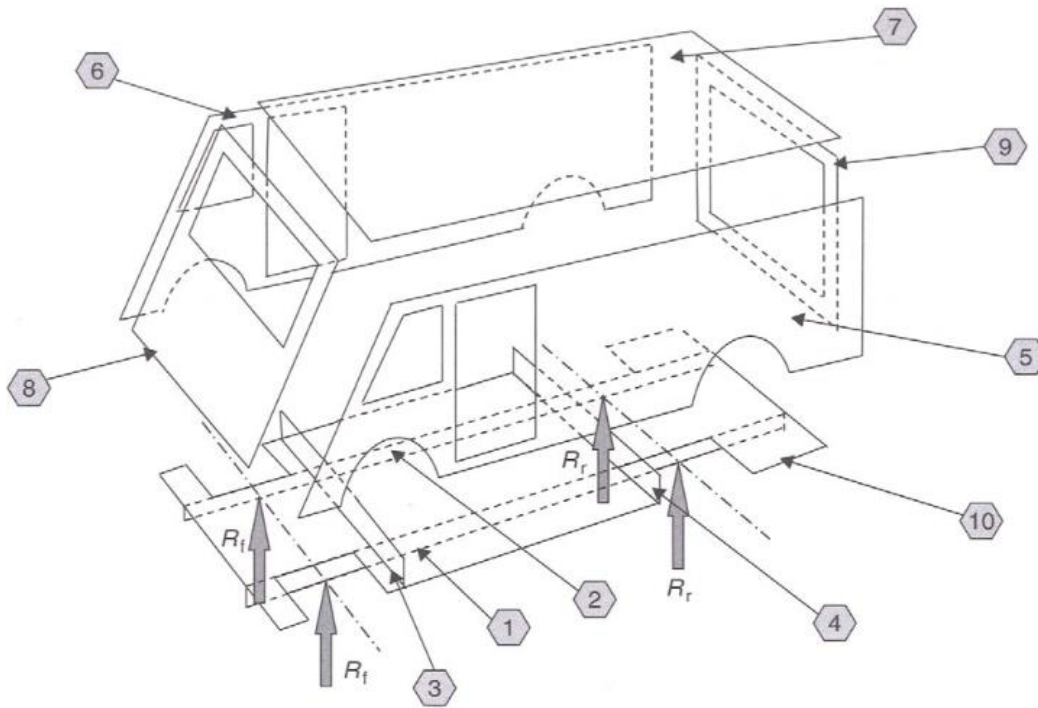


Abbildung 23/ Darstellung eines Transporter mithilfe der sss-method (Brown et al. 2002)

Fahrgestellrahmen:

Jedes Nutzfahrzeug benötigt ein eigenes Tragsystem, welches eine Befestigungsmöglichkeit für Fahrerhaus, Aufbau und Fahrwerk bietet.

Grundsätzlich kann man drei Typen von Tragsystemen unterscheiden:

- Der Fahrgestellrahmen ist volltragend
- Der Fahrgestellrahmen und der Aufbau tragen anteilig (mittragend).
- Der Aufbau ist selbsttragend und übernimmt alle auftretenden Kräfte.

Fahrgestellrahmen sind Leiterrahmen, die aus zwei Längsträger und mehreren Querträgern gefertigt werden. Es ist eine Vielfalt an verschiedenen Typen möglich, da der Aufbau unabhängig vom Rahmen gestaltet und gefertigt werden kann. Der Leiterrahmen kann hohe Lasten aufnehmen, hat den Nachteil, dass er ein hohes Eigengewicht hat. Fahrgestellrahmen können torsionsweich oder torsionshart ausgelegt werden. In beiden Fällen ist die Tragstruktur biegesteif. Bei torsionsweichen

Fahrgestellrahmen bestehen die Längs-, und Querträger aus offenen Profilen (U, I, Hut). Diese Profile haben ein relativ kleines Torsionsträgheitsmoment. Dadurch übernehmen diese Rahmen einen Teil der Federung. Bei Straßenunebenheiten sorgt der torsionsweiche Rahmen dafür, dass die Räder nicht von der Fahrbahn abheben und den Kontakt zur Straße beibehalten. (Hoepke und Breuer 2016)

Es gibt grundsätzliche Gestaltungsregeln für die Konstruktion von Leiterrahmen:

- Die Abstände der Querträger und die Verdrehsteifigkeit sollte möglichst gleich sein, damit erzeugt man eine konstante Torsionssteifigkeit über die ganze Länge.
- Querschnittsübergänge sollten nicht sprunghaft sein, um Spannungsspitzen zu vermeiden.
- Die Wirkungslinie der Last sollte möglichst durch den Schubmittelpunkt des Längsträgerprofils gehen. Die Lasteinleitung sollte nicht sprunghaft, sondern allmählich eingeleitet werden.
- Der Rahmen darf an Stellen mit hoher Beanspruchung nicht durch falsche Anordnung von Bohrungen geschwächt werden. Deren Kerbspannungen wirkt sich negativ auf die Dauerfestigkeit der eingesetzten Werkstoffe aus.

5.1 CAD-Konstruktion Kastenwagen

Der Kastenwagen besteht oberhalb des Fahrgestells aus dem Fahrerhaus und dem Aufbau. Für die Gesamtkonstruktion des Fahrerhauses und dem Aufbau werden folgende Einzelbauteile konstruiert (siehe Abb.24):

- Fahrerhaus Seitenwand
- Dach
- Armaturenbrett
- Seitenwand-Aufbau
- Fahrerhaus-Front
- Fahrerhaus-Rückwand
- Bodenplatte

Das Fahrgestell wird aus folgenden Einzelbauteilen konstruiert (siehe Abb.25):

- Längsträger
- Querträger

Außerdem werden Aufnahmen, für die Befestigung der Versuchsmodelle am Prüfstand, konstruiert. Die Aufnahme-Zwischenteile dienen der Steifigkeit und der Festigkeit der Aufnahmen bei der Belastung der Versuchsmodelle während der Versuchsdurchführung.

Bei den Abmessungen der beiden Versuchsmodelle habe ich mich annähernd an die Maße der bereits bestehenden Personenkraftwagenkarosseriemodelle im Mechanik-Labor und den Abmessungen des Prüfstands gehalten. Die Versuchsmodelle haben eine Länge von 750 mm, eine Breite von 296 mm und eine Höhe von 255 mm. Bei der Wahl der Bauteildicke bzw. der Materialdicke wurde, in Absprache mit der zentralen Laborwerkstatt der HAW, Standardstärken für Polycarbonat verwendet. Um eine kostengünstige und schnelle Fertigung der Bauteile zu gewährleisten, werden die Bauteile mit Stärken von 4 mm und 8 mm, die in der zentralen Laborwerkstatt vorrätig sind, konstruiert und gefertigt.

Um die Versuchsmodelle so realistisch wie möglich zu fertigen werden crashrelevante Bauteile sowie tragende Bauteile mit 8 mm Dicke gefertigt.

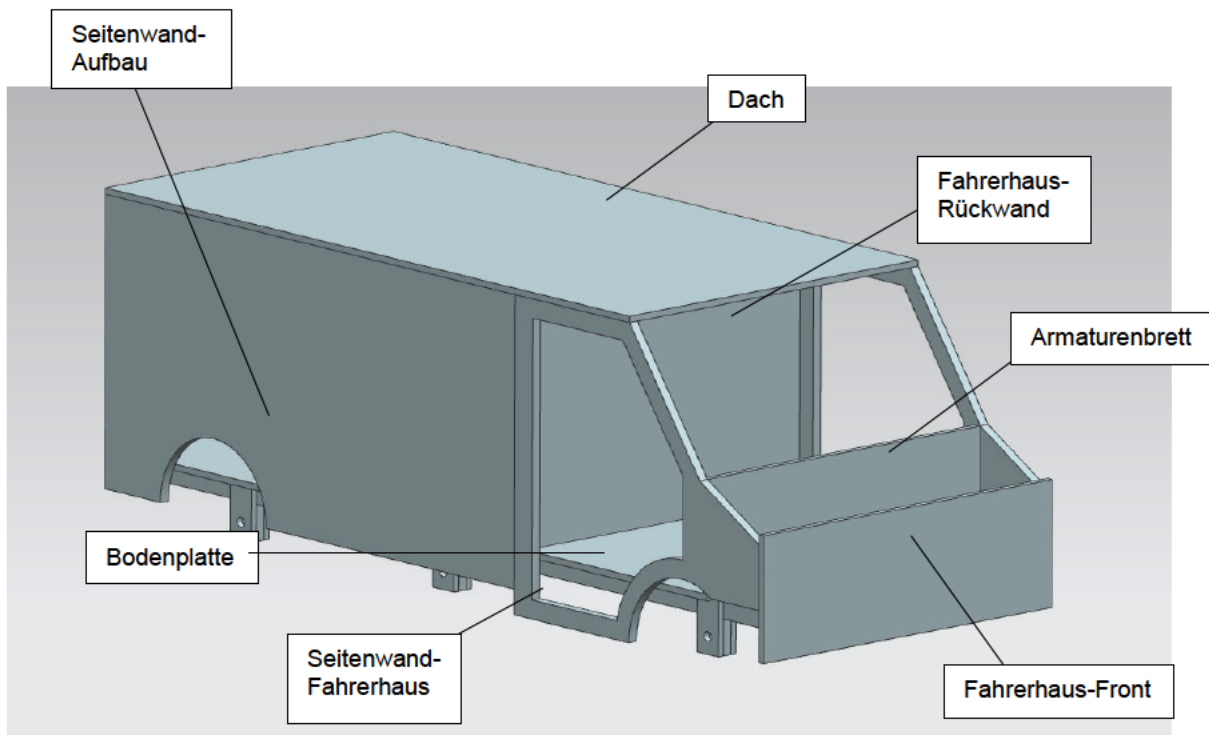


Abbildung 24/ CAD-Konstruktion der Bauteile oberhalb des Fahrgestells des Kastenwagens

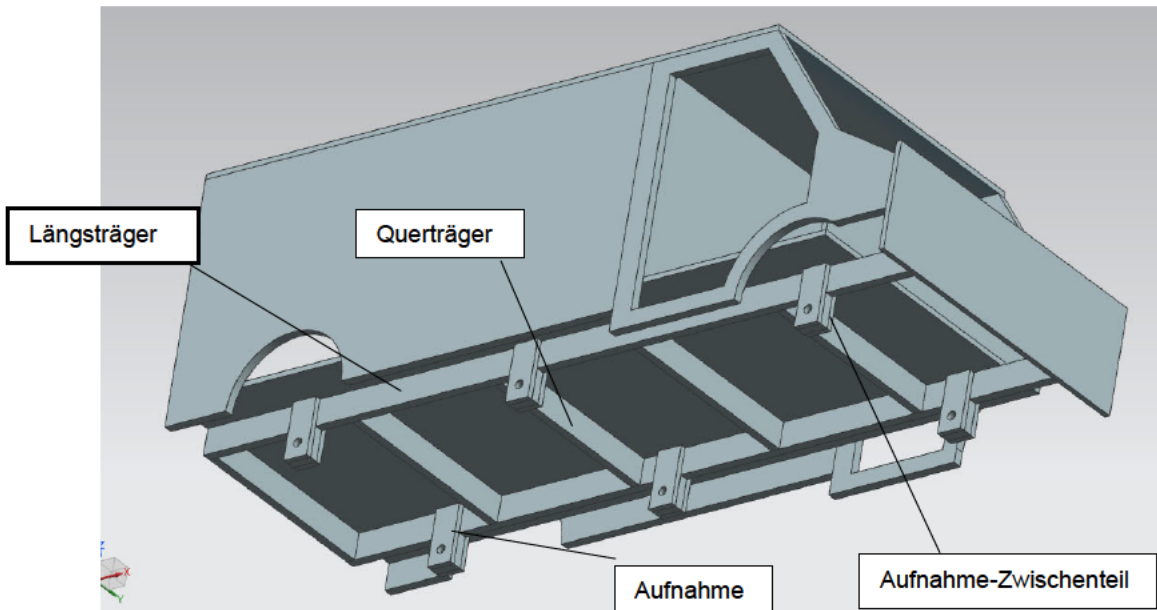


Abbildung 25/ Cad-Konstruktion der Bodengruppe und des Leiterrahmens des Kastenwagens

Der Leiterraum besteht, wie in Abb. 25 zu sehen ist, aus zwei Längsträgern und mehreren Querträgern. Zunächst werden Einzelbauteile von Längsträger und Querträger konstruiert. Bei der Bestimmung der Abmessungen habe ich mich an den Längsträger der bereits bestehenden Kunststoffmodellen für PKW-Karosserien gehalten. Da es sich um Versuchsmodelle handelt, ist die Konstruktion sehr einfach gehalten. Bei der Konstruktion wird trotzdem darauf geachtet, dass die Bauteile so realitätsnah wie möglich zu gestalten.

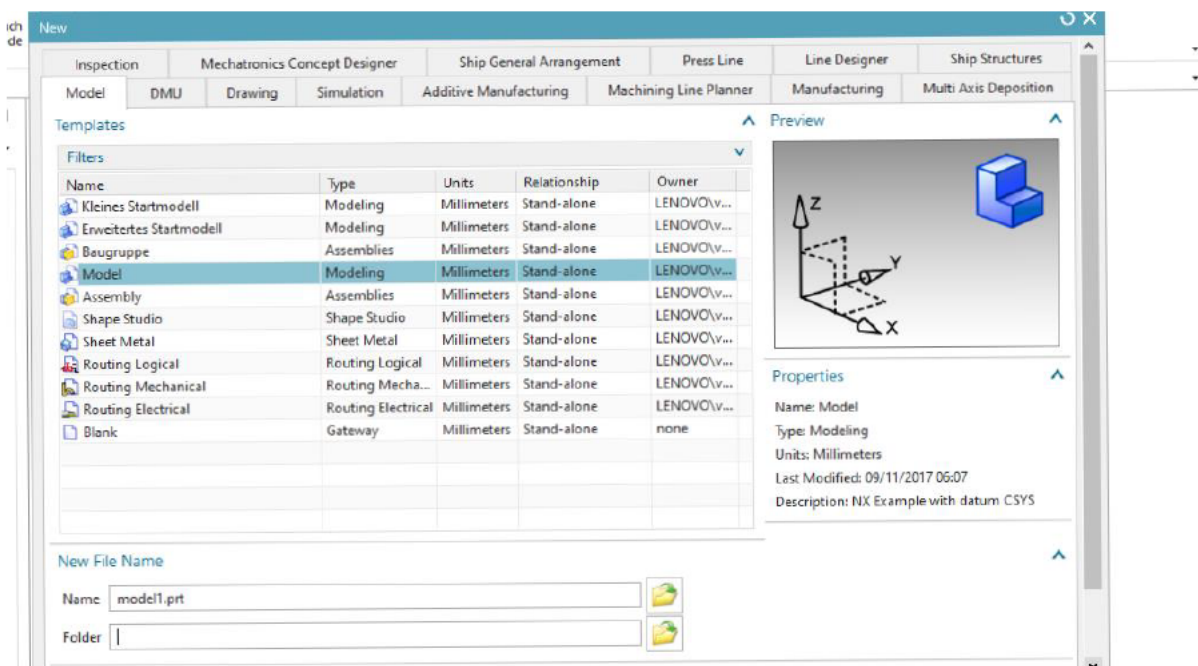


Abbildung 26/ Einzelbauteilzeichnung werden unter anderem als Model erstellt

5.1.1 CAD- Konstruktion Leiterrahmen

Für die Konstruktion des Leiterrahmens benötigt man, wie bereits erwähnt, Längsträger und Querträger.

Längsträger:

Zunächst wird ein Sketch mit dem Profil des Längsträgers erzeugt (siehe Abb.27). Ein Sketch ist das englische Wort für Skizze. Es wird eine 2D Skizze erstellt, um das gewünschte Profil des Längsträgers zu erstellen.

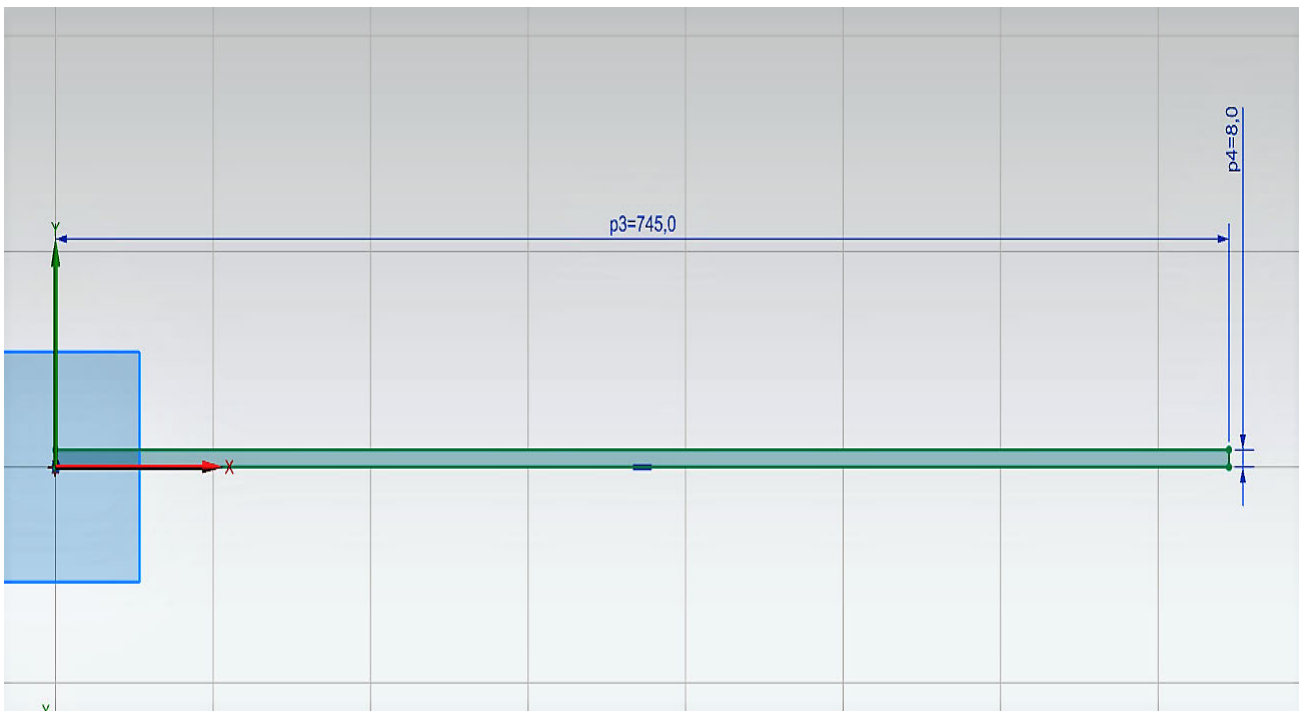


Abbildung 27/ Profil des Längsträgers

Mit dem Befehl Extrude lassen sich Bauteile beliebig in die Länge ziehen. Man hat auch die Möglichkeit, eine bestimmte Länge einzugeben. Das Profil des Längsträgers wird nun in gewünschte Länge erzeugt (siehe Abb. 28).

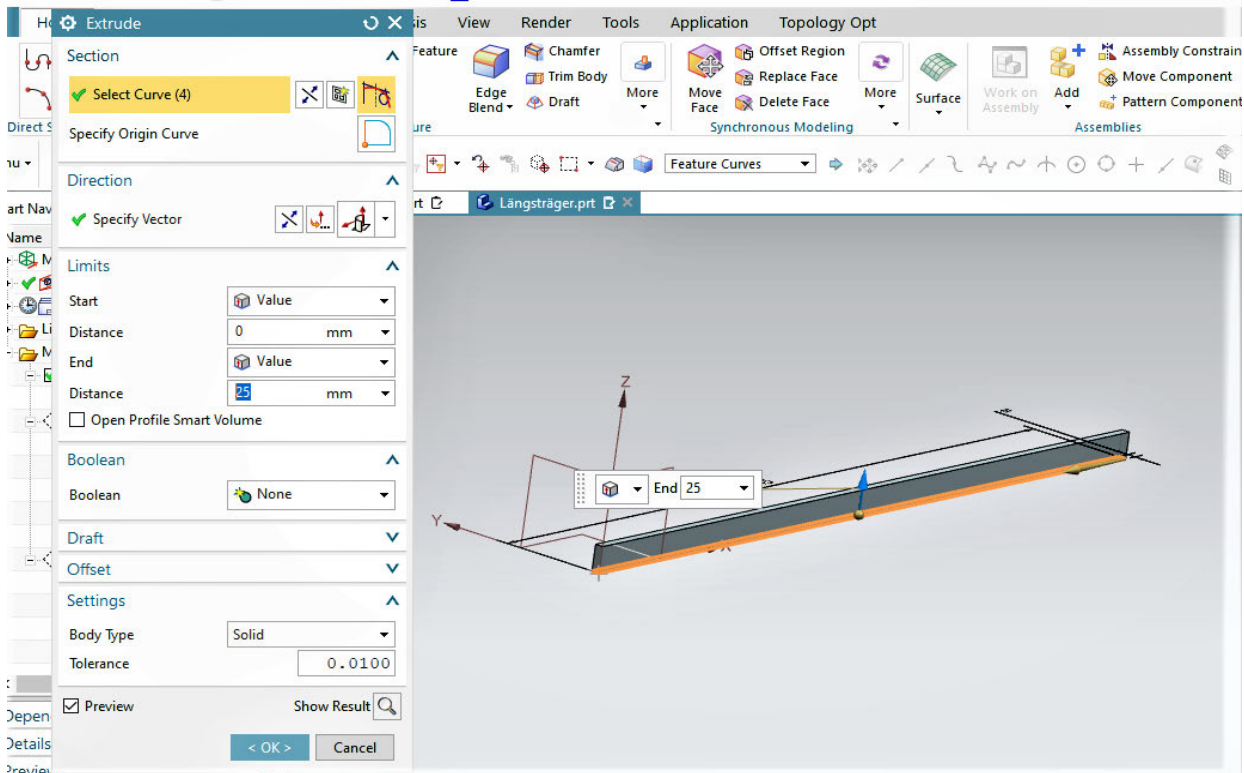


Abbildung 28/ Das Profil wird in gewünschte Länge gezogen

Querträger:

Der Querträger wird auf die gleiche Art und Weise wie der Längsträger konstruiert.

Zusammenfügen von Längs-, und Querträger:

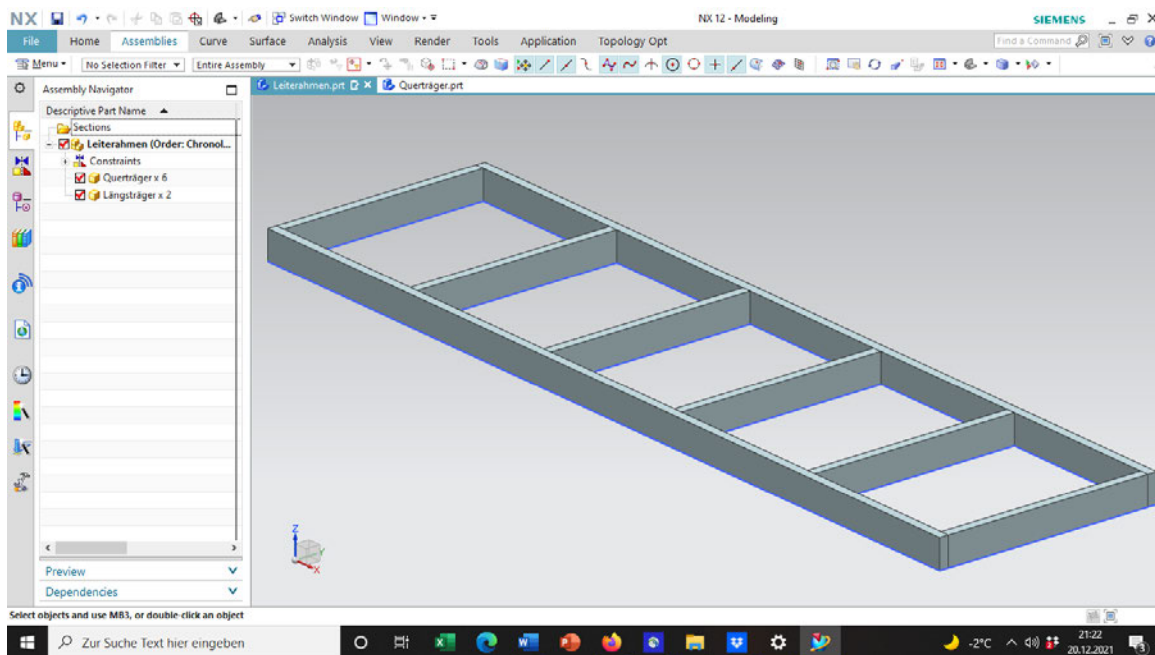


Abbildung 29/ Zusammenfügen von Längsträger und Querträger

Nach der Konstruktion von Längs-, und Querträger, werden die Teile zu einer Baugruppe zusammengefügt. Die Querträger haben den gleichen Abstand zueinander, um eine konstante Torsionssteifigkeit über die ganze Länge des Leiterraumens zu ermöglichen.

5.1.2 Fahrerhaus:

Das Fahrerhaus besteht aus den Seitenwänden, dem Dach, der Bodenplatte, der Stirnwand, der Fahrerhaus-Front und dem Fahrerhaus-Hinterteil.

Seitenwand:

Für die Konstruktion der Seitenwand wird zuerst ein Sketch erstellt und mit den gewünschten Abmessungen versehen (siehe Abb. 30).

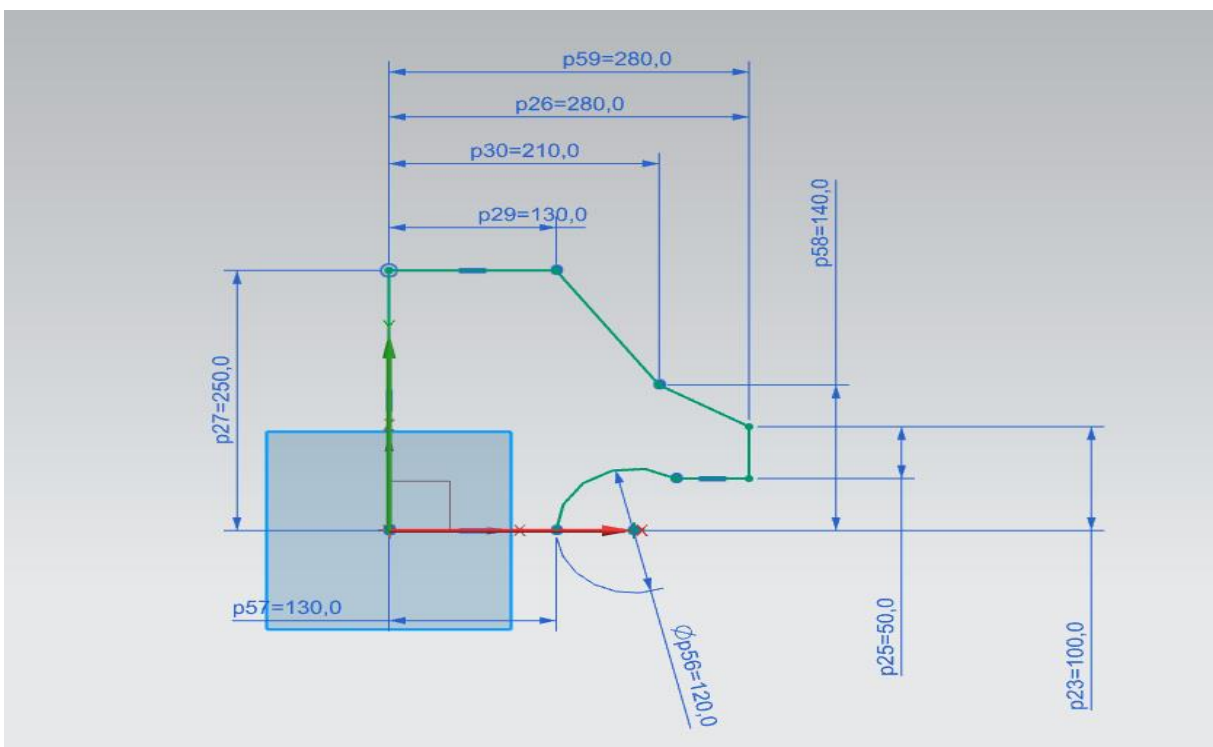


Abbildung 30/ Sketch (Skizze) Seitenwand

Anschließend wird mit dem Befehl Fill Surface aus dem Sketch eine Fläche erzeugt (siehe Abb. 31).

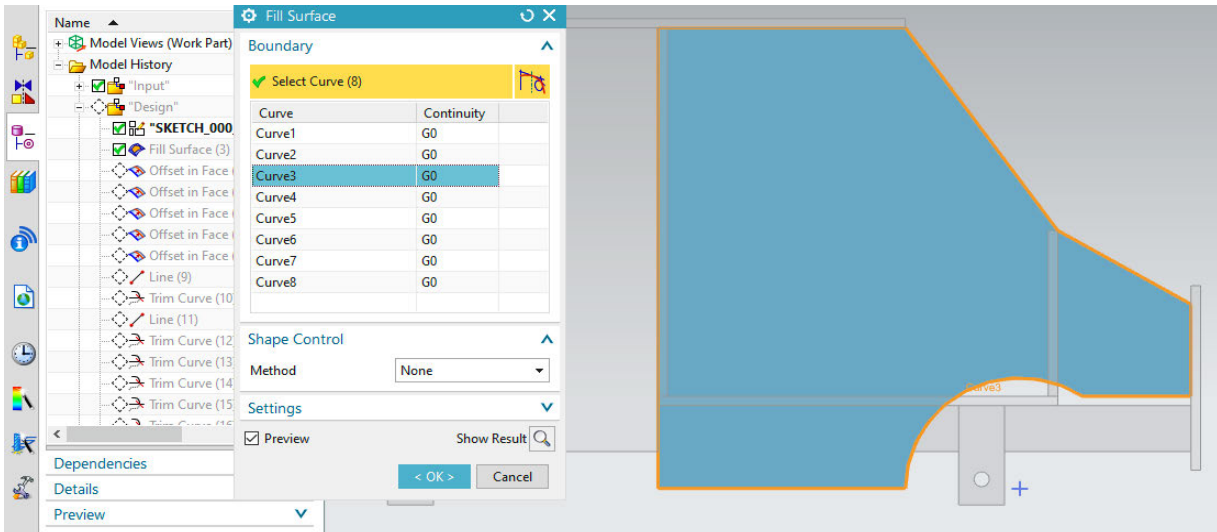


Abbildung 31/ Erzeugung der Fläche für die Seitenwände

Da die Seitenwände des Fahrerhauses keine geschlossene Flächen darstellen soll, werden die Linien der Außenkonturen der Seitenwand auf der Fläche verschoben und miteinander verschnitten. Diese miteinander verschnittenen Linien bilden eine innere Kontur mit einer eingeschlossenen Fläche und werden mit dem Befehl Trim Sheet mit der zuerst erzeugten Fläche verschnitten und anschließend mit einer Dicke von 8 mm versehen. (siehe Abb. 32).

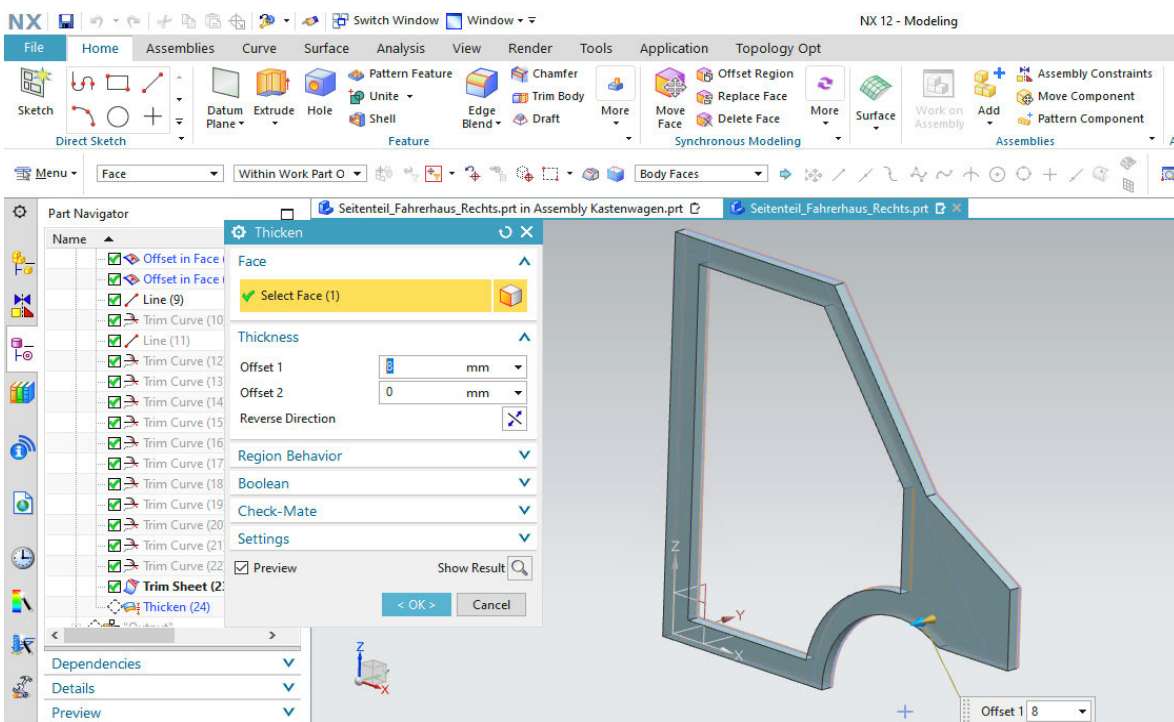


Abbildung 32/ Fahrerhaus-Seitenwand fertig konstruiert

Dach:

Das Dach ist eine ebene Fläche, die vom Fahrerhaus bis zum Ende des Aufbaus als ein Bauteil konstruiert wird. Der Grund für diese Herangehensweise ist, dass die Konstruktion und das Fügen der Bauteile so einfach wie möglich sein soll. Dafür wird zuerst ein Sketch erzeugt, mit den gewünschten Abmessungen. Anschließend wird mithilfe des Sketches eine Fläche erzeugt und diese auf gewünschte Bauteildicke gebracht.

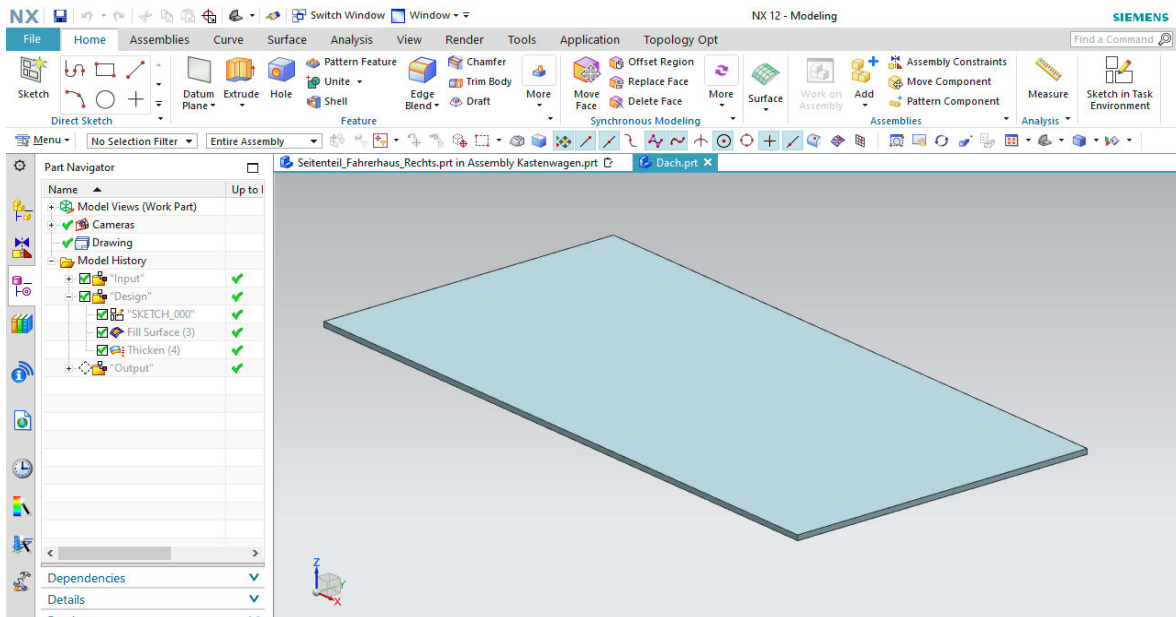


Abbildung 33/ Dach

Bodengruppe, Fahrerhaus-Front, Fahrerhaus-Rückwand und Armaturenbrett:

Bei der Konstruktion von Bodengruppe, Fahrerhaus-Front, Fahrerhaus-Rückwand und Armaturenbrett ist die Vorgehensweise genauso wie die des Daches.

Zusammenfügen der Einzelbauteile zu einem Kastenwagen

Zum Abschluss werden Leiterraum, Fahrerhaus und Aufbau zusammengefügt. Mit dem Befehl Add Component werden die Einzelbauteile aus dem gespeicherten Ordner der Baugruppe hinzugefügt (siehe Abb. 34).

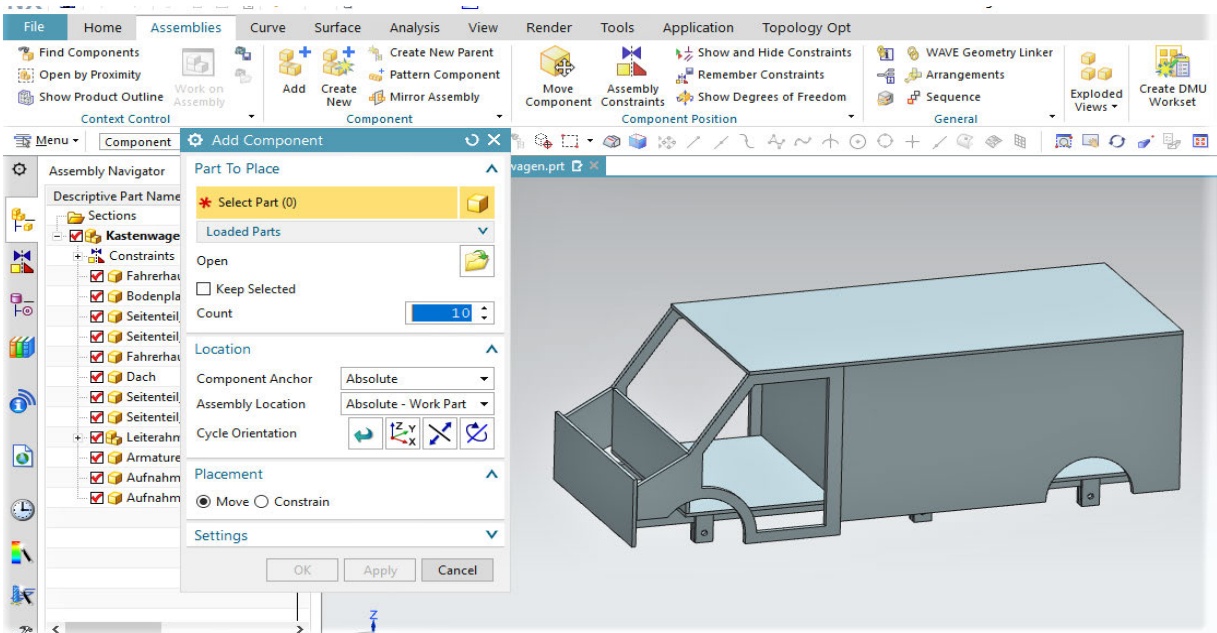


Abbildung 34/ Zusammenfügen der Einzelbauteile

Nachdem die Einzelbauteile eingefügt sind, werden sie mit dem Befehl Move Component und Assembly Constraint (siehe Abb. 35) in die richtige Position gebracht.

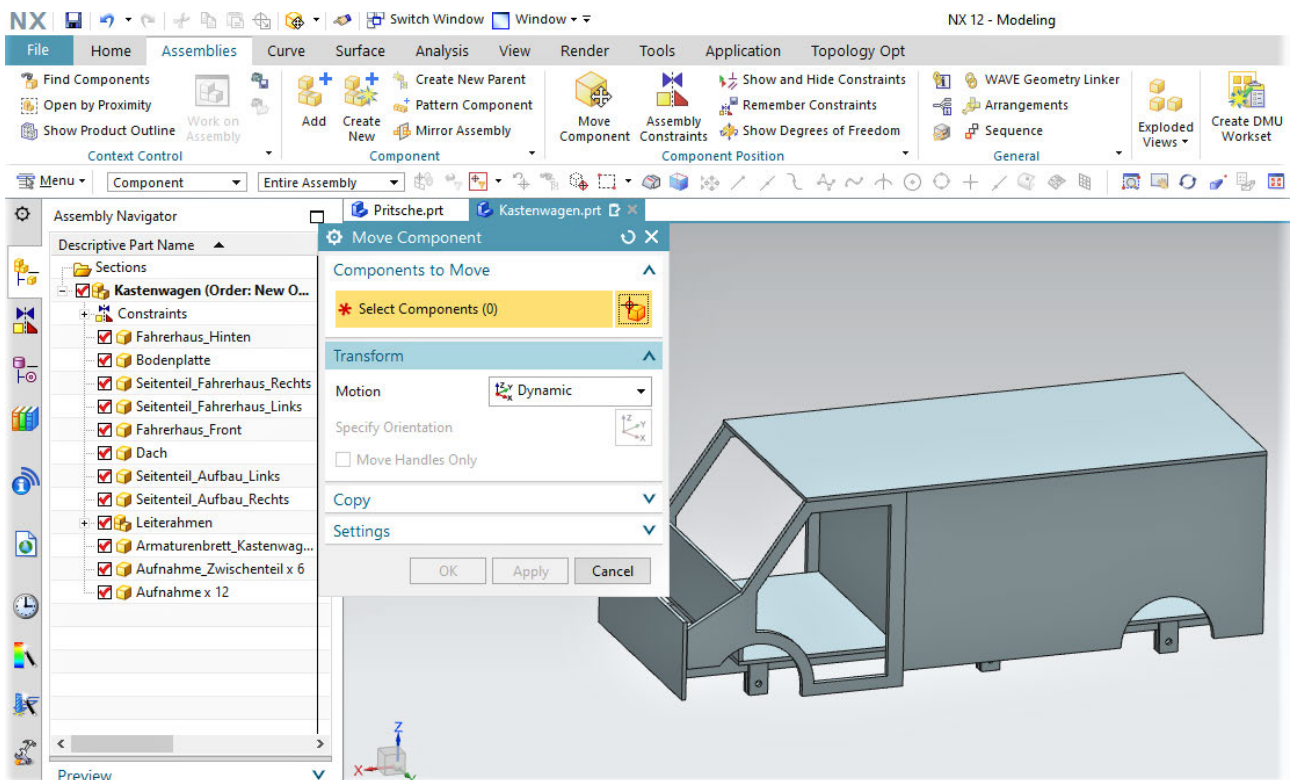


Abbildung 35/ Positionierung der Einzelbauteile

5.2 CAD-Konstruktion Pritschenwagen

Der Pritschenwagen besitzt wie bereits erwähnt dasselbe Grundfahrzeug. Der große Unterschied zum Kastenwagen ist der offene Aufbau. Für den Aufbau des Pritschenwagen wurden folgende Einzelbauteile gefertigt (siehe Abb. 36).

- (1) Grundfahrzeug (bestehend aus Fahrgestell und Fahrerhaus)
- (2) Seitenteil_Links_Aufbau
- (3) Seitenteil_Rechts_Aufbau
- (4) Aufbau_Hinterteil

Für die Seitenteile und dem Heck wurde wieder ein Sketch erstellt. Aus der Geometrie wurde eine Fläche erzeugt und aufgedickt.

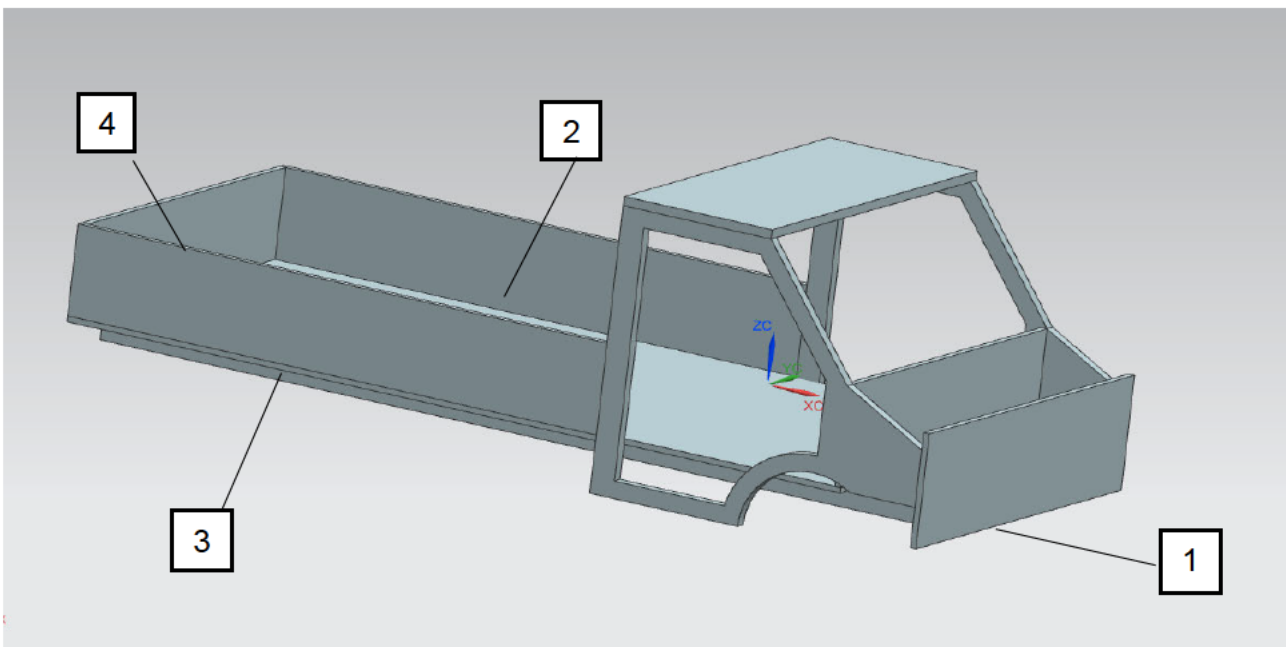


Abbildung 36/ Pritschenwagen

6. Fertigung

6.1 Fertigung der Karosseriemodelle

Für die Fertigung der Einzelbauteile ist der ZLW der HAW-Hamburg zuständig. Die ZLW ist eine technische Einrichtung der Fakultät Technik und Informatik. Die ZLW fertigt Einzelteile oder baut Prototypen für Versuchsstände oder Proben für Laborversuche. Außerdem werden komplexe Funktionsbauteile aus verschiedenen Werkstoffen für Entwicklung, Forschung und Lehre gefertigt.

Nach der Konstruktion der Einzelbauteile wird eine Stückliste angefertigt und zusammen mit den benötigten Einzelbauteilzeichnungen an die ZLW übermittelt.

Die Einzelbauteile werden mit einem Wasserstrahlschneider gefertigt. Wasserstrahlschneiden wird für das Trennen von Werkstoffen genutzt. Es gehört nicht zu den thermischen Trennverfahren. Obwohl Wasserstrahlschneiden mit höheren Kosten verbunden ist als die thermischen Trennverfahren, ist es eine effektive Alternative. Besonders die große Materialvielfalt, die hervorragende Schnittqualität und die Rechtwinkligkeit ist besser als alle anderen Trennverfahren. Bei dem Verfahren wird ein Wasserstrahl mit einem Druck von bis zu 4000 bar erzeugt, dieser Druck wird in kinetische Energie umgewandelt. Eine Saphir- oder Diamantdüse wandelt den Druck in einen Wasserstrahl mit einer Austrittsgeschwindigkeit von bis 1000 m/s um. Die im Strahl enthaltene kinetische Energie wird dabei beim Kontakt mit der Werkstoffoberfläche in potentielle Energie umgewandelt und erzeugt dadurch eine Beanspruchung. Die dabei auftretenden Spannungen im Werkstoff erzeugen elastische bzw. plastische Verformungen, die zu einer Zerstörung der Werkstoffoberfläche führen.

Man unterscheidet zwei Verfahren, dem Purwasserschneiden und dem Abrasivschneiden. Beim Purwasserschneiden besteht das Wasser aus reinem Wasser. Reines Wasser wird benutzt beim Trennen von weichen Werkstoffen wie Textilien, Elastomere, Faserstoffe, Kunststoffe, Lebensmittel oder Papier.

Beim Abrasivschneiden werden harte Werkstoffe wie Keramik, Metall, Hartgestein oder Panzerglas geschnitten. Ein Abrasivmedium wird in einer Mischkammer dem Wasser zugefügt und zur Fokussierdüse geführt (siehe Abb. 37). Das Verfahren eignet sich für Bauteile mit hoher Stärke und verschiedenen Werkstoffen. (Fahrenwaldt et al. 2014)

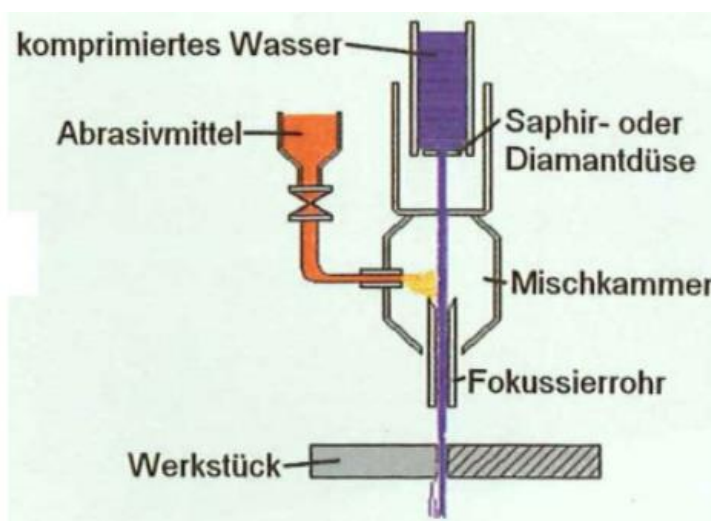


Abbildung 37/Prinzip des Abrasivverfahrens (Fahrenwaldt et al. 2014)

Das Wasserstrahlschneiden bietet folgende Vorteile: (Fritz und Schulze 2015)

- Ermöglicht durch einen feinen Wasserstrahl filigrane und komplizierte Geometrien und einer guten Schnittqualität.
- Schnitt kann an beliebiger Stelle des Werkstoffs beginnen
- Gratfreie Schnittflächen möglich
- Keine Verletzung der Werkstoffoberfläche
- Wasserstrahl kann sich beim Schneiden nicht einklemmen
- Es lassen sich Werkstoffe trennen, die mit keinem anderen Verfahren zu trennen sind
- Umweltverträglichkeit wird gesichert, da die Luft nicht mit Staub oder Späne verschmutzt wird.

Grundsätzlich kann man alle Flüssigkeiten nutzen. Wasser wird benutzt, da es in großen Mengen vorhanden ist und weil es kostengünstig ist. Das Wasserstrahlschneiden eignet sich bei komplexe Strukturen mit dickwandigen Werkstoffen. Es schneidet dicke Werkstoffe schneller als alle bisher bekannten Trennverfahren. Das Verfahren erzeugt keinen Staub oder toxische Rückstände.

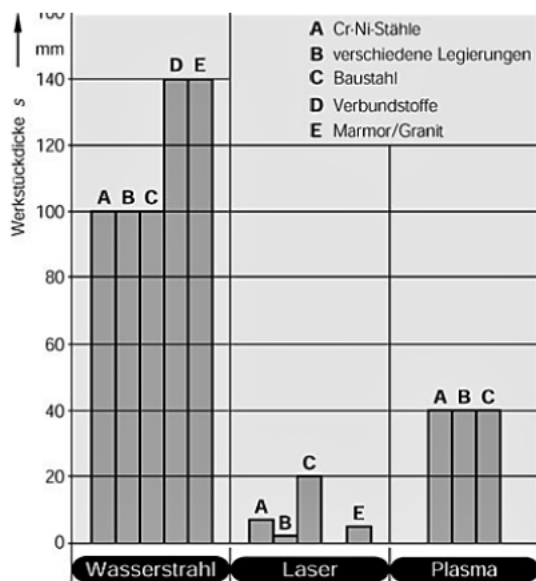


Abbildung 38/ Trennverfahren in Vergleich (Fritz und Schulze 2015)

Abbildung 38 zeigt die trennbaren Werkstoffstärken mit dem Einsatz von Wasserstrahlschneidemaschinen und anderen bekannten Trennverfahren. Wie man in der Abbildung sehen kann, gibt es bei der Trennung von besonders hohen Werkstückdicken kein konkurrierendes Trennverfahren. (Fritz und Schulze 2015)

Das Verfahren wird nicht nur für das Trennen von Werkstoffen verwendet, es ist außerdem zum Säubern von Oberflächen, Entgraten oder Gussputzen verwendbar (siehe Abb. 39).

Hochdruckwasserstrahlbearbeitung				
	Wasserstrahlen	Gussputzen	Entgraten	Schneiden
Druckbereich	> 350 bar	80 – 700 bar	200 – 1000 bar	1000 – 4000 bar
Anwendung	Säubern von Oberflächen aller Art	Kern- und Formreste komplexer Geometrie beseitigen	Schwer zugängliche Bearbeitungsrate entfernen	Faserverbundwerkstoffe, Kunststoffe, Dämmstoffe, Textil, Gummi, Steine
Vorteile	Reinigen/Beseitigen: Flugrost, Salzlösungen, Beschichtungen, Korrosionszellen	Staubfrei, kurze Bearbeitungszeit, beschädigungsfrei, flexibel einsetzbar	Kurze Bearbeitungszeit, gleichzeitige Reinigung, flexibel einsetzbar, automatisierbar	Staubfrei, »kalter« Schnitt, geringe Schnittkraft, schmale Trennfuge, beliebige Schnittrichtung
Verfahrensgrenzen	Toträume	Toträume	Werkstofffestigkeit, Gratdicke	Werkstofffestigkeit, Schnitttiefe, Schnittqualität

Abbildung 39/Anwendungsgebiete des Hochdruckwasserstrahls (Fritz und Schulze 2015)

Die Abb. 40 zeigt die Schnittgeometrien verschiedener Trennverfahren.

Verfahren	Mittlere Schnittfugenbreite in mm	Rechtwinkligkeitstoleranz in mm
Autogenes Brennschneiden	2,1	1,20
Plasmaschneiden	1,4	0,50
Laserschneiden	0,4	0,05
Wasserstrahlschneiden	1,1	0,00

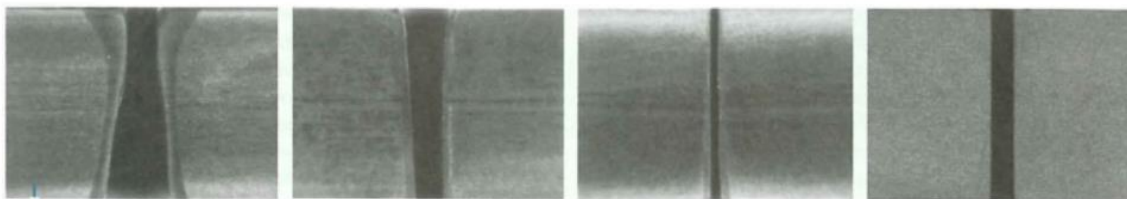


Abbildung 40/ Schnittgeometrien im Vergleich (Fahrenwaldt et al. 2014)

Folgende Stückliste wurde angefertigt und an die ZLW übersendet (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8/ Stückliste

Stückliste	
Bezeichnung	Menge/Stk.
Fahrerhaus_Front	2
Armaturenbrett	2
Seitenteil_Fahrerhaus_Links	4
Dach	1
Bodenplatte	1
Fahrerhaus_Hinten	2
Seitenteil_Aufbau_Rechts	2
Längsträger	4
Querträger	12
Aufnahme	24
Aufnahme_Zwischenteil	12
Dach_Pritsche	1
Bodenplatte_Pritsche	1
Seitenteil_Links_Aufbau	2
Aufbau_Hinterteil	1

6.2 Fertigung der Verbindungselemente für den Prüfstand

Für das Verbindungselement wird zuerst eine Skizze erstellt (siehe Abb. 41). Nachdem die Skizze erstellt wurde, wird das Bauteil in der ZLW an der Wasserschneidmaschine, in einem Stück, zugeschnitten. Für den Zuschnitt wurde eine Vierkantstab aus Aluminium mit einer Dicke von 20 mm verwendet. Nach dem Zuschnitt wird das Bauteil mit Bohrungen versehen. Eine Bohrung erfolgt an der Unterseite des Elements. Damit die M8 Gewindestangen problemlos eingedreht werden können, wird eine Kernlochbohrung mit einem

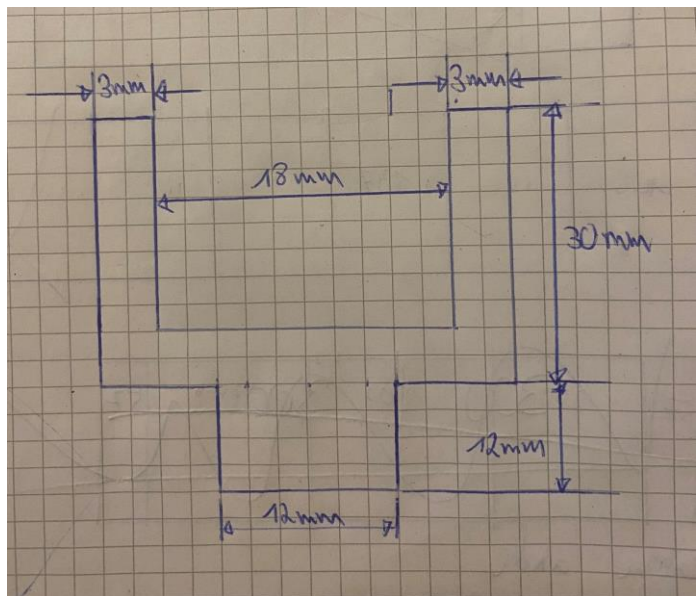


Abbildung 41/ Skizze für Verbindungselement

Durchmesser von 6,8 mm eingearbeitet. (*Wissenswertes zur Kernlochbohrung – mit Kernlochtablelle für metrische Gewinde*)

Abb. 42 zeigt die Bohrmaschine in der ZLW, an der die Bohrungen erfolgten. Anschließend wird das Gewinde mit einem Gewindeschneider reingeschnitten. Dabei ist darauf zu achten, dass das Gewinde gerade eingeschnitten wird. Anschließend werden zwei Bohrungen an beiden Seiten der Verbindungselemente für die Schraubverbindungen gemacht. Abb. 43 zeigt die Verbindungselemente am Prüfstand. Die Karosseriemodelle werden über die Verbindungselemente an den Prüfstand gelenkig gelagert.



Abbildung 42/ Kernlochbohrung in der ZLW (HAW)

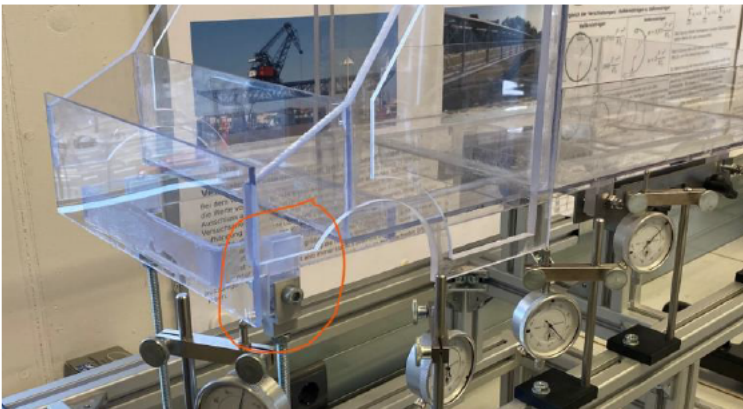


Abbildung 43/ Verbindungselement Prüfstand (HAW)

7. Versuch zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit

7.1 Einleitung

Der Karosserieprüfstand dient dazu, statische Lasten in die Karosseriestruktur einzuleiten und die dadurch entstandenen Verschiebungen an bestimmten Punkten mithilfe von Messuhren zu erfassen. Die gemessenen Verschiebungen werden genutzt, um die Steifigkeit der Karosseriestrukturen zu bestimmen und untereinander zu vergleichen.

7.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau für die Erprobung der Nutzfahrzeugkarosseriemodelle erfolgt an dem bereits bestehenden Prüfstand im Mechanik-Labor.

Der Prüfstand besteht aus folgenden Komponenten (siehe Abb. 44):

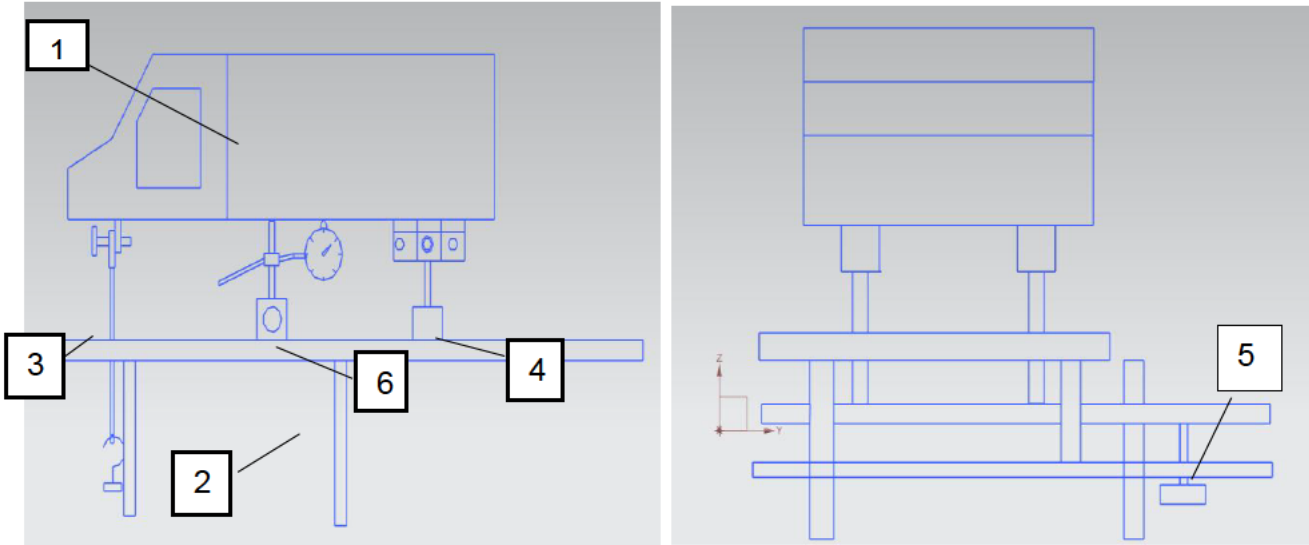


Abbildung 44/ Versuchsaufbau Front-, Seitenansicht

- (1) Karosseriemodel
- (2) Messtisch
- (3) Aufnahme vorne
- (4) Aufnahme hinten
- (5) Hebelarm für Momenteneinleitung
- (6) Messuhrständer mit Magnetfuß und Messuhr
- (7) Gewicht zur Erzeugung der Last

An dem Messtisch werden die Karosseriemodelle angebracht und die Messuhren befestigt. Der Messtisch besteht aus RK-Aluprofile, die über Schraubverbindungen miteinander verbunden sind. Als Lasteinleitung dient ein Hebelarm mit einer Länge von 550 mm Länge, der ebenfalls aus RK-Aluprofil besteht. An dem Hebelarm sind Gewindestangen gelenkig montiert, die das Torsionsmoment an die Karosseriestruktur weiterleiten. Die Vorderachsaufnahmen sind ebenfalls gelenkig gelagert und ermöglichen damit eine Verformung der Struktur. Die Hinterachsaufnahmen dienen auch der Befestigung der Modelle an den Messtisch. Die Hinterachsaufnahmen sind fest eingespannt und verhindern eine Bewegung der Struktur.

7.2 Versuchsvorbereitung

Zuerst wird der Messtisch an einem sicheren Platz aufgestellt. Mithilfe der verstellbaren Füße mit Gummiuntersetzer wird ein fester Stand gewährleistet und ein Verrutschen des Prüfstands verhindert. Damit der Versuch sicher durchgeführt werden kann, werden alle am Messtisch verschraubten Teile auf ihren festen Sitz überprüft. Nachdem dies erfolgt ist, wird das

Fahrzeugmodell vorne und hinten an den Modellaufnahmen an den Messtisch montiert. Es ist darauf zu achten, dass die Gewindestangen, die am RK-Aluprofil gelenkig gelagert sind, den gleichen Abstand zur Torsionsachse haben und parallel zueinander verlaufen. Zudem muss geprüft werden, dass das Modell am hinteren Teil fest eingespannt ist und ein Ausweichen verhindert wird.

Anschließend werden die Messuhren, zur Messung der Verformungen, an gewünschten Positionen am Messtisch angebracht. Die Messuhren sind an Messuhrhaltern befestigt. Diese Messuhrhalter können auf dem Messtisch in beliebiger Position geführt werden. Die Anbringung erfolgt mittels Schrauben an der jeweiligen Messstelle. Bei der Anbringungen der Messuhren ist darauf zu achten, dass sie die Karosseriemodelle gerade eben berühren und nicht ausschlagen. Das würde die Messung verfälschen und zu falschen Ergebnissen führen. Danach werden alle benötigten Messuhren auf null eingestellt. Die Messuhr 5 am Heck der Fahrzeugkarosseriemodelle muss vorgespannt werden.

7.3 Versuchsdurchführung

Am Hebelarm können nun Gewichte angehängt werden. Die Gewichtskraft erzeugt ein Torsionsmoment auf die Struktur. Die Belastung der Modelle erfolgt in einem Intervall von 0 N bis 40 N.

Die Verschiebungen werden nach jeder Belastung an den Messuhren abgelesen und festgehalten.

7.4 Messpunkte

In Abbildung 45 und 46 sind die Punkte markiert, an denen die Verschiebungen abgelesen werden.

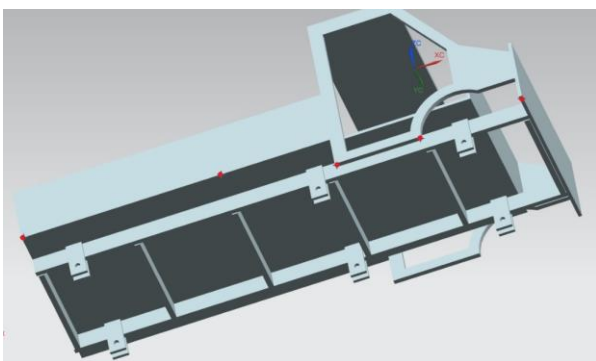


Abbildung 45/ Messpunkte am Pritschenfahrzeug

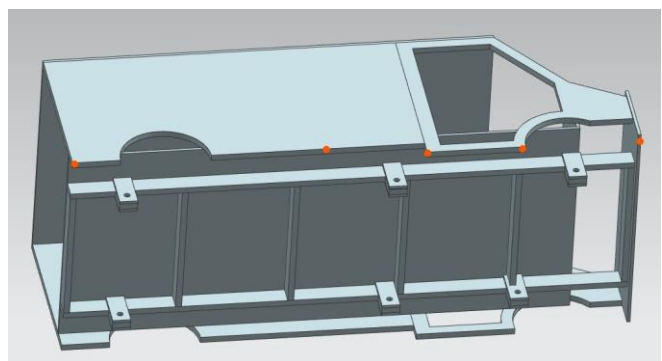


Abbildung 46/ Messpunkte am Kastenwagen

7.5 Versuchsauswertung

Die ermittelten Messwerte sind nun umzurechnen.

→ | | ← auf der Messuhr entspricht 0,01 mm.

Die ermittelten Messwerte (Verschiebungen) an den jeweiligen Messpunkten werden in einer Excel-Tabelle festgehalten (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9/ Verschiebungen an den Modellen während des Versuchs

Kraft: 5 N	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5
Verschiebung in mm Pritschenfahrzeug	0.51	0.43	0.30	0.18	-0.18
Verschiebung in mm Kastenwagen	0.33	0.32	0.19	0.14	-0.04

Kraft: 10 N	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5
Verschiebung in mm Pritschenfahrzeug	1.47	1.24	0.88	0.45	-0.61
Verschiebung in mm Pritschenfahrzeug	0.90	0.82	0.54	0.34	-0.09

Kraft: 15 N	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5
Verschiebung in mm Pritschenfahrzeug	2.29	1.97	1.39	0.75	-0.96
Verschiebung in mm Kastenwagen	1.31	1.19	0.82	0.52	-0.12

Kraft: 20 N	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5
Verschiebung in mm Pritschenfahrzeug	3.10	2.46	1.70	0.91	-1.19
Verschiebung in mm Kastenwagen	1.78	1.63	1.05	0.65	-0.18
Kraft: 30 N	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5
Verschiebung in mm Pritschenfahrzeug	4.55	3.70	2.37	1.36	-1.69
Verschiebung in mm Kastenwagen	2.65	2.34	1.56	1.03	-0.25

Kraft: 40 N	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5
Verschiebung in mm Pritschenfahrzeug	5.97	4.53	2.60	1.77	-2.37
Verschiebung in mm Kastenwagen	3.51	3.18	2.04	1.31	-0.35

Anschließend werden die Verschiebungen in Verdrehwinkel umgerechnet.

Für kleine Winkel gilt näherungsweise:

$$\tan \varphi = \frac{u}{a}$$

u = Verschiebung

a = Abstand zur Torsionsachse

Die Torsionsachse ist die Achse, um die die Fahrzeugstrukturen tordiert werden (siehe Abb. 47).

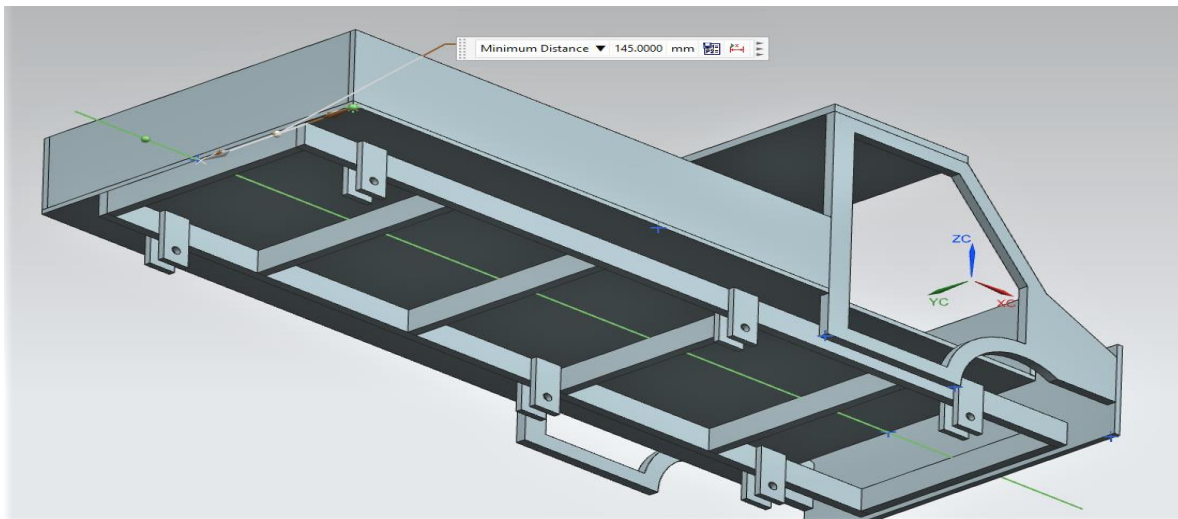


Abbildung 47/ Torsionsachse

Der Abstand der Messpunkte in Y-Richtung beträgt 145 mm = a

Tabelle 10 zeigt je Messuhr, den Verdrehwinkel der verschiedenen Modelle bei aufgebrachtem Torsionsmoment.

Tabelle 10/ Verdrehwinkel der Modelle je Messuhr und aufgebrachtem Torsionsmoment

Messuhr 1			Messuhr 2		
Torsionsmoment in Nmm	Verdrehwinkel Pritschenf. in °	Verdrehwinkel Kastenwagen in °	Torsionsmoment in Nmm	Verdrehwinkel Pritschenf. in °	Verdrehwinkel Kastenwagen in °
0	0	0	0	0	0
2025	0,2	0,13	2025	0,17	0,13
4050	0,58	0,36	4050	0,49	0,32
6075	0,9	0,52	6075	0,78	0,47
8100	1,22	0,7	8100	0,97	0,64
12150	1,8	1,1	12150	1,46	0,92
16200	2,36	1,39	16200	1,79	1,26
Messuhr 3			Messuhr 4		
Torsionsmoment in Nmm	Verdrehwinkel Pritschenf. in °	Verdrehwinkel Kastenwagen in °	Torsionsmoment in Nmm	Verdrehwinkel Pritschenf. in °	Verdrehwinkel Kastenwagen in °
0	0	0	0	0	0
2025	0,12	0,08	2025	0,07	0,06
4050	0,35	0,21	4050	0,18	0,13
6075	0,55	0,32	6075	0,3	0,21
8100	0,67	0,42	8100	0,36	0,26
12150	0,94	0,62	12150	0,54	0,41
16200	1,03	0,81	16200	0,7	0,52
Messuhr 5					
Torsionsmoment in Nmm	Verdrehwinkel Pritschenf. in °	Verdrehwinkel Kastenwagen in °			
2025	0,07	0,02			
4050	0,24	0,04			
6075	0,38	0,05			
8100	0,47	0,07			
12150	0,67	0,1			
16200	0,94	0,14			

Um einen Vergleich der einzelnen Modellstrukturen zu ermöglichen, werden die aufgebrauchten Torsionsmomente über dem Verdrehwinkel grafisch dargestellt.

Tabelle 11/ Darstellung des aufgebrauchten Torsionsmoments über dem Verdrehwinkel

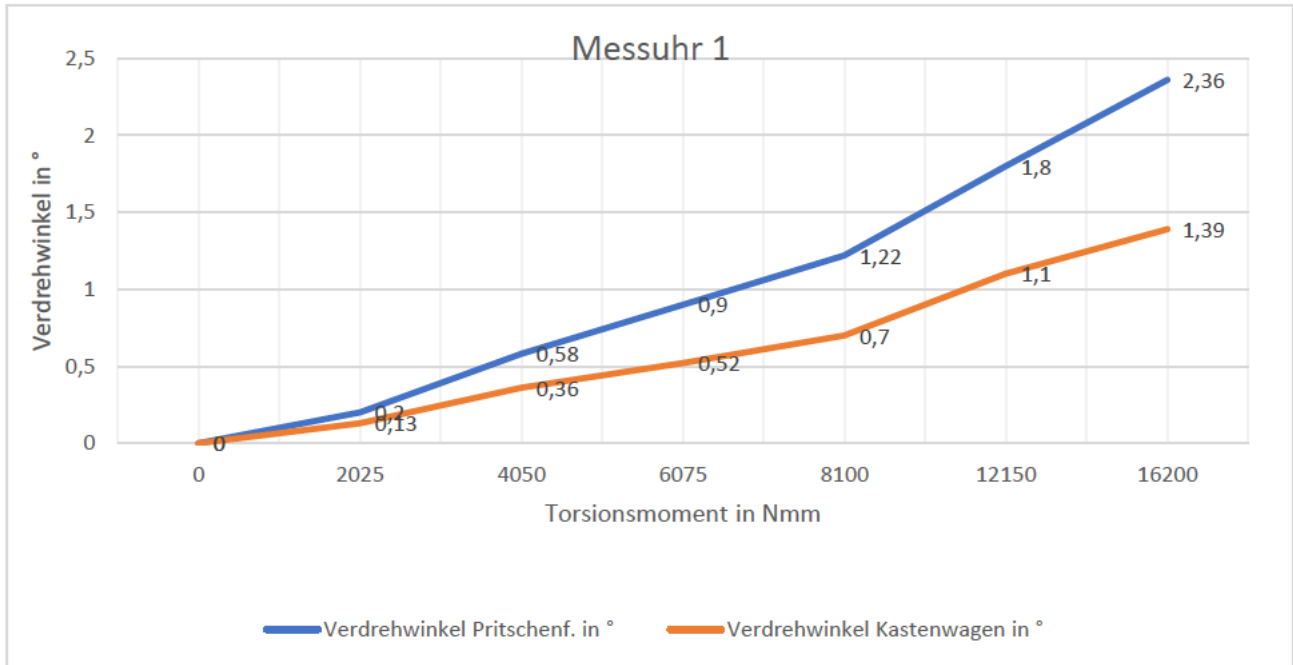


Tabelle 12/ Darstellung des aufgebrauchten Torsionsmoments über dem Verdrehwinkel

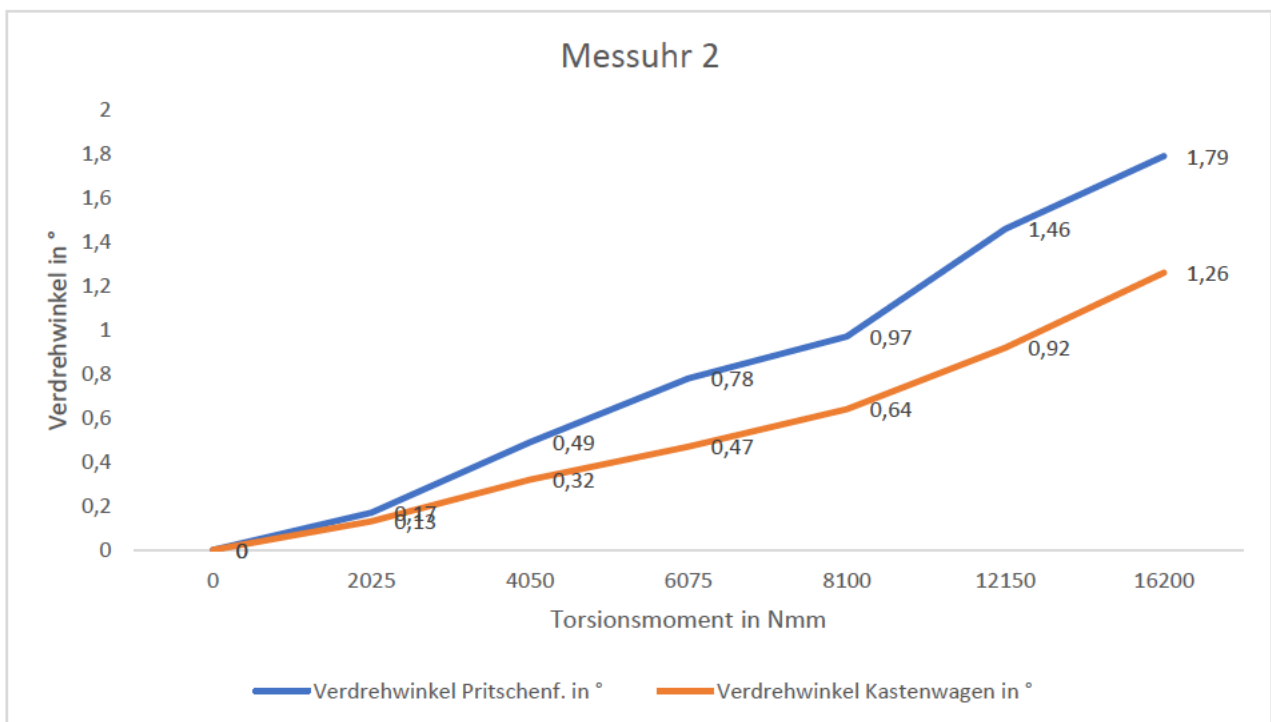


Tabelle 13/ Grafische Darstellung des aufgebrauchten Torsionsmoments über dem Verdrehwinkel

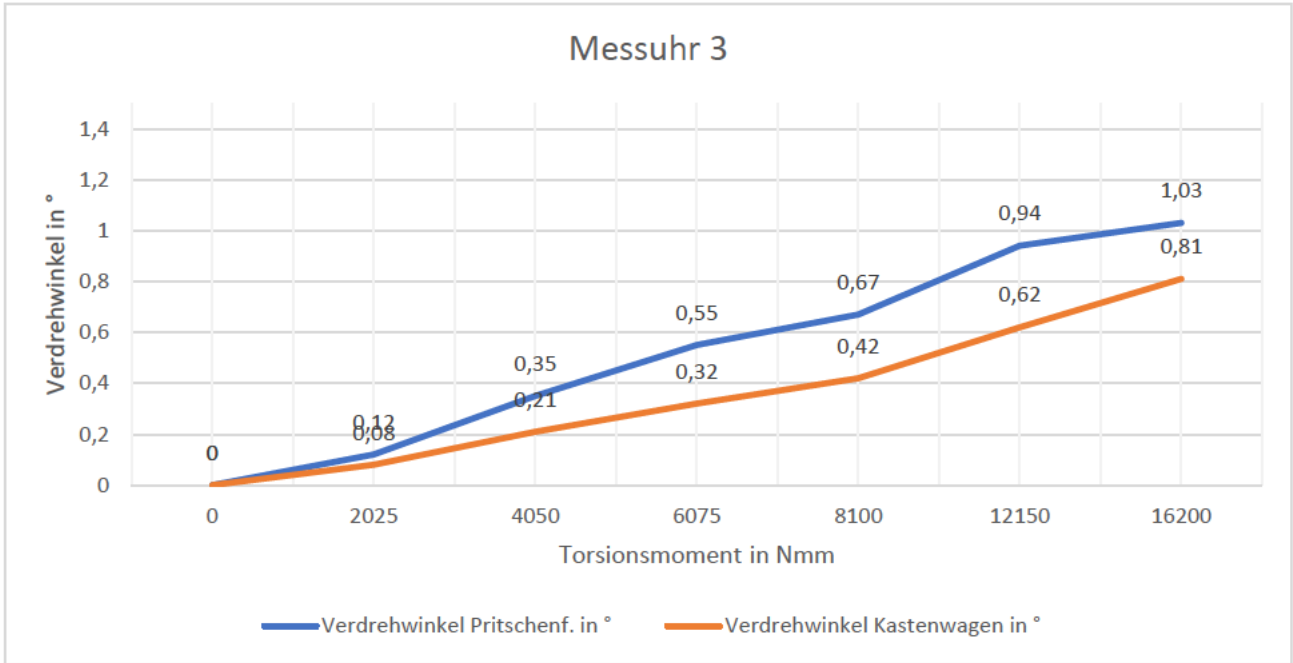


Tabelle 14/ Grafische Darstellung des aufgebrauchten Torsionsmoments über dem Verdrehwinkel

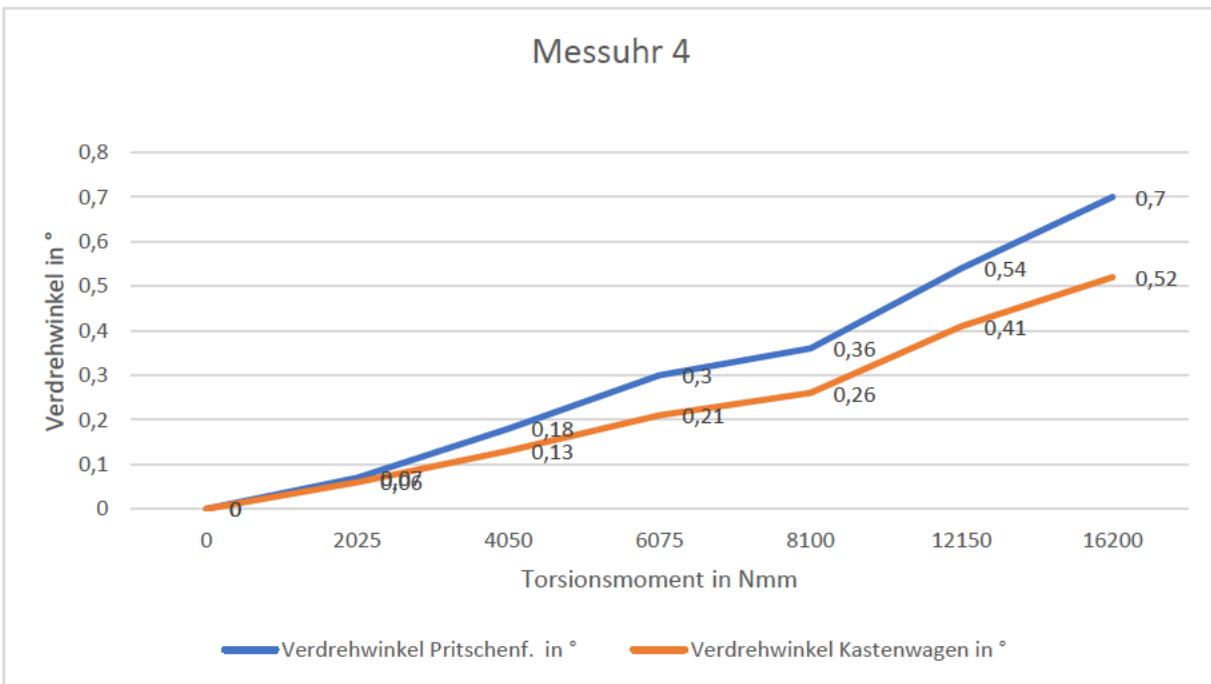
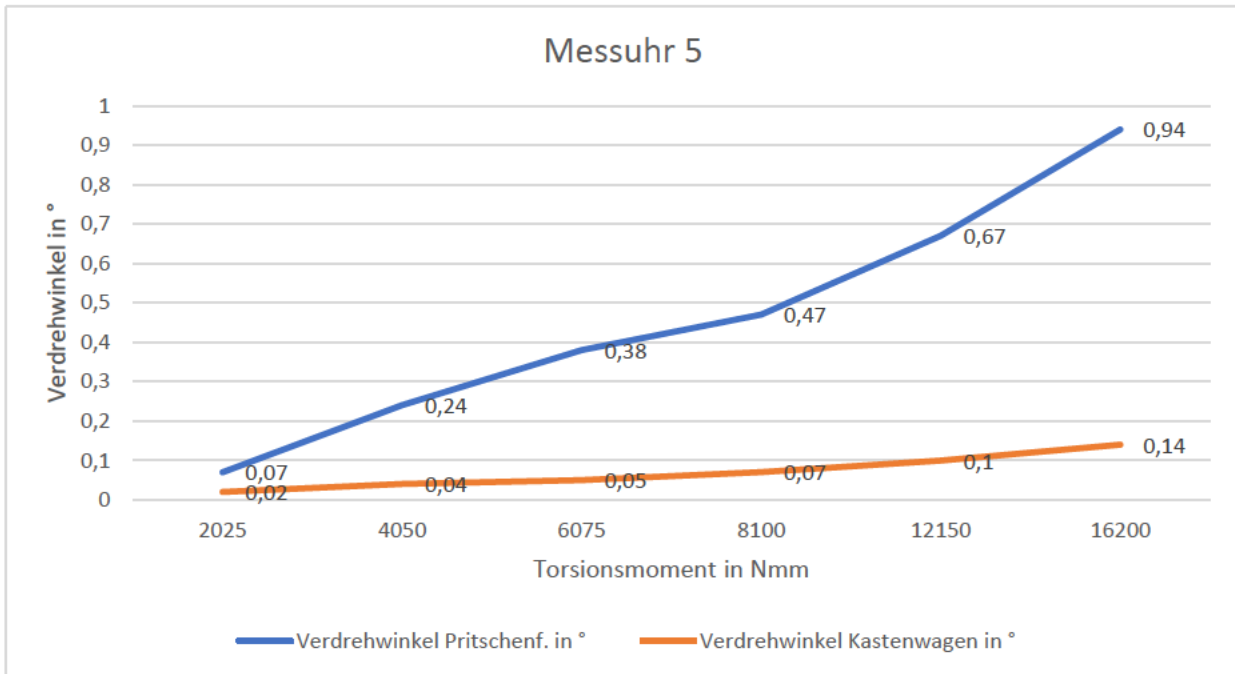


Tabelle 15/ Grafische Darstellung des aufgebrauchten Torsionsmoments über dem Verdrehwinkel



8. Berechnung

Man spricht von Torsion, wenn ein äußeres Moment eine Struktur um die Längsachse verdreht. Bei dem Versuch zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit der Gesamtstruktur werden die einzelnen Strukturelemente nicht nur auf Torsion beansprucht. Das Versuchsmodell wird mit einem Moment beansprucht, das die Gesamtstruktur tordiert, was nicht heisst das bestimmte Strukturelemente gleichzeitig unter Biegung, Zug oder Druck beansprucht werden. Hier ist es wichtig festzuhalten, dass wir nicht die Formänderung der einzelnen Komponenten betrachten, sondern die Formänderung der ganzen Struktur. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die zu berechnende Torsionssteifigkeit sich auch auf die Gesamtstruktur bezieht. (Prof. Woydack 13.02.1993)

Abb. 48 zeigt einen infinitesimal kleinen Kreiszyylinder bei einer Verdrehung $d\theta$, der gedanklich aus einem Träger ausgeschnitten ist. (Linke und Nast 2015)

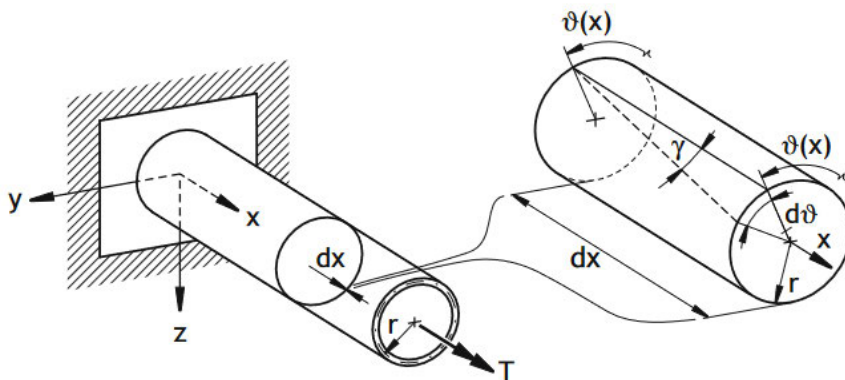


Abbildung 48/ Infinitesimal kleiner Kreiszyylinder (Linke und Nast 2015)

8.1 Begriffserklärung

Gesamtstruktur:

Die Gesamtstruktur ist die Verbindung aller Komponenten der Versuchsmodelle zu einer Einheit. Bei den Versuchsmodellen setzt sich die Gesamtstruktur zusammen aus Fahrerhaus_Front, Fahrerhaus_Seitenwand, Leiterraum usw.

Torsion:

Eine Torsion wird durch ein Torsionsmoment verursacht

Torsionsmoment:

Das Torsionsmoment besteht aus einer Kraft und ihrem Hebelarm

$$M = F \times l \quad (8.1)$$

Torsionssteifigkeit:

Ist das Produkt aus Schubmodul und Trägheitsmoment

$$C_t = G \times I_t \quad (8.2)$$

Die Torsionssteifigkeit lässt sich herleiten aus:

1. der Formänderungsarbeit (Prof. Woydack 13.02.1993)

$$M_t = C_t \times \varphi \quad (8.3)$$

φ ist der Verdrehwinkel [rad]

C_t ist die Torsionssteifigkeit in [N/rad]

2. Torsionstheorie nach Saint-Venant (Linke und Nast 2015)

$$\varphi = \frac{M_t \times l}{G \times I_t} \quad (8.4)$$

$G \cdot I_T$ = Torsionssteifigkeit [N/rad]

8.2 Berechnung der Torsionssteifigkeit

Stellt man die Gleichung aus der Formänderungsarbeit nach der Steifigkeit um ergibt sich:

$$C_t = \frac{M_t}{\varphi} \quad (8.5)$$

8.3 Torsionssteifigkeit je Messuhr

Tabelle 16/ Torsionssteifigkeit je Messuhr

Messuhr 1			
Pritsche		Kastenwagen	
Last	Torsionssteifigkeit	Last	Torsionssteifigkeit
5 N	10150 N/rad	5 N	15576 N/rad
10 N	6982 N/rad	10 N	11250 N/rad
15 N	6750 N/rad	15 N	11682 N/rad
20 N	6639 N/rad	20 N	11571 N/rad
30 N	6750 N/rad	30 N	11045 N/rad
40 N	6864 N/rad	40 N	11654 N/rad

Messuhr 2			
Pritsche		Kastenwagen	
Last	Torsionssteifigkeit	Last	Torsionssteifigkeit
5 N	11911 N/rad	5 N	15577 N/rad
10 N	8265 N/rad	10 N	12656 N/rad
15 N	7788 N/rad	15 N	12925 N/rad
20 N	8350 N/rad	20 N	12656 N/rad
30 N	8321 N/rad	30 N	13206 N/rad
40 N	9050 N/rad	40 N	12857 N/rad

Messuhr 3			
Pritsche		Kastenwagen	
Last	Torsionssteifigkeit	Last	Torsionssteifigkeit
5 N	16875 N/rad	5 N	25312 N/rad
10 N	11571 N/rad	10 N	19285 N/rad
15 N	11045 N/rad	15 N	18984 N/rad
20 N	12100 N/rad	20 N	19285 N/rad
30 N	12926 N/rad	30 N	19596 N/rad
40 N	15728 N/rad	40 N	20000 N/rad

Messuhr 4			
Pritsche		Kastenwagen	
Last	Torsionssteifigkeit	Last	Torsionssteifigkeit
5 N	28928 N/rad	5 N	33750 N/rad
10 N	22500 N/rad	10 N	31153 N/rad
15 N	20250 N/rad	15 N	28928 N/rad
20 N	22500 N/rad	20 N	31153 N/rad
30 N	22500 N/rad	30 N	25643 N/rad
40 N	23142 N/rad	40 N	31153 N/rad

Messuhr 5			
Pritsche		Kastenwagen	
Last	Torsionssteifigkeit	Last	Torsionssteifigkeit
5 N	28928 N/rad	5 N	101250 N/rad
10 N	16875 N/rad	10 N	101250 N/rad
15 N	15986 N/rad	15 N	121500 N/rad
20 N	17234 N/rad	20 N	115714 N/rad
30 N	18134 N/rad	30 N	121500 N/rad
40 N	17234 N/rad	40 N	115714 N/rad

8.4 Ergebnisse und Diskussion

An der grafischen Darstellung der Torsionsmomente über dem Verdrehwinkel ist ein fast linearer Verlauf der Graphen zu sehen. Man kann klar erkennen, dass sich bei einer Lasterhöhung, der Verdrehwinkel fast proportional ändert. Außerdem ist klar abzulesen, dass die Verwindung des Pritschenfahrzeugs höher ist, als die Verwindung des Kastenwagens. Somit lässt sich schlussfolgern, dass ein geschlossenes Fahrzeug eine höhere Torsionssteifigkeit aufweist, als ein offenes Fahrzeug. Ebenso ist an den Ergebnissen der Torsionssteifigkeit abzulesen, dass an den gemessenen Positionen ein fast identischer Wert der Torsionssteifigkeit besteht. Dadurch, dass eine Abhängigkeit zwischen der Torsionssteifigkeit, dem Verdrehwinkel und dem Torsionsmoment besteht, verhält sich die Torsionssteifigkeit auch proportional zur eingeleiteten Last.

9. Zusammenfassung

Ziel meiner Arbeit war es, zwei Nutzfahrzeugkarosseriemodelle zu entwerfen, zu fertigen und zu erproben. Die sollen an eine bereits bestehendem Prüfstand, mit dem Verformungen infolge von Torsion sowie die Torsionssteifigkeit der Modelle bestimmt werden können, geprüft werden. Der Prüfstand sollte so angepasst werden, dass auch Nutzfahrzeugkarosseriemodelle geprüft werden können.

Untersuchen des Istzustands der Versuchsmodelle sowie des Prüfstands.

Im Rahmen einer Situationsanalyse wurden die bereits bestehenden Versuchsmodelle und der bereits bestehende Prüfstand analysiert.

Erarbeiten von Anforderungen und Erstellen einer Anforderungsliste

Die Anforderungen an die Versuchsmodelle und den Prüfstand wurden in einem Lastenheft erarbeitet. Anschließend wurde in einem Pflichtenheft die Realisierung des zuvor erarbeiteten Lastenhefts dokumentiert. Auf Basis des Pflichtenhefts wurde eine Anforderungsliste erstellt.

Auswählen und Konzipieren einer Variante, sowie Anpassung des Prüfstands

Bei der Wahl der Modelle war entscheidend, dass die Modellstruktur aus demselben Grundfahrzeug besteht und die Modelle sich als offene und geschlossene Struktur voneinander unterscheiden. Mithilfe eines morphologischen Kastens wurden mehrere Varianten aufgelistet.

Die Wahl der Fahrzeugkarosseriestrukturen ist auf Kastenwagen und Pritschenfahrzeug gefallen. Bei der Wahl des Materials und der Herstellung der Fahrzeugmodelle waren die Kosten besonders entscheidend. Außerdem waren kurze Lieferzeiten und eine schnelle Fertigung wichtig. Beim Fügeverfahren und dem Fügemitel wurde darauf geachtet, dass die Verbindung trotz Torsionsbeanspruchung zusammenhält.

Entwerfen und Auslegen der Komponenten mit CAD

Die Konstruktion der Versuchsmodelle erfolgt nach dem simple structural surface-method (sss-method). Konstruiert wurden die Einzelbauteile der Fahrzeugstrukturen mittels CAD. Die Dimensionierung der Fahrzeugstrukturen erfolgte nach den bereits bestehenden Modellen. Es wurden Einzelbauteilzeichnungen für die einzelnen Komponenten und eine Stückliste gefertigt.

Herstellung und Fügen der Einzelbauteile

Die Fertigung der Einzelbauteile erfolgte in der ZLW der HAW Hamburg. Die Einzelbauteile wurden in der ZLW zusammengeklebt.

Versuchsdurchführung- und auswertung

Zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit wurde der Versuch an den verschiedenen Nutzfahrzeugkarosseriestrukturen durchgeführt und anschließend rechnerisch und grafisch dargestellt.

Berechnung der Torsionssteifigkeit

Zur Ermittlung der Torsionssteifigkeit wurde eine einfache Berechnung durchgeführt und dokumentiert.

Ergebnisse und Diskussion

Zum Schluss wurden die Ergebnisse diskutiert.

Literaturverzeichnis

- Acrylshop24 (Hrsg.) (2019). Unterschiede zwischen Polycarbonat und Acrylglas. Online verfügbar unter <https://www.acrylshop24.com/blog-unterschied-acrylglas-und-polycarbonat> (abgerufen am 15.05.2019).
- AKKUT Kunststoffe (Hrsg.). Polycarbonat. Online verfügbar unter https://akkut-kunststoffe.de/wp-content/uploads/2018/08/02_PC_technisch.pdf.
- Alplast (Hrsg.) (2021). Polycarbonat. Online verfügbar unter <https://alplast.de/polycarbonat> (abgerufen am 21.11.2021).
- Brown, Jason C./Robertson, A. John/Serpento, Stan T. (2002). Motor vehicle structures. Concepts and fundamentals. Oxford/Boston, Butterworth-Heinemann.
- Dr. Wolfgang Fleischmann (juni/2010). Fügetechnologie Kleben. Henkel AG & Co. KGaA. Online verfügbar unter file:///C:/Users/veddel/Downloads/KIT_Vorlesung_Teil_1_100625.pdf.
- Erkan Dogan (2021). Morphologischer Kasten Analyse. Online verfügbar unter <https://industrial-engineering-vision.de/morphologischer-kasten-analyse/> (abgerufen am 21.11.2021).
- Evonik Performance Materials GmbH (Hg.) (August / 2015). ACRIFIX® 1R 0192. Online verfügbar unter [file:///C:/Users/veddel/Downloads/c45874174d1db9c700931e9ef9166e5ed7d1\(1\).pdf](file:///C:/Users/veddel/Downloads/c45874174d1db9c700931e9ef9166e5ed7d1(1).pdf).
- Fahrenwaldt, Hans J./Schuler, Volkmar/Twrdek, Jürgen (2014). Praxiswissen Schweißtechnik. Werkstoffe, Prozesse, Fertigung. 5. Aufl. Wiesbaden, Springer Vieweg.
- Fischer, Richard (2009). Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik. Hg. von Rolf Gscheidle. 29. Aufl. Haan-Gruiten, Verl. Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer.
- Friedrich, Horst E. (Hg.) (2017). Leichtbau in der Fahrzeugtechnik. 2. Aufl. Wiesbaden, Springer Vieweg.
- Fritz, Alfred Herbert/Schulze, Günter (Hg.) (2015). Fertigungstechnik. 11. Aufl. Berlin/Heidelberg, Springer Vieweg.
- Hoepke, Erich/Breuer, Stefan (Hg.) (2008). Nutzfahrzeugtechnik. Grundlagen, Systeme, Komponenten ; mit 35 Tabellen. 5. Aufl. Wiesbaden, Vieweg + Teubner.
- Hoepke, Erich/Breuer, Stefan (Hg.) (2016). Nutzfahrzeugtechnik. Grundlagen, Systeme, Komponenten. 8. Aufl. Wiesbaden, Springer Vieweg.
- Linke, Markus/Nast, Eckart (2015). Festigkeitslehre für den Leichtbau. Ein Lehrbuch zur technischen Mechanik. Berlin/Heidelberg, Springer Vieweg.
- Pippert, Horst (1998). Karosserietechnik. Personenkraftwagen, Lastkraftwagen, Omnibusse ; Leichtbau, Werkstoffe, Fertigungstechniken ; Konstruktion und Berechnung. 3. Aufl. Würzburg, Vogel.
- Prof. Dr.-Ing. Tim Jüntgen. Kohäsion und Adhäsion. Grundlagen des Klebens erklärt: Voraussetzung, Adhäsion, Kohäsion. Online verfügbar unter <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/grundlagen-des-klebens-erklart-voraussetzung-adhaesion-kohaesion-a-794496/>.
- Prof. Woydack (1993). Laborversuch Torsionssteifigkeitsuntersuchungen. Hamburg, HAW.

Tecosim (2022). Steifigkeitsuntersuchung. Online verfügbar unter <https://www.tecosim.com/de/leistungen/struktursimulation/steifigkeitsuntersuchung/> (abgerufen am 06.01.2022).

Wissenswertes zur Kernlochbohrung – mit Kernlochtabelle für metrische Gewinde. Online verfügbar unter <https://prohandling.de/kernlochbohrung-und-kernlochmass-tabelle/>.

Anhang

- Selbstständigkeitserklärung
- Technische Zeichnungen
- Alle weiteren Anhänge liegen in digitaler Form vor

-