



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Clemens Matz

Konstruktion und Herstellung einer modernen Mittelkonsole für den Land Rover Defender

Clemens Matz

**Konstruktion und Herstellung einer
modernen Mittelkonsole für den
Land Rover Defender**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

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

Erstprüfer: Prof. Arne Freytag
Zweitprüfer: Prof. Gregor Schimming

Zusammenfassung

Clemens Matz

Thema der Bachelorthesis

Konstruktion und Herstellung einer modernen Mittelkonsole für den Land Rover Defender

Stichworte

Ergonomie; gesetzliche Anforderungen, ECE R21; Fahrzeugdesign; FDM 3D-Druck; morphologischer Kasten und Nutzwertanalyse; Konzeptfindung; Strak; 3D CAD-Konstruktion; Marktanalyse; Prototypenbau

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit beschreibt den Entstehungsprozess eines Bauteils im Fahrzeugbau. Hierfür wird exemplarisch die Mittelkonsole für einen Land Rover Defender der klassischen Baureihe bis Baujahr 2016 konstruiert, gefertigt und getestet. Zu Beginn werden die notwendigen technischen Grundlagen dargestellt. Darauf basierend werden die aktuell verfügbaren Vergleichsfahrzeuge untersucht und Anforderungen an die Mittelkonsole formuliert. Nach einer analytischen Berechnung der benötigten Wandstärke folgt die Konstruktion, welche in den Strak der Außenflächen und parametrische Konstruktion der Funktionsbereiche unterteilt ist. Nach Abschluss der Konstruktion werden sämtliche Bauteile mittels FDM-3D-Druck-Verfahren gefertigt und im Fahrzeug montiert, um das Konzept und die Konstruktion zu verifizieren. Zum Abschluss werden im Ausblick notwendige Änderungen aufgezeigt und ein Fazit gezogen.

Clemens Matz

Title of the paper

Construction and Production of a modern center console for the Land Rover Defender

Keywords

Ergonomics; legal requirements, ECE R21; vehicle styling; FDM 3D printing; morphological box and utility analysis; concept development; strake; 3D CAD design; market analysis; prototyping

Abstract

This thesis describes the development process of a component in automotive engineering. As an example, the center console for a classical Land Rover Defender up to model year 2016 is designed, manufactured and tested. At first, the necessary technical fundamentals are presented. Based on this, the currently available comparable vehicles are examined and requirements for the center console are formulated. Following an analytical calculation of the required wall thickness, the design is carried out, which is divided into the shaping of the exterior surfaces and the parametric design of the functional areas. After the design is completed, all parts are manufactured using the FDM-3D-printing process and installed in the vehicle to verify the concept and design. Finally, necessary changes are outlined and a conclusion is drawn in the outlook.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1. Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Vorgehensweise	1
2. Theoretische Grundlagen	3
2.1 Aufgaben der Mittelkonsole	3
2.1.1 Fahrerunterstützung	3
2.1.2 Nutzwurterhöhung des Innenraums	5
2.2 Gesetzliche Vorschriften	5
2.2.1 Kopfaufschlagzone	6
2.2.2 Teile an denen Insassen sich stoßen können	7
2.2.3 Weiche Materialien	7
2.3 Additive Fertigung	7
2.3.1 Fertigungsverfahren	8
2.3.2 Fertigungsablauf	9
2.3.3 Materialauswahl	10
2.3.4 Fertigungsgerechte Konstruktion	12
2.4 Design	13
3. Skizzen und Konzepte	14
3.1 Originale Mittelkonsole	14
3.2 Marktanalyse	14
3.3 Randbedingungen	17
3.3.1 Bauraum	18
3.3.2 Funktionalität	18
3.3.3 Designfindung	19
3.4 Konzeptfindung	20
3.4.1 Morphologischer Kasten	20
3.4.2 Konzeptskizzen	22
3.4.3 Nutzwertanalyse	24
4. Auslegung der Materialstärke	26
5. Konstruktion	28
5.1 Konstruktionsaufbau	28
5.1.1 Siemens NX	28
5.1.2 ICEM Surf	29
5.1.3 Grundflächen	30
5.1.4 Konstruktion funktionaler Bauteile	31
6. Fertigung	37
6.1 Verbindungen	37
6.2 Einzelteilabsicherung	38

6.3	Druckoptimierung	41
6.3.1	Bauteilaufteilung	41
6.3.2	Bauteilanpassungen	42
6.4	Zusammenbau	43
7.	Abschluss	45
7.1	Test.....	45
7.2	Fazit.....	46
7.3	Ausblick	48
8.	Literaturverzeichnis	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Perzentile der Körpergrößen, Datenerhebung: 2004 (ergotyping, 2012)	4
Abbildung 2: Kieler Puppe ((UN/ECE R14), 2011)	6
Abbildung 3: Verwendung von 3D-Druck nach Bereichen (Statista, 2022)	8
Abbildung 4: Aufbau eines FDM-Druckers (Junk, 2017)	9
Abbildung 5: Krümmungsverlauf Seitenansicht Mittelkonsole (eigene Darstellung).....	13
Abbildung 6: Mittelkonsole 2016 Defender (DAZ VERLAGSGRUPPE GmbH, 2014).....	14
Abbildung 7: Mittelkonsole 2022 Ineos Grenadier seitlich (classistatic, kein Datum)	15
Abbildung 8: Mittelkonsole 2022 Ineos Grenadier von hinten (classistatic, kein Datum) ..	15
Abbildung 9: Innenraum vorn 2020 Land Rover Defender (NewCarz.de, 2023)	16
Abbildung 10: Mittelkonsole 2018 Mercedes-Benz G-Klasse (classistatic, kein Datum).....	16
Abbildung 11: Armauflage 2018 Mercedes Benz G-Klasse (Mercedes-Benz, kein Datum) .	17
Abbildung 12: Verfügbarer Bauraum für die Mittelkonsole (eigene Darstellung)	18
Abbildung 13: Skizze Konzept eins (eigene Darstellung)	22
Abbildung 14: Skizze Konzept zwei (eigene Darstellung).....	23
Abbildung 15: Skizze Konzept drei (eigene Darstellung)	23
Abbildung 16: Drahtmodell Strak (eigene Darstellung)	30
Abbildung 17: Grundkörper, Kiste und Träger (eigene Darstellung)	31
Abbildung 18: Halbe Mittelkonsole mit Klappe und Deckel geöffnet (eigene Darstellung) 32	
Abbildung 19: Seitenansicht der Verschlussmechanik der Klappe (eigene Darstellung)	33
Abbildung 20: Eingelenkscharnier für Klappe und Deckel (eigene Darstellung)	33
Abbildung 21: Anordnung der inneren Wände (eigene Darstellung)	34
Abbildung 22: Aufteilung des Zusatzfaches (eigene Darstellung).....	35
Abbildung 23: Ausströmer und Luftführung (eigene Darstellung)	36

Abbildung 24: Getränkehalter (eigene Darstellung)	36
Abbildung 25: Verschraubungsproben (eigene Darstellung)	37
Abbildung 26: Lehre für Positionierungsdübel (eigene Darstellung)	38
Abbildung 27: Preprocessing Verriegelung v1 (eigene Darstellung)	39
Abbildung 28: Preprocessing Verriegelung v2 (eigene Darstellung)	40
Abbildung 29: Druckergebnis Brillenfach mit 0,6mm Düse (eigene Darstellung)	40
Abbildung 30: Mittelkonsole mit Verbindungselementen (eigene Darstellung)	42
Abbildung 31: Klappe mit 20mm Umrandung (eigene Darstellung)	42
Abbildung 32: Klappe mit angeschraubtem Scharnierstift (eigene Darstellung)	43
Abbildung 33: Neue Mittelkonsole verbaut im Fahrzeug (eigene Darstellung)	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich unterschiedlicher Filamente (Shenzhen eSun Industrial Co., Ltd., 2021; Shenzhen eSun Industrial Co., Ltd., 2021; Shenzhen eSun Industrial Co., Ltd., 2021)	11
Tabelle 2: Morphologischer Kasten zu Funktionalitäten (eigene Darstellung).....	21
Tabelle 3: Nutzwertanalyse der Konzepte (eigene Darstellung)	25

Abkürzungsverzeichnis

ASA	<i>Acrylnitril-Styrol-Acrylat</i>
CNC	<i>deutsch: computergestützte numerische Steuerung</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
PA-CF	<i>deutsch: Polyamid mit Kohlefaser</i>
PETG	<i>Polyethylenterephthalat, modifiziert mit Glykol</i>
PLA	<i>Polylactid</i>

1. Einleitung

In der Fahrzeugentwicklung werden die Anforderungen an Sicherheit und Komfort kontinuierlich weiterentwickelt, was im Interieur in den letzten Jahren zu erheblichen Veränderungen geführt hat. Im Zuge dessen steigen auch die Erwartungen der Nutzer an den Innenraum stetig.

Ein großer Anteil der im Straßenverkehr befindlichen Fahrzeuge entspricht nicht mehr den aktuellen Anforderungen. Ein Beispiel hierfür ist der Land Rover Defender, der bis 2016 produziert wurde. Die Mittelkonsole dieses Fahrzeugs wurde seit 1990 nahezu unverändert eingesetzt und war bereits damals der Nutzanwendung entsprechend einfach entwickelt worden.

Die Überarbeitung der Mittelkonsole erfordert eine umfassende Analyse und Neugestaltung, um den modernen Ansprüchen an Sicherheit, Funktionalität, Ergonomie und Ästhetik gerecht zu werden. Dies schließt sowohl die Integration aktueller technischer Komponenten als auch die Berücksichtigung von gängigen Trends im Fahrzeugdesign ein.

1.1 Motivation

Die Mittelkonsole ist ein zentraler Bestandteil des Fahrzeuginnenraums und maßgeblich für den Komfort der Insassen verantwortlich. Bei dem bis 2016 gebauten Land Rover Defender besteht die Mittelkonsole aus Holz, welches mit Kunstleder bezogen ist. Die Kiste kann über einen Deckel auf der Oberseite geöffnet werden, wodurch ein großes Fach ohne Unterteilungen oder Beleuchtung erreichbar wird. Das Design ist sehr funktional und ohne bombierte Flächen.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Verbesserung dieser Kiste in Hinsicht auf Komfort, Design und Sicherheit. Die neu entwickelte Mittelkonsole soll viele moderne Funktionen aufweisen und sich stilvoll in das Design des Fahrzeugs einfügen.

1.2 Vorgehensweise

Zunächst werden theoretische Grundlagen erarbeitet. Es wird beschrieben, welche Aufgaben die Mittelkonsole übernimmt und welchen Einfluss sie auf das sichere und ergonomische Fahren hat. Anschließend werden die gesetzlichen Richtlinien der ECE R21 am Fahrzeug untersucht und als Anforderungen an die neue Mittelkonsole definiert. Außerdem wird der 3D-Druck als additives Fertigungsverfahren beschrieben und gängige Materialien verglichen, sowie auf die fertigungsgerechte Konstruktion eingegangen. Grundsätzliche Fahrzeugdesignaspekte werden zum Abschluss des Kapitels aufgezeigt.

Es folgt eine Bestandsaufnahme der originalen Mittelkonsole, bevor aktuelle Vergleichsfahrzeuge analysiert werden, um den heutigen Stand der Technik einschätzen zu können. Hierbei werden Fahrzeuge des gleichen Segments, jedoch unterschiedlicher Zielgruppen, betrachtet. Es resultieren diverse Anforderungen an die neue Mittelkonsole, welche klar definiert werden. Zur

Lösungsfindung wird ein morphologischer Kasten ausgearbeitet, woraufhin die möglichen Konzepte als Designskizzen visualisiert werden. Aus den Skizzen wird mit Hilfe einer Nutzwertanalyse ein finales Konzept festgelegt.

Nachdem die Abmessungen und die innere Aufteilung feststehen, wird die benötigte Wandstärke analytisch berechnet. Hierfür werden zwei mögliche Versagensformen untersucht und ein Wert für die Konstruktion festgelegt.

Es folgt die Unterscheidung grundlegender Konstruktionsprinzipien. Anschließend wird die Konstruktion der neuen Mittelkonsole basierend auf der vorangegangenen Konzeptfindung und Berechnung dargelegt. Die Konstruktion wird vorrangig in dem parametrischen CAD-Programm „Siemens NX“ ausgeführt, wobei die Grundflächen und andere Freiformflächen im Laufe des Konstruktionsprozesses aufgrund der besseren Kontrolle in „ICEM Surf“ angepasst werden. Es werden vor allem jene Bereiche aufgezeigt, die in der Konstruktion besondere Beachtung erfordern.

Nach der Konstruktion folgt die Prototypenfertigung mittels 3D-Druck. Es wird gezeigt, worauf bei dem 3D-Druck geachtet werden muss, welche Fehler aufgetreten sind und wie diese behoben werden können. Einige Teile werden infolge der Einzelteilabsicherung überarbeitet, bevor sie für den Prototypen erneut gefertigt werden.

Auf Grundlage des Prototyps werden die Berechnung und Konstruktion getestet. Im folgenden Fazit werden die wichtigsten Inhalte und Erkenntnisse der Arbeit nochmals hervorgehoben.

Im abschließenden Ausblick wird ein mögliches Verbesserungspotential dargestellt, welches für eine spätere Bauteilentwicklung hilfreich ist.

2. Theoretische Grundlagen

Für die Auslegung der Mittelkonsole sind einige Grundlagen notwendig. In diesem Kapitel wird auf generelle Funktionen und Aufgaben der Mittelkonsole eingegangen, die gesetzlichen Anforderungen aufgezeigt, das Fertigungsverfahren und verfügbare Materialien erklärt sowie Designgrundsätze dargestellt.

2.1 Aufgaben der Mittelkonsole

Zum Nutzen und Komfort eines Fahrzeugs gehören neben einer ergonomischen Sitzposition auch sinnvoll angeordnete und gut erreichbare Ablageflächen, sowie Funktionen, die den Nutzwert des Innenraums erhöhen. Im Laufe der Fahrzeugentwicklung sind die Armauflage und Getränkehalter ein weit verbreiteter Bestandteil vieler Mittelkonsolen geworden.

Es gilt jedoch zu unterscheiden zwischen Funktionen, die das Fahren erleichtern und somit sicherer gestalten und jenen, die darüber hinaus den Nutzwert des Innenraums erhöhen. Je nach Fahrzeugnutzung sind die Anforderungen grundlegend unterschiedlich. Im Falle des Land Rover Defender gehen die Nutzungsprofile weit auseinander. Das Fahrzeug wurde als primäres Nutzfahrzeug für Landwirtschaft und Bauwesen entwickelt und entsprechend rustikal und widerstandsfähig ist die Mittelkonsole gestaltet. Viele dieser Fahrzeuge werden allerdings als Reise- und Freizeitfahrzeuge genutzt. Diese Arbeit richtet sich hauptsächlich an die private Nutzung als Freizeit- und Alltagsfahrzeug.

2.1.1 Fahrerunterstützung

Bei den Fahraufgaben wird in primäre, sekundäre und tertiäre Fahraufgaben unterschieden. Die primären Fahraufgaben sind jene, die der Fahrer ausführen muss, um Geschwindigkeit und Richtung des Fahrzeugs zu steuern. Zu den sekundären Aufgaben zählt das Ausführen der zusätzlichen Fahraufgaben, wie die Betätigung von Blinker, Scheibenwischer oder Tempomat. Die tertiären Aufgaben stehen mit dem Fahren in keinem direkten Zusammenhang und sind eher ablenkend für den Fahrer. Hierzu zählt die Einstellung des Radios, Klimaanlage oder ähnlicher Zusatzausrüstung. (Heiner Bubb, 2015)

In der Mittelkonsole im Land Rover Defender sind werksseitig nur tertiäre Funktionen wie Getränkehalter und ein Ablagefach untergebracht. Bei tertiären Aufgaben ist generell davon auszugehen, dass diese selten ausgeführt werden, weshalb der Blick während der Ausführung auf den Bereich der Funktion und von der Straße abgewendet wird. Die Gestaltung sollte deshalb so eindeutig sein, dass die Ablenkungsdauer so gering wie möglich ist. Untersuchungen haben ergeben, dass eine Ablenkungsdauer von maximal 2 Sekunden eingehalten werden sollte, damit weiterhin eine sichere Fahrt gewährleistet ist. Dies kann durch unterschiedlich geformte Schalter und Knöpfe, oder auch ein aufgeräumtes Umfeld für einen besseren Überblick und somit schnelleres Finden der gesuchten Funktion, erreicht werden. (Heiner Bubb, 2015)

Die Mittelkonsole wird sinnvollerweise als Armauflage genutzt, wodurch die Fahrten angenehmer und somit sicherer sind. Die Anstrengung wird reduziert und die Konzentrationsfähigkeit verlängert. Aufgrund unterschiedlicher Sitzpositionen und Körpergrößen ist es optimal, wenn die Höhe der Armauflage variiert werden kann. Alternativ ist es auch gängig, die Armauflage so zu gestalten, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Staturen bei einer nicht-variablen Armauflage komfortabel sitzen können.

In der Fahrzeugauslegung werden unterschiedliche Körpergrößen als Referenzgrößen betrachtet. Die Basis hierfür bilden Stichproben der Bevölkerung, bei denen diverse Körpermaße vermessen werden. Es ergeben sich, nach Geschlecht unterschieden, zwei normalverteilte Glockenkurven, wie in Abbildung 1 dargestellt. Markiert wurden jeweils das 5., 50. und 95. Perzentil der Messungen. Das 5. Perzentil der Frauen bedeutet, dass 5% der Frauen kleiner oder gleichgroß sind. Analog dazu bedeutet das 95. Perzentil der Männer, dass 95% der Männer kleiner oder gleichgroß sind.

Eine Auslegung passend für sowohl die 5% Frau als auch den 95% Mann deckt somit 95% der Bevölkerung ab, da aufgrund der Überschneidung sowohl fast alle kleinen Männer als auch großen Frauen berücksichtigt sind. (Heiner Bubb, 2015)

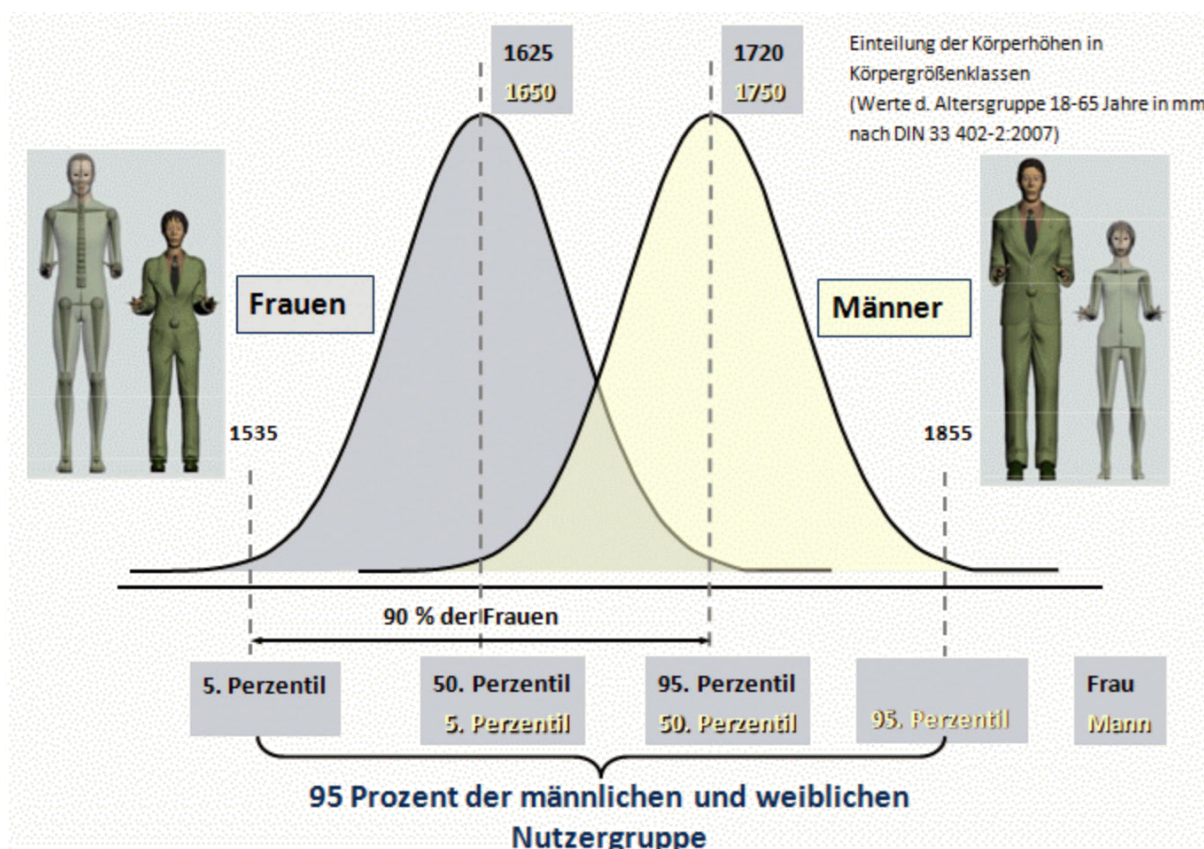


Abbildung 1: Perzentile der Körpergrößen, Datenerhebung: 2004 (ergotyping, 2012)

2.1.2 Nutzwerterhöhung des Innenraums

Neben der verringerten Ablenkung haben strukturierte Ablagen auch den Vorteil, dass der Inhalt übersichtlicher verstaut werden kann, wodurch der vorhandene Raum besser nutzbar ist. Je nach Markt werden unterschiedliche Gegenstände untergebracht. International werden in PKW am häufigsten Sonnenbrillen während der Fahrt abgelegt, an zweiter Stelle sind Smartphones. Hierfür ist eine Lademöglichkeit praktisch, wobei der Trend in den letzten Jahren zum induktiven Laden ging. Den meisten Kunden ist eine sicher befestigte Aufbewahrung noch wichtiger als nur gute Erreichbarkeit. Die Sonnenbrille sollte einfach zu erreichen sein, da sie häufig während der Fahrt aufgesetzt oder verstaut wird. (Johnson Controls, 2014)

Zusätzlich zu den genannten Gegenständen ist die Unterbringung von Speisen und Getränken, Fahrzeugpapieren, Mütze und Schal, sowie diverser Kleinigkeiten sinnvoll. (Heiner Bubb, 2015) Je nach Nutzungstypen sind zusätzlich entsprechende spezifische Anforderungen zu erfüllen. Bei der kommerziellen Nutzung im handwerklichen Bereich ist davon auszugehen, dass entsprechende Arbeitskleidung wie Handschuhe, Warnweste oder Dokumente zu verstauen sind. Wenn das Fahrzeug primär für Reisen genutzt wird, müssen ebenfalls Dokumente - wie Reisepass, Reiseführer und Karten - abgelegt werden.

Eine praktische Ergänzung, vor allem bei tiefen Ablagefächern, ist eine Beleuchtung des Faches. Diese sollte sich im Idealfall mit der Öffnung des Deckels einschalten und bei Verschluss wieder erlöschen. Der Fahrer darf jedoch durch das Licht in keiner Situation geblendet werden. Weder direkt noch durch Reflexion in den Scheiben. Gleiches gilt für beleuchtete Schalter und Ambientebeleuchtung an der Außenseite der Mittelkonsole.

2.2 Gesetzliche Vorschriften

Für die Zulassung von Fahrzeugen im Europäischen Wirtschaftsraum ist eine Konformität mit diversen ECE-Regelungen erforderlich. Diese wurden erstmalig am 20. März 1958 von der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (United Nations Economic Commission for Europe, UNECE) verabschiedet und werden stetig aktualisiert und erweitert. Ziel dieser Regelungen ist eine sichere Auslegung von Kraftfahrzeugen in insgesamt 164 Bereichen. Aufgrund der Einigung auf diese Regelungen ist es möglich, ein Fahrzeug in einem beliebigen Mitgliedsstaat zu prüfen und in allen Mitgliedsstaaten zuzulassen und zu bewegen. (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2023)

Für den Innenraum geltende Vorschriften sind in der ECE R21 festgehalten. Da die in dieser Arbeit entwickelte Mittelkonsole alle Anforderungen an heute neu genehmigte Fahrzeuge erfüllen soll, wird die aktuelle Version der ECE R21 betrachtet.

2.2.1 Kopfaufschlagzone

Allgemein gilt zu untersuchen, ob Bereiche der Mittelkonsole im Kopfaufschlagbereich liegen. Die Kopfaufschlagzone ist laut Anhang I, Absatz 1 jener Bereich, welcher mit einer Kugel von 165mm Durchmesser (82,5mm Radius) im stufenlosen Abstand von 736mm bis 840mm zum H-Punkt erreicht werden kann. Alle daraus resultierenden Berührungen mit der Mittelkonsole sind nach Absatz 3 „Berührungspunkte“.

Neben dem allgemeinen Vorgehen ist der Bewegungsbereich der Kugel eingeschränkt. Zum einen sind nach Anhang I, Absatz 2.2.1 die Berührungspunkte der Kugel der zweiten Sitzreihe, die sich vor den Vordersitzen befinden, zu vernachlässigen. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass die Kugel von der Vertikalen nur 90° nach unten gedreht werden kann, jedoch 25,4mm oberhalb des H-Punktes. ((UN/ECE R21), 2008)

Der H-Punkt beschreibt den Hüftgelenkpunkt des 95%-Mannes. Er ist der Schnittpunkt zwischen der Körperrumpflinie und dem Oberschenkel. Die Abbildung 2 zeigt den H-Punkt und die Rumpflinie anhand der Kieler Puppe, welche zur zweidimensionalen Auslegung genutzt wird.

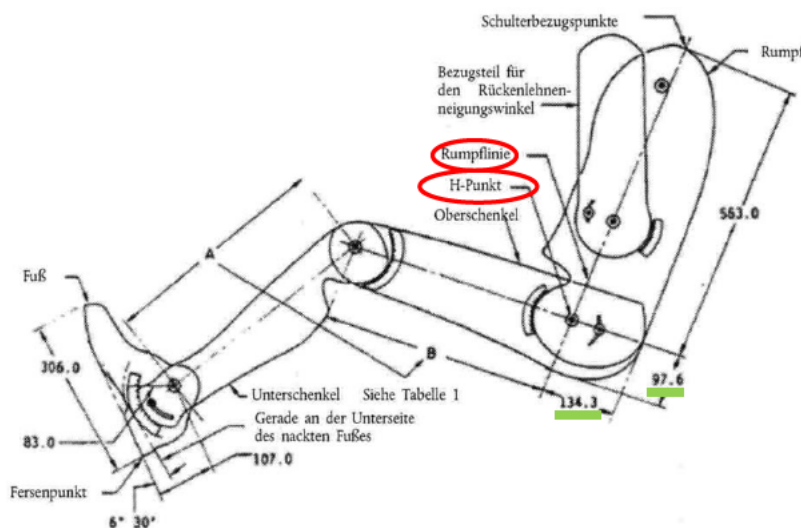


Abbildung 2: Kieler Puppe ((UN/ECE R14), 2011)

Es wird deutlich, dass der H-Punkt oberhalb der Sitzoberfläche liegt, weshalb die Bestimmung in der Realität nicht trivial ist. Für die exakte Bestimmung wird die sogenannte „3-D H-Maschine“ verwendet, welche die Abmessungen des 95. Perzentil Mannes besitzt. Diese Vorrichtung wird auf den Sitz gestellt und mit den entsprechenden Gewichten beschwert, um die korrekte Tiefe im Polster zu berücksichtigen. Aufgrund des Konstruktionsschwerpunktes dieser Arbeit wird der H-Punkt vereinfacht ermittelt. Es wird davon ausgegangen, dass der Körper um 10mm in den Sitzschaum einsinkt. Der Abstand von der Unterseite des Oberschenkels zum H-Punkt ist in Abbildung 2 grün markiert und mit 97,6mm angegeben. Der Abstand in X-Richtung ist ebenfalls in Abbildung 2 grün markiert und mit 134,3mm angegeben. Dieser Wert wird ohne Veränderung übernommen. Hieraus resultiert, dass sich der H-Punkt vollständig unterhalb der Mittelkonsole befindet.

Aufgrund der Bewegungsfreigänge sind im Land Rover Defender nur die Bewegungen der zweiten Sitzreihe zu betrachten, da die Mittelkonsole auch in der ungünstigsten Sitzposition nicht durch die Köpfe der ersten Sitzreihe berührt wird.

2.2.2 Teile an denen Insassen sich stoßen können

Neben der Kopfaufschlagzone werden auch alle Kanten betrachtet, an denen Insassen sich stoßen können. Hierzu zählen alle Kanten, die durch die besagte Kugel mit 165mm Durchmesser erreicht werden können. Der zu untersuchende Bereich ist abgegrenzt durch:

1. Die horizontale Ebene verlaufend durch den niedrigsten H-Punkt
2. Die Ebene durch die Rumpflinie auf dem hintersten Sitz

Kanten in diesem Bereich müssen nach Absatz 5.3.2.1 mit einem Radius von mindestens 3,2mm verrundet sein. ((UN/ECE R21), 2008)

Der hieraus resultierend wichtige Bereich im Defender ist horizontal oberhalb des H-Punktes der ersten Sitzreihe, da diese tiefer liegt, als alle anderen. Die Begrenzung durch die „Ebene durch die Bezugslinie des Rumpfes auf dem hintersten Sitz“ ist nicht weiter zu beachten, da sich die Mittelkonsole vollständig vor dieser Ebene befindet. Es ist festzuhalten, dass die Mittelkonsole mit allen Umfängen innerhalb des beschriebenen Bereiches ist, weshalb alle äußeren Kanten, mit einem Radius von mindestens 3,2mm verrundet werden müssen.

2.2.3 Weiche Materialien

Weiche Materialien werden in der Mittelkonsole häufig im Bereich der Armauflage eingesetzt. Sie sind in Absatz 5.3.5 mit einer Härte von weniger als 50 Shore A definiert. Bei Nutzung dieser Materialien muss entweder das darunterliegende harte Material die Mindestanforderungen erfüllen oder eine „Prüfung energieaufnehmender Werkstoffe“ durchgeführt werden, wobei ein Pendel mit 6,8kg auf die Kante einschlägt und keine harten Teile berühren darf. ((UN/ECE R21), 2008)

2.3 Additive Fertigung

Seit vielen Jahren ist die additive Fertigung im Aufschwung und mittlerweile für den Privatkunden in guter Qualität erhältlich. Die Statistik aus Abbildung 3 zeigt, dass 3D-Druck besonders für den Prototypenbau oder geringe Stückzahlen genutzt wird. Das liegt daran, dass keine Formen oder speziellen Werkzeuge hergestellt werden müssen. Bei höheren Stückzahlen sind andere Fertigungsverfahren aufgrund der hohen Fertigungsdauer des 3D-Drucks jedoch sinnvoller. Der Vorteil vom 3D-Druck gegenüber zerspanender Fertigung ist jedoch, dass komplexe Formen und Hinterschnitte problemlos gefertigt werden können. (Carsten Feldmann, 2019)

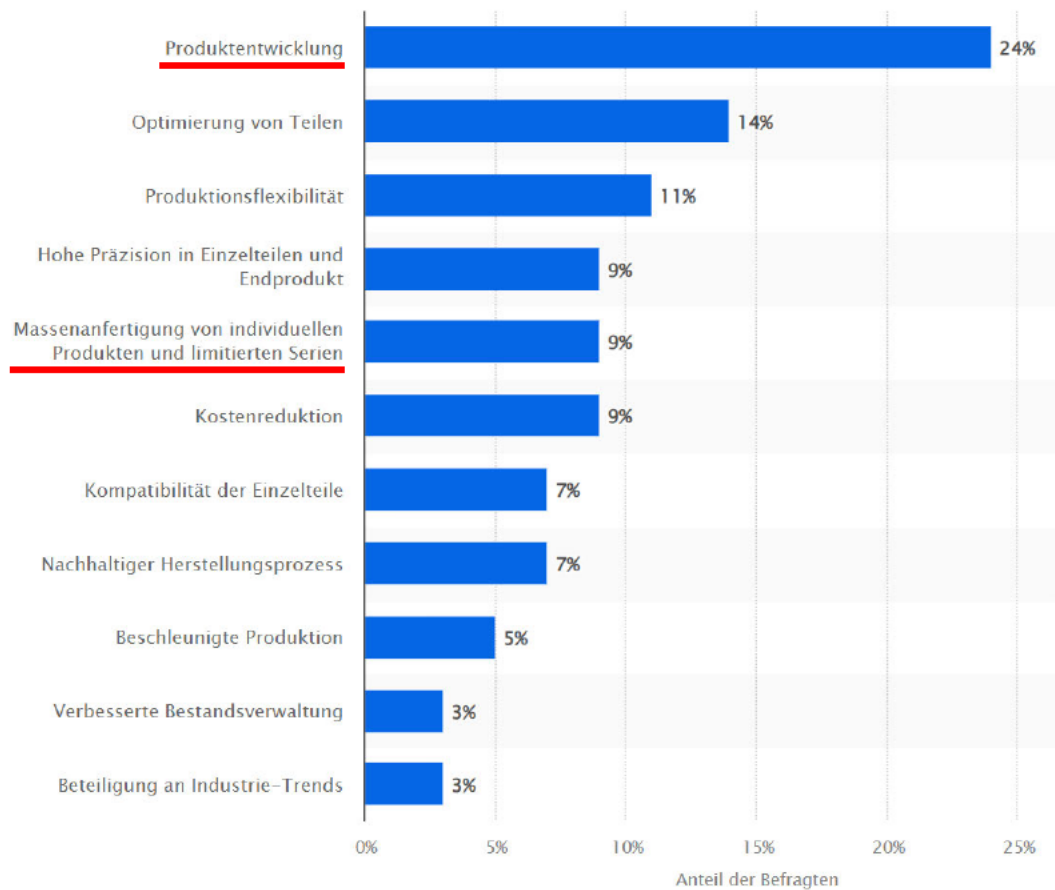


Abbildung 3: Verwendung von 3D-Druck nach Bereichen (Statista, 2022)

2.3.1 Fertigungsverfahren

Es existieren zwei grundlegend unterschiedliche Fertigungsverfahren im 3D-Druck. Bei der ersten Verfahrensgruppe wird das Druckmaterial aufgeschmolzen und in dünnen Schichten, ähnlich einer Heißklebepistole, aufeinander aufgetragen. Bei der anderen Verfahrensgruppe wird schichtweise der gesamte Bauraum mit Pulver oder einer Flüssigkeit gefüllt und der Druckkopf verklebt oder verschmilzt die oberste Schicht mit den darunterliegenden. Aufgrund der geringen Fertigungskosten und damit einhergehenden weiteren Verbreitung im Hobbybereich wird im Folgenden primär auf das erste Verfahren eingegangen.

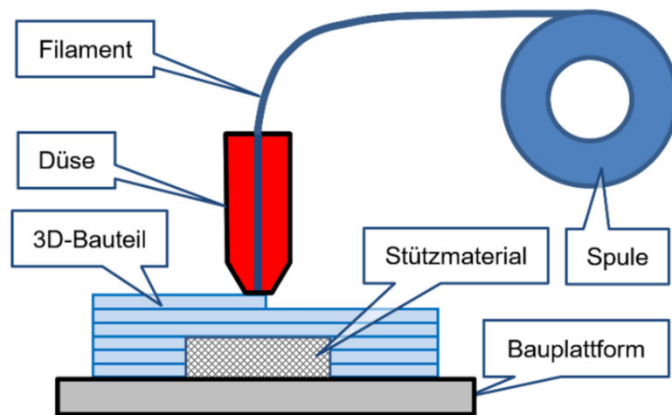


Abbildung 4: Aufbau eines FDM-Druckers (Junk, 2017)

Das Aufschichten geschmolzenen Materials nennt man Schmelzschichten oder auch FDM-Drucken (Fused Deposition Modeling). In Abbildung 4 wird das Prinzip deutlich. Ein CNC (deutsch: Computergestützte numerische Steuerung) Druckkopf schmilzt das Material, auch Filament genannt und navigiert die Düse hundertstel Millimeter genau an die Position, wo Material aufgeschichtet werden soll. Weit verbreitet ist ein Düsendurchmesser von 0,4mm. Für schnellere, aber auch unsauberere Drucke gibt es auch Düsen mit 0,6mm oder 0,8mm Durchmesser. Mit der gängigen 0,4mm Düse sind Schichtstärken zwischen 0,1mm und 0,3mm gängig. Die Bauplattform, auch Druckbett genannt, bildet die Plattform, worauf das Bauteil gedruckt wird. Die Plattform ist meistens beheizt, damit sich das Bauteil aufgrund von Schwindung nicht von der Plattform löst. Bei komplexen Formen mit schwebenden Anteilen ist zusätzlich zum Bauteil ein Stützmaterial nötig, da jede Lage eine darunterliegende Basis benötigt. (Carsten Feldmann, 2019)

2.3.2 Fertigungsablauf

Der initiale Schritt im 3D-Druckprozess ist die Konzeption des zu fertigenden Bauteils mithilfe einer CAD-Software.

Nach der Modellierung des Objekts folgt das Preprocessing für den Druckvorgang. Diese umfasst die Überprüfung der Datei auf etwaige Fehler oder Mängel, um spätere Druckfehler zu vermeiden. Außerdem können in dieser Phase diverse Druckparameter wie Schichtstärke, Geschwindigkeit und Drucktemperatur, welche die Qualität des Druckergebnisses maßgeblich beeinflussen, eingestellt werden. Die Parameter sind zudem stark von dem verwendeten Material abhängig, weshalb das Preprocessing bei einem Materialwechsel wiederholt werden muss. Ebenfalls muss das Modell sinnvoll im Druckraum positioniert werden.

Nachdem alle Parameter festgelegt sind, wird das Modell im Zuge des Slicing-Prozesses in einen maschinenlesbaren G-Code konvertiert. Hierbei wird das Modell in dünne Schichten unterteilt, die der Drucker aufeinanderlegt.

Sobald die Vorbereitungen abgeschlossen sind, kann der eigentliche Druckvorgang gestartet werden. Dazu wird die G-Code-Datei an den 3D-Drucker übertragen und der Druckprozess initiiert.

Die Druckdauer variiert je nach Komplexität und Größe des Objekts und kann von wenigen Minuten bis hin zu mehreren Stunden betragen. Während des Druckens ist keine Interaktion zwischen Menschen und Maschine nötig.

Nach Abschluss des Druckvorgangs muss das Objekt häufig nachbearbeitet werden. Je nach angewandtem Druckverfahren kann es erforderlich sein, Stützstrukturen zu entfernen, welche das Objekt während des Druckprozesses in Form gehalten haben. Darüber hinaus kann die Oberfläche des Objekts durch Schleifen, Polieren oder Lackieren veredelt werden, um ein optisch ansprechendes Ergebnis zu erzielen.

2.3.3 Materialauswahl

Als Materialien kommen bei dem FDM-Drucken ausschließlich Kunststoffe infrage, da die Verarbeitungstemperaturen zwischen 180°C und 300°C liegen. Es gibt dennoch eine große Bandbreite an Materialien, Materialfarben, Materialverbunden etc. So existieren z.B. wasserlösliche Materialien, kohlefaserverstärkte Kunststoffe oder auch unterschiedliche Materialhärten- und Steifigkeiten.

In Tabelle 1 werden die drei gängigsten Filamente hinsichtlich der entscheidenden Faktoren miteinander verglichen. Innerhalb der drei untersuchten Kunststoffarten sind wiederum viele unterschiedliche Zusammensetzungen und Eigenschaften möglich.

Die aufgeführten Eigenschaften beziehen sich auf eine explizite Zusammensetzung des Herstellers „eSun“. Die Temperaturbeständigkeit ist entscheidend, da die Temperaturen an warmen Tagen weit über 50°C betragen. (Grundstein, 2024) Die Kerbschlagzähigkeit hilft beim Einschätzen des plastischen Verhaltens, was bei Überbeanspruchung zu Tragen kommt. Der E-Modul ist zum Vergleich der Steifigkeit wichtig. Über die Streckspannung kann die mögliche Belastbarkeit des Materials abgeschätzt werden.

Es wird deutlich, dass PLA (Polylactid) aufgrund der guten Druckeigenschaften für schnelle, einfache Modelle gut geeignet ist. Deshalb ist es auch am weitesten verbreitet. Gut geeignet ist es für Prototypen oder Bauteile mit geringer Belastung. Ein besonders hohes E-Modul weist PA-CF (Polyamid mit Kohlefaser) auf. Es hat außerdem den Vorteil, dass es eine hohe zulässige Streckspannung hat und ein qualitativ hochwertiges Ergebnis liefert. Allerdings ist der Druckvorgang anspruchsvoll und der Preis ist hoch. ASA (Acrylnitril-Styrol-Acrylat) ist duktiler als PLA, kann dabei aber nur eine etwas geringere Streckspannung aufnehmen. Für den endgültigen Verbau im Fahrzeug ist dieses Material aufgrund der Temperaturbeständigkeit nicht geeignet.

	PLA	ASA	PA-CF
Mechanische Eigenschaften			
Temperaturbeständigkeit [°C]	53	88	155
Kerbschlagzähigkeit [kJ/m ²]	9	19	19
Zug E-Modul [MPa]	1973	4300	4363
Streckspannung [MPa]	63	50	140
Druckeigenschaften (Qualitativ)			
Geschwindigkeit	+	O	-
Optische Qualität	+	-	O
Druckschwierigkeit	+	-	O
Mögliche Bauteilkomplexität	+	-	O
Preis	+	O	-

Tabelle 1: Vergleich unterschiedlicher Filamente (Shenzhen eSun Industrial Co., Ltd., 2021; Shenzhen eSun Industrial Co., Ltd., 2021; Shenzhen eSun Industrial Co., Ltd., 2021)

Zusätzlich zu den mechanischen Eigenschaften werden in Tabelle 1 auch Druckeigenschaften nach eigenen Erfahrungen aufgezeigt. Die Materialien werden gegeneinander gewertet und mit + (positiv), O (neutral) und - (negativ) eingeordnet.

Es wird direkt deutlich, dass PLA sehr gut für den 3D-Druck im Hobby-Bereich geeignet ist, wenn die mechanischen Eigenschaften ausreichen, da es einfach zu verarbeiten ist und geringe Materialkosten entstehen.

Die Geschwindigkeiten sind bei allen Materialien ähnlich, PA-CF ist etwa 20% langsamer, als PLA. Aufgrund der einfachen Druckbarkeit gibt es PLA in vielen Variationen, darunter auch matte Filamente, bei denen die einzelnen Schichten nicht zu differenzieren sind. PA-CF bildet nach dem Druck ebenfalls eine weitestgehend homogene Oberfläche, bei ASA sind die Schichten klar zu erkennen.

Bezüglich der Druckschwierigkeit ist entscheidend, dass PA-CF sowohl vor dem Druck für mehrere Stunden getrocknet werden muss als auch während des Druckens viel Kontaktfläche zum Druckbett benötigt, da sich das gesamte Modell anderenfalls löst und nicht vollendet werden kann. Ein Haftvermittler kann dem entgegenwirken, dennoch haftet PLA besser. ASA muss nicht vor jedem Druck getrocknet werden, jedoch verzieht sich das Modell während des Druckens so stark, dass große Teile nicht formgenau gedruckt werden können.

Aufgrund des hohen Verzugs ist ASA nicht geeignet für komplexe Bauteile mit geringen Toleranzen. Mit PA-CF können bei ausreichender Druckbetthaftung auch komplexere Geometrien realisiert werden, jedoch sind hier ebenfalls mit PLA die besten Ergebnisse möglich.

Preislich variieren die unterschiedlichen Versionen von PLA, jedoch ist es durchschnittlich das günstigste Filament. PA-CF ist mit dem zwei- bis dreifachen Preis von PLA eindeutig am anderen Ende positioniert.

2.3.4 Fertigungsgerechte Konstruktion

Für einen erfolgreichen Druck mit guter Qualität werden nachfolgend einige wichtige Aspekte aufgezeigt, die bereits bei der Konstruktion beachtet werden sollten.

Überhänge vermeiden: Da der Drucker schichtweise aufeinander aufträgt, sind Überhänge nur mit Unterstützung druckbar. Ein Druck mit zusätzlichem Stützmaterial - auch Stützstruktur genannt - dauert länger, produziert Abfall und Mehrkosten und ist mit Nacharbeit verbunden. Außerdem kann es bei dem Entfernen der Stützstruktur passieren, dass das gedruckte Bauteil stärker an der Stützstruktur haftet, als an dem restlichen Bauteil und somit das Bauteil beschädigt wird.

Schrägen mit maximal 45°-Winkel zur Druckebene: Um Stützstruktur zu vermeiden, können Überhänge angeschrägt werden, wodurch der Druckkopf die nächste Schicht auf das Bauteil legen kann und somit keine Stützung nötig ist.

Überbrückungen kurzhalten: Kurze Abschnitte können ohne unterliegende Schicht gedruckt werden. Allerdings sind hiermit nur Lücken von bis 10mm sicher möglich. Bei größeren Lücken müssen entweder Zwischenstege in der Konstruktion eingebaut oder bei dem Druck mit Stützstruktur gearbeitet werden.

Differentialbauweise: Aufgrund der langen Druckzeiten ist es ratsam, den Druck sinnvoll in kleinere Bauteile zu unterteilen. Somit muss im Falle eines Druckfehlers nur ein kleiner Teil wiederholt werden. Die Teile können anschließend entweder verschraubt oder verklebt werden.

Wandstärke dreifache Düsenbreite: Der Düsendurchmesser am Ende des Druckkopfes beeinflusst, wie fein, aber auch wie schnell gedruckt werden kann. Deshalb wird für unterschiedliche Qualitätsansprüche die Düse gewechselt. Dünne Stege und Wände sollten mindestens den dreifachen Düsendurchmesser haben.

Fase an der Unterseite: Damit das Bauteil besser an der Bauplattform haftet, wird dieses erwärmt. Infolge der Wärme wird das Material allerdings weich und wird aufgrund seines Eigengewichts nach außen gedrückt. Um zu vermeiden, dass das Bauteil unten zu breit wird, kann in der Konstruktion bereits an der Unterseite eine 1mm-Fase eingearbeitet werden, die der Verbreiterung entgegenwirkt.

Auflagefläche erhöhen: Für eine hohe Bauteilhaftung sollte am Bauteil eine große Auflagefläche vorhanden sein. Bei einer kleinen Auflagefläche ist das Bauteil zudem instabil und kann unter Umständen während des Druckens umkippen. (Alexander Pusch, 2022)

2.4 Design

Der Begriff des Designs ist im deutschen auf die visuell ansprechende Gestaltung bezogen. Im englischen umfasst das Design die allgemeine Gestaltung eines Teils, wobei es nicht vorrangig um die visuell ansprechende Gestaltung geht. Wichtig für ein ausgewogenes Design ist, dass sich eine Formsprache durch das gesamte Fahrzeug zieht.

Hilfreich ist hierfür die Festlegung eines „Icons“. Dieses Icon ist eine definierte, sehr einfache Form, die sich an vielen Stellen des Interieurs und Exterieurs wiederfindet. Es kann ein Dreieck oder Sechseck mit festgelegten Winkeln und Längenverhältnissen, sowie festgelegter Krümmung sein. Dieses Icon wird dann beispielsweise in der Frontgrafik, Heckgrafik, Heizzugauslässen und anderen markanten Elementen aufgegriffen.

Neben dem Icon als übergreifendem Formelement ist bei der Linienführung zu beachten, dass diese klar zu deuten sind. Die Linien müssen entweder ineinander übergehen oder einen eindeutigen Abstand haben und dürfen sich auch in einer theoretischen Verlängerung nur in einem stumpfen Winkel kreuzen. Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 5 erkenntlich, dass die blau markierte Kurve den Bezug von der Oberkante im vorderen Bereich zur Designsicke im hinteren Bereich herstellt. Die violette Kurve hingegen zeigt, dass sich die Fuge klar erkennbar mit einer anderen Linie kreuzt.

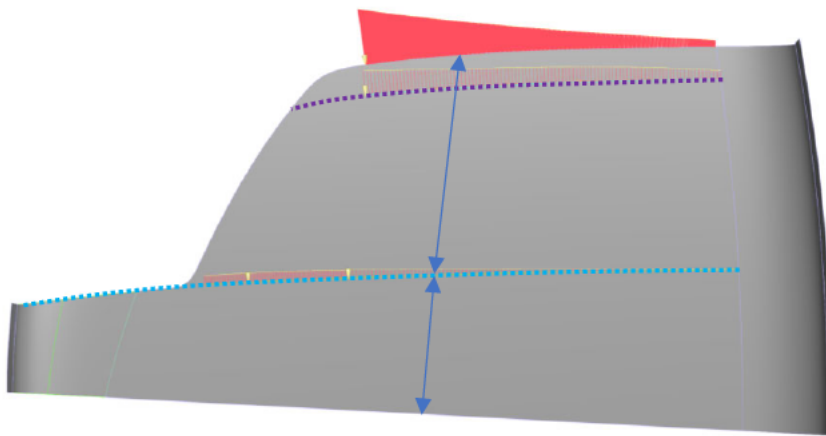


Abbildung 5: Krümmungsverlauf Seitenansicht Mittelkonsole (eigene Darstellung)

Außerdem ist der Krümmungsverlauf wichtig. Hierbei ist entscheidend, dass lesbare Kanten, Sicken und Fugen aufeinander aufbauen und sich die Krümmung stetig erhöht oder verringert. In Abbildung 5 sind die Krümmungsverläufe mit roten vertikalen Balken dargestellt. Es wird deutlich, dass die oberste Kante den größten Krümmungsbetrag hat, die mittlere geringer ausgeprägt ist und die unterste am geringsten. Außerdem haben alle Kanten den Krümmungsaufbau von rechts nach links steigend.

Als grundsätzlich ästhetisches Proportionsverhältnis wurde der goldene Schnitt festgehalten. Er beschreibt das Verhältnis zweier Objekte mit ungefähr 1:1,62. Es ist ratsam dieses Verhältnis bei der Gestaltung wieder aufzugreifen. In dem Beispiel in Abbildung 5 entspricht das Verhältnis der blauen Pfeile dem goldenen Schnitt. (Friedhoff, 2024)

3. Skizzen und Konzepte

Der Designfindungsprozess umfasst mehrere Schritte, die aufeinander aufbauen. Als erstes wird die aktuelle Mittelkonsole untersucht. Anschließend wird verglichen, wie die Mittelkonsole bei anderen Fahrzeugen gestaltet ist. Aus diesem Vergleich werden Randbedingungen festgelegt, woraufhin die Konzeptfindung abläuft. Zum Abschluss wird mit Hilfe der Nutzwertanalyse ein Konzept festgelegt.

3.1 Originale Mittelkonsole

Die bisherige Mittelkonsole des Land Rover Defender beschränkt sich auf eine Armauflage mit darunterliegendem Fach ohne Unterteilungen. Zusätzlich sind bei manchen Modellen zwei Getränkehalter an der Vorderseite der Kiste verbaut. Die ungepolsterte Armauflage bildet den Deckel des Faches und wird über ein außen liegendes Scharnier nach hinten geöffnet.

Abbildung 6 zeigt die originale Mittelkonsole verbaut im Fahrzeug. Es ist zu erkennen, dass der verfügbare Bauraum nach vorn durch die Zugänglichkeit der beiden Schalthebel beschränkt ist. Außerdem ist diese Mittelkonsole so tief, dass sie aufgrund der fehlenden Sitzhöhenverstellung nur von einer geringen Kundengruppe als ergonomische Armauflage genutzt werden kann.

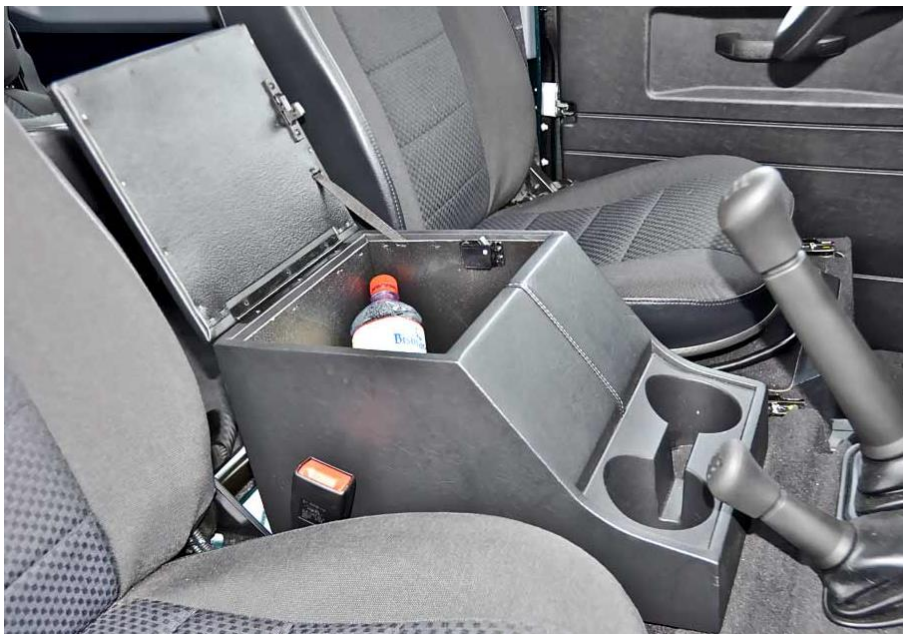


Abbildung 6: Mittelkonsole 2016 Defender (DAZ VERLAGSGRUPPE GmbH, 2014)

3.2 Marktanalyse

Im Rahmen der Marktanalyse werden verschiedene Fahrzeuge als Vergleichsfahrzeuge betrachtet. Aufgrund großer Unterschiede in der Innenraumgestaltung wurden die Fahrzeuge unterschiedlich gruppiert.

Geländewagen als Nutzfahrzeug: Wie bereits in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** erwähnt, wurde der Defender als Nutzfahrzeug für die Landwirtschaft entwickelt. Als im Jahr 2016 die Produktion des Defender eingestellt wurde und absehbar war, dass der Nachfolger andere Kundenkreise als der Vorgänger bedienen soll, hat „Ineos“ den „Grenadier“ entwickelt, um die entstandene Marktlücke des Geländewagens als Nutzfahrzeug zu füllen. Er ist entsprechend rustikal und puristisch. (Hildebrandt, 2020)

Der Innenraum des Ineos ist, wie in Abbildung 7 zu sehen, sehr rudimentär gestaltet mit sehr wenig bombierten und großen Kunststoffflächen versehen. Die Materialauswahl ist kostengünstig und gut abwischbar, aber nicht gemütlich. Die Armauflage ist zwar gepolstert, aber nicht in der Höhe verstellbar oder entsprechend geformt. Unter der Armauflage gibt es ein Fach mit zwei USB-Steckdosen. Außerdem sind zwei Getränkehalter vorhanden.

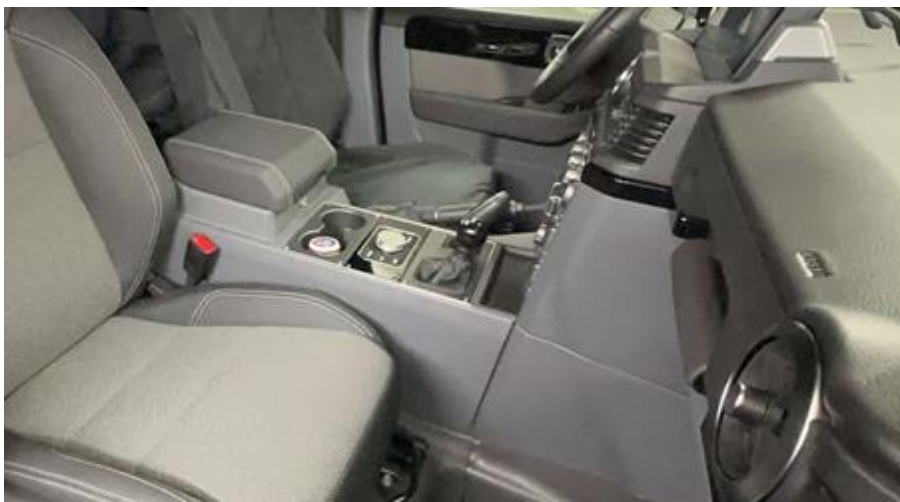


Abbildung 7: Mittelkonsole 2022 Ineos Grenadier seitlich (classistatic, kein Datum)

Auf der Hinterseite der Mittelkonsole sind zwei Auslässe der Heizung für den Fond angebracht. Außerdem wurden zwei USB-Steckdosen verbaut. Es fällt jedoch in Abbildung 8 auf, dass die Kiste stark in den Fußraum des Mittelsitzes der Rückbank ragt. Aufgrund des daraus resultierend engen Fußraums ist der Sitzkomfort enorm eingeschränkt.



Abbildung 8: Mittelkonsole 2022 Ineos Grenadier von hinten (classistatic, kein Datum)

Geländewagen Lifestyle: Als nächstes werden Geländewagen betrachtet, die ursprünglich als Nutzfahrzeug auf den Markt kamen, aber vermehrt als Lifestyle Fahrzeuge genutzt wurden und die Hersteller das Fahrzeug dahingehend weiterentwickelt haben. Hierfür wurden der 2020 vorgestellte Land Rover Defender und die Mercedes-Benz G-Klasse ab 2018 untersucht.

Die Mittelkonsole des neuen Land Rover Defender ist ähnlich der des Ineos mit einer Armauflage, die gepolstert ist, aber nicht in der Höhe verstellt werden kann. Beide haben ein Fach unter der Armauflage und zwei Getränkehalter vor der Armauflage. Neben den Getränkehaltern sind zusätzlich eine Vielzahl von Ablagen verbaut. Es sind außerdem zwei USB-Steckdosen offen am vorderen Ende der Mittelkonsole und zwei Steckplätze in dem versteckten Fach unter der Armauflage untergebracht. Zusätzlich besteht zwischen den Getränkehaltern und der Armauflage die Möglichkeit, ein Smartphone drahtlos zu laden. In Abbildung 9 ist außerdem zu erkennen, dass die Materialauswahl hochwertig ist.



Abbildung 9: Innenraum vorn 2020 Land Rover Defender (NewCarz.de, 2023)

Auch bei der G-Klasse ist die Armauflage nicht verstellbar. Allerdings ist sie in Fahrzeug-Längsrichtung zweigeteilt, was ermöglicht, dass jede Seite individuell geöffnet werden kann, um an das darunterliegende große Fach zu gelangen. Die Materialauswahl ist sehr hochwertig und die Linieneinführung der Mittelkonsole ist, wie in Abbildung 10 zu sehen, sehr klar. Es gibt hingegen nur wenige Ablagemöglichkeiten und Getränkehalter sind nicht verbaut.



Abbildung 10: Mittelkonsole 2018 Mercedes-Benz G-Klasse (classistatic, kein Datum)

Zwei USB-Steckdosen sind in dem Fach unter der Armauflage zu finden. In Abbildung 11 sind sie an der Vorderseite des Fachs zu sehen. Die Möglichkeit, das Smartphone drahtlos zu laden, gibt es regulär nicht.



Abbildung 11: Armauflage 2018 Mercedes Benz G-Klasse (Mercedes-Benz, kein Datum)

Im Vergleich der unterschiedlichen Konzepte fällt auf, dass alle Modelle mit einem großen Fach unter der Armauflage in der Mitte ausgestattet sind. Außerdem sind alle Armauflagen gepolstert, jedoch nicht in der Höhe verstellbar.

Der vorangegangene Vergleich der Mittelkonsolen hat gezeigt, dass sich die Gestaltung der Mittelkonsole im Vergleich zu der des alten Land Rover Defender stark verändert hat. Neben der Armauflage geht die Mittelkonsole bei allen Modellen durch bis zur Instrumententafel. Hierdurch wirkt der Innenraum umschließender und die Insassen fühlen sich geborgener. Ermöglicht wird diese Gestaltung durch den Entfall der Handschaltung und Positionierung des Automatikwahlhebels an einer freier wählbaren Stelle. Dies ist möglich, da dieser zum einen nur seltener bedient werden muss, als die Handschaltung und zum anderen kleiner gestaltet werden kann, da er nur ein elektrisches Signal übermittelt und keine große Mechanik verbaut ist. Bei der G-Klasse ist der Wahlhebel gänzlich von der Mittelkonsole verschwunden und wurde als Lenkradschaltung umgesetzt.

3.3 Randbedingungen

Die Randbedingungen werden in drei Bereiche unterschieden. Zuerst wird der verfügbare Bau-raum anhand der vorhandenen Mittelkonsole festgelegt. Als nächstes werden die Funktionalitäten definiert, die erfüllt werden sollen, wobei zwischen zwingend zu erfüllenden *muss-Anforderungen* und wünschenswerten *soll-Anforderungen* unterschieden wird. Als letztes wird das Design festgelegt, wobei die grundsätzlichen Designanforderungen beachtet werden.

3.3.1 Bauraum

Der vorangegangene Vergleich zeigt deutlich den Trend zur durchgehenden Mittelkonsole als Verbindung zwischen der Armauflage und der Instrumententafel. Dies ist, wie in Abschnitt 3.1 bereits erwähnt, aufgrund der Zugänglichkeit der beiden Schalthebel im alten Defender nur mit großem Aufwand umsetzbar, weshalb diese Lösung nicht weiterverfolgt wird.

Aufgrund der ergonomischen Zugänglichkeit der Schalthebel soll die grundsätzliche Form der vorhandenen Mittelkonsole beibehalten werden, jedoch werden die äußeren Abmessungen leicht angepasst. Der seitliche Freiraum zu den Gurtschlössern kann um bis zu 10mm pro Seite eingeschränkt werden. Um die schräge Verschraubungsebene auszugleichen, muss die Armauflage vorn um 5° abgesenkt werden. Im Fondbereich kann die Beinfreiheit um 30mm eingeschränkt werden.

Aus den vorangegangenen Abweichungen zur vorhandenen Mittelkonsole ergibt sich der in Abbildung 12 dargestellte verfügbare Bauraum:

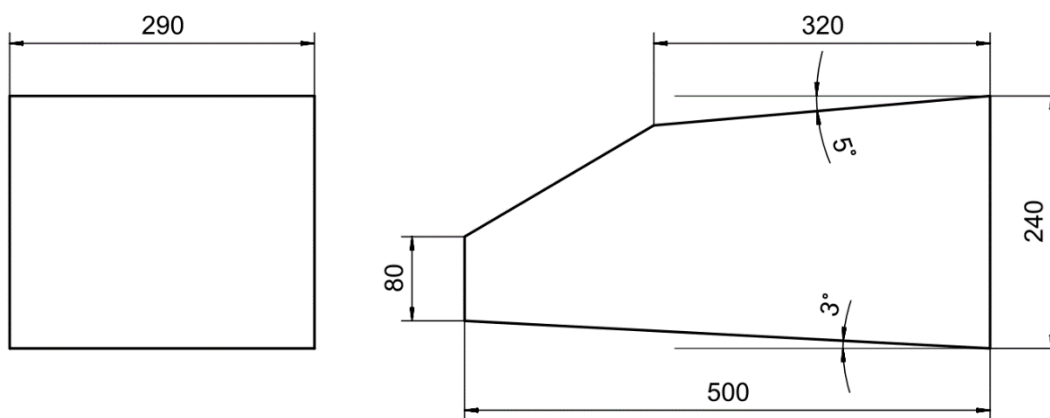


Abbildung 12: Verfügbarer Bauraum für die Mittelkonsole (eigene Darstellung)

Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen und Fertigungstoleranzen werden alle Kanten mit einem Radius von 3,5mm verrundet.

Diverse Zubehörhändler haben eine Erhöhung für die Mittelkonsole im Programm, welche Platz für eine Standheizung schafft. Da diese Erhöhung bei den vielen Fahrzeugen der betrachteten Zielgruppe nachgerüstet wurde, müssen diese Schraubpunkte weiterverwendet werden. Außerdem muss der Ein- und Ausbau innerhalb weniger Minuten möglich sein.

3.3.2 Funktionalität

In dem vorangegangenen Vergleich sind einige Gemeinsamkeiten zu erkennen. Alle Modelle haben eine gepolsterte Armauflage, welche nicht in der Höhe verstellbar ist. Die Form und Höhe müssen demzufolge so gestaltet sein, dass unterschiedliche Staturen ihren Arm komfortabel ablegen können.

Unter der Armauflage aller Modelle sind Staufächer zu finden. Diese sind nicht weiter strukturiert, jedoch gibt es zusätzlich noch weitere Ablagen in den Mittelkonsolen der Fahrzeuge. Da die Mittelkonsole in dieser Arbeit auf den Bereich der Armauflage beschränkt wird, muss das darunterliegende Fach Unterteilungen aufweisen. Zusätzlich muss es in dem Fach zwei USB-Steckdosen geben und es soll beleuchtet sein. Um das Fach zu erreichen, muss die Armauflage wegklappbar sein.

Folgende Utensilien müssen einen festen Platz haben:

- Sonnenbrille mit guter Erreichbarkeit während der Fahrt
- Kleingeld, Schlüsselbund, Kopfhörer
- 1 Getränk mit 65mm Durchmesser
- Smartphone mit induktiver Ladeschale. Das Mindestmaß hierfür: 170x80x8mm
- Fahrzeugschein, Führerschein

An sinnvollen Stellen sollen Gummizüge oder Netztaschen verbaut werden, um Dinge einfach zu verstauen. Dies kann sowohl innerhalb als auch außerhalb des großen Faches sein. Es muss jedoch passend zum optischen Erscheinungsbild sein.

Für das Soundsystem muss ein Subwoofer untergebracht werden. Als sehr kompaktes Gerät wird der Pioneer TS-WX130DA mit den Abmessungen 280x200x70mm für die weitere Auslegung genutzt. Das Gerät kann in beliebiger Ausrichtung angeordnet werden.

Für Zusatzausrüstung müssen mindestens 4 Schalter Platz finden. Diese müssen gut erkenn- und differenzierbar sein.

Sofern der Bauraum zur Verfügung steht, ist ein Heizungsauslass für die Fondpassagiere wünschenswert. Außerdem soll ein doppelter Boden für die Elektroinstallation und als Versteck für Wertsachen verbaut werden. Ein entnehmbares Fach, welches auch als Mülleimer genutzt werden kann, ist wünschenswert, sofern der Platz zur Verfügung steht.

3.3.3 Designfindung

Das Design gibt der Funktionalität eine ansehnliche Form, wobei die Funktionen dennoch voll erfüllt werden müssen. Hierbei ist es wichtig, die Designsprache des restlichen Fahrzeuges aufzugreifen. Das Design des Land Rover Defender ist pragmatisch und es ist kein Icon oder eine klare Formsprache zu erkennen. Die Mittelkonsole wird entsprechend der gesetzlichen Anforderungen aus Abschnitt 2.2 und den grundsätzlichen Designanforderungen aus Abschnitt 2.4 gestaltet.

Bei der Gestaltung wird darauf Wertgelegt, dass sich die Mittelkonsole optisch bestmöglich integriert. Sie soll allerdings mit einem modernen Design den Innenraum attraktiver gestalten. Hierfür werden die Außenwände bombiert und die Kanten mit großen Radien verrundet. Es soll sich

darüber hinaus die Form der Karosserie wiederfinden. Hierfür wird die Charakterlinie sinnvoll integriert und die steile Frontscheibe aufgegriffen.

3.4 Konzeptfindung

Um das optimale Konzept zu finden, werden mehrere Methoden angewandt. Zunächst wird ein morphologischer Kasten mit kreativen Ideen erstellt. Hieraus resultieren drei mögliche Konzepte, welche mit Skizzen ausreichend visualisiert werden. Abschließend werden die Konzepte in einer Nutzwertanalyse bewertet und es wird ein Konzept zur weiteren Ausarbeitung festgelegt.

3.4.1 Morphologischer Kasten

Zur ideenreichen Entscheidungsfindung wird der morphologische Kasten ausgearbeitet. Er verbindet die kreativen Möglichkeiten mit einer systematischen Abarbeitung der möglichen Lösung. Hierzu wird das zu lösende Problem in unterschiedliche Kriterien unterteilt und zunächst mehrere Lösungsmöglichkeiten für jedes Kriterium notiert. Es resultiert eine Matrix mit möglichen Lösungen für die jeweiligen Kriterien. Aus dieser Matrix ist abschließend in jeder Kategorie eine Lösungsmöglichkeit zu wählen. Aus der Summe der gewählten Lösungsmöglichkeiten resultieren beliebig viele mögliche Gesamtlösungen.

Für die Entwicklung der Mittelkonsole wurde nur für die in Tabelle 2 aufgeführten Kategorien nach Lösungsmöglichkeiten gesucht. Weitere Anforderungen werden im morphologischen Kasten nicht behandelt, da die Lösungen hierfür bereits eindeutig sind.

Kategorie	Lösungsmöglichkeit 1	Lösungsmöglichkeit 2	Lösungsmöglichkeit 3	Lösungsmöglichkeit 4	Lösungsmöglichkeit 5
Ort für Brille und Kleinigkeiten	In der Ablage vor der Armauflage	Klappe in der Schräge	Unterteilung im großen Fach		
Ort für Getränkehalter	Im großen Fach	Modularer Einsatz vorne	Hinten außerhalb	Vorne in der Schräge	Vorne ausfahrbar
Ort für Smartphone Wireless Charging	In der Ablage vor der Armauflage	Kleines Fach vorne	Schlitz zum einschieben in Schräge	Im großen Fach	
Ort für Subwoofer	Vorn im großen Fach	Hinten	Unten	Seitlich im großen Fach	
Ort für Schalter für Zusatzausrüstung	Vor der Schräge	Vorne in der Schräge	Innerhalb der Kiste		
Öffnung der Armauflage	Einteilig	Offen	Zweiteilig		
Unterteilungen großes Fach	Vertikal getrennte Fächer	Mehrere entnehmbare Fächer	Keine weiteren Unterteilungen	Horizontale Unterteilung verschieblich	
Obermaterial	Stoff	Leder	Velours	Alcantara	Kunststoff (roh)

Lösungsweg 1 ● Lösungsweg 2 ● Lösungsweg 3 ●

Tabelle 2: Morphologischer Kasten zu Funktionalitäten (eigene Darstellung)

Aus der vorangegangenen Untersuchung ergeben sich drei mögliche Lösungswege:

Lösungsweg 1: In dem großen Fach unter der Armauflage ist ein fester Ort auf einer verschiebbaren Einlage für die Brille und für Kleingeld oder Schlüssel getrennt voneinander vorgesehen. Ein Getränkehalter kann aus der schrägen Wand vor dem großen Fach ausgefahren werden. Daneben befindet sich ein Schlitz zum Einschieben des Smartphones, in welchem es drahtlos geladen werden kann. Der Subwoofer wird von unten an der Mittelkonsole befestigt. Schalter für Zusatzausrüstung werden anstelle des bisherigen kleinen Faches vor dem großen Fach platziert. Je nach Schaltergröße ist es jedoch möglich, einen Teil dieses Bereiches weiterhin als Ablage zu nutzen. Die Armauflage ist zweiteilig getrennt voneinander zu öffnen. Der gedruckte Kunststoff wird mit Leder bezogen.

Lösungsweg 2: Die Sonnenbrille und Kleinigkeiten werden in einem separaten Fach, vor dem Hauptfach verstaut. Außerdem wird dort auch das Smartphone drahtlos geladen. Für Getränke können bei Bedarf ein oder zwei Getränkehalter modular in dem kleinen Fach am vorderen Ende der Mittelkonsole eingesetzt werden. In dem großen Fach unter der zweigeteilten Armauflage findet der Subwoofer unten Platz. Zusätzlich gibt es zur Ordnung im großen Fach mehrere

entnehmbare Unterteilungen. Schalter für Zusatzausstattung sind vor der Armauflage in der Schräge platziert. Außen wird die Konsole mit Alcantara bezogen.

Lösungsweg 3: In der Ablage am vorderen Ende der Mittelkonsole gibt es einen Platz für die Sonnenbrille, einen Platz für Kleingeld und einen festen Ort für das Smartphone mit induktiver Lademöglichkeit. Diese Utensilien sind somit jederzeit frei zugänglich und haben einen festen Ort, an dem sie sicher verstaut sind. Der Getränkehalter wird unmittelbar hinter der vorderen Ablage Platz finden. Auf der Rückseite der Mittelkonsole ist der Subwoofer eingelassen, sodass die äußeren Abmessungen innerhalb der Anforderungen bleiben. Zusätzliche Schalter werden neben dem Getränkehalter platziert und sind gut während der Fahrt zu erreichen. Die Armauflage wird, wie gehabt, einteilig geöffnet. Das darunterliegende Fach ist unterteilt durch eine horizontale Einlage, welche verschieb- oder herausnehmbar ist, sodass der gesamte Stauraum genutzt werden kann. Als Obermaterial wird Alcantara verwendet.

3.4.2 Konzeptskizzen

Die ausgearbeiteten möglichen Konzepte werden für einen eindeutigen Eindruck skizziert.

Das erste Konzept ist in Abbildung 13 dargestellt. Das Konzept ist einfach aufgebaut und ähnelt der Erscheinung der originalen Mittelkonsole sehr. Es wirkt aufgrund der unterbrochenen schrägen Frontfläche und asymmetrisch angeordneten Schalter eher unaufgeräumt und der Innovationsgrad ist sehr gering. Die Schalter und die Ladeschale fürs Smartphone sind nicht formschön integriert. Vorteilhaft ist jedoch der einfache Aufbau des Grundkörpers. Der Getränkehalter kann aus der schrägen Frontfläche herausgefahren werden.

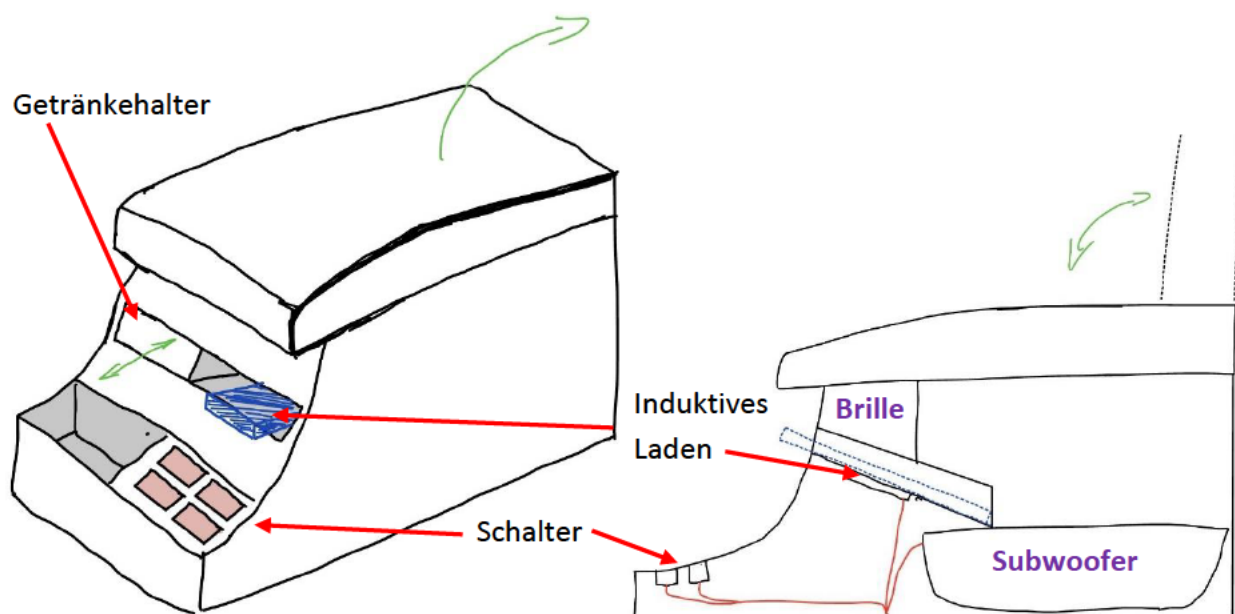


Abbildung 13: Skizze Konzept eins (eigene Darstellung)

Abbildung 14 zeigt das zweite Konzept, welches sehr übersichtlich ist. Die Raumnutzung ist aufgrund der Klappe an der schrägen Front sehr gut. Im vordersten Teil kann der Getränkehalter modular eingesetzt werden. Bei dem Konzept ist darüber hinaus noch genug Platz für die Luftführung im hinteren Bereich. Die Armauflagen werden getrennt zur Seite geöffnet.

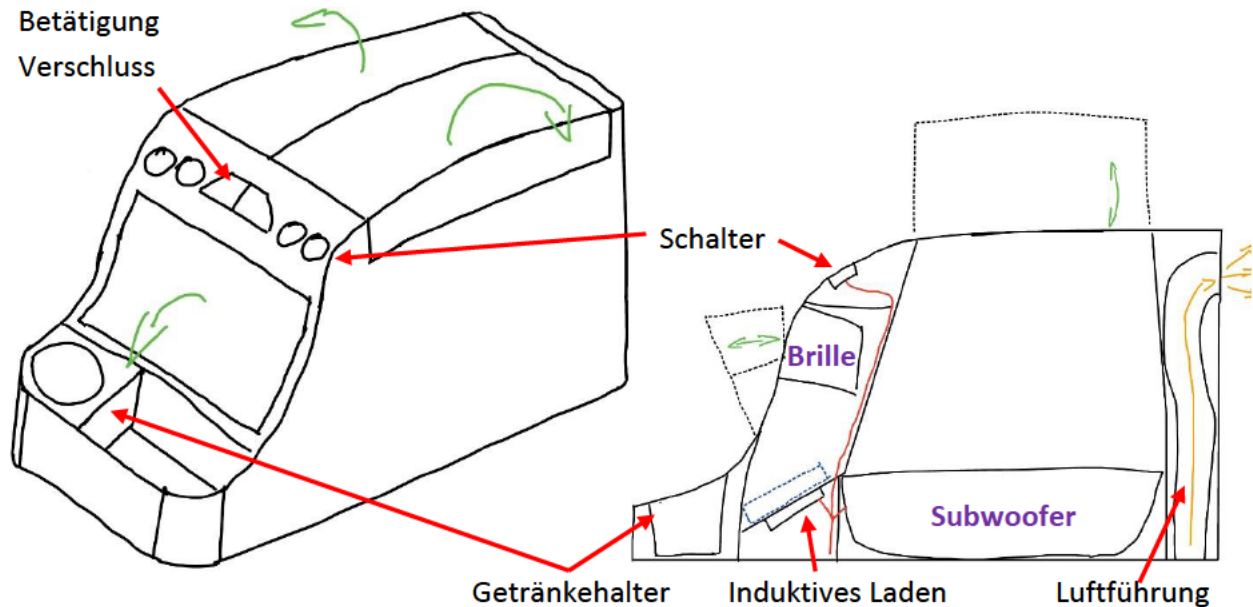


Abbildung 14: Skizze Konzept zwei (eigene Darstellung)

Bei dem dritten Konzept, in Abbildung 15, wird der Subwoofer im Heck befestigt, wodurch das große Fach sehr tief ist. Die Ladeschale ist vor der Schräge verortet, wo ebenfalls eine Brille Platz findet. Die Position der Schalter ist, wie bei dem zweiten Konzept, am oberen Ende der Schräge. Der Deckel wird in einem Stück nach hinten geöffnet.

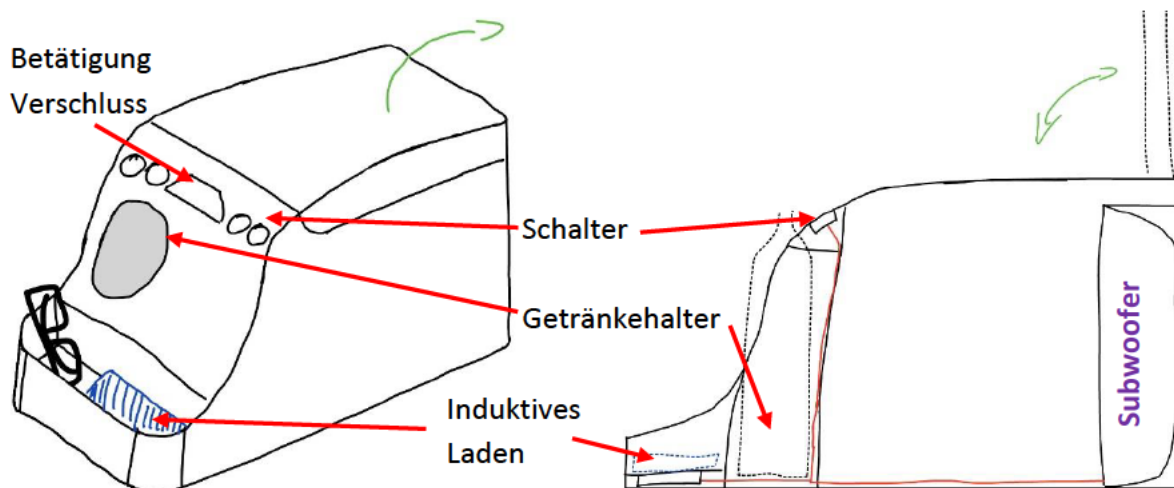


Abbildung 15: Skizze Konzept drei (eigene Darstellung)

3.4.3 Nutzwertanalyse

Zur Bewertung der unterschiedlichen Lösungswege wird eine Nutzwertanalyse angestellt. Hierzu werden mehrere Kriterien festgelegt, welche für die Mittelkonsole entscheidend sind. Da die Kriterien einen unterschiedlichen Stellenwert für die Mittelkonsole haben, werden sie auch in der Analyse unterschiedlich gewichtet. (Kühnapfel, 2021)

Die Erreichbarkeit der Fächer und Funktionen steht an oberster Stelle, da sie mit 25% die höchste Wichtigkeit hat. Es folgt das Design mit 20%. Reinigungsmöglichkeit der einzelnen Fächer, Fertigungsaufwand und die Ausnutzung des vorhandenen Bauraums sind mit jeweils 15% gleich gewichtet. Individualisierbarkeit ist wünschenswert, jedoch nicht stark gefordert und daher nur mit 10% gewichtet. Ebenso sind die Kosten gewichtet, da es sich um eine Kleinserienfertigung handelt.

Jeder der voran skizzierten Lösungswege wird in allen Kriterien individuell bewertet mit Punktzahlen zwischen null und zehn Punkten. Aus der Multiplikation der Bewertung mit der Gewichtung ergibt sich somit für jedes Kriterium ein Score je Lösungsweg. Die Summe der Scores ergibt den Gesamtscore.

Die Erreichbarkeit ist bei Lösungsweg drei besonders gut, da es nur ein großes Fach mit senkrechten Wänden gibt und die Sonnenbrille jederzeit direkt griffbereit ist. Lösungsweg zwei hingegen hat mehrere Klappen, die geöffnet werden müssen, um alle Dinge zu erreichen. Bei dem ersten Konzept muss erst die gemeinsame Armauflage geöffnet werden, bevor die Brille herausgenommen werden kann.

Das Design aus Lösungsweg zwei überzeugt durch seine Einfachheit und dadurch, dass es vor allem während der Nutzung aufgeräumt ist. Die wichtigsten Utensilien werden hinter Klappen versteckt und stören die Optik somit nicht weiter. Bei den beiden anderen Konzepten wird während der Nutzung das Design unterbrochen. Bei Lösungsweg eins stört außerdem der Schlitz in der Front.

Die Reinigbarkeit bei dem ersten Lösungsweg ist besonders weit hinter den beiden anderen Konzepten, da die Mechanik des Getränkehalters bei Verschmutzung sehr schwierig zu reinigen ist. Bei Konzept drei ist ebenfalls der Getränkehalter und bei Konzept zwei des Brillen- und Kleingeldfach schwierig sauber zu halten.

Der Fertigungsaufwand ist bei allen Konzepten ähnlich aufwändig. Lösungsweg drei ist ein wenig besser bewertet, da die Kiste sehr wenige Bauteile und keine aufwändige Mechanik integriert hat.

Die Raumnutzung ist bei Lösungsweg zwei aufgrund der zweiten Klappe in der Frontschrägen besser, als bei den anderen Konzepten gewertet. Außerdem ist nur bei diesem Konzept die Heizungsverteilung möglich. Konzept drei ist mit geringem Abstand ebenfalls gut bewertet, da das Fach unter der Armauflage mit den senkrechten Wänden sehr groß ist.

Die Individualisierbarkeit ist bei der ersten Lösung sehr gering, da der Innenraum so verklüftet ist, dass individuelle Einsätze nicht sinnvoll genutzt werden können. Im zweiten Konzept sind alle notwendigen Utensilien bereits untergebracht, weshalb das Hauptfach unter der Armauflage nach Bedarf frei unterteilt werden kann. Dieses große Fach kann mit Haltern oder Behältern organisiert werden.

Die Kosten sind bei dem ersten Konzept am höchsten, da der Getränkehalter mit sehr komplexer Mechanik einen hohen finanziellen Aufwand bedeutet. Lösungsweg drei ist am kostengünstigsten bewertet, da im Vergleich zu Konzept zwei nur ein Deckel mit einem Scharnier verbaut wird.

In Tabelle 3 sind die Kriterien für die jeweiligen Konzepte quantifiziert. Es kann somit entnommen werden, welches der Konzepte weiterverfolgt wird. Lösungsweg zwei hat mit 1,99 den höchsten Gesamtscore und wird im Folgenden als einziger weiter ausgearbeitet. In der Analyse folgt der Lösungsweg drei mit 1,86 Gesamtscore. Lösungsweg eins ist bei einem Gesamtscore von 1,40 mit großem Abstand eindeutig ausgeschieden.

Kriterium	Gewichtung	Lösungsweg 1 ●		Lösungsweg 2 ●		Lösungsweg 3 ●	
		Bewertung	Score	Bewertung	Score	Bewertung	Score
Erreichbarkeit	25%	7	0,44	7	0,44	9	0,56
Design	20%	6	0,30	9	0,45	5	0,25
Reinigbarkeit	15%	3	0,11	7	0,26	7	0,26
Fertigungsaufwand	15%	6	0,23	6	0,23	7	0,26
Raumnutzung	15%	4	0,15	7	0,26	6	0,23
Individualisierbarkeit	10%	3	0,08	8	0,20	5	0,13
Kosten	10%	4	0,10	6	0,15	7	0,18
		<u>1,40</u>		<u>1,99</u>		<u>1,86</u>	

Tabelle 3: Nutzwertanalyse der Konzepte (eigene Darstellung)

4. Auslegung der Materialstärke

Zur groben Abschätzung wird vor der Konstruktion als möglicher maximaler Lastfall angenommen, dass sich eine Person auf der längsten Seite abstützt. Hieraus resultiert eine Punktlast von 1000N auf der hinteren Wand, welche mit 250mm durchgehender Länge angenommen wird. Gesucht ist die Materialstärke dieser Wand. Die Rechnungen werden mit den Materialeigenschaften des schwächsten Materials durchgeführt, um abzusichern, dass die Kiste mit jedem zur Verfügung stehenden Material gefertigt werden kann.

Materialeigenschaften PLA:

$$\text{E-Modul: } E = 1973 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Zugfestigkeit: } \sigma = 63 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Querkontraktion: } \nu = 0,35$$

Lastfall:

$$\text{Last: } F = 1000N$$

$$\text{Fläche: } A = 250mm * t$$

$$\text{Sicherheit: } 2 = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{vorh}}$$

Versagensform: Fließen

$$\sigma_{zul} = 63 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{vorh} = \frac{1000}{250 * t} \frac{N}{mm} = \frac{4}{t} \frac{N}{mm}$$

$$\Rightarrow 2 = \frac{63 \frac{N}{mm^2}}{\frac{4}{t} \frac{N}{mm}}$$

$$\Leftrightarrow \underline{t = 0,127mm}$$

Versagensform: Druckbeulen

Es liegt Beulfall 4 mit einer allseitig gelenkig gelagerten Platte vor.

Beulwert: $k = 4$

$$\sigma_{krit} = k * \frac{\pi^2}{12 * (1 - \nu^2)} * E * \frac{t^2}{b^2}$$

$$\sigma_{krit} = 4 * \frac{\pi^2}{12 * (1 - 0,35^2)} * 1973 \frac{N}{mm^2} * \frac{t^2}{250^2 mm^2} = 0,118 * t^2 \frac{N}{mm^4}$$

$$\sigma_{vorh} = \frac{1000N}{250mm * t} = \frac{4}{t} \frac{N}{mm}$$

$$\Rightarrow 2 = \frac{0,118 * t^2 \frac{N}{mm^4}}{\frac{4}{t} \frac{N}{mm}}$$

$$\Leftrightarrow \underline{t = 4,08mm}$$

Aus den beiden Rechnungen folgt eine geringste Materialstärke der tragenden Wände von 4 mm. Der kritische Lastfall ist das Druckbeulen unter der Annahme, dass die Seitenwand ein Hautfeld ist, welches an den Seiten von Steifen umrandet wird. Die Berechnungen zum Fließen haben ergeben, dass die benötigte Wandstärke deutlich unter der des Druckbeulens ist.

5. Konstruktion

Die Konstruktion wird aufgeteilt in den äußerlich sichtbaren Teil und die inneren Strukturen, welche der Nutzer nur sieht, wenn er Klappen öffnet. Bei den äußeren Flächen steht das Design an oberster Stelle, wobei die Funktion und Ergonomie dennoch zu erfüllen sind. Nachdem das Konzept ausgearbeitet wurde, können Grundflächen aufgebaut werden, die anschließend mit funktionalen Teilen, wie Klappen, Mechanik oder Schraubenbohrungen verfeinert werden.

Als Konstruktionsmethodik wurde die Top-Down-Methode gewählt, welche sinnvoll ist, wenn die zu entwickelnden Bereiche aufeinander basieren. Mithilfe von Adaptermodellen ist es außerdem möglich, die Konstruktion aufzuteilen, sodass zeitgleich daran gearbeitet werden kann. Dieser Weg wurde in dieser Arbeit aber nicht verfolgt und wird daher nicht beschrieben.

In der Konstruktion werden als erstes die Randbedingungen definiert. Diese umfassen im vorliegenden Fall die Konzeptidee, äußere Abmessungen und diverse Funktionen. Basierend auf diesen Randbedingungen werden unterschiedliche Bereiche festgelegt, welche aufeinander basieren und nacheinander ausgearbeitet werden. Hierbei wird mit der außen begrenzenden „Kiste“ angefangen, gefolgt von Klappen und den inneren Wänden und so weit verfeinert, bis der notwendige Detailgrad erreicht ist.

Alternativ gibt es die Bottom-Up-Methode, die genutzt wird, wenn einzelne Bereiche detailliert konstruiert werden sollen, der Konstruktionskontext aber schon festgelegt ist. Dies ist bei der Konstruktion einzelner Bereiche in einer Baugruppe sinnvoll. Außerdem wird diese Methode vermehrt genutzt, wenn festgelegte Teile, Normteile oder Gleichteile genutzt werden. Da in dieser Konstruktion die meisten Teile neu konstruiert werden und es keinen Gesamtkontext gibt, wird die oben beschriebene Top-Down-Methode genutzt.

5.1 Konstruktionsaufbau

In diesem Abschnitt wird der Aufbau der Konstruktion dargelegt und beschrieben, welches Programm für welche Aufgaben und Bereiche genutzt wurde.

5.1.1 Siemens NX

Die Konstruktion wird vorrangig in dem parametrischen CAD-Programm „Siemens NX“ durchgeführt. Die parametrische Konstruktion ermöglicht es, das Modell im Nachhinein zu ändern, wobei die darauffolgenden Befehle assoziativ angepasst werden. So können Änderungen jederzeit mit geringem Aufwand auch an frühen Teilen des Modells umgesetzt werden.

Der Strukturbaum ist in drei übergeordnete Ordner unterteilt:

Im „INPUT“ werden Scan-Daten oder vorhandene Geometrien eingeladen. Da in dieser Konstruktion keine externen Daten vorhanden sind, stehen in diesem Ordner nur die Grundebenen. Diese Ebenen sind im Koordinatenursprung an der Kante hinten unten, mittig der Kiste festgelegt. Die Positionierung in der Mitte der Kiste hat den Vorteil, dass die symmetrischen Bauteile an der Grundebene gespiegelt werden können. Die X-Achse verläuft im Fahrzeugbau in der Regel in Fahrzeuginnenraumrichtung, wobei der positive Bereich nach hinten steigt. Der negative Y-Bereich liegt auf der linken Seite und die Z-Koordinaten steigen in der Höhe im positiven Bereich. Gewöhnlich wird auf der linken Seite konstruiert, da viele Bereiche symmetrisch sind.

Im „DESIGN“-Ordner findet der Großteil der Konstruktion statt. Die Einzelteile werden chronologisch nach der voran beschriebenen Top-Down-Methode entwickelt. Jedes Teil ist einem eindeutig benannten Ordner zugeordnet, wobei je nach Konstruktionsumfang in diesen Unterordnern die gleiche Struktur mit „Input“, „Design“, „Output“ zu finden ist. Im „Input“-Ordner ist hierbei die benötigte Geometrie für dieses Bauteil als assoziative Kopie abgelegt, wobei der „Output“-Ordner die bearbeiteten oder neuen Teile beinhaltet. Somit kann bei der späteren Verwendung direkt auf den jeweiligen „Output“-Ordner zugegriffen werden, was Verwechslungen vorbeugt. Unterordner von Teilen mit geringem Umfang müssen nicht derart unterteilt werden, da hier direkt ersichtlich wird, welches Teil weiterverwendet werden soll, da nur die eine assoziative Kopie in dem Ordner vorliegt.

Der übergeordnete „OUTPUT“-Ordner beinhaltet alle entwickelten Bauteile in der finalen Version. Für die spätere Weiterverarbeitung muss somit nur auf diesen Ordner zugegriffen werden, wodurch auch hier Verwechslungen vorgebeugt werden können.

Mit der parametrischen Konstruktion ist es allerdings sehr umständlich Freiformflächen zu manipulieren, weshalb die Grenzflächen in andere Programme exportiert werden, wo sie entsprechend bearbeitet werden. Nach der externen Bearbeitung können diese Daten ohne Bezug wieder importiert werden. Sie sind nun nicht mehr assoziativ, weshalb sie nicht rückwärtig up-datefähig sind. Änderungen an diesen Flächen können nur in dem externen Programm vorgenommen werden. Als Dateiformat für diesen Austausch wurde das IGES-Format gewählt.

5.1.2 ICEM Surf

ICEM Surf ist ein sehr weit verbreitetes CAD-Programm zur Gestaltung von Freiformflächen. Es ist nicht parametrisch, weshalb es keine assoziativen Abhängigkeiten gibt. Bei Änderungen müssen somit alle betroffenen Bereiche händisch angepasst werden. Außerdem kann ICEM Surf nur mit Kurven oder Flächen arbeiten, jedoch nicht mit Volumenmodellen.

Der Vorteil dieses Programms liegt darin, dass Flächen frei von jeglichen Beziehungen an Kontrollpunkten manipuliert werden können. Somit können die vorab in Siemens NX erstellten Flächen mit geringem Aufwand optisch ansprechend bombiert oder Krümmungen angepasst werden. Dieser Schritt wurde gewählt, wenn eine Fläche an eine andere angeschlossen werden sollte.

Nach dem Import der IGES-Dateien müssen die Flächen von NURBS-Flächen in Bézier-Flächen konvertiert werden, bevor sie bearbeitet werden können. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass die Flächen im „Sketch“ in Siemens NX Maß genau konstruiert und anschließend sehr einfach und frei bombiert werden können. Diese Konstruktion in ICEM Surf zu beginnen ist umständlicher, da dort keine bemaßten Skizzen erstellt werden können.

5.1.3 Grundflächen

Die Wandstärke der Grundflächen muss entsprechend der Vorauslegung aus Abschnitt 0 mindestens 4mm betragen, wird jedoch aufgrund des umlaufenden Radius von 3,5mm auf 5mm erhöht. Bei einer Wandstärke von 4mm wäre das visuelle Ergebnis aufgrund des knappen Überstandes nicht ansprechend.

Da das ursprüngliche Icon des Defender nicht bekannt ist, wurde die allgemeine Formsprache aufgenommen. Der Innenraum ist klar mit geraden Linien gestaltet und alles hat eine Funktion. Die Silhouette wurde mit der nach vorne abfallenden Dachhaut und steilen Frontscheibe interpretiert. Die Sicke an der Seite der Kiste soll die markante Charakterlinie darstellen.

Die Grundflächen wurden zunächst in Siemens NX erstellt und anschließend in ICEM Surf übertragen. In ICEM Surf wurden die Flächen bombiert und verrundet und es wurde eine Design-Sicke eingefügt. Die überarbeiteten Flächendaten wurden anschließend wieder zu Siemens NX übertragen und dort auf 5mm Wandstärke verdickt und miteinander zu der „Kiste“ verschnitten.

In Abbildung 16 sind die gestrakten Daten als Drahtmodell in ICEM Surf abgebildet.

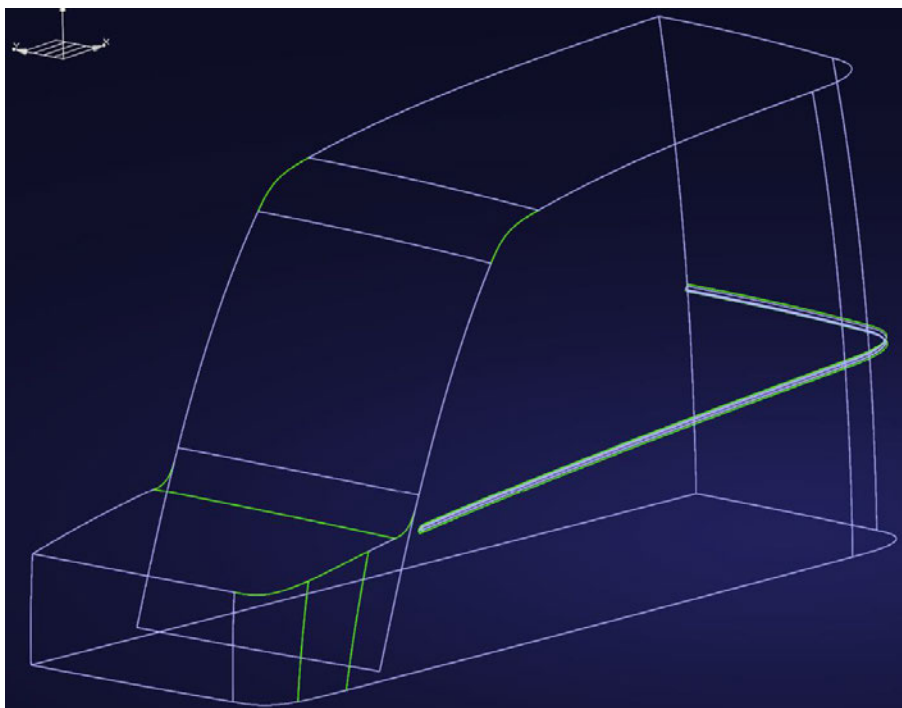


Abbildung 16: Drahtmodell Strak (eigene Darstellung)

Wie in Abbildung 17 dargestellt, wurde zunächst nur die linke Hälfte der Mittelkonsole konstruiert, da sie soweit symmetrisch ist und gespiegelt werden kann. Der Grün eingefärbte „Träger“ ist die fahrzeugseitige Erhöhung der Mittelkonsole mit den Positionen der Schraubpunkte. Er ist ein üblicher Ort für eine Standheizung mit dem Auslass auf der Rückseite unter der Mittelkonsole. Aufgrund dieses Heizungsauslasses auf der Rückseite ist er nicht symmetrisch und wurde bereits vollständig aufgebaut.

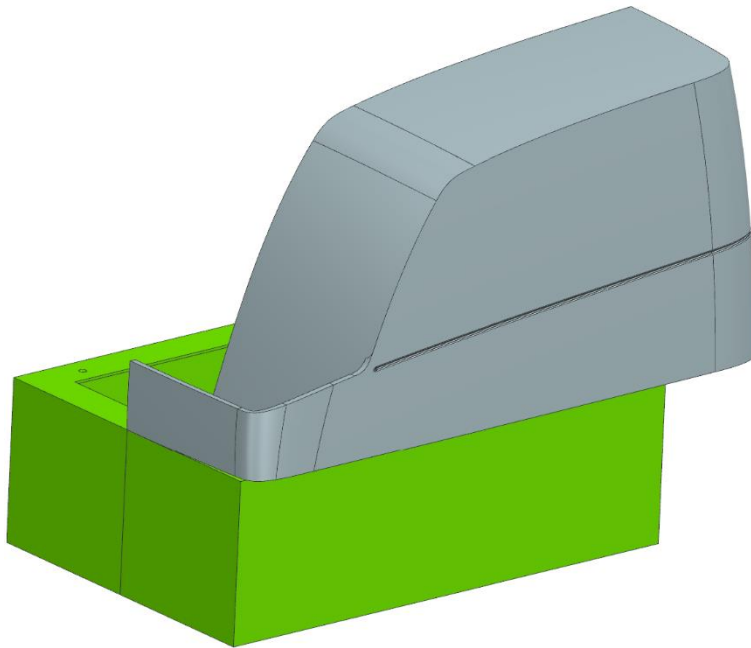


Abbildung 17: Grundkörper, Kiste und Träger (eigene Darstellung)

5.1.4 Konstruktion funktionaler Bauteile

Die Funktionsteile wie Klappen, Scharniere und Verschlüsse wurden nach den Grundflächen aufgebaut. Die Öffnungsfugen der Klappe in der vorderen Schräge wurden entlang der Patchränder gelegt und an den oberen- und unteren Rändern so verschindelt, dass eine Durchsicht in das dahinterliegende Fach nicht möglich ist. Außerdem bildet die Verschindelung auch den Anschlag im geschlossenen Zustand.

Die Öffnungslinien der Armauflage wurden in ICEM Surf entworfen und in NX importiert. Entlang dieser Öffnungslinien wurden Trennflächen aufgebaut, woran der Grundkörper geschnitten wurde. Zur Prüfung des Freigangs von Deckel und Klappe zur Kiste wurden diese vorerst mit „Pattern Geometry“ um die Scharnierachse gedreht. Die Scharnierachse liegt bei den Deckeln – wie bei der Klappe – so, dass der Öffnungswinkel groß ist, das Scharnier jedoch optisch nicht stört. Für die Öffnung des Deckels wurde entsprechend der magenta eingefärbten Flächen in Abbildung 18 ein Schlitz zum Hereingreifen gewählt, da der Deckel aufgrund seiner Lage keine Verriegelung benötigt. Die Klappe ist in Abbildung 18 grün dargestellt, das Polster der Armauflage ist blau und Träger hierfür in orange. Auf der Innenseite dieses Trägers ist ein Clip zum Fixieren von Kreditkarten, Führerschein oder Fahrzeugschein vorgesehen.

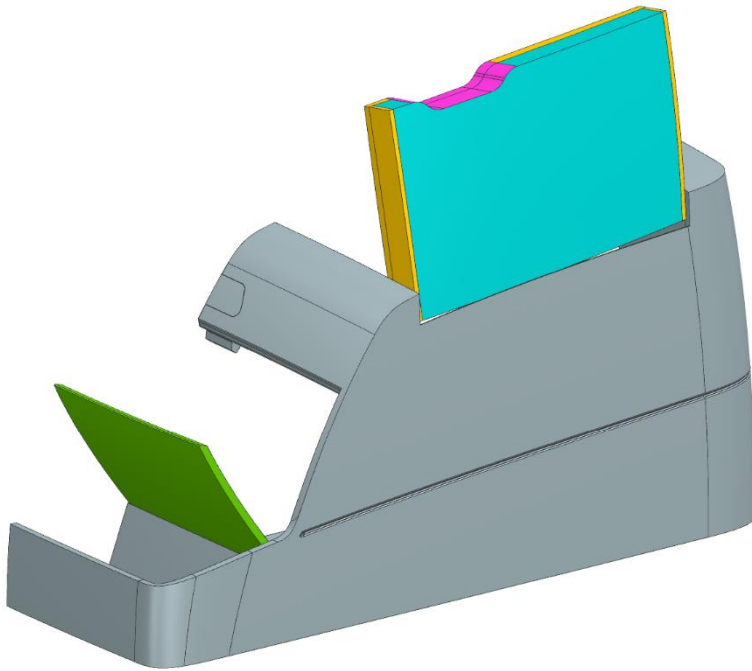


Abbildung 18: Halbe Mittelkonsole mit Klappe und Deckel geöffnet (eigene Darstellung)

Abbildung 19 zeigt in blau das Brillenfach im vorderen Fach. Es ist mit der Klappe verschraubt und muss in allen Öffnungswinkeln einen sicheren Halt bieten, weshalb die Wände des Brillenfaches so hoch sind, dass die Brille jederzeit sicher umschlossen ist. Die Breite und Tiefe sind so gewählt, dass auch große Brillen Platz finden. Hierfür wurden besonders große Brillen untersucht und ein Wert von 145mm Breite bzw. 150mm Bügellänge festgestellt. Für die einfache Erreichbarkeit wurde eine Aussparung zum Eingreifen eingebracht. Neben dem Brillenfach ist ein zusätzliches Fach für Kleingeld untergebracht. Die Wände sind nach innen mit 3° angeschrägt, damit die Gegenstände leichter entnommen werden können. Die Klappe und das Fach werden zum einen aus Fertigungsgründen verschraubt, da bei einem Verbundbauteil erhebliche Stützstruktur nötig wäre. Außerdem ist über die Verschraubungen eine Individualisierbarkeit denkbar, da andere Fächer anstelle des Brillenfaches verschraubt werden können.

Darüber hinaus wurde eine Verschlussmechanik (in Abbildung 19 Orange, Gelb und Grün) entworfen, die dafür sorgt, dass die Klappe während der Fahrt geschlossen bleibt und bei einfachem Druck über eine Feder (in Abbildung 19 Magenta) automatisch öffnet. Die Falle der Verriegelung greift in die Trennwand der beiden Fächer ein, weshalb diese Wand erheblich dicker ist als die Außenwände.

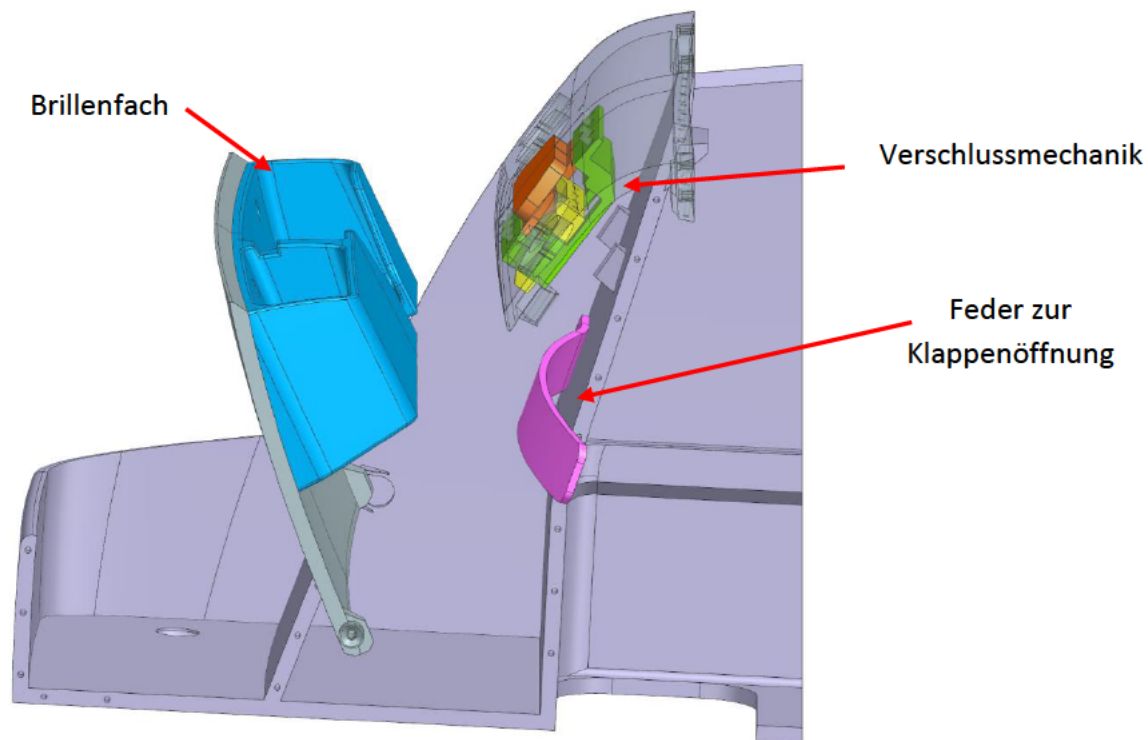


Abbildung 19: Seitenansicht der Verschlussmechanik der Klappe (eigene Darstellung)

Abbildung 20 zeigt das Eingelenkscharnier, wie an der vorderen Klappe und an den Deckeln verbaut, welches einen Federmechanismus beinhaltet, wodurch Klappe und Deckel problemlos eingesetzt werden können und in Position gehalten werden. Die Scharnierachse ist so gewählt, dass eine ausreichend große Öffnung möglich ist und das Scharnier nicht zu weit in den Sichtbereich ragt. Für die bessere Fertigung wurde der zylindrische Pin an der Klappe durch ein Schraubloch ersetzt. Somit ist es möglich, die Klappe in einem zu drücken und den Zylinder im Nachgang mit einer Senkkopfschraube anzuschrauben. Hieraus ergibt sich ein Mindestmaß von 8mm für den Zylinder.

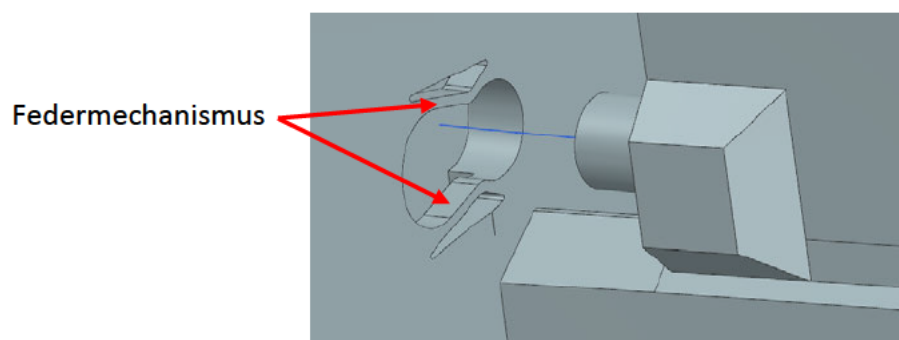


Abbildung 20: Eingelenkscharnier für Klappe und Deckel (eigene Darstellung)

Zur Unterteilung im Inneren der Kiste wurden Wände so eingezogen, dass die Fächer möglichst gut nutzbar sind. Der Subwoofer wird hängend an dem Zwischenboden montiert und hat aufgrund der Größe einen grundlegenden Einfluss auf die Wände, wie in Abbildung 21 zu erkennen ist. Der Boden und die innere senkrechte Wand sind aufgrund der Position des Subwoofers nicht symmetrisch und wurden über die Mitte hinaus konstruiert. Die vordere und hintere Wand

hingegen wurden nur bis zur Mitte konstruiert und anschließend gespiegelt. Diese beiden Wände wurden aufgrund des Übergangs von der bombierten zur planaren Fläche in ICEM Surf aufgebaut und anschließend in Siemens NX importiert sowie auf 5mm verdickt, um der Mittelkonsole zusätzliche Steifigkeit zu geben. In Grün ist das Auflager für den Deckel im geschlossenen Zustand markiert.

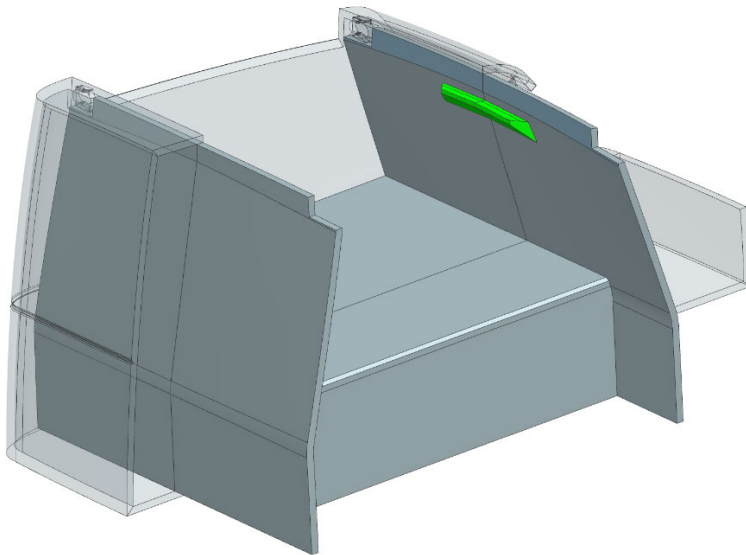


Abbildung 21: Anordnung der inneren Wände (eigene Darstellung)

Als nächstes wurde das Fach hinter der schrägen Klappe unterteilt, wie in Abbildung 22 dargestellt. Angefangen mit den elektrischen Inhalten wie Schaltern, Kabelführung und Lademöglichkeiten über USB und Induktion.

In der Wand der beiden Fächer sind jeweils eine USB-A- und USB-C-Steckdose für das Hauptfach verbaut, damit Tablets auch bei verlassenen Fahrzeug sichtgeschützt in dem Hauptfach geladen werden können. Es muss eine Halterung für die Elektronik und die Löcher der Steckdosen in der Wand konstruiert werden. Hierfür wurden die Steckdosen vermessen und die Aussparungen entsprechend konstruiert. Damit die Steckdosen bündig mit der Fläche abschließen, werden entsprechende Abstandhalter verbaut.

Die zugekauften Schalter sind am oberen Ende der schrägen Wand positioniert. Damit alle Schalter gleich ausgerichtet sind, haben die Löcher eine Nase zur eindeutigen Ausrichtung der Schalter.

Sämtliche Kabel werden durch die Trennwand des Technikteils (in Abbildung 22 Hellblau) von dem darunterliegenden Zusatzfach unterteilt und in einem Kabelkanal (in Abbildung 22 Braun) in einer Ecke nach unten geführt. Der Boden des Zusatzfaches (in Abbildung 22 Dunkelblau) ist mit einer induktiven Ladeschale versehen, welche viele Smartphones diverser Hersteller durch einfaches Auflegen lädt. Der Boden ist angeschrägt, damit einerseits genug Platz für größere Geräte ist und andererseits das Herausnehmen des Smartphones leichter fällt. Es ist möglich, zwei

Ladespulen zu verbauen, jedoch gibt es nur wenige Smartphones, die so klein sind, dass sie nebeneinander in dem Fach geladen werden können, weshalb nur eine Spule verbaut wird.

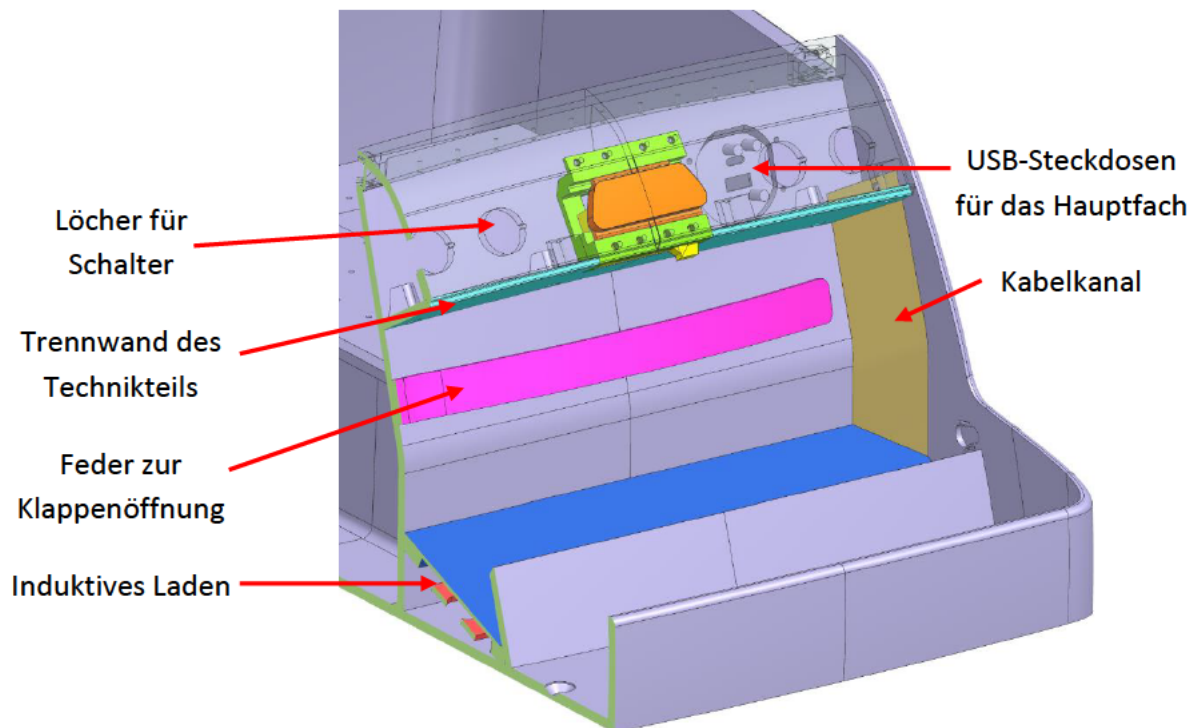


Abbildung 22: Aufteilung des Zusatzfaches (eigene Darstellung)

Nachdem die Position der Wände klar definiert ist, wird deutlich, dass die Luftführung im Heck ebenfalls umgesetzt werden kann. Serienmäßig hat der Land Rover Defender nur in der Instrumententafel Heizungsausströmer. Bei vielen Fahrzeugen wird deshalb unter der Mittelkonsole eine Standheizung verbaut, die neben der Standheizungsfunktion auch als Heizung für die Fondpassagiere genutzt wird. Um die Luftverteilung zu verbessern ist es deshalb besonders sinnvoll, den Ausströmer in die Mittelkonsole zu integrieren.

In den verfügbaren Bauraum passt eine 2kW-Heizung, welche eine Rohrführung mit 60mm Durchmesser benötigt, was einer Querschnittsfläche von 2827mm^2 entspricht. Dieser Querschnitt wurde in der gesamten Luftführung überschritten. Der minimale Querschnitt ist mit 3320mm^2 an dem hellblau markierten Ausströmer in Abbildung 23 zu finden. Die Luftführung in violett verjüngt sich auf einen minimalen Querschnitt von 3582mm^2 und ist somit größer als der Mindestquerschnitt. In grün ist der Trichter dargestellt, der die Luft von dem 60mm-Rohr auf den Luftkanal aufteilt.

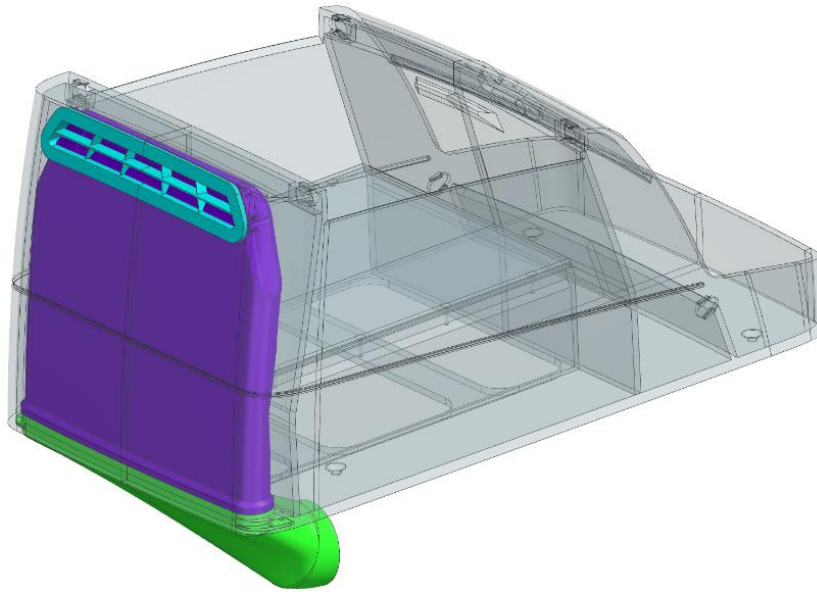


Abbildung 23: Ausströmer und Luftführung (eigene Darstellung)

Das vorderste Element der Mittelkonsole ist ein offenes Fach, das mit unterschiedlichen Einsätzen versehen werden kann. Beispielhaft wurde in Abbildung 24 blau dargestellt ein Getränkehalter für eine Flasche (Grün) mit 65mm Durchmesser entworfen, was einem wiederverwendbaren Coffee-to-go-Becher entspricht. In Magenta ist ein weicher Gummi-Einsatz für besseren Halt abgebildet. Es ist auch denkbar, weitere Einsätze wie einen kleinen Mülleimer oder Werkzeugkasten zu entwerfen und so die Individualisierbarkeit zu erhöhen.

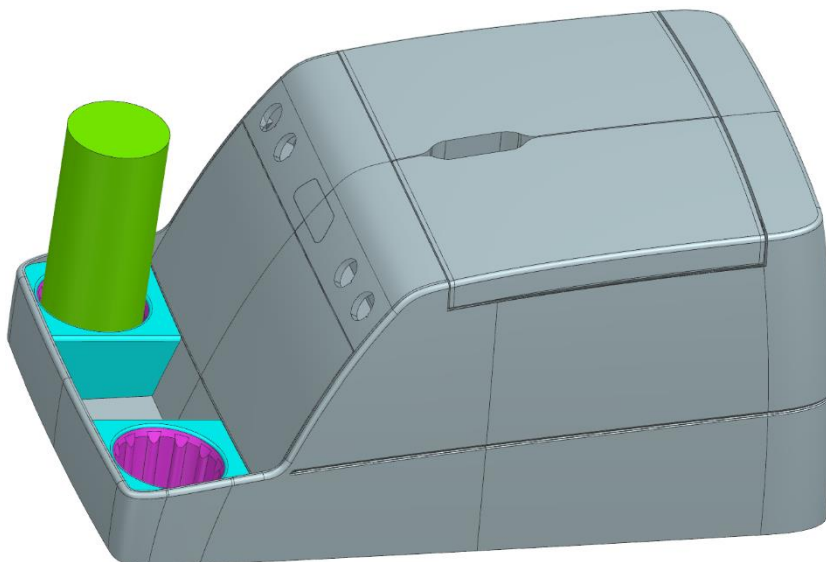


Abbildung 24: Getränkehalter (eigene Darstellung)

6. Fertigung

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, wird der Prototyp des Modells im 3D-Druck-Verfahren gefertigt. Hierfür wird der 3D-Drucker „Bambu Lab P1S“ genutzt, welcher eine geschlossene Druckkammer und einen Bauraum mit einer Größe von 256mm x 256mm x 256mm hat.

6.1 Verbindungen

Als Verbindungselemente werden zwei unterschiedliche Kunststoffschrauben mit 3,0mm Durchmesser verwendet. Eine hat einen Linsenkopf und 6mm Gewindelänge, die andere hat einen Senkkopf und 12mm Gesamtlänge. Es wird hauptsächlich die Linsenkopfschraube verwendet, da der Senkkopf das Material verdrängt, wodurch die Formgenauigkeit nicht mehr sichergestellt ist. Dennoch wird die Senkkopfschraube benötigt, wenn der Kopf plan in die Fläche integriert werden soll und kann bei Bedarf auf beliebige Länge gekürzt werden.

Es wurden mehrere Proben gedruckt, um die minimale Einschraubtiefe und den Kernlochdurchmesser in unterschiedlichen Materialien beider Schrauben zu bestimmen. Abbildung 25 zeigt die Proben mit unterschiedlichen Durchmessern nach der Verschraubung. Die Kernlochdurchmesser der Proben sind jeweils 2,6mm, 2,7mm und 2,8mm. Die Tests haben ergeben, dass das Kernloch 2,6mm Durchmesser mit mindestens 3mm Tiefe haben muss.

Das schwarze Material ist PA-CF, orange ist PLA. In beiden Materialien können die gleichen Maße genutzt werden. Unten rechts kann man die Verdrängung des Materials durch den Senkkopf in ein ungesenktes Loch erkennen, was die Wichtigkeit der Senkung in der Konstruktion unterstreicht.



Abbildung 25: Verschraubungsproben (eigene Darstellung)

Bereiche, die nicht geschraubt werden können, werden geklebt. Für eine bessere Positionierung werden an den Klebeflächen Löcher ins Bauteil gedruckt, wo ein Dübel eingesetzt werden kann, damit die Bauteile in Position bleiben. Der Dübel wird in beliebiger Länge von der Filamentrolle abgeschnitten und hat einen Nenndurchmesser von 1,75mm. Um den benötigten Lochdurchmesser zu ermitteln, wurde hierfür ebenfalls eine Lehre mit unterschiedlichen Durchmessern

gedruckt. Abbildung 26 zeigt die Lehre mit eingestecktem Dübel in dem Loch mit 1,9mm Nennmaß, welches sich als optimal erweist. Bei dem Druck wurde darauf geachtet, dass die Ausrichtung gleich der endgültigen ist, damit Einflüsse aus der Fertigung bereits im Muster berücksichtigt werden können.



Abbildung 26: Lehre für Positionierungsdübel (eigene Darstellung)

6.2 Einzelteilabsicherung

Bevor das Gesamtmodell gedruckt werden kann, müssen kritische Bauteile abgesichert werden. Vor allem die Passung der Scharniere und USB-Dosen und das Spiel im Verriegelungsmechanismus der Klappe mussten vorab überprüft werden.

Als erstes Teil wird die Klappenverriegelung untersucht. Um Material und Zeit zu sparen, wurden die benötigten Bereiche aus den großen Teilen ausgeschnitten. Der Druck wurde, wie in

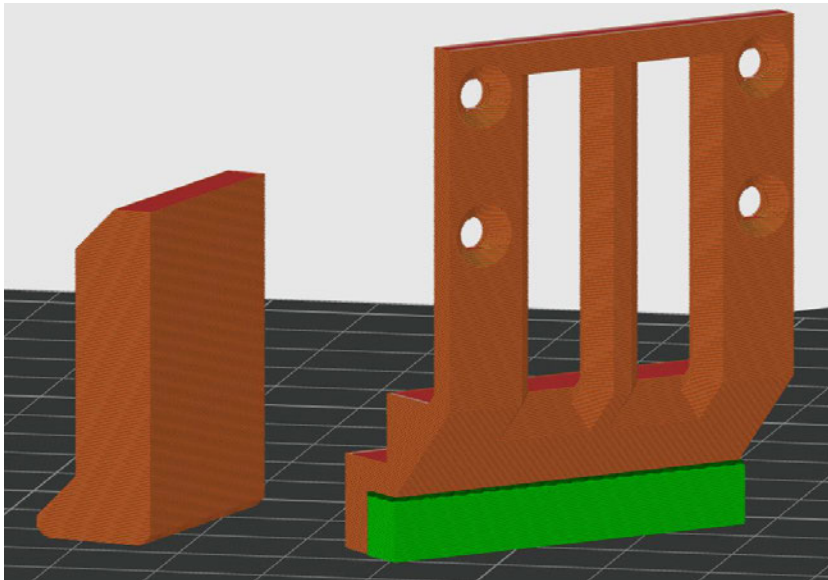


Abbildung 27 dargestellt, stehend durchgeführt. Diese Vorgehensweise erwies sich als unzureichend, da die Reibung aufgrund der Schichtanordnung senkrecht zur Bewegungsrichtung signifikant erhöht ist. Die grünen Bereiche im Preprocessing stellen die erforderliche Stützstruktur dar, die sicherstellt, dass der Drucker stets auf einer stabilen Basis drucken kann. Diese Stützstruktur muss nach dem Druckvorgang in einem Nachbearbeitungsschritt entfernt werden.

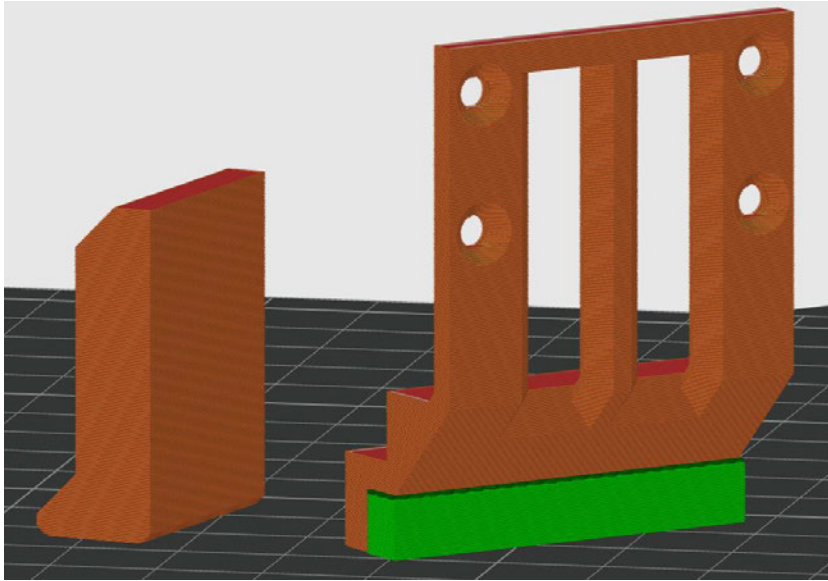


Abbildung 27: Preprocessing Verriegelung v1 (eigene Darstellung)

Die Verriegelung wurde nach der Untersuchung der gefertigten Bauteile grundlegend überarbeitet. Der Käfig (rechts im Bild) wurde verbreitert und die Falle (links) rastet nun nur noch mit einer Seite (hier im Kontakt mit dem Druckbett) in die Klappe ein. Als Federn für die Falle kommen gewöhnliche Schraubenfedern zum Einsatz, welche zwischen der Falle und dem Käfig positioniert werden. Für die Positionierung wurden in der ersten Version Zylinder in den Käfig und die Falle gedruckt, jedoch wurden diese in der zweiten Version durch einfacher zu druckende Schraubenlöcher ersetzt. Auf die eingeschraubten Schraubenköpfe können die Federn ebenfalls aufgesetzt werden und sind aufgrund der konstanten Vorspannung stets in Position.

Bei dem Druck wurde nun darauf geachtet, dass die Reibung durch sinnvolle Druckrichtung reduziert wird. Abbildung 28 zeigt die überarbeitete Geometrie mit gedrehter Positionierung. Die äußere Ecke des Käfigs muss unterstützt werden, da sie sonst in der Luft schwebt. Der mittige Ausschnitt und die Schraubenlöcher benötigen keine Unterstützung, da kleine Überbrückungen zwischen zwei Wänden problemlos umgesetzt werden können.

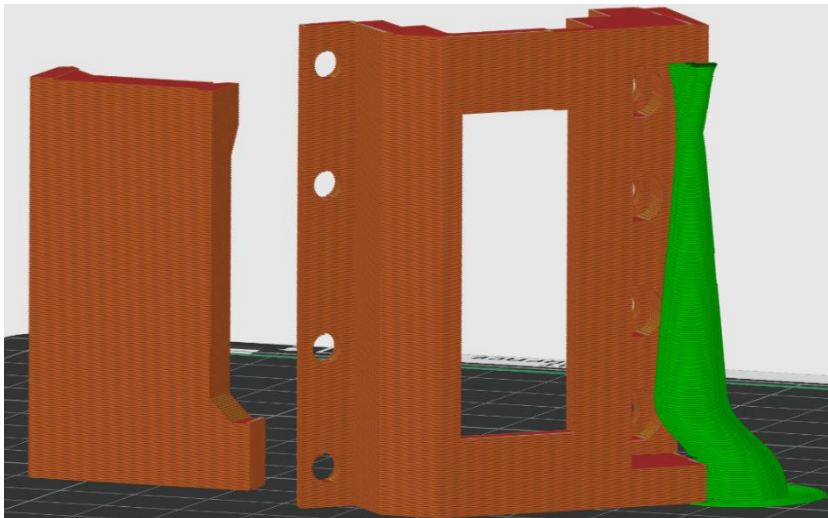


Abbildung 28: Preprocessing Verriegelung v2 (eigene Darstellung)

Zur Validierung der Einbaumaße der USB-Steckdosen wurde ein Muster gedruckt und festgestellt, dass die Durchgänge zu klein sind und die Steckdosen nicht hindurch passen. Daraufhin wurden diese Durchgänge vergrößert und neu positioniert. Um Material und Zeit zu sparen, wurde anschließend nur dieser Durchgang gedruckt und für gut befunden. Im letzten Schritt wurde noch einmal die gesamte Verkleidung der Steckdosen mit Halter gedruckt, womit sichergestellt werden konnte, dass die Form passt.

Das Brillenfach wurde anfangs so ausgelegt, dass die Brille links und das Kleingeldfach rechts verortet wurde. Die Verriegelung war zu dem Zeitpunkt auch noch als eigenes Teil oberhalb des Brillenfaches angedacht, was sich als Beeinträchtigung der Erreichbarkeit herausgestellt hat. Diese erste Version wurde probeweise mit einer 0,6mm Düse gedruckt, um die Druckzeit zu verringern, was sich jedoch sehr negativ auf die Qualität auswirkte. Zum einen sind die Wände sehr uneben, der gravierende Unterschied sind aber die großen Sprünge der obersten Schichten aufgrund der großen Schichthöhe, wie in Abbildung 29 zu erkennen ist. Die verbesserte zweite Version wurde mit der 0,4mm-Düse gedruckt, wodurch die Qualität wie gewohnt ist. Die Passgenauigkeit zur Klappe ist ebenfalls sehr gut.

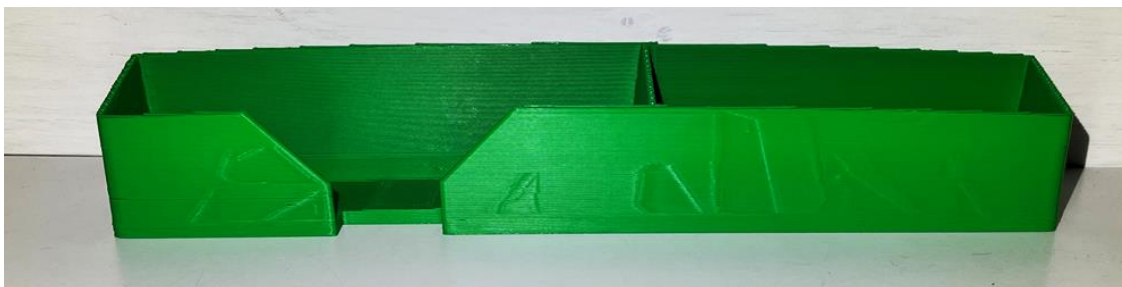


Abbildung 29: Druckergebnis Brillenfach mit 0,6mm Düse (eigene Darstellung)

Die Scharniere wurden ausschnittsweise gedruckt, um herauszufinden, wieviel Material bei dem in Abbildung 20 dargestellten Federmechanismus benötigt wird, damit die Achse einerseits gut hält, andererseits aber auch eingedrückt werden kann und nicht bricht oder die Bewegung

verhindert. Außerdem wurde das Radialspiel um die Drehachse überprüft. Das Radialspiel wurde mit 0,3mm und die Federdicke mit 0,7mm für gut befunden.

Das gewählte Material ist, aufgrund der höheren Temperaturbeständigkeit und vermeintlich akzeptablen Druckeigenschaften, ASA. Jedoch stellt sich nach dem ersten Druck des vorderen linken Kistenteils heraus, dass sich das Bauteil während des Druckens so sehr verzogen hat, dass es nicht zu gebrauchen ist. Es ist klar zu erkennen, dass die Stellen, an denen mehr Material aufgebracht wurde, stärker verformt sind als jene mit nur dünneren Schichten. Aufgrund dieser Schwierigkeiten werden alle großen Teile, bei denen Verzug vorgebeugt werden soll, aus PLA gefertigt. Das gefertigte Modell ist aufgrund der geringen Temperaturbeständigkeit nicht für die endgültigen Nutzung im Fahrzeug geeignet. Dennoch können die Geometrien gut überprüft werden.

6.3 Druckoptimierung

Nachdem die Einzelteile abgesichert sind, werden die Erkenntnisse in der Konstruktion umgesetzt. Die Optimierungen werden in Bauteilaufteilungen und Bauteilanpassungen unterschieden.

Die Aufteilungen sind zum Teil notwendig, um in den beschränkten Bauraum zu passen, teilweise aber auch aus anderen Gründen, die im folgenden Abschnitt aufgeführt werden. An den einzelnen Bauteilen werden Anpassungen vorgenommen, sodass der Druck schneller oder sicherer abläuft.

6.3.1 Bauteilaufteilung

Das Modell ist aus diversen Gründen bereits im Laufe der Konstruktion in mehrere Bauteile unterteilt. Dennoch müssen einige Bauteile aus Fertigungs- oder Montagegründen weiter unterteilt werden.

Durch die Unterteilung können große überhängende Bereiche isoliert gedruckt und anschließend verbunden werden, was die benötigte Stützstruktur verringert. Die Druckqualität der Kontaktfläche zwischen Stützstruktur und Modell ist immer schlechter als restliche Bereiche und sollte im Sichtbereich vermieden werden. Wenn die Stütze dort notwendig ist, muss die Kontaktfläche entsprechend nachgearbeitet werden.

Der letzte Grund für die Aufteilungen ist die Montierbarkeit und Reparaturfreundlichkeit des Produktes. Einige Bereiche sind nur erreichbar, wenn ein anderes Teil demontiert wurde.

Bei allen Unterteilungen wurde darauf geachtet, dass die optische Beeinträchtigung so gering wie möglich bleibt. bestehende Fugen wurden deshalb als Trennungsfugen weitergeführt oder es wurden Bereiche gewählt, die im späteren Verlauf der Fertigung mit Stoff verdeckt werden. Die Unterteilungen wurden außerdem so gelegt, dass eine Verbindung möglichst stabil und einfach realisiert werden kann.

Zur Verbindung der Teile kommen die erwähnten Dübel aus Kapitel 6.1 zum Einsatz, welche an den entstandenen Schnittkanten eingebracht werden. Zur Verbindung der Grundkörper werden außerdem an geeigneter Stelle mehrere Flachverbinder verschraubt. Die Flachverbinder sind in Abbildung 30 gelb markiert, die Löcher für die Dübel hellblau.

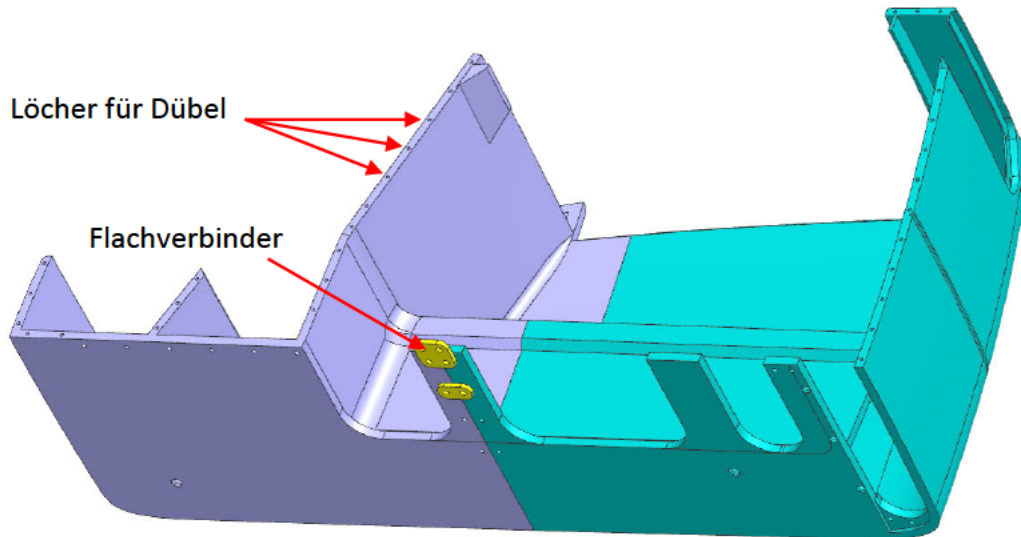


Abbildung 30: Mittelkonsole mit Verbindungselementen (eigene Darstellung)

Die Rückwand ist ein demontierbares Bauteil, damit der dahinterliegende Luftkanal verbaut werden kann.

6.3.2 Bauteilanpassungen

Da die Kiste bombiert ist und die Bauteiltrennungen aus Stylinggründen ebenfalls bombiert sind, ist der Druck erschwert, da es keine planare Auflagefläche gibt. Bei den Deckelhälften, der Klappe oder der Abtrennung zum Technikteil wurden die Bauteile an nicht störenden Stellen erweitert und an einer Ebene getrimmt, sodass eine planare Fläche entsteht. Bei der Klappe ist diese Fläche allerdings so klein, dass die Klappe ohne weitere Unterstützung nicht sicher gedruckt werden kann. In solchen Fällen erweitern deshalb Umrandungen die erste Schicht, wodurch der Kontakt zum Druckbett vergrößert wird. In Abbildung 31 ist die Umrandung in rosa dargestellt.

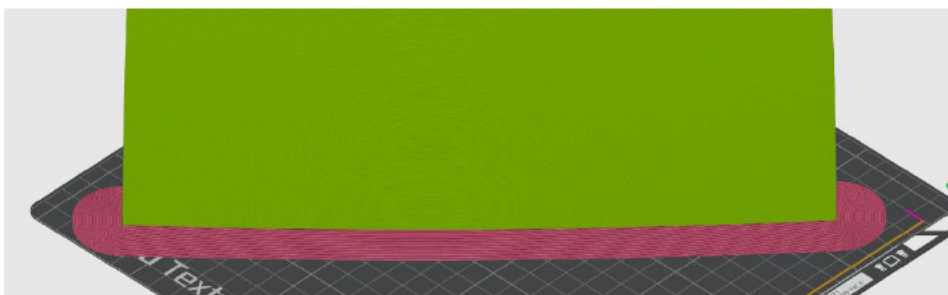


Abbildung 31: Klappe mit 20mm Umrandung (eigene Darstellung)

Am Deckel und an der Klappe werden die zylindrischen Scharnierstifte vom Körper getrennt und separat gedruckt. Anschließend können die Stifte mit passenden Schrauben wieder an der Klappe

und dem Deckel befestigt werden und somit die volle Funktion gewährleisten. Der Hintergrund dieses Vorgehens ist, dass die Stifte als Überhang nur mit Stützstruktur gedrückt werden können. Dies hätte eine mindere Qualität zur Folge und das Scharnier ließe sich schlechter betätigen. Ein Schraubloch und der zylindrische Stift hingegen können problemlos gefertigt und mit den Klappen verschraubt werden. Im Falle eines Defekts kann das Bauteil allein getauscht werden, ohne die gesamte Klappe zu tauschen.

Abbildung 32 zeigt die Klappe mit dem angeschraubten Scharnierstift in schwarz.

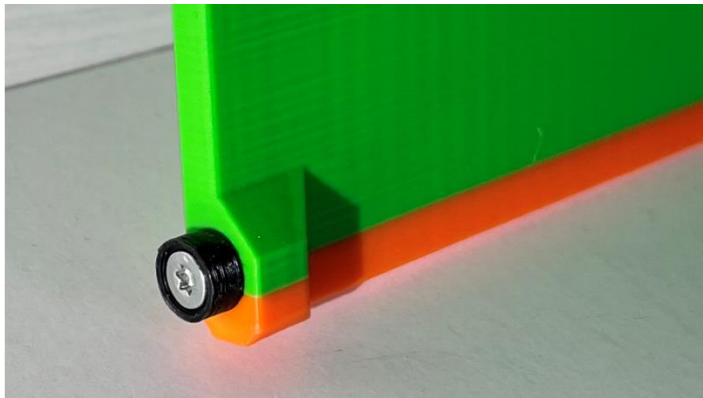


Abbildung 32: Klappe mit angeschraubtem Scharnierstift (eigene Darstellung)

6.4 Zusammenbau

In Abschnitt 6.3.1 wurde aufgezeigt, dass das Modell aus diversen Gründen in mehrere Bauteile aufgeteilt wurde, die nachfolgend mit Verbindungselementen aus Abschnitt 6.1 montiert werden.

Zunächst werden die USB-Steckdosen im Technik-Abteil des vorderen linken Außenteils verschraubt. Parallel können die Verschlussmechanik und die Schalter in der Schaltereinheit verbaut werden. Anschließend werden die Kabel in dem Kabelkanal verlegt und dieser montiert.

Die Positionierungsstifte werden nachfolgend in den Teilen der Außenwände und der Schaltereinheit eingesetzt, wobei jedoch auffällt, dass die Löcher wider Erwarten geringfügig kleiner sind als im Probedruck. Daher passen sie nicht und müssen händisch nachbearbeitet werden. Nachdem die beiden vorderen Außenteile mit Hilfe der Dübel in Position gebracht sind, werden die Flachverbinder auf der Unterseite eingeschraubt. Als nächstes wird die Schaltereinheit über die Dübel in Position gebracht und anschließend die Schalter mit den Kabeln verbunden und in die Schaltereinheit eingesteckt. Abschließend wird die Abtrennung unterhalb des Technik-Abteils verschraubt, womit die Außenteile und die Schaltereinheit formschlüssig und sicher verbunden werden.

Im nächsten Schritt werden die Scharnierstifte und das Brillenfach an die Klappe und die Feder an die Mittelkonsole geschraubt. Nachdem das induktive Lademodul an der Schale montiert ist

und die Kabel in Position gebracht sind, kann die Schale in den entsprechenden Ort gelegt werden. Außerdem wird die Feder für die Klappe montiert.

Nachdem der Frontbereich vollständig montiert ist, wird das Heck montiert. Analog zum Frontbereich werden als erstes die Dübellöcher nachgearbeitet und mit Dübeln versehen. Anschließend werden die Teile zusammengesteckt und mit den Flachverbindern verschraubt. Als nächstes wird die Luftführung verschraubt. Hierfür müssen Ausströmer und oberer Luftkanal an der Oberseite und der Trichter an der Unterseite in Position gebracht und mit der Kiste verschraubt werden. Neben der Positionierung der Luftführung sorgen die Verschraubungen für eine Stabilisierung der Kiste. Im unteren Bereich wird der Trichter so angesetzt, dass der Luftkanal vom Trichter umschlossen wird. Abschließend muss die innere Rückwand mit den Dübeln oben eingesteckt und danach unten verschraubt werden.

Die beiden vormontierten Hälften werden nachfolgend mit den Dübeln und Flachverbindern verbunden. Der Subwoofer wird erst an der Metallplatte verschraubt, bevor diese an der Kiste befestigt wird. Auf die Metallplatte wird die Kunststoffverkleidung aufgelegt.

Nachfolgend werden alle Deckel für den Verbau vormontiert. Die Scharnierstifte werden angeschraubt und das Polster aufgeklebt. Auf der Beifahrerseite wird außerdem der Federclip für Fahrzeugschein oder andere Unterlagen montiert. Abschließend werden die Deckel in das Scharnier eingedrückt.

Die modularen Einsätze für den Getränkehalter und die Unterteilung des Hauptfachs können nach Bedarf jederzeit eingesetzt oder entfernt werden.

7. Abschluss

Nachdem die theoretischen Grundlagen dargelegt, das Konzept mit Hilfe des morphologischen Kastens und der Nutzwertanalyse festgelegt und die notwendige Wandstärke berechnet wurden, konnte die Mittelkonsole konstruiert werden. Basierend auf dieser Konstruktion wurden vorerst einige Bauteile im 3D-Druck abgesichert und abschließend alle Teile des Modells gefertigt sowie zu einer vollständigen Mittelkonsole zusammengefügt.

Nachfolgend wird die Konsole getestet und überprüft, ob der Verbau wie geplant möglich ist und die Funktionen im Fahrzeug nutzbar sind. Im Anschluss werden die relevantesten Erkenntnisse der Arbeit im Fazit festgehalten und im Ausblick wichtige Aspekte für die Weiterentwicklung aufgezeigt.

7.1 Test

In diesem Abschnitt werden unter anderem Passungen und Erreichbarkeiten der Mittelkonsole untersucht. Dabei wird bewertet, an welchen Stellen die Konstruktion oder Fertigung angepasst werden muss, um den Anforderungen eines hochwertigen Produkts zu entsprechen.

Zunächst werden die Freigänge der beweglichen Teile überprüft. Die Betätigung erfolgt leichtgängig und die Klappe wird von der Feder so weit aufgedrückt, dass problemlos hineingegriffen werden kann, um diese weiter zu öffnen. Das radiale Spiel in allen Scharnieren entspricht den Erwartungen des Probedrucks. Der Freiraum zwischen den Deckeln ist ausreichend groß, sodass diese mit den Fingern geöffnet werden können und bei vollständiger Öffnung an der Sitzlehne anstoßen und dort in Position bleiben. Der Federclip für wichtige Unterlagen im Deckel wurde erfolgreich für einen Fahrzeugschein und zwei Kreditkarten getestet.

Der Verbau der Mittelkonsole war, wie in Abbildung 33 dargestellt, erfolgreich und die genommenen Maße sind alle passend. Die Höhe der Kiste ist wie geplant etwas geringer, als die originale, jedoch für große und kleine Menschen komfortabel zu nutzen. Aufgrund der erhöhten Breite steht die Kiste über den Träger über, was zu einer Kante führt, welche beim An- und Abschnallen unter Umständen berührt wird, jedoch bei keiner Bewegung einschränkt. Diese Kante sollte im weiteren Verlauf verrundet oder angeschrägt werden.

Der Lufttrichter passt sehr gut in die vorgesehene Bohrung im Träger, sodass die Luft direkt aus der Heizung in die Luftführung geleitet wird. Die Querschnitte sind entsprechend den Berechnungen auch in der Praxis ausreichend. Es konnte kein nennenswerter Verlust aufgrund der Übergänge unterschiedlicher Luftführungen verspürt werden. Dennoch sollte vor allem der Übergang vom Luftkanal zum Ausströmer überarbeitet werden. Die Luft strömt oben horizontal aus, wodurch kein Zug im Gesicht herrscht.



Abbildung 33: Neue Mittelkonsole verbaut im Fahrzeug (eigene Darstellung)

Die elektrischen Komponenten sind vollständig funktionsfähig und gut erreichbar. Die induktive Ladeschale wird erfolgreich mit einem Apple iPhone 13 Mini und einem Samsung Galaxy S20 FE, jeweils in einer Hülle, getestet. Die USB-Steckdosen im Hauptfach sind passgenau in die Wand integriert. Die Klappe öffnet sich so weit, dass die Erreichbarkeit der Brille und anderer kleiner Gegenstände optimal gewährleistet ist. Sowohl große als auch kleine Brillen liegen sicher in dem Fach.

Die verbauten Schalter lassen sich gut in die vorgesehenen Löcher einsetzen und verdrehen sich aufgrund der Nut nicht. Die Erreichbarkeit ist ebenfalls gut. Für den Einsatz im Fahrzeug ist es sinnvoll, die Schalter zu beschriften oder mit einem eindeutigen Symbol zu versehen.

Der Getränkehalter ist vielseitig einsetzbar und geeignet für 0,5-Liter-Glasflaschen sowie wiederverwendbare Coffee-to-go-Becher.

7.2 Fazit

In dieser Arbeit wurde der Entwicklungsprozess anhand des Beispiels einer Mittelkonsole dargestellt und ein Konzept ausgearbeitet, das alle gängigen Funktionen beinhaltet. Der Verbau im Fahrzeug und die Funktion der wichtigsten Anforderungen wurden erfolgreich getestet.

Es wurden Anforderungen in Hinsicht auf Komfort und Luxus, sowie die gesetzlichen Vorschriften an eine moderne Mittelkonsole aufgeführt, das Funktionsprinzip des FDM-3D-Druckens tiefer erklärt und eine Auswahl der sinnvollsten Materialien genauer untersucht. Außerdem wurden grundlegend wichtige Gesichtspunkte für ein ansprechendes Design aufgezeigt.

Als besonders wichtig hat sich herausgestellt, dass nach wie vor die Sonnenbrille der Gegenstand ist, der während der Fahrt am einfachsten zu erreichen sein muss. Das Smartphone hingegen muss einen festen Ort haben, sollte aber nicht jederzeit sichtbar sein.

Die gesetzlichen Anforderungen sind sehr umfangreich, jedoch ist für die untersuchte Mittelkonsole festzuhalten, dass lediglich alle Außenkanten mit 3,5mm Radius verrundet werden müssen. Fertigungsbedingt sollten Überhänge so gering wie möglich gehalten werden und mit einem Winkel von 45° von der Druckbettebene angeschrägt werden.

Im dritten Kapitel wurde der Innenraum des Land Rover Defender mit denen von drei aktuellen Wettbewerbern verglichen, wobei auffiel, dass sich diese aufgrund unterschiedlicher Zielgruppen in der Interieur-Gestaltung unterscheiden. Gemeinsamkeiten der aktuellen Vergleichsfahrzeuge, wie das Verlegen oder Verkleinern des Getriebe-Schalthebels im Vergleich zum Land Rover Defender von 2016, wurden festgestellt. Hierdurch wird eine durchgehende Mittelkonsole von der Armauflage bis zur Instrumententafel ermöglicht.

Die Armauflagen aller Fahrzeuge sind außerdem nicht in der Höhe verstellbar, haben unter der Armauflage ein Ablagefach, Luftausströmer für den Fond im oberen Bereich der Mittelkonsole und USB-Steckdosen für das Laden mobiler Geräte.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden Anforderungen für die Neuentwicklung definiert und mit Hilfe eines morphologischen Kastens mögliche Konzepte herausgearbeitet. Die wichtigsten muss-Anforderungen sind neben dem ansprechenden Design die einfache Erreichbarkeit der Sonnenbrille während der Fahrt, eine induktive Ladeschale für große Smartphones und die Unterbringung eines Aktiv-Subwoofers.

Auf Grundlage der analytischen Vorauslegung mit dem Lastfall von 1000N mittig auf der längsten Seite wurde eine Mindestwandstärke von 4mm infolge von Druckbeulen festgelegt.

Nachdem die Randbedingungen festgelegt wurden, konnte die Konstruktion beginnen. Die gewählte Vorgehensweise, die Grundflächen parametrisch aufzubauen und anschließend in ICEM Surf anzupassen, hat sich als sehr effizient dargestellt. Mit dieser Vorgehensweise können die benötigten Maße schnell in die Skizze eingetragen und somit die Einhaltung sichergestellt werden. Der spätere Austausch der Daten zur Bearbeitung der Freiformflächen zwischen ICEM Surf und Siemens NX ist mit dem IGES-Format problemlos möglich.

Es folgt die Einzelteilabsicherung kritischer Bauteile. Diese Vorgehensweise stellte sich als sinnvoll heraus, da die ersten Muster nach der Musterfertigung nochmals überarbeitet werden mussten und somit Zeit und Material gespart werden konnte.

Bei der Analyse des Klappenverschlusses wurde festgestellt, dass die Ausrichtung der Druckschichten einen wesentlichen Einfluss auf die Funktionalität hat. Bei dem ersten Druck waren die Schichten senkrecht zur Bewegungsrichtung, weshalb die Reibung so sehr erhöht wurde, dass sich die Teile nicht mehr bewegen ließen. Das Brillenfach wurde, um Zeit zu sparen, versuchsweise mit einer 0,6mm-Düse gedruckt, jedoch war das Ergebnis nicht zufriedenstellend und die Zeitersparnis nur gering, weshalb im weiteren Verlauf nur noch eine 0,4mm-Düse genutzt wurde.

Für die Herstellung der Mittelkonsole ist der 3D-Druck, mit einem Drucker wie dem Bambu Lab P1S, aus unterschiedlichen Gründen nur bedingt geeignet. Der Aufwand ist aufgrund der Druckzeit von 60 Stunden sowie der Nacharbeit zum Entfernen der Stützstruktur enorm hoch. Außerdem mussten größere Teile aufgrund des beschränkten Druckraums unterteilt werden, wodurch unschöne Fugen in der Mittelkonsole entstehen. Darüber hinaus war die Herstellung aus dem präferierten Material (ASA) aufgrund von Verzug und Druckfehlern nicht möglich, weshalb das Anschauungsmodell aus dem weniger temperaurbeständigen Material PLA gedruckt wurde.

Abschließend lässt sich festhalten, dass das Konzept der Mittelkonsole erfolgreich umgesetzt wurde. Auch die Fertigung zur Konzeptabsicherung war mit hohem Aufwand erfolgreich.

7.3 Ausblick

Die vorangegangenen Tests haben viele Entwicklungen im Rahmen der Mittelkonsole erfolgreich bestätigt und Weiterentwicklungspotential aufgezeigt.

Die Druckqualität ist nicht ausreichend für eine Vermarktung an Endkunden. Einige Teile könnten mittels Bezugs kaschiert werden, jedoch müssten viele Teile in besserer Qualität gefertigt oder aufwändig nachbearbeitet werden. Es ist möglich, die Qualität zu erhöhen, indem mit weniger Geschwindigkeit oder geringerer Schichthöhe gedruckt wird, was die Fertigungsdauer weiter erhöht. Bei der Nutzung eines Bezuges müssen alle Spaltmaße entsprechend der Materialstärke überprüft und die Position der Nähte festgelegt werden.

Die Materialauswahl wurde aufgrund von Fehldrucken im Entwicklungsprozess von ASA hin zu PLA geändert, jedoch müsste für einen tatsächlichen Einsatz der Mittelkonsole die Prozesssicherheit mit einem höhertemperaturbeständigen und steifen Werkstoff wie ASA gewährleistet sein. Eine mögliche Alternative könnte PETG (Polyethylenterephthalat, modifiziert mit Glykol) sein, da dies die benötigte Temperaturbeständigkeit bietet, jedoch weniger steif, als PLA ist.

Die Bauteiltrennungen wurden auch aufgrund des verfügbaren Bauraums des Bambu Lab P1S 3D-Druckers gewählt. Im weiteren Verlauf sollte die Mittelkonsole in einem größeren Drucker hergestellt werden, sodass der Druckraum keine Einschränkung ist. Jene Trennungen, die aus Montagegründen oder zur Reduzierung der Überhänge gewählt wurden, haben sich als sinnvoll erwiesen und könnten unverändert übernommen werden. Bei größeren Stückzahlen ist die Fertigung im Spritzguss-Verfahren sinnvoller, da die Fertigungsdauer gegenüber dem 3D-Druck mit ungefähr 60 Stunden enorm verkürzt würde.

Für den Subwoofer wurden keine Befestigungslöcher in dem Bodenblech eingeplant, da weder das Gerät noch Zeichnungen hiervon verfügbar sind und keine genauen Positionen bestimmt werden konnten. Den Produktfotos konnte jedoch entnommen werden, dass das Gerät nur mit zwei Schrauben auf der Unterseite in der Nähe diagonalen Ecken befestigt wird. Sowohl der Durchmesser als auch die exakte Position müssen bestimmt werden.

Die Feder für die Klappe nimmt verhältnismäßig viel Raum ein und sollte in der weiteren Entwicklung optimiert werden. Hierfür ist entweder ein alternatives Scharnier mit integrierter Feder denkbar oder kleinere Schraubenfedern an den Seiten des Fachs, sodass in der Mitte mehr Freiraum entsteht.

Exemplarisch wurde ein modularer Einsatz für das Hauptfach entworfen, welcher bei Bedarf erweitert oder vervielfältigt werden kann, um die Mittelkonsole zu individualisieren.

Der Übergang vom Luftkanal zum Ausströmer hat sich visuell als unzureichend herausgestellt, obwohl die Funktion gewährleistet ist. Eine Lösung könnte eine Überlappung analog zum Übergang vom Trichter zum Luftkanal sein, jedoch sind hierfür weitere Maßnahmen erforderlich, da der Bauraum aktuell nicht zur Verfügung steht.

Die Integration der Mittelkonsole benötigt geringfügige Umbaumaßnahmen am Fahrzeug, damit die Elektrik und Heizung entsprechend genutzt werden können. Wie bereits in Abschnitt 3.3.1 genannt, ist die Mittelkonsole basierend auf der Erhöhung für die Standheizung gebaut. Es ist daher davon auszugehen, dass unter der Mittelkonsole eine Stromversorgung zur Verfügung steht oder mit geringem Aufwand realisiert werden kann. Gleiches gilt für die Heizungsluftversorgung, welche ein zusätzliches Heizgerät unter der Mittelkonsole benötigt. Der Auslass ist in der genannten Erhöhung an einem Ort vorgesehen, welcher in dieser Arbeit als Basis aufgegriffen wurde. Der Trichter ist entsprechend konstruiert und muss im Fahrzeug an dieser Position angeschlossen werden. Die Teile der Luftführung müssen besonders temperaturbeständig sein, weshalb diese aus PA-CF gefertigt werden müssen.

Nach der Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen sind alle erforderlichen Voraussetzungen erfüllt, um die Produktion der Mittelkonsole aufzunehmen. Dadurch kann der veraltete Innenraum des Land Rover Defender auf den aktuellen Stand der Technik gebracht werden.

8. Literaturverzeichnis

(UN/ECE R14), W. d. (28. 04 2011). *EUR-Lex*. Abgerufen am 03. 03 2024 von <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:109:0001:0054:DE:PDF>

(UN/ECE R21), W. d. (16. 07 2008). *EUR-Lex*. Abgerufen am 23. 02 2024 von [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:42008X0716\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:42008X0716(01))

Alexander Pusch, N. H. (2022). *3D-Druck für Schule und Hochschule*. Berlin: Springer Spektrum.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (12. 12 2023). Abgerufen am 23. 02 2024 von <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/internationale-harmonisierung-der-technischen-vorschriften-fuer-kraftfahrzeuge.html>

Carsten Feldmann, C. S. (2019). *Digitale Geschäftsmodell- Innovationen mit 3D-Druck*. Münster: Springer Gabler.

classistatic. (kein Datum). Abgerufen am 07. 03 2024 von <https://img.classistatic.de/api/v1/mo-prod/images/11/11ba621c-5933-48e5-b52d-4001ac94d541?rule=mo-1024.jpg>

classistatic. (kein Datum). Abgerufen am 08. 03 2024 von <https://img.classistatic.de/api/v1/mo-prod/images/eb/eb16213b-a181-440d-8c0c-915a86440dcd?rule=mo-1024.jpg>

classistatic. (kein Datum). Abgerufen am 07. 03 2024 von <https://img.classistatic.de/api/v1/mo-prod/images/90/902c3ecc-94f5-4f9d-a690-cdf2b2c86828?rule=mo-1024.jpg>

DAZ VERLAGSGRUPPE GmbH. (02 2014). Abgerufen am 18. 05 2024 von https://www.traeumewagen.de/wp-content/uploads/2014/02/am0813_land_rover_defender_07.jpg

ergotyping. (16. 07 2012). Abgerufen am 03. 03 2024 von https://ergotyping.de/index.php?title=Anthropometrie:_Ordnungsschema_Koerpermasse_und_Koerpermaszverteilung

Friedhoff, P. J. (2024). *Strak Grundlagen v16.01*. Hamburg.

Grundstein, D. A. (02. 01 2024). *statista*. Abgerufen am 20. 05 2024 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1031883/umfrage/entwicklung-der-temperatur-im-auto-nach-standzeit-und-aussentemperatur/>

Heiner Bubb, K. B. (2015). *Automobilergonomie*. Springer Vieweg.

Hildebrandt, R. (01. 07 2020). *mobil1.com*. Abgerufen am 07. 03 2024 von <https://de.motor1.com/news/431554/ineos-grenadier-2021-gelaendewagen/>

Johnson Controls. (06. 08 2014). Abgerufen am 02. 03 2024 von <https://www.johnsoncontrols.com/media-center/news/press-releases/2014/08/06/johnson-controls-reveals-stuff-in-cars-global-research-study-results>

Junk, S. (2017). *Einstieg in 3D-Druck und CNC-Biegen*. Gengenbach: Springer Vieweg.

Kühnapfel, J. B. (2021). *Scoring und Nutzwertanalysen*. Ludwigshafen am Rhein: Springer Gabler.

Mercedes-Benz. (kein Datum). Abgerufen am 08. 03 2024 von https://www.mercedes-benz.de/content/germany/de/passengercars/models/suv/w463-23-1/overview/_jcr_content/root/responsivegrid/tabs_1344672560/tabitem/hotspot_module/hotspot_simple_image/hotspot_item_1521549329.component.damq6.3355787792584.jpg/mercedes-ben

NewCarz.de. (06 2023). Abgerufen am 08. 03 2024 von <https://www.newcarz.de/wp-content/uploads/2023/06/newcarz-land-rover-defender-130-2023-665-1024x682.jpg>

Shenzhen eSun Industrial Co., Ltd. (11 2021). Von https://3d.nice-cdn.com/upload/file/eSUN_PLA_Filament_TDS_V4.0.pdf abgerufen

Shenzhen eSun Industrial Co., Ltd. (11 2021). Von https://3d.nice-cdn.com/upload/file/eSUN_eASA_Filament_TDS_V4.01.pdf abgerufen

Shenzhen eSun Industrial Co., Ltd. (11 2021). Von https://3d.nice-cdn.com/upload/file/eSUN_ePA-CF_Filament_TDS_V4.0.pdf abgerufen

Statista. (2022). *Statista*. Abgerufen am 20. 04 2024 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1168753/umfrage/3d-druck-umfrage-zur-verwendung-in-unternehmen/>