



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# **Bachelorarbeit**

Sebastian Hädrich

## **Auslegung eines variablen Fahrersitzkonzeptes für den Sportbootbereich**

*Fakultät Technik und Informatik  
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

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

**Sebastian Hädrich**

**Auslegung eines variablen Fahrersitz-  
konzeptes für den Sportbootbereich**

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

in Zusammenarbeit mit:  
Firma KET Karosserie Entwicklung Thurner  
Abteilung Licht & Sicht  
Hufelandstraße 19  
80939 München

Erstprüfer: Prof. Peter Seyfried  
Zweitprüfer: Dipl. Ing. Dirk Vogel

Abgabedatum: 06.12.2019

## **Zusammenfassung**

### **Name des Studierenden**

Sebastian Hädrich

### **Thema der Bachelorthesis**

Auslegung eines variablen Fahrersitzkonzeptes für den Sportbootbereich

### **Stichworte**

Pkw-Sitz, Bootssitz, Design, Konzeptionierung, Ergonomie, Konstruktion, CFK, Catia V5

### **Kurzzusammenfassung**

Diese Arbeit befasst sich mit der theoretischen Ausarbeitung des Themas Ergonomie in Bezug auf Pkw- und Bootssitze, sowie der praktischen Anwendung dieser Ergebnisse auf die Konzeptionierung und Konstruktion eines neuen Sitzes für ein Sportboot.

### **Name of Student**

Sebastian Hädrich

### **Title of the paper**

Design of a variable driver's seat concept for the sport boat area

### **Keywords**

car seat, boat seat, design, concept, ergonomics, construction, CFK, Catia V5

### **Abstract**

This thesis deals with the theoretical elaboration of the topic Ergonomics regarding car and boat seats, as well as the practical application of these results to the conception and construction of a new seat for a sport boat.

# Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Definitionen und Abkürzungen .....	V
1 Einleitung .....	1
2 Ergonomie.....	2
2.1 Allgemeine Grundlagen der Ergonomie.....	2
2.1.1 Prinzipien der Ergonomie .....	3
2.1.2 Konzepte der Ergonomie.....	5
2.2 Anatomische & Anthropometrische Grundlagen .....	8
2.2.1 Anatomie.....	9
2.2.2 Anthropometrie .....	12
3 Ergonomische Fahrzeuggestaltung .....	16
3.1 Fahrzeugpackaging.....	16
3.2 Ergonomie des Sitzens .....	18
3.3 Simulation .....	26
3.3.1 Digitales Menschmodell RAMSIS.....	26
3.3.2 Sitzkisten und variabler Ergonomieprüfstand .....	30
4 Aufbau und ergonomische Anforderungen verschiedener Sitze .....	32
4.1 PKW-Sitze.....	32
4.1.1 Aufbau .....	32
4.1.2 Anforderungen .....	34
4.2 Bootssitze .....	34
4.2.1 Allgemeine Anforderungen und Aufbau.....	34
4.2.2 Aufbau am Beispiel verschiedener Referenz-Sitze.....	35
4.3 KET/SAY Design-Entwurf.....	38
4.4 Stehsitze .....	39
4.5 Relevante Unterschiede zwischen Boot und Pkw.....	40
4.6 Notwendige ergonomische Änderungen.....	41
5 Flip-Up Mechanik .....	43
5.1 Konzeptfindung .....	43
5.2 Flip-Up-Konzept 1 .....	44
5.3 Flip-Up-Konzept 2 .....	45
5.4 Flip-Up-Konzept 3 .....	46
5.5 Konzeptbewertungen .....	47

6	Neues Sitzkonzept .....	50
6.1	Technische Grundlagen .....	50
6.2	Finales Design .....	53
6.3	Beschreibung CAD-Modell .....	55
7	Fazit .....	57
	Literaturverzeichnis .....	VIII
	Anhang.....	XII

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Aufstellung der wichtigsten Gelenkarten des Bewegungsapparates und ihrer Freiheitsgrade .....	10
Tabelle 2: Zusammenstellung von häufig verwendeten RAMSIS-Manikins im Zusammenhang mit Fahrerplatzanalysen.....	19
Tabelle 3: Zusammenstellung der verschiedenen, experimentell gefundenen Komfort Winkelwerte in Seitenansicht.....	20
Tabelle 4: Morphologischer Kasten .....	43

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel eines Mensch-Maschine-Umgebung-System Modells .....	5
Abbildung 2: Körperachsen und -ebenen .....	10
Abbildung 3: Zuordnung von Gelenktypen zu ausgewählten Gelenken des menschlichen Körpers.....	10
Abbildung 4: Vergleich der stehenden und sitzenden Haltung.....	11
Abbildung 5: Versuchsaufbau für die Messungen der maximalen Hand Reichweite (a) und Erreichbarkeitsflächen (b) nach SAE J 287 .....	15
Abbildung 6: H-Punkt-Messmaschine nach SAE J826 .....	18
Abbildung 7: Last, maximaler Druck und Gradient des Druckanstieges.....	24
Abbildung 8: Fotogrammetrische Erfassung der Versuchsperson (a) und Überlagerung mit dem Rechnerdummy (b).....	27
Abbildung 9: Vollausgestatteter Fahrersitz einer Premiumlimousine .....	32
Abbildung 10: Ansichten Ullman Daytona Sitz.....	35
Abbildung 11: Ansichten ROS-INDUSTRIE ALCOR Sitz .....	36
Abbildung 12: ShockWave S5 .....	37
Abbildung 13: Adapter Tiefenverstellung & Drehung .....	37
Abbildung 14: KET-Sitz .....	38
Abbildung 15: KET-Sitz mit Aussparung.....	38
Abbildung 16: variable Stehhilfe .....	39
Abbildung 17: Konzept 1 .....	44
Abbildung 18: Konzept 1 hochgeklappt .....	44
Abbildung 19: Konzept 2 .....	45
Abbildung 20: Konzept 2 hochgeklappt .....	45
Abbildung 21: Konzept 3 .....	46
Abbildung 22: Konzept 3 aufgeklappt.....	46
Abbildung 23: Seitenansicht Sitzschale mit Konsole.....	47
Abbildung 24: Draufsicht Sitzschale mit Konsole.....	47
Abbildung 25: Ansichten ergonomischer Design-Entwurf .....	50
Abbildung 26: Finales Design .....	53
Abbildung 27: Finales Design hochgeklappt.....	53
Abbildung 28: Vergleich Seitenansicht KET-Design & finaler Sitz.....	54
Abbildung 29: Konsole mit originalen Hebeln .....	56
Abbildung 30: Konsole mit überarbeiteten Hebeln.....	56

## Definitionen und Abkürzungen

### [1] **Komfort**

(vom englischen comfort für „Bequemlichkeit“ oder „Behaglichkeit“), ist die Bequemlichkeit, die auf der Präsenz von bestimmten Maschinen, Gegenständen, Gefühlen, Empfindungen oder Anlagen beruht. Eine Einrichtung ist auf Grund ihrer Möglichkeiten und ihrer Ausstattung mit Gegenständen komfortabel, wenn sie dem Menschen Arbeit verringert und ihm Behaglichkeit bietet (vgl. Wikipedia)

### [2] **iterativ**

sich schrittweise in wiederholten Gängen der exakten Lösung annähernd

### [3] **Diskomfort**

auffällige unangenehme Empfindungen

### [4] **Lordose**

(griechisch, „vorwärts gekrümmt“), ist eine Krümmung der Wirbelsäule nach vorne (nach ventral), d. h. der Krümmungsbauch zeigt nach ventral (vgl. DocCheck Flexikon)

### [5] **Kyphose**

(griechisch, wörtlich „Buckelung“), in der Fachsprache beim Menschen eine nach hinten (dorsal) konvexe Krümmung der Wirbelsäule. Natürlicherweise kommt Kyphose im Brustbereich (Brustkyphose) vor und am Ende der Wirbelsäule noch als eine kleine Kyphose, die sogenannte Sakralkyphose (vgl. Wikipedia)

### [6] **Augenpunkt**

Punkt in einem 3D-Modell, der die Position des Auges repräsentiert

### [7] **H-Punkt**

Hüftausdrehpunkt, Drehpunkt zwischen Torso und Oberschenkeln

### [8] **Körperhöhe (Statur)**

Vertikale Distanz von der Standebene bis zur Kopfstütze. Ist nur für spezielle Situationen relevant z.B. aufrechtes stehen unter geöffneter Heckklappe. (vgl. Bubb et al. 2015, S. 190)

### [9] **Stammlänge (Sitzhöhe)**

Vertikale Distanz von der Sitzebene bis zur Kopfspitze. Ist für Auslegung des Fahrplatzes von ausschlaggebender Bedeutung, dient allerdings nur der Referenzierung und Perzentilierung. Eine vollkommen aufrechte Haltung in der Praxis nur selten, jedoch kommt die Haltung in Lkws und Bussen dieser relativ nahe. Die Differenz zwischen theoretischer und realistischer Sitzhöhe dient als Kopffreiraum (Frisur, Kopfbedeckung, zum Strecken) (vgl. Bubb et al. 2015, 190 f.)

### [10] **Augenhöhe im Sitzen**

Vertikale Distanz zwischen Sitzfläche und Pupille des rechten Auges. Wird zur Konzeption der Sichtverhältnisse aus der Fahrzeugkabine und auf Instrumente genutzt. Bei normaler (realer) Sitzhaltung ist liegt die Augenhöhe 5-10% niedriger. (vgl. Bubb et al. 2015, S. 191)



### **[11] Gesäß-Knietiefe**

Projizierter horizontaler Abstand zwischen dem vordersten Punkt der Kniescheibe und dem hintersten Kontaktpunkt des Gesäßes. Ist eine Kombination aus Oberschenkel-länge, und eingesessener Gesäßkontur. Sie beschreibt den Platzbedarf zwischen Fahrer-sitz und Instrumententafel. Aufgrund der Bewegungsfreiheit zur Bedienung der Peda-lerie ist ein gewisser Zuschlag zu berücksichtigen. Je nach Haltung können auch lokale Punkte des Schienensbeins die vordere Begrenzung bestimmen. (vgl. Bubb et al. 2015, S. 191)

### **[12] Sitztiefe**

Projizierter Abstand zwischen Kniekehle und hintersten Kontaktpunkt des Gesäßes. Dient als Orientierung für die notwendige Sitzauflagenlänge. (vgl. Bubb et al. 2015, 191 f.)

### **[13] Sitzbreite (Eingesessene Gesäßbreite)**

Größte horizontale Entfernung des unverformten Hüftvolumens. Die Kontaktpunkte lie-gen oftmals im Bereich des Beckens oder der Hüftgelenke. Dient als Anhaltspunkt für nötige Sitzweite (Innenmaß des Sitzspiegels zwischen Sitzwangen). Aufgrund der Zu-nahme des Hüftumfangs ist heutzutage eine flachere Auslegung der Sitzkissenkontur oder breitere/ weichere Polsterung nötig, um unangenehmer Enge eines sportlichen Sit-zes entgegen zu wirken. (vgl. Bubb et al. 2015, S. 192)

### **[14] Höhe des Ellenbogens über der Sitzfläche**

Vertikaler Abstand zwischen Sitzebene und unterstem Punkt des Ellenbogens. Die Un-terarme sind dabei rechtwinklig nach vorne gebeugt. Ist von hauptsächlich für die Arm-auflagen von Bedeutung. (vgl. Bubb et al. 2015, S. 192 f.)

### **[15] Länge der Extremitäten**

z.B. Ober- oder Unterarmlänge, Unterschenkellänge mit Fuß, Kopfhöhe, -breite, -tiefe. Diese Maße sind in Tabellen zu finden. Sie dienen in der Automobilergonomie als Refe-renzmaß für abgeleitete Maße wie Reichweite. (vgl. Bubb et al. 2015, S. 193)

### **[16] Abmaße der Hand**

Die Größe der Hand ist proportional abhängig von der Körpergröße. In der Ergonomie sind vor allem die Grenzperzentile zur Bestimmung der notwendigen Freiräume um ein Bedienelement von Bedeutung. (vgl. Bubb et al. 2015, S. 193 f.)

### **[17] Projekt SizeGERMANY**

großangelegte Reihenvermessung mit sog. Bodyscannern, durchgeführt in den Jahren 2007–2009, bei der über 13.000 Männer, Frauen und Kinder im Alter von sechs bis 87 Jahren an ca. 30 Standorten in ganz Deutschland vermessen wurden (Seidl et al. 2009).

### **[18] CDC**

Centers for Disease Control and Prevention (deutsch Zentren für Seuchenkontrolle und -prävention) sind eine US-Bundesbehörde des amerikanischen Gesundheitsministeri-ums

### **[19] Fiederungswinkel**

Als Fiederung bezeichnet man ein Bauprinzip eines Skelettmuskels, der die Kraft (Hubkraft) und das Verkürzungsvermögen (Hubhöhe) eines Muskels beeinflusst. In gefiederten Muskeln verlaufen die Muskelfasern nicht parallel zu ihrer Ansatzsehne, sondern setzen schräg dazu an. Durch die Fiederung kann bei gleicher Muskeldicke eine größere Anzahl an Muskelfasern an der Sehne ansetzen, der physiologische Querschnitt ist also größer als der anatomische. Der Fiederungswinkel (Pennationswinkel) beeinflusst sowohl Hubhöhe als auch Hubkraft.

### **[20] SAE**

Society of Automotive Engineers (deutsch „Verband der Automobilingenieure“), gemeinnützige Organisation für Technik und Wissenschaft zur Schaffung von Standards in der Automobil-Industrie (vgl. Wikipedia)

### **[21] Akkommodation**

(lateinisch, „anpassen, anlegen“), die Fähigkeit des Auges, die Brechkraft dynamisch anzupassen und dadurch Gegenstände in unterschiedlicher Entfernung scharf zu sehen (vgl. Lasikon)

### **[22] H-Punkt-Messmaschine (nach SAE J826)**

Prüfkörper, der die Gesäßform eines großen Mannes (95. Perzentil) nachahmt, der zudem mit mechanischen Modellen von Oberschenkel, Unterschenkel und Fuß (jeweils 95. Perzentil U.S.-Mann) ausgestattet ist und der mit dem Gewicht eines 50 Perzentil-U.S.-Manns (76 kg) belastet wird (vgl. Bubb et al. 2015, S. 351)

### **[23] kumulativ**

steigernd

### **[24] Scherkraft**

eine abscherend wirkende Kraft (vgl. Duden)

### **[25] HUD**

(Head-Up-Display; englisch, wörtlich "Kopf-oben-Anzeige") Anzeige in einem Fahrzeug, Flugzeug o. Ä., die Informationen in das Sichtfeld der steuernden Person projiziert, so dass diese den Kopf nicht senken oder anderweitig bewegen muss (vgl. Duden)

### **[26] Virtual-Reality**

(deutsch virtuelle Realität) computergenerierte Wirklichkeit mit [Bild](#) (3D) und in vielen Fällen auch Ton, wird über ein Head-Mounted-Display (Video- bzw. VR-Brille) übertragen (vgl. Gabler Wirtschaftslexikon)

### **[27] Augmented-Reality**

(deutsch erweiterte Realität) bezeichnet eine computerunterstützte Wahrnehmung bzw. Darstellung, welche die reale Welt um virtuelle Aspekte erweitert (vgl. Gabler Wirtschaftslexikon)

# 1 Einleitung

Absolviert wurde diese Bachelorarbeit und das vorausgegangene Praktikum bei der Firma KET Karosserie Entwicklung Thurner GmbH. Gegründet im Jahr 1986 zählt KET seitdem zu den führenden Entwicklungspartnern der Automobilindustrie. Mit über 300 Mitarbeitern an den Standorten München, Sindelfingen, Lenting bei Ingolstadt und Graz beteiligt sich das mittelständische Familienunternehmen besonders in den Bereichen Design, Konstruktion, Modell- und Prototypenbau sowie Projektmanagement am gesamten Entwicklungsprozess.

Die Zielvorgaben kommen von der Firma SAY Carbon Yachts. Diese fordern einen ergonomischen Fahrersitz für ihre neue 42 Fuß Voll-Carbon Yacht. Als Besonderheit sollte dieser über eine Klappfunktion verfügen, um das Boot auch in stehend-angelehnter Haltung steuern zu können.

Das Ziel dieser Arbeit ist zum einen die Ausarbeitung der ergonomischen Anforderungen an Sitze im Allgemeinen und zum anderen die Anpassung eines Sitzes im maritimen Kontext an diese Vorgaben. Dabei steht allerdings nicht nur das komfortable [1] Sitzen im Vordergrund, sondern auch die Positionierung des Sitzes und die daraus resultierende Erreichbarkeit aller Steuermittel des Bootes.

Hierfür wird zunächst in Kapitel zwei allgemein auf das Thema Ergonomie eingegangen und ihre Ziele, Prinzipien und Konzepte dargelegt. Im Anschluss daran werden die für die Auslegung eines Sitzes relevantesten Bestandteile der sog. Arbeitswissenschaft beschrieben. Das dritte Kapitel befasst sich mit der allgemeinen Fahrzeuggestaltung unter ergonomischen Gesichtspunkten. Dabei wird neben dem Packaging und den speziellen Anforderungen an das Sitzen auch die digitale und praktische Simulation betrachtet. Vor allem RAMSIS, das bekannteste System zur Simulation des Menschen in CAD-Programmen, steht hierbei im Mittelpunkt. Kapitel vier beschäftigt sich mit dem Aufbau und den ergonomischen Anforderungen an Sitze in PKWs und Booten. Da bei diesem Bootsitz auch eine Flip-Up-Funktion integriert werden soll, folgt an dieser Stelle ein Exkurs in den Bereich der Stehhilfen. Im Zuge dessen werden auch die notwendigen Änderungen an dem Design-Entwurf erläutert, um einen ergonomischeren Sitz zu erhalten. Kapitel fünf beschreibt den Konzeptfindungsprozess für die Integration des gewünschten Klappmechanismus. Hierfür werden drei mögliche Varianten aufgezeigt und bewertet. In Kapitel sechs werden die technischen Grundlagen für die finale Sitzkonstruktion beschrieben und deren Umsetzung in der Konstruktion erläutert. Abschließend folgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Arbeit sowie ein Ausblick darauf, wie das Projekt weitergeführt wird.

## 2 Ergonomie

### 2.1 Allgemeine Grundlagen der Ergonomie

Die Ergonomie (von altgriechisch ergon, deutsch ‚Arbeit‘, ‚Werk‘, und nomos, deutsch ‚Regel‘, ‚Gesetz‘) wird durch die International Ergonomics Association, die internationale Fachgesellschaft für Ergonomie als

wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Menschen und anderen Elementen eines Systems befasst bzw. als der Berufsstand, der Theorie, Grundsätze, Daten und Verfahren auf die Gestaltung von Systemen anwendet, mit dem Ziel, das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren [definiert.] (International Ergonomics Association)

Sie hat ihren Ursprung im Arbeitskontext, erstreckt sich inzwischen aber auch auf viele andere Anwendungsbereiche, wie etwa die häusliche Umgebung und die Freizeit. Die Grundsätze variieren zwar, je nach Anwendungsbereich, in ihrer jeweiligen Bedeutung, bleiben aber immer dieselben. Wo immer menschliche Bedürfnisse und Eigenschaften berücksichtigt werden müssen, kommen ihre gestalterischen Grundsätze zum Tragen.

Das Ziel der Ergonomie ist es, die Arbeitsbedingungen an den Menschen anzupassen und damit Belastungen aller Art zu verringern oder sogar zu vermeiden. Genauer dienen ihre Prinzipien und Konzepte „der Verbesserung der Sicherheit, Leistung und Gebrauchstauglichkeit bei gleichzeitiger Sicherstellung und Förderung menschlicher Gesundheit und Wohlbefindens, und der Verbesserung der Zugänglichkeit (z. B. für ältere Personen und Personen mit Behinderungen).“ (Norm DIN EN ISO 26800:2011-11: 4). Dabei werden aber nicht nur physische Themen betrachtet, sondern auch kognitive, soziale und organisationsbezogene Aspekte.

Die Ergonomie berücksichtigt auch den Zweck des Systems, die Eigenschaften der vorgesehenen Zielpopulation, die angestrebten Ziele der auszuführenden Aufgabe sowie die bestehenden Beschränkungen und den Lebenszyklus mit allen dynamischen Änderungen während dieses Zyklus. Nur durch Auseinandersetzen mit diesen Faktoren kann die optimierte Leistung des Systems erreicht werden (vgl. Norm DIN EN ISO 26800:2011-11: 7).

## 2.1.1 Prinzipien der Ergonomie

Für den ergonomischen Ansatz sind folgenden drei Prinzipien von grundlegender Bedeutung. Der Mensch steht dabei im Zentrum der Gestaltung.

### **Menschorientierter Ansatz**

Sämtliche gestaltbare Komponenten der Betrachtung müssen an die Merkmale der vorgesehenen Zielpopulation, der Aufgabe, des Ziels und der Umgebung angepasst werden. Nicht der Mensch passt sich an. Strategien zu Auswahl und Schulung der Benutzer stellen keine Alternative zu einer angemessenen Gestaltung dar, können aber dennoch in einigen Fällen erforderlich sein. Die späteren Benutzer, des zu entwickelnden Systems, sollten am Gestaltungsprozess beteiligt sein. Durch das Einbringen von besonderen Erfahrungen und Anforderungen hilft dies bei der Optimierung von Lösungen. Daher gelten die frühzeitige sowie permanente Mitwirkung und Beteiligung als effiziente Gestaltungsstrategie.

Aufgrund der Mannigfaltigkeit der menschlichen Bevölkerung bzgl. seiner Körpermaße sowie biomechanischen, sensorischen und kognitiven Fähigkeiten muss die ergonomische Gestaltung an einer bestimmten Zielpopulation ausgerichtet werden. Außerdem sollten Entwicklungstendenzen berücksichtigt werden, die auf eine mögliche Veränderung der Population hindeuten. Die relevanten Merkmale der Zielgruppe müssen ermittelt und deren Variationsbreite festgelegt werden. In der Ergonomie im Pkw-Bereich werden meist die 5-Perzentil-Frau und der 95-Perzentil-Mann als begrenzende Größen verwendet. Bei sicherheitsrelevanten Anwendungen meist das 1. und das 99. Perzentil. Bei der Festlegung dieser Zielpopulation muss aber darauf geachtet werden, dass es nicht zur Diskriminierung von körperlich Benachteiligten kommt. Im Gegenteil, die Einbeziehung von Älteren und Menschen mit Handicap kann allgemein zur Verbesserung der Zugänglichkeit beitragen (vgl. DIN EN ISO 26800:2011-11: 9 f.).

### **Aufgabenorientierter Ansatz**

Man unterscheidet bei der menschorientierten Gestaltung zwischen Zielen und Aufgaben. Ziele sind die angestrebten Ergebnisse, während Aufgaben die Tätigkeiten beschreiben, die nötig sind, um die Ziele zu erreichen. Sowohl die Aufgaben als auch die Ziele können hierarchisch in Teilziele und -aufgaben untergliedert werden. Bei der Gestaltung muss die Beschaffenheit der Aufgabe und deren Auswirkungen auf den Menschen umfassend berücksichtigt werden. Dieser Ansatz

wird verwendet, um sicherzustellen, dass die Aufgaben dem Menschen angemessen sind. Sie beinhaltet die Zuordnung von Funktionen und Aufgaben zum Menschen oder zur Technik. Defizite bei der Aufgabengestaltung werden sowohl für den Menschen als auch für das Gesamtsystem zu negativen Auswirkungen führen. Diese können nicht durch die Gestaltung der technischen Komponenten des Systems ausgeglichen werden. Die möglichen Folgen der Aufgabengestaltung sowohl für die von ihr betroffenen Personen als auch für das Gesamtsystem müssen berücksichtigt werden. (DIN EN ISO 26800:2011-11, Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte (ISO 26800:2011); Deutsche Fassung EN ISO 26800:2011: 10)

Des Weiteren werden bei diesem Ansatz die Abweichungen zwischen dem Entwurf der Aufgabe und der Art und Weise der tatsächlichen Umsetzung einbezogen. Variationen und Veränderungen des Kontextes, der Abläufe, der Ausrüstung, von Produkten oder Materialien beeinflussen die Aktivitäten bei der Ausführung einer Aufgabe. Es ist wichtig, auf Erkenntnisse über bestehende ähnliche oder verwandte Aufgaben Bezug zu nehmen, um die Auswirkungen auf den Menschen berücksichtigen zu können. Eine Aufgabe gilt als angemessen, wenn sie von der Zielpopulation sowohl kurz- als auch langfristig sicher und effektiv ausgeführt werden kann, ohne Beeinträchtigungen zu verursachen. Außerdem sollten sie zur Weiterentwicklung der Fähigkeiten und Kenntnisse der Nutzer führen. Die Aufgaben und die mit ihnen verbundenen Tätigkeiten müssen bestimmt und hinreichend genau beschrieben sein, sodass die erforderlichen Anforderungen an die menschlichen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse festgelegt werden können. In- und Output der Aufgabe sollten in dieser Beschreibung enthalten sein. Je nach Komplexität der Systeme können alle Aufgaben entweder durch ein Individuum ausgeführt werden oder durch mehrere Individuen, die zusammenhängende Aufgaben ausführen.

Die Umgebung, in der das System genutzt werden soll, muss identifiziert, beschrieben und ihre Spanne definiert werden. Umgebungen können physischer, organisationsbezogener, sozialer oder rechtlicher Natur sein. Sie bilden wichtige Kontextelemente und können entscheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Gestaltungslösung haben. Unter physischen Eigenschaften versteht man zum Beispiel thermische Bedingungen, Beleuchtung, Lärm, Raumgestaltung und Möblierung. Zu den organisationsbezogenen und sozialen Aspekten zählen beispielsweise Arbeitsabläufe, Organisationsstrukturen und Einstellungen. In manchen Anwendungsfeldern der Ergonomie ist die Umgebung ein unveränderlicher kontextueller Faktor in anderen hingegen können einzelne Aspekte der Umgebung verändert werden. Wenn Umgebungsfaktoren Teil des Systems sind, muss deren (Neu-)Gestaltung in den Gestaltungsprozess einbezogen werden. Sollten diese Faktoren jedoch unveränderlich sein, so müssen deren Eigenschaften berücksichtigt werden (vgl. DIN EN ISO 26800:2011-11: 10 f.).

## Kriterienbasierte Bewertung

Die Bewertung des ergonomischen Gestaltungsergebnisses jedes Systems, Produkts oder jeder Dienstleistung muss auf bewährten ergonomischen Kriterien beruhen, unabhängig davon, ob die Gestaltung einem ergonomischen Gestaltungsprozess folgte oder nicht. (DIN EN ISO 26800:2011-11, Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte (ISO 26800:2011); Deutsche Fassung EN ISO 26800:2011: 11)

Diese ergonomischen Kriterien können sich auf die menschliche Leistung, die Gesundheit, die Sicherheit, das Wohlbefinden oder auf die Zufriedenheit beziehen. Die Bedeutung dieser Kriterien hängt von der Art des Systems ab. Eine wiederholte Bewertung muss ein wesentlicher Bestandteil eines jeden ergonomischen Gestaltungsprozesses sein und sollte sowohl Kurz- als auch Langzeitauswirkungen berücksichtigen (vgl. DIN EN ISO 26800:2011-11: 11 f.).

## 2.1.2 Konzepte der Ergonomie

Für das Verständnis und die Umsetzung der zuvor beschriebenen Prinzipien ist die Anwendung bestimmter Konzepte hilfreich. Diese Konzepte sind für den Einsatz der Ergonomie in bestimmten Bereichen von Bedeutung, aber nicht zwingend auf alle Bereiche anwendbar.

### Systemkonzept

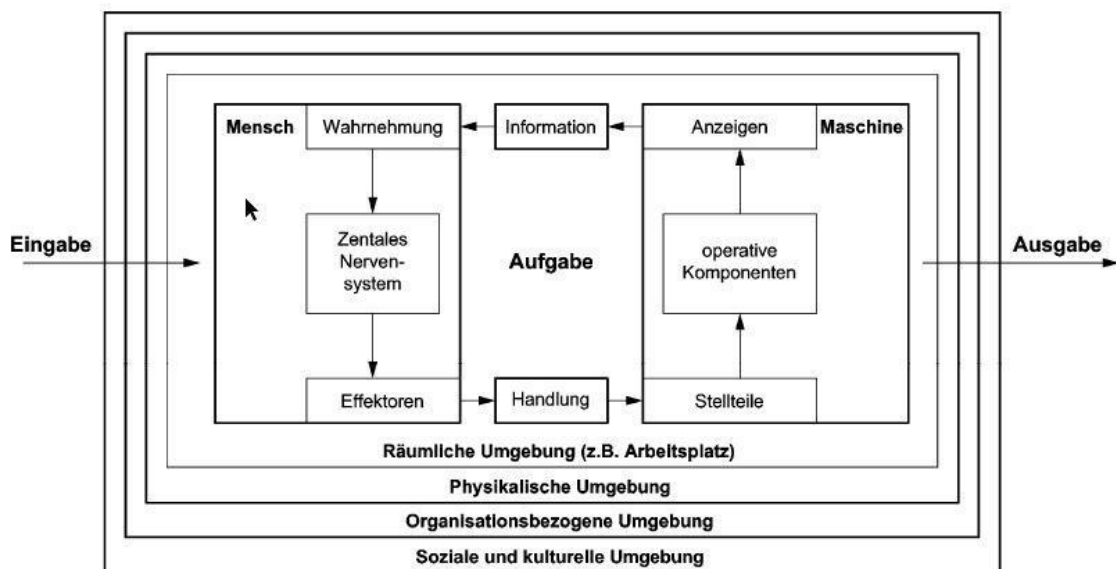


Abbildung 1: Beispiel eines Mensch-Maschine-Umgebung-System Modells

Quelle: Norm DIN EN ISO 26800:2011-11, S. 13

Das Systemkonzept ist eines der grundlegenden Konzepte der Ergonomie. Es befasst sich mit der Wechselwirkung zwischen Menschen und anderen Elementen innerhalb eines Systems. Mensch und Maschine sind dabei integrale Bestandteile dieses sog. Mensch-Maschine-Systems (vgl. Abb.1).

Der Mensch erhält Informationen über den Status der Maschine. Dies erfolgt mit Hilfe von Sensoren und Anzeigen. Er verarbeitet die Informationen, indem er sie mit den Zielen und Erwartungen vergleicht und im Anschluss, falls nötig, Veränderungen am System vornimmt. Der Mensch steht dabei im Mittelpunkt dieses Systems. In der Regel werden solche Systeme aber nur selten für Individuen, sondern für eine oder mehrere Zielgruppen oder Populationen entwickelt (vgl. DIN EN ISO 26800:2011-11: 12 f.).

### **Belastungs-Beanspruchungs-Konzept**

Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept befasst sich mit der Beurteilung menschlicher Tätigkeiten und richtet besondere Aufmerksamkeit auf die Beziehung zwischen einer Belastung, der Beanspruchung, die dadurch ausgelöst wird und den kurz- und langfristigen Auswirkungen, die daraus resultieren. Es ist sowohl für den mensch- als auch für den aufgabenorientierten Ansatz (vgl. Kapitel 2.1.1) grundlegend. Die Wirkung, die durch physische (manuelle Handhabungsaufgabe) oder psychische (Informationsverarbeitung) Belastung entsteht, ist dabei nicht nur von dessen Form abhängig, sondern auch von intraindividuellen Veränderungen. Eine Belastung lässt sich durch ihren Typ, ihre Intensität und ihre zeitlichen Merkmale (Dauer oder Abfolge der Tätigkeiten und Pausen) beschreiben. Letztere sind dabei von besonderer Bedeutung, weil sie die Beanspruchung und Auswirkungen auf das Individuum beeinflussen. Die Wirkungen der Belastungen werden auch durch die individuellen Merkmale der Menschen beeinflusst (vgl. Norm DIN EN ISO 26800:2011-11: 13). „Diese schließen [...] die physischen und psychischen Fähigkeiten ein, Fertigkeiten, Arbeitstechniken und -verhalten, den funktionalen Zustand, die Ausführung der Aufgabe durch das Individuum sowie dessen Wahrnehmung der Belastung und Beanspruchung.“ (DIN EN ISO 26800:2011-11: 14). Diese Faktoren können auch zeitlich variieren. Langfristig betrachtet kann das Sammeln von Erfahrungen zur Aneignung oder Vertiefung von Fertigkeiten und infolgedessen zu einer Steigerung der Effizienz und Effektivität führen. Kurzfristig kann das Einlegen einer Pause oder das Verlangsamen der Arbeitsgeschwindigkeit die Belastung verringern. Die Auswirkungen können sowohl positiv als auch negativ sein, können kurzweilig oder länger andauernd, manchmal sogar bleibend sein. Sie entwickeln sich in einem komplexen, manchmal iterativen [2], Prozess.



Eine Diskrepanz zwischen Belastung und Ressourcen der Nutzer kann ebenso wie physische oder psychische Dauerbelastungen zu negativen Ergebnissen in Form von geringerer Qualität und Produktivität oder vermehrten Fehlern und Verletzungen führen. Durch Erholungsphasen oder Wechsel der Tätigkeiten sind diese negativen Auswirkungen meist vollständig reversibel oder sogar vermeidbar. Außerdem ist die Veränderung der Intensität oder des zeitlichen Musters der Belastung ein gutes Mittel zur Vermeidung von Beeinträchtigungen. Wenn diese jedoch nicht vermeidbar sind oder die Erholungszeit nicht ausreicht, können sich Langzeitfolgen, wie Burnout oder chronische Schmerzen ausbilden.

Die Aneignung und Weiterentwicklung von Fähigkeiten sind langfristig gesehen eine Folge der Wechselwirkung zwischen dem Menschen und der Belastung. Zusätzlich kann diese durch externe Maßnahmen noch gefördert werden. Eine zu geringe Belastung hingegen kann einen gegenteiligen Effekt, nämlich das Verlernen und den Verlust von Fähigkeiten zur Folge haben. Auch langfristig können sich die Fähigkeiten der Individuen durch Erfahrungen, Alter oder Krankheit verändern.

Die Beziehung zwischen Belastung, Beanspruchung und deren Folgen müssen bei der Gestaltung immer berücksichtigt werden, damit die Belastungen so gestaltet werden können, dass die Beanspruchungen möglichst gering gehalten oder verhindert werden (vgl. Norm DIN EN ISO 26800:2011-11: 14 f.).

### **Gebrauchstauglichkeit**

Das Konzept der Gebrauchstauglichkeit befasst sich mit der Festlegung, Gestaltung und Bewertung von Systemen. Es umfasst die Dimensionen Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit der Nutzer und dient als Rahmen für die Festlegung und Überprüfung der Gestaltungsziele. Wenn das Konzept in einem Arbeitssystem angewendet wird, sollten zunächst alle relevanten Systemkomponenten identifiziert werden. Erfolgt eine (Um-) Gestaltung unter dem Aspekt der Gebrauchstauglichkeit, so schließen sie die „Berücksichtigung von Problemen der Gebrauchstauglichkeit auf sämtlichen Stufen des Lebenszyklus ein, inklusive der Konzeption, des ausführlichen Lösungsentwurfs, der Bewertung, der Umsetzung, des Langzeitgebrauchs, der Instandhaltung, der Entsorgung und des Recyclings.“ (DIN EN ISO 26800:2011-11, Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte (ISO 26800:2011); Deutsche Fassung EN ISO 26800:2011: 15)

Die jeweiligen Merkmale der Zielpopulation, Ziele, Aufgaben, physischen und technischen Umgebungen sowie Materialien usw. bilden den Gestaltungskontext. Dieser bestimmt, welche Aspekte der Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit für die Nutzung von

Bedeutung sind. Für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit gibt es keine universellen Messvorschriften oder Messgrößen. Diese sollten für jede Anwendung individuell entwickelt werden (vgl. DIN EN ISO 26800:2011-11: 15 f.).

### **Zugänglichkeit**

Die Zugänglichkeit beschreibt das Ausmaß, in dem Produkte, Systeme, Dienstleistungen, Umgebungen und Einrichtungen durch Menschen aus einer möglichst weit gefassten Population (in Bezug auf ihre Eigenschaften und Fähigkeiten) genutzt werden können, um ein gestecktes Ziel in einem vorgegebenen Nutzungskontext zu erreichen. Allgemein kann man die Zugänglichkeit eher als multidimensional und kontinuierlich bezeichnen. Das Ziel ist die Erweiterung der Zielpopulation, um das, unter dem Aspekt der Zugänglichkeit gestaltete, System für mehr Menschen nutzbar zu machen. Das Ausmaß der Zugänglichkeit hängt dabei zum einen von der Qualität der Nutzung und zum anderen von der Größe der Zielpopulation ab. Das Ziel einer ergonomischen Gestaltung kann also entweder durch eine Erweiterung der Zielpopulation oder durch eine Steigerung der Zugänglichkeit erreicht werden. Die zu berücksichtigenden Merkmale der Zielpopulation müssen, je nach Ziel der Gestaltung, möglichst unterschiedlich gewählt werden. Zusätzlich ist eventuell auch die Ermittlung bestimmter Untergruppen erforderlich oder zumindest hilfreich. Hierzu zählen beispielsweise Hörgeschädigte, Personen mit kognitiven Einschränkungen oder solche, die individuelle Lösungen oder alternative Zugangsmöglichkeiten benötigen.

Wie bei den anderen Konzepten auch, ist die Zugänglichkeit durch den Kontext, in dem das System genutzt werden soll, bestimmt. Zur Identifizierung der Anforderungen an die Zugänglichkeit spielt eine ausdrückliche Festlegung des Bereichs und der Art der Merkmale in der vorgesehenen Zielpopulation eine entscheidende Rolle (vgl. DIN EN ISO 26800:2011-11: 16 f.).

## **2.2 Anatomische & Anthropometrische Grundlagen**

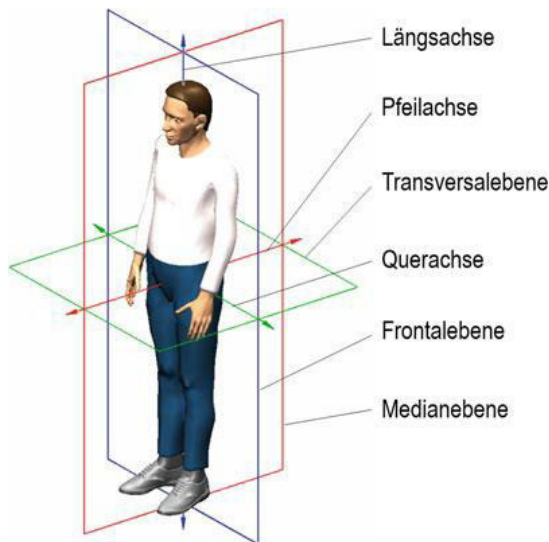
Die Grundlage einer jeden ergonomischen Auslegung ist die Betrachtung des menschlichen Körpers. Dieses Unterkapitel befasst sich zunächst mit den Grundlagen der Anatomie und der Anthropometrie, wobei sich letztere hauptsächlich mit den, für die Auslegung eines Sitzes relevantesten, Längen und Umfangsmaßen beschäftigt. Kennwerte wie das Gewicht, die Kräfte und die Beweglichkeit werden auf Grund des begrenzten Umfangs dieser Arbeit nur grundlegend betrachtet.

## 2.2.1 Anatomie

Die Anatomie (von altgriechisch *aná*, deutsch ‚auf‘ und *tomé*, deutsch ‚Schnitt‘) ist die Lehre vom Aufbau des menschlichen Körpers. Sie ist von besonderer Bedeutung für sämtliche Modelle und Simulationen hinsichtlich der korrekten Wiedergabe der mechanischen Verhältnisse. Der Körper wird dabei als komplexe Einheit betrachtet. Er besteht aus mehreren morphologischen Komponenten. Diese umfassen das Herz, das Gefäß- und Nervensystem, die Sinnes- und Stoffwechselorgane, die Haut, das Blut, das Gewebe, das Lymph- und das Endokrine System sowie den Harn- und Geschlechtsapparat. Am interessantesten für die ergonomische Betrachtung ist aber der Bewegungsapparat mit seinen Knochen, Gelenken und der Muskulatur.

In der Anatomie zählen zum Bewegungsapparat die Bestandteile und das Wirkgefüge aus Knochen und Gewebe, die die Fortbewegung des Menschen aus eigener Kraft ermöglichen. Aber auch für alle ruhenden Haltungen und vor allem das Sitzen ist er, dank seiner Stützfunktion, verantwortlich. Diese Funktion wird hauptsächlich vom Knochengerüst getragen. Die Sehnen übertragen die von der Muskulatur erzeugten Zug- und Druckkräfte auf die Skelettstruktur. Zur Stabilisierung der Gelenke dienen die Bänder und zur Dämpfung von Stößen und zur Druckverteilung in den Gelenken befindet sich Weichgewebe zwischen den Gelenkflächen. Über die Gelenkflüssigkeit werden sie mit Nährstoffen versorgt.

Zur Bezeichnung und Orientierung der Gliedmaßen hat sich eine bestimmte Terminologie etabliert. So steht die Längsachse (Vertikal-/Longitudinalachse) des Körpers bei aufrechter Haltung senkrecht auf der Standebene. Die Querachse (Horizontal-/Transversalachse) verläuft von der linken zur rechten Körperhälfte und steht senkrecht auf der Längsachse. Die Pfeilachse (Sagittalachse) verläuft von der hinteren zur vorderen Körperhälfte und steht senkrecht auf den beiden anderen. Darauf aufbauend sind die drei Hauptebenen definiert. Die Median- oder Sagittalebene ist entlang der gleichnamigen Achse ausgerichtet und teilt den Körper in seine linke und rechte Körperhälfte. Die Frontalebene verläuft in Richtung der Längsachse und parallel zur Stirn und die Transversalebene läuft quer zum Körper und damit senkrecht zur Längsachse bzw. der Medianebene (vgl. Abb.2) (vgl. Bubb et al. 2015: 164).



Besonders interessant beim Bewegungsapparat, hinsichtlich der Ergonomie eines Menschen, sind seine Gelenke. Diese ermöglichen unserem Körper seine Fähigkeit zur Bewegung. Dabei unterscheiden sich die verschiedenen Gelenktypen nach ihrem Aufbau und damit auch nach ihren Freiheitsgraden. Die wichtigsten sind im folgenden Bild (vgl. Abb.3) und der dazugehörigen Tabelle (Tab.1) zu sehen und erklärt (vgl. Bubb et al. 2015: 164-168).

Abbildung 2: Körperachsen und -ebenen  
Quelle: Bubb et al. 2015, S. 165

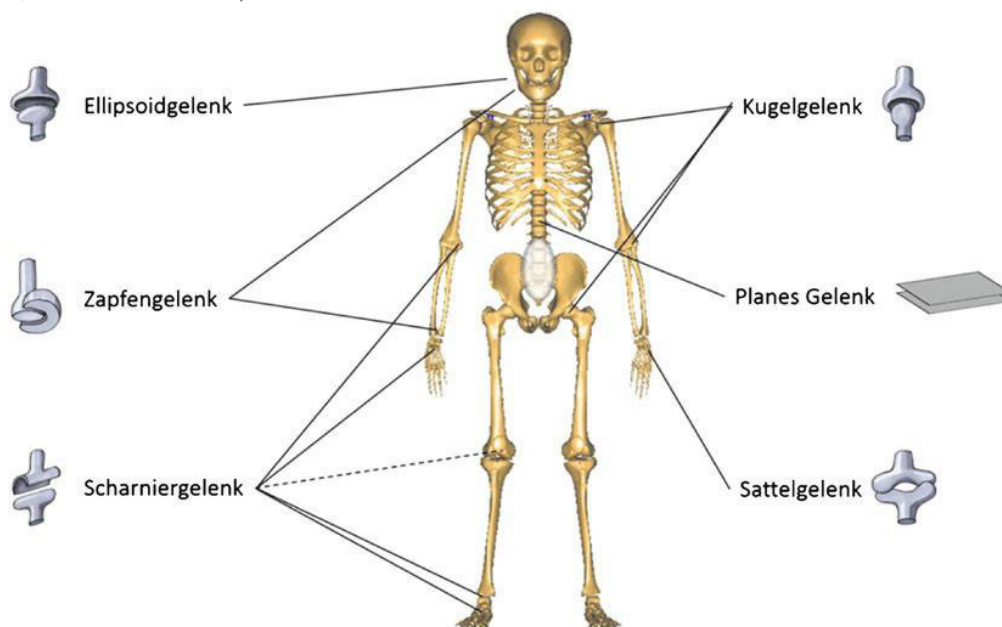


Abbildung 3: Zuordnung von Gelenktypen zu ausgewählten Gelenken des menschlichen Körpers.

Quelle: Bubb et al. 2015, S. 167

Tabelle 1: Aufstellung der wichtigsten Gelenkarten des Bewegungsapparates und ihrer Freiheitsgrade

Quelle: Bubb et al. 2015, S. 168

Gelenk-Beispiele	Partner		Form	Freiheitsgrade
Oberes Kopfgelenk	Schädel (Occiput)	Erster Halswirbel (Atlas)	Ellipsoidgelenk	4
Unteres Kopfgelenk	Erster Halswirbel (Atlas)	Zweiter Halswirbel (Axis)	Zapfengelenk	2
Wirbelsäule	Kleine Wirbel	Kleine Wirbel	Planes Gelenk	4
Schultergelenk	Schulterblatt (Scapula)	Oberarmknochen (Humerus)	Kugelgelenk	6
Ellenbogengelenk 1	Oberarmknochen (Humerus)	Elle (Ulna)	Scharniergelenk	2
Daumensattelgelenk	Erster Mittelhandknochen	Großes Vieleckbein (Os trapezium)	Sattelgelenk	4

Neben den Gelenken ist die Wirbelsäule ein wichtiger Punkt bei der Ergonomie-Betrachtung. Sie ist die verbindende und tragende Zentralstruktur des Bewegungsapparates. Viele Beschwerden und Diskomfort-Empfindungen [3] sind auf eine ungünstige Haltung der Wirbelsäule und daraus resultierenden Belastungen der Bandscheiben zurückzuführen.

Die Wirbelsäule ist in fünf Teilbereiche unterteilt. Die Halswirbelsäule bestehend aus sieben Zervikalwirbeln, die Brustwirbelsäule mit zwölf Thorakalwirbeln und die Lendenwirbelsäule mit ihren fünf Lumbalwirbeln bilden gemeinsam die freie Wirbelsäule. Unterhalb dieser drei Bereiche schließen sich noch das Kreuzbein mit fünf verwachsenen Sakralwirbeln und das Steißbein mit vier bis fünf verwachsenen rudimentären Coccygealwirbeln an. Bei aufrechter Stehhaltung weist die Wirbelsäule in Sagittalebene einen doppelt S-förmig gekrümmten Verlauf auf (Abb. 3 links). Hals- und Lendenwirbelsäule sind konvex nach vorn gekrümmt (Lordose [4]) während Brust- und Sakralwirbelsäule konkav nach hinten gewölbt (Kyphose [5]) sind. Diese Krümmungstendenzen bleiben auch in sitzender Haltung erhalten, aber nach längeren Fahrzeiten kann es, insbesondere im Bereich der Lendenwirbelsäule, zu einer Umkehrung der Krümmungstendenz bis hin zur Kyphose kommen. Dies führt zu einer starken Erhöhung der Beanspruchung der Wirbel L3/L4 und L4/L5 (vgl. Abb. 4 Mitte).



Abbildung 4: Vergleich der stehenden und sitzenden Haltung  
Quelle: Bubb et al. 2015, S. 170

Eine derartige Belastung kann zu Schmerzen oder im Extremfall sogar zum Bandscheibenvorfall (Nucleus pulposus Prolaps) führen. Durch Unterstützung der Lendenwirbelsäule mit einer Lordosenstütze wird die Lordose wiederhergestellt und der einseitige Druck auf die Bandscheiben der Lendenwirbelsäule verringert. Ebenfalls positiv wirkt

sich eine steilere Sitzrückenlehne aus. Durch die Aufrichtung des Oberkörpers wird nicht nur der Augenpunkt [6] erhöht und damit die Übersicht im Straßenverkehr verbessert, sondern auch der Druck auf die inneren Organe reduziert und damit die Atmung erleichtert und die Blutzirkulation gefördert. Eine weitere positive Folge ist die Reduzierung der Entfernung zum Lenkrad, was zu einer besseren Beherrschbarkeit des Fahrzeugs führt. Der Einsatz von Lordosenstützen und einer steileren Rückenlehne haben also viele positive und gesundheitsförderliche Effekte und lindern die körperlichen Nachteile der, prinzipiell ungesunden, Sitzhaltung (vgl. Bubb et al. 2015: 169-173).

## **2.2.2 Anthropometrie**

Die Anthropometrie (von altgriechisch anthropos, deutsch ‚Mensch‘, und metrein, deutsch ‚messen‘) ist die Wissenschaft der menschlichen Maße. Zusätzlich zur Anatomie liefert sie die Maße des Körpers und die Methoden, um diese zu ermitteln. Ihre ergonomischen Ziele liegen in der nutzerzentrierten Auslegung von Arbeitsplätzen und Produkten sowie in der Festlegung von Sicherheitsmaßnahmen. Der Schwerpunkt liegt dabei aber auf den Abmaßen der Extremitäten und deren Lage zueinander. Außerdem werden die Beweglichkeit und Reichweiten der Extremitäten sowie deren Kraftvermögen betrachtet. Von besonderem Interesse sind die Lage und die Bewegungen der Gelenke und die Kinematik lebender Menschen. Allerdings sind hierbei aber nur äußerliche Betrachtungen möglich. Die exakte Lage und Bewegungen der einzelnen Gelenke sind jedoch nicht sichtbar.

Die entscheidende Anforderung an die Messungen ist die abgesicherte Reproduzier- und Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messreihen. Martin (1914) definierte Längenmaße als Strecken von Knochenpunkt zu Knochenpunkt, wobei Knochenpunkte prominente knöcherne Stellen nahe der Körperoberfläche sind. Diese sind leicht auffindbar und im Gegensatz zu Weichteilen nicht von Anlagedrücken abhängig. Die Norm DIN 33402-1 gibt noch weitere Messregeln vor. So sind die Messungen nur an der rechten Körperhälfte und nur in einer vorgeschriebenen Körperhaltung durchzuführen. Eine weitere Regel, die in der Praxis allerdings kaum Beachtung erhält, besagt, dass die Messungen an nackten Menschen durchzuführen sind. In der Regel wird die händische Methode mit Hilfe des Martin'schen Messbestecks angewendet. Neuerdings geschehen die Messungen jedoch häufig mit einer optischen Methode in Form von Bodyscannern.

Die Lokalisierung einzelner Körpermaße innerhalb der Verteilung der Messwerte geschieht über sogenannte Perzentile. Das fünfte Perzentil bedeutet beispielweise, dass fünf Prozent der betrachteten Menge den Wert unterschreiten. Dementsprechend entspricht das 50. Perzentil dem Median, bzw. in der Normalverteilung dem arithmetischen

Mittelwert, der Stichprobe. In der Auswertung werden in der Regel das 5., 50. und 95. Perzentil nach Geschlecht und Altersgruppe festgehalten. Ein häufiger Fehler bei der Auswertung ist, dass nur noch der Mittelwert zur Beschreibung eines Datensatzes verwendet wird. Diese sollten aber nur in Verbindung mit einem Dispersionsmaß genannt werden. Ein zweiter möglicher Fehler ist, dass der Designer oder Konstrukteur das Produkt, an dem er arbeitet, durch Ausprobieren an seine eigene Anthropometrie anpasst und die Wirkung auf andere Körperausprägungen vernachlässigt. Um diese Probleme zu umgehen wurde eine designbedingte Klassifizierung in innere und äußere Maße eingeführt. Die inneren Maße besagen, dass der Mensch mit seinen Abmaßen in dem Produkt Platz haben soll. Hierzu wird in der Ergonomie das obere Grenzperzentil verwendet, der 95. Perzentil-Mann. Das äußere Maß beschreibt die Erreichbarkeitsmaße. Dies geschieht mit der 5. Perzentil-Frau, also dem unteren Grenzperzentil. Bei der sicherheitsrelevanten Auslegung verwendet man das 1. und das 99. Perzentil mit Sicherheitszuschlägen.

Diese Perzentile sind in Tabellen festgehalten und können bei der Auslegung von eindimensionalen Fragestellungen einfach abgelesen werden. Bei komplexeren Fragen, wie zum Beispiel der Erreichbarkeit des Lenkrades, kann man aber nicht nur auf die kürzeste Armlänge aus der Tabelle zurückgreifen, sondern es muss auch betrachtet werden, wo sich die Schulter befindet. Deren Position hängt bei festem Torsowinkel vom H-Punkt [7] ab und dieser wiederum von der Beinlänge, dem Kniewinkel und der Pedallage. Ein einfaches Aufaddieren der einzelnen Tabellenwerte ist jedoch nicht zulässig. Daher wurden zunächst menschliche Schablonen und mit aufkommen der computergestützten Konstruktion schließlich die digitalen Menschmodelle entwickelt.

Die wichtigsten Körperdistanzmaße, die dabei betrachtet werden, sind die Körperhöhe [8], die Stammlänge [9], die Augenhöhe im Sitzen [10], die Gesäß-Knietiefe [11], die Sitztiefe [12], die Sitzbreite [13], die Höhe des Ellenbogens über der Sitzfläche [14], die Länge der Extremitäten [15] sowie die Abmaße der Hand [16]. Bei den Maßen der Stammlänge und der Augenhöhe muss zusätzlich beachtet werden, dass der Mensch in der Praxis nicht so aufrecht sitzt, wie er vermessen wird. Daher muss man einen gewissen Abschlag von den tabellarischen Werten mit einbeziehen. Bei der Augenhöhe sind es zwischen fünf und zehn Prozent. Dennoch legt man zum Beispiel die Stammlänge anhand des Tabellenwertes aus und nutzt die durch den Abschlag „gewonnenen“ Raum als Kopffreiraum. Neben diesen Größen werden außerdem noch die Abmaße der Füße und Schuhe, von eventuellen Kopfbedeckungen und zusätzlichen Bekleidungsstücken betrachtet.

Hinsichtlich des Gewichts geht man bei einem Erwachsenen Menschen von 46kg bis 130kg aus. Dabei besagt aber SizeGERMANY [17], dass sich „die Gewichtsverteilung [...] regional – und insbesondere in Staaten des westlichen Kulturraums durch energiereiche Nahrung - zu korpulenten Typen hin verschoben [hat]“ (Bubb et al. 2015: 197). Dies zeigt sich vor allem in Nordamerika. Nach einer Studie des CDC [18] sind dort 35,7 % der Erwachsenen und bereits 16,9% der Kinder fettleibig. Auch die Automobilhersteller mussten darauf reagieren. Bis vor wenigen Jahren waren noch Auslegungswerte von 90kg für die Dauerhaltbarkeit von Sitzen zeitgemäß. Heute müssen deutlich höhere Werte angenommen werden, um mechanischen Versagensfällen vorzubeugen. Und auch Bezugstoffe und Verkleidungsteile erfahren stärkeren Abrieb und damit höheren Verschleiß. Die stabilere Auslegung führt nicht nur zu strukturellem Mehrgewicht, was wiederum zu höherem Kraftstoffverbrauch führt, sondern auch zu höheren Herstellungs- und Produktkosten (vgl. Bubb et al. 2015: 199).

Die nächste anthropometrische Größe ist die Kraft. Man betrachtet hierbei die verfügbaren und die maximal aufzubringenden Kräfte. Bei der Messung dieser Kräfte gibt es drei unterschiedliche Herangehensweisen. Im Rahmen der aufgabenspezifischen Kraftmessung können die interessanten Krafftälle direkt gemessen werden. Dabei ist die Haltung entweder frei wählbar oder durch eine Aufgabe fest vorgegeben. Der Vorteil dieser Herangehensweise liegt in der sehr schnellen Erfassung von Maximalkräften. Von Nachteil hingegen ist die unzureichende Berücksichtigung der Anthropometrie. Die von den Gelenken aufzubringenden Kräfte hängen von der Körperhaltung ab, da diese aber nicht fest vorgegeben ist, entstehen Probleme bei der Reproduzierbarkeit. Die gelenkspezifische Kraftmessung zielt auf die experimentelle Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Gelenkwinkeln und -momenten ab. Damit können die maximalen Gelenkmomente für unterschiedliche Anthropometrien und Haltungen in unterschiedlichen Wirkrichtungen vorhergesagt werden (Schwarz 1997). Dadurch sind die Probleme der aufgabenspezifischen Kraftmessung gelöst, was wiederum zu einer deutlichen Erhöhung der Komplexität der Messung und Modellierung führt. Die letzte Art der Kraftmessung stellt die muskulo-skelettale Modellierung dar. Hierbei werden alle einzelnen Muskelkräfte betrachtet, die in Summe ein Gelenkmoment bilden. Für eine bestimmte Bewegung wird dann ein dynamisches Gleichgewicht berechnet. Dafür müssen jedoch die exakten Ergebnisse für die Hebelarme der Muskeln zu den Gelenken, der Ursprung und Ansatz sowie der Fiederungswinkel [19] der Muskeln, die Maximalkraft bei idealer Muskellänge, die Muskelquerschnitte und das gewählte Muskelmodell bekannt sein. Bernstein (1967) sieht in diesem Zusammenhang ein Problem in der Redundanz des menschlichen Be-



wegungsapparats, da für einen einzelnen Freiheitsgrad viele Muskeln zur Verfügung stehen und die Gleichungssysteme dementsprechend deutlich überbestimmt sind. Nichtsdestotrotz ist dieses Prinzip aktuell die ideale Möglichkeit, um die inneren Reaktionen auf äußere Belastungen sichtbar zu machen.

Die letzte ergonomische Größe, die betrachtet wird, ist die Beweglichkeit. Sie beschreibt die aufgaben- und gelenkspezifischen Bewegungsräume. Für die aufgabenspezifischen Räume gibt es viele Normen, die verschiedene Aufgaben beschreiben. Abbildung 5 zeigt die Erreichbarkeitsfläche nach SAE J 287 [20] und die Versuchseinrichtung, die ihr zugrunde liegt.

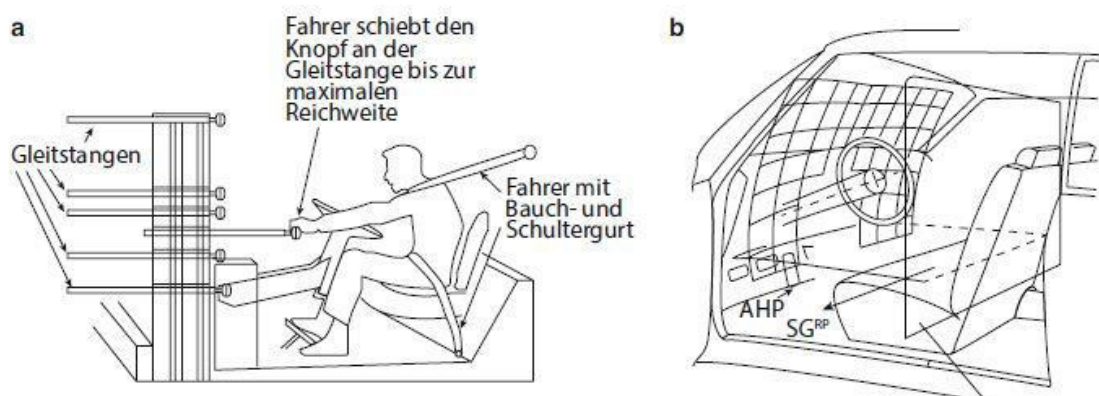


Abbildung 5: Versuchsaufbau für die Messungen der maximalen Hand Reichweite (a) und Erreichbarkeitsflächen (b) nach SAE J 287

Quelle: Bubb et al. 2015, S. 205

Bei den gelenkspezifischen wird zwischen aktiven und passiven Bewegungsbereichen unterschieden. Während der Proband im aktiven Bereich seine Gelenke durch die eigene Muskelkraft in die ihm möglichen Extrempositionen bringt, werden die Extremitäten der Versuchsperson im passiven Bereich in eine Apparatur eingespannt und von einer externen Person bis an die Schmerzgrenze ausgelenkt. Die Versuche zeigten, dass die passive Beweglichkeit meist größer ist als die aktive (vgl. Dietrich und Lehnertz 1993: 215). Neben den individuellen Unterschieden ist die Beweglichkeit außerdem alters- und geschlechtsabhängig.

### **3 Ergonomische Fahrzeuggestaltung**

Die ergonomische Fahrzeuggestaltung erfolgt auf allen Stufen des Lebenszyklus eines Systems oder Produktes. Sowohl beim Entwerfen von Alternativen, bei der Entwicklung und Umsetzung der Gestaltung als auch bei der Korrektur von Mängeln. Dabei müssen gewisse Grundanforderungen an den Gestaltungsprozess berücksichtigt werden. Eben-diese werden in Kapitel 2.1.1 näher betrachtet. Für die Bewertung der Ergebnisse ist neben der Überprüfung der Einhaltung der vorgegebenen Maße mittels Menschmodel-len die reale Nutzung durch Personen unter realistischen Bedingungen die beste Grund-lage. Bis zu einem gewissen Punkt können sämtliche Aspekte der Gestaltung bewertet und, falls nötig, überarbeitet werden. Das setzt voraus, dass der Gestaltungsprozess flexibel genug ist, um eine iterative Erarbeitung der Gestaltungslösung zu ermöglichen. „Ziel ist es, über genügend Flexibilität bei den Ressourcen und Verfahren zu verfügen, um die Gestaltungslösung so zu überarbeiten, dass sie den ergonomischen Prinzipien und den Anforderungen des Benutzers beziehungsweise Arbeitenden entspricht. Es ist nicht beabsichtigt, unnötige Wiederholungen innerhalb des Gestaltungsprojekts zu for-dern.“ (Norm DIN EN ISO 26800:2011-11: 17 Anm.3)

Die anthropometrische Ergonomie befasst sich mit den Arbeitsfeldern Sitzen, Sicht, Be-dien- und Anzeigekomponenten, Raumgefühl, Ein- und Ausstieg, Beladen und Service. Diese Themenfelder sind teilweise stark voneinander abhängig. Um all diese Abhängig-keiten zu berücksichtigen, wurden verschiedene Modelle zur Pkw-Maßkonzeption ent-wickelt. Ein Beispiel dafür ist das Konzept nach Müller (2010). Dabei stehen die ergono-mischen und anthropometrischen Anforderungen des Fahrzeugnutzers im Mittelpunkt der Fahrzeugentwicklung. Die Konzeptionierung erfolgt unter Berücksichtigung der Hauptanforderungen in neun Arbeitsschritten zentrifugal um die Fahrzeuginsassen. Die Fahrzeugabmessungen von zu definierenden Referenzfahrzeugen und die ergonomi-schen Vorgaben bilden einen verbindlichen Gestaltungsrahmen. Dieser ist die Grund-lage für Interieur- und Exterieurdesign.

#### **3.1 Fahrzeugpackaging**

Das Fahrzeugpackaging ist die klassische Disziplin der Zusammenstellung aller Fahr-zeugkomponenten und Baugruppen unter Berücksichtigung ihrer Relativbewegungen und Montagefreiräume. Ergonomisch betrachtet wird das Package durch den Menschen und die Abmaße seiner Extremitäten bestimmt. Dabei geht es vor allem um die notwen-digen Bewegungsfreiräume und ihre Erreichbarkeitsgrenzen. Natürlich dürfen auch die Sichtbedingungen nicht außer Acht gelassen werden. All diese Daten werden mit der Fahrzeugarchitektur zu Beginn der Maßkonzeption festgelegt. Zu berücksichtigen sind

dabei nicht nur die regionalen, sondern auch die globalen Wünsche und Anforderungen. Dazu muss zunächst eine Bandbreite an Anthropometrien festgelegt werden, um auf allen angestrebten Märkten eine vollständige Akkommodation [21] zu gewährleisten. Als nächstes werden der, in der Realität kaum vorkommende, statische Raumbedarf, der dynamische Bewegungsbedarf während der Fahrt und die quasistatischen Ein- und Ausstiegsvorgänge betrachtet. Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Betrachtung des Packages ist die Notwendigkeit der dynamischen Fahrzeugsteuerung. Hierzu gehören die Bedienung des Lenkrades, der Pedale und des Schalthebels. Der Fahrer muss sich zum Bedienteil hinbewegen können und es über den technisch definierten Weg hinweg betätigen. Vor allem beim Lenken kann es zu raumgreifenden Bewegungen kommen. Je nach Einschlagwinkel ist ein Um- oder Übergreifen notwendig oder bei höherem Kraftaufwand ein weiteres Ausstellen der Ellenbogen. Diese Bewegungen dürfen weder durch Ein- und Anbauten am Sitz noch durch die Türverkleidung oder die Armaturentafel behindert werden. Im Bereich der Pedale muss die Freigängigkeit der Füße, unabhängig der Schuhgröße und des Schuhtyps gewährleistet werden. Auch Schienbeine und Knie sollten genug Freiraum zu Lenkrad, Instrumententafel, Tür- und Lenksäulenverkleidung haben, um die uneingeschränkte Nutzung der Pedale zu ermöglichen. Jegliche Körperteilbewegungen zur Bedienung und Orientierung sind unerlässlich. Insbesondere der Kopf ist fortwährend in Bewegung, z.B. beim Blick in den Seitenspiegel, beim Schulterblick oder beim Manövrieren in unübersichtlichen Verkehrssituationen, d.h. immer, wenn eine Augenbewegung allein nicht ausreicht, aber auch in Form einer pendelnden Bewegung bei dynamischen Kurvenfahrten. All diese Bewegungen setzen entsprechende Freiräume voraus. Bei alledem ergeben sich immer wieder vielerlei Zielkonflikte, deren Abwägung nur möglich ist, wenn entsprechende Kenntnis der Konsequenzen vor dem technischen Kontext vorhanden sind. Genau das ist die Aufgabe der Ergonomie im Packaging. Die oberste Priorität hat dabei immer der Fahrerplatz.

Von essenzieller Bedeutung für die menschengerechte Gestaltung des Fahrerarbeitsplatzes ist dessen Positionierung in dem Fahrersitz. Aufgrund der weichen Polsterung ist diese nur ungenau möglich. Daher wurde durch die SAE J1100 der Sitzreferenzpunkt SgRP (Seating Reference Point) definiert. Er kennzeichnet den Punkt, in dem der Hüftpunkt (H-Punkt) einer definierten Person in Relation zu einem „harten“ Sitzteil, wie etwa der Sitzschiene, zum Liegen kommt. Als Hüftpunkt wird der Drehpunkt des Oberschen-

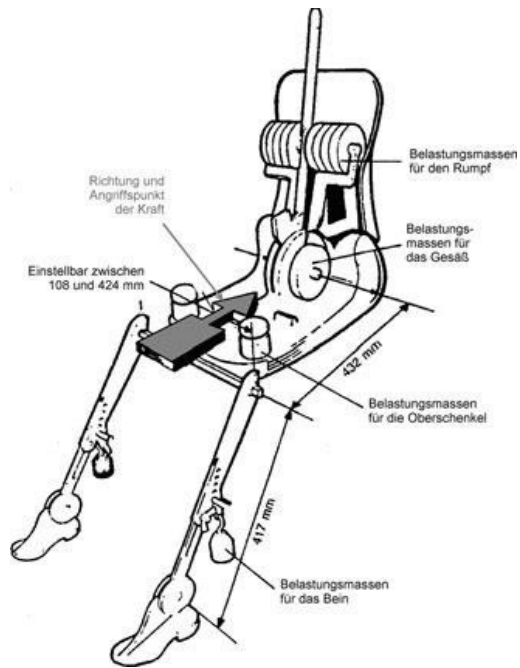


Abbildung 6: H-Punkt-Messmaschine nach SAE J826  
Quelle: Bubb et al. 2015, S. 352

kels im Torso der H-Punkt-Messmaschine [22] bezeichnet. Er wird messtechnisch mittels der SAE-Schale, bzw. der H-Punkt-Messmaschine, nach SAE J836, ermittelt (vgl. Abb. 7). Er stimmt allerdings nicht mit dem realen H-Punkt überein, sondern kann bis zu 60mm abweichen. Der SgRP bzw. das H-Punkt-Verstellfeld wird oftmals schon in einer frühen Konstruktionsphase vorab festgelegt. Er ist der zentrale Bezugspunkt für die anthropometrische Auslegung nach SAE. Sein vertikaler Abstand von der Bodenebene ist das sog. H-30-Maß. Durch seinen Einfluss auf die Sitzhaltung bestimmt dieses Maß essentiell den Charakter des Fahrzeugs. Bei niedrigen Sportwagen liegt dieses Maß bei etwa 140mm, während es bei

VANs und Minibussen bei ca. 400mm liegt. Bei wettbewerblichen Rennwagen kann das H-30-Maß sogar negativ sein. Neben der SAE J1100 sind für die Beschreibung der Sitzposition auch noch die SAE J941 zur Bestimmung der Augenpunktlagen und Augenellipsen, die SAE J1052 zur Beschreibung der Kopfposition und -konturen, die SAE J287 für die Greifräume, die SAE J1516 zur Definition des Fersen- (AHP) und des Fußballenpunktes (BOF) sowie die SAE J1517 für das Verstellfeld des SgRP relevant.

## 3.2 Ergonomie des Sitzens

Die Betrachtung der Ergonomie in Pkw-Sitzen fand bereits in den 1930er Jahren in Form eines verstellbaren Sitzes Beachtung. Aufgrund der vielen Einflussgrößen, die die Körperhaltung bestimmen, wird heute oftmals auf Menschmodelle und andere CAD-Techniken zurückgegriffen. Diese gewinnen mehr und mehr an Bedeutung, werden aber meist zur Verifizierung von Konzepten und weniger zur initialen Auslegung genutzt. Wünschenswert wäre die Entwicklung einer objektiv nachvollziehbareren Vorgehensweise, die die ergonomischen Kriterien von Anfang an berücksichtigt, ohne dabei die praktischen Einschränkungen zu vernachlässigen. Eines der bekanntesten und am meisten eingesetzten Menschmodelle ist RAMSIS. Es ermöglicht die Darstellung von Puppen nach einer Auswahl anthropometrischer Kriterien, wie etwa Körperhöhe, Korpulenz und Proportion. Das folgende Unterkapitel bezieht sich auf dieses Modell. Auch wenn sich diese Arbeit mit einem Bootssitz beschäftigt, erfolgt die Darlegung der allgemeinen ergonomischen Prinzipien am Beispiel eines Pkw-Fahrersitzes.

Tabelle 2: Zusammenstellung von häufig verwendeten RAMSIS-Manikins im Zusammenhang mit Fahrerplatzanalysen

Quelle: Rekittke und Brückner 2010

	<b>Größe</b>	<b>Korpulenz</b>	<b>Proportion</b>	<b>Körperhöhe [mm]</b>	<b>Stammlänge [mm]</b>
Mann (M)	sehr groß (T)	mittel (M)	mittel (M)	1878	974
		dick (H)	kurzbeinig (S)	1880	1010
		dünn (S)	langbeinig (L)	1896	953
	mittel (M)	mittel (M)	mittel (M)	1766	929
	sehr klein (S)	mittel (M)	mittel (M)	1651	879
Frau (F)	sehr groß (T)	mittel (M)	mittel (M)	1750	919
	mittel (M)	mittel (M)	mittel (M)	1647	876
	sehr klein (S)	mittel (M)	mittel (M)	1550	833
		dick (H)	kurzbeinig (S)	1539	856
		dünn (S)	langbeinig (L)	1549	808

In der Auslegung von Sitzen sind diese sog. Extremtypen (vgl. Tabelle 1) von besonderem Interesse:

- sehr großer langbeiniger Mann von mittlerer Korpulenz (MTMM)
- Sehr großer kurzbeiniger dicker Mann (MTHS)
- mittel großer Mann mittlerer Korpulenz mit mittleren Proportionen (MMMM) bzw. sehr große Frau mittlerer Korpulenz mit mittleren Proportionen (FTMM)
- sehr kleine, dicke, kurzbeinige Frau (FSHS)
- sehr kleine, dünne, langbeinige Frau (FSSL)

Hinsichtlich der Körpergröße gelten folgende Definitionen:

- „sehr großer Mann“ entspricht dem 95. Perzentil
- „mittelgroßer Mann“ bzw. „sehr große Frau“ entspricht dem 50-Perzentil-Mann
- „sehr kleine Frau“ entspricht der 5-Perzentil-Frau

Das Hauptaugenmerk der ergonomischen Betrachtung der Sitzplätze liegt auf dem Fahrersitz, weshalb sich auf diese Betrachtung beschränkt wird. Ein Problem ist die hohe Toleranz des Menschen gegenüber einer ungünstigen Körperhaltung, zumindest in der ersten Wahrnehmung. In der Forschung wird den sog. Komfortwinkeln besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Diese Winkel nehmen die Gliedmaßen zueinander ein, wenn sich die Muskeln in neutraler Position befinden, also weder kontrahiert noch extrahiert sind. Hierzu wurden diverse Untersuchungen durchgeführt. So hat zum Beispiel die NASA Versuche in Schwerelosigkeit durchgeführt, wohingegen Dirlich (2010) auf spezielle Unterwasserversuche mit nicht vorgebildeten Probanden zurückgegriffen hat. Aus diesen und anderen Experimenten ergaben sich die Werte in Tabelle 3.

Tabelle 3: Zusammenstellung der verschiedenen, experimentell gefundenen Komfort Winkelwerte in Seitenansicht  
Quelle: Bubb et al. 2015, S. 363

Untersucher	Torso	Schulter	Ellenbogen	Hüfte	Knie	Fußg.
NASA (1995)	-	36° ± 19°	122° ± 24°	128° ± 7°	133° ± 8°	-
Dirlich (2010)	-	27° ± 8°	105° ± 5°	145° ± 4°	144° ± 6°	-
Dreßel und Kain (1985)	25° ± 3°	39° ± 12°	146° ± 17°	107° ± 7°	122° ± 8°	84° ± 16°
Wallentowitz (1995)	20° - 30°	28°	105° - 115°	100° - 105°	110° - 130°	90°
RAMSIS (1990)	27°	22°	127°	99°	119°	103°
Kahlmeier und Marek (2000)	15° - 25°	15° - 35°	85° - 110°	85° - 110°	95° - 120°	85° - 95°
Hirao et al. (2006)	31° ± 4°	-	-	111° ± 5°	125° ± 9°	158° ± 12°
Lorenz (2011)	27° ± 4°	33° ± 4°	124° ± 18°	100° ± 6°	111° ± 7°	92° ± 8°

Wie man hier erkennen kann, weichen die einzelnen Variationsbereiche teils stark voneinander ab, auch wenn es einige Überschneidungen gibt. Die für RAMSIS angegebenen Werte sind die in der Beobachtung gefundenen wahrscheinlichsten Werte. Unter Berücksichtigung der eingegeben Restriktionen und in gegenseitiger Abhängigkeit der Winkel wird mit Hilfe eines Optimierungsalgorithmus die wahrscheinlichste Stellung ermittelt. Diese wird dann hinsichtlich des zu erwartenden Komforts bewertet.

Die anfangs erwähnte Verstellung des Sitzes dient der Erfüllung verschiedener anthropometrischer Anforderungen. Das passiert im ersten Schritt durch die Verstellung des H-Punktes. Für die korrekte Konstruktion mittels Menschmodellen ist es notwendig, Körperpunkte am Modell festzulegen. Deren Variationen geben die notwendigen Verstellbereiche zur Anpassung an die unterschiedlichen anthropometrischen Bedingungen wieder. Wenn man zu einer von der Fahrzeugkonzeption unabhängigen Lösung kommen will, die trotzdem die ergonomischen Forderungen weitestgehend berücksichtigt, so ist es nötig, einen der Körperpunkte zu fixieren.

Man unterscheidet die augenpunkt- und die fersenpunktfixierte Variante. Die Augenspunktfixierte Variante hat den Vorteil, dass alle Fahrer, unabhängig ihrer Körpergröße und -proportionen die gleichen Sichtverhältnisse haben. Der Nachteil ist, dass diese Form einen großen Verstellbereich der Pedale erfordert und dies in einem Pkw nur schwer realisierbar ist. Diese Variante wird zur Gestaltung von Flugzeugcockpits angewendet und aufgrund der nicht vorhandenen Pedalerie auch für den Bootssitz relevant sein. Die Fersenpunktfixierte Version ist heute in der Pkw-Innenraumauslegung üblich. Dabei ergibt sich eine Erkenntnis, die der Praxis scheinbar zuwiderläuft. In optimaler

Haltung sitzen kleine Personen tiefer und große höher. Aufgrund dessen, dass der Augenpunkt von kleineren Fahrern aber angehoben werden muss, damit ihre Blicklinie oberhalb von Lenkrad und Motorhaube liegt, sieht die Strategie in der Praxis genau umgekehrt aus. Demzufolge sollten kleine Menschen kleine Fahrzeuge fahren und große Personen große Fahrzeuge. Dies lässt sich in der Realität natürlich nicht realisieren, denn die Kundschaft entscheidet in erster Linie nach der Attraktivität des Exterieurs und nicht nach den zur Körpergröße passenden Abmessungen. Es ergeben sich aber Kompromisse zwischen Design, Ergonomie und technischen Forderungen. Diese werden realisiert, indem bestimmte Restriktionen im RAMSIS gesetzt werden. Diese beeinflussen auch die Berechnung der Haltung. Die folgenden Restriktionen werden grundlegend für alle Berechnungen gesetzt:

- Fersenpunkt rechts und links auf die Fersenlinie; der rechte Fuß hält das Fahrpedal zu 1/3 durchgedrückt
- H-Punkt in Sitzmittelebene
- Becken seitlich fixieren gegen Kippen und Verdrehen
- Kopfspitze unterhalb der Dachebene mit 50mm Kopffreiheit
- Blickrichtung in der Neutralhaltung fixieren

Der SgRP wird durch eine digitale Version der H-Punktmessmaschine bestimmt. Der H-Punkt liegt auf H30-Ebene, die durch Exterieurdesign vorgegeben wird.

Als nächstes erfolgt die Berechnung der Haltung des RAMSIS-Manikins „sehr großer Mann, mittlere Korpulenz, kurzbeinig“ (s. Tabelle 2) mit den vorher festgelegten Restriktionen. Daraus ergibt sich die höchste Augenpunktlage. Ausgehend von diesem Punkt wird nun eine Tangente über die, vom Exterieurdesign vorgegebene, Motorhaube gelegt, um so die optimale Sicht auf die Straße zu definieren. Diese Linie dient nun als weitere Restriktion für alle anderen Anthropometrien. Wenn man das Ergebnis betrachtet, fallen zwei Abweichungen von den tatsächlich realisierten Lösungen auf. Zum einen müsste das Längs- und Höhenverstellfeld für das Lenkrad in Realität deutlich größer ausfallen. Zum anderen ist die Ausrichtung des notwendigen Sitzverstellfeldes genau umgekehrt zur realisierten Lösung. Abgesehen von den bisher besprochenen theoretischen Restriktionen gelten in der Realität noch folgende Kriterien für die Sitzposition abhängig von der individuellen Größe der Nutzer (Lorenz 2013). Diese wurden sowohl durch Experimente und Beobachtungen, aber auch durch Befragungen bestimmt

- für alle Körpergrößen:
  - Pedalerreichbarkeit
  - Fahrbahnsichtwinkel

- für klein gewachsene Personen:
  - Qualität der (Fahrbahn-) Sichtbedingungen ebenfalls bedeutende Rolle
  - Lage des Windlaufpunktes (für kleine und mittelgroße Personen)
  - Brüstungshöhe (wird subjektiv niedriger gewünscht)
- für groß gewachsene Personen:
  - Raumbedarf → je größer der Nutzer, desto unwichtiger die (Fahrbahn-) Sicht, dafür mehr Wert auf Raumbedarf
  - Dachrahmenlage von gewisser Relevanz

Wenn es möglich ist, wählen die Probanden eine Sitzposition, von der aus sie auf die Motorhaube schauen können, um so die Fahrzeugdimensionen besser einschätzen zu können. Hierfür hat Lorenz (2013) eine Maßzahl, den speziellen Haubensicht-Faktor  $\kappa$ , definiert. Wenn man bei der Gestaltung der Fahrzeugdimensionen die Sichtbedingungen berücksichtigt, ergeben sich Empfehlungen, deren Nichtbeachtung zur Einnahme einer ungünstigen Sitzhaltung führen:

- Vertikale Distanz Windlaufpunkt  $H_W$  – H-Punkt:  $H_W < 500$  mm
- Vertikale Distanz Brüstungshöhe  $H_B$  – H-Punkt:  $H_B < 500$  mm
- Fahrbahnsichtwinkel in Bezug auf die Augenposition der 5-Perz.-Frau:  $> 8^\circ$
- Ampelwinkel in Bezug auf die Augenposition des 95.Perz.-Mann  $> 13^\circ$
- Haubensichtfaktor  $\kappa \geq 0,5$

Nach diesen Betrachtungen sind der Windlaufpunkt und die Dachrahmenlage die dominierenden Einflussparameter bei der Wahl der Sitzposition. Daher werden daraus eine obere und eine untere Grenzebene abgeleitet, die bei der Positionierung der RAMSIS-Puppe herangezogen wird, um die wahrscheinlichste Sitzposition unter Berücksichtigung der Sichtverhältnisse zu berechnen.

Wenn man den Manikin nun genauer an einen Probanden anpasst, ergeben sich Probleme. Es entsteht eine deutlich realistischere Position für den Hüftdrehpunkt als mit der H-Punktmessmaschine. Daraus resultiert ein Offset zwischen dem individuellen H-Punkt und dem sitzfesten SgRP. Dieser Offset muss für jeden Sitztyp mit einer entsprechenden Anzahl an Probanden neu gemessen werden. Diese Untersuchungen belegen, dass die Z-Komponente dieses Offsets den größten Einfluss auf die RAMSIS-Sitzposition hat. Sie hängt im Wesentlichen vom Geschlecht, Hüftumfang und den Eigenschaften des Sitzes ab. Personen mit größerem Hüftumfang sinken dabei weniger in den Sitz ein, obwohl sie in der Regel auch mehr wiegen. Sie Schwimmen quasi auf der Sitzkontur auf. Dieser Offset muss bei der Festlegung des Sitzverstellbereichs auch mit beachtet werden. Man



kann zusammenfassend sagen, dass ein Sitz nur in Verbindung mit der Sitzhaltung und der sie bestimmenden Randbedingung gestaltet und bewertet werden kann.

Die zuvor errechneten Sitzhaltungen müssen auch durch die Sitzkonstruktion unterstützt werden. Ziel ist es, den Diskomfort zu minimieren und eine gesunde, ermüdungsfreie Körperhaltung zu gewährleisten und letztendlich Rückenschmerzen zu verhindern. Diese können verschiedene Ursachen haben. Häufig kommen sie von einer Mangelversorgung der Bandscheiben, ausgelöst durch zu wenig Bewegung der Wirbelsäule. Diese Schmerzen lassen sich nur durch eine Fahrtunterbrechung und selbstständige Bewegung bekämpfen. Eine andere Ursache für Schmerzen kann das Kriechen der Bänder auf Grund von Hyperflexion sein. Diese wird durch extrem kleine Körperwinkel oder besonders stark kyphotischer Haltung der Wirbelsäule hervorgerufen. Krankheitsbedingte Umstände oder zu geringe Muskelbeanspruchung außerhalb des Fahrzeugs können eine verkümmerte Rückenmuskulatur zur Folge haben. Aber auch wenn diese normal ausgebildet ist, können Schmerzen entstehen, wenn die Muskulatur statische Haltearbeit leisten muss. Beim Sitzen liegt der notwendige Muskelaufwand zum Aufrechterhalten der Körperhaltung deutlich unter der Ermüdungsgrenze von 15% der maximalen Kraft des jeweiligen Muskelpaketes. Die lang andauernden submaximalen Kräfte führen aber trotzdem in Verbindung mit fehlender Bewegung zu schmerzhaften Verkrampfungen. Zu guter Letzt sind noch die sog. Whole-Body-Vibrations als mögliche Ursache für Rückenschmerzen zu nennen. Die langjährige und vorwiegend vertikale Einwirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen können zu bandscheibenbedingten Erkrankungen der Lendenwirbelsäule führen. Nordin (2003) ist hingegen der Meinung, dass die Dauer der Exposition eine größere Rolle auf eventuelle Schmerzen hat, als die eigentliche Höhe der Exposition, was auf einen kumulativen [23] Effekt hindeutet. Die Untersuchungen von Bitter (2005) legen jedoch nahe, dass sich dies weniger durch die Dämpfung der Sitzpolstereigenschaften beeinflussen lässt, sondern durch das Federungssystem des gesamten Fahrzeugs in Angriff genommen werden muss.

Eines der wichtigsten Kriterien zur Beurteilung der Sitzqualität ist die Druckverteilung der Sitz- und Lehnenflächen. Druck auf Hautareale mit wenig Fett und Muskeln bewirkt dort höhere Drücke, vor allem unter den Sitzbeinhöckern. Daraus folgt „eine Verminderung der Blutzirkulation und damit der Versorgung des Gewebes mit Nährstoffen sowie eine Verlangsamung der Nervenleitgeschwindigkeit“ (Bubb et al. 2015: 372). Bereits Drücke von 2,6 bis 4,3 kPa haben solche Effekte zur Folge. Zusätzlich können durch eine ungünstige Körperhaltung hervorgerufene Scherkräfte [24] zu tangentialen Verschiebungen der Hautschichten führen. Diese haben ebenfalls eine Kompression der Blutgefäße und die daraus folgende Unterversorgung zur Folge. Da diese Scherkräfte aber kaum

messbar sind, werden sie heute als eine verkannte Ursache von Diskomfort beim Sitzen angesehen. Die Polsterung hat demzufolge die Aufgabe hohe Drücke in den Berührflächen zu reduzieren und unterschiedliche Körperformen aufzufangen. Eine genaue Anpassung der Sitzkontur an die Sitzenden würde zum vollkommenen Ausgleich der Drücke führen, solange sich der Proband nicht bewegt. In Anlehnung an diese Überlegung haben Franz et al. (2011) einen Leichtbausitz entwickelt, der eine geschickte Mittelung unterschiedlicher Gesäß- und Rückenkonturen darstellte. Ziel war es hierbei, ein optimales Sitzdruckprofil zu entwickeln. Ähnliches wird auch im Rennsport betrieben. Die Fahrer sitzen dabei in fast polsterlosen Sitzen, die speziell an ihre Körperkontur angepasst wurden. Ein vollkommen weicher Sitz hingegen würde auf langen Fahrten zu erheblichem Diskomfort führen, obwohl hierbei auch keine hohen Drücke erzeugt werden. Durch die fehlende Abstützung kann es leichter zu einer kyphotischen Haltung und in Folge dessen zu Rückenschmerzen kommen. Zur Ermittlung der optimalen Sitzdruckverteilung wurden von Hartung (2005) und Mergl (2005) umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Diese erfolgten unter anderem mit einem speziellen variablen Forschungsstuhl. Mithilfe dieser Untersuchungen wurde ein Sitzdruckprofil entwickelt, das minimalen Diskomfort hervorruft. Damit wollte man einen Zusammenhang zwischen physikalisch messbaren Größen und subjektiven Empfindungen finden. Die Berührflächen waren dabei in Segmente unterteilt und die Probanden sollten ihr Diskomfortempfinden mit einer modifizierten CP-50-Skala bewerten. Das Ergebnis war, dass es drei Parameter in der Druckverteilung gibt, die einen direkten Einfluss auf den Diskomfort haben. Zum einen die prozentuale Druckverteilung, also die Kraft auf die betreffende Körperpartie, die im übertragenen Sinne dem Körpergewicht entspricht. Als zweites der maximale Druck und zu Letzt der Gradient des Druckanstieges (vgl. Abb. 7).

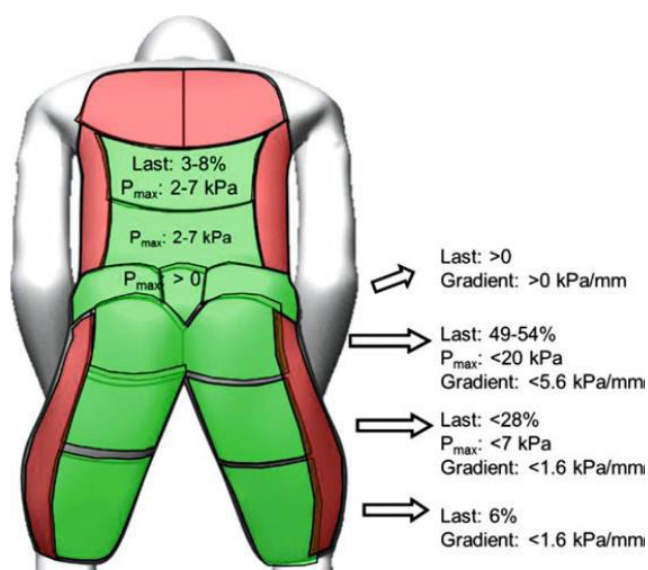


Abbildung 7: Last, maximaler Druck und Gradient des Druckanstieges  
Quelle: Bubb et al. 2015, S. 373

Versuche haben gezeigt, dass für die meisten Körperbereiche Zahlenwerte gefunden wurden, die einen minimalen Diskomfort sicherstellen. Allerdings gelten die jeweiligen Werte immer nur individuell. Auf einem gegebenen Sitz erfahren Personen mit unterschiedlichen Anthropometrien auch unterschiedliche Sitzdrücke. Die jeweilige Druckverteilung ist aber auch stark von der Körperhaltung abhängig. Man kann zusammenfassend festhalten, dass es keinen perfekten Sitz gibt, sondern nur eine optimale Kombination aus einem Individuum und einem Sitz. Der Sitz muss dementsprechend an den Nutzer angepasst werden. Die in Abbildung 7 gezeigten Werte entstammen einem Versuch mit einem 42-jährigen Probanden (50. Perzentil, 83kg) der sich operativ Drucksensoren in die Bandscheibe zwischen den Wirbelelementen L4-L5 und L5-S1 einsetzen ließ. Der Bandscheibendruck bei der gezeigten Sitzeinstellung betrug gerade einmal 0,5 bar. Durch die Erhöhung der Last unter dem vorderen Bereich des Oberschenkels von 6% auf 10,6% stieg der Bandscheibendruck auf 0,95 bar und durch eine extreme Entlastung dieses Bereichs auf 0,4% Last erhöhte sich der Bandscheibendruck sogar auf 1,5 bar (vgl. Zenk et al. 2007). Das Ergebnis dieses Versuchs zeigt, dass Rückenschmerzen eher durch eine ungünstige Druckverteilung im Bereich des Gesäßes erzeugt wird, als durch die im Rückenbereich. Auch in den Versuchen von Hartung (2005) und Mergl (2005) konnte nur eine schwache Korrelation zwischen der Druckverteilung im Rückenbereich und dem subjektiven Diskomfort nachgewiesen werden. Das liegt vermutlich auch daran, dass normalerweise nur etwa 15% des Körpergewichtes von der Lehne aufgenommen werden. Außerdem hat der Fahrer beim Sitzen im Rücken deutlich mehr Bewegungsfreiheit als im Gesäß. Mergl (2005) ist der Meinung, dass die Muskelgruppe des Musculus iliopsoas, die vom Oberschenkelknochen zur Wirbelsäule verläuft, für den Einfluss der Druckverteilung im Gesäß auf die Rückenschmerzen verantwortlich ist. Eine ungünstige Druckverteilung wird durch leichte Muskelspannung kompensiert und diese führt über längere Zeit zu Schmerzen. Eine Lordosenstütze kann hier Abhilfe schaffen. Sie verhindert das Abkippen des Beckens und beugt so weitgehend einer kyphotischen Haltung vor. Um die zuvor gezeigten Optimalwerte zu erreichen, bedarf es aber einer Anpassung an individuelle anthropometrische Bedingungen mit Hilfe einer veränderlichen Sitzflächenlänge und -neigung. Vor allem die Länge stellt dabei ein Problem dar, denn sie muss zur Einhaltung beider Grenzperzentile einen Bereich von 430mm bis 520mm abdecken. Auch die Verstellung des Lehnenwinkels ist von Interesse. Diese wird vom Fahrer einerseits abhängig von Fahrzeugparametern und andererseits nach persönlicher Vorliebe gewählt. Allgemein lässt sich jedoch festhalten, je höher der Sitz ist, d.h. je größer das H-30-Maß ist, desto steiler wird die Sitzlehne eingestellt.

Zwar sind die idealen Einstellungen und Druckverteilungen bekannt, Versuche mit Freiwilligen und Evaluierungsversuche von Zenk (2008) und Lorenz (2011) zeigten aber, dass die Fahrer in der Regel nicht dazu in der Lage sind, diese Einstellung allein aufgrund ihres Diskomfortempfindens vorzunehmen. Lorenz zeigte sogar, dass die Probanden ihre eigene bevorzugte Sitzeinstellung später ablehnten, wenn sie ihnen ohne dieses Wissen als eine aufgrund von angeblich „wissenschaftlichen“ Ergebnissen empfohlene angeboten wurde. Das ist der Grund dafür, dass inzwischen auch vermehrt über automatische Sitzeinstellungen nachgedacht wird.

Abgesehen von den Sitz- und Lehnenflächen, sind gerade im Sportbereich auch die Seitenwangen und der damit verbundene Seitenhalt relevant. Untersuchungen des Lehrstuhls für Ergonomie (TU München) zeigen, dass einerseits eine Anpassung an die individuellen anthropometrischen Bedingungen notwendig ist, andererseits aber auch die jeweiligen Fahrbedingungen eine Rolle spielen. Bei einer zügigen Fahrt auf kurviger Strecke erwartet der Fahrer eher einen strengen Seitenhalt, während ihn dieser bei einer entspannten Autobahnfahrt eher stören könnte. Daher hat auch die individuelle Einstellmöglichkeit der Seitenwangen einen Einfluss auf die Ergonomie und das Komfortempfinden.

Ein weiterer Punkt ist die Positionierung der Steuerelemente. In einem Pkw sind dies in erster Linie Lenkrad und Pedale. Eine außermittige Anordnung dieser Teile führt dazu, dass sich der Fahrer verdrehen muss, um sie zu erreichen, was wiederum bei längerer Dauer dieses Zustandes zu Verspannungen und folglich zu Schmerzen führt. Daher wäre eine absolut symmetrische Sitzposition wünschenswert. Aus Packaging-Gründen ist dies im Pkw aber häufig nicht umsetzbar.

Zur genauen Positionierung des Lenkrades und der Pedalerie gibt es ausführliche Untersuchungen von Kolling (1997), Brackett et al. (1989), Bäumler (1992) und Dreßel, J., Kain, V. (1985). Da Boote über keine Pedale verfügen und die Position des Lenkrades in diesem Fall bereits feststeht, soll in dieser Arbeit nicht weiter auf diese eingegangen werden.

### **3.3 Simulation**

#### **3.3.1 Digitales Menschmodell RAMSIS**

Die Menschmodelle lassen sich grundsätzlich in zwei Kategorien unterteilen. Zum einen die kognitiven Menschmodelle, die versuchen, den Menschen regelungstechnisch abzubilden und seine Interaktion mit der Maschine zu beschreiben und zu simulieren. Zum anderen die anthropometrischen Menschmodelle für die geometrische Gestaltung und

Auslegung von Fahrzeuginnenräumen. Mit Rücksicht auf den Umfang und den Schwerpunkt dieser Arbeit befasst sich dieses Kapitel exemplarisch mit dem digitalen anthropometrischen Modell RAMSIS.

**RAMSIS** steht für **R**echnergestütztes **A**nthropologisch-**M**athematisches **S**ystem zur **I**nsassen **S**imulation. Es wurde zwischen 1987 und 1994 in Deutschland in Zusammenarbeit mit der deutschen Automobilindustrie, der Fa. Tecmath, der Katholischen Universität Eichstätt und dem Lehrstuhl für Ergonomie der technischen Universität München entwickelt. Bereits von Anbeginn wurde das System sowohl für die Gestaltung als auch für die Messung herangezogen. Es war stets das Ziel, ein Modell zu erstellen, das ganz nah am realen Menschen ist. Zur Erfassung der nötigen anthropometrischen Messdaten wurde ein berührungsloses Messverfahren eingesetzt. Hierbei filmten zwei senkrecht zueinander positionierte Kameras die Bewegungen der Versuchsperson. Die von den Kameras erfassten geometrischen Werte (Körperhöhe, Fingerspitzenhöhe, etc.) werden dann dazu genutzt, um mittels Superposition einen virtuellen Dummy an die Proportionen des Probanden anzupassen (vgl. Abb. 8). Dieser Dummy wurde zuvor an einem Computer programmiert und trägt deshalb den Namen PCMAN.

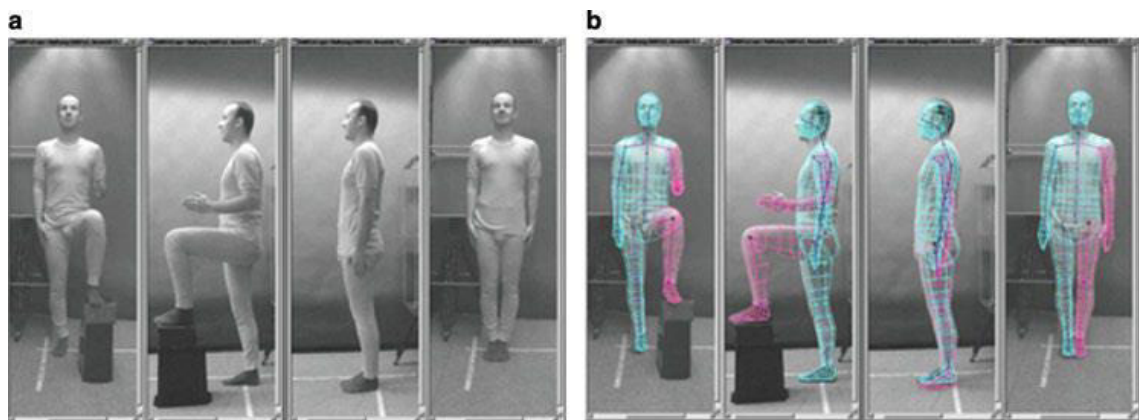


Abbildung 8: Fotogrammetrische Erfassung der Versuchsperson (a) und Überlagerung mit dem Rechnerdummy (b)  
Quelle: Bubb et al. 2015, S. 623

Er besitzt die gleichen geometrischen Eigenschaften wie RAMSIS, weshalb sich die Daten einfach über eine Schnittstelle auf selbiges übertragen lassen. Das Messprogramm sieht verschieden festgelegte Körperhaltungen vor, mit denen sich die Lage der Gelenke und teilweise auch deren Variation in Abhängigkeit von der Haltung erfassen lässt. Im Anschluss daran wird das äußere Modell des Dummys angepasst, um eine Kontur zu erhalten, die möglichst nah an der aufgenommenen Person liegt. Auf Basis dieser Daten ermöglicht RAMSIS eine korrekte und perzentilierte Darstellung von Menschen unter Zugrundelegung geeigneter Populationen mit den Leitmaßen Körperlänge, Proportion und Korpulenz. Inzwischen wurde diese Art der Messung durch den Einsatz von sog.

Bodyscannern verfeinert. Faktoranalytische Ergebnisse, nach denen Körperhöhe und Korpulenz weitgehend unabhängige Faktoren darstellen, bilden die Grundlage für die anthropometrische Modellierung. Der dritte Faktor ist die Proportion, also das Verhältnis von Stammlänge zu Körperhöhe. Die individuellen Körpermaße können in den dreidimensionalen Raum eingeordnet werden, der durch diese Achsen aufgespannt wird. Für die beiden verbleibenden Dimensionen Korpulenz und Proportion werden, ausgehend von einem durch die Körperlänge bestimmten Größentyp, eine mittlere und acht extreme Ausprägungen definiert. So entstehen mit den gewählten fünf Körpergrößentypen, für jedes Geschlecht 45 Typen. Diese entsprechen in ihren Proportionen jenen, die in einer aufwendigen Untersuchung von Greil (1993) ermittelt wurden.

In einer weiteren Entwicklungsstufe von RAMSIS können mit dem sog. „Body-Builder“ Extremtypen zusammengestellt und die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens berechnet werden. Seidl (1994) hat unterschiedliche Versuche und Studien durchgeführt, um ein Modell zur Haltungskomfortprognose zu erstellen. Hierfür setzte er ein variables Fahrzeug-Mock-Up ein. Versuchspersonen bekamen über einen einfachen Simulator spezifische Fahraufgaben dargeboten und mussten diese in dem Fahrerstand lösen. Dabei wurde ihre Haltung mit Kameras aufgezeichnet und auf einen PCMAN-Dummy übertragen. Anschließend mussten die Probanden Fragebögen zum Haltungskomfort, zur Ermüdung und zur Verspannung einzelner Körperteile ausfüllen. Des Weiteren wurden Erreichbarkeitsuntersuchungen durchgeführt, bei denen bestimmte Bedienelemente manipuliert werden mussten. Bei Umsichtuntersuchungen sollten die Probanden aufleuchtende Lampen ansehen. Diese befanden sich rund um den Fahrerstand und leuchteten in zufälliger Reihenfolge. Dies diente dazu, herauszufinden welche Sichtaufgaben aus den Augenwinkeln erfüllt werden können und wann und wie stark der Kopf dafür gedreht werden muss. Diese Untersuchung diente als Basis für die Sichtsimulation des RAMSIS-Ergonomietools. Außerdem wurde die Sitzposition in einem Lastwagen untersucht. Auch bei diesen Versuchen wurde die Körperhaltung mit Kameras erfasst. Diese liegt in Form von Raumwinkeln für jedes Körperelement vor. Die Untersuchung dieser Winkelverteilungen zeigt sehr „scharfe“ Verteilungskurven für einige Elemente. Das bedeutet, dass der Mensch bei diesen Körperelementen immer einen bestimmten Winkel einstellen möchte, den er als erträglich empfindet, völlig unabhängig von der Versuchskonstellation. Bei anderen Teilen des Körpers hingegen sind die Winkel unkritisch und es wird kein spezieller bevorzugt oder als besonders unkomfortabel eingestuft.

Durch Transformation dieser Messergebnisse in stetig differenzierbare mathematische Formeln entstehen für jedes Gelenk sog. Wahrscheinlichkeitsköpfe. Die Software sucht

dann mit einem speziellen Optimierungsverfahren in der Anwendung bei gestellten Aufgaben nach den tiefsten Punkten innerhalb des so entstehenden multidimensionalen Gebirges an Winkelwahrscheinlichkeiten. So findet das Programm die wahrscheinlichste Haltung der Person unter den gestellten Randbedingungen. Die Relevanz des Wahrscheinlichkeitsmodells für die Vorhersage von Haltungen wurde beispielsweise durch Kolling (1997) in Validierungsversuchen nachgewiesen.

Alle bisher beschriebenen Versuche und deren Ergebnisse bilden die Grundlage für die fahrzeugspezifischen Fähigkeiten von RAMSIS:

- Simulation von realistischen und statistisch abgesicherten Körperhaltungen in Abhängigkeit der gegebenen geometrischen Einschränkungen
- die Bewertung des Komfortempfindens bei gegebener Haltung
- ergonomische Analysefunktionen z. B. für die Sicht oder den Gurtverlauf

Inzwischen wurden weitere Module entwickelt, um die Funktionen von RAMSIS zu erweitern. „RAMSIS-dynamisch“ dient zum Beispiel der Simulation von Hand- und Fußbewegungen eines im Fahrzeug sitzenden Menschmodells. „Der Package Designer“ wird zur PKW-Maßkonzeption verwendet. Das Modul „RAMSIS sitzt“ ermöglicht die weitgehend korrekte Positionierung des Menschmodells in einem durch physikalische Eigenschaften beschriebenen Sitz. Das größte Ergänzungsmodul stellt allerdings „RAMSIS kognitiv“ von Remlinger (2012) dar. Es enthält wichtige Analyse- und Auswertungsfunktionen zur Berücksichtigung der visuellen Wahrnehmung. „Das Ziel war u. a., die faktisch gegebene Verzahnung der systemergonomischen Auslegung von Anzeige- und Bedienelementen und der geometrischen Lokalisation, die durch anthropometrische Bedingungen bestimmt wird, gerecht zu werden.“ (Bubb et al. 2015) Dieses Modul ist in der Lage das Sicht- und Blickfeld, Brillensicht, physiologische und psychologische Blendung, Aspekte der Akkommodation, der Sehschärfe und der verminderten Informationsaufnahme durch Blickabwendungszeiten sowie die physiologischen Grenzen, die die direkte Sicht auf das Verkehrsgeschehen beeinflussen, zu analysieren. Die Berechnung der Blickwinkel von Fahrern unterschiedlicher Anthropometrien, hat einen Einfluss auf die Analysefunktionen bzgl. der geometrisch-optischen Grenzen der visuellen Wahrnehmung. Außerdem wurden besondere Funktionen zur Kalkulation von geometrischen Verdeckungen, eingeschränkten Einblickwinkeln von LCDs und der Positionierung der Optik von HUDs [25] integriert.

Anthropometrisch können nahezu alle Populationen mit RAMSIS repräsentiert werden. Egal ob Frauen, Männer oder Kinder. Nicht zuletzt deshalb wird es fast weltweit in der

Automobilindustrie zur Packagebewertung und -konstruktion eingesetzt. Abseits des Automobilbaus findet es aber auch Verwendung bei der Auslegung von Motorrädern, Flugzeugen, Baumaschinen, Förderfahrzeugen und anderen Arbeitsplätzen. Es ist aus der Ergonomie heutzutage nicht mehr wegzudenken.

### **3.3.2 Sitzkisten und variabler Ergonomieprüfstand**

#### **Sitzkiste**

Trotz der Möglichkeiten, die digitale Menschmodell wie RAMSIS bieten, ist man in bestimmten Fragen der ergonomischen Gestaltung auf individuelle Urteile von Versuchspersonen angewiesen. Diese nutzen sog. Sitzkisten oder Mock-Up's, teilweise in Verbindung mit Virtual- [26] oder Augmented-Reality-Technologien [27] um Raumkonzepte und Positionierungen im Fahrzeuginnenraum zu simulieren und zu bewerten. Meist werden diese Sitzkisten in ihrer Grundstruktur aus Holz aufgebaut. Mit Hilfe eines speziellen Hartschaummaterials kann so schon vor der Fertigstellung eines fahrfertigen Modells, der ästhetische Eindruck des In- und Exterieurs beurteilt werden. Vor allem Aspekte, die mit den rein geometrisch orientierten Menschmodellen nicht oder nur intuitiv abgeschätzt werden können. Dies betrifft zum Beispiel die ästhetische Wirkung der räumlichen Positionierung von Instrumenten und Schaltern, den Eindruck der Neigung der Frontscheibe in Verbindung mit den A-Säulen oder das allgemeine Sitz- und Raumgefühl, das zum Beispiel für einen Sportwagen anders sein muss als für einen Van. Der Bau solcher Kisten ist allerdings kostenintensiv und kann immer nur für die Beurteilung des Maßkonzepts genutzt werden, für das sie erstellt wurde. Nachträgliche Veränderungen, vor allem geometrischer Natur, sind nicht, oder nur in sehr geringem Maße, möglich. Solche Sitzkisten oder auch Teilkarosserien von bereits in Produktion befindlichen Fahrzeuge werden häufig zur Untersuchung der Fahrerhaltung verwendet. Dabei spielen neben Aspekten wie der Winkelstellung der Extremitäten und der Druckverteilung im Sitz, vor allem die Position der Augenpunkte eine große Rolle. Es empfiehlt sich vor der Sitzkiste ein Bild einer geraden Straße aufzustellen oder zu projizieren. Dabei ist es aber von Bedeutung, dass die Blickwinkelverhältnisse realistisch sind und sich der Horizont des Bildes auf Augenhöhe befindet. So lässt sich eine gewisse räumliche Präsenz erzeugen, die zu relativ validen Ergebnissen führt.



## **Variabler Ergonomieprüfstand**

Als eine spezielle Art der Sitzkiste gibt es mittlerweile bei fast jedem Fahrzeughersteller einen sog. variablen Ergonomieprüfstand. Ihm zugrunde liegt die Idee einer bidirektionalen Verbindung zwischen Sitzkiste und CAD-System. Also die direkte Übertragung von Maßänderungen aus dem CAD auf das Mock-Up. Wenn umgekehrt ein Proband im Versuch eine Änderung wünscht, wird diese vom CAD registriert und führt gegebenenfalls zu einer Änderung der Zeichnungsvorlagen. Als Beispiel dient ein variables Fahrerplatzmodell der Daimler AG. Dabei handelt es sich um ein verfahrbares Grundgestell mit einem stilisierten Aufbau eines Kraftfahrzeugs mit A-, B- und C-Säule. Diese bestehen aus Vierkantelementen mit innerem Teleskopantrieb. Sie tragen ein, durch eine Rollenkonstruktion ebenfalls variables, Dach. Die Positionen von Lenkrad, Pedalerie, Sitz und Boden lässt sich ebenfalls durch Elektromotoren verstellen. Insgesamt befinden sich 80 solcher Motoren in dem Prüfstand und ermöglichen die Konfigurationen vom flachen Sportwagen bis hin zum Van. Zusätzlich zu verschiedenen Sitzbestückungen kann der Prüfstand zusätzlich noch mit Anbauteilen wie Türen oder Säulenverkleidungen ausgestattet werden. Durch Wegsensoren an den Verstellelementen ist eine Rückmeldung über den jeweiligen Einstellzustand möglich und so über einen Steuerrechner eine bidirektionale Verbindung zu dem CAD-System herzustellen. Dadurch kann ein im CAD-System erarbeitetes Karosseriekonzept direkt auf das Mock-Up übertragen werden und umgekehrt. Ästhetisch betrachtet kann ein solches System allerdings nicht mit einer herkömmlichen Sitzkiste mithalten. Um zu überprüfen, ob ein derartig abstrakter Prüfstand ein ähnliches Raumempfinden wiedergibt (wie ein entsprechendes Realfahrzeug) hat Braun (1997) ein variables Fahrerplatzmodell mit realen Referenzmodellen verglichen. Es handelte sich um drei konzeptionell unterschiedliche Fahrzeugmodelle (Premium-Limousine, Geländewagen, Roadster). Dabei mussten die Versuchspersonen durch Zufall bestimmte Fragen im realen und im virtuellen Modell beantworten, ohne zu wissen, dass im Prüfstand exakt die Echtfahrzeuge simuliert wurden. Im virtuellen Modell wurden ca. 88% der Fragen richtig beantwortet und im realen sogar 97%. Bei der Auffindbarkeit von Stellteilen ergaben sich keine Unterschiede. Bewertungen, bei denen auch ein haptisches Feedback notwendig war, wie etwa der Erreichbarkeit und der Bedienbarkeit, unterschieden sich hingegen deutlich. Allgemein brauchten die Probanden im virtuellen Modell signifikant mehr Zeit für die Bewertung. Dies zeigt, dass ein variabler Ergonomieprüfstand nicht die optimale Bewertungsgrundlage darstellt. Nichtsdestotrotz werden sie in fast allen Entwicklungsabteilungen der Fahrzeugindustrie verwendet, um grundsätzliche Ergonomieuntersuchungen durchzuführen.

## 4 Aufbau und ergonomische Anforderungen verschiedener Sitze

Je nach Einsatzgebiet und Form der Sitze unterscheiden sich die Anforderungen teilweise stark. Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines sportlichen Bootssitzes mit einer sog. Flip-Up-Funktion. Das heißt ein Teil der Sitzfläche soll nach oben klappbar sein. Damit kann man sich aufstellen und an den hochgeklappten Teil des Sitzes anlehnen. Durch die Erhöhung des Augenpunkts wird in erster Linie die Sicht verbessert. In Anbetracht dieses Ziels beschreibe ich in diesem Kapitel kurz den Aufbau und die Anforderungen an einen Pkw-Sitz, eine Stehhilfe und mehrere Bootssitze.

### 4.1 PKW-Sitze

#### 4.1.1 Aufbau

Pkw-Sitze bestehen heute aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten (vgl. Abb. 10). Diese sind in fünf Kategorien unterteilt. Sitzstruktur, Sitzpolsterung, Sitzbezug, Komfortmechanik/Elektrik und Sicherheitssysteme.



Abbildung 9: Vollausgestatteter Fahrersitz einer Premiumlimousine

Quelle: Fromm et al. 2002, S. 24–39

Die Sitzstruktur besteht heute weitestgehend aus Stahl, z. B. Formbleche oder Rohrrahmen, seltener aus anderen Materialien wie Aluminium, Magnesium oder Kunststoff. Dual- und Triple-Phasen Stähle ermöglichen immer dünnere Wandstärken (Reduzierung

von 800–1000 Gramm an der Grundstruktur des Sitzes). Ein Nachteil höherfesten Stahls ist die geringere Duktilität (vgl. Schlott 2004: 32-34). Zur Reduzierung des Gewichtes können Magnesium oder Druckgussbauteile eingesetzt werden. Diese führen zu Gewichtseinsparungen von bis zu 30%. Allerdings verfügen diese auch über eine geringere Schlagzähigkeit. Gerade in Hinsicht auf die immer größeren Anforderungen zur Gewichtsreduzierung sind Leichtbauwerkstoffe zu bevorzugen, denn ein vollausgestatteter Fahrersitz in der Luxusklasse kann heute bis zu 52kg wiegen.

Die Polsterung wird meist aus offenporigem Polyurethan-Schaum gefertigt. Diese werden teilweise direkt auf die, in die Sitzaußenform gezogenen Textildekore oder Folien hinterschäumt oder aber mittels heißen Drahts aus einem Vollblock geschnitten. In den seltensten Fällen werden die Schäume gefräst. Im höherwertigen Fahrzeugsegment bestehen die Polster für Sitzkissen und Rückenlehne aus mehreren Lagen unterschiedlicher Dichte. Dies ermöglicht ein progressiveres Verhalten und steigert das Komfortempfinden.

Die Sitzoberfläche besteht aus genähten, bzw. zum Teil geformten (Pressformen, Vakuum tiefgezogen) Bezügen. Die Materialien reichen von unterschiedlichen Textilien über Kunststofffolien bis hin zu Leder. Sie werden über Sitzkissen und -gestelle drapiert und mit Kunststoff- oder Metallclipsen am Gestell befestigt. Um auch nach Jahren der Nutzung noch faltenfrei und gespannt als Sitzoberfläche zu dienen, dürfen die Bezüge keine hohen Dehnwerte aufweisen. Außerdem sollten sie atmungsaktiv, schweißabsorbierend und mit niedrigen Abriebwerten behaftet sein.

Zu den Sicherheitselementen in Einzelsitzen zählen zum einen die in der Seitenfläche der Rückenlehne integrierten Seitenairbags. Diese sind heute schon häufig als kombinierte Kopf-Thorax-Airbags ausgeführt und werden zunehmend auch auf den Fond-Plätzen eingesetzt. Zum anderen werden aktive Kopfstützen eingesetzt, die entweder über elektronisch angesteuerte Feder- oder Pyroelemente oder über die Massenträgheit des Insassen aktiviert werden und den Kopf bei einem Aufprall abfedern.

Die letzte Gruppe sind die Komfortmechaniken und die Elektronik im Sitz. Sitze können bis zu 18 Einstellrichtungen aufweisen. Beginnend beim Verstellen des gesamten Sitzes in X- und Z- Richtung, über das Verstellen von Lehen- und Sitzflächenneigung sowie der Tiefe der Sitzfläche bis hin zu verstellbaren Kopfstützen, Lordosenstützen und anpassbaren Seitenwangen. Außerdem verfügen Sitze im Premiumsegment heute auch über Massage-, Heiz- und Belüftungsfunktionen (vgl. Laukart und Vorberg 2016: 720 f.).

## **4.1.2 Anforderungen**

Ein Autositz muss vor allem Anderen eine feste Grundstruktur bieten. Diese erhöht die Sicherheit und hat eine stützende Funktion. Die Lehne und die Schaumteile des Sitzes sollten eine wirbelsäulengerechte Ausformung aufweisen. Von der Seite betrachtet muss eine leichte S-Form sichtbar sein. Außerdem darf der Rücken die Lehne nicht überragen. Sie sollte also wenigstens schulterhoch sein. Besonders bei Sportsitzen spielt auch der Seitenhalt eine Rolle. Die Seitenführung am Sitzkissen und an der Rückenlehne sorgen für ein sicheres Fahrgefühl, indem sie den Fahrer im Sitz fixieren. Wie in Kapitel 3.2 erwähnt, sollten die Seitenführungen an die individuellen anthropometrischen Eigenschaften des Fahrers angepasst werden. Eine weitere sinnvolle Option ist die Einstellung des oberen Lehnenbereichs zur Unterstützung der Schultern. Eines der wichtigsten Sicherheitsmerkmale eines Sitzes ist die Kopfstütze. Eine einstellbare oder zumindest ausreichend hohe Kopfstütze ist daher unerlässlich. Optimalerweise sollte die Oberkante der Kopfstütze auf der Höhe der Oberkante des Kopfes sein und der Abstand zwischen Hinterkopf und Kopfstütze nicht mehr als 3cm betragen. Ebenfalls schon in den Kapiteln 2.2.1 und 3.2 erwähnt wurde die Lordosenstütze. Diese sollte den Lendenwirbelbereich großflächig und individuell abstützen. Als absolutes Muss gilt die Höhenverstellung des Sitzes. Diese ermöglicht, unabhängig von den individuellen anthropometrischen Gegebenheiten, ein annähernd gleiches Sichtfeld. Die Neigungswinkelverstellung der Sitzfläche sorgt für eine bessere Auflage der Oberschenkel und damit für eine bessere Druckverteilung. Dasselbe Ziel hat die Verstellung der Sitzflächenlänge.

Außerdem muss der Sitz längs um mindestens 25cm verschiebbar sein, um die Erreichbarkeit der Steuerelemente durch große und kleine Menschen gleichermaßen zu gewährleisten. Rein optionale Komfortanforderungen wären noch verschiedene Klima- und Massagefunktionen, Sitzdynamiksysteme, Komfortkopfstützen oder Memoryfunktionen.

## **4.2 Bootssitze**

### **4.2.1 Allgemeine Anforderungen und Aufbau**

Ähnlich wie bei den Pkw-Sitzen, gibt es bei Booten verschiedene Sitze für unterschiedliche Anforderungen. Diese Arbeit betrachtet in erster Linie die Anforderungen an Motorbootsitze. Diese sollten optimalerweise über einen zwischen 33cm und 43,5cm höhenverstellbaren, teleskopartig ausfahrbaren Sockelfuß verfügen und um 360° drehbar gelagert sein. Dies ermöglicht dem Bootsführer eine gute Rundumsicht. Die Arretierung erfolgt entweder über eine Feststellschraube oder einen Einrastmechanismus. Um die

Rückenpartie des Bootsfahrers zu schonen und einen sicheren Sitz auch bei stürmischen Fahrten zu gewährleisten sollte eine entsprechende Dämpfung in Form eines fest verbauten Widerlagers vorhanden sein. Im Gegensatz zu anderen Sitzen ist der Bootsitz an Deck der Witterung und je nach Einsatzort auch Salzwasser ausgesetzt. Daher verfügen viele Bootssitze über einen Sockelfuß aus eloxiertem Aluminium, der an der Sitzbefestigung pulverbeschichtet ist. Allgemein sollten alle wichtigen konstruktiven Teile aus korrosionsbeständigem Aluminium oder Edelstahl gefertigt und auch die Polsterung und das Obermaterial entsprechend witterungsbeständig sein. Aus diesem Grund gehören Polstermaterial aus hochdichtem Schaumstoff und Sitzbezüge aus hochseetauglichem Kunstleder bei den meisten Bootssitzen zur Serienausstattung. Im Bereich der Sportschiffahrt ergibt sich zudem noch eine weitere Anforderung. Bei engen Kurvenfahrten rollt das Boot, d.h. es neigt sich stark in die Kurve. Dies erfordert, dass die Sitze entsprechend viel Seitenhalt bieten, um die sich daraus ergebenden Kräfte abzustützen. (vgl. Kramps 2019)

#### 4.2.2 Aufbau am Beispiel verschiedener Referenz-Sitze



Abbildung 10: Ansichten Ullman Daytona Sitz  
Quelle: Ullman Dynamics 2019

Anfänglich waren zwei Sitze, bzw. Teile davon gegeben. Zum einen die Carbon-Schale des bisherigen Sitzes, der von SAY auf der SAY29 und SAY29E verbaut wird. Dabei handelt es sich um eine abgewandelte Version des Modells **Daytona** von der Firma **Ullman** (vgl. Abb. 10). Laut eigener Aussage ist dies der leichteste Sitz in dieser Kategorie auf dem Markt. Er besteht aus einer Carbon-Schale und mehrschichtiger Schaumstoff-Polsterung. Je nach Einsatzort und Kundenwunsch mit Neopren-, Leder- oder Vinylbezug. Der Rahmen und die Federeinheit bestehen aus Multiverbundmaterialien, rostfreiem Stahl und Aluminium. Ullman gibt an, dass seine ergonomische Ausformung der

Körperform folgt und den Benutzer in die bestmögliche Sitzposition bringt, um sowohl statischen als auch dynamischen Belastungen zu begegnen. Mit seiner semiaktiven, progressiven Federkonstruktion eignet er sich vor allem für die Stoßabsorbierung bei Hochgeschwindigkeitsbooten. Zur besseren Anpassung an Nutzer mit verschiedenen Anthropometrien hat SAY den Fahrersitz zusätzlich noch mit einer Längsverstellung ausgestattet. (vgl. Ullman Dynamics 2019)

Besonders auffällig bei diesem Sitz ist die von Ullman hochgelobte ergonomische Form mit ihrem stark ausgeprägten S-Schlag. Dieser wird zwar durch die Polsterung teilweise kompensiert, führt aber dennoch zunächst zu einem äußerst ungewohnten Sitzgefühl. Ein weiterer kritischer Punkt bei diesem Sitz ist die relativ schmale und kurze Rückenlehne. Eine Abstützung der Schultern und des Kopfes ist so nur bedingt gegeben.



Abbildung 11: Ansichten ROS-INDUSTRIE ALCOR Sitz  
Quelle: ROS Industrie SRL 2019

Der zweite Sitz trägt den Namen **ALCOR** und kommt von der italienischen Marke **ROS-INDUSTRIE** (vgl. Abb. 11). Dieser diente ausschließlich zur Betrachtung der Flip-Up-Mechanik. Er ist allgemein deutlich einfacher aufgebaut. Er besteht lediglich aus einer relativ simplen Kunststoff-Schale, zwei Polstern für Sitzfläche und Rückenlehne, einem klappbaren Polster sowie der entsprechenden Klapp-Mechanik. Diese besteht aus zwei Edelstahl-Hebeln und zwei um 90 Grad abgekantete Edelstahlplatten mit einer Bohrung für das Lager des Drehgelenks und einer kleineren Bohrung mit Gewinde, in die eine Kunststoff-Madenschraube gedreht wird. Diese Madenschraube drückt auf den Hebel und bremst diesen. Die Polster für Sitz und Rückenfläche werden mit Klett-Flächen an der Schale angebracht. Dadurch können diese sehr einfach entfernt, gereinigt oder falls nötig ersetzt werden. Der vordere Teil besteht aus einer festen Grundstruktur, die von Polstermaterial umschlossen ist. Dieser Teil ist mit 4 Schrauben an den Metallhebeln

befestigt. Der Anschlag in der oberen Position ist durch zwei Schraubenköpfe realisiert. Alle Metallteile sind aus rostfreiem Stahl gefertigt und die Polster mit Wasser- und UV-beständigen (Kunst-)Leder- oder Synthetik-Stoffen bezogen. Wenn das Polster hochgeklappt wird, erhöht sich die Sitzposition um ca. 170mm. Formgebung und Polsterung dieses Sitzes zeigen, dass der Hersteller mehr Wert auf ein simples und kostengünstiges Konzept gelegt hat und weniger auf die Ergonomie. Des Weiteren wird für diesen Sitz eine zusätzliche Unterkonstruktion benötigt. Hierfür verfügt die Schale über entsprechend vorbereitete Bohrungen an der Unterseite, um ihn möglichst universell einsetzen zu können. (vgl. ROS Industrie SRL 2019)



Abbildung 12: ShockWave S5  
Quelle: ShockWave Seats 2019

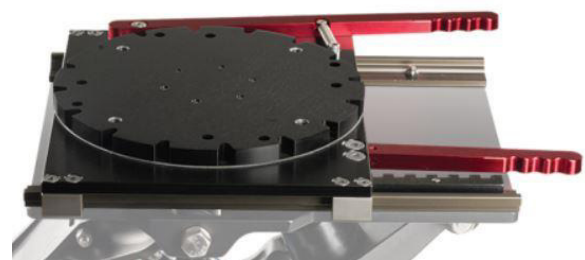


Abbildung 13: Adapter Tiefenverstellung & Drehung  
Quelle: ShockWave Seats 2019

Auch der neue KET-Sitz wird ohne integrierte Federkomponenten konstruiert. Hier kommt eine Zukauf-Sitzkonsole von **ShockWave Seats** zum Einsatz (vgl. Abb. 12). Das „**ShockWave S5 Suspension Module SW-05026**“ bietet einen Federweg von bis zu 4 Zoll (ca. 102 mm) und besteht aus Hochdruckguss-Aluminium und rostfreiem Stahl. Der RockShox Dämpfer ähnelt denen aus dem vollgefederten Mountainbike Bereich und ist an das Gewicht des Fahrers anpassbar. Zusätzlich wird die Konsole für den Einsatz bei SAY durch einen Adapter mit Schienensystem zur Verstellung in x-Richtung, einen höhenverstellbaren Adapter sowie durch eine drehbare Platte ergänzt (vgl. Abb. 13). Dies ermöglicht eine deutlich bessere Anpassung an die verschiedene Anthropometrien der Nutzer und das wiederum kommt vor allem der Erreichbarkeit der Bedienelemente und dem Sichtfeld zugute. Die S5 Konsole ist als universelle Nachrüst-Lösung für nahezu alle Boote und Sitze gedacht. (vgl. ShockWave Seats 2019)



### 4.3 KET/SAY Design-Entwurf

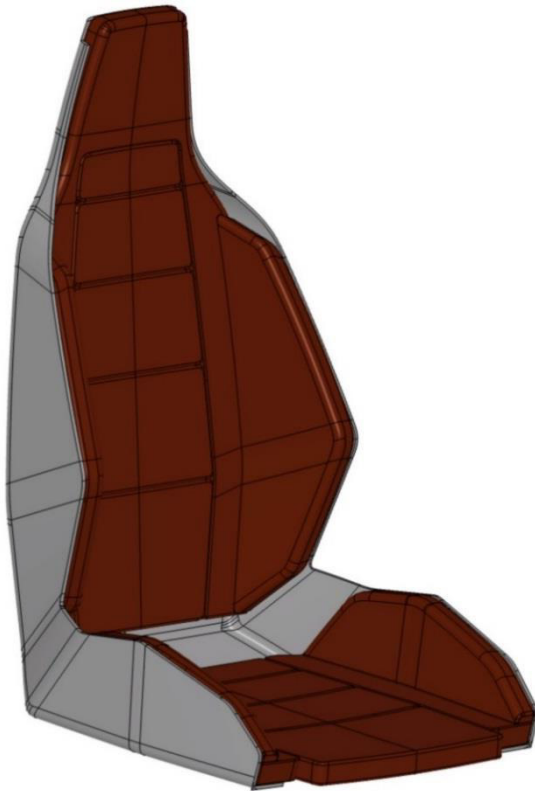


Abbildung 14: KET-Sitz  
Quelle: KET Design-Entwurf



Abbildung 15: KET-Sitz mit Aussparung  
Quelle: KET Design-Entwurf

Bei der ersten Betrachtung des Design-Entwurfs von SAY und KET (vgl. Abb. 14), wirkt dieser wie eine Kombination aus den beiden Referenz-Sitzen. Die Form der Rückenlehne ähnelt der des ALCOR. Der Aufbau, bestehend aus einer Carbon-Schale und passender Polsterung, erinnert hingegen eher an den Daytona. Mit seinen steileren Wangen an der Sitzfläche und den größeren Wangen an der Lehne erinnert der Sitz an Motorsport und bietet wahrscheinlich mehr Seitenhalt. Anders als der Daytona, hat der KET-Sitz außerdem eine Aussparung in der Sitzfläche (vgl. Abb.15). Wenn man den Flip-Up-Teil des Sitzes hochklappt, hat man Platz, um „im Sitz“ zu stehen. Das ermöglicht dem Fahrer, sich auch im Stand mit den Beinen seitlich abzustützen. Sowohl die Sitz- als auch die Rückenfläche sind sehr eben und bieten wahrscheinlich keine besonders gute Abstützung und Druckverteilung. Letztere hängt allerdings auch sehr stark von der verwendeten Polsterung ab. Außerdem stehen Sitzfläche und -lehne in einem Winkel von ungefähr 98 Grad zueinander, was in etwa dem Hüft-Komfortwinkel nach RAMSIS (1990) entspricht. Die Form der Lehne und der Wangen deutet darauf hin, dass man den Fahrer geradezu umschließen möchte. Bis zu den Schultern hin soll so ein seitliches Wanken des Fahrers unterbunden werden. Zum einen kann eine so starke Restriktion in der Beweglichkeit der Rückenpartie zu deutlichen Komforteinbußen führen, zum ande-



ren ist die Form der Wangen zwar gegeben, die Maße sind aber nicht an die Anthropometrie des Menschen angepasst. Wenn man von den Körpermaßen für einen Mann des 50. Perzentils ausgeht, liegt die Schulterhöhe im Sitzen bei 625mm und die Schulterbreite bei 480mm. Diese Werte entsprechen dem Altersdurchschnitt zwischen 18 bis 65 Jahren. Der geringste Abstand zwischen den Lehnen-Wangen liegt bei 550mm Höhe ausgehend von der Sitzschale, ohne das 30mm dicke Polster zu berücksichtigen. Die Breite beträgt auf dieser Höhe lediglich 285mm zwischen den Polstern bzw. 362mm zwischen den Innenkanten der Carbon-Schale. Die Sitztiefe hingegen ist mit ca. 510 mm knapp über dem des 50. Perzentil-Mannes (495mm).

#### 4.4 Stehsitze

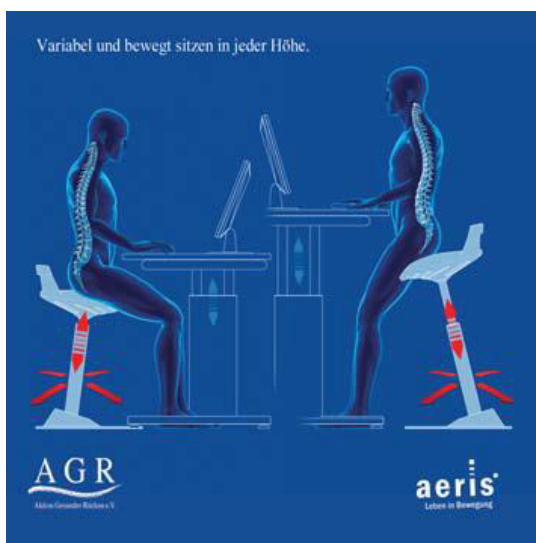


Abbildung 16: variable Stehhilfe  
Quelle: Aktion Gesunder Rücken e.V. 2013, S. 84

Stehsitze bzw. Stehhilfen oder Variositzmöbel (vgl. Abb. 16) sind überall dort unverzichtbar, wo ständig stehend gearbeitet werden muss. Sie haben eine relativ kleine, in der Neigung verstellbare Sitzfläche. Die Vorwärtsneigung zwischen 15 und 30 Grad hat das Ziel, die Standsicherheit zu erhöhen und die natürliche Krümmung der Wirbelsäule auch bei einer hohen Sitzposition zu unterstützen. In der Tiefe sollte die Abstützfläche 15cm nicht übersteigen und an der Vorderkante abgerundet sein, da es sonst zu Druckstellen an den Oberschenkeln kommen kann. Um eine spannungsfreie Körperhaltung zu ermöglichen, sollte die Stehhilfe über eine Rückenlehne oder Gesäßabstützung verfügen. Der Sitz sollte außerdem leicht verschoben werden können, aber dennoch einen stabilen Stand aufweisen. Optimalerweise ist ihre Höhe von dem Niveau eines normalen Bürostuhls (mindestens 48cm) bis auf das Stehsitzniveau (ca. 80cm) verstellbar. Sie ermöglichen eine Körperhaltung zwischen Sitzen und Stehen, wodurch die Betroffenen bis zu 60% ihres Körpergewichts von den Beinen auf die Stehhilfe verlagern können. Das schont Kreislauf, Gelenke, Bänder und Sehnen und ermöglicht das dynamische Aufrichten der Wirbelsäule. Die Füße sollten dabei immer vollflächig auf dem Boden stehen. Es wäre von Vorteil, wenn der Sitz über eine dreidimensionale Beweglichkeit verfügt. Diese führt zu einer dynamischen Aktivierung der Muskulatur des Rumpfes und der großen Gelenke, der Aktivierung der Venenpumpe und einer Förderung der Beweglichkeit der Wirbelsäule. Außerdem beeinflusst es die Druckverhältnisse an der

Bandscheibe positiv und fördert den Gleichgewichtssinn (vgl. Aktion Gesunder Rücken e.V. 2013).

## **4.5 Relevante Unterschiede zwischen Boot und Pkw**

Der grundlegendste Unterschied zwischen Boots- und Pkw-Sitzen liegt in der Verstellbarkeit. Während ein Pkw-Sitz häufig für lange Fahrten genutzt wird, sind Ausflüge mit einem Sportboot von eher kürzerer Natur und von häufigen Zwischenstopps gekennzeichnet. Das hat zur Folge, dass die Anforderungen, vor allem hinsichtlich der Sitzdruckverteilung, komplett unterschiedlich sind. Dies spiegelt sich auch im Aufbau wider. Während Pkw-Sitze häufig aus einer tragenden Rahmenstruktur aufgebaut sind und zusätzlich über federnde Elemente in Form von Drahtgeflechten verfügen, bestehen Bootssitze häufig aus festen Kunststoffschalen. Dennoch werden bestimmte Anforderungen an die Ergonomie gestellt. Im Gegensatz zum Pkw mit seiner verstellbaren Lordosenstütze, muss man beim Bootssitz die Ausformung von Rückenlehne und Polster im Bereich der Lendenwirbelsäule so wählen, dass diese einer möglichst breiten Masse an Nutzern einen Vorteil bringt. Funktionen wie etwa die Verstellung der Sitztiefe, des Neigungswinkels der Rückenlehne oder der Höhe der Kopfstütze fehlen meist komplett bei Booten.

Ähnlichkeiten gibt es hingegen bei der Polsterung. In beiden Bereichen muss man versuchen einen Schaum zu wählen, der weder für eine 5. Perzentil-Frau zu hart noch für einen 95. Perzentil-Mann zu weich ist. Durch die in der Regel meist kürzere Nutzungsdauer wählt man bei Booten aber prinzipiell eine etwas höhere Stauchhärte. Des Weiteren muss man besonders auf diesem Gebiet die unterschiedlichen Einsatzorte und die damit verbundenen äußeren Bedingungen berücksichtigen. Der Innenraum eines Pkws ist in der Regel trocken. Außerdem bietet der Aufbau des Sitzes die Möglichkeit, die vom Körper des Fahrers aufgenommene Feuchtigkeit wieder abzugeben. Daher sind die Polsterschäume meist offenporig und atmungsaktiv. Auf einem Boot hingegen ist der Sitz deutlich mehr Feuchtigkeit ausgesetzt und im Gegensatz zur Grundstruktur eines Autositzes bietet die geschlossene Schale keine ausreichende Möglichkeit zur Belüftung und zum Abtransport von Feuchtigkeit. Daher werden häufig Schäume mit geschlossenen oder zumindest deutlich feineren Poren verwendet und diese zusätzlich mit einer Kunststoffolie umhüllt, bevor sie in den ebenfalls wasserfesten Bezug eingnäht werden. Dieses Vorgehen ähnelt dem bei der Polsterung von Motorrad-Sitzbänken.

## 4.6 Notwendige ergonomische Änderungen

Wie bereits aus der Beschreibung der bestehenden Designs und Modelle deutlich wurde, bietet das Sitzen viel Potenzial zur ergonomischen Verbesserung. Einer der kritischsten Punkte bei einem Sportboot stellt natürlich der Fahrkomfort in Form von Stoßdämpfung dar. Gerade bei höheren Geschwindigkeiten gehen teils sehr starke Stöße durch das komplette Boot, die nicht nur den Fahrkomfort schmälern, sondern zu ernsthaften Verletzungen im Bereich der Wirbelsäule führen können. Diesem Problem wird allerdings mit der in Kapitel 4.2.2 beschriebenen ShockWave S5 Sitzkonsole begegnet. Diese deckt mit ihren Adaptern auch die Forderung nach Höhen- und Tiefenverstellung sowie nach der Drehbarkeit des Sitzes ab. Bisher noch nicht beachtet wurde die ergonomische Ausformung der Sitzschale sowie die Art und Form der Polsterung.

Die Grundform der Schale entspricht den Designwünschen des Kunden, deckt sich momentan aber noch nicht mit den vorgesehenen Körpermaßen nach Norm DIN 33402-2. Aufgrund dessen, dass eine Verstellung der Sitzflächentiefe nicht vorgesehen ist, nehmen wir die anthropometrischen Maße der 5. Perzentil-Frau als Richtwert für die Längenauslegung. Hierfür muss zunächst die Sitzfläche gekürzt werden. Die Lehne hingegen sollte komplett überarbeitet werden. Vor allem im Bereich der Schultern ist der Sitz aktuell deutlich zu schmal. Aber auch die Gesamtlänge der Lehne sollte vergrößert werden, um dem Kopf eine entsprechende Stütze bieten zu können. Des Weiteren muss überprüft werden, ob die Wangen an Sitz- und/oder Lehnenfläche etwas weiter aufgespreizt werden sollten, um vor allem dem Rücken, aber auch dem Gesäß, ausreichend Spielraum für kleinere Haltungskorrekturen zu bieten.

Hinsichtlich der Ausformung sollte die Rückenlehne mit einem leichten S-Schlag versehen werden. Dieser sollte sich etwa 150-270mm oberhalb der Sitzfläche befinden (vgl. Schmidtke 1989: 3), um den Lendenwirbelbereich zu stützen, eine kyphotische Haltung zu vermeiden und somit den Druck auf die unteren Bandscheiben zu verringern. Außerdem sollte darüber nachgedacht werden, Sitz- und Lehnenfläche nach dem Vorbild des Leichtbausitzes von Franz et al. (2011) so zu konturieren, dass sie im Mittel verschiedene Gesäß- und Rückenformen abdeckt. Dadurch würde sich der Sitzdruck deutlich besser verteilen, was wiederum den Langzeitkomfort deutlich verbessert. Sollte man ausschließlich auf Schaumstoff zur Druckverteilung zurückgreifen, so sollte dieser in ausreichender Stärke vorliegen.

Zusätzlich zu den allgemeinen ergonomischen Änderungen, soll der Sitz in der Lage sein, dem Fahrer auch im Stehen eine gewisse Stütze zu bieten. Für die Integration dieses Flip-Up-Mechanismus gibt es drei Konzepte. Diese unterscheiden sich teils grundlegend in ihrem Aufbau und der Herangehensweise an das Problem.

## 5 Flip-Up Mechanik

### 5.1 Konzeptfindung

Tabelle 4: Morphologischer Kasten

Parameter	Varianten					
	V1		V2	V3	V4	V5
Flip-Up-Sitz- höhe	+150mm	+150mm	+200mm	+250mm	+300mm	
Flip-Up-Sitz- tiefe	100mm		120mm	150mm	200mm	<200mm
Winkel Sitzflä- che	30°		40°	55°	75°	90°
Was bewe- gen?	Sitzfläche	teilweise	Sitzfläche komplett	Rückenlehne teilweise	Rückenlehne komplett	Sitz komplett
Mechanismus	Hochklappen >90°		hochklappen <90°	4-Gelenk	Schiefe Ebene	

Zur Konzeptfindung nutzte ich einen morphologischen Kasten. Sinn und Zweck eines Flip-Up-Mechanismus ist die Erhöhung des Augenpunktes. Beim Beschleunigen des Bootes hebt sich dessen Bug aus dem Wasser, was zu erheblichen Beeinträchtigungen des Sichtfeldes führt. Häufig stehen deshalb die Kapitäne solcher Boote am Steuer, um weiterhin freie Sicht zu haben. Der Nachteil ist aber, dass eventuelle Stöße direkt vom Körper aufgenommen werden müssen. Durch die Verwendung einer Stehhilfe kann folglich der Vorteil des höheren Augenpunktes mit der Dämpfung des Sitzes kombiniert werden. Die Firma Ullman veranschaulicht diesen Sachverhalt sehr gut in ihrem Video „Free-fall Impact – Standing vs Ullman Atlantic Seat“ (Ullman Seats 2014). Dieses zeigt die Folgen des freien Falls auf einen Menschen, der an einem Lenkrad steht im Vergleich zu einem, der auf einem gedämpften Sitz Platz genommen hat. Derartige Bewegungsabläufe sind bei Bootsfahrten mit höheren Geschwindigkeiten oder bei Seegang keine Seltenheit. Die zu bestimmenden Parameter sind die Höhe, die Tiefe und der Winkel der geklappten Sitzfläche. Außerdem stellt sich die Frage, welcher Teil des Sitzes bewegt werden soll und mit welchem Mechanismus dies zu realisieren ist.

## 5.2 Flip-Up-Konzept 1

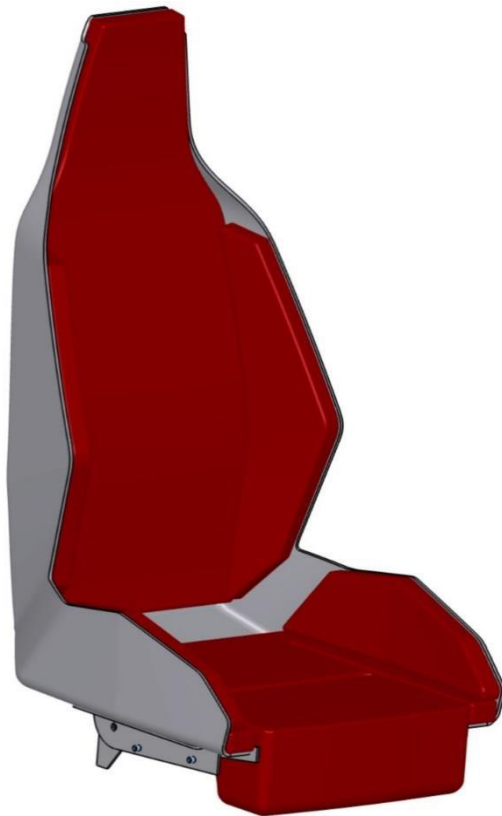


Abbildung 17: Konzept 1

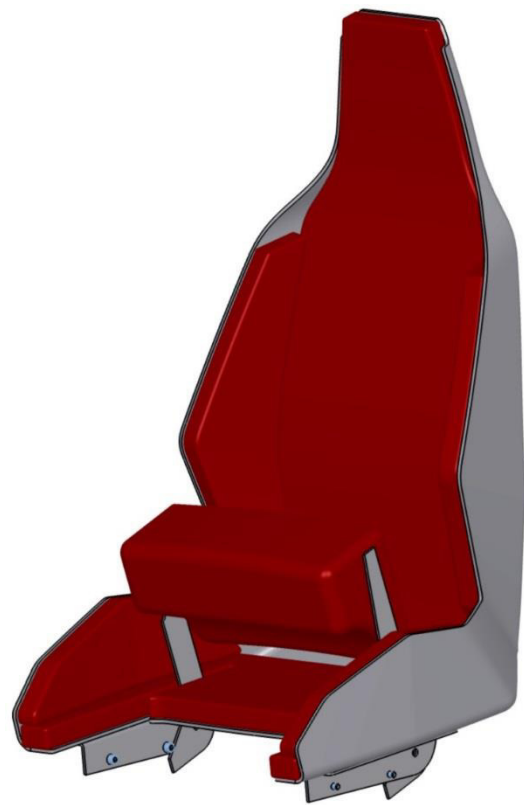


Abbildung 18: Konzept 1 hochgeklappt

Das erste Konzept orientiert sich sehr am Alcor. Die Lehne und der hintere Teil der Sitzfläche bleiben hierbei unberührt, wohingegen der vordere Teil der Sitzfläche angepasst wurde (vgl. Abb. 17&18). Zunächst wurde die Aussparung in der Sitzschale vergrößert. Ebenfalls ähnlich dem Alcor, ist die Anhebung der Sitzposition. An der niedrigsten Stelle der neuen Sitzfläche, sind es ca. 180mm an der höchsten 200mm. Die maximale Höhe lässt sich nur begrenzt variieren, da dies nur durch einen steileren Winkel oder eine Vergrößerung des klappbaren Teils der Sitzfläche realisieren lässt. Wenn dieser allerdings zu lang wird, können kleinere Personen nicht mehr ordentlich auf dem Stuhl sitzen. Die Sitzfläche ist, in Anlehnung an eine Stehhilfe, um 30 Grad nach vorne geneigt und misst 120mm in der Tiefe. Die Verrundung an der vorderen Kante verringert diese Tiefe etwas, führt jedoch gleichzeitig zu einer besseren Sitzdruckverteilung. Die Anschläge für die Endposition sind auch hier vorerst durch Schraubenköpfe realisiert. Da der Schwerpunkt des Klappteils vor dem Drehpunkt liegt, wird auch hier eine Art Bremse oder Sicherung benötigt, um ein ungewolltes Herunterklappen zu verhindern. Diese wird wie beim Alcor durch eine Kunststoff-Madenschraube realisiert, die auf das Gestänge drückt.

### 5.3 Flip-Up-Konzept 2

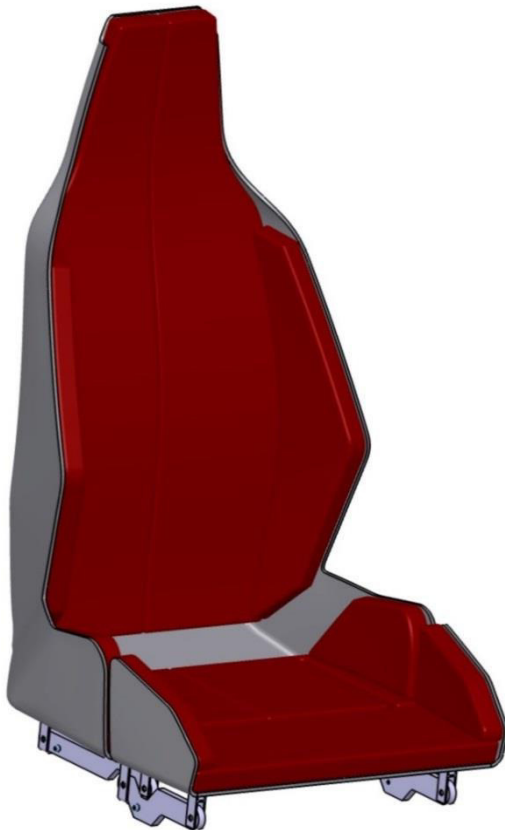


Abbildung 19: Konzept 2

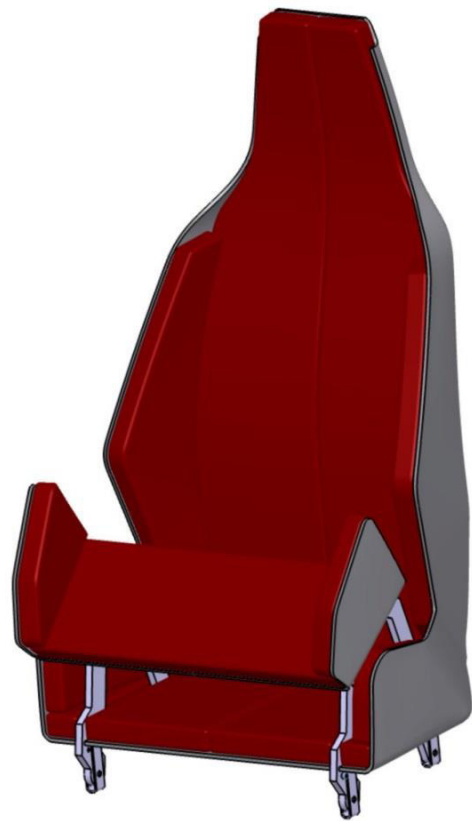


Abbildung 20: Konzept 2 hochgeklappt

Bei dem zweiten Konzept gibt es keine Aussparung mehr in der Schale, sondern der komplette vordere Teil des Sitzes wird mitsamt den Seitenwangen über ein Viergelenk angehoben und gleichzeitig gekippt (vgl. Abb. 19&20). Höhe und Winkel der Sitzfläche lassen sich durch die Länge und die Positionierung des Gestänges innerhalb eines gewissen Rahmens anpassen. Der hintere Teil der Sitzfläche und die Lehne bleiben auch hier wieder unangetastet. Die Sitzfläche des Klappteils ist in diesem Fall knapp 160mm tief und um 40 Grad nach vorn angewinkelt. In der Höhe werden an der Vorderkante ca. 100mm und an der Hinterkante knappe 200mm gewonnen, im Mittel also 150mm. Wenn der Sitz vollständig hochgeklappt ist, überschreiten die vorderen beiden Stangen den oberen O-Punkt und klappen um. Dadurch sichert sich die Konstruktion selbst vor einem ungewollten Herunterklappen. Dennoch wäre auch hierbei eine Bremse wie beim Alcor denkbar.

## 5.4 Flip-Up-Konzept 3



Abbildung 21: Konzept 3

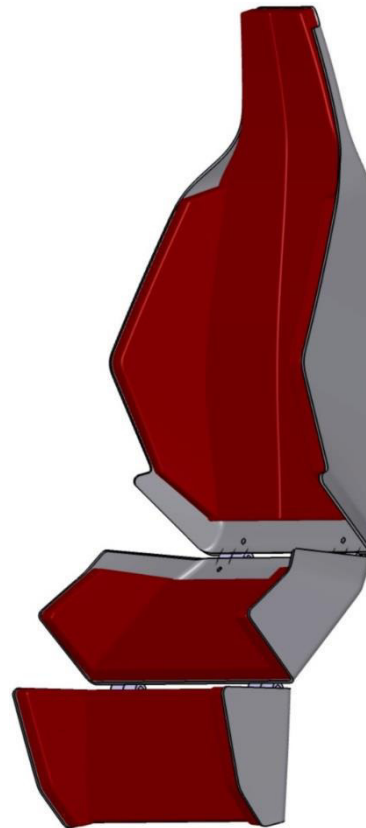


Abbildung 22: Konzept 3 aufgeklappt

Das dritte Konzept ist deutlich aufwendiger und auch kein klassisches Flip-Up-Konzept. Hierbei muss zunächst der Sitz leicht nach vorn gezogen werden, um ihn aus einer Halterung zu lösen. Danach kann der vordere Teil der Sitzfläche nach unten weggeklappt werden und ein Gasdruckfeder-Mechanismus hebt den restlichen Sitz an (vgl. Abb. 21&22). Der Drehpunkt dieser Bewegung ist am vorderen Gelenk. Dadurch ist der Höhengewinn nur durch das Aufstellen des hinteren Sitzflächen-Teils möglich. Je höher der aufgestellte Sitz sein soll, umso steiler muss die Fläche stehen. In der dargestellten Positionierung ist der höchste Punkt des Sitzpolsters um 155mm angehoben. Wenn man auf die Teilung der Sitzfläche verzichtet und stattdessen die komplette Sitzfläche aufstellt, ließe sich der maximale Höhengewinn weiter vergrößern. Ist der Sitz voll „ausgefahren“, muss er in dieser Position arretiert werden. An der grundlegenden Ausformung der einzelnen Teile wurde hierbei nichts verändert.



## 5.5 Konzeptbewertungen



Abbildung 23: Seitenansicht Sitzschale mit Konsole

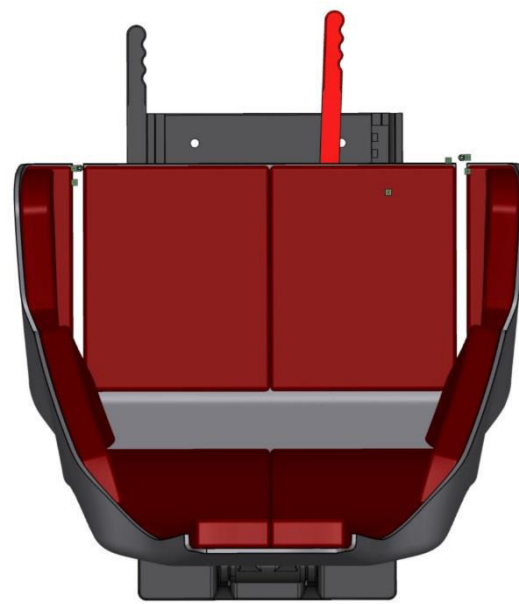


Abbildung 24: Draufsicht Sitzschale mit Konsole

Grundsätzlich haben die ersten beiden Konzepte ein gemeinsames Problem. Der Sitz kann auf der Konsole über ein Schienensystem nach hinten verschoben werden. Der Adapter zur Höhenverstellung sorgt außerdem durch seine parallelogramm-förmige Bewegung beim Absenken für eine weitere Verschiebung in X-Richtung. Wenn der Sitz auf die niedrigste hinterste Position eingestellt wurde und der Flip-Up-Mechanismus genutzt werden soll, könnte die Konsole im Weg sein (vgl. Abb. 23&24). Man sollte vor dem Hochklappen des Sitzes immer zuerst den Sitz nach vorn ziehen und die höchste Position an der Konsole einstellen. Beim dritten Konzept wird dies verhindert, weil der Sitz sowieso nach vorn gezogen werden muss, damit die vordere Fläche nach unten wegklappen kann. Bei allen dreien sind allerdings aktuell noch die Bedienelemente der Sitzkonsole im Weg. Da diese aber keine großen Kräfte übertragen müssen, lassen sich diese recht einfach anpassen.

**Konzept 1** ist schlicht, funktional und kostengünstig. Der Klappmechanismus ist bei Konkurrenzprodukten bereits in Verwendung und hat sich dort bewährt. Der Höhengewinn entspricht in etwa dem der Mitbewerber. Überarbeitungswürdig ist die Endlage. Bei stärkerem Wellengang und entsprechenden Stößen, könnte sich die Position des Fahrers so ungünstig verändern, dass es zu einer Krafteinwirkung gerade nach unten oder sogar nach vorn kommt, wodurch der Sitz möglicherweise versehentlich nach unten klappt. Die „Bremse“ allein würde hier nicht halten. Wenn der Klappsitz über den oberen Totpunkt hinausklappen würde und dort anschlägt, wäre es deutlich sicherer. Dadurch verschiebt

sich die Sitzposition allerdings noch weiter nach hinten, was das vorher beschriebene Positionierungsproblem mit der Konsole noch verstärkt. Hierfür sollte dann aber das Polster so angepasst werden, dass die Sitzfläche in hochgestellter Form trotzdem nach vorn angewinkelt ist. Aufgrund dessen, dass Bootssitze allgemein niedriger als eine Stehhilfe sind, sitzt man eher auf dem Flip-Up-Teil als dass man sich anlehnt. Dadurch wirken mehr Kräfte nach unten und der Sitzdruck steigt. Es sollte also darauf geachtet werden, dass entweder die Form der Sitzschale an die Gesäßkontur angepasst wird oder ein Polster verwendet wird, das für eine gute Sitzdruckverteilung sorgt.

**Konzept 2** ist von der Endposition des Klappteils am günstigsten. Die Erhöhung entspricht in etwa dem Konzept 1, man sitzt aber etwas weiter vorn. Das kann in Verbindung mit der Sitzkonsole von Vorteil sein. Auch der „selbstsichernde“ Mechanismus ist sehr praktisch. Ebenso vorteilhaft ist, dass die Sitzfläche mitsamt Seitenwangen hochgeklappt wird. Jedoch ist hierbei genau zu überdenken, wie breit diese sein sollten. In flacher Einstellung muss dieser Teil ausreichend Halt für die Beine und Knie bieten. In aufgestellter Form befindet sich an dieser Stelle aber das Gesäß, das in der Regel deutlich breiter ist. Nachteilig ist aber die Länge des Gestänges in Verbindung mit den sehr nah am Drehpunkt liegenden Anschlägen. Das führt zu großen Momenten und die wiederum zu großen Biegekräften innerhalb der Stangen. Je nach endgültiger Positionierung und Auslegung kann die Sitzfläche hierbei deutlich steiler stehen, wodurch sich das Teil eher zum Anlehnen als zum Sitzen eignet. Das wirkt sich dann auch wieder auf die Kräfte aus. Beim Klappteil dieses Konzeptes ist auch wieder besonders auf die Polsterung zu achten. In flacher Position muss sie für eine möglichst gute Druckverteilung der Oberschenkel sorgen, in Hochstellung aber mit dem deutlich höheren Druck des Gesäßes umgehen können. Eine gewisse Beachtung sollte der Mechanik hinsichtlich der Gefahr des Einklemmens geschenkt werden. Es wäre denkbar, den Sitz mit einem Unterbaukasten auszustatten, in dem die Mechanik verschwindet. Dieser würde aber recht klobig wirken und damit die schlanke sportliche Optik des Sitzes stören. Alternativ dazu könnte man die Aufnahmen der Mechanik direkt in die Carbon-Schale integrieren. Zusätzlich sollten die Stangen in Form und Positionierung so ausgelegt werden, dass zwischen ihnen kein Spalt entsteht.

**Konzept 3** verfolgt eine andere Herangehensweise. Anstatt nur einen Teil der Sitzfläche anzuheben, klappt hier der gesamte Sitz nach oben. Der Fahrer sitzt also immer auf demselben Polster. Im Gegensatz zu den ersten beiden Konzepten hat der Fahrer hier auch im Stehen die Möglichkeit, sich mit seinem Rücken anzulehnen. Um wirklich gut und vor allem bequem zu funktionieren, müsste der Sitz wahrscheinlich insgesamt an-

gehoben werden. Wenn lediglich die Sitzfläche angewinkelt wird, hätte dies eine ergonomisch unvorteilhafte Haltung zur Folge. Außerdem besteht bei diesem Konzept die größte Gefahr, sich beim Zusammenklappen des Sitzes die Finger oder Hände zu klemmen. Auch wenn dieses Konzept technisch zunächst interessant aussieht, ist seine Umsetzung doch mit einem entwicklungstechnischen und finanziellen Mehraufwand verbunden, der sich meiner Ansicht nach nicht lohnt.

Der gesamte Leichtbaugedanke hinter diesem Carbon-Sitz wäre durch die aufwändige und wahrscheinlich auch schwere Mechanik des dritten Konzeptes zunichtegemacht. Konzept zwei hat ein gewisses Potential. Es ist optisch das, meiner Meinung nach, ansprechendste Konzept. Jedoch bietet es auch ein größeres Risiko hinsichtlich eines technischen Ausfalls oder einer Verletzung des Nutzers. Daher ist auch dieses Konzept suboptimal. Am einfachsten und kostengünstigsten ist Variante eins. Durch die wenigen, und in ihrem Aufbau simplen, Einzelteile ist auch der konstruktionstechnische Aufwand äußerst überschaubar.

## 6 Neues Sitzkonzept

### 6.1 Technische Grundlagen

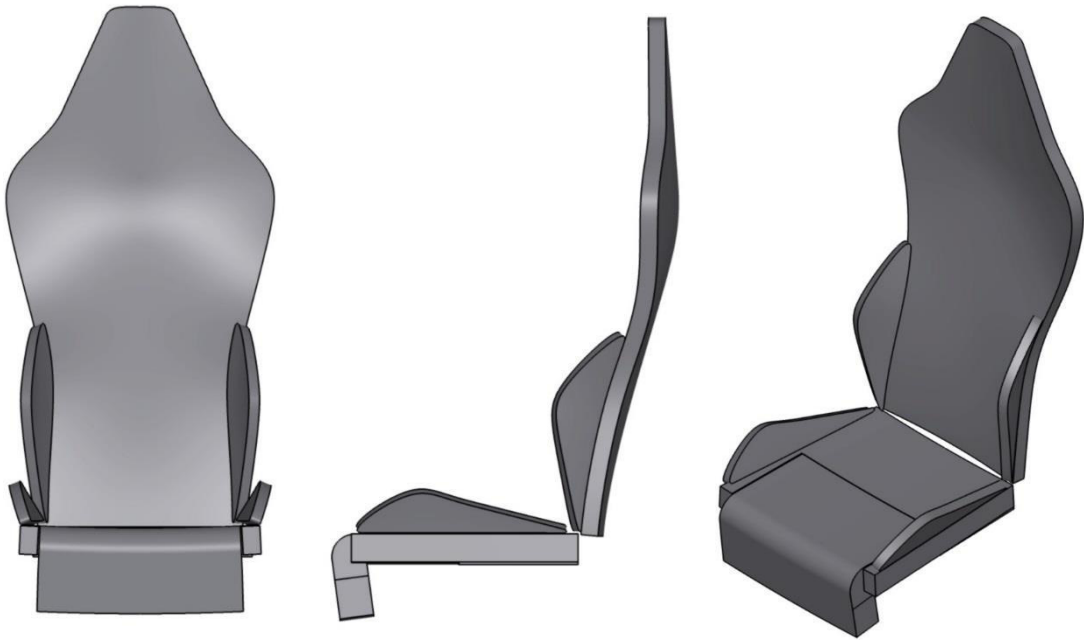


Abbildung 25: Ansichten ergonomischer Design-Entwurf

Die Grundlagen für die Auslegung des neuen Sitzes ergeben sich aus den Vorgaben durch den Kunden, den praktischen Erfahrungen aus einem Mock Up zur Darstellung des Cockpit-Bereichs, sowie aus der Norm DIN 33402-2. Diese Norm gibt die anthropometrischen Werte vor, an denen sich die Abmessungen des Sitzes orientieren. Auf dieser Grundlage entstand zunächst ein neuer Design-Entwurf, der alle ergonomischen Änderungen berücksichtigte (vgl. Abb. 25).

Da die Sitztiefe bei diesem Bootssitz nicht verstellbar ist, ist es sinnvoll eine etwas kürzere Sitzfläche zu wählen, da größere Personen weniger Einbußen durch eine zu kurze Sitzfläche hinnehmen müssen als kleinere Personen durch eine zu lange Sitzfläche. Daher wurde die Verwendung von Abmessungen zwischen der 5. Perzentil-Frau und dem 50. Perzentil-Mann (18-65 Jahre) festgelegt. Die Sitzfläche eines vergleichbaren M-Sport-Sitzes von BMW hat in seiner kürzesten Einstellung eine Länge von etwa 515mm. Dieses Maß liegt sogar noch über dem des 50. Perzentils (495mm). Da die Sitzposition auf einem Bootssitz aber deutlich aufrechter und höher ist als in einem Pkw und die Beine deutlich stärker angewinkelt werden, muss ein wesentlich kürzeres Maß gewählt werden. Daher wurde für den Design-Entwurf eine Sitztiefe von etwa 435mm gewählt. Die Höhe der Lehne wurde auf etwa 920mm, gemessen von der Sitzfläche, festgelegt. Damit liegt er 10mm über der Stammlänge des 50. Perzentils und knapp 100mm über

dem Ullman Daytona. Somit lässt sich im Gegensatz zum Mitbewerber auch eine vollwertige Kopfstütze realisieren. Anders als im Pkw besteht bei Booten nur ein vernachlässigbares Risiko eines Heck-Aufpralls, weshalb die Kopfstütze hierbei in erster Linie zur Ergonomie und zum Komfort beiträgt und weniger zur Sicherheit. Daher genügt diese Höhe auch, um bei größeren Nutzern zumindest eine Verbesserung in diesem Bereich herbeizuführen. Bei der Breite des Sitzspiegels sowie der Anordnung der Wangen an Sitz- und Lehnenfläche wurde zunächst wieder nach der Norm vorgegangen. Diese gibt für den 50%-Mann eine Hüftbreite von 375mm an. Der Messpunkt liegt hierbei knapp oberhalb der Sitzfläche. Da wir aber keine kompromisslose Rennschale entwickeln, sondern auch entspanntes und komfortables Sitzen möglich sein sollte, wurde dieser Wert mit etwa zehn Prozent beaufschlagt. Dadurch ergibt sich an der breitesten Stelle zwischen den Sitz-Wangen ein Abstand von gut 410mm. Die Breite des menschlichen Rückens ist leider nicht in der Norm definiert, weshalb auch hier wieder der Vergleich zum BMW-Sitz herangezogen wurde. Dieser misst zwischen den Wangen zwischen 300mm und 420mm und an den Schultern zwischen 400mm an der Innen- und 475mm an der Außenkante. Der Abstand zwischen den Lehnen-Wangen des Designvorschlags beträgt zwischen 300mm und 380 mm. Im Schulterbereich baut die Lehne auch hier nochmal deutlich breiter auf (470mm). Dies dient dazu, eine ausreichende Abstützung der Schultern zu ermöglichen. Das fördert die ergonomische Haltung und das Komfortempfinden besonders im Vergleich zum Vorgänger-Sitz enorm. Nach Rücksprache mit Polsterern und Sitz-Entwicklern von BMW und Recaro fiel die Entscheidung, die Sitzfläche mit einem 50mm dicken PU-Schaum zu bestücken. Da die Lehne recht steil steht und der Körper daher weniger tief einsinkt, wird hier mit 30mm und an den Wangen sogar nur mit 20mm Schaumstoff gearbeitet. Dieser sollte ein Raumgewicht zwischen 60 und 90kg/m<sup>3</sup> und eine Stauchhärte zwischen 7 und 10kPa aufweisen. Sollten mehrere Schichten Schaum gewünscht sein, so sollte die tiefere Schicht ein Stauchhärte zwischen 7 und 12kPa haben und die Deckschicht zwischen 3 und 5kPa. Da SAY einen eigenen Polsterer beauftragt, wird die letztendliche Entscheidung hierüber aber durch diesen getroffen. Durch diese Kenndaten sind die Abmaße des Sitzes ausreichend bestimmt. Zur Positionierung auf dem Boot muss nun der Bauraum betrachtet werden. Da in einem Boot keine Pedalerie vorhanden ist, wird sich an der Position der wichtigsten Bedienelemente und der notwendigen Mindestaugenhöhe orientiert. Hierfür wurde der höchsten Punkt des vorderen Teils des Bootes ermittelt. Dieser liegt knapp 1090mm über der Bodenplatte des Führerstandes. Damit ist das Mindestmaß für die Augenhöhe definiert. Ausgehend vom kleinstmöglichen Nutzer des Bootes, der 5. Perzentil-Frau, dürfte die Sitzfläche 634,5mm (90% des DIN-Maßes) unterhalb des bootsseitigen Au-

genmaßes liegen. Also 455,5mm über der Bodenfläche. Die in Kapitel 4.2.2 beschriebene Konsole „ShockWave S5“ soll auf einem 77mm hohen Podest befestigt werden. Mit den drei Adaptern zur Höhen-, Tiefen- und Drehverstellung misst die Konsole in der niedrigsten Einstellung 313mm und in der höchsten 381mm. Wenn man nun noch die 5mm starke CFK-Schale des Sitzes und die 50mm Polster hinzunimmt, ergibt sich eine minimale Höhe der Sitzfläche von 445mm. Nach Berücksichtigung des Einsinkens im Polster um 20mm, liegt der niedrigste mögliche sitzseitige Augenpunkt einer 5. Perzentil-Frau bei 1059,5mm und damit knapp unter dem Grenzmaß von 1090mm. Durch die Höhenverstellung ist es aber möglich, das Mindestmaß doch zu überschreiten und eine Höhe von 1127,5mm zu erreichen.

Im Rahmen der Untersuchung des Bauraumes ergab sich jedoch noch ein weiteres Problem. Das Podest wurde eingeführt, um das Sichtfeld zu verbessern. Das vorherige Modell, die SAY29, hatte in diesem Bereich einige Defizite. Bei dem Versuch, das Konzeptmodell im neuen Cockpit zu positionieren, um Greifräume und Beinfreiheit zu überprüfen, zeigte sich jedoch, dass man selbst bei der vordersten Einstellung des Sitzes, das Lenkrad und den Gashebel nur erschwert erreichen kann. Daher wurde ein CAD-Modell erstellt, in dem sich die verschiedenen Einstellungen der ShockWave-Konsole abbilden lassen. Hierfür wurde die maximale und die minimale Z-Ebene gewählt und der Konzeptsitz jeweils in der maximalen, minimalen und der genau mittigen X-Position abgebildet. Zusätzlich wurden die ungefähren Griffweiten (in angelehnter und um 75mm nach vorn gebeugter Position), Bewegungsräume der Knie sowie das ungefähre Sichtfeld für den 50. Perzentil-Mann, den 95. Perzentil-Mann und die 5. Perzentil-Frau dargestellt. Diese Positionierungen wurden außerdem nochmal unabhängig vom Podest dargestellt. Zur Definition der Freiräume und Griffweiten diente ebenfalls die Norm DIN 33402-2. In dieser sind die maximale Reichweite der oberen Extremitäten, die Augenhöhe und die Gesäß-Knielänge angegeben. In der Realität geht man allerdings von einer etwas bequemerer Haltung als in der Norm aus. Daher wurden, wie es bei der Definition von Stammlänge und Augenhöhe üblich ist, 10 Prozent vom DIN-Wert abgezogen.

Das Ergebnis zeigte, dass das Podest zu weit von den Bedienelementen entfernt liegt. Selbst in der nahest möglichen Einstellung erreicht der 95. Perzentil-Mann das Lenkrad nur gerade so, der 50. Perzentil-Mann nur, wenn er sich vorbeugt und die 5. Perzentil-Frau gar nicht (vgl. Anhang A). In den ersten beiden Fällen ist aber die Beinfreiheit stark eingeschränkt. Außerdem könnte die 5. Perzentil-Frau Probleme beim Erreichen der Bodenplatte haben (vgl. Anhang B). Im Gegensatz dazu stellt das Podest aber sicher, dass selbst die 5. Perzentil-Frau gerade über den Bug schauen kann.

Durch das Entfernen des Podestes und eine Verschiebung der Sitzkonsole um 50mm in Richtung Lenkrad ist es nun möglich, dass die 5. Perzentil-Frau die Steuerelemente zumindest geradeso erreichen kann. Größere Perzentile erreichen diese ohne Probleme und selbst in der maximalen X- und Z-Position gibt es weniger Konflikte in Bezug auf die Beinfreiheit. Letzteres liegt an der Ausformung des Armaturenbretts. Durch die insgesamt niedrigere Sitzposition taucht der Fahrer mit seinen Beinen besser unter die Armatur. Dafür ergibt sich eine geringfügige Einschränkung des Sichtfeldes kleinerer Nutzer. Aufgrund dessen, dass Position und Ausformung des Armaturenbretts bereits feststehen, wird das endgültige Ergebnis einen Kompromiss zwischen Erreichbarkeit, Beinfreiheit und Sichteinschränkungen darstellen.

## 6.2 Finales Design



Abbildung 26: Finales Design



Abbildung 27: Finales Design hochgeklappt

Nachdem der Design-Entwurf dem Kunden vorgestellt wurde, wurden die vorgeschlagenen ergonomischen Änderungen in das bestehende Design übertragen. Der entwickelte Klappmechanismus und dessen Viereck wurden ebenfalls integriert. Einige Punkte, wie etwa die deutlich höhere Lehne oder die breitere Schulterabstützung, wurden dabei zugunsten der Design-Sprache des Bootes vernachlässigt. (vgl. Abb. 26&27).

Die Sitzfläche wurde für den Klappmechanismus zweigeteilt. Gleichzeitig wurde die Sitzfläche deutlich verkürzt und der Abstand zwischen Sitzfläche und Lehne von 64mm auf 32,5mm herabgesetzt, um die Lehne näher an die Sitzfläche heranzuholen. Dadurch wurde die Sitztiefe von 508mm auf 460mm reduziert. Damit liegt sie nur 10mm über dem

Maß des 5. Perzentil-Mannes. Das mittlere Sitzpolster des Klappteils steht in diesem Entwicklungsstand noch 25mm über die Schale hinaus. Durch eine Kürzung dieses Polsters ließe sich die Sitztiefe auf 435mm, dem Maß der 5. Perzentil-Frau, reduzieren. Die Lehne wurde mit einem leichten S-Schlag versehen (vgl. Abb. 28).



Abbildung 28: Vergleich Seitenansicht KET-Design & finaler Sitz

Dies dient vor allem der Abstützung des unteren Rückens und der Aufrechterhaltung der Lordose im Lendenwirbelbereich. In der Länge änderte sich auf Kundenwunsch hin nichts. Mit ca. 800mm, gemessen von der Sitzfläche, ermöglicht sie dennoch eine gewisse Abstützung des Rückens. Die Schale wurde im Bereich des Übergangs zu den Seitenwangen der Lehne deutlich angepasst. Zuvor stand die Karbonschale so weit hervor, dass man sich beim Anlehnen unweigerlich mit den Schulterblättern am harten Carbon abstützen musste. Die Überarbeitung schaffte deutlich mehr Platz für den Schulterbereich, sodass man nun bequem am Polster anlehnt. Die Abstände zwischen den Wangen blieben nahezu unverändert (vgl. Abb. 28).

Bezüglich des Podestes entschied sich der Kunde zunächst am alten Konzept festzuhalten. Das erste Boot dieser Baureihe wird folglich über dieses Podest verfügen. Da es jedoch mittels eines Einlegers in die Grundform des Werkzeugs für das Deck integriert wird, kann man es bei späteren Booten einfach entfernen, ohne ein neues Werkzeug dafür fertigen zu müssen. Sollten die in der theoretischen Betrachtung aufgefallenen



Probleme in der Praxis weniger kritisch erscheinen, könnte das Podest aber auch beibehalten werden.

### **6.3 Beschreibung CAD-Modell**

Die Konstruktionsarbeit erfolgte mit Catia V5 im Part- und im Generative-Shape-Design. Zur Veranschaulichung der Bewegungen und zur Betrachtung der Freiräume wurde außerdem die DMU Kinematics-Umgebung verwendet.

Die Auskonstruktion bestand zum einen aus der Erstellung der Schalen. Hierfür wurden zunächst die Innenflächen des Designmodells abgeleitet und leicht überarbeitet. Anschließend wurden diese mittels „Thick Surface“ um 10mm aufgedickt. Dieses Maß ergibt sich aus dem Aufbau der Sitzschale. Je eine Innen- und eine Außenschale aus Sichtkarbon mit einer Wandstärke von 1mm. Dazwischen befindet sich eine 8mm starke Schaumschicht, die der gesamten Schale ihre Stabilität verleiht. Anschließend wurden die nötigen Aussparungen bzw. Schlitzungen festgelegt. Da diese Schlitzungen bei der Sitzschale sehr lang ausfallen (vgl. Anhang C-1 bis C-3), ist eine zusätzliche Verprägung notwendig, um die Steifigkeit der Schale zu gewährleisten (vgl. Anhang C-4 bis C-6). Um einen direkten Kontakt der Metallstangen mit dem Karbon zu vermeiden ist hier außerdem ein Metallkantenschutz vorgesehen.

Des Weiteren wurde der Klappmechanismus konstruiert. Dieser ist so aufgebaut, dass er den vorderen Teil des Sitzes um ca. 170mm anhebt und die Sitzfläche gleichzeitig um etwa 15 Grad nach vorn neigt (vgl. Anhang D). Er besteht aus einer Aufnahme (vgl. Anhang E-1), die unter die Sitzschale geschraubt wird und teilweise durch sie hindurchsteht. An ihr werden links und rechts je zwei Stangen (vgl. Anhang E-2) befestigt. Die Stangen sind so ausgeformt und positioniert, dass sie in der oberen und unteren Endposition jeweils flach aufeinanderliegen, um sich ineinander abzustützen. In den oberen Stangen befinden sich jeweils sechs Bohrungen (vgl. Anhang E-2-3). In diese werden kleine Magnete eingesetzt. Diese verfügen jeweils über eine Haftkraft von 0,3kg. Sie sollen die Stangen in ihren Endpositionen aneinanderhaften und so vor allem ein unbeabsichtigtes Herunterklappen des Sitzes verhindern. Das letzte Teil der Mechanik ist die Aufnahme des Klappteils. Diese wird in die klappbare Schale einlaminiert. An ihr werden die anderen Enden der Stangen befestigt.

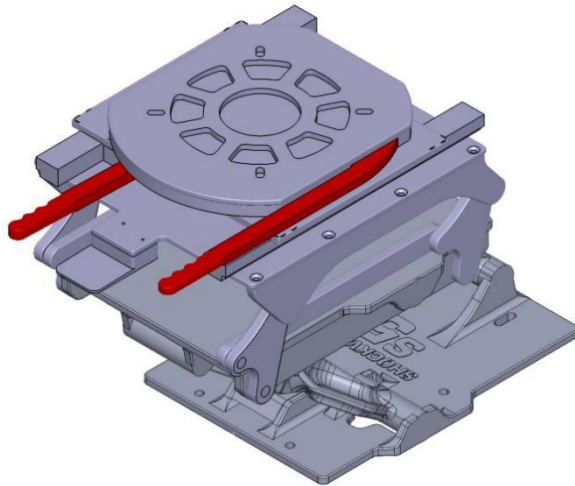


Abbildung 29: Konsole mit originalen Hebeln

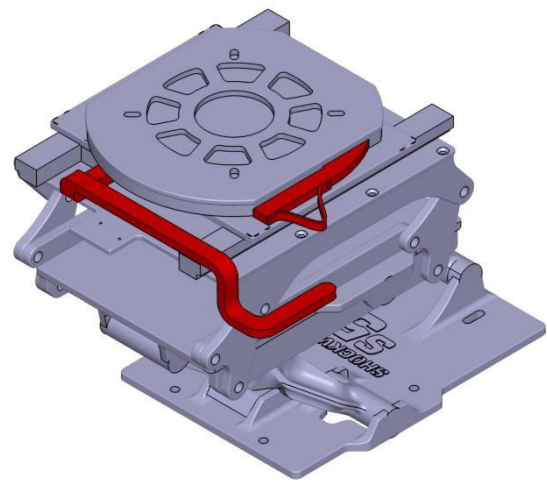


Abbildung 30: Konsole mit überarbeiteten Hebeln

Der dritte Teil der Konstruktion befasste sich mit der Anpassung der Verstellhebel der Shockwave-Konsole. Wie in Kapitel 5.5 beschrieben, stören Teile der Konsole beim Stehen, wenn der Sitz hochgeklappt ist (vgl. Abb. 29). Durch die Abänderung der Hebel wird das Problem zum größten Teil behoben. Der rechte Hebel zur Verstellung der Konsole in X-Richtung verläuft nun unter dem Sitz nach Links, wodurch er sich deutlich angenehmer ziehen lässt. Der linke Hebel, der die Drehbewegung freigibt, wurde gekürzt und mit einer Schlaufe zum Ziehen versehen (vgl. Abb. 30).

Zur detaillierten Veranschaulichung des neuen Modells und all seiner Bestandteile sind in den Anhängen C bis F entsprechende Darstellungen zu finden.

## 7 Fazit

Die Ergebnisse der vorliegenden Bachelorarbeit sind zum einen die theoretische Ausarbeitung der Grundlagen, die bei der Entwicklung und Konstruktion von Sitzen zu beachten sind. Grundlegend geht es um die Anpassung an die anthropometrischen Daten der angestrebten Zielgruppe. Vor allem die Werte für Sitztiefe und -breite sowie Schulterhöhe und Stammlänge müssen hierbei beachtet werden. Aber nicht nur die Maße sind von Bedeutung, sondern auch anatomische Gegebenheiten wie die Ausformung der Wirbelsäule und deren optimale Abstützung. Das Ziel ist immer die Belastung des Rückens so gering wie möglich zu halten und damit Verspannungen und daraus resultierende Schmerzentwicklung zu vermeiden. Des Weiteren müssen Werte wie die Reichweite der Arme, die Abmessungen der Beine oder die Höhe des Augenpunkts betrachtet werden, um das Sichtfeld sowie Greif- und Freiräume zu definieren. Nur so kann man einen Sitz optimal in einem Fahrzeug positionieren. Zum anderen wurden diese theoretischen Ergebnisse auf einen Bootssitz angewendet, um ein neues Konzept zu entwickeln und folglich einen neuen Sitz zu konstruieren.

Ein anderes Ergebnis ist jedoch die Erfahrung, dass das Design in manchen Fällen die Funktion überflügelt. Nicht nur im Endkundenbereich werden Entscheidungen häufig auf Grundlage des Aussehens getroffen und weniger aufgrund der Nützlichkeit oder der Funktion. Dieser Sitz zeigt diese Gegebenheit recht deutlich. Bei der Wahl des Klappmechanismus fiel die Wahl des Kunden auf die optisch ansprechendere Viergelenk-Variante, obwohl diese technisch komplizierter ist und das Risiko birgt, sich die Finger zu klemmen. Und auch bei der letztendlichen Formgebung des Sitzes wurde auf ergonomisch sinnvolle Teile verzichtet, um der Designsprache des Bootes gerecht zu werden. Nichtsdestotrotz ist das Ergebnis eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Ausgangsmodell und in vielerlei Hinsicht der Konkurrenz überlegen.

Nach dem Abschluss dieser Arbeit wird zunächst ein Prototyp der Sitzschale im 3D-Druckverfahren hergestellt. Dieser wird vor allem zur Erprobung der Klappmechanik verwendet, um beispielweise die notwendige Anzahl der Magnete in den oberen Klappstangen zu ermitteln. Außerdem dient diese Schale dem Polsterer als Grundlage für die Entwicklung des neuen Polsterdesigns. Nach erfolgreicher Erprobung beginnt die Werkzeugfertigung für die Schalen und im Anschluss die Produktion des Sitzes. Vorgestellt wird er voraussichtlich gemeinsam mit der neuen SAY 42 Runabout im April 2020 auf Ibiza.

# Literaturverzeichnis

## Gedruckte Quellen

Aktion Gesunder Rücken e.V. (2013): Der Ergonomie-Ratgeber. 2. Aufl. Selsingen: AGR.

Bäumler, M. (1992): Ermittlung einer ergonomisch optimalen Pedalanordnung für Personenkraftwagen. Diplomarbeit. Katholische Universität Eichstätt, Eichstätt. Philos.-Pädag. Fak.

Bernstein, N. A. (1967): The co-ordination and regulation of movements. 1. Aufl.

Bitter, T. (2005): Objektivierung des dynamischen Sitzkomforts. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2006. Aachen: Shaker (Schriftenreihe des Instituts für Fahrzeugtechnik TU Braunschweig, 9).

Brackett, R. O.; Pezoldt, V. J.; Sherrod, M. G.; Roush, L. K. (1989): Human Factors Analysis of Automotive Foot Pedals. National Highway Traffic Safety Administration. Springfield (Virginia).

Braun, H. (Hg.) (1997): Rechnerische Simulation der Fahrdynamik von Nutzfahrzeugen unter Einschluss von Fahrer und Umwelt. *VDI-Broschüre* (Bd. 613). Düsseldorf: VDI-Verlag.

Bubb, H.; Grünen, R. E.; Bengler, K.; Vollrath, M. (2015): Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Dietrich, M. C.; Lehnertz, K. (1993): Handbuch Trainingslehre. 2., unveränd. Aufl. Schorndorf: Hofmann (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, 100).

Dirlich, T. (2010): Experiments in simulated microgravity under water: preliminary findings on individual neutral postures. AHFE. Miami - USA.

Dreßel, J., Kain, V. (1985): Untersuchungsbericht über das reelle Sitzverhalten des Fahrers. Unveröffentlichte Studie. Institut für Ergonomie. München.

Greil, H. (1993): Körperbaugerechte Mittelwerte und Variabilitätsbereiche von Körpermaßen im Erwachsenenalter zur Regenerierung mit dem Programmsystem RAMSIS. Abschlussbericht einer Auftragsstudie.

Kolling, J. (1997): Validierung und Weiterentwicklung eines CAD-Menschmodells für die Fahrzeuggestaltung. Dissertation. Technische Universität München, München. Fakultät für Maschinenwesen.

- Laukart, G.; Vorberg, T. (2016): 6.4.4 Fahrzeuginnenausstattung. In: S. Pischinger und U. Seiffert (Hg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 8., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg (ATZ / MTZ-Fachbuch).
- Lorenz, D. (2013): Äußere Einflussparameter auf Sitzpositionen im Fahrzeug. 1st ed. Göttingen: Cuvillier Verlag (Audi Dissertationsreihe, v.81).
- Lorenz, S. (2011): Assistenzsystem zur Optimierung des Sitzkomforts im Fahrzeug. Dissertation. Technische Universität München, München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Martin, R. (Hg.) (1914): Lehrbuch der Anthropologie in systematischer Darstellung. Mit bes. Berücks. d. anthropologischen Methoden. Unter Mitarbeit von K. Saller. Stuttgart: G. Fischer.
- Müller, A. (2010): Systematische und nutzerzentrierte Generierung des Pkw-Maßkonzepts als Grundlage des Interior- und Exterior-Design. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2010. Stuttgart: IKTD (Bericht / KTD, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Nr. 586).
- Nordin, M. (2003): Measures for low back pain. a proposal for clinical use. New York City.
- Rekittke, T.; Brückner, B. (2010): Mercedes-Benz Pkw RAMSIS Familie. Daimler AG.
- Schlott, S. (2004): AGR-Sitze. Komfort für alle Klassen. In: *Automobilproduktion 3*.
- Schmidtke, H. (Hg.) (1989): Handbuch der Ergonomie. HdE, mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden. Deutschland. 2., überarb. und erw. Aufl. München: Hanser.
- Schwarz, W.: 3D-Video-Belastungsanalyse: Ein neuer Ansatz zur Kraft- und Haltungsanalyse. Als Ms. gedr. Düsseldorf (Biotechnik/Medizintechnik, 17).
- Seidl, A. (1994): Das Menschmodell RAMSIS. Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen. Dissertation. Technische Universität München, München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Zenk, R. (2008): Objektivierung des Sitzkomforts und seine automatische Anpassung. Dissertation. Technische Universität München, München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Zenk, R.; Franz, M.; Bubb, H. (2007): Spine load in the context of automotive seating. SAE Society of Automotive Engineers. Washington (2007-01-2485).

## Normen

Norm DIN EN ISO 26800:2011-11, 11.2011: Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte (ISO 26800:2011); Deutsche Fassung EN ISO 26800:2011, zuletzt geprüft am 12.09.2019.

Norm DIN 33402-1, 03.2008: Ergonomie – Körpermaße des Menschen, zuletzt geprüft am 12.09.2019.

Norm DIN 33402-2, 12.2005: Ergonomie - Körpermaße des Menschen –, zuletzt geprüft am 12.09.2019.

## Online Quellen

Franz, M.; Kamp, I.; Durt, A.; Kilincsoy, Ü. (2011): A light weight car seat shaped by human body contour. In: Int. J. Human Factors Modelling an Simulation Vol. 2, Bd. 4, S. 314–326. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/264438900\\_A\\_light\\_weight\\_car\\_seat\\_shaped\\_by\\_human\\_body\\_contour](https://www.researchgate.net/publication/264438900_A_light_weight_car_seat_shaped_by_human_body_contour), zuletzt geprüft am 12.09.2019.

Hartung, J. (2005): Objektivierung des statischen Sitzkomforts auf Fahrzeugsitzen durch die Kontaktkräfte zwischen Mensch und Sitz. Dissertation. Technische Universität München, München. Fakultät für Maschinenwesen. Online verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/doc/601971/601971.pdf>, zuletzt geprüft am 12.09.2019.

International Ergonomics Association (2019): Definition and Domains of Ergonomics. Online verfügbar unter <https://www.iea.cc/whats/index.html>, zuletzt geprüft am 08.08.2019.

Kramps, G. (2019): Bootssitz Ratgeber. Hg. v. Gggregor Krambs Internet GmbH & Co. KG. StrawPoll. Hamburg. Online verfügbar unter [https://strawpoll.de/bootssitz#Boots-sitz\\_Ratgeber](https://strawpoll.de/bootssitz#Boots-sitz_Ratgeber), zuletzt geprüft am 13.09.2019.

Mergl, C. (2005): Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen. Dissertation. Technische Universität München, München. Fakultät für Maschinenwesen. Online verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/doc/601975/601975.pdf>, zuletzt geprüft am 12.09.2019.

Remlinger, W. (2012): Analyse von Sichteinschränkungen im Fahrzeug. Dissertation. Technische Universität München, München. Fakultät für Maschinenwesen. Online verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1118731/1118731.pdf>, zuletzt geprüft am 12.09.2019.

ROS Industrie SRL (2019): ALCOR. Verona - Italien. Online verfügbar unter <http://ros-industrie.net/product/megrez-2-2/?lang=en#>, zuletzt geprüft am 20.08.2019.

ShockWave Seats (2019): ShockWave S5. Sydney B.C. - Kanada. Online verfügbar unter <https://shockwavesSeats.com/s5/>, zuletzt geprüft am 24.10.2019.

Ullman Dynamics (2019): Daytona. Göteborg - Schweden. Online verfügbar unter <https://ullmandynamics.com/produkte/bucket-seats/daytona?lang=de>, zuletzt geprüft am 20.08.2019.

Ullman Seats (2014): Free-fall Impact - Standing vs Ullman Atlantic Seat. Youtube-Video. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=TglmN-vbjto>, zuletzt geprüft am 16.09.2019.

# Anhang

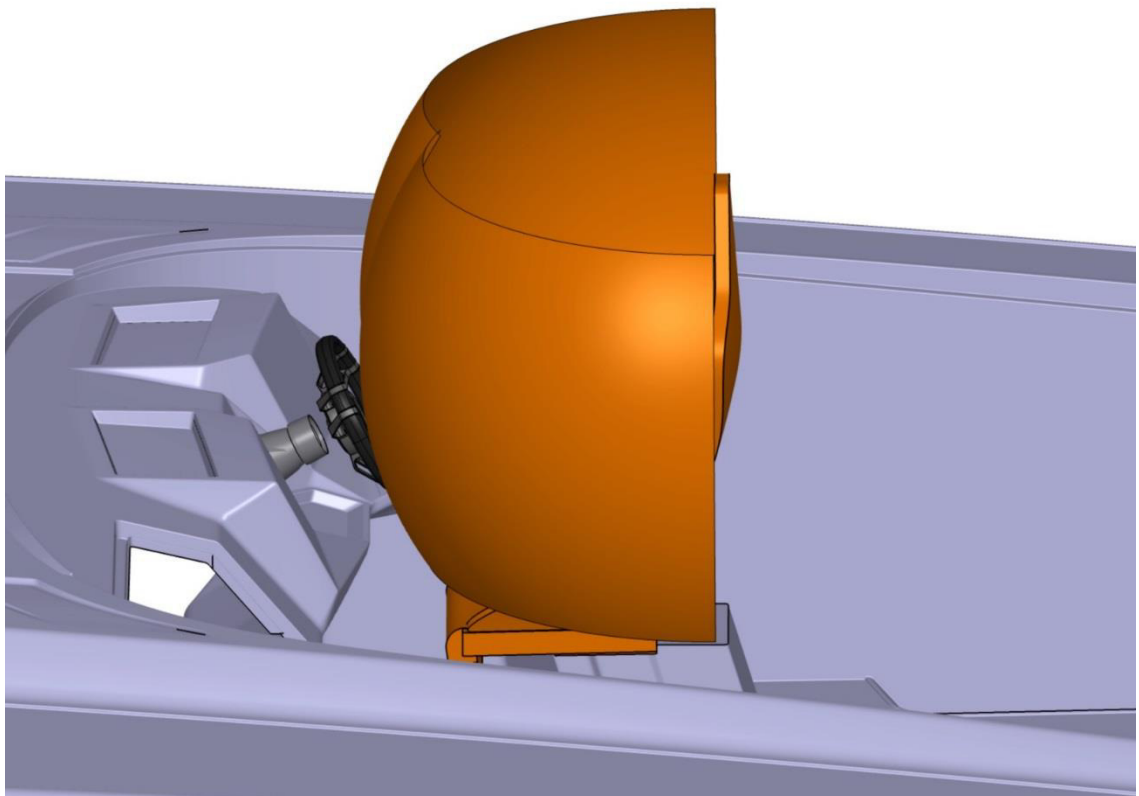
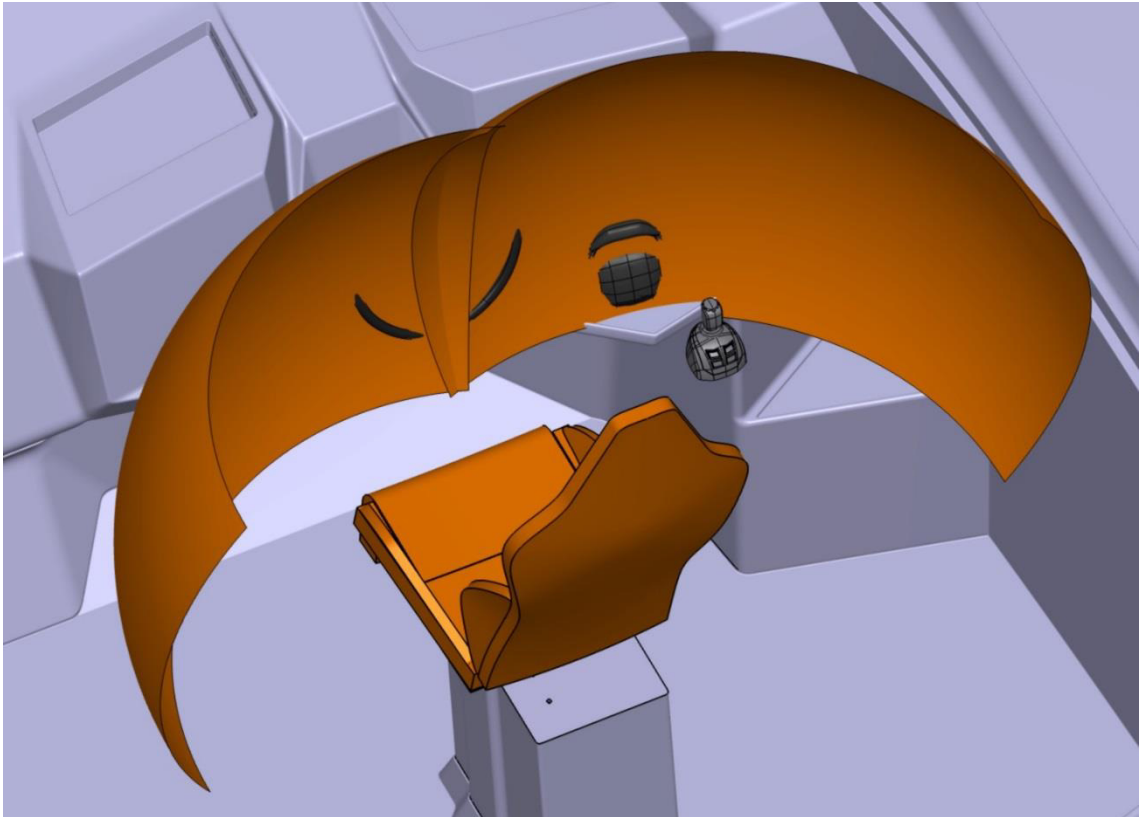
## Inhaltsverzeichnis Anhang

A	Greifräume .....	XIII
B	Beinfreiheit .....	XIX
C	Verprägung .....	XXII
D	Ansichten finales Design .....	XXVI
E	Einzelteile.....	XXXI
F	Zusammenbau Klappmechanismus .....	XXXVI
G	Positionierung .....	XXXVIII

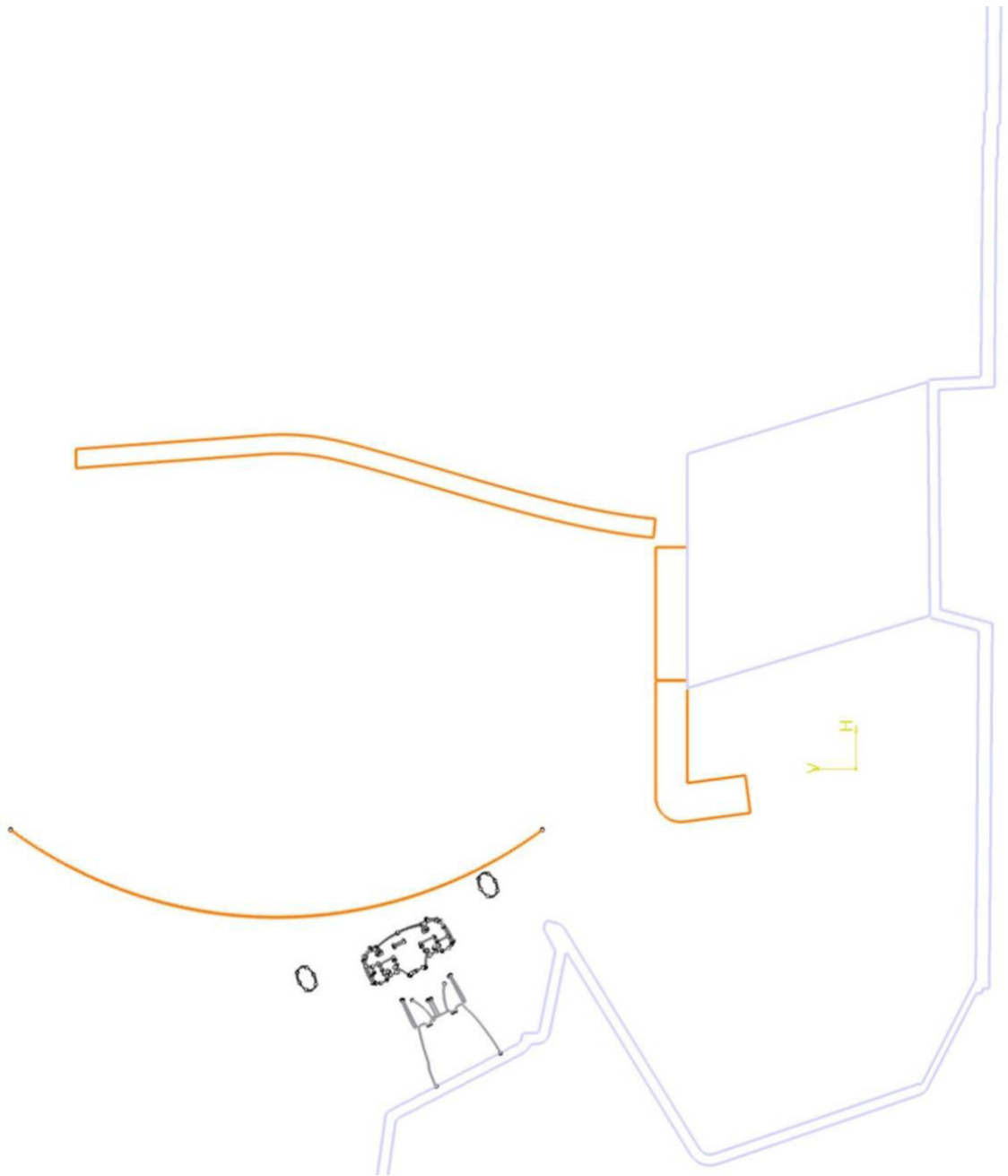


## A Greifräume

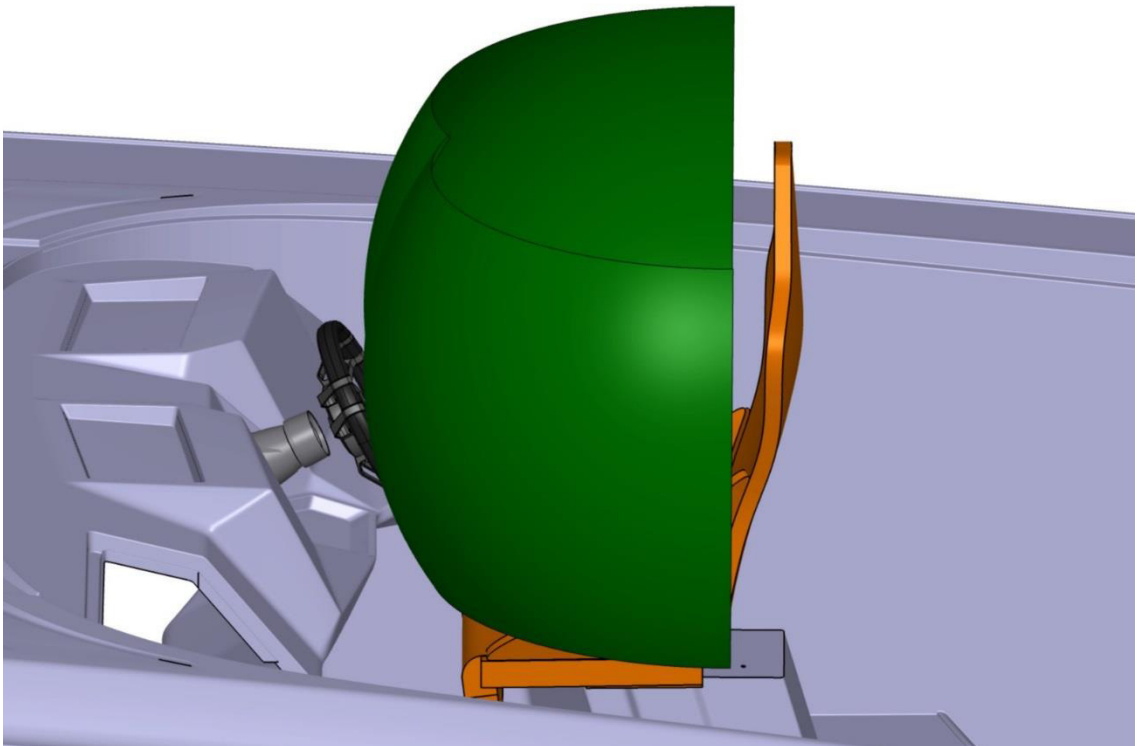
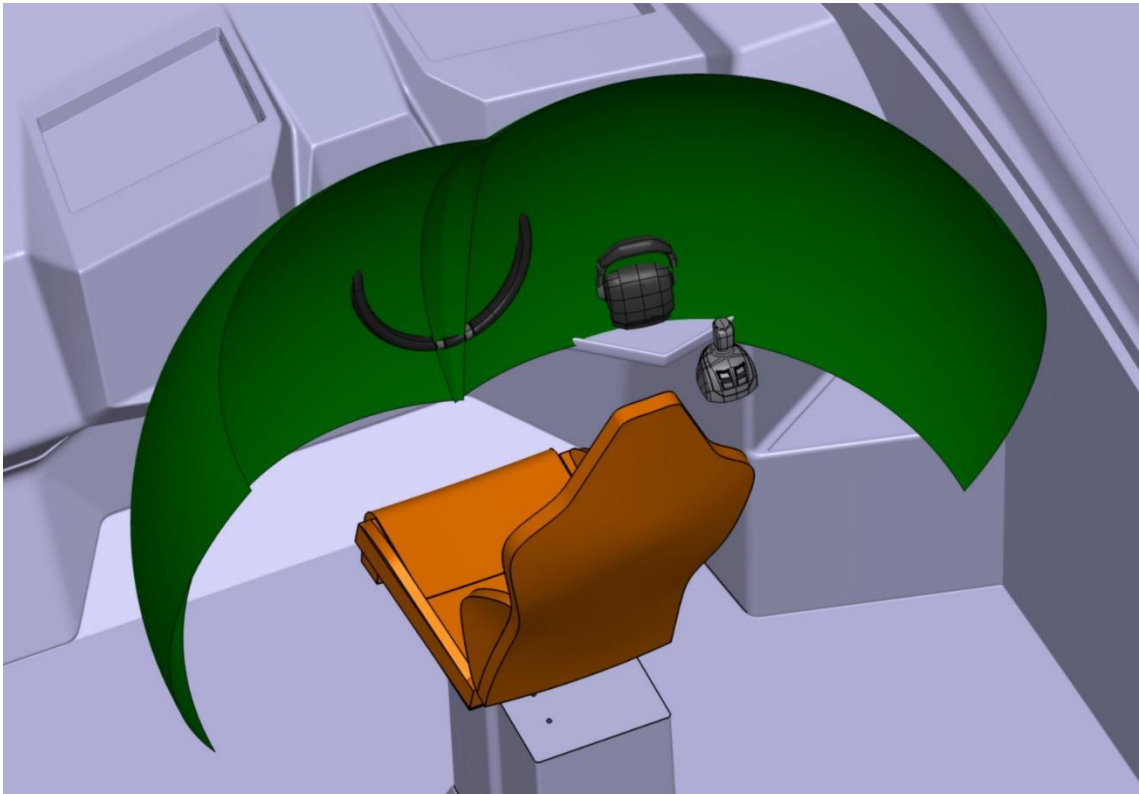
### A-1 Greifraum des angelehnten 95. Perzentil-Mannes



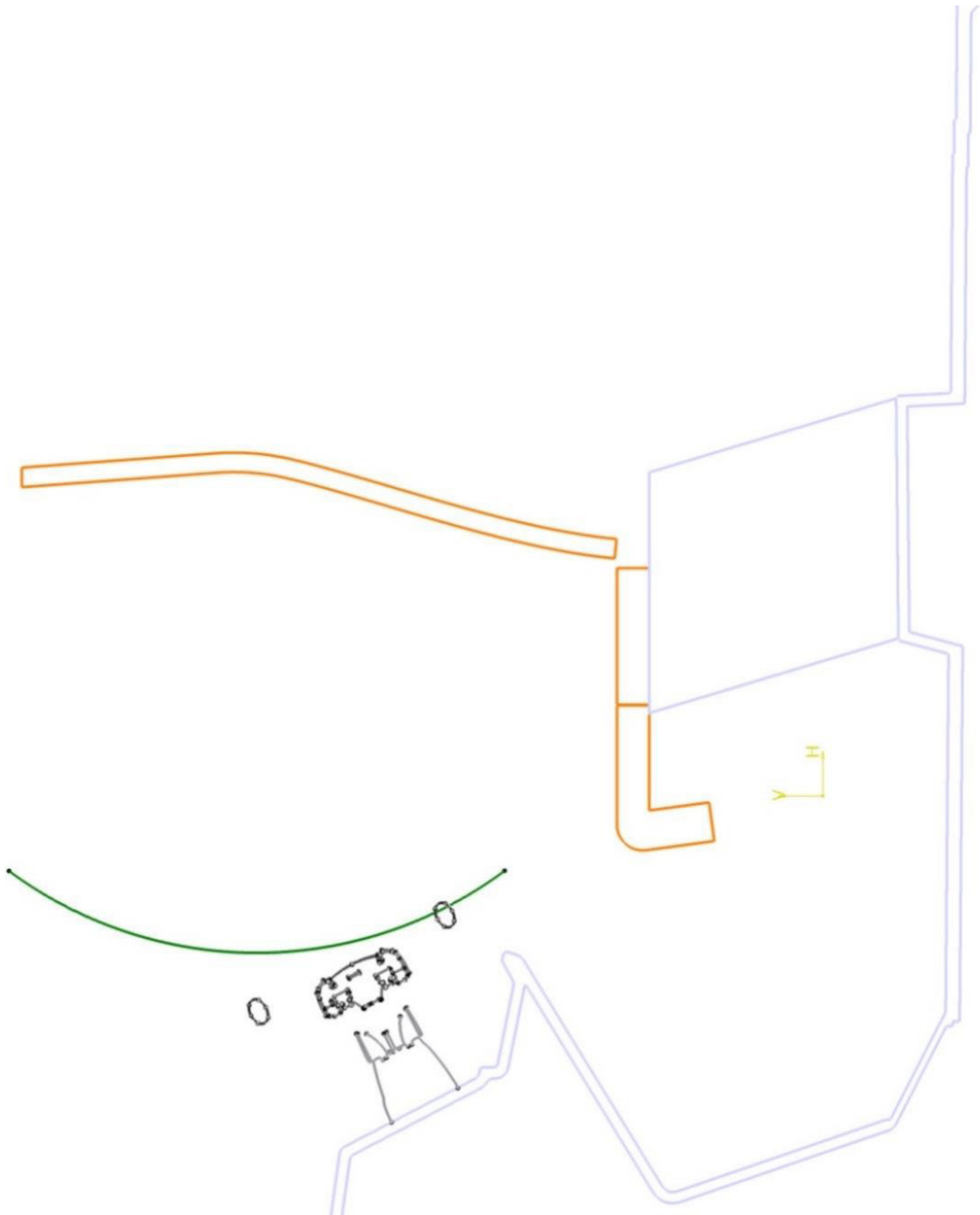
## A-1-1 Schnitt Greifraum 95. Perzentil-Mann



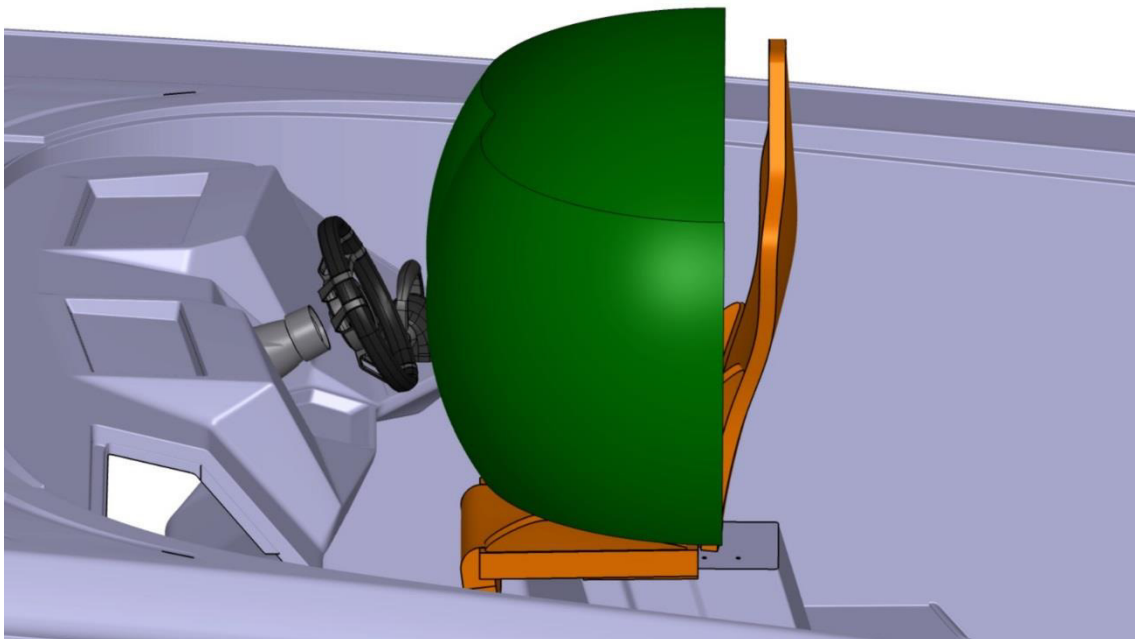
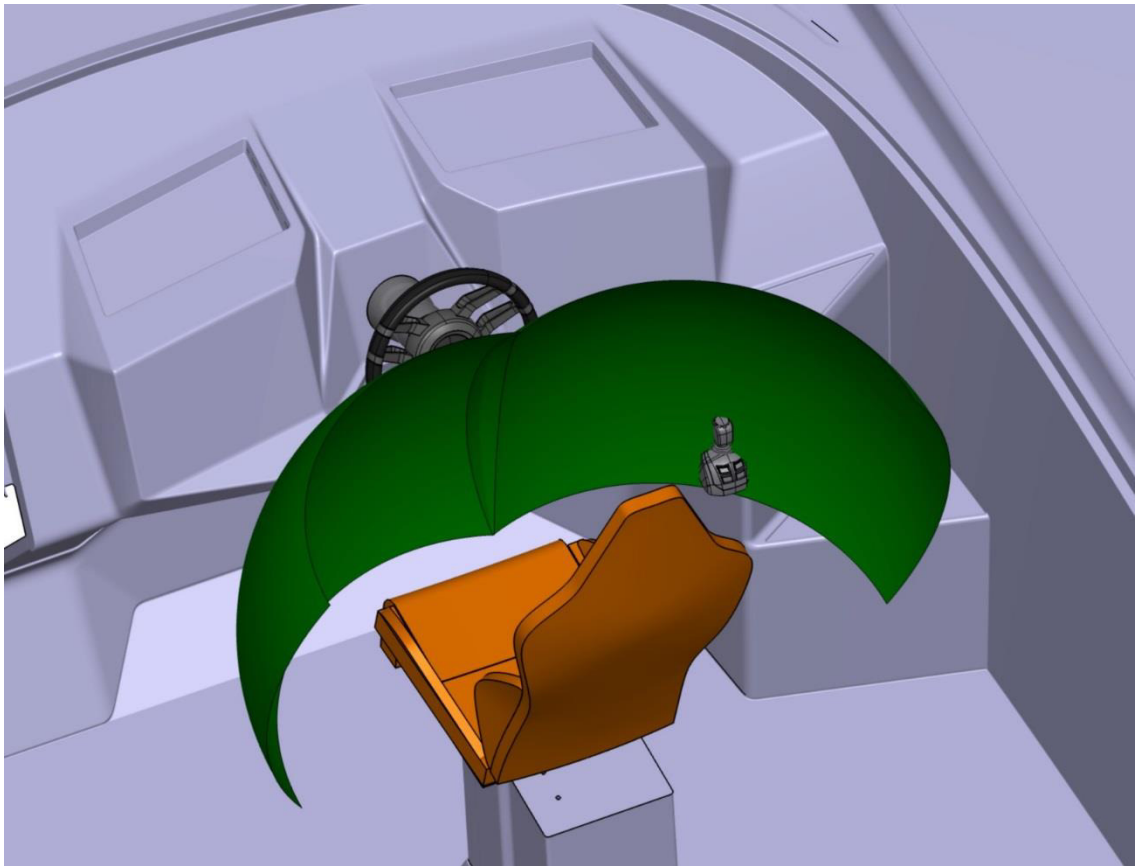
## A-2 Greifraum des vorgebeugten 50. Perzentil-Mannes



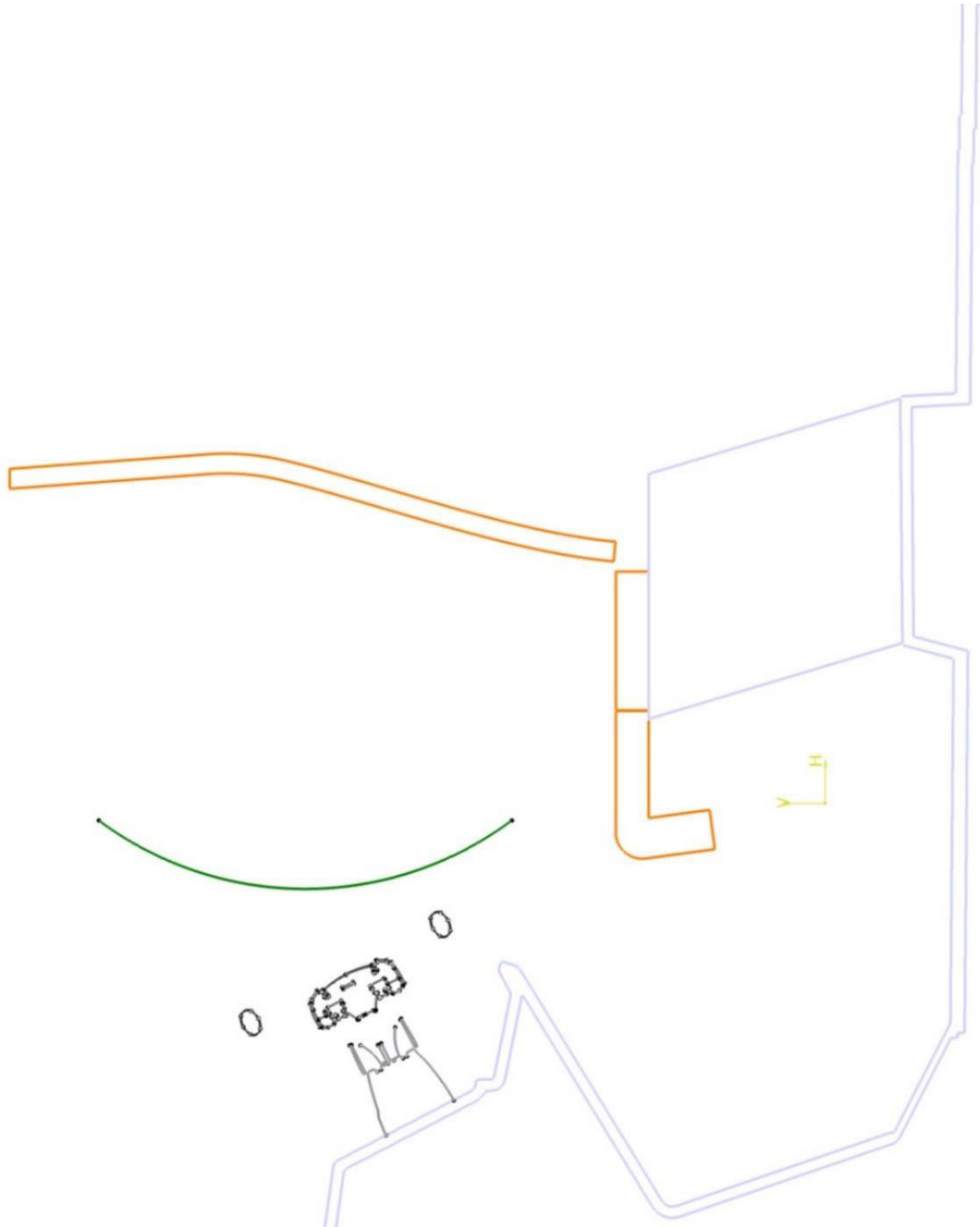
## A-2-1 Schnitt Greifraum 50. Perzentil-Mann



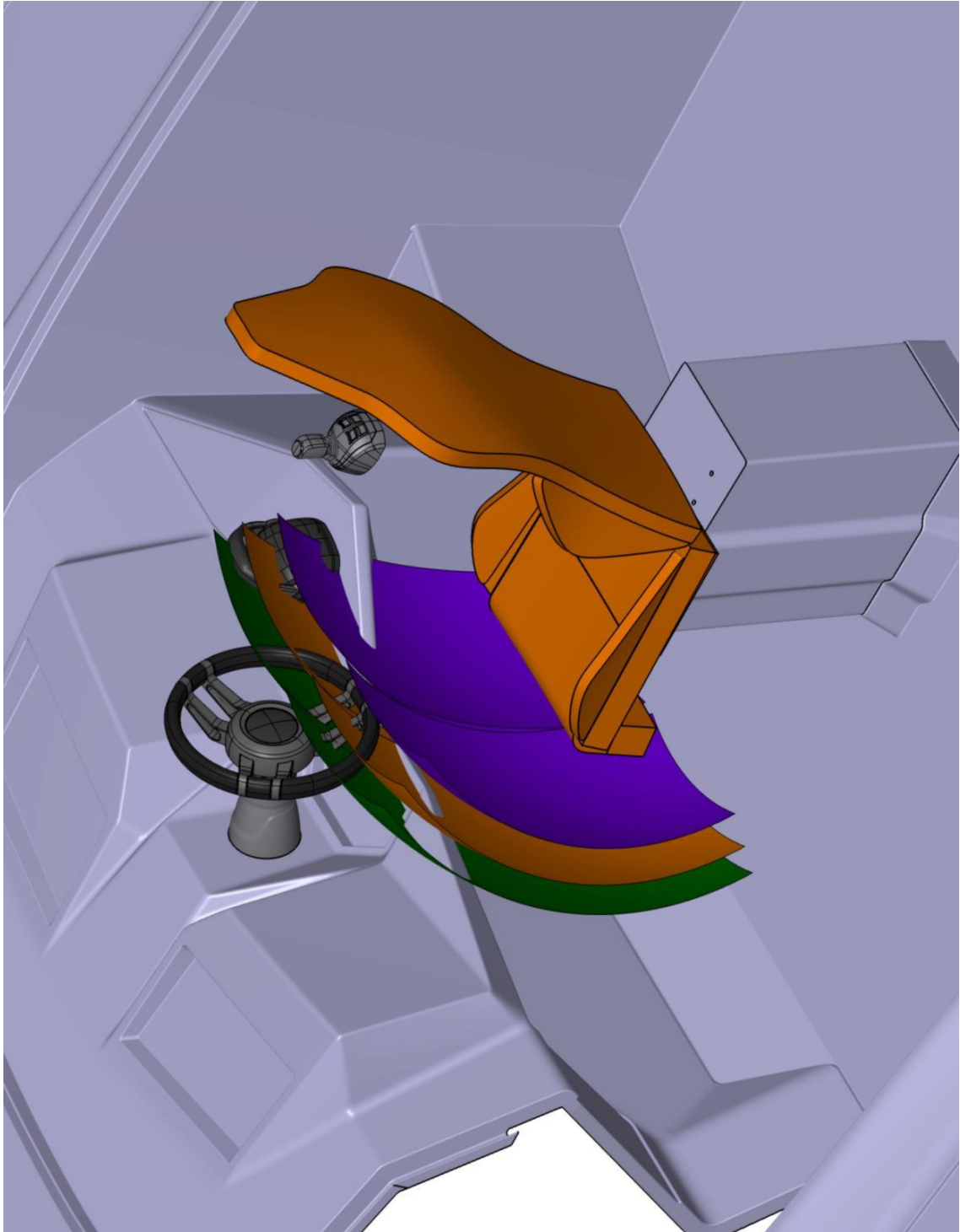
### A-3 Greifraum der vorgebeugten 5. Perzentil-Frau



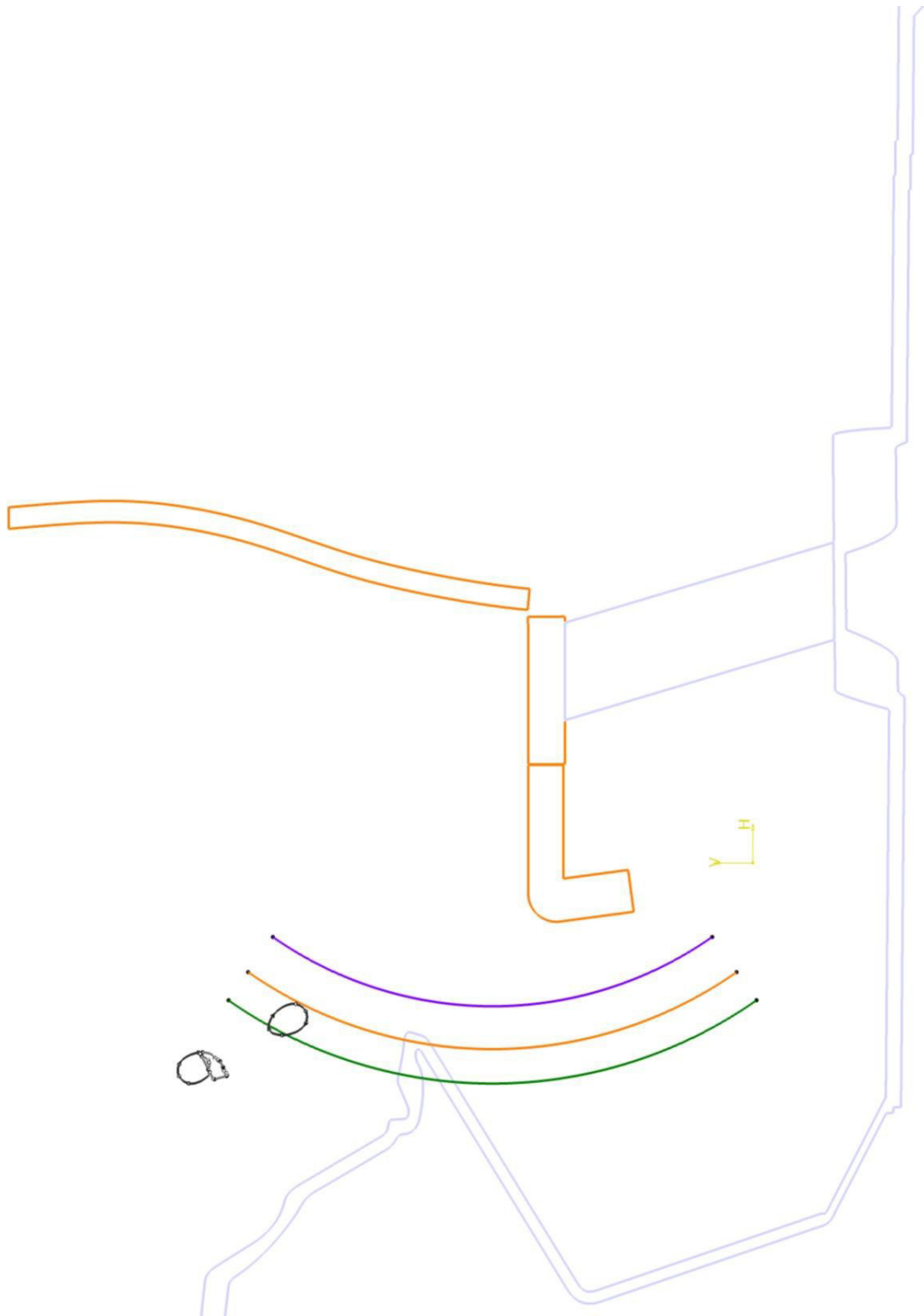
### A-3-1 Schnitt Greifraum 5. Perzentil-Frau



## B Beinfreiheit

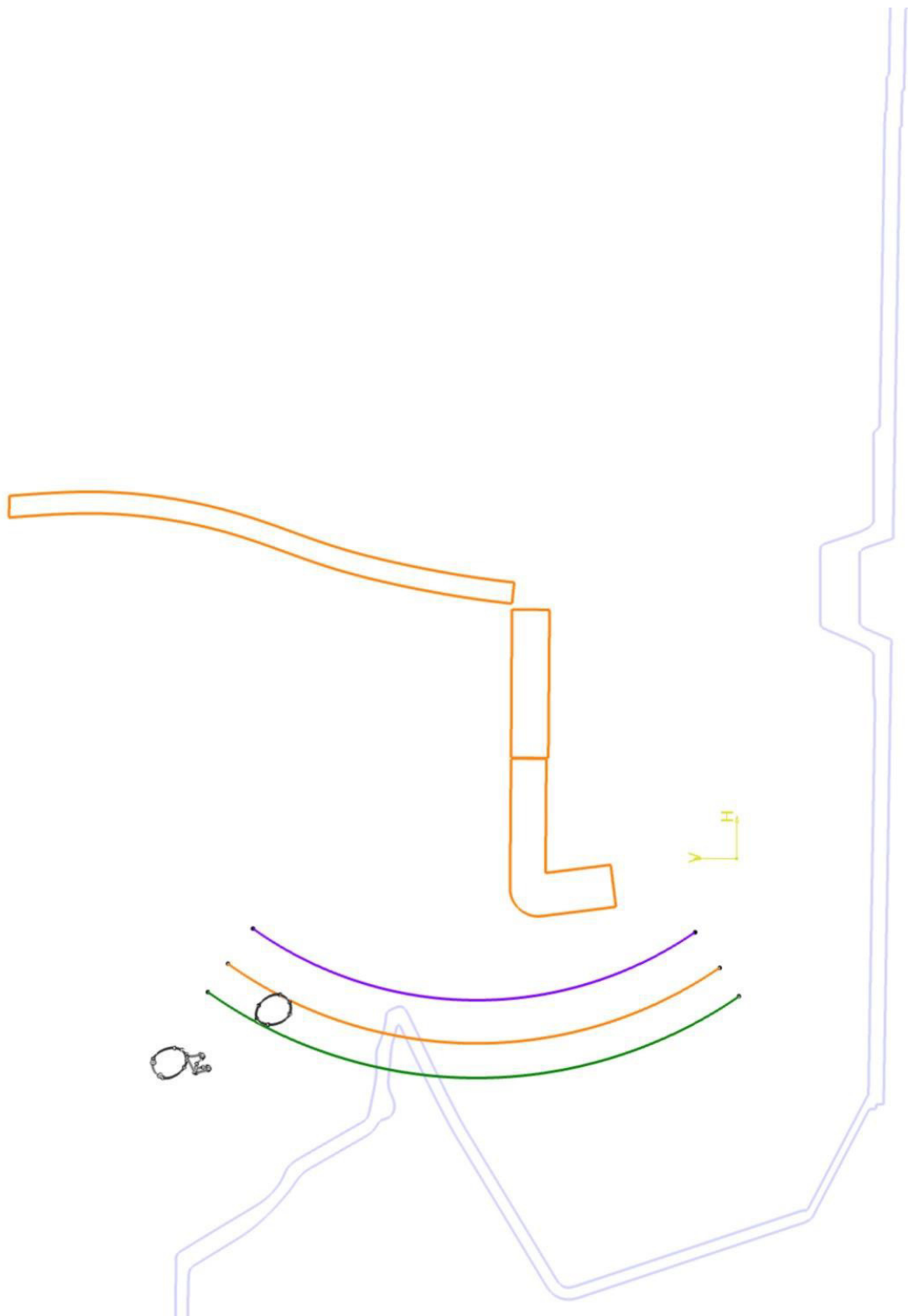


## B-1 Schnitt Beinfreiheit linkes Bein



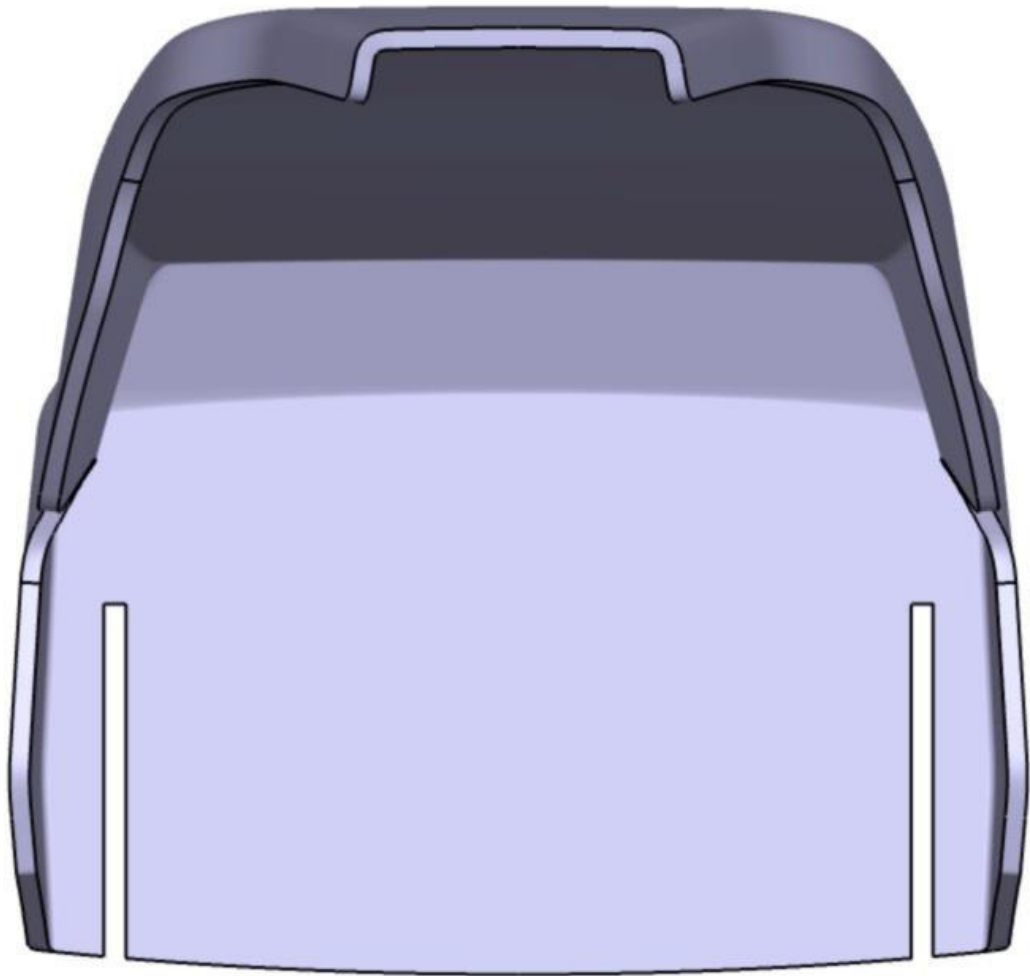


## B-2 Schnitt Beinfreiheit rechtes Bein

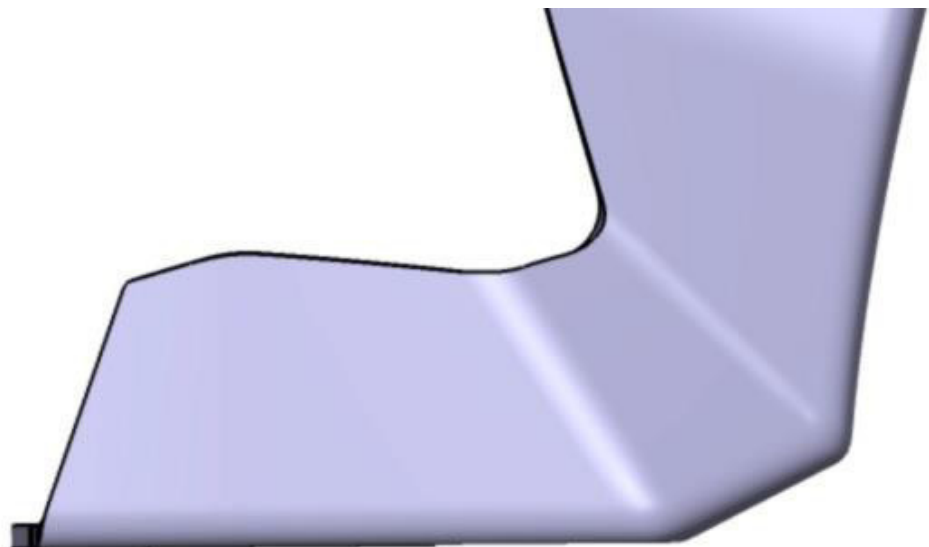


**C Verprägung**

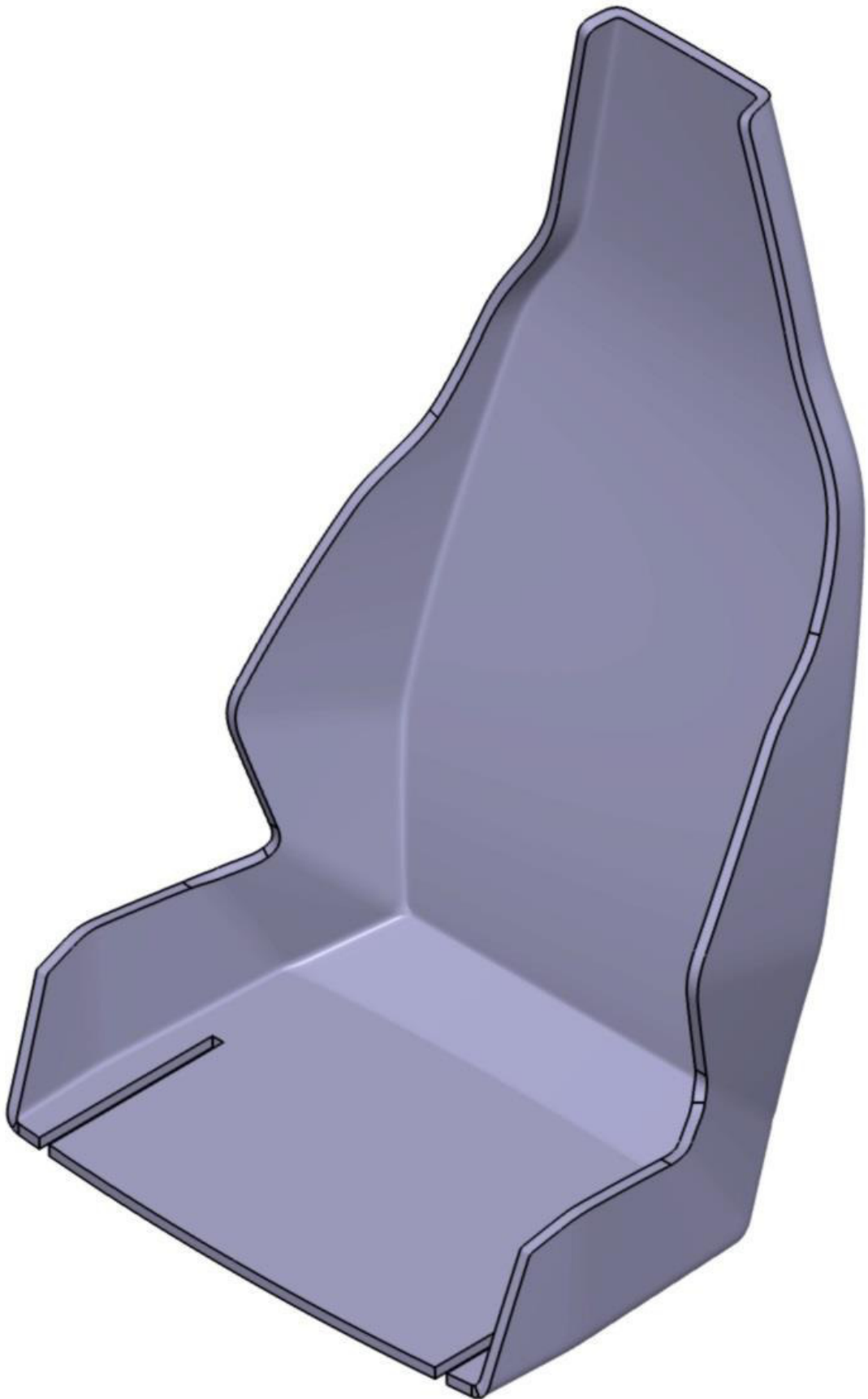
**C-1 ohne Verprägung Draufsicht**



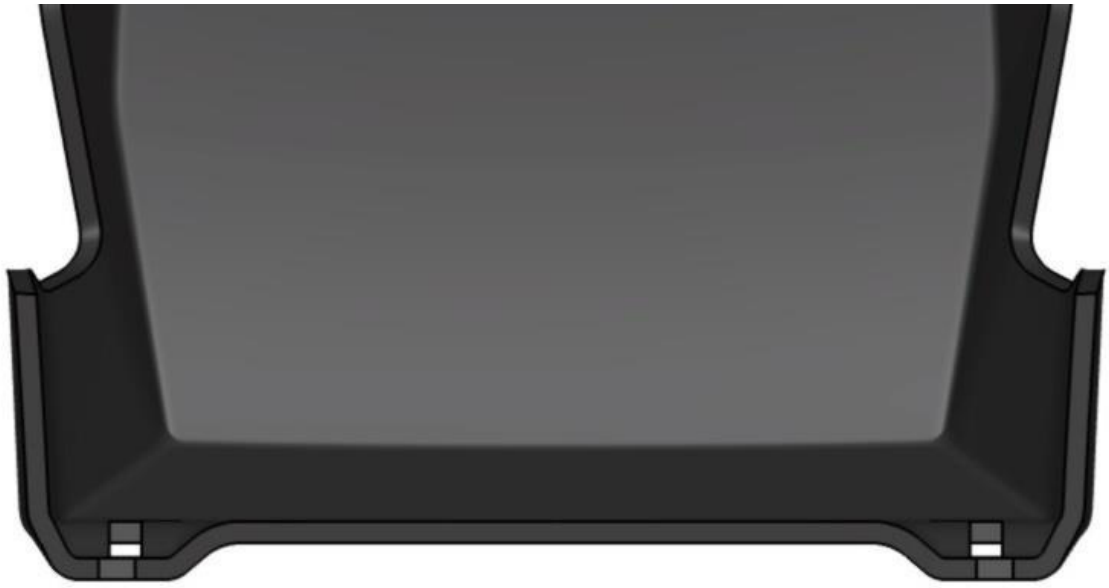
**C-2 ohne Verprägung Seitenansicht**



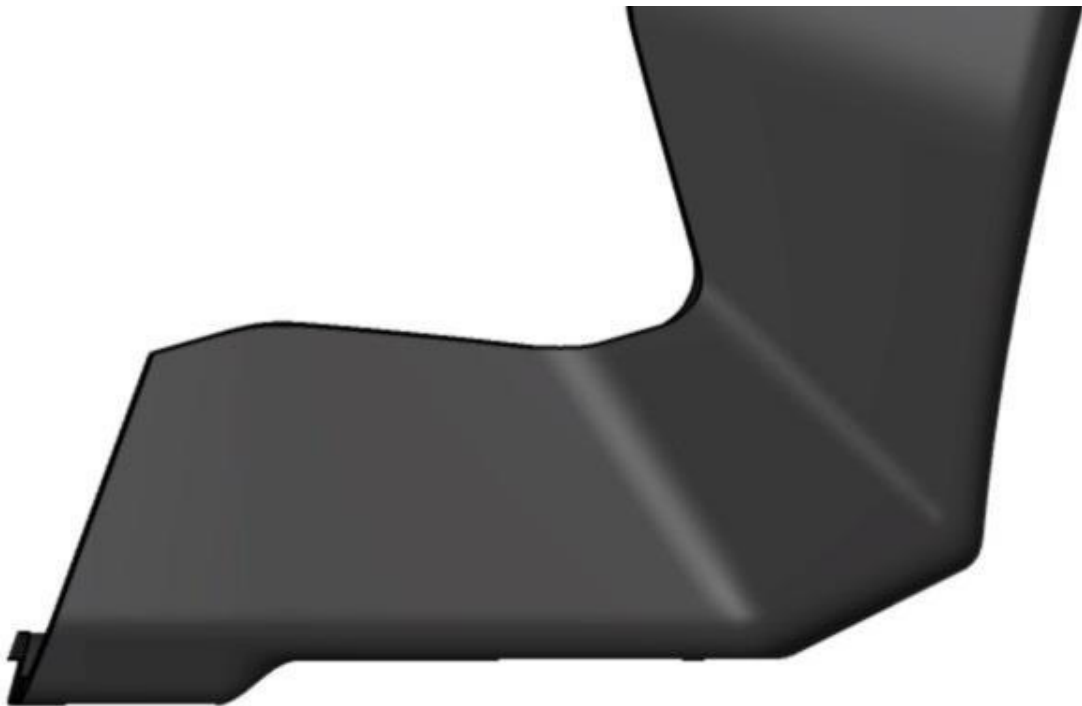
**C-3 ohne Verprägung isometrische Ansicht**



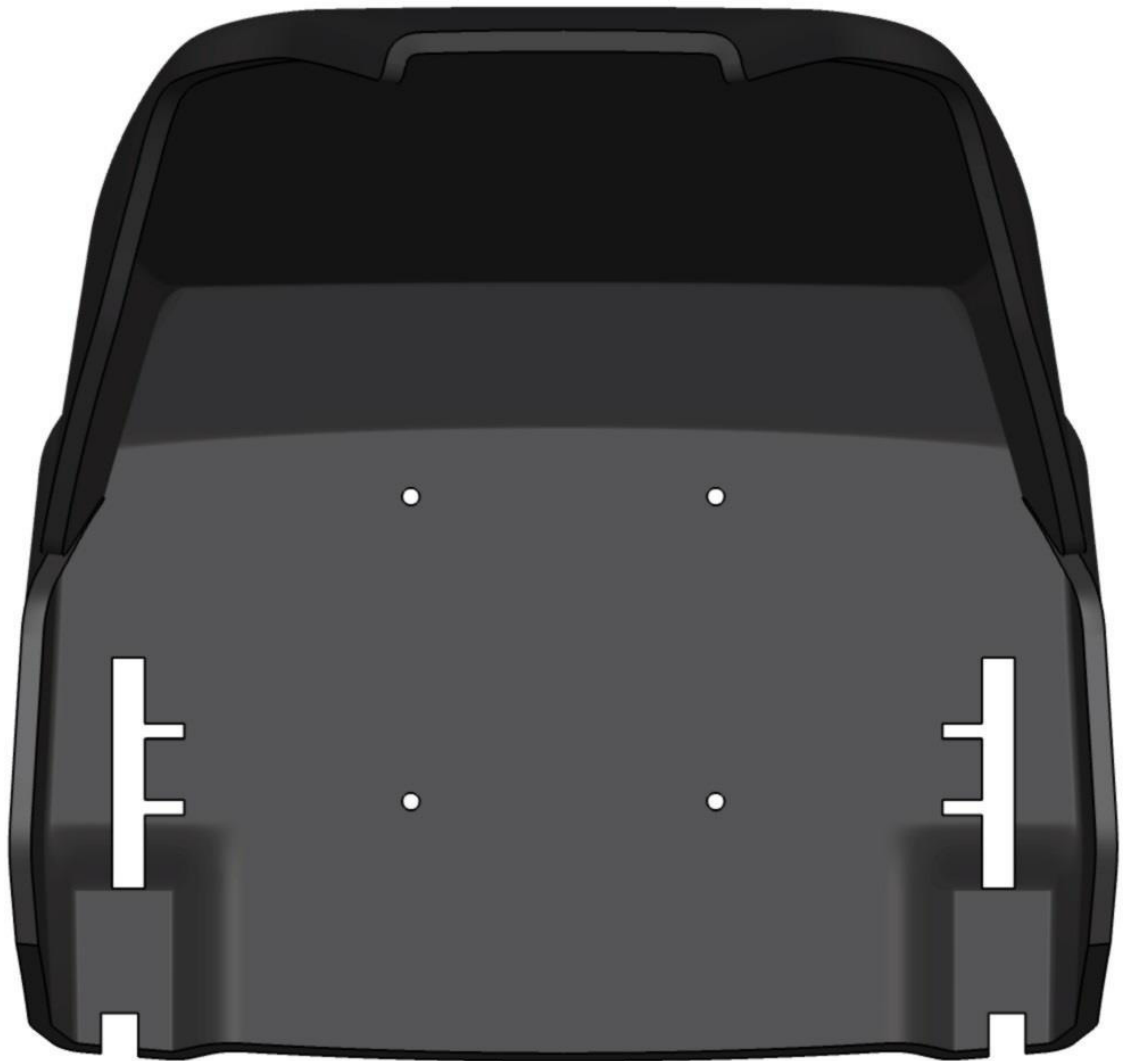
#### C-4 Verprägung Frontalansicht



#### C-5 Verprägung Seitenansicht



## C-6 Verprägung Draufsicht



**D     Ansichten finales Design**

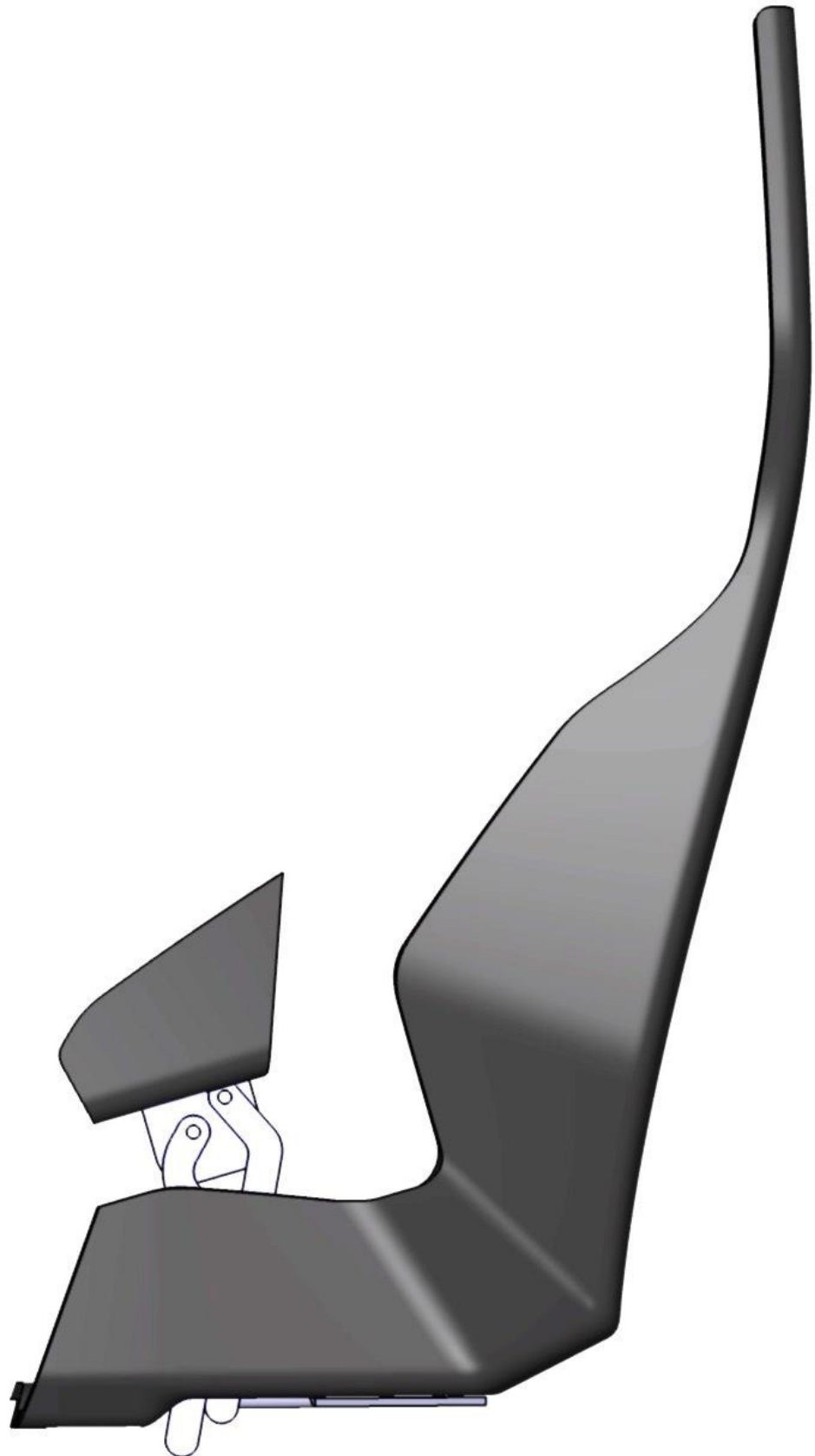
**D-1   Sitzschale Frontalansicht**



**D-2 Sitzschale Seitenansicht heruntergeklappt**



**D-3 Sitzschale Draufsicht hochgeklappt**





**D-4 Sitzschale isometrisch heruntergeklappt**



**D-5 Sitzschale isometrisch hochgeklappt**



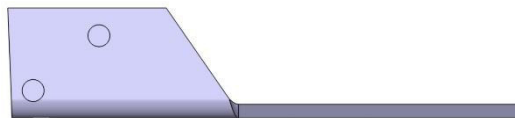
**E Einzelteile**

**E-1 Viergelenk Aufnahme Sitz**

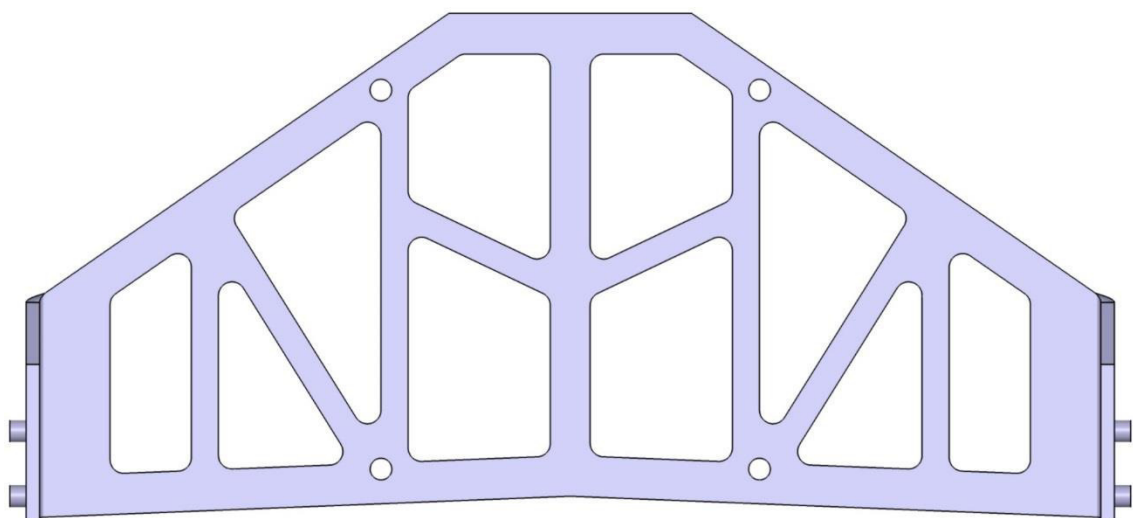
**E-1-1 Viergelenk Aufnahme Sitz Frontalansicht**



**E-1-2 Viergelenk Aufnahme Sitz Seitenansicht**

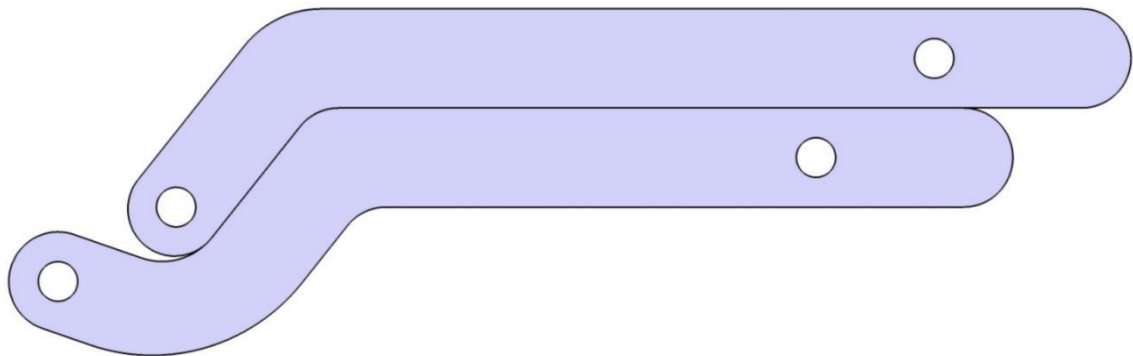


**E-1-3 Viergelenk Aufnahme Sitz Draufsicht**

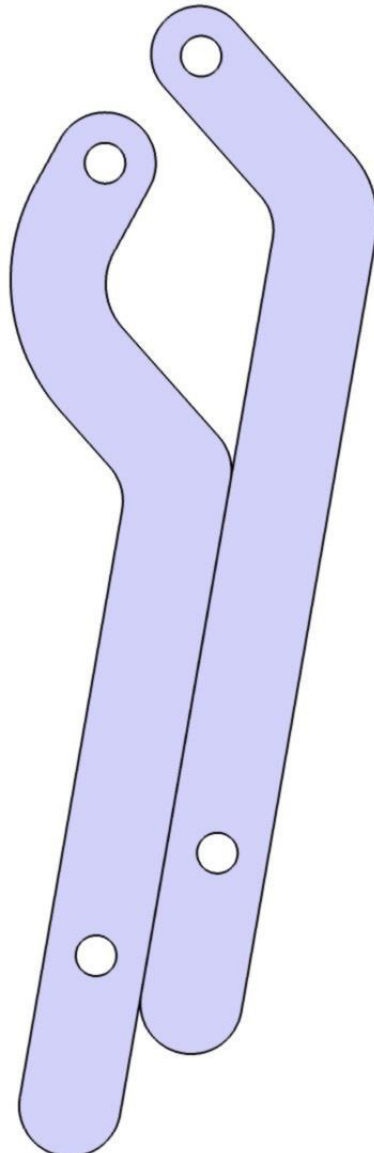


## E-2 Viergelenk Stangen

### E-2-1 Viergelenk Stangen heruntergeklappt



### E-2-2 Viergelenk Stangen hochgeklappt



### **E-2-3 obere Viergelenk Stange mit Bohrungen**

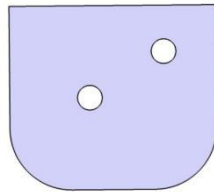


### **E-3 Viergelenk Aufnahme Klappteil**

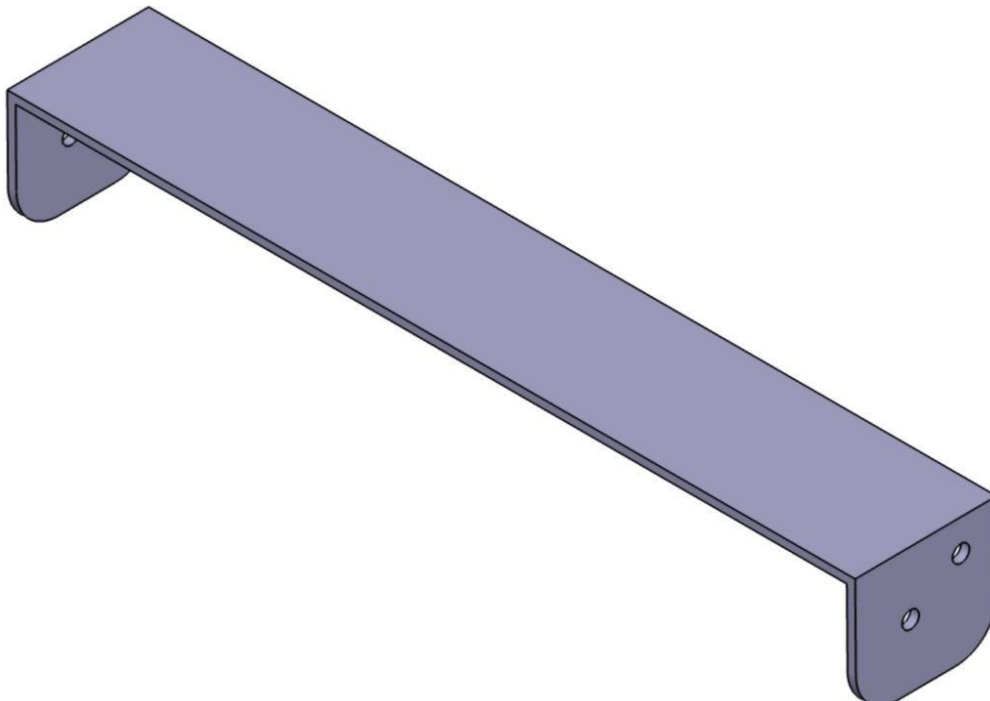
#### **E-3-1 Viergelenk Aufnahme Klappteil Frontalansicht**



#### **E-3-2 Viergelenk Aufnahme Klappteil Seitenansicht**



#### **E-3-3 Viergelenk Aufnahme Klappteil isometrische Ansicht**



## **E-4 Schale Klappteil**

### **E-4-1 Schale Klappteil Frontalansicht**



### **E-4-2 Schale Klappteil Seitenansicht**



### **E-4-3 Schale Klappteil Draufsicht**

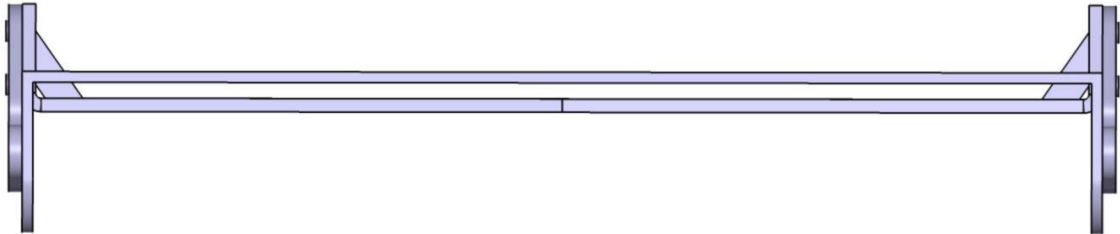


#### E-4-4 Schale Klappteil isometrische Ansicht

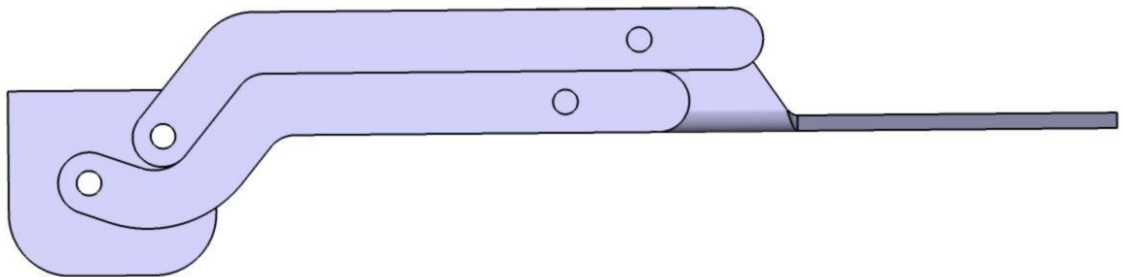


**F Zusammenbau Klappmechanismus**

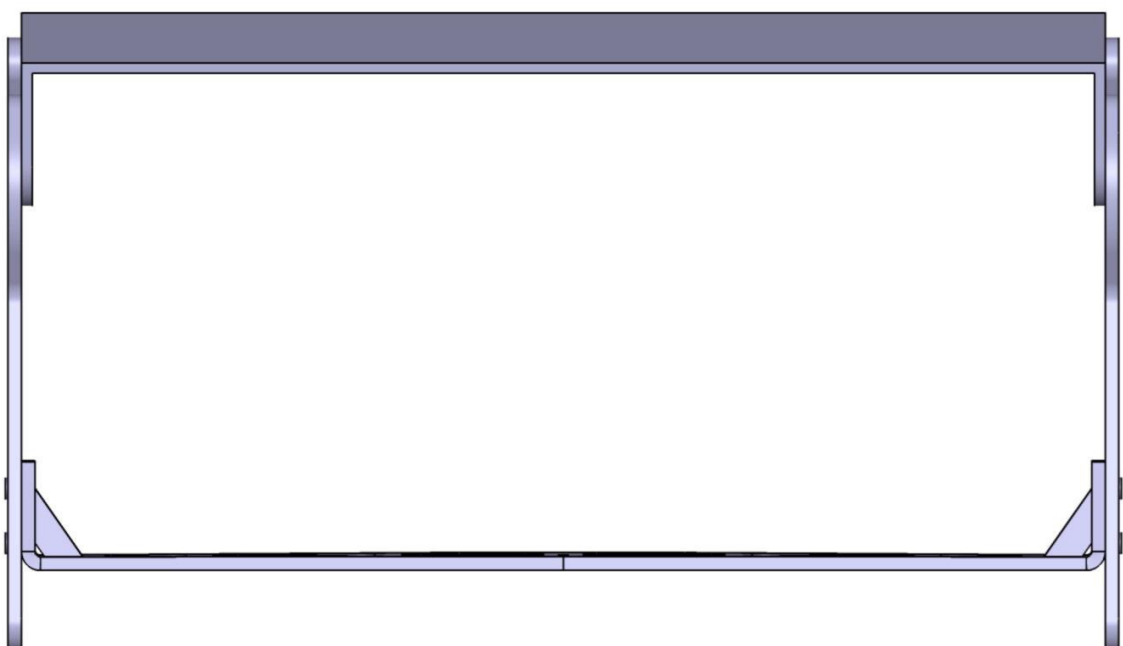
**F-1 Zusammenbau Klappmechanismus Frontalansicht  
heruntergeklappt**



**F-2 Zusammenbau Klappmechanismus Seitenansicht  
heruntergeklappt**

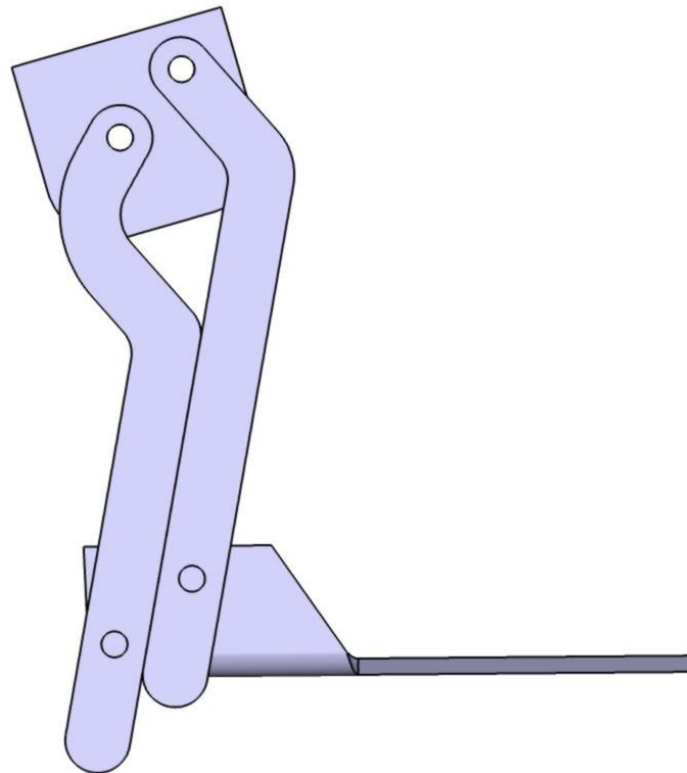


**F-3 Zusammenbau Klappmechanismus Frontalansicht  
hochgeklappt**



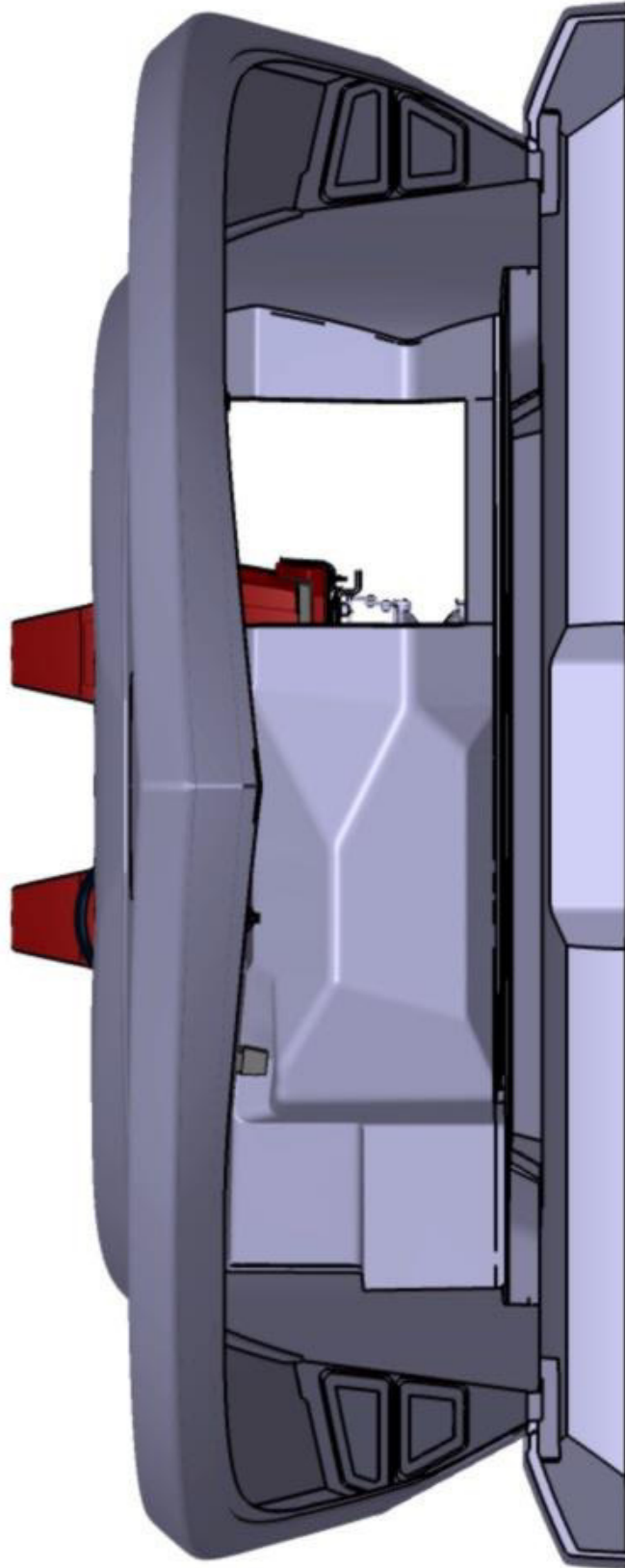


**F-4 Zusammenbau Klappmechanismus Seitenansicht  
hochgeklappt**

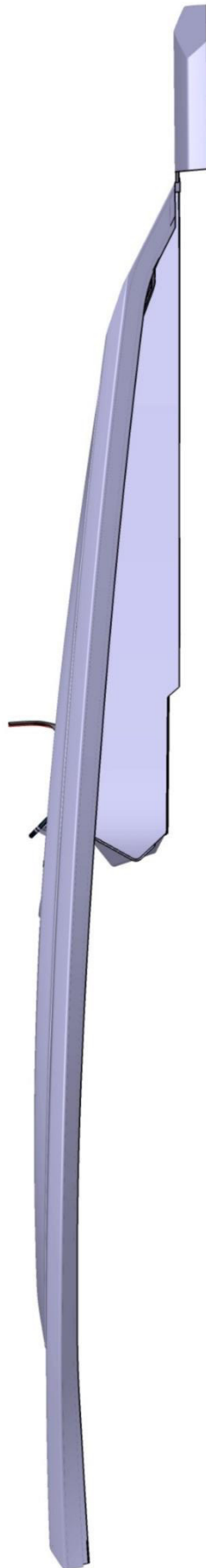


## G Positionierung

### G-1 Positionierung Frontalansicht



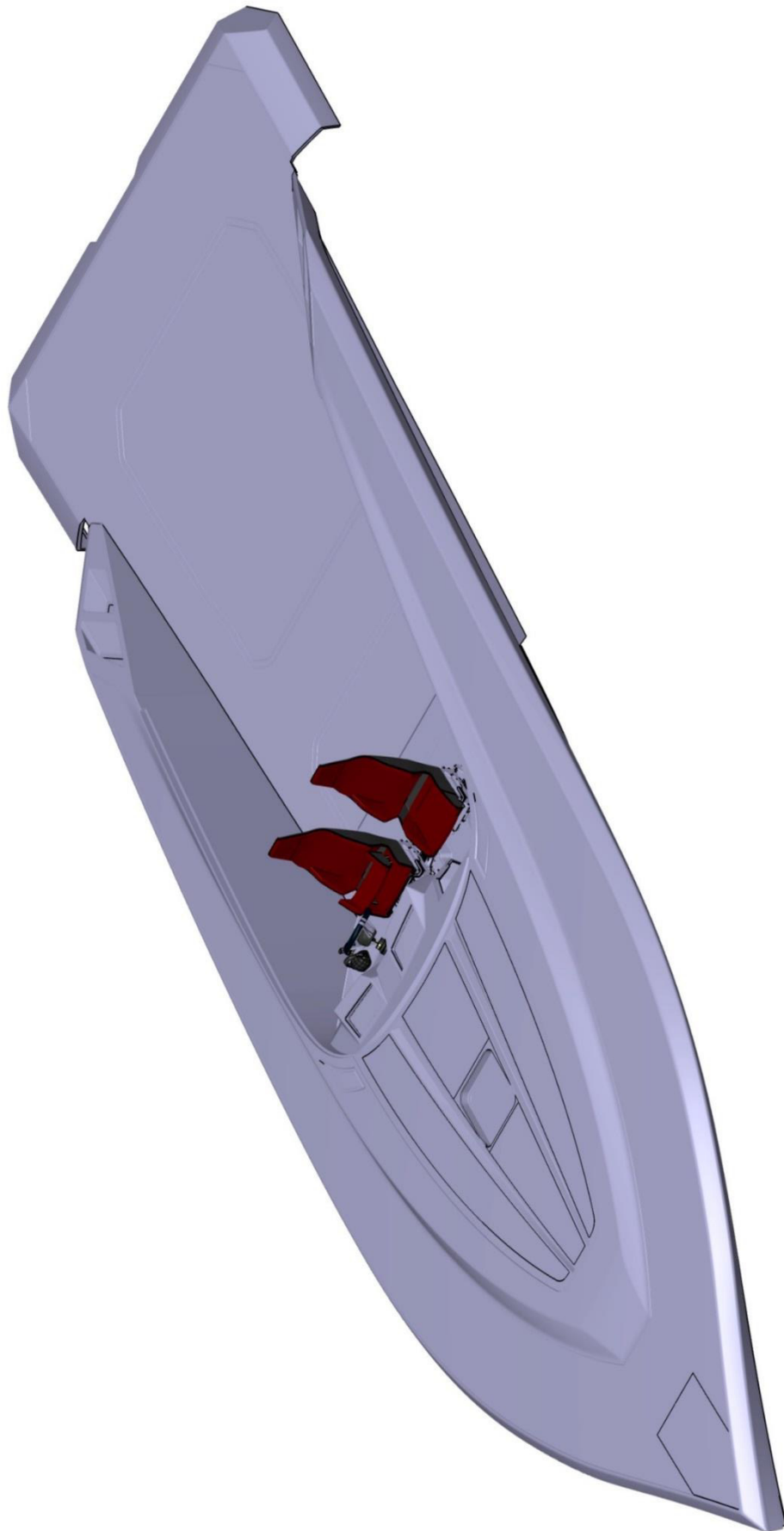
## G-2 Positionierung Seitenansicht



### G-3 Positionierung Draufansicht



## G-4 Positionierung isometrische Ansicht





## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Hädrich

Vorname: Sebastian

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Auslegung eines variablen Fahrersitzkonzeptes für den Sportbootbereich

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

*- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -*

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Hamburg

Ort

06.12.2019

Datum

