



Masterarbeit
2021



Masterarbeit
2021

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Arts“ im Studiengang Engineering Design

„Ecodesign einer Bedienarmlehne für Nutzfahrzeuge“

in Zusammenarbeit mit Elobau GmbH & Co. KG
und Fraunhofer UMSICHT

Eingereicht von:	Yuanwei Fang
Matrikelnr.:	20191047
Erstprüfer(in):	Prof. Jan Bäse
Zweitprüfer(in):	Dipl.-Des. Sabrina Schreiner
Aufgabestellung:	siehe Anlage
Bearbeitungszeit:	01.10.2020 - 01.04.2021
Bildungseinrichtung:	Hochschule Magdeburg-Stendal
Fachbereich:	Industriedesign



Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Textpassagen, die wörtlich oder dem Sinn nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Neustadt an der Weinstraße, 17.05.2021



Yuanwei Fang (Unterschrift)

Vorwort

Als Student des Industriedesigns im 21. Jahrhundert habe ich sowohl während meines Bachelorstudiums in China als auch während meines Masterstudiums in Deutschland mehr als einmal tief erlebt, dass moderne Designer sich nicht mehr auf das Erscheinungsbild von Produkten beschränken, sondern sich zunehmend auf das Nachdenken über Markt, Umwelt und Gesellschaft konzentrieren. Nachhaltigkeit ist ein wichtiges Thema für die ganze Menschheit, und es ist auch ein Thema, das mich sehr interessiert. In meiner Bachelorarbeit habe ich mich schon auf nachhaltige Entwicklung konzentriert und unter dem Gesichtspunkt der Nutzung und des Recyclings von Möbeln gearbeitet.

Das Thema meiner Masterarbeit ist „Ecodesign einer Bedienarmlehne für Nutzfahrzeuge“. Durch die Zusammenarbeit mit Fraunhofer UMSICHT und Elobau GmbH habe ich die

Möglichkeit, Produkte aus fertigungstechnischer Sicht nachhaltig zu gestalten. Für mich ist es von großer Bedeutung, das Konzept weiter zu realisieren und die Auswirkungen auf die Umwelt erheblicher zu reduzieren. Es wäre sinnvoll, wenn mein Design Beispiel andere inspirieren kann und die Methode in andere Produktdesigns angewendet werden kann.

Ich möchte mich noch einmal bei allen Mitarbeitern von Fraunhofer UMSICHT und Elobau bedanken. Während meiner Einarbeitung im Elobau haben sie mich durch verschiedene Abteilungen geführt, meine Fragen geduldig und sorgfältig beantwortet und mir konstruktive Kommentare und Vorschläge gegeben. Dies hat eine wichtige Rolle für mich gespielt, um das Projekt besser abzuschließen. Besonders Herr Brack hat sich in diesen zwei Wochen sehr um meine Arbeit

und mein Leben gekümmert.

Besonderer Dank geht an Professor Bäse von der Hochschule Magdeburg, Frau Schreiner, Forscherin vom Fraunhofer UMSICHT, und Gregor, Ingenieur aus Elobau, für die Betreuung dieser Arbeit.

Neustadt an der Weinstraße, 17. Mai 2021

Yuanwei Fang

Inhaltsverzeichnis

Hintergrund

_Nachhaltigkeit	12
_Ökodesign	16
_Fraunhofer UMSICHT	24
_ELOBAU	26
_Das Projekt	31

Recherche & Analyse

_225MA Midi	33
_Wege zu Nachhaltigkeit	36
_Case Study	44
_Brainstorming	47
_Designrichtung	56

Konzept

_Die Struktur	60
_Der Stahlträger	64
_Die Komponenten	67

01

02

03

Inhaltsverzeichnis

Design

_Die Ergonomie	69
_Die Formsprache	70
_Der Modellbau	72

04

Finaler Entwurf

_Designdetails	74
_Nachhaltigkeits Bewertung	80
_Prototypbau	85
_Zusammenfassung	86

05

Verzeichnis

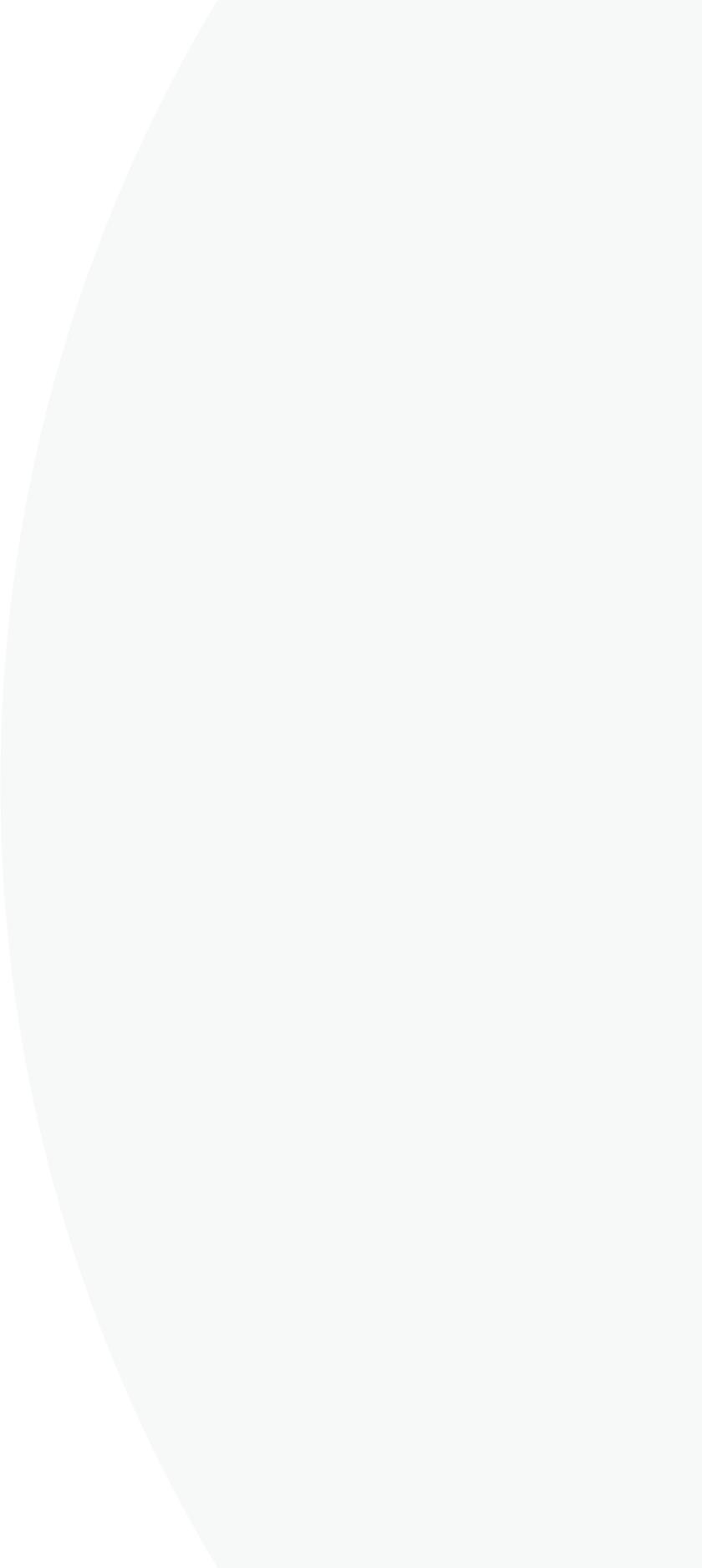
_Quellenverzeichnis &	89
Abbildungsverzeichnis	

06

Abstrakt

Seit der industriellen Revolution hat sich die Produktionsweise grundlegend verändert. In der Vergangenheit wurde Handwerk, das viel Zeit in Anspruch nahm, durch Montagelinien ersetzt. Während die Massenproduktion Komfort bringt, erhöht sie auch die Umweltbelastung. Die große Menge an Schadstoffen, die in der Fabrik produziert werden, und die große Menge an Abfällen, die durch die geplante Obsoleszenz des Herstellers entstehen, haben die Menschen gezwungen, über die Umweltprobleme nachzudenken, die durch die Industrialisierung verursacht werden.

Das Projekt führte eine eingehende Untersuchung des nachhaltigen Designs des Produkts aus Sicht des Produktherstellers durch. Durch das Aufbrechen der bestehenden Produktform wurde das Musterprodukt komplett neu gestaltet. In diesem Prozess wurden wertvolle Erfahrungen und Methoden gesammelt und in diesem Dokument detailliert festgehalten.



_01

HINTERGRUND

_Nachhaltigkeit

_Ecodesign

_Fraunhofer UMSICHT

_ELOBAU

_Das Projekt

NACHHALTIGE ENTWICKLUNG

Was ist nachhaltige Entwicklung ?

Nachhaltigkeit ist ein Handlungsprinzip zur Ressourcen-Nutzung, bei dem eine dauerhafte Bedürfnisbefriedigung durch die Bewahrung der natürlichen Regenerationsfähigkeit der beteiligten Systeme (vor allem von Lebewesen und Ökosystemen) gewährleistet werden soll. [1]

Die 1983 von den Vereinten Nationen eingesetzte Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Brundtland-Kommission) hatte den Auftrag, langfristige Perspektiven für eine Entwicklungspolitik aufzuzeigen, die zugleich umweltschonend ist. In ihrem auch als Brundtland-Bericht bekannt gewordenen Abschlussdokument „Unsere gemeinsame Zukunft“ aus dem Jahre 1987 ist das Konzept “nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development)” definiert:

“Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.” [2]

(„die Lebenssituation der heutigen Generationen zu verbessern, ohne die Zukunftsperspektiven der kommenden Generationen zu verschlechtern.“) [3]

Nachhaltige Entwicklung umfasst hauptsächlich die folgenden drei Aspekte (bekannt als "Triple Bottom Line"). Diese drei Bereiche der Nachhaltigkeit stehen miteinander in Wechselwirkung und bedürfen langfristig einer ausgewogenen Koordination. [4]

Ökologische Nachhaltigkeit

Sie orientiert sich am stärksten am ursprünglichen Gedanken, keinen Raubbau an der Natur zu betreiben. Ökologisch nachhaltig wäre eine Lebensweise, die die natürlichen Lebensgrundlagen nur in dem Maße beansprucht, wie diese sich regenerieren.

Ökonomische Nachhaltigkeit

Eine Gesellschaft sollte wirtschaftlich nicht über ihre Verhältnisse leben, da dies zwangsläufig zu Einbußen der nachkommenden Generationen führen würde. Allgemein gilt eine Wirtschaftsweise dann als nachhaltig, wenn sie dauerhaft betrieben werden kann.

Soziale Nachhaltigkeit

Ein Staat oder eine Gesellschaft sollte so organisiert sein, dass sich die sozialen Spannungen in Grenzen halten und Konflikte nicht eskalieren, sondern auf friedlichem und zivilem Wege ausgetragen werden können.



[5] Abb.1: Drei-Säulen-Modell (Nachhaltigkeit)

Warum nachhaltige Entwicklung?

Im Dezember 1983 gründeten die Vereinten Nationen die „Weltkommission für Umwelt und Entwicklung“ unter dem Vorsitz von Frau Brundtland, Ministerpräsidentin von Norwegen. Ziel ist es, die Probleme der Welt und die Strategien, die angenommen werden sollten, zu untersuchen und zu diskutieren. 1987 veröffentlichte die „Weltkommission für Umwelt und



THE WORLD COMMISSION
ON ENVIRONMENT
AND DEVELOPMENT

[6] Abb.2: „Unsere gemeinsame Zukunft“

Entwicklung“ (WCED) einen die Welt betreffenden Bericht mit dem Titel „Unsere gemeinsame Zukunft“, der in „gemeinsame Probleme“, „gemeinsame Herausforderungen“ und „gemeinsame Anstrengungen“ unterteilt war. Der Bericht konzentriert sich auf die Analyse der Weltbevölkerung, der Lebensmittel, Arten und genetischen Ressourcen, der Energie, der Industrie und der menschlichen Siedlungen und untersucht systematisch eine Reihe wichtiger wirtschaftlicher, sozialer und

ökologischer Probleme, mit denen Menschen auf der ganzen Welt konfrontiert sind.

Auf dieser Grundlage wird in dem Bericht das Konzept der „nachhaltigen Entwicklung“ vorgestellt. In dem Bericht wurde zutiefst darauf hingewiesen, dass wir in der Vergangenheit über die Auswirkungen der wirtschaftlichen Entwicklung auf die ökologische Umwelt besorgt waren, aber jetzt spüren wir „eifrig die erheblichen Auswirkungen des ökologischen Drucks auf die wirtschaftliche Entwicklung“. Daher brauchen wir neue Entwicklungsstrategien, die nicht nur den menschlichen Fortschritt in einigen Jahren und an mehreren Orten unterstützen, sondern auch den globalen menschlichen Fortschritt in ferner Zukunft unterstützen können. Diese unverwechselbare und innovative wissenschaftliche Sichtweise hat die Menschen von einer einzigen Denkweise, die den Umweltschutz berücksichtigt, zu einer praktischen



[7] Abb.3: Industrielle Verschmutzung in Indien

Kombination aus Umweltschutz und menschlicher Entwicklung gebracht und einen wichtigen Sprung im menschlichen Denken über Umwelt und Entwicklung erreicht.

Wie tragen Produktdesigner zu einer nachhaltigen Entwicklung bei?

Wie bereits erwähnt, sind die ständig wachsende Bevölkerung, die entsprechenden Produktionsaktivitäten und die wirtschaftliche Entwicklung die großen Herausforderungen für das ökologische Umfeld, von dem die Menschheit abhängt. Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen diesen drei Faktoren und die wirksame Kombination von Umweltschutz und menschlicher Entwicklung ist ein wichtiges Thema für eine nachhaltige Entwicklung.

Als umweltbewusster Industriedesigner, der eng mit der Fertigungsindustrie verbunden ist, reicht es nicht aus, sich auf die wirtschaftlichen Vorteile zu konzentrieren, die Produkte schaffen können. In der Phase des Produktdesigns sowie der Forschungs- und Entwicklungsphase müssen Umweltaspekte aus Sicht des gesamten Produktlebenszyklus berücksichtigt

werden, um die Auswirkungen des Produkts auf die Umwelt während des gesamten Lebensprozesses (von der Produktion bis zur Entsorgung) zu minimieren.

Dieses Projekt wird auch den Prinzipien des Produktlebenszyklus folgen und ein Produkt neu gestalten, um die Auswirkungen solcher Produkte auf die Umwelt zu verringern. In tatsächlichen Situationen kann nachhaltiges Design auf viele praktische Probleme stoßen. Ich hoffe, die Erfahrungen und Regeln daraus zusammenzufassen, damit andere Designer und Unternehmen, die eine nachhaltige Transformation wünschen, darauf zurückgreifen können.

DESIGN
FÜR
NACHHALTIGKEIT

Was ist Ökodesign?

Öko- oder auch Eco-Design bedeutet im hier verwendeten produktbezogenen Sinn die systematische Integration von umweltrelevanten Ansprüchen an das Produkt in das Produktdesign. [8]

Ökodesign beschreibt die systematische Vorgehensweise, möglichst frühzeitig ökologische Aspekte in den Produktplanungsprozess, Produktentwicklungsprozess und Produktgestaltungsprozess einzubringen. Das heißt, die klassischen Kriterien der Produktentwicklung wie zum Beispiel Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Zuverlässigkeit werden um die Anforderung „Umwelt“ erweitert. Ziel ist es, Produkte zu entwickeln, die bei optimaler Funktion ein Minimum an Ressourcen und Energie benötigen und keine oder nur die zur Funktionsfähigkeit unabdingbar erforderlichen Schadstoffe enthalten. Darüber hinaus sind Emissionen und Abfallaufkommen zu minimieren. Die Anforderungen gelten für

den gesamten Produktlebenszyklus (Life Cycle Thinking). Dies lohnt sich für die Umwelt, denn bis zu 80 Prozent der Umweltauswirkungen eines Produkts sind durch dessen Design vorbestimmt. [9]

“Ecological design or ecodesign is an approach to designing products with special consideration for the environmental impacts of the product during its whole lifecycle.” [10]

(„Ökologisches Design oder Ökodesign ist ein Ansatz zum Entwerfen von Produkten unter besonderer Berücksichtigung der Umweltauswirkungen des Produkts während seines gesamten Lebenszyklus.“)

ECODESIGN

"Etwa 80 Prozent aller Umweltbelastungen, die ein Produkt im Laufe seines Lebensweges verursacht, werden bereits in der Produktentwicklung angelegt" [11]



Produktlebensphase

- Produktentwicklung
- Fertigung
- Transport
- Nutzung
- End of Life

80%
DESIGN
&
UMWELT

Warum Ökodesign?

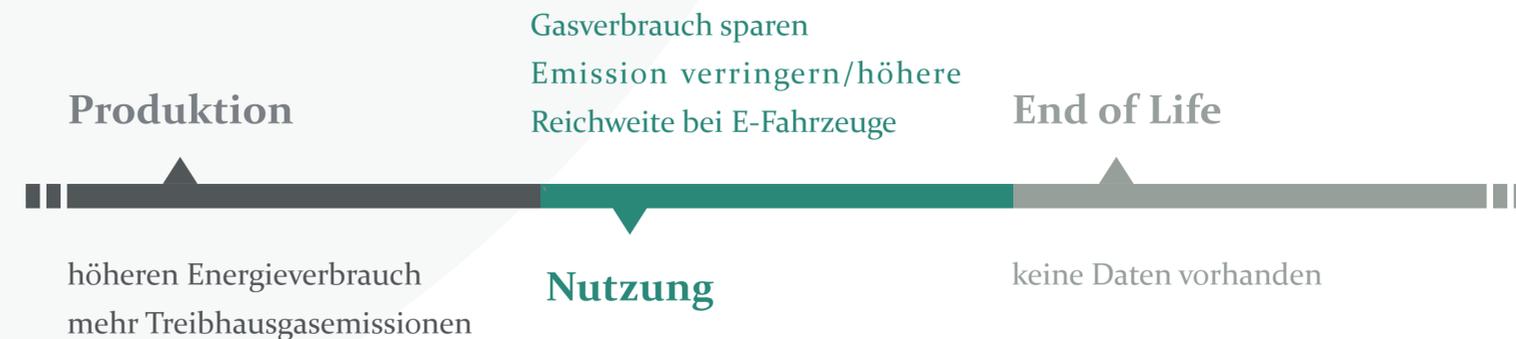
Mit der Entwicklung der Gesellschaft müssen wir uns dieser Realität stellen: Die Umwelt, in der wir leben, wird von uns selbst zerstört. Das Ozonloch, der Klimawandel, die Luftverschmutzung, die Energieknappheit und andere Probleme zeigen allmählich Bedrohungen für das Überleben des Menschen. Gleichzeitig wächst die Bevölkerung weiter: 2030 werden 8,55 Mrd. und bis 2050 9,77 Mrd. Menschen auf der Erde leben (vgl. Statista 2018). Verbunden damit ist - gerade auch in den notwendigen lebenden Ländern - ein noch nie gesehenes Wachstum einer globalen Konsumenten- / Konsumentinnenklasse, der bis 2050 nach einer ungefähren 3 Milliarden Menschen angehört werden. (Transition Design Guide s.10)

Diese grundlegende Tatsache macht es uns zunehmend unmöglich, die enormen Auswirkungen industrieller Produktionsaktivitäten auf die Umwelt zu ignorieren. Der

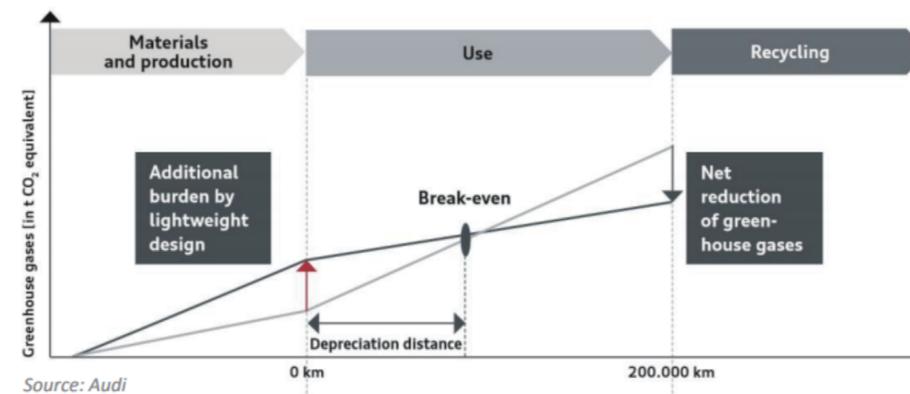
Konsumismus in der modernen Gesellschaft ist weit verbreitet. Der Mensch kauft, verwendet und entsorgt täglich eine große Anzahl von Produkten.

Etwa 80 Prozent aller Umweltbelastungen, die ein Produkt im Laufe seines Lebensweges verursacht, werden bereits in der Produktentwicklung angelegt. Dabei sind bei vielen Produkten die Umweltbelastungen, die sie während ihrer Nutzungsphase verursachen, deutlich höher als diejenigen, die aus ihrer Entstehung resultieren (Caduff, 1999, S. 55). Im Grünbuch der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zur „Integrierten Produktpolitik“ wird in Reaktion auf dieses Phänomen ein „neues Wachstumsparadigma auf der Grundlage umweltfreundlicherer Produkte“ gefordert (EU-Kommission, 2001, S. 3). Ein Schwerpunkt dieses Konzepts bezieht sich auf das „Öko-Design“ von Produkten. [12]

In diesem BMW-Beispiel werden carbonfaserverstärkter kunststoff verwendet, um ein leichtere Autos zu entwickeln. Im Vergleich zu herkömmlichen Metallen werden mehr Treibhausgase emittiert und mehr Energie verbraucht, um dieses Material zu extrahieren und zu verarbeiten. Der Leichtbau des Autos bietet jedoch viele Vorteile. Die CO₂-Emission wird dadurch verringert und die Kraftstoffeffizienz wird verbessert. Aus Sicht der Ökobilanz werden die negativen Auswirkungen dieses neuen Materials auf die Umwelt während der Lebensdauer des Fahrzeugs allmählich ausgeglichen. Da die Daten hier jedoch nicht die Recyclingphase enthalten, können wir nicht mit Sicherheit sagen, dass die Verwendung von carbonfaserverstärktem Kunststoff eine umweltfreundlichere Option ist. Im Allgemeinen ist die Auswahl jedes Materials, Prozesses und jeder Struktur in der Realität zweiseitig. Es gibt kein absolut ideales Umweltschutzmaterial und -verfahren, nur das für diese Situation am besten geeignete. Industriedesigner müssen daher aus Sicht des gesamten Produktlebenszyklus die optimale Lösung für nachhaltiges Design finden.



LCA of different vehicle concepts



- Life-cycle tradeoffs related to a switch to composites
- Negative impact in production and end of life (if not recycled)
- Mainly in use phase lower weights lead to fuel savings
- Breakeven point in automotive can vary between 132,000 – 180,000 km for CFRP versus steel depending on the application
- In aerospace the breakeven point can already realised after 70,000 km due to the significant weight reduction for CFRP vs aluminium

Grundlegende Strategien von Ökodesign

Im Allgemeinen beginnt nachhaltiges

Design mit drei Strategien:

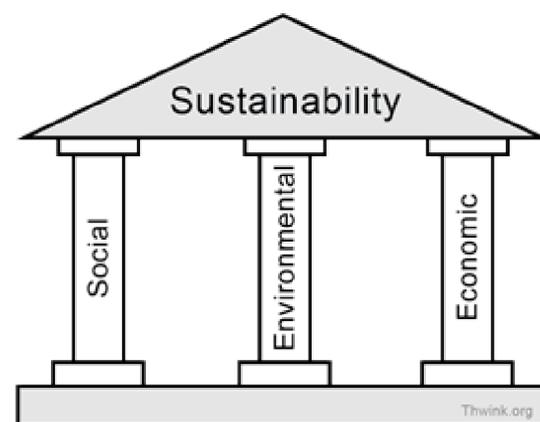
Effizienz

Konsistenz

Suffizienz

Es gibt keinen einzigen Ausgangspunkt für diese Drei-Säulen-Konzeption, sondern es handelt sich eher um eine allmähliche Entstehung. [15]

Hier zitiere ich die Definition des Evolution2Green-Projekts: [16]



[17] Abb.6: Three pillars of sustainability

Effizienz

Die Effizienz-Strategie zielt darauf ab, eine ökonomische Leistung mit geringstmöglichem Einsatz an Material und Energie zu erstellen, in dem das Input-Output-Verhältnis verbessert wird. Konkret bedeutet dies eine Steigerung der Material-, Rohstoff- und Energieeffizienz. Der Effekt besteht in einer relativen Senkung des Ressourcenverbrauchs. Ansätze liegen in der Verbesserung der Technik, der Prozesse und der Produkte.

Konsistenz

Konsistenz bedeutet die umweltverträgliche Beschaffenheit von Stoffströmen. Konsistente Stoffströme sind solche, „die entweder weitgehend störsicher im abgeschlossenen technischen Eigenkreislauf geführt werden, oder aber mit den Stoffwechselprozessen der umgebenden Natur so übereinstimmen, dass sie sich, auch in großen Volumina, relativ problemlos darin einfügen“ (Huber 1999, 81). Konsistenz steht also für eine „metabolisch naturintegrierte industrielle Ökologie“. Damit zielt diese Strategie auf eine Veränderung der „Qualität“ der Energie- und Stoffströme ab. Alternativ wird auch der Begriff „Öko-Effektivität“ genutzt.

Suffizienz

Unter Suffizienz, hier: „Öko-Suffizienz“ verstehen wir „Änderungen in Konsummustern, die helfen, innerhalb der ökologischen Tragfähigkeit der Erde zu bleiben, wobei sich Nutzenaspekte des Konsums ändern“ (Heyen et al. 2013: 7). Darunter werden diejenigen Schritte, Maßnahmen, Instrumente und Strategien von Individuen und Organisationen gefasst, mit denen Ressourcen durch Verhaltensveränderungen eingespart werden können, die mit der Absicht erfolgen, Energie und Rohstoffe anders zu nutzen und von ihnen weniger zu verbrauchen als bisher. „Eine Ressourcen schonende Lebensweise ist also das Ziel der Öko-Suffizienz.“ (Linz 2012: 75)

Die Ansätze für Ökodesign

Eine Lebenszyklusanalyse (auch bekannt als Umweltbilanz, Ökobilanz oder englisch life cycle assessment bzw. LCA) ist eine systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten während des gesamten Lebensweges („from cradle to grave“, „von der Wiege bis zur Bahre“). [18]

Eine vollständige Ökobilanz erfordert die Unterstützung einer großen Datenmenge. Von der Rohstoffgewinnung bis zum Ende der Lebensdauer des Produkts werden die Auswirkungen jeder Lebensphase des Produkts auf die Umwelt bewertet und quantifiziert. Dies bedeutet, dass eine vollständige Ökobilanz normalerweise nur für vorhandene Produkte implementiert werden kann. Laut einer Umfrage aus dem Jahr 2006 wurden LCA-Prak-

tiken zur Unterstützung der Geschäftsstrategie und der Forschung und Entwicklung eingesetzt (jeweils 18% der gesamten befragten Anwendungen). Weitere Verwendungszwecke waren LCA als Input für das Produkt- oder Prozessdesign (15%), die Verwendung in der Bildung (13%) und zur Kennzeichnung oder Produktdeklaration (11%). [19]

Es ist ersichtlich, dass die Ökobilanz viel Energie und Zeit kostet. Eine vollständige Ökobilanz ist in der frühen Entwurfsphase oft schwierig zu implementieren. Daher erschien die SLCA, eine vereinfachte Ökobilanz. Durch die Vereinfachung des Produktlebenszyklus in mehrere grobe Phasen und die Verwendung der vorhandenen Datenbank zur Bewertung jeder Phase erhalten wir dennoch schnell einige aufschlussreiche Informationen und Tipps für das Ökodesign.

LCA: Life Cycle Assessment

LCA erfordert detaillierte Produktentwicklungsdaten, die in der frühen konzeptionellen Phase möglicherweise nicht verfügbar sind.

SLCA: Vereinfachte LCA

etwas schnellere und anschauliche LCA-Methode.

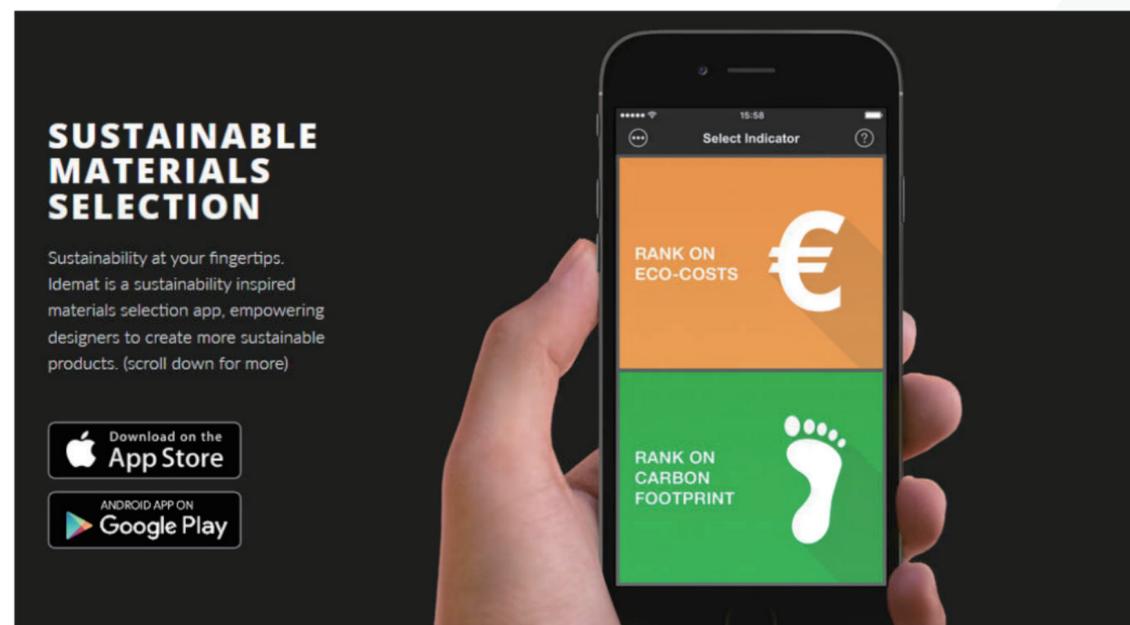


[20] Abb.7: Ecolizer: Webversionen von SLCA

Datenbanken

Die Datenbank ist auch ein praktisches Werkzeug, um Designern zu helfen, umweltfreundliche Entscheidungen in der frühen Phase des Ökodesigns zu treffen.

Mithilfe der Datenbank können Designer die Umweltauswirkungen von Produkten grob abschätzen, geeignetere Materialien und Produktionsmethoden auswählen, SLCA einrichten, Konzepte vergleichen, Produkte optimieren usw..



[21] Abb.8: Idemat: Materialdatenbank basierend auf LCA-Daten

Grundsätze und Richtlinien

Die Ökobilanz erfordert detaillierte Produktentwicklungsdaten, die in der frühen konzeptionellen Phase des Produktdesigns möglicherweise nicht verfügbar sind. In der tatsächlichen Arbeit können Designer und Unternehmen nicht immer die Unterstützung von Umweltwissenschaftlern erhalten, und sie verfügen auch nicht über ausreichende Kapazitäten, um eine Ökobilanz einzurichten. Um diese Schwierigkeit zu überwinden, werden Prinzipien und Richtlinien für das Ökodesign erstellt, um Designern zu helfen, die Umweltauswirkungen von Produkten zu verbessern, indem sie frühzeitig bessere Designentscheidungen treffen.*

Als nächstes folgen einige Beispiele zu den Grundsätzen von Ecodesign:

- Die 12 Prinzipien des Green Engineering
- Öko-Indikator 99 Handbuch für Designer

The 12 Principles of Green Engineering

- Principle 1:** Designers need to strive to ensure that all material and energy inputs and outputs are as inherently nonhazardous as possible.
- Principle 2:** It is better to prevent waste than to treat or clean up waste after it is formed.
- Principle 3:** Separation and purification operations should be designed to minimize energy consumption and materials use.
- Principle 4:** Products, processes, and systems should be designed to maximize mass, energy, space, and time efficiency.
- Principle 5:** Products, processes, and systems should be "output pulled" rather than "input pushed" through the use of energy and materials.
- Principle 6:** Embedded entropy and complexity must be viewed as an investment when making design choices on recycle, reuse, or beneficial disposition.
- Principle 7:** Targeted durability, not immortality, should be a design goal.
- Principle 8:** Design for unnecessary capacity or capability (e.g., "one size fits all") solutions should be considered a design flaw.
- Principle 9:** Material diversity in multicomponent products should be minimized to promote disassembly and value retention.
- Principle 10:** Design of products, processes, and systems must include integration and interconnectivity with available energy and materials flows.
- Principle 11:** Products, processes, and systems should be designed for performance in a commercial "afterlife".
- Principle 12:** Material and energy inputs should be renewable rather than depleting.

[22] Abb.9: The 12 Principles of Green Engineering

- Anleitung zur Auswahl des Öko-Design-Tools
- Design für Anpassungsfähigkeit (DfAD)
- Analyse und Optimierung des Produktlebenszyklus

Referenzieren

In der frühen Phase der Ideengenerierung müssen wir häufig Referenzen verwenden, um Durchbrüche im Design zu finden. Entsprechende Tools wie [EcoDesign Checkliste](#), [Ecodesign-Matrix](#), [Das ECO DESIGN TOOL](#) usw. führen die möglichen Aspekte eines nachhaltigen Designs so weit wie möglich auf. Sie helfen vor allem bei der Generierung von Ideen möglichst alle wesentlichen Aspekte entlang des Produktlebenszyklus zu prüfen. Diese Methoden liefern Gedankenanstöße und Impulse, sie eignen sich recht gut für die Ideenfindungsphase.

Auflisten

Eine [MET-Matrix](#) (Materialien, Energie und Toxizität) ist ein Analysewerkzeug, mit dem verschiedene Umweltauswirkungen eines Produkts über seinen Lebenszyklus bewertet werden. Das Tool

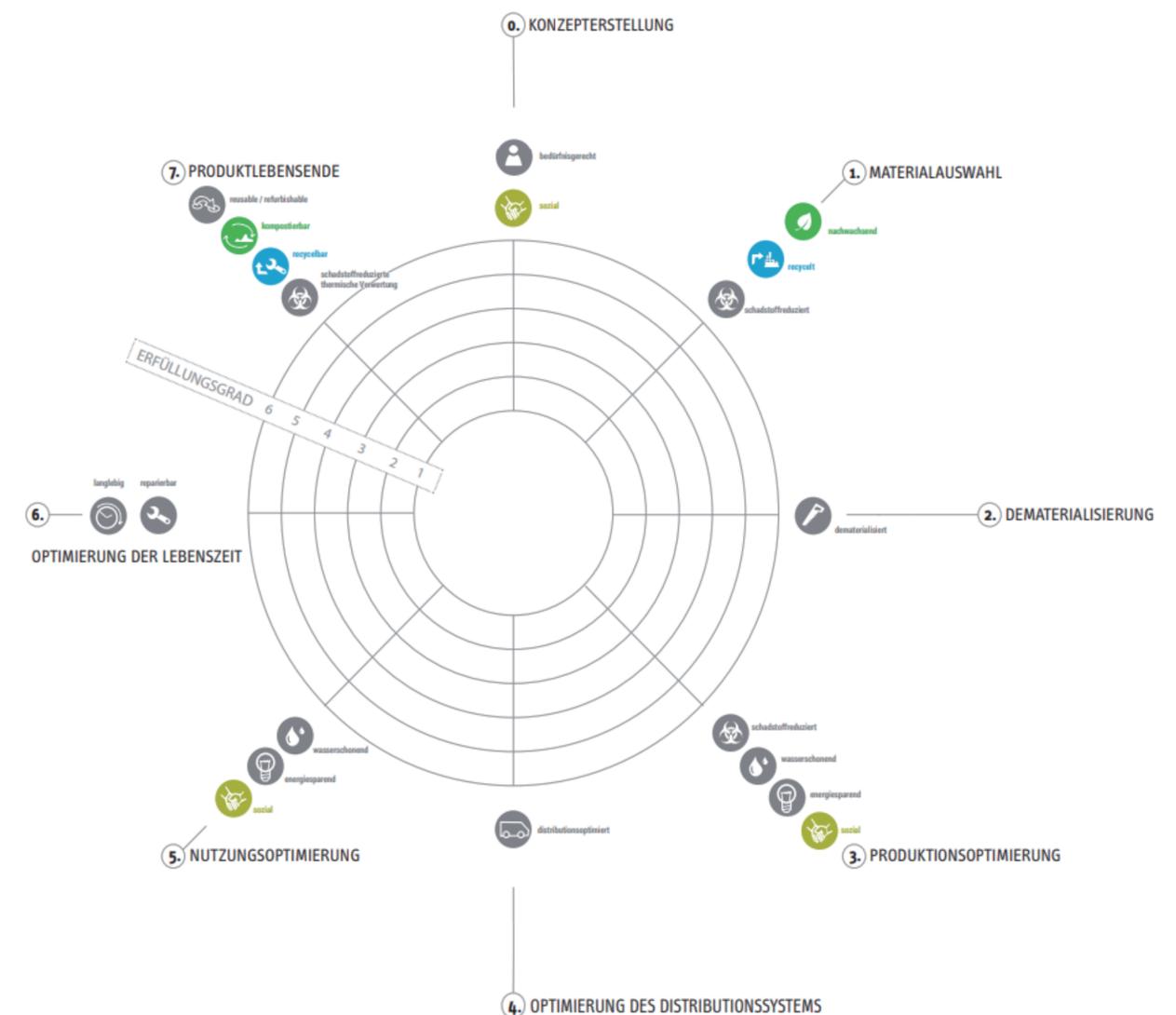
hat die Form einer 3x3-Matrix. In jeder Zelle können Benutzer Fakten zum Produkt auflisten. Eine Dimension der Matrix untersucht Umweltbedenken in Bezug auf den Materialverbrauch, den Energieverbrauch und die Toxizität des Produkts. Die andere Dimension betrachtet den Lebenszyklus des Produkts während seiner Produktions-, Verwendungs- und Entsorgungsphase.

Bewerten & Vergleichen

Die Bewertungsmethode wird normalerweise im Produktentwicklungsprozess oder im Redesign-Prozess verwendet. Die Bewertung von Produkten anhand des gesamten Produktlebenszyklus hilft uns, die Schwächen des Produkts in Bezug auf Nachhaltigkeit zu ermitteln, um Inspiration für Ökodesign zu bekommen.

Tools wie [das EcoDesign Strategy Wheel](#) können uns nicht nur dabei helfen, die Umweltfreundlich-

keit des Produkts zu bewerten, sondern auch die Vor- und Nachteile von Produkten und den Vergleich zwischen Konzepten visuell darstellen.

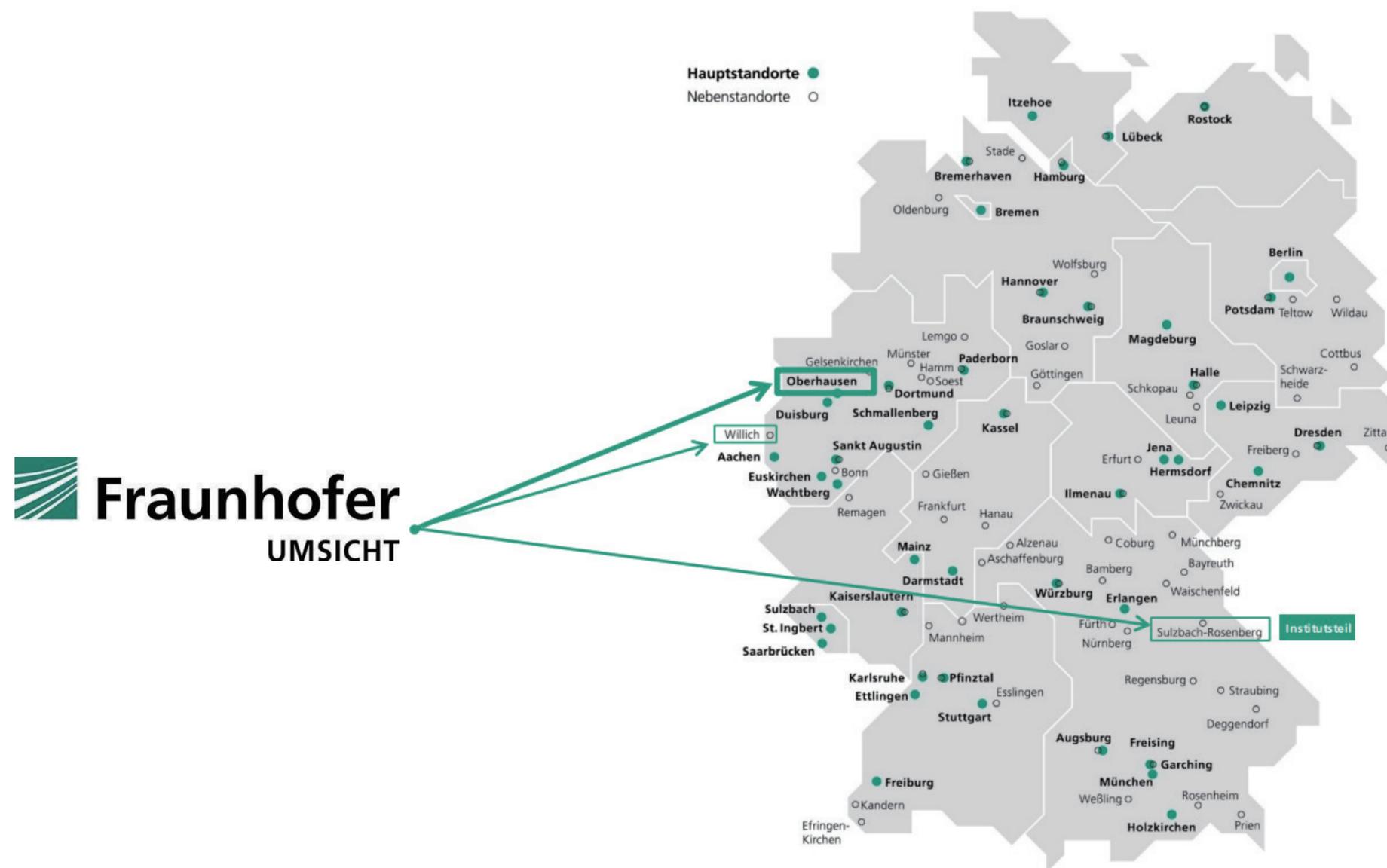


[23] Abb.10: ECODSIGN STRATEGY WHEEL

Fraunhofer UMSICHT

Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, ist Wegbereiter einer nachhaltigen Energie- und Rohstoffwirtschaft durch Bereitstellung und Transfer wissenschaftlicher Ergebnisse in Unternehmen, Gesellschaft und Politik. Das engagierte UMSICHT-Team erforscht und entwickelt gemeinsam mit Partnern nachhaltige Produkte, Prozesse und Dienstleistungen, die begeistern.

Das Fraunhofer UMSICHT wurde im Juni 1990 mit ideeller Unterstützung der Stadt Oberhausen und der ortsansässigen Industrie als gemeinnützige technisch-wissenschaftliche Einrichtung gegründet. Der Institutskomplex am Standort Oberhausen umfasst fünf Gebäude mit Büroflächen, Rechenzentrum, Bibliothek und einem repräsentativen Veranstaltungsraum. Werkstätten und Technika (3100 m²) sowie Laboratorien (1400 m²) bilden die technische Infrastruktur. [24]



[25] Abb.11: Die Fraunhofer-Gesellschaft | 72 Institute

Nachhaltigkeit und Partizipation

Grundlagenstrategischer Entscheidungen für nachhaltiges Handeln

Nachhaltigkeit und Klimaschutz sind zu strategischen Zielen heutiger Unternehmenspolitik geworden. Für langfristigen Erfolg müssen Unternehmen Verantwortung gegenüber Umwelt und Gesellschaft übernehmen und ihr Engagement

transparent dokumentieren und kommunizieren.

Wir führen Ökobilanzen (Life Cycle Assessments (LCA)) und Critical Reviews nach ISO 14040/44 für Produkte und Dienstleistungen durch. Mit den Ergebnissen liefern wir strategische Entscheidungsgrundlagen für

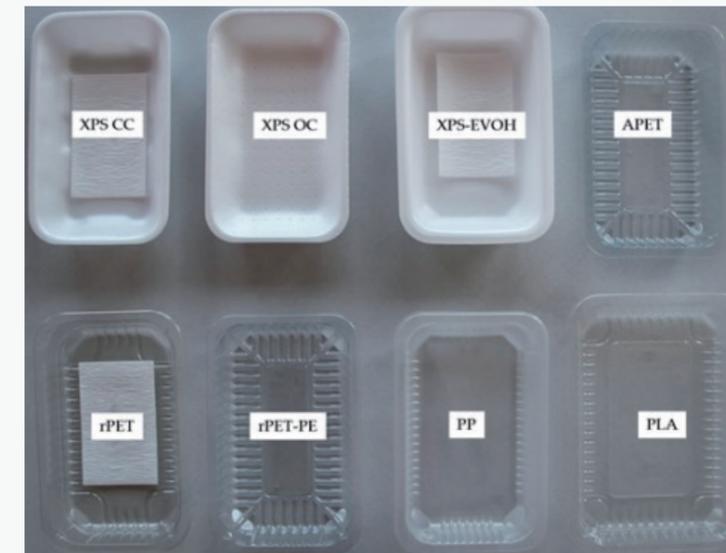
nachhaltiges Handeln. Unser Expertenteam bringt langjährige Erfahrung in ökologischer Bewertung von Produkten und Dienstleistungen mit. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Branchen Chemie, Kunststoffe und Green IT sowie der Kreislaufwirtschaft.



[26] Abb.12: Mock-Up „Multimodaler Kindersitz“



[27] Abb.13: Mock-Up „Mehrwegversandbox“



[28] Abb.14: Ökologischer Vergleich von Fleischverpackungen

Als expandierendes, weltweit agierendes Stiftungsunternehmen mit über 950 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern entwickeln und fertigen Elobau Sensorik und Bediensysteme für den Maschinenbau und die Nutzfahrzeugbranche. Ihre Qualitätsprodukte zeichnen sich durch eine sehr hohe Fertigungstiefe aus und werden klimaneutral in Deutschland gefertigt. Mit innovativen, berührungslosen Sensorik-Produkten unterstützen Elobau ihre Kunden weltweit dabei, Maschinen und Fahrzeuge zu bauen, die hinsichtlich Leistung, Bedienkomfort, Sicherheit und Qualität Maßstäbe setzen. [31]

<https://www.elobau.com/de/>

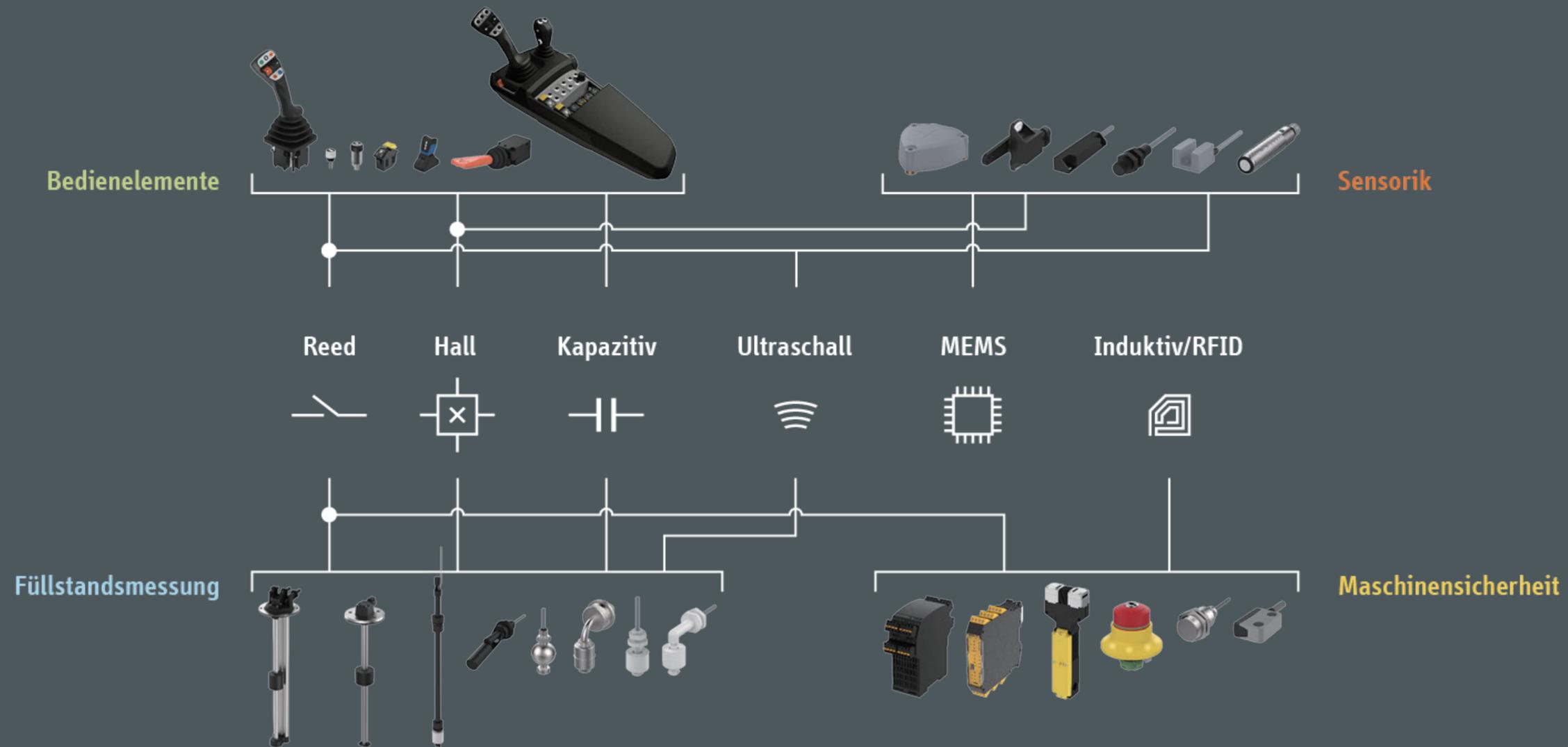


[29] Abb.15: Elobau Bedienelemente

[30] Abb.16: Elobau Bedienelemente



*creating
sustainable
solutions*



[32] Abb.17: elobau Basistechnologie

elobau – der nachhaltige Weg

IV.

_oi Hintergrund

_Elobau

30

2009

- Erstellung eines Masterplans mit dem Ziel der CO₂ Reduktion
- Entwicklung einer Klimabilanz

2011

- elobau wird Partner im Visionswald in Costa Rica
- Umzug zu einem nachhaltigen Kreditinstitut

2013

- Erstes Jahr mit bilanziellem Stromüberschuss
- Zertifizierung nach ISO 50001 (Energiemanagement)
- Energie-Plus-Neubau gewinnt Auszeichnung für ökologisch richtungsweisendes Bauen von Gewerbeimmobilien

2010

- Bezug von 100 % Grünstrom
- Erwerb eines Solarparks
- erste Zertifizierung nach ISO 14001 (Umweltmanagement)
- keine fossilen Brennstoffe für Heizzwecke

2012

- Start der elobau E-Fahrzeugflotte
- Unterstützung der Kampagne plant-for-the-planet

2014

- Job-Rad
- Dienstwagenrichtlinie (CO₂-Grenzwert/SUV-Verbot)
- Erster Nachhaltigkeitsbericht (DNK)



elobau – der nachhaltige Weg

IV.

_01 Hintergrund

_Elobau

31

2015

- Zweites Energie-Plus-Gebäude
- eigens programmiertes Energie-Monitoring
- Kostenlos aufbereitetes Wasser für alle MA

2017

- neu entwickelte, modulare Armlehne MA225 aus 70 % bio-basierten Kunststoff
- Mobilitätsfassung der MA

2019

- Erweiterung des Werk 2 als Energie-Plus-Gebäude in Holzbauweise
- Umstellung des Energie- und Umweltmanagementsystems auf EMAS

2016

- Werkzeugbau in Thüringen zieht in drittes Energie-Plus-Gebäude
- Nominierung für den deutschen NH-Preis
- Mitgliedschaft in der Gemeinwohlökonomie
- elobau wird Stiftungsunternehmen

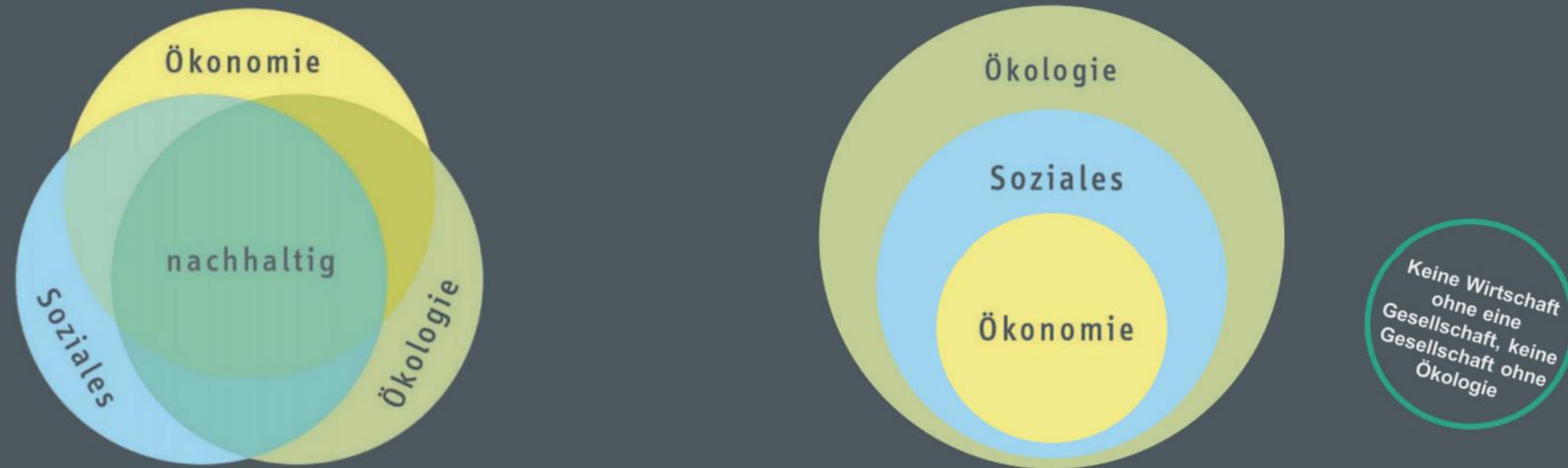
2018

- Eröffnung einer Bio-Kantine
- Veröffentlichung der zweiten Gemeinwohl-Ökonomie-Bilanz (GWÖ)

2020

- Eco-Design Studie
- Life-Cycle-Assessment
- dritte GWÖ-Bilanz
- Kick-Off nachhaltige Kundenklassifizierung





elobau steht für:

- Starken Fokus auf Ökologie – klimaneutrale Produktion
- Kundenspezifische Lösungen
- Flexibilität durch hohe Fertigungstiefe
- Nachhaltigkeitsbericht nach den Kriterien der Gemeinwohl-Ökonomie
- Firmenkultur basiert auf respektvollem Miteinander

[34] Abb.19: Unser Nachhaltigkeitsverständnis – The Vision

[35] Abb.20: Bisherige Erfolge

Bisherige Erfolge:

CO₂-Emissionen



100 %

Reduzierung der CO₂-Emissionen um ca. 20 % im Vergleich zu 2009

Zusätzlich Kompensation von 8.600 t CO₂ durch Gold-Zertifikate

Energie



16 %

Reduzierung (kWh/Umsatz) im Vergleich zu 2019 zu 2016

*seit Datenaufzeichnung

Wasser



5 %

Reduzierung (m³/Umsatz) im Vergleich zu 2019 zu 2016

*seit Datenaufzeichnung

Abfall



4 %

Reduzierung (kg/Umsatz) im Vergleich zu 2019 zu 2016

*seit Datenaufzeichnung

Materialeffizienz



35 %

Nominierte Ausschussquote im Vergleich zu 2019 zu 2016

*seit Datenaufzeichnung

Das Projekt

In der Masterarbeit „Ecodesign einer Bedienarmlehne für Nutzfahrzeuge“ wurde ein bestehendes Produkt der Firma elobau (Modulare Armlehne 225MA Midi) grundlegend neugestaltet. Ziel war eine Reduktion der Umweltwirkungen bei gleichzeitiger Erhöhung der Produktattraktivität aus Kundensicht. Begleitet wurde die Arbeit von Fraunhofer UMSICHT.

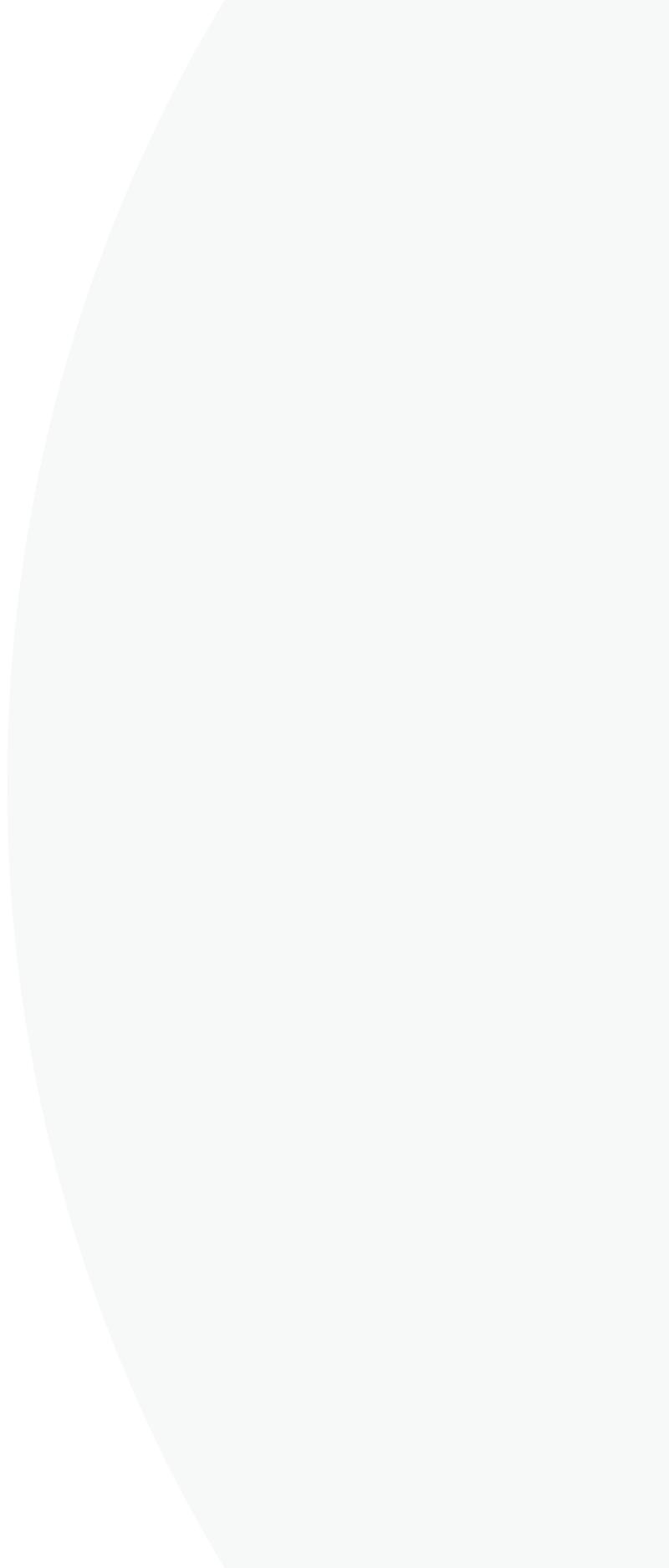
Diese Bedienarmlehne ist eine Art Armlehne, die mit Joystick, Knöpfen, Handgas und an deren Komponenten ausgestattet ist. Diese Armlehnen sind normalerweise an einem Nutzfahrzeug angebracht und ermöglichen die Bedienung von diesen. Generell muss die Bedienarmlehne an den Zweck des Nutzfahrzeugs angepasst werden.

Ziel ist es, durch die umweltfreundliche Neugestaltung dieses Produktprototyps die Inspiration und Richtung des Unternehmens für die Produkttransformation zu erhalten.



[36] Abb.21: Modulararmlehne 225MA Anwendungen

[37] Abb.22: Modulararmlehne 225MA Anwendungen



_02

**RECHERCHE &
ANALYSE**

_225MA Midi

_Wege zu Nachhaltigkeit

_Case Study

_Ideenfindung

_Designrichtung



[38] Abb.23: Modulararmlehne 225MA



Kundenmehrwert:

Eine modulare Armlehne, welche den Kunden ein auf ihre Maschine angepasstes Bedienkonzept mit hohen Design- und Qualitätsansprüchen ermöglicht, auch bei kleinen Bestellmenge (<500).



Zielgruppe:

Landmaschinen: Traktoren <100HP, Erntemaschinen

Kommunalfahrzeuge

Material Handling: Reach Stacker

Weitere Maschinen mit ausreichend Platz



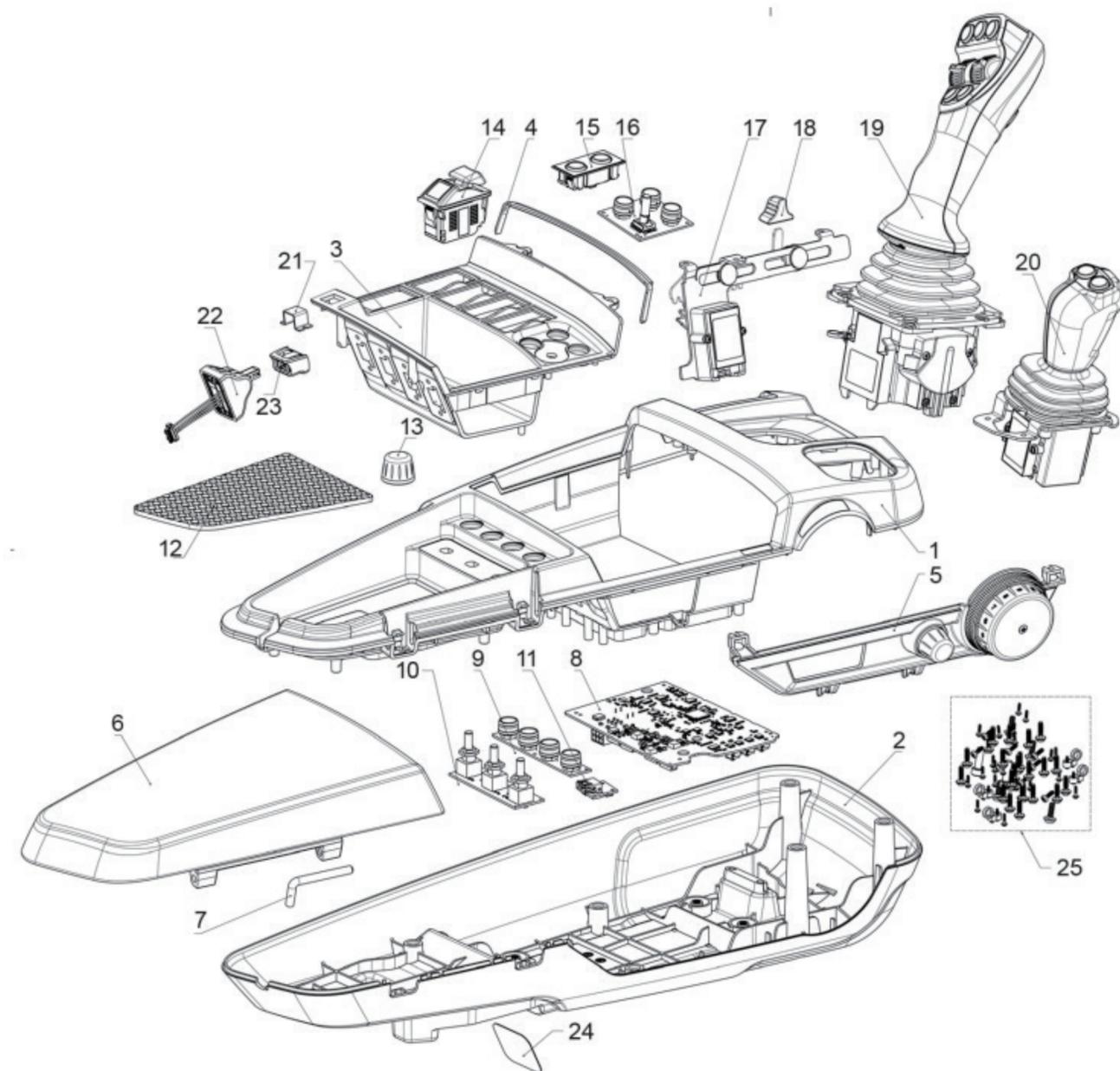
Stückzahl:

Es sind Gesamtstückzahlsszenarien bis zu 3000 pro Jahr, mit Varianten von 40 bis 400 Stück/Jahr geplant.



Produktpositionierung:

- Eine multifunktionale Bedienarmlehne (MFA – Multi Functional Armrest) dient zum Bedienen und Einstellen der Maschine, bzw. deren Funktionen. Als zentrales Bedienelement der Maschine ist die Armlehne an der rechten Seite des Fahrersitzes angebracht und auch dementsprechend entworfen.
- Um für eine angenehme Handhabung und hohe Produktivität zu sorgen, ist die Armlehne ergonomisch und intuitiv bedienbar ausgelegt.
- Je nach gewählter Modularität bzw. Version enthält die Armlehne eine unterschiedliche Anzahl an Tasten, Daumenrädern, PTOs, Schalter und Joysticks.



[39] Abb.24: Komponentenübersicht

Betriebsbedingungen

- Montageposition: wettergeschützte Installation (Kabine)
- Einsatzort: Landmaschinen, Kommunalmaschinen
- Maximalgeschwindigkeit des Fahrzeugs < 60km/h

Temperatur

- Betriebstemperatur: -25°C bis +85°C
- Lagertemperatur -40°C bis +105°C
- Relative Luftfeuchte bis 93% (keine Kondensation)

Lebensdauer

- nach „elobau environmental norm“ genügen und dabei unter Last funktionieren
- Standardbelastungen für Traktoren für 10.000 h standhalten

Beständigkeit

- Beständigkeit nach „elobau environmental Test Specification“ nach 6.4.2 Chemical Resistance
- Kratzunempfindliche Oberflächen, Prüfung mit

Kratztest (Erichsen PEN TBE-318), Testbedingungen sollten den Einsatz in landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen widerspiegeln

- UV-beständig nach DIN EN 60068-2-5 (Prüfverfahren C) im Sichtbereich
- Staub, Schmutz, Feuchtigkeit sowie durch die in o („Temperatur“) definierten Medien zu keiner Beeinflussung der Funktionen der Armrest führen.
- Alle Funktionsteile gegenüber Spritzwasser abgedichtet
- Eine Abdichtung gegen Staub nach DIN EN 60529 Klasse IP54



Abb. 1: 225MA_Abmessungen_Seite

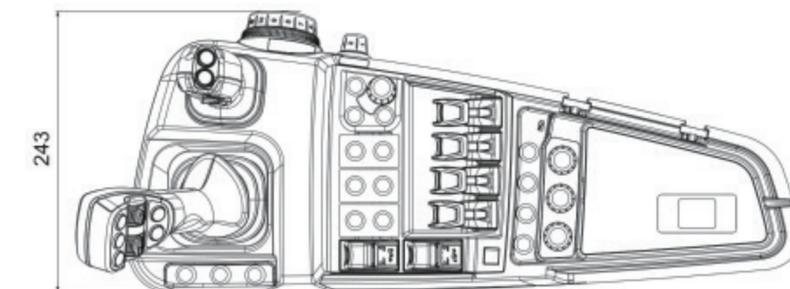


Abb. 2: 225MA_Abmessungen_Draufsicht

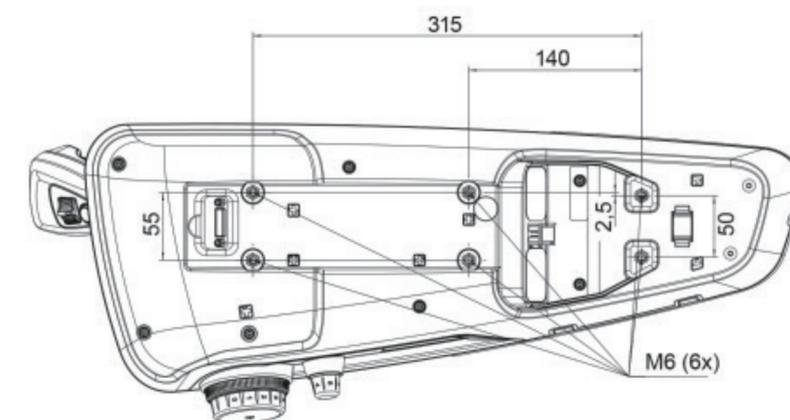


Abb. 3: 225MA_Befestigung

Entwicklung

Materialwahl
Dematerialisierung

In der frühen Phase des Produktdesigns hat die Auswahl geeigneter Materialien einen erheblichen Einfluss auf die Nachhaltigkeit des Produkts. Die richtige Materialauswahl kann eine angemessene Lebensdauer des Produkts gewährleisten, dem Benutzer ein angenehmes Erlebnis bieten und die negativen Auswirkungen des Produkts auf die Umwelt nach dem Ende seiner Lebensdauer verringern.

Bei der Auswahl der Materialien sollten wir versuchen, Materialien zu vermeiden, die für den menschlichen Körper schädlich sind, Materialien mit geeigneter Leistung Vorrang einräumen und Materialien mit möglichst geringen Auswirkungen auf die Umwelt so weit

wie möglich auswählen.

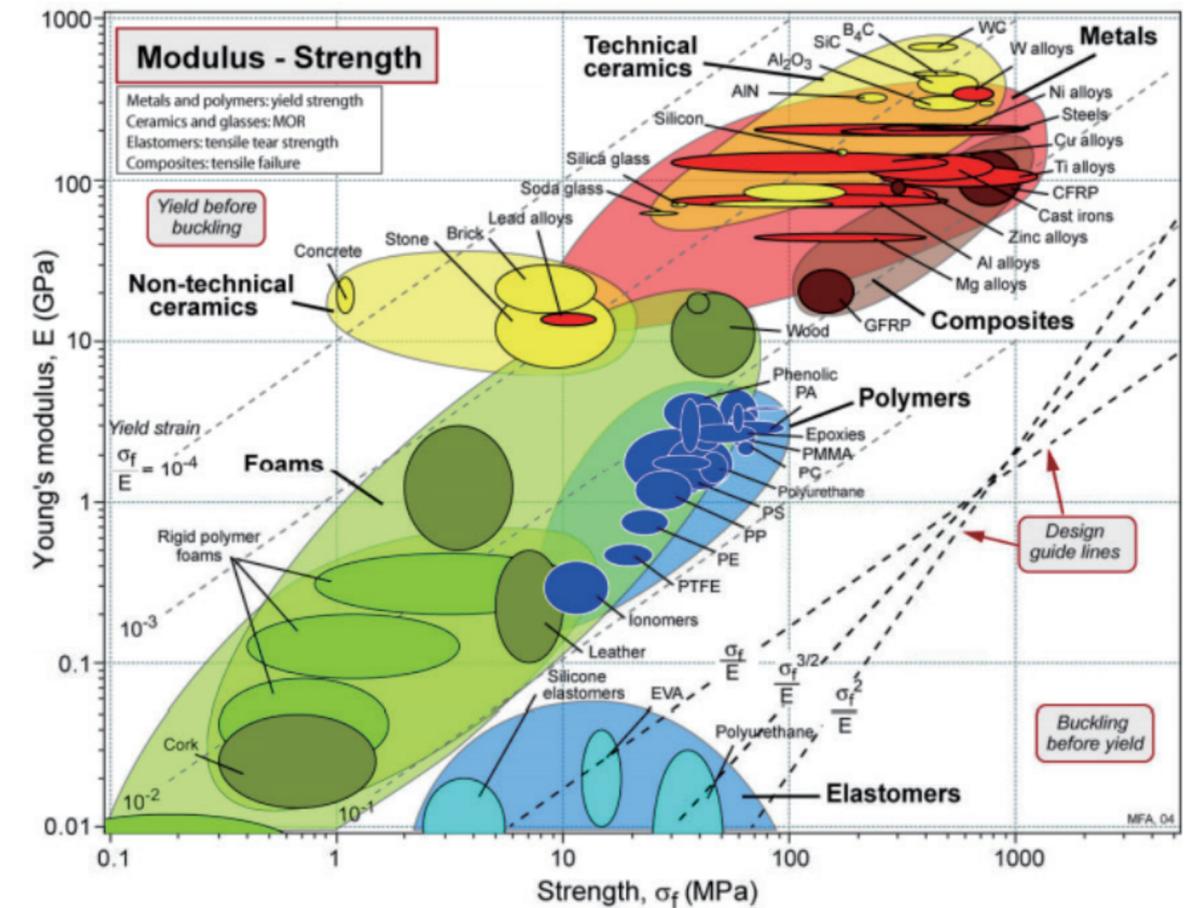
Darüber hinaus ist die Dematerialisierung eine nachhaltige Entwicklungsrichtung, die in der Designphase erreicht werden kann. Die Realisierung von Produktfunktionen durch eine angemessene Menge an Materialien und die Vermeidung von Materialverschwendung sind von großer Bedeutung, um Ressourcen zu sparen, Abfall zu reduzieren und die Umweltbelastung zu verringern.

Wege zu Nachhaltigkeit

_02 Recherche & Analyse

_Wege zu Nachhaltigkeit

38



[41] Abb.26: Young's modulus, E, against Strength

Bei der Auswahl der Materialien:

Ungiftig · Geeignet · Umweltfreundlich

Die Materialauswahl ist eine der Hauptphasen des Produktdesign-Prozess, der große Auswirkungen auf die Herstellung nachhaltiger Produkte hat.

Wie auf dem Bild auf der vorherigen Seite ersichtlich, besitzen bestimmte Materialien, wie verstärkter Kunststoff und Metalle, ähnlichen Eigenschaften wie PA GF30.



[42] Abb.27: ElringKlinger baut Cockpitquerträger für Byton

Metall

Schwer



Leicht

Robust



Flexible

Mehrere Verarbeitungsmethoden



Spritzgießen/Thermoformen/Handfertigen

Viele Verarbeitungsschritte



Einmaliges Formen

Ähnliche Eigenschaften



verschiedene Eigenschaften realisiert

Festes Erscheinungsbild



Verschiedene Farben und Oberflächenbehandlungen

Die meisten werden recycelt



Viele werden verbrannt

Bei Metallverarbeitung ist teilweise kein Werkzeug nötig (z.B. beim Laser oder Biegen).

Werkzeug für Kunststoff wird benötigt - größere Umweltbelastung

Metalle und Kunststoffe haben ihre eigenen Vorteile, und beide sind in der Industrie weit verbreitet. Das folgende Stahl-Kunststoff-Verbundrohr kombiniert beispielsweise die Vorteile der beiden.

Stahl-Kunststoff-Verbundrohr, das Produkt verwendet ein nahtloses Stahlrohr und geschweißtes Stahlrohr als Basisrohr, und die Innenwand ist mit einer hochklebenden, korrosionsbeständigen, lebensmittelechten Polyethylen-Pulverbeschichtung oder einer Epoxidharzbeschichtung beschichtet.

Die Verwendung von Stahl macht die Steifigkeit und Festigkeit des Stahl-Kunststoff-Verbundrohrs weitaus besser als Kunststoffrohre und Aluminium-Kunststoffrohre.

Das Aufbringen von Kunststoff bringt folgende Vorteile:

- Glatte Innenwand, geringer Reibungswiderstand, keine Ablagerungen
- Geringes Gewicht, gute Zähigkeit
- hält Feuchtigkeit, hohen und niedrigen

Temperaturen stand

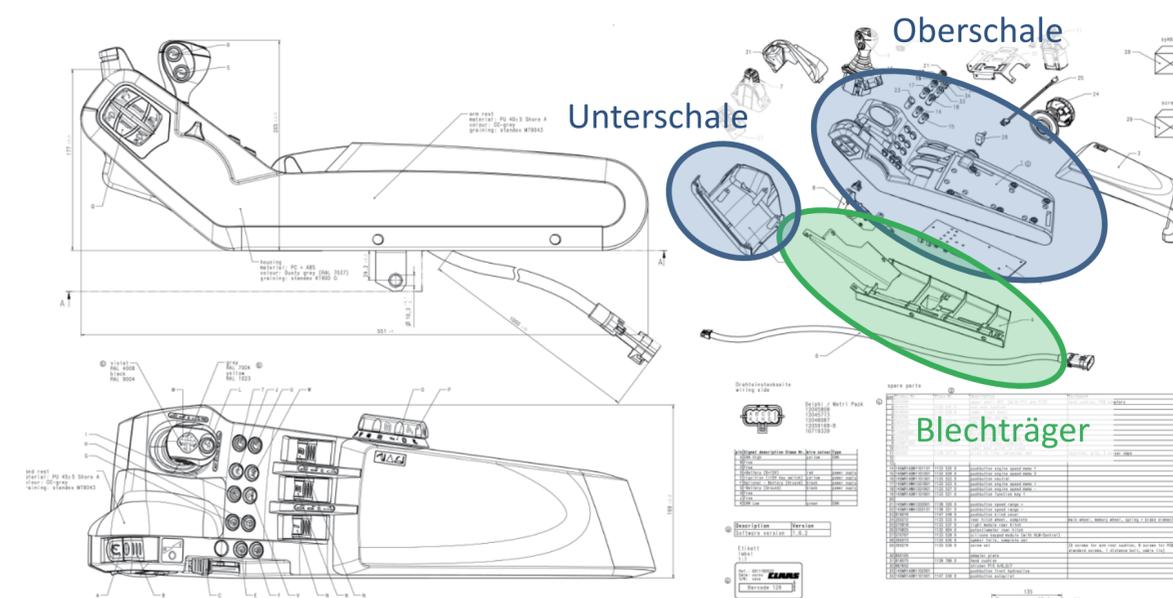
- Gute Isolierung, keine Leckage
- Die innere und äußere Schicht bestehen aus Kunststoff, der eine sehr gute Korrosionsbeständigkeit aufweist
- Das Preis-Leistungsverhältnis ist im Vergleich zu Kupferrohren und Edelstahlrohren angemessen.

Dies macht Stahl-Kunststoff-Verbundrohre weit verbreitet für Öl-, Erdgastransport-, Trinkwasser- und Entwässerungsrohre.



[43] Abb.28: Stahl-Kunststoff-Verbundrohr

Elobau hat auch mehrere Armlehnen hergestellt, bei denen Metallhalterungen verwendet wurden, um die erforderliche Festigkeit zu erreichen. Diese Struktur wurde anschließend durch einfachere und effizientere glasfaserverstärkte Polyamid ersetzt. Die Vorteile dieses Materials liegen auf der Hand: Es ist günstiger, stark genug, kann gleichzeitig spritzgegossen werden und hat einen wertigen Klang.



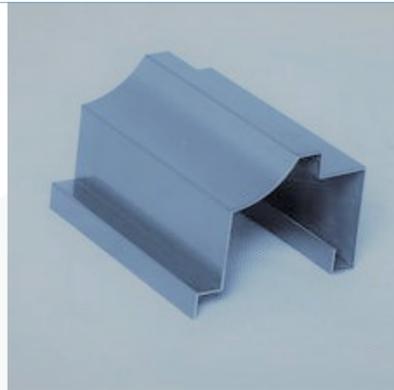
[44] Abb.29: Bedienarmlehne mit Stahlträger von Elobau

Produktion

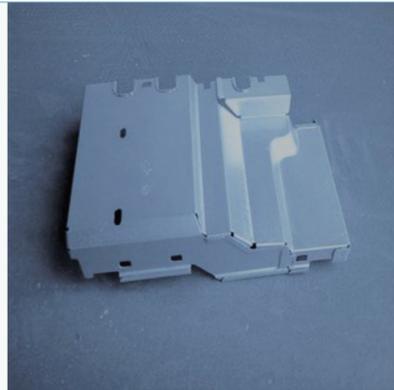
Effizientere Verbrauch
von Material
energiesparend
wasserschonend

Kaltumformung

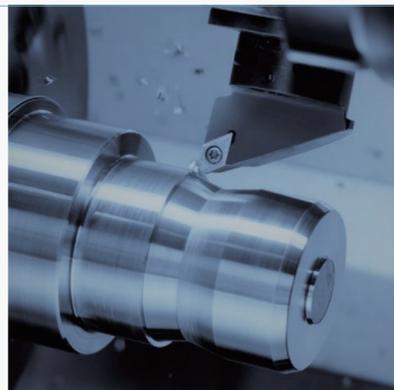
Biegen



Stanzen



Schneiden



Warmumformung



Gießen

Schmieden

Schweißen

Metalverarbeitung

[45] Abb.30: Metalverarbeitung: Biegen

[46] Abb.31: Metalverarbeitung: Stanzen

[47] Abb.32: Metalverarbeitung: Schneiden

[48] Abb.33: Metalverarbeitung: Gießen

[49] Abb.34: Metalverarbeitung: Schmieden

[50] Abb.35: Metalverarbeitung: Schweißen

Produktion

Effizientere Verbrauch
von Material
energiesparend
wasserschonend

Kunststoffformverfahren umfassen hauptsächlich Spritzgießen, Formen, Blasformen und Extrudieren. Hier werde ich mich auf die Einführung und den Vergleich der Spritzguss- und Tiefziehverfahren konzentrieren, die hauptsächlich im Bereich der technischen Kunststoffe eingesetzt werden. Laut Idemat betragen die Ökokosten für das Thermoformen 0,078 Euro, für das Spritzgießen 0,206 Euro.

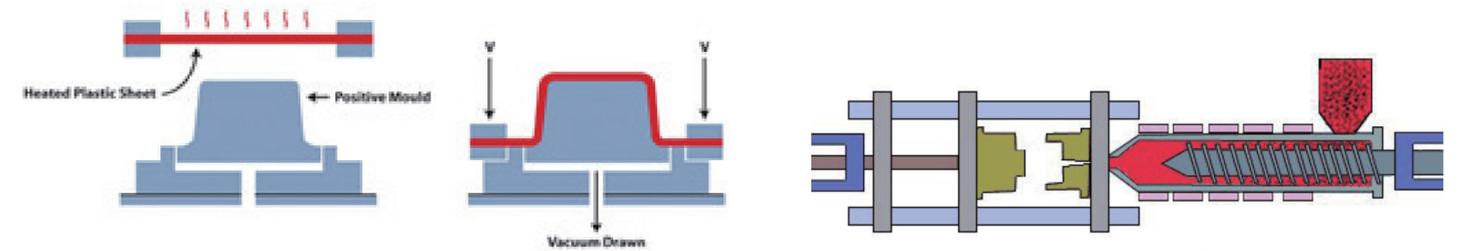
Material	Spritzgießen	Thermoformen
Rohstofferschöpfung	0.041	0.015
Ökotoxizität	0.039	0.015
Menschliche Gesundheit	0.013	0.005
CO ₂ -Fußabdruck	0.113	0.043
Gesamt	0,206	0,078

[53] Idemat app

Thermoformen ist Effizienter und verbraucht nicht so viel Energie; der zu erreichende Schmelzpunkt ist niedriger; ist eine rein physikalische Reaktion.

[51] Abb.36: Thermoformen

[52] Abb.37: Spritzgießen



Thermoformen

Spritzgießen

Niedrigere Werkzeugkosten

Teueres Werkzeug

Effizient

Höhe Genauigkeit

Für größere Bauteile mit wenige Details

Für Feinwerktechnik/Massenproduktion

Herstellung mit Organoblechen

Herstellung mit Granulat

Muss nachbearbeitet werden

Fertigteil

Distribution

Logistikgerecht:
Volumen und Gewicht
Transportmittel
Produktionsstandort
usw.

Die Logistik ist eine der Hauptquellen für Treibhausgasemissionen. Angesichts der Entwicklung der Globalisierung sind die Auswirkungen des Produkttransportlogistik auf die Umwelt nicht zu unterschätzen. Eine bewusste Optimierung der Logistik im Prozess des Produktdesigns ist daher für ein nachhaltiges Design von großer Bedeutung.

Wir können die Produktlogistik unter folgenden Gesichtspunkten optimieren:

1. Produktgewicht und Produktvolumen reduzieren. Wir können unnötiges Produktgewicht minimieren, indem wir die Struktur des Produkts optimieren oder leichtere Materialien verwenden. In ähnlicher Weise kann das Produktvolumen auch durch Design optimiert werden, um die Effizienz des Produkttransports zu verbessern.

2. Verpackungsgewicht und Verpackungsvolumen reduzieren. Die Verpackung des Produkts spielt eine wichtige Rolle beim Schutz des Produkts und hält das Produkt während des Transports intakt. Übermäßige Verpackungen wirken sich jedoch negativ auf die Umwelt aus. Sie verschwenden nicht nur Ressourcen, erzeugen Abfall, sondern verringern auch die Transporteffizienz. Im Gegenteil, die Reduzierung des Gewichts und des Volumens kann die Transporteffizienz verbessern, Energie sparen und Emissionen reduzieren.



[54] Abb.38: The Economical Packaging EVO

Nutzung

Langlebigkeit
Reparierbarkeit
Nutzerfreundlichkeit

Eine längere Produktlebensdauer bedeutet nicht nur höhere Qualität, sondern auch keine veralteten Funktionen, klassischeres Design und eine optimierte Benutzererfahrung. Dies erfordert einen rationellen Einsatz von Materialien und Strukturen im Prozess des Produktdesigns und die Berücksichtigung der Reparaturfähigkeit und Updatefähigkeit. Langlebige Produkte statt geplante Obsoleszenz kann die Verschwendung von Ressourcen, die Anhäufung von Abfällen, den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen wirksam reduzieren.

Die Reparierbarkeit des Produkts umfasst die Möglichkeit, das Produkt zu zerlegen, zu reparieren und die beschädigte Teile zu ersetzen. Dies erfordert, dass Produkte die Verwendung abnehmbarer Verbindungs-

methoden und die Fehlermeldung (z. B. Auto-Dashboards) während des Designprozesses in Betracht ziehen. Die Wartbarkeit des Produkts umfasst auch die Möglichkeit, das Produkt zu erweitern oder sogar zu aktualisieren, um die Umgebung zu verbessern. Der Vorteil ist, dass die Benutzer nicht immer das gesamte Produkt ersetzen müssen, um ihre Anforderungen zu erfüllen.

Das benutzerfreundliche Design ist nicht nur praktisch für die Benutzer, sondern trägt auch zu einer nachhaltigen Entwicklung bei. Wenn Benutzer das Produkt ordnungsgemäß verwenden und warten, kann dies die Wahrscheinlichkeit von Produktschäden verringern und die Lebensdauer des Produkts wieder verlängern.



[55] Abb.39: Google's Project Ara Smartphone Modules

[56] Abb.40: Fehlermeldung für das Armaturenbrett des Autos

End of Life

Recyclinggerecht
Zerlegbarkeit
Materialmischung
vermeiden

Aus dem Bild ist ersichtlich, dass verschiedene Produkte unterschiedliche Recyclingwege haben. Für Gebrauchsgüter ist die richtige Lebensende nicht Abbau, sondern Recycling.

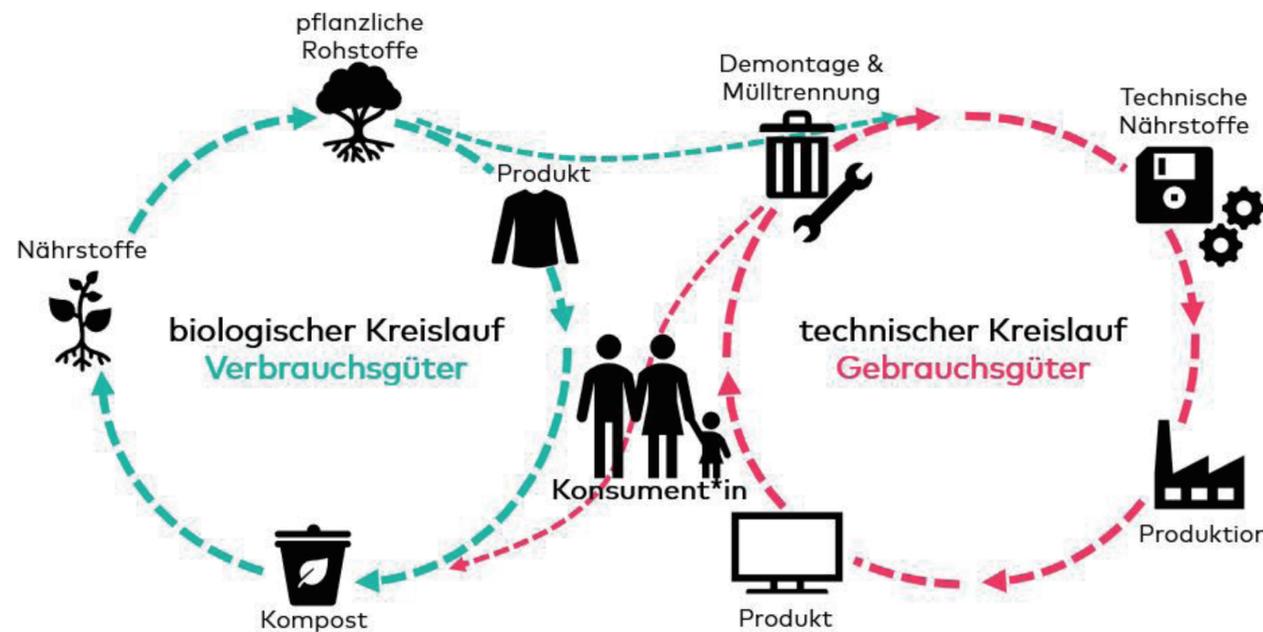
Im Konzept der Kreislaufwirtschaft gibt es keine Verschwendung, nur verlegte Ressourcen. Nach diesem Konzept können wir auf zwei Arten eine Kreislaufwirtschaft

erreichen: Die eine besteht darin, am bestehenden Kreislauf teilzunehmen, und die andere darin, unseren eigenen Kreislauf zu etablieren. Bei ersteren können wir recycelte Materialien verwenden oder unsere Abfallprodukte in Rohstoffe für andere Produkte umwandeln. Beispielsweise können aus Kunststoffen gewonnene Altglasfasern Baustoffen zugesetzt werden. Letztere

können dieselben Abfallprodukte wieder in die Produktionslinie bringen, indem die Unternehmen ein eigenes Rücknahmesystem einrichten.

Und wie können die Produkte besser recycelt und wiederverwendet werden? Produktrecycling und Wiederverwendung werden in Upcycling und Downcycling unterteilt. Die Verbrennung von Kunststoffabfällen als Brennstoff ist eine Art Downcycling, und die Verwendung von Gebrauchte Schrauben in Kunstdekorationen ist Upcycling.

Unabhängig davon, wie das Produkt am Ende seiner Lebensdauer recycelt wird, muss das Design des Produkts so zerlegbar wie möglich sein und die Verwendung gemischter Materialien vermieden werden. Auf diese Weise können die im Produkt verwendeten Materialien besser getrennt und recycelt werden.



[57] Abb.41: das Cradle-to-Cradle-Konzept Entwicklung – Produktion – Distribution – Nutzung – End of Life

Case Study

An welchen Stellen kann elobau Einfluss ausüben?

Im Allgemeinen werden Armlehnen für Nutzfahrzeuge an Nutzfahrzeughersteller verkauft und dann zusammen mit Nutzfahrzeugen in alle Teile der Welt transportiert. Bevor das Nutzfahrzeug verschrottet wird, wird es wahrscheinlich so oft den Besitzer wechseln, dass das Produkt am Ende seiner Lebensdauer nicht mehr verfolgt werden kann.

Diese Art von Abfall wird normalerweise in ein Land der Dritten Welt transportiert, wo er abgebaut, recycelt und verarbeitet wird. Daher kann Elobau die

Behandlung des Produkts am Lebensende nicht beeinflussen.



[58] Abb.42: Schrottplatz in Afrika

[59] Abb.43: Eisen-Herstellung

[60] Abb.44: Organobleche

[61] Abb.45: Metall Verarbeitung

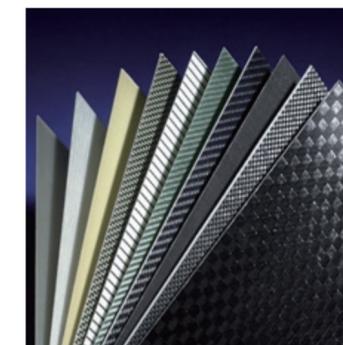
[62] Abb.46: Logistik-LKW

[63] Abb.47: Fingertip-Joystick JFT von Elobau

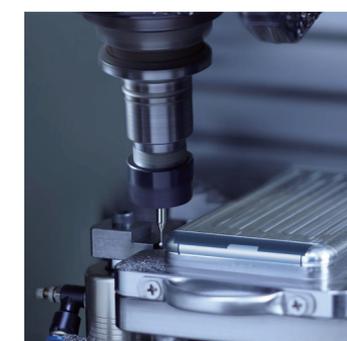
[64] Abb.48: Deponie



Rohstoff



Halbzeug/Granulat



Produktfertigung



Distribution

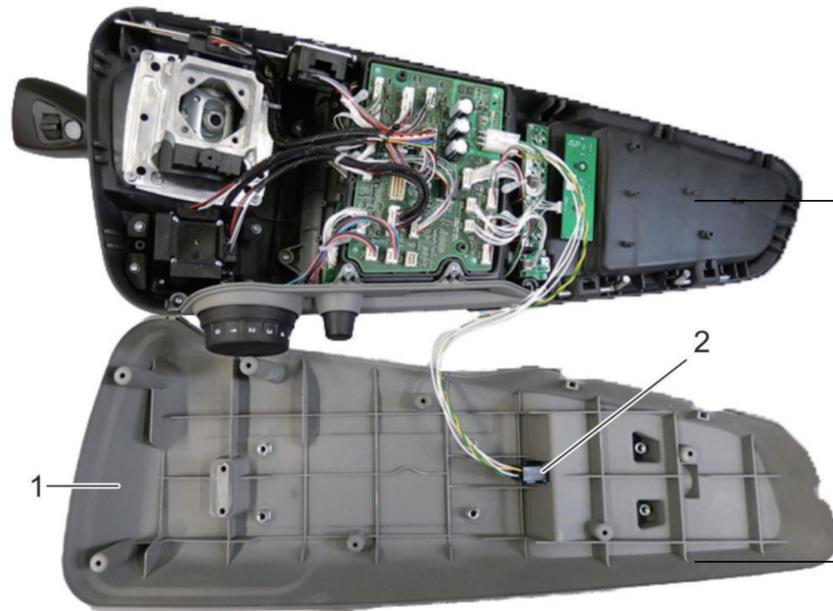


Nutzung



End of Life

Produktlebens- zyklus



Oberschale

Material: Biobasierter Polyamid mit GF30

Produktion: Spritzguss

Gewicht: ca. 670g

Funktion: Teileinbau/Bedienoberfläche/Erscheinungsbild

Unterschale

Material: Biobasierter Polyamid mit GF30

Produktion: Spritzguss

Gewicht: ca. 730g

Funktion: Befestigung am Sitz/Aufprall aufnehmen



Armlehne

Material: Gemischt

Produktion: zusammengeklebt

Gewicht: ca. 500g

Funktion: Armplatzierung

[65] Abb.49: Modulararmlehne 225MA

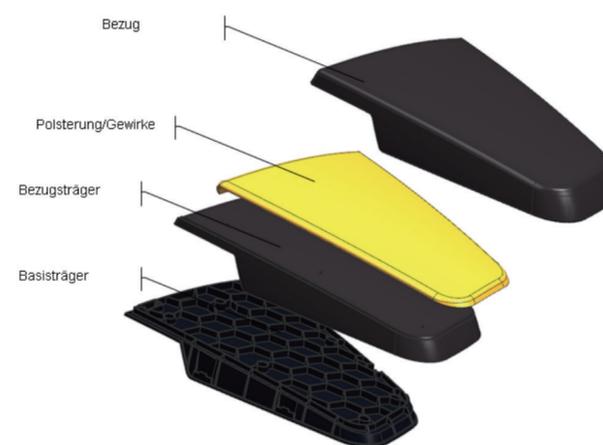
Die Midi-Armlehne besteht aus drei Teilen. Der vordere Teil kann mit zwei Joysticks montiert werden. Der mittlere Teil ist für Tasten und Daumenräder ausgelegt. Das Ende ist eine Armlehne aus Kunstleder, die aus einer Mischung aus Apfelabfällen und Kunststoff besteht.

Obwohl das Gehäuse aus biobasiertem Polyamid besteht, ist dieser biobasierte Kunststoff PA610 nur „Cradle to Gate“ nachhaltiger. Das Ende des Produktlebens ist auch nicht berücksichtigt.

Darüber hinaus ist Glasfaser am Ende der Lebensdauer des Produkts ein großes Problem, da es schwierig ist, die Glasfaser zu trennen und wiederzuverwenden. Die Verbrennung und Deponierung dieser Verbundwerkstoffe hat starke Auswirkungen auf die Umwelt.

Auf der Midi-Armlehne sind Joystick, Hitchwheel, Platine und Mitteneinsatz über eine Verschraubung fixiert. Alle anderen Module und Einbauteile werden eingeklipst. Dies ist auf Wartbarkeit und Demontage ausgelegt. Der weiche Teil

der Armlehne ist jedoch eine Mischung aus einer Reihe von Materialien wie Kunstleder, Kunststoff und Schaum. Diese Materialien werden zusammengeklebt, und es ist sehr wahrscheinlich, dass sie am Ende der Lebensdauer des Produkts nicht getrennt werden, sondern zusammen verbrannt werden.



[67] Abb.51: Midi Armauflage

Zusammenfassend kann das nachhaltige Design der Midi Armlehne von zwei Aspekten ausgehen: **Material und Struktur.**

GreenLine – Ökobilanz
Werkzeuge / Daten / Methode

Werkzeug	EMS-GRIVORY interne Analyse mittels Boustead Model 5.0 Software
Grenzen	"Cradle to Gate" (vom Rizinusanbau und primären Rohstoffen bis zum Polyamid Granulat)

[66] Abb.50: GreenLine – Ökobilanz

Case Study

Material ersetzen?

Welche Art von Material kann verwendet werden, um Glasfasern zu ersetzen, um eine ausreichende Festigkeit zu erreichen? Um alternative Materialien zu finden, habe ich an mehreren Verstärkungsfasern geforscht. Zunächst untersuchte ich die verstärkten Materialien, die auch spritzgegossen werden können. Denn Spritzguss ist die Technologie, die Elobau derzeit einsetzt und die ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit bieten kann.

Carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK) besteht aus Kohlenstofffasern, die industriell gefertigte Fasern aus kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterialien sind.

Die Produktion von CFK wird zwar die Umwelt belasten, aber seine Vorteile können nicht ignoriert werden. CFK ist ein vielversprechendes Material mit breiten Anwendungsaussichten und großem Markt-

potenzial. Aufgrund der Zähigkeit und Leichtigkeit von CFK wird es häufig in folgenden Bereichen eingesetzt:

- Luft- und Raumfahrt
- Fahrzeugbau
- Gewichtsoptimierte Drohnenbauteile
- Aktivrollstühle Sportgeräte wie Fahrradrahmen
- Windkraft

Die Anwendung auf große Industrieprodukte und das Recycling am End of Life lassen die Auswirkungen von CFK auf die Umwelt ebenfalls nicht außer Acht. Daher



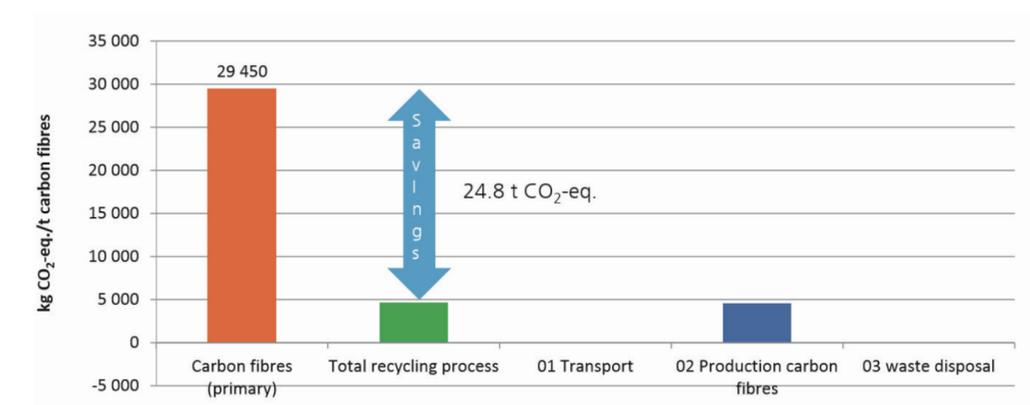
ist das Recycling und die Wiederverwendung von Kohlenstofffasern dringend erforderlich. Das Recycling von CFK ist zu einem heißen Thema geworden.

Die Idee, recycelte Kohlenstofffasern (rCF) zu verwenden, basiert auf dem Konzept der Kreislauf-

[68] Abb.52: Kohlefaser Windmühle

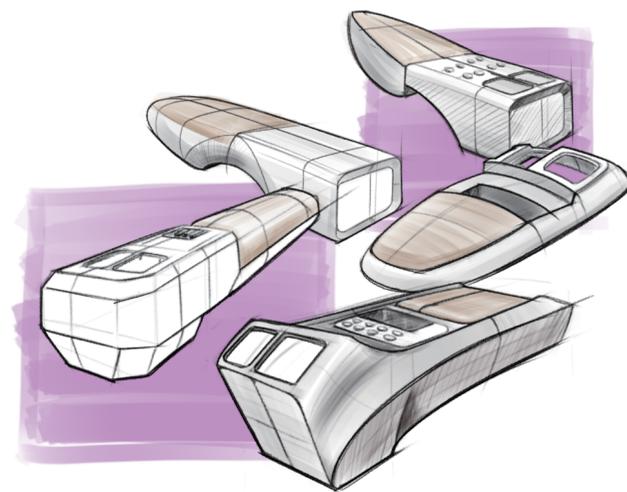
wirtschaft, mit dem Versuch am technologischen Kreislauf teilzunehmen, um das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung zu erreichen. Laut ELG Carbon Fibre Ltd. (Hersteller von rCF), im Vergleich mit der Herstellung von primären Kohlenstofffasern, erzeugt die Herstellung von recycelten Kohlenstofffasern viel weniger Treibhausgas. Darüber hinaus kann die recycelte Kohlefaser die mechanischen Eigenschaften gut beibehalten.

Results LCA for rCF



[69] Abb.53: Ökobilanz für rCF

Kann Glasfaser recycelt und wiederverwendet werden, da recycelte Kohlenstofffasern so viele Vorteile haben? Ich habe diesbezüglich nicht viele Informationen gefunden. Der Grund ist wahrscheinlich, dass erstens Kohlefaser wertvoller ist als Glasfaser, sodass auch der Recyclingwert höher ist. Zweitens verlieren recycelte Glasfasern mehr mechanische Eigenschaften, während recycelte Kohlenstofffasern gute mechanische Eigenschaften beibehalten können. Daher wurden recycelte Kohlenstofffasern kommerzialisiert, und Glasfasern werden besser als Baumaterialien recycelt. Aufgrund fehlender Daten bin ich mir jedoch nicht sicher, ob recycelte Kohlenstofffasern im gesamten Produktlebenszyklus wirklich umweltfreundlicher sind als Glasfasern. Daher wurde es nicht angenommen.



Material ersetzen?

Eine andere Art von Verstärkungsfasern, die ich untersucht habe, ist Basaltfaser. Diese Faser wird aus Basalt extrahiert. Der gesamte Extraktionsprozess ist eine rein physikalische Reaktion, nämlich Schmelzen, Homogenisieren und Extrahieren.



Die Faser besitzt eine grünlich-braune Färbung. Basaltfasern haben ähnliche mechanische Eigenschaften wie Glasfasern,

sind beständig gegen hohe und niedrige Temperaturen und feuerfest. Es gibt genügend Rohstoffe, es entsteht wenig Umweltverschmutzung im Produktionsprozess und das Recycling hat fast keine Auswirkungen auf die Umwelt. Es ist ein nachhaltiger Stoff. Leider ist die Produktionstechnologie dieses Materials noch nicht ausgereift. Derzeit verfügen nur wenige Länder über diese Technologie, und Basaltfasern werden derzeit hauptsächlich in Baumaterialien verwendet oder als Hitzeschutzmaterial eingesetzt, selten als Fasern für das Spritzgießen von verstärktem Kunststoff.

[70] Abb.54: Basaltfaser

Es gibt auch ein natürliches Material, das ich kennengelernt habe: Karuun (aus Rattan, einer Kletterpalme). Das allgäuer Startup „Out for Space“ verwendet „Rattan“, die hohlen Stängel der Palme, als Kernstruktur mit speziellen Füllstoffen, um eine neue Art von Material zu erhalten, nämlich Karuun. Laut dem Hersteller; Karuun:

- hat die Eigenschaft irgendwo zwischen Kunststoff und Holz
- ist fast 100 Prozent ökologisch
- kann billiger sein als ein Faser-Kunststoffprodukt
- kann Regenwald sowie den Menschen vor Ort zu helfen

Ihr Produkt Karuun 3D kann thermogeformt werden und hat ähnliche Eigenschaften wie faserverstärkte Kunststoffe. Aufgrund der technischen Einschränkungen der Herstellungsmethode und anderer Eigenschaften des Produkts (z. B. nicht feuerbeständig, nicht für extremes Wetter geeignet usw.) ist es jedoch nicht für unser Design geeignet.

[71] Abb.55: karuun 3D Technische Daten

[72] Abb.56: karuun 3D Anwendung

[73] Abb.57: karuun 3D

Technische Daten



Dicke: 0,8mm (bevlies, vorgeschliffen)
Abmessungen: individuelle Maße auf Anfrage
Optik: natural, black, red, blue stripes und custom stripe colour
Kaschierung: dickes 3D Zellulosevlies

400 kg/m³
Dichte (Produkt)
+/-

10 %
Feuchtigkeitsgehalt
bei 20°C / 65% relativer Luftfeuchte

0,048 %
Differentielles Schwindmaß (V)
längs
pro % Feuchteveränderung

0,15 %
Differentielles Schwindmaß (V)
radial / tangential
pro % Feuchteveränderung

Alle Maße sind ungefähre Angaben. karuun® ist ein natürliches Material, daher können leichte Farbabweichungen nicht ausgeschlossen werden.

2,3 N/mm²
Härte (fc,90,k)
rechtwinklig zur Faserrichtung

12 N/mm²
Härte (fc,0,k)
in Faserrichtung

Material ersetzen?



Thermoformen statt Spritzguss?

Wie bereits erwähnt, hat das Thermoformen die Vorteile niedriger Kosten, Energieeinsparung und Emissionsreduzierung. Die Werkzeuge sind deutlich einfacher und günstiger, entsteht hier ebenfalls eine CO₂ Einsparung. Deshalb habe ich versucht, Nachhaltigkeit zu erreichen, indem ich die Produktionsmethode ändere und das Spritzgießen durch Thermoformen ersetze. Das Thermoformen ist für faserverstärkte Materialien geeignet.

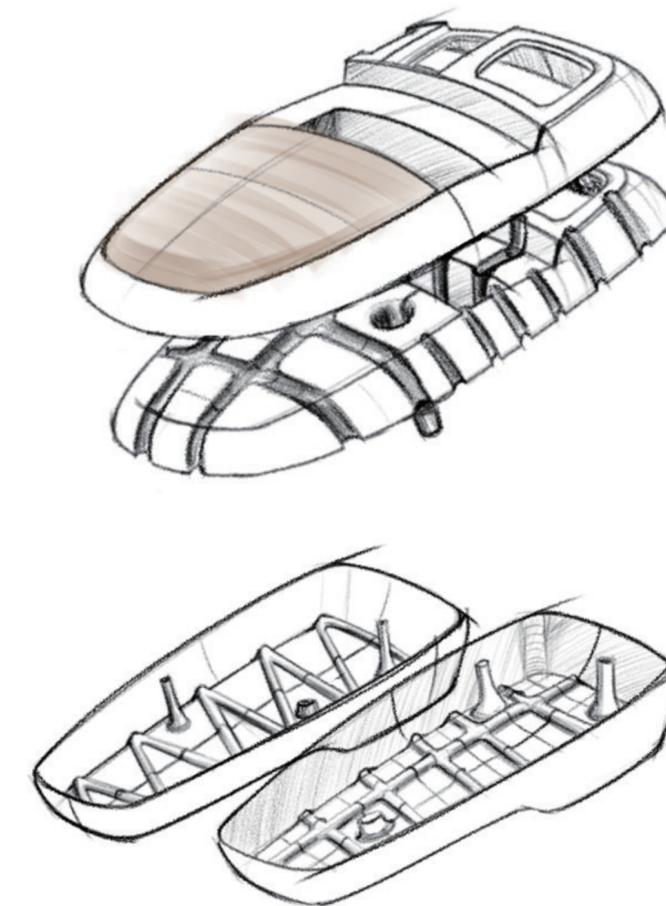
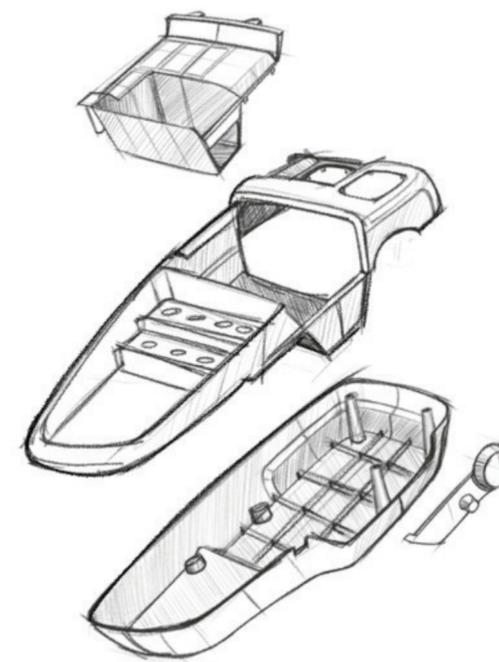
Das Thermoformen hat jedoch seine Grenzen. Wie in der Abbildung rechts gezeigt, gibt es im Spritzgussgehäuse von Midi viele strukturelle Unterstützung. Im Vergleich zum Spritzguss ist der Inhalt des Thermoformens jedoch auf beiden Seiten des Produkts sichtbar. Daher ist es

schwierig die strukturelle Unterstützung elegant beim Thermoformen zu erreichen. Dafür habe ich mir zwei Lösungen ausgedacht. Eine besteht darin, die Schale aus zwei geformten Platten zusammenzusetzen. Die äußere Schicht ist für Aussehen und die innere Schicht ist für die strukturelle Unterstützung und Befestigung der Komponenten verantwortlich.

Leider wird diese Lösung die gesamte Struktur sehr kompliziert machen, und es ist wahrscheinlich, dass Rohstoffe verschwendet werden oder die Werkzeugkosten steigen. Dies verbessert letztendlich nicht unbedingt die Nachhaltigkeit des Produkts.



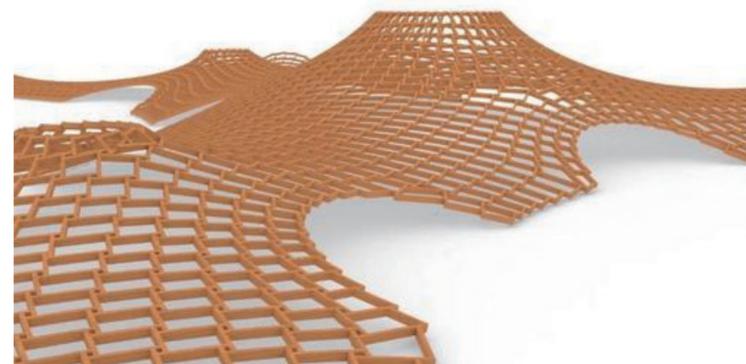
[74] Abb.58: Thermogeformter Teil



Aufgrund der Eigenschaften des Thermoformens haben die Art des Faserwebens und die Form des Endprodukts einen großen Einfluss auf die Robustheit des Produkts. Die zweite Lösung wäre es, dass man, von Architektur inspiriert, eine organische Form gestaltet, welche die Kraft so gut verteilt, dass man keine Unterstützung mehr braucht.

Das Problem ist, dass man nicht genau errechnen kann, was für ein Form diesen Anspruch erfüllt.

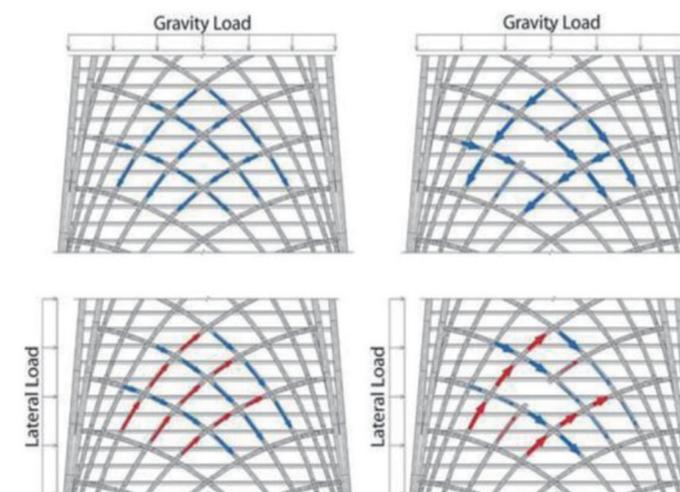
Dies erfordert lange und kontinuierliche Versuche



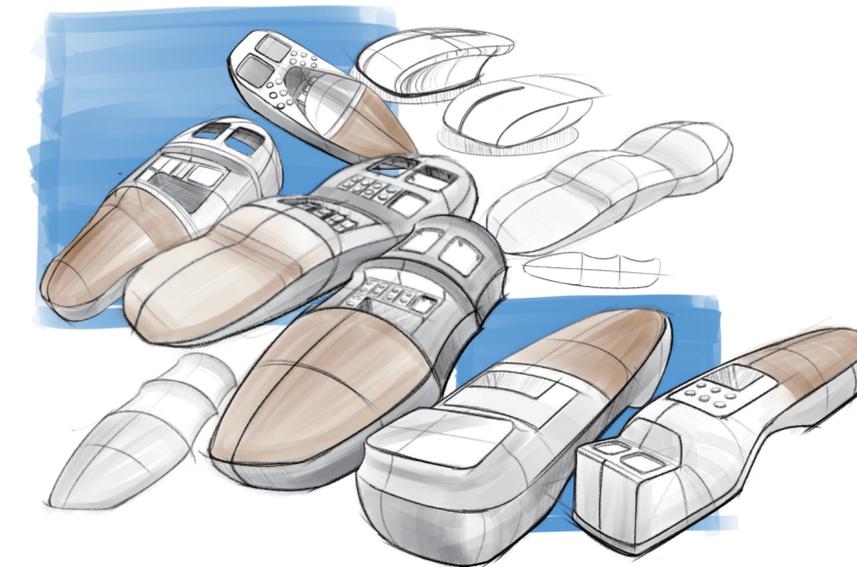
[75] Abb.59: CAD-gestützte Modellierung

der Ingenieure. Es gibt dafür Werkzeuge und viele haben auch eigene Methoden entwickelt. Es gibt immer noch einen Mangel an Präzision am thermogeformten Gehäuse, was die Verwendung von Schrauben zur Installation von Bauteilen ermöglicht.

Außerdem können wir nicht wissen, ob Thermoformen wirklich nachhaltiger ist.



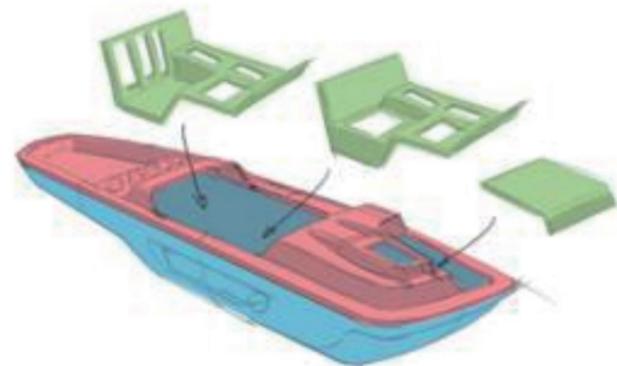
[76] Abb.60: Strukturkraftanalyse



Die Formteile müssen nachbearbeitet werden, was einen weiteren zeit- und energieaufwendigen Prozess, sowie viel Materialverschnitt bedeutet. Die geforderte Festigkeit und Präzision kann gleichzeitig spritzgegossen werden. Vielleicht sind die thermogeformten Teile für die Funktionsteile nicht gut, aber als Staubschutzabdeckung sind die gut geeignet.

Modularität?

Midi ist eine konfigurierbare Bedienarmlehne. Vielleicht kann ich ihre Modularität verbessern und die Bedienungsarmlehne in mehrere Objekte teilen, sodass Kunden nur die Länge kaufen können, die sie benötigen. Auf der Midi Armlehne ist Konfigurierbarkeit dadurch realisiert, dass verschiedene Tasten entsprechend programmiert sind. Wenn der Kunde bestimmte Funktionen nicht benötigt,



[77] Abb.61: Midi Armlehne Modularität

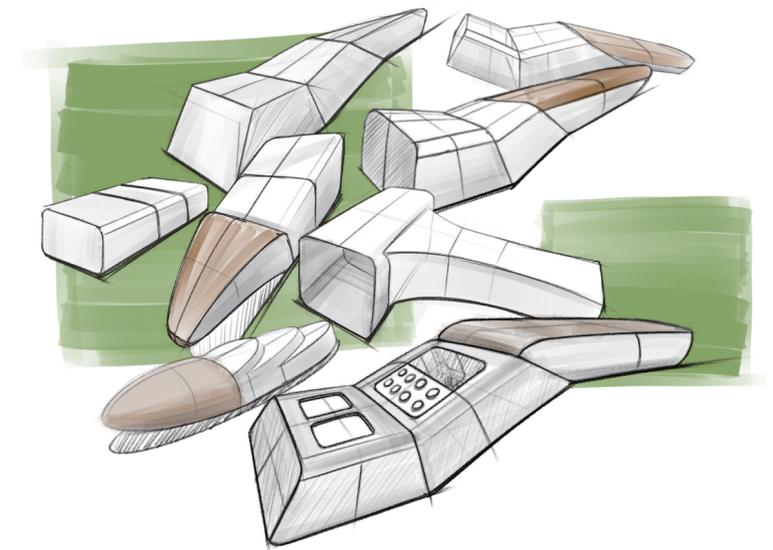
können die Löcher für die Installation der Komponenten während des Spritzgussprozesses abgedeckt oder nach dem Spritzgießen mit Aufklebern versehen werden.

Wie in der Abbildung gezeigt, verfügt der mittlere Teil des Midi über zwei Varianten von Bauteilen.

Aus nachhaltiger Sicht benötigen Benutzer jedoch nicht immer eine Armlehne in voller Länge. Einige Nutzfahrzeuge, die einfach zu bedienen sind, benötigen nur Grundfunktionen. Bei der Modularisierung von Midi wurde der Zweck einer angemessenen Menge an Materialien nicht erreicht. Daher kann eine Lösung darin bestehen, eine Bedienarmlehne zu entwerfen, die je nach Bedarf verlängert oder gekürzt werden kann. Auf diese Weise müssen Kunden

nur die Bedienarmlehne in der Größe bestellen, die sie wirklich benötigen. Die Nachhaltigkeit wurde in Bezug auf Material, Gewicht, Transport und Entsorgung verbessert.

Obwohl der modulare Ansatz nicht schlecht ist, muss man berücksichtigen, dass Modularität in der tatsächlichen Produktion mehr Teile bedeutet, das heißt mehr Werkzeuge werden benötigt. Dies ist sehr unwirtschaftlich für Produkte, die in kleinen Stückzahlen hergestellt werden. Mehr Werkzeuge kosten nicht nur Geld, sondern auch Material, Platz und Wartung. Außerdem ist die Lagerung auch problematisch wenn man viele verschiedene Bauteile hat. Darüber hinaus wird der Zusammenbau viel komplizierter. Alles in allem können diese Punkte beim Entwerfen nicht ignoriert werden.



Kriterium	Mögliche Lösungsalternativen			
Verkehrsmittel	Privat-PKW	Mietwagen	Bahn	Flugzeug
Gepäck-Transport Unterlagen	Koffer	Reise- tasche	Karton	
Übernachtung	Hotel	Pension	Privat	
Verpflegung	mit- nehmen	unterwegs kaufen		

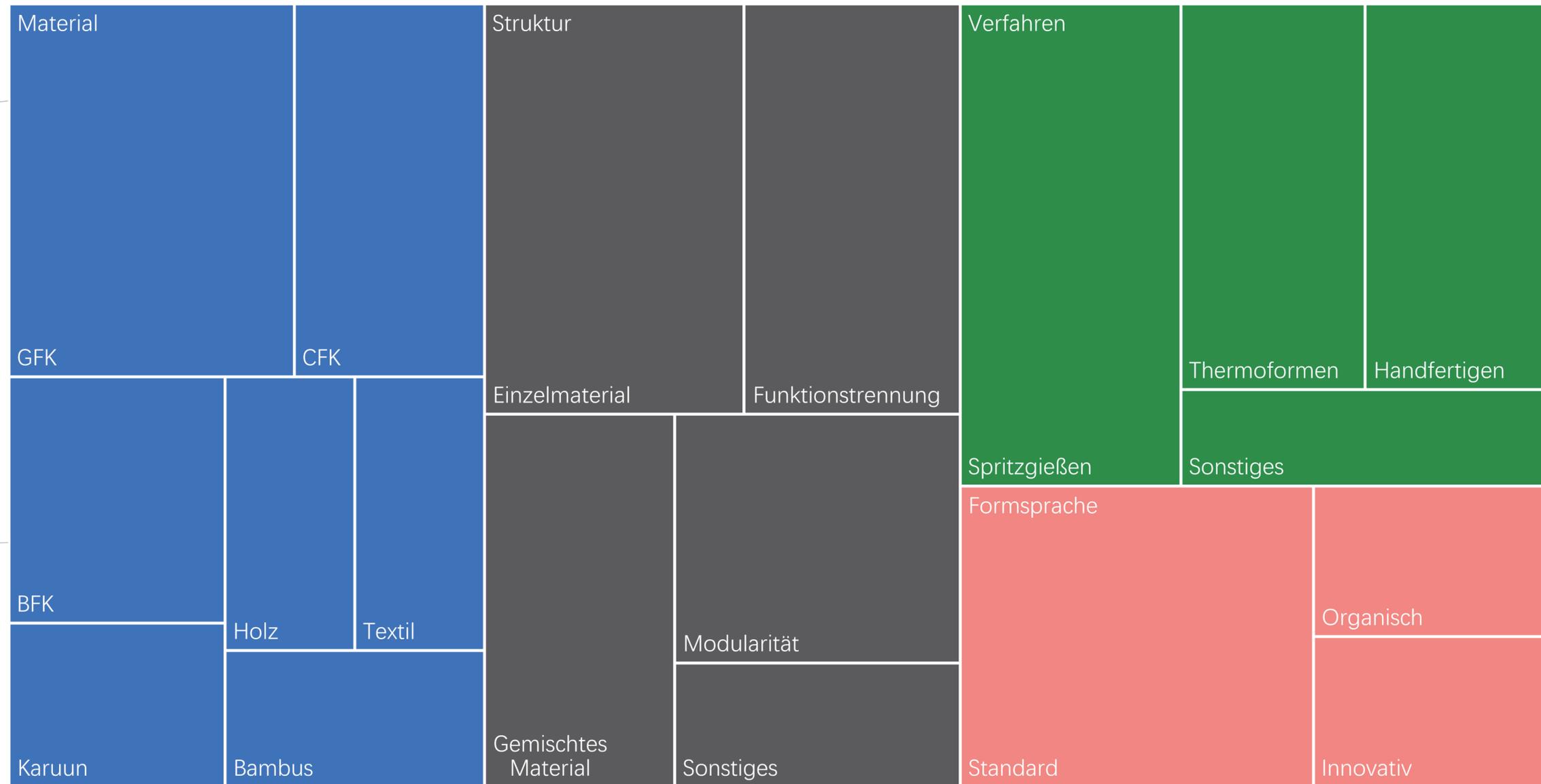
“Der morphologische Kasten ist eine systematisch heuristische Kreativitätstechnik nach dem Schweizer Astrophysiker Fritz Zwicky (1898–1974). Die mehrdimensionale Matrix bildet das Kernstück der morphologischen Analyse.” [78]

[79] Abb.62: Der morphologische Kasten

Nach dem Brainstorming habe ich einen morphologischen Kasten erstellt, um einige Konzepte zu generieren. In diesem Kasten habe ich fast alle Möglichkeiten für Designentscheidungen aufgelistet (je nach Materialien, Verarbeitung, Struktur und Formsprache). Ich wähle einige Elemente aus jeder Designentscheidung aus und kombiniere sie, um neue Inspirationen zu generieren.

Morphologischer Kasten

■ Material ■ Struktur ■ Verfahren ■ Formsprache



Karuun

Funktionstrennung

Thermoformen

Organisch



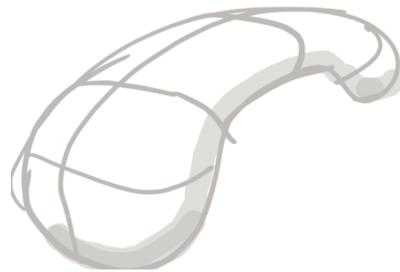
Karuun 3D als Armauflage, im Vergleich zu Midi, ist Materialmischung vermeiden. Karuun ist auch biologisch abbaubar.

rCFK

Einzelmaterial

Thermoformen

Organisch



Sekundäre Material verwenden, Thermoformen spart Energie, Leicht bau

Metall + GFK + Textil

Funktionstrennung

Thermoformen/Spritzgießen

Standard



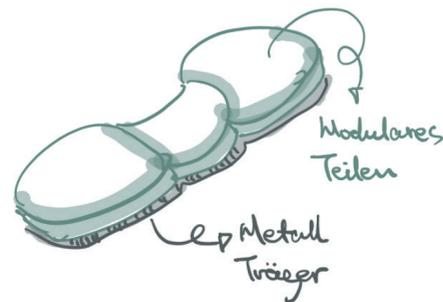
Metal hat Recyclingwert, Materialmischung vermeiden.

Metall + GFK

Modularität

Spritzgießen

Innovativ



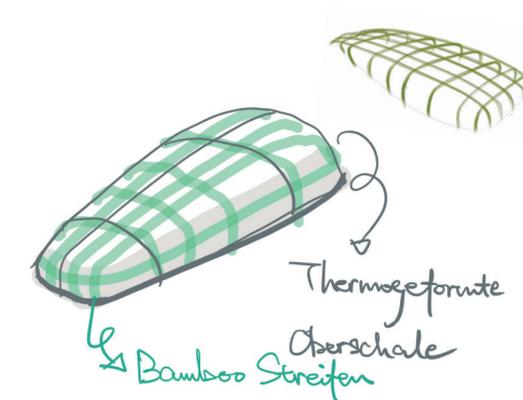
Metal hat Recyclingwert Dematerialisierung durch Modularität

Metall + GFK + Textil

Funktionstrennung

Thermoformen/Spritzgießen

Standard



Bambus als Unterstützung für Thermoformen, nachwachsende Material.

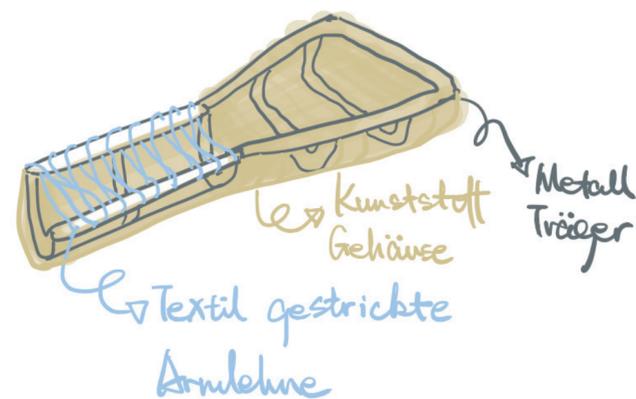
Nach der Diskussion und dem Vergleich fand ich schließlich die aussichtsreichste Lösung, um eine nachhaltige Armlehne zu entwerfen. Diese Lösung nutzt die Eigenschaften verschiedener Materialien, wie starkes Metall als Träger, formbarer Kunststoff als Außenschale und weiches Textil als Armauflage.

Metall + Kunststoff + Textil

Funktionstrennung

Thermoformen/Spritzgießen

Standard



Designrichtung

Es gibt viele Möglichkeiten, Metalle zu verarbeiten. Schneiden und Biegen sind am einfachsten und effizientesten. Die Materialien in den in der folgenden Abbildung gezeigten Produkten werden durch clevere Strukturen und minimalistische Verarbeitungsmethoden am effizientesten eingesetzt. Textilien werden nicht

nur in der Mode verwendet, sondern haben auch eine wichtige Position im industriellen Bereich. Durch die Entwicklung des 3D-Webens konnten Textilien verstärkt in den Bereichen Elektronik und Automobil eingesetzt werden. Auf dem Headset im Bild unten sehen wir ein gutes Designbeispiel für eine funktionstrennung.

Der obere Balken benötigt Flexibilität, keine Präzision. Die Verwendung von Holz kann diese Anforderung also gut erfüllen. Die Teile, die Präzision erfordern, sind aus Kunststoff.



[80] Abb.63: Minimalistischer Bandhalter

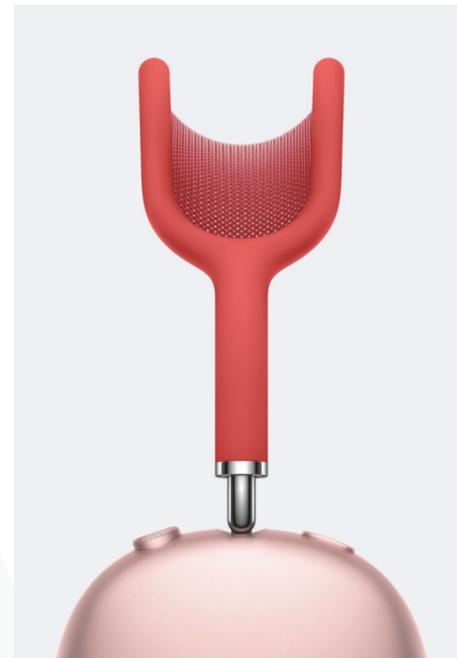
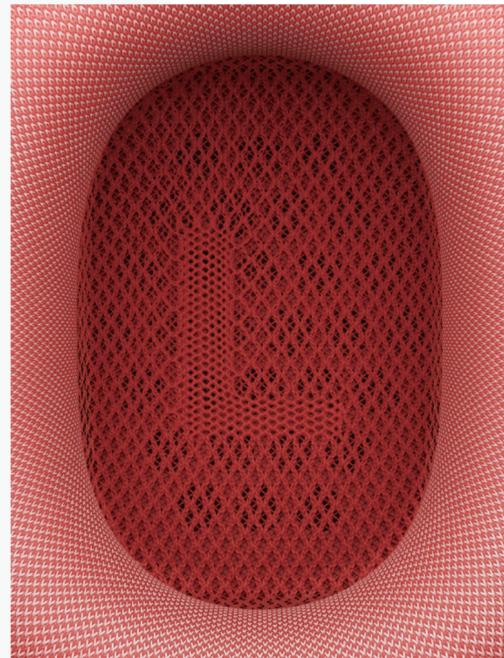
[81] Abb.64: Minimalistischer Tisch



[82] Abb.65: Geflecht



[83] Abb.66: Kopfhörer



Das Beispiel Apple AirPods Max zeigt auch, wie Designer die Eigenschaften verschiedener Materialien nutzen. Am Kopfbalken wird ein weiches Textil verwendet, das von verschiedenen Personen getragen werden kann. Der Edelstahlrahmen garantiert Robustheit.

Die Schale ist, aus Gründen des Aussehens, aus eloxiertem Aluminium.

Ein weiteres Beispiel ist ein Bürostuhl. Das weiche Gewebe bietet dem menschlichen Körper ein angenehmes Erlebnis, während das Metallgestell die Form und Festigkeit des gesamten Stuhls bestimmt.

[84] Abb.67: Apple AirPods Max Rot

[85] Abb.68: Apple AirPods Max Rot

[86] Abb.69: LOAD - Stühle von Billiani

[87] Abb.70: Apple AirPods Max Blau

[88] Abb.71: Apple AirPods Max Blau

[89] Abb.72: Bürostuhl Specs





[90] Abb.73: Inspiration

[91] Abb.74: Inspiration

[92] Abb.75: Inspiration

[93] Abb.76: Inspiration

[94] Abb.77: Inspiration

[95] Abb.78: Inspiration

Designrichtung:

Materialgerechte Gestaltung

Minimalisierung

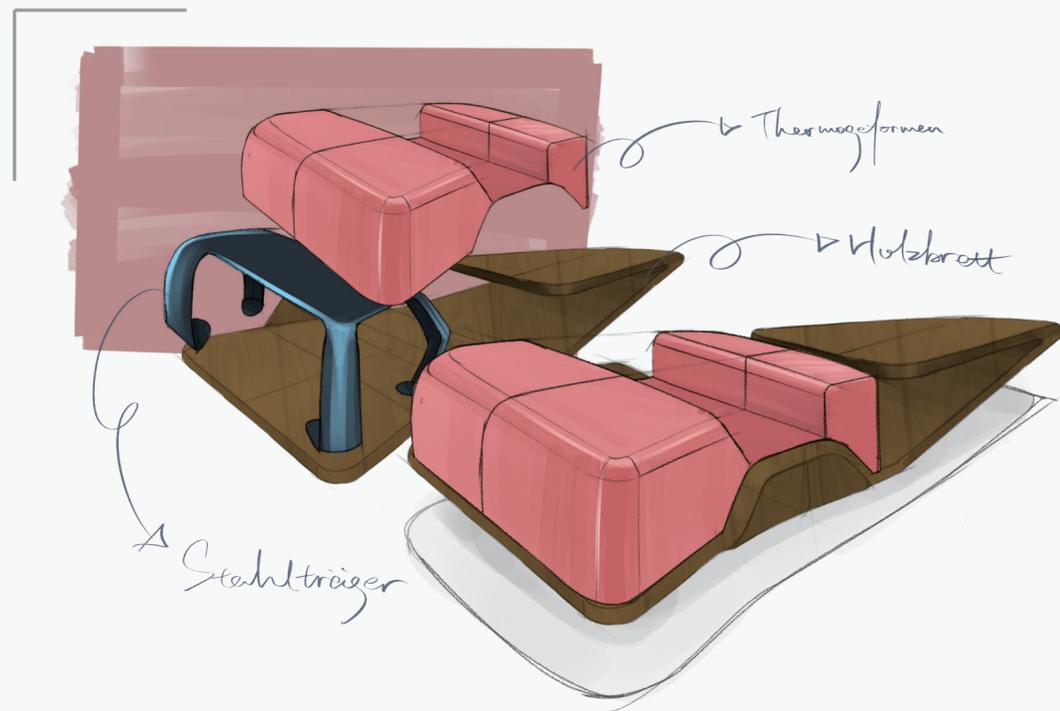
wenige Fertigungsschritte

Gebrauchstaulichkeit

_03

KONZEPT

- _Die Struktur
- _Der Stahlträger
- _Die Komponenten



Das erste Konzept: Metall wird als Stützrahmen verwendet, Teile werden daran befestigt und eine Kunststoffschale ist außen abgedeckt. Holz kann am Boden und an den Armlehnen verwendet werden, wenn keine Präzision erforderlich ist.

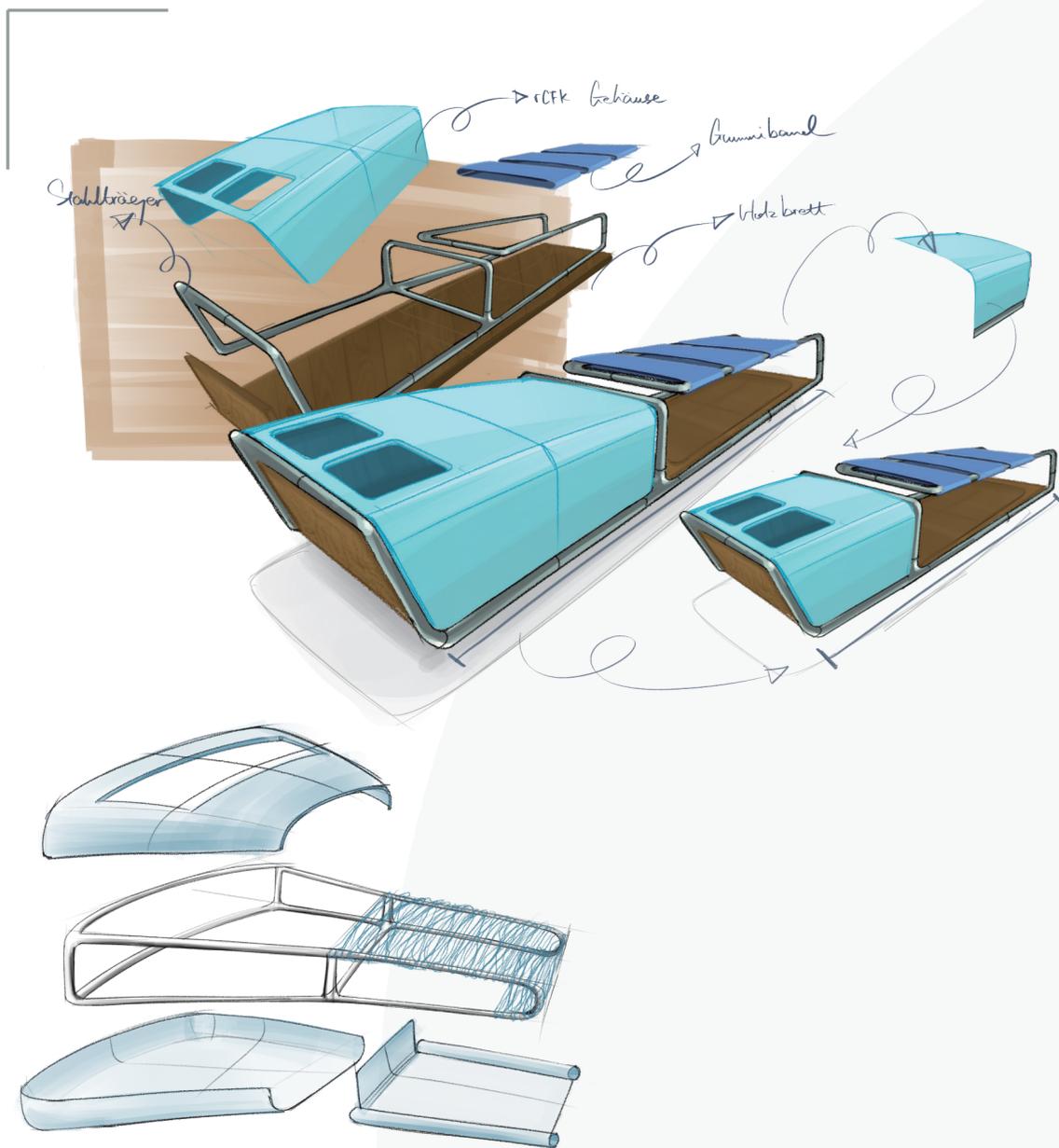
Nachhaltigkeit: Diese Lösung kann durch die Verwendung eines Metallrahmens die erforderliche Robustheit erreichen. Auf diese Weise kann auf die Verwendung von Verstärkungsfasern verzichtet und die Umweltverschmutzung verringert werden.

Bewertung: Die Idee dieses Konzepts ist es, Metall als Träger zu verwenden und Verstärkungsfasern zu verzichten. Das Holz unten sieht ideal aus, aber in der tatsächlichen Produktion ist es für Elobau, der keine Erfahrung in der Holzverarbeitung hat, zu kompliziert. Außerdem ist das Holz bei den klimatischen Bedingungen (große Temperaturunterschiede und Luftfeuchtigkeit), sowie Spritzwasser problematisch.

[96] Abb.79: Zeitgenössischer 4 Scheiben Matt Grey Toaster

[97] Abb.80: Holzdekoration





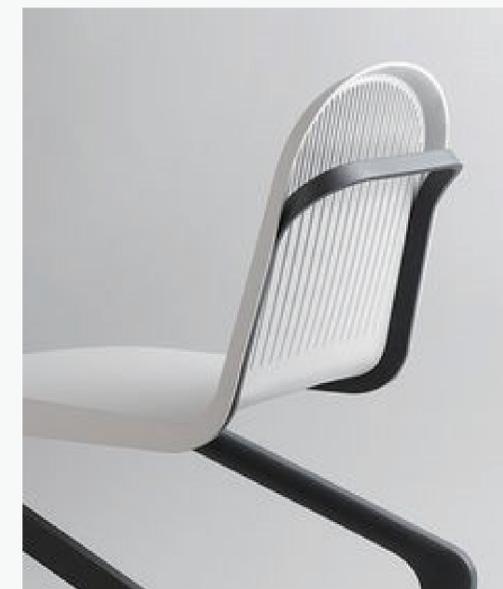
Das zweite Konzept: Das Metall wird nur als Rahmen zur Unterstützung der gesamten Armlehne verwendet, und die Teile werden weiterhin auf dem durch Spritzgießen hergestellten verstärkten Kunststoff installiert. Der Teil der Armauflage besteht aus weichem und elastischem Textil.

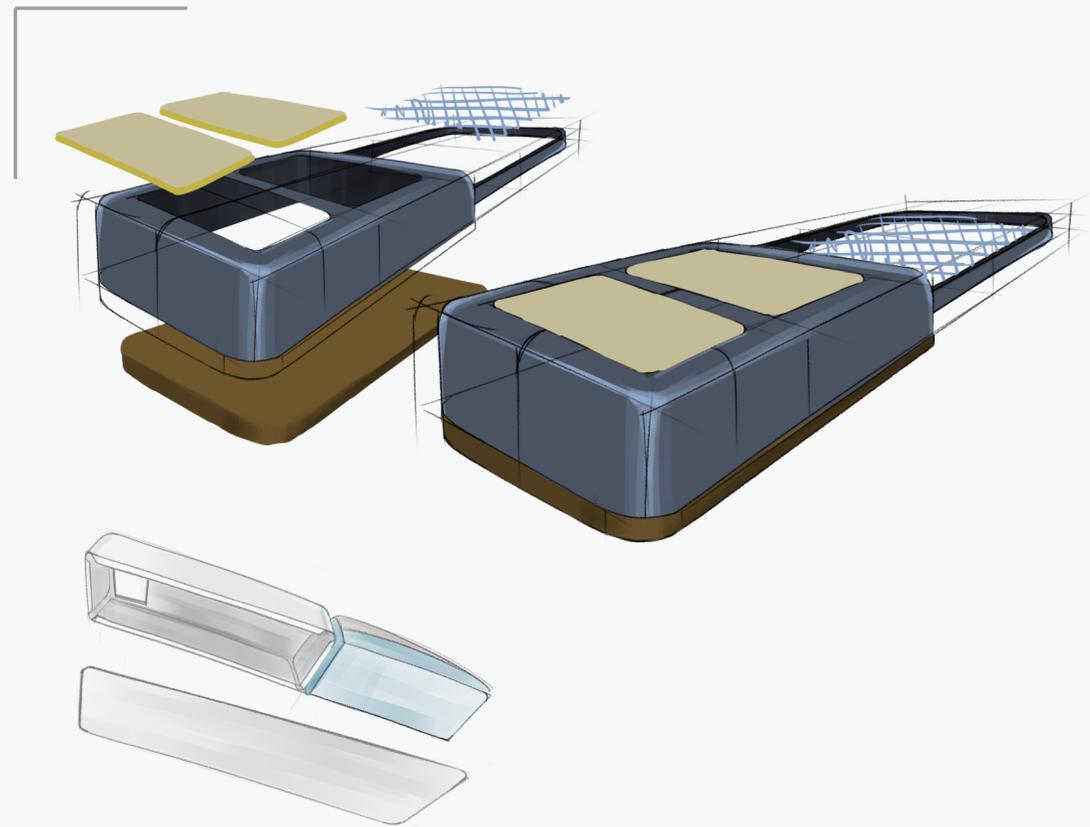
Nachhaltigkeit: Selbst wenn in diesem Konzept noch Verstärkungsfasern verwendet werden, wird die Anzahl stark reduziert. Stattdessen ein Metallrahmen, der am Ende der Lebensdauer besser recycelt wird. Materialmischungen an den Armauflage werden ebenfalls vermieden.

Bewertung: Das Spritzgießen von verstärktem Kunststoff ist eine Technologie, mit der elobau vertraut ist. Hier muss ich mich nicht um Genauigkeit und Stabilität kümmern. Das Design und die Herstellung des Metallrahmens sind jedoch für das gesamte Produkt sehr wichtig.

[98] Abb.81: Writing desk in the Bauhaus-Modernism style

[99] Abb.82: frederic rätsch x DuPont reveal the double cantilever chair (DCC)





Das dritte Konzept: Das Metall wird direkt als Rahmen und Schale der Armlehne verwendet, und die Stelle, an der der Arm platziert wird, besteht aus Textil. Die Teile sind auf der spritzgegossenen Kunststoffplatte montiert und der Boden ist auf dem Holz montiert.

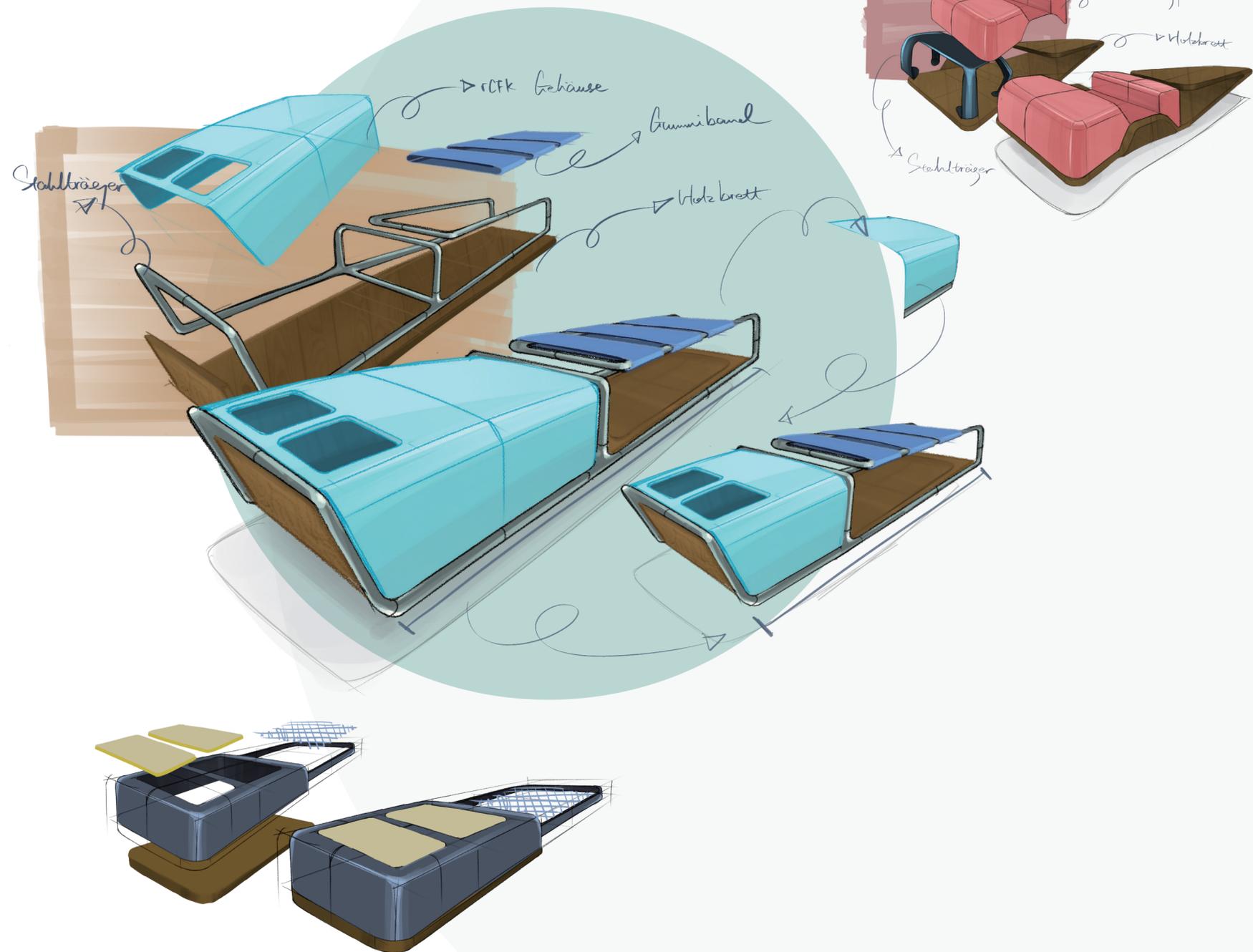
Nachhaltigkeit: Diese Methode reduziert den Einsatz von Kunststoff erheblich und ersetzt ihn durch Metall und Holz. Dies ist zweifellos am Ende der Lebensdauer des Produkts sehr vorteilhaft. Die Metallhülle ist offensichtlich und wird gut recycelt.

Bewertung: Obwohl die Metallhülle gut klingt, ignoriert diese Methode die teuren Kosten und das mögliche Produktgewicht. Daher ist es in der Ökobilanz nicht unbedingt sehr nachhaltig.

[100] Abb.83: Oskar Luftbefeuchter

[101] Abb.84: Moderne Mailbox



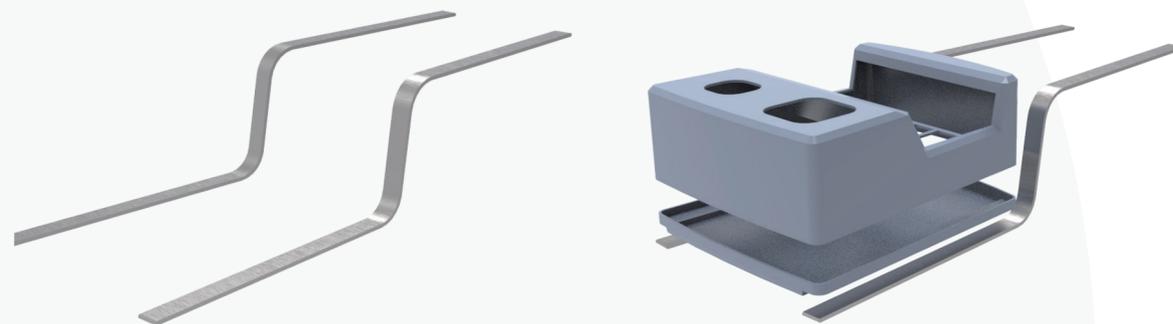


Konzept festgelegt

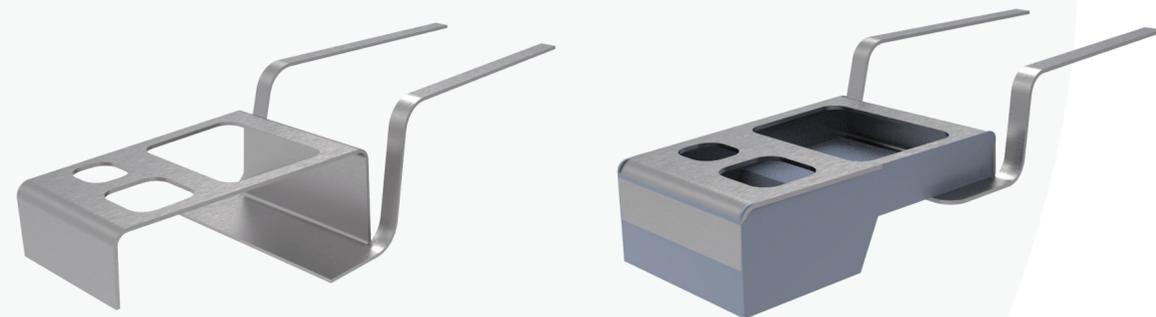
Nach der obigen Analyse ist das zweite Konzept offensichtlich am geeignetsten. Der Einsatz von Materialien und Strukturen ist ebenfalls relativ sinnvoll.



Variante 1: Variante 1 verwendet eine Rohrbiegestruktur, um einen Metallrahmen zu bilden. Beim Durchmesser dieses Rohres ist es jedoch tatsächlich schwierig, diese geringen Biegeradien zu erreichen



Variante 2: In der zweite Variante wurde das Rundrohr durch zwei Stahlbleche mit einer Dicke von 3 mm ersetzt und die gesamte Struktur vereinfacht.



Variante 3: Variante 3 ist komplizierter: Es ist eine Struktur, die durch Schneiden und Biegen eines ganzen Stückes Stahlplatte gebildet wird. Der Vorteil ist, dass die Rohstoffe besser genutzt werden, so dass die Stahlplatte nicht nur als Halterung, sondern auch als Oberfläche für die Montage von Teilen verwendet werden kann.

Nach dem Vergleich habe ich beschlossen, das Design in Richtung Variante 2 fortzusetzen. Im Gegensatz dazu sind die Nachteile von Variante 3 wie folgt:

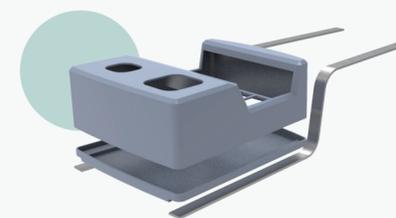
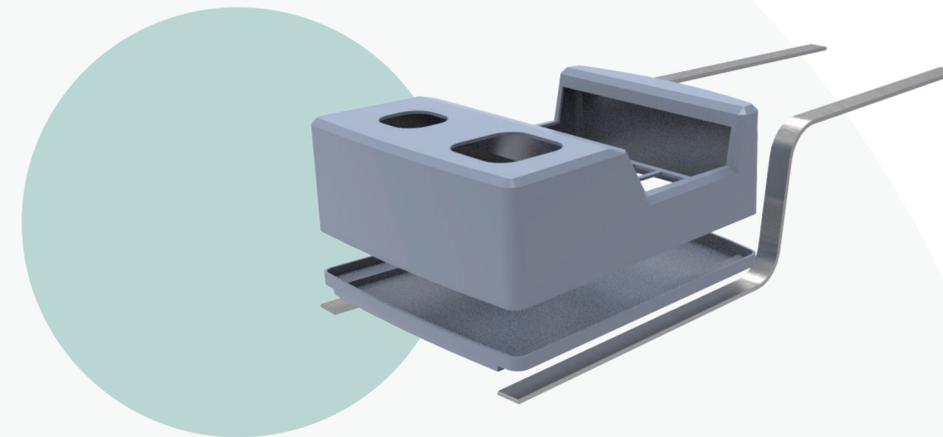
1. Gewicht. Übermäßiger Gebrauch von Metall erhöht nicht nur die Kosten, sondern auch das Gewicht des Produkts erheblich, so dass es für die Nachhaltigkeit nicht wünschenswert ist.

2. Formgestaltung. Aufgrund der Biegemethode bringt Variante 3 viele Unannehmlichkeiten im Design mit sich. Zum Beispiel sind die Länge und die Proportionen schwer einzustellen, und die Breite des vorderen und hinteren Endes kann nicht harmonisch sein.

3. Benutzererfahrung. Die Oberfläche des Metalls, das zum Einbau der Teile verwendet wird, ist sicherlich stark genug,

aber bei extremen Wetterbedingungen ist die Wärmeleitfähigkeit des Metalls so gut, dass die Arbeitsfläche zu kalt oder zu heiß wird.

Im Gegensatz dazu weist Variante 2 die Eigenschaften geeigneter Materialien, geringes Gewicht und flexible Struktur auf. Im Vergleich zu Midi reduziert es auch die Menge an Glasfasern erheblich, verbessert die Recyclingfähigkeit des Produkts und vermeidet Materialmischungen.

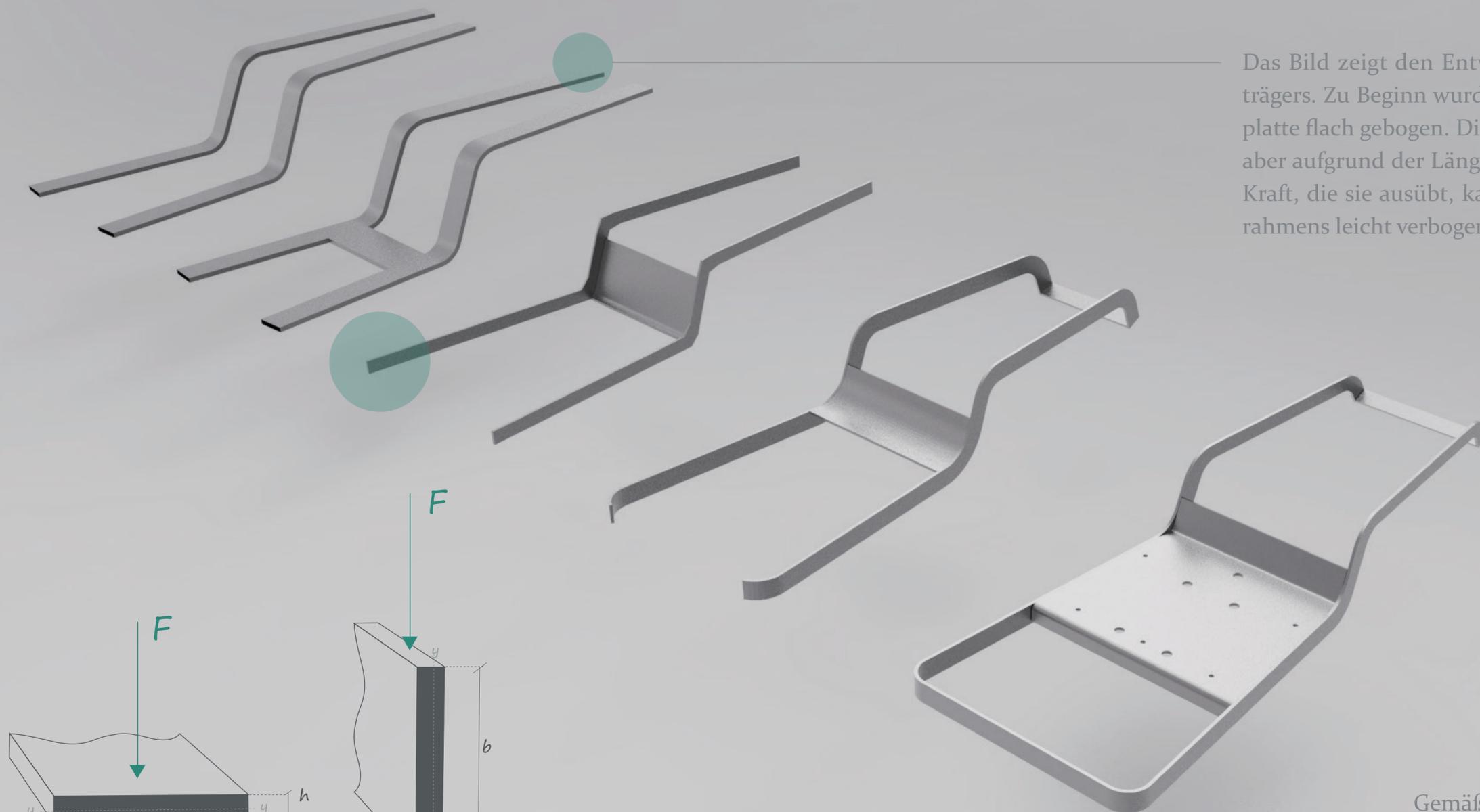


Midi	Material	Fertigung	Gewicht	Wanddick
Oberschale	PA GF30	Spritzguss	670g	-
Unterschale	PA GF30	Spritzguss	730g	-
Armauflage	gemischt	gemischt	500g	-
Insgesamt			1900g	

Konzept 2	Material	Fertigung	Gewicht	Wanddick
Stahlträger	Stahl	gebogen	844g	4mm
Oberschale	GFK 30	Spritzguss	420g	2mm
Unterschale	ABS	Thermoformen	186g	2.5mm
Insgesamt			1450g	

Konzept 3	Material	Fertigung	Gewicht	Wanddick
Blech	Stahl	Gebogen, CNC	2290g	4mm
Gehäuse	ABS	Thermoformen	250g	2.5mm
Insgesamt			2540g	

Das Bild zeigt den Entwurfsprozess des Stahlträgers. Zu Beginn wurde die 3 mm dicke Stahlplatte flach gebogen. Diese Methode ist einfach, aber aufgrund der Länge der Armlehne und der Kraft, die sie ausübt, kann das Ende des Stahlrahmens leicht verbogen werden.



$$I_{yy} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{yy} = \frac{b^3 \cdot h}{12}$$

Die Entwicklung des Stahlträger-Designs

Gemäß der Kraftanalyse des Flächenträgheitsmoments kann das Drehen der Struktur des Stahlrahmens dieses Problem sehr elegant lösen. Der größere Vorteil ist, dass der Metallrahmen jetzt sichtbar ist, was auch die Ästhetik verbessert und die gesamte Armauflage hochwertiger aussehen lässt.

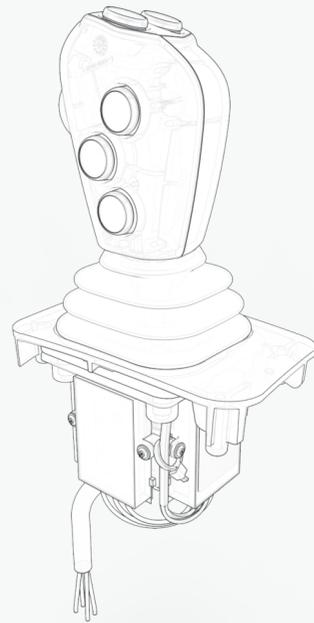


Elobau entschied sich für die Installation der folgenden Komponenten an der neuen Bedienarmlehne: einen multifunktionalen Bedienbereich, einen Joystick und zwei Tastenreihen. Dazu gehören grundsätzlich die grundlegenden betrieblichen Anforderungen eines Nutzfahrzeugs. Die Funktionen aller Teile können programmiert und angepasst werden.

_04 DESIGN

- _Die Ergonomie
- _Die Formsprache
- _Der Modellbau

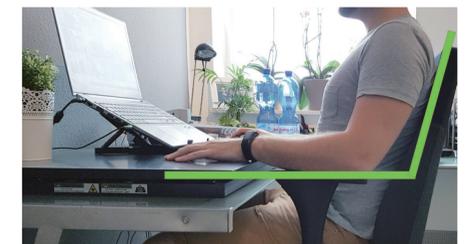
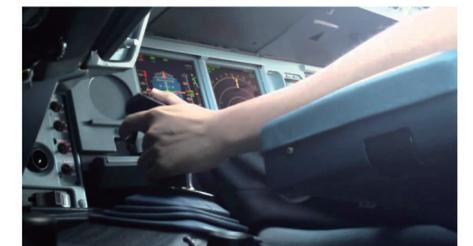
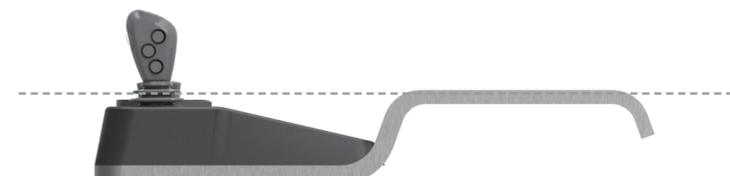
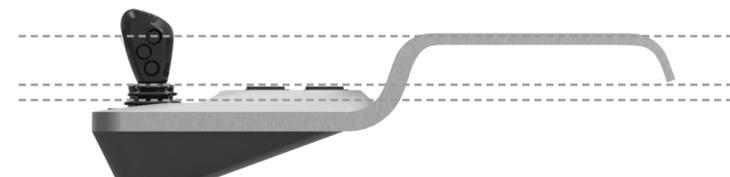
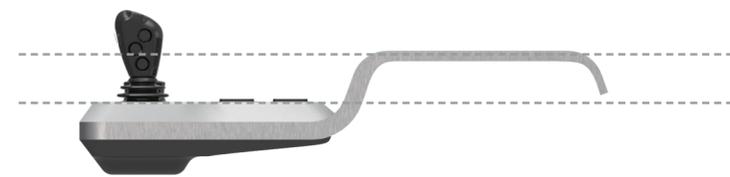
Ergonomie



[102] Abb.85: Ergonomie der Armlehnen

[103] Abb.86: Ergonomie der Armlehnen

[104] Abb.87: Ergonomie der Armlehnen



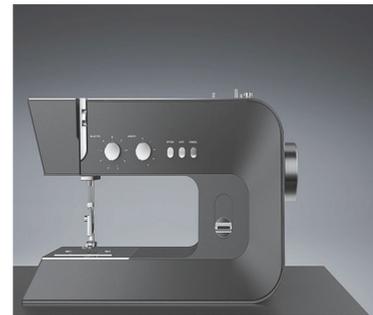
Hier sind drei Optionen mit unterschiedlichen Anpassungen der Höhe des Joysticks und der Tasten.

Option 1: Die Armlehne ist höher als der Joystick und die Tasten.

Option 2: Die Armlehne ist höher als die Tasten und die Tasten sind höher als der Joystick.

Option 3: Die Armlehne ist so hoch wie der Joystick und die Tasten sind niedriger als sie.

Nach Beobachtung und Vergleich habe ich die dritte Option gewählt, damit der Arm den Joystick bequem bedienen kann, ohne versehentlich die Tasten zu berühren.



[105] Abb.88: Inspiration

[106] Abb.89: Ora Ito Stuhl

[107] Abb.90: Moderne Nähmaschine

[108] Abb.91: Setu Side Chair

[109] Abb.92: Peugeot Instinct Concept

[110] Abb.93: Phoenix - premium long haul economy seat concept

[111] Abb.94: Gasketka | Transportation Design

[112] Abb.95: Der neu gestaltete Radstuhl

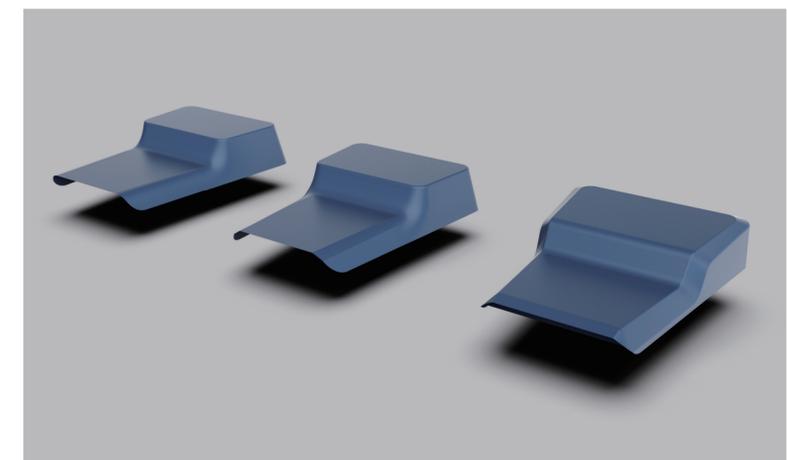
Moodboard

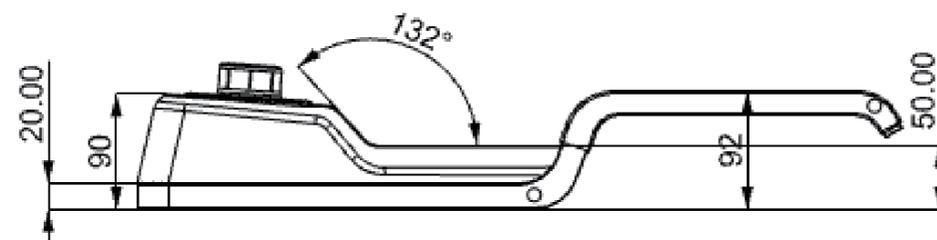
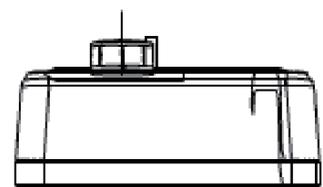
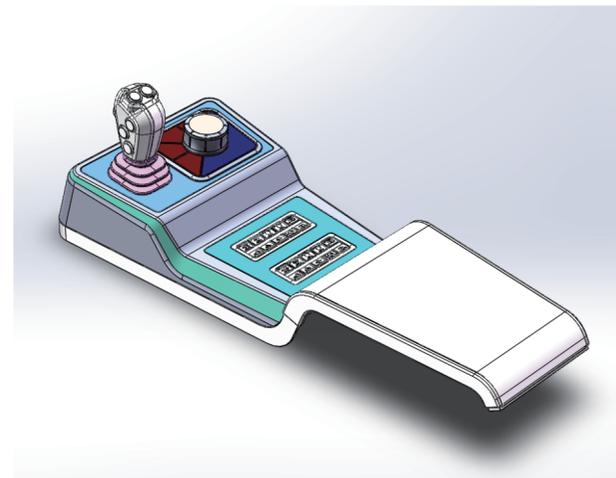
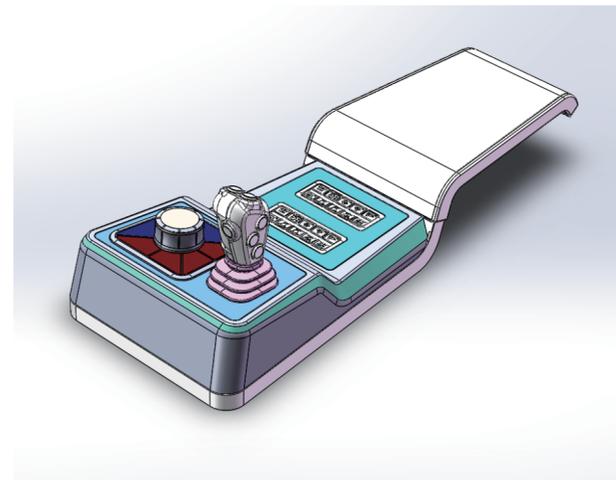
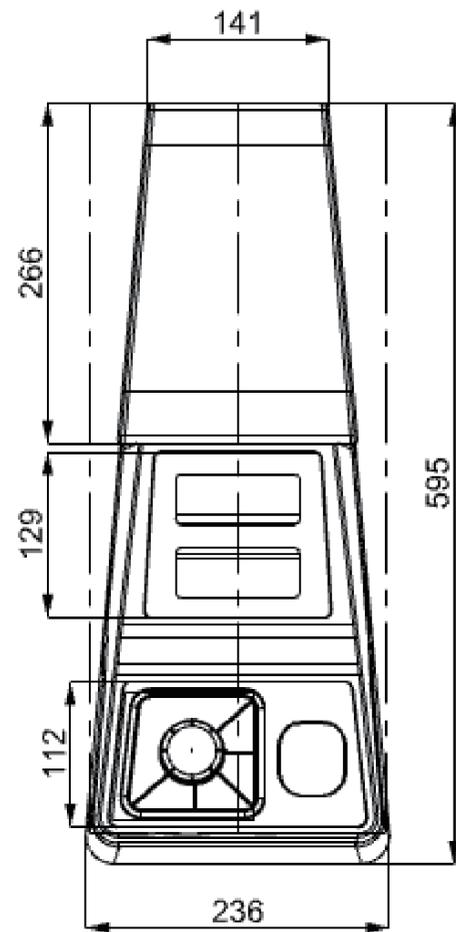
Gehäuse Gestaltung

Ich entwarf die Details in der Rhino-Modellierungssoftware und wählte schließlich drei Optionen aus.



Der Unterschied zwischen den drei Modellen liegt in der Fase bzw. Radius. Das Modell links hat einen weicheren Übergang, und das Modell rechts hat eine scharfe Kante.





Drei Ansichten & Modellierung

Am Ende wählte ich den dritten Plan als mein endgültiges Design. Es hat eine harte und fließende Form, die ein starkes, robustes und langlebiges Gefühl vermittelt. Gerade Linien können auch stärker in den Stil der Innenausstattung von Nutzfahrzeugen integriert werden.

_05

FINALER ENTWURF

_Designdetails

_Nachhaltigkeits Bewertung

_Prototypbau

_Zusammenfassung

Armauflage

Als Armauflage werden sehr leichte und bequeme Textilien verwendet, bei denen Materialmischungen vermieden werden.

Gehäuse

Die Form des Gehäuses verwendet eine geradlinige Formsprache, die die Robustheit und Langlebigkeit der Armlehne zeigt.

Bedienpanel

Elobaus innovatives Multifunktionsbedienfeld, Kombination aus Hitchwheel, Joystick und Tasten



Inlays

Austauschbares Inlay, mit zwei Reihen programmierbarer Tasten, Bedienpanel und Joystick ausgestattet. Kunden können auch andere Materialien und Funktionen entsprechend ihren Anforderungen ersetzen.

Joystick

Der ergonomische Joystick ist die Spezialität von Elobau.



Produkt
& Nutzungsszenario

Display



Ablage & Getränkehalter



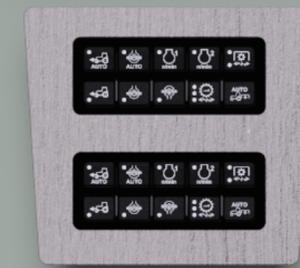
Holzapplikation



Original



Touchdisplay



Modularität
&
Updatefähigkeit

Das CMF (Color, Material, Finishing)

Langlebigkeit umfasst klassisches zeitloses Design.

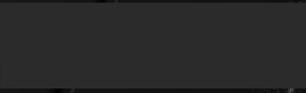
Zu ausgefallene und auffällige Designs werden schnell veraltet und entsprechen daher nicht dem Konzept der Nachhaltigkeit.

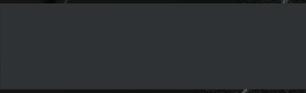
_05 Finaler Entwurf

_Designdetails

79

elobau 
sustainable solutions

RAL 9004 Signalschwarz Matt 

RAL 7021 Schwarzgrau Matt 

RAL 9005 Tiefschwarz Rau 

RAL 9005 Tiefschwarz Glänzend 

Edelstahl Silber 

Für die Armlehnen habe ich das klassische Farbschema verwendet, das schmutzabweisendes Grau und Schwarz ist. Durch subtile Materialänderungen wirkt das Gesamtbild nicht eintönig.

_05 Finaler Entwurf

_Designdetails

80

The control panel features two sets of buttons. The left set includes: 'AUTO' (fan icon), 'AUTO' (lightbulb icon), 'n/min' (fan icon), and 'AUTO' (fan icon). The right set includes: 'AUTO' (fan icon), 'AUTO' (lightbulb icon), 'n/min' (fan icon), and 'AUTO' (fan icon). Each button also features a gear icon, likely representing a filter or maintenance indicator.

elobau 
sustainable solutions

40% CO2 -Einsparung

7.9% Gewichtersparnis

Umweltfreundliches Recycling

_05 Finaler Entwurf

_Designdetails

81

- 1200g Edelstahl
- 50g Nylon
- 200g ABS (Thermogeformt)
- 220g PA6 GF30
- 80g ABS/Karun/Edelstahl/...

Modulares Design

Die Armlehne:
Materialeffizienz

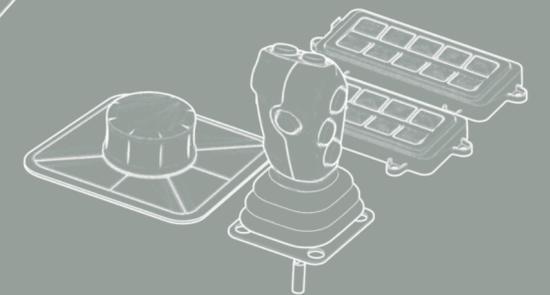
Stahlträger:
Festigkeit

Unterschale:
Staubschutz
Textile Armauflage:
Komfort & Leichtbau

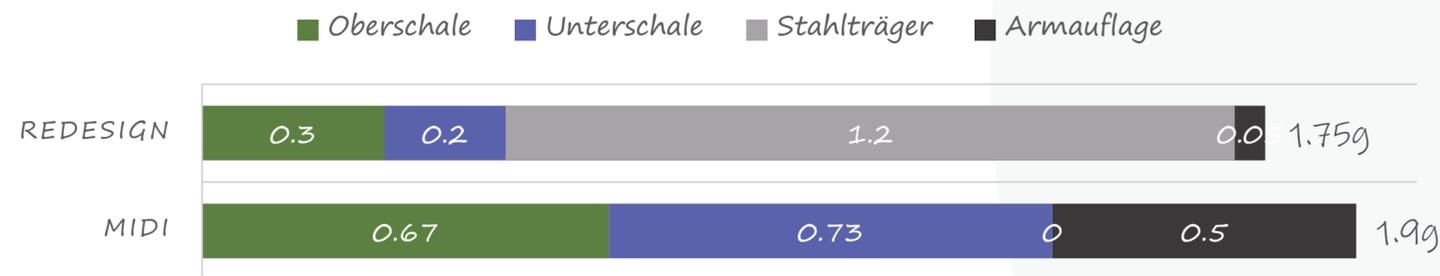
Oberschale:
Langlebigkeit
&
Präzision

Inlays:
Modularität
&
Updatefähigkeit

Komponenten:
Konfigurierbarkeit



GEWICHT



CO2-WERT



LCA Daumenwerte

Material	CO2/kg
Rechnen mit Primärmaterial	
PA6 mit 30%GF-Spritzgussteil	5.5
Edelstahl	2.7
ABS-Granulat	3.1
Gemischtes Material	4

Die rechte Seite der obigen Abbildung ist eine grobe Schätzung des CO₂-Werts, der von verschiedenen Materialien erzeugt wird. Die aus dem CAD-Modell erhaltenen Gewichtsdaten werden mit dem entsprechenden Material multipliziert, um den CO₂-Wert dieses Teils zu erhalten. Aus der Grafik können wir ersehen,

dass das Gewicht der neu gestalteten Lösung nicht nur etwa 0,15 kg (150 g) leichter als der Midi-Armlehne ist, sondern auch den CO₂-Ausstoß durch Materialoptimierung um etwa 40% reduziert.

Fazit: Erkenntnisse aus LCA-Betrachtung

- Die Reduzierung von glasfaserverstärkten Kunststoffen ist der Schlüssel zur Reduzierung der Umweltverschmutzung bei CO₂-Emissionen oder beim Recycling. Edelstahl hat den deutlich niedrigeren CO₂-Wert im Vergleich zu PA.

- Bei diesem niedrigen Wert handelt es sich um Primärmaterial.
- Weitere Einsparungen liegen daher im Nachweis eines Recyclingweges, bzw. im Erwerb von recyceltem Edelstahl.
- Auch ABS hat einen deutlich niedrigeren Wert als PA.

Nachhaltigkeit: Der Stahlträger

Langlebigkeit: Bedienarmlehnen für Nutzfahrzeuge müssen langlebig sein (>15 Jahre). Robustheit wurde durch einen ästhetischen Edelstahlrahmen umgesetzt.

Einfache Verarbeitungsmethode: Im Entwurfsprozess habe ich die Auswirkungen der Metallverarbeitungstechnologie auf die Umwelt berücksichtigt und versucht, die einfachste Verarbeitungsmethode

zu verwenden, um diese Struktur zu erreichen. Ich habe die grundlegendsten Metallverarbeitungsmethoden wie Biegen, Schneiden und ein wenig Schweißen verwendet und Heißverarbeitungsmethoden wie Gießen und Schmieden vermieden.

Recyclinggerecht: End of Life: Der Hersteller hat aktuell keinen Zugriff auf das End-of-Life, da die Fahrzeuge noch lange Zeit im Ausland im

Einsatz sind und dann dort entsorgt werden. Der Einsatz von Edelstahl im sichtbaren Bereich erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass zumindest dieses Bauteil dem Metallrecycling zugeführt wird.

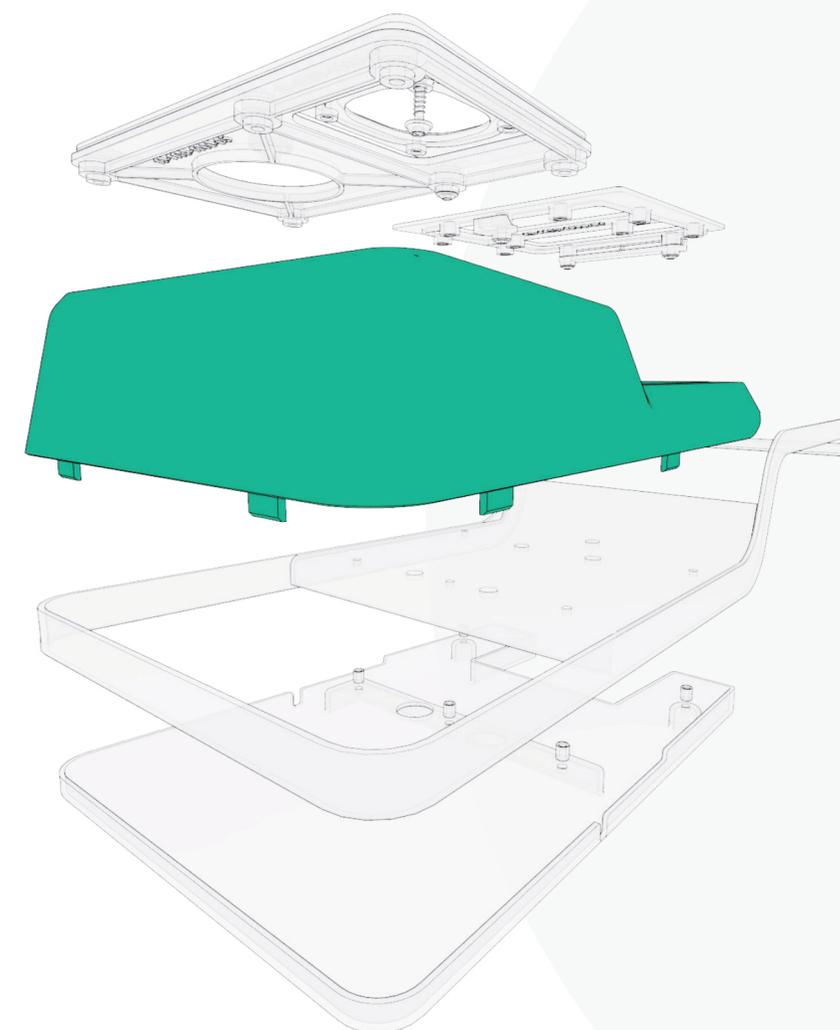


Nachhaltigkeit: Das Gehäuse

Dematerialisierung: Die konventionelle Lösung heutzutage ist ein großes Gehäuse aus glasfaser-gefülltem Polyamid, in welches die Komponenten montiert werden. Das Spritzgussverfahren stellt die Genauigkeit des Gehäuses sicher. Das Material genügt den hohen mechanischen Beanspruchungen. Die Umweltauswirkungen sind hingegen wenig attraktiv (hoher CO₂-Einsatz und Nicht-Recyclingfähigkeit). Mein Ansatz war also die technischen Produktanforderungen durch eine Kombination verschiedener Materialien und ihrer mechanischen Eigenschaften in einer geeigneten

Konstruktionsweise umzusetzen. Der Einsatz von Glasfasern und Polyamid sollte reduziert und Materialmischungen vermieden werden. Deswegen habe ich stattdessen Edelstahl für die Festigkeit und Schlagzähigkeit eingesetzt. Der glasfasergefüllte Polyamid-Anteil konnte so von 1,4 kg auf 300g reduziert werden. In einer ersten Abschätzung konnte der CO₂-Einsatz dadurch um mind. 35% gesenkt werden.

Der glasfasergefüllte Polyamid-Anteil wird von 1,4 kg auf 300g reduziert.



Nachhaltigkeit: Modulares Inlay

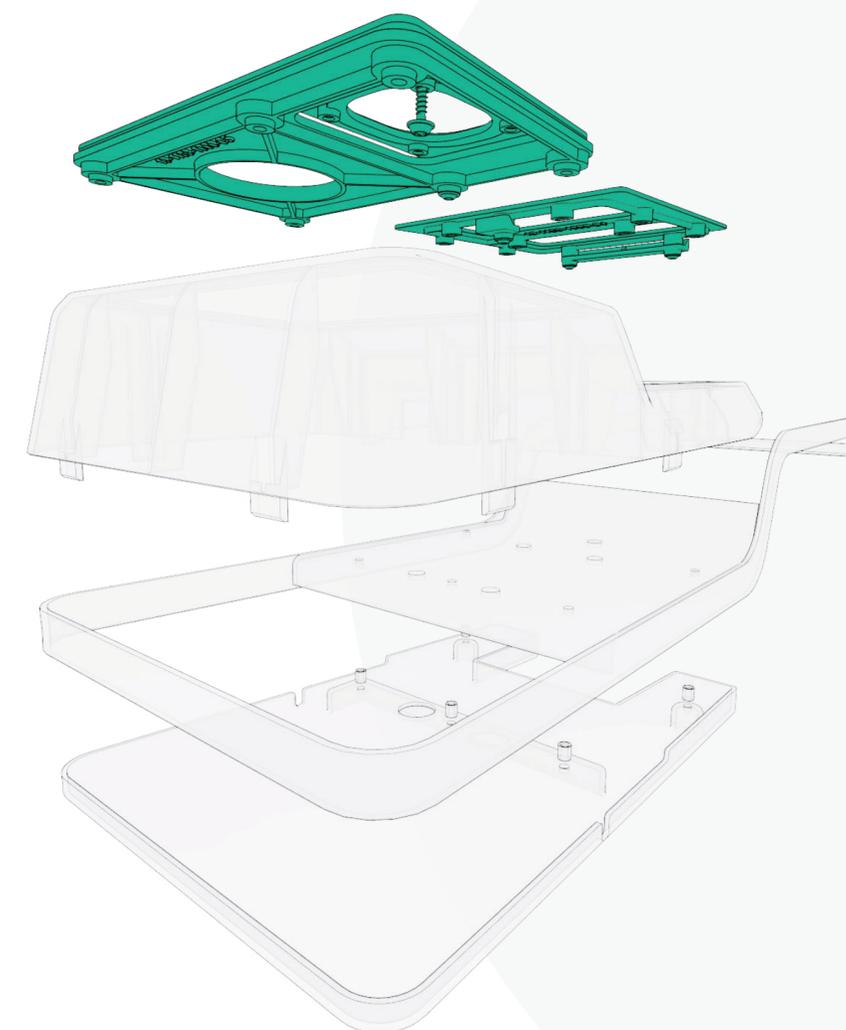
Reparierbarkeit, Konfigurierbarkeit & Updatefähigkeit: Die Nutzfahrzeug-Bedienarmlehne ist ein Investitionsprodukt und muss immer fahrzeugspezifisch entwickelt und angepasst werden, bevor sie in den Nutzfahrzeugen eingesetzt werden kann. Mein Entwurfsergebnis ist eine voll konfigurierbare Bedienarmlehne mit hohem ästhetischem Anspruch. Sie kann dadurch auch denjenigen Kunden angeboten werden, die nur einen geringen Funktionsumfang benötigen, also weniger Bedienelemente.

Die Konfigurierbarkeit habe ich über modulare Inlays erreicht, die indi-

viduell nach Kundenwunsch durch verschiedene Materialien umgesetzt werden können. Dieser aus Kundensicht ästhetische Mehrwert bringt ökologische und wirtschaftliche Vorteile: Wenn man die Bedienarmlehne reparieren, verändern oder aktualisieren möchte, werden nur die Inlays gewechselt, in dem die Komponenten installiert sind. Dadurch bleibt die Bedienarmlehne bis zum Lebensende updatefähig und technisch auf dem neusten Stand. Das Gehäuse, einschließlich Metallträger und Armauflage, wird wiederverwendet. Es wird also weniger produziert und es entsteht weniger Abfall entlang der Nutzungsphase, auch bei einem Be-

sitzerwechsel des Nutzfahrzeugs.

Die Botschaft an die Branche: Ein ökologisches Redesign lohnt sich gleich doppelt: Wir entlasten die Umwelt und steigern die Mehrwerte für den Kunden.



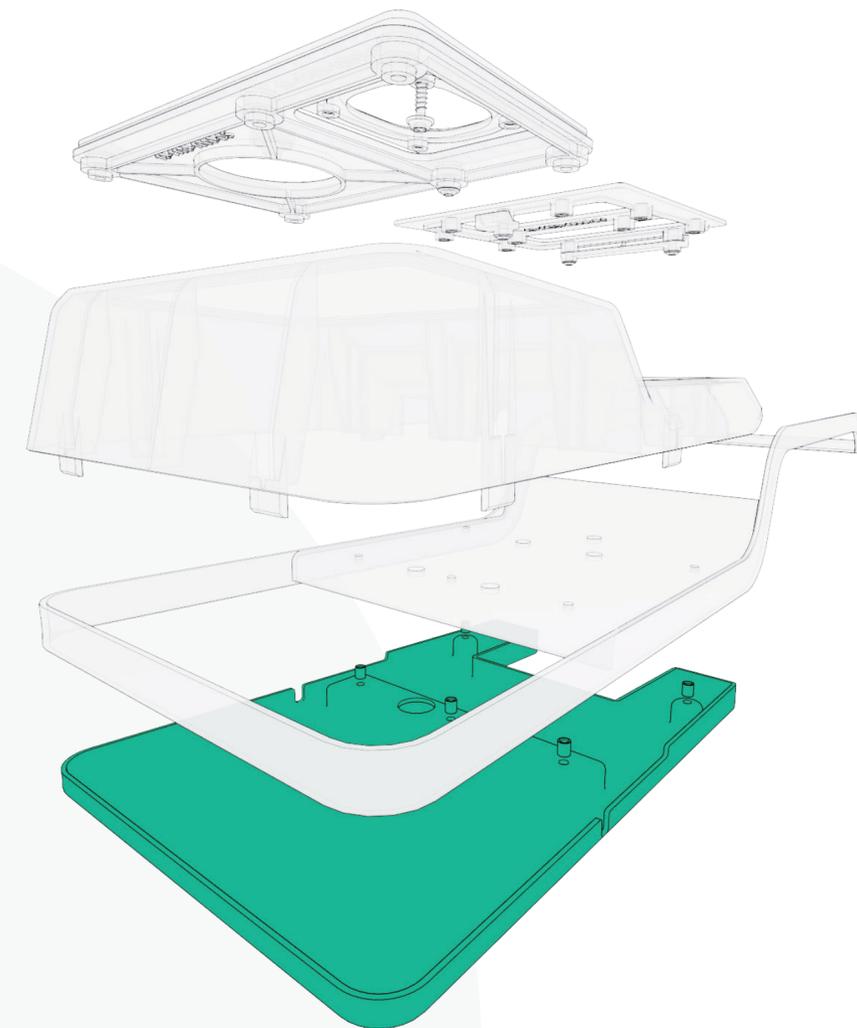
Nachhaltigkeit: Unterschale & Armauflage

Materialeignung: An den Stellen, wo keine Präzision benötigt wird (Unterschale), setzt mein Entwurf auf Thermoformen statt Spritzgießen, um weiteres CO₂ einzusparen. ABS reicht hier mechanisch aus und hat einen geringeren CO₂-Fußabdruck. Das Textil spart Gewicht, erhöht Komfort und löst nicht recyclingfähige Materialmischungen ab.

Zerlegbarkeit: Der leichte Stoff im Bereich der Armauflage wird um den Metallrahmen montiert. Ich vermeide dadurch übliche Materialmischungen im Armauflagenbereich (sowohl üblich im Automotive als auch im

Nutzfahrzeugsegment), wo heute fast ausschließlich geschäumte Kunststoffe, Hartkunststoffe und (Kunst-)Leder untrennbar miteinander verbunden werden.

Die fünf Hauptbauteile sind schnell zerlegbar und steigern dadurch Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit.





Prototypbau



Fazit Bei der Neugestaltung der Midi-Armlehne habe ich die Menge an glasfaserverstärktem Kunststoff durch die Umwandlung des Produktmaterials und der Produktstruktur erfolgreich reduziert (1400g auf 300g). Der Recyclingwert und die Updatefähigkeit der Armlehnen wurden ebenfalls erhöht.

Schlusswort

Das Konzept des nachhaltigen Designs gibt es schon lange, aber es gibt eine große Lücke zwischen praktischen Anwendungen und theoretischen Methoden. Insbesondere bei ausgereiften Produkten ist es aus Gründen der Produktion, Qualität, des Gewinns, des Transports und aus anderen Gründen sehr schwierig, einen Durchbruch im Bereich nachhaltiges Design zu erzielen. Verschiedene nachhaltige Entwurfsmethoden stehen immer in Konflikt miteinander, und eindeutige Schlussfolgerungen können nur durch komplexe Ökobilanzberechnungen gezogen werden. In diesem Projekt habe ich viele Male versucht, auf Spritzguss oder faserverstärkte PA zu verzichten, aber ich muss zugeben, dass dies in verschiedener Hinsicht sehr gut für die Herstellung solcher Armlehne geeignet

ist. Andere Methoden scheinen immer etwas kurzsichtig und unpraktisch zu sein, als ob sie absichtlich aus Gründen der Nachhaltigkeit durchgeführt würden. Aus diesem Projekt geht hervor, dass das nachhaltige Design in der tatsächlichen Produktion in Berechnung, Vergleich und Kompromiss liegt. Ich freue mich sehr, dass elobau den gesamten Prozess geleitet hat. Obwohl dies viele Einschränkungen mit sich gebracht hat, kann das Ergebnis dieses Designs eng mit der tatsächlichen Produktion verknüpft werden und eine wirklich nachhaltige Transformation erreichen.

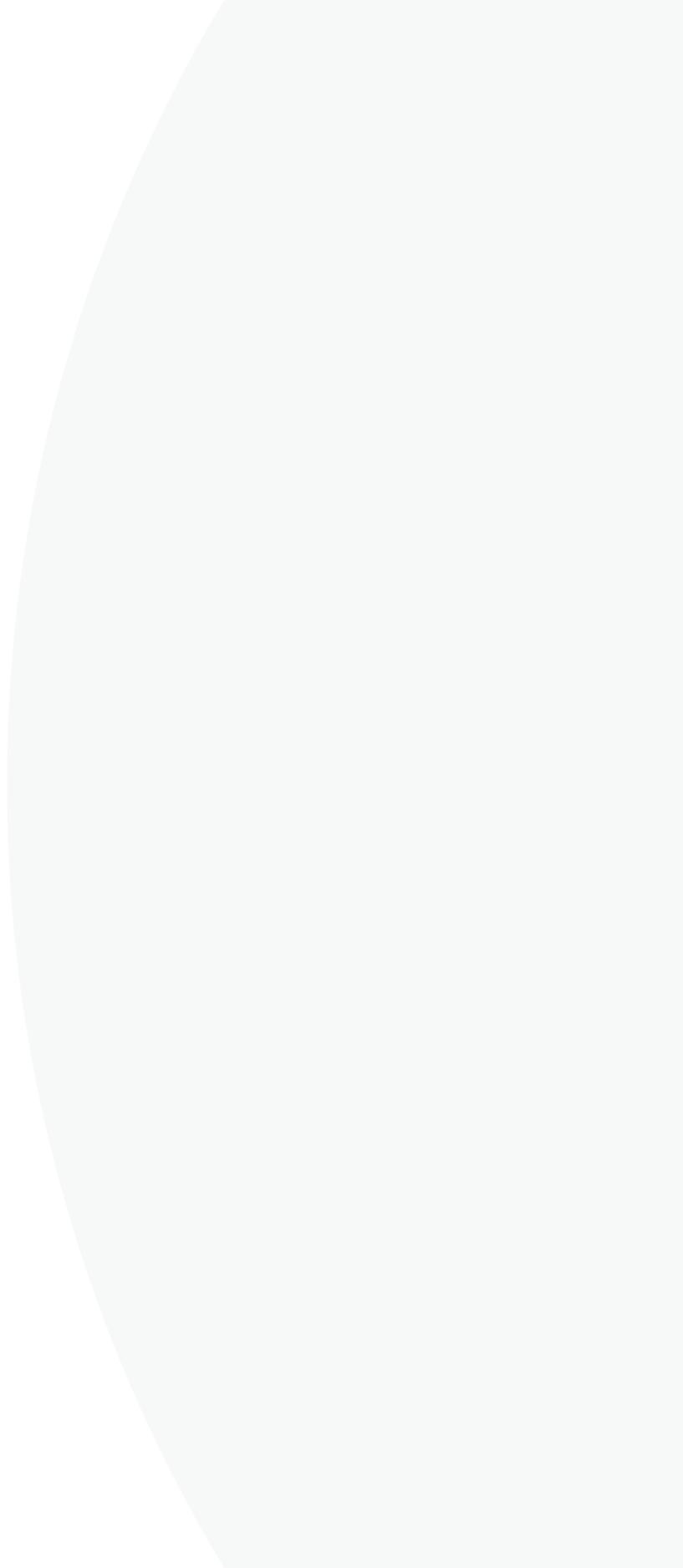
Dieses Projekt brachte mich auch dazu, viel über Ökodesign nachzudenken. Um echte Nachhaltigkeit zu erreichen, ist es notwendig, das Produkt von der Wurzel zu dekonstru-

ieren und darüber nachzudenken, welche Funktion das Produkt erfüllen soll, anstatt eine oberflächliche Transformation vorzunehmen.

Während dieses Prozesses habe ich von Elobau viel über die tatsächliche Produktentwicklung gelernt und unter Anleitung von Fraunhofer mein Verständnis von Nachhaltigkeit aktualisiert. Ich habe auch viele Ideen und Fähigkeiten zum Produktstyling und zur Produktstruktur von Prof. Bäse gelernt. Nochmals vielen Dank an alle, die zu diesem Projekt beigetragen haben und an alle, die mir diese Gelegenheit gegeben haben.

Neustadt an der Weinstraße, 17. Mai 2021

Yuanwei Fang



_06

VERZEICHNIS

_Quellenverzeichnis &
Abbildungsverzeichnis

Quellenverzeichnis

- [1] (Seite 12) Wikipedia „Nachhaltigkeit“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltigkeit>
- [2] (Seite 12) United Nations, 1987. Our Common Future, From One Earth to One World, I. The Global Challenge, 3. Sustainable Development
- [3] (Seite 12) http://webarchiv.bundestag.de/archive/2008/0506/wissen/analysen/2004/2004_04_06.pdf
- [4] (Seite 12) Wikipedia: Drei-Säulen-Modell (Nachhaltigkeit) [https://de.wikipedia.org/wiki/Drei-S%C3%A4ulen-Modell_\(Nachhaltigkeit\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Drei-S%C3%A4ulen-Modell_(Nachhaltigkeit))
- [5] (Seite 13) <https://www.pinterest.de/pin/352336370846785587/>
- [6] (Seite 14) <https://www.amazon.es/Our-Common-Future-Oxford-Paperbacks/dp/019282080X>
- [7] (Seite 14) <https://wwf.medium.com/breathe-in-breathe-out-solving-the-air-pollution-crisis-one-city-at-a-time-9f9d8ef77353>
- [8] (Seite 16) vgl. u.a. Österreichisches Ministerien für Umwelt, Wirtschaft, Verkehr, Innovation und Technologie 2001; Dyckhoff & Gießler, 1998, S. 168 ff.; Grammer, 1994, S. 96 f.; Van Weenen, 1994, S. 130
- [9] (Seite 16) <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/produkte-und-konsum/oekologische-produktgestaltung-oekodesign/>
- [10] (Seite 16) https://en.wikipedia.org/wiki/Ecological_design
- [11] (Seite 17) Lemser, B. & Brodhun, C. (2007). Eco-Design und Neuproduktplanung: Grundprobleme und Lösungsansätze für die Planung umweltorientierter Produktinnovationen bei Massenprodukten; Einleitung; 1.
- [12] (Seite 17) Lemser, B. & Brodhun, C. (2007). Eco-Design und Neuproduktplanung: Grundprobleme und Lösungsansätze für die Planung umweltorientierter Produktinnovationen bei Massenprodukten; Einleitung; 1.
- [13] (Seite 18) Fraunhofer UMSICHT
- [14] (Seite 19) Conference: Composite Recycling & LCA (2017), Seite 10.
- [15] (Seite 20) Purvis, B. & Mao, Y. & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins.
- [16] (Seite 20) <http://www.thwink.org/sustain/glossary/ThreePillarsOfSustainability.htm>
- [17] (Seite 20) https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/evolution2green_inputpapier_effizient_konsisten_suffizienz.pdf

- [18] (Seite 21) [https://de.wikipedia.org/wiki/Lebenszyklusanalyse#:~:text=Eine%20Lebenszyklusanalyse%20\(auch%20bekannt%20als,Wiege%20obis%20zur%20Bahre%E2%80%9C\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Lebenszyklusanalyse#:~:text=Eine%20Lebenszyklusanalyse%20(auch%20bekannt%20als,Wiege%20obis%20zur%20Bahre%E2%80%9C)
- [19] (Seite 21) Cooper, J.S.; Fava, J. (2006). „Life Cycle Assessment Practitioner Survey: Summary of Results“. *J. Ind. Ecol.* 10 (4): 12–14. doi:10.1162/jiec.2006.10.4.12.
- [20] (Seite 21) <https://www.ecolizer.be/>
- [21] (Seite 22) <http://idematapp.com/>
- [22] (Seite 22) Paul T. Anastas & Julie B. Zimmermann. (2003). 96 A, ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY / MARCH 1, 2003. Through the 12 Principles GREEN Engineering
- [23] (Seite 23) Wiesner, Martin Steffen Tilmann, Otto von Guericke University Magdeburg - OVGU, LEHR- UND FORSCHUNGSBEREICH INDUSTRIEDESIGN, Sustainable Design
- [24] (Seite 24) <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/ueber-fraunhofer-umsicht.html>
- [25] (Seite 24) Fraunhofer UMSICHT
- [26] (Seite 25) Fraunhofer UMSICHT
- [27] (Seite 25) Fraunhofer UMSICHT
- [28] (Seite 25) Fraunhofer UMSICHT
- [29] (Seite 26) <https://www.elobau.com/en/products/operator-controls/>
- [30] (Seite 26) <https://www.elobau.com/en/products/operator-controls/>
- [31] (Seite 26) <https://extranet.allgaeu.de/a-elobau-gmbh-co-kg-sensor-technology>
- [32] (Seite 27) <https://www.elobau.com/de/elobau-produktwelt/>
- [33] (Seite 28, 29) Elobau, Wege zur klimaneutralen Produktion-2021-03-10_freigegeben
- [34] (Seite 30) Elobau, 10Jahre_NH_bei_elobau_Version_1.3_inkl_Produktvarianten

Quellenverzeichnis

- [35] (Seite 30) Elobau, 10Jahre_NH_bei_elobau_Version_1.3_inkl_Produktvarianten
- [36] (Seite 31) Elobau, Praesentation_neue_Mitarbeiter_Bedienelemente
- [37] (Seite 31) Elobau, Praesentation_neue_Mitarbeiter_Bedienelemente
- [38] (Seite 33) <https://www.elobau.com/de/produkte/bedienelemente/modulare-armlehnen/>
- [39] (Seite 34) 2020-04-28_M_V1-3_BAL_Modulararmlehne 225MA midi
- [40] (Seite 35) 2020-04-28_M_V1-3_BAL_Modulararmlehne 225MA midi
- [41] (Seite 36) Granta Design Ltd. The CES EduPack Resource Booklet 2, Material and Process Charts.
- [42] (Seite 37) <https://www.automobil-produktion.de/zulieferer/elringklinger-liefert-cockpitquertraeger-an-byton-232.html>
- [43] (Seite 38) https://ss3.bdstatic.com/7ocFv8Sh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=918247323,2264340954&fm=26&gp=0.jpg
- [44] (Seite 38) Elobau
- [45] (Seite 39) https://ss1.bdstatic.com/7ocFvXSh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=545975825,1431399038&fm=26&gp=0.jpg
- [46] (Seite 39) https://ss1.bdstatic.com/7ocFvXSh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=1673244583,189569166&fm=26&gp=0.jpg
- [47] (Seite 39) https://sso.bdstatic.com/7ocFuHSh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=1183115910,284596504&fm=26&gp=0.jpg
- [48] (Seite 39) https://ss2.bdstatic.com/7ocFvnSh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=2957888840,118073868&fm=26&gp=0.jpg
- [49] (Seite 39) https://ss3.bdstatic.com/7ocFv8Sh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=1061144704,3861370923&fm=26&gp=0.jpg
- [50] (Seite 39) https://sso.bdstatic.com/7ocFvHSh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=540114135,651952647&fm=26&gp=0.jpg
- [51] (Seite 40) <http://www.euroextrusions.com/wp-content/uploads/2016/03/Thermoform-diagram-1024x473.jpg>

- [52] (Seite 40) https://ss3.bdstatic.com/7ocFv8Sh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=2450044219,654448580&fm=26&gp=0.jpg
- [53] (Seite 40) <http://idematapp.com/>
- [54] (Seite 41) <https://graphicdesignjunction.com/wp-content/uploads/2015/07/024+packaging+design+2.jpg>
- [55] (Seite 42) <https://www.bbc.com/news/technology-30835529>
- [56] (Seite 42) https://ss2.bdstatic.com/7ocFvnSh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=1230404391,3589772061&fm=26&gp=0.jpg
- [57] (Seite 43) https://gruenderplattform.de/assets/images/CradletoCradle_Kreislauf.JPG
- [58] (Seite 44) <https://www.163.com/dy/article/CA925CA20524AO8K.html>
- [59] (Seite 44) https://p6-bk.byteimg.com/tos-cn-i-mlhdmx5m/bc1ce6932oad49068c4327d91a6665b4~tplv-mlhdmx5m-q75:0:0.image?detail_id=
- [60] (Seite 44) <https://acadgroup.de/wp-content/uploads/organoblech.jpg>
- [61] (Seite 44) <http://www.rustxcn.com/upload/image/20160814/1471156470837288.jpg>
- [62] (Seite 44) <http://www.strt.ru/wp-content/uploads/2012/08/furi-evrofuri-novosibirsk.jpg>
- [63] (Seite 44) <https://cdn1.vogel.de/unsafe/fit-in/1000x0/images.vogel.de/vogelonline/bdb/647000/647009/original.jpg>
- [64] (Seite 44) https://ichef.bbci.co.uk/news/800/cpsprodpb/A255/production/_109675514_gettyimages-1166817364-2.jpg
- [65] (Seite 45) 2020-04-28_M_V1-3_BAL_Modularmlehne 225MA midi
- [66] (Seite 46) Präsentation GreenLine DE Mar 2012 Bio-Polyamide von EMS-GRIVORY.
- [67] (Seite 46) 2020-04-28_M_V1-3_BAL_Modularmlehne 225MA midi
- [68] (Seite 47) http://p6.itc.cn/q_70/images03/20210104/6cb2711a253e4fdf9ae6c9df8aaeb9fc.png

Quellenverzeichnis

- [69] (Seite 47) Conference: Composite Recycling & LCA (2017), Seite 11.
- [70] (Seite 48) https://www.vdi-nachrichten.com/wp-content/uploads/2019/01/o2s21ua_image_width_560.jpg
- [71] (Seite 49) <https://www.karuun.com/#!/Products>
- [72] (Seite 49) <https://www.karuun.com/#!/Products>
- [73] (Seite 49) <https://www.karuun.com/#!/Products>
- [74] (Seite 50) https://www.transparentdesign.at/wp-content/uploads/2014/02/Tiefziehen_o6.jpg
- [75] (Seite 51) https://ss1.bdstatic.com/7ocFvXSh_Q1YnxGkpoWK1HF6hhy/it/u=1320957406,3586851169&fm=15&gp=0.jpg
- [76] (Seite 51) https://pic3.zhimg.com/80/v2-1fo5d3c69277f58d18b3437eb1bd05da_720w.jpg
- [77] (Seite 52) 2020-04-28_M_V1-3_BAL_Modularmlehne 225MA midi
- [78] (Seite 53) [https://de.wikipedia.org/wiki/Morphologische_Analyse_\(Kreativit%C3%A4tstechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Morphologische_Analyse_(Kreativit%C3%A4tstechnik))
- [79] (Seite 53) <https://www.business-wissen.de/res/images/Abbildung-9900112a.png>
- [80] (Seite 56) <http://huaban.com/pins/1090129581/>
- [81] (Seite 56) <https://i.pinimg.com/originals/08/c1/1e/08c11e93db4dd034ee86a12743477c37.jpg>
- [82] (Seite 56) <https://lemanooosh.com/app/uploads/peugeot-instinct-05.jpg>
- [83] (Seite 56) http://www.lkker.com/c_i/p3vj6w4xaq66k?page=5
- [84] (Seite 57) <https://www.apple.com.cn/airpods-max/>
- [85] (Seite 57) <https://www.apple.com.cn/airpods-max/>

Quellenverzeichnis

- [86] (Seite 57) <https://i.pinimg.com/564x/7c/dc/68/7cdc685383504fe728f6597d9a81aof8.jpg>
- [87] (Seite 57) <https://pics7.baidu.com/feed/9a504fc2d5628535cf353cb35ac5cecia6ef6379.jpeg?token=d9ife8f141053bdc2dd5dd536e2d2036&s=7FA58D4441631FoF1FB7oDo5030oDoEA>
- [88] (Seite 57) <https://www.apple.com.cn/airpods-max/>
- [89] (Seite 57) https://www.hermanmiller.com/content/dam/hmicom/page_assets/products/cosm_chairs/northamerica/fts_prd_spc_cosm_chairs_o1_na.jpg
- [90] (Seite 58) <https://i.pinimg.com/564x/9e/c3/da/9ec3da9a4bf39ba5036d9fdd901a4289.jpg>
- [91] (Seite 58) <https://i.pinimg.com/564x/2f/1a/e9/2f1ae9oddoe5b09odf79foab2eaba2fi.jpg>
- [92] (Seite 58) <https://i.pinimg.com/564x/85/16/9d/85169d51d772911277f4ef61dd11359.jpg>
- [93] (Seite 58) <https://i.pinimg.com/564x/c8/c6/69/c8c66969dd9c8c0099757e97fb1b6b1b.jpg>
- [94] (Seite 58) <https://i.pinimg.com/564x/co/60/fa/co60fa9d48d45b15679b4845e49ac563.jpg>
- [95] (Seite 58) <https://i.pinimg.com/564x/d9/4c/6b/d94c6b12c50c343d65aob4ifa61bd2c1.jpg>
- [96] (Seite 60) <https://i.pinimg.com/564x/d7/fb/ce/d7fbce974533be515cc65c0252afcd36.jpg>
- [97] (Seite 60) <https://i.pinimg.com/564x/b7/81/46/b7814619bfibee31cfd1384fcc5099f8.jpg>
- [98] (Seite 61) <https://i.pinimg.com/564x/4a/82/42/4a8242c73fbc74463eaf4ofe4f75022f.jpg>
- [99] (Seite 61) <https://i.pinimg.com/564x/70/90/89/70908958bf731184e02e841c2c4d9fbo.jpg>
- [100] (Seite 62) <https://i.pinimg.com/564x/e9/42/97/e942971d22715b3c7f60776ec82df97c.jpg>
- [101] (Seite 62) <https://i.pinimg.com/564x/o6/89/4f/o6894f4fabcfcd2ddab4bea6be9e4d76.jpg>
- [102] (Seite 69) <https://europe.content.twinklmedia.com/twinkl-preview/e37527c12cbd8fc4effad5ac269b712b/content/7496fia5f66f66cd05ecc212c5d05a7a/45/images/armrest3.jpg?r=o.6160392292515267>

Quellenverzeichnis

- [103] (Seite 69) https://www.youtube.com/watch?v=8YaQch_y9DA
- [104] (Seite 69) <https://www.ergonomischer-buerostuhl.org/wp-content/uploads/2018/03/B%C3%BCrostuhl-einstellen-Armlehne-einstellen-360x201.jpg>
- [105] (Seite 70) <https://i.pinimg.com/564x/13/39/5b/13395b29e0e33879cf78da6eee4f3501.jpg>
- [106] (Seite 70) <https://i.pinimg.com/564x/e7/9c/04/e79c040ff2c8a922c7c75cdc76e273f4.jpg>
- [107] (Seite 70) <https://i.pinimg.com/564x/b8/bo/a8/b8boa88fdd8a2af7487b64b03760e958.jpg>
- [108] (Seite 70) <https://i.pinimg.com/564x/38/41/ee/3841ee548378e2aafoa3eba0082ef13.jpg>
- [109] (Seite 70) <https://i.pinimg.com/564x/43/e6/be/43e6beof605d1279d733b38601995aae.jpg>
- [110] (Seite 70) <https://i.pinimg.com/564x/84/85/b8/8485b86a1840e25274a94442ccd8e1fi.jpg>
- [111] (Seite 70) <https://i.pinimg.com/564x/c6/e6/6a/c6e66acab9fdbb24ac6061d938f4d2cd.jpg>
- [112] (Seite 70) <https://i.pinimg.com/564x/59/3a/b7/593ab7b1fdc28ddoa54fe1656f5042fe.jpg>



written & designed
by
Yuanwei Fang

