



Neukonzeption der Straßenbahn- Fahrersitzarmlehne der SIEMENS Mobility mittels der TRIZ-Innovationsmethodik

Projektarbeit

von

Phillip Schrieverhoff



Neukonzeption der Straßenbahn Fahrersitzarmlehne der SIEMENS Mobility mittels der TRIZ-Innovationsmethodik

Projektarbeit Nr.: [wird vom Lehrstuhl vergeben]

Bearbeiter: B.Eng. Phillip Schrieverhoff

Betreuer: Dipl.-Ing. Harald Hetzner

Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Schöler (Siemens AG)

Dr.-Ing. Robert Adunka (Siemens AG)

Aufgabenstellung:

Die *Theorie des erfinderischen Problemlösens* – TRIZ – ist eine Innovationsmethodik, welche Einzug in den Produktentstehungsprozess der Siemens Mobility finden soll, um die Innovationskraft der Abteilungen zu steigern und die Generierung innovativer Lösungen zu unterstützen.

Die Methodik soll im Tagesgeschäft der *Siemens AG* angewandt und das Vorgehen dokumentiert werden. Konkrete Aufgabenstellung ist dabei die Neukonzeption der Straßenbahn-Fahrersitzarmlehne der Division *Mobility*.

Ziel dieser Arbeit ist es, Lösungskonzepte für die Fahrersitzarmlehne zu erarbeiten, welche in den weiteren Produktentstehungsprozess einfließen können. Der Fokus der Arbeit liegt jedoch auf der Anwendung der TRIZ-Methodik im Konstruktionsalltag der Abteilungen, der Darstellung und Illustration der einzelnen Methodenbausteine sowie der Dokumentation der Vorgehensweise und der erarbeiteten Ergebnisse.

Beginn der Arbeit: [TT]. [Monat] [Jahr 4 stellig]

Abgabe der Arbeit: [TT]. [Monat] [Jahr 4 stellig]

Erlangen, [TT]. [Monat] [Jahr 4 stellig]

Prof. Dr.-Ing. H. Meerkamm

Erklärung

Prüfungsleistung

1. Ich versichere, dass ich die als Prüfungsleistung zu erbringende Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen wurde. Alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

2. Mir ist ferner bekannt, dass die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg aufgrund der prüfungsrechtlichen Vorschriften einen Anspruch auf das Original der Arbeit hat. Dieser Anspruch bezieht sich jedoch nur auf das körperliche Eigentum an der Arbeit als solches und auf deren Verwendung zu den in der Prüfungsordnung festgelegten Zwecken.

Erlangen, 04. Dezember 2008

Phillip Schrieverhoff

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Praxisbeispiel	3
2.1	Bestehendes Produkt	3
2.2	Neukonzeption.....	5
3	Konstruktionsmethodik	7
4	TRIZ - Theorie des erfinderischen Problemlösens.....	9
4.1	Historie	11
4.2	Werkzeuge	12
4.3	Einordnung im Feld der Konstruktionsmethodik	14
5	Aufgabendefinition mittels TRIZ	15
5.1	Ideal Final Result	16
5.2	Innovationscheckliste.....	16
5.3	9-Felder Denken	18
5.4	Cause-Effect-Chain Analysis	21
5.5	Funktionsanalyse	27
5.5.1	Komponentenanalyse	28
5.5.2	Interaktionsanalyse	30
5.5.3	Funktionsmodellierung	31
5.5.4	Tabellarisches Funktionsmodell.....	32
5.5.5	Graphisches Funktionsmodell.....	34
5.6	Wertanalytische Betrachtung	37
5.7	Trimming.....	44

6	Ideenkreation	57
6.1	Widerspruchsanalyse	58
6.1.1	Technischer Widerspruch	58
6.1.2	Physikalischer Widerspruch	64
6.2	Stoff-Feld-Analyse	68
6.3	Function-Oriented-Search	71
6.4	Feature-Transfer	75
6.5	Morphologischer Kasten	79
7	Lösungsbewertung	81
8	Konzeptdarstellung	87
9	Anwendungsempfehlungen	91
10	Zusammenfassung und Ausblick	92
	Abbildungsverzeichnis	94
	Literaturverzeichnis	98
	-	
	Anhang A: Begriffserklärungen	100
	Anhang B: Lösungsdokumentation	104
	Anhang C: Datenträger	106

Formeln, Indizes, Abkürzungen

Formeln

<i>F</i>	Funktionalität
<i>K</i>	Kosten
<i>W</i>	Wert

Indizes

1, 2, 3, ...	Zählindex
--------------	-----------

Abkürzungen

TRIZ	Theorie des erfinderischen Problemlösens
MATRIZ	International TRIZ-Association
ARIZ	Algorithmus des erfinderischen Problemlösens
QFD	quality function deployment
CAD	Computer Aided Design
CAI	Computer Aided Innovation
GFK	glasfaserverstärkter Kunststoff
IFR	Ideal Final Result
CECA	Cause-Effect-Chain Analysis
FA	Funktionsanalyse
B	Basisfunktion
An	Hilfsfunktion des Ranges n
Ad	Zusatzfunktion
TW	Technischer Widerspruch
TW 1	Technischer Widerspruch 1
TW 2	Technischer Widerspruch 2

PW	Physikalischer Widerspruch
SFA	Stoff-Feld-Analyse
SIS	Standardlösungen (Standard Inventive Solutions)
FOS	Function-Oriented-Search
FT	Feature-Transfer

1 Einleitung

Innovation, die Umsetzung von Erfindungen und Neuerungen in marktfähige Produkte, ist die Grundlage für unternehmerischen Erfolg und langfristige Wettbewerbsfähigkeit.

Überraschenderweise wird die Arbeit von Entwicklern in Unternehmen selten durch systematische Hilfsmittel und Vorgehensweisen unterstützt. Es bleibt dem einzelnen Experten überlassen, aus seiner persönlichen Einschätzung der Arbeitsaufgabe und seines Erfahrungswissens innovative Lösungen abzuleiten.

Rationalisierungspotential verspricht die systematische Beschreibung der Aufgabenstellung und die zielorientierte Suche nach Lösungsmöglichkeiten in fachgebietsübergreifendem Wissen. Sowohl zeitlich als auch wirtschaftlich ist eine Effizienzsteigerung zu erwarten, darüber hinaus steigt die Wahrscheinlichkeit, zu Innovationen höheren technischen Niveaus zu gelangen.

Die *Methodik des erfinderischen Problemlösens – TRIZ* – greift dieses Rationalisierungspotential auf. In der Innovationsmethodik mit Ursprung in der ehemaligen UdSSR sind Erkenntnisse über die Grundmuster und Regeln des Innovationsprozess strukturiert zusammengetragen. Die Methodik versteht sich als Baukasten mit einer Vielzahl von verschiedenen Methoden (auch Werkzeuge, Tools oder Instrumente), welche den Anwender bei der gezielten Generierung von Innovationen unterstützen und dessen Kreativität anregen sollen.

Um Schulungen und Workshops zur Lehre und zum Einsatz der TRIZ-Methodik im Produktentwicklungsprozess der Siemens AG flexibel und situationsgemäß anbieten zu können, wurde mit der *Innovation Tool Academy (ITA)* eine betriebsinterne Institution geschaffen. Erste Schulungen nach dem Akkreditierungssystem der internationalen TRIZ-Association (MATRIZ) sind im Bereich der Siemens Mobility angelaufen, wobei gezielt einzelne Mitarbeiter geschult wurden, die in ihren Abteilungen als Wissensträger und „Multiplikatoren“ fungieren sollen.

Da der Mensch im Allgemeinen zur Aufrechterhaltung angenommener Verhaltensweisen neigt, gestaltet sich die Einführung und Implementierung von Methodik in der Praxis jedoch oft schwierig. Anhand eines Praxisbeispiels der Division Siemens Mobility, der *Neukonzeption der Straßenbahn-Fahrsitzarmlehne*, soll die Projektarbeit

sowohl ungeschulten Mitarbeitern einen Einblick in die Methodik gewähren und diese an konkreten Anwendungen verdeutlichen, als auch geschulten Mitarbeitern zur Auffrischung Ihres Wissen dienen.

In der Projektarbeit wird deshalb der Einsatz von besonders praxisnahen Werkzeugen aus dem Baukasten der TRIZ-Innovationsmethodik beschrieben. An dem konkreten Praxisbeispiel werden das Zusammenspiel der Werkzeuge und die Anwendungen der einzelnen Instrumente verdeutlicht. Um die allgemeine Anwendbarkeit der Methodik zu unterstreichen, werden die einzelnen Instrumente mit zusätzlichen Beispielen aus dem Schienenfahrzeugbau illustriert.

2 Praxisbeispiel

Diese Projektarbeit wird durchgeführt an dem Praxisbeispiel einer Straßenbahn-Fahrersitzarmlehne. Diese dient dem Fahrer als statischer Ausgleich unter ergonomischen Gesichtspunkten. Damit jeder Fahrer die Armlehne an seine individuellen Bedürfnisse anpassen kann, ist eine Verstellung des Neigungswinkels möglich. In die Fahrersitzarmlehne sind weiterhin fünf Tasterschalter integriert, welche wesentliche Bedienelemente zur Steuerung der Straßenbahn darstellen.

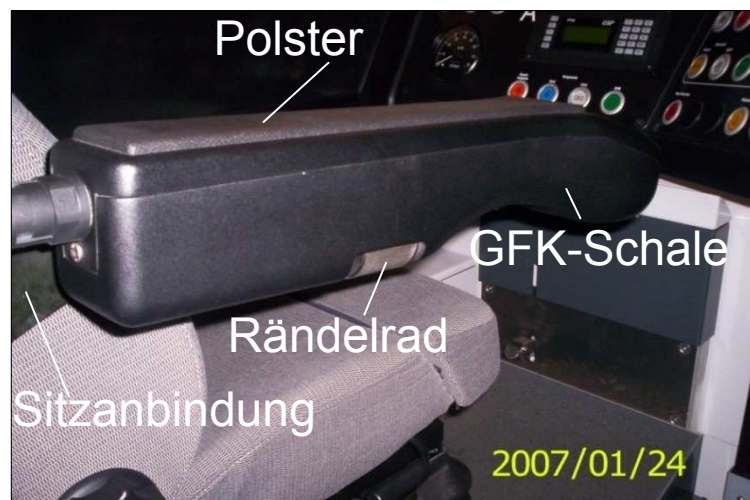


Bild 2.1 Einbausituation der Fahrersitzarmlehne

Die Befestigung der Armlehne erfolgt an der Rückenlehne des Fahrersitzes. Um dem Fahrer das rasche Beziehen und Verlassen des Fahrerstandes zu ermöglichen, ist die Armlehne auf das Niveau der Rückenlehne hochklappbar.

2.1 Bestehendes Produkt

Die bestehende Fahrersitzarmlehne ist als zweischalige Konstruktion aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) ausgeführt. Auf der oberen GFK-Schale ist ein Poster aufgeklebt und es erfolgt die Aufnahme von drei Tasterschaltern. Weitere zwei Tasterschalter nimmt die untere GFK Schale auf (vgl. Bild 2.1), mit welcher darüber hinaus der Verstellmechanismus mittels Senkschrauben gefügt wird (vgl. Bild 2.3). Im weiteren Verlauf der Arbeit bezieht sich die Bezeichnung *GFK* auf die beiden GFK-Schalen, welche aus ihrem funktionellen Zusammenhang heraus als ein einzelnes Bauteil angesehen werden.

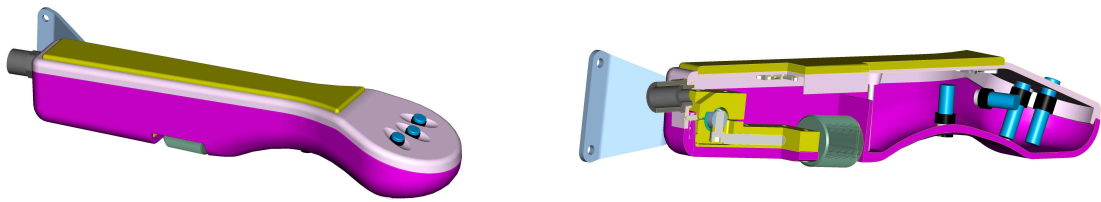


Bild 2.2 3D-CAD-Darstellungen der Fahrersitzarmlehne

Die Winkelverstellung ist über eine Spindel realisiert, die gegen einen in der Drehachse befestigten Anschlag fährt und, je nach ihrer Position, den Einstellwinkel definiert (vgl. Bild 2.3). Durch Betätigung des Drehritzels hat der Fahrer die Möglichkeit, den Winkel der Armlehne anzupassen.

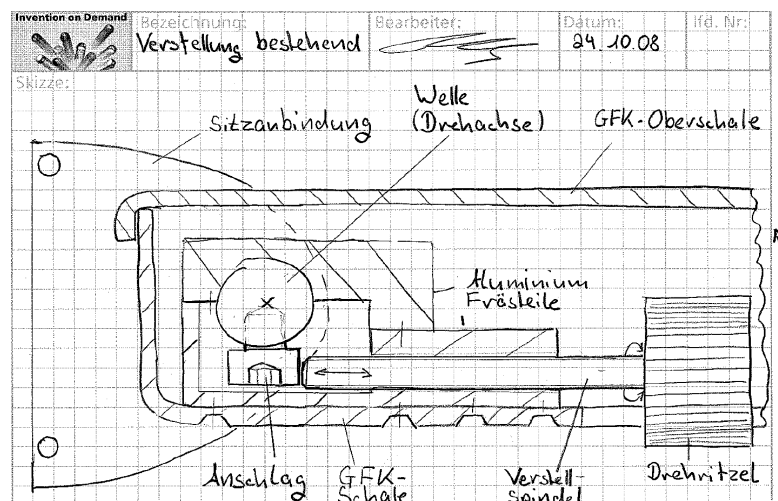


Bild 2.3 Schema des Verstellmechanismus

Kritisch am bestehenden Modell sind einerseits die hohen Kosten. Andererseits musste mehrfach Bauteilversagen und somit beschränkte Zuverlässigkeit festgestellt werden.

Wie auf Bild 2.4 gezeigt, sind Spannungsrisse im GFK im Bereich des Verstellmechanismus aufgetreten. Weiterhin wurde dokumentiert, dass bei Verstellung in die unterste Position die Spindel soweit in die Führung zurückfährt, dass vereinzelt der Kontakt zwischen Verstellspindel und Anschlag nicht mehr gewährleistet ist und sich die Armlehne auf undefinierte Position herabsenkt.

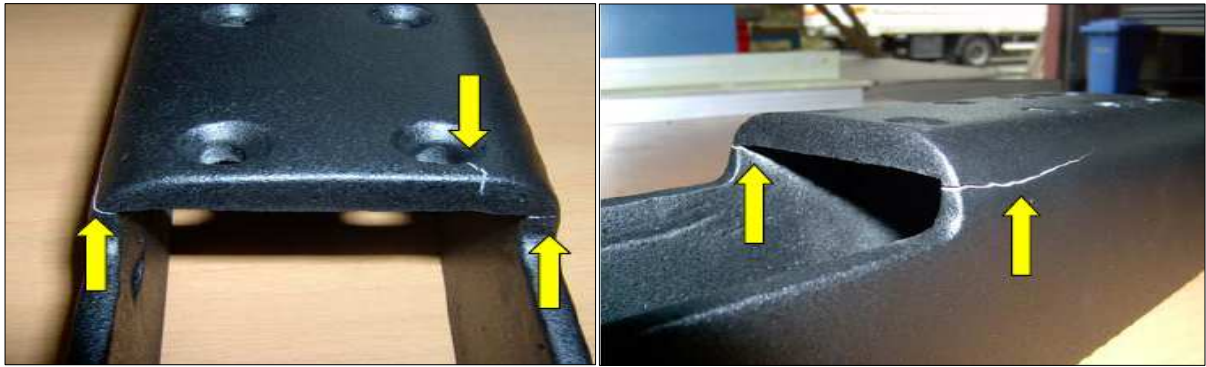


Bild 2.4 Dokumentierte Brüche des GFK im Bereich des Verstellmechanismus

Auf die eingehende Beschreibung der bestehenden Konstruktion sowie auf die Gründe des Bauteilversagens wird an dieser Stelle nicht eingegangen. Diese Informationen werden später durch die gezielte Anwendung der TRIZ-Methodik strukturiert vorgestellt und brauchen deshalb hier nicht gesondert erläutert werden. Im weiteren Verlauf der Aufgabendefinition werden die verschiedenen Werkzeuge auf die bestehende Konstruktion angewandt und die erarbeiteten Ergebnisse dargestellt.

2.2 Neukonzeption

Die Neukonzeption findet aufgeteilt nach Funktionsbaugruppen statt. So entsteht eine möglichst abstrakte Darstellung, die bei der Lösungsfindung keine konstruktiven Restriktionen vorgibt und eine hohe Anzahl von Lösungen zulässt.

Die Funktionsbaugruppen sind die Sitzanbindung, die Verstellung, die Tragstruktur, der Kopf und das Polster (vgl. Bild 2.5).

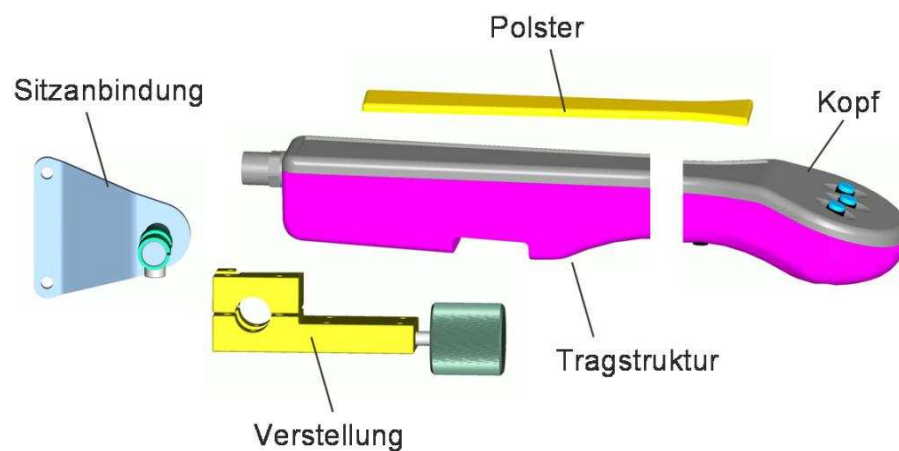


Bild 2.5 Funktionsbaugruppen der Neukonzeption

Die Schnittstelle der Sitzanbindung zum Fahrersitz ist vorgegeben und besteht aus zwei Bohrungen mit definiertem Abstand zueinander. Ansonsten ist eine freie Gestaltung des Konzept möglich.

Da die Sitzanbindung an sich angepasst werden kann, ist diese eine der Funktionsbaugruppen. Sie ist funktionell eng mit dem Verstellmechanismus verknüpft, welcher technisch die anspruchsvollste Baugruppe darstellt. Die Tragstruktur ist für die Kraftaufnahme und -leitung zuständig, der Kopf für die Aufnahme der Schalter und die ergonomische Ablage der Hand des Fahrers. Natürlich können auch mehrere Funktionalitäten von einem einzelnen reellen Bauteil bzw. einer einzelnen Baugruppe erfüllt werden. Bei der bestehenden Konstruktion sind Tragstruktur und Kopf durch die GFK-Baugruppe realisiert, da sich eine Integration anbietet.

Zu vermerken ist die mit 500 Stk. im Zeitraum von 4 Jahren relativ geringe angenommene Stückzahl der Fahrersitzarmlehne, welche bei der Neukonstruktion zugrunde gelegt wird und bei der Erstellung des Konzeptes berücksichtigt werden muss.

3 Konstruktionsmethodik

Für Unternehmen wird es stetig wichtiger, Produkte und Systeme in zeitlich und finanziell festgelegtem und begrenztem Rahmen zu entwickeln. Darunter darf jedoch die Qualität nicht leiden.

Die Bearbeitung von Aufgabenstellungen durch alternierende Teams bzw. wechselnde Teammitglieder wird erst durch gegliederte Arbeitsschritte und einheitliche Dokumentation in reibungsarmer Art und Weise möglich. Für den produktiven Zugriff von erarbeiteten Ergebnissen in Folgeprojekten ist die vollständige Dokumentation der Arbeit in ihren Teilschritten unabdingbar. Eine Systematisierung des Konstruktionsprozesses, unter festem Ablauf aufeinanderfolgender Schritte, verspricht demnach ein großes Rationalisierungspotential und die Vermeidung von Mehrfacharbeit.

Dieses Potential wird durch Konstruktionsmethodik aufgegriffen. Unter dieser ist das geplante, systematische Vorgehen mit konkreten Handlungsanweisungen bei der Entwicklung von technischen Systemen und Produkten zu verstehen [1].

Die Konstruktionsmethodik leitet sich ab aus praktischen Erkenntnissen der Konstruktionswissenschaft und sollte ebenfalls die Denkpsychologie des Anwenders mit einbeziehen. Methodik wird von Menschen angewandt und bezieht ihre Existenzberechtigung aus der eigenen Anwendbarkeit heraus. Dabei existieren methodische Ansätze zu jedem Schritt des Produktentstehungsprozesses, vom Planen und Konzipieren bis zur Entwicklung und Ausarbeitung, die in verschiedener Kombination denkbar und durchführbar sind. Angefangen bei der Festlegung der Anforderungen, beispielsweise durch das *quality function deployment* (QFD), bis hin zur systematischen Ausarbeitung stellen Methoden gegliederte Arbeitsschritte, Vorgehensweisen und einheitliche Darstellungen zur Verfügung. Neben dem Vorteil der Vergleichbarkeit und Austauschbarkeit von Zwischenergebnissen kann bei ähnlichen Projekten auf bereits erarbeitete Lösungen – selbst wenn diese nur auf abstrakter Ebene vorliegen – zurückgegriffen werden.

So kann der Grad, in dem das Vorgehen planbar, flexibel, optimierbar und nachprüfbar ist erhöht werden; jedoch ist dies nur bei konsequenter Einhaltung der Methodik möglich. Ein wichtiger Punkt bei der Einführung von Methodik im Unternehmen besteht darin, jedem Beteiligten den klaren Nutzen der Methodik vor Augen zu führen

und bei Schwierigkeiten unterstützend zur Seite zu stehen. Um eine methodisch-systematische Arbeitsweise zu fördern und dies abteilungs- bzw. unternehmensweit einheitlich und nachvollziehbar zu gestalten, muss das Vorgehen durch Festlegungen und organisatorische Maßnahmen unterstützt, aber auch konsequent eingefordert werden [1].

4 TRIZ - Theorie des erfinderischen Problemlösens

TRIZ – *die Theorie des erfinderischen Problemlösens* – versteht sich als Innovationsmethodik, welche bei der Erarbeitung von Erfindungen zielführend und systematisch angewandt werden kann. TRIZ befasst sich mit der methodischen Entwicklung innovativer Ideen und Produkte. Ziel der Methodik ist es, bei der Lösung von Problemstellungen keine Kompromisse einzugehen, sondern das Problem an der Wurzel zu lösen. Um dem Ingenieur Denkanstöße zu geben, in welche Richtung die Entwicklung seines Produktes erfolgen kann, und dabei möglichst viele Wege systematisch zu untersuchen, werden einerseits Anregungen gegeben, aus konventionellen Denkbahnen auszubrechen, andererseits Vorgaben gemacht, systematisch die Gesamtheit der sich eröffnenden Möglichkeiten zu nutzen. Neben der reinen Lösungsfindung bzw. Ideenkreation setzt TRIZ einen großen Fokus auf die Aufgabendefinition und die Überprüfung der Anforderungen und Randbedingungen.

Weniger ausgeprägt, jedoch ebenfalls vertreten, sind Werkzeuge zur Verifikation der Lösungen, wie die Berücksichtigung von Sekundärproblemen, d.h. durch die neue Lösung induzierte Probleme und die antizipierende Fehlererkennung.

Nach der Methodik werden Erfindungen in fünf Erfindungsebenen bzw. -klassen eingeteilt, je nach dem Niveau der Erfindung bzw. dem Innovationsgrad (vgl. Bild 4.1).

Die fünf Niveaus der Innovation

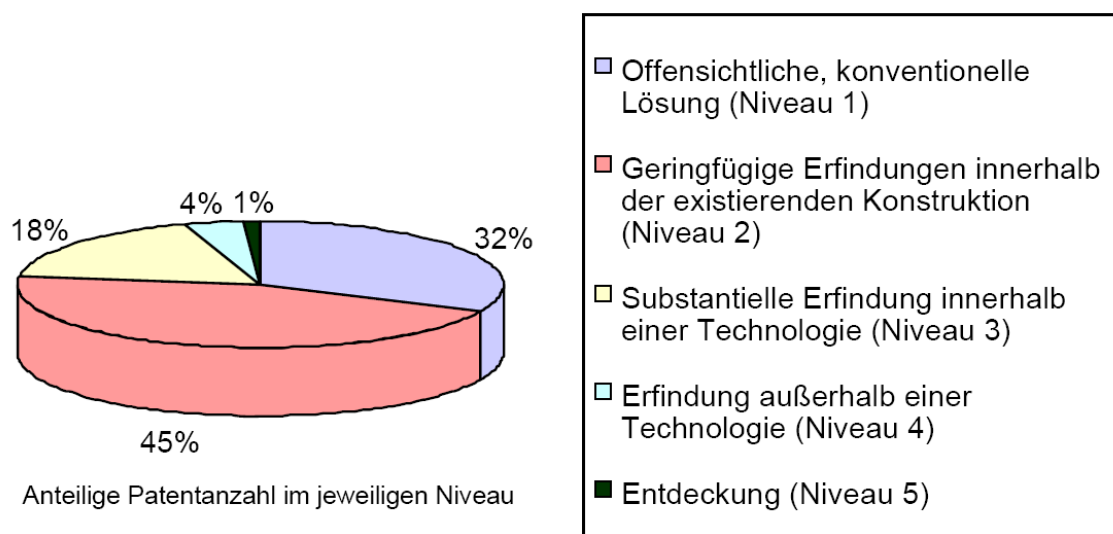


Bild 4.1 Erfindungsklassen nach [2]

TRIZ hat zum Ziel, Erfindungen möglichst hohen Niveaus zu fördern. Die Methodik verlangt deshalb den Wissenstransfer zwischen verschiedenen Branchen und Bereichen. Schlüssel ist dabei der gezielte Zugriff auf eine große Menge Wissen. Physikalische Effekte werden in *Effektkatalogen* nach Eingangs- und Ausgangsgrößen geordnet, so dass für bestimmte technische Problemstellungen gezielt eine Auswahl an möglichen physikalischen Effekten getroffen werden kann. Bestimmte Grundmuster von Innovationen und Erfindungen, zusammengefasst in den sogenannten *40 innovativen Prinzipien*, werden in der Widerspruchsmatrix zur Überwindung bestimmter technischer Widersprüche empfohlen.

Die Lösung von Problemstellungen erfolgt nach einheitlichem Muster. Grundlage ist die Abstraktion der speziellen Aufgabenstellung. Auf diese abstrakt formulierte Aufgabenstellung kann eine abstrakt formulierte, allgemeine Lösung angewandt werden. Anschließend erfolgt die Überführung dieser abstrakten Lösung an das konkrete Problem (vgl. Bild 4.2).

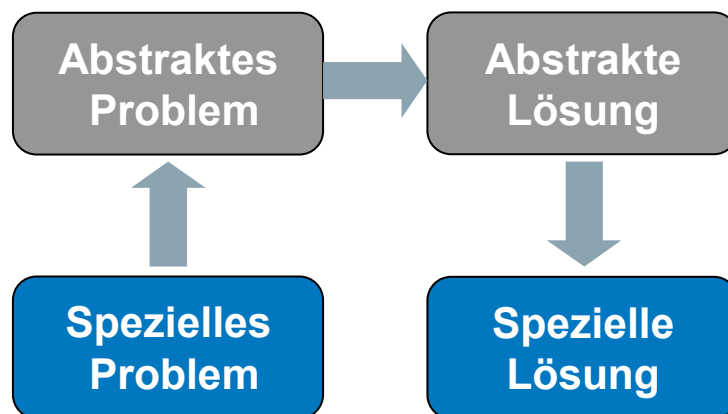


Bild 4.2 Lösungsschema von speziellen Problemstellungen [3]

Die TRIZ-Methodik strebt nicht an, dem Anwender die Erarbeitung von Innovationen abzunehmen, sondern ihn bei dem Innovationsprozess aktiv zu unterstützen. Mit dem Satz *TRIZ is a Tool for thinking – not instead of thinking* beschreibt TRIZ-Begründer GENRICH S. ALTSCHULLER diesen Zusammenhang auf prägnante Art und Weise [4].

TRIZ hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen und sich zu einer weltweit anerkannten Methode entwickelt [5]. International agierende Konzerne wie Samsung, Intel, General Electric und die Siemens AG setzen TRIZ nicht nur ein, sondern schulen ihre Mitarbeiter intern in Aus- und Weiterbildungsprogrammen in der Methodik [6].

4.1 Historie

TRIZ – die Theorie des erfinderischen Problemlösens – geht auf den russischen Wissenschaftler und unkonventionellen Denker GENRICH S. ALTSCHULLER (*1926-⁺1998) zurück. Dieser arbeitete bei der Marine der ehemaligen UdSSR in der Funktion eines Patentoffiziers und begleitete Entwickler und Ingenieure beim Einreichen von Erfindungsmeldungen und Urheberscheinen sowie Patenten [7].

Mit der Absicht, die Entwicklung von Innovationen zu unterstützen, studierte ALTSCHULLER ab 1946 hunderttausende Patente nach sich wiederholenden Prinzipien und Mustern. Aus diesen verwendete er 40.000 Patente, denen durchschlagende Innovationen zugrunde lagen, für die Entwicklung der ersten TRIZ Werkzeuge. Er suchte nach Regel- und Gesetzmäßigkeiten, denen der Innovationsprozess unterliegt und mit denen dieser beschrieben werden kann [7].

Daraus abgeleitet sind die *40 innovativen Prinzipien* und die *39 technischen Parameter* (Kapitel 6.1.1). Die Verknüpfung derselbigen erfolgt durch die Widerspruchsmatrix, die typischerweise mit TRIZ verbunden und von vielen Betrachtern auch mit TRIZ gleichgesetzt wird. Die Widerspruchsanalyse stellt jedoch nur einen Teil der Werkzeuge zur Lösungsfindung und Ideencreation dar.

Aufgrund der immer schwieriger werdenden wissenschaftlichen Situation in Russland schrieb *Altschuller* einen Brief an *Stalin*, um auf diese Missstände hinzuweisen und anzubieten, TRIZ landesweit zu lehren. Daraufhin wurde er zu 25 Jahren GULAG, d.h. Straflager verurteilt. Da sich in diesem jedoch neben ihm viele Mitglieder der geistigen Elite des Landes befanden, konnte Altschuller seine Erkenntnisse diskutieren und seine Ideen weiterentwickeln [4].

Nach dem Tode Stalins 1953 wurde die Strafe vorzeitig ausgesetzt. Nach einigen Veröffentlichungen zu TRIZ fielen Altschuller und seine Mitstreiter jedoch erneut bei den politischen Funktionsträgern in Ungnade, was eine Verbreitung von TRIZ nur im Untergrund zuließ [4].

Nichtsdestotrotz entwickelten Altschuller und seine Schüler TRIZ ständig weiter, erweiterten den Werkzeugkasten um neue Tools und gliederten die verschiedenen Werkzeuge im „Algorithmus zum erfinderischen Problemlösen – ARIZ“.

Nach dem Zusammenbruch der UdSSR emigrierten viele der führenden TRIZ-Spezialisten in die USA, wo einige von ihnen Beratungsunternehmen gründeten, die maßgeblich zur weiteren Verbreitung der Methodik beitrugen. In den USA entstanden auch die beiden führenden CAI-Softwareprodukte *Innovation Work Bench* (Ideation International Inc.) und der *Tech Optimizer* (Invention Machine). Ebenfalls wurden die Methodenbausteine der TRIZ immer weiter fortentwickelt. Heute steht eine breite Palette an einzelnen Werkzeugen zur innovativen Problemlösung zur Verfügung, die der modernen TRIZ zugeordnet werden. In dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt eher auf diesen Tools der modernen TRIZ [4].

Im Laufe der Zeit wurde neben dem Werkzeugkasten der TRIZ auch der Anspruch an die Methodik erweitert und ergänzt. Von der Ausgangssituation, kompromisslose Lösungen zu bestimmten Problemstellungen zu finden, wurde die Bandbreite dahingehend erweitert Probleme zu finden und zu adressieren. Das zu verbessernde System als Ganzes zu betrachten und von Super- und Subsystemen abzugrenzen sowie bei den Lösungen besonders die Implementierbarkeit zu berücksichtigen ist ein weiterer Evolutionsschritt der TRIZ-Methodik. [3]

4.2 Werkzeuge

Die Vielzahl an verschiedenen Werkzeugen und Methoden der TRIZ ist so umfassend, dass nicht die Gesamtheit der Instrumente in dieser Arbeit behandelt werden kann. Es werden diejenigen Werkzeuge aus dem Baukasten der TRIZ genannt, die besonders geeignet und effektiv für die Bearbeitung der Aufgabenstellung und den Einsatz im Tagesgeschäft der Konstruktion erscheinen. Der Fokus liegt neben der Effektivität dabei auf der Anwendbarkeit der Werkzeuge mit geringem Einarbeitungsaufwand für den jeweiligen Nutzer und der Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Es wird kein Anspruch darauf erhoben, dass die in dieser Arbeit verwendeten Werkzeuge in jedem Fall geeigneter sind als solche, welche nicht betrachtet werden, da subjektive Vorlieben des jeweiligen Anwenders eine große Rolle spielen. Weiterführende Literatur zum Thema TRIZ kann dem Literaturverzeichnis entnommen werden.

In Bild 4.4 sind die behandelten Werkzeuge hellgrau hinterlegt und im Feld des TRIZ-Methodenbaukastens eingeordnet, um eine Übersicht der Methoden sowie deren Zusammenhängen zu schaffen.

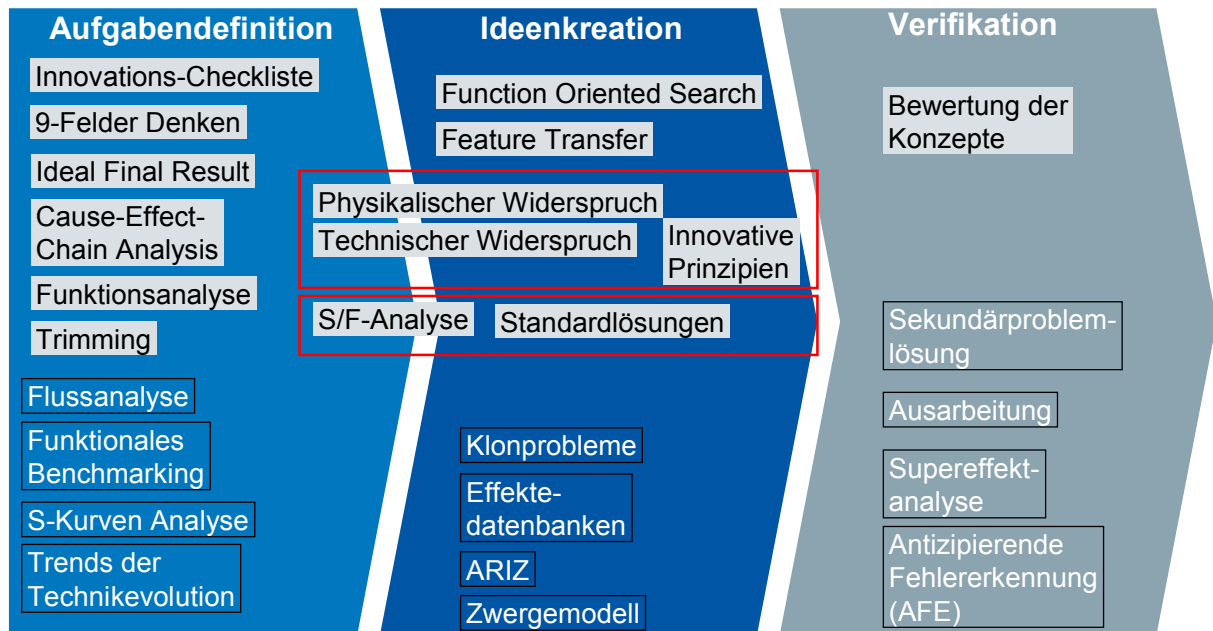


Bild 4.3 Funktionelle Einordnung der Methoden nach [3]

Die Unterscheidung der Methoden nach ihrem Anwendungsfall erscheint für den praktischen Einsatz am sinnvollsten und wird im Verlauf der Arbeit beibehalten. So sind die Werkzeuge kategorisiert in Instrumente zur Aufgabendefinition, zur Ideencreation und zur Verifikation. Auf den Bereichen der Aufgabendefinition und der Ideencreation liegt dabei der Schwerpunkt dieser Arbeit.

Die Formulierung von *Widersprüchen* und deren Überwindung mittels der *40 innovativen Prinzipien* sind dabei unter Kapitel 6.1 *Widerspruchsanalyse* der Ideencreation zugeordnet, ebenso wie die *Stoff-Feld-Analyse* mit den zugehörigen *76 Standardlösungen* im Kapitel 6.2. Die roten Kästen in Bild 4.3 kennzeichnen die jeweilige Zusammengehörigkeit der Methoden.

Aus dem Bereich Verifikation wird aufgrund des begrenzten Rahmens dieser Arbeit nur die Bewertung für die generierten technischen Umsetzungen des Verstellmechanismus durchgeführt. Dabei wird auf externe Verfahren zurückgegriffen, welche im Kapitel 7 *Lösungsbewertung* erläutert werden.

Der Übergang von der Aufgabendefinition zur Ideencreation ist fließend. Es kann sicherlich keine scharfe Trennung vorgenommen werden, an welcher die Aufgabendefinition aufhört und die Ideencreation anfängt. Methodische Werkzeuge, die eher einen beschreibenden Charakter der Aufgabenstellung oder des Ist-Zustandes besitzen, werden tendenziell der Aufgabendefinition zugeordnet. Werkzeuge, welche

schon abstrakte Lösungen vorgeben oder genau darauf abzielen, technisch umsetzbare Ideen zu generieren, fallen in die Kategorie Ideenkreation.

Neben der getroffenen Einordnung der Methoden existiert die Unterscheidung in Werkzeuge und Methoden der klassischen TRIZ, wie sie von und mit ALTSCHULLER ursprünglich entwickelt wurden, sowie Werkzeuge und Methoden der modernen TRIZ, die aus Weiterentwicklungen und neuen Ansätzen entstanden sind [4]. Diese historische Kategorisierung ist für die Anwendung an sich jedoch nicht relevant.

4.3 Einordnung im Feld der Konstruktionsmethodik

TRIZ gliedert sich zwischen der Festlegung der Anforderungen beispielsweise durch *quality function deployment* (QFD) und der Konzeptbewertung durch multikriterielle Bewertungsverfahren in den Produktentstehungsprozess ein. Die TRIZ-Methodik hat ihre Stärken eindeutig in den frühen Phasen der Produktentwicklung. Beim Planen, Klären der Anforderungen und Konzipieren kann das volle Potenzial der Methodik ausgeschöpft werden. Die TRIZ stellt Modelle und Methoden bereit, aus herkömmlichen Denkbahnen auszubrechen und nach unkonventionellen, innovativen Lösungen zu der jeweiligen Problemstellung zu suchen [1].

Darüber hinaus betrachtet TRIZ die Entwicklungsmuster von Produkten, welche als sogenannte evolutionäre Entwicklung bezeichnet wird und erlaubt damit eine Prognose über die Weiterentwicklung technischer Systeme [3].

TRIZ ist weiterhin sinnvoll bei der Verbesserung von bestehenden Konstruktionen und Prozessen einsetzbar. Das Lösen von *Miniproblemen* beschreibt die Vermeidung negativer Produkt- oder Systemeigenschaften bei minimaler Veränderung des Systems [7].

5 Aufgabendefinition mittels TRIZ

Im Rahmen der TRIZ-Methodik ist unter Aufgabendefinition die konkrete Formulierung der Konstruktionsaufgabe zu verstehen. Die genaue Aufgabendefinition ist ein Schwerpunkt der TRIZ-Methodik und eigens hierfür steht eine Reihe von Werkzeugen aus dem Methodenbaukasten zur Verfügung. Zugrunde liegt die Ansicht, dass eine klare Aufgabenstellung bereits die halbe Lösung darstellt. Sowohl externe Anforderungen, also Anforderungen, die durch Festlegungen entstanden sind, sowie interne Anforderungen, die aus dem technischen System heraus resultieren und funktionellen Hintergrund besitzen, werden überprüft und auf ihre Gültigkeit hin untersucht.

Externe Anforderungen können beispielsweise historischen Hintergrund haben, firmenpolitisch geprägt sein oder auf Normen beruhen. In jedem Fall ist zu überprüfen, ob die Anforderungen noch aktuell sind. Ist dies nicht der Fall, so ist es im Allgemeinen möglich, konstruktiven Aufwand zu vermeiden und die Erfüllung der Funktion in den Vordergrund zu stellen.

Interne Anforderungen beziehen sich, wie schon beschrieben, auf Anforderungen funktionellen Charakters. Auch hier kann historisch bedingt eine bestimmte Funktionsweise vorgegeben sein, welche nicht mehr aktuell ist. Sowohl das Potential neuer Technologien als auch die maximale Ausnutzung vorhandener Ressourcen können die Gültigkeit bestehender Anforderungen in Frage stellen.

In diesem Kapitel werden mit dem *Ideal Final Result* und dem *9-Felder Denken* Werkzeuge der klassischen TRIZ angewendet. Die *Funktionsanalyse* und die zugeordneten Tools *wertanalytische Betrachtung* und *Trimming* sind Werkzeuge der modernen TRIZ, die sehr ausführlich und detailliert behandelt werden.

5.1 Ideal Final Result

Das *Ideal Final Result* (IFR) als Werkzeug der TRIZ dient zur Verbildlichung der ideellen Lösung der Konstruktionsaufgabe. Dabei ist die beste Lösung diejenige, die ihre Funktion erfüllt, ohne selbst zu existieren. Diese abstrakte Vorstellung ist von der späteren Realisierung völlig unabhängig und dient dazu, Denkbarrieren zu durchbrechen und den kreativen Denkprozess anzuregen. Es ist hilfreich, mit dem Bewusstsein an eine Konzeptionsaufgabe heranzugehen, welche Eigenschaften das behandelte technische System idealerweise haben sollte. Das wirkliche Endergebnis liegt unter Umständen sehr nah an diesem Idealbeispiel. Durch die Vorstellung an sich fokussiert der Anwender seine Gedanken auf die wesentlichen Eigenschaften und nicht auf vermeintliche Probleme. Während des gesamten Produktentstehungsprozesses sollte immer wieder auf das Bild des IFR zurückgegriffen werden, um niedrige Kosten, Systemverbesserungen und erhöhten Kundennutzen in das Zentrum der Entwicklung zu stellen und negative Eigenschaften zu reduzieren.

Das Ideal Final Result der Armlehne kann in folgende Richtung formuliert werden: Die Armlehne ist ein einziges Bauteil, welches sich nach dem Beziehen des Fahrerstandes automatisch, rasch und stufenlos den ergonomischen Bedürfnissen des Fahrers anpasst, sowohl in seiner Position als auch in seiner Form. Die Herstellkosten sind verschwindend und die Lebensdauer ewig.

Neben dem beschriebenen Nutzen des IFR als eine provokante Art von Vision kann dieses ebenfalls als Bezugspunkt genutzt werden, um ein entstandenes Konzept einzuschätzen.

5.2 Innovationscheckliste

Die Innovationscheckliste wird oft als erster Schritt in der TRIZ-Methodik angesehen. Sinn dieser ist es, zu Beginn des Problemlösungsprozesses die bestehende Ausgangssituation zu beurteilen und die Aufgabe lückenlos zu definieren. In der Innovationscheckliste werden die verfügbaren Ressourcen, Lösungsmöglichkeiten, Beschränkungen und Anforderungen sowie aufgetretene Probleme in systematischer Form zusammengetragen und dokumentiert. Im Normalfall wird die Innovationscheckliste für die Beschreibung des Gesamtproblems verwendet, um strategische

Gesichtspunkte heraus zu arbeiten. Für die Behandlung von Teilaspekten ist diese weniger geeignet.

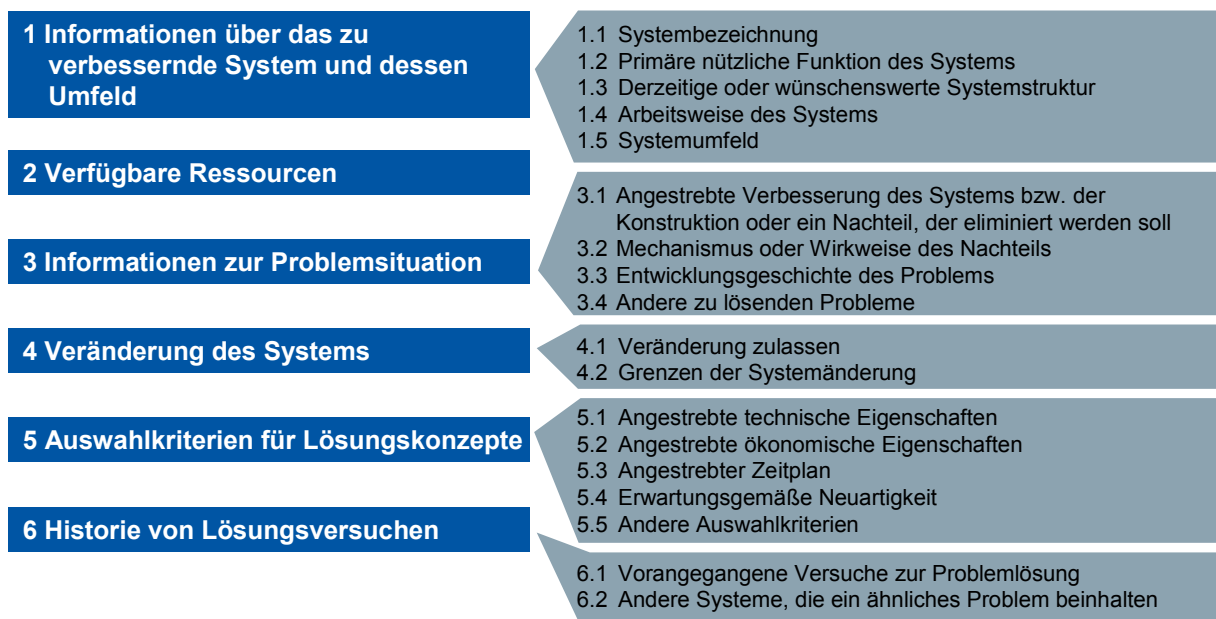


Bild 5.1 Inhalt der Innovationscheckliste [2]

Die Innovationscheckliste zur konkreten Problemstellung dieser Arbeit befindet sich im Anhang C.

Als erster Schritt zur systematischen Beschreibung der Aufgaben- bzw. Problemstellung ist die Innovationscheckliste sehr umfassend. Sie folgt der Denkweise, dass ein sauber definiertes Problem bereits die halbe Lösung darstellt. Durch eine systematische Abarbeitung der Unterpunkte ist die Erstellung nicht zeitaufwendig und es können Anforderungen und Informationen mit verschiedenen Ursprüngen zusammengetragen werden.

Um alle relevanten Informationen zu der Problem- bzw. Aufgabenstellung zu bündeln und übersichtlich darzustellen, sollten in die Innovationscheckliste neben den Anforderungen aus dem Lastenheft ebenfalls die „*ungeschriebenen Anforderungen*“ einfließen, die zwar nicht konkret formuliert aber nichtsdestotrotz zu berücksichtigen sind. Beispielsweise sind dies Anforderungen, die aufgrund von abteilungsinternen Erfahrungen bestehen werden, jedoch nicht schriftlich als Anforderungen erfasst sind.

5.3 9-Felder Denken

Das 9-Felder Denken, oder auch *Multiscreening*, dient zur vollständigen Analyse einer Problemsituation hinsichtlich ihrer Struktur, welche in Umgebung, System und Bestandteile unterteilt wird. Es wird gesprochen von Gliederung in Supersystem-, System- und Subsystemebene. Weiterhin wird zeitlich unterteilt in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft.

Das 9-Felder Denken kann auf zwei verschiedene Arten aufgestellt werden. Einerseits *objektorientiert* - in diesem Fall steht ein Bauteil bzw. eine Baugruppe im mittleren der neun Kästen auf dem Schnittpunkt von *System* und *Gegenwart*. In den weiteren Feldern wird nun aufgetragen, wie die Komponenten von Supersystem, System und Subsystem in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft beschaffen waren, beschaffen sind oder beschaffen sein könnten (vgl. Bild 5.2).

	Vergangenheit: Vor Eintreten des Problems	Gegenwart: Während des Problems	Zukunft: Nach eingetretenem Problem
Super-System Ebene	Fahrer, Führerhäuschen, Steuerhebel, Sitzbank	Fahrer, Sitz, Schalter, Straßenbahn	Fahrer, Cockpit, Magnetschwebbahn
System Ebene	Armstütze	Fahrersitzarmlehne	Interaktives Steuerungselement
Sub-System Ebene	Sitzanbindung, fester Anschlag, Metallrohr, Holzverkleidung	Sitzanbindung, Verstellung, GFK-Schalen, Polster	Sensoren, elektrische/ pneumatische Aktoren, Verstellautomatik beheizte Polsterung

Bild 5.2 objektorientierte Aufstellung des 9-Felder Denkens

Bei der *problemorientierten Aufstellung* nimmt eine Frage- oder Problemstellung den Platz des mittleren Kastens ein. Nun werden in den jeweiligen Kästen Möglichkeiten

und konstruktive Fragestellungen eingetragen, bezüglich dem was Subsystem-, System- oder Supersystemkomponenten leisten könnten, um das Eintreten des formulierten Problems von vornherein zu verhindern, es im Moment des Auftretens zu beheben oder im Nachhinein die Folgen zu beseitigen.

Die Methodik dient dazu, den Anwender anzuhalten, im Wechsel in die Systemdetails hinein zu *zoomen* und dann im Anschluss wieder das Gesamtbild zu betrachten. So sollen die verschiedenen Aspekte und Auswirkungen von Veränderungen auf Sub- und Supersystemebene besser beurteilt und die Zusammenhänge deutlicher herausgestellt werden können.

Auf Bild 5.3 ist der problemorientierte Ansatz dargestellt, bezogen auf die Problemstellung der *Überbelastung der Fahrersitzarmlehne*.

	Vergangenheit: Vor Eintreten des Problems	Gegenwart: Während des Problems	Zukunft: Nach eingetretenem Problem
Super-System Ebene	Was kann eine Komponente des Supersystems vor Eintreten der Überbelastung tun, um diese zu verhindern?	Was kann eine Komponente des Supersystems tun, um eine Überbelastung zu beheben?	Was kann eine Komponente des Supersystems tun, damit die Funktion trotzdem erfüllt wird?
System Ebene	Was kann das System vor Eintreten der Überbelastung tun, um diese zu verhindern?	Was kann das System tun, um Überbelastung zu beheben?	Was kann das System nach Überbelastung tun, damit die Funktion trotzdem erfüllt wird?
Sub-System Ebene	Was kann eine Komponente des Subsystems vor Eintreten der Überbelastung tun, um diese zu verhindern?	Was kann eine Komponente des Subsystems tun, um eine Überbelastung zu beheben?	Was kann eine Komponente des Subsystems nach Überbelastung tun, damit die Funktion trotzdem erfüllt wird?

Bild 5.3 Fragestellungen im 9-Felder Denken

Durch das 9-Felder Denken kann die Definition von Problemen und Anforderungen in vollkommen andere Bahnen gelenkt werden, da es noch keinen Lösungsansatz vorgibt, sondern den Bearbeiter gezielt dazu auffordert, auf systematische Art und Weise Funktionen und Ressourcen des Systems, seiner Umgebung und seiner Kompo-

nenten zu untersuchen. So werden vor allen Dingen Systemlösungen gefördert, die Synergien über die Grenzen der jeweiligen Systemebene ausnutzen und neue Lösungsfelder eröffnen [4].

Ein Beispiel aus dem Schienenfahrzeugbau stellt die Speicherung elektrischer Energie beim generativen Abbremsen von Schienenfahrzeugen dar, welche im Allgemeinen durch von den Fahrzeugen mitgeführten Batterien und Kondensatoren erfolgt. Stationäre Energiespeicher werden gar nicht in Betracht gezogen, wenn nicht auf die Supersystemebene *herausgezoomt* und die Infrastruktur des Schienen- und Stromnetzes als Ressource betrachtet wird.

Auf Bild 5.3 sind wiederum Möglichkeiten dargestellt, wie dem Problem der *Überbelastung der Fahrersitzarmlehne* begegnet werden könnte.

	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft
Super-System Ebene	Fahrer im Voraus informieren	Rücknahme der Belastung durch Fahrer	Fahrer zur Rechenschaft ziehen
System Ebene	Gesamtsystem flexibel o. sehr steif gestalten	Bei hoher Belastung Warnsignal abgeben	Rückfallebene vorsehen, reversibles System
Sub-System Ebene	Dimensionierung kritischer Bauteile erhöhen, andere Werkstoffauswahl	Elastische Verformung eines Bauteils	Auswechselbare Verschleißteile vorsehen

Bild 5.4 Lösungsansätze im 9-Felder Denken

5.4 Cause-Effect-Chain Analysis

Die *Cause-Effect-Chain Analysis* (CECA), auch Ursachenanalyse, untersucht ein Problem hinsichtlich der Verkettung von negativen Eigenschaften und deren Ursachen. Die CECA ist in der Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung positioniert, weil mit ihr Nachteile sukzessive hinterfragt werden, bis die Ursachen identifiziert werden. Sogenannte Schlüsselnachteile stellen dabei das Ende der Kette dar. Diese Schlüsselnachteile, nachfolgend *Key-Causes* genannt, sind Gegebenheiten, die der Anwender nicht mehr beeinflussen kann [10]. Beispielsweise wird es nicht möglich sein, den Abstand der Schienen anzupassen, auch wenn das Fahrwerk und damit die Straßenbahn dadurch verbesserte Stabilität erhielte.

Die CECA wird aufgestellt, um jeweils einen bestimmten Systemnachteil, nachfolgend *Target Disadvantage*, zu untersuchen. Ein solcher Target Disadvantage eines Systems kann sein: hoher Preis, hohes Gewicht, hohe Anfälligkeit gegen stoßartige Belastung, etc. Es handelt sich um eine negative Systemeigenschaft, welche verändert werden soll. Ebenfalls kann es sich bei einem Target Disadvantage um eine Produkt- oder Prozessanforderung handeln. Beispiel hierfür ist die Lastenheftanforderung: „*Keine Verwendung von Folientastern in der Armlehne*“ (vgl. Anhang C). Es ist ohne Recherche nicht ersichtlich, aus welchem Hintergrund heraus diese Forderung besteht. In der weiteren Beschreibung werden solche Restriktionen ebenfalls als Nachteil angesehen.

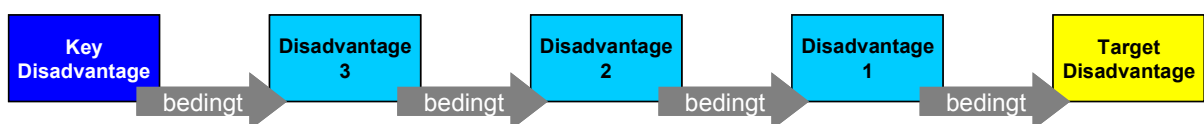


Bild 5.5 Schema der Cause-Effect-Chain Analysis

Mittels der Cause-Effect-Chain Analysis wird Schritt für Schritt hinterfragt, in welchen Sachverhalten ein Target Disadvantage begründet liegt (vgl. Bild 5.5). Es können in der entstehenden Kette natürlich mehrere Sachverhalte in Kombination einen Nachteil bewirken. Diese werden dann mit den Bool'schen Operatoren *und* bzw. *oder* verknüpft. Genügt einer dieser Sachverhalte aus, um das Eintreten des Nachteils zu bewirken, so werden diese mit „*oder*“ verknüpft. Tritt der Nachteil nur bei kombiniertem Auftreten der Sachverhalte ein, so wird die Verknüpfung „*und*“ verwendet.

Ein Vorteil der Cause-Effect-Chain Analysis ist der Überblick, den der Anwender über das Zustandekommen der untersuchten Target Disadvantage erhält. Gleichzeitig liefert die Analyse konkrete Ansatzpunkte, um die Kette außer Kraft zu setzen und damit dem Target Disadvantage zu begegnen.

Dies betreffend lassen sich aus der CECA konkrete Fragestellungen ableiten, die im weiteren Entwicklungsprozess bei der Lösungsfindung beachtet werden sollten.

Ein Grund für die Neukonzeption der Fahrersitzarmlehne sind die hohen Kosten der bisherigen Konstruktion. Wird die CECA mit dem *Target Disadvantage* „hohe Kosten“ aufgestellt, so ergibt sich die Struktur nach Bild 5.6.

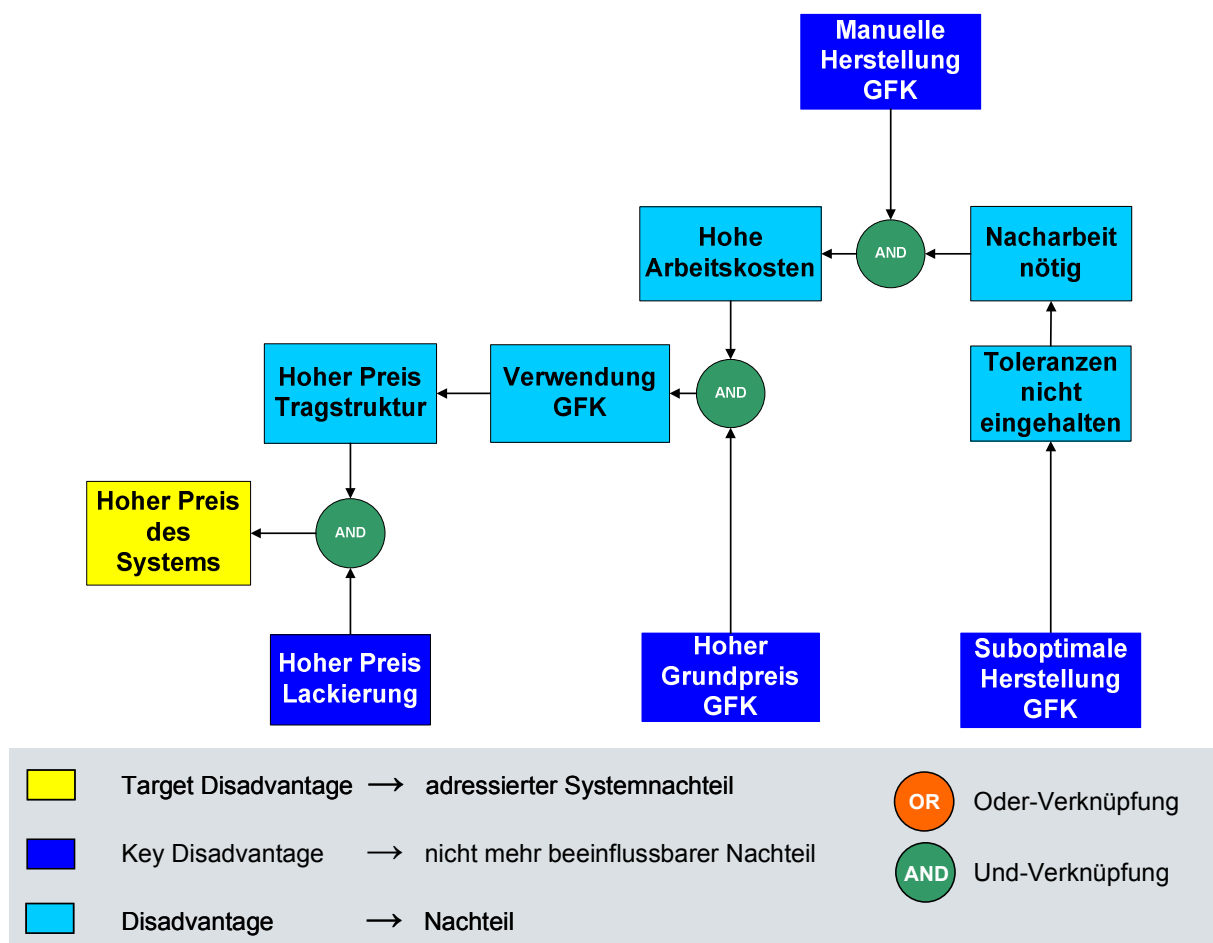


Bild 5.6 CECA „Hoher Preis des Systems“

Das Zusammenkommen hoher Kosten für die Lackierung sowie hoher Kosten für die Tragstruktur aus glasfaserverstärktem Kunststoff bewirkt einen hohen Systemgesamtprice. Der hohe Preis für die Lackierung wird als *Key Disadvantage* angesehen, da es sich um einen Marktpreis handelt. Die hohen Kosten des GFK resultieren einerseits aus dem hohen Grundpreis für Glasfasermatten und Duroplast-Harz, eben-

falls ein *Key-Disadvantage*, sowie aus den hohen Arbeitskosten. Die hohen Arbeitskosten werden durch den manuellen Herstellungsprozess und die anfallende Nacharbeit verursacht. Der manuelle Herstellungsprozess ist bei der Produktion von Freiformteilen in geringer Stückzahl ebenfalls *Key-Disadvantage*, da eine Automatisierung aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage kommt. Die Nacharbeit wird deshalb erst nötig, weil die Toleranzen der GFK-Schalen beim Handlaminieren nicht erreicht werden. Ursache hierfür ist ein nicht optimierter Herstellprozess. Fragestellungen, welche Anregungen geben sollen den hohen Systempreis zu senken, können folgendermaßen lauten:

Abgeleitete Fragen

Wie kann die Lackierung entfallen/ersetzt werden?

Wie kann die manuelle Herstellung der GFK-Schalen entfallen/optimiert werden?

Wie kann ein kostengünstigeres Material als GFK für die Tragstruktur verwendet werden?

Prinzipiell kann die Verkettung an einem beliebigen Punkt unterbrochen werden, um den Target Disadvantage abzumildern oder auszuschalten. Eine quantitative Aussage wird dadurch nicht getroffen, jedoch wird der Blick für Nachteile erzeugende Faktoren geschärft.

Einen weiteren Systemnachteil stellt die Anfälligkeit der Armlehne im Bereich des Verstellmechanismus dar. Auf Bild 5.7 ist die Ursachenanalyse mit dem *Target Disadvantage* „Verstellbereich ist zu anfällig“ aufgestellt.

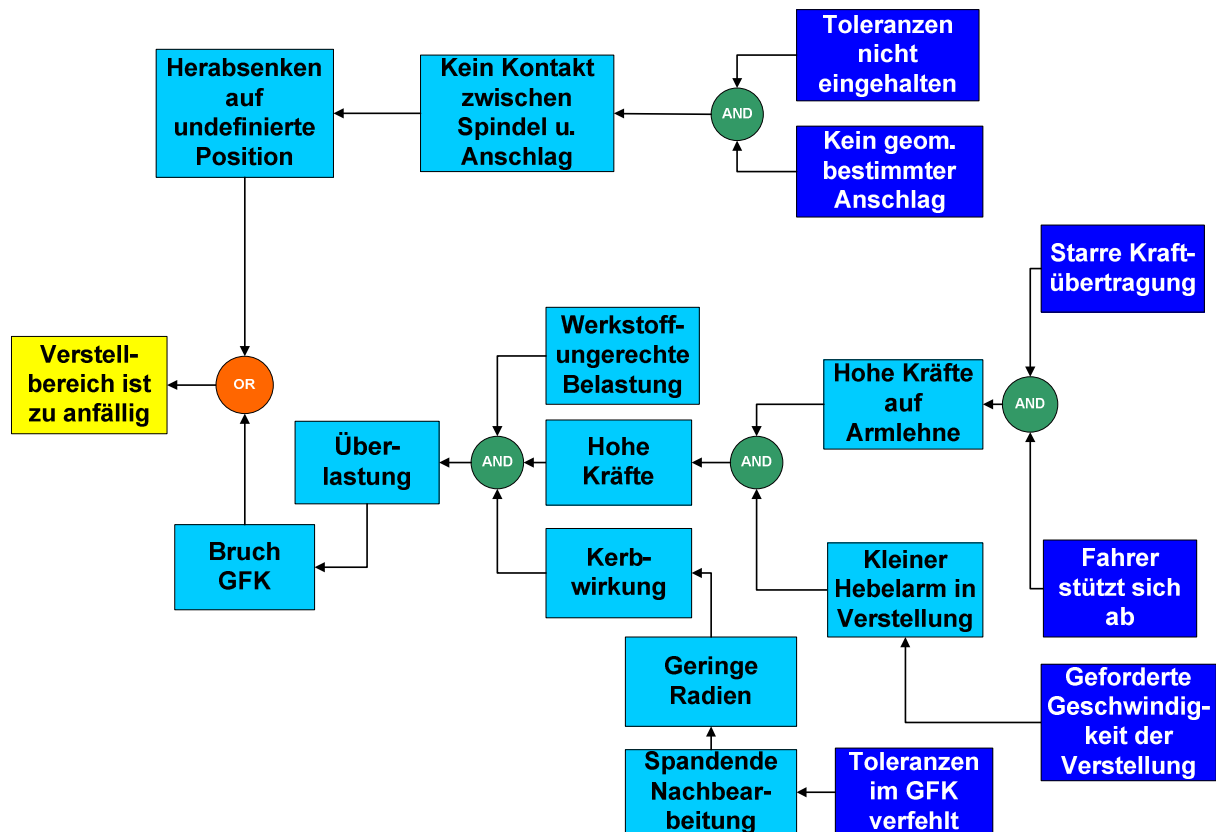


Bild 5.7 CECA „Verstellbereich ist zu anfällig“

Eine Ursache, aus welcher die Anfälligkeit der Verstellung hervorgeht, ist das Herabsenken der Fahrersitzarmlehne auf eine undefinierte Position. Dieser Fall tritt aufgrund unterbrochenen Kontaktes von Verstellspindel und Anschlag ein, was nur daraus resultieren kann, dass die Verstellspindel zu kurz ausfährt und den Anschlag nicht mehr erreicht. Folgende Fragen können abgeleitet werden, um dem Problem zu begegnen.

Abgeleitete Fragen

Wie kann sichergestellt werden, dass die Toleranzen eingehalten werden?

Wie kann ein geometrisch bestimmter Anschlag, sozusagen eine Rückfallebene, vorgesehen werden?

Dem Bruch des GFK liegt eine komplexere Ursachenverkettung zugrunde. Er resultiert aus einer Überbelastung, welche wiederum durch ein Ursachen-Triplet verursacht wird; dem Zusammenkommen werkstoffungerechter Belastung, hoher wirkender Kräfte und Kerbwirkung.

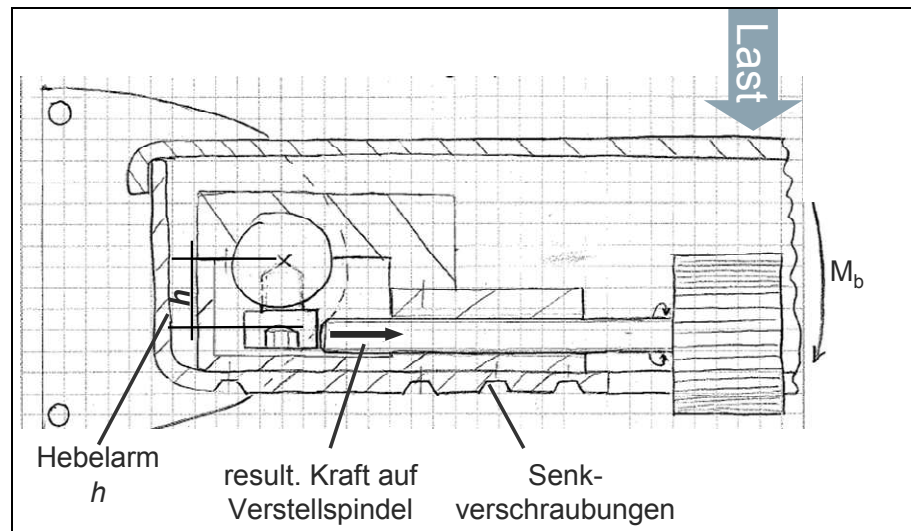


Bild 5.8 Belastung im Verstellbereich des GFK

Werkstoffungerechte Belastung liegt vor, da bei dem GFK im Bereich der Verstellung eine Belastung auf Scherung vorliegt und darüber hinaus der Werkstoff den durch die Verschraubungen eingebrachten Kräften mit Kriechen begegnet.

Die schädliche Kerbwirkung an den kleinen Radien im Bereich der seitlichen Übergänge wird dadurch verstärkt, dass eine spanende Bearbeitung in diesem Bereich vorgenommen wird (vgl. Bild 2.4). Diese ist nötig, um die geforderten Toleranzen des GFK-Bauteils einzuhalten.

Hohe Kräfte im Bereich des Verstellmechanismus treten einerseits auf, weil die Armlehne hoch belastet wird. Diese hohe Belastung wird verursacht dadurch, dass sich der Fahrer abstützt und die Struktur der Armlehne starr ausgeführt ist. Andererseits liegt am Verstellmechanismus ein sehr kleiner Hebelarm h vor (vgl. Bild 5.8), mit dem die Verstellspindel am Anschlag angreift. Wird dieser vergrößert, muss die Verstellspindel zur gleichen Winkelverstellung einen größeren Weg zurücklegen und die Verstellung erfolgt mit geringerer Geschwindigkeit, was dem Fahrer nicht zugemutet werden kann. Es bestehen widersprüchliche Anforderungen an die Länge des Hebelarms, da er zur Reduzierung der wirkenden Kräfte klein, und zur Erhöhung der Verstellgeschwindigkeit groß sein muss. Dieser Sachverhalt wird im Kapitel 6.1 *Widerspruchsanalyse* aufgegriffen.

Folgende Fragestellungen können bei der weiteren Konzeption hilfreich sein:

Abgeleitete Fragen
Wie kann GFK als Material ersetzt werden?
Wie kann das Hebelverhältnis am Verstellmechanismus vergrößert werden?
Wie können die Toleranzen im GFK eingehalten werden?
Wie kann verhindert werden, dass sich der Fahrer abstützt?
Wie kann die Kraftübertragung weniger starr erfolgen?
Wie kann die Anordnung geometrisch günstiger erfolgen?

Bereits nach Betrachtung dieser beiden Target Disadvantages konnten durch die Untersuchung der Verkettung der verschiedenen Systemnachteile klar strukturierte Ursachen herausgestellt werden. Viele Nachteile resultieren aus der Verwendung von glasfaserverstärktem Kunststoff als Tragstruktur. Diese Erkenntnis sowie die weiteren abgeleiteten Fragestellungen sollten daher bei der voranschreitenden Konzeption und Anwendung der TRIZ Werkzeuge berücksichtigt werden.

5.5 Funktionsanalyse

Die Funktionsanalyse ist ein Instrument, mit welchem ein System analytisch hinsichtlich seiner Komponenten und deren gegenseitigen Beziehungen zueinander untersucht wird. Grundlage der Funktionsanalyse ist die Betrachtung der Beziehungen innerhalb eines technischen Systems als Funktionen. Die abstrakte Beschreibung dieser Funktionen innerhalb der Funktionsanalyse erfolgt nach festem Muster, auf welches im Kapitel 5.5.3 *Funktionsmodellierung* eingegangen wird [3].

Die Funktionsanalyse ist Grundlage weiterer Analysewerkzeuge, wie der *Funktionsmodellierung*, der *wertanalytischen Betrachtung* und des *Trimming* (Bild 5.9). Diese Werkzeuge werden im Anschluss an die Funktionsanalyse behandelt. Auf den Einsatz zur Patentumgehung oder zum Funktionsraub kann aufgrund des begrenzten Rahmens dieser Arbeit nicht eingegangen werden.

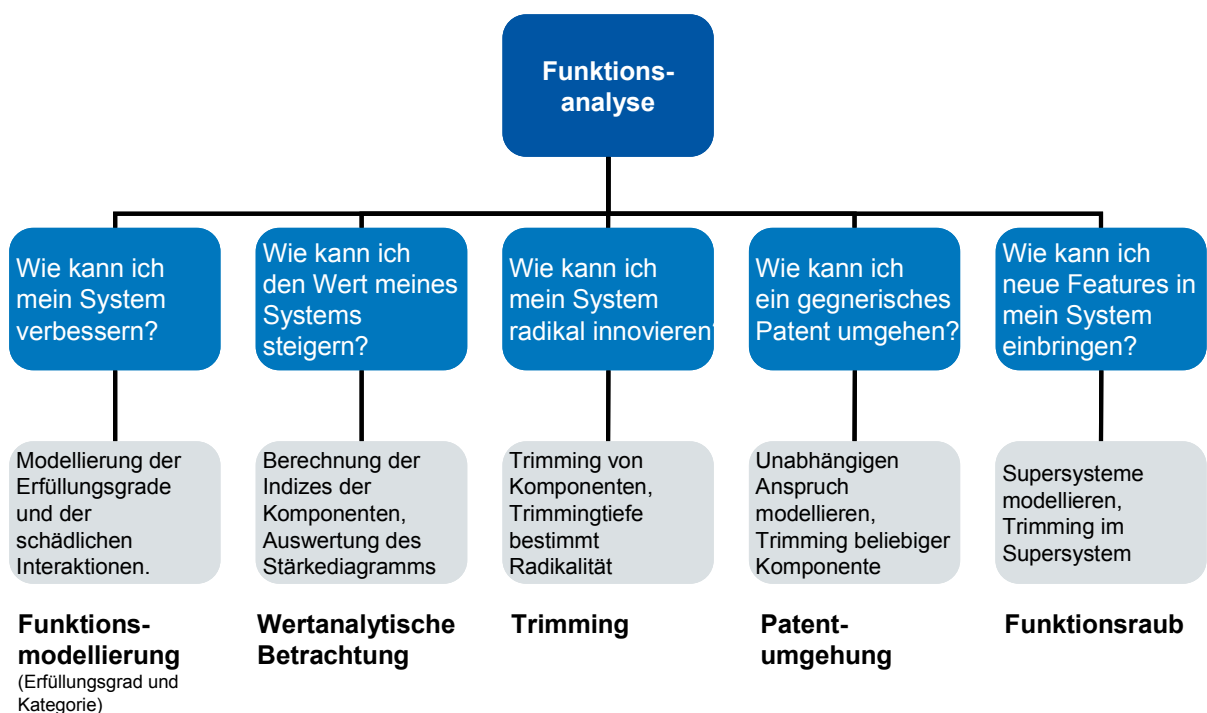


Bild 5.9 Funktionsanalyse und zugehörige Werkzeuge [3]

Die Funktionsanalyse gliedert sich in drei wesentliche Schritte: Die Komponentenanalyse, die Interaktionsanalyse und die Funktionsmodellierung (Bild 5.10). Ergebnisse der Funktionsanalyse sind das tabellarische und das graphische Funktionsmodell. Sie dienen der Darstellung der Systemzusammenhänge und beschreiben den Ist-Zustand eines Systems. Im Rahmen dieser Arbeit findet besonders das graphi-

sche Funktionsmodell Verwendung in den aufbauenden Tools und ist für die weitere Vorgehensweise von zentraler Bedeutung [3].

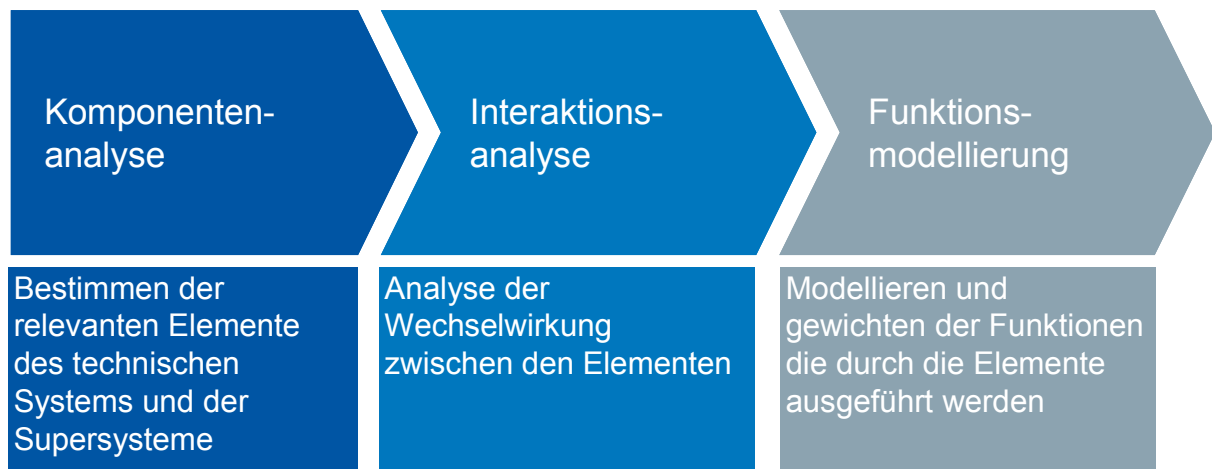


Bild 5.10 Schritte der Funktionsanalyse [3]

5.5.1 Komponentenanalyse

Jedes technische System setzt sich aus einzelnen Komponenten zusammen und interagiert mit seiner Umgebung. In der Komponentenanalyse werden die für die Funktionsanalyse relevanten Komponenten des zu untersuchenden technischen Systems identifiziert. Weiterhin werden Komponenten des Supersystems bestimmt, mit denen das System in Interaktion steht. Das Supersystem ist das übergeordnete System, sozusagen das Umfeld, von welchem das betrachtete System einen Bestandteil darstellt. Eine Straßenbahn ist Teil des Supersystems *Verkehr*, der Rohbau ist Teil des Supersystems *Straßenbahn*.

Eine Komponente ist ein Bestandteil des technischen Systems oder des Supersystems. Komponenten sind in massebehaftete und masselose Komponenten unterteilt. Der Begriff *massebehaftete Komponenten* ist selbsterklärend. *Masselose Komponenten* sind Felder aller Art, wobei der Begriff Feld in diesem Fall sehr weit gefasst ist. Es zählen elektrische oder magnetische Felder dazu, aber auch Feuer, thermische oder chemische Felder. Als Komponenten unzulässig sind Parameter wie Temperatur und Position, welche lediglich den Zustand einer Komponente beschreiben [5].

Bei der Durchführung der Komponentenanalyse wird zunächst eine Hierarchiestufung der Komponenten des technischen Systems durchgeführt. Als Komponenten einer Straßenbahn, welche auf einer Hierarchieebene liegen, können beispielsweise

Wagenkasten, Elektrik und Fahrwerk angesehen werden (Bild 5.11). Wird die Komponentenanalyse für diese Hierarchieebene durchgeführt, so werden die Unterkomponenten dieser Baugruppen nicht weiter berücksichtigt.

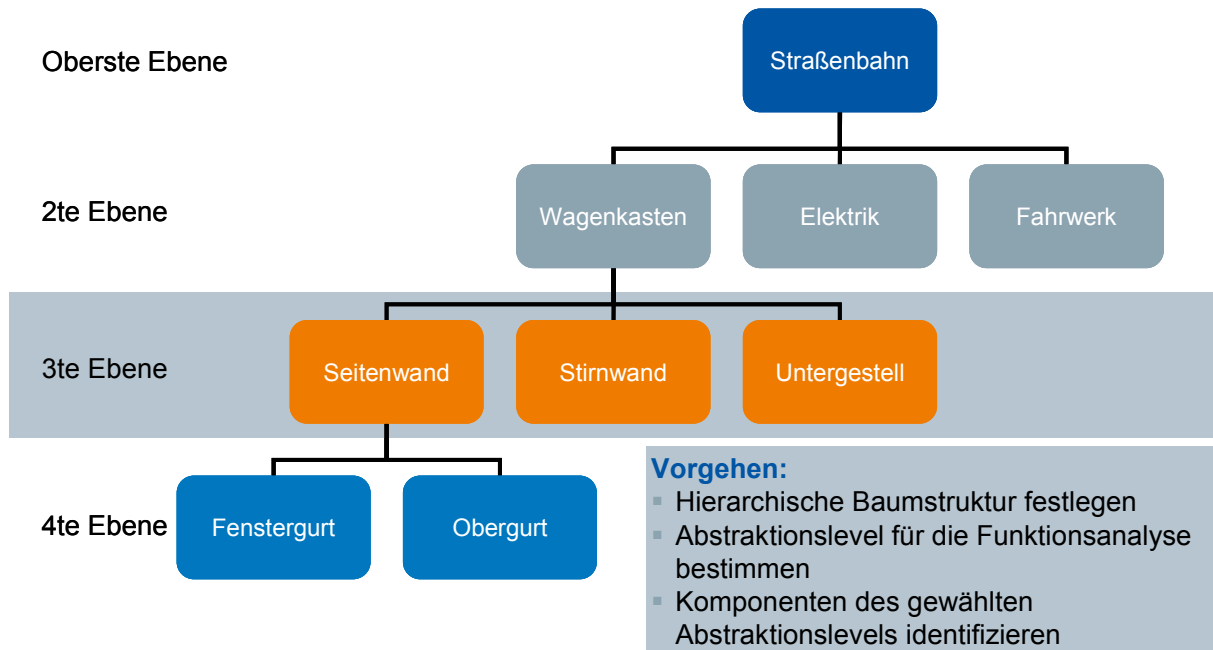


Bild 5.11 Hierarchieebenen in der Komponentenanalyse nach [3]

Die Wahl einer angemessenen Hierarchieebene ist von besonderer Bedeutung. Ein zu hoher Detaillierungsgrad führt zu Unübersichtlichkeit, ein zu niedriger zu übermäßig abstrakter Darstellung. Als Anhaltspunkt kann dienen, dass für den Anwender mit wenig Erfahrung zwischen fünf und zehn Komponenten nicht überschritten werden sollten.

Die Erkenntnisse aus der Komponentenanalyse werden in dem Komponentenmodell zusammengetragen. Dies dient der übersichtlichen Darstellung und der einheitlichen Nomenklatur des technischen Systems.

Eingetragen werden, neben der Bezeichnung des technischen Systems, seine Hauptfunktion sowie seine Komponenten. Die Hauptfunktion des Systems ist die Funktion, aus deren Hintergrund heraus das System entwickelt wurde, aus der es sozusagen seine Existenzberechtigung bezieht [1]. Die Hauptfunktion wird formuliert nach dem Schema *Aktion* und *Zielkomponente*. Die Hauptfunktion einer Straßenbahn lautet: *bewegt Fahrgäste*. In diesem Fall ist die Zielkomponente „Fahrgäste“; Straßenbahnen existieren, um Fahrgäste von A nach B zu transportieren. Weitere Beispiele zeigt Bild 5.12.

Technisches System	Hauptfunktion	Komponenten	Supersystem Komponenten
Bezeichnung des technischen Systems	Aktion und Zielkomponente (Verb und Objekt)	Komponente 1 Komponente 2 Komponente 3	Zielkomponente Komponente 4 Komponente 5
Motor	bewegt Nabe	Rotor Stator Gehäuse Welle	Nabe Luft Aufhängung Strom
Armlehne	stützt Fahrer	GFK Lackierung Verstellung Sitzanbindung Polster	Fahrer Schalter Kabel PMA-Schlauch Schmutz, Staub, Schweiß Fahrersitz

Bild 5.12 Schema des Komponentenmodells

5.5.2 Interaktionsanalyse

Die Interaktionsanalyse dient dazu darzustellen, welche Komponenten miteinander in Interaktion stehen, sich also gegenseitig beeinflussen. Dazu muss nicht notwendigerweise ein funktioneller Zusammenhang bestehen. Das Fahrwerk einer Straßenbahn steht zwar mit der Umgebungsluft in Interaktion, aber an sich wird weder von der Umgebungsluft noch von dem Fahrwerk eine Funktion ausgeführt [3].

Die Interaktionstabelle wird in Matrixform aufgestellt. Dazu werden alle Komponenten sowie Supersystemkomponenten auf beiden Achsen aufgetragen. In dem Kreuzfeld zweier Komponenten, zwischen denen eine oder mehrere Interaktionen bestehen, wird ein Pluszeichen eingetragen. Besteht zwischen zwei Komponenten keine Interaktion, wird ein Minuszeichen eingetragen. Bild 5.13 Interaktionstabelle der Fahrer-sitzarmlehne die Interaktionstabelle der Fahrersitzarmlehne.

	GFK	Lackierung	Verstellung	Sitz-anbindung	Polster	Fahrer	Schalter	Kabel	PMA-Schlauch	Staub, Schweiß, Schmutz	Fahrersitz
GFK	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
Lackierung	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-
Verstellung	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Sitzanbindung	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Polster	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
Fahrer	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Schalter	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+
Kabel	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+
PMA-Schlauch	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+
Staub, Schweiß, Schmutz	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+
Fahrersitz	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-

Bild 5.13 Interaktionstabelle der Fahrersitzarmlehne

Die Interaktionstabelle weist eine diagonale Symmetrie auf. Zum Zwecke der Kontrolle, ob die Aufstellung der Tabelle korrekt erfolgt ist, sollte diese Symmetrie zur Winkelhalbierenden überprüft werden.

5.5.3 Funktionsmodellierung

Die Darstellung eines technischen Systems anhand seiner Funktionen erfolgt durch das Funktionsmodell. Das System wird mit seinen *Komponenten* in Form von Kästchen und deren *Aktionen* in Form von Pfeilen modelliert. Hierbei wird die Vorarbeit aus der Komponenten- und Interaktionsanalyse aufgegriffen.

Grundlage der Funktionsanalyse ist die Beschreibung der Abhängigkeiten eines technischen Systems in einem funktionellen Zusammenhang. Die Modellierung der Funktionen erfolgt nach einheitlichem Muster (Bild 5.14).



Bild 5.14 Schema der Funktionsformulierung nach [3]

Die Definition einer Funktion an sich lautet:

Eine Aktion wird von einer Komponente erbracht, um einen Parameter einer anderen Komponente zu verändern oder zu erhalten. Erhalten bedeutet hier, dass der Parameter ohne die Aktion nicht vorhanden wäre oder sich ungewollt verändern würde [3].

Dabei sollte die Funktion immer aktiv formuliert werden. Beispiele für die Funktionsformulierung sind auf Bild 5.15 dargestellt.

Funktion	veränderter / erhaltener Parameter
Windschutzscheibe deflektiert Luft	Richtung des Luftstroms
Klimaanlage kühlt Luft	Temperatur der Luft
Kantilever stützt/hält Sitz	Position des Sitzes

Bild 5.15 Beispiele zur Funktionsformulierung

Die Komponente, welche aktiv die Funktion ausführt, wird als Funktionsträger bezeichnet. Die Komponente, auf welche die Funktion ausgerichtet ist, nennt sich Objekt der Funktion.

Die Überprüfung, ob eine aufgestellte Funktion zulässig ist, kann grundsätzlich nach drei Kriterien erfolgen:

Funktionskriterien
Funktionsträger und Objekt der Funktion müssen Komponenten sein
Der Funktionsträger interagiert mit dem Objekt der Funktion
Mindestens ein Parameter des Objektes der Funktion wird durch die Interaktion verändert oder beibehalten

Bild 5.16 Funktionskriterien nach [3]

5.5.4 Tabellarisches Funktionsmodell

Im Zuge des tabellarischen Funktionsmodells werden die Funktionen eines technischen Systems ausformuliert. Für jede Interaktion, welcher ein funktioneller Zusammenhang zugrunde liegt, wird die konkrete Funktion formuliert und tabellarisch zu-

sammengestellt. Es bietet sich an, Schritt für Schritt die in der Interaktionsanalyse festgehaltenen Interaktionen abzuarbeiten.

Innerhalb des Modells sind die Funktionen in Funktionskategorien eingeordnet. Im ersten Schritt wird in nützliche (useful) und in schädliche (harmful) Funktionen unterschieden. Im zweiten Schritt werden nützliche Funktionen noch nach dem Erfüllungsgrad ihrer Aktion unterteilt. Dieser kann als unzureichend (insufficient), normal oder übermäßig (excessive) eingestuft werden. Die Nomenklatur richtet sich nach den englischen Begriffen (vgl. Bild 5.17) [3].

Funktion	Kategorie	Erfüllungsgrad	Bemerkung
Funktionsträger 1			
Verb / Objekt X	U oder H	I, E oder N	
Verb / Objekt Y	U oder H	I, E oder N	
Funktionsträger 2			
Verb / Objekt X	U oder H	I, E oder N	
Verb / Objekt Z	U oder H	I, E oder N	

Bestimmung der Funktion

Eingabe der Kategorie:
 U = Useful
 H = Harmful

I = Unzureichend
 E = Überzogen
 N = Normal

Bild 5.17 Schema des tabellarischen Funktionsmodells [3]

Zwischen zwei Objekten können mehrere Funktionen bestehen und auch entgegengerichtet sein. In diesem Fall ist eine Komponente sowohl Funktionsträger als auch Objekt der Funktion.

Das tabellarische Funktionsmodell der Armlehne ist auf Bild 5.18 dargestellt. Das GFK-Bauteil erfüllt eine signifikante Anzahl von Funktionen. Die weiteren Komponenten hingegen sind unter sich relativ ausgeglichen.

Funktion	Kategorie	Erfüllungsgrad
GFK		
hält Fahrer	U	N
schmeichelt Fahrer	U	I
hält Polster	U	N
hält PMA-Schlauch	U	N
Hält Schalter	U	E
führt Kabel	U	E
belastet Verstellung	H	
Lackierung		
stoppt Staub/Schmutz/Schweiß	U	N
schmeichelt Fahrer	U	N
Verstellung		
hält GFK	U	I
verstellt GFK	U	I
beschädigt GFK	H	
Sitzanbindung		
hält Verstellung	U	I
führt Verstellung	U	N

Funktion	Kategorie	Erfüllungsgrad
Polster		
dämpft Fahrer	U	N
Fahrersitz		
hält Sitzanbindung	U	N
Staub, Schmutz, Schweiß		
verschmutzt GFK	H	
verschmutzt Lackierung	H	
verschmutzt Polster	H	
Fahrer		
belastet GFK	H	
PMA Schlauch		
führt Kabel	U	N

Bild 5.18 Tabellarisches Funktionsmodell der Fahrersitzarmlehne

5.5.5 Graphisches Funktionsmodell

Mit dem graphischen Funktionsmodell können sehr übersichtlich und ganzheitlich die Zusammenhänge in einem technischen System abgebildet werden. Die Komponenten sind als Kästchen dargestellt, die Funktionen als Pfeile. Es werden, wie in Kapitel 5.5.1 *Komponentenanalyse* beschrieben, Systemkomponenten, schlicht Komponenten genannt, Supersystemkomponenten und die Zielkomponente unterschieden. Nützliche Funktionen werden blau, schädliche Funktionen rot dargestellt. Der Erfüllungsgrad der nützlichen Funktionen wird durch verschiedenartige Pfeile kenntlich gemacht (vgl. Bild 5.19) [3].

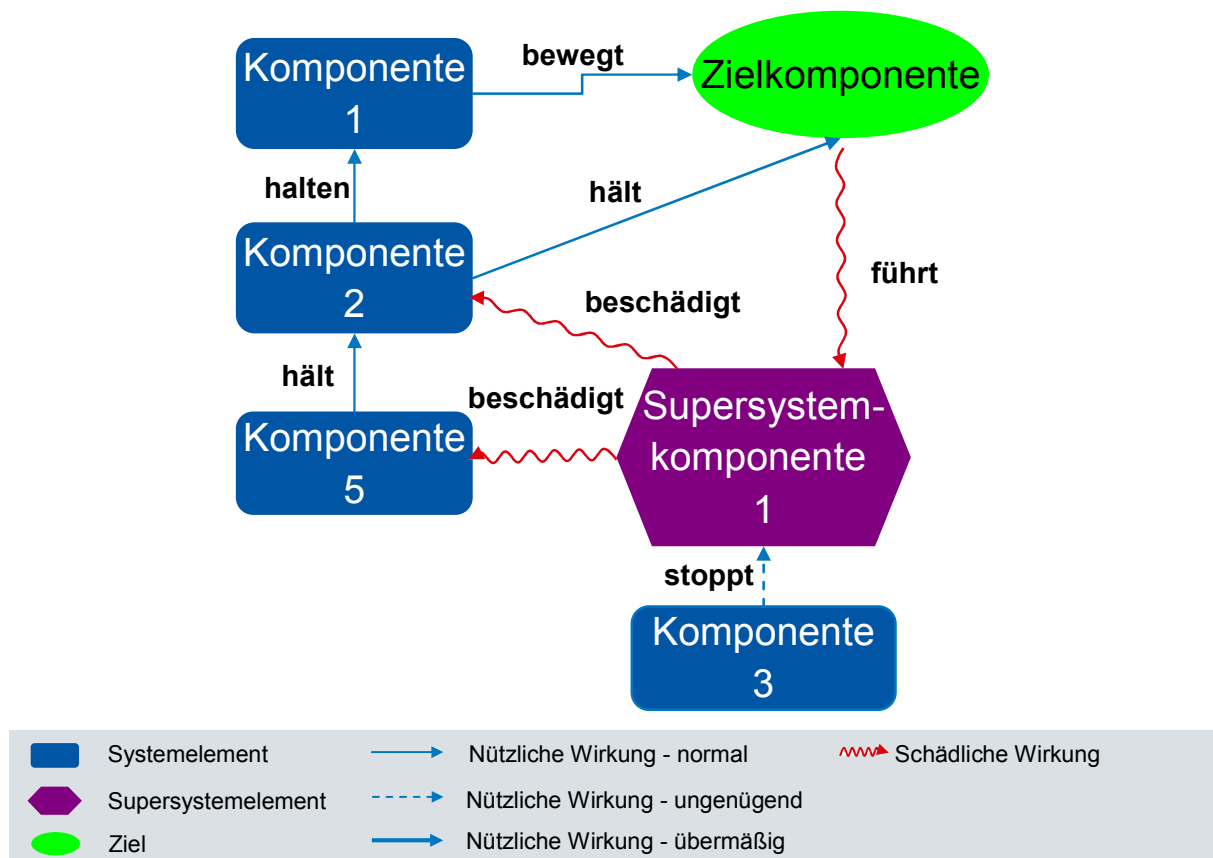


Bild 5.19 Schema des graphischen Funktionsmodells nach [3]

Das Funktionsmodell dient in erster Linie dazu, die Zusammenhänge innerhalb eines technischen Systems darzustellen und zu verdeutlichen. So können Teilprobleme herausgegriffen und beispielsweise mit der *Stoff-Feld-Analyse* (siehe Kapitel 6.2) bearbeitet werden. Weiterhin ist das graphische Funktionsmodell Grundlage für die Funktionalitätsbestimmung im Rahmen der wertanalytischen Betrachtung (Kapitel 5.6) und für das Trimming (Kapitel 5.7). Das Funktionsmodell für die bestehende Fahrersitzarmlehne ist auf Bild 5.20 dargestellt.

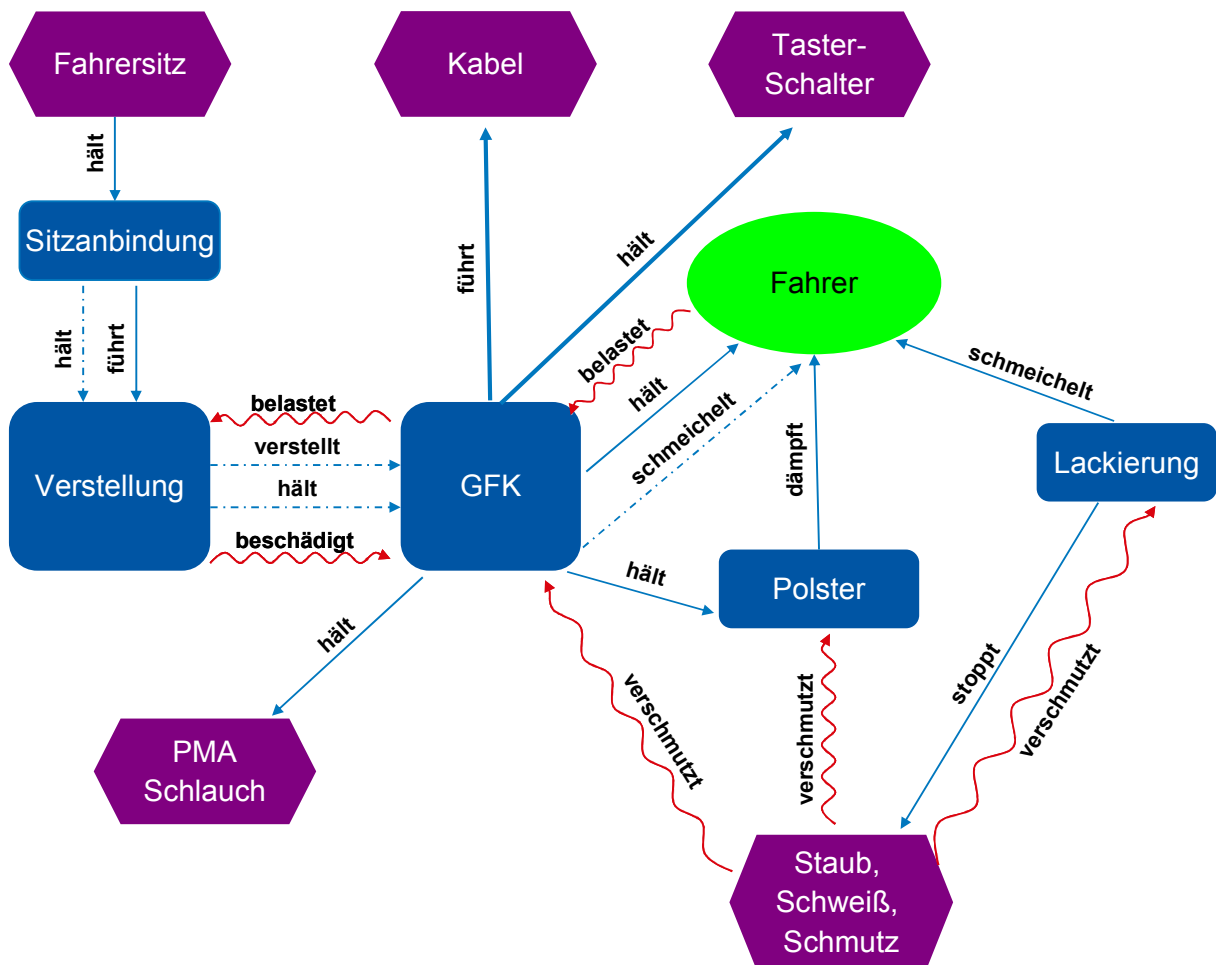


Bild 5.20 Graphisches Funktionsmodell der Fahrersitzarmlehne

Das Funktionsmodell verdeutlicht einerseits die Struktur und andererseits die Beziehungen innerhalb des technischen Systems „*Fahrersitzarmlehne*“. Beispielsweise ist unverzüglich die zentrale Stellung der GFK-Tragstruktur erkennbar.

Aus dem Funktionsmodell können die Verbesserung des Systems betreffende Frage- und Aufgabenstellungen abgeleitet werden. Insbesondere bieten schädliche oder im Erfüllungsgrad über- oder untermäßige Funktionen dabei Angriffspunkte, wie die folgenden Fragen illustrieren.

Abgeleitete Fragen

Wie kann verhindert werden, dass der Verstellmechanismus den GFK beschädigt?

Wie kann die Verstellung der GFK-Tragstruktur schneller erfolgen?

Wie kann die Sitzanbindung die Verstellung besser halten?

5.6 Wertanalytische Betrachtung

Die *wertanalytische Betrachtung* ist direkt der Funktionsanalyse zugeordnet. Sie stellt eine Korrelation von Funktionalität und Kosten der einzelnen Komponenten innerhalb eines technischen Systems her. So wird neben der reinen Funktionalität auch eine wirtschaftliche Betrachtung der Komponenten vollzogen. Bestimmt wird der sogenannte *Wert* einer Komponente, der sich aus dem Verhältnis Funktionalität zu Kosten ergibt. Dieser Wert liefert eine relative Aussage, wie sich die einzelnen Komponenten eines technischen Systems zueinander verhalten. Graphisch dargestellt wird dies im Stärkediagramm, auf welches im Verlauf des Kapitels eingegangen wird.

Die Funktionalität einer Komponente hängt von den Funktionen ab, in denen diese Komponente als Funktionsträger agiert, das heißt aktiv eine Funktion ausübt. An dieser Stelle wird keine Unterscheidung bezüglich des Erfüllungsgrades der Funktion in insufficient, normal oder excessive getroffen und schädliche Funktionen werden vernachlässigt. Diese verbreitete Vereinfachung dient der einfacheren manuellen Handhabung. Bestimmte Softwareprogramme wie *Goldfire Innovator* ermöglichen es, auf diese Vereinfachung zu verzichten [3].

Zur Einstufung der Wichtigkeit von Funktionen innerhalb eines Systems werden sogenannte Funktionsränge eingeführt. Dabei gilt grundsätzlich, je näher eine Komponente an der Zielkomponente ist, desto höher ist deren Funktionsrang, wie Bild 5.21 verdeutlicht [3].

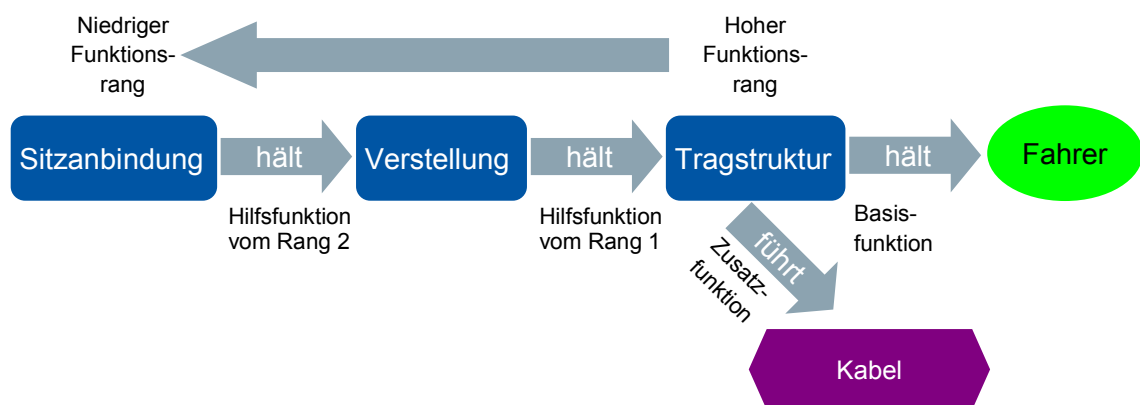


Bild 5.21 Schema der Funktionsrangbildung nach [3]

Als Basisfunktion werden die Funktionen bezeichnet, deren *Objekt der Funktion* die Zielkomponente ist, d.h. Funktionen, die auf die Zielkomponente gerichtet sind. Ihnen wird die Bezeichnung B für *Basic* zugewiesen und sie besitzen den höchsten Rang.

Hilfsfunktionen laufen unter der Bezeichnung A_n (auxiliary-function n-ten Ranges). Der Rangindex n einer Hilfsfunktion ist abhängig von den Rangindizes der *Objekte seiner Funktion*, also den Komponenten, auf welche die Funktion ausgerichtet ist. Der Rangindex $n=1$ wird vergeben, wenn die Funktion auf eine Komponente zeigt, die Funktionsträger einer Basisfunktion ist. In diesem Fall handelt es sich um eine Hilfsfunktion A_1 , der Hilfsfunktion höchsten Ranges. Hilfsfunktionen, die auf Komponenten gerichtet sind, die selbst Funktionsträger einer Hilfsfunktion sind, werden im Index n um eins hochgestuft. Ist eine Komponente Funktionsträger einer Hilfsfunktion A_1 , so erhält die Hilfsfunktion, die auf diese Komponente gerichtet ist, den Rang A_2 . Dabei ist jeweils die höchstrangige Funktion ausschlaggebend, die vom Objekt der Funktion ausgeht. Gehen beispielsweise von einem Objekt die Funktionen A_3 und A_5 aus, so erhält die darauf gerichtet Funktion den Rang A_4 und nicht A_6 [3].

Zusatzfunktionen sind auf Supersystemkomponenten gerichtet und werden mit A_d für *additional* bezeichnet. Sie haben den gleichen Rang wie die höchste Hilfsfunktion, A_1 [3].

Anhand Bild 5.22 wird die Erstellung der Funktionsränge illustriert.

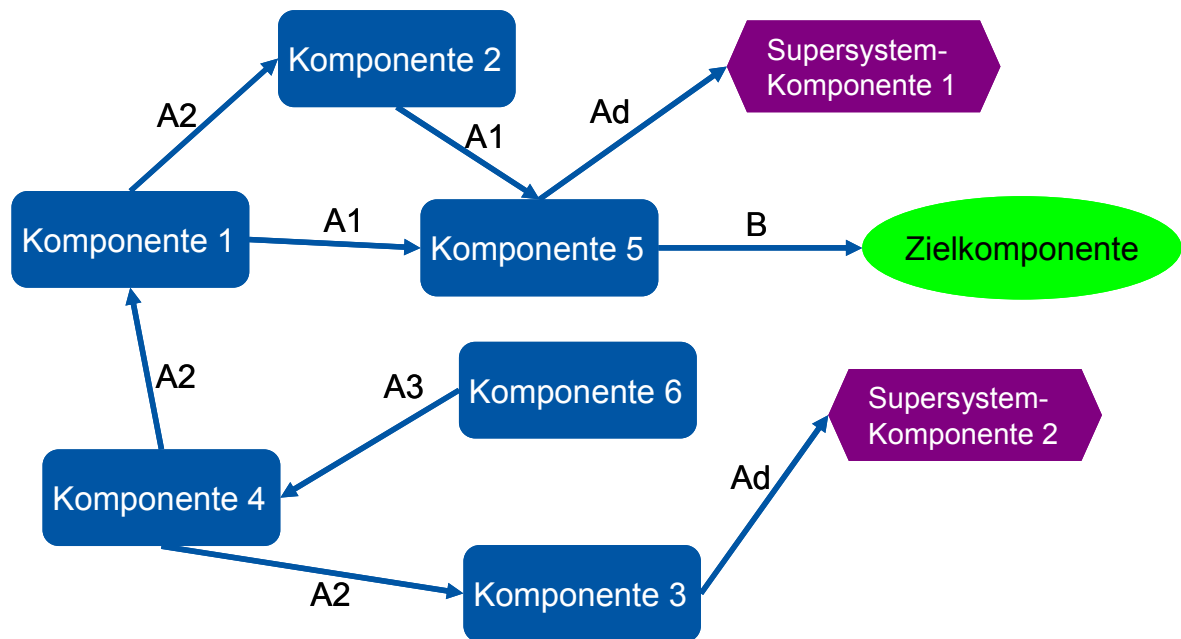


Bild 5.22 Beispiel für die Funktionsrangbildung nach [3]

Jeder Funktionsrang entspricht einer Punktzahl. Die Punktzahl von 1 wird der Hilfsfunktion mit dem zahlenmäßig höchsten Index n vergeben. In dem Fall von Bild 5.19 erhält A3 also die Punktezahl 1. Die nächst bessere Hilfsfunktion erhält jeweils einen Punkt mehr als die vorherige, A2 erhält demnach 2 Punkte und A1 3 Punkte. Zusatzfunktionen entsprechen in ihrem Rang der höchsten Hilfsfunktion A1, in diesem Fall also ebenfalls 3 Punkten. Basisfunktionen erhalten zwei Punkte mehr als die A1-Hilfsfunktionen, hier also 5 Punkte [3].

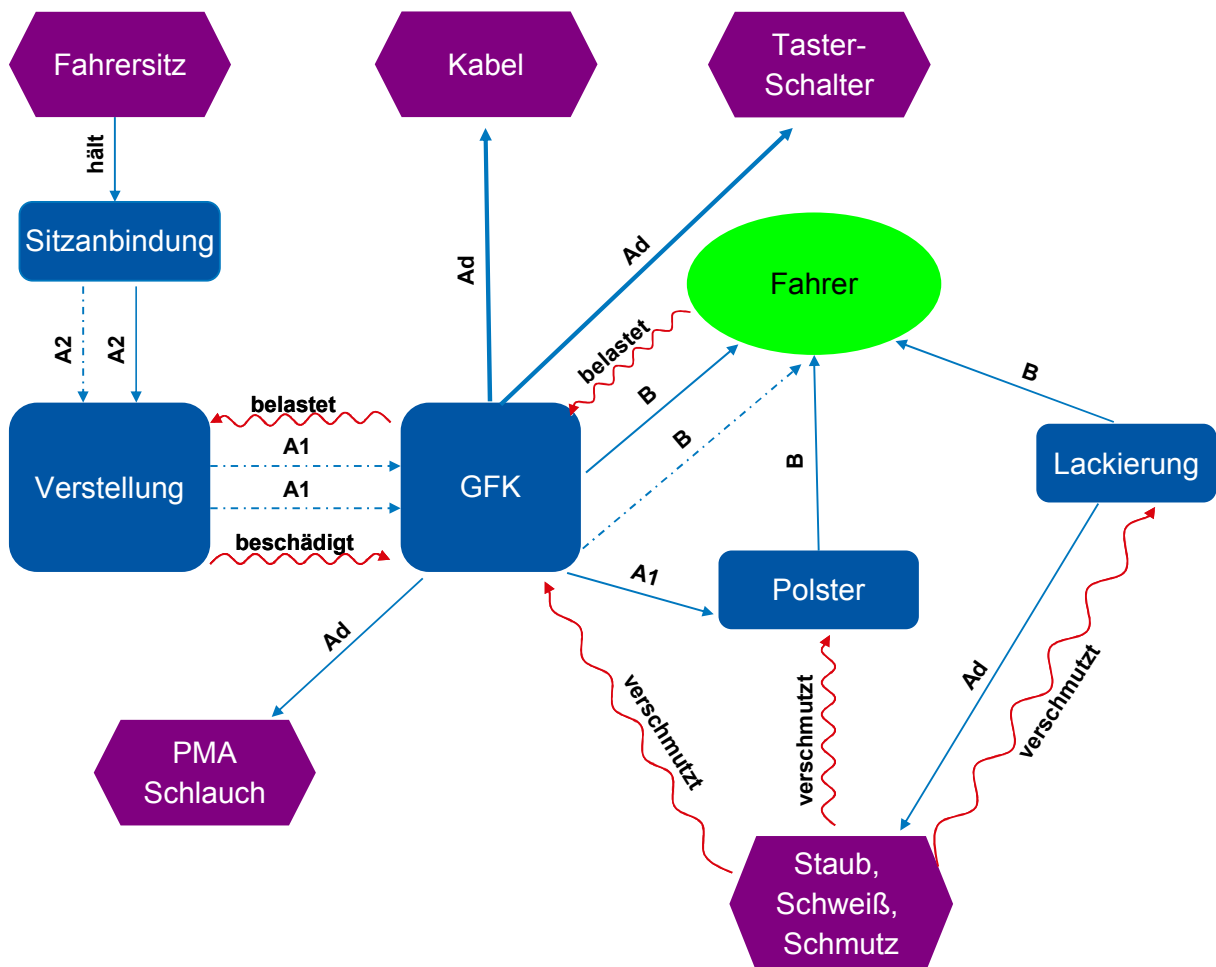


Bild 5.23 Funktionsrangbildung für die Fahrersitzarmlehne

Nachdem die Funktionen dem Rang nach geordnet und mit Punktzahlen versehen sind, werden sie den Komponenten des technischen Systems zugeordnet, welche deren Funktionsträger darstellen. Die Punktzahlen der Funktionen jeder Komponente werden aufsummiert. Dieser Wert stellt die Funktionalität der einzelnen Komponenten innerhalb des Systems dar [3].

In dem Fall der Fahrersitzarmlehne ist die Funktion A2 die rangniedrigste. Somit erhält sie die Punktzahl 1. Die Funktion A1 erhält demnach 2 Punkte, genau wie die Zusatzfunktion Ad. Basisfunktionen B erhalten 4 Punkte, zwei Punkte mehr als die Hilfsfunktion A1. Um eine einheitliche Darstellung unabhängig vom System zu erhalten, werden die Funktionalitäten im Allgemeinen normiert. Die Normierung erfolgt dadurch, dass die Funktionalität der Komponenten durch die höchste Funktionalität, welche eine Komponente des Systems besitzt, dividiert wird. Diese Komponente besitzt anschließend die normierte Funktionalität 1, alle anderen Funktionalitäten sind

kleiner 1. Durch die Erweiterung der normierten Funktionalitäten mit einem Faktor, in diesem Falle dem Faktor 10, können die Werte anschließend entsprechend den Bedürfnissen des Anwenders an eine Skala angepasst werden [3].

Komponente	Funktions- ränge	Funktionspunkte	Normierte Funktionalität	x 10
GFK	B + B + Ad + Ad + Ad + A1	16	1	10
Lackierung	B + Ad	6	0,375	3,8
Polster	B	4	0,25	2,5
Verstellung	A1 + A1	4	0,25	2,2
Sitzanbindung	A2 + A2	2	0,125	1,3

Bild 5.24 Ermittlung der Funktionalitäten der Armlehnenkomponenten

Wie schon erläutert entspricht der Wert W der Komponenten dem Quotienten aus Funktionalität zu Kosten. Die normierte Funktionalität der Komponenten ist an dieser Stelle bekannt. Nun kann diese prinzipiell durch die jeweiligen Kosten geteilt werden, um die Wertigkeit der einzelnen Komponenten zu bestimmen. Es ist jedoch zu empfehlen, auch die Kosten zu normieren, und mit demselben Faktor wie die Funktionalität zu erweitern.

$$\text{Wert} = \frac{\text{Norm. Funktionalität}}{\text{Norm. Kosten}}$$

(5.1)

Stärkediagramm

Graphisch dargestellt wird die wertanalytische Betrachtung im Stärkediagramm. Dieses erlaubt dem Anwender eine sehr übersichtliche Beurteilung der Wertigkeiten der Komponenten im Gesamtsystem in Bezug auf Funktionalität und Kosten.

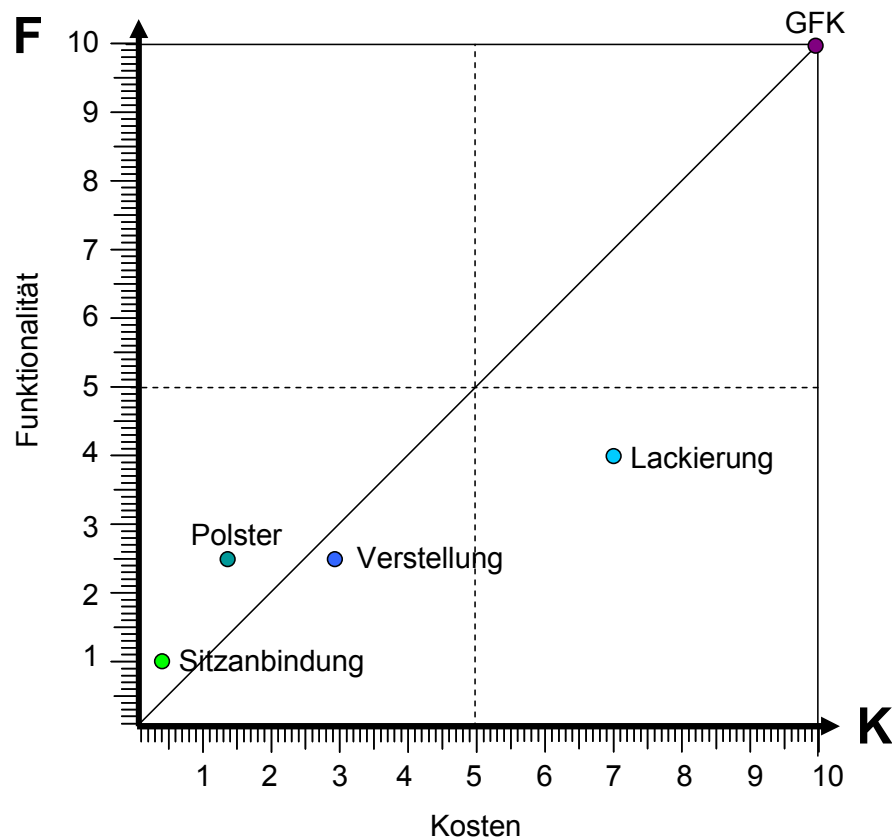


Bild 5.25 Stärkediagramm der bestehenden Fahrersitzarmlehne

Komponenten, die dabei auf derselben Geraden ausgehend vom Ursprung liegen, haben wegen dem gleichen Quotienten aus Funktionalität zu Kosten auch dieselbe Wertigkeit. Es wird, wie in Bild 5.25 zu sehen ist, die Winkelhalbierende eingetragen. Liegen bei einem technischen System alle Komponenten um oder auf dieser Winkelhalbierenden, sind die Komponenten zueinander ausgewogen im Verhältnis Funktionalität zu Kosten.

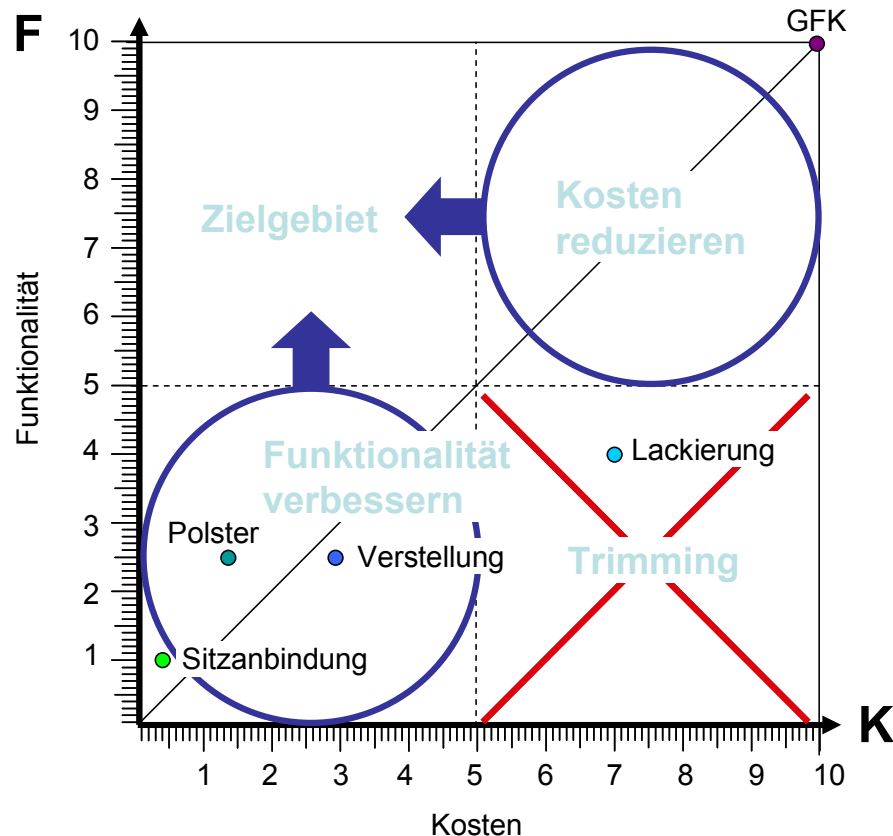


Bild 5.26 Stärkediagramm: Indikatoren zum weiteren Vorgehen nach [3]

Generell ist anzustreben, dass alle Komponenten eine hohe Funktionalität bei geringen Kosten besitzen, sich also im linken oberen Quadranten befinden. Ist entweder nur die Funktionalität einer Komponente hoch oder sind nur die Kosten gering, so sollte versucht werden diese Stärke beizubehalten und die Defizite im komplementären Bereich aufzuheben, so dass die betreffenden Komponenten, wie in Bild 5.26 dargestellt, ebenfalls in den Zielbereich wandern.

Komponenten, welche nur geringe Funktionalität bei hohen Kosten aufweisen, sich also im rechten unteren Quadranten befinden, bieten sich für das Trimming an. Konkretes Ziel des Trimming ist es, diese Komponenten zu entfernen und deren nützliche Funktionen auf andere Komponenten zu übertragen. Hieraus eröffnet sich ein wesentliches Vereinfachungspotential des technischen Systems. Auf das Trimming wird im folgenden Kapitel explizit eingegangen.

5.7 Trimming

Ziel des Trimming ist eine Reduzierung von Komponenten bei Beibehaltung der Funktionalität. Es wird angestrebt, die gleichen Funktionen von weniger Komponenten erfüllen zu lassen. Wie bereits unter Kapitel 5.1 *Ideal Final Result* beschrieben, erfüllt die perfekte Lösung eine Funktion, ohne selbst zu existieren. Nach diesem Grundsatz erklärt sich das Ziel, ein System aus möglichst wenigen Teilen aufbauen zu wollen. Teile, die nicht existieren, kosten nichts, wiegen nichts und können auch nicht zerstört werden oder verschleissen. Wird das Trimming erfolgreich durchgeführt, steigt das Maß der Idealität durch geringere Kosten, geringere Komplexität und geringeres Gewicht, bei gleicher oder gar gesteigerter Funktionalität.

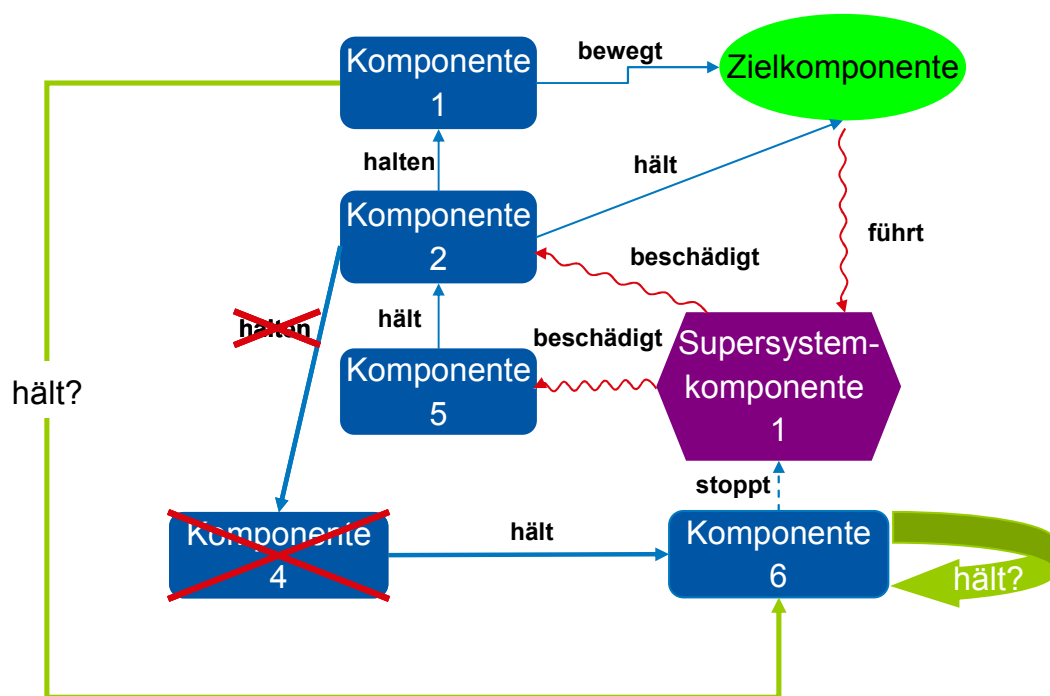


Bild 5.27 Schema des Trimming

Für das Trimming bestehen drei grundlegende Regeln. Damit das technische System funktionell keine Einbußen erleidet, müssen die nützlichen Funktionen der entfernten, also getrimmten, Komponente auf eine oder mehrere andere Komponenten übertragen werden (Bild 5.27). Bevor eine Komponente getrimmt wird, darf sie kein Funktionsträger nützlicher Funktionen mehr sein. Die Trimmingregeln geben an, unter welchen Umständen eine Komponente getrimmt werden kann und welche Komponenten sinnvollerweise als alternative Funktionsträger in Betracht gezogen werden sollten.

Trimmingregeln

Nach **Regel A** ist eine nützliche Funktion, die von einer zu trimmenden Komponente ausgeht, nicht mehr notwendig, wenn das Objekt der Funktion, auf welches diese gerichtet ist, wegfällt [3].



Bild 5.28 Trimmingregel A [3]

Wenn der Schmutz im Fahrrerraum entfällt, kann auch die Lackierung entfallen, welche diesen stoppt.



Bild 5.29 Beispiel Trimmingregel A

Regel B besagt der Funktionsträger einer nützlichen Funktion kann entfallen, wenn das Objekt der nützlichen Funktion diese Funktion selbst ausführt [3].

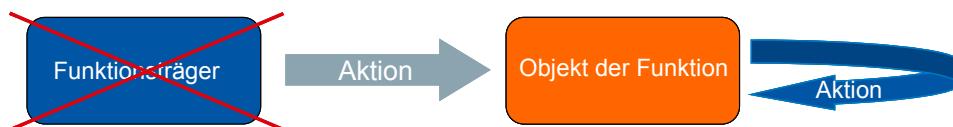


Bild 5.30 Trimmingregel B [3]

Selbstsichernde Schrauben benötigen keinen Sicherungsstift mehr, selbstklebende Etiketten keinen Klebstoff.

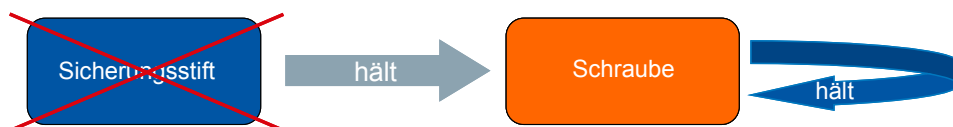


Bild 5.31 Beispiel Trimmingregel B

Die wohl meistangewandte Trimmingregel ist die **Regel C**. Nach ihr darf der Funktionsträger einer nützlicher Funktion getrimmt werden, wenn eine andere Komponente die Erfüllung seiner Funktionen übernimmt [3].

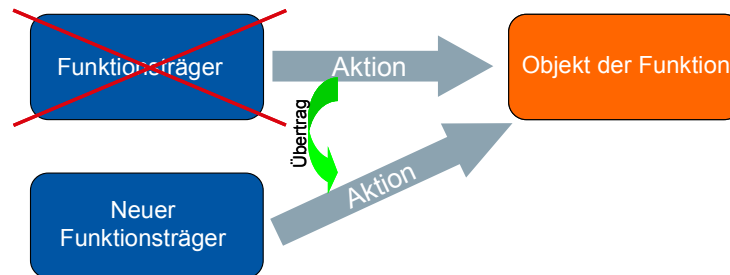


Bild 5.32 Trimmingregel C [3]

Wird ein Tür-Scharnier in ein Aluminiumstrangpressprofil integriert, kann dieses als separates Teil entfallen.

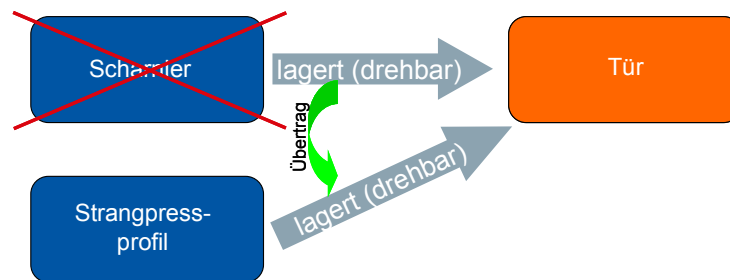


Bild 5.33 Beispiel Trimmingregel B

Für die **Regel C**, also den Übertrag von Funktionen einer Komponente auf andere Komponenten, stehen vier Richtlinien zur Verfügung, die bei der Auswahl des alternativen Funktionsträgers behilflich sein sollen.

Trimmingrichtlinien

Die Richtlinien sollten ihrer Reihenfolge nach durchlaufen werden, da im Allgemeinen eine alternative Komponente nach Richtlinie 1 günstiger einzusetzen ist als eine Komponente nach Richtlinie 4.

Richtlinie 1: Übertrag auf eine Komponente, die eine gleiche oder ähnliche Funktion an dem Objekt der Funktion ausübt [3].

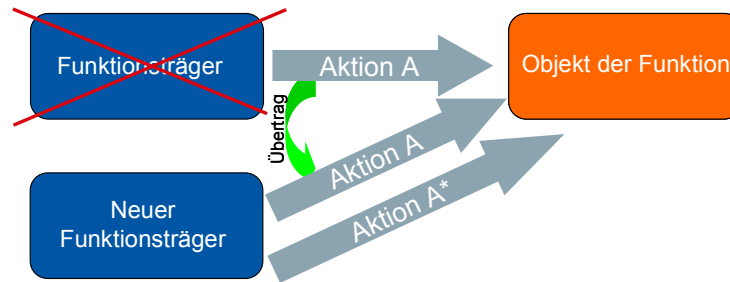


Bild 5.34 Trimmingrichtlinie 1 [3]

Der Anschlag der Sitzverstellung hält die Verstellung der Armlehne radial. Er ist möglich, dass dieser auch die axiale Sicherung übernimmt und ein Sicherungsring, welcher bisher die Funktion innehatte, entfallen kann.

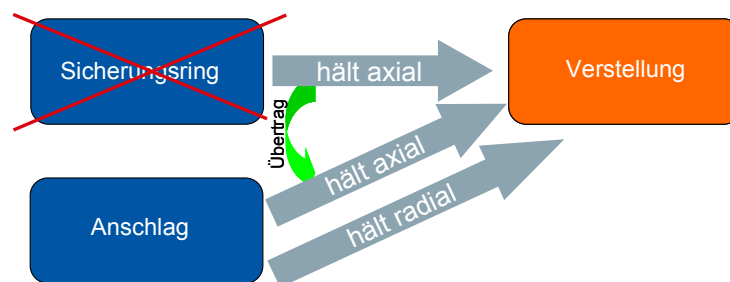


Bild 5.35 Beispiel Trimmingrichtlinie

Richtlinie 2: Übertrag auf eine Komponente, die eine gleiche oder ähnliche Funktion an einem anderen Objekt ausführt [3].

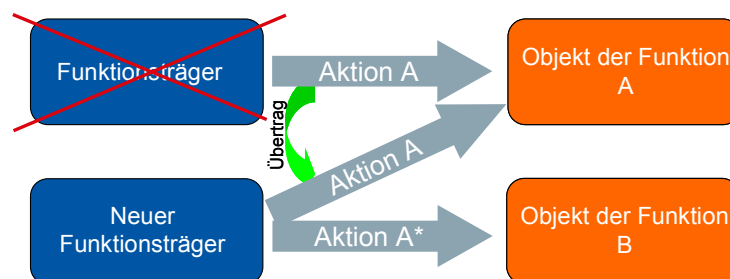


Bild 5.36 Trimmingrichtlinie 2 [3]

Wird ein Nebenaggregat separat angetrieben, so kann der eigene Motor entfallen, wenn eine Kopplung mit dem Hauptaggregat erfolgt.

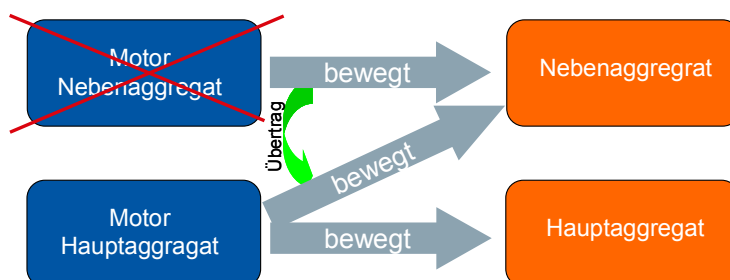


Bild 5.37 Beispiel Trimmingrichtlinie 2

Richtlinie 3: Übertrag auf eine Komponente, die mit dem Objekt der Funktion interagiert. Dabei kann ein funktioneller Zusammenhang bestehen, es ist jedoch auch möglich, dass nur eine einfache Interaktion besteht [3].

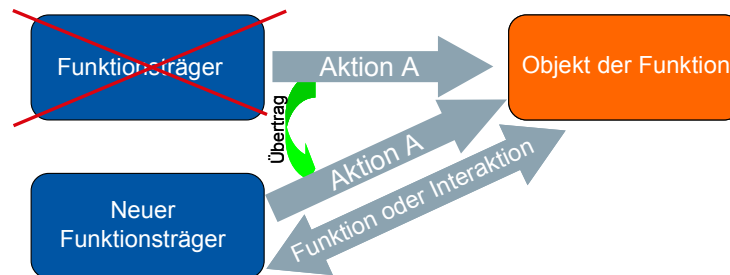


Bild 5.38 Trimmingrichtlinie 3 [3]

Die Haltestangen, die von Straßenbahnsitzen zur Decke führen, könnten die Funktion *halten* übernehmen und so die Stützkonstruktion (Kantilever) unter den Sitzen ersetzen.

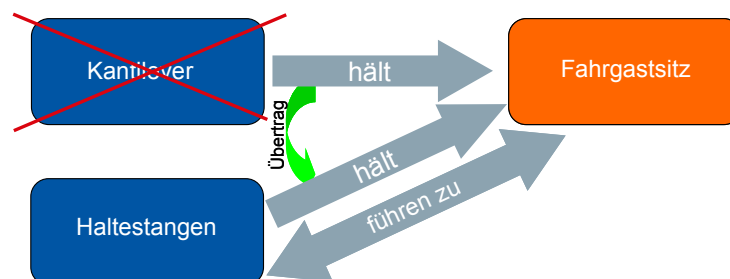


Bild 5.39 Beispiel Trimmingrichtlinie 3

Richtlinie 4: Übertrag auf eine Komponente, die freie Ressourcen besitzt. Ein Schaltschrank im Innenraum einer Straßenbahn kann entfallen, wenn die Schaltkomponenten im noch nicht vollen Dachcontainer untergebracht werden. Es ist auch die Einführung einer neuen Komponente möglich, welche die zu trimmende Komponente ablöst. Vor allem wenn schon einige Funktionen auf alternative Funktionsträger übertragen werden konnten, ist es möglich, dass aus den daraus resultierenden, geringeren Anforderungen an die Komponente ein kostengünstigeres Ersatzbauteil gewählt werden kann [3].

Trimming Fahrersitzarmlehne

Trimming ist ein Tool, mit dem bestehende technische Systeme verbessert und vereinfacht werden sollen. An dieser Stelle wird das Trimming deswegen auf die bestehende Fahrersitzarmlehne angewandt. Anhand des graphischen Funktionsmodells und der Erkenntnisse aus der *wertanalytischen Betrachtung* (Kap. 5.6) können Strategien zum konkreten Vorgehen abgeleitet werden.

Als *Trimming-Empfehlung* laut wertanalytischer Betrachtung (Bild 5.26) ist die Lackierung zu identifizieren. Sie besitzt die konkrete Funktion das Verschmutzen des GFK zu verhindern und leistet gleichzeitig einen Beitrag zum Design. Dieser Beitrag wurde in der Funktionsanalyse durch die Funktion „*schmeichelt Fahrer*“ ausgedrückt. Zur Verdeutlichung der Vorgehensweise wird das Trimming nach Bild 5.40 zuerst nur an der Lackierung durchgeführt und der Transfer der Funktionen auf alternative Funktionsträger einzeln dargestellt.

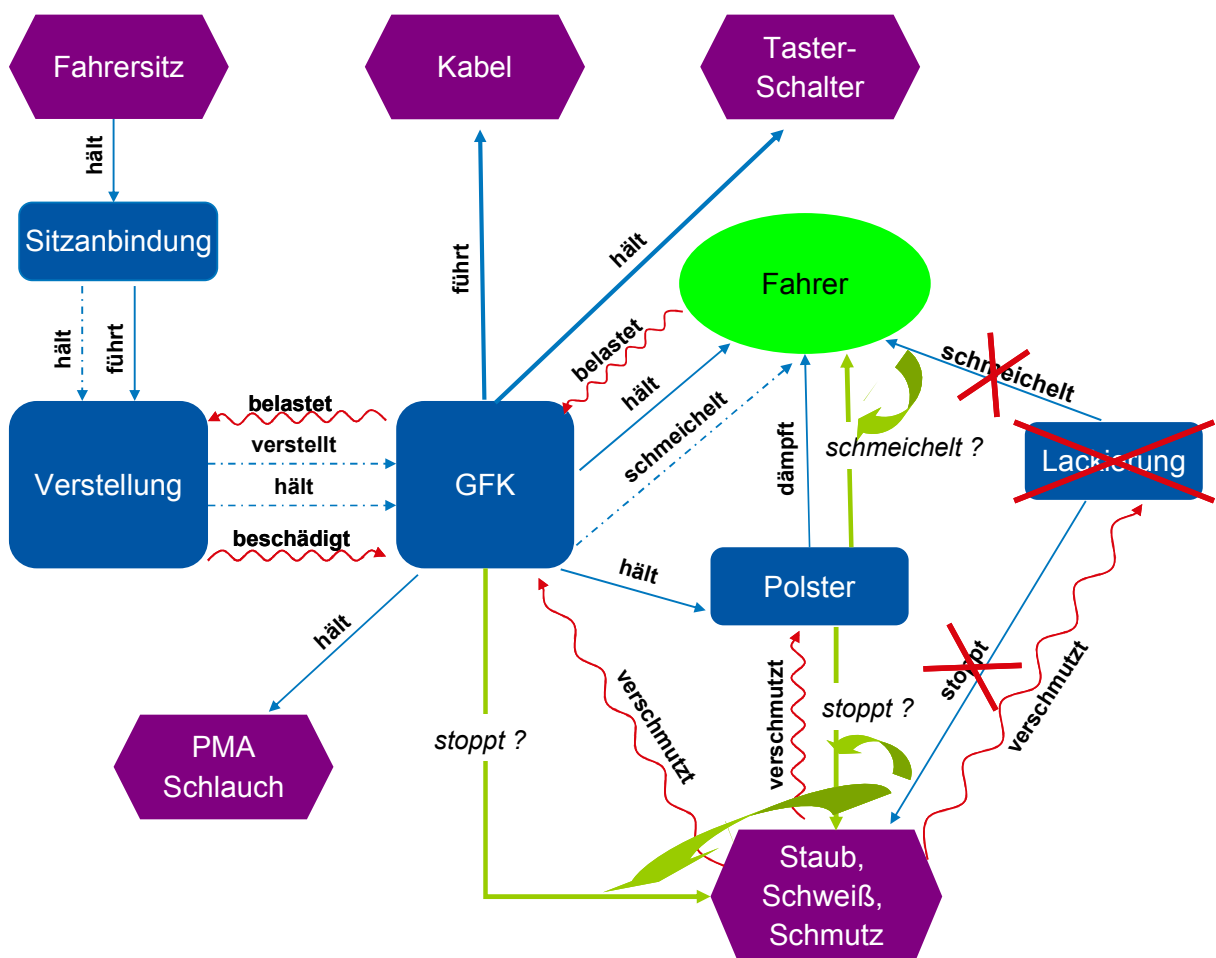


Bild 5.40 Trimming der Lackierung der Fahrersitzarmlehne

Es ist zu ermitteln, welche Komponente alternativ die Funktion *schmeichelt Fahrer* in Bezug auf Design und Farbgebung übernehmen kann. Sicherlich kann das Obermaterial der Polsterung aus einem Stoff oder einer Folie bestehen, welche den Wünschen des Fahrers und des Betreibers entspricht.

Um die Funktion „*stoppt Staub, Schweiß, Schmutz*“ von der Lackierung auf eine andere Komponente umzuverteilen, ist es denkbar, die gesamte Struktur mit dem Polsterobermaterial zu überziehen, welches in diesem Fall eine glatte, geschlossene Oberfläche aufweisen müsste. Wird diese Idee weiterverfolgt können die möglichen Materialien des Polsters auf Leder oder Kunststoffe eingeschränkt werden.

Alternativ bestünde die Möglichkeit, dass die GFK-Tragstruktur den Schmutz selber stoppt. Spezielle Harze und der Einsatz von Gelcoating in der GFK Formschale zur Oberflächenoptimierung sind mögliche Ansatzpunkte. Jedoch wird bei der wertanalytischen Betrachtung auch deutlich, dass der GFK einen zu hohen Preis aufweist und diese kostenintensiven Optionen nicht die günstigste Alternative sein können.

Der hohe Preis des GFK resultiert aus dem hohen manuellen Arbeitsaufwand sowie dem hohen Materialpreis der Glasfasermatten und des Harzes. Diese Punkte stellen nach der Cause-Effect-Chain Analysis *Key-Disadvantages* dar; nachteilige Eigenschaften, die der Anwender nicht direkt beeinflussen kann. Weiterhin trat während des Einsatzes der Armlehnen mehrfach eine Überbelastung der GFK-Tragstruktur auf, deren Ursache unter anderem in der Verwendung eben dieses Materials begründet liegt. Bei der wertanalytischen Betrachtung wurden diese schädlichen Funktionen nicht berücksichtigt. Ebenso wenig Funktionen mit nicht angemessenem Erfüllungsgrad, insufficient oder excessive. Funktionen mit diesen Funktionsrängen stellen jedoch wichtige Ansatzpunkte zu Systemverbesserungen dar und sollten neben den Erkenntnissen aus der wertanalytischen Betrachtung in Entscheidungen zum weiteren Vorgehen einfließen.

Werden all diese Punkte berücksichtigt, liegt es nahe ein Trimming des GFK anzustreben. Seine Daseinsberechtigung zieht der GFK aus seiner hohen Funktionalität, d.h. der Erfüllung einer hohen Anzahl von nützlichen Funktionen. Um den GFK trimmen zu können, müssen alle diese nützlichen Funktionen, in denen er als Funktionsträger auftritt, auf alternative Komponenten übertragen werden (vgl. Bild 5.41).

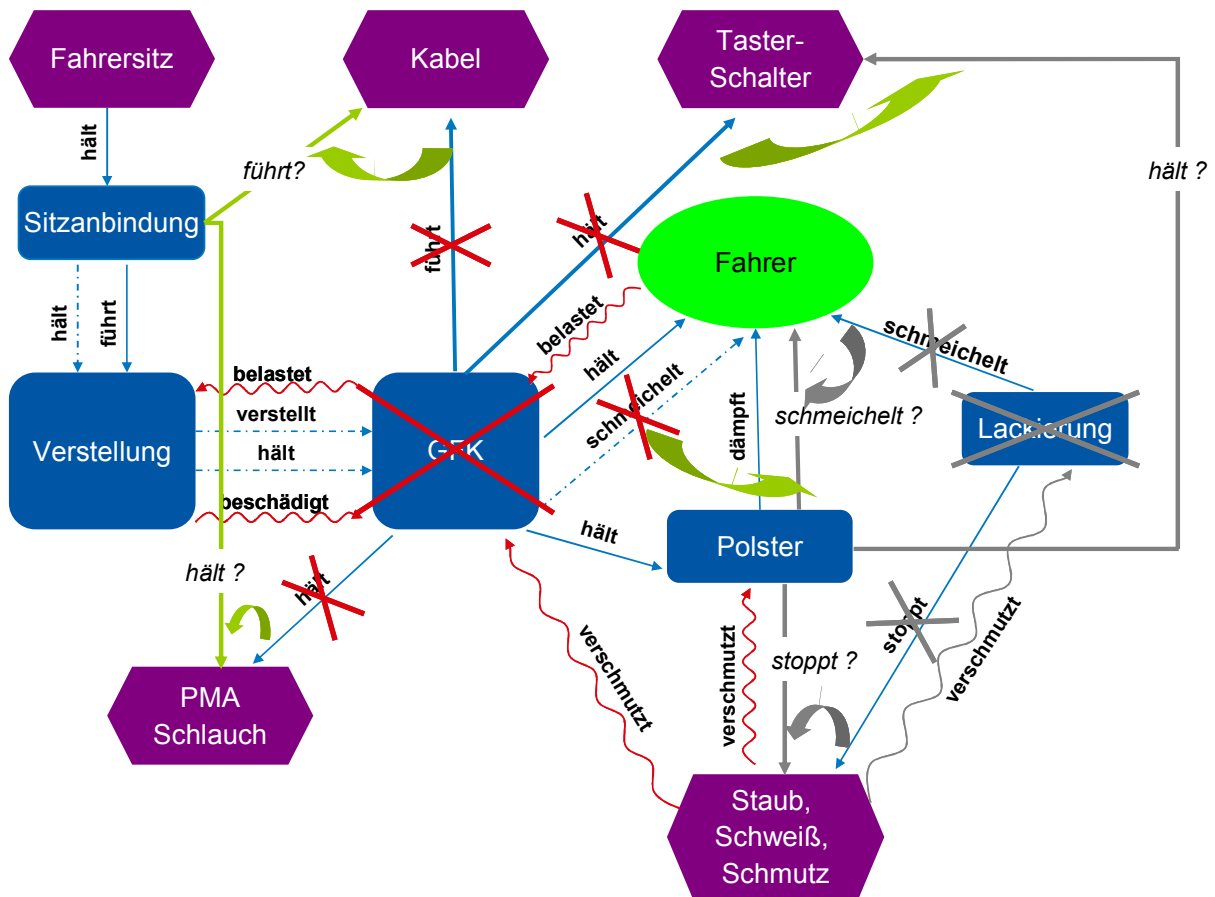


Bild 5.41 Trimming der GFK-Tragstruktur der Fahrersitzarmlehne

Das GFK-Bauteil stellt die Tragstruktur dar. Die Umverteilung der Hauptfunktion „*hält/stützt Fahrer*“ ist als problematisch einzustufen, da keine andere Komponente hierfür in Frage kommt. Nun rechtfertigt den hohen Preis des GFK lediglich seine hohe Funktionalität. Gelingt es, für alle anderen Funktionen alternative Funktionsträger vorzuschlagen, muss eine alternative Tragstruktur lediglich die Hauptfunktion *hält/stützt Fahrer* erfüllen. Ein Standard Aluminium-Profil oder ein Blechbiegeteil wären mögliche Substitute. Daraus resultierte ebenfalls mehr Flexibilität bei der Anbindung des Verstellmechanismus, da Metall und glasfaserverstärkter Kunststoff schwierig zu fügen sind. Eine metallene Tragstruktur stellt also die gleiche Hauptfunktion mit verringertem Fehlerrisiko und höherer Zuverlässigkeit zu einem Bruchteil der Kosten zur Verfügung. Des Weiteren sind diese Metallbauteile weniger anfällig gegenüber Verschmutzung.

Damit sich diese Modifikation realisieren lässt, ist der Übertrag der restlichen Funktionen auf die Komponenten Polster, Sitzanbindung und Verstellung erforderlich. Konkret handelt es sich um die in Bild 5.42 dargestellten Funktionen:

Funktionen GFK	
schmeichelt Fahrer	hält Polster
hält Tasterschalter	führt Kabel
hält PMA-Schlauch	

Bild 5.42 Funktionen der GFK-Tragstruktur

Die Funktion „*GFK schmeichelt Fahrer*“ beinhaltet designtechnische Aspekte sowie die Ergonomie. Der manuelle Herstellungsprozess der GFK-Schalen bietet zwar eine hohe Formgebungsfreiheit, jedoch sind bei der Filigranität der Bauweise Grenzen gesetzt. Eine voll ergonomische Form ist schwer realisierbar, weswegen die Funktion als unzureichend eingestuft wird.

Die Polsterung soll bereits die Tragstruktur umschließen, um diese gegen Verschmutzung zu schützen. Aus diesem Grund kommen Leder und Kunststoff als mögliche Materialien in Frage. Soll die gesamte Formgebung durch die Polsterung ausgeführt werden und die Fertigung dieser wirtschaftlich erfolgen, muss ein formgebender Ur- oder Umformprozess zum Einsatz kommen. Dadurch ist Leder als Material auszuschließen und es liegt nahe, den Fokus vollständig auf Kunststoff zu legen.

Um seine Hauptfunktion zu erfüllen, nämlich „*dämpft Fahrer*“, muss die Polsterung weich sein. Ebenfalls muss die Oberfläche geschlossen sein, um Verschmutzung zu verhindern. An den Herstellungsprozess sind die Anforderungen geknüpft, kostengünstig und reproduzierbar zu sein, bei großer Formgebungsfreiheit.

Den Anforderungen entspricht ein spritzgegossenes Integralschaumbauteil. In eine formgebende Kavität wird der flüssige Kunststoff mit Zusatz von Treibmittel eingespritzt. An den Wandungen der Kavität kühlt der Kunststoff sehr schnell ab und es bildet sich eine geschlossene Außenhaut bis zu 2,5mm Stärke. Im Inneren wirkt das Treibmittel porenbildend und es entsteht eine Schaumstruktur. Das zugehörige Werkzeug ist relativ kostengünstig und die Formgebungsfreiheit ist in dem Maße gegeben, dass selbst die Oberflächenstruktur vorgegeben werden kann. Dementsprechend kann eine hochergonomische Form umgesetzt werden. Tragstrukturen oder

andere Elemente können beim Formgebungsprozess umschäumt werden. Aufnahmen für die Tasterschalter zu integrieren, in welche diese anschließend eingefügt werden, ist Stand der Technik. Es bestehen die Möglichkeiten, die Tragstruktur einzuschäumen oder das Polster als separates Bauteil auszuführen. Beide Alternativen sind realisierbar und die Funktion „*hält Polster*“ kann von quasi beliebiger Tragstruktur erfüllt werden.

Eine Wunschanforderung lautet, dass die Kabelführung durch die Drehachse erfolgt und nicht direkt durch die Rückseite der Armlehne, an welcher bei bestehender Konstruktion ein PMA-Schlauch angebracht ist, durch welche die Kabel an den Sitz geführt werden (siehe Innovations-Checkliste Anhang C). Demnach liegt die Zielsetzung nahe, die Funktionen „*hält PMA-Schlauch*“ und „*führt Kabel*“ vom GFK-Bauteil auf die Sitzanbindung zu übertragen, welche durch die Aussage der wertanalytischer Betrachtung, nach der die Funktionalität der Sitzanbindung erhöht werden sollte (vgl. Bild 5.26), noch unterstützt wird.

Somit ist die Gesamtheit der in Bild 5.42 aufgelisteten Funktionen auf alternative Komponenten umverteilt und das GFK-Bauteil entfällt als Funktionsträger von nützlichen Funktionen. Die Komponente kann getrimmt werden. Bild 5.43 zeigt das graphische Funktionsmodell der Fahrersitzarmlehne nach Durchführung der beschriebenen Funktionstransfers und der Trimmingschritte.

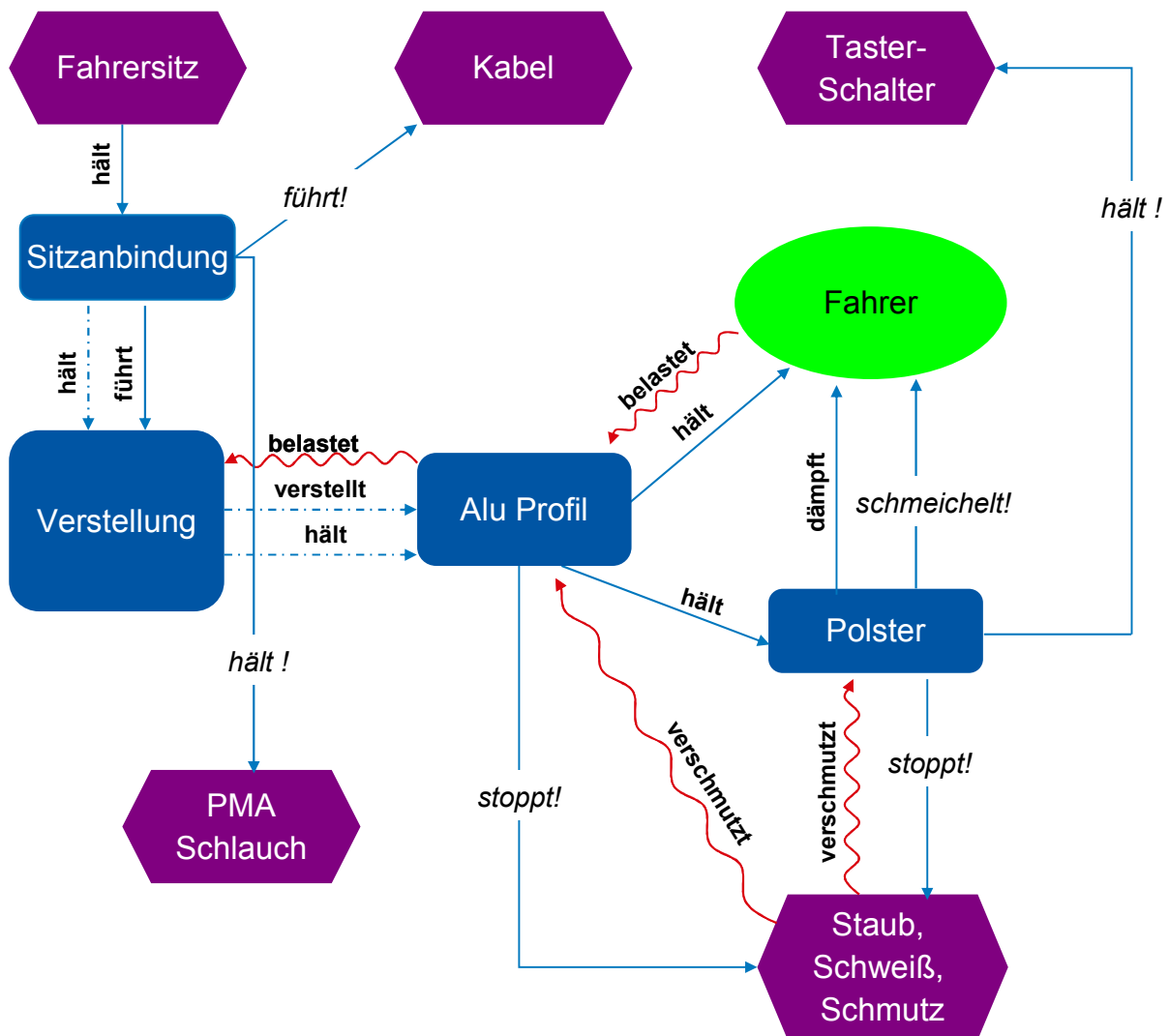


Bild 5.43 Graphisches Funktionsmodell nach Trimming

Soll ermittelt werden, inwiefern das Trimming eine Verbesserung des Systems herbeigeführt hat, so ist bei der wertanalytischen Betrachtung die aus der Normierung resultierende Skala von Funktionalität und Kosten (siehe Kap. 5.6) zu beachten. Wird die wertanalytische Betrachtung von Grund auf neu durchgeführt, so beschreibt das Ergebnis das Verhältnis von Funktionalität zu Kosten der Komponenten des veränderten Systems untereinander und es besteht kein Bezug mehr zum Ursprungssystem. Um die Systemveränderung darzustellen, ist jedoch gerade diese Veränderung interessant, weswegen die Skala der wertanalytischen Betrachtung des ungetrimmten Systems beibehalten werden sollte. Dies bedeutet konkret, dass bei der Ermittlung der normierten Funktionalität bzw. der normierten Kosten die Maximalwerte der Komponenten vor dem Trimming zugrunde gelegt werden. So kann der bisherige Entwicklungserfolg dargestellt und analysiert werden.

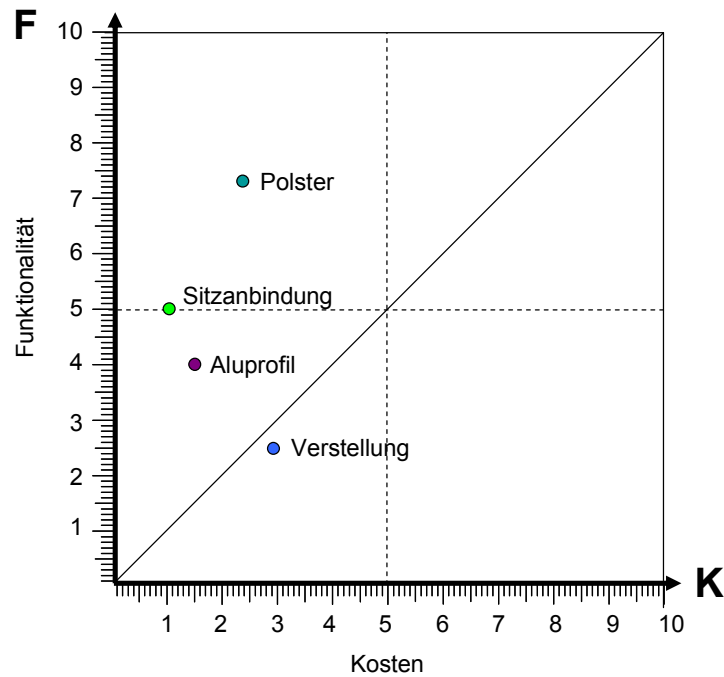


Bild 5.44 Stärkediagramm nach Trimming mit beibehaltener Skalierung

Diese Darstellung ist auf Bild 5.44 gezeigt. Es ist eine deutliche Verbesserung zur Ausgangssituation zu erkennen. Von Kostenseite sind alle Komponenten im Zielbereich, keine Komponente befindet sich im Trimming-Quadranten. Bild 5.45 hingegen zeigt die wertanalytische Betrachtung des getrimmten Systems nach systemspezifischer Normierung.

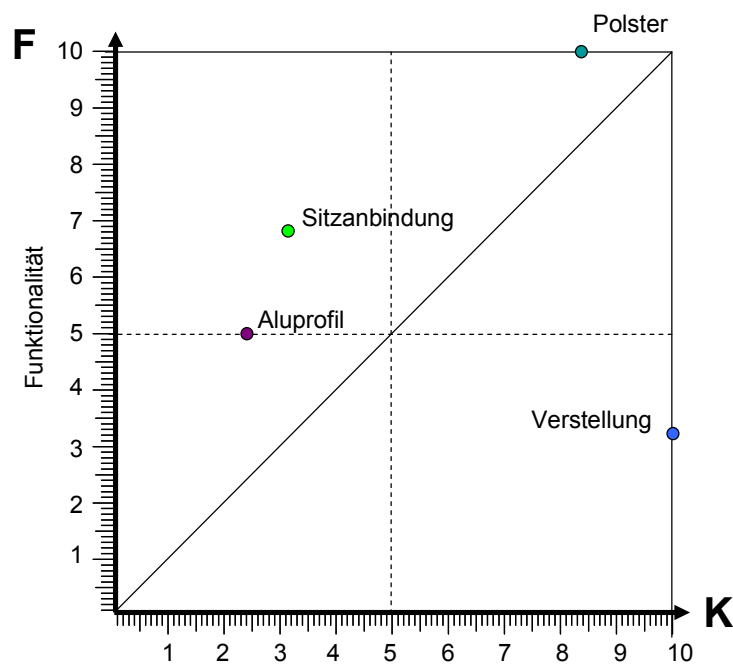


Bild 5.45 Stärkediagramm nach Trimming mit neuer Skalierung

Zum weiteren Vorgehen ist dies aufschlussreich, da verbleibende Schwachstellen in dieser Darstellung klarer zur Geltung kommen. Es können nun Aussagen zur Weiterentwicklung des bereits getrimmten Systems getroffen werden. Der Verstellmechanismus, der bisher nicht verändert wurde, ist nun kostenintensivste Komponente bei geringster Funktionalität. Aus der Analyse des graphischen Funktionsmodells (vgl. Bild 5.20) kann abgeleitet werden, dass der Verstellmechanismus darüber hinaus seine Funktionen nur unzureichend erfüllt. Den Verstellmechanismus aus dem System zu trimmen ist jedoch auf den ersten Blick mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden.

Somit rückt der Verstellmechanismus in den Fokus der weiteren Konzeptbildung. Die bereits erarbeiteten Erkenntnisse werden mittels der Methoden der Ideenkreation aufgegriffen und weiterverwendet.

6 Ideenkreation

Der Übergang von der Aufgabendefinition zur Ideenkreation ist fließend und es kann sicherlich keine scharfe Trennung vorgenommen werden, an welcher Stelle die Aufgabendefinition aufhört und die Ideenkreation anfängt. Bereits im Zuge der Aufgabendefinition kristallisieren sich Ansatzpunkte für Verbesserungen und Konzepte heraus, aus denen Ideen zur technischen Umsetzung entstehen, welche dann auch definitiv festgehalten werden sollten. Die Unterscheidung in methodische Werkzeuge, die eher einen beschreibenden Charakter der Aufgabenstellung sowie des Ist-Zustandes besitzen oder abstrakte Verbesserungen vorschlagen und Werkzeuge, die genau darauf abzielen, technisch umsetzbare Lösungen zu produzieren, kann dennoch getroffen werden. Letztendlich zählen jedoch die erarbeiteten Lösungen. Wann genau eine implementierbare Lösung mit welchem Werkzeug generiert wurde, ist für den weiteren Produktentstehungsprozess sekundär.

Charakteristisch für die Ideenkreation ist, dass eher Teilprobleme als systemweite Probleme herausgegriffen und behandelt werden. Konkret werden in diesem Kapitel mit der *Widerspruchsformulierung* und den zugehörigen *innovativen Prinzipien*, sowie der *Stoff-Feld-Analyse (SFA)* und den zugehörigen *Standardlösungen (SIS)* zwei Werkzeuge der klassischen TRIZ behandelt. Weiterhin werden der *Feature Transfer (FT)* und der *Function-Oriented-Search (FOS)* als Werkzeuge der modernen TRIZ vorgestellt, welche einen eher adaptiven Ansatz für die Lösung technischer Problemstellungen darstellen.

6.1 Widerspruchsanalyse

In der Widerspruchsformulierung liegt die klassische TRIZ begründet, auf dieser baut sie auf und in dieser hat sie ihre Wurzeln. ALTSCHULLER traf aus einer Untersuchung von 40.000 hochkarätigen Patenten Rückschlüsse über Regeln und Muster von Innovation, welche in der Literatur als die *40 innovativen Prinzipien* bezeichnet werden. Diese stellen abstrakte Lösungsvorschläge dar, die vom Anwender in konkrete Lösungen überführt werden müssen [7].

Nach ALTSCHULLERS Erkenntnissen liegt einer Innovation die Überwindung eines Widerspruches zugrunde, bei dem gleichzeitig gegenläufige Anforderungen erfüllt werden müssen. In vielen Fällen wird daraufhin ein Kompromiss eingegangen, der aus warm und kalt lauwarm macht [8].

Durchschlagende Erfindungen hingegen überwinden diesen Widerspruch mittels der Verwendung der *40 innovativen Prinzipien*. Es wird unterschieden in technische Widersprüche (Kapitel 6.1.1) und physikalische Widersprüche (Kapitel 6.1.2), wobei jeder technische Widerspruch auch einen physikalischen Widerspruch beinhaltet [3].

Um die Überwindung eines Widerspruches effizient zu gestalten, werden je nach Beschaffenheit der widersprüchlichen Anforderungen innovative Prinzipien zugeordnet, die bei der technischen Umsetzung Erfolg versprechen. In Kapitel 6.1.1 und Kapitel 6.1.2 wird hierauf detailliert eingegangen.

6.1.1 Technischer Widerspruch

Ein technischer Widerspruch liegt in einem technischen System vor, wenn eine Verbesserung eines technischen Parameters eine Verschlechterung eines anderen technischen Parameters bedingt und umgekehrt. Der technische Widerspruch wird in der allgemeinen Form WENN-DANN-ABER aufgestellt (vgl. Bild 6.1). Da die Beziehung der technischen Parameter bidirektionaler Natur ist, kann die Formulierung auf zwei verschiedene Weisen erfolgen, welche als TW 1 und TW 2 bezeichnet werden [3]. Am Beispiel der Verstellmechanismus der Fahrersitzarmlehne kann der *technische Widerspruch 1* lauten: Wenn der Hebelarm des Verstellmechanismus groß ist, dann wirkt weniger Kraft auf die Verstellspindel, aber die Geschwindigkeit der Verstellung sinkt (vgl. Bild 6.1).

TW 1	Was ist einzutragen?	Konkreter technischer Widerspruch des Verstellmechanismus
WENN	Parameter der verändert werden soll	der Hebelarm am Verstellmechanismus vergrößert wird
DANN	Ziel das dadurch erreicht wird	wirkt weniger Kraft auf die Verstellspindel
ABER	Ziel das sich verschlechtert	die Geschwindigkeit der Verstellung sinkt

Bild 6.1 Technischer Widerspruch 1 des Verstellmechanismus nach [3]

Umgekehrt kann der *technische Widerspruch 2* formuliert werden: Wenn der Hebelarm des Verstellmechanismus klein ist, dann steigt die Geschwindigkeit der Verstellung, aber es wirkt eine höhere Kraft auf die Verstellspindel (vgl. Bild 6.2).

TW 2	Was ist einzutragen?	Konkreter technischer Widerspruch des Verstellmechanismus
WENN	Parameter der verändert werden soll	der Hebelarm am Verstellmechanismus verkleinert wird
DANN	Ziel das dadurch erreicht wird	steigt die Geschwindigkeit der Verstellung
ABER	Ziel das sich verschlechtert	es wirkt eine höhere Kraft auf die Verstellspindel

Bild 6.2 Technischer Widerspruch 2 des Verstellmechanismus

Zum weiteren Vorgehen wird normalerweise gemäß des Ermessens des Anwenders einer der technischen Widersprüche ausgewählt und behandelt, es ist jedoch ebenfalls möglich beide Widerspruchsformulierungen zu betrachten. In dieser Arbeit wird aufgrund des begrenzten Rahmens nur auf den TW1 eingegangen.

Einen technischen Parameter stellt der Hebelarm des Verstellmechanismus dar, einen weiteren die wirkende Kraft auf die Verstellspindel und einen dritten die Geschwindigkeit der Verstellung. Dieses sind die konkreten, dem Widerspruch zugrunde liegenden, Parameter bzw. Systemcharakteristika.

Insgesamt formulierte ALTSCHULLER 39 abstrakte technische Parameter [3], denen jegliche konkreten Parameter zugeordnet werden können. So ist die Anzahl von Kombinationen begrenzt und es resultiert eine feste Anzahl möglicher technischer Widersprüche. Auf Bild 6.3 werden den oben genannten konkreten Parametern des, den Verstellmechanismus betreffenden, technischen Widerspruches abstrakte technische Parameter zugewiesen.

Konkreter Parameter	Abstrakter Parameter
Langer Hebelarm	Länge eines bewegten Objektes
	Länge eines stationären Objektes
Geschwindigkeit der Verstellung	Geschwindigkeit
	Zeitverlust
	Benutzungsfreundlichkeit
Kraft auf Verstellspindel	Kraft, Intensität
	Zug, Druck oder Spannung

Bild 6.3 Zuweisung der technischen Parameter

Die Verbindung zwischen den 39 *technischen Parametern* und den 40 *innovativen Prinzipien* wird durch die Widerspruchsmatrix hergestellt. Auf Bild 6.4 ist ein Ausschnitt dieser dargestellt.

<div>Sich verschlechternder Parameter</div> <div>Zu verbessernder Parameter</div>		Fläche eines bewegten Objekts	Fläche eines stationären Objekts	Volumen eines bewegten Objekts	Volumen eines stationären Objekts	Geschwindigkeit
		5	6	7	8	9
3	Länge eines bewegten Objektes	5, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8
4	Volumen eines bewegten Objekts	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2 14	-
5	Volumen eines stationären Objektes		-	7, 14, 17, 4	-	29, 30, 4, 34
6	Fläche eines stationären Objektes	-		-	-	-
7	Volumen eines bewegten Objekts	1, 7, 4, 17	-		-	29, 4, 38, 34

Bild 6.4 Ausschnitt Widerspruchsmatrix nach [3]

Auf der vertikalen Achse wird der zu verbessernde Parameter aufgetragen, auf der horizontalen der sich verschlechternde Parameter. Dies entspricht den Zeilen WENN und ABER aus Bild 6.1. Nun können zu der jeweiligen Kombination eines sich verbessernden und eines sich verschlechternden Parameters ein bis vier häufig zugeordnete *innovative Prinzipien* abgelesen werden. Auf Bild 6.4 ist dies für den *technischen Widerspruch 1* des Verstellmechanismus dargestellt. Dabei sind die Prinzi-

prien der Wahrscheinlichkeit der Anwendbarkeit nach aufgelistet. Weder ist gesagt, dass eines der aufgelisteten Prinzipien sicher zum Erfolg führt, noch dass nicht ein anderes Prinzip die beste Lösung hervorbringt.

Für den sich verbessernden Parameter *Länge eines bewegten Objektes* und den sich dadurch verschlechternden Parameter *Geschwindigkeit* (Bild 6.3) finden sich auf dem Schnittfeld folgende innovative Prinzipien:

Nummer	Bezeichnung	Beschreibung des innovativen Prinzips
13	Funktionsumkehr	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Umgekehrte Wirkung erzeugen ▪ Bewegliches Unbeweglich machen und umgekehrt ▪ Objekt umkehren
4	Asymmetrie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Übergang von symmetrischen zu asymmetrischen Form ▪ Erhöhung des Asymmetriegrades
8	Gegenmasse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kompensation zweier Massen ▪ Kompensation des Gewichts durch aerodynamische und hydraulische Kräfte

Bild 6.5 Innovative Prinzipien zum TW1 der Verstellung

Der Ist-Zustand des Verstellmechanismus ist auf Bild 6.6 nochmals dargestellt.

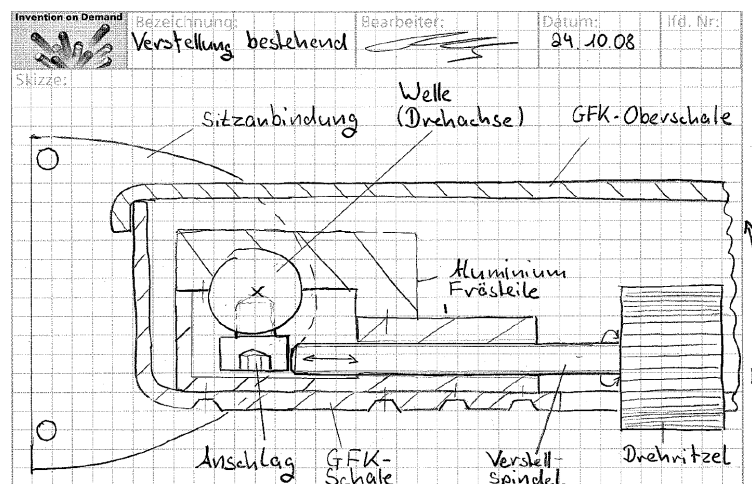


Bild 6.6 bestehender Verstellmechanismus

Die zugeordneten innovativen Prinzipien dienen als abstrakter Lösungsvorschlag. Sie müssen vom Anwender aus eigener Leistung und Erfahrung in konkrete Lösungen überführt werden. Die TRIZ-Methodik hat nicht den Anspruch, die Kreativität des Anwenders überflüssig zu machen, sondern diese explizit zu fördern und in zielführender Weise zu lenken.

Die auf Bild 6.7 bis Bild 6.10 dargestellten Lösungsvorschläge betreffen die innovativen Prinzipien 13 und 4 dienen als Beispiele zur Umsetzung der abstrakten Lösungen in konkrete Anwendungen.

Prinzip 13: Funktionsumkehr

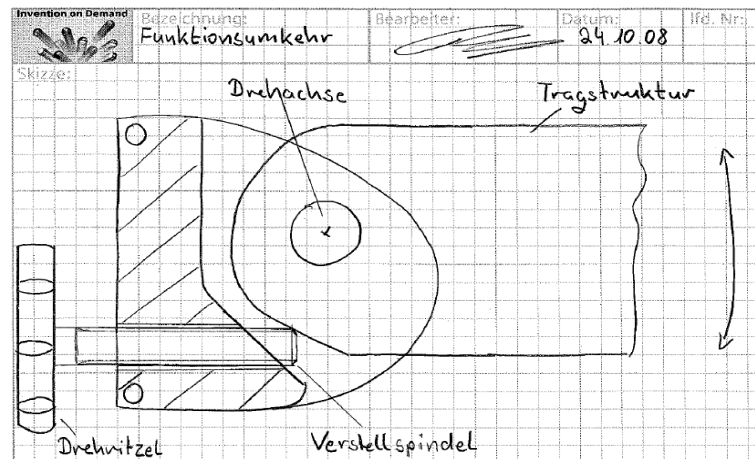


Bild 6.7 Funktionsumkehr: Verstellung in Sitzanbindung

Bild 6.7 zeigt eine Funktionsumkehr, indem die Verstellspindel in der Sitzanbindung angeordnet ist. Der Kraftfluss erfolgt direkter und das System besitzt insgesamt eine höhere Stabilität. So kann der Hebelarm klein sein, ohne dass eine Beschädigung des Systems bei Belastung erfolgt.

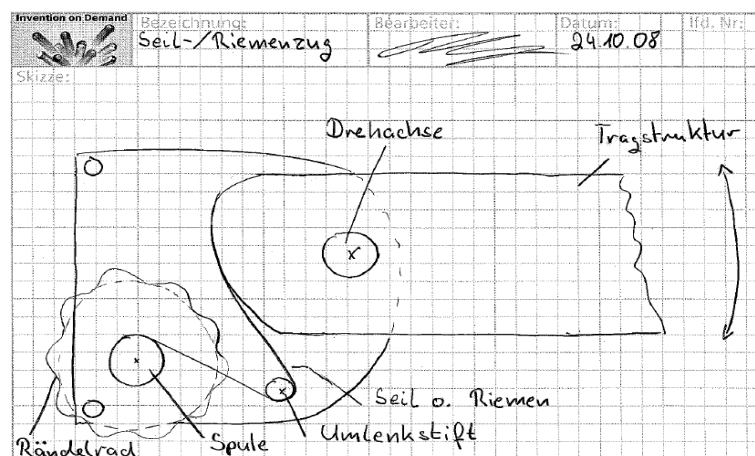


Bild 6.8 Funktionsumkehr: Seil-/Riemenzug

Bild 6.8 stellte eine weitere Möglichkeit der Funktionsumkehr dar. Anstatt eine Spindel auf Druck zu belasten, wird ein Seil- bzw. Riemenzug hinter dem Drehpunkt angeordnet, der auf Zug belastet wird.

Prinzip 4: Asymmetrie

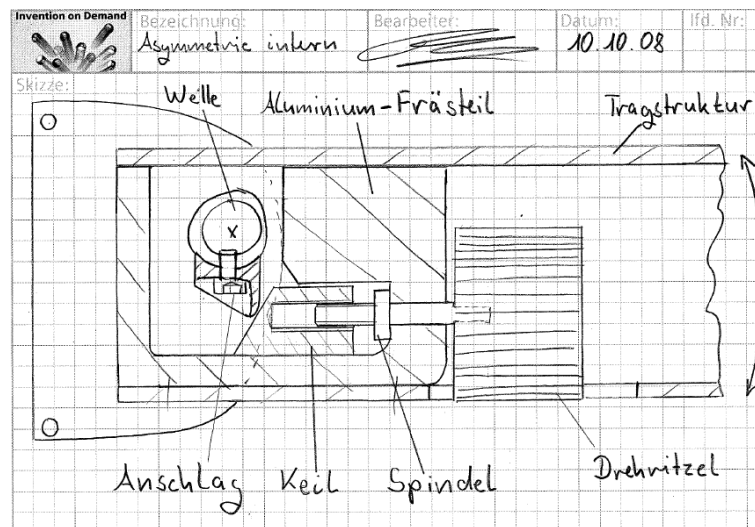


Bild 6.9 Asymmetrie: Verstellspindel und Keil

Auf Bild 6.9 ist eine asymmetrische Keilform aufgegriffen. Die Lösung stellt nur eine geringe Modifikation der bestehenden Verstellung dar. Anstelle der Verstellspindel erfolgt der Kontakt zum an der Drehachse befindlichen Anschlag über ein keilförmiges Element. Durch die Keilfläche treten nur Kräfte in Verstellrichtung oder orthogonal dazu auf. Die Verstellung des Keils erfolgt wiederum über eine Verstellspindel.

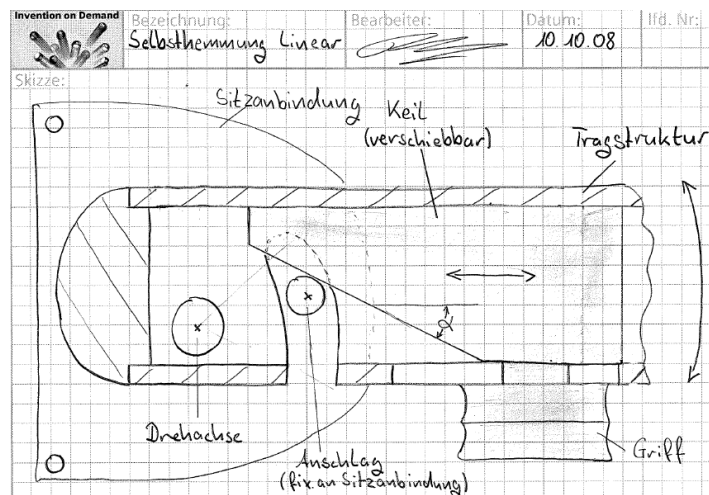


Bild 6.10 Asymmetrie: selbstgehemmter Keil

Die Verstellung über die Verschiebung eines Keils innerhalb der Tragstruktur ist auf Bild 6.10 dargestellt. Der Keil steht in Kontakt zu einem, an der Sitzanbindung fixierten, Anschlag und bestimmt je nach Position die Neigung der Armlehne. Der Keilwinkel α ist so zu wählen, dass Selbsthemmung eintritt. Der Keil wird über einen Griff verschoben und behält seine Position auch bei Belastung bei.

6.1.2 Physikalischer Widerspruch

Ein physikalischer Widerspruch liegt vor, wenn zwei gegenläufige Anforderungen an einen einzigen physikalischen Parameter eines Objektes gestellt werden. Der physikalische Widerspruch resultiert aus den widersprüchlichen Anforderungen des technischen Widerspruchs [1].

Die Ausprägung eines Parameters soll demnach gleichzeitig groß und klein sein. In dem Beispiel des Verstellmechanismus (Kapitel 6.1.1) soll der Hebelarm gleichzeitig groß sein, um die auf die Verstellung wirkende Kraft zu verringern, und klein sein, um eine schnelle Verstellung zu gewährleisten.

Der physikalische Widerspruch kann auf drei Arten aufgelöst werden, Separation, Befriedigung und Umgehung der widersprüchlichen Anforderungen [3]:

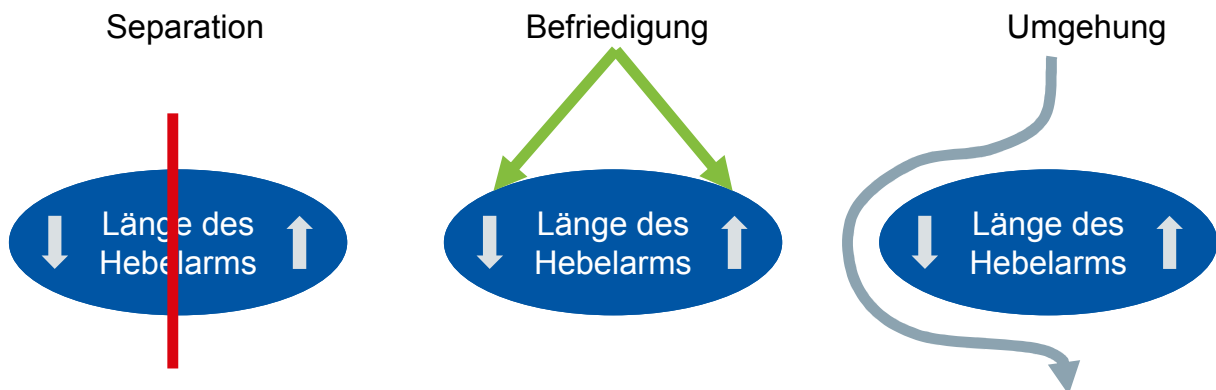


Bild 6.11 Auflösung physikalischer Widersprüche [3]

Je nachdem, nach welcher Vorgehensweise der physikalische Widerspruch aufgelöst werden soll, schlägt die TRIZ-Methodik auch hier, der Wahrscheinlichkeit nach geordnet, vielversprechende *innovative Prinzipien* vor. Auch an dieser Stelle muss nicht notwendigerweise eines der vorgeschlagenen Prinzipien gewählt werden, die beste Lösung kann ebenfalls unter den anderen innovativen Prinzipien zu finden sein [3].

Die Separation der widersprüchlichen Anforderungen kann erfolgen im Raum, in der Zeit, in der Beziehung und im Systemübergang (vgl. Bild 6.12) [3].

Separation im Raum bedeutet, dass an einer Stelle ein Parameter groß, an einer anderen Stelle derselbe Parameter klein ist. Ein Zahnrad ist an den Flanken gehärtet, um Abrieb zu minimieren, im Inneren jedoch zäh, um belastbar gegen schwellende Beanspruchung zu sein.

Unter Separation in der Zeit ist zu verstehen, dass zu einem Zeitpunkt ein Parameter groß, zu einem anderen Zeitpunkt derselbe Parameter klein ist. Beim Anfahren muss die Übersetzung zwischen Motor und Radreifen groß sein, bei der Überlandfahrt klein. Ein Getriebe erfüllt zeitlich separiert beide Anforderungen.

Ein Gelenk ist ein Beispiel für eine Separation in der Beziehung. Erfolgt die Belastung gerade, ist dieses steif, erfolgt die Belastung seitlich, ist dieses flexibel.

Eine Separation durch Systemübergang kann erfolgen, wenn bestimmte Eigenschaften nur im Sub- bzw. Supersystem notwendig sind. Das einzelne Glied einer Kette ist steif, die Kette als ganzes ist jedoch beweglich.

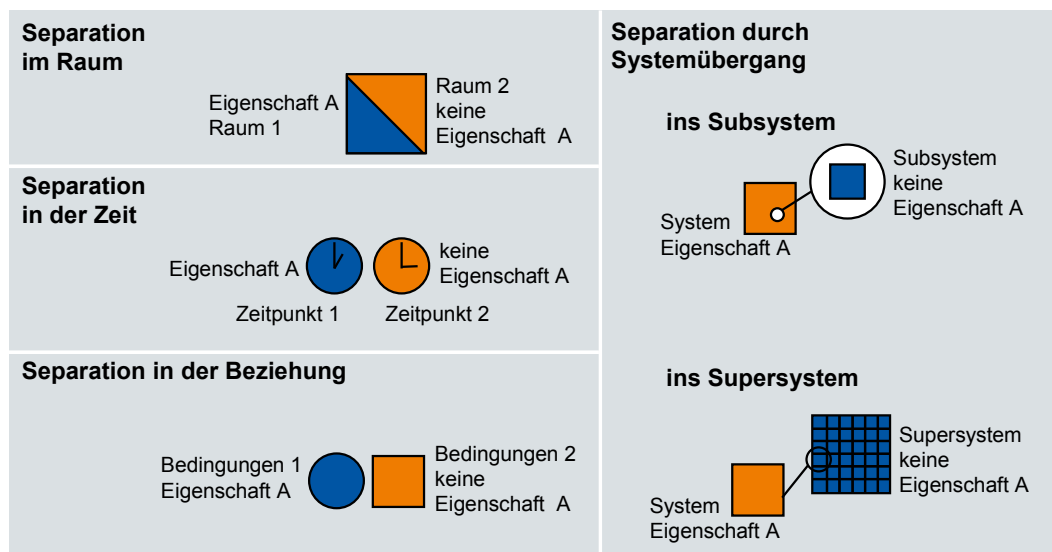


Bild 6.12 Separationsprinzipien für physikalischer Widersprüche [3]

Ist eine Separation nach keiner der angegebenen Bedingungen möglich, so bleiben noch *Befriedigung* und *Umgehung* der gegensätzlichen Anforderungen (vgl. Bild 6.11). Um wenig Energie zu verbrauchen, muss das Gewicht einer Straßenbahn gering sein, um beim Bremsen gute Traktion zu erreichen, muss das Gewicht derselben hoch sein. Die Verwendung von Elektromagneten, welche die Straßenbahn an die Schienen ziehen und zusätzliche Traktionskraft erzeugen, befriedigt beide Anforderungen.

Probleme zu umgehen setzt normalerweise eine große Änderung des technischen Systems voraus. Deswegen wird die Umgehung erst nach Durchlaufen der anderen Lösungsmöglichkeiten empfohlen. Um schnell zu reisen muss die Geschwindigkeit eines Zuges hoch sein. Um geringen Verschleiß und Belastung der Radreifen zu er-

reichen, muss die Geschwindigkeit klein sein. Magnetschwebbahnen umgehen dieses Problem, stellen jedoch ein sehr stark verändertes System dar.

Auf Bild 6.13 sind zu den beschriebenen Möglichkeiten zur Auflösung physikalischer Widersprüche die empfohlenen innovativen Prinzipien dargestellt.


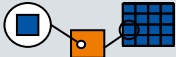




Separationsprinzip	Zugehörige Innovative Prinzipien	Auflösungsprinzip	Zugehörige Innovative Prinzipien
Separation im Raum 	Prinzip 1 – Zerlegung, Segmentation Prinzip 2 – Abtrennung Prinzip 3 – Örtliche Qualität Prinzip 7 – Verschachtelung Prinzip 4 – Asymmetrie Prinzip 17 – Übergang zur höheren Dimension	Separation durch System-übergang 	Prinzip 1 – Zerlegung, Segmentation Prinzip 5 – Kopplung Prinzip 33 – Homogenität Prinzip 12 – Äquipotential
Separation in der Zeit 	Prinzip 15 – Dynamisierung Prinzip 34 – Beseitigung und Regenerierung Prinzip 10 – Vorherige Aktion Prinzip 9 – Vorherige Gegenwirkung Prinzip 11 – Vorbeugemaßnahmen	Befriedigung 	Prinzip 36 – Phasenübergänge Prinzip 37 – Wärmedehnung Prinzip 28 – Mechanik ersetzen Prinzip 35 – Änderung Aggregatzustand Prinzip 38 – Starke Oxidationsmittel Prinzip 39 – Träges Medium
Separation in der Beziehung 	Prinzip 40 – Zusammengesetzte Stoffe Prinzip 31 – Poröse Werkstoffe Prinzip 32 – Farbänderung Prinzip 3 – Örtliche Qualität Prinzip 19 – Periodische Wirkung Prinzip 17 – Übergang zur höheren Dimension	Umgehung 	Prinzip 25 – Selbstbedienung/-versorgung Prinzip 6 – Universalität Prinzip 13 – Funktionsumkehr

Bild 6.13 Auflösung von physikalischen Widersprüchen nach [3]

Der physikalische Widerspruch des Verstellmechanismus soll durch Separation gelöst werden. Während der Verstellung soll der Hebelarm klein sein, um eine schnelle Verstellung zu ermöglichen, und während der Belastung soll der Hebelarm groß sein, um nicht zu hohe Kräfte aufkommen zu lassen. Es bietet sich die Separation in der Zeit an, da Verstellung und Belastung nicht gleichzeitig auftreten.

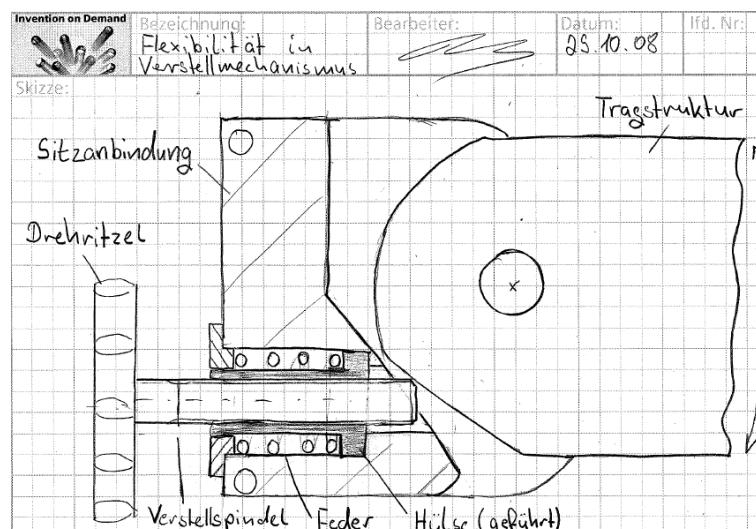


Bild 6.14 Technische Umsetzung „Separation in der Zeit“

Die Separation ist technisch realisiert nach dem innovativen *Prinzip 15: Dynamisierung*. Die schon bekannte Verstellspindel in der Sitzanbindung (Bild 6.7), ist nun federnd gelagert in einer axial verschiebbaren Hülse (Bild 6.14). Die Feder ist so dimensioniert, dass die während Verstellung und Betrieb auftretenden Kräfte quasi keine Verformung der Feder verursachen. Die Spindel greift mit kleinem Hebelarm an und die Verstellung kann rasch erfolgen. Wird die Armlehne hoch belastet, z.B. durch übermäßiges Aufstützen des Fahrers, so gibt die Feder nach und die gefederte Hülse wird in ihre Aufnahme gedrückt, bis die Armlehne direkt auf der Sitzanbindung zum Anschlag kommt. Die dann flächige Auflage mit großem Hebelarm belastet das System nicht außerhalb seiner Grenzen, selbst bei starker Überbelastung. Als weiterer Vorteil kann gelten, dass die Dynamisierung des Systems wahrscheinlich den psychologischen Nebeneffekt beim Fahrer verursacht, bei Nachgeben der Armlehne die Belastung zurück zu nehmen.

6.2 Stoff-Feld-Analyse

Der Stoff-Feld-Analyse liegt eine Betrachtung von technischen Systemen, zusammengesetzt aus Stoffen und Feldern, zugrunde. Es dient jedoch nicht der Beschreibung technischer Systeme als Ganzes, sondern bestimmter Problemstellen, welche behoben werden sollen [5].

Das Stoff-Feld-Modell stellt die höchstmögliche Abstraktionsstufe eines Systems dar. Die Elemente Stoffe und Felder sind dabei klar abgegrenzt und definiert. Der Begriff Stoff ist annähernd selbsterklärend, es handelt sich um massebehaftete Elemente aller Art. Der Begriff Feld jedoch wird sehr großzügig ausgelegt. Zu den Feldern zählen natürlich elektrische, magnetische und Gravitationsfelder, aber es gehören auch die Einwirkungen von Wärme (Temperaturfeld), von chemischen Substanzen (chemische Felder) oder von Drücken (mechanische Felder) dazu. Das Feld erzeugt bzw. überträgt die Energie, bzw. die Kraft bei der Interaktion zweier Stoffe. [5]

Das Minimalmodell, also das kleinst denkbare Stoff-Feld-Modell, besteht hierbei aus mindestens zwei Stoffen und einem Feld, welches deren Interaktion beschreibt [3].

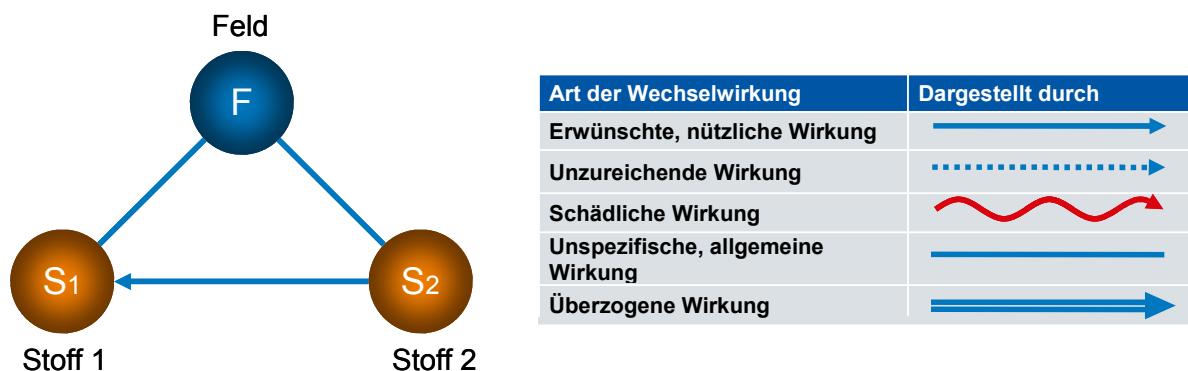


Bild 6.15 Minimalmodell der Stoff-Feld-Analyse [3]

Das Minimalmodell beinhaltet definitionsgemäß den Stoff S1, den Stoff S2 und das verbindende Feld F. S1 ist dabei der Stoff, der verändert, bearbeitet, umgewandelt, festgestellt, kontrolliert usw. werden muss. S2 der Stoff, der als „Werkzeug“ („Instrument“ oder „Medium“) eine notwendige Wirkung ausübt. Die Wechselwirkungen werden ähnlich wie in der Funktionsanalyse unterteilt und dargestellt [3].

Die Stoff-Feld-Betrachtungsweise erlaubt, die maximal mögliche Abstraktion der ein System bestimmenden physikalischen Beziehungen darzustellen. Zur Aufhebung schädlicher oder nicht adäquater Wirkung wird, je nach Art des Problems, auf die 76

Standardlösungen verwiesen. Im abstrakten Zustand werden zu einem Stoff-Feld-Modell eine oder mehrere allgemeine Lösungen vorgeschlagen. Aus diesen Vorschlägen muss im nächsten Schritt eine Standardlösung ausgewählt und auf die jeweilige Problemstellung angewandt und an deren speziellen Anforderungen adaptiert werden. Ist eine erfolgreiche Adaption nicht möglich, ist das Vorgehen mit einem der anderen Vorschläge zu wiederholen [3].

Die Standardlösungen sind in fünf Gruppen unterteilt, welche je nach Beschaffenheit des Stoff-Feld-Modells angewendet werden [3].

Gruppe	Beschreibung
Gruppe 1	Aufbau und Zerlegung vollständiger Stoff-Feld-Modelle
Gruppe 2	Verbesserung von Stoff-Feld-Modellen
Gruppe 3	Übergang ins Super- und Subsystem (Makro- und Mikro-Level)
Gruppe 4	Erkennen und Messen
Gruppe 5	Hilfen

Wie in schon in Kapitel 5.4 Cause-Effect-Chain Analyse untersucht, treten im Bereich der Verschraubung des Verstellmechanismus mit der GFK-Schale bei der bestehenden Fahrersitzarmlehne Risse auf. Die zwei beteiligten Stoffe sind einerseits der GFK und andererseits die Senkschraube, wobei zwischen diesen ein mechanisches Feld besteht, welches aufgrund der auftretenden Risse als schädlich eingestuft werden kann. Das zugehörige Stoff-Feld-Modell wird folgendermaßen aufgestellt:

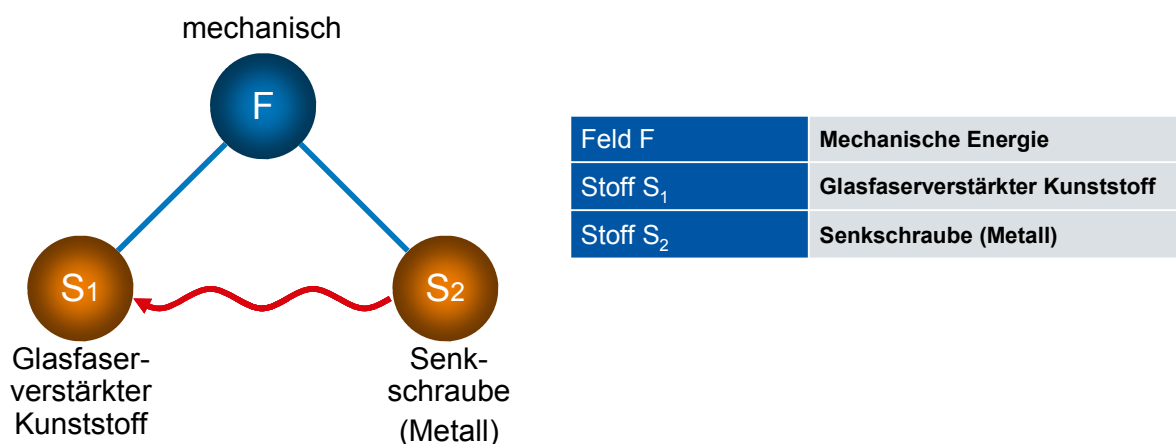


Bild 6.16 Beispiel zum Stoff-Feld-Modell

Die *Gruppe 1* der 76 Standardlösungen enthält die Untergruppe: *Erzeugen oder Zerstören des Stoff-Feld-Modells, wenn es unvollständig ist oder schädliche Funktionen aufweist* [3].

Aus dieser Untergruppe können abstrakte Lösungsvorschläge zur Vermeidung der schädlichen Wirkung entnommen werden. Ein abstrakter Lösungsvorschlag lautet [9]:

Abstrakter Lösungsvorschlag

Standardlösung 1.2.2 – Einführung eines modifizierten Stoffes

Zwischen GFK und Senkschraube soll ein weiterer Stoff eingebracht werden, welcher eine Modifikation eines dieser Materialien, vorzugsweise des Stoffes S_2 darstellt (Bild 6.17).

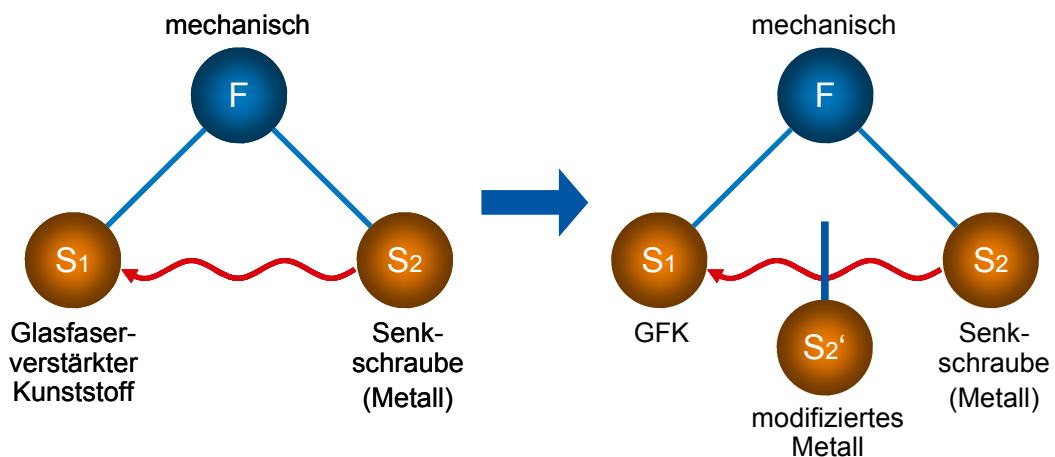


Bild 6.17 Beispiel zur Auflösung eines Stoff-Feld-Modells nach [3]

Demnach soll modifiziertes Metall eingesetzt werden, um die schädliche Wirkung der Senkschraube auf den GFK zu vermeiden. Denkbar ist der Einsatz von Metall-Inserts, welche in den glasfaserverstärkten Kunststoff einlaminiert werden und die aus der Verschraubung resultierenden Kräfte aufnehmen. Weiterhin würde der Einsatz einer Unterlegscheibe eine Verbesserung der Situation hervorrufen.

Da die Methode der Stoff-Feld-Analyse sehr umfangreichen, abstrakten Charakters ist, kann an dieser Stelle nur ein Einblick in die Methodik erfolgen. Detailliert gehen die Autoren PAVEL LIVOTOV und VLADIMIR PETROV in ihrem Buch *Innovationstechnologie TRIZ. Produktentwicklung und Problemlösung* (siehe Literaturverzeichnis) auf die Stoff-Feld-Analyse ein [9].

6.3 Function-Oriented-Search

Der funktionsorientierten Suche, englisch *Function-Oriented-Search* (FOS), liegt die Annahme zugrunde, dass ein Großteil der konstruktiven Aufgaben bereits in anderen Bereichen mit ähnlichen Anforderungen gelöst ist [10].

Die funktionsorientierte Suche ist also weniger ein innovativer als ein adaptiver Ansatz. Sie stellt ein Instrument dar, welches bereits geleistete innovative Arbeit in anderen Bereichen ausnutzt. Nichtsdestotrotz kann eine aus erfolgreicher Adaption entstandene Lösung patentfähig sein, da bei der Erteilung der Anwendungsfall berücksichtigt wird [10].

Ein Beispiel stellt die Adaption der Funktionalität von industriellen Staubabscheideanlagen auf Luftfilter von Motoren dar. Staubabscheideanlagen erfüllen die abstrakte Funktionalität „*Trennung von Luft und kleinen Partikeln*“, welche ebenfalls von Luftfiltern erfüllt werden muss. Die Möglichkeit, dies durch Einsatz des Zyklonprinzips zu realisieren, bei dem ein Luftstrom in Zirkulation versetzt wird und sich die Partikel aufgrund der Fliehkraft an der Außenwand der Anlage abscheiden, ist bei Staubabscheideanlagen in der Praxis eingeführt. Das gleiche Prinzip ist auf Luftfilter für Motoren anwendbar [8].

Bei der funktionsorientierten Suche handelt es sich, wie bei den weiteren vorgestellten Methoden, um eine funktions- und nicht um eine technologieorientierte Methodik. Die gesuchte spezielle Funktionalität wird in eine abstrakte Funktionalität überführt, zu welcher Technologien gesucht werden, welche dieser Funktionalität gerecht werden. Anschließend wird die Adaption der Technologien auf den konkreten Anwendungsfall geprüft.

Branchen und Bereiche, die sich besonders für die Suche nach einer Lösung eignen, werden als sogenannte *Leading Areas* bezeichnet. Für diese gilt, dass die zu erfüllende Funktionalität für diese Branche überlebenswichtig ist oder zumindest von übergeordneter Bedeutung sein sollte. Es ist davon auszugehen, dass in diesem Fall Lösungen bestehen, die zuverlässig und in hohem Grade optimiert sind, da aufgrund ihrer Wichtigkeit viele Ressourcen (Personal, Zeit, Geld) auf deren Entwicklung verwendet wurden. Ist ein bestehendes und erprobtes Prinzip gefunden, welches die gesuchte Funktion erfüllt, ist es durch Adaption an die speziellen persönlichen Rah-

menbedingungen anzupassen. Alternativ kann die Eignung als Zukaufkomponente geprüft werden [10].

Dies erspart Konstruktionsaufwand und darüber hinaus wird beim Einsatz von bewährten Lösungen das Risiko bei der Implementierung reduziert. Die Gefahr, in konstruktive Sackgassen zu gelangen, wird wesentlich verringert bis ausgeschlossen. Weiterhin erhöht sich signifikant die Akzeptanz der Einführung einer neuen Technologie, wenn sich diese schon an anderer Stelle im Einsatz befindet und die Funktionserfüllung somit nachgewiesen ist [10].

Der Verstellmechanismus stellt eine Welle-Nabe-Verbindung dar, bei welcher möglichst stufenlos eine Winkelverstellung um die Drehachse erfolgen können sollte.

Eine Fahrrad-Hinterradnabe kann in diese Suchkriterien eingestuft werden, ebenso eine Überholkupplung. Das zugrunde liegende Maschinenelement ist der *Freilauf*.

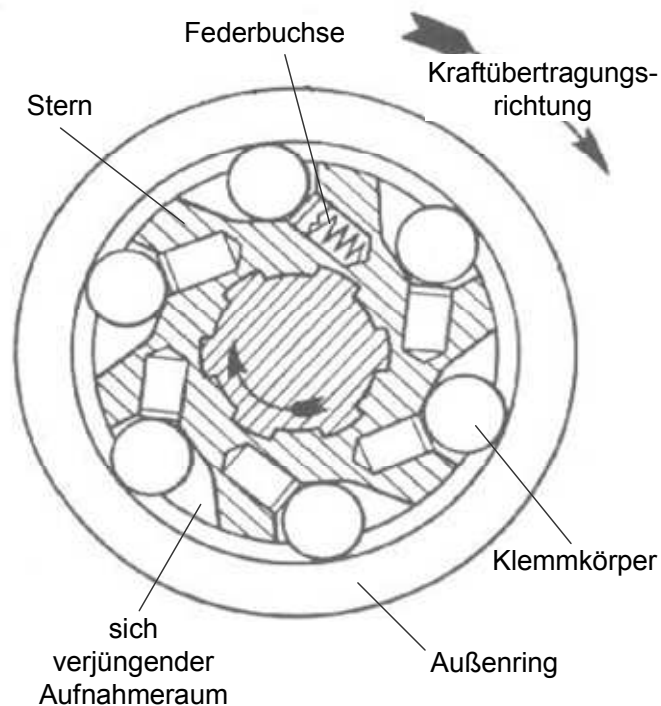


Bild 6.18 Darstellung Freilauf nach [11]

Ein Freilauf hat die Eigenschaft, nur in eine Drehrichtung ein Drehmoment zu übertragen, und kann somit in entgegen gesetzter Drehrichtung bewegt werden. Auf Bild 6.18 ist ein Klemmrollenfreilauf dargestellt. Der innere Pfeil zeigt die Drehrichtung des Antriebs an. Die Federn drücken die Klemmrollen leicht zwischen den mit den Klemmrollen zusammen rotierenden Innenring (auch "Stern") und dem Außenring.

Abhängig von der Drehrichtung verkeilen sich die Klemmrollen in ihren Aufnahme-räumen. Durch passende Auswahl des Anstell- oder Klemmwinkels herrscht der Zustand der Selbsthemmung [11].

Die Funktionsweise des Freilaufs auf die Verstellung zu übertragen stellt ein Adaptionsproblem dar, welches durch Literaturrecherche und systematisches Vorgehen gelöst werden kann. Alternativ besteht die Möglichkeit, den Freilauf mit der Funktionsanalyse zu betrachten und das Funktionsmodell zu modifizieren.

Bedingung zum Eintreten des Selbsthemmungseffekts ist der Kontakt von Klemmrolle zu Welle und Nabe. Dieser wird im Normalfall durch eine Feder gewährleistet (vgl. Bild 6.18). Ist es nun möglich die Feder zu entlasten und den Reibkontakt zu unterbinden, so ist eine Relativbewegung von Nabe zu Welle auch in normalerweise gehemmte Drehrichtung möglich. Eine Prinzipskizze mit der Anwendung des Freilaufprinzips als Verstellmechanismus für die Armlehne zeigt Bild 6.19.

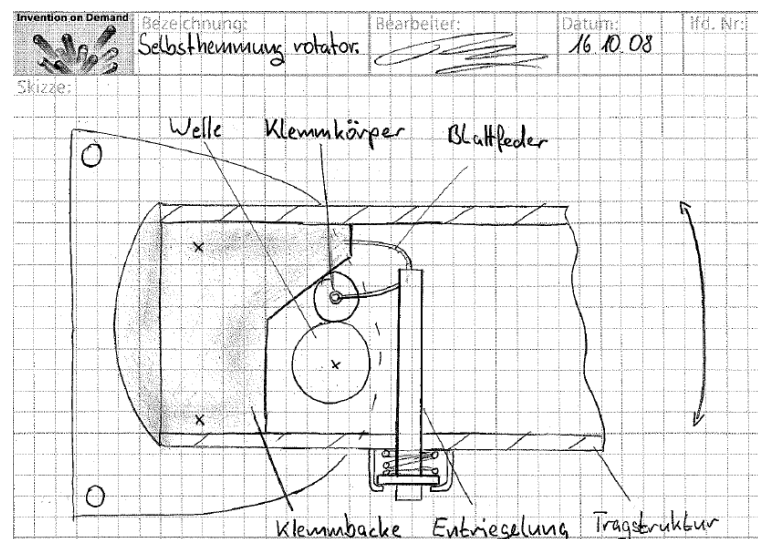


Bild 6.19 Adaption der Freilauf-Funktionsweise

Es ist ein Anordnungswechsel ausgehend von Bild 6.18 vollzogen worden. Die zylindrische Form des Außenringes wird nun von der Welle dargestellt. Zwischen Welle und Klemmbacke ist ein sich verjüngender Aufnahme-raum für die Klemmrolle realisiert, in welchem die oben beschriebene Verkeilung stattfindet, in dem Fall, dass die Armlehne von oben belastet wird. In diesen Aufnahme-raum wird die Klemmrolle mittels einer Blattfeder leicht eingepresst. Soll die Armlehne nach unten bewegt werden und der Selbsthemmungseffekt nicht eintreten, muss der Reibkontakt von Klemmrolle

le und Aufnahmeraum unterbrochen werden, beispielsweise durch das Drücken einer Entriegelung nach Bild 6.19. Die Bewegung der Armlehne nach oben ist ungehemmt.

Neben der Suche nach konkreten Technologien, welche eine Antwort auf eine konstruktive Problemstellung liefern, kann die funktionsorientierte Suche im Bereich der Arbeit im Tagesgeschäft zu weiteren Tätigkeiten genutzt werden. Einerseits kann die eigene Konstruktion mit alternativen Lösungsmöglichkeiten verglichen werden. Auch wenn diese in einer anderen Branche implementiert sind, ist ein technisches *Benchmarking* möglich. Weiterhin kann zur zeitlichen und personellen Entlastung eine Suche nach Zukaufkomponenten erfolgen, die evtl. noch nicht in der eigenen Branche verwendet werden.



Bild 6.20 Lokomotiv-/Baumaschinensitz der Fa. Grammer AG [12]

Bild 6.20 zeigt Fahrersitzarmlehnen an dem Sitz einer Lokomotive (links) und an dem Sitz von Baumaschinen (rechts). Die Produkte können nicht direkt übernommen werden, da die Integration von Bedienelementen nicht realisiert ist, jedoch besteht die Möglichkeit nötige Änderungen mit dem Hersteller zu diskutieren. Kommt es zu einer Kooperation, können die Vorteile, die sich der Hersteller durch seine Spezialisierung erworben hat, genutzt und das Risiko, welches jeder neuen Konstruktion anhaftet, vermieden werden.

6.4 Feature-Transfer

Technische Systeme besitzen Vor- und Nachteile. Ist eine Lösung einer Alternative in einem Bereich unterlegen, in einem anderen aber überlegen (vgl. Bild 6.21), so ist anzustreben die positiven Eigenschaften in einem System zusammenzuführen, um eine optimale Lösung zu erzielen.

Ziel des *Feature-Transfer* ist es, positive Systemeigenschaften oder Merkmale, sogenannte *Features*, in alternativen Systemen zu identifizieren und auf das untersuchte technische System zu übertragen. Dabei liegt der Fokus darauf, ein erwünschtes *Feature* an sich zu übertragen, nicht zwingenderweise die tatsächliche technische Umsetzung zu übernehmen [10].

	Basis-system	Alternativ-system
Feature A	+	-
Feature B	-	+

Bild 6.21 Gegenläufige Features zweier alternativer Systeme

Durch den Feature-Transfer schärft sich der Blick des Anwenders für relevante Systemeigenschaften und -merkmale. Systeme und Konstruktionen werden auf abstrakter Ebene nach einzelnen systemeigenen *Features* beurteilt, welche dabei nicht mit dem technischen System gleichgesetzt und als feste Eigenschaften betrachtet, sondern als veränderlich und übertragbar angesehen werden.

Schlüsselfragen sollen dabei helfen, den kreativen Denkprozess des Anwenders anzuregen und gezielt in erfolgversprechende Bahnen zu lenken. Mit Schlüsselfragen soll einerseits hinterfragt werden, welche *Features* für ein technisches System als wünschenswert anzusehen sind, andererseits sollen sie dabei helfen zu untersuchen, wie diese *Features* bei alternativen Systemen erreicht werden und begründet sind [10].

Im Rahmen der *Cause-Effect-Chain Analysis* (Kapitel 5.4) konnte beispielsweise die starre Kraftübertragung innerhalb der Fahrersitzarmlehne als ein Faktor der Überbelastung des Systems identifiziert werden. Die hohe Steifigkeit des Systems ist demnach im Fall einer hohen Belastung nachteilig.

Abgeleitete Fragen

Wie kann die an sich starre Konstruktion der Armlehne weniger steif ausgeführt werden?

Eine vorstellbare Antwort ist ein höherer Grad von *Flexibilität*. Eine Möglichkeit, Flexibilität im System zu integrieren, illustriert Bild 6.22.

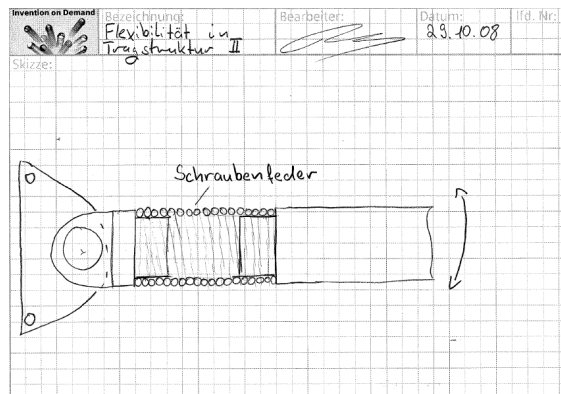


Bild 6.22 Flexibilität durch Schraubenfeder in der Tragstruktur

Die Tragstruktur der Fahrersitzarmlehne könnte zu einem Teil von einer Schraubenfeder dargestellt werden. Durch diese Maßnahme gibt das System dem Fahrer bei Überbelastung „*Feedback*“ indem es auslenkt, was durch die elastische Verformung einer Feder erreicht wird. Dieses Feature ist als durchaus positiv einzuordnen, jedoch verliert das System an *Robustheit*.

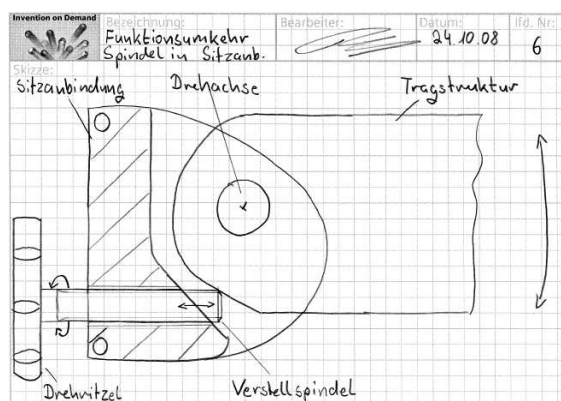


Bild 6.23 Verstellspindel in Sitzanbindung

Ein System mit gegenläufiger Ausprägung der Features „*gibt Feedback*“ und „*Robustheit*“ ist auf Bild 6.23 dargestellt. Das Konzept der Verstellung ist sehr *robust*, begegnet übermäßiger Belastung jedoch mit Bauteilversagen ohne dem Fahrer „*Feedback*“ zu diesem zu geben.

	Verstell- spindel in Sitzanbindung	Schrauben- feder in Tragstruktur
gibt Feedback	-	+
Robustheit	+	-

Bild 6.24 Gegenläufige Ausprägung der *Features*

Obwohl beide Systeme verschiedene Funktionen erfüllen, kann ein Feature-Transfer durchgeführt werden, da die Übertragung einer positiven Systemeigenschaft von der technischen Umsetzung losgelöst betrachtet wird.

Einen möglichen Ansatz zur Übertragung des Features „gibt Feedback“ der gefeder-ten Tragstruktur auf den Verstellmechanismus zeigt Bild 6.25. Durch den Übergang von einer starren Verstellspindel (links) zu einer federnd gelagerten Verstellspindel (rechts), lenkt das System bei übermäßiger Belastung aus. Jedoch ist die Auslenkung auf ein bestimmtes Winkelmaß begrenzt und die Robustheit des Systems wird nicht beeinträchtigt.

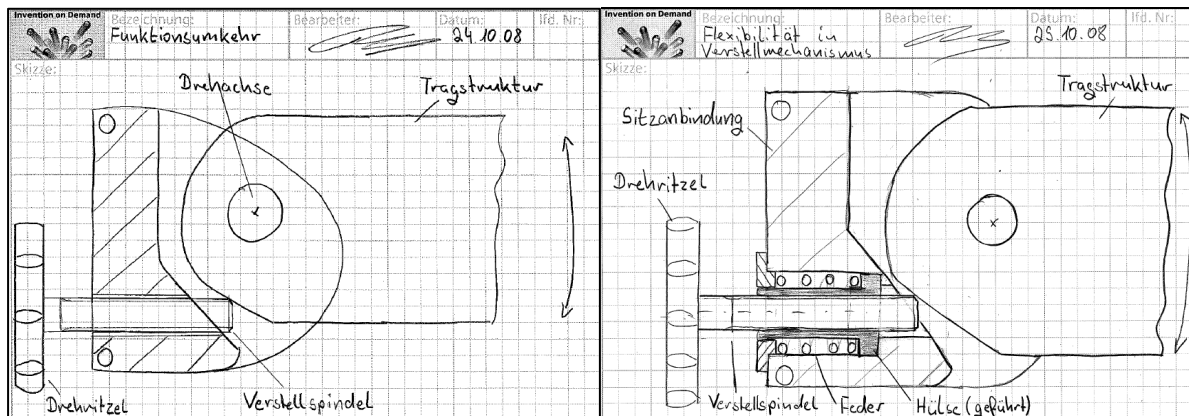


Bild 6.25 Flexibilität durch federnd gelagerte Hülse

Ein weiteres Beispiel für den Feature-Transfer illustriert Bild 6.26, wobei die generierte Lösung einen noch umfassenderen Ansatz darstellt. Das Feature „gibt Feedback“ wird durch Ersetzen der Verstellspindel (links) mit einer Schraubenfeder (rechts) realisiert, welche bei einer übermäßig hohen Belastung zusammenfährt. Somit ist das Systemmerkmal *Flexibilität* auf die Verstellspindel selbst transferiert worden.

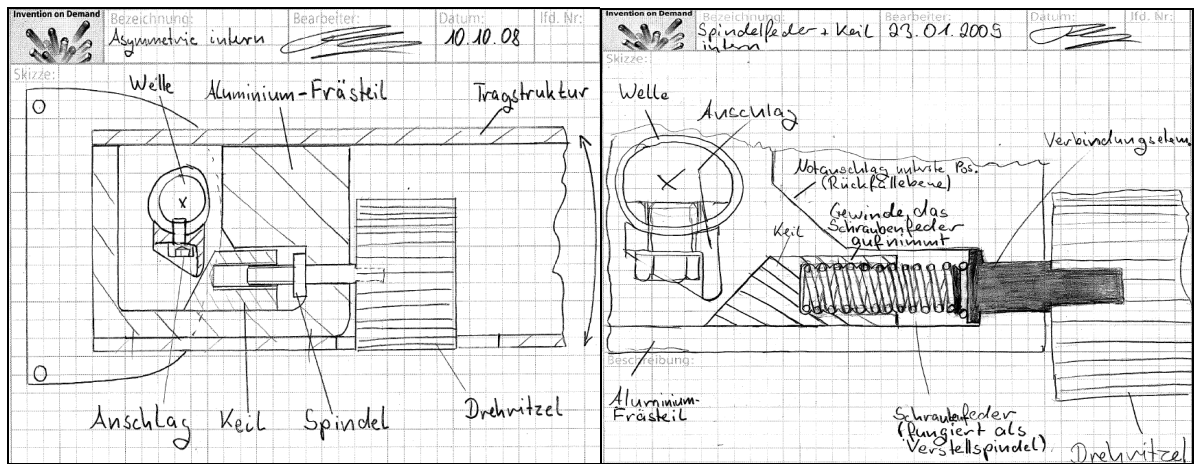


Bild 6.26 Flexibilität durch Einsatz von Schraubenfeder als Verstellspindel

6.5 Morphologischer Kasten

Im morphologischen Kasten sind verschiedene Lösungen zu den Teilproblemen gegliedert dargestellt. Er ist kein Teil des TRIZ-Methodenbaukastens, jedoch für die Darstellung von Teillösungen und den Überblick sehr gut geeignet. Auf der Ordinate werden zunächst die Variablen (Parameter, ordnende Gesichtspunkte) aufgetragen, neben den Variablen dann die zugehörigen schon bekannten oder denkbaren Varianten. In dem Fall der Fahrersitzarmlehne sind die Variablen die Funktionsbaugruppen (siehe Kapitel 2.2), diesen jeweils zugeordnet sind denkbare technische Umsetzungen. Eine Lösung besteht aus der Besetzung jeder Variable mit einer beliebigen Variante. Der morphologische Kasten verdeutlicht sehr umfangreich vielversprechende Zusammenstellungen und Kombinationsmöglichkeiten der verschiedenen Funktionsbaugruppen, ebenfalls können z.T. "auf den ersten Blick" ungeeignete Kombinationen ausgeschlossen werden. Auf Bild 6.27 ist den jeweiligen Funktionsbaugruppen eine Auswahl von erarbeiteten Varianten zugeordnet [5].

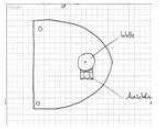
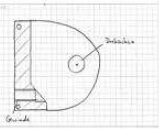
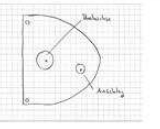
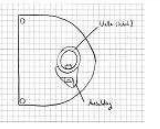
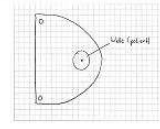
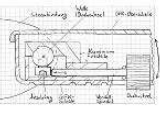
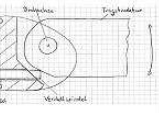
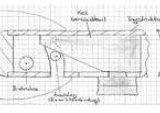
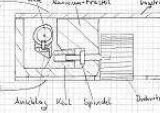
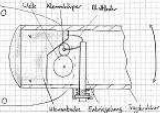
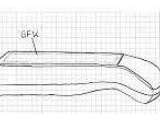
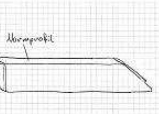
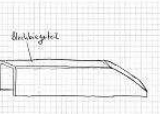
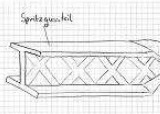
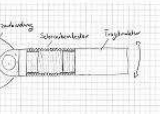
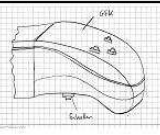
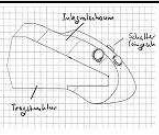
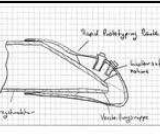
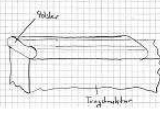
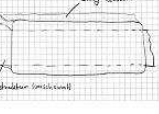
	Lösung				
Funktions-träger	1	2	3	4	5
Sitzan-bindung					
Verstellung					
Trag-struktur					
Kopf					
Polsterung					

Bild 6.27 Morphologischer Kasten der Fahrersitzarmlehne

Die Gesamtheit der generierten Varianten des Verstellmechanismus befindet sich in Anhang B sowie auf dem Datenträger (Anhang C). Sehr deutlich zu erkennen ist die Zusammengehörigkeit von Sitzanbindung und Verstellung. Jede Sitzanbindung ist spezifisch auf eine Verstellung zugeschnitten und kann nicht mit einer alternativen Verstellung genutzt werden. Es ist denkbar, Sitzanbindung und Verstellung zu einer Funktionskomponente zusammenzufassen.

Die verschiedenen Varianten der Tragstrukturen sind prinzipiell universell kombinierbar, sowohl mit den Verstellungen als auch mit den Kopfbaugruppen und den Polsterungen. Vor- und Nachteile der verschiedenen Gesamtlösungen sowie entstehende Synergien müssen abgeschätzt und anschließend bewertet werden, um die Auswahl für die am besten geeignete Gesamtlösung treffen zu können.

7 Lösungsbewertung

Die Bewertung der Varianten und Konzepte ist der essenzielle Schritt im Anschluss an die Lösungsgenerierung. Dem TRIZ-Methodenbaukasten ist kein Bewertungsprozess immanent, weswegen ein Vorschlag zu einem möglichen Bewertungsverfahren unterbreitet wird. Dabei werden die Eigenheiten der Methodik und der Ausarbeitungsgrad der Lösungen berücksichtigt [13]

Aufgrund des begrenzten Rahmens der Arbeit wird die Bewertung exemplarisch an dem Verstellmechanismus der Fahrersitzarmlehne durchgeführt, welcher die technische Kernkomponente darstellt.

Bewertungsverfahren

Um bestehende Bewertungsverfahren nutzen zu können und den frühen Stand der Konzeptphase im Produktentstehungsprozess zu berücksichtigen, kommt ein modulares Bewertungsverfahren zum Einsatz, welches aus Teilen eigenständiger Bewertungsverfahren zusammengesetzt ist [13].

Die Bewertung selbst wird an der *objektivierten gewichteten Bewertung mittels unscharfer Zahlen und Mengen* nach R. KNOSALA angelehnt [14].

Die Bewertung der Varianten soll nach KNOSALA in einer Bewertergruppe erfolgen. Gerade im frühen Stadium der Konzeptphase kann die Einschätzung der Einzelbewerter noch stark subjektiv geprägt sein. Durch die unterschiedlichen Meinungen und Ansichten der Einzelbewerter wird das Bewertungsergebnis objektiviert. Dabei bleibt – wie weiter unten gezeigt wird – die Streuung der Meinungen sichtbar. [14]

Die Mitglieder einer Bewertergruppe von 3-9 Personen vergeben jedem Konzept nach festgelegten Kriterien Punkte, welche die Wertigkeit einer Lösung repräsentieren. Die Punktzahl richtet sich nach Bild 7.1.

Bewertungsskala:	
4	sehr gut
3	gut
2	befriedigend
1	ausreichend
0	k.o.

Bild 7.1 Bewertungsskala nach [14]

Es ist möglich den Rang der Mitglieder innerhalb der Bewertergruppe durch die Zuweisung individueller Gewichtungen zu unterscheiden, und so Experten- als auch Führungspositionen zu berücksichtigen. Ebenfalls kann innerhalb der Kriterien eine Gewichtung stattfinden. Auf diese Möglichkeit wurde jedoch an dieser Stelle der Übersichtlichkeit halber verzichtet.

Auf Bild 7.2 ist das Bewertungsformular für die Verstellung dargestellt:

Projekt:		Fahrsitzarmlehne Straßenbahn, Verstellung					
Name:							
	Kriterium	Beschreibung	Konzept				
			1	2	3	4	5
Technisch (50%)	Zuverlässigkeit	In welchem Maß ist die Sicherstellung der Funktion über die Lebensdauer gewährleistet					
	Ergonomie	Bedienungsfreundlichkeit und Bequemlichkeit der Verstellung					
	Funktionserfüllung	In welchem Maß ist eine rasche, sichere und genaue Verstellung gewährleistet					
	Umsetzbarkeit	In welchem Maß ist das Konzept mit Sicherstellung der Funktionserfüllung ausdetaillierbar					
	Toleranzsituation	In welchem Maß "verzeiht" das Konzept fertigungsbedingte Toleranzschwankungen					
Wirtschaftl. (50%)	Stückkosten	Abschätzung der Kosten, welche im Rahmen der Fertigung und der Montage anfallen					
	Gemeinkosten	Abschätzung der Kosten, welche zur Realisierung nötig sind (inkl. Werkzeuge und Vorrichtungen)					
	Entscheidung in der Vorauswahl:	Sollte dieses Konzept in seinen Grundzügen weiter verfolgt werden? Eintragung JA oder NEIN					

Bild 7.2 Bewertungstabelle der Verstellung der Fahrsitzarmlehne

Die Kriterien sind unterteilt in technische und wirtschaftliche Kriterien nach VDI 2225 [15]. Diese gehen mit gleicher Gewichtung in die Endbewertung ein. Die Bestimmung der Gesamtbeurteilung einer Variante erfolgt nach dem Hyperbelverfahren, bei welchem der geometrische Mittelwert aus technischer und wirtschaftlicher Wertigkeit berechnet wird. An dieser Stelle der Arbeit wird darauf nicht weiter eingegangen, da das Verfahren in der Literatur hinreichend beschrieben ist [15].

Es ist davon auszugehen, dass die Bewertungsergebnisse der Gruppe um einen Mittelwert streuen. Neben dem Mittelwert liefert die Streuung der Bewertungsergebnisse eine wichtige Aussage. Die Divergenz der Einzelbewertungen wird durch den Einsatz triangulärer Zugehörigkeitsfunktionen kenntlich gemacht, welche sowohl die durchschnittliche, aber auch die Minimal- und Maximalbeurteilung der Varianten darstellen [16].

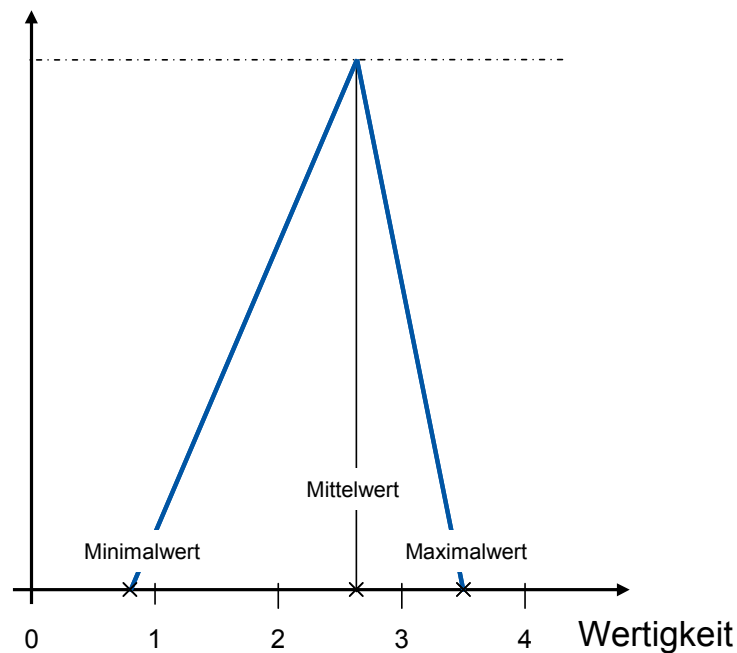


Bild 7.3 Trianguläre Zugehörigkeitsfunktionen

Die Spitze des Dreiecks spiegelt den Mittelwert der Bewertungsergebnisse wider. Die Spreizung der Schenkel ist ein Maß für die Divergenz der Einzelbewertungen innerhalb der Bewertergruppe. Als positiv einzuordnen ist eine Variante, wenn der Gipfelpunkt der triangulären Zugehörigkeitsfunktion möglichst weit rechts auf der Abszisse liegt und die Spreizung der Dreiecksschenkel möglichst gering ist. Liegt eine geringe Divergenz vor, d.h. Minimal- und Maximalwert befinden sich nah aneinander, sind die Bewertungsergebnisse relativ homogen und es besteht kein akuter Klärungsbedarf. Im gegenteiligen Fall sollten die Ursachen der stark unterschiedlichen Einschätzung verschiedener Mitglieder der Bewertungsgruppe untersucht werden. [16]

Eine dem Bewertungsprozess nachgeschaltete Gesprächsrunde kann dabei Aufschluss über die Bewertungsgrundlage der Einzelbewerter liefern. Durch die Behandlung unklarer Aspekte, welche von verschiedenen Bewertern stark unterschiedlich aufgefasst wurden, sollte die Streuung weiter eingegrenzt werden können. Dient die

Bewertungsmatrix als Entscheidungsgrundlage, ist es das Ziel offene Punkte soweit zu beseitigen, dass eine Einigung auf eine konkrete Wertigkeit erreicht wird [16].

Die Ergebnisse der Bewertung sind auf Bild 7.4 dargestellt. Die zugrunde liegende Auswertung der Bewertungsbögen sowie alle Konzepte befinden sich in Anhang C.

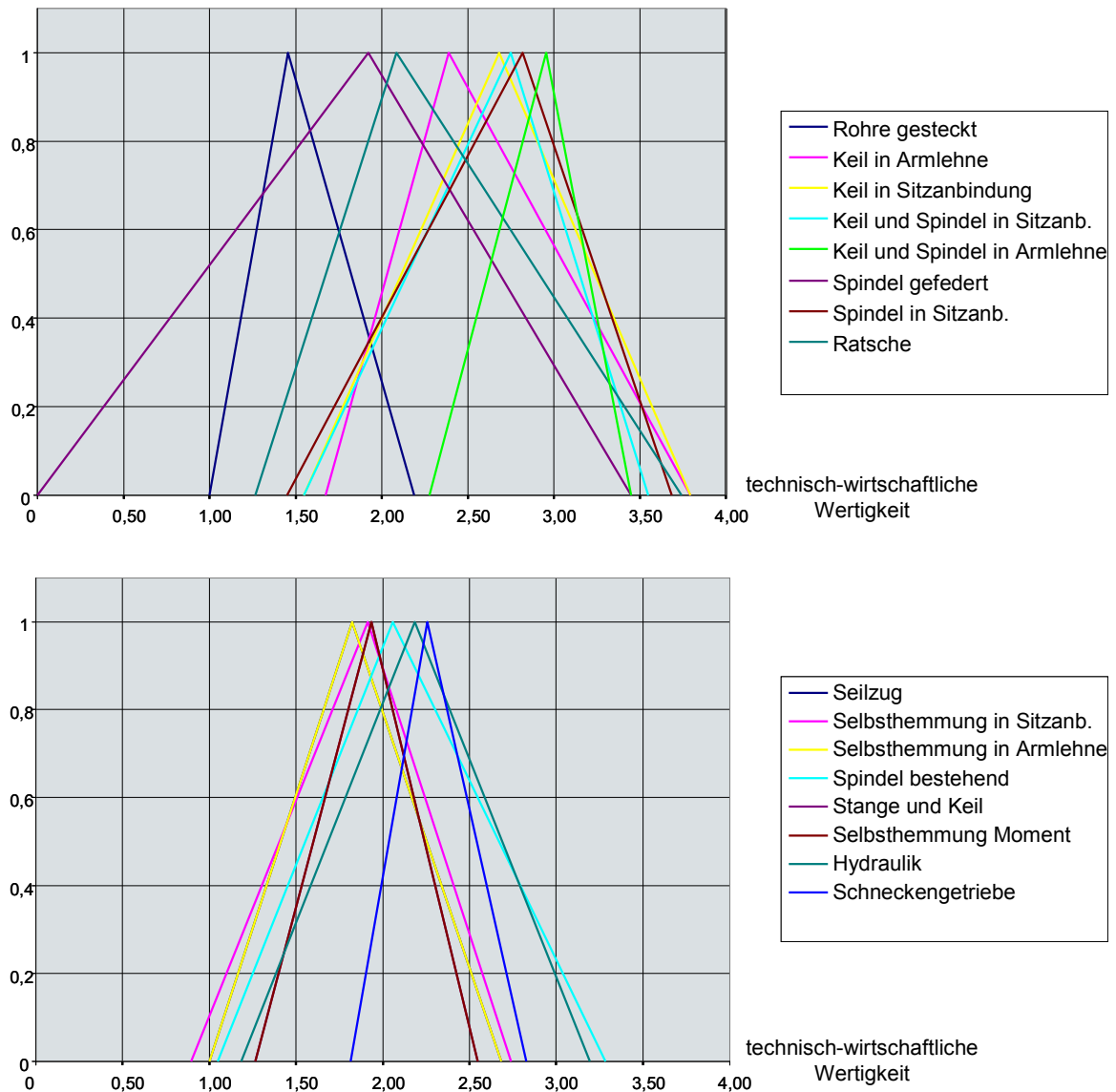


Bild 7.4 Bewertungsergebnisse des Verstellmechanismus

Durch den Bewertungsprozess wurde eine Vorauswahl auf fünf potentielle Verstellmechanismen eingeschränkt (siehe Bild 7.5 - Bild 7.7). Zum Vergleich wurde die bestehende Variante ebenfalls aufgeführt.

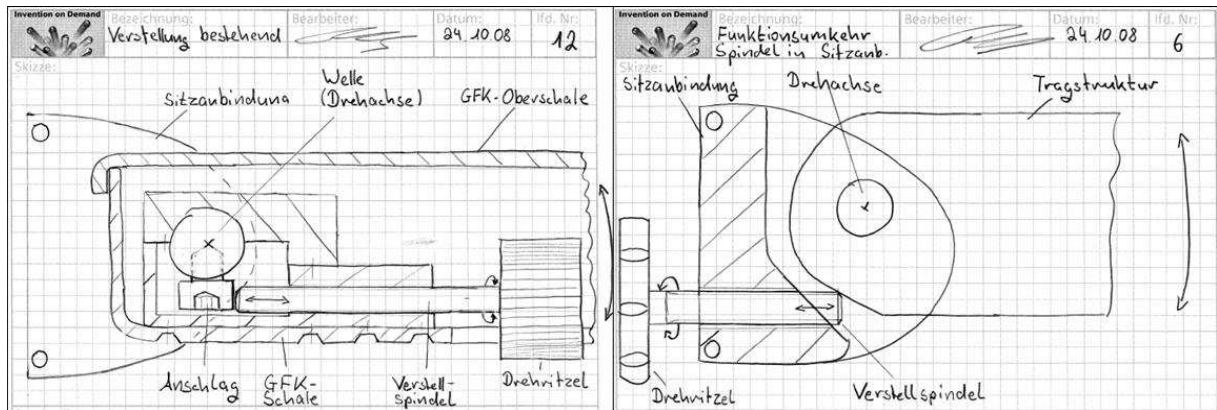


Bild 7.5 Verstellungskonzepte mit Verstellspindel

Bild 7.5 zeigt zwei Verstellungskonzepte, welche die Winkelverstellung mittels einer Verstellspindel realisieren. Das bestehende Konzept der Verstellung hat bei der Bewertung eine durchschnittliche technisch-wirtschaftliche Wertigkeit von 2,06 erreicht. Rechts dargestellt ist eine Modifikation des bestehenden Konzepts, welche sich aus dem innovativen Prinzip 13 „*Funktionsumkehr*“ ableitet und die Verstellung in der Sitzanbindung vorsieht. Dieses erreicht eine Wertigkeit von 2,82.

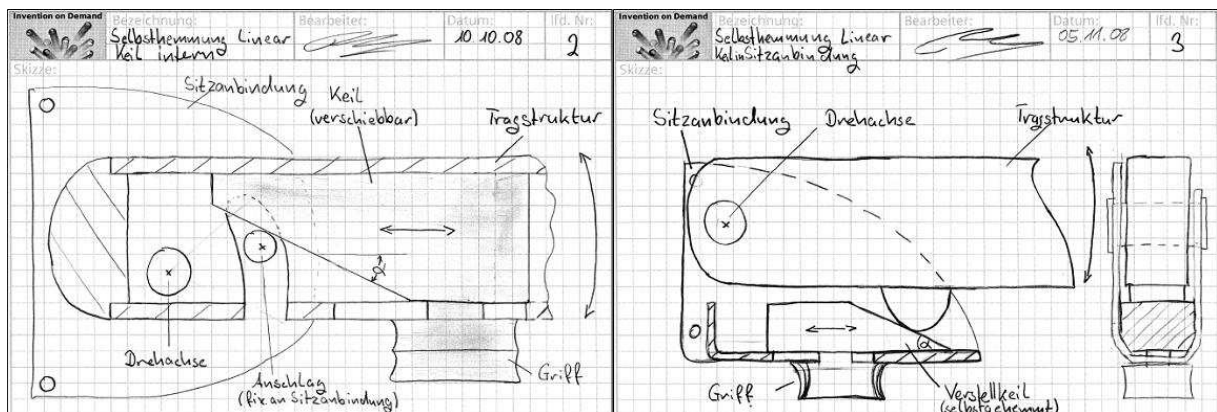


Bild 7.6 Verstellungskonzepte mit selbsthemmendem Keil

Aus Anwendung des innovativen Prinzips 4 „*Asymmetrie*“ auf die spezielle Problemstellung sind die auf Bild 7.6 dargestellten Verstellungskonzepte hergeleitet, welche mittels verschiebbarem Keil und Ausnutzung des Selbsthemmungszustands eine Winkelverstellung der Armlehne erreichen. Die technisch-wirtschaftliche Wertigkeit beträgt 2,39 für den innerhalb der Tragstruktur geführten Keil (links) und 2,68 für die wiederum durch Funktionsumkehr hergeleitete Variante, bei welcher die Führung des Keils durch die Sitzanbindung erfolgt (rechts).

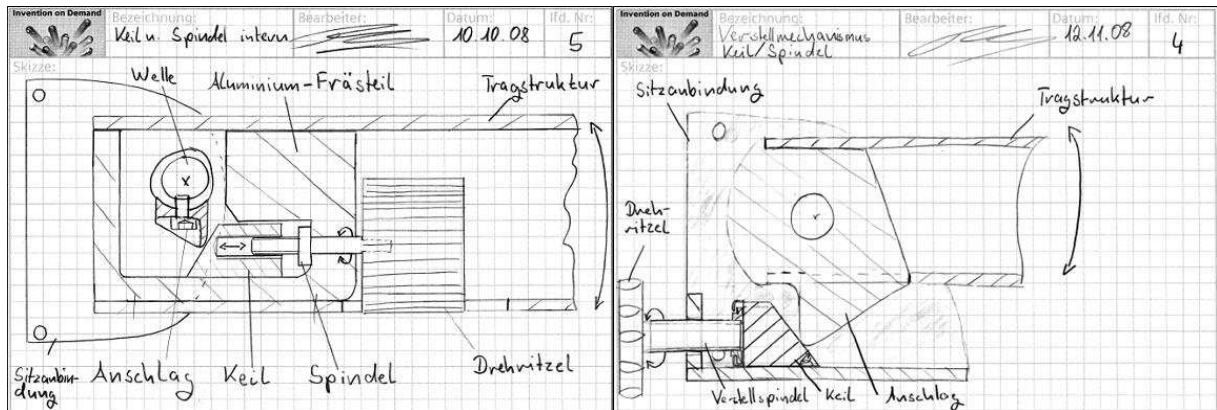


Bild 7.7 Verstellungskonzepte aus Kombination von Verstellspindel und Keil

Die Kombination der Verstellspindel und des Keils zeigt Bild 7.7. Die interne Variante (links) erreicht eine technisch-wirtschaftliche Wertigkeit von 2,96 welche die Höchstbewertung darstellt. Die externe Variante (rechts) wurde mit einer Wertigkeit von 2,75 beurteilt.

8 Konzeptdarstellung

Durch den Bewertungsprozess wurde eine Vorauswahl auf fünf potentielle Verstellmechanismen eingeschränkt. Aus diesen fünf Varianten wird das höchstbewertete Konzept vorgestellt und auf einige technische Details eingegangen, welche den Übergang von der Konzeptphase zur Ausarbeitungsphase illustrieren.

Die Tragstruktur sowie die Polsterung und der Kopf der Fahrersitzarmlehne ist nach dem in Kapitel 5.7 *Trimming* erarbeiteten Gesamtsystem ausgeführt. Die Gesamtlösung entspricht der Kombination 4-4-2-2-2 aus dem morphologischen Kasten nach Bild 6.27.

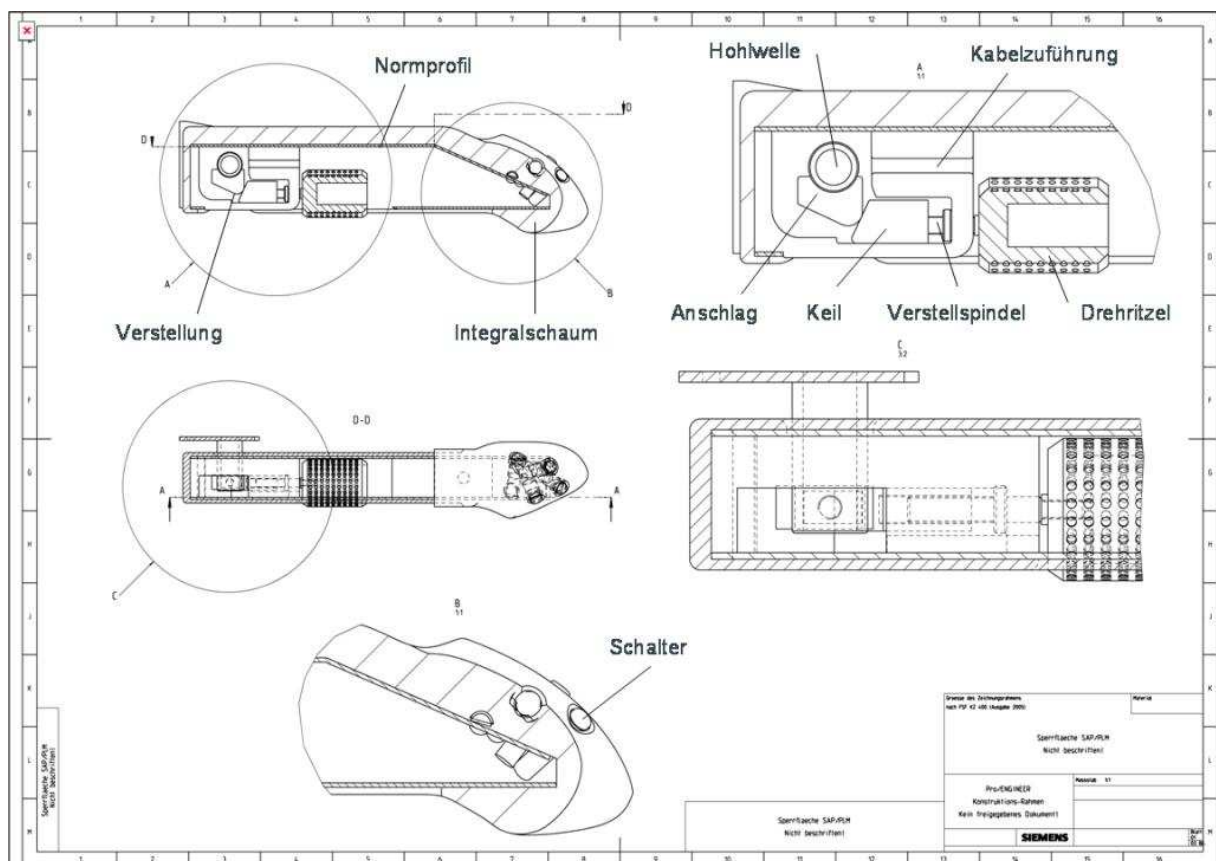


Bild 8.1 Technische Umsetzung der Fahrersitzarmlehne

Wie auf Bild 8.1 illustriert handelt es sich bei der Tragstruktur um ein Normprofil. Dieses wird mittels Laser oder spanender Bearbeitung zugeschnitten. Aufgabe des Profils ist es, die vom Fahrer eingeleiteten Kräfte aufzunehmen und zur Sitzanbindung zu leiten.

Die geometrische Form der Fahrersitzarmlehne wird von einem Integralschaumteil dargestellt. Die Struktur des Integralschaums ist so beschaffen, dass eine geschlossene Außenhaut einer Stärke von ca. 2,5mm einen feinporigen Kern umschließt. Durch diesen Aufbau erfüllt das Bauteil einerseits die Polsterfunktion, ist andererseits jedoch sehr resistent gegen mechanische Beanspruchung und Verschmutzung sowie mit wenig Aufwand reinigbar.

Das Integralschaumteil ist nach ergonomischen Gesichtspunkten ausgeführt. Im Kopfbereich werden die Tasterschalter integriert, welche nachträglich eingesteckt werden.

Der dargestellte Verstellmechanismus wurde aus dem Konzept nach Bild 6.9 im Kapitel 6.1.1 *Technischer Widerspruch* entwickelt. Ein durch eine Spindel verschiebbarer Keil stellt mit einem sich an der Welle befindlichen Anschlag eine formschlüssige Verbindung her. Die Welle ist hohl ausgeführt, um die Führung der Kabel, welche an den Tasterschaltern angebracht sind, durch die Sitzanbindung zu ermöglichen.

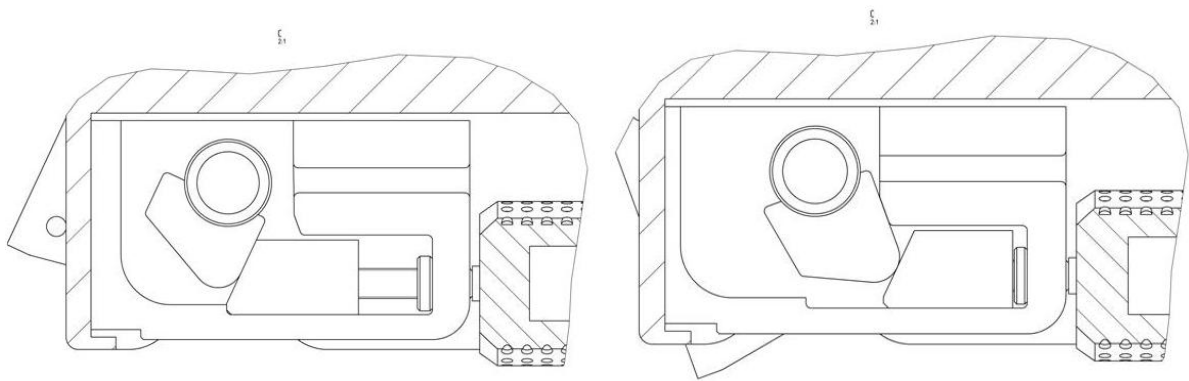


Bild 8.2 Maximalauslenkung der Verstellung

Bild 8.2 zeigt die maximalen Auslenkungen der Verstellung um $\pm 20^\circ$. In der oberen Maximalposition (links) wird das weitere Ausfahren des Keils durch einen Absatz im Aluminiumfrästeil begrenzt. In der unteren Maximalposition (rechts) fährt der Keil so weit zurück, dass der Anschlag flächig am Aluminiumfrästeil zum Anliegen kommt und somit eine feste, geometrisch bestimmte Minimalposition besteht.

Um das Hochklappen der Armlehne auf Niveau der Rückenlehne des Fahrersitzes zu begrenzen, ist eine weitere Anschlagposition nötig. Auf Bild 8.3 ist diese dargestellt. Die Rückseite des Anschlags kann genutzt werden, um am Normprofil zum Anliegen zu kommen.

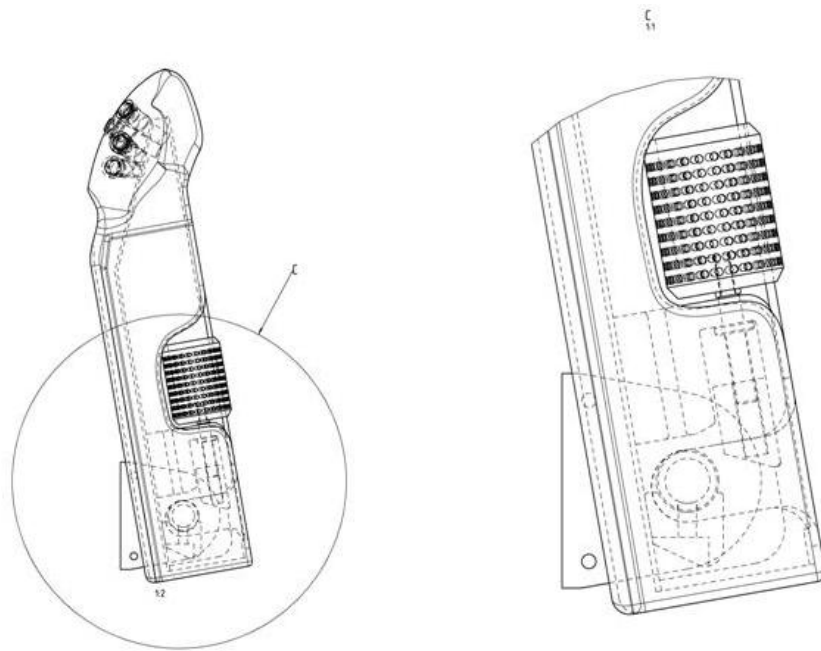


Bild 8.3 Fahrersitzarmlehne im hochgeklappten Zustand

Weiterhin ist die axiale Verschiebung der Fahrersitzarmlehne auf der Welle zu sichern. Es Möglichkeit besteht darin, diese Aufgabe ebenfalls durch den Anschlag auszuführen, in Kombination mit einem in die Welle eingebrachten Absatz. (Bild 8.4)

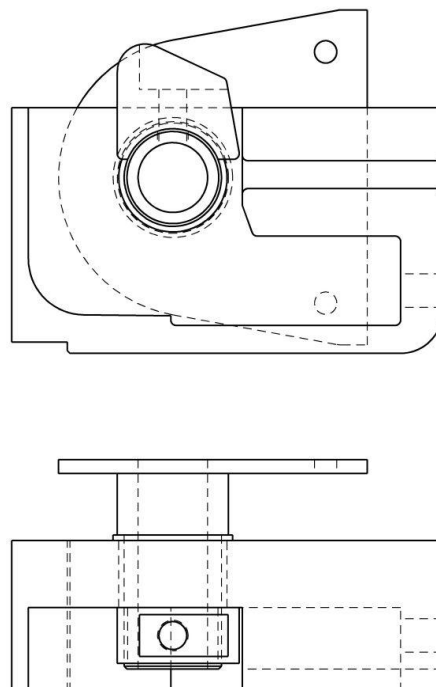


Bild 8.4: Axiale Sicherung der Verstellung

Bei der Montage des Verstellmechanismus wird die Welle der Sitzanbindung in die Bohrung des Aluminiumfrästeiles geführt. Durch den Einsatz einer Teflonhülse kann

eine Presspassung dargestellt werden, die das übermäßig schnelle Absenken der Fahrersitzarmlehne aus der hochgeklappten Position verhindert. Anschließend wird der Anschlag an die Welle gefügt und definiert somit die axiale Position der Verstellung.

Für die Verbindung der Verstellung und der Tragstruktur sind mehrere Möglichkeiten denkbar, da für die Realisierbarkeit des Konzeptes keine Relevanz besteht, wird an dieser Stelle der Arbeit nicht weiter darauf eingegangen.

Die Gesamtkomponente der Fahrersitzarmlehne ist auf Bild 8.5 als 3D-CAD-Modell dargestellt.

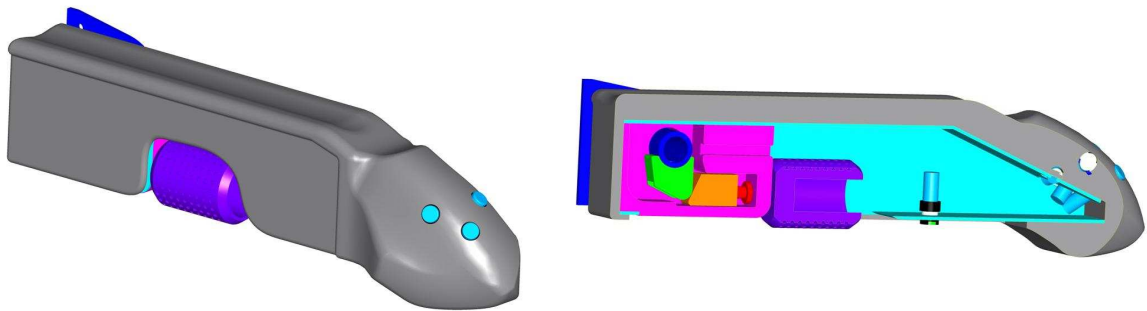


Bild 8.5 3D-CAD der Darstellung der Fahrersitzarmlehne

Durch die Neukonzeption konnte eine Gesamtkostenreduktion um 60% erreicht werden, bei wesentlich ergonomischer Ausführung und erhöhtem Bedienkomfort. Weiterhin wurden die Ursachen für das Bauteilversagen der bestehenden Konstruktion ausgemacht und bei dem Neukonzept vermieden.

9 Anwendungsempfehlungen

Ein besonderer Vorteil, welcher aus der Anwendung der *Methodik des erfinderischen Problemlösens* resultiert, ist die systematische Vorgehensweise.

Ziel von ALTSCHULLER war es, einen Ablauf für die erfinderische Problemlösung zu erarbeiten, der auf alle Bereiche technischer Aufgaben anwendbar ist. Aus der Untersuchung, wie sich Technik in der Vergangenheit entwickelt hat, wurden allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten, Muster und Gedankenansätze formuliert, die für die Entwicklung technischer Systeme heute erfolgreich angewendet werden können. Allerdings stellt sich TRIZ in der heutigen Praxis als ein Werkzeugkasten mit vielen einzelnen Methoden, Verfahren und Gedankenansätzen dar. Eine Hürde, die es bei der erfolgreichen Anwendung von TRIZ zu überwinden gilt, ist es, das "richtige" Werkzeug zur richtigen Zeit einzusetzen und ergänzende Werkzeuge miteinander zu kombinieren. [7]

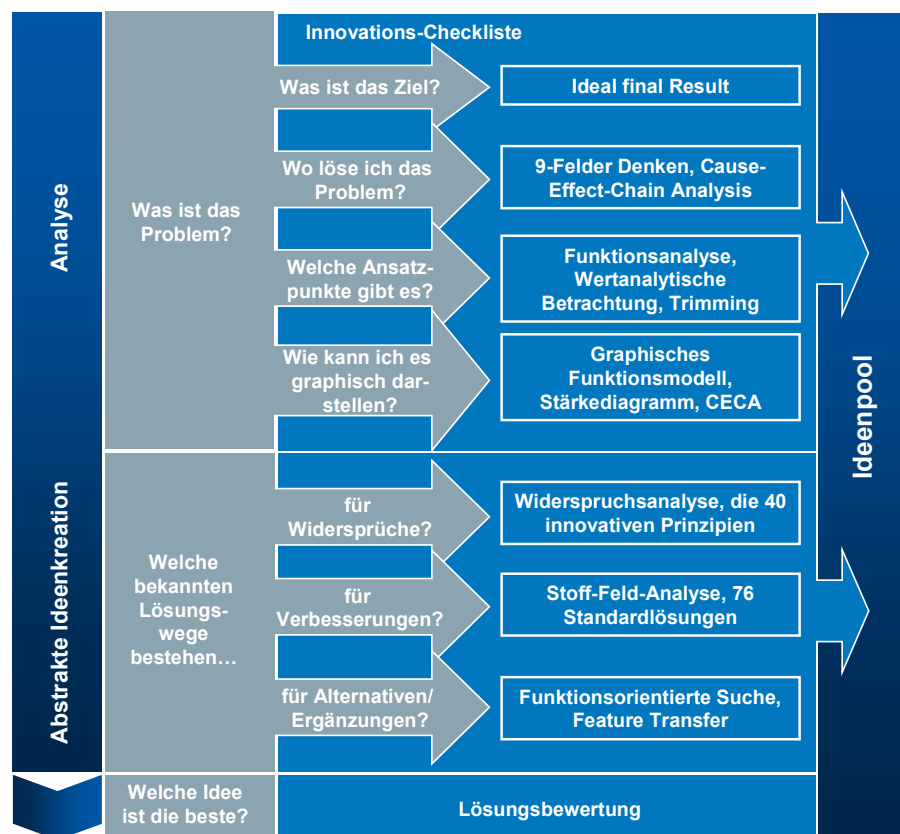


Bild 9.1 Vorschläge zur Werkzeugauswahl nach [4]

In der Literatur werden die Werkzeuge unterschiedlich kategorisiert. Eine anwendungsbezogene Einteilung für die Werkzeugauswahl ist auf Bild 9.1 dargestellt.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit ist es, den Einsatz der TRIZ-Innovationsmethodik anhand eines durchgängigen Praxisbeispiels darzustellen und den späteren Einsatz der Methodik im Tagesgeschäft der Siemens Mobility zu erleichtern. Erarbeitete und dokumentierte Lösungen zur konkreten Problemstellung der *Neukonzeption der Straßenbahn-Fahrersitzarmlehne der Division Siemens Mobility* können in den weiteren Produktentstehungsprozess einfließen.

Anhand des Praxisbeispiels wurde die Einordnung der *Methodik des erfinderischen Problemlösens* im Produktentwicklungsprozess vorgenommen, wobei die Stärken der TRIZ in der Konzeptionsphase zwischen der Abklärung der Kundenanforderungen und der Detaillierung der Konzepte herausgestellt wurden.

Zum Einsatz in der praktischen Konstruktionstätigkeit im Tagesgeschäft der Siemens Mobility wurden die Werkzeuge der TRIZ unterteilt nach ihrem Anwendungsgebiet, und einerseits der Aufgabendefinition sowie andererseits der Ideenkreation zugewiesen. Zu beiden Anwendungsgebieten wurden Instrumente vorgestellt und die Anwendung derselben anhand des Praxisbeispiels beschrieben.

Der Aufgabendefinition werden die Werkzeuge Innovationscheckliste, Ideal Final Result, 9-Felder Denken, Cause-Effect-Chain Analysis sowie die Funktionsanalyse mit aufbauender wertanalytischer Betrachtung und Trimming zugeordnet. Die Konstruktionssaufgabe wird dabei hauptsächlich auf der Systemebene analysiert, d.h. die Struktur des Systems als Ganzes untersucht. Ausgehend von dem bestehenden Produkt wurden Schwachstellen herausgestellt und Systemverbesserungen abgeleitet. Es konnte erreicht werden, die Kosten des Systems erheblich zu senken und weiterhin Unzulänglichkeiten der bestehenden Konstruktion wie *erhöhte Anfälligkeit gegenüber Bauteilversagen* und *geringe Ergonomie* zu beheben.

Im Rahmen der Ideenkreation wurden die Widerspruchsanalyse, die Stoff-Feld-Analyse sowie die funktionsorientierte Suche und der Feature-Transfer behandelt. Im Fokus der Betrachtung stand der Verstellmechanismus, als technische Kernkomponente der Fahrersitzarmlehne. Verschiedenste, mit den einzelnen Werkzeugen generierte, Lösungsansätze illustrieren die Anregung des kreativen Denkens durch die Methodik.

Da im Methodenbaukasten der TRIZ kein Bewertungsverfahren immanent ist, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein modularer Bewertungsprozess vorgeschlagen, um erarbeitete Lösungen in der frühen Produktentstehungsphase beurteilen zu können. Anhand der generierten Konzepte des Verstellmechanismus wurde dieser Prozess exemplarisch durchgeführt. Dabei erfolgt die Bewertung nach R. KNOSALA [14], die technisch-wirtschaftliche Korrelation wird mittels des Hyperbelverfahrens nach VDI 2225 hergestellt [15]. Die Darstellung der Bewertungsergebnisse der Bewertergruppe erfolgt anhand von triangulären Zugehörigkeitsfunktionen.

Um die konzeptionelle Arbeit zu konkretisieren wurde eine mögliche technische Umsetzung des Gesamtsystems *Fahrersitzarmlehne* in einem 3D-CAD-System erstellt und anhand von zwei- und dreidimensionalen Darstellungen illustriert.

Bezüglich der Anwendung der TRIZ-Methodik wurden abschließend Empfehlungen ausgesprochen. Langfristiges Ziel ist der gezielte und routinierte Einsatz der TRIZ-Methodik an geeigneten Konstruktionsaufgaben im Tagesgeschäft der Siemens Mobility. Die durchgängige Anwendung der Methodik an dem Praxisbeispiel der Straßenbahn-Fahrersitzarmlehne und die gegebenen Empfehlungen sollen Anwendern mit geringer Erfahrung den Umgang mit und vor allem den Einstieg in die Methodik erleichtern.

Der bereichsweite Einsatz der TRIZ-Methodik verspricht hohen potentiellen Nutzen aus konsequenter, systematisierter Produktentwicklungsarbeit. Der Einzug der Methodik im Tagesgeschäft kann jedoch nur erfolgen, wenn einerseits die weitere Einführung konsequent betrieben und der anschließende Einsatz gefördert und auch gefordert wird. Die gezielte Schulung von einzelnen Mitarbeitern, welche innerhalb der Abteilungen als Wissensträger fungieren und Problemstellungen mit der Methodik bearbeiten bzw. bei deren Anwendung unterstützen, ist dabei eine erfolgversprechende Einführungsstrategie.

Der Einsatz der *Methodik des erfinderischen Problemlösens* kann sich so den Herausforderungen des Tagesgeschäfts stellen und durch umfassende Einführung dazu beitragen, die Innovationskraft des gesamten Unternehmens zu steigern.

Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1 Einbausituation der Fahrersitzarmlehne	3
Bild 2.2 3D-CAD-Darstellungen der Fahrersitzarmlehne	4
Bild 2.3 Schema des Verstellmechanismus	4
Bild 2.4 Dokumentierte Brüche des GFK im Bereich des Verstellmechanismus	5
Bild 2.5 Funktionsbaugruppen der Neukonzeption	5
Bild 4.1 Erfindungsklassen nach [2]	9
Bild 4.2 Lösungsschema von speziellen Problemstellungen [3]	10
Bild 4.3 Funktionelle Einordnung der Methoden nach [3]	13
Bild 5.1 Inhalt der Innovationscheckliste [2]	17
Bild 5.2 objektorientierte Aufstellung des 9-Felder Denkens	18
Bild 5.3 Fragestellungen im 9-Felder Denken	19
Bild 5.4 Lösungsansätze im 9-Felder Denken	20
Bild 5.5 Schema der Cause-Effect-Chain Analysis	21
Bild 5.6 CECA „Hoher Preis des Systems“	22
Bild 5.7 CECA „Verstellbereich ist zu anfällig“	24
Bild 5.8 Belastung im Verstellbereich des GFK	25
Bild 5.9 Funktionsanalyse und zugehörige Werkzeuge [3]	27
Bild 5.10 Schritte der Funktionsanalyse [3]	28
Bild 5.11 Hierarchieebenen in der Komponentenanalyse nach [3]	29
Bild 5.12 Schema des Komponentenmodells	30
Bild 5.13 Interaktionstabelle der Fahrersitzarmlehne	31
Bild 5.14 Schema der Funktionsformulierung nach [3]	31
Bild 5.15 Beispiele zur Funktionsformulierung	32
Bild 5.16 Funktionskriterien nach [3]	32

Bild 5.17 Schema des tabellarischen Funktionsmodells [3].....	33
Bild 5.18 Tabellarisches Funktionsmodell der Fahrersitzarmlehne	34
Bild 5.19 Schema des graphischen Funktionsmodells nach [3].....	35
Bild 5.20 Graphisches Funktionsmodell der Fahrersitzarmlehne	36
Bild 5.21 Schema der Funktionsrangbildung nach [3]	37
Bild 5.22 Beispiel für die Funktionsrangbildung nach [3]	39
Bild 5.23 Funktionsrangbildung für die Fahrersitzarmlehne	40
Bild 5.24 Ermittlung der Funktionalitäten der Armlehnenkomponenten.....	41
Bild 5.25 Stärkediagramm der bestehenden Fahrersitzarmlehne.....	42
Bild 5.26 Stärkediagramm: Indikatoren zum weiteren Vorgehen nach [3]	43
Bild 5.27 Schema des Trimming.....	44
Bild 5.28 Trimmingregel A [3]	45
Bild 5.29 Beispiel Trimmingregel A.....	45
Bild 5.30 Trimmingregel B [3]	45
Bild 5.31 Beispiel Trimmingregel B.....	45
Bild 5.32 Trimmingregel C [3].....	46
Bild 5.33 Beispiel Trimmingregel B.....	46
Bild 5.34 Trimmingrichtlinie 1 [3]	47
Bild 5.35 Beispiel Trimmingrichtlinie	47
Bild 5.36 Trimmingrichtlinie 2 [3]	47
Bild 5.37 Beispiel Trimmingrichtlinie 2.....	47
Bild 5.38 Trimmingrichtlinie 3 [3]	48
Bild 5.39 Beispiel Trimmingrichtlinie 3.....	48
Bild 5.40 Trimming der Lackierung der Fahrersitzarmlehne.....	49
Bild 5.41 Trimming der GFK-Tragstruktur der Fahrersitzarmlehne.....	51
Bild 5.42 Funktionen der GFK-Tragstruktur.....	52

Bild 5.43 Graphisches Funktionsmodell nach Trimming.....	54
Bild 5.44 Stärkediagramm nach Trimming mit beibehaltener Skalierung	55
Bild 5.45 Stärkediagramm nach Trimming mit neuer Skalierung.....	55
Bild 6.1 Technischer Widerspruch 1 des Verstellmechanismus nach [3]	59
Bild 6.2 Technischer Widerspruch 2 des Verstellmechanismus	59
Bild 6.3 Zuweisung der technischen Parameter	60
Bild 6.4 Ausschnitt Widerspruchsmatrix nach [3].....	60
Bild 6.5 Innovative Prinzipien zum TW1 der Verstellung	61
Bild 6.6 bestehender Verstellmechanismus	61
Bild 6.7 Funktionsumkehr: Verstellung in Sitzanbindung.....	62
Bild 6.8 Funktionsumkehr: Seil-/Riemenzug.....	62
Bild 6.9 Asymmetrie: Verstellspindel und Keil	63
Bild 6.10 Asymmetrie: selbstgehemmter Keil	63
Bild 6.11 Auflösung physikalischer Widersprüche [3]	64
Bild 6.12 Separationsprinzipien für physikalischer Widersprüche [3]	65
Bild 6.13 Auflösung von physikalischen Widersprüchen nach [3].....	66
Bild 6.14 Technische Umsetzung „Separation in der Zeit“	66
Bild 6.15 Minimalmodell der Stoff-Feld-Analyse [3]	68
Bild 6.16 Beispiel zum Stoff-Feld-Modell.....	69
Bild 6.17 Beispiel zur Auflösung eines Stoff-Feld-Modells nach [3].....	70
Bild 6.18 Darstellung Freilauf nach [11].....	72
Bild 6.19 Adaption der Freilauf-Funktionsweise	73
Bild 6.20 Lokomotiv-/Baumaschinensitz der Fa. Grammer AG [12]	74
Bild 6.21 Gegenläufige Features zwei alternativer Systeme	75
Bild 6.22 Flexibilität durch Schraubenfeder in der Tragstruktur	76
Bild 6.23 Verstellspindel in Sitzanbindung.....	76

Bild 6.24 Gegenläufige Ausprägung der <i>Features</i>	77
Bild 6.25 Flexibilität durch federnd gelagerte Hülse	77
Bild 6.26 Flexibilität durch Einsatz von Schraubenfeder als Verstellspindel.....	78
Bild 6.27 Morphologischer Kasten der Fahrersitzarmlehne.....	79
Bild 7.1 Bewertungsskala nach [14]	81
Bild 7.2 Bewertungstabelle der Verstellung der Fahrersitzarmlehne.....	82
Bild 7.3 Trianguläre Zugehörigkeitsfunktionen	83
Bild 7.4 Bewertungsergebnisse des Verstellmechanismus	84
Bild 7.5 Verstellungskonzepte mit Verstellspindel	85
Bild 7.6 Verstellungskonzepte mit selbsthemmendem Keil	85
Bild 7.7 Verstellungskonzepte aus Kombination von Verstellspindel und Keil.....	86
Bild 8.1 Technische Umsetzung der Fahrersitzarmlehne	87
Bild 8.2 Maximalauslenkung der Verstellung.....	88
Bild 8.3 Fahrersitzarmlehne im hochgeklappten Zustand.....	89
Bild 8.4: Axiale Sicherung der Verstellung	89
Bild 8.5 3D-CAD der Darstellung der Fahrersitzarmlehne.....	90
Bild 9.1 Vorschläge zur Werkzeugauswahl nach [4].....	91

Literaturverzeichnis

- [1] PAHL, G.; BEITZ, W.; et. al.: *Konstruktionslehre. Grundlagen*. 7. Auflage. Berlin: Springer Verlag 2007.
- [2] TERNINKO, J.; ZUSMAN, A.; SLOTIN, B.: *Systematic Innovation: an Introduction to TRIZ*. Boca Raton: St. Lucie Press 1998.
- [3] ADUNKA R.: Skriptum zur Vorlesung „*Innovationsmethoden – TRIZ-Basiswissen*“. Universität Erlangen-Nürnberg, 2008
- [4] N.N.: TRIZ-Online. URL <http://www.triz-online.de/> - Aktualisierungsdatum: 11.03.2009
- [5] ZOBEL, D.: *TRIZ für alle. Der systematische Weg zur Problemlösung*. 2. Auflage. Renningen: Expert 2006.
- [6] ADUNKA, R.: „*Lessons Learned in the Introduction of TRIZ at Siemens A&D*“. In: Proceedings of the TrizFuture conference 2007. Frankfurt, 6-8 November 2007. Kassel: Kassel university press 2007.
- [7] GUNDLACH, C.; NÄHLER, H.TH.: *Innovation mit TRIZ. Konzepte, Werkzeuge, Praxisanwendungen*. Düsseldorf: Symposium 2006
- [8] KLEIN, B.: *TRIZ/TIPS. Methodik des erfinderischen Problemlösens*. Kirchheim: Oldenbourg 2006.
- [9] LIVOTOV, P.; PETROV, V.: *Innovationstechnologie TRIZ. Produktentwicklung und Problemlösung*. Handbuch. 2. Auflage. Hannover: TriSolver 2005.
- [10] N.N.: *Innovation Tool Academy. Basic Course Manual*. Hrsg. ADUNKA, R. Schulungsunterlagen zum TRIZ-Basiskurs. Erlangen: Siemens AG 2008.
- [11] MUHS, D.; et. al.: *Roloff/Matek. Maschinenelemente*. 18. Auflage. Braunschweig: Vieweg 2007.
- [12] N.N.: Grammer AG. URL <http://www.grammer.com> – Aktualisierungsdatum: 11.03.2009
- [13] ADUNKA, R.: *Rechnerunterstützter Bewertungsprozess im Umfeld methodischer Produktentwicklung*. Universität Erlangen-Nürnberg, Dissertation, 2002.

-
- [14] BREIING, A.; KNOSALA, R.: *Bewerten technischer Systeme*. Berlin: Springer 1997.
- [15] VDI 2225 Blatt 3: *Konstruktionsmethodik – Technisch-wirtschaftliches Konstruieren – Technisch-wirtschaftliche Bewertung*. Hrsg.: VDI. Düsseldorf: VDI-Verlag 1998.
- [16] N.N.: WWW-Infoportal-Bewerten. URL
<http://www.mfk.uni-erlangen.de/~bewerten/> - Aktualisierungsdatum: 11.03.2009

Anhang A Begriffserklärungen

Allgemein:

Anwender: Nutzer der TRIZ-Methodik.

Baukasten: Gesammelte Werkzeuge der TRIZ-Methodik

Supersystem: Das System, welches das zu analysierende technische System als Komponente enthält. Umfeld des technischen Systems.

System: s. Technisches System.

Subsystem: Komponente des technischen System.

Technisches System: Das System, das untersucht werden soll.

Werkzeug/Tool/Instrument: Untermethodik der TRIZ-Innovationsmethodik.

Cause-Effect-Chain Analysis:

Disadvantage (Nachteil): Negative Systemeigenschaft.

Key Disadvantage: Negative Gegebenheit, welche als nicht beeinflussbar durch den Anwender angesehen wird.

Target Disadvantage: Negative Eigenschaft eines technischen Systems, welche behoben werden soll.

Funktionsanalyse:

Basisfunktion: Das Objekt der Funktion dieser Funktion ist die Zielkomponente

Erfüllungsgrad: Beurteilt nützliche Funktionen abhängig vom Maß ihrer gewünschten Funktionserfüllung.

Funktion: Eine Aktion, die von einer Komponente ausgeführt wird, um einen oder mehrere Parameter einer anderen Komponenten (Objekt der Funktion) zu verändern oder zu erhalten.

Funktionsträger: Komponente, von der eine Funktion ausgeht.

Funktionsmodell: Modell des technischen Systems, welches den funktionellen Zusammenhang der Komponenten des technischen Systems untereinander und mit den Komponenten des Supersystems darstellt.

Hauptfunktion: Funktion, für welche das technische System entwickelt wurde

Hilfsfunktion: Das Objekt dieser Funktion ist eine Komponente des technischen Systems

Interaktionsanalyse: Teil der Funktionsanalyse. Sie identifiziert die Interaktionen zwischen den Komponenten sowohl des technischen Systems als auch des Supersystems

Interaktionstabelle: Wird während der Interaktionsanalyse erstellt. In der Tabelle werden die Interaktionen sowohl zwischen den Komponenten des technischen Systems als auch des Supersystems festgehalten.

Komponente: Sie besteht aus Masse und/oder Feld. Sie ist Teil des Systems oder der Supersystems.

Komponentenanalyse: Teil der Funktionsanalyse. Sie identifiziert die relevanten Komponenten des technischen Systems und seines Supersystems. Ihre Ergebnisse werden in der Interaktionsanalyse weiterverwendet.

Komponentenmodell: Es wird während der Komponentenanalyse erstellt. Es enthält den Namen des technischen Systems, seine Hauptfunktion und die identifizierten Komponenten.

Nützliche Funktion: Sie ist eine Funktion, die Parameter des Objekts der Funktion in die erwünschte Richtung verändert oder erhält.

Objekt der Funktion: Komponenten, deren Parameter auf Grund einer Funktion verändert oder erhalten werden.

Parameter: Eine Größe einer Komponente, wie beispielsweise die Temperatur, Position oder Bewegungsrichtung.

Schädliche Funktion: Eine Funktion, die Parameter des Objekts der Funktion verschlechtert.

Supersystem: Das System, welches das zu analysierende technische System als Komponente enthält. Umfeld des technischen Systems.

Supersystemkomponente: Komponente des Supersystems.

Trimming: Es ist ein Verfahren, mit dem eine oder mehrere Komponenten des technischen Systems entfernt und ihre Funktionen auf andere Komponenten umverteilt werden.

Trimmingmodell: Fiktives Funktionsmodell des technischen Systems nach Durchführung des Trimming.

Überzogene Funktion: Nützliche Funktion, die einen Parameter stärker verändert als gewünscht.

Unzureichende Funktion: Nützliche Funktion, die einen Parameter schwächer verändert als gewünscht.

Zielkomponente: Sie ist die Komponente des Supersystems, auf welche die Hauptfunktion ausgerichtet ist.

Zusatzfunktion: Bei dem Objekt der Funktion handelt es sich um eine andere Supersystemkomponente als die Zielkomponente.

Widerspruchsanalyse:

39 technische Parameter. Abstrakt formulierte Systemcharakteristik (Länge, Geschwindigkeit)

40 innovative Prinzipien: Abstrakt formulierte Grundmuster von Innovationen

Physikalischer Widerspruch (PW): Ein Parameter muss gleichzeitig groß und klein sein.

Separationsprinzipien: Dienen der Erfüllung der widersprüchlichen Systemanforderungen des physikalischen Widerspruchs separiert nach Zeit, Raum, Beziehung oder Systemübergang.

Technischer Widerspruch (TW): Die Verbesserung eines technischen Parameters bedingt die Verschlechterung eines anderen technischen Parameters.

Widerspruchstabelle/-matrix: Ordnet einem technischen Widerspruch je nach seinen widersprüchlichen Parametern erfolgversprechende innovative Prinzipien zu.

Stoff-Feld-Analyse:

76 Standardlösungen (SIS): Abstrakte Lösungsvorschläge zu Stoff-Feld-Modellen.

Feld: Relativ weit gefasster Begriff von Feldern, beschreiben die Wechselwirkungen zwischen mindestens zwei Stoffen. Elektrische, magnetische und Gravitationsfelder aber auch Temperaturfelder, chemische und biologische sowie mechanische Felder.

Minimalmodell: Kleinstmögliches Stoff-Feld-Modell bestehend aus zwei Stoffen und einem Feld.

Stoff: Massebehaftete Komponente.

Stoff-Feld-Modell: Abstrakte graphische Darstellung der Stoffe und Felder, sowie deren gegenseitigen Einflusses.

Function-Oriented-Search:

Leading Area: Branche, in der die gesuchte Funktionalität überlebenswichtig oder von übergeordneter Bedeutung ist.

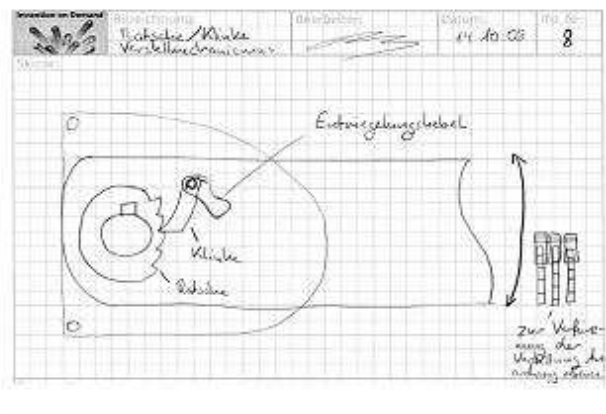
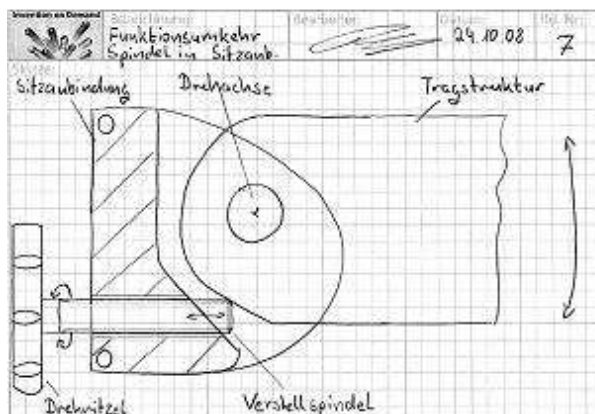
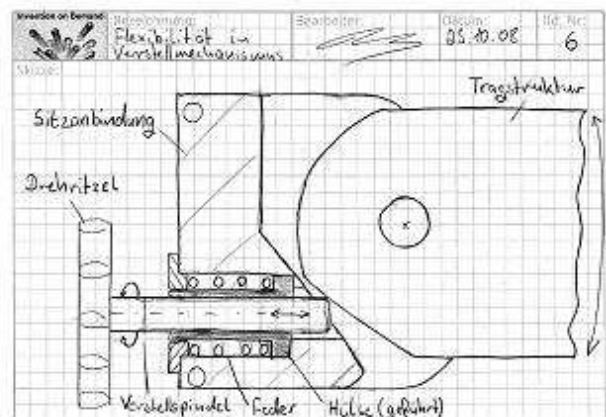
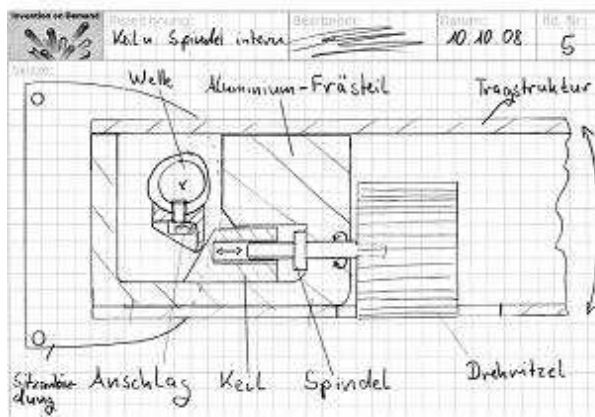
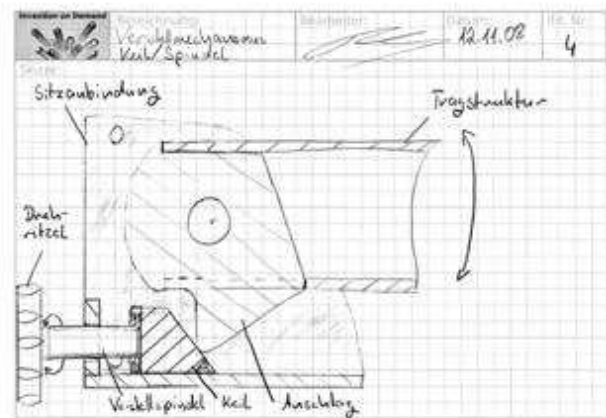
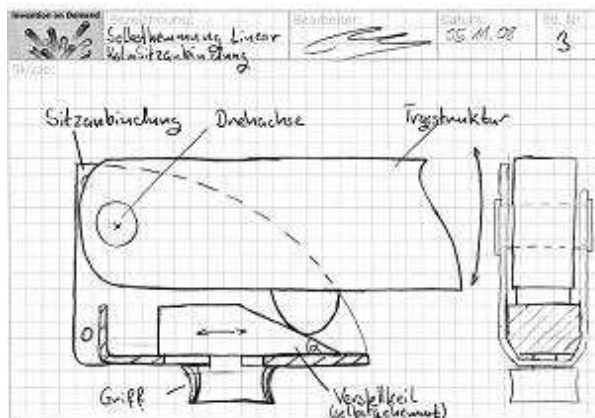
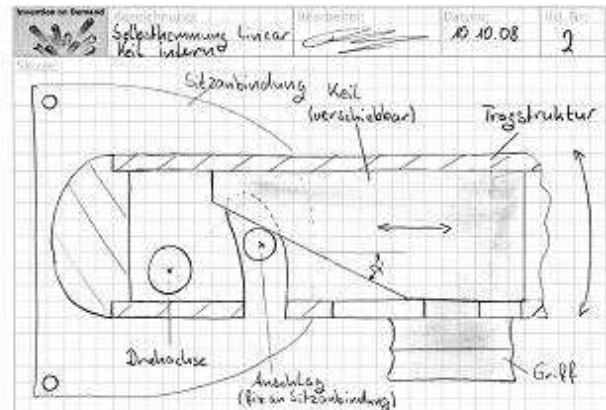
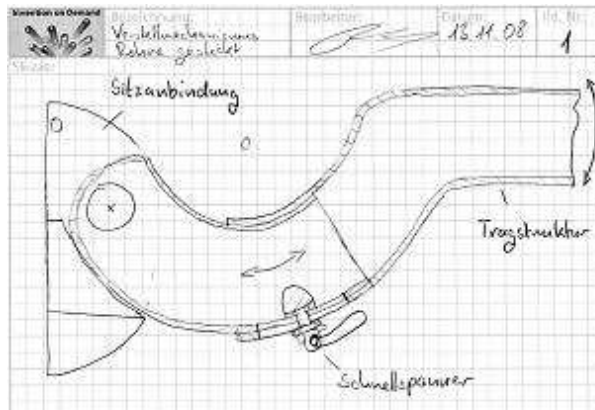
Feature-Transfer:

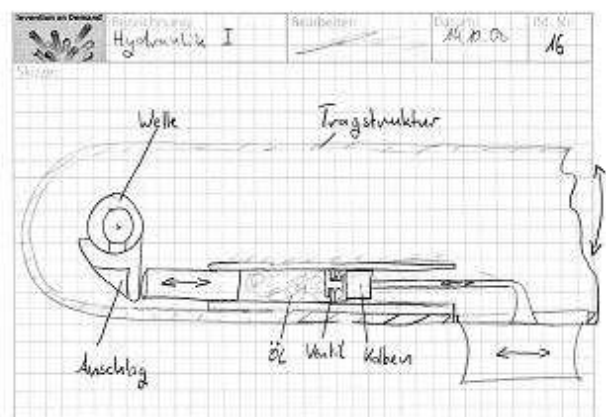
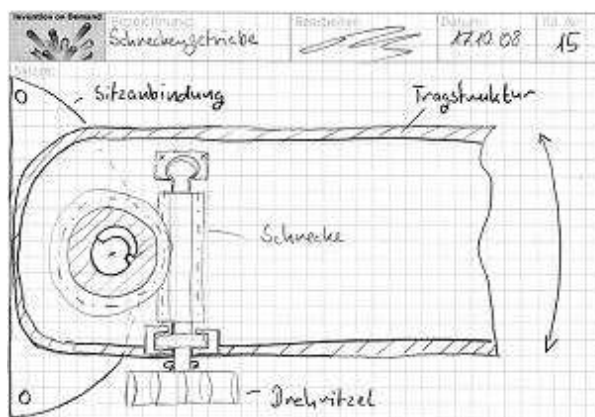
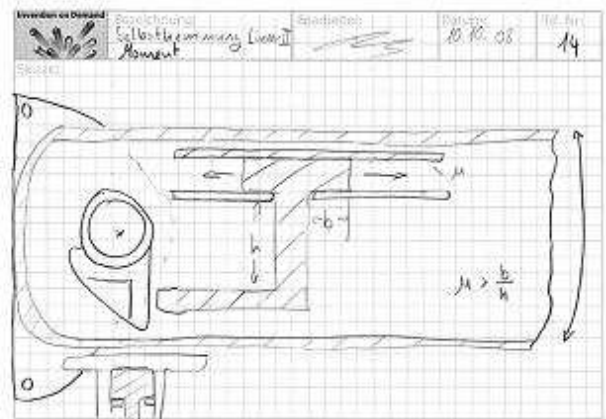
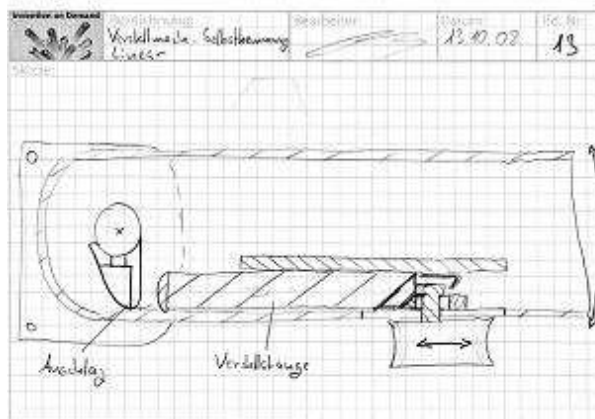
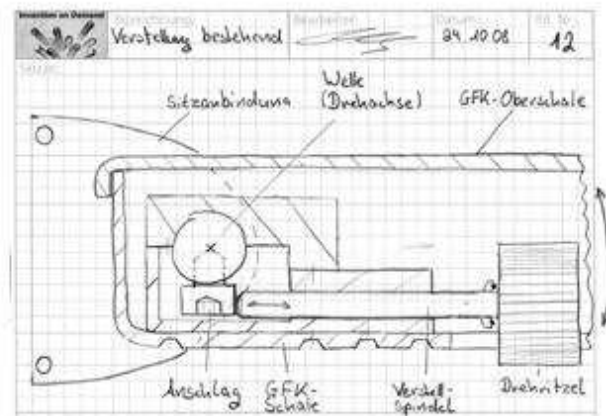
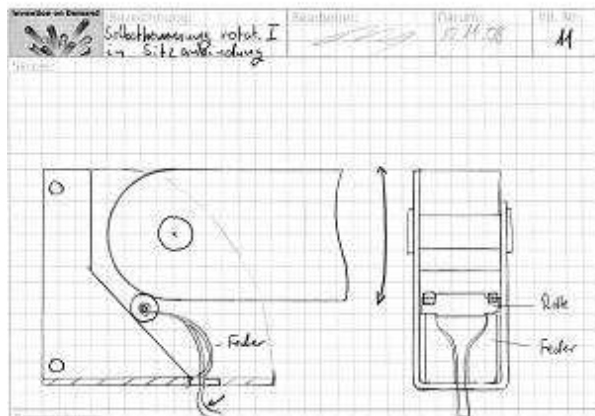
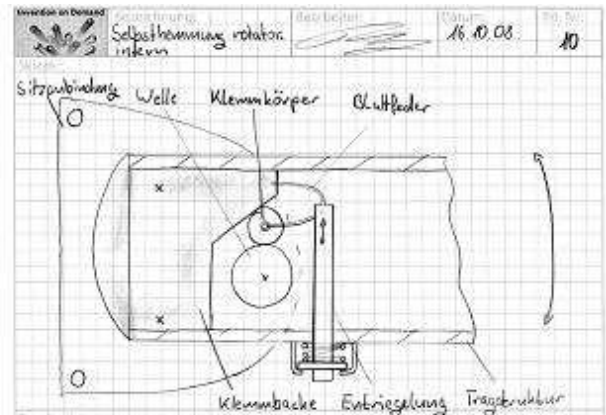
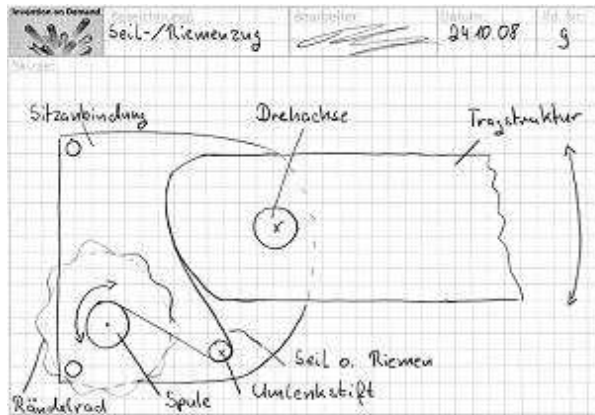
Feature: Systemeigenschaft, Merkmal, Funktionalität.

Basissystem: System, auf welches ein Feature transferiert werden soll. Bei zwei alternativen Systemen normalerweise das kostengünstigere.

Alternativsystem: System mit gewünschtem Feature, welches auf das Basissystem übertragen werden soll.

Anhang B Lösungsdokumentation





Anhang C Datenträger

Bewertung der Verstellung

Die 40 innovativen Prinzipien

Innovationscheckliste (Blanko)

Innovationscheckliste der Fahrersitzarmlehne

Konzepte der Verstellung

Lastenheft der Fahrersitzarmlehne

Widerspruchsmatrix