Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Vienna University of Technology

# Diplomarbeit

## Entwicklung eines Standardisierungskonzepts für Magnetschienenbremsen

## Variantenmanagement mit einem Baukastensystem

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

# Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt Matyas**
(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

**Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Tanja Nemeth**
(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung, Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Daniel Thieme**

Matrikelnummer: 1129058 (Kennzahl: 066.482)

Lacknergasse 42/15

1170 Wien

Wien, im April 2015

_____

Daniel Thieme

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

# Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im April 2015

_____

Daniel Thieme

# Danksagung

Hiermit möchte ich allen danken, die mit fachlicher Expertise und persönlicher Unterstützung zur Entstehung der vorliegenden Diplomarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt dem Unternehmen Knorr-Bremse in Mödling für die Bereitstellung dieses interessanten und vielschichtigen Themas. Besonders bedanken möchte ich mich für das positive und professionelle Arbeitsumfeld bei allen Mitarbeitern der KBA Mödling, die aktiv durch ihren Input zur Entstehung der Arbeit beigetragen haben.

Im Speziellen gilt mein Dank Herrn DI Volker Jörgl, Herrn DI Richard Rathammer, Herrn DI Marcin Widlinski und Herrn DI Gjelbrim Qafleshi für die interne fachliche Betreuung und aktive Unterstützung des Projektes.

Weiterhin gilt mein Dank dem Institut für Managementwissenschaften der Technischen Universität Wien und insbesondere Herrn Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt Matyas und Frau Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Tanja Nemeth für die Positionierung und Betreuung des Themas am Lehrstuhl.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen Freunden und Kommilitonen bedanken, die mich während aller Phasen meines Studiums begleitet und mit Rat und Tat unterstützt haben.

Zuletzt danke ich meiner Familie und im Besonderen meinen Eltern, die mir meine gesamte akademische Ausbildung ermöglicht und mich in allen Entscheidungen mit ihren Ratschlägen und der Bereitstellung aller ihnen zur Verfügung stehenden Mittel immer bedingungslos unterstützt haben. Ihnen ist diese Diplomarbeit gewidmet.

# Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der Standardisierung von Produkten. Dabei wird untersucht, inwieweit Standardisierung von Produkten für einen konkreten Markt Unternehmen helfen kann, unter Beibehaltung der Bedienung von Kundenbedürfnissen, die interne Komplexität zu reduzieren.

Zuerst werden die notwendigen theoretischen Grundlagen zur Durchführung der Standardisierung erläutert.

Nach der Erarbeitung der Theorie wird die konkrete Umsetzung der Standardisierung in Form eines realen Standardisierungsprojekts dokumentiert, das bei einem international tätigen Zulieferer für Drehgestellausrüstung umgesetzt wurde.

Die Umsetzung erfolgt in den ersten Schritten durch die Analyse der Ausgangssituation, der Strukturierung der am Projekt beteiligten Interessengruppen und der Definition von Projektzielen. Danach werden die Standardisierungsstrategien festgelegt, die Kundenanforderungen an das Produkt ermittelt und analysiert und konstruktive Alternativen entwickelt. Diese werden auf Basis von Nutzwertanalysen bewertet. Das Ergebnis ist ein Produktkatalog mit den standardisierten Produkten, die Marktreife besitzen.

Das Projekt wird kostenseitig unter Einsatz des Target Costings begleitet, um zu gewährleisten, dass Kostenziele eingehalten werden.

Im Rahmen des Ausblicks werden die weiteren Schritte erläutert, die noch bis zum Produktrelease folgen müssen und Ansätze gegeben, inwiefern das Angebot zukünftig optimiert werden kann.

# Abstract

This thesis deals with the standardization of products. It is investigated to what extent the standardization of products for a specific market can help companies to reduce internal complexity while maintaining the operation of customer requirements.

First, the necessary theoretical basis for the implementation of standardization is discussed.

After the development of the theory the concrete implementation of standardization in the form of a real standardization project is documented, implemented at an international supplier of bogie equipment.

The reaction takes place in the first steps of the analysis of the initial situation, the structuring of the stakeholders involved in the project and the definition of project objectives. Thereafter the standardization strategy is defined, the customer product requirements are determined and analyzed and constructive alternatives that are valued on the basis of utility analyzes are developed. The result is a product catalog with standardized products that possess market maturity.

The project will accompanied by the use of target costing to ensure that cost targets are met.

In the context of the view the further steps are described that have yet to follow through to product release and approaches, how you can optimize the program in the future.

# Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ..... 3
2 Grundlagen zur Standardisierung ..... 5
2.1 Komplexität ..... 5
2.1.1 Kosten der Komplexität ..... 7
2.1.2 Komplexitätsmanagement ..... 11
2.2 Produktstruktur ..... 12
2.2.1 Produktstrukturstrategien ..... 13
2.2.2 Modularität ..... 15
2.3 Der Kunde ..... 16
2.3.1 Informationsbeschaffung ..... 17
2.3.2 Kundenzufriedenheit ..... 22
2.4 Produktentwicklung ..... 25
2.4.1 Das Münchener Vorgehensmodell (MVM) ..... 25
2.4.2 Entwicklung und Konstruktion ..... 27
2.5 Target Costing ..... 29
2.6 Marketing ..... 32
2.6.1 Investitionsgütermarketing ..... 32
2.6.2 Pricing ..... 41
3 Standardisierung der Magnetschienenbremse ..... 46
3.1 Unternehmensprofil ..... 46
3.2 Die Magnetschienenbremse ..... 47
3.3 Analyse der Ist-Situation ..... 50
3.3.1 Analyse der internen Prozesse ..... 52
3.3.2 Kundenzufriedenheit ..... 58
3.3.3 Der Markt für Magnetschienenbremsen ..... 60
3.3.4 Analyse der aktuellen Varianten ..... 61
3.4 Projektvorbereitung zur Standardisierung ..... 64
3.4.1 Stakeholderanalyse ..... 65
3.4.2 Definition der Projektziele zur Standardisierung ..... 72
3.5 Standardisierung der Magnetschienenbremse ..... 73

3.5.1 Auswahl der Standardisierungsstrategie ..... 74
3.5.2 Modularisierung zum Baukastensystem ..... 75
3.5.3 Erstellung einer Sachmerkmalleiste ..... 76
3.5.4 Analyse der Kundenanforderungen ..... 84
3.5.5 Analyse der Hauptvertriebsmerkmale ..... 87
3.5.6 Konzeptionierung des Baukastens ..... 105
3.5.7 Produktkatalog ..... 139
3.5.8 Potentielle Marktabdeckung ..... 141
3.5.9 Kosten ..... 144
3.5.10 Marketing ..... 148
4 Auswertung ..... 152
5 Ausblick ..... 154
6 Anhang ..... 158
7 Literaturverzeichnis ..... 163
7.1 Verwendete Literatur ..... 163
7.2 Weiterführende Literatur ..... 165
8 Abbildungsverzeichnis ..... 166
9 Formelverzeichnis ..... 169
10 Tabellenverzeichnis ..... 170
11 Abkürzungsverzeichnis ..... 171

# 1 Einleitung

Heutige Unternehmen sehen sich immer mehr den Herausforderungen des globalen Wettbewerbs gegenübergestellt. Durch die starke Konkurrenz aus Osteuropa und Asien ergibt sich teilweise ein immenser Kostendruck von außen. Durch den durch zunehmende Marktsättigung getriebenen Wandel vom Verkäufermarkt hin zum Käufermarkt sehen viele Unternehmen die einzige Antwort im Angebot immer neuer Varianten.[1] So sollen mittels eines großen und weiter wachsenden Produktportfolios die Bedürfnisse des Marktes optimal erfüllt werden.

Dieses Vorgehen führt neben einer am Markt immer größer werdenden Komplexität, bei der der Kunde die Unterschiede und den Mehrwert der angebotenen Varianten kaum noch erkennen kann ebenfalls zu einer sehr großen internen Komplexität. Diese kann wiederum „zu intransparenten Abläufen, zu mangelnder Flexibilität und zu exponentiell wachsenden Kosten“ [2] führen.

So müssen neue Varianten nicht nur erstellt, sondern auch verwaltet und hergestellt werden, was die Kosten in die Höhe treibt.

Im Rahmen von Standardisierungskonzepten versuchen Firmen zunehmend der geforderten Vielfalt an Varianten zu begegnen, um eine größtmögliche Marktabdeckung zu erreichen, bei der die interne Komplexität allerdings überschaubar und beherrschbar bleibt.

Führend bei Umsetzung und Anwendung von Standardisierungskonzepten sind beispielsweise seit Jahren die Hersteller von Automobilen, die mittels Plattform- und/ oder Baukastenstrategien bei verhältnismäßig geringer interner Komplexität und hoher Variabilität eine enorme Marktabdeckung erreichen. So können sie mittels des s.g. „mass customizings“ im Rahmen hoher Gleichteileverwendung den Großteil der Kundenwünsche, aus denen in ihrer Kombination eine hohe Varianz entsteht, schnell, qualitativ hochwertig und für das Unternehmen kostengünstig produzieren.[3]

Diese Vorteile von modularisierten Produkten nutzen mittlerweile nicht nur Firmen, die derart große Stückzahlen produzieren oder ein derart großes Marktpotential haben. Auch Unternehmen, die eher Nischenmärkte bedienen, wie z.B. kleinere Werften für Freizeityachten setzen zunehmend auf die Modulbauweise und einzelne Möglichkeiten der Individualisierung seitens des Kunden.

Auch bei Herstellern von Einzelprodukten oder Kleinserien aus dem Maschinen- und Anlagenbau, die bisher in dem Glauben waren, durch ihre angebotenen, in der Regel

[1] Vgl.: Schuh, 2005, S.3
[2] Schuh, 2005, S.9
[3] Vgl.: VDI, 1999, S.2

maßgeschneiderten Produkte, Baukastensysteme nicht umsetzen zu können, hat mittlerweile ein Umdenken stattgefunden. Dadurch wird auch hier versucht, durch die Gestaltung intelligenter Baukastensysteme nahezu alle Kundenanforderungen erfüllen zu können und durch die fast gleichbleibende Flexibilität bei geringerer Variantenvielfalt und interner Komplexität Produkte mit hoher Qualität aber zu günstigeren Preisen am Markt zu positionieren und trotz geringerer Stückzahl als bei Massenproduktion Loseffekte zu generieren.[4]

[4] Vgl.: VDI, 1999, S.3 ff.

# 2 Grundlagen zur Standardisierung

## 2.1 Komplexität

Aufgrund sich kontinuierlich verändernder Anforderungen des Marktes und zunehmend differenzierter Kundenanforderungen, die dem Trend der Individualisierung folgen, sehen sich Unternehmen heutzutage damit konfrontiert, dem Kunden eine optimale Variantenvielfalt zu bieten. So wird auf sich ändernde Kundenbedürfnisse meistens durch die Schaffung neuer Varianten am Markt reagiert. Erschwerend kommt noch der externe Kostendruck hinzu, der durch Länder mit wesentlich günstigeren Produktionsstrukturen, beispielsweise durch niedrigere Löhne, ausgeübt wird. Im Rahmen der Entwicklung des Unternehmens muss also im Zentrum stehen, die Unterschiede zwischen einer wesentlich komplexeren Umwelt und den internen Prozessen in Einklang zu bringen. Der Komplexitätsanstieg der Geschäftsprozesse führt bei Misslingen dieser Aufgabe zu einem immensen Anstieg der Gemeinkosten und zu einer generellen Unbeherrschbarkeit der Komplexität.[5]

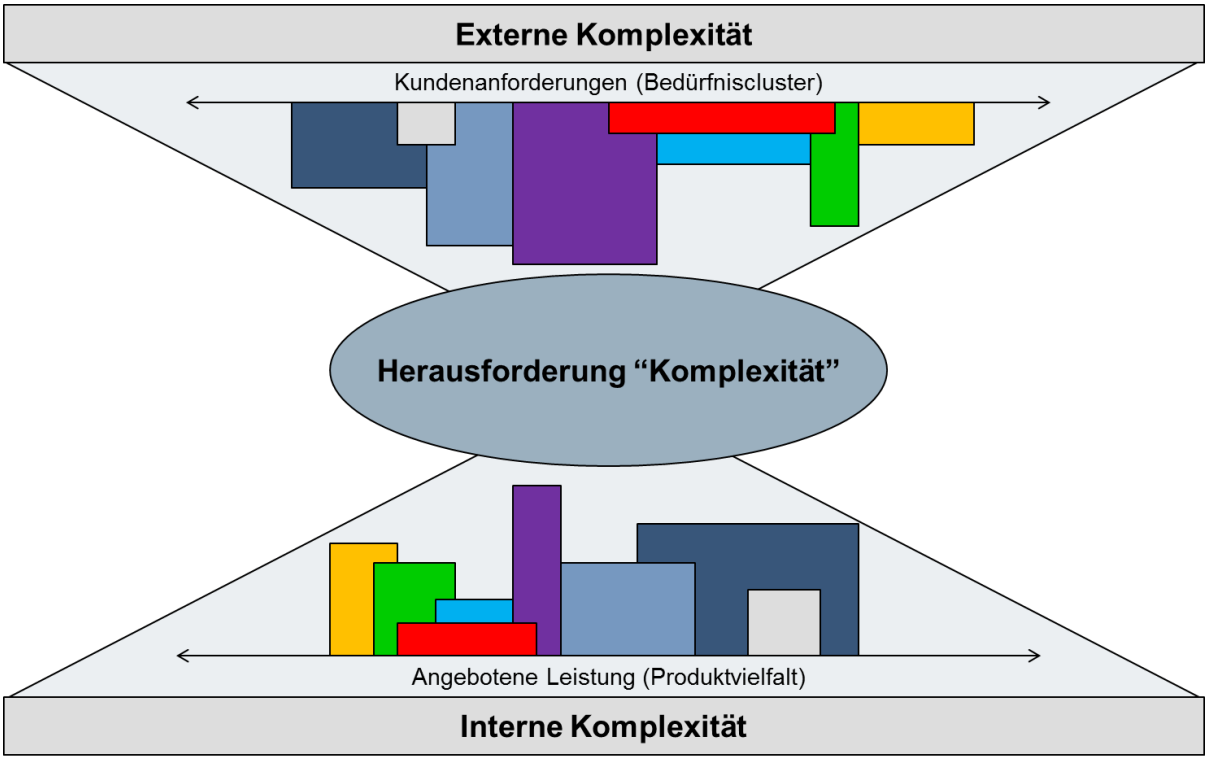



**Abbildung 2-1: Interne und externe Komplexität[6]**

Ziel der Unternehmen muss somit für die Bewältigung zukünftiger Anforderungen am Markt sein, ein ganzheitliches Komplexitätsmanagement zu implementieren, das ein Optimum an Diversität, Vielfalt, Wertstrom und Struktur bietet. Dabei soll im Rahmen

[5] Vgl.: Schuh, 2005, S.12f.
[6] Schuh, 2005, S.13

der optimalen Diversität eine stringente und saubere Abtrennung des eigenen Geschäfts von dem der Mitbewerber erreicht und die Kundensegmente klar strukturiert werden können. Die optimale Vielfalt stellt die Überprüfung des unternehmerischen Leistungsangebots dar. Dies soll dazu führen, beispielsweise durch stärkere Gleichteileverwendung, die innere Komplexität zu beherrschen. Der optimale Wertstrom beschreibt die Optimierung der internen Prozesse, die zur Erstellung und Distribution des Produktes notwendig sind. In der optimalen Struktur soll die Organisation des Unternehmens so ausgelegt werden, dass die Komplexität beherrschbar bleibt.[7]

Es existiert eine Vielzahl an Komplexitäten. Neben der am bekanntesten erscheinenden Variantenkomplexität, die meistens auf eine Vielzahl von Produktausprägungen zurückzuführen ist, ist in dem Zusammenhang allerdings auch eine Variantenkomplexität nicht nur auf Teile, sondern auch im Hinblick auf Gestaltung von einem komplexen Konditionensystem bestehend aus Rabatten und Boni denkbar. Des Weiteren ist die Kundenkomplexität zu erwähnen, die sich aus der Bedienung unterschiedlichster Kundengruppen und-segmente ergeben kann.[8] Durch die allgemeine Marktentwicklung hin zu Käufermärkten wurden seitens der Unternehmen immer mehr Anstrengungen unternommen, eine möglichst große Kundenzufriedenheit sicher zu stellen. Dies führt unweigerlich zu einer Zielkomplexität, da neben den übergeordneten Unternehmenszielen wie Gewinnerwirtschaftung, eine Vielzahl an kleineren Zielen wie eine geringe Lieferzeit treten. Oftmals stehen jene sogar konträr zu den primären Unternehmenszielen.[9] Aufgrund der starken Zusammenhänge der einzelnen Komplexitätsformen ist eine Definition schwer. Adam versteht unter Komplexität „die Gesamtheit aller Merkmale eines Zustands oder Objekts im Sinne von Vielschichtigkeit“[10]. Dies ist sehr allgemein gehalten, wenn man die oben genannten Arten der Komplexität betrachtet. Schuh integriert in die Definition der Komplexität eine zeitliche Komponente die besagt, dass es sich bei der Komplexität um „eine Eigenschaft von Systemen [handelt], [die] in einer gegebenen Zeitspanne eine große Anzahl von verschiedenen respektive ungeheuer viele Zustände annehmen [..] können […], was deren geistige Erfassung und Beherrschbarkeit durch den Menschen erschwert.“[11]

Komplexität lässt sich in interne und externe Komplexität unterteilen. Interne Komplexität ergibt sich aus dem Bestreben von Unternehmen durch die Betätigung in Nischen, wobei das Ziel ist, ein Wegbrechen der Absatzzahlen in den s.g. Volumenmärkten aufzufangen. Dadurch sind kurzfristig Gewinne zu erzielen. Durch die sich ständig ändernden Marktanforderungen besteht allerdings die Gefahr für das

[7] Vgl.: Schuh, 2005, S.3f.
[8] Vgl.: Olbrich, 2000, S.3
[9] Vgl.: Adam, 1998, S.7f.
[10] Adam, 1998, S.6
[11] Schuh, 2005, S.5

Unternehmen, das Kerngeschäft durch die Bedienung immer neuer Nischen aus den Augen zu verlieren. Durch das Nischengeschäft steigen die Komplexitätskosten enorm, was bei zu geringer Fokussierung auf den Volumenmarkt zu Preisanstiegen führt, da die Nischensegmente in aller Regel unattraktiver sind. Somit verliert das Unternehmen an Wettbewerbsfähigkeit. Ein weiterer Aspekt interner Komplexität ist der Produktlebenszyklus. Hierbei ist zu beobachten, dass dieser immer kürzer wird oder auch durch das Einführen erweiterter Varianten nicht mehr klar definiert werden kann. Des Weiteren werden seitens der Unternehmen tendenziell weniger alte Produktvarianten eliminiert als neue eingeführt werden. Diesen Umständen der Zunahme interner Komplexität wird versucht, durch geeignete Maßnahmen entgegen zu wirken.[12]

Bei der externen Komplexität hingegen ergibt sich eine zunehmende Unbeherrschbarkeit. Durch die zunehmende Angleichung der Qualitäts- und Technologieniveaus auf der Angebotsseite ist der Kunde zum einen immer weniger bereit einen Mehrpreis zu bezahlen, da der Mehrwert nicht mehr deutlich wird. Zum anderen ist die angebotene Vielfalt wesentlich diversifizierter geworden. Durch hohe Flexibilität und viele Möglichkeiten der Konfiguration wird versucht, den Kundenstamm zu erhalten und gegebenenfalls zu erweitern. Aufgrund der vielfach generell nachteiligen Kostenstruktur und dem überproportionalen Anstieg der Komplexitätskosten durch das Nischengeschäft, hat die externe Komplexität in Form der Kundenwünsche unter Umständen verheerende Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.[13]

Daraus folgernd ist zu sagen, dass eine zu hohe Kundenorientierung am Markt sowie die Vernachlässigung des Volumengeschäfts mitunter schädlich sein und durch die hohe Komplexität und die starken innerbetrieblichen Effizienzverluste ruinöse Resultate beim Unternehmen zur Folge haben kann.[14] Die zunehmende Produktion von Exoten führt des Weiteren zu einer Quersubventionierung durch die Massenprodukte, da aufgrund der nicht genau zu determinierenden Kostenanstiege bei Zunahme der Varianz die Exoten preislich tendenziell zu niedrig angesiedelt sind. Dadurch wird das Unternehmen gegenüber den Konkurrenten mit einem kleineren Sortiment sukzessive wettbewerbsunfähiger.[15]

### 2.1.1 Kosten der Komplexität

Durch hohe Komplexität entsteht für das Unternehmen eine Vielzahl zusätzlicher Kosten. Im Bereich der Teilekomplexität muss eine größere Anzahl an Teilen und Baugruppen beschafft werden, die in der Folge ebenfalls gelagert und verwaltet

[12] Vgl.: Schuh, 2005, S.15ff.
[13] Vgl.: Schuh, 2005, S.17f. musst du das immer wieder ausscheiben? Geht nicht: Vgl.: ebd. S. 17f
[14] Vgl.: Schuh, 2005, S.19f.
[15] Vgl.: Schuh, 2005, S.21

werden müssen. Die Fertigung wird komplexer, weil die Planung der Losgrößen schwieriger wird und zahlreichere Umrüstvorgänge den Produktionsfluss behindern, was die gesamte Fertigung komplizierter macht. In Bezug auf die Kundenkomplexität werden Marketing und Vertrieb durch die steigende Anzahl an Varianten und damit einhergehenden Kundengruppen aufwändiger, da beispielsweise die Schulung der eigenen Mitarbeiter häufiger erfolgen muss.[16] Dem steht gegenüber, dass durch eine Erweiterung des Angebots durch die Entwicklung neuer Varianten die Erlöse eines Unternehmens lediglich unterproportional steigen, aufgrund der Tatsache, dass mit den neuen Varianten am Markt kaum noch neue Kunden gewonnen werden können. Die Kosten hingegen steigen überproportional, da variantenfixe Kosten entstehen, die nur noch von einer relativ geringen Anzahl an Abnehmern getragen werden. Somit sorgen die Kosten für neue Materialien, Rüstvorgänge und beispielsweise der Entwicklung für diesen außergewöhnlichen Kostenanstieg.[17] Ferner kommt es zum Aufbau von Opportunitätskosten innerhalb des Unternehmens. Diese Kosten entstehen dadurch, dass einzelne Ressourcen nicht mehr optimal und auf die unmittelbare Wertschöpfung im Unternehmen verwendet werden können, da sie zur Bewältigung der durch die Variantenvielfalt generierten Komplexität verwendet werden müssen. Zu den Opportunitätskosten zählen auch die Kosten die sich durch die Kannibalisierung ergeben. So können Marktanteile, die mit Varianten aus dem alten Sortiment abgedeckt wurden nun durch eine neue Variante bedient werden, wodurch die alte Variante zumindest teilweise aus Sicht des Kunden obsolet wird.[18]

> *„Komplexitätskosten sind relativ zu einem Ausgangskomplexitätsgrad zu definieren. Komplexitätskosten in Bezug auf eine bereits bestehende Komplexität sind zusätzliche Kosten, die aufgrund der Bewältigung einer erhöhten Komplexität entstehen.“*[19]

Oben stehende Definition zeigt bereits, dass die Bestimmung der Komplexitätskosten nicht einer konkreten Berechnung folgen kann und somit nur als Veränderung der innerbetrieblichen Kostenstruktur verstanden wird, die sich bei einer Änderung im Produktprogramm des Unternehmens, beispielsweise durch die Einführung neuer Varianten, ergibt. Dabei können die einzelnen Komponenten der Kosten, die lediglich auf neue Variante bezogen werden, nicht genau abgegrenzt werden. So lägen bei einer Produktion von lediglich einer Variante und einer Produktion, die gänzlich ohne Arbeitsteilung arbeitet, keine Komplexität und somit auch keine Komplexitätskosten vor. Durch diese Verflechtung der Komplexitätsarten, die nicht sinnvoll abzuspaltenden Kostenanteile und die fehlende, konkrete Zuordnungsmöglichkeit zu

[16] Vgl.: Adam, 1998, S.7f.
[17] Vgl.: Olbrich, 2000, S.1
[18] Vgl.: Schuh, 2005, S.46
[19] Olbrich, 2000, S.5

den Varianten, ist eine gezielte Operationalisierung der Komplexitätskosten im Sinne von best-practice unmöglich.[20]

Unstrittig hingegen ist, dass Komplexität im Unternehmen gewisse Kosten- und Erlöswirkungen hat. Diese Aspekte können zum einen positiver, als auch negativer Natur sein. In Bezug auf die Ausstattungsmerkmale eines Produktes kann man exemplarisch die Wirkung der Komplexität auf Absatz und Kosten mit steigender Produktkomplexität folgendermaßen darstellen:

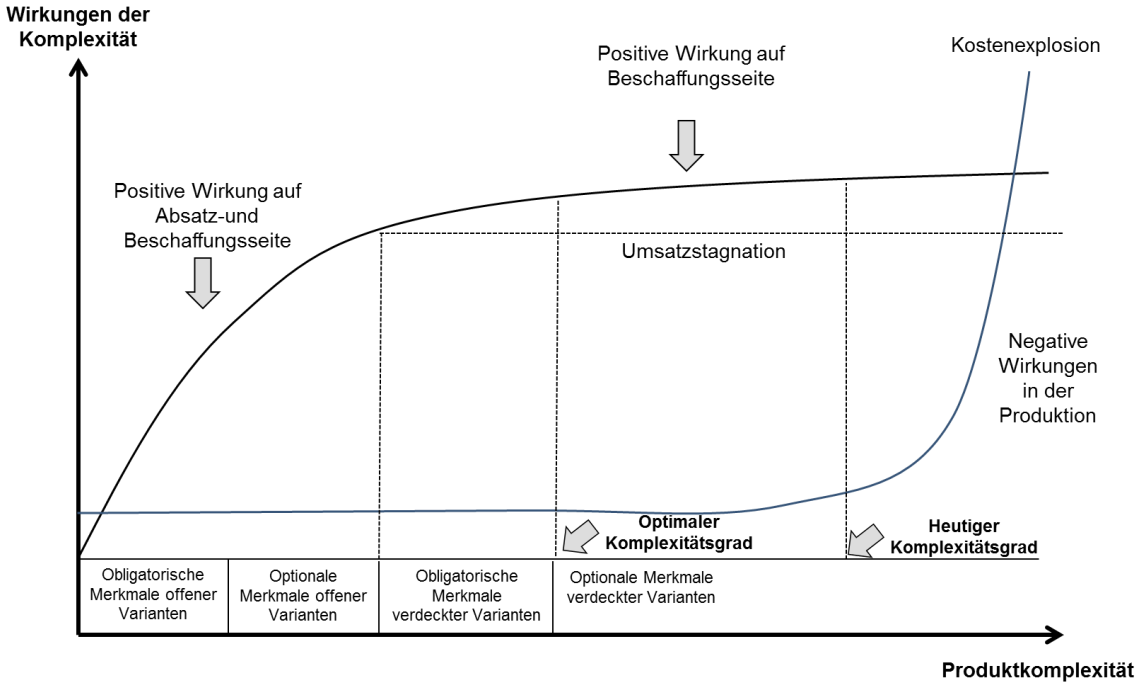



**Abbildung 2-2: Beispiele für positive und negative Wirkungen der Komplexität**[21]

Abbildung 2-2 zeigt, wie sich Absatz und Kosten bei Komplexitätszunahme durch Einführung neuer Varianten verhalten können. Hierbei wird zwischen offenen und verdeckten Varianten unterschieden. Offene Varianten sind vom Kunden direkt sicht- und wählbar. Wie auch bei den verdeckten Varianten existieren hier s.g. Kann- und Muss-Bausteine. Am Beispiel eines Fahrzeugs wären diese z.B. die Wahl eines Motors und eines Navigationssystems. Die verdeckten Varianten wären beispielsweise Schaltgetriebe, die von verschiedenen Herstellern zugeliefert werden.[22]

Bei der Betrachtung des Kurvenverlaufs ergibt sich zuerst eine positive Auswirkung, die sich insbesondere auf der Absatzseite zeigt. Durch die steigende Absatzzahl werden sich ebenfalls Vorteile im Bereich des Einkaufs und der Beschaffung ergeben, was das Umsetzen von Skaleneffekten ermöglicht. Bei weiterer Zunahme

[20] Vgl.: Olbrich, 2000, S.5
[21] Olbrich, 2000, S.11
[22] Vgl.: Olbrich, 2000, S.8

der Komplexität durch eine höhere Varianz bei den obligatorischen, verdeckten Varianten ergeben sich nur noch Vorteile auf der Beschaffungsseite, da der Mehrwert von Seiten des Kunden nicht mehr wahrgenommen werden kann. So können hier ggf. Kostenvorteile durch einen Zuliefererwechsel entstehen. Damit ist das Optimum der Komplexität erreicht, weil der Absatz ab diesem Zeitpunkt in eine Phase der Stagnation übergeht. Bei einer weiteren Zunahme der Variantenvielfalt werden die negativen Auswirkungen, insbesondere in der Produktion durch die steigende Komplexität, immer größer, was schließlich in einer Kostenexplosion münden kann. Somit müsste der Hersteller bei einer solchen Entwicklung zuerst die Teilevielfalt der verdeckten Varianten reduzieren.[23]

Kostenseitig lässt sich das Kostenoptimum in Bezug auf die Produktvielfalt an einer Stückkostendegression darstellen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass durch die erhöhte Verwendung von Gleichteilen oder bereits bestehenden Baugruppen s.g. Partizipationseffekte realisiert werden können. Hierbei sinken nicht nur die Initialkosten wie Aufwendungen für die Entwicklung einzelner Module oder Baugruppen, sondern auch die produktspezifischen Stückkosten, weil die höhere Wiederholungsrate bei Zukaufprodukten oder auch Fertigungsschritten zu Einsparungen führt, die „varianteninduzierte Mehrkosten ganz oder teilweise kompensieren“[24] können. Dafür ist allerdings das Vermeiden von Kannibalisierungseffekten mit anderen Varianten eine unabdingbare Voraussetzung.

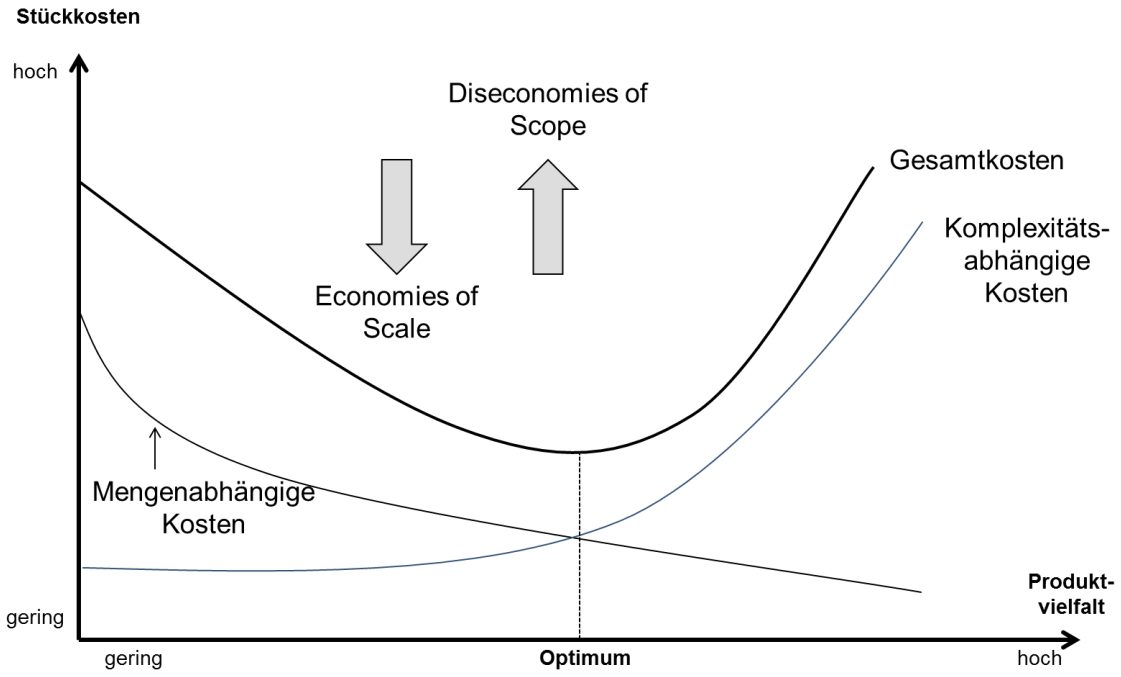



**Abbildung 2-3: Kostenoptimale Produktvielfalt[25]**

[23] Vgl.: Olbrich, 2000, S.11
[24] Schuh, 2005, S.48
[25] Schuh, 2005, S.48

### 2.1.2 Komplexitätsmanagement

Die durch Komplexität veranschaulichten, auftretenden Probleme müssen innerbetrieblich kontrolliert und koordiniert werden. Hierzu ist die Implementierung eines Komplexitätsmanagements notwendig. Dabei muss versucht werden, die Herausforderungen, die sich aus der Überschneidung zwischen interner und externer Komplexität ergeben in Einklang zu bringen. Während sich das Variantenmanagement auf das Produkt oder das Sortiment bezieht, indem es versucht, eine größtmögliche Marktabdeckung durch die angebotenen Varianten zu erzielen, zielt das Komplexitätsmanagement darauf ab, das unternehmerische Gesamtsystem in allen relevanten Bereichen zu steuern. Dies verhindert eine sich negativ auswirkende Komplexität und bleibt somit beherrschbar.

Grundsätzlich stehen hierbei zwei verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Einerseits kann das Unternehmen Komplexitätsreduktion betreiben. Dabei werden im Rahmen des Variantenmanagements s.g. Exoten eliminiert. Ebenfalls denkbar ist, bestimmte Pakete zu definieren oder Kombinationszwänge vorzugeben. Konstruktionsseitig können variantenübergreifende Module und Baugruppen entwickelt werden, um die Gleichteileverwendung zu erhöhen und so einerseits den Konstruktionsaufwand, aber auch die Anzahl der Lieferanten zu verringern. Weiterhin kann durch die Veränderung der Wertschöpfungstiefe erreicht werden, dass gewisse komplexitätssteigernde Schritte hin zum Kunden oder zum Zulieferer ausgelagert werden. Dies ist immer dann sinnvoll, wenn der betreffende Arbeitsschritt an anderer Stelle in der Wertschöpfungskette simpler umgesetzt werden kann.[26]

Im Bereich der Beherrschung der Varianten ist wichtig die Variantenbildung möglichst weit hinten im Fertigungsprozess des Produktes anzusiedeln. Durch diese späte Öffnung des Variantenbaums wird erreicht, dass die Komplexität auch bei variantenreichen Produkten beherrschbar bleibt. Hierbei kann wieder die Bildung von Produkt- und Modulgruppen helfen, die in der vorgelagerten Fertigung eine Vereinheitlichung ermöglicht. Eine weitere Möglichkeit der Beherrschung besteht in der Gestaltung eines flexiblen Fertigungssystems. In Verbindung mit der Implementierung des Computer Integrated Manufacturings (CIM) kann die Produktion derart nivelliert werden, dass sich auch die Fertigung von Varianten mit kleinen Losgrößen rentiert.[27] Es bleibt hingegen zu beachten, dass eine flexible Fertigung generell die Gemeinkosten steigen lässt woraus resultiert, dass die Stückkosten von Massenvarianten steigen. Diese werden nun ebenfalls im Rahmen der flexiblen Fertigung produziert, wobei es dabei günstiger wäre, sie in einer weniger flexiblen Produktion und den damit einhergehenden Verfahren herzustellen.[28]

[26] Vgl.: Olbrich, 2000, S.16f.
[27] Vgl.: Olbrich, 2000, S.17
[28] Vgl.: Adam, 1998, S.25f.

Es gilt also immer abzuwägen, inwiefern das Komplexitätsmanagement im Unternehmen konkret umgesetzt wird. Dabei ist erwiesen, dass Unternehmen mit zu hoher Komplexität am Markt nicht erfolgreich agieren können, da sie den Kundenvorgaben in Bezug auf Preis, Qualität und Lieferzeit nicht entsprechen können. Somit muss die Komplexität von Seiten des Managements auf ein optimales Maß gebracht werden, was nur durch ein integriertes Konzept erreicht werden kann. Isolierte Initiativen, die sich beispielsweise lediglich mit der Kostensenkung befassen, sind nicht zielführend.[29] Der optimale Komplexitätsgrad ist dann erreicht, wenn die Unternehmenskomplexität nicht minimiert, sondern der Situation angepasst wurde. Interne und externe Komplexität befinden sich im Optimum somit im Gleichgewicht. Bei Vorhandensein eines gut funktionierenden Komplexitätsmanagements sind generell höhere Komplexitätsgrade möglich. So zieht man gegenüber dem Mitbewerber einen direkten Wettbewerbsvorteil, der auch als Markteintrittsbarriere für künftige Mitbewerber genutzt werden kann.[30]

## 2.2 Produktstruktur

*„Unter einer Produktstruktur versteht man die strukturierte Zusammensetzung des Produktes aus seinen Komponenten. Baugruppen und Einzelteile führen dabei zu Strukturstufen, indem sie Komponenten auf tieferer Ebene in der Produktstruktur zusammenfassen.“*[31]

Die Komplexität eines Produktes wird anhand der Produktstruktur illustriert. Dazu muss das zu betrachtende Objekt zum einen bekannt sein und zum anderen transparent abgebildet werden können, wodurch wird die Zusammensetzung wiedergespiegelt werden kann. Mittels der Produktstruktur sollen Vereinfachungen wie die Gliederung der Komponenten verfolgt werden, auf deren Basis dann die Stücklisten, Konstruktionsprozesse oder die Datenverarbeitung effizienter gestaltet werden können. Beispielsweise reduziert eine gute Produktstruktur den Teileumfang, wodurch eine effizientere Lagerhaltung und Skaleneffekte durch Mehrfachverwendung ermöglicht werden.[32]

Meistens finden sich über die Zeit organisch gewachsene Produktstrukturen in Unternehmen, die wenig systematisiert sind. Grundsätzlich sollte die Strukturierung im Rahmen eines interdisziplinären Teams aus Teilnehmern aller an der Wertschöpfung unmittelbar beteiligten Organisationseinheiten erfolgen, damit die Produktstruktur abteilungsübergreifend auch im Bereich des Datenmanagement implementiert werden kann. Bei der Erstellung sollten der Zielmarkt und das

[29] Vgl.: Schuh, 2005, S.41f.
[30] Vgl.: Schuh, 2005, S.43f.
[31] Schuh, 2005, S.119
[32] Vgl.: Schuh, 2005, S.119

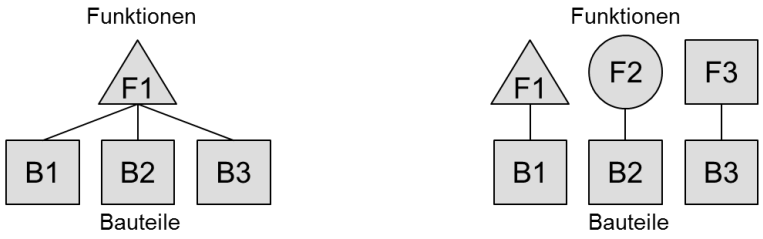
Segment fest im Auge behalten werden, da der Kundenwunsch die Ausgangsposition zur Produktstrukturierung bildet. Ein weiteres wichtiges Ziel ist die Kostenreduktion aufgrund der Wiederholungseffekte bei Teilen und Fertigungsprozessen. Darüber hinaus können ebenfalls andere Anforderungen wie Konfigurierbarkeit über Schnittstellen und gute Wartbarkeit mit in die Strukturierung einfließen.[33]

## 2.2.1 Produktstrukturstrategien

Obwohl die Produktstruktur sehr komplex ist, existieren diverse Strukturtypen, die besonders geeignet sind, um die Komplexität im Unternehmen auf positive Weise hin zu einer Reduktion zu beeinflussen.

### Differenzial-und Integralbauweise

Bei der Differenzialbauweise werden die einzelnen Teilefunktionen in verschiedene Anbauteile verlagert. Dies führt zu einer Erhöhung des Gleichteileumfangs innerhalb der verschiedenen Varianten, wodurch sich Skaleneffekte erzeugen lassen, welche die Kosten senken. Des Weiteren wird die Bildung der Varianz in die Montage verlegt. Die Integralbauweise stellt das genaue Gegenteil zur Differenzialbauweise dar. Durch die Zusammenfassung mehrerer Funktionen in einem Bauteil wird versucht, die Anzahl verschiedener oder spezieller Bauteile für vorher definierte Funktionen zu reduzieren.[34]




**Differenzialbauweise mit einer und mehreren Funktionen**

**Integralbauweise mit einer und verschiedenen Funktionen**

**Abbildung 2-4: Differenzial versus Integralbauweise[35]**

### Baureihen

[33] Vgl.: Schuh, 2005, S.120
[34] Vgl.: Schuh, 2005, S.125f.
[35] Vgl.: Rapp 1999, S.63

Baureihen werden oftmals bei technisch anspruchsvollen Produkten verwendet und zeichnen sich dadurch aus, dass gleiche Konstruktionen in verschiedenen Größen oder Leistungsstufen angeboten werden. Der generelle konstruktive Aufbau ändert sich dabei allerdings nicht. Somit wird auch nicht die tiefergehende Produktstruktur erfasst, denn es wird keinerlei Aussage über die Zusammensetzung im Hinblick auf Bauteile und Baugruppen getroffen.[36]

**Pakete**

Bei Paketen werden die Kombinationsmöglichkeiten dahingehend eingeschränkt, dass Kombinationszwänge geschaffen werden und der Kunde zwischen verschiedenen Ausstattungsvarianten wählen muss. Eine Interpendenz und damit eine Kombinationsmöglichkeit einzelner Aspekte der einzelnen Ausstattungspakete, ist durch Kombinationsverbote ausgeschlossen. Durch das Angebot von Paketen sollen die Aufwendungen für die Entwicklung und die Disposition sinken und so die Komplexität reduziert werden.[37]

Die Charakteristika einer Produktstruktur werden von den beiden genannten Produktstrukturtypen grundsätzlich nicht erfüllt, da sie die Zusammensetzung des Produkts weitgehend ignorieren. Vielmehr handelt es sich bei Baureihen und Paketen um Instrumente zur Produktstrukturierung. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden daher die stark modularisierten Lösungen gezeigt.[38]

**Modulbauweise**

Module stellen Bauteile dar, die über gleichbleibende Schnittstellen miteinander verbunden werden können. Dabei erfüllt jedes Anbauteil eine eigene Funktion. Durch die einheitlichen Schnittstellen sind vielfältige Kombinationsmöglichkeiten gewährleistet, wobei die interne Komplexität nur moderat tangiert wird und somit gut beherrschbar bleibt. Module bieten dem Kunden gerade in Bezug auf die Wartbarkeit oder die schnellen Möglichkeiten des Auswechselns Vorteile. Dem gegenüber steht, dass evtl. Schnittstellen vorhanden sind, die nicht genutzt werden und zu Verschwendung führen..

**Baukastensystem**

Baukästen verwenden in der Regel einen oder nur sehr wenige Grundkörper, die mit entsprechenden Schnittstellen versehen sind. Im Rahmen der Montage werden mit zunehmendem Fertigungsverlauf weitere Anbauteile an die vorhandenen Schnittstellen montiert. Durch diese in größerer Varianz vorhandenen Anbauteile wird die Variantenvielfalt gesteuert. Im Vergleich zur Modulbauweise steht beim

[36] Vgl.: Schuh, 2005, S.127
[37] Vgl.: Schuh, 2005, S.128f.
[38] Vgl.: Rapp, 1999, S.53

Baukasten die Idee im Zentrum, dass die Anbauteile primär die Schnittstellen zum Grundkörper nutzen.[39]

**Plattformkonzept**

Das Plattformkonzept ist ein Spezialfall der Modularisierung. Hierbei wird angestrebt, den Lebenszyklus der Produktstruktur vom Produktlebenszyklus zu trennen und dadurch Kosten zu sparen. So soll die hohe Gleichteileverwendung im Rahmen des Plattformkonzepts über mehrere Produktreihen und damit auch Produktlebenszyklen implementiert werden und eine sehr weit vorausschauende Entwicklung voraussetzt.[40] Durch den Plattformaufbau ist es möglich bei vergleichsweise sehr begrenzter Innenwirkung einen großen Variantenreichtum am Markt anbieten und dabei ebenfalls Skaleneffekte generieren zu können. Durch die Abtrennung der einzelnen Module lassen sich schneller Neukonstruktionen realisieren, die allerdings keinen Einfluss auf die Plattform haben. So kann sich der Anbieter Wettbewerbsvorteile verschaffen, vorausgesetzt es liegen eine technische Beherrschbarkeit der Plattform und gute Kenntnisse über die Marktgegebenheiten vor. In Bezug auf die Kombinierbarkeit sind beim Plattformkonzept verschiedene Aggregationsstufen denkbar, die bei einer Plattform beginnen, an die die vorhandenen Module montiert werden können bis hin zu einer freien Kombinierbarkeit, bei der sogar kundenspezifische Module verbaut werden können. Dies wird durch die strikte Standardisierung der Schnittstellen erreicht.[41]

## 2.2.2 Modularität

*„Unter Modularisierung versteht man die geeignete Gliederung eines Produktes, indem die Abhängigkeiten zwischen den Elementen (Modulen) verringert bzw. die Schnittstellenvarianten reduziert werden“*[42]

Mit Modularität wird also versucht, eine hohe Variantenvielfalt am Markt anbieten zu können, ohne dass die interne Komplexität dahingehend beeinflusst wird, dass sie irgendwann unbeherrschbar wird. So wird mittels Modularität angestrebt die Störungen innerhalb der Fertigung beispielsweise durch Umrüstvorgänge zu minimieren, eine strikte Trennung von Standard-und Spezialteilen zu schaffen und eine Produktstruktur mit wenigen Teilen und hoher Variantenschöpfung zu schaffen.[43] Dabei existieren mehrere Arten der Modularität:

[39] Vgl.: Schuh, 2005, S.128
[40] Vgl.: Rapp, 1999, S.101f.
[41] Vgl.: Schuh, 2005, S.132ff.
[42] Schuh, 2005, S.130
[43] Vgl.: Rapp, 1999, S.59

Bei der Modularität durch Gemeinsamkeit von Bauteilen können bestimmte Teile in vielen verschiedenen Produkten eingesetzt werden. Dadurch kann der Anbieter Skaleneffekte realisieren und Kosten reduzieren.

Ähnlich der vorangegangenen Modularität ist die Modularität durch Austausch von Bestandteilen. Hierbei ist das Gleichteil im Gegensatz zum vorherigen Beispiel eher als Anbauteil innerhalb der Produktstruktur zu sehen.

Bei der Modularität durch Zuschnitt wird die Größe eines Bauteils verändert. Der grundsätzliche Aufbau des Produktes und die Schnittstellen werden bei dieser Art der Modularität nicht tangiert.

Die Bus-Modularität stellt eine Erweiterung der Modularität durch Austausch von Bestandteilen dar. So bildet der Bus eine strukturierte Basis, an der mittels der vorhandenen, standardisierten Schnittstellen verschiedenen Komponenten beliebig verbaut werden können.[44]

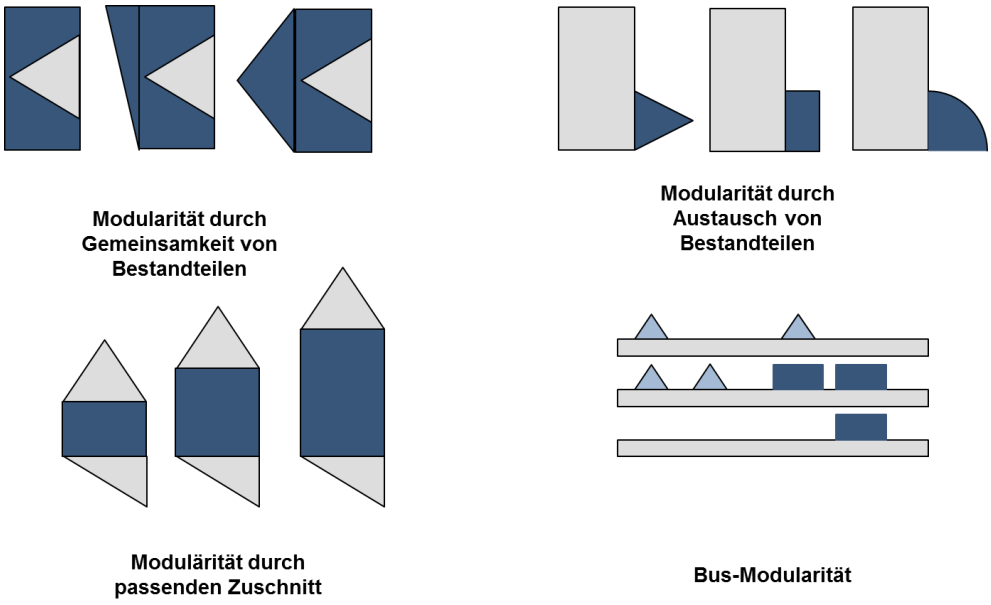



Abbildung 2-5: Arten von Modularität[45]

## 2.3 Der Kunde

Infolge der durch zunehmende Marktsättigung getriebenen Entwicklung vom Verkäufer- zum Käufermarkt wird die Kundenorientierung für Unternehmen zu einem zunehmend kritischen Erfolgsfaktor, um langfristig am Markt bestehen zu können. Dies zeigt sich nicht nur bei bestehenden Produkten, sondern auch dadurch, dass beispielsweise „zwei Drittel aller erfolgreichen Innovationen [...] vom Markt her

[44] Vgl.: Schuh, 2005, S.130f.
[45] Vgl.: Schuh, 2005, S.131

angeregt [werden]“.[46] Somit ist es unerlässlich, den Kunden ins Zentrum des Unternehmens zu rücken und einen Wechsel von der Technik- hin zur Kundenorientierung zu vollziehen.[47] Um den Kunden kennenzulernen, sind Marktanalysen als Fundament unverzichtbar, damit das Unternehmen die Ziele und Aktivitäten den spezifischen Besonderheiten des Marktes anpassen und danach seine betriebswirtschaftlichen Entscheidungen ausrichten kann.[48]

### 2.3.1 Informationsbeschaffung

Klassischerweise erfolgt die Analyse von Märkten in drei wesentlichen Schritten. Zuerst wird der Marktforschungsprozess geplant, danach die Daten erfasst und im letzten Schritt die Daten ausgewertet.

**Planung des Marktforschungsprozesses**

Innerhalb dieser Schritte existieren zahlreiche Möglichkeiten, die im Rahmen der gesamten Marktanalyse zum Ziel führen. Zuerst muss das Entscheidungsproblem so detailliert wie möglich formuliert werden. Dazu bietet sich an, ein generelles Entscheidungsproblem, das eine Marktforschungsstudie rechtfertigen soll, in kleinere Einzelprobleme oder Forschungshypothesen zu zerlegen, um zu gewährleisten, dass ein möglichst genaues Untersuchungsergebnis gewährleistet wird.[49] Um unnötige Aufwendungen für Marktforschungsprojekte zu vermeiden, muss bereits in der Formulierung des Entscheidungsproblems das Projekt auf die unternehmerische Relevanz überprüft werden. So soll verhindert werden, dass Marktforschung lediglich betrieben wird, um bloße Meinungsabsicherung einer bereits bestehenden Ansicht zu betreiben, da dies keine Erkenntnisse generiert oder lediglich Prestigegründe zugrunde liegen.[50] Basierend auf der Klärung des Entscheidungsproblems wird der Informationsbedarf ermittelt. „Es gilt diesen hinsichtlich Art, Qualität und Umfang zu klären“.[51] So kann beispielsweise mithilfe von Entscheidungsbäumen abgewogen werden, wie groß der monetäre Wert der Informationen ist. Falls die Kosten der Marktforschung höher sind als der erwartete Mehrwert durch das Projekt, bleibt dem Unternehmen beispielsweise immer noch die Wahl, ein Produkt gänzlich ohne vorherige Marktforschung einzuführen. Da das Entscheidungsbaumverfahren auf Wahrscheinlichkeiten beruht, muss erwähnt werden, dass restliche Unsicherheiten nicht gänzlich ausgeräumt werden können. Der betreffende Manager ist in jedem Fall jedoch gezwungen, sich mit der Fragestellung auseinander zu setzen.[52]

[46] VDI, 1998, S.59
[47] Vgl.: Klein, 1999, S.34
[48] Vgl.: Böhler 2004, S.19
[49] Vgl.: Esch, 2008, S.90
[50] Vgl.: Berekhofen, 2006, S.33
[51] Esch, 2008, S.90
[52] Vgl. Esch, 2008, S.91f.

Im nächsten Schritt wird die Studienart ausgewählt. Hierbei wird zwischen explorativ, deskriptiv und kausal unterschieden. Explorative Untersuchungen dienen dazu, bisher unbekannte Forschungsfelder zu ergründen. Dadurch können Fragestellungen eingegrenzt oder Forschungshypothesen abgeleitet werden, die zu einer Schärfung der vorher unbekannten Thematiken dienen. Hierzu bieten sich beispielsweise Fallstudien an. Jene untersuchen einzelne Sachverhalte detailliert und lassen allgemeine Rückschlüsse nicht bzw. nur in geringem Umfang zu. Denkbar sind in der explorativen Studienart auch Experteninterviews, wobei hier zu bedenken ist, dass bei der Befragung hochspezialisierter Fachleute die Gefahr einer einseitigen Betrachtungsweise besteht.[53] Um aktuelle Situationen im Markt abzubilden, bieten sich deskriptive Beschreibungsmethoden an. So können im Rahmen dieser Studienart beispielweise Kundenstrukturen im Hinblick auf ihre spezifischen Merkmale oder Marktanteile erforscht werden. Die Ziele der Forschung sind hier im Gegensatz zur explorativen Studie von vorn herein bekannt.[54] Die Analyse kann deskriptiv im Längs- oder Querschnitt erfolgen. Beim Längsschnitt werden Datenerhebungen zu verschiedenen Zeitpunkten stattfinden und somit Veränderungen sichtbar. Beim Querschnitt werden Daten zu einem Zeitpunkt erhoben, um konkrete Markttatbestände aufzudecken.[55] In der kausalen Untersuchung werden Ursache-Wirkungs-Beziehungen ergründet, die helfen sollen, verlässliche Aussagen über die Änderungen spezifischer Variablen zu machen. Dies geschieht primär über die Absicherung durch Experimente mit denen im Nachgang einer Werbekampagne beispielsweise untersucht werden kann, ob ein Umsatzzuwachs auf die konkrete Kampagne zurückzuführen ist.[56]

Bei der Auswahl des Datentyps unterscheidet man zwischen Primär- und Sekundärforschung. Bei der Primärforschung kann nicht auf einen vorhandenen Datenbestand zurückgegriffen werden und die Daten müssen speziell für die Untersuchung erhoben werden. Dadurch sind sie extra auf den Untersuchungsgegenstand zugeschnitten. [57] In der Sekundärforschung kann man auf bereits vorhandene Datenbestände zugreifen. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Daten aus unternehmensinternen oder unternehmensexternen Quellen generiert werden. Dabei sind Datenqualität und Umfang bei unternehmensinternen Daten direkt abhängig von der Güte des verwendeten Informationssystems und der internen Datenstruktur.[58] Gegenüber einer Primärerhebung erhält man durch die

[53] Vgl.: Esch, 2008, S.92
[54] Vgl.: Esch, 2008, S.92f.
[55] Vgl.: Böhler, 2004, S.38ff.
[56] Vgl.: Esch, 2008, S.93
[57] Vgl. Esch, 2008, S.93
[58] Vgl.: Berekoven, 2006, S.43

Sekundärerhebung eine Zeit- und Kostenersparnis, wobei die Daten nicht aktuell sein können oder nicht auf die konkrete Fragestellung zugeschnitten sind.[59]

Im nächsten Schritt muss entschieden werden, ob die Marktforschung als Eigen- oder Fremdforschung umgesetzt wird. Die Eigenforschung wird mit unternehmensinternen Ressourcen durchgeführt, die den Vorteil hat, dass die Vertraulichkeit gewährleistet ist und das Marktforschungsprojekt im Hinblick auf Qualitäts- und Kostenaspekte leicht kontrolliert werden kann. Für die Fremdforschung spricht, dass einerseits eine höhere Objektivität vorhanden ist und gerade bei personalintensiver Forschung die Fremdforschung die günstigere Alternative darstellt.[60]

**Daten erfassen**

Im nächsten Schritt müssen die für die Marktforschung notwendigen Daten erfasst werden. Hierzu stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Die bedeutendste Methode der Primärdatengewinnung ist die Befragung. Befragungen können nach dem Adressatenkreis gegliedert werden. So kann man beispielsweise eine Expertenbefragung durchführen, bei der ausgewiesene Spezialisten zu einem bestimmten Sachverhalt interviewt werden. Der Vorteil dieser Methode ist, dass Experten in der Regel als neutral einzustufen sind und daher keine persönliche Meinungsbildung in den Befragungsprozess einfließt. Der Nachteil hingegen besteht darin, dass aufgrund der fachspezifischen Arbeitsweise der Experten eine sehr einseitige Meinung dargestellt wird.[61] Bei Vorhandensein einer Vertriebsstruktur mit Absatzmittlern kann eine Händlerbefragung durchgeführt werden. Im Gegensatz zum Experten kann der Händler nicht als neutraler Beobachter gelten, weil er unmittelbar in das Unternehmen eingebunden ist. Die Händlerbefragung eignet sich somit weniger, um Daten über den Endverbraucher zu gewinnen. Jedoch ist beispielsweise die Schätzung von Absatzzahlen ein Themenfeld zu dem der Händler aufgrund seiner Marktkenntnis gut befragt werden kann. Hinzu kommt die Tatsache, dass diese Form der Datenerhebung sehr einfach und günstig ist.[62] Den häufigsten Fall stellt die Verbraucherbefragung dar. Nicht nur bei Konsumgütern sondern auch bei Investitionsgütern ist es oftmals ratsam, Datenerhebung beim Endverbraucher durchzuführen. Grundsätzlich wird allerdings der direkte Abnehmer des Herstellers befragt.[63]

In Bezug auf den Modus der Befragung können ebenfalls unterschiedliche Ansätze gewählt werden. Bei quantitativen Verfahren werden mittels standardisierter Fragebögen eine große Anzahl an Kunden befragt. Ziel dabei ist es, eine

[59] Vgl.:Berekoven, 2006, S.42
[60] Vgl.: Esch, 2008, S.95f.
[61] Vgl.: Hüttner, 2002, S.68
[62] Vgl.: Hüttner, 2002, S.69
[63] Vgl.: Hüttner, 2002, S.70

repräsentative Grundgesamtheit zu erreichen, wodurch die Daten später statistisch ausgewertet werden können und vergleichbar gemacht werden. Die qualitativen Verfahren behandeln wesentlich kleinere Fallzahlen, wodurch die Möglichkeit besteht, detaillierte Informationen zu Themengebieten zu gewinnen. Die Befragung ist nicht standardisiert, so dass maximal ein grober Leitfaden für die Gesprächsführung eingesetzt wird. Die qualitative Befragung kann in s.g. Tiefeninterviews mit nur einer Person oder auch im Rahmen von Gruppendiskussionen durchgeführt werden.[64] Befragungen können mündlich oder schriftlich ablaufen. Eine Möglichkeit der mündlichen Befragung ist die direkte Befragung oder das Interview per Telefon, wodurch ein direkter Kundenkontakt besteht. Dadurch ist der Rücklauf sehr gut, wodurch eine gut auswertbare Datenbasis entsteht. Nachteilig ist hingegen der hohe Zeit- und Kostenaufwand der Methode. Dem gegenüber kann die Befragung schriftlich erfolgen. Hierbei ist zu bedenken, dass die Rücklaufquote sehr gering ist und oftmals nicht alle repräsentativen Probanden erreicht werden und die Studie folglich weniger aussagekräftig werden kann. Positiv zu bewerten ist hingegen der vergleichsweise geringe finanzielle Aufwand. Bei der Gestaltung des Fragebogens sollte beachtet werden, dass ein Aufbau erfolgt, bei dem die Befragten erst durch allgemeine Fragen aufgewärmt werden, bevor die Sachfragen folgen. Die Fragen sollten sich innerhalb des Fragebogens nicht gegenseitig beeinflussen und der Einsatz von Kontrollfragen sollte das Ergebnis untermauern. Abschließend sollten die Fragen zur Person beantwortet werden.[65]

Daten können ebenfalls aus Beobachtung gewonnen werden. Dabei wird versucht, bestimmte Handlungen zu erfassen, die bei Befragungen nicht erkannt werden können, weil es sich um unbewusste Handlungen handelt. Die Datenerhebung kann durch Beobachter erfolgen. Es muss jedoch beachtet werden, dass nicht zu viele Beobachtungsmerkmale untersucht werden sollen, da der Beobachter sonst schnell überfordert wird. Für gute Ergebnisse sollte der Beobachter möglichst wenig an der Situation partizipieren, da so individuelle Einflüsse seitens des Beobachters ausgeschlossen oder zumindest minimiert werden können.[66] Die Beobachtung kann auch mit Hilfe technischer Hilfsmittel erfolgen. Die Bandbreite reicht dabei von einfachen technischen Hilfsmitteln wie Lichtschranken zur Zählung von Probanden bis hin zu komplizierten Einrichtungen, die beispielsweise mit Hilfe von Videotechnik den Fokus des Kunden erfassen. So kann analysiert werden, wie z.B. Bilder oder Verpackungen auf den Kunden wirken.[67]

[64] Vgl.: Esch, 2008, S.104
[65] Vgl.: Esch, 2008, S.106ff.
[66] Vgl.: Hüttner, 2002, S.160f.
[67] Vgl.: Hüttner, 2002, S.162f.

**Daten auswerten**

Die Datenauswertung erfolgt in folgenden Schritten:

1. Datenaufbereitung und Datensichtung
2. Datenverdichtung
3. Datenzusammenhänge analysieren
4. Präferenzen analysieren
5. Datengüte beurteilen

Im Rahmen der Datenaufbereitung und -sichtung werden die Daten in Matrizen überführt, wodurch die absoluten und relativen Häufigkeiten ermittelt werden können. Im Anschluss können statistische Lageparameter wie der Median bestimmt werden. In der Datenverdichtung werden die Daten z.B. durch Clusteranalysen strukturiert und in Bezug zu den relevanten Fragestellungen gesetzt. In der Analyse der Datenzusammenhänge wird anschließend unter Einsatz von Regressionsanalysen untersucht, inwieweit bestimmte Faktoren Einfluss auf andere Variablen haben. So kann man beispielsweise untersuchen inwieweit das Werbebudget Einfluss auf den Absatz hat. Bei der Präferenzanalyse wird darauf folgend untersucht, welche Eigenschaften eines Produktes beim Käufer Ausschlag für den Vorzug gegenüber einem anderen Produkt geben. Hierzu eignen sich Cojoint-Analysen, bei denen der Käufer zwischen verschiedenen Produktpaketen wählen kann und anschließend zu seiner Wahl befragt wird. Bei der Beurteilung der Datengüte muss überprüft werden, ob im Sinne der Reliabilität eine Wiederholung des Experiments zu gleichen Ergebnissen führen würde. Oder ob im Rahmen der Validität auch der Messgegenstand richtig erfasst wurde, die Daten generalisierbar sind und somit allgemeingültige Aussagen zulassen und ob die Analysemethode richtig gewählt wurde.[68]

Im Bereich der Investitionsgütermärkte kommen oftmals Techniken zum Einsatz, die weniger auf die Gewinnung quantitativer Daten abzielen, als auf die Entwicklung qualitativer Erhebungen, um Zusammenhänge und relevante Probleme in ihren Wirkungen zu erkennen.[69] Eine andere Methodik, die Kundenwünsche im Rahmen der Produktentwicklung einfließen zu lassen, ist das Bottleneck Engineering. Hierbei soll die Stimme des Kunden möglichst unverfälscht in den Entwicklungsprozess einfließen. Die Methode soll sich von dem tendenziell westlichen Ansatz der Datenerhebung und Analyse, der oftmals in vorgegebenen Denkmustern abläuft, distanzieren und bewirken, dass sich das Unternehmen von Entwicklungsbeginn an mit den Kundenwünschen auseinandersetzt.[70]

[68] Vgl.: Esch, 2008, S.119ff.
[69] Vgl.: Backhaus, 2010, S.162
[70] Vgl.: Klein, 1999, S.26

Basis dieses Vorgehens ist nicht der Versuch das Produkt zu verkaufen, sondern mit den potenziellen Kunden über technische Einsatzmöglichkeiten und Erfüllungsgrade zu diskutieren, um das Produkt durch den so gewonnenen Input zu optimieren. Das Bottleneck Engineering ist somit ein „Konzept [das] beschreibt, wie Kundenwünsche zu erfassen, auszuwerten und in eigene Entwicklungsvorgaben umzumünzen sind“.[71] So werden nach der konkreten Eingrenzung und Definition der relevanten Kunden, alle Aussagen über das Produkt unstrukturiert gesammelt. Dabei erfolgt im ersten Schritt keinerlei Einordnung oder Bewertung seitens des Rezipienten. Aufgrund der Tatsache, dass durch die große Anzahl viele redundante oder unscharf formulierte Aussagen gesammelt werden, sollen innerhalb einer dreistufigen Kaskade die primären Kundenaussagen in sekundäre Definitionen und im letzten Schritt in konkrete tertiäre technische Spezifikationen übersetzt werden.[72] Nach der Sammlung der Kundenbedürfnisse müssen diese in s.g. Clustern zusammengefasst werden. Dies soll idealerweise innerhalb eines interdisziplinären Teams stattfinden, um die verschiedenen unternehmensinternen Sichtweisen auf das Produkt einzubeziehen und bereits im Vorfeld der Produktentwicklung alle an der Entwicklung beteiligten Bereiche zu einem Konsens über die konkreten Produktziele zu bewegen.[73] Danach erfolgt seitens des Teams eine Bewertung und Auswahl der wichtigsten Produktmerkmale und die Übersetzung in konkrete technische Anforderungen. Diese bilden abschließend die für alle Abteilungen gültigen Produktziele, die erreicht werden sollen.[74]

Neben den beschriebenen Möglichkeiten der Beschaffung externer Informationen über den Kunden können zur Informationsbeschaffung ebenfalls unternehmensinterne Quellen abgefragt werden, bei denen es direkten Kontakt zum Kunden gibt. So können beispielsweise Vertriebsmitarbeiter oder Mitarbeiter des Beschwerdemanagements, die mit dem Kunden in direktem Informationsaustausch stehen, gute Anhaltspunkte für die tatsächlichen Kundenbedürfnisse liefern. Eine weitere Möglichkeit der Informationsbeschaffung ist der direkte Kontakt auf Fachmessen und Ausstellungen, bei dem durch Kundengespräche Primärdaten gewonnen werden können.[75]

### 2.3.2 Kundenzufriedenheit

Kundenzufriedenheit ist eine entscheidende Determinante zum Unternehmenserfolg. Zufriedene Kunden bringen eine hohe Loyalität dem Anbieter entgegen und bilden durch erneute Käufe die Absatzbasis des Unternehmens. Dabei führt beispielsweise eine höhere Produktqualität zu nachhaltiger Kundenzufriedenheit. Durch die

[71] Klein, 1999, S.27
[72] Vgl.: Klein, 1999, S.30
[73] Vgl.: Klein, 1999, S.32
[74] Vgl.: Klein, 1999, S.33
[75] Vgl.: Saatweber, 1997, S.65 ff.

entstehende Kundenbindung können auf monetärer Ebene Aufwendungen für die Wiedergewinnung abgewanderter Kunden gespart werden. Somit gibt es zur Erreichung von Kundenzufriedenheit keine Alternative als die Übersetzung der „Stimme des Kunden“ in konkrete Produkte und innerbetriebliche Prozesse.[76]

Zur Messung der Kundenzufriedenheit werden Hilfsmittel benötigt, um diese auch in einer Struktur abbilden zu können, die letztendlich als unternehmerische Kennzahl messbar wird. Dazu wurde - auch für die Untersuchung komplexer Produkte - das Kano-Modell entwickelt. Durch die Strukturierung in Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen wird erreicht, dass Produkte im Hinblick auf ihre Marktanforderungen kategorisiert werden können und so Leistungen mit Mehrwert geschaffen werden, die auch zu klaren Differenzierungsmöglichkeiten gegenüber den Wettbewerbern am Markt führen können.[77]

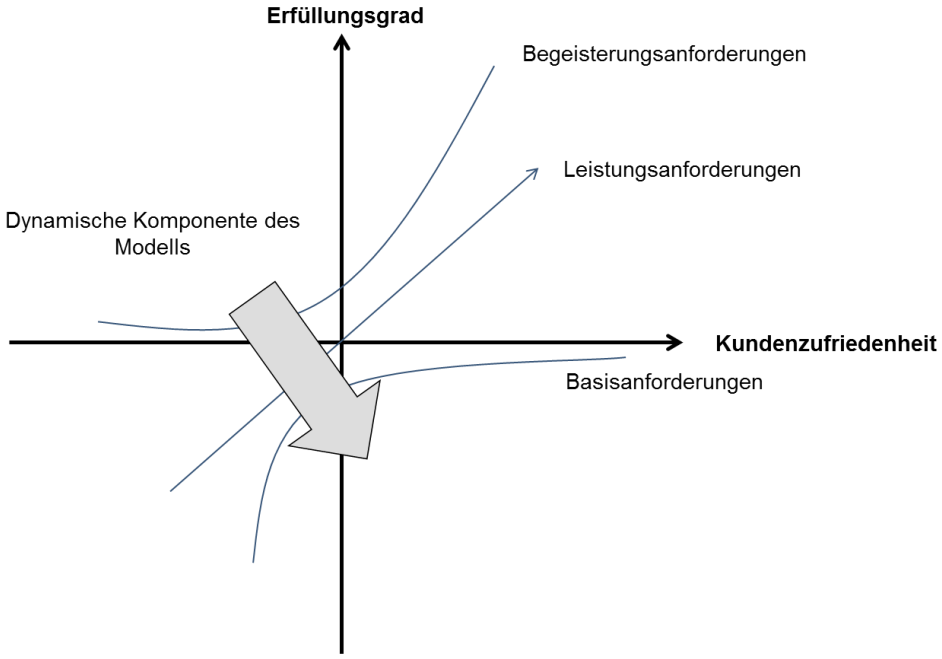



**Abbildung 2-6: Kano-Modell**[78]

Die Basisanforderungen müssen aus Kundensicht erfüllt sein, werden allerdings dadurch, dass sie vorausgesetzt werden, von der Kundenseite nicht wahrgenommen. Dies macht eine Ermittlung schwer. Basisanforderungen haben kein Potenzial auch bei extrem hohen Erfüllungsgrad die Zufriedenheit des Kunden zu steigern. Umgekehrt hingegen führt eine Nicht-Erfüllung unmittelbar zu Unzufriedenheit beim Kunden. Die Erfüllung der Basisanforderungen stellt das Fundament für die anderen Anforderungsarten dar.

[76] Vgl.: Marx, 2007, S.1
[77] Vgl.: Marx, 2007, S.2
[78] Schwarze, 2003, S.128

Leistungsanforderungen steigern die Kundenzufriedenheit proportional zum Grad der Erfüllung, sofern alle Basisanforderungen vollständig erfüllt sind. Sie werden wesentlich durch den heutigen Stand der Technik widergespiegelt, wodurch in hohem Maße das Leistungsangebot der Konkurrenz in den Vergleich mit einfließt. Aufgrund der Aktualität und der unmittelbaren Sichtbarkeit für den Kunden lassen sich die Leistungsanforderungen im Rahmen von Kundenbefragungen gut feststellen.

Begeisterungsanforderungen sind für den Kunden Neuheiten am Markt und somit durch Innovation gekennzeichnet. Dadurch, dass der Kunde von diesen Neuheiten überrascht wird, sorgen diese Anforderungen nicht nur für Kundenzufriedenheit, sondern für überproportional zunehmende Begeisterung beim Kunden. Aufgrund der Unbekanntheit ist es für das Unternehmen sehr schwierig solche Begeisterungsanforderungen im Rahmen von Umfragen zu identifizieren.[79]

Zu erwähnen ist im Zusammenhang mit dem Kano-Modell noch der dynamische Charakter. So werden über den zeitlichen Verlauf Begeisterungsanforderungen erst zu normal empfundenen Leistungsanforderungen, bevor sie nach längerer Dauer auch zu nicht mehr beachteten Basisanforderungen werden können. Ebenfalls muss man die Anforderungen segmental betrachten, da in einem mittelpreisigen Segment Applikationen als Begeisterungsanforderungen wahrgenommen werden, die im hochpreisigen Segment lediglich Leistungsanforderungen darstellen.[80]

Zufriedene Kunden reduzieren ebenfalls die Werbekosten, da sie dazu neigen, am Markt mittels positiver Mund-zu-Mund Propaganda dem Unternehmen neue Kunden zukommen zu lassen. Diese Art der Werbung wird bei potenziellen Kunden aufgrund des persönlichen Empfehlungscharakters als überaus glaubwürdig empfunden.[81]

Bei Betrachtung des Multiplikationseffektes der Mund-zu-Mund Propaganda wird klar, dass besonders die Unzufriedenheit des Kunden mitunter direkt geschäftsschädigend wirken kann. Denn „angesichts der Eigenschaften von Investitionsgütermärkten, insbesondere die begrenzte Anzahl an Abnehmern und die Multipersonalität der Entscheidungsprozesse […], birgt eine negative Mund-zu-Mund-Propaganda vor allem […] die Gefahr erheblicher Absatzprobleme“.[82] So kommen Studien zu dem Schluss, dass zufriedene Kunden dies durchschnittlich drei Personen mitteilen, wogegen unzufriedene Kunden neun weitere informieren[83]. Infolgedessen wird die Bildung eines positiven Meinungsbildes über das Unternehmen am Markt ungleich komplizierter. Bei Berücksichtigung dieses Effektes ist eine ausgeglichene Meinung über das Unternehmen erst bei einer

[79] Vgl.: Schwarze, 2003, S.129
[80] Vgl.: Schwarze, 2003, S.130
[81] Vgl.: Marx, 2007, S.1
[82] Festge, 2006, S.58
[83] Vgl. Festge, 2006, S.58

Kundenzufriedenheit von 75% erreicht. Ein Unternehmen sollte daher immer einen höheren Wert anstreben.

| Kundenzufriedenheit | Positiver Effekt | Negativer Effekt | Marktmeinung |
|---|---|---|---|
| **74%** | 74*3=222 | 26*9=234 | überwiegend negativ |
| **75%** | 75*3=225 | 25*9=225 | neutral |
| **76%** | 76*3=228 | 24*9=216 | überwiegend positiv |

Tabelle 1: Multiplikatoreffekt der Kundenzufriedenheit

## 2.4 Produktentwicklung

Produktentwicklung ist so gut wie immer eine strategische Entscheidung eines Unternehmens. So stellt sich einerseits die Frage, ob es eine Produktneuentwicklung geben soll, oder lediglich eine neue Variante, basierend auf einem existierenden Vormodell gebaut wird.

Ein weiterer wichtiger Punkt zur erfolgreichen Produktentwicklung ist die Ausrichtung des Unternehmens in Bezug auf die Strukturierung der Aufbau- und Ablauforganisation. Hier müssen klare Prozesse und Verantwortlichkeiten definiert werden, um die Produktentwicklung zum Erfolg zu führen. Da die Produktentwicklung häufig im Rahmen von Projekten abläuft findet man hier sinnvollerweise interdisziplinäre Teams, um schon im Rahmen der Entwicklung zu ermöglichen, eine 360° Rundumsicht über das Produkt zu erhalten. Unternehmen, die ihre organisatorische Struktur nicht hierarchisch, sondern entlang durchgehender Geschäftsprozesse ausgerichtet haben, sind hier im Vorteil und tun sich in der Projektorganisation leichter.[84]

### 2.4.1 Das Münchener Vorgehensmodell (MVM)

Im Rahmen der Ablaufplanung von Projekten und bei der Problemlösung existieren verschiedene Vorgehensweisen. Das einfachste ist der von Deming entwickelte PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act), bei dem ein Problem durch iteratives Durchlaufen des Zyklus gelöst wird. Ein weiterer Ansatz ist das Vorgehensmodell nach Ehrlenspiel bei dem mit erlaubten rekursiven Schleifen die Phasen „Problem klären-Lösung suchen-Lösung auswählen“ evtl. mehrfach durchlaufen werden.

Das Münchener Vorgehensmodell (MVM) dient dazu, das Vorgehen im Rahmen des zu bearbeitenden Projekts zu strukturieren. Dabei steht der erfolgreiche Abschluss des Projekts innerhalb einer vordefinierten Zeit im Mittelpunkt.

[84] Vgl. Lindemann, 2005

Das Münchener Vorgehensmodell folgt dabei einem netzwerkartigen Aufbau, der jederzeit Sprünge zwischen den einzelnen Teilaspekten zulässt (s. Abb. 1). Dieser Aufbau hat einen wesentlich größeren Realitätsbezug im Hinblick auf die Dynamik eines Projektes als sequenzielle Vorgehensmodelle mit Iterationsschleifen und ist somit flexibler.

**Abbildung 2-7: MVM-Schema**[85]

Es besteht aus sieben Elementen:

- Ziel planen
- Ziel analysieren
- Problem strukturieren
- Lösungsideen ermitteln
- Eigenschaften ermitteln
- Entscheidungen herbeiführen
- Zielerreichung absichern

Im Punkt „Ziel planen“ werden die Einflussfaktoren und die vom Kunden geforderten Anforderungen an das Produkt gesammelt. Beim „Ziel analysieren“ als nächste Stufe „werden konkrete und detaillierte Anforderungen an das neue Produkt geklärt“.[86] Der Schritt „Problem strukturieren“ soll Handlungsschwerpunkte festlegen. Dabei wird der Fokus auf eine Zerlegung in Teilprobleme und die Identifizierung von technischen Zielkonflikten gelegt. Die „Ermittlung von Lösungsideen“ zielt auf die Lösung der Teilprobleme ab. Dazu können Lösungen aus vorigen Produkten oder neu entwickelte Lösungsideen herangezogen werden. „Die Kombination von alternativen Teillösungen zu möglichst optimalen Gesamtlösungsvorschlägen schließt dieses

[85] Lindemann, 2005, S.47
[86] Lindemann, 2005, S.41

Element ab“.[87] Die „Ermittlung der Eigenschaften“ dient dazu, die Lösungsalternativen für die für den Kunden relevanten Produktmerkmale zu evaluieren. Beim „Entscheidungen herbeiführen“ werden die konkreten Lösungsalternativen ausgewählt. Im letzten Element, dem „Absichern der Zielerreichung“, geht es um die Risikoabsicherung. Risiken in Bezug auf die Lösungen müssen identifiziert werden und ggf. Maßnahmenkataloge zur Beseitigung entwickelt werden.

Das MVM dient somit im Wesentlichen zur Planungshilfe, Organisation, Reflexion und Zerlegung komplexer Aufgabenstellungen.[88] Die einzelnen Methoden und Tools sind in den einzelnen Schritten des Vorgehens beheimatet und werden dort je nach Bedarf angewendet.

## 2.4.2 Entwicklung und Konstruktion

*„Unter dem Prozess der Produkterstellung versteht man den Vorgang der Erzeugung eines Produkts von der ersten Idee bzw. der Auftragserteilung bis zur Auslieferung an den Nutzer“*[89]

So muss zu Beginn dieses Prozesses von Seiten des Unternehmens interdisziplinär definiert werden, welche konkreten Eigenschaften das Produkt erfüllen muss, wobei auch Aspekte des Produktionsprozesses, des alltäglichen Gebrauchs und der täglichen Nutzung beim Endverbraucher, sowie Fragen der Entsorgung mit in die Überlegungen einbezogen werden müssen.[90]

Nachdem die Anforderungen klar definiert wurden beginnt nun der eigentliche Prozess der Entwicklung in technischer Hinsicht. In diesem Zusammenhang werden heutzutage Systematiken angewendet, die alle auf das Ziel hinaus laufen, die Zeit bis zur Markteinführung zu reduzieren. Eine Verkürzung der Time-to-market kann signifikante Vorteile bei der Gewinnung von Marktanteilen bedeuten. Untersuchungen aus der Automobilindustrie haben gezeigt, dass eine sechsmonatige Verzögerung bei der Einführung bereits Einbußen von 30% zur Folge haben kann. Eine Erhöhung des Budgets in der Entwicklung hingegen zieht nur Umsatzeinbußen von ca. 5% nach sich.[91]

Somit wird durch möglichst starke Parallelisierung von Prozessen versucht, die Entwicklungszeit auf ein Minimum zu reduzieren und dadurch schneller zur Marktteilnahme und Umsatzgenerierung zu gelangen.[92]

[87] Lindemann, 2005, S.41
[88] Vgl. Lindemann, 2005
[89] Ehrlenspiel, 2009, S.146
[90] Vgl.: Ehrlenspiel, 2009, S.147
[91] Vgl. Wildemann, 2004
[92] Vgl. Strasser, 2004

Im Rahmen der eigentlichen Produktentwicklung ist durch den hohen Parallelisierungsgrad ein gutes Projektmanagement einer der Schlüssel zum Erfolg. Bei der Erarbeitung der technischen Spezifikationen und Lösungen fließen schon in den frühen Phasen erste Überlegungen zum Herstellungsprozess mit ein. Im Laufe der Zeit entwickelt sich dies zur Planung der kompletten Prozesse. Generell ist es von Vorteil im Rahmen des Frontloadings möglichst viele Kapazitäten in frühe Phasen der Entwicklung zu verlagern, da hier eine Korrektur von entdeckten Fehlern noch vergleichsweise unkompliziert und somit günstig ist. Eine spätere Entdeckung und Behebung kostet nicht nur mehr, sondern kann für das Unternehmen auch enorme Image Schäden nach sich ziehen, die sich z.B. durch Rückrufaktionen ergeben.

Als Faustregel existiert hier die s.g. „Zehnerregel“, die besagt, dass pro Phase im Produktlebenszyklus die Kosten um den Faktor Zehn wachsen. Daher ist eine Fehlerbehebung für den Fall, dass das Produkt sich bereits im Markt befindet durch das exponentielle Wachstum zehntausendfach teurer als in einer frühen Phase der Entwicklung.[93]

In dieser Phase der Produktentwicklung sind selbstverständlich auch viele Methoden eingebettet, die meist zur Lösung von Problemen technischer Art eingesetzt werden. Dazu zählen Kreativitätstechniken wie Brainstorming und Mind-Mapping, allerdings auch strukturierte Vorgehensweisen zur Problemfindung wie das Ishikawa-Diagramm oder die „Theorie des erfinderischen Problemlösens“ (TRIZ), die auf der Auswertung von Patenten basierte Lösungsansätze zur Bewältigung von technischen Zielkonflikten bildet.

Die technischen Alternativen müssen allerdings nicht nur generiert, sondern im Rahmen von Bewertungsverfahren qualitativ und quantitativ eingeordnet werden. Eine gängige Methodik dazu stellt die Nutzwertanalyse dar, bei der es sich um ein Scoring-Modell handelt. Anhand verschiedener Bewertungskriterien wird hier für alle in Erwägung gezogenen Konstruktionsalternativen ein Gesamtnutzen aggregiert, wodurch ermöglicht wird eine Entscheidung im Sinne von best-practice zu treffen. Dazu werden im Rahmen einer Matrix die Handlungsalternativen in den Zeilen und die Bewertungskriterien in den Spalten eingetragen, worauf jedem Feld konkrete Zahlenwerte zugeordnet werden. Durch Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien in Bezug auf die Wichtigkeit kann der Gesamtnutzenwert ermittelt werden. Auch wenn durch die Bewertung subjektive Einstellungen gegenüber einzelnen Alternativen nicht auszuschließen sind, ist die Nutzwertanalyse

[93] Vgl. Strasser, 2004

eine gute Methode, um auch eine große Fülle von Alternativen übersichtlich zu strukturieren.[94]

## 2.5 Target Costing

Unternehmer, die als Innovatoren auftreten, befinden sich grundsätzlich in einer schwierigen Situation. Einerseits bieten sie dem Kunden technisch sinnvolle Lösungen, die qualitativ hochwertig sind, andererseits müssen sie ebenfalls preisliche Stimuli im Markt setzen, um ein Produkt zu positionieren. Aufgrund der immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen und der hohen Zahl an Nachahmern, die ab der Wachstumsphase des Produkts in den Markt treten, können sich auch die Innovatoren in aller Regel einem Preiskampf nicht entziehen.[95]

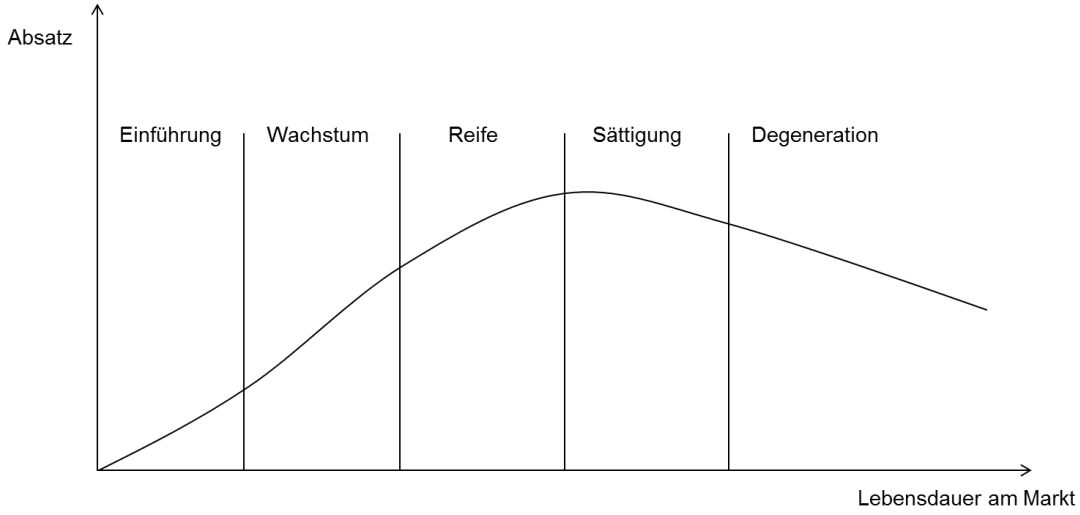



**Abbildung 2-8: Idealtypischer Produktlebenszyklus[96]**

Bereits kurz nach der Einführungsphase, in der der Innovator tendenziell die höchsten Deckungsbeiträge für sein Produkt erzielen kann, treten erste Mitbewerber in den Markt ein, die mit Me-too-Produkten einen Konkurrenzdruck aufbauen. So ist es dem Unternehmen durch Bildung eines Marktpreises nicht mehr möglich, Preise aktiv zu gestalten, da es sich nach diesem richten muss. Dieser entstandene Wettbewerbsmarkt führt schnell dazu, dass aus einem innovativen Produkt ein Standard wird, für den der Kunde nicht mehr bereit ist, größere finanzielle Aufwendungen zu akzeptieren. In der Realität geht die Tendenz seitens des Innovators dahin, weitere Funktionen in das Produkt zu integrieren, um den kundenseitigen Mehrwert zu erhöhen. „Der Innovator läuft dabei Gefahr, ein sog. Overengineering zu betreiben“[97] bei dem Funktionen implementiert werden, für die beim Kunden keine erweiterte Zahlungsbereitschaft besteht. Somit wird der

[94] Vgl.: Schäppi, 2005, S.191
[95] Vgl.: Klein, 1999, S.53
[96] http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/produktlebenszyklus/produktlebenszyklus.htm, 25.03.15
[97] Klein, 1999, S.53

Hersteller bei stagnierenden Absatzzahlen zusätzlich mit den vorangegangenen Leistungen bei Produkt-und Marktentwicklung belastet.

Das Target Costing bietet dabei eine auf den Markt fokussierte Methodik im Bereich des Kostenmanagements die hilft, die Produktentwicklung klaren Kostenzielen unterzuordnen.[98] Das Target Costing zielt dabei grundsätzlich darauf ab, einerseits Produkte zu entwickeln, die den Bedürfnissen des Marktes folgen und andererseits auch bei Vorhandensein eines starken Wettbewerbs das Produkt für das Unternehmen rentabel zu machen bzw. zu halten.[99] Es ist ratsam, das Zielkostenmanagement bereits in frühen Phasen der Entwicklung und nicht erst in der Produktionsphase zu implementieren, da in der Phase der eigentlichen Produktentstehung über 70% der späteren Produktkosten beispielsweise durch die Wahl bestimmter Materialien oder Produktionsmethoden definiert werden.[100]

Beim Zielkostenmanagement sollen also die externen Anforderungen eines Produktes, die durch die Kundenanforderungen illustriert werden und die unternehmensintern Möglichkeiten in Einklang gebracht werden.[101] Als Ausgangslage geht man davon aus, dass für ein Produkt ein fest definierter Marktpreis existiert, der vom Kunden für die Leistung bezahlt wird. Dies bildet den Preis, welchen das Unternehmen am Markt anbieten muss.[102] Eine andere Möglichkeit bietet die Zielkostenspaltung bei der einzelnen Funktionen an einem Produkt ein monetärer Wert zugeordnet wird. Dies kann im Fall von Serienprodukten beispielsweise über die s.g. Cojoint-Analyse erfolgen, bei welcher der Kunde seine Zahlungsbereitschaft konkreten Produktalternativen zuordnet. So erhält der Hersteller konkrete Daten, wie viel der Kunde bereit ist für einzelne Funktionen zu zahlen. Die Leistungen der Konkurrenten werden mittels Benchmarking analysiert.[103]

Der so ermittelte Zielpreis dient damit als top-down-approach, der die Marktanforderungen wiederspiegelt. Vom Zielpreis wird die unternehmensintern erwartete oder benötigte Zielrendite subtrahiert, aus welchen die Darfkosten resultieren. Diese sind die zu erreichenden Herstellkosten für das Produkt.[104] Parallel zu dieser Berechnung werden bottom-up auf Basis vorangegangener oder vergleichbarer Produkte die Standardkosten ermittelt, um sie mit den Darfkosten zu vergleichen.[105] „Die Voraussetzung für ein aussagekräftiges, der Kostenwahrheit

[98] Vgl.: Ehrlenspiel, 2009, S.642
[99] Vgl.: Schuh, 2005, S.179
[100] Vgl.: Schuh, 2005, S.182
[101] Vgl.: Groos, 1997, S.100
[102] Vgl.: Klein, 1999, S.55
[103] Vgl.: Ehrlenspiel, 2009, S.642
[104] Vgl.: Schuh, 2005, S.181
[105] Vgl.: Ehrlenspiel, 2009, S.642

entsprechendes Zielkostenmanagement ist die Ermittlung von verursachungsgerechten Kosten“.[106]

Beim Vergleich der Standardkosten mit den Darfkosten ergibt sich eine Ziellücke und somit der Wert für die notwendigen Kostensenkungen. Im nächsten Schritt müssen nun konkrete Potenziale für Kostensenkungen am Produkt identifiziert werden und Maßnahmen definiert werden, die ermöglichen die Ziellücke zu schließen.[107]

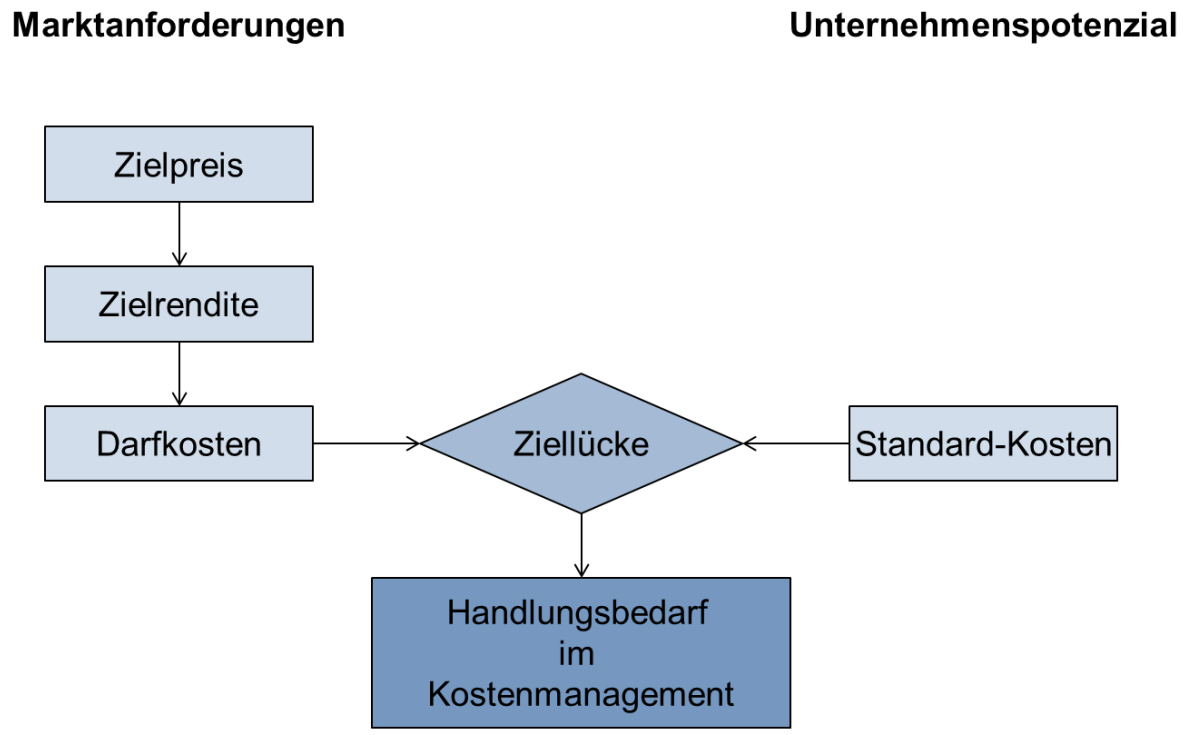



**Abbildung 2-9: Konzept des Zielkostenmanagements**[108]

Bei der Bearbeitung der Kostensenkung ist die Arbeit eines interdisziplinären Teams, deren Mitglieder aus allen für das Produkt relevanten Bereichen angehören, von eminenter Wichtigkeit. Dabei soll nicht das bloße Kostenziel im Zentrum der Betrachtung stehen, sondern erörtert werden, wie anspruchsvolle, aber auch gleichzeitig realistische Ziele erreicht werden können. In regelmäßigen Reviews zum Kostensenkungsprojekt werden die Erfolge und die Abweichungen besprochen und gegebenenfalls geeignete Maßnahmen zur Zielerreichung definiert. Dieses frühzeitige Eingreifen zur Vermeidung von Fehlentwicklungen ist das Kosten-Forechecking, welches auch dazu dient, im Extremfall ein Entwicklungsprojekt frühzeitig abzubrechen, falls die Kostenziele nicht eingehalten werden können.[109]

[106] Schuh, 2005, S.182
[107] Vgl.: Ehrlenspiel, 2009, S.642
[108] Vgl.: Groos, 1997, S.103
[109] Vgl.: Ehrlenspiel, 2009, S.643

## 2.6 Marketing

Im allgemeinen Verständnis der Öffentlichkeit ist Marketing der Prozess der kreativen Vermarktung der hergestellten Güter eines Unternehmens an den Endkunden. Im Rahmen des Konsumgütermarketings wird somit der bloße Kontakt zwischen Unternehmen und Endkunden, bei denen es sich hauptsächlich um Privathaushalte handelt, bezeichnet.[110] Angesichts der Tatsache, dass der Hauptteil der volkswirtschaftlichen Leistungserstellung in der Interaktion zwischen verschiedenen Unternehmen besteht, ist es sinnvoll, sich im Bereich der Business to Business (B2B) Geschäfte auch im Hinblick auf das Marketing zu spezialisieren. Gerade durch den zunehmenden Druck des globalisierten Wettbewerbs wird die Marktausrichtung auch auf die dem Endkonsumenten vorgelagerten Positionen zunehmend zu einem erfolgskritischen Faktor für Unternehmen. Heutzutage ist das Marketing in Industriebetrieben, gerade bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) in andere unternehmensinternen Funktionseinheiten wie dem Vertrieb integriert und agiert nicht als selbstständige Abteilung.[111]

### 2.6.1 Investitionsgütermarketing

Im Vergleich zum Konsumgütermarketing stehen beim Industriegütermarketing „weniger die Aspekte des Markenmanagements und der Kommunikationsstrategie im Vordergrund“.[112] So steht bei der institutionalisierten Vermarktung von Investitionsgütern nicht der klassische Marketing-Mix aus Preis-, Produkt-, Distributions-, und Kommunikationsstrategie im Vordergrund. Vielmehr steht hier ein geschäftstypenorientierter Ansatz im Mittelpunkt, bei dem zwischen Produkt-, Anlagen-, System- und Zuliefergeschäft unterschieden wird. Wie das Konsumgütermarketing soll jedoch auch das Industriegütermarketing als integriertes Unternehmenskonzept wahrgenommen werden. Es soll dafür sorgen eine Marktausrichtung aller Unternehmensbereiche zu forcieren und das Unternehmen auf diese Weise wettbewerbsfähig zu machen bzw. zu halten. Dabei ist das Industriegütermarketing von der theoretischen Betrachtungsweise her allerdings darauf ausgerichtet, durch das Finden neuer oder Bedienen bereits vorhandener Kundenbedürfnisse einen ökonomischen Nutzen für das Unternehmen zu ziehen. Die Leistung soll dabei einen Mehrwert für den Kunden im Vergleich zur Konkurrenz generieren. So erarbeitet sich ein Unternehmen unter Einsatz des strukturierten Industriegütermarketings einen s.g. komparativen Konkurrenzvorteil.[113]

Auf Industriegütermärkten herrschen im Vergleich zum Geschäft mit dem Endkonsument einige Besonderheiten. So ist die Nachfrage abgeleitet und ergibt

[110] Vgl.: Kuhn, 2011, S.8
[111] Vgl.: Kuhn, 2011, S.1
[112] Kuhn, 2011, S.1
[113] Vgl.: Backhaus, 2010, S.15

sich gezwungenermaßen aus der originären Nachfrage des Endabnehmermarktes. Dadurch ist ein Unternehmen im B2B Geschäft gezwungen sich durch die gebotene Mehrstufigkeit nicht nur mit den direkten Abnehmern und Konkurrenten auseinander zu setzen, sondern muss ebenfalls Entwicklungen am Endabnehmermarkt in die Planungen mit einbeziehen. Ein weiterer Unterschied besteht in der Art der Kaufentscheidung. Auf Konsumgütermärkten entscheidet der Kunde autark und auf Basis der eigenen Informationsbeschaffung. An Kaufentscheidungen auf Investitionsgütermärkten sind meistens mehrere Entscheidungsträger involviert, die unterschiedliche Präferenzen aufweisen. Dadurch wird seitens des verkaufenden Unternehmens meistens ein Verkaufsteam aus verschiedenen Personen zusammengestellt, um möglichst viele Fragen von der Preisgestaltung über technische Fragestellungen innerhalb des Verkaufsprozesses beantworten zu können. Um die verschiedenen Angebote vergleichbar zu machen, arbeiten nachfragende Unternehmen oftmals mit standardisierten Anfragen in Form von Lastenheften. Somit wird es für den Anbieter schwerer, die Vorzüge seines Produktes zu vermarkten, da in einem solchen institutionalisierten Rahmen weniger Platz zur Eigenpräsentation bleibt.[114]

Wie bereits erwähnt, unterscheidet man im Industriegütermarketing zwischen verschiedenen Geschäftstypologien, die in sich möglichst homogen bedient werden können und zueinander möglichst heterogen sind. Dabei hat sich eine viergliedrige Struktur herausgebildet, die zwischen Produkt-, Anlagen-, System- und Zuliefergeschäft differenziert.[115]

**Produktgeschäft**

Die Leistungen im Produktgeschäft sind häufig standardisiert und vorgefertigt und somit auf breit angelegte Bedürfnisse eines Marktes mit anonymen Abnehmern ausgelegt. Da die Leistung bereits vor der eigentlichen Vermarktung erstellt wurde, wird der Kunde vergleichbare Produkte anderer Hersteller mit dem eigenen Produkt vergleichen und so zu einer Kaufentscheidung gelangen. Eine herstellerseitige Individualisierung des Angebots ist im Produktgeschäft genauso wenig vorgesehen wie der Aufbau langfristiger und von Kontinuität geprägter Kundenbeziehungen.[116] Die Leistung kann kundenseitig isoliert eingesetzt werden, wodurch keine Folgekäufe zu erwarten sind und der Verkaufsprozess somit abgeschlossen ist. Dadurch „muss im Produktgeschäft eine effiziente und effektive Informationspolitik vor dem Kauf erfolgen“.[117] Die Vermarktungsstrategien sind im Produktgeschäft aufgrund des hohen Standardisierungsgrades eher gering. Aufgrund der Ähnlichkeit zu den Konsumgütermärkten kann man in diesem Bereich auf die klassische

[114] Vgl.: Kuhn, 2011, S.11f.
[115] Vgl.: Kuhn, 2011, S.19
[116] Vgl.: Kuhn, 2011, S.20
[117] Backhaus, 2010, S.209

Marketingstrategie zurückgreifen, die auf dem s.g. S-O-R (Stimulus-Organism-Response) Paradigma beruht. Dabei wird seitens des Anbieters versucht, gezielt Kaufanreize mit marketingtechnischen Mitteln zu setzen, durch die das Kaufverhalten des Konsumenten zu einer positiven Kaufentscheidung gelenkt werden soll. Hierbei müssen gemäß dem Marketing-Mix alle Aspekte aufgegriffen werden. Über eine gute unternehmensseitige Informationspolitik werden vor dem Kauf beim potenziellen Kunden die angesprochenen Stimuli gesetzt.[118] Besondere Relevanz haben in diesem Geschäft eine klar kommunizierte Preispolitik und aus distributionspolitischer Sicht die einfache, schnelle und lokale Zugänglichkeit für den Kunden.[119]

Eine andere Möglichkeit des unternehmerischen Vorgehens im Produktgeschäft ist die Differenzierung nach Markttypen. Dabei wird zwischen s.g. Commodity-Märkten und Specialty-Märkten unterschieden.

Auf den Commodity-Märkten unterscheidet sich die angebotene Leistung faktisch kaum von der der Wettbewerber. Generell ist dieser Markttyp von einem sehr geringen Innovationsgrad gekennzeichnet. Dadurch kann man sich produktpolitisch nicht oder nur schwer von den Angeboten der Mitbewerber im Markt differenzieren, was den Fokus auf die Preispolitik lenkt. Hier entscheidet der Kunde aufgrund der geringen Möglichkeit der Unterscheidung primär nach dem günstigsten Preis und erwartet anbieterseitig diesbezüglich ein starkes Entgegenkommen. Üblicherweise versuchen Anbieter auf diesen Märkten durch das Angebot von spezifischen, dem Produkt zugeordneten Leistungen, das Angebot zu erweitern und es so weniger vergleichbar für den potenziellen Kunden zu machen, was das Erzielen eines höheren Preises möglich macht.[120]

Die Specialty-Märkte sind dadurch gekennzeichnet, dass ebenfalls gleiche Leistungen angeboten werden, wobei ein wesentlich geringerer Standardisierungsgrad und somit für den Kunden einen schlechtere Vergleichsmöglichkeit besteht. Für das Produktgeschäft bedeutet dies, dass der Anbieter produktpolitisch den Markt mit den eigenen innovativen Leistungen gestalten kann.[121] Aufgrund der Tatsache, dass durch die mangelnde Vergleichbarkeit der Leistungen de facto kein Marktpreis gegeben ist, kann der Anbieter mehr Spielräume bei der Preisgestaltung als in Commodity-Märkten geltend machen. Dadurch kommt dem Pricing in diesem Markttyp eine besondere Relevanz zu, da der Kunde monetär für das Unternehmen optimal bedient werden soll. Oftmals wird dazu kundenspezifisch die Zahlungsbereitschaft ermittelt und in die

[118] Vgl.: Backhaus, 2010, S.211
[119] Vgl.: Kuhn, 2011, S.20
[120] Vgl.:Backhaus, 2010, S.212
[121] Vgl.: Backhaus, 2010, S.212

Preissetzung einbezogen, wobei auch immer der Marktbezug beachtet werden muss.[122]

**Anlagengeschäft**

Das Anlagengeschäft ist wie das Produktgeschäft dadurch gekennzeichnet, dass eine einmalige Transaktion ohne weitere Folgekäufe angestrebt wird. Jedoch wird im Anlagengeschäft nicht für einen anonymen Endkunden und einen großen Markt produziert, sondern ein kundenindividuelles Angebot erstellt und dann in Form eines oft mehrjährigen Projektes umgesetzt. Somit ist eine Fertigung, die bereits vor dem Kauf stattgefunden hat nicht möglich. Die Interaktion zwischen Anbieter und Kunde ist also entlang des laufenden Projekts von immens hoher Intensität geprägt.[123] Charakteristisch für das Anlagengeschäft ist zum einen die Auftragsfertigung. Hierbei werden die Kundenanforderungen erst im Rahmen des Akquisitionsprozesses festgelegt. Zum anderen ändern sich beim Anlagengeschäft während der Akquisition und sogar oftmals noch während der Auftragserteilung der Inhalt und der Leistungsumfang des Angebots. Dies ist dadurch begründet, dass aufgrund der hohen Komplexität solcher Projekte oftmals Lösungsalternativen bestehen, die im Vorfeld nicht ausgeschlossen werden können. Des Weiteren besteht zwischen Anbieter und Nachfrager ein enormes Gefälle an Know-How, da die Planung und Erstellung von Anlagen für den Hersteller zum Tagesgeschäft gehört, wohingegen die Anlage für den Kunden eine einmalige Anschaffung darstellt. Durch den enormen Projektumfang ist der Anbieter oftmals gezwungen, Kooperationen mit anderen Lieferanten einzugehen, um das Projekt stemmen zu können. Dadurch ist die Zusammenarbeit und Einbeziehung mehrerer Firmen keine Seltenheit.[124]

Durch die lange Dauer des Projektes im Anlagengeschäft lassen sich unterschiedliche Phasen definieren:

- Voranfrage
- Angebotserstellung
- Kundenverhandlung
- Abwicklung

Diesen einzelnen Phasen sind immer spezifische Marketinginstrumente zuzuordnen. Im Rahmen der Voranfrage herrscht bereits eine Interaktion zwischen Anbieter und Nachfrager, da der Anbieter in aller Regel versuchen wird den Kunden aktiv zu akquirieren. Dieses Vorgehen wird als Marktaktivität bezeichnet. Hingegen ist im

[122] Vgl.: Backhaus, 2010, S.215
[123] Vgl.: Kuhn, 2011, S.20
[124] Vgl.: Backhaus, 2010, S.327f.

Rahmen der Marktpassivität auch denkbar, dass ein Anbieter erst auf eine konkrete Ausschreibung des Nachfragers reagiert.[125]

In der Angebotserstellung muss der Anbieter zuerst Anfragenselektion betreiben. Dies hat den Hintergrund, dass die entstehenden Angebotskosten bei Großprojekten oftmals bis zu 5% des gesamten Projektwertes betragen können, wodurch sich für den Anbieter ein direktes, finanzielles Risiko ergibt. Somit ist die Notwendigkeit frühzeitig begründet, mittels der selektiven Anfragebearbeitung zu entscheiden, ob ein Projekt verfolgt oder die Bemühungen abgebrochen werden sollen. Hierzu stehen qualitative Maßnahmen wie Checklisten oder auch quantitative Konzepte wie verschiedenen Scoring-Modelle zur Verfügung, die zur Unterstützung der Entscheidung dienen.[126] Darüber hinaus muss Anbieterorganisation betrieben werden. Diese hat den Hintergrund, dass aufgrund der Größe der Projekte ein Anbieter die anfallenden Arbeiten aufgrund begrenzter eigener Ressourcen nicht in vollem Umfang durchführen kann. Somit müssen die auch möglichen Mitbewerber Ziel des Marketings sein. Das hohe Konfliktpotenzial, das sich aus dem Zusammenschluss verschiedener Anbieter ergibt, und die Wahl der konkreten Partner und der entsprechenden Kooperationsform wird somit zu einem wichtigen Marketing-Instrument, „da je nach relativer Machtposition in der Anbietergemeinschaft mehr oder weniger eigene marketing-politische Vorstellungen durchsetzbar werden“.[127] Drittens muss in der Angebotserstellung die Preispolitik beachtet werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Leistung immer individuell ist, existiert kein üblicher Marktpreis. Der Anbieter ist demzufolge gezwungen mithilfe interner Daten einen Preis zu ermitteln. Dabei muss allerdings auch die Preisvorstellung des Nachfragers und die Preise der Konkurrenten in die Überlegungen mit einfließen.[128] Danach stellt sich die Frage inwieweit der ermittelte Preis durchzusetzen ist. Meistens wird eine Preisober- und eine Preisuntergrenze ermittelt, zwischen der sich der tatsächliche Preis zu bewegen hat. Aufgrund der langen Laufzeit der Projekte „stellt auch die Frage der Absicherung gegen nachträgliche Kostensteigerungen (Preissicherung) eine Frage der Preisdurchsetzbarkeit dar“.[129]

In der Phase der Kundenverhandlung greift das Verhandlungsmanagement. Da die Verhandlungen bei der enormen Projektgröße sehr komplex sind, muss zuerst darüber entschieden werden, wie das Verhandlungsteam zusammengestellt wird. Dabei wird primär nach für die Verhandlungen wichtigen Persönlichkeitsmerkmalen der Verhandlungsteilnehmer gesucht. Im eigentlichen Verhandlungsprozess wird entschieden welche Verhandlungstaktik und welche Verhandlungstechnik verwendet

[125] Vgl.: Backhaus, 2010, S.331f.
[126] Vgl.: Backhaus, 2010, S.334ff.
[127] Backhaus, 2010, S.351
[128] Vgl.: Backhaus, 2010, S.356f.
[129] Backhaus, 2010, S.370

werden. Bei der Verhandlungstaktik ist primär entscheidend, auf welche Kosteninformationen zurückgegriffen und inwiefern man zu preislichen Zugeständnissen bereit ist. Die Verhandlungstechnik bietet den institutionellen Rahmen der Verhandlungen. Hier kann man mittels moderner Medien oder persönlich verhandeln, wobei sich die face-to-face Verhandlung als beste Möglichkeit erwiesen hat, da einerseits komplexe Sachverhalte direkt geklärt werden können und andererseits in hohem Maße Vertrauen aufgebaut wird.[130] Als letztes wird festgelegt, welche Verhandlungsobjekte bestehen. Dazu zählen die technischen Aspekte, die preislichen Konditionen, der Abschlusspreis, die Projektabwicklung und evtl. Konsequenzen bei Nichterfüllung. Dies alles wird im s.g. Anlagenvertrag festgehalten.[131]

In der Projektabwicklung ist besonders darauf zu achten die Liefertermine einzuhalten, die Leistungswerte zu erbringen und evtl. Änderungswünsche des Kunden anzunehmen. Dies ist dadurch begründet, dass jedes erfolgreiche und zur vollen Zufriedenheit des Kunden umgesetzte Projekt als Referenz für Folgeprojekte, auch bei anderen Nachfragern, dient. Dies ist aufgrund der geringen Anzahl der Projekte eminent wichtig, da es einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil bei der Gewinnung zukünftiger Projekte bietet. Dazu passt ebenfalls, dass auch nach Inbetriebnahme der Anlage eine kulante Gewährleistungspolitik zum Tragen kommen sollte.[132]

**Systemgeschäft**

Beim Systemgeschäft werden analog zum Produktgeschäft Waren für einen anonymen Markt entwickelt und vorab gefertigt. Allerdings ist das Produkt modular aufgebaut, so dass der Nachfrager nach einem Initialkauf und der damit einhergehenden Entscheidung für ein System zu Folgekäufen beim gleichen Anbieter gezwungen ist, da sonst keine Kompatibilität vorhanden ist. Somit ist der Grad an Standardisierung in diesem Markttyp auch geringer, da der Nachfrager über die Folgekäufe sein System nachträglich individualisieren kann. Es handelt sich somit um keine einmalige Transaktion sondern um eine Kundenbeziehung, die durch die entstehenden Folgekäufe auch in einem zeitlichen Kontext zu sehen ist.[133]

Neben dieser s.g. Beschaffungsschrittfolge geht als weitere Besonderheit des Systemgeschäfts die Systemarchitektur einher. Hier erfolgt durch den Initialkauf eine Festlegung auf eine bestimmte Systemarchitektur, was den Initialkauf zu einer wichtigen Entscheidung macht. So schränkt der Kunde durch die Festlegung auf ein System seine Handlungsspielräume in Bezug auf zukünftige Beschaffung enorm ein.

[130] Vgl.: Backhaus, 2010, S.397ff.
[131] Vgl.: Backhaus, 2010, S.404ff.
[132] Vgl.: Backhaus, 2010, S.415
[133] Vgl.: Kuhn, 2011, S.21

Durch die kundenübergreifende Angebotsgestaltung für einen anonymen Markt und des teilweise schnellen Wandels im Systemgeschäft ist für den Kunden im Vorfeld nicht abzusehen, wie das System am Ende aussehen könnte, da teilweise neue Systemkomponenten beim Initialkauf noch nicht vorhanden sind.[134]

Diese Charakteristika des Marktes führen beim Nachfrager im Vorfeld zu enormen Unsicherheiten. Diese können zum einen verhaltensbezogen sein, da sich der Käufer mit der Initialentscheidung in eine starke Abhängigkeit begibt, die im Extremfall bedeuten kann, dass aufgrund der geschlossenen Systemstruktur nach dem Initialkauf für ihn kein Markt, sondern ein Monopol zur Verfügung steht. Diese s.g. Lock-in-Situation führt kundenseitig zur Unsicherheit, weil zu befürchten ist, dass der Anbieter die Situation bei der Preisgestaltung für Folgekäufe ausnutzt. Außerdem kann der Nachfrager nicht abschätzen in welcher Qualität und Servicebereitschaft die Folgeprodukte erhältlich sind und inwiefern zukünftige Module seinen Wünschen entsprechen, da für einen anonymen Käufermarkt entwickelt wird. Die nutzungsbezogene Unsicherheit ergibt sich aus der Tatsache, dass im Vorfeld die endgültige Leistungsfähigkeit nicht bekannt ist, weil noch nicht alle Module verbaut sind. Ebenfalls lässt sich dadurch der finanzielle Folgeaufwand nicht abschätzen, da der Preis für zukünftige Erweiterungen noch nicht gegeben ist.[135]

Daraus ergibt sich für die Vermarktung im Systemgeschäft ein notwendiges Management der Nachfrageunsicherheiten. So muss der Anbieter im Vorfeld der Initialinvestition bei dem die Unsicherheit beim potenziellen Kunden besonders groß ist das System so gestalten und vermarkten, dass der Nachfrager zum Einstieg in das System bewogen wird. Dies kann beispielsweise durch einen geringen Einstiegspreis, der unter den Herstellkosten liegt, unterstützt werden. Nach dem Initialkauf kann der Anbieter die kundenseitige Abhängigkeit nutzen und eine andere Preisgestaltung wählen. Hier ist jedoch darauf zu achten, dass im Rahmen des Systemmanagements der Kunde für das Unternehmen in Bezug auf den Unternehmensgewinn abgeschöpft wird, jedoch vermeiden wird, dass der Kunde durch zu hohe Kosten aus dem System aussteigt.[136] Generell ist das Systemgeschäft durch die Unsicherheit beim Nachfrager von etablierten Unternehmen geprägt, die das langjährige Vertrauen der Kunden genießen und somit über die vorhandene Reputation neue Kunden gewinnen.[137]

**Zuliefergeschäft**

Beim Zuliefergeschäft wird eine individuelle Leistung langfristig zwischen Kunden und Anbieter definiert. Dadurch nimmt der Kunde eine gewisse Lieferabhängigkeit in

[134] Vgl.: Backmann, 2010, S.422ff.
[135] Vgl.: Backmann, 2010, S.431ff.
[136] Vgl.: Backmann, 2010, S.438
[137] Vgl.: Kuhn, 2011, S.21

Kauf, aufgrund der Tatsache, dass evtl. Lieferschwierigkeiten beim Anbieter unmittelbare Auswirkung auf die Liefertreue des Kunden an seine Abnehmer haben. Analog dazu ist aufgrund der geringen Zahl von Nachfragern für das anbietende Unternehmen jeder Kunde extrem wichtig hinsichtlich des eigenen wirtschaftlichen Erfolgs. Beispielhaft für diesen Markttyp ist das Erstausrüstergeschäft. Hierbei werden mehrjährige Lieferstrukturen für den Abnehmer, üblicherweise für die Dauer einer Baureihe vereinbart.[138]

In Bezug auf die Marketingaktivitäten ist durch die hohe Abhängigkeit der beteiligten Parteien dieses Geschäftstyps bereits zu erahnen, dass das Management der Geschäftsbeziehung im Mittelpunkt steht. So gilt es, die Geschäftsbeziehung zu pflegen und abzusichern. Dabei werden in den verschiedenen Phasen der Geschäftsbeziehung unterschiedliche Instrumente eingesetzt.[139] Es handelt sich dabei um folgende drei Phasen:

- Einstieg
- Absicherung und Ausbau
- Beendigung

Für einen Geschäftseinstieg ist zuallererst eine signifikante, konstruktive Änderung beim Nachfrager notwendig. Auf dieser Basis werden seitens des Kunden potenzielle Lieferanten gesucht, die die Nachfrage bedienen können. Gerne greift der Kunde aufgrund der Kenntnis über die Leistungsfähigkeit und dem bereits bestehende Vertrauen dabei auf bewährte Zulieferer zurück. Dennoch sollte für potenzielle neue Zulieferer die Akquisearbeit im Vordergrund stehen, bei der man den Abnehmer davon überzeugt, dass das Unternehmen grundsätzlich in der Lage ist, die kundenseitigen Anforderungen zu bedienen. Ein Lieferantenwechsel ist durchaus denkbar und die s.g. Out-Supplier können somit in die engere Auswahl kommen. Als nächstes trifft der Abnehmer auf Basis von Kriterien wie Liefertreue und Qualität eine interne Vorauswahl der zur Disposition stehenden Lieferanten. Die infrage kommenden potenziellen Lieferanten werden danach aufgefordert ein Angebotskonzept zu erarbeiten auf dessen Basis dann der Zuschlag erfolgt. Das Angebotskonzept kann grundsätzlich einer Anpassungsstrategie folgen, bei der man sich entlang der Kundenwünsche orientiert oder es kann eine Emanzipationsstrategie verfolgt werden, bei der durch Entwicklung eigener Ansätze aktiv Einfluss auf den potenziellen Kunden genommen wird.[140]

Bei der Absicherung und dem Ausbau der Geschäftsbeziehung werden in aller Regel Verträge geschlossen, deren Inhalt die Anforderungen an die Leistung und die finanziellen Transaktionen definieren. Dies soll einen vorzeitigen Ausstieg eines

[138] Vgl.: Kuhn, 2011, S.21f.
[139] Vgl.: Backhaus, 2010, S.499
[140] Vgl.: Backhaus, 2010, S.500ff.

Vertragspartners ausschließen, da durch die starke Abhängigkeit beide Parteien enorm von einer außerplanmäßigen Beendigung betroffen wären. Der Ausbau der Geschäftsbeziehung erfolgt nach dem Vertragsabschluss über die Einigung auf ein Koordinationsdesign. Hier wird meistens ein interdisziplinäres Team, das aus Beteiligten beider Parteien zusammengesetzt wird, gebildet. Ziel dieses Teams ist im Verlauf der Geschäftsbeziehung diese weiter zu entwickeln und beispielsweise durch die Umsetzung von Verbesserungsprojekten Optimierungspotenziale umzusetzen.[141]

Die Beendigung der Geschäftsbeziehung erfolgt über ein strategisches Ausstiegsfenster. Hierbei muss besonders der Zulieferer beachten, inwieweit sich z.B. die Absatzzahlen verändern, um rechtzeitig geeignete Maßnahmen treffen zu können, die einen Abbruch des Zuliefergeschäfts verhindern oder die eine Existenzgefährdung des eigenen Unternehmens abwenden. Besonders der zweite Aspekt ist wichtig, da der Grad der Spezialisierung auf einen Abnehmer sehr hoch ist und anbieterseitig oftmals hohe Investitionen in spezifische Anlagen unternommen wurden. Für zukünftige Projekte ist es in beidseitigem Interesse gute Reputationen durch die vergangene Geschäftsbeziehung aufzubauen, da der Zulieferer einerseits Folgeaufträge generieren und der Kunde als guter Abnehmer wahrgenommen werden möchte, um in Zukunft Lieferanten gewinnen zu können. In diesem Zusammenhang wird oftmals mit firmeninternen Auszeichnungen wie „Zulieferer des Jahres“ gearbeitet.[142]

Abschließend ist zu sagen, dass die einzelnen Geschäftstypologien nicht immer ganz sauber separiert werden können und es immer wieder zu Überschneidungen zwischen den einzelnen Markttypen kommt. So kann beispielsweise im Rahmen eines Zuliefergeschäfts ein System verkauft werden, das im Nachmarktgeschäft mit Reparaturteilen sogar zu einem reinen Produktgeschäft wird.[143]

[141] Vgl.: Backhaus, 2010, S.543ff.
[142] Vgl.: Backhaus, 2010, S.559ff.
[143] Vgl.: Kuhn, 2011, S.22

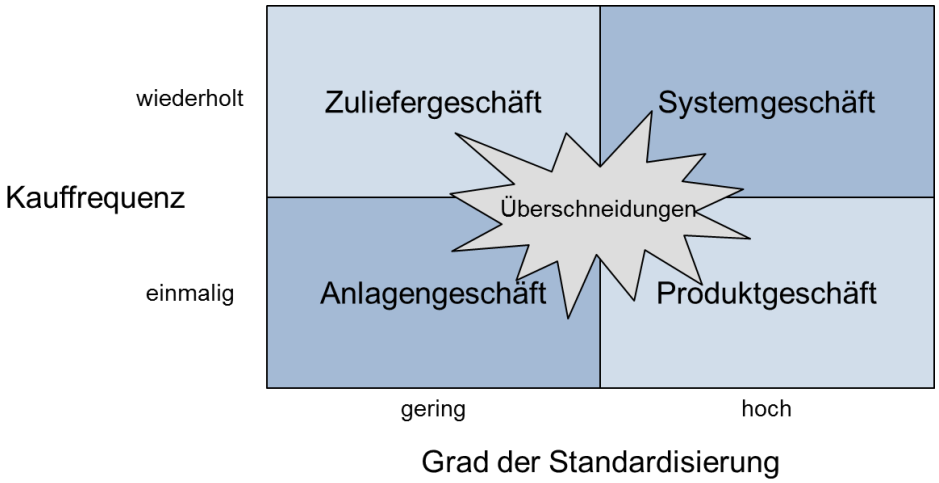



**Abbildung 2-10: Geschäftstypologien auf Industriegütermärkten**[144]

Dies wird in Abbildung 2-10 verdeutlicht, bei der die vier Geschäftstypologien in Abhängigkeit der typischen Eigenschaften, Kauffrequenz und Standardisierungsgrad geordnet sind.

Pricing

Der Ausgangspunkt aller Überlegungen zum Pricing ist die Erkenntnis, „dass sich die Preispolitik allgemein im Dreieck zwischen Kosten, Konkurrenz und Nachfrage bewegt“[145] und somit immer von mehreren Faktoren abhängt. Anbieterseitig sind die Kosten die wichtigste Bezugsbasis zur Ermittlung des Verkaufspreises. Dabei ergeben sich allerdings bereits Probleme, wenn man die Bezugsbasis betrachtet, da bereits das Heranziehen von verschiedenen Kostenarten wie Voll-oder Teilkosten zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Zusätzlich unterscheidet sich die Preisbildung auch innerhalb der Markttypen wesentlich. So kann eine Kostenkalkulation für vergleichsweise einfache Investitionsgüter, wie sie im Produktgeschäft zu finden sind, ausreichend sein. Bei einem viel komplexeren Anlagengeschäft hingegen existieren große Unsicherheiten über die Kosten, weil der endgültige Umfang der Leistungen am Anfang oftmals noch nicht eindeutig geklärt ist.[146] Daher erfolgt beim Pricing eine Unterscheidung nach den einzelnen Markttypen.

**Pricing im Produktgeschäft**

Beim Produktgeschäft wird durch die gute Vergleichbarkeit der Produkte untereinander ein einheitlicher Marktpreis ermittelt. Dies kann beispielsweise über die Bildung von Preis-Absatz-Funktionen geschehen. Obwohl der Markt im Bereich der Commodities weitgehend homogen ist, so kann die Zahlungsbereitschaft seitens der Kunden sehr heterogen sein. Dies liegt darin begründet, dass die im Produktgeschäft

[144] Kuhn, 2011, S.23
[145] Backhaus, 2010, S.356
[146] Vgl.: Godefroid, 2000, S.213f.

angebotenen, aber weitgehend standardisierten Produkte den Wünschen und Anforderungen eines Kunden mehr entsprechen können als die eines anderen.[147] Somit ist hier der Fokus auf dem Management der Zahlungsbereitschaft. Dieses wird meistens über Preisdifferenzierung erreicht. Diese wird möglich durch die gute Segmentierbarkeit in Investitionsgütermärkten, in denen man beispielsweise räumlich, mengen- oder leistungsbezogen differenzieren kann. Im Rahmen der Preisdurchsetzung wird anbieterseitig oftmals mit Rabattsystemen gearbeitet, wodurch der Kundenpreis vom Listenpreis nochmal abweicht. Das Produkt wird für den Kunden preislich so differenziert, dass trotz der guten Vergleichbarkeit der Produkte das Angebot nur noch schwer zu vergleichen ist.[148]

**Pricing im Anlagengeschäft**

Das Anlagengeschäft ist aufgrund der geringen Vergleichbarkeit und des langfristigen Projektcharakters von vielen Unsicherheiten geprägt, die kalkuliert werden müssen. Anbieterseitig muss auf Basis interner Informationen versucht werden, einen Preis zu ermitteln. Dieser muss einerseits die Kosten decken, andererseits aber auch dem Druck der Mitbewerber standhalten können. Hierbei wird meistens eine Preisunter- und eine Preisobergrenze ermittelt, in dessen Korridor sich dann der endgültige Zielwert bewegen kann. Durch diese beiden Grenzwerte werden einerseits die Materialkosten des Projektes und andererseits die Zahlungsbereitschaft des potenziellen Kunden in die Überlegungen mit einbezogen.[149] Zur Ermittlung der Preisuntergrenze kann beispielsweise die Kilokostenmethode Verwendung finden, bei der der Wert der Anlage auf Basis von Erfahrungswerten pro Kilo oder Kubikmeter geschätzt wird. Diese Methodik ist jedoch recht ungenau, weshalb die Einflussgrößenkalkulation entwickelt wurde, bei der auch zusätzliche Kosten wie die Kosten für Vertrieb, Provisionen oder Versicherungen einbezogen werden, die sonst nicht zu den Herstellkosten zählen würden. Wie aber schon zu erkennen ist, ist eine genaue Kostenaufstellung im Vorfeld des Projektes trotz verschiedener Verfahren mit unterschiedlich genauen Kostenauflösungen nicht möglich.[150] Um die Zahlungsbereitschaft des Kunden in die Überlegungen mit einzubeziehen, muss eine Preisobergrenze ermittelt werden. Hierzu wird das Value Pricing verwendet, bei dem der Mehrwert für den Kunden monetär bewertet wird. So kann beispielsweise eine Kostenersparnis durch den Aufbau der neuen Anlage als Bezugsbasis dienen. Im Rahmen der Betrachtung aller relevanten Wettbewerber kann man so eine „konkurrenzspezifische Überlegenheitsprämie“[151] zu dem erwarteten Preis der Konkurrenz hinzu addieren, die den Mehrwert beim Kunden abbildet.

[147] Vgl.: Backhaus, 2010, S.238
[148] Vgl.: Godefroid, 2000, S.221
[149] Vgl.: Backhaus, 2010, S.356f.
[150] Vgl.: Godefroid, 2000, S.214
[151] Backhaus, 2010, S.364

Bei der Preisdurchsetzung sind fünf Faktoren wichtig. Unternehmensbezogen wird hier vor allem die Kapazität des Unternehmens in den Vordergrund gestellt und so gezeigt, dass das Unternehmen in der Lage ist das Projekt zu realisieren. Projektbezogen kann man immer einen höheren Preis durchsetzen, je geringer die Substituierbarkeit des Projekts ist. Mitarbeiter- und kundenbezogene Faktoren lassen sich geltend machen, wenn die Geschäftspartner bereits einige gemeinsame Projekte in der Vergangenheit erfolgreich umgesetzt haben und seitens des potenziellen Kunden eine gewisse Präferenz zu einem bestimmten Anbieter besteht.[152]

Ein weiterer wichtiger Aspekt beim Anlagengeschäft ist die Preissicherung. Diese Notwendigkeit resultiert aus der Langfristigkeit der Projekte und damit verbundenen Risiken, die sich beispielsweise durch steigende Material- und/oder Lohnkosten sowie Inflation ergeben können. Diese Risiken müssen in die Überlegungen zum Endpreis ebenfalls mit einbezogen werden. Da Preisvorbehalte oder offene Abrechnung in der Praxis keine Rolle spielen und der Abnehmer das Risiko von Preissteigerungen somit ganz allein tragen würde, hat sich eher der Festpreiseinschluss oder die Verwendung mathematischer Preisgleitklauseln durchgesetzt. Im ersten Fall kalkuliert der Anbieter einen fixen Kalkulationsaufschlag, wobei er durch seine Einschätzung entweder Zusatzerfolge oder Verluste realisieren kann, die sein Betriebsergebnis verbessern oder verschlechtern. Meistens werden Preisgleitklauseln verwendet, beispielsweise mit der Preisformel der United Nations Economic Commission for Europe, bei der die Preisentwicklung maßgeblich von Anteilen wie Löhnen oder der Entwicklung der Materialkosten abhängig gemacht wird.[153]

**Pricing im Systemgeschäft**

Beim Pricing im Systemgeschäft gilt es zwischen der Preisfestlegung für die Einstiegsinvestition und die Folgeinvestition zu unterscheiden. Da der Kunde von Unsicherheiten bei der Auswahl des Systems geprägt ist, müssen die Preise für beide Investitionen bereits im Vorfeld geplant werden, auch wenn die Folgeinvestition erst zu einem späteren Zeitpunkt stattfindet. Grundsätzlich kommt es beim Kunden durch die Festlegung auf ein System mit der Einstiegsinvestition zu einem Bundling-Effekt, da er durch den Initialkauf auf ein System festgelegt ist und in der Folge kompatible Produkte erwerben muss. Zum einen kann der Anbieter System und Module als Paketpreise anbieten. Hierzu ist zu sagen, dass es wirtschaftlich zur Abschöpfung der Preisbereitschaft des Kunden sinnvoll sein kann auf solche Modelle zu setzen. Allerdings ist zu beachten, dass auch die Einzelpreise der Komponenten ausgewiesen werden sollten und somit ein Preisbaukasten zur Verfügung steht.

[152] Vgl.: Kuhn, 2011, S.140
[153] Vgl.: Backhaus, 2010, S.372

Dieser Preisbaukasten erzeugt beim Kunden ein besseres Image des Anbieters im Rahmen der Preiswahrnehmung.[154]

Bei der Preisgestaltung besteht durch den Bundling-Effekt ebenfalls die Möglichkeit für den Anbieter seine Produkte quer zu subventionieren. So kann er durch besonders günstige Angebote bei der Einstiegsinvestition den Systemeinstieg erleichtern. Eine extreme Form der Quersubventionierung ist das Follow-the-Free-Pricing bei dem das Einstiegsprodukt kostenlos zur Verfügung gestellt wird. In der Folge werden dann durch den Verkauf anderer Erweiterungen und Module beim so aufgebauten Kundenstamm die notwendigen Erlöse generiert.[155] Aufgrund der zukunftsgerichteten Investitionen muss der Anbieter entscheiden, ob er lineares Pricing oder nicht-lineares Pricing einsetzen möchte. Beim linearen Pricing würde unabhängig von der Entwicklung am Markt ein Preis unter der Berücksichtigung von Konkurrenz und der individuellen Zahlungsbereitschaft festgelegt. Dieser beinhaltet dann auch eingepreiste, zukünftige Entwicklungen am Markt.[156] Aufgrund der zeitlichen Abfolge der Investitionen kommt bei der Preisgestaltung im Systemgeschäft generell nur ein nicht-lineares Pricing infrage. Dabei sinkt der Preis für die Komponenten mengenabhängig mit der zunehmenden Anzahl gekaufter Komponenten, wodurch der Anbieter die Möglichkeit hat, den Preis mengenmäßig zu differenzieren.[157] Ein weiterer Aspekt des Pricings im Systemgeschäft sind die Zugeständnisse in Form von unterschiedlichen Konditionen. So kann analog zum Produktgeschäft ein Rabattsystem entwickelt werden. Damit wird hauptsächlich das Ziel verfolgt Investitionen im Hinblick auf die zeitliche Komponente zu beeinflussen, wie es beispielsweise durch die rabattbegründete Vorverlegung einer Folgeinvestition in das System der Fall ist. Weiterhin können auch Geld-zurück-Garantien oder die Vereinbarung attraktiver Zahlungskonditionen die Kaufentscheidung des Kunden positiv beeinflussen.[158]

**Pricing im Zuliefergeschäft**

Wie im Anlagengeschäft ist das Zuliefergeschäft von sehr hoher Preisindividualität gekennzeichnet, da das Angebot des Zulieferers sehr stark auf die Bedürfnissen des Abnehmers ausgerichtet ist. Dies zeigt sich beispielsweise dadurch, dass aufgrund der langjährigen Zusammenarbeit über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes bestimmte Maschinen angeschafft werden und Produktionsprozesse unmittelbar auf einen Abnehmer ausgerichtet werden. Aufgrund der oftmals verfolgten Multi-Sourcing Strategien der Abnehmer herrscht ein enormer Wettbewerbsdruck im Markt, um

[154] Vgl.: Backhaus, 2010, S.463ff.
[155] Vgl.: Kuhn, 2011, S.142
[156] Vgl.: Backhaus, 2010, S.469
[157] Vgl.: Backhaus, 2010, S.470
[158] Vgl.: Backhaus, 2010, S.474ff.

Lieferausfälle kompensieren zu können.[159] Daher sind nur eine aktive oder eine passive Preisstrategie möglich. Bei der aktiven Preisstrategie wird abweichend vom Marktpreis ein Angebot gemacht. Hierbei wird der Preis anbieterseitig meistens unterboten, um etablierte Konkurrenten bei bestimmten Abnehmern aus dem Markt zu drängen. Eine durch aktive Preispolitik höhere Ansetzung als den Marktpreis kann ein Anbieter nur im Fall von langjähriger Zusammenarbeit oder dem Angebot eines für den Abnehmer relevanten Zusatznutzens realisieren. Bei der passiven Preispolitik orientiert sich der Anbieter an den üblichen Marktpreisen, die auch die Wettbewerber bieten oder die vom potenziellen Kunden vorgegeben werden. Durch den fixen Preis resultiert diese Strategie in internen Projekten zur Prozessverbesserung und Rationalisierung der Produktion, um Vorteile beim Betriebsergebnis realisieren zu können.[160]

Die langfristigen Geschäftsbeziehungen haben ebenfalls zwei weitere Effekte. Zum einen versucht der Zulieferer eventuelle Abnahmeschwankungen seitens des Kunden durch Absatzprobleme aufzufangen, indem er Staffelpreise für unterschiedliche Abnahmemengen anbietet. Dies ist notwendig, damit sich auch bei einer geringeren Abnahmemenge die Amortisation von Maschinen lohnt. Zum anderen fordern die Abnehmer s.g. Preisabbauraten. Diese sind durch die Lern-und Effizienzsteigerungseffekte begründet, die sich über die Jahre der Zusammenarbeit mit den Zulieferern ergeben und aus denen monetäre Vorteile resultieren.[161]

[159] Vgl.: Kuhn, 2011, S.142
[160] Vgl.: Kuhn, 2011, S.143
[161] Vgl.: Kuhn, 2011, S.144

# 3 Standardisierung der Magnetschienenbremse

Die zuvor erarbeiteten theoretischen Grundlagen zur Standardisierung finden im Folgenden Anwendung in einem realen Standardisierungsprojekt bei einem großen Zulieferer für Drehgestellausrüstung für Schienenfahrzeuge, für den ein Baukastensystem entwickelt wurde. Die Notwendigkeit des Projektes ergab sich aus der konsequenten Verschlechterung der Werte der Kundenzufriedenheit, gerade in den Bereichen Preis und Lieferzeit einerseits und der internen Komplexitäts- und damit einhergehenden Kostenexplosion.

## 3.1 Unternehmensprofil

Die Knorr-Bremse AG wurde 1905 in Berlin von Georg Knorr gegründet, wodurch das Unternehmen auf eine über einhundertjährige Geschichte blicken kann. Diese Erfahrung im Bereich der Technik für Schienenfahrzeuge spiegelt sich auch in der Tatsache wider, dass Knorr-Bremse, dessen Firmensitz sich heutzutage in München befindet, mit einem Jahresumsatz von 4,303 Milliarden Euro in 2013[162] der Marktführer ist. Neben Ausrüstung für den Schienenverkehr wie Bremssysteme, aber auch Sandungsanlagen oder Türsystemen betätigt sich die Knorr-Bremse AG ebenfalls im Geschäftsfeld der Bremssysteme für Nutzfahrzeuge, welches ungefähr die Hälfte des jährlichen Umsatzes ausmacht. Die Knorr-Bremse AG beschäftigt weltweit 20833 Mitarbeiter[163], von denen weltweit 12000 im Bereich der Schienentechnik tätig sind - ca. 600 am Standort in Mödling, südlich von Wien.

Hier werden sehr erfolgreich Bremssysteme für schienengebundene Fahrzeuge entwickelt und endmontiert. Zu den Produkten zählen primär komplette Bremsrahmen mit Wirbelstrom- oder Magnetschienenbremsen für den Vollbahnbereich, zu dem Schnell- und Regionalbahnen, aber auch Fernverkehrs- und Hochgeschwindigkeitszüge wie der ICE zählen und s.g. Starrmagnete, die primär im Bereich des ÖPNV eingesetzt werden. Weiterhin sind in Mödling auch Bereiche angesiedelt, die sich beispielsweise mit der Entwicklung und Montage von Signaltechnik befassen.

Das Standardisierungsprojekt für die Starrmagnete, mit dem sich die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt, ist in der Abteilung „Forschung & Entwicklung“ für Bogie Equipment integriert, in der sich mit der Schienenfahrzeugausrüstung in den Drehgestellen (engl.: bogie) intensiv auseinandersetzt. In der Abteilung ist die Konstruktion, Erprobung/Berechnung, Technologie und Projektsteuerung

[162] URL: http://www.knorr-bremse.de/de/group/ataglance/aufeinenblickiii.jsp, 28.04.2014
[163] Vgl. Knorr-Bremse Group, 2013. S.12

untergebracht, die von Experten, wie beispielsweise Schweißfachingenieuren, unterstützt werden.

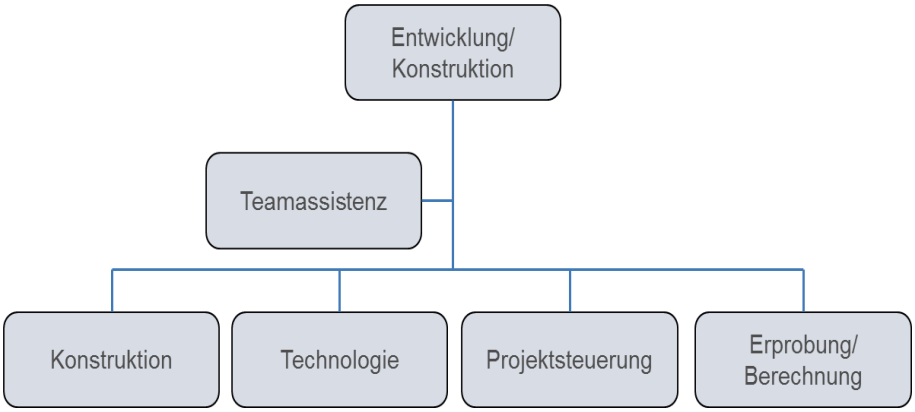



Abbildung 3-1: Organigramm der Abteilung

## 3.2 Die Magnetschienenbremse

Die Magnetschienenbremse, auch Mg-Bremse genannt, ist eine in allen schienengebundenen Fahrzeugen, die Personen befördern vorgeschriebene Notbremseinheit, die das Fahrzeug durch die Reibung zwischen dem s.g. Schienenschuh und der Schiene im Bremsfall stark verzögern kann. Somit ist die Magnetschienenbremse von der Haftreibung zwischen Rad und Schiene vollkommen unabhängig[164], da das Fahrzeug nicht durch den Kraftschluss zwischen Rad und Bremse verzögert wird. Sie ist im Drehgestell des Fahrzeugs zwischen den Rädern auf beiden Seiten angebracht und über die Druckfederaufhängung und die Mitnehmer, die die Bremskraft auf das Fahrzeug übertragen, direkt mit dem Fahrzeug verbunden, wie im folgenden Schema verdeutlicht wird.

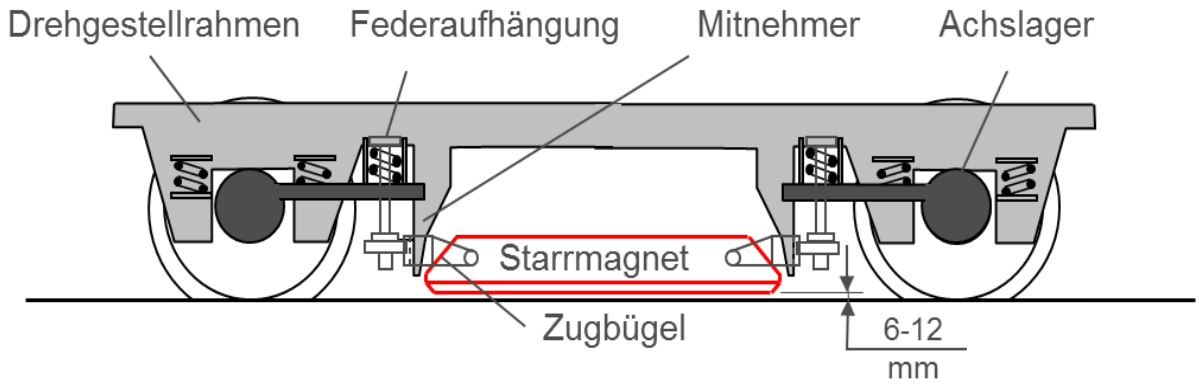
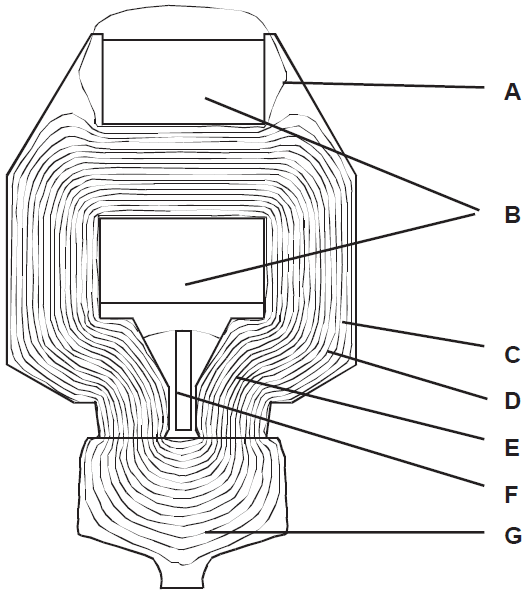



Abbildung 3-2: Schema einer Magnetschienenbremse

Im Anhang (s. Anhang: Abbildung 6-1) wird anhand eines Fotos noch einmal verdeutlicht, wie die Bremse in der Realität innerhalb der Drehgestelle montiert ist.

[164] Vgl.: Backmann, 2010, S.51

Zentrale Komponente der Mg-Bremse ist der Magnetkörper, in dem sich eine längs zur Fahrtrichtung gewickelte Kupferspule befindet. Die Magnetkörper sind aus Baustahl gefertigt, da dieser hervorragende magnetische Eigenschaften besitzt. Im Bremsfall wird diese Spule mittels Gleichstrom erregt und bildet somit ein quer zur Schiene verlaufendes Magnetfeld aus, was durch die Geometrie des Magnetkerns verstärkt wird und dafür sorgt, dass die im Ruhezustand ca. 6-12 mm über der Schiene aufgehängte Bremse an die Schiene herangezogen wird. Dadurch entsteht ein Kontakt zwischen den s.g. Polschuhen, die durch eine Zwischenleiste aus unmagnetischem Material wie Aluminium oder Kunststoff getrennt sind, um einen magnetischen Kurzschluss, z. B. durch anhaftende Eisenteile, zu verhindern und der Schiene. Somit wird der magnetische Fluss über die Schiene geschlossen (s. Abbildung 3-3). Durch diesen Kontakt entsteht Reibung, die in Kombination mit der Anzugskraft als Bremswirkung auf das Fahrzeug übertragen wird. Diese Übertragung geschieht über die Mitnehmer. Hier unterscheidet man neben einzelnen Sonderkonstruktionen grundsätzlich zwischen Mitnahmebock und Zugbügel. Hierbei ist zu beachten, dass die Mitnehmer an der Mg- Bremse immer Mitnehmer als Pendant im Drehgestell zur Kraftübertragung haben. Um den Belastungen beim Bremsvorgang zu begegnen, sind die Mitnehmer an den Kontaktflächen entweder durch Induktion gehärtet oder mit verschraubten oder verschweißten Verschleißblechen versehen. Für das problemlose vertikale Gleiten im Drehgestell auf der Schiene sorgen seitlich angebrachte Verschleißplatten aus Kunststoff. Druckfederaufhängungen, entweder aus vorgespannten Stahlfedern oder auch Elastomeren, sorgen im Zustand des Nicht-Betriebs für die Positionierung oberhalb der Schiene. Bei zunehmendem Radverschleiß wird hier der Sitz der Bremse in Bezug auf die Höhe korrigiert, was tendenziell bei Zugbügeln leichter ist, da hier eine Nachstellung von Unten erfolgen




A Spulenkörper
B Magnetspule (Wicklung)
C Magnetkern
D Magnetfeld
E Polschuhleiste
F Unmagnetische Zwischenleiste
G Schiene

**Abbildung 3-3: Verlauf der magnetischen Feldlinien im Querschnitt eines Starrmagneten**

kann und die Wartungsarbeiten so erleichtert werden (s. Abbildung 3-4).

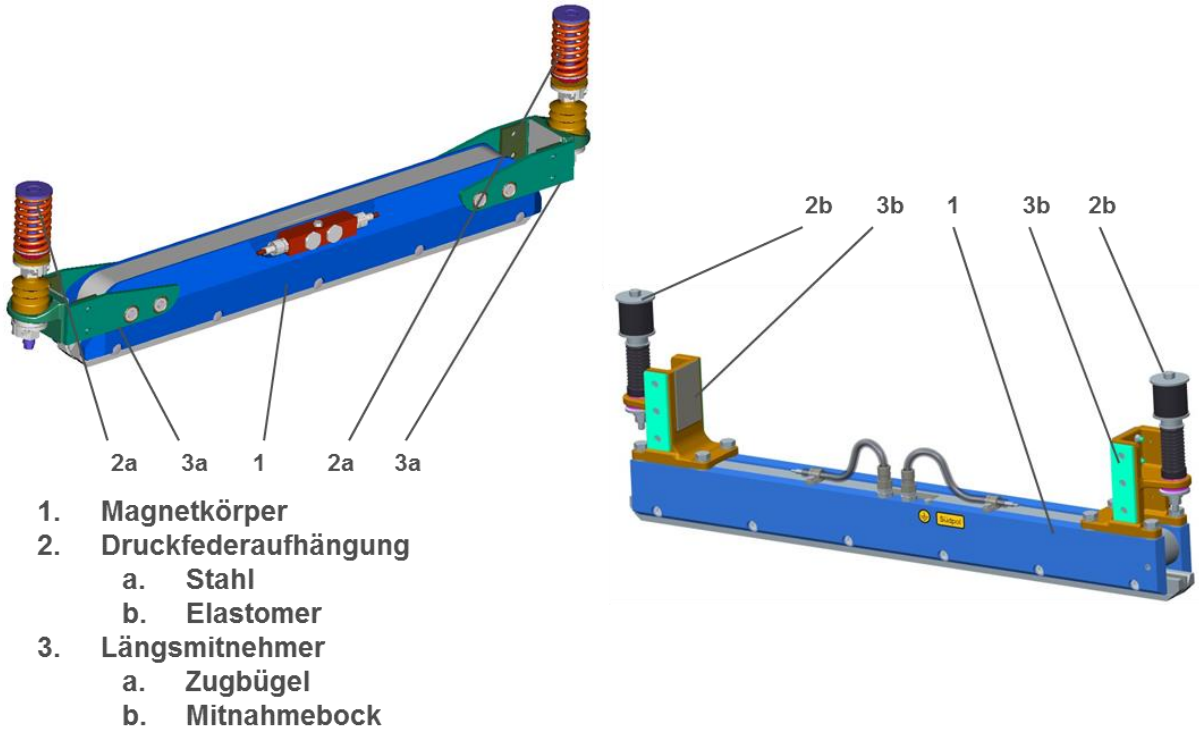



**Abbildung 3-4: Bestandteile der Magnetschienenbremse in Tiefaufhängung**

Die Magnetschienenbremse wird als sicherheitsrelevantes Teil über Batterien gespeist. Der Vorteil ist, dass sie vom übrigen Bordnetz des Fahrzeugs unabhängig ist, allerdings auch dazu führt, dass die Bremskraft nicht dosiert werden kann.[165]

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten von Magnetschienenbremsen. Die hier betrachteten Starrmagneten, die vornehmlich in Straßenbahnen eingesetzt werden und die größeren Gliedermagneten, die standardmäßig im Vollbahnbereich Verwendung finden. Der Starrmagnet besteht aus einem durchgehenden Magnetkörper, an dem die Polschuhe verschraubt sind. Es existieren zwei grundsätzliche Unterschiede bei den Magnetkörpern der Starrmagneten: die Einteiler und die Dreiteiler. Beim Einteiler werden die Magnetkörper aus dem Vollen gefräst und gewährleisten einen besseren Magnetfluss, sind allerdings auch teurer in der Herstellung. Beim Dreiteiler hingegen werden die Magnetkörper aus einem Kern und zwei Wangen miteinander verschraubt, was sich aufgrund der geringeren Kosten durchgesetzt hat. Der Gliedermagnet besteht aus einzelnen Partitionen, die es ermöglichen sich auch bei Unebenheiten der Schienen im Bremsfall besser an diese anzuschmiegen und dadurch eine bessere Bremswirkung erzielen. Gliedermagneten sind wegen der hohen Bremskraft zur Übertragung der Kräfte auf das Drehgestell an s.g. Spurhaltern montiert (s. Anhang: Abbildung 6-2). Daher sind beim Gliedermagneten auch Einsätze bei wesentlich höheren Geschwindigkeiten möglich,

[165] Vgl.: Backmann, 2010, S.51

die bei Verwendung von speziellen Reibmaterialien wie Sintermetall bei den Polschuhen bis zu 350 km/h gehen können.[166]

Die eigentliche Bremskraft ist abhängig von diversen Einflüssen. Die Geometrie, allen voran die Länge des Magneten und somit der Radstand in Kombination mit dem verbauten Raddurchmesser des Drehgestells als begrenzender Faktor für die Einbaulänge, spielen eine große Rolle. Jedoch können sich auch andere Dinge, wie der schlechte Zustand der Schiene, der sich gerade bei Starrmagneten negativ auf die Bremswirkung auswirkt, da bei Unebenheiten ein Luftspalt zwischen Mg- Bremse und Schienenkopf entsteht, auswirken. Ein weiteres, bremskraftminderndes Problem sind s.g. Aufschieferungen (s. Anhang: Abbildung 6-3). Diese durch die Reibung zwischen Schiene und Verschleißmaterial entstehenden Aufschweißungen können die Bremskraft enorm reduzieren und müssen im Rahmen von Wartungen manuell abgeschlagen werden. Hier kann die Verwendung anderer Verschleißmaterialien wie Sintermetall oder Gusseisen mit Kugelgraphit Abhilfe schaffen.[167] Die Bremskraft errechnet sich wie folgt:

$$F_B = F_A * \mu$$

**Formel 1: Bremskraft**

Zu erkennen ist, dass sich die Bremskraft, die entgegen der Fahrtrichtung gerichtet ist, aus der Multiplikation der Haftkraft $F_B$ und dem Bremskraftbeiwert $\mu$ zusammensetzt. Die Haftkraft ist die Kraft mit der die Magnetschienenbremse auf der Schiene festliegt und kann mit Hilfe einer Abrisswaage ermittelt werden.

## 3.3 Analyse der Ist-Situation

Um Ansatzpunkte zur Verbesserung der gegenwärtigen Situation identifizieren zu können, an denen man später geeignete Hebel ansetzen kann, ist es unerlässlich, die aktuellen Prozesse und Umstände zu untersuchen.

Gegenwärtig hält Knorr-Bremse zwar die größten Marktanteile bei den Starrmagneten im Vergleich zu den Konkurrenten, allerdings ist dieser Marktanteil zum einen rückläufig und auch im Vergleich zum Marktanteil bei den Gliedermagneten eher gering.

Da bisher alle Aufträge als eigenständiges Projekt behandelt wurden, wurde immer der im Folgenden beschriebene Prozess durchlaufen, bei dem auch bei kleinsten Änderungen am Produkt, wie die Farbe der Schutzlackierung, eine neue Artikelnummer generiert wurde und einen hohen Verwaltungsaufwand nach sich zieht. Jedoch geht mit dieser projektbezogenen Herangehensweise eine andere, weit

[166] Vgl.: Knorr-Bremse GmbH, 2004, S.38 f.
[167] Vgl.: Knorr-Bremse GmbH, 2004, S.43

wichtigere Problematik einher. Mit dem Projektbezug schafft man eine direkte Verbindung zwischen dem angebotenen Modell des Wagenbauers und somit zwangsläufig auch zum Erfolg des Wagenmodells. Dadurch ist die verkaufte Stückzahl der Bremsen direkt abhängig von der Stückzahl der verkauften Bahnen seitens des Wagenbauers.

Dies führt intern zunehmend dazu, dass Produkte mit hoher Stückzahl Produkte mit geringer Stückzahl quersubventionieren, was soweit gehen kann, dass sogar andere Produktlinien die Verluste bei Starrmagneten mit geringen Stückzahlen auffangen müssen. Dies und die Praxis nicht alle projektbezogenen Gemeinkosten in vollem Umfang an den Kunden weiterzugeben, um Aufträge zu gewinnen, hat über die Zeit dazu geführt, dass die Overhead Cost stetig und sukzessive gestiegen sind. Knorr-Bremse liegt mit seinen Angeboten heutzutage bei Starrmagneten laut Kundenmeinung weit über dem marktüblichen Niveau.

Ein weiteres Problem aus Kundensicht ist die Tatsache, dass die Durchlaufzeiten bei Neuprojekten und auch die Wiederbeschaffungsdauer bei Reparaturen und Reklamationen enorm hoch sind und zunehmend von den Kunden nicht mehr akzeptiert werden.

Dem Preisnachteil der Mitbewerber versucht Knorr-Bremse mittels zwei korrektiver Maßnahmen zu begegnen. Zum einen ist die Verkaufsmarge für die Mg-Bremse von marktüblichen 40% auf 35% gesenkt worden, damit der Verkaufspreis gedrückt wird, das Unternehmen aber trotz weniger Gewinn Zuschläge für Kundenprojekte gewinnen kann. Zum anderen werden projektspezifische Kosten, wie direkt zurechenbare Personalkosten von vornherein nicht bzw. nur teilweise in das Angebot mit einbezogen. Ferner werden die Kosten - speziell für Lieferteile - schon in der Angebots- und Planungsphase seitens des Centers??? of Competence (CoC) auf Basis technisch vergleichbarer Projekte abgeschätzt. Im Rahmen dieser Abschätzung besteht das Problem, dass die im internen System hinterlegten Daten zu den Kosten der Zulieferteile auch mit eingekauften Mengen einkalkuliert sind, dies jedoch als Kalkulationsbasis nicht sinnvoll ist.

Die Kombination aus der gewollten Schmälerung des Gewinnes im Rahmen der Senkung der Marge und Umlage projektspezifischer Kosten auf die Gemeinkosten führt also zu einer sukzessiven Erhöhung der Overhead Cost und somit zu einer generellen Verteuerung der Produkte. Weiterhin existiert eine große Diskrepanz zwischen den Absatzmengen der einzelnen Projekte. Während eine Bremse für eine Plattform wie das Wagenmodell Citadis der Firma Alstom bis zu mehrere tausend Mal produziert und verkauft wird, gibt es auch mehrere Projekte wie beispielsweise die Mariazeller Bahn, bei denen nur wesentlich geringere Mengen im niedrigen, zweistelligen Bereich produziert werden. An diesem Unterschied wird deutlich, dass die oben beschriebene Geschäftspraktik, die gerade bei Projekten mit geringer

Stückzahl angewendet wird, dazu führen muss, dass die stückzahlstarken die stückzahlschwächeren Projekte quersubventionieren.

Da die Standardisierung bei den Gliedermagneten schon erfolgreich umgesetzt wurde, sollen diese nun als Vorbild dienen, um ein gleichbleibend qualitativ hochwertiges Produkt zu geringerem Preis und zu kürzeren Lieferzeiten dem Kunden zur Verfügung stellen zu können und gleichzeitig fern vom heutigen Anlagengeschäft ein reines Produktgeschäft zu generieren, mit dem man den Erfolg des Produkts vom Erfolg des Wagenmodells entkoppeln kann.

## 3.3.1 Analyse der internen Prozesse

Im Weiteren wird zuerst der Geschäftsprozess von der Kundenanfrage bis zur Auslieferung des Produkts illustriert. Dabei werden entlang der Chronologie zuerst die Angebotserstellung, danach die Prozesse im Bereich der Konstruktion und Entwicklung und abschließend die Montage des Produkts bis zur Verpackung dargestellt.

### *3.3.1.1 Angebotserstellung*

Zuerst wendet sich der Kunde zur Angebotserstellung an den in Mödling ansässigen Bereich Sales and System (S+S). Dieser leitet die Kundenanfrage mit den besonderen Spezifikationen für das Projekt an den Bereich „Systemtechnik“ weiter, wo die Zusammenstellung der Bremse im Hinblick auf die Erfüllung der Vorgaben im Lastenheft berechnet wird. Im Anschluss wird das erarbeitete Konzept zwecks Erstellung eines vorläufigen Angebots an das Center of Competence (CoC) in München übermittelt, das den Preis für die zu erstellenden Bremsen ermittelt. Das Angebot wird wiederum vom Vertrieb im Rahmen der Ausschreibung an den potenziellen Kunden kommuniziert.

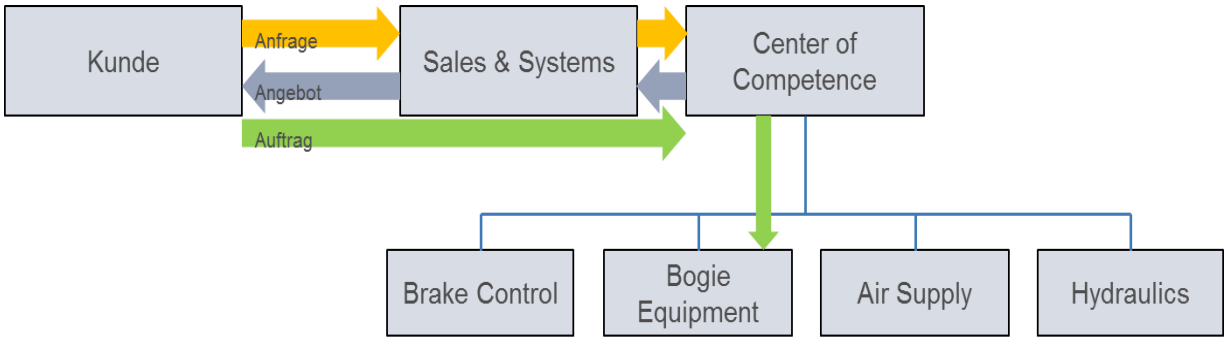



**Abbildung 3-5: Schema der Angebotserstellung und Auftragserteilung**

### *3.3.1.2 Entwicklung und Konstruktion*

Bei Annahme des Angebots werden die Aufhängungspunkte der Drehgestelle, in denen die Magnetschienenbremse untergebracht ist, vom Fahrzeugbauer an die Konstruktionsabteilung von Knorr-Bremse in Mödling übermittelt. Dort werden in der

Konstruktionsabteilung auf Basis des von der Systemtechnik erstellten Konzeptes und unter Einhaltung der Vorgaben, die nötigen Konstruktionszeichnungen angefertigt, damit die Mitnehmer und die Druckfederaufhängungen den vom Fahrzeugbauer vorgegebenen Aufhängungspunkten entsprechen. Um zu gewährleisten, dass die Konstruktionen den auftretenden Kräften beim Notbremsvorgang standhalten, müssen sie unter Anwendung von Finite-Elemente-Methodik berechnet und im Hinblick auf ihre Stabilität in Dauerbelastungsversuchen geprüft werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass Normen, sowie gesetzliche und qualitative Vorgaben eingehalten werden können. Wenn die Stabilität der Konstruktion nicht ausreichend ist, wird sie im Rahmen einer Iterationsschleife geändert und anschließend wieder geprüft, bis die benötigte Stabilität erreicht ist.

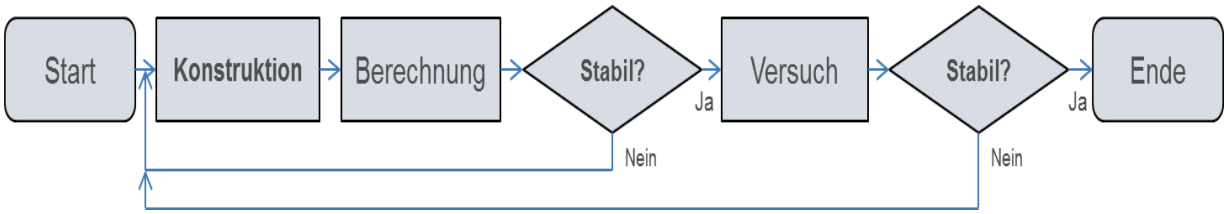



**Abbildung 3-6: Flussdiagramm der Konstruktion**

Wie oben gezeigt, ist der Prozess von der ersten Anfrage bis zum Beginn der Montage relativ lang. Die Tatsache, dass die Systemtechnik zu jedem Projekt ein technisches Konzept gestalten muss, ist ebenso zeitaufwändig wie der Konstruktionsprozess bis zur Produktreife der Bremse. Grob kann man pro Projekt für Konstruktion, Berechnung und Tests 500 Stunden Arbeitszeit einkalkulieren, was neben der Zeit auch mit hohen Personalkosten verbunden ist.

#### *3.3.1.3 Montageprozess*

Nach Fertigstellung aller entsprechenden Bauteile und Dokumente werden diese an die entsprechenden Zulieferer übermittelt, die die Bauteile herstellen.

**Abbildung 3-7: Zwischenlager Magnetkörper**

Nach Fertigstellung werden die Teile Just in Time angeliefert und auf entsprechenden Flächen, die als Zwischenlager dienen, verbracht. Die Entnahme erfolgt nach dem Kanban Prinzip, so dass keine bzw. kaum Aufwand für Lagerhaltung entsteht. Für die Zwischenlagerung der

Starrmagneten sind im Lager zehn Palettenplätze vorgesehen, wo Halbzeuge aber auch fertige Module, die auf die Weiterbearbeitung warten, bei Bedarf zwischengelagert werden können.

Die Endmontage geschieht in der KBA Mödling, wobei jede Magnetschienenbremse, egal ob Starr-, oder Gliedermagnet, grundsätzlich den gleichen Prozess durchläuft. Da die Montage der Magnete immer gleich oder zumindest ähnlich ist, wird das Prinzip der Reihenfertigung angewendet, bei der immer einzelne Lose produziert werden. Falls zwischen den einzelnen Fertigungsstationen Leistungsunterschiede bestehen, werden diese durch kleinere Zwischenpuffer ausgeglichen.

Abbildung 3-8: Montage Magnetkörper, Wickeln und Bandagieren

1. **Montage der Magnetkörper**

Zuerst werden die Magnetkörper bzw. die Wangen und der Magnetkern bei den dreiteiligen Magneten gereinigt. Um den Magnetkörper der Dreiteiler zu erstellen, werden diese innerhalb einer Vorrichtung montiert, da sie gerichtet werden müssen. Ohne diesen Schritt wären die dreiteiligen Magnetkörper durch die Verschraubung solider Stahlteile stark verzogen und eine maßgenaue Endmontage könnte nicht gewährleistet werden.

2. **Wickeln der Spule**

Die Magnetkörper werden in diesem Schritt in die Wickelvorrichtung eingespannt. Zuerst wird die Spule mit Kupferflachdraht gewickelt. Der Flachdraht ist mit einer isolierenden Lackschicht umgeben, um einen Kurzschluss innerhalb der Spule zu verhindern. Als nächstes werden die elektrischen Anschlüsse angebracht, durch die die Spule im Einsatz mit Gleichstrom erregt werden kann. Um die Spule zu schützen, wird sie mit einer isolierenden Schicht aus Glasseide umwickelt.

**3. Bandagieren und Schweißen**

Hier wird die nun gewickelte Spule mit einem breiten Kupferband umwickelt. Dies dient beim späteren Schweißvorgang der Wärmeableitung und soll so die Schicht aus Glasseide vor Beschädigung durch Hitze schützen. Danach wird ein unmagnetisches Band aus Edelstahl um die Spule gewickelt. Dieses verhindert einen magnetischen Kurzschluss durch den Magnetkörper und bildet letztendlich die Außenschicht der Spule. Das Edelstahlband wird mittels einer Stanzmaschine mit Ausklinkungen versehen, um es für den Schweißvorgang in Position zu halten. Als letztes wird mit einer Kehlnaht zwischen Magnetkörper und Bandagierband der Magnetkörper rundherum dichtgeschweißt und die überlappenden Teile des Edelstahlbandes werden mit einem s.g. Überlappstoß luftdicht verschlossen.

**4. Dichtheitsprüfung und Vergießen**

Nun wird der dichtgeschweißte Magnetkörper unter Druck gesetzt und mit Seifenlauge benetzt, um zu prüfen, ob die Spule dicht ist. Dieser Schritt ist wichtig für das spätere Vergießen. Falls Lecks auftreten, werden diese markiert und in Handarbeit nachgeschweißt. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt bis der Spulenkörper vollkommen dicht ist und keine Lecks mehr auftreten.

Anschließend wird der Magnetkörper als Vorbereitung auf das Vergießen auf 140°C vorgewärmt. Danach wird der Spulenraum auf der einen Seite mit einer Pumpe evakuiert, während auf der anderen Seite durch einen Schlauch ein Gemisch aus Epoxidharz und Härter in den Spulenkörper eingebracht wird. Wenn der Spulenkörper ganz mit dem Gemisch gefüllt ist, wird die Zufuhr unterbrochen und der vergossene Magnetkörper härtet in einem Zeitraum von acht Stunden bei 140°C in einem Ofen aus. Dieser Schritt ist notwendig, um eine „Verbesserung der mechanischen Festigkeit und des Schutzes gegen aggressive Medien und Wasser“[168] gewährleisten zu können. Die Vergussöffnungen werden mit Stopfen verschlossen.

[168] Kallenbach, 2008, S.287

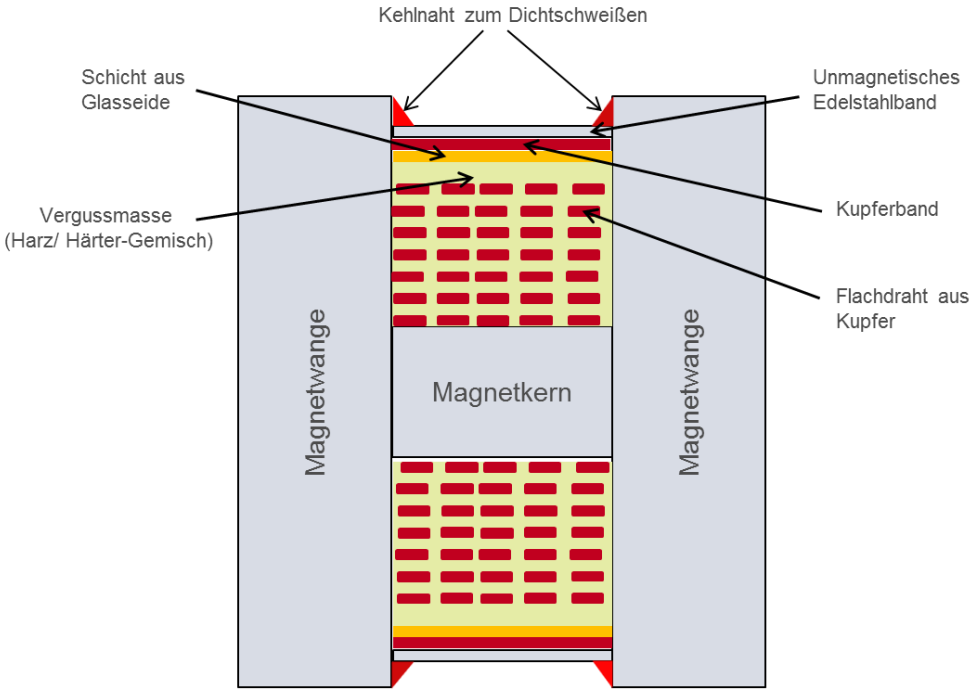



**Abbildung 3-9: Aufbau des Magnetkörpers (Querschnitt)**

### 5. Zwischenmontage und Lackierung

Zur Vorbereitung auf die Lackierung wird die Oberfläche der zu lackierenden Teile durch Druckluftstrahlen und durch den Beschuss mit Stahlgusskugeln vorbehandelt. Dies dient einerseits der Reinigung der Oberfläche von Rost oder Schmutz und andererseits dem Aufrauen der Oberfläche, um bessere Haftbedingungen für die Grundierung aus Epoxidharz zu schaffen. Epoxidharz dient dem Schutz vor Korrosion der Metallteile und bietet zudem ideale Bedingungen für das Aufbringen des Lacks.

An Magnetkörpern, Mitnehmern und Schienenschuhen wird an den entsprechenden Flächen der Schnittstellen die Grundierung aufgebracht und alle Anbauteile werden fertig am Magnetkörper montiert. Dadurch sind auch die Schnittstellen dauerhaft vor Korrosion geschützt.

Nun wird die vormontierte Mg-Bremse in der Lackierstraße erst grundiert und abschließend nach Kundenwunsch lackiert. Dabei wird ein 2-Komponenten Polyurethan Decklack verwendet, der mithilfe einer Sprühpistole aufgebracht wird.

Abbildung 3-10: Lackierstraße Knorr-Bremse Mödling

### 6. Endmontage und Prüfung

Zuletzt werden an den lackierten Mg-Bremsen die Kabel montiert. Dabei werden die Anschlüsse entweder im Magnetkörper verschraubt oder miteinander mit einer speziellen Zange gecrimpt, um sie fest zu verbinden.

Je nach Kundenwunsch werden auch die Druckfedern an den Druckfederaufhängungen des Starrmagneten oder die Gliedermagnete an den Spurhaltern montiert.

Als letztes muss sich jede Bremse strengen Tests unterziehen, bei denen die Schichtdicke der Lackierung, der elektrische Innenwiderstand und die magnetische Polarität geprüft werden, bevor das Produkt endgültig für die Auslieferung verpackt wird.

Abbildung 3-11: Endmontage Mg-Bremse

Abbildung 3-12: Flussdiagramm des Montageprozesses

Die Durchlaufzeit für ein Neuprojekt, angefangen von der Angebotserstellung bis zur Auslieferung beträgt heutzutage insgesamt ungefähr drei bis vier Monate.

### 3.3.2 Kundenzufriedenheit[169]

Einer der wichtigsten Treiber der Standardisierung neben den Kosten ist die Kundenzufriedenheit. Somit wird im folgenden Abschnitt durch eine Kundenumfrage die Kundenzufriedenheit in Bezug auf wichtige Aspekte wie Preis, Zeit und Qualität analysiert, um zu erkennen, wo die dringendsten Verbesserungspotentiale liegen, die mittels des Standardprodukts ausgeschöpft werden sollen.

Knorr-Bremse GmbH verfügt über eine ausgeprägte Stammkundenstruktur bei der 65,85% der Kunden bereits über 15 Jahre Kunde bei Knorr-Bremse sind. Bei der Gesamtzufriedenheit geben 95,11% der Kunden an zufrieden oder sehr zufrieden zu sein, wobei 56,09% zufrieden sind, was der gleiche Wert ist mit dem die Kunden die Mitbewerber beurteilen. Momentan sind lediglich 4,87% der Kunden mit dem Mitbewerber sehr zufrieden. In der Kategorie der Zufriedenheit mit den angebotenen Produkten ergibt sich ebenfalls ein hoher Wert von 95,11% von Kunden, die zufrieden oder sehr zufrieden sind.

92,67% der Kunden geben an, zufrieden oder sehr zufrieden (58,53%) mit der Qualität der Produkte von Knorr-Bremse zu sein, was ein sehr guter Wert ist und zeigt, dass hier kein Optimierungsbedarf besteht.

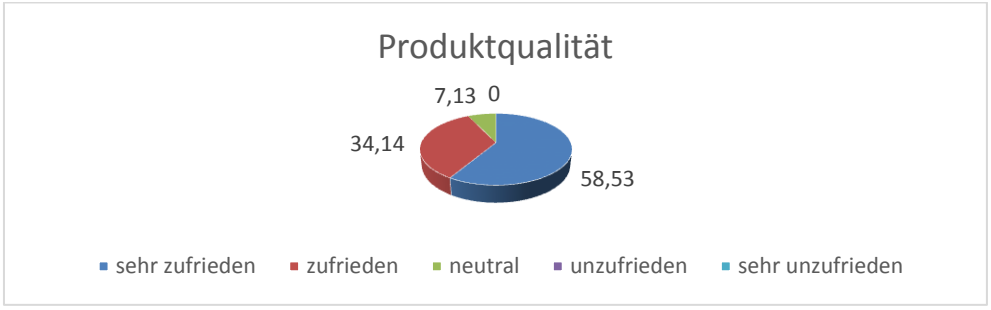



Abbildung 3-13: Kundenzufriedenheit mit der Qualität

[169] Alle Werte wurden der Auswertung der alle zwei Jahre stattfindenden, internen Kundenbefragung der Knorr-Bremse GmbH von 2012 entnommen.

Der Preis der Produkte ist für 97,55% der Kunden eine Kategorie von zentraler Wichtigkeit. Die Tatsache, dass Knorr-Bremse bei den Fahrzeugbauern aufgrund des hohen Preises nicht der bevorzugte Lieferant ist, da die Leistung günstigerer Produkte der Mitbewerber gerade im Bereich der Mg-Bremse ausreichend ist, unterstreicht diesen Eindruck. Somit ist nicht verwunderlich, dass lediglich 41,45% der Kunden laut Umfrage sehr zufrieden oder zufrieden mit dem Preis sind. 39,02% sind unentschieden bei der Frage nach der Zufriedenheit mit dem Preis und 19,51% sind unzufrieden mit der Preisgestaltung. So bietet gerade die Kundengruppe der unentschiedenen Kunden in Bezug auf den Preis ein enormes Potential, da sie bei Preisreduktionen schnell in die Kategorie der zufriedenen Kunden wechseln könnten. Die Tatsache, dass 1/5 der Kunden unzufrieden sind zeigt allerdings sehr deutlich den Handlungsbedarf in diesem Bereich an.

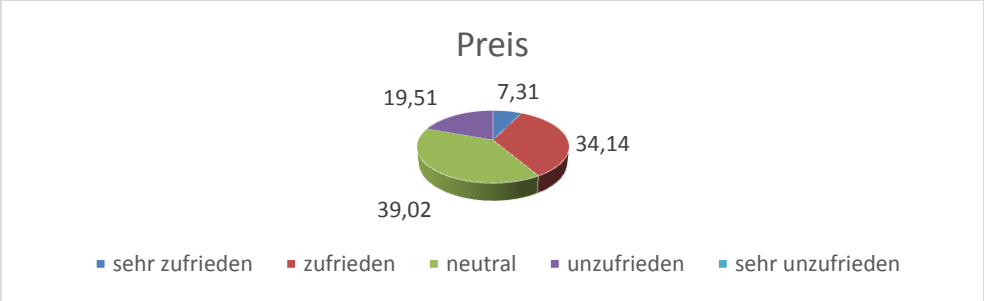



**Abbildung 3-14: Kundenzufriedenheit mit dem Preis**

Hinsichtlich der Lieferzeit bei Neuprodukten sind die Eindrücke der Kunden ähnlich. 95,11% der Kunden schreiben der Pünktlichkeit der Lieferung eine enorme Wichtigkeit zu. Zufrieden und sehr zufrieden sind kumuliert lediglich 63,41% der Kunden, wobei knapp die Hälfte der Befragten (48,78%) eher durchschnittlich zufrieden ist.

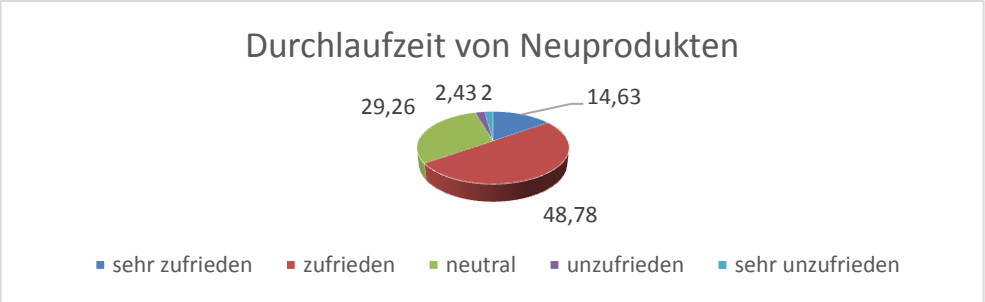



**Abbildung 3-15: Kundenzufriedenheit mit der Lieferzeit**

Bei der Durchlaufzeit von Reparaturen und Reklamationen zeichnet sich hingegen ein katastrophales Bild ab. 29,24% der Kunden geben an zufrieden oder sehr zufrieden mit der Wartezeit bei Reparaturen zu sein, wobei diese Kategorie mit 95,21% als sehr wichtig oder wichtig eingestuft wird.

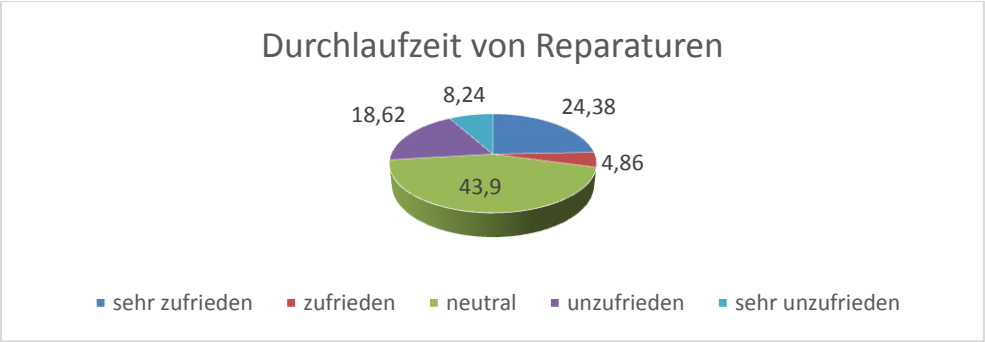



**Abbildung 3-16: Kundenzufriedenheit mit der Durchlaufzeit von Reparaturen**

Einige der Werte, vor allem die Kundenzufriedenheit bei der Durchlaufzeit der Reparaturen, zeigen schon als absolute, prozentuale Werte eine Handlungsdringlichkeit. Wie in Kapitel 2.3.2 bereits beschrieben verschlechtert sich der Wert durch den Multiplikatoreffekt bei Investitionsgütermärken noch einmal mehr.

### 3.3.3 Der Markt für Magnetschienenbremsen

Eine Analyse des zu bedienenden Marktes ist ebenfalls unerlässlich, um abzuschätzen, welche Potentiale, beispielsweise in Bezug auf Absatzziele erreicht werden können.

Beim Markt für schienengebundene Fahrzeuge handelt es sich um einen sehr engen Markt, bei dem verhältnismäßig wenig Abnehmer vertreten sind. Dem gegenüber steht eine vergleichsweise große Zahl an Anbietern von Magnetschienenbremsen. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass es sich beim Starrmagneten um ein relativ simples Produkt handelt und somit die Markteintrittsbarrieren vergleichsweise gering sind. Die Kundenbeziehungen sind rein Business to Business (B2B) bei denen es als Kunden für Knorr-Bremse ausschließlich Firmenkunden in Form von Wagenbauern oder den Betreibern der Fahrzeuge gibt. Für das Geschäft mit der Erstausrüstung sind die Fahrzeugbauer die Hauptkunden, wobei das Nachmarktgeschäft primär von den Fahrzeugbetreibern geprägt ist. Durch diese Marktsituation erfolgt die Entscheidung über den Zuschlag von Aufträgen gerade im Bereich der Starrmagneten primär über den Preis. Dieser enorme Preisdruck stellt eine große Problematik dar, die wie bereits erwähnt mittlerweile schon dazu geführt hat, dass die Verkaufsmarge gesenkt wurde, um Aufträge zu gewinnen.

Der aktuelle Marktanteil für Magnetschienenbremsen bei Light Rail Vehicles (LRV) stagniert bei 35%. Knorr-Bremse ist damit zwar Marktführer, kann allerdings momentan die Anteile auch nicht signifikant ausbauen, da diverse Fahrzeugbauer aufgrund der günstigeren Preisstruktur bestimmte Konkurrenten von Knorr-Bremse präferieren.

Einziger Fahrzeugbauer mit Single-sourcing bei Knorr-Bremse ist die Firma Stadler Rail. Der Marktführer beim Bau und Verkauf von Straßenbahnen – Bombardier - bezieht seine Bremsausrüstung fast ausschließlich bei Ralf Schwarzer Verkehrstechnik (RSV). Die beiden anderen großen Hersteller von Straßenbahnen, Alstom und Siemens, beziehen ihre Bremsausrüstung hauptsächlich bei Hanning&Kahl oder haben bei der Ausschreibung aufgrund der langjährigen Zulieferung seitens Hanning&Kahl eine starke Präferenz dazu. Bei Vossloh und PESA ist Knorr-Bremse ein starker Zulieferer, da Vossloh und Knorr-Bremse den gleichen Hauptaktionär haben, der sein Engagement im Bahnbereich ausbauen will. Mit der Firma PESA wurden im Zuge der infrastrukturellen Verbesserung vieler polnischer Großstädte in den letzten Jahren viele Projekte erfolgreich umgesetzt.

Die Verkaufspreise der Mg-Bremsen liegen gegenwärtig zwischen 1200 und 1600 €/Stk. und bilden damit den oberen Preisbereich des Marktes aus. Der Großteil der Konkurrenten liegt darunter und kann teilweise einen Stückpreis pro Bremse von bis zu 1000€/Stk. anbieten, wobei auch zu erwähnen ist, dass es sich dabei auch für alle anderen Hersteller von Starrmagneten um einen „Kampfpreis“ handelt.

Für den gesamten Markt wird in den nächsten fünf Jahren ein positives Wachstum prognostiziert. Dies hat zum einen den Grund, dass wachsende Städte die Infrastruktur des ÖPNV ausbauen, um Umweltprobleme und Probleme, die mit dem erhöhten Verkehrsaufkommen an Autoverkehr einhergehen, reduzieren wollen. Gerade hierbei hat sich die Verwendung von LRV als sehr effektiv erwiesen, da sie zum einen in der Anschaffung günstiger sind als Metrosysteme und zum anderen ohne zu großen baulichen Aufwand beispielsweise in den Straßenverkehr integriert werden können. Das Wachstum wird einerseits durch Neuprojekte gefördert, die durch Erschließung des urbanen Raums oder der Peripherie in den nächsten Jahren entstehen sollen und andererseits durch die Erneuerung alter Bahnbestände mit neuen Bahnen. Allein diese Erneuerung des Fuhrparks hat ein Absatzpotential von 1500 Neufahrzeugen pro Jahr.[170]

So wird trotz der Wirtschaftskrise von 2008 und der Tatsache, dass tendenziell der öffentliche Nahverkehr unterfinanziert ist ein Marktwachstum von 5% p.a. erwartet.[171]

### 3.3.4 Analyse der aktuellen Varianten

Als nächstes werden die aktuellen Varianten dargestellt. Da bisher kein Variantenmanagement innerhalb der Starrmagnete implementiert war, hat sich im Laufe der Zeit eine enorme Anzahl an Varianten herausgebildet, die selbst für Mitarbeiter, die im Tagesgeschäft mit dem Produkt zu tun haben, schwer bzw. unmöglich überblickt werden können.

[170] Vgl. SCI Verkehr GmbH, 2010, S.20
[171] Vgl. SCI Verkehr GmbH, 2010, S.25

*„Wir wissen nicht genau, wo diese ganzen Varianten herkommen. Die waren einfach irgendwann da und jetzt haben wir den Überblick verloren.“*

R. Rathammer, Produktmanager Starrmagnete, Entwicklung

Da seitens der Konstruktion keinerlei Vorgaben in Bezug auf die Gestaltung bestehen, wird zur ersten Illustrierung des gesamten Variantenspektrums eine Lösung mittels Kombinatorik verwendet. Der Anschaulichkeit halber werden die verschiedenen Ausprägungen der einzelnen Module und Schnittstellen in ein Ordnungsschema, dem morphologischen Kasten, eingetragen. Danach wird die Anzahl aller Teilausprägungen der verschiedenen Ebenen mit der Anzahl aller Ausprägungen der anderen Ebenen multipliziert, so dass ein Gesamtbild aller möglichen Gesamtkombinationen entsteht.[172] Die untersuchten Ebenen sind:

**Ebenen:**

1. Ebene: Bauart ( Einteiler; Dreiteiler)
2. Ebene: Typ (Typ 1.1; Typ 1.2; Typ 1.3; Typ 2.1; Typ 2.2)
3. Ebene: Haftkraft (kN)
4. Ebene: Magnetlänge (mm)
5. Ebene: Magnethöhe (mm)
6. Ebene: Betriebsstrom (V)
7. Ebene: Kabelaustrittsrichtung (X; X/Z; Y; Z)
8. Ebene: Position des Kabelanschlusses (Mitte; Seite; rechts)
9. Ebene: Anschlagtyp der Schienenschuhe (Typ 1; Typ 2; Typ 3)
10. Ebene: Höhe der Schnittstelle (mm)
11. Ebene: Typ Schienenschuh (Typ 1; Typ 2)
12. Ebene: Auflagelänge des Schienenschuh (mm)
13. Ebene: Verschleißmaterial (Stahl; Sinter)
14. Ebene: Verschleißhöhe (mm)
15. Ebene: Mitnehmerart (Mitnahmebock; Zugbügel; Sonderform)
16. Ebene: Mitnahmehöhe (mm)
17. Ebene: Mitnahmebreite (mm)
18. Ebene: Befestigung (geschraubt; geschweißt)
19. Ebene: Druckfeder (Typ1-10; Sonderbauform)
20. Ebene: Druckfederanbindung (Mitnehmer; Magnetkörper)

Im vorliegenden Fall zur Untersuchung der Ist-Situation ergibt sich somit folgende Berechnung:

[172] Vgl. Meier, 2002, S.109

$$N_{Gesamt} = N_{Bauart} * N_{Typ} * N_{Haftkraft} * N_{Länge} * N_{Höhe} * N_{Betriebsspannung} * N_{Kabelaustrittsrichtung} * N_{Position} * N_{Anschlagtyp} * N_{HöheSchnittstelle} * N_{TypSchienenschuh} * N_{Auflagelänge} * N_{Verschleißmaterial} * N_{Verschleißhöhe} * N_{Mitnehmer} * N_{Mitnahmehöhe} * N_{Mitnahmebreite} * N_{Befestigung} * N_{Druckfedertyp} * N_{Anbindung}$$

**Formel 2: Kombinatorik der Varianten**

Der Ausschnitt des morphologischen Kastens zur ersten Abschätzung der möglichen unterschiedlichen Varianten sieht wie folgt aus:

| Modul/ Schnittstelle | Attribut | Ausprägung | | | | | | | | | | | Anzahl N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Magnetkörper | Bauart | Einteiler | Dreiteiler | | | | | | | | | | 2 |
| | Typ | Typ 1.1 | Typ 1.2 | Typ 1.3 | Typ 2.1 | Typ 2.2 | | | | | | | 5 |
| | Haftkraft | 18 | 40 | 42 | 51 | 54 | 58 | 63 | 64 | 65 | 66 | 68 | 70 | 17 |
| | Länge | 510 | 566 | 740 | 800 | 840 | 886 | 900 | 916 | 940 | 980 | 1000 | 1016 | 17 |
| | Höhe | 97 | 100 | 105 | 106 | 108 | 110 | 113 | 115 | 116 | 117,5 | 118 | 118,5 | 21 |
| | Betriebsspannung | 24 | 27 | 36 | 72 | 110 | | | | | | | | 5 |
| | Kabelaustrittsrichtung | x | x/z | y | z | | | | | | | | | 4 |
| | Position Anschluss | Mitte | Seiten | rechts | | | | | | | | | | 3 |
| Schnittstelle Magnetkörper/ Schienenschuh | Anschlagstyp | Typ I | Typ II | Typ III | | | | | | | | | | 3 |
| | Höhe Schnittstelle | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | | | | | | | | 5 |
| Schienenschuh | Typ Schienenschuh | Typ I | Typ II | | | | | | | | | | | 2 |
| | Auflagelänge Schienenschuh | 498 | 550 | 700 | 800 | 900 | 908 | 950 | 964 | 1000 | 1050 | 1090 | | 13 |
| | Verschleißmaterial | Stahl | Sinter | | | | | | | | | | | 2 |
| | Verschleißhöhe | 8 | 10 | 12 | 18 | 24 | | | | | | | | 5 |
| Mitnehmer | Mitnehmer | Mitnahmebock | Zugbügel | | | | | | | | | | | 2 |
| | Mitnahmehöhe | 4 | 10 | 20 | 21 | 26 | 33 | 121 | 129 | 130 | 132 | 145 | | 24 |
| | Mitnahmebreite | 49 | 52 | 54 | 66 | 74 | 80 | 86 | 88 | 90 | 98 | 106 | | 14 |
| Schnittstelle Magnetkörper/ Mitnehmer | Befestigung | geschraubt | geschweißt | | | | | | | | | | | 2 |
| Druckfeder | Typ | Typ I | Typ II | Typ III | Typ IV | Typ V | Typ VI | Typ VII | Typ VIII | Typ IX | Typ X | | | 10 |
| Schnittstelle Magnetkörper,Mitnehmer/ Druckfeder | Anbindung | Mitnehmer | Magnetkörper | | | | | | | | | | | 2 |

**Abbildung 3-17: Morphologischer Kasten zur Berechnung der Varianten**

Daraus ergibt sich nach Formel 2:

$$N_{Gesamt} = 381.735.244.800.000\ Varianten$$

Wie zu sehen ist, ergibt sich rechnerisch eine Variantenvielfalt von über 380 Billionen verschiedenen Varianten. Dabei ist zu beachten, dass durch die Kombinatorik zwar alle möglichen Varianten berücksichtigt werden, darin jedoch auch Varianten generiert werden, die unsinnig oder gar nicht möglich sind. Das Verfahren der Kombinatorik generiert somit eine Variantenflut, die beherrscht werden muss. So ist über 95% der errechneten Lösungen s.g. Variantenschrott, der nicht als ernsthaftes Konzept in Betracht gezogen werden kann. Da dieses Verfahren sehr schnell eine enorm hohe Anzahl an Varianten erstellt, ist somit eigentlich nur eine Betrachtung einer Matrix von maximal fünf mal fünf Ausprägungen sinnvoll zur Bestimmung.[173]

Im vorliegenden Fall ist die Diversität der einzelnen Module und Schnittstellen der Projekte allerdings so hoch, dass selbst bei Reduktion der Ausprägungen, beispielsweise durch Zusammenfassung der Magnetkörper zu einzelnen Typen, die Variantenvielfalt für die Berechnung immer noch zu hoch wäre und damit unübersichtlich und nicht sinnvoll wäre.

[173] Vgl. Meier, 2002, S.111

Eine weitere Form der Darstellung der Varianten im Unternehmen kann anhand eines Variantenbaums erfolgen. Aufgrund der enorm großen Anzahl der Varianten laut Berechnung (s.o.) ist die Darstellung des kompletten Variantenbaums wie bereits erwähnt nicht möglich. Daher werden lediglich noch die Projekte der letzten sieben Jahre abgebildet.

**Abbildung 3-18: Variantenbaum Ist-Situation**

Wie Abbildung 3-18 zeigt, ist der Variantenbaum bereits in der ersten Ebene als Wurzel mit der Unterscheidung der Bauform zwischen Einteilern und Dreiteilern breit aufgestellt. In der zweiten Ebene verbreitert sich der Baum weiter durch die Verwendung fünf verschiedener Magnettypen in der Konstruktion. Diese Typen werden in der dritten Ebene mit unterschiedlichsten Haftkräften von 18 kN bis 81 kN angeboten. In Ebene vier und fünf wird der Variantenbaum weiter aufgespalten, wobei hier die Magnetlänge und die Magnethöhe beschrieben werden. Grundsätzlich ist zu erkennen, dass sich der Variantenbaum von der Wurzel an breit aufstellt und sich in den direkt folgenden Ebenen durch das Vorhandensein vieler verschiedener Ausprägungen der Attribute sehr schnell verbreitert. Somit ist die oben beschriebene und seitens der Mitarbeiter empfundene Unübersichtlichkeit der Produktportfolios gut nachzuvollziehen.

Generell ist anzustreben in der Chronologie der Montage die Diversifikation und damit einhergehende, kundenspezifische Anpassungen möglichst weit hinten in der Montagereihenfolge anzuordnen und somit den Variantenbaum so lange wie möglich so schmal wie möglich zu gestalten.[174]

## 3.4 Projektvorbereitung zur Standardisierung

Die Analyse der Ist-Situation zeigt den dringenden Handlungsbedarf an, da langwierige, interne Prozesse und das fehlende Variantenmanagement mit der Zeit dazu geführt haben, dass die Durchlaufzeiten länger, die Kosten höher und die Variantenflut zunehmend unbeherrschbar geworden ist. Dies manifestiert sich

[174] vgl. VDI, 1999, S.42

ebenfalls in den teils schlechten Werten bei der Kundenzufriedenheit. Dennoch zeigt die Marktanalyse ebenfalls, dass es sich um einen Wachstumsmarkt handelt, in dem operiert wird. Alle diese Faktoren unterstützen die Argumentation für ein Standardisierungsprojekt, um in Zukunft wettbewerbsfähig am Markt agieren zu können.

## 3.4.1 Stakeholderanalyse

Um das Projektumfeld des Standardisierungskonzepts zu erfassen, wurde zuerst eine Stakeholderanalyse erarbeitet, damit alle Interessengruppen des Projekts erfasst und Probleme schon frühzeitig aufgedeckt werden können. Des Weiteren sollen so die Schnittstellen zu anderen Unternehmensbereichen aufgezeigt werden, die dieses Projekt tangiert. So werden frühzeitig alle relevanten Aspekte, Erwartungen und Wünsche der einzelnen Interessensgruppen erfasst und in das Projekt integriert. Dies verhindert einerseits, dass einzelne Bereiche übergangen werden und andererseits, dass das Produkt am Markt vorbei entwickelt wird.

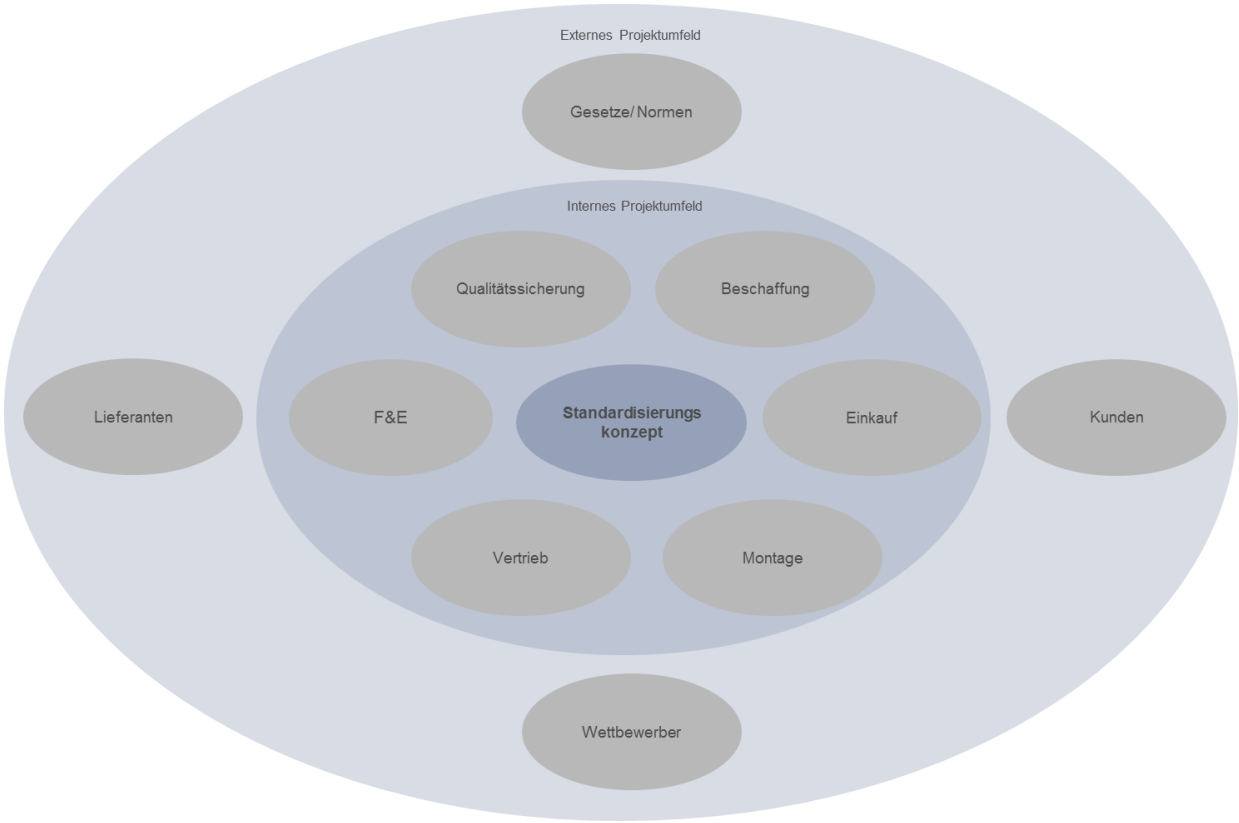



**Abbildung 3-19: Projektumfeld der Standardisierung**

### *3.4.1.1 Interne Stakeholder*

Nach einer ausführlichen Besprechung des Projektes wurden folgende sechs Unternehmensbereiche, die für das Projekt immens wichtig sind, ermittelt.

1. Forschung & Entwicklung
2. Vertrieb
3. Montage
4. Einkauf
5. Qualitätssicherung
6. Beschaffung

Auf Basis mehrerer, abteilungsinterner Umfragen wurden folgende Aspekte bei den internen Stakeholdern ermittelt, die bei der Entwicklung des Produktes beachtet werden müssen.

Die **Forschung und Entwicklung** erwartet sich durch die Einführung eines Baukastensystems in erster Linie eine Reduktion des Konstruktionsaufwands bei den einzelnen Projekten. So ist hier von besonderem Interesse, dass weiterhin ein großes Spektrum an Kundenanforderungen abgedeckt werden kann und dabei auf konkrete Konstruktionsvorschriften zurückgegriffen werden kann, da das Fehlen solcher Vorschriften speziell im Bereich der Berechnung und Prüfung immer wieder zu einem enormen Mehraufwand geführt hat und durch die vielen unterschiedlichen Konstruktionen nicht auf schon vorhandene Berechnungen zurückgegriffen werden konnte. Seitens einiger Konstrukteure existieren Bedenken in Bezug auf die Akzeptanz seitens des Kunden, da sie durch die bisher praktizierte Vorgehensweise in Form von Projekten davon ausgehen, dass die Kunden die Individualisierung und die speziell auf sie zugeschnittene Betreuung enorm schätzen. Bedenken, dass die Standardisierung dazu führen könnte, dass Personal in der Entwicklung freigesetzt wird, da durch den Produktbaukasten weniger Konstruktionsarbeit anfällt, wurden ebenfalls geäußert.

Der **Vertrieb** sieht gegenwärtig keinen wirklichen Handlungsbedarf zur Entwicklung und Einführung eines Baukastensystems, weil sie mit dem momentanen Vorgehen zufriedenstellend gute Umsätze und dadurch auch Erfolgsbeteiligungen generieren. Sie sehen aber beim Kunden eine hohe mögliche Akzeptanz für ein Standardprodukt, sofern ein offensichtlicher Vorteil in Form des Preises und der Lieferzeit erwächst ohne,?? dass die Qualität leidet. Sie geben an einen relativ guten Überblick über das momentane Produktportfolio der Starrmagneten zu haben, welcher durch die Standardisierung und damit einhergehende Reduzierung der angebotenen Varianten enorm verbessert werden könnte. Ebenfalls sind sie bereit das Produkt aktiv beim Kunden zu bewerben und sehen großes Potential, neue Kunden mit dem Angebot gewinnen zu können. Durch den wegfallenden Aufwand in Bezug auf Planung und Systemauslegung sind sie ebenfalls bereit auf Teile der Verkaufsmarge zu verzichten, wollen allerdings später keine Paketpreise anbieten, sondern über individuelle Angebote noch flexibel bei der Angebotserstellung mit dem Produkt bleiben.

Die **Montage** hat sich zum Zeitpunkt des Projektbeginns nicht intensiv mit der Standardisierung der Magnetschienenbremse befasst. Eine Einschätzung über die Akzeptanz des Marktes hinsichtlich eines Baukastensystems kann von Seiten der Montage nicht getroffen werden. Dem Projekt gegenüber ist man sehr positiv eingestellt, da in den letzten Jahren der Druck im Hinblick auf Kostensenkungen und Effizienzsteigerungen stark gestiegen ist. Zwar wurde Ende 2013 erst das Layout hin zu einer flexibleren Montage geändert, jedoch führen die teils kleinen Losgrößen und die damit verbundenen, häufigen Rüstvorgänge oftmals zu Störungen im laufenden Betrieb. Von der Einführung eines Produktbaukastens bei den Starrmagneten erhofft man sich eine deutliche Reduktion der wechselnden Produkte und damit höhere Losgrößen und weniger Rüstvorgänge. Ebenfalls soll die Nivellierung der Montage zur Folge haben, dass die vor Ort beschäftigten Arbeiter durch die seltener wechselnden Montagevorgänge mehr Routine entwickeln und somit die Fehlerzahl verringern und die Qualität steigern soll.

Wie schon bei der Montage zuvor traut sich der **Einkauf** keine seriöse Beurteilung der Marktakzeptanz eines Standardproduktes seitens der Kunden zu. Jedoch erwartet man hier durch das Baukastensystem starke Volumenerweiterungen bei der Bestellung und damit Vorteile in der Verhandlungsposition in Bezug auf die Lieferkonditionen, speziell hinsichtlich der Preise. Des Weiteren erwägt man stärkere Kooperationen für einzelne Fertigungsverfahren und deren Optimierung mit ausgewählten Lieferanten zu initiieren und somit in Zukunft weitere Preisreduktionen generieren zu können. Diese Optimierungsprojekte, die teilweise bereits begonnen haben, will man gerne in das Standardisierungsprojekt einfließen lassen.

Die **Qualitätssicherung** steht dem Projekt sehr positiv gegenüber und erhofft sich eine Reduktion der kundenseitigen Beschwerden bei öfters wiederkehrenden Problemen, die in regelmäßigen Abständen zu Reklamationen und verärgerten Kunden führen. Diese sollen sich durch den Einsatz bewährter, technischer Lösungen deutlich verringern. Darüber hinaus sollen die frei werdenden Kapazitäten durch den geringeren Konstruktionsaufwand in der Konstruktion für Innovationen in den Bereichen am Produkt gelöst werden, für die bisher keine technischen Lösungen existieren.

Um ersten Gedanken und Ideen zum Gesamtkonzept der Standardisierung, die den Aufbau einer Lagerhaltung für das Standardprodukt beinhalten könnte und die Lieferzeiten zu reduzieren, Rechnung zu tragen, wurde ebenfalls die **Beschaffung**, die bei Knorr-Bremse für die Lagerhaltung zuständig ist, mit einbezogen. Grundsätzlich sind laut Beschaffung Lagerkapazitäten, auch durch die Erweiterung und Umstrukturierung des Werkes in Mödling, verfügbar. Dennoch gilt es laut dieser Abteilung zu beachten, dass einerseits laut Managementvorgabe die Lagerhaltung eher minimiert und nicht ausgebaut werden soll und andererseits auch extra für

dieses Projekt Strukturen angeglichen und ausgebaut werden müssten und zu umfänglichen Mehrkosten führt. So müssten neue Lagerplätze für das Standardprodukt eingerichtet und je nach Umfang der Lagerhaltung neue Arbeiter in der Logistik eingestellt werden.

#### *3.4.1.2 Externe Stakeholder*

Die **Kunden** der Magnetschienenbremse setzen sich zusammen aus den Fahrzeugbauern und den Betreibern der Straßenbahnen.

Bei der ersten Kundengruppe dominieren die drei großen Hersteller Bombardier, Alstom und Siemens den Markt mit über 50% Marktanteil. Kinki Sharyo und Skoda verfügen nur über Marktanteile von 5%. Darüber hinaus existieren am Markt außerdem diverse mittelständische und kleine Unternehmen, die einzeln betrachtet unter 5% Marktanteile halten, kumuliert jedoch 35% des Weltmarktes ausmachen und ihren Marktanteil weiter festigen. Zu diesen Unternehmen zählen:

- AnsaldoBreda
- Koncar
- Stadler Rail
- CAF
- Pesa
- Vossloh
- Solaris

Die Fahrzeugbauer bieten in aller Regel standardisierte Plattformen an, um den Markt zu bedienen. Da die Anforderungen und Wünsche der Betreiber sehr individuell sind bezogen auf Spurweite, Elektrifizierung, Design und Ausstattung, können die Fahrzeugbauer im Allgemeinen nur über Skaleneffekte, die durch hohe Stückzahlen generiert werden, Gewinne machen.[175]

Die zweite Kundengruppe besteht aus allen privaten und öffentlichen Betreibern von öffentlichem Personennahverkehr, bei denen primär das Nachmarktgeschäft zum Tragen kommt. So steht bei dieser Kundengruppe primär das Angebot von Serviceleistungen wie Wartung und Pflege, der Verkauf von Ersatz- und Verschleißteilen und die Bearbeitung von Reparaturarbeiten und Reklamationen zur Disposition.

Der **Wettbewerb** bei Magnetschienenbremsen für Straßenbahnen ist stärker als im Bereich der Vollbahnen. Knorr-Bremse hat im Wesentlichen folgende Wettbewerber oder Partnerschaften von Unternehmen als Konkurrenten im Markt:

[175] Vgl. SCI Verkehr GmbH, 2010, S.21

- Ralf Schwarzer Verkehrstechnik (RSV)
- Faiveley/ RSV
- Hanning&Kahl
- DAKO/ Alpha Union
- Wabtec/ Poli
- SPII

Die genannten Unternehmen sind in aller Regel kleiner und stärker fokussiert auf das Geschäft mit Starrmagneten als Knorr-Bremse. Aufgrund der Tatsache, dass sie kleinere Entwicklungsabteilungen haben, werden technische Lösungen von Knorr-Bremse oftmals erfolgreich kopiert. Hieraus entspringt für Knorr-Bremse ein signifikanter zeitlicher Vorteil in Bezug auf den technischen Fortschritt. Die Tatsache, dass die Konkurrenten aufgrund der geringeren Betriebsgröße geringere Gemeinkosten haben, ist ein Vorteil, da der Markterfolg dieses Produkts hauptsächlich über die Preisbildung erfolgt. Im Hinblick auf die Angebotsvielfalt, verwendete Technologie und die Qualität der Produkte muss man RSV und den Zusammenschluss Faveley/RSV, sowie Hanning&Kahl als die Hauptkonkurrenten ansehen. Besonders RSV durch seine intensiven Geschäftsbeziehungen zum Marktführer Bombardier, ist der erste Verfolger auf dem Gebiet der Starrmagneten.

Ein Baukastensystem für eine Magnetschienenbremse bietet jedoch keiner der Konkurrenten an und führt folglich bei einer Erstellung eines guten Produktangebots zu einer Unique Selling Proposition (USP) für Knorr-Bremse.

Bei der Zulieferkette und den **Lieferanten** verfolgt Knorr-Bremse eine diversifizierte Strategie. Generell wird Global Sourcing betrieben, das sich jedoch aufgrund der räumlichen Nähe auf den europäischen Raum beschränkt, um Lieferprobleme und daraus folgende Terminprobleme mit Kundenprojekten zu minimieren. Für die Zulieferung einiger Teilegruppen arbeitet man mit einzelnen Zulieferern durch die langjährige Zusammenarbeit mit Single Sourcing. Andere Teilegruppen werden jedoch meistens mittels Dual-Sourcing von zwei Zulieferern geliefert. Dies ist allerdings auch oftmals durch die begrenzte Kapazität einzelner Zulieferer begründet.

Beim Bezug der Kupferteile wie dem verwendeten, lackierten Flachdraht zur Wicklung der Spulen, wird Single-Sourcing betrieben. Hier ist der Zulieferer die Firma VonRoll AG mit Sitz in der Schweiz. Die Qualität ist genau wie der Preis im Mittelfeld angesiedelt, wohingegen bei Kupfer als verwendetem Material gerade zweiterer stark von den Weltmarktpreisen abhängt und größeren Schwankungen im Rahmen der Volatilität unterliegen kann.

Für alle Guss- und Frästeile ist im Rahmen des Single-Sourcings die österreichische MFL GmbH der exklusive Zulieferer. Sie verfügt über enormes Know-How, das auch anhand mannigfaltiger Zertifikate aus dem Bereich des Schienenverkehrs bestätigt wird. So wird ebenfalls die hohe Qualität deutlich, mit der die Teile hergestellt

werden. Preislich liegt die Firma im mittleren bis hohen Bereich - gerechtfertigt allerdings durch die hohe Qualität und die Produktion am heimischen Standort.

Schmiedeteile werden von der türkischen Firma EGEMET bezogen. Sie bieten gute Qualität in einem mittleren Preissegment an, wobei die Qualität im Hinblick auf die Prozesssicherheit des Herstellungsverfahrens nicht verwunderlich ist. Die Erstellung des Schmiedegesenks ist ebenfalls günstig. Die Nachbearbeitung der Schmiedeteile wird von Seiten EGEMET nicht angeboten.

Biegeteile wie Federn aber auch Zugbügel werden exklusiv von der Präzisionsfedernfabrik Novak&Tobisch GmbH aus Österreich geliefert. Die Firma bietet hohe Qualität, gerade in Bezug auf die Toleranzen der Biegeteile und verfügt über eine enorme Prozessbeherrschung bei vergleichsweise mittleren bis niedrigen Preisen, die sich auch aus dem kostengünstigen Herstellungsverfahren erklären.

Alle Halbzeuge aus Kunststoff werden entweder seitens der österreichischen Faigle Kunststoffe GmbH oder der deutschen Röchling SE & Co. KG bezogen, wobei hier beide Lieferanten gleich hochwertige Qualität anbieten und das Multi-Sourcing lediglich auf wechselseitigen Preisunterschieden beruht.

Für die Bauteile des Magnetkörpers wie Wangen, Kerne, etc. existieren zwei große Zulieferer. Die in Wien ansässige Firma Winds GmbH, die nahezu konkurrenzlos günstige Preise anbietet. Diese günstigen Preise schlagen sich oftmals in schlechter Qualität der Halbzeuge und mangelnder Termintreue nieder. Der zweite Zulieferer ist die ebenfalls in Österreich beheimatete Firma OTB Präzisions- und Schweißtechnik GmbH. Hier wird auch meist die Nachbearbeitung der Werkstücke von EGEMET übernommen. Die Preise sind im Mittelfeld anzusiedeln und absolut konkurrenzfähig, wobei gleichzeitig die Qualität als gut zu bewerten ist. Ebenfalls ist eine zuverlässige Termintreue gegeben.

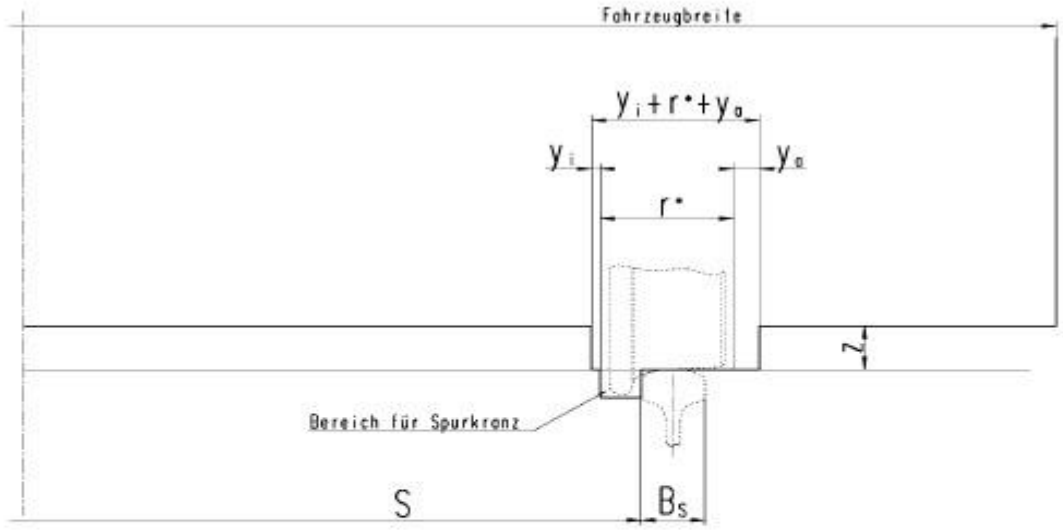
Besonders die letztgenannte Firma erhofft sich als Lieferant, zu dem langjährige und unproblematische Geschäftsbeziehungen unterhalten werden, Planungssicherheit durch eine standardisierte Bremse. Gerade in Bezug auf die Ablauf- und Produktionsplanung könnten hier Erleichterungen durchgesetzt werden, die sich schlussendlich auch im Preis niederschlagen würden. Ebenfalls ist zu erwarten, dass in puncto Kooperation zwischen Knorr- Bremse und OTB Neuprojekte zur Fertigung realisiert oder bereits bestehende Projekte in das Standardisierungsprojekt integriert werden könnten. OTB hat an einer Erweiterung der Geschäftsbeziehungen ein besonderes Interesse, da ca. 50% des Jahresumsatzes durch die Lohnfertigung für Knorr-Bremse generiert werden.

In Bezug auf **Gesetze und Normen** existieren diverse nationale Gesetze und Normen, die Betrieb und Wartung der Straßenbahnen regeln. Da alle Gesetze

diesbezüglich den sicheren Betrieb des öffentlichen Verkehrsnetzes gewährleisten müssen unterscheiden sie sich nicht wesentlich.

Es wird nur auf einige wichtige Aspekte am Beispiel der Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) und einer Ergänzungsregelung eingegangen. In §36 Abs.5 BOStrab wird gesetzlich vorgeschrieben, dass Straßenbahnen über Magnetschienenbremsen verfügen müssen, da eine Bremse vorhanden sein muss, die vom Kraftschluss zwischen Rad und Schiene unabhängig ist. Nach §36 Abs.1 BOStrab muss diese Bremse von der Stromversorgung des Zuges unabhängig bedienbar sein. Des Weiteren regelt §57 Abs.3f. BOStrab die einzuhaltenden Wartungsintervalle der Fahrzeuge, bei denen ebenfalls die Bremsen überprüft werden. Auch für die Verzögerung im Fall einer Notbremsung sind einzuhaltende, gesetzliche Werte angegeben. Hierbei muss der Zug nach §36 Abs. 5 Nr. 3 BOStrab im Fall einer Gefahrbremsung bei einer Geschwindigkeit von 70 km/h nach spätestens 69 Metern zum vollständigen Stillstand kommen. Bei Nichteinhaltung dieses Grenzwertes erhält der Zug keine Betriebserlaubnis seitens der kontrollierenden Behörden.

In der Ergänzungsregelung B012 wird die Gestaltung der Magnetschienenbremse in Bezug auf die verwendete Technik weiter spezifiziert. Ein wichtiger Aspekt dabei ist beispielweise, die vorgegebenen Maße der Mg-Bremse in Bezug auf die Breite einzuhalten. Im Bereich der Straßenbahnen darf die Magnetschienenbremse laut Anlage 1.3 der Ergänzungsregelung nicht breiter als das Rad zuzüglich des Spiels des Rades nach links und rechts werden (s. Abbildung 3-20).




$B_S$ Schienenkopfbreite
S Spurweite
r* vom Rad maximal zulässiger Breite genutzter Bereich
$y_i \geq 0$ in Abhängigkeit von Relativbewegung zwischen Rad und Mg-Bremse von Mg-Bremse genutzter Bereich auf Schieneninnenseite
$y_a \geq 0$ in Abhängigkeit von Relativbewegung zwischen Rad und Mg-Bremse von Mg-Bremse genutzter Bereich auf Schienenaußenseite
z minimaler Abstand Schienenoberkante Fahrzeug

**Abbildung 3-20: Begrenzung der Breite der Mg-Bremse**[176]

## 3.4.2 Definition der Projektziele zur Standardisierung

Wie bereits erwähnt ist das Ziel für die Forschung und Entwicklung den Arbeitsaufwand, der gegenwärtig für ein Projekt ca. 500 Stunden beträgt, zu reduzieren und weggehend vom reinen Anlagengeschäft ein reines Produktgeschäft zu generieren, bei dem im Idealfall keine Arbeitsstunden seitens der Konstruktion einfließen. Es wird somit angestrebt, sich vom aktuell reinen Projektgeschäft, dass bei 100% der eingehenden Aufträge zum Tragen kommt, zu distanzieren und in Zukunft mehr Ressourcen in die Generierung von neuen Innovationen am Markt zu investieren, ohne dabei die Anzahl der Mitarbeiter zu erhöhen. Dabei sollen ab 2015 30% der eingehenden Aufträge mit der standardisierten Magnetschienenbremse abgedeckt werden können, wobei jedoch auch weiterhin mittels eines neu definierten Portfolios der Angleichskonstruktionen und dem parallel laufenden Projektgeschäft alle Aufträge bedient werden sollen.

*„Wir bei Knorr-Bremse wollen immer jeden Kunden bedienen und jedem eine Lösung anbieten“*

C. Ebersberger-Dörfler, Marketingleiterin, Vertrieb

[176] Ergänzungsregelung Nr.B012, 2010, S.35

Ein weiterer Aspekt ist der aktuell zu hohe Preis im Vergleich zu den Mitbewerbern in dem Segment. Hier soll ein Magnet entwickelt werden, der zu Herstellkosten durch Target Costing von 750 €/Stk. erstellt und am Markt für 980 €/Stk. angeboten werden kann. Damit würde man die aktuell preisgünstigsten Konkurrenten unterbieten und könnte seine Marktposition weiter festigen.

In Bezug auf die Lieferzeit bzw. die Durchlaufzeit von der ersten Anfrage bis zur Auslieferung des Produkts soll mit dem Standardprodukt sowohl für die Lieferung bei Neuprojekten, als auch für Reparaturen eine Durchlaufzeit von maximal vier Wochen erreicht werden, um die Kundenzufriedenheit in diesem Sektor eklatant erhöhen zu können.

In Bezug auf die Qualität der Produkte dürfen beim Standardprodukt keinerlei Abstriche gemacht werden. Da es sich um ein sicherheitsrelevantes Teil handelt, ist die Beibehaltung des hohen Standards in diesem Bereich oberste Priorität.

Von Seiten der Geschäftsführung wird eine Erhöhung des Marktanteils um 15% von aktuell 35% auf 50% bis zum Jahr 2017 angestrebt, um die Marktführerschaft im Bereich der Starrmagneten nachhaltig zu sichern und auszubauen. Dabei dient das Geschäft im Bereich der Vollbahn als Vorbild, bei dem der Grad der Standardisierung bereits sehr fortgeschritten ist.

## 3.5 Standardisierung der Magnetschienenbremse

Bei der Standardisierung handelt es sich um eine Form der Produktentwicklung, wobei im vorliegenden Fall keine Produktneuentwicklung betrieben wird, sondern im Rahmen des Produktmanagements, neben der Gestaltung der technischen Morphologie des Standardproduktes, die Produktstruktur modifiziert wird. Dennoch gibt es große Überschneidungen zum Ablauf bei der Gestaltung eines gänzlich neuen Produkts hinsichtlich der Vorgehensweise bis zum Produktrelease. Neben der Auswahl einer geeigneten Standardisierungsstrategie muss im Rahmen des Innovation Deployments der Kunde ins Zentrum der Entwicklung gerückt werden, um ein marktgerechtes Produkt gestalten zu können.[177] Daneben spielen ebenfalls die Auswahl und Bewertung geeigneter konstruktiver Alternativen und die Reduktion der bereits analysierten, gegenwärtigen Variantenflut eine Rolle. Hier müssen Reduktionsstrategien angewendet werden, um das Portfolio wieder übersichtlicher zu gestalten.[178] Zuletzt müssen ebenfalls Kostenbetrachtungen im Rahmen des Target Costings aus den definierten Projektzielen einbezogen werden.

[177] Vgl. Kuhn, 2011, S.112
[178] Vgl. Meier, 2002, S.111 f.

### 3.5.1 Auswahl der Standardisierungsstrategie

Zur Standardisierung stehen mehrere Konzepte zur Verfügung, die von vornherein abgewogen werden müssen. Es ist wichtig diese Festlegung zu treffen, um bei der eigentlichen Produktentwicklung zielführend arbeiten zu können. Im Rahmen eines Meetings des Projektteams werden drei mögliche Standardisierungsstrategien diskutiert und im Hinblick auf ihre Verwendbarkeit für das Produkt bewertet.

Zuerst wird die mögliche Entwicklung eines einzigen Standardproduktes erwogen. Hierbei würde ein Produkt definiert, das von allen Kunden verwendet und ohne Modifikationen angeboten wird. Ein Standard in Form eines Produktes wird seitens des Teams für zu einseitig empfunden, um die Vielfalt des Marktes in genügender Weise abdecken zu können. Aufgrund des großen Drucks in dem Segment durch Mitbewerber und die Vielfalt der bisher gelaufenen Projekte, ist abzusehen, dass sich so ein System als zu unflexibel für den Markt erweisen würde. Des Weiteren wird erkannt, dass Kunden die Projektierung und somit ein perfekt auf sie zugeschnittenes Produkt sehr schätzen und somit zumindest eine Varianz bei dem Produktportfolio gegeben sein muss, um die standardisierte Mg-Bremse erfolgreich am Markt positionieren zu können.

Als zweites wird die Standardisierung in Form einer Plattformstrategie erwogen, die in der Automobilindustrie aber auch im Anlagenbau sehr erfolgreich eingesetzt wird, um mit geringer innerer Komplexität eine enorm große Vielfalt am Markt anbieten zu können. Dabei würde eine Plattform als Basis dienen, die am Drehgestell befestigt würde. Auf der Plattform müssten mittels Bus-Modularität einzelne Bremselemente angebracht werden, die dann den Anforderungen an Bremskraft seitens des Kunden genügen.

Auch von einer Plattformstrategie wird Abstand genommen, da bei diesem System oftmals besondere Funktionen oder Ausstattungswünsche berücksichtigt werden, die auf den einzelnen Kunden zugeschnitten sind. Allerdings betrifft dies in aller Regel Zusatzfunktionen, die in dieser Weise bei der Mg-Bremse nicht vorgesehen sind oder nachgefragt werden. Weiterhin sind Plattformen beispielsweise in Bezug auf die Abmessungen variabel zu justieren, was bei einer Art Basisadapterplatte, die als Plattform dienen, soll unter anderem aufgrund der Stabilität nicht möglich ist. Ebenfalls würde die Herstellung und Montage vieler kleiner Bremselemente sehr teuer werden, da jedes Bremselement aufwändig produziert werden muss. Diese Tatsache würde den Preis des Produkts stark in die Höhe treiben, wobei bezweifelt werden darf, dass dies von Seiten des Marktes angenommen wird und daneben auch der eigenen Zielsetzung widerspricht.

Letztlich wird entscheiden, dass im Rahmen des Standardisierungsprojektes ein Baukastensystem umgesetzt wird. Diese Entscheidung beruht auf mehreren

Faktoren. Zum einen handelt es sich bei der Standardisierung um einen Optimierungsschritt bei der Erstellung eines bereits seit langem am Markt bestehenden Produkts. Dies bedeutet, dass die Module mit ihren entsprechenden Funktionseigenschaften sehr gut definiert werden können. Mit dem Baukastensystem wird eine starke Reduktion der Varianten erreicht, die im Laufe der Zeit immer wieder leicht an entsprechende Marktbedürfnisse angepasst werden kann. Außerdem wird durch die klar definierten Schnittstellen erreicht, dass einzelne Module immer getrennt von allen anderen weiterentwickelt werden können. Durch die sinkende Komplexität und die hohe Gleichteileverwendung wird erwartet, dass mittels eines Baukastensystems die Durchlaufzeit bei Neuprojekten und die Durchlaufzeiten bei Reparaturen immens gesenkt werden können und auch die Kostenstruktur des Produkts verbessert werden kann, wobei die Qualität gleichbleibend hoch ist.

### 3.5.2 Modularisierung zum Baukastensystem

Nach der endgültigen Festlegung der Standardisierungsstrategie ist der erste Schritt der Umsetzung die genaue Definition der einzelnen Module der Magnetschienenbremse und die klare Definition der Schnittstellen zwischen den einzelnen Modulen. Hierbei ist zu beachten, dass die Kompatibilität gewährleistet werden muss und die Module und Schnittstellen tendenziell überdimensioniert ausgelegt werden müssen, um einem möglichst breiten Spektrum der Anwendung genügen zu können.[179] Dabei wird sich innerhalb dieses Projekts für ein System mit drei Ebenen entschieden, bei dem die gesamte Bremse aus den vier Hauptkomponenten

- Magnetkörper
- Mitnehmer
- Schienenschuh
- Druckfederaufhängung

besteht, die durch insgesamt drei Schnittstellen verbunden sind. Die Schnittstellen bestehen zwischen

- Magnetkörper - Schienenschuh
- Magnetkörper - Mitnehmer
- Mitnehmer - Druckfederaufhängung

und verbinden so die einzelnen Komponenten zum Gesamtprodukt.

[179] Vgl. Schuh, 2005, S.138

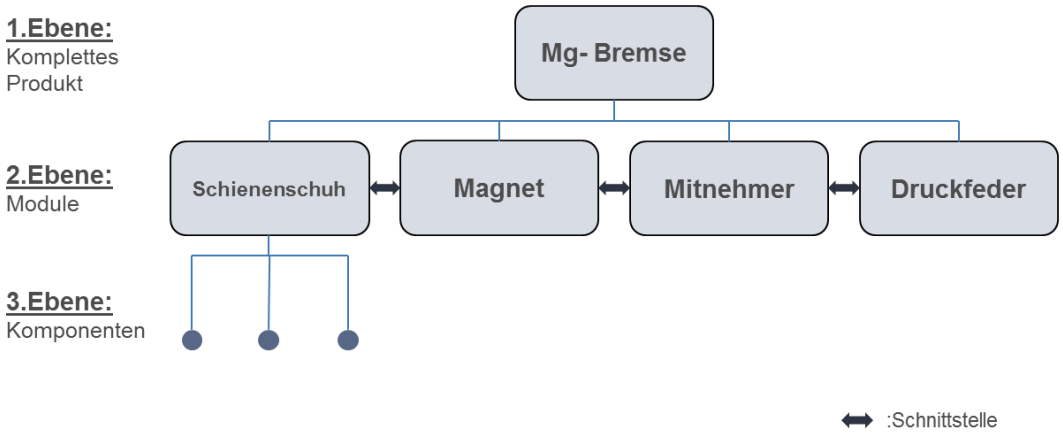



Abbildung 3-21: Modulare Struktur der Magnetschienenbremse I

Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung, bei der bewusst vermieden wird beispielsweise die Schienenschuhe als Submodule zu sehen und so eine vierte Ebene einzuführen, ist die Tatsache, dass unter den einzelnen Modulen direkt die Komponenten angeordnet sind, was den administrativen Aufwand später verringert und die Übersichtlichkeit verbessert, da so nur für drei Ebenen Konstruktionsvorschriften angefertigt werden müssen (s.u.).

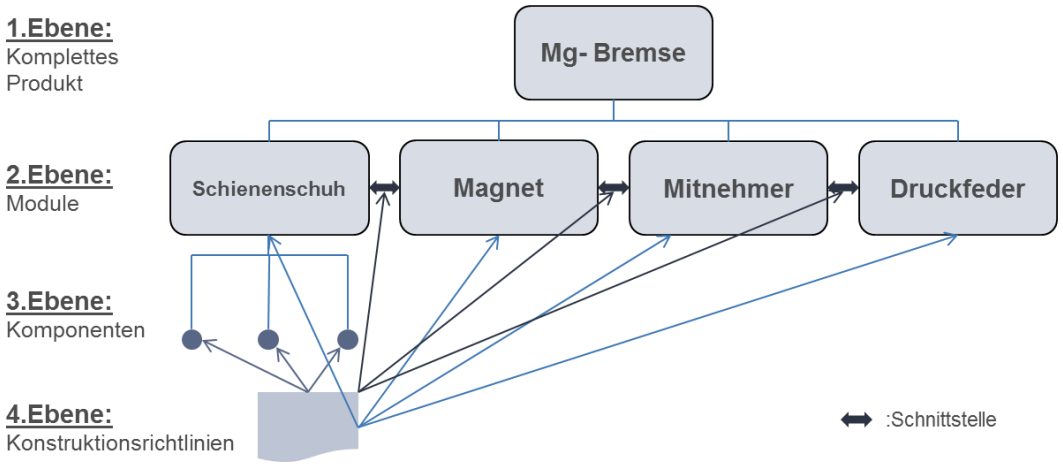



Abbildung 3-22: Modulare Struktur der Magnetschienenbremse II

Die detaillierte Morphologie der einzelnen Module und Schnittstellen wird im weiteren Verlauf erarbeitet und im Hinblick auf verschiedene Lösungsansätze abgewogen und bewertet. Durch die Erstellung einer Sachmerkmalleiste werden die relevanten Attribute definiert und über die Projekte der letzten sieben Jahre gesammelt, um eine statistische Auswertung auf Basis historischer Daten der relevanten Ausprägungen vornehmen zu können.

### 3.5.3 Erstellung einer Sachmerkmalleiste

Nach DIN 4000 können Gegenstände in s.g. Sachmerkmalleisten zusammengefasst werden. Dabei werden diese Gegenstände „unabhängig von ihrer Herkunft oder

Verwendung […] gekennzeichnet“[180]. Da bisher in der Entwicklungsabteilung alle Projekte gewissermaßen neu entwickelt wurden, hatte man kein Tool, um bereits abgeschlossene Projekte im Hinblick auf ihre Kongruenz technischer Ähnlichkeiten, zu prüfen. Daher war ein Abgleich und die Prüfung nicht möglich, inwieweit ein schon existentes Projekt mit den Anforderungen eines neuen Projekts übereinstimmt. Die Integration bestehender Lösungen wurde lediglich auf Basis der Erfahrung und Erinnerung der mit dem Projekt betrauten Konstrukteure durchgeführt. Dies hat dazu geführt, dass lediglich technische Lösungen aus aktuelleren Projekten Verwendung fanden, da die Auswahl und Einbeziehung ähnlicher Bremsenkonzepte aus persönlicher Erinnerungsleistung heraus stattfand.

Aus diesem Grund wurde als erster Schritt im Hinblick auf eine Standardisierung beschlossen, Sachmerkmalleisten als Excel Tabelle für die einzelnen Module und Schnittstellen anzufertigen, damit man mittels der Sortierfunktion in Excel technische Lösungen, die bereits realisiert wurden, auf ihre Tauglichkeit für neue Projekte überprüfen kann. Intern wurden schon Sachmerkmalleisten zu einzelnen Modulen angefertigt, in denen detaillierte technische Informationen vorhanden sind. So existiert beispielsweise eine Sachmerkmalleiste zu den verwendeten Druckfedern (s. Abbildung 3-23) in der auch bereits eine Kategorisierung nach Typen vorgenommen wurde.

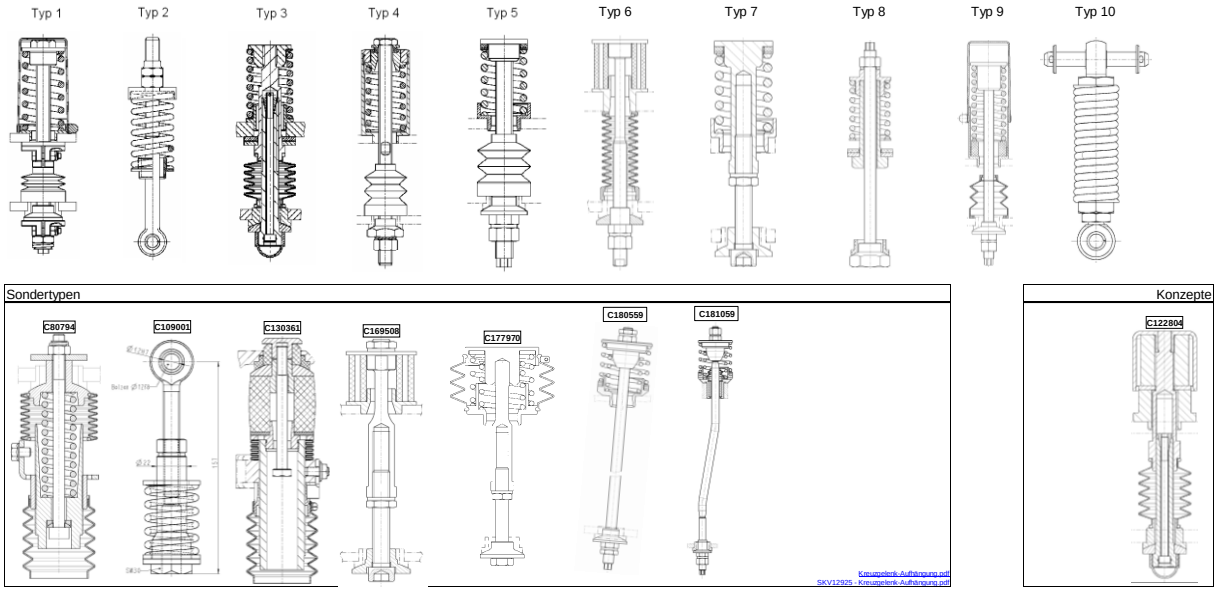



**Abbildung 3-23: Sachmerkmalleiste Druckfedern (Deckblatt)**

Zugeordnet zu den einzelnen Typen wurden detaillierte, technische Informationen zusammengetragen, die das jeweilige Produkt in seinen bisher verbauten Ausprägungen beschreibt. Dazu zählen in erster Linie neben den im internen Datenverwaltungssystem hinterlegten Zeichnungs- und Artikelnummern, Maße und Angaben zu physikalischen Kennzahlen sowie Materialien (vgl. Abbildung 3-24).

[180] Naefe, 2009, S.143

| Zeichnungsnr. | Artikelnr. | Federgehäuse | Bolzen | | Bundbuchse | Feder vorgespannt | Feder | | | | | | | | | Erzeugersystem |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Länge [mm] | Ø [mm] | Ø [mm] | (ja/ein) | Artikelnummer | Material | Federrate | Unbelastet [mm] | Vorgespannt [mm] | Vorgespannt Kraft [N] | Block [mm] | Block Kraft [N] | Ø [mm] | |
| C113698 | II57408 | - | 305 | M20 | 38 | | 393162 | Stahl | 46,4 | 110 | - | - | 68 | 1950 | 8 | PROE |
| C116031 | II58438 | - | 320 | M20 | 38 | | 393162 | Stahl | 46,4 | 110 | 98,5 | 534 | 68 | 1950 | 8 | PROE |
| C118486 | II/59539 | - | 313 | M20 | 38 | | 393162 | Stahl | 46,4 | 110 | 98,5 | 534 | 68 | 1950 | 8 | CAD |
| C119198 | II59893 | - | 265 | M20 | 38 | | C115408 | Nirostahl | 84,551 | 82 | - | - | - | - | 8 | PROE |
| C119260 | II59918 | - | 265 | M20 | 38 | | C115408 | Nirostahl | 84,551 | 82 | - | - | - | - | 8 | PROE |
| C120635 | II60493 | - | 295 | M20 | 38 | | C120638 | Nirostahl | 127,27 | 110 | 103 | 900 | 75 | 4454,5 | 10 | PROE |
| C125813 | II62854 | - | 243 | M20 | 38 | | C115408 | Nirostahl | 84,551 | 82 | - | - | - | - | 8 | PROE |
| C142872 | II71720 | - | 240 | M20 | 38 | | C115408 | Nirostahl | 84,551 | 80 | 73 | 761 | - | - | 8 | PROE |
| C154016 | II77110 | - | 243 | M20 | 38 | | C115408 | Nirostahl | 84,551 | 80 | 73 | 761 | - | - | 8 | PROE |
| C156079 | II78070 | - | 250 | M16 | 38 | | C115408 | Nirostahl | 84,551 | 80 | 73 | 761 | - | - | 8 | PROE |

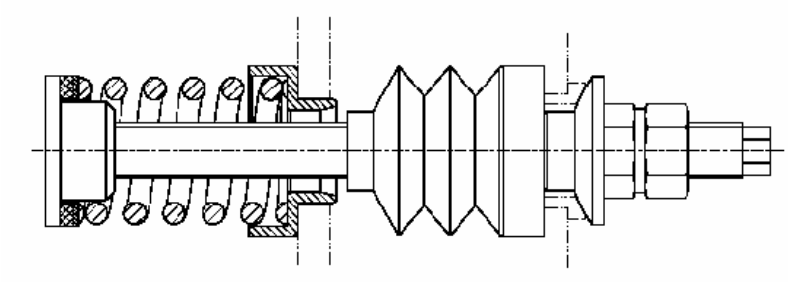


**Abbildung 3-24: Datenblatt Sachmerkmalleiste Druckfeder Typ 5**

Erstes Ziel ist, für alle fehlenden Module und Schnittstellen derartige Sachmerkmalleisten zu erstellen, um einen Überblick über die Anzahl der Varianten der einzelnen Module zu bekommen. Nach ersten Versuchen, mit dieser Methodik gewünschte Ergebnisse zu erzielen, wurde klar, dass für die Entwicklung zum einen eine Sachmerkmalleiste benötigt wird, die die Projekte in ihrer Gesamtheit betrachtet. Zum anderen soll die Auflösung dieser SML, mittels der ein Standardprodukt kreiert werden, die im Vergleich zu den schon vorhandenen SML wesentlich geringer sein muss. Ziel ist es hier nicht, detaillierte Aufzeichnungen über alle technischen Ausprägungen zu führen, sondern eine Vorstellung über das Gesamtbild des Produkts zu generieren, auf dessen Basis man einen ersten Produktkatalog für Standardprodukte im Rahmen des Baukastens entwickeln kann. Zu diesem Zweck wäre es nicht dienlich, zu viele und zu detaillierte Daten zu sammeln. Dies spart zum einen Zeit und macht zum anderen die Bedienung leichter, da man aufgrund der Vielzahl der Daten nicht so schnell den Überblick verlieren kann.

Somit werden die Module und Schnittstellen nach Absprache mit den beteiligten Konstrukteuren in Bezug auf sinnvolle, technische Merkmale analysiert und im Rahmen der SML charakterisiert. Wichtig für die Bedienerfreundlichkeit dabei ist auch, einen konkreten Bezug zu dem jeweiligen Projekt in dem firmeneigenen PLM System herzustellen, damit der Nutzer über die hinterlegten Artikelnummern laufend auf die detaillierten, im System hinterlegten Informationen zugreifen kann.

Beim Magnetkörper werden folgende Attribute aufgelistet:

- Allgemein:
  - Artikelnummer des Magnetkörper
  - Bauart (Einteiler/Dreiteiler)
  - Magnettyp (Typ 1.1/Typ 1.2/Typ 1.3/Typ 2.1/Typ 2.2)
- Geometrie:
  - Länge [mm]
  - Höhe [mm]
  - Breite [mm]
- Kabelanbindung:
  - Kabeleinführung (Integral/Kabelflansch)
  - Kabelaustrittsrichtung (X/Y/Z/XZ)
  - Position
- Elektrik:
  - Betriebsstrom [Amp.]
  - Betriebsspannung [V]
  - Widerstand bei 20°C [Ohm]
  - Leistung [W]
  - Windungszahl
  - Magnetische Durchflutung
  - Kupfermasse [kg]
- Kerngeometrie:
  - Kernlänge [mm]
  - Kernhöhe [mm]
  - Kernbreite [mm]

**Magnetkörper**

| Allgemein | | | Geometrie | | | Kabelanbindung | | | | Elektrik | | | | | | | Kerngeometrie | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Artikelnummer | Bauart | Magnettyp | Länge [mm] | Höhe [mm] | Breite [mm] | Kabeleinführung | Kabelbefestigung | Kabelaustrittsrichtung | Position | Betriebsstrom [Amp] | Betriebsspannung [V] | Widerstand bei 20°C [Ohm] | Leistung [W] | Windungszahl | magnet. Durchflutung | Kupfermasse [kg] | Kernlänge [mm] | Kernhöhe [mm] | Kernbreite [mm] |
| II 72401 | Dreiteiler | Typ 2.1 | 1000 | 106 | 110 | Integral | gecrimpt | z | Mitte | 40,7 | 24 | 0,59 | 976 | | 0 | | 1050 | 30 | 50 |

**Abbildung 3-25: Sachmerkmalleiste Magnetkörper**

Für die Schnittstelle Magnetkörper/Schienenschuh werden folgende Attribute aufgelistet:

- Allgemein:
  - Artikelnummer Magnetkörper
  - Artikelnummer Schienenschuh

- Schienenschuh:
  - Anschlagtyp (Typ 1/ Typ 2/ Typ 3)
  - Schienenschuh (geteilt/ ungeteilt)
  - Schnittstellenbreite [mm]
- Bohrbild:
  - Bohrungsanzahl
  - Gewinde
  - Lochabstand [mm]
  - Höhe des Lochbild [mm]

**Schnittstelle Magnetkörper- Schienenschuh**

| Allgemein | | Schienenschuh | | | Bohrbild | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Artikelnummer Magnetkörper | Artikelnummer Schienenschuh | Anschlag typ | Schienenschuh geteilt/ ungeteilt | Schnittstellen breite [mm] | Bohrungs anzahl | Gewinde | Lochabstand [mm] | Höhe Lochbild [mm] |
| II 72401 | C144450/2B | 2 | ungeteilt | 50 | 6 | 14 | 200 | 17 |

Abbildung 3-26: Sachmerkmalleiste Schnittstelle Magnetkörper/ Schienenschuh

Beim Schienenschuh werden folgende Merkmale aufgenommen:

- Allgemein:
  - Artikelnummer Schienenschuh
  - Typ Schienenschuh (Typ 1/ Typ 2)
- Geometrie:
  - Gesamtlänge [mm]
  - Gesamthöhe [mm]
  - Gesamtbreite [mm]
- Polschuh:
  - Auflagelänge [mm]
  - Auflagebreite [mm]
  - Verschleißhöhe [mm]
  - Einlaufwinkel [°]
  - Verschleißmaterial
- Zwischenleiste:
  - Dicke [mm]
  - Länge [mm]
  - Material
  - Artikelnummer Zwischenleiste

| Schienenschuh | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Geometrie | | | | | Polschuh | | | | Zwischenleiste | | | | |
| Artikelnummer Schienenschuh | Typ Schienenschuh | Gesamtlänge [mm] | Gesamthöhe [mm] | Gesamtbreite [mm] | Auflagelänge [mm] | Auflagebreite [mm] | Verschleißhöhe [mm] | Einlaufwinkel [°] | Verschleißmaterial | Dicke [mm] | Länge [mm] | Material | Artikelnummer Zwischenleiste |
| C144450/2B | Typ 2 | 1150 | 40 | 21 | 1100 | 25 | 12 | 40 | Stahl | | | | |

**Abbildung 3-27: Sachmerkmalleiste Schienenschuh**

Der Mitnehmer wird über folgende Eigenschaften charakterisiert:

- Allgemein:
  - Artikelnummer
  - Mitnehmerart (Mitnehmerbock/Zugbügel/Bremsrahmen/Sonderform)
  - Profil bei Bock (U-Profil/Block)
  - Herstellungsart (gefräst/geschweißt/gegossen/geschmiedet)
  - Mitnahmekonzept (Typ 1/Typ 2/Typ 3/Typ 4)
  - Höhe [mm]
  - Mitnahmebreite [mm]
  - Werkstoff
  - Gewicht [kg]
- Verschleißblech:
  - Vorhanden (ja/ nein)
  - Material
  - Befestigung (geschweißt/ genietet)
  - Dicke [mm]
  - Artikelnummer Verschleißblech
- Verschleißplatte:
  - Vorhanden (ja/ nein)
  - Material
  - Befestigung (geschraubt/ genietet)
  - Dicke [mm]
  - Artikelnummer Verschleißplatte

| Mitnehmer | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Allgemein | | | | | | | Verschleißblech | | | | | | | Verschleißplatte | | | | |
| Artikelnummer | Mitnehmerart | Profil bei Bock | Herstellungsart | Mitnahmekonzept | Höhe [mm] | Mitnahmebreite [mm] | Werkstoff | Gewicht [kg] | vorhanden? | Material | Befestigung | Dicke [mm] | Artikelnummer Verschleißblech | vorhanden? | Material | Befestigung | Dicke [mm] | Artikelnummer Verschleißplatte |
| | Mitnahmebock | U-Profil | | Typ 4 | 171 | 114 | | | ja | | | | | | | | | |

**Abbildung 3-28: Sachmerkmalleiste Mitnehmer**

Die Schnittstelle zwischen Magnetkörper und Mitnehmer wird wie folgt charakterisiert:

- Allgemein:
  - Artikelnummer Magnetkörper
  - Artikelnummer Mitnehmer

- Befestigung (geschraubt/ geschweißt)
- Anflanschung (oben/ seitlich)

- Bohrbild:
  - Bohrungsanzahl
  - Gewinde
  - Lochabstand [mm]
  - Lochbildbreite [mm]
  - Abstand Magnetkante-1. Gewinde [mm]

**Schnittstelle Mitnehmer- Magnet**

| Allgemein | | | | Bohrbild | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Artikelnummer Magnetkörper | Artikelnummer Mitnehmer | Befestigung | Anflanschung | Bohrungs anzahl | Gewinde | Lochabstand [mm] | Lochbildbreite [mm] | Abstand Magnetkante-1. Gewinde [mm] |
| | | geschraubt | Oben | 4 | 16 | 128 | 80 | 16 |

**Abbildung 3-29: Sachmerkmalleiste Magnetkörper/ Mitnehmer**

Bei den Druckfedern wird die bestehende SML in die neue SML der Projekte übernommen. Die Attribute sind:

- Allgemein:
  - Artikelnummer
  - Benennung
  - Typ
  - Aufhängung
- Bolzen:
  - Länge [mm]
  - Durchmesser [mm]
- Bundbuchse:
  - Durchmesser [mm]
  - Klemmart
  - Position der Sicherung
- Feder:
  - Vorspannung
  - Material
  - Federrate
  - Unbelastet [mm]
  - Vorgespannt [mm]
  - Vorgespannt Kraft [N]
  - Block [mm]
  - Block Kraft [N]
  - Durchmesser [mm]

- Artikelnummer Feder

| Druckfeder | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Allgemein | | | | Bolzen | | Bundbuchse | | Feder | | | | | | | | | | |
| Artikelnummer | Benennung | Typ | Aufhängung | Länge [mm] | Ø [mm] | Ø [mm] | Klemmart | Position der Sicherung | Vorspannung | Material | Federrate | Unbelastet [mm] | Vorgespannt [mm] | Vorgespannt Kraft [N] | Block [mm] | Block Kraft [N] | Ø [mm] | Artikelnummer Feder |

Abbildung 3-30: Sachmerkmalleiste Druckfeder

Die Schnittstelle Druckfeder/Mitnehmer bzw. Magnetkörper wird wie folgt aufgebaut:

- Allgemein:
  - Artikelnummer Druckfeder
  - Artikelnummer Mitnehmer/Magnetkörper
  - Anbindung an (Mitnehmer/Magnetkörper)
  - Befestigung (geschweißt/geschraubt/integriert)
  - Verbindungskonzept
- Bundbuchse:
  - Durchmesser der Bohrung [mm]
  - Kugelradius [mm]
  - Werkstoff

| Schnittstelle Druckfeder- Mitnehmer/ Magnetkörper | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Allgemein | | | | | Bundbuchse | | |
| Artikelnummer Druckfeder | Artikelnummer Mitnehmer/ Magnetkörper | Anbindung an | Befestigung | Verbindungskonzept | Ø der Bohrung [mm] | Kugelradius [mm] | Werkstoff |
| | | Mitnehmer | | | | | |

Abbildung 3-31: Sachmerkmalleiste Schnittstelle Druckfeder/ Mitnehmer bzw. Magnetkörper

Zusätzlich zu den einzelnen Modulen und Schnittstellen existieren bei den Projekten immer technische Attribute, die von der Kombination mehrere Module abhängig sind oder auch allgemeine Informationen, die aus Gründen der Orientierung innerhalb der Liste hilfreich sein können. Deshalb wurde beschlossen zusätzlich eine Projektschnittstelle zu entwickeln und zu integrieren. Diese Projektschnittstelle enthält folgende Informationen:

- Allgemein:
  - Mg-Bremse (Artikelnummer des Projekts)
  - Bezeichnung (interne Nomenklatur der Bremse)
  - Projektname
  - Hersteller (Fahrzeugbauer)
  - Datum

- Haftkraft [kN]
- Polschuhbreite [mm]
- Abstand Druckfederaufhängung [mm]
- Abstand Mitnehmer in X-Richtung [mm]
- Verhältnis Magnetlänge/ Druckfederabstand
- Verhältnis Magnetlänge/ Mitnehmerabstand
- Gesamtgewicht [kg]
- Luftspalt [mm]

**Projekt**

**Allgemein**

| Mg-Bremse | Bezeichnung | Projektname | Hersteller | Datum | Haftkraft [kN] | Polschuhbreite [mm] | Abstand Druckfederaufhängung [mm] | Abstand Mitnehmer in X-Richtung [mm] | Verhältnis Magnetlänge/ Druckfederabstand | Verhältnis Magnetlänge/ Mitnehmerabstand | Gesamtgewicht [kg] | Luftspalt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| II 75489 | MB 58 R 72-2 | Tram Danzig | Pesa | 09.04.2010 | 72 | 58 | 1119 | 914 | 0,89 | 1,09 | 111 | 7 |

**Abbildung 3-32: Sachmerkmalleiste Projektschnittstelle**

Durch diese SML ist es den Konstrukteuren nun möglich, mittels der Sortierfunktion vergangene Projekte im Hinblick auf technische Spezifikationen laut Lastenheft auf ihre Kompatibilität für ein neues Projekt zu untersuchen. Des Weiteren kann für das Standardisierungsprojekt anhand statistischer Analysen festgestellt werden, ob man in Bezug auf die untersuchten Merkmale gewisse Häufigkeiten von einzelnen Lösungen ausmachen kann. Hierzu kann man beispielsweise mit Hilfe von Histogrammen die Häufigkeitsverteilung bestimmter Ausprägungen illustrieren und so Ansätze finden, in welche Richtung die Entwicklung tendenziell gehen soll. Ferner ist durch die Daten der Sachmerkmalliste auch die Erstellung von Auswertungen wie der ABC Analyse möglich, die zeigen kann, mit welchen Produktcharakteristika man ca. 70% bis 80% der bisherigen Projekte hätte bedienen können.

Da die genannten Auswertungsmethoden rein retrospektiv sind, werden im Rahmen der Projektschnittstelle auch das Entstehungs- bzw. das Datum des Produktionsbeginns aufgenommen. Dies ermöglicht mittels einer Trendanalyse z.B. lineare Trendlinien zu generieren, die Aufschluss über die zukünftige Entwicklung geben können. Da es sich hierbei allerdings um einen, auf historischen Daten basierenden, statistischen Trend handelt, muss man beachten, dass die Trendlinien dringend hinterfragt und verifiziert werden müssen, um falsche Rückschlüsse auf die Produktentwicklung und somit Fehlentwicklungen bereits im Vorfeld vermeiden zu können.

### 3.5.4 Analyse der Kundenanforderungen

Zur Analyse der Kundenanforderungen wird als erstes versucht, mittels einer direkten Kundenumfrage bei den Fahrzeugbauern als Kunden für Neuprodukte die primären Vertriebsmerkmale zu identifizieren und die VOC auf diese Weise in die Entwicklung

einfließen zu lassen. Dazu wird ein Fragenkatalog mit offenen Fragen entworfen, um bei der Auswertung auch versteckte Kundenwünsche identifizieren zu können. Dies ist notwendig für den explorativen Charakter der Kundenumfrage und auch der Tatsache geschuldet, dass es weder intern noch extern Primär- oder Sekundärforschung zu der Thematik gibt. Die Befragung soll mit einem Fragebogen der auf offenen Fragen basiert, durchgeführt werden, damit dem Kunden die Möglichkeit gegeben wird, konkrete Wünsche an das Produkt zu äußern und auch Aspekte darzustellen, die nicht gelungen sind. Die Befragung soll persönlich per Telefon durchgeführt werden, um beim Gespräch flexibel reagieren zu können.

Leider scheitert die Befragung an der Bereitschaft der Kunden an einer solchen Befragung teilzunehmen. Aufgrund der räumlichen Nähe ist lediglich der Fahrzeugbauer Siemens bereit sich an der Umfrage zu beteiligen. Jedoch ist ein Fahrzeugbauer einerseits nicht repräsentativ und die Kundenanforderungen seitens Siemens in Wien sind andererseits sehr speziell, da dort mit dem Wagenmodell ULF (Ultra Low Floor) ein Fahrzeug gebaut wird, das aufgrund der technischen Umsetzung ein Standardprodukt nicht einsetzen kann.

Aufgrund dieses Informationsvakuums, das aus der fehlenden Kundenumfrage entsteht, werden die Pflichtenhefte der Projekte der letzten sieben Jahre in Hinblick auf eine gemeinsame Schnittmenge untersucht. Wichtig ist dabei, dass die Art der Information genau definiert ist und dass die Pflichtenhefte herstellerübergreifend analysiert werden. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Anforderungen aller Kunden mit in die Analysen und die spätere Entwicklung eingebunden werden. So sollen die Pflichtenhefte als Spiegel der Kundenbedürfnisse dienen.

In enger Zusammenarbeit mit Mitarbeitern aus den Bereichen Systemtechnik, Vertrieb und Forschung und Entwicklung werden auf diese Weise sechs Hauptvertriebsmerkmale erarbeitet, die ein Projekt charakterisieren:

1. Haftkraft [kN]
2. Magnetlänge [mm]
3. Gesamthöhe [mm][181]
4. Abstand der Mitnahmeflächen [mm]
5. Abstand der Druckfedern [mm]
6. Betriebsstrom [Amp.]

Diese werden in Kapitel 3.5.5 separat mittels eingehender Analyse behandelt.

Da es sich bei der Mg-Bremse um ein technisches Produkt handelt, bei dem beispielsweise Designaspekte für die Kaufentscheidung nur eine untergeordnete Rolle spielen, werden Merkmale wie die farbliche Gestaltung nicht in die

[181] Bei der Gesamthöhe handelt es sich um die Höhe des Magnetkörpers [mm] und dem Verschleißanteil des montierten Schienenschuhs [mm]

Überlegungen mit einbezogen. Aufgrund der Tatsache, dass es sich auch um ein sicherheitsrelevantes Teil handelt, stehen die Stabilität und die Erfüllung der benötigten Kennzahlen, wie z.B. die Haftkraft, im Mittelpunkt. Auch die Abmaße des Magneten sind entscheidend, da der vorhandene Einbauraum zwischen den Rädern optimal ausgenutzt werden sollte, ohne andere Komponenten des Drehgestells maßgeblich zu beeinflussen. Zusätzlich sind die Aufnahmepunkte des Drehgestells von besonderer Wichtigkeit, um die Integrierbarkeit zu gewährleisten. Zuletzt muss der verwendete Betriebsstrom beachten werden mit dem die Bremse vom Bordnetz gespeist werden soll. Da - wie bereits erwähnt - die meisten Fahrzeugbauer standardisierte Plattformen für ihre Fahrzeuge verwenden, ist die Bereitschaft für zu hohen Betriebsstrom der Mg-Bremse Änderungen am eigenen Bordnetz, wie die Verwendung anderer Wechselrichter vorzunehmen, gering bzw. nicht vorhanden.

*„Uns fehlt es oftmals an Felderfahrung“*

E. Schober, Beschwerdemanagement, Qualitätsmanagement

Neben der Analyse der vorhandenen Pflichtenhefte sollen auch wichtige Kriterien der Betreiber identifiziert werden, um die zweite, indirekte Kundengruppe und deren Wünsche, speziell was den täglichen Einsatz und Umgang mit der Bremse angeht, in die Entwicklung des Standardproduktes mit einzubeziehen. Hierzu werden zum einen Betreiber direkt befragt, wobei zusätzlich intern die Erfahrungen des Vertriebs und als „umgekehrte“ Kundenwünsche die Fälle des Beschwerdemanagements mit integriert werden. Nach der Sammlung aller Stimmen des Kunden wurden in der Auswertung zur Gliederung verschiedene Kategorien gebildet:

- Service
- Verschleiß
- Wartung und Reparatur
- Technik

In Bezug auf den Service wünschen sich die Kunden in Form der Betreiber von Knorr-Bremse, wie bereits aus der Umfrage der Kundenzufriedenheit zu entnehmen war, zum einen schnelle Reparaturzeiten, damit das Fahrzeug nach einem Schadensfall möglichst schnell wieder einsetzbar ist. Zum anderen sollen die Reparaturen neben der schnellen Abwicklung auch günstig durchgeführt werden. Ein Betreiber schlug beispielsweise vor im Rahmen von Serviceverträgen anzubieten für die Zeit des Schadensfalles eine Ersatzbremse zur Verfügung zu stellen. Dies wäre mit einem Standardprodukt durchaus denkbar, wohingegen eine solche Praktik aufgrund der aktuellen Vielzahl der Projekte und der damit verbundenen, immensen Lagerhaltung heutzutage nicht zu realisieren ist.

Bei Fragen des Verschleißes ist der Fokus der Betreiber primär auf die Schienenschuhe und die Zwischenleiste gelegt, da dieses Modul auch das einzig

wirkliche Verschleißteil ist. Hier werden große Verschleißhöhen und günstiges Verschleißmaterial gewünscht, um die LifeCycle Cost so gering wie möglich zu halten. Eine weitere Verschleißform bereitet besonders Betreibern von älteren Fahrzeugen Probleme. So kommt es gerade bei diesen Fahrzeugen mit zunehmendem Alter vermehrt zu Korrosion des Lacks, die durch Witterung und/oder mechanische Einwirkung, beispielsweise durch auf der Fahrbahn liegende Gegenstände, die mit der Bremse kollidieren Beschädigungen eintritt.

Bei Wartung und Reparatur wünscht der Kunde einen schnellen und unkomplizierten Ausbau der Bremsen im Schadensfall. Auch die Verschleißteile sollen schnell ausgebaut und gegen neue Teile ersetzt werden können, um die Standzeit des Fahrzeugs während des Wechsels zu minimieren. Ebenfalls sollen die Druckfedern bei Radverschleiß des Fahrzeugs schnell und einfach nachgestellt werden können.

In Bezug auf die Technik wurde besonders ein immer wieder auftretendes Problem angesprochen. Hierbei handelt es sich um die Belastung der Kabel auf Zug während des Gebrauchs und daraus resultierende Beschädigungen der Kabel bis hin zum Kabelabriss. Zu diesem Problem wird eine Lösung gewünscht, die die Kabel währende des Betriebs entlastet und die Beschädigungen somit vermeidet.

### 3.5.5 Analyse der Hauptvertriebsmerkmale

Top-Down fließen die Kundenanforderungen in Form von Hauptvertriebsmerkmalen in die Gestaltung der standardisierten Magnetschienenbremse ein. Dies ist einer der wichtigsten Schritte, da an dieser Stelle die größte Gefahr droht das Produkt am Markt vorbei zu entwickeln. Ziel der Analyse ist, in Bezug auf die erarbeiteten Hauptvertriebsmerkmale ungefähre Werte zu ermitteln und so eine erste Vorstellung zu bekommen, welche Parameter die Standardbremse erfüllen sollte. Das Ergebnis dieser Analyse dient im weiteren Verlauf, in der die Detaillierung vorgenommen wird, als Fundament auf dem alle weiteren technischen Lösungen aufgebaut werden.

Hierbei wird zuerst unter Einsatz von Histogrammen die absolute Häufigkeit der relevanten Ausprägungen untersucht. Dabei lassen sich oftmals schon gewisse Bereiche abgrenzen in denen das Standardprodukt anzusiedeln ist. Um bei der Produktentwicklung auch kommende Marktveränderungen in Form von Trends einzubeziehen und die standardisierte Mg-Bremse so auch ein Stück weit zukunftsorientiert zu entwickeln wird versucht mittels linearer Trendanalysen durch den zeitlichen Verlauf zukünftige Trends identifizieren und dann einbeziehen zu können.

Eine Evaluierung der Trendkurven muss jedoch unbedingt im Rahmen eines interdisziplinären Expertenteams durchgeführt werden, um die Trends zu verifizieren oder zu falsifizieren. Dies dient dazu, Overingeneering durch zu große

Überdimensionierung und Fehlentwicklungen aufgrund falscher Zukunftsprognosen zu vermeiden.

**Haftkraft**

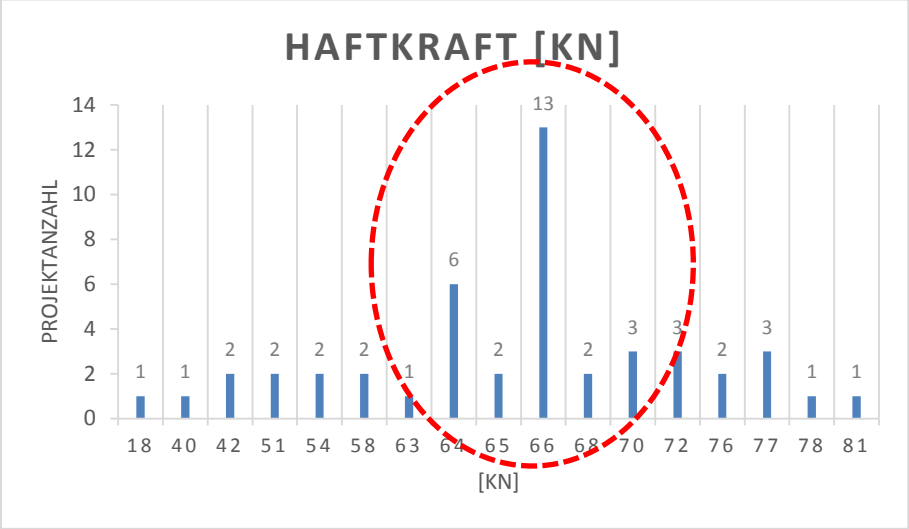



Abbildung 3-33: Histogramm der Haftkraft

Das Histogramm der Haftkraft zeigt eine starke Häufung von Projekten im Bereich der 66 kN. Dadurch kann man davon ausgehen, dass in diesem Bereich die Haftkraft für ein Standardprodukt anzusiedeln wäre, da die Randwerte {18kN, 40kN, 42kN, 78kN, 81kN} als Sonderprojekte gelaufen sind.

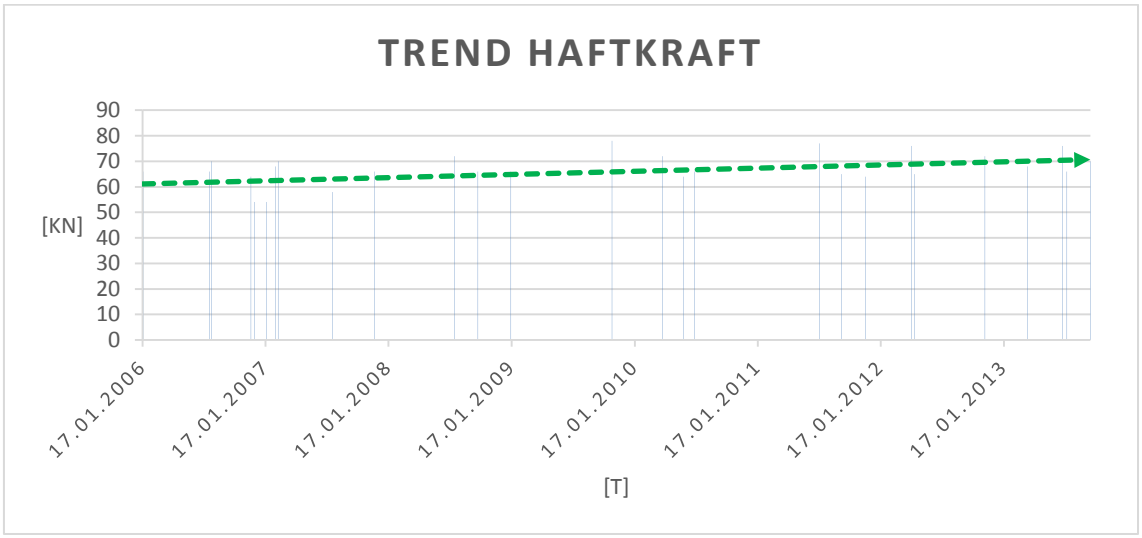



Abbildung 3-34: Trend der Haftkraft

Der Trend der Haftkraft zeigt, dass im Zeitraum von 2006 bis Ende 2013 ein leichter Anstieg von durchschnittlich ca. 60kN auf 70kN zu verzeichnen ist. Dieser erhöhte Bedarf nach Haftkraft und damit erhöhter Bremsleistung ist durchaus plausibel. Zwar gibt es die Bestrebungen der Fahrzeugbauer mittels Leichtbautechnologie das Gewicht der Fahrzeuge niedrig zu halten, dennoch stehen demgegenüber wichtige

Trends, die sehr negativen Einfluss auf das Gewicht haben. Erstens werden die Fahrzeuge länger und größer, wodurch sie mehr Fahrgäste transportieren können. Zweitens werden im Zuge des Verlangens nach Komfort leistungsfähige und schwere Aggregate zur Klimatisierung der Züge verbaut. Ein dritter, allerdings noch schwacher Trend ist die Ausrüstung der Fahrzeuge mit Entertainment. Dies ist von Seiten des Gewichts isoliert betrachtet nicht schwerwiegend, kumuliert mit dem Gewicht der anderen Gewichtstreiber wird die Masse des Fahrzeugs dennoch gesteigert.

Eine weitere Näherung zur Bestimmung einer konkreten Haftkraft für das Produkt kann eine ABC Analyse bieten.

| Haftkraft [kN] | % | % (kumuliert) |
|---|---|---|
| **66** | 27,66% | 27,66% |
| **64** | 12,77% | 40,43% |
| **70** | 6,38% | 46,81% |
| **72** | 6,38% | 53,19% |
| **77** | 6,38% | 59,57% |
| **76** | 4,26% | 63,83% |
| **68** | 4,26% | 68,09% |
| **65** | 4,26% | 72,34% |
| **58** | 4,26% | 76,60% |
| **54** | 4,26% | 80,85% |
| **51** | 4,26% | 85,11% |
| **42** | 4,26% | 89,36% |
| **63** | 2,13% | 91,49% |
| **78** | 2,13% | 93,62% |
| **81** | 2,13% | 95,74% |
| **40** | 2,13% | 97,87% |
| **18** | 2,13% | 100,00% |

**Tabelle 2: ABC Analyse der Haftkraft**

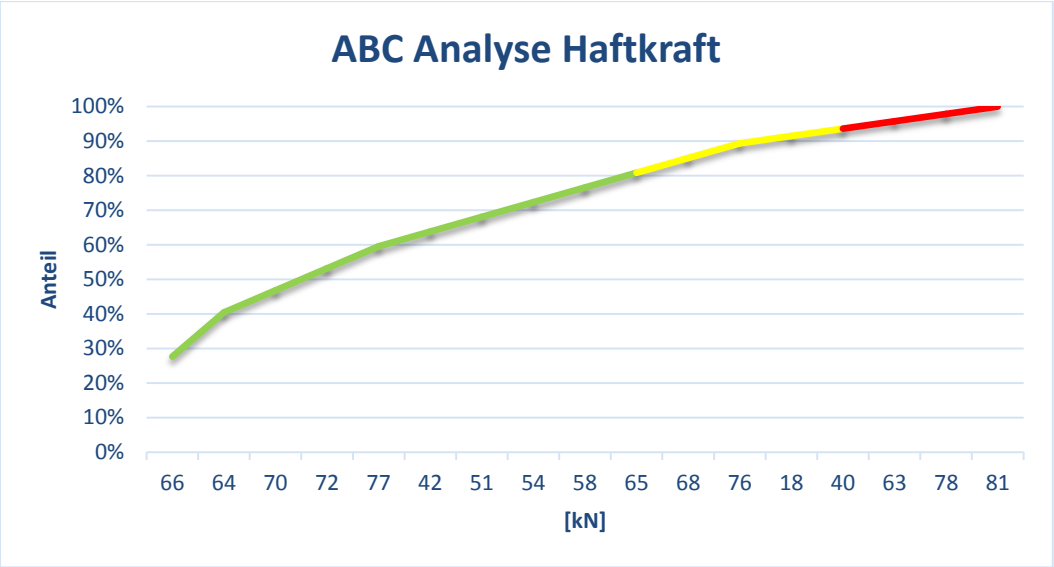



Abbildung 3-35: ABC Analyse der Haftkraft

Wie zu sehen ist, ist diese ABC Analyse aufgrund der geringen Anzahl an Projekten bzw. der großen Anzahl an Ausprägungen mit gleichen absoluten Häufigkeiten sehr trügerisch und kann kein eindeutiges Bild liefern. So besteht rein theoretisch die Möglichkeit aufgrund der gleichen Prozentzahlen der Attribute die Grenzen zwischen den in grün markierten A-Attributen und den gelben B-Attributen ganze Zeilen zu tauschen. Gleiches gilt auch für die Grenze zwischen den untersuchten B- und C-Attributen.

Da diese vorige Methode nicht aussagekräftig ist, wird nun versucht durch die Bildung von Klassen das Attribut Haftkraft so zusammenzufassen, dass eine bestimmte Aussage über die benötigte Haftkraft des Produktes abgegeben werden kann.

Die Anzahl der Klassen wird mittels der √n-Regel abgeschätzt:

$$N_{Klassen} = \sqrt{n}$$

Formel 3: Wurzel-n Regel

$N$ ergibt die Anzahl der zu kategorisierenden Cluster und $n$ stellt die Anzahl der vorhandenen Ausprägungen dar.

Bei Anwendung ergibt sich folgende Anzahl für die Klassen:

$$N_{Klassen} = \sqrt{17} \approx 4.123$$

Dies ergibt aufgerundet fünf Cluster, die wie folgt sortiert werden:

1. Unter 50 kN
2. 51-60 kN
3. 61-70 kN
4. 71-80 kN
5. Über 80 kN

| Klasse [kN] | kN | % | % kumuliert |
|---|---|---|---|
| **unter 50** | 18 | 2,13 | 8,52 |
| | 40 | 2,13 | |
| | 42 | 4,26 | |
| **51-60** | 51 | 4,26 | 12,78 |
| | 54 | 4,26 | |
| | 58 | 4,26 | |
| **61-70** | 63 | 2,13 | 57,46 |
| | 64 | 12,77 | |
| | 65 | 4,26 | |
| | 66 | 27,66 | |
| | 68 | 4,26 | |
| | 70 | 6,38 | |
| **71-80** | 72 | 6,38 | 19,15 |
| | 76 | 4,26 | |
| | 77 | 6,38 | |
| | 78 | 2,13 | |
| **über 80** | 81 | 2,13 | 2,13 |

Tabelle 3: Clustern der Haftkraft

Am Ergebnis des Clusterns ist zu erkennen, dass fast 60% der Projekte mit 70kN abgedeckt werden können, was somit den Wert der Haftkraft für die Standard Magnetschienenbremse darstellen sollte. Da man bei Standardisierung dazu neigen muss über zu dimensionieren, ist die Aufteilung in Schritten von 10 kN - auch aufgrund der Schwankungen der individuellen Haftkraft der Magneten - vertretbar.

Bei Analyse der

Tabelle 3 ist weiterhin schon zu erkennen, dass bei einer Erweiterung der Produktpalette als nächster Schritt ein Magnet mit einer höheren Haftkraft von 80 kN auf den Markt gebracht werden sollte, mit dem man weitere Marktanteile im Umfang von fast 20% erreichen könnte.

**Magnetlänge**

In Bezug auf die Magnetlänge fällt auf, dass eine starke Tendenz in Richtung der Magnete mit größeren Längen besteht (s. Abbildung 3-36).

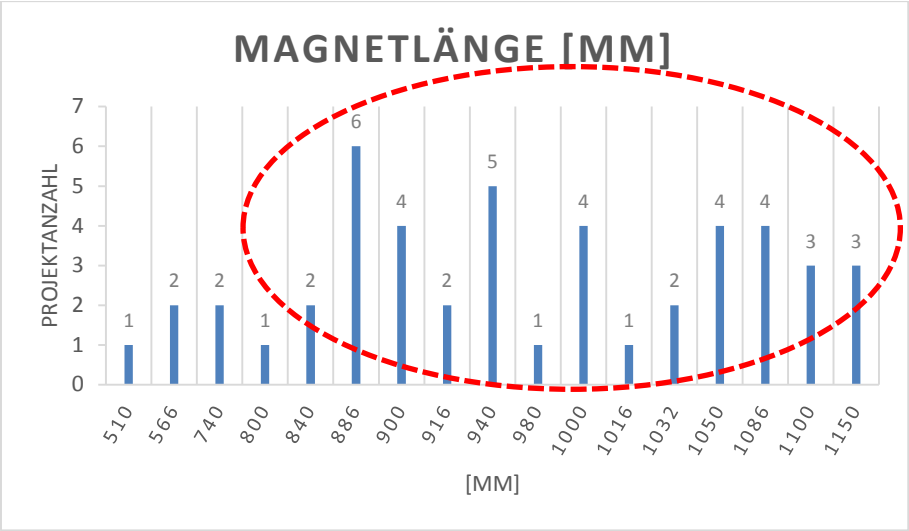



**Abbildung 3-36: Histogramm der Magnetlängen**

Auch eine Analyse des Trends im zeitlichen Verlauf zeigt, dass durchschnittlich die Nachfrage bzw. die Notwendigkeit längere Magnetkörper einzusetzen, gestiegen ist.

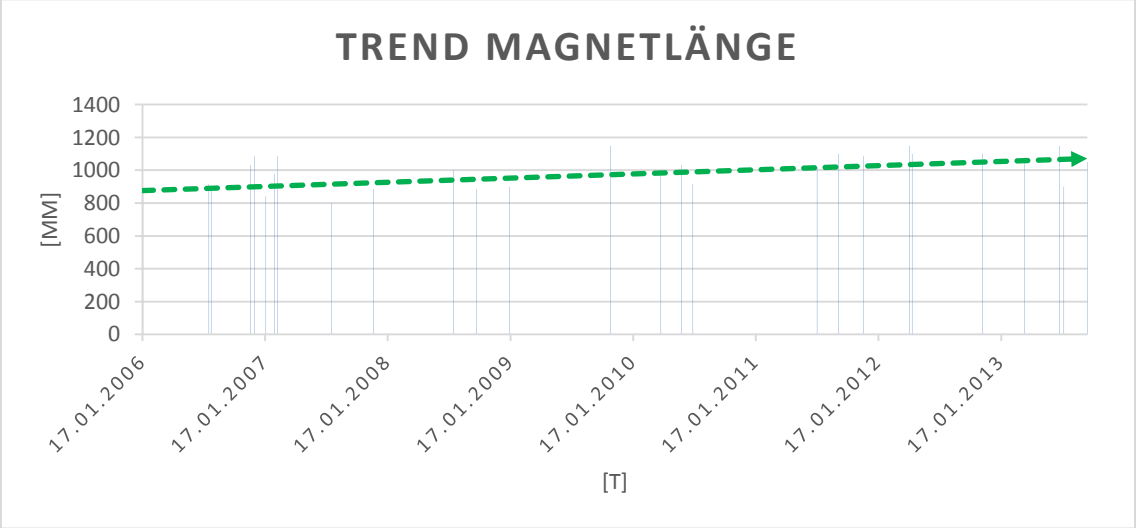



**Abbildung 3-37: Trend der Magnetlänge**

Diese Tatsache ist daher nicht verwunderlich, da die Haftkraft von der Länge des Magneten direkt physikalisch abhängig ist. So können längere Magnetkörper einerseits mehr Haftkraft entwickeln und andererseits führt eine Verlängerung der Magnetschienenbremse auch zu einer Verlängerung der Auflagefläche des Verschleißmaterials in Form der Schienenschuhe. Dadurch wird neben der Haftkraft auch die reibungsbedingte Bremskraft gesteigert.

Jedoch existiert bei der Magnetlänge ein immanent wichtiger, begrenzender Faktor, da von Seiten der Fahrzeugbauer standardisierte Drehgestelle entwickelt und angeboten werden. Hier ergibt sich für die Mg-Bremse durch die Kombination aus Achsabstand des Drehgestells und den verwendeten Durchmesser der Räder ein bestimmter Einbauraum, der genutzt, aber nicht überschritten werden kann. Als

minimaler Einbauraum wird zuerst die Länge definiert, die sich aus der Subtraktion des Raddurchmessers vom Achsabstand ergibt (s. Abbildung 3-38):

$$L_{min} = l_{Achse} - d_{Rad}$$

**Formel 4: Minimaler Einbauraum**

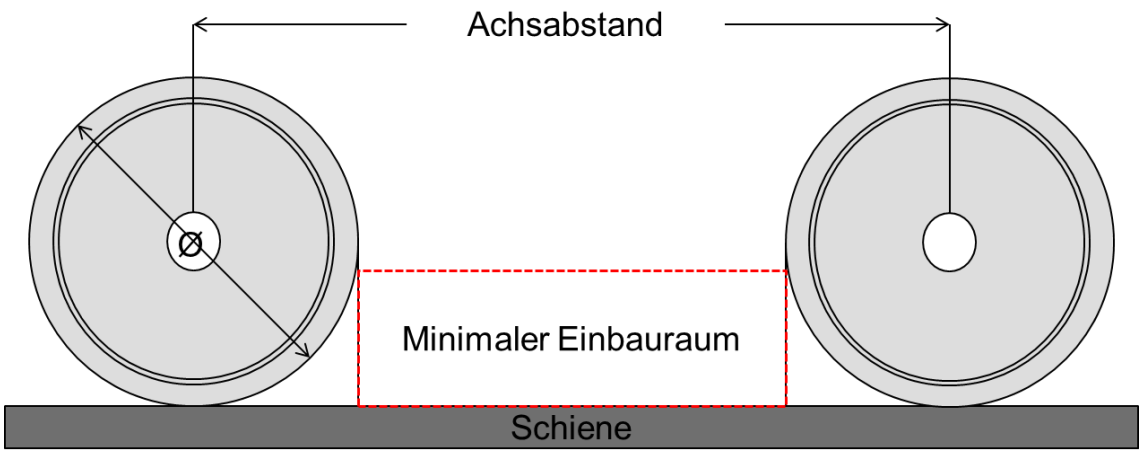



**Abbildung 3-38: Minimaler Einbauraum der Magnetschienenbremse**

Um einen Überblick über den minimalen Einbauraum der Drehgestelle zu gewinnen, wurden die Drehgestelle diverser Hersteller in Bezug auf die für die Dimensionierung der Bremse wichtigen Daten untersucht. Zu den untersuchten Herstellern zählen:

- Bombardier
- Alstom
- Siemens
- Kinki Sharyo
- Skoda
- AnsaldoBreda
- Stadler Rail
- PESA
- Vossloh
- Solaris

Durch die Untersuchung und Analyse der Drehgestelle vieler Hersteller kann nun ein konsistentes Bild der Situation generiert werden.

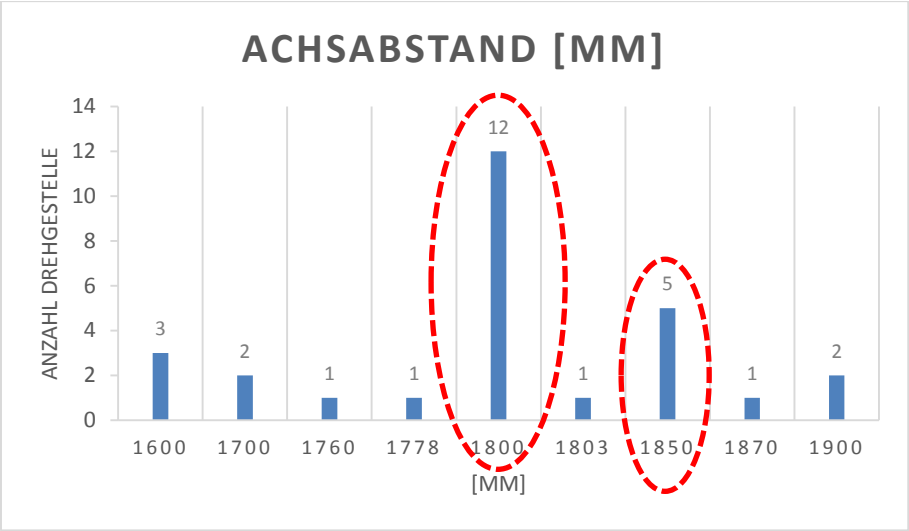



Abbildung 3-39: Histogramm der Achsabstände

In Bezug auf die Achsabstände zeigt sich deutlich, dass die Längen 1800mm und 1850mm am häufigsten von Seiten der Fahrzeugbauer verwendet werden.

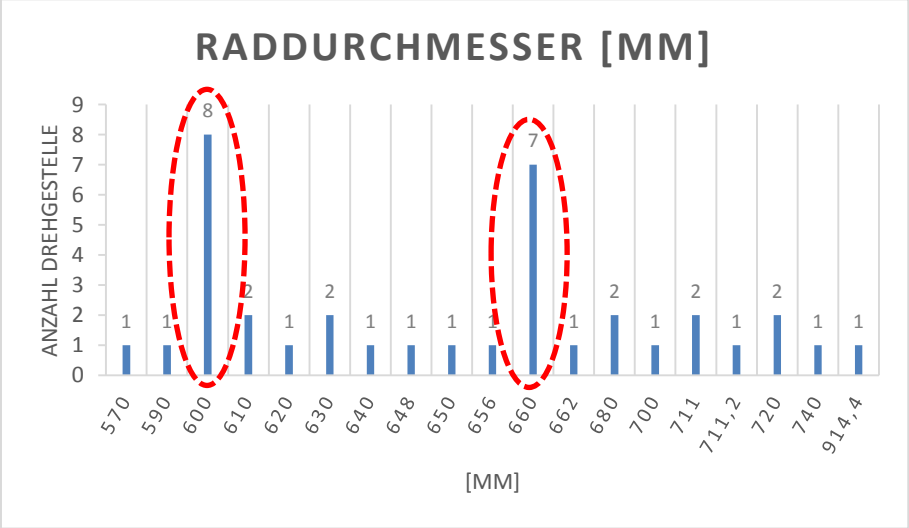



Abbildung 3-40: Histogramm der Raddurchmesser

Bei den Raddurchmessern dominieren die Werte 600mm und 660mm sehr deutlich. Dabei werden nur neue, d.h. Räder ohne jeglichen Verschleiß betrachtet.

Obwohl man bereits bei den beiden oberen Histogrammen recht deutliche Tendenzen in Bezug auf die Dimensionierung treffen könnte, sind diese Auswertungen nur unzureichend, da für den minimalen Einbauraum das Zusammenwirken beider Faktoren ausschlaggebend ist. Wie in Abbildung 3-36 und Abbildung 3-37 zu erkennen ist, tendiert man eher zum Einsatz von größeren Magnetlängen. Laut internen Schätzungen der Konstrukteure ist ein Einbauraum ab 1100mm aufwärts realistisch und auch gefühlt häufig, um einen Magneten mit 70kN Haftkraft unterbringen zu können. Dies stimmt mit der Auswertung der Daten überein.

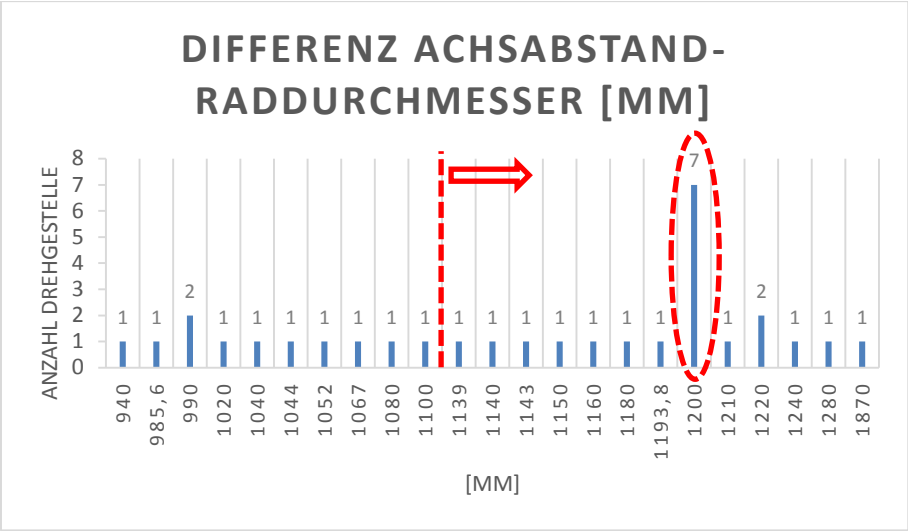



Abbildung 3-41: Histogramm des minimalen Einbauraums

Der rote Strich markiert den Übergang zwischen 1100mm und der nächst höheren Stufe von 1139mm. Gut zu erkennen ist ebenfalls, dass 1200mm mit Abstand die am häufigsten vorkommende Differenz aus Achsabstand und Raddurchmesser ist. Somit wird nun untersucht, wie viel Prozent der am Markt angebotenen Drehgestelle mit einem Magneten der Länge 1100mm ausgerüstet werden könnten.

| Differenz [mm] | % | % kumuliert |
|---|---|---|
| **940** | 3,23% | |
| **985,6** | 3,23% | |
| **990** | 6,45% | |
| **1020** | 3,23% | |
| **1040** | 3,23% | 32,26% |
| **1044** | 3,23% | |
| **1052** | 3,23% | |
| **1067** | 3,23% | |
| **1080** | 3,23% | |
| **1100** | 3,23% | 3,23% |
| **1139** | 3,23% | |
| **1140** | 3,23% | |
| **1143** | 3,23% | |
| **1150** | 3,23% | |
| **1160** | 3,23% | |
| **1180** | 3,23% | |
| **1193,8** | 3,23% | 64,52% |
| **1200** | 22,58% | |
| **1210** | 3,23% | |
| **1220** | 6,45% | |
| **1240** | 3,23% | |
| **1280** | 3,23% | |
| **1870** | 3,23% | |

Tabelle 4: Minimaler Einbauraum der Drehgestelle (prozentual)

Hier sehen wir, dass in 64,52% der am Markt angebotenen Drehgestelle eine Bremse der Länge 1100mm integriert werden könnte. Dabei ist zu beachten, dass hier die gesamte Bremse und nicht nur der Magnetkörper betrachtet wird. Falls der Grenzfall von genau 1100mm Differenz ebenfalls mit einbezogen wird, kann sogar ein Wert von 67,75% erreicht werden, was absolut zufriedenstellend ist.

**Gesamthöhe**

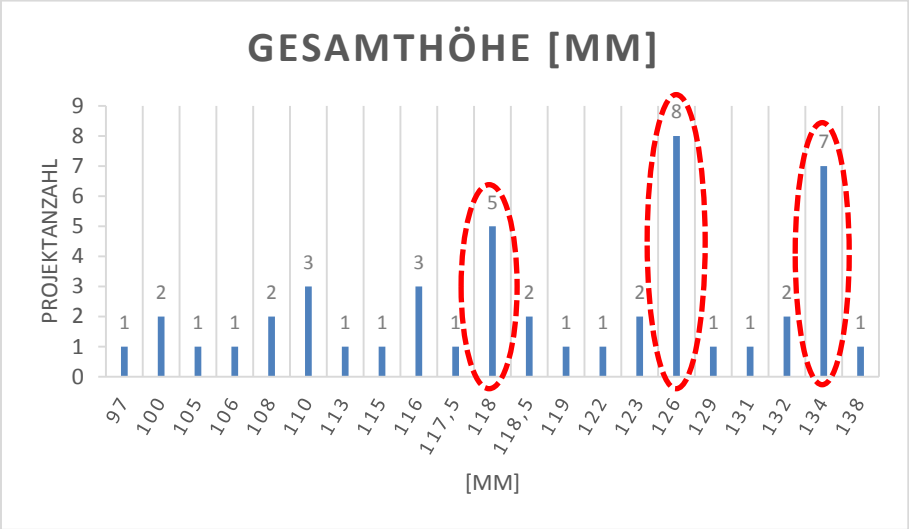



Abbildung 3-42: Histogramm der Gesamthöhe

In Bezug auf die Festlegung der Gesamthöhe zeigt das Histogramm keine eindeutige Häufung von Ausprägungen, die einen Schluss auf eine bestimmte Höhe zulassen würde. Auffällig sind lediglich die signifikanten Ausschläge bei 126mm, 134mm und 118mm.

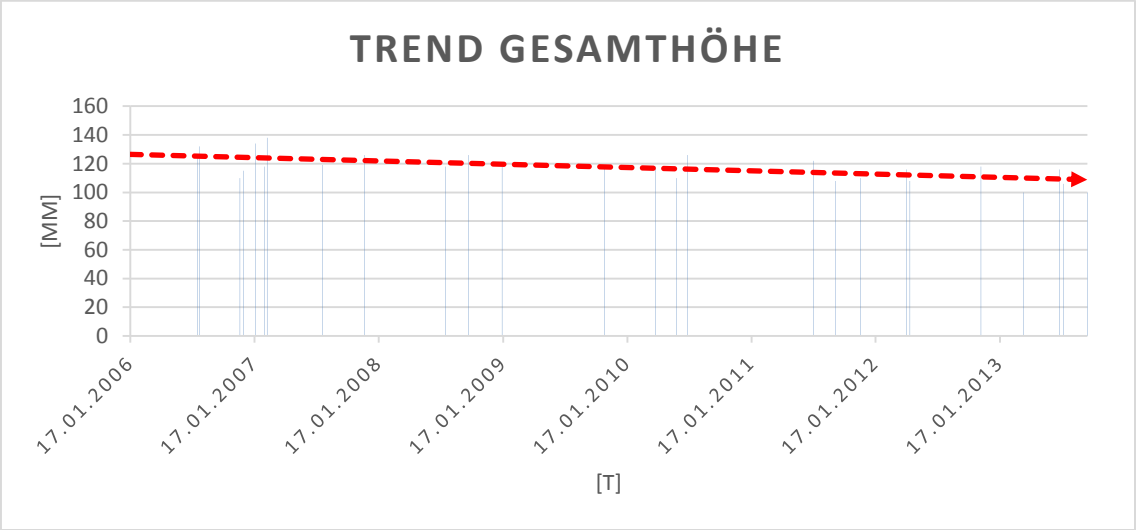



Abbildung 3-43: Trend der Gesamthöhe

Die Trendanalyse der Gesamthöhe zeigt eine eindeutige Orientierung hin zu niedriger bauenden Magneten. Dies ist nachvollziehbar, da zunehmend

Straßenbahnen mit bis zu 100% Niederflurigkeit nachgefragt und somit gebaut werden. Die Niederflurigkeit hat den Vorteil, dass im urbanen Raum mit viel Umsteigeverkehr die Umsteigefrequenz gesenkt werden kann, wodurch sich für die Bahnen an den Haltestellen kürzere Wartezeiten und damit auch kürzere Taktzeiten der Bahnen ergeben. Neben diesem Aspekt ist ebenfalls das Ein- und Aussteigen für ältere Personen und Personen mit Behinderung einfacher zu bewerkstelligen.[182]

Konstruktiv bedeutet dies, dass die Drehgestelle grundsätzlich niedriger konstruiert werden müssen, um innerhalb der Fahrzeuge möglichst eine ungehinderte Durchlässigkeit gewährleisten zu können und nur durch einen Flur ohne Barrieren zu ermöglichen ist. Als Folge aus dieser niedrigen Bauweise der Drehgestelle leitet sich auch für die Magnetschienenbremse ein in der Höhe niedrigerer zur Verfügung stehender Bauraum ab, was der Trend widerspiegelt.

### Abstand der Mitnahmeflächen

Beim **Mitnahmebock** zeigt sich bei der Untersuchung der einzelnen Projekte, dass gehäuft Projekte mit einem geringen, einem mittleren und einem großen Abstand der Kontaktflächen des Mitnehmers zueinander realisiert wurden. Dabei ist die größte Anzahl im Rahmen dieser Häufigkeiten die mittlere Anzahl mit insgesamt acht Projekten im Bereich von 636-754mm Mitnahmeabstand.

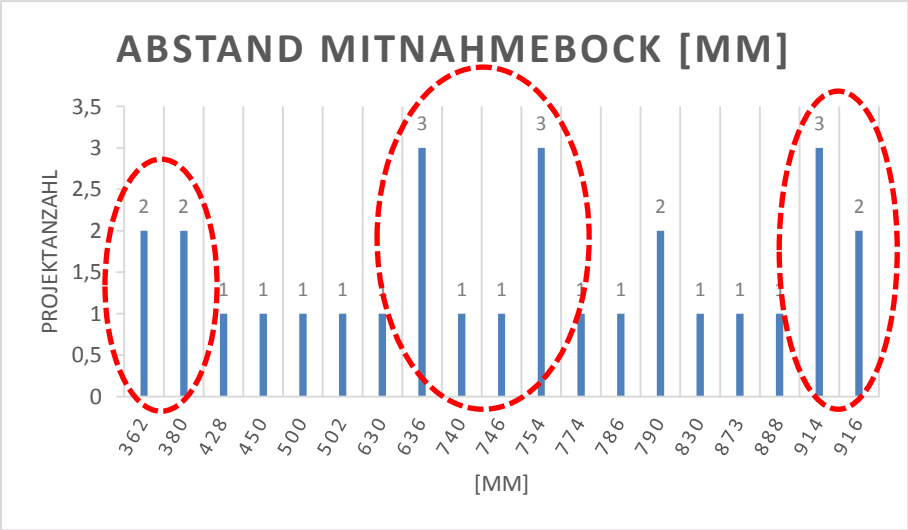



**Abbildung 3-44: Histogramm Mitnehmerabstand**

Dies jedoch hat keine Aussagekraft, da nur absolute Werte untersucht wurden, die in keinem Verhältnis zu den verwendeten Magnetlängen der jeweiligen Projekte stehen. Somit würde hier auch eine Analyse des Trends keinen Sinn machen, da durch die Verwendung absoluter Werte keine fundierte Aussage gemacht werden kann, was die Gestaltung der Mitnehmerabstände in der standardisierten Mg-Bremse angeht.

[182] Vgl. SCI Verkehr GmbH, 2010, S.18

Aus diesem Grund wurde bei allen Projekten die Relation aus Magnetlänge und Mitnehmerabstand gebildet.

$$Relation\ I = \frac{Magnetlänge\ [mm]}{Mitnehmerabstand\ [mm]}$$

**Formel 5: Relation Magnetlänge/ Mitnehmerabstand**

Die Analyse dieser dimensionslosen Zahl soll Aufschluss darüber geben, wo im Verhältnis zur verwendeten Magnetlänge die Mitnehmer positioniert werden sollen.

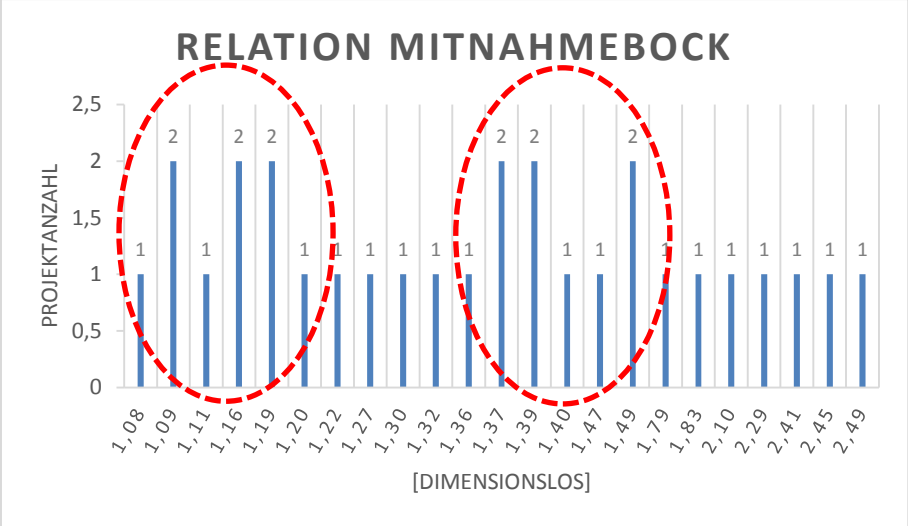



**Abbildung 3-45: Histogramm der Relation Magnetlänge/ Abstand Mitnahmeflächen (Mitnehmerbock)**

Hier zeigt sich, dass im Wesentlichen zwei Bereiche auffallen. Der erste Bereich reicht ungefähr von 1,08-1,20, wobei der zweite größere Bereich von 1,37-1,49 geht. Die Projekte mit darüber liegenden Werten sind technisch nicht mehr sinnvoll, da die Mitnehmerböcke sehr weit in der Mitte des Magnetkörpers positioniert sind, was dazu führt, dass die Führung der Mg-Bremse im Drehgestell sehr instabil wird.

Somit ergibt sich für den Mitnehmerabstand bei einem Magnetkörper von 1000mm Länge ein Wert von 925mm bis ca. 671mm.

| Magnetlänge [mm] | Relation | Abstand Mitnahmeflächen [mm] |
|---|---|---|
| **1000** | 1,08-1,20 | 925-833 |
| **1000** | 1,37-1,49 | 730-671 |

**Tabelle 5: Mitnahmeflächen des Mitnahmebocks**

Analog zu den Mitnahmeböcken ergibt sich für die **Zugbügel** die gleiche Herangehensweise.

$$Relation\ II = \frac{Magnetlänge\ [mm]}{Abstand\ Zugbügel\ [mm]}$$

Formel 6: Relation Magnetlänge/ Abstand Mitnahmeflächen (Zugbügel)

Da die Mitnahmeflächen eines Zugbügels außerhalb des Magnetkörpers liegen, ergibt sich für die Relation immer ein Wert, der kleiner als eins ist.

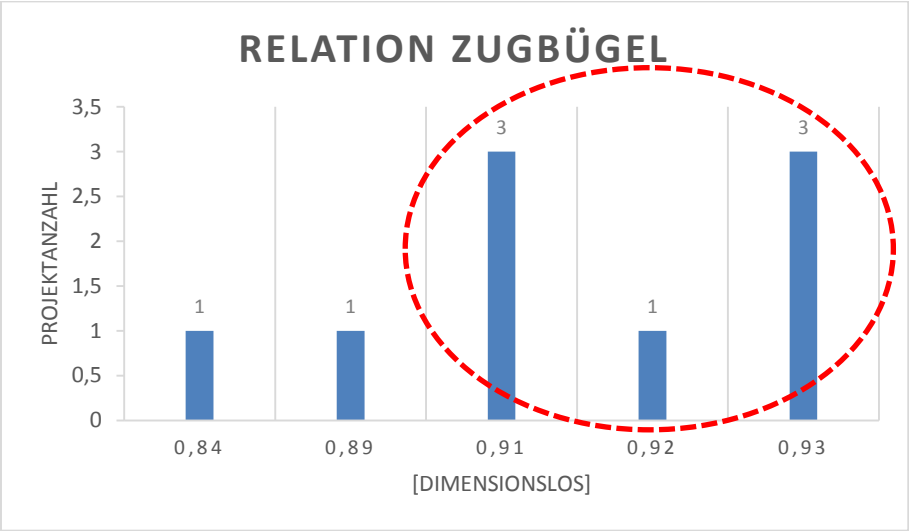



Abbildung 3-46: Histogramm der Relation Magnetlänge/ Zugbügel

Zu sehen ist, dass eine Tendenz dazu besteht, Werte zu erreichen, die möglichst nah an den Wert eins heran reichen. Dies ist ebenfalls plausibel, da das Bestreben ist, den Zugbügel möglichst nah an der Kante des Magnetkörpers zu positionieren, um keinen Platz in X-Richtung zu verschwenden.

Für einen Magneten mit einer Länge von 900mm ergibt sich dadurch rechnerisch ein Mitnahmeabstand des Zugbügels von ca. 989mm-967mm.

| Magnetlänge [mm] | Relation | Abstand Mitnahmeflächen [mm] |
|---|---|---|
| **900** | 0,91-0,93 | 989-967 |

Tabelle 6: Mitnahmeflächen des Zugbügels

Grundsätzlich kann in Bezug auf die Abstände der Mitnahmeflächen aufgrund der statistischen Analyse der Vertriebsmerkmale anhand der bisher realisierten Projekte lediglich eine qualitative Aussage über die Position der Mitnahmeflächen getätigt werden. Ein absoluter Wert, der ideal für die Verwendung im Rahmen eines Standardproduktes wäre, kann nicht ermittelt werden.

### Abstand der Druckfedern

Analog zu der Untersuchung der absoluten Werte der Mitnahmeflächen wird nun die Position der Druckfederaufhängung untersucht. Hierzu erfolgt erst die Untersuchung der absoluten Werte der Druckfederabstände.

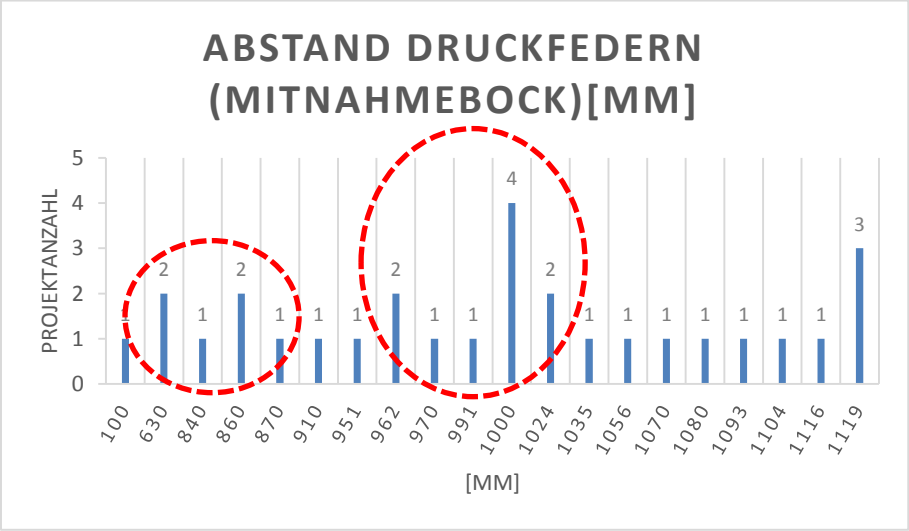



Abbildung 3-47: Histogramm der Druckfederabstände (Mitnahmebock)

Bei den Projekten mit Mitnahmebock bilden sich dabei zwei auffällige Häufungen von Werten ab. Zum einen ist eine leichte Konzentration von Projekten im Bereich von 630-870mm zu erkennen und zum anderen ein signifikanter Bereich, der von 962-1024mm reicht. Wie auch bei der Analyse der Mitnahmeflächen zuvor macht eine Untersuchung absoluter Werte keinen Sinn, da keinerlei Bezug zu der verwendeten Magnetlänge hergestellt wird. Somit wird auch in diesem Fall eine Relation gebildet, die die Magnetlänge in die Betrachtung mit einbezieht.

$$Relation\ III = \frac{Magnetlänge\ [mm]}{Abstand\ Druckfederaufhängung\ [mm]}$$

Formel 7: Relation der Magnetkörperlänge/ Druckfederaufhängung (Mitnahmebock)

Unten stehende Grafik zeigt das Histogramm der Relationen der Magnetlängen zum Druckfederabstand bei Verwendung eines Mitnahmebocks als Mitnahmekonzept.

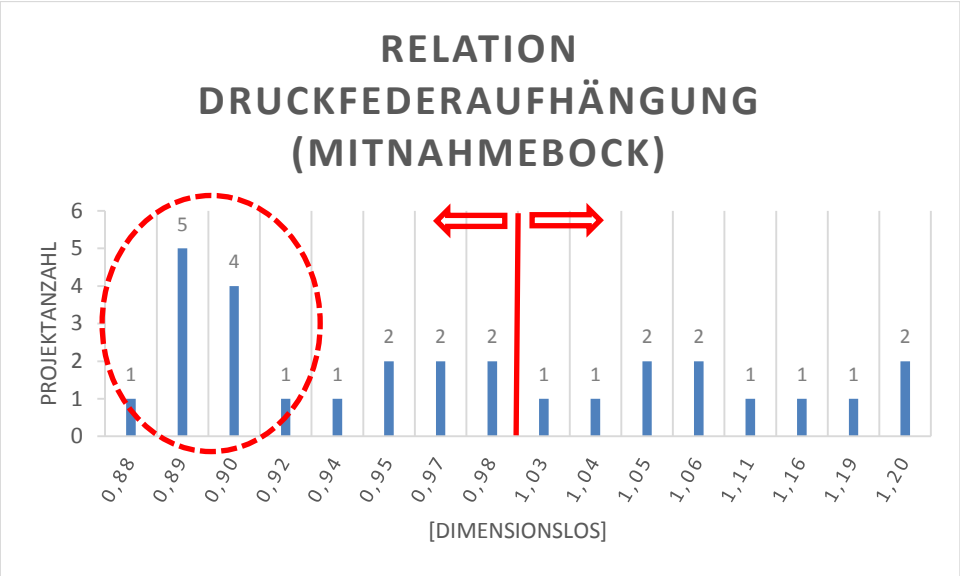



**Abbildung 3-48: Histogramm Relation des Druckfederabstands (Mitnahmebock)**

Auffällig ist hier, dass sich das Histogramm in zwei Bereiche aufgliedert, wobei der eine Bereich Werte aufweist, die kleiner als eins sind und der andere Bereich (rechts der roten Linie) Werte, die größer als eins sind. Konstruktiv bedeutet das, dass alle Druckfedern links der roten Linie im Histogramm über den Magnetkörper hinaus ragen, wobei die verbleibenden Druckfedern an einer Position über dem Magnetkörper befestigt sind.

Der größere Teil der Projekte ist jedoch, wie in Abbildung 3-48 gut zu sehen, mit Druckfedern realisiert worden, die außerhalb bzw. seitlich des Magnetkörpers in X-Richtung angebracht worden sind. Konstruktiv ist dies sinnvoll, da zum einen auf diese Weise eine Nachstellung der Druckfedern bei Radverschleiß im laufenden Betrieb von unten erfolgen kann und die Anwenderfreundlichkeit erhöht. Andererseits ermöglicht dies das ganze System grundsätzlich niedriger zu bauen, was dem Trend zur Niederflurbauweise ( vgl. Abbildung 3-43) entgegen kommt.

Für die Analyse der Druckfederabstände wird analog zu der Lösung mit dem Mitnahmebock für den Zugbügel ebenfalls eine Relation gebildet. Für diese wird allerdings nicht wie in den vorangegangenen Fällen die Magnetlänge als Bezugslänge verwendet, sondern aufgrund der klassischen Anordnung der Druckfedern am Zugbügel (vgl. Abbildung 3-4) wird hier der Abstand der Mitnahmeflächen für die Bildung der Relation verwendet.

$$Relation\ IV = \frac{Abstand\ der\ Mitnahmeflächen\ [mm]}{Abstand\ Druckfederaufhängung\ [mm]}$$

**Formel 8: Relation der Mitnahmeflächen/ Druckfederaufhängung (Zugbügel)**

Dadurch wird letztendlich untersucht, wie nah die Druckfedern an den Mitnahmeflächen des Zugbügels positioniert werden sollen.

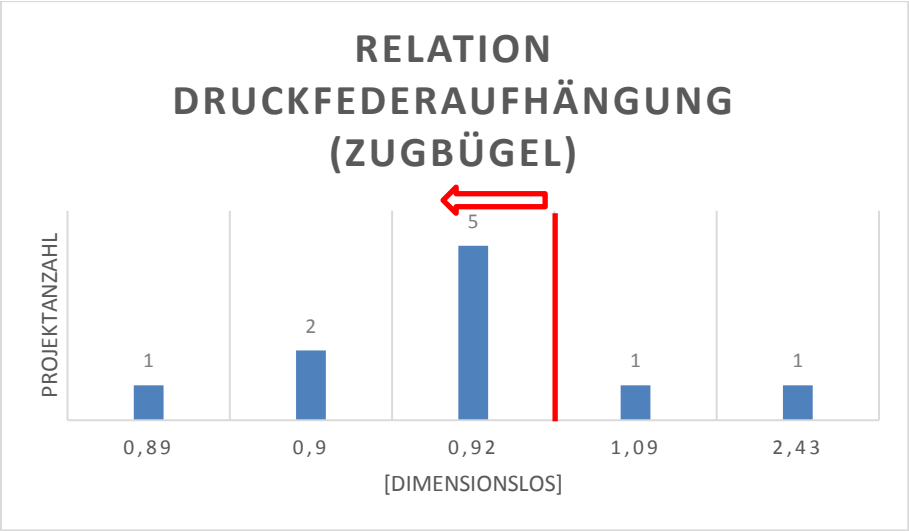



Abbildung 3-49: Histogramm des Druckfederabstands (Zugbügel)

Abbildung 3-49 zeigt das Histogramm dieser Auswertung. Dieses teilt sich ebenfalls wieder in zwei Bereiche, wobei 80% der Projekte einen Wert von <1 aufweisen und somit außerhalb des Abstands der Mitnahmeflächen liegen. Hier ist auffällig, dass mit 50% der gesamten Projekte ein vakant hoher Anteil der Druckfedern sehr nah an den Mitnahmeflächen positioniert worden ist, was aufgrund der Tendenz, den Einbauraum möglichst platzsparend auszunutzen, plausibel ist. Darüber hinaus bleibt durch diese Anordnung auch die schon erwähnte Nachstellung der Druckfedern von unten möglich.

**Betriebsstrom**

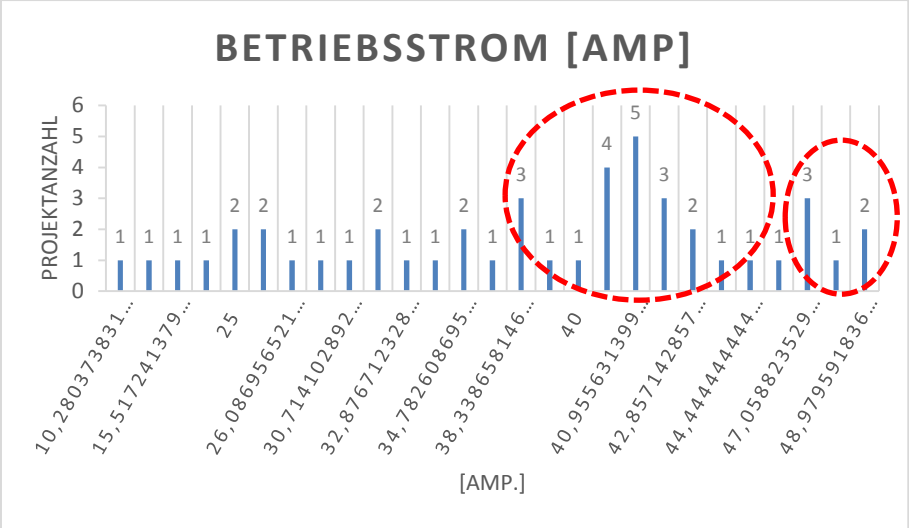



Abbildung 3-50: Histogramm des Betriebsstrom

Das Histogramm des Betriebsstroms zeigt deutlich, dass die meisten Projekte im Bereich von ca. 27-45 Ampere realisiert wurden. Somit ist bereits anzunehmen, dass eine standardisierte Variante, die den Betriebsstrom betrifft, in dem Bereich angesiedelt sein sollte. Des Weiteren ist ebenfalls erkennbar, dass sich rechts der

Skala ebenfalls eine kleinere Anzahl von Projekten befindet, die mit einem höheren Betriebsstrom von 47-49 Ampere arbeiten.

Dies lässt den Schluss zu, dass bei Entwicklung eines weiteren Magneten im Zuge von Erweiterungen der Produktpalette eine Hochleistungsvariante bereitgestellt werden könnte.

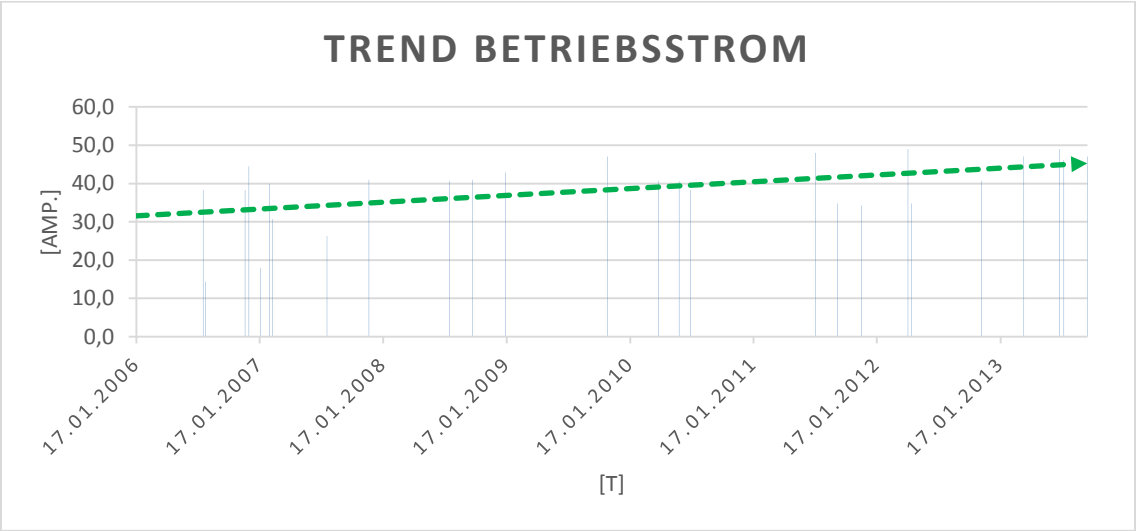



**Abbildung 3-51: Trend des Betriebsstroms**

Der Trend des Betriebsstroms zeigt durchschnittlich gesehen ebenfalls in Richtung des höheren Betriebsstroms.

Dies führt zu der Überlegung, dass nur die angesprochene Hochleistungsvariante entwickelt werden sollte.

Aufgrund der Aussage des Konstrukteurs eines Wagenbauers, dass dieser nur einen Betriebsstrom bis 43 Ampere akzeptieren würde, wurde untersucht, welcher Betriebsstrom bei welchen Projekten eingesetzt wurde und dies in Zusammenhang mit den jeweiligen Herstellern gesetzt.

| Ausprägung | Fahrzeugbauer | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bombardier | Alstom | Siemens | Skoda | Stadler | Pesa | Vossloh | CAF | NPRT (China)/ Bombardier | Hyundai ROTEM | Kinki Sharyo | TRC-China/Logomotive | Ulasim | PLASSER & THEURER | RAINS SISTEMAS DE TRANSPOR |
| [Amp] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,28 | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 14,40 | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 15,52 | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 18,00 | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 25,00 | | | | | 2 | | | | | | | | | | |
| 25,81 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 26,09 | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | |
| 26,28 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30,71 | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 31,17 | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 32,88 | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 34,29 | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 34,78 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 35,29 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 38,34 | | 1 | | | 2 | | | | | | | | | | |
| 39,34 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 40,00 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 40,68 | | 1 | | | 5 | 3 | | | | | | | | | |
| 40,95 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42,11 | | | | | | | | | 2 | | | 1 | | | |
| 42,86 | | | | | 1 | | | | | | 1 | | | | |
| 43,64 | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 44,44 | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 46,15 | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 47,05 | | | | | | 2 | 1 | | | | | | | | |
| 48,00 | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 48,98 | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | |

**Tabelle 7: Matrix Betriebsstrom-Fahrzeugbauer I**

Wie bereits zu erkennen ist, zeigt die Matrix, dass die meisten Fahrzeugbauer bei ihren Bremsen Strom von weniger als 43 Ampere einsetzen (oberhalb der roten Linie). Lediglich zwei Hersteller von Fahrzeugen setzen Bremsen mit höheren Amperezahlen ein.

| Ausprägung | Fahrzeugbauer | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bombardier | Alstom | Siemens | Skoda | Stadler | Pesa | Vossloh | CAF |
| [Amp] | | | | | | | | |
| 10,28 | | | 1 | | | | | |
| 14,40 | | | | | | | | 1 |
| 15,52 | | | 1 | | | | | |
| 18,00 | | | | | 1 | | | |
| 25,00 | | | | | 2 | | | |
| 25,81 | 1 | | | | | | | |
| 26,09 | | | | | 1 | | | |
| 26,28 | | | | | | | | |
| 30,71 | | | | 1 | | | | |
| 31,17 | 2 | | | | | | | |
| 32,88 | | | | | | | | 1 |
| 34,29 | | 1 | | | | | | |
| 34,78 | | 1 | | | | | | |
| 35,29 | 1 | | | | | | | |
| 38,34 | | 1 | | | 2 | | | |
| 39,34 | 1 | | | | | | | |
| 40,00 | 1 | | | | | | | |
| 40,68 | | 1 | | | 5 | 3 | | |
| 40,96 | | | | | | | | |
| 42,11 | | | | | | | | |
| 42,86 | | | | | 1 | | | |
| 43,64 | | | | | | | | |
| 44,44 | | 1 | | | | | | |
| 46,15 | | | | | 1 | | | |
| 47,06 | | | | | | 2 | 1 | |
| 48,00 | | | | | | 1 | | |
| 48,98 | | | | | | 1 | 1 | |

Tabelle 8: Matrix Betriebsstrom-Fahrzeugbauer II

Wie hier detaillierter zu sehen, handelt es sich dabei um die Firma PESA und Vossloh in deren Projekte Magnete mit mehr als 43 Ampere eingesetzt wurden. Aufgrund der gehäuften Zahl an Projekten mit der Firma PESA und Vossloh in den letzten Jahren, wurde die Trendlinie somit in Richtung höherer Werte beeinflusst.

Zuzüglich muss man beachten, dass die Knorr-Bremse GmbH ungefähr 30% der Anteile an der Firma Vossloh hält und somit firmenpolitische Entscheidungen, beispielsweise seitens des Fahrzeugbauers die Verkabelung für derart hohen Betriebsstrom auszulegen, nicht ausgeschlossen werden können. Hinzu kommt, dass sowohl Vossloh als auch PESA vergleichsweise neue Teilnehmer im Bereich der LRV sind. Sie neigen dazu das Bordnetz maximal zu belasten und nicht wie etabliertere Wagenbauer einen Sicherheitspuffer in ihre Berechnung der Elektrik mit einplanen.

Mittels dieser Informationen kann die Hochleistungsvariante des Magneten als Standard nicht infrage kommen, da dieser nicht die Mehrzahl der potenziellen Kunden ansprechen würde und somit an den Bedürfnissen des Marktes vorbeigeht.

### 3.5.6 Konzeptionierung des Baukastens

Für die endgültige Konzeptionierung der Varianten muss zwischen diversen konstruktiven Lösungen in allen Modulen und Schnittstellen abgewogen werden. Die unterschiedlichen Ansätze wurden im Team aus Experten durch Brainstorming erarbeitet und haben entscheidenden Einfluss auf die spätere Erfüllung der oben identifizierten Kundenanforderungen. Weiterhin soll versucht werden, mittels der Konstruktion eine größtmögliche Marktabdeckung für das Standardprodukt erzielen zu können. Hier muss beachtet werden, dass das Produkt so flexibel wie möglich gestaltet werden muss.

Die entwickelten Alternativen werden mittels einer Nutzwertanalyse in Bezug auf folgende Punkte untersucht und quantitativ bewertet:

- Kundensicht
- Life Cycle Cost
- Montagesicht
- Herstellkosten
- Entwicklungsaufwand
- Technische Lösung

Die einzelnen Bewertungsfelder werden auf einer Skala von 1-5 (unwichtig-sehr wichtig) versehen, um bei einer späteren Bildung eines Summenproduktes für die Gesamtbewertung der Lösung mit einzubeziehen, dass die Lösung mit der höchsten Punktzahl in den entscheidenden Kategorien überzeugen kann.

Im Hinblick auf die **Kundensicht** wird die Konstruktion des Teils dahingehend bewertet, ob sich daraus Widersprüche zu den oben festgestellten Kundenanforderungen ergeben. Die Kundensicht als Top-Down-Approach wird mit dem Verrechnungsfaktor **5** versehen, um der Wichtigkeit der Kundenausrichtung des Produkts Rechnung getragen.

Die **Life Cycle Cost** beschreiben die Folgekosten, die beim Betreiber als Folge der Konstruktion auftreten werden. Dieser Posten ist im Wesentlichen durch die Kosten für einfache Wartung und Verschleißteile begründet und als kundenrelevante Position mit **5** bewertet.

In die **Montagesicht** fließen alle montagerelevanten Fakten. Hierbei wird untersucht, ob bereits bestehende und bewährte Montagetechniken verwendet werden können oder wie komplex diese Montagetätigkeiten sind. Da der Fokus im Wesentlichen auf

der Kundenakzeptanz und nicht auf der Gestaltung interner Prozesse liegt, wird dieser Posten mit einer **2** als Verrechnungsfaktor bewertet.

Die **Herstellkosten** sind ein wichtiger Faktor, der dementsprechend mit **5** gewichtet wird. Die Wichtigkeit dieser Position ergibt sich zum einen aus den hohen Stückzahlen, die mit dem Produkt erwartet werden und den damit verbundenen Skaleneffekten, zum anderen aus den bereits im Vorfeld definierten Zielen des Target Costing, die eingehalten werden sollen.

Der **Entwicklungsaufwand** umfasst alle Schritte, die in der Entwicklungsabteilung getätigt werden müssen, um das Produkt zur Marktreife zu führen. Er sollte aufgrund der Tatsache, dass er nicht auf ein Produkt verrechnet werden kann minimal und somit kostengünstig sein, wodurch angestrebt wird, weitestgehend auf bereits bestehende Lösungen zurück zu greifen. Die Gewichtung beträgt daher **3**.

Bei der **Technischen Lösung** werden die Aspekte Betriebssicherheit, Verfahrensrisiko, Bauteilkomplexität und Platzbedarf bewertet. Diese Punkte sind für die Marktzulassung, Beherrschbarkeit der Technik und auch für die Marktabdeckung wichtig und werden somit mit **4** gewichtet.

Daraus ergibt sich unten stehender Grundaufbau der Nutzwertanalyse der einzelnen konstruktiven Varianten.

| Nutzwertanalyse Modul/Schnittstelle | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kriterium | Kundensicht | LifeCycle Cost | Montagesicht | Herstellkosten | Entwicklungsaufwand | Technische Lösung | | |
| Gewichtung | 5 | 5 | 2 | 5 | 3 | 4 | Summe | gewichtete Summe |
| Variante X | | | | | | | | |

Tabelle 9: Aufbau Nutzwertanalyse

Die Punktevergabe für die einzelnen Konstruktionsalternativen erfolgt traditionell von 0-10 (absolut unbrauchbare Lösung bis Ideallösung). Da diese Auflösung sich für die praktische Bewertung im Team als zu hoch erwiesen hat und aufgrund des Konfliktpotentials nicht zielführend ist, wird die VDI Richtlinie 2225 für die Gestaltung der Werteskala verwendet.[183] Die Kategorisierung stellt sich wie folgt dar:

| Punkte | Bedeutung |
|---|---|
| **0** | unbefriedigend |
| **1** | Gerade noch tragbar |
| **2** | Ausreichend |
| **3** | Gut |
| **4** | Sehr gut (ideal) |

Tabelle 10: Wertskala nach Richtlinie VDI 2225

[183] Naefe, 2009, S.84

Die Konstruktionsalternativen werden im Folgenden als technische Konstruktionsskizzen illustriert, um den prinzipiellen Aufbau deutlich zu machen. So wird der technische Bezug verdeutlicht und der Grad der Vollständigkeit und Detaillierung ist im Allgemeinen höher als bei normalen Skizzen.[184] Weiters wird sich bei Erstellung der Zeichnungen an den allgemeinen DIN Normen für das technische Zeichnen orientiert. Eine Bemaßung erfolgt somit auch nicht vollständig, sondern nur an sinnvollen Stellen.

In diesem Kapitel wird ebenfalls eine statistische Auswertung an relevanten Stellen in Bezug auf verschiedene Ausprägungen von Attributen und Merkmalen der einzelnen Module und Schnittstellen vorgenommen. Sie fließen an dieser Stelle ein, da eine Darstellung wichtig ist, die untersuchten Attribute des Produkts allerdings nicht zu den Hauptvertriebsmerkmalen gehören und daher zum einen nicht derart detailliert untersucht werden müssen und zum anderen eher der internen Entscheidungsfindung dienen und weniger kundenrelevant sind.

### *3.5.6.1 Magnetkörper*

Beim Magnetkörper wird zuallererst die Bauform festgelegt. Hierbei wird grundsätzlich zwischen den Einteilern, bei denen der Magnetkörper aus dem Vollen gefräst wird und den Dreiteilern, bei denen der Magnetkörper aus zwei Magnetwangen und einem Magnetkern verschraubt wird, unterschieden.

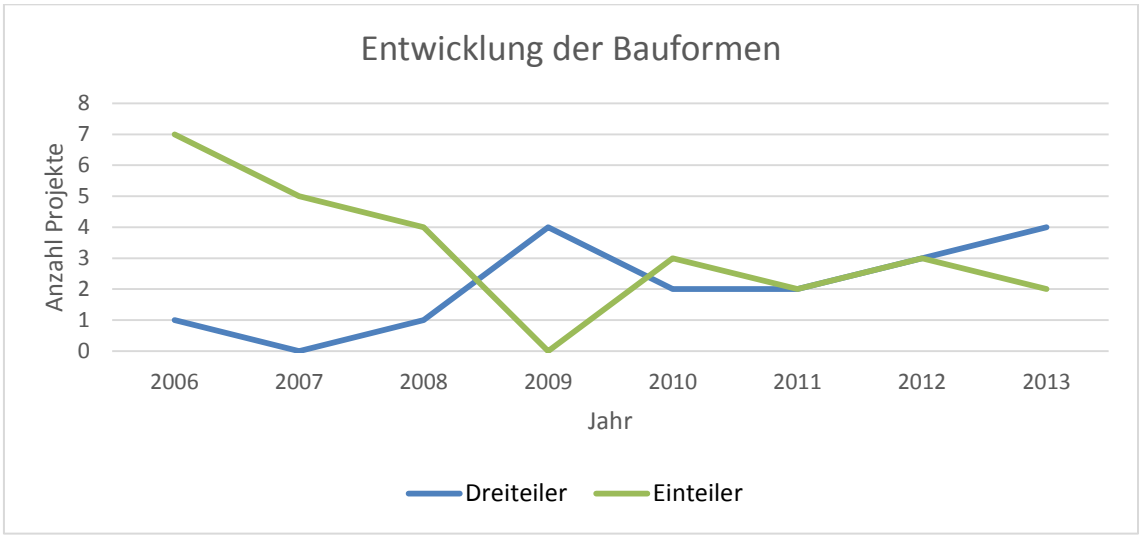



**Abbildung 3-52: Einsatz der Bauformen des Magnetkörpers**

Wie Abbildung 3-52 zeigt, hat der Einsatz von Dreiteilern seit dem Jahr 2007 innerhalb der Projekte stark zugenommen. Zwar ergeben sich beim Dreiteiler im Vergleich zu den Einteilern aufgrund der Bauweise leichte Nachteile im magnetischen Fluss innerhalb des Bauteils, die jedoch nicht gravierend ins Gewicht fallen. Da die Dreiteiler wesentlich günstiger sind, ist im Rahmen des

[184] Vgl.: Viebahn, 2009, S.2

Standardisierungsprojektes auch von Seiten des Produktmanagements gewünscht, aufgrund der Kostenvorteile einen dreiteiligen Magnetkörper als Basis für den Baukasten zu verwenden.

Im Weiteren wird sich dafür entschieden, den Magnettyp 2.2 zu verwenden, der die zweite Generation der dreiteiligen Magneten repräsentiert und seit dem Jahr der Einführung 2012 zunehmend projektiert wird (s. Abbildung 3-53).

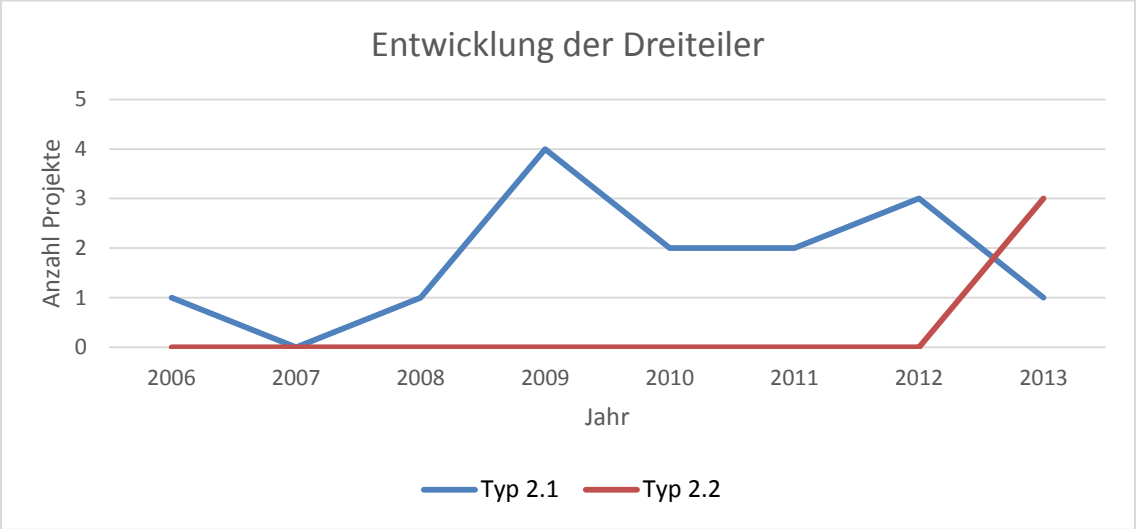



**Abbildung 3-53: Einsatz der Dreiteiler**

Die Verwendung des Magnetkörpers vom Typ 2.2 garantiert durch seine bisherige Anwendung einerseits die Erfüllung der rechtlichen Vorgaben gemäß BOStrab, was die Einhaltung der Breite laut Lichtraumprofil angeht, verfügt über bessere Eigenschaften in Bezug auf den Magnetischen Fluss im Vergleich zum Typ 2.1 und ist ein technisch bewährtes Produkt, bei dem man auf Felderfahrung zurückgreifen kann.

Die Betriebsspannung der Standard-Magnetschienenbremse beträgt aufgrund der Auswertung der Projekte 24V. Diese Spannung findet bei nahezu 90% der bisher entwickelten Magnetschienenbremsen Verwendung. Andere Betriebsspannungen sind als Sonderfälle zu betrachten (s. Abbildung 3-54).

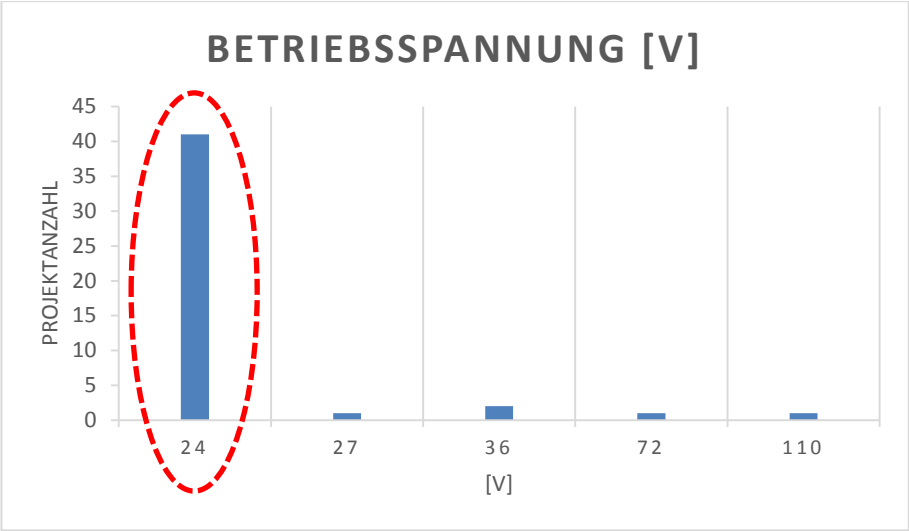



Abbildung 3-54: Verwendete Betriebsspannung der Projekte

Die Anschlussstelle für die Verkabelung kann mittig oder seitlich positioniert sein, wobei bei seitlichem Kabelaustritt entweder beide Kabel an einer Seite des Magnetkörpers austreten können oder je ein Kabel links- und das andere rechtsseitig.

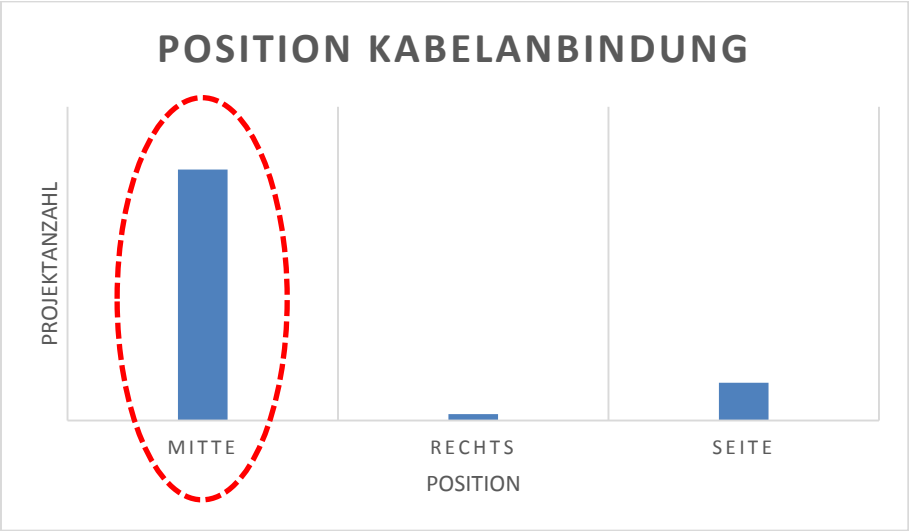



Abbildung 3-55: Position der Kabelanbindung

Die Auswertung in Abbildung 3-55 legt nahe, dass die Position der Kabelanbindung in der Mitte des Magnetkörpers als ideal zu betrachten ist, da sie in 85% der Projekte angewendet wurde. Eine mittige Position des Kabelanschlusses erlaubt, die Kabel entweder direkt nach oben oder auch seitlich ins Fahrzeug abzuführen und dort mit dem Bordnetz zu verbinden. Dies stellt für ein Standardprodukt die größtmögliche Flexibilität dar.

Darüber hinaus existieren beim Kabelanschluss drei weitere wichtige Aspekte, die in ihrem Zusammenwirken bei der Gestaltung der Auslegung für ein Standardprodukt entscheidend sind. Dies ist die Kabeleinführung, die entweder mittels eines an die

Magnetwange anschlussseitig angeschweißten Kabelabzweigflansches oder integral direkt in die Magnetwange verbaut werden kann. Neben der Kabeleinführung ist die Kabelbefestigung ein entscheidender Punkt. Hier können die Kabel einerseits durch Crimpen und somit durch eine irreversible, plastische Verformung mittels einer speziellen Crimpzange bei der Montage fest mit dem Magnetkörper verbunden werden. Bei der anderen Möglichkeit der Kabelbefestigung werden die mit dem Fahrzeug verbundenen Kabel mittels einer Verschraubung mit der Spule des Magnetkörpers verbunden. Als Letztes ist die Kabelaustrittsrichtung aus der Spule entscheidend. Diese kann in X-Richtung und somit in Fahrtrichtung, in X/Z-Richtung (schräg nach oben), in Y-Richtung (Anschlüsse ragen in die Fahrbahn) oder in Z-Richtung (Austritt gerade nach oben) erfolgen (s. Abbildung 3-56).

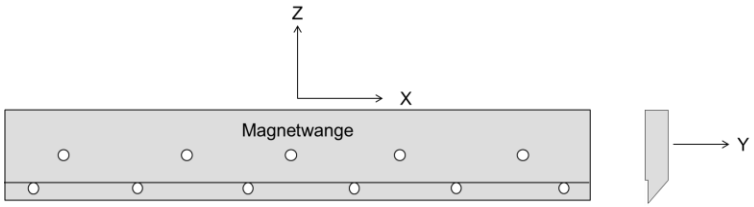



Abbildung 3-56: Kabelaustrittsrichtungen

**Kabelabzweigflansch**

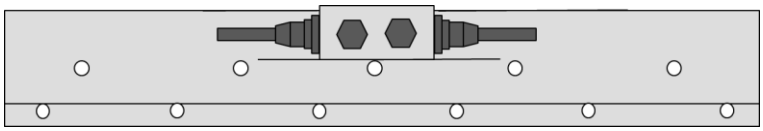


Abbildung 3-57: Kabelabzweigflansch

Beim Austritt via Kabelflansch wird der Flansch selber als Frästeil hergestellt und die Wange muss anschlussseitig mit einer Fräsung und zwei Bohrungen versehen werden, um die Kabel mit der Magnetspule verbinden zu können. Der Abzweigflansch wird an die Wange angeschweißt. Die vielen Fräsarbeiten, das Schweißen und das Zukaufen des Kabelflansches als Frästeil steigern die Herstellkosten. Es ergibt sich automatisch eine Kabelaustrittsrichtung in X-Richtung, wodurch die Anschlüsse zum einen gut geschützt vor Einwirkung durch Fremdkörper während des Betriebs in der Fräsung liegen und zum anderen die Kabel zur Verbindung mit dem Drehgestell bequem zu den Seiten oder direkt nach oben abgeführt werden können. Dadurch ist diese Ausführung sehr sicher und durch die Flexibilität auch sehr kundenfreundlich. Die Tatsache der sehr niedrigen Bauhöhe, die quasi gleich mit der Magnetoberkante ist, stellt einen weiteren Vorteil dar. Die Montage ist unproblematisch und wird sowohl bei Starr-, als auch bei Gliedermagneten angewendet. Durch die Verschraubung ist diese Ausführung sehr wartungsfreundlich, da bei Wartung und Ausbau der Magnetkörper sehr leicht von der Verkabelung getrennt werden kann. Der Entwicklungsaufwand ist niedrig, bzw. nicht vorhanden, da der Kabelabzweigflansch seit Jahren erfolgreich eingesetzt wird

und es sich um ein sehr bewährtes System, auch in anderen Produktlinien handelt. Die Herstellkosten beim Zulieferer OTB belaufen sich für das Bauteil inklusive der eingebrachten Gewinde für die Schnittstelle zwischen Magnetkörper und Mitnehmer auf 93,20€.

**Integral, Kabelaustrittsrichtung in Y-Richtung**

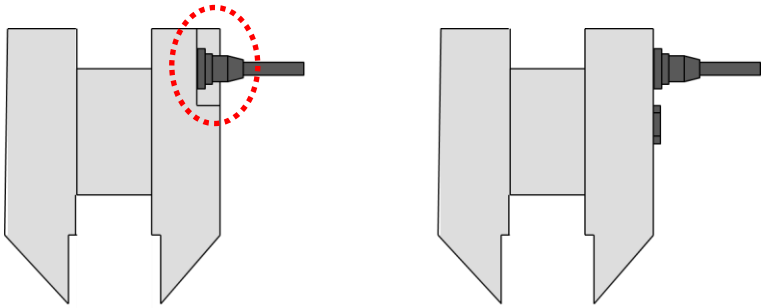


Abbildung 3-58: Kabelaustritt in Y-Richtung

Bei der integralen Bauweise werden die Kabel grundsätzlich direkt mit der Magnetwange verbunden. Die Bohrungen führen durch die Magnetwange, um ein Verbinden der Kabel mit der Spule zu ermöglichen. Die Verbindung zur Spule kann entweder über Crimpen oder Verschrauben hergestellt werden. Das Crimpen kann in Bezug auf die Prozesssicherheit zu Problemen führen, wenn die Crimpverbindung nicht richtig hergestellt wurde. Des Weiteren ist eine Verschraubung, wie schon zuvor erwähnt, wesentlich kundenfreundlicher, da der Wartungsfall stark vereinfacht wird. Bei der Austrittsrichtung in Y-Richtung ragen die Kabel in die Fahrbahn herein. Dies hat den Vorteil, dass der Kabelanschluss keinerlei negativen Einfluss auf die Bauhöhe des Magneten hat. Der gravierende Nachteil dieser Anordnung ist, dass die Anschlüsse und die Kabel ungeschützt in die Fahrbahn ragen und somit leicht durch auf der Strecke befindliche Gegenstände beschädigt oder sogar abgerissen werden können. Dies hat bei der Magnetschienenbremse besondere, sicherheitsrechtliche Relevanz, da es sich bei der Magnetschienenbremse um ein Notbremssystem handelt und ein Ausfall der Bremse zum Entzug der Betriebserlaubnis des Fahrzeugs führt. Durch eine Fräsung an der Wange können die Anschlüsse leicht versenkt werden, wodurch sie vor mechanischer Einwirkung etwas besser geschützt sind (s. Abbildung 3-58, roter Kreis). Die Herstellung der geraden Bohrung durch die Wange und die Montage sind sehr einfach und macht diese Variante zur günstigsten Der Entwicklungsaufwand ist durch die geringe Komplexität sehr niedrig.

**Integral, Kabelaustrittsrichtung in Z-Richtung**

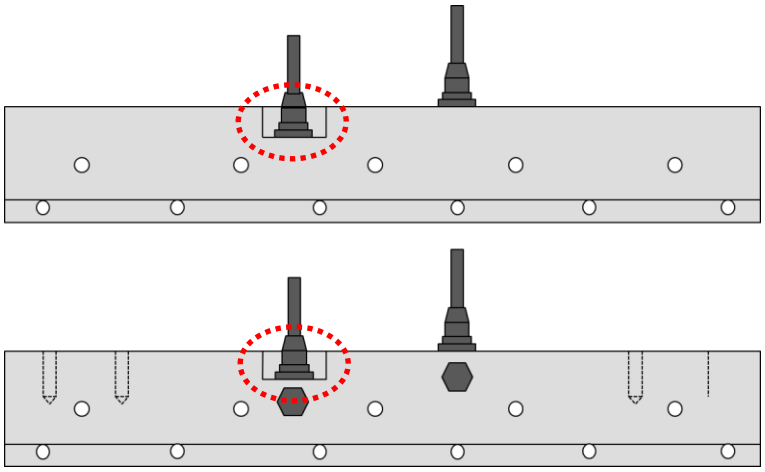


Abbildung 3-59: Kabelaustritt in Z-Richtung

Bei dieser Konstruktion der Wange treten die Kabel in Y-Richtung und somit nach oben aus. Dies lässt eigentlich nur eine Kabelabführung nach oben zu. Eine Abführung zur Seite hat zur Folge, dass die Verkabelung in einem weiten Bogen geführt werden muss, um Kabelbruch zu verhindern. Die Anschlüsse sind sehr schlecht geschützt und die Möglichkeiten einer geringen Bauhöhe werden durch die nach Oben ragenden Anschlüsse stark eingeschränkt. Diesen Nachteilen kann man teilweise begegnen, indem man Fräsungen an der Wange vorsieht, in denen die Anschlüsse analog zur vorigen Konstruktionsvariante teilweise versenkt werden können (s. Abbildung 3-59, roter Kreis). Die Montage ist weitestgehend unproblematisch, da bereits einige Projekte mit dieser Ausführung des Kabelanschlusses versehen wurden. Durch die Verwendung dieser Ausführung kann man den Entwicklungsaufwand ebenfalls als gering einstufen.

**Integral, Kabelaustrittsrichtung in X/Z-Richtung**

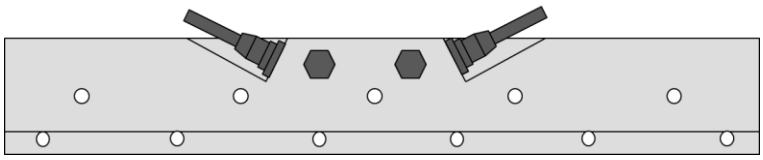


Abbildung 3-60: Kabelaustritt in X/Z-Richtung

Beim Kabelaustritt in der X/Z-Ebene treten die Anschlüsse leicht schräg nach oben unter einem Winkel aus. Somit ist wie schon beim Kabelflansch ein Abführen der Kabel zur Seite und direkt nach Oben ins Drehgestell möglich. Die Anschlüsse sind durch ihre Lage innerhalb der wangenseitigen Ausfräsungen gut vor mechanischer Belastung durch Fremdkörper auf der Fahrbahn geschützt, wodurch das Risiko einer Beschädigung oder eines Abrisses minimiert wird. Die geringe Bauhöhe des Magneten wird durch die leicht herausragenden Anschlüsse nur minimal beeinträchtigt. Aufgrund der Fräs- und Bohrarbeiten, die besonders aufgrund des Winkels problematisch sind ist dies keine günstige Lösung, die allerdings aufgrund

der geringeren Komplexität auch keine so hohen Herstellkosten hat wie der Kabelflansch. Die Montage ist bei der geschraubten Version als mittelschwer einzustufen, da es sich um eine gänzlich neue Variante handelt, die noch nie gebaut wurde, bei der aber dennoch auf viele bewährte Systematiken zurückgegriffen wird. Eine Montage einer gecrimpten Version ist nach einigen Tests als unmöglich einzustufen, da aufgrund des zu geringen Platzangebots die Crimpzange zur Verbindung der Anschlüsse mit der Spule nicht angesetzt werden kann. Einhergehend mit dem Montageaufwand ist auch der Entwicklungsaufwand etwas höher als bei den in Serienfertigung bereits verwendeten Versionen zu sehen. Allerdings erreicht das System auch nicht die höchste Komplexität, da immer noch auf erprobte Montage- und Herstellungsverfahren als Fundament zurückgegriffen wird. Die Kosten der Wange belaufen sich inklusive der Gewindebohrungen der Schnittstelle auf 84,90€ bei OTB.

Somit ergibt sich folgende Nutzwertanalyse:

| Nutzwertanalyse "Anschluss des Magnetkörper" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kriterium** | **Kundensicht** | **LifeCycle Cost** | **Montagesicht** | **Herstellkosten** | **Entwicklungs aufwand** | **Technische Lösung** | | |
| **Gewichtung** | **5** | **5** | **2** | **5** | **3** | **4** | **Summe** | **gewichtete Summe** |
| **Kabelflansch X-Richtung geschraubt** | 4 | 4 | 4 | 1 | 4 | 4 | 21 | **81** |
| **Integral Y-Richtung gecrimpt** | 2 | 1 | 4 | 4 | 4 | 0 | 15 | **55** |
| **Integral Y-Richtung geschraubt** | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 0 | 15 | **55** |
| **Integral Z-Richtung gecrimpt** | 2 | 1 | 4 | 4 | 4 | 1 | 16 | **59** |
| **Integral Z-Richtung geschraubt** | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 1 | 17 | **64** |
| **Integral X/Z-Richtung gecrimpt** | 4 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 9 | **41** |
| **Integral X/Z-Richtung geschraubt** | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 21 | **86** |

Tabelle 11: Nutzwertanalyse "Anschluss des Magnetkörper"

Die Nutzwertanalyse zeigt deutlich, dass die anschlussseitige Magnetwange als integrale Ausführung mit geschraubter Verbindung zur Spule verwendet wird bei der das Kabel unter einem Winkel austritt. Die zweitbeste Lösung ist der Kabelabzweigflansch, der gerade in Bezug auf die hohen Herstellkosten durch die Baugruppenstruktur in dieser wichtigen Kategorie gravierende Nachteile hat. Die integralen Lösungen mit in Z-Richtung austretenden Kabeln können aufgrund der großen Nachteile bei der Bewertung, genau wie die Lösungen, die in einzelnen Kategorien null Punkte erreicht haben, verworfen werden.

### 3.5.6.2 Schnittstelle Magnetkörper-Mitnehmer

Diese Schnittstelle dient dazu, den Mitnehmer mit dem Magnetkörper fest zu verbinden. Sie wird im Hinblick auf ihre Morphologie untersucht. Dabei sind z.B. die Art der Verbindung, wie eine Schweiß- oder eine Schraubverbindung entscheidend. Zuerst wird jedoch untersucht, ob eine Verbindung zu einem Mitnahmebock realisiert werden muss, da diese Art des Mitnehmers von Seiten der Konstruktion am häufigsten vorkommt, oder ob ebenfalls ein Zugbügel realisiert wird.

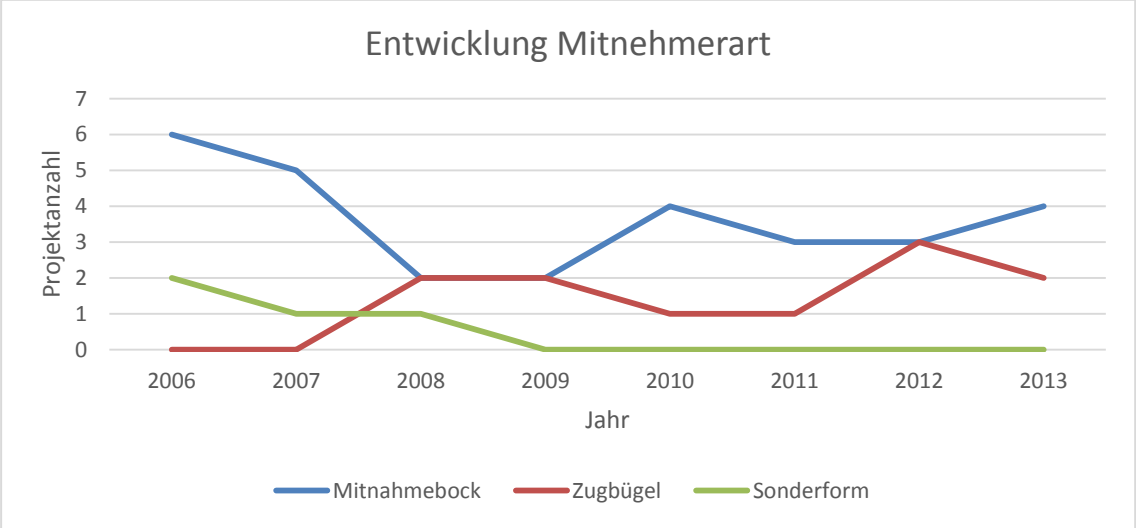



**Abbildung 3-61: Entwicklung der Mitnehmerart**

In Abbildung 3-61 ist deutlich zu sehen, dass in den letzten Jahren Mitnahmebock und Zugbügel projektiert wurden. Zwar scheint der Mitnahmebock grundsätzlich häufiger verwendet zu werden, jedoch ist auch zuerkennen, dass in manchen Jahren sogar gleich viele Projekte mit Zugbügel wie auch mit Mitnahmebock umgesetzt wurden. Auf Basis dieser Analyse wird entschieden für den Basis-Produktkatalog und den Produktrelease dem Kunden beide Möglichkeiten anzubieten. Somit muss die Schnittstelle für beide untersucht und definiert werden.

**Mitnahmebock**

Bei der Verwendung der dreiteiligen Magnetkörper wird der Mitnahmebock oben an den Magnetwangen fixiert. Dies erfolgt bisher mittels Sechskantschrauben, die an den in die Magnetwange eingebrachten Gewinden verschraubt werden. Die Anzahl der Schrauben beträgt entweder zwei, vier oder sechs, wobei eine Verschraubung mit zwei Schrauben lediglich bei einer seitlichen Anbindung des Mitnahmebocks möglich ist. Nach Abbildung 3-62 ist zu erkennen, dass die meisten Projekte mit einer vierfachen Verschraubung versehen wurden. Somit wird dies auch als Basis für eine Schnittstelle für das Standardprodukt verwendet.

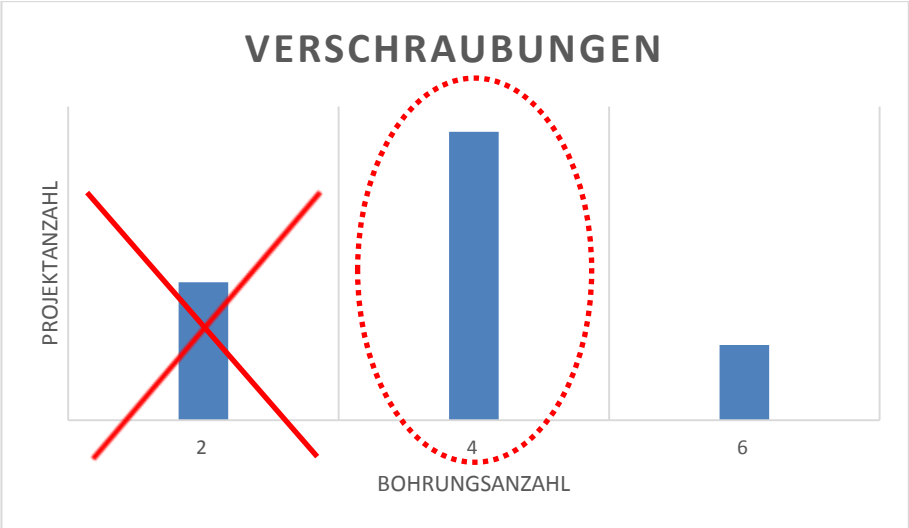



**Abbildung 3-62: Anzahl der Verschraubungen**

Der Nachteil der sich aus dieser einfachen Definition der Schnittstelle ergibt, ist die mangelnde Flexibilität gegenüber dem Kunden. Dies könnte dazu führen, dass die Bremse kundenseitig aufgrund einer nicht kompatiblen Schnittstelle zum Fahrzeug nicht verwendet werden kann. So müssen Strategien erarbeitet werden, die eine größtmögliche Flexibilität in Form von verschiedenen angebotenen Positionen und damit einhergehenden unterschiedlichen Mitnahmeabständen dem Kunden gegenüber ermöglicht werden können. Diese Änderungen sollen später im Rahmen der Angleichskonstruktionen Verwendung finden.

Dazu wird erst versucht, den Mitnahmebock nicht mehr am Magnetkörper zu verschrauben, sondern in Mödling in der vom Kunden gewünschten Position anzuschweißen. Dies hätte den Vorteil, dass die kundenspezifische Auslegung der Bremse in einem der letzten Schritte der Wertschöpfungsketten vorgenommen wird und somit kaum Einfluss auf das Standardprodukt hätte. Weiterhin wäre auch der Schweißprozess zum einen sehr sicher und ebenfalls ein Routineprozess und entlastet gleichzeitig die Montage. Allerdings können hier seitens der Montage, hinsichtlich der Einhaltung der Abstände, menschlich bedingte Fehler auftauchen, die Nacharbeit und steigende Kosten nach sich ziehen würden.

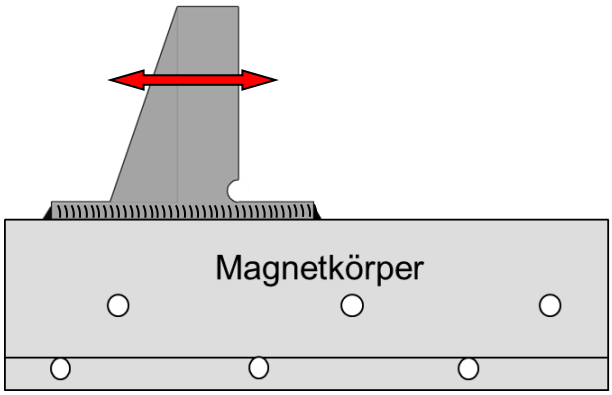



Abbildung 3-63: Angeschweißter Mitnahmebock

Wie in der Abbildung rechts zu sehen ist, existieren bei dieser Lösung schwer bzw. unmöglich zugängliche Stellen, die nicht geschweißt werden können, da sie vom Schweißroboter nicht erreicht werden können. Ein Schweißen per Hand ist technisch ebenfalls schwierig zu realisieren und dazu noch teuer. Durch das nicht mögliche Schweißen kann seitens der Konstruktion nicht für die Haltbarkeit der Ausführung garantiert werden. Eine solche Ausführung wurde zudem noch nie hergestellt oder getestet und macht die Version folglich unberechenbar. So kann beispielsweise nicht vorhergesagt werden, inwiefern sich der Verzug beim Schweißen auf das Produkt auswirkt. Ein weiterer gravierender Nachteil ist der direkte Kontakt des Mitnehmers zum Magnetkörper. Dadurch bildet sich über den Mitnehmer ein magnetischer Kurzschluss, der die Haftkraft empfindlich verringern kann, weil nun nicht mehr der volle magnetische Fluss durch die Schiene geleitet wird. Da es sich bei der Haftkraft um eins der Hauptvertriebsmerkmale handelt, kann dies zur Folge haben, dass die potentielle Marktabdeckung empfindlich sinkt.

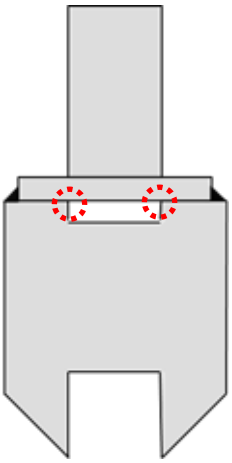


Abbildung 3-64: Angeschweißter Mitnahmebock (Querschnitt)

Eine weitere Möglichkeit die Variabilität zu erhöhen, besteht in der Möglichkeit auf der Wange serienmäßig ein Maximalbohrbild anzubringen (s.Abbildung 3-65). Hierbei könnte ebenfalls in einem der letzten Montageschritte vor der Auslieferung die Position kundenspezifisch angepasst werden. Eine Verfeinerung der Einstellbarkeit könnte man durch weitere zusätzliche Bohrungen am Mitnahmebock erreichen.

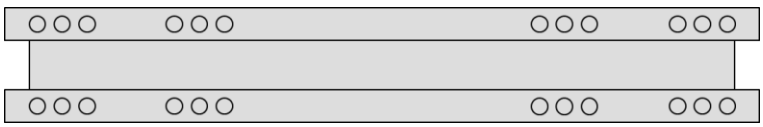


Abbildung 3-65: Maximalbohrbild (Draufsicht)

Der Nachteil besteht darin, dass nur vorgegebene Stufen der Verstellbarkeit realisiert werden können, wobei schwierig ist, diese Stufen sinnvoll zu definieren. Weiterhin kosten die ungenutzten Bohrungen und eingebrachten Gewinde zusätzlich und

steigern somit die Herstellkosten. Die Akzeptanz des Kunden im Hinblick auf die Perforation der Magnetwangen ist ebenfalls nicht bekannt. Im Hinblick auf die Montage ist die Verschraubung einfach zu realisieren, da es ein bewährtes Vorgehen bei den dreiteiligen Magnetkörpern mit Mitnahmebock ist. Jedoch besteht auch hier die Möglichkeit, dass wie beim Schweißen innerhalb der falschen Stufe montiert wird. Außerdem müssen die ungenutzten Gewinde vor dem Lackieren mit Stopfen verschlossen werden und bedeutet zusätzlichen Material- und Arbeitseinsatz.

Als letzte Möglichkeit bleibt das bereits oben erwähnte fest definierte Bohrbild mit vier Verschraubungen zur Anbindung an den Magnetkörper. Es handelt sich um ein bewährtes System, bei dem auch in der Montage keine Fehler bei der Positionierung gemacht werden können. Zusätzliche Arbeitsschritte existieren ebenfalls nicht und reduziert daher diese Version auf das Kostenminimum Durch die Verwendung von Unterlegscheiben aus Kunststoff und den dadurch entstehenden Luftspalt wird verhindert, dass es zu einem magnetischen Kurzschluss über dem Magneten kommt und hat zur Folge, dass keine Einbußen bei der Haftkraft entstehen können. So ist gewährleistet, dass keine potentiellen Marktanteile verloren gehen. Die Schnittstelle wird für den Standardmagneten am äußersten Punkt des Magneten fixiert. Dadurch wird versucht vom Mitnahmeabstand den linken Teilbereich laut Abbildung 3-45 zu bedienen, bei dem es zu einer erhöhten Häufigkeit der Projekte kam.

Leider wird auf diese Weise keinerlei Varianz im Mitnahmeabstand angeboten. Dieser Tatsache wird dadurch begegnet, dass mit dem bewährten Zulieferer OTB ein Projekt initiiert wird, bei dem eine magnetische Spanneinrichtung an der CNC Fräse eingesetzt wird. Hierdurch verringert sich die Rüstzeit beim Fräsen selbst und von konstruktiver Seite muss die Schnittstelle Im CAD System lediglich in X-Richtung auf jede beliebige Position verschoben werden. Infolgedessen werden zwar neue Zeichnungen generiert, allerdings erleichtert eine datenseitige Integration zwischen CAD Programm und CNC Fräse die spanende Bearbeitung. Mit Hilfe von diesem Projekt ist laut OTB ebenfalls eine Wiederbeschaffungsdauer z.B. bei Nachanschaffungen von Bremsen, mit diesem spezifischen Mitnahmeabstand möglich, die zwei Wochen nicht überschreiten. Dieses Ergebnis dürfte die Kundenzufriedenheit in Bezug auf die Durchlaufzeit enorm verbessern. Ob das spezielle Anpassen für den Kunden bereits im Standard integriert ist oder in Form von Zuschlagskalkulation für Angleichskonstruktionen berechnet werden soll, muss in einem weiteren Schritt entschieden werden.

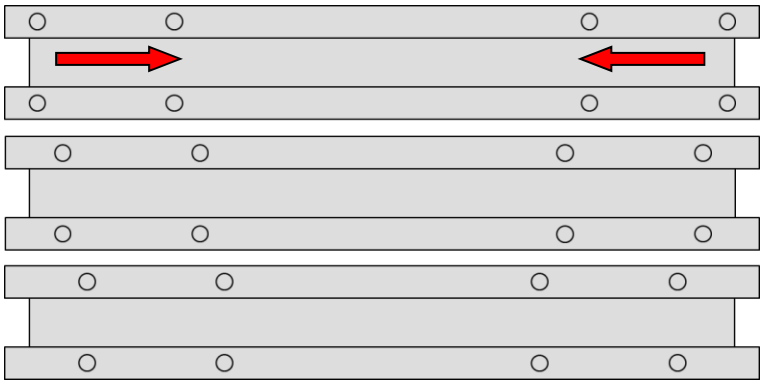


Abbildung 3-66: Verschobenes Bohrbild (Draufsicht)

| Nutzwertanalyse "Varianz der Position des Mitnahmebocks" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kriterium | Kundensicht | LifeCycle Cost | Montagesicht | Herstellkosten | Entwicklungs aufwand | Technische Lösung | | |
| Gewichtung | 5 | 5 | 2 | 5 | 3 | 4 | Summe | gewichtete Summe |
| Anschweißen | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 30 |
| Maximal bohrbild | 2 | 4 | 2 | 1 | 3 | 3 | 15 | 60 |
| Verschobenes Bohrbild | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 24 | 96 |

Tabelle 12: Nutzwertanalyse "Varianz der Position des Mitnahmebocks"

Laut Nutzwertanalyse erreicht das normale Bohrbild, welches bei Bedarf verschoben werden kann, um Anpassungen in der Mitnahmebreite vorzunehmen, die höchste Punktzahl. Das Maximalbohrbild und das Anschweißen können aufgrund der hohen Kosten verworfen werden, wobei das Anschweißen aufgrund der mangelnden technischen Umsetzbarkeit in gleich vier Kategorien mit null Punkten bewertet werden muss.

Eine weitere Fragestellung in Bezug auf die Schnittstelle ist, ob die Schraubköpfe in der Schnittstelle versenkt werden oder frei zugänglich bleiben.

Bei der einfachen Version wird der Mitnahmebock mit Sechskantschrauben an der Oberseite der Wangen montiert. Die Schraubenköpfe sind leicht zugänglich (s. Abbildung 3-67 und Abbildung 3-68).

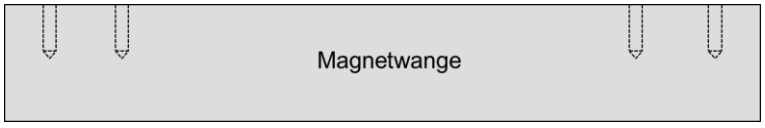



Abbildung 3-67: Wange mit einfacher Schnittstelle (Seitenansicht)

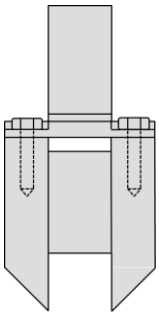


Abbildung 3-68: Einfache Schnittstelle (Querschnitt)

Montage und Entwicklung sind aufgrund der bereits praktisch erfolgten Umsetzung einfach. Die Herstellkosten sind ebenfalls aufgrund des geringen Anteils an spanender Bearbeitung, die lediglich aus Bohren und dem Schneiden der Gewinde besteht, gering. Die Version ist absolut kundenfreundlich und wurde wie bereits erwähnt in vielen Projekten mit dem dreiteiligen Magneten umgesetzt. Auf die Life Cycle Cost hat die Version so gut wie keinen Einfluss, da die Schnittstelle so gut wie nie gewartet werden muss über die gesamte Lebensdauer der Mg-Bremse. Im Schadensfall jedoch wäre auch hier durch die gute Zugänglichkeit ein leichtes Auswechseln möglich.

Die Schnittstelle kann auch in der Wange versenkt werden, so dass die Schraubenköpfe nicht überstehen (s. Abbildung 3-69 und Abbildung 3-70).

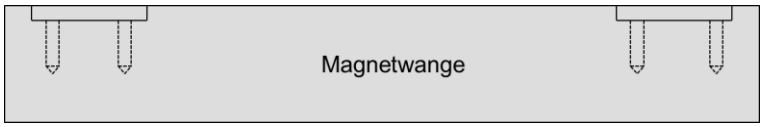



Abbildung 3-69: Wange mit versenkter Schnittstelle (Seitenansicht)

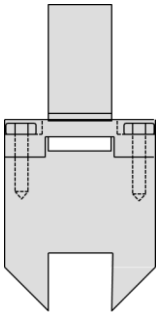


Abbildung 3-70: Versenkte Schnittstelle (Querschnitt)

Dies hat aus technischer Sicht den Vorteil, dass die Bremse im Ruhezustand tiefer in das Drehgestell eintauchen kann, da die Begrenzung nichtmehr aus den Schraubenköpfen besteht. Die Herstellkosten sind höher, da an der Wange und am Mitnehmer zusätzliche Fräsarbeit anfällt. Zusätzlich muss beim Grundkörper des Mitnahmebocks mehr Material zur Verfügung gestellt werden, das dann abgetragen wird. Wie auch schon vorher ist die Schnittstelle quasi wartungsfrei; die Zugänglichkeit zur Verschraubung ist bei der im Fahrzeug montierten Bremse jedoch

schlechter. Da diese Version in einem Projekt umgesetzt wurde, sind der Aufwand bei der Montage und der Entwicklungsaufwand gering.

| Nutzwertanalyse "Schnittstelle Magnetkörper-Mitnehmer (Mitnahmebock)" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kriterium** | **Kundensicht** | **LifeCycle Cost** | **Montagesicht** | **Herstellkosten** | **Entwicklungs aufwand** | **Technische Lösung** | | |
| **Gewichtung** | **5** | **5** | **2** | **5** | **3** | **4** | **Summe** | **gewichtete Summe** |
| **Einfache Schnittstelle** | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 23 | **93** |
| **Versenkte Schnittstelle** | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 22 | **87** |

Tabelle 13: Nutzwertanalyse "Schnittstelle Magnetkörper-Mitnehmer (Mitnahmebock)"

Somit wird aufgrund der Nutzwertanalyse die einfache Schnittstelle verwendet, da sie im Vergleich zur versenkten Schnittstelle mehr Punkte besonders in den höher gewichteten Kategorien erreicht.

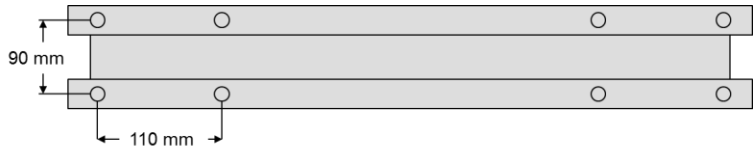



Abbildung 3-71: Schnittstelle für Mitnahmebock (Draufsicht)

Die Lochbildbreite der Schnittstelle beträgt 90mm, so dass die Gewinde mittig in den Magnetwangen eingebracht sind. Der Lochabstand in X-Richtung ist mit 110 mm definiert.

### Zugbügel

Üblicherweise werden Zugbügel an den Magnetkörper angeschweißt (s. Abbildung 3-72). Das Verfahren ist sicher und sowohl beim Kunden als auch bei der Montage bewährt. Der Entwicklungsaufwand reduziert sich auf die Berechnung der Schweißnähte, wobei hier viele Referenzprojekte zur Verfügung stehen und somit eine Basis an Werten und Erfahrungen zur Verfügung stehen. Im Schadensfall ist die Verbindung schwer lösbar und der Zugbügel somit schwer austauschbar, was sich negativ auf die LCC auswirken kann. Die Kosten für dieses Verfahren sind als gering einzustufen.

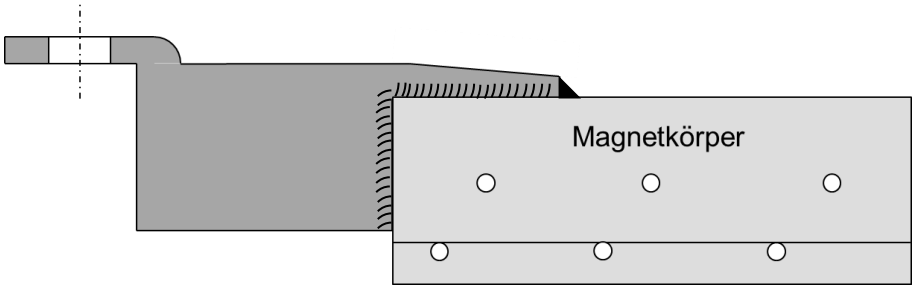



Abbildung 3-72: Anbindung per Schweißnaht

Eine weitere Möglichkeit, den Zugbügel am Magnetkörper zu befestigen ist eine Verschraubung. Dies wurde bei seitlicher Anbindung bei älteren Typen von Magnetkörpern standardmäßig durchgeführt. Eine Anbindung eines Zugbügels von Oben wurde jedoch noch nie umgesetzt, wodurch die technischen Risiken nicht abzuschätzen sind. Insbesondere wird befürchtet, dass im Bremsfall das Material des Zugbügels an gewissen neuralgischen Punkten an den seitlichen Zuglaschen reißen kann (s. Abbildung 3-73) und zu einem völligen Bauteilversagen führt. Durch ein Gegensichern mittels frontaler Verschraubungen kann das Risiko eventuell gebannt werden, wobei momentan nicht klar ist, inwieweit frontale Verschraubungen den auftretenden Kräften standhalten und ob eine derartige Ausführung Akzeptanz beim Kunden finden wird. Aus voranstehenden Gründen ist der Entwicklungsaufwand sehr hoch, da keinerlei technisch vergleichbare Lösung mit Marktreife existiert. Die Montage einer geschraubten Schnittstelle ist, dadurch dass es gängige Praxis bei der Montage der Mitnahmeböcke ist, als unproblematisch einzustufen.

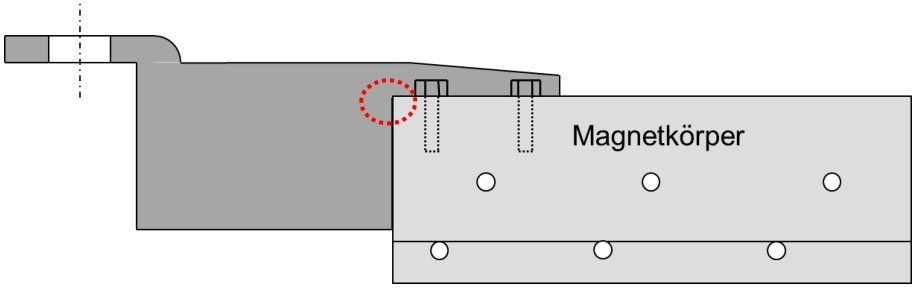



Abbildung 3-73: Anbindung per Verschraubung

Trotz der momentanen technischen Unsicherheit und der daraus folgenden nicht zu realisierenden Verwendbarkeit sollte dieser Ansatz weiter verfolgt werden, da so die Auswechselbarkeit garantiert und bei Einsatz der gleichen Schnittstelle wie beim Mitnahmebock langfristig eine höhere Kombinierbarkeit der Module gegeben wäre. Die Varianz würde so enorm erhöht und kommt der Idee des modularen Aufbaus sehr entgegen.

Eine dritte neue Möglichkeit für die Schnittstelle ist, den Zugbügel als verlängerte Magnetwangen zu integrieren und so die Schnittstelle quasi zu eliminieren (s. Abbildung 3-74).

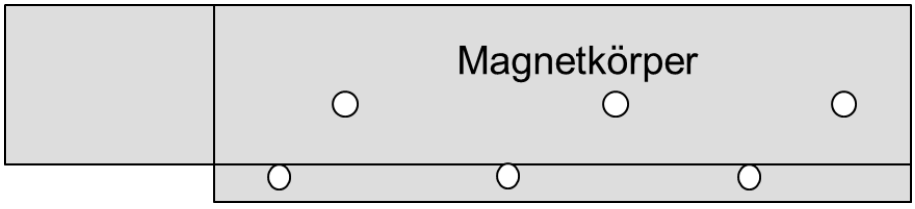



Abbildung 3-74: Integrierter Zugbügel (Seitenansicht)

Die Stirnplatte wird angeschweißt oder -geschraubt. Wie bei der geschraubten Schnittstelle ist auch hier nicht eindeutig klar, ob die Konstruktion den auftretenden

Kräften im Bremsfall standhalten kann und ob eine Akzeptanz des Kunden gegeben ist. Durch die nicht vorhandene Austauschbarkeit wäre im Schadensfall ein Austausch der kompletten Bremse notwendig und würde die LCC enorm steigern und folglich wahrscheinlich zu enormer Unzufriedenheit beim Kunden führen. Das essentiellste Problem ergibt sich allerdings daraus, dass diese Version nicht montierbar ist, da der Schweißroboter beim Dichtschweißen des Magnetkörpers die Schweißnaht nicht setzen kann. Hier müsste also der Montageprozess auf händisches Schweißen umgestellt oder ein Schweißroboter entwickelt bzw. angeschafft werden, der unter diesen Bedingungen schweißen kann. Die Kosten würden jedoch hierdurch übermäßig gesteigert.

| Nutzwertanalyse "Schnittstelle Magnetkörper-Mitnehmer (Zugbügel)" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kriterium** | **Kundensicht** | **LifeCycle Cost** | **Montagesicht** | **Herstellkosten** | **Entwicklungs aufwand** | **Technische Lösung** | | |
| **Gewichtung** | **5** | **5** | **2** | **5** | **3** | **4** | **Summe** | **gewichtete Summe** |
| **Verschweißen** | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 18 | **74** |
| **Verschrauben** | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 4 | 21 | **87** |
| **Integration** | 4 | 4 | 0 | 2 | 3 | 0 | 13 | **59** |

Tabelle 14: Nutzwertanalyse "Schnittstelle Magnetkörper-Mitnehmer (Zugbügel)"

Laut Nutzwertanalyse ist die Schnittstelle zwischen Magnetkörper und Zugbügel mit 87 erreichten Punkten die beste Lösung. Die Anwendung dieser konstruktiven Ausgestaltung der Schnittstelle hat ebenfalls zur Folge, dass die Schnittstelle vereinheitlicht und somit für die Anbindung des Zugbügels als auch des Mitnahmebocks eingesetzt werden kann, was die Varianz des Systembaukastens erhöht. Eine Integration des Zugbügels ist aus technischer Sicht nicht möglich und ist in den roten Feldern in zwei Bewertungskategorien gekennzeichnet.

Jedoch ergibt sich im Rahmen des Standardisierungsprojektes eine Besonderheit in Bezug auf die Auswahl der Schnittstelle. Momentan muss der Zugbügel mit dem Magnetkörper trotz der geringeren erreichten Punktzahl verschweißt werden, da eine Schraublösung für die Anbindung des Zugbügels gegenwärtig noch nicht existiert und erst entwickelt werden muss. Die Entwicklung dieser Schraublösung muss allerdings für eine Konsistenz des Baukastensystems in Bezug auf Vereinheitlichung und auch des methodischen Vorgehens im Rahmen der Konzeptionierung erste Priorität haben.

#### *3.5.6.3 Mitnehmer*

Da nach der Analyse aus Abbildung 3-61 bereits geklärt wurde, dass für den initialen Standardbaukasten beide Mitnahmearten dem Kunden angeboten werden, müssen nun die Mitnehmer im Hinblick auf die einzelnen Konzepte abgewogen und bewertet werden.

**Mitnahmebock**

Bei der Herstellung des Mitnahmebocks stehen vier Herstellungsverfahren zur Disposition, die im Laufe der letzten Jahre Anwendung gefunden haben. Diese sind:

- Fräsen
- Gießen
- Schweißen
- Schmieden

Beim Frästeil wird der Mitnahmebock aus dem Vollen gefräst. Dies hat den Vorteil, dass das Bauteil mit einer hohen Maßgenauigkeit hergestellt wird. Des Weiteren sind bei Einsatz einer fünfachsigen CNC Fräse enorme Möglichkeiten der Formgebung gegeben. Durch den hohen Werkzeugverschleiß und die große Materialverschwendung aufgrund der anfallenden Späne bei der Herstellung ist das Verfahren jedoch sehr kostspielig. Hinzu kommt, dass das Verfahren durch die hohe Durchlaufzeit nicht für die Herstellung eines Standardprodukts in hoher Stückzahl geeignet ist. So sprechen Kosten und Durchlaufzeit als klare Gegenargumente gegen den Einsatz, da in diesen beiden Bereichen gerade in Bezug auf die Kundenzufriedenheit Verbesserungen vorgenommen werden sollen, wobei das Verfahren in seiner Gänze durch seine Eigenschaften diametral gegen diese Verbesserungen steht. Denkbar ist jedoch eine partielle Verwendung des Fräsens zur teilweisen Nachbearbeitung der Bauteile, um beispielsweise einzelne Flächen plan- oder Form zu fräßen.

Eine weitere Möglichkeit ist eine Ausführung als Gussteil. Die gerade erwähnte Nachbearbeitung mittels CNC Fräse könnte hier sogar entfallen, da durch Gießen eine endmaßnahe Fertigung mit komplizierter Geometrie möglich ist. Der Nachteil des Gießens besteht darin, dass zum einen die Prozesssicherheit nicht einhundertprozentig gegeben ist, da laut Aussage des Herstellers ca. 30% Ausschuss durch Bildung von Lunkern im Material entsteht, was in Bezug auf die Stückkosten ebenfalls weitergegeben wird und zum anderen die Herstellung der Gussform mit 3000€ bereits sehr teuer ist. Aus der Verwendung des Werkstoffs ergibt sich ein weiteres Problem, da laut Kapitel 3.5.6.4 die Druckfederanbindung mittels einer Lasche erfolgen soll, die an den Mitnahmebock angeschweißt wird. Dies ist bei Verwendung von Guss aufgrund der Materialstruktur nicht bzw. nur schwer möglich.

Der Mitnahmebock kann ebenfalls als Schweißteil ausgeführt werden. Dabei wird das Bauteil aus verschiedenen Biegeteilen zusammengesetzt. Dies führt zu einer hohen Steifigkeit und zu einem geringen Bauteilgewicht. Nachteilig ist beim Schweißen jedoch die Tatsache, dass der Schweißvorgang zu Verzug im Bauteil führt, wodurch ein Richten des Bauteils notwendig wird. Das Bauteil ist durch den Schweißvorgang

gerade an den Nähten ebenfalls sehr anfällig für Fehler in der Naht oder auch Korrosion. Der hohe Anteil von menschlicher Arbeit beim Herstellungsprozess macht das Bauteil mit 103 €/Stk. vergleichsweise teuer.

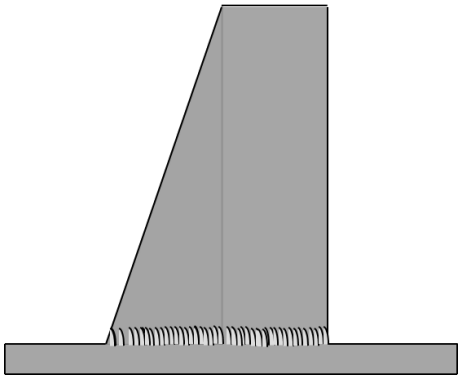


Abbildung 3-75: Geschweißter Mitnahmebock

Als letztes kann der Mitnahmebock mittels Warmumformung durch Schmieden hergestellt werden. Dies hat gleich mehrere Vorteile. Zum einen können durch das Schmieden Bauteile in ausreichender Stückzahl endmaßnah gefertigt werden. Zum anderen ergibt sich durch die Warmumformung eine gute Werkstoffstruktur, bei der es so gut wie nie zu Rissbildung kommt. Nachteile sind die notwendige Anfertigung eines Schmiedegesenks, das 350€ kostet, aber im Vergleich zur Gussform als günstig betrachtet werden kann. Des Weiteren ist das Schmieden von Hinterschneidungen und den Löchern für die Schnittstellenverschraubung nicht möglich, wodurch Fräsarbeiten notwendig werden. Die Kosten des Schmiedeteils inklusive Nachbearbeitung liegen bei 54€/Stk.

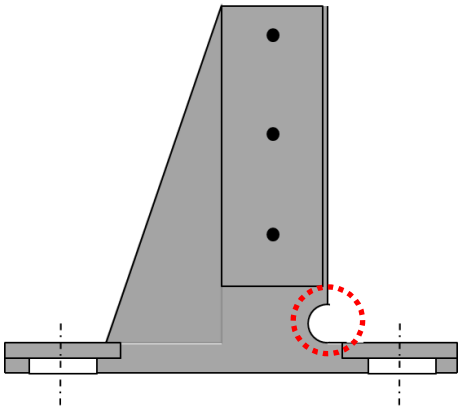


Abbildung 3-76: Geschmiedeter Mitnahmebock

Der rote Kreis in Abbildung 3-76 zeigt die dringend zu fräsende Hinterschneidung des Bauteils, die für die gesamte Stabilität des Mitnahmebocks notwendig ist, da der Spannungsverlauf ohne die eingebrachte Hinterschneidung im Bauteil so unvorteilhaft wäre, dass im Bremsfall komplettes Bauteilversagen durch Abriss des oberen Teils droht.

Die Nutzwertanalyse sieht wie folgt aus:

| Nutzwertanalyse "Mitnahmebock" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kriterium | Kundensicht | LifeCycle Cost | Montagesicht | Herstellkosten | Entwicklungs aufwand | Technische Lösung | | |
| Gewichtung | 5 | 5 | 2 | 5 | 3 | 4 | Summe | gewichtete Summe |
| Frästeil | 4 | 4 | 4 | 0 | 3 | 4 | 19 | **73** |
| Gussteil | 4 | 4 | 4 | 0 | 1 | 4 | 17 | **67** |
| Schweißteil | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 21 | **83** |
| Schmiedeteil | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 24 | **96** |

Tabelle 15: Nutzwertanalyse "Mitnahmebock"

Die Auswertung laut Nutzwertanalyse ergibt, dass für die standardisierte Magnetschienenbremse ein Mitnahmebock als Schmiedeteil eingesetzt werden sollte. Da in Bezug auf Kundensicht, Life Cycle Cost, Montagesicht und technische Lösung bei der Morphologie des Bauteils keine Unterscheidungen getroffen werden können, sind Herstellkosten und Entwicklungskosten die entscheidenden Wertungskategorien. Hierbei werden Fräs- und Gussteil als untauglich eingestuft. Da das Gussteil günstiger ist und einen geringeren Entwicklungsaufwand hat als das Schweißteil, erreicht ersteres die höchste Wertung.

### Zugbügel

Da der Zugbügel nach Kapitel 0 vorerst angeschweißt wird, muss generell beachtet werden, dass die Seitenteile des Zugbügels aus Baustahl gefertigt sind. Dadurch wird zwischen Magnetkörper und Zugbügel eine s.g. schwarz-schwarz Verbindung möglich, die zwischen zwei Bauteilen aus Baustahl besteht. Diese Schweißverbindung ist leichter und damit kostengünstiger zu realisieren als eine s.g. schwarz-weiß Verbindung. Bei jener müssen zum Verschweißen von Baustahl mit nichtrostendem Stahl die Bauteile erst lange vorgewärmt und ebenfalls anderer Draht eingesetzt werden. Dadurch fallen Rüst- und Energiekosten an.

Eine grundsätzliche Unterscheidung wird zwischen Biegeteilen und Schweißteilen getroffen, wobei auch die Kombination der Verfahren möglich ist. Zusätzlich wird untersucht, ob ebenfalls geschmiedete Teile in das Zugbügelkonzept integriert werden können.

**Biegeteil**

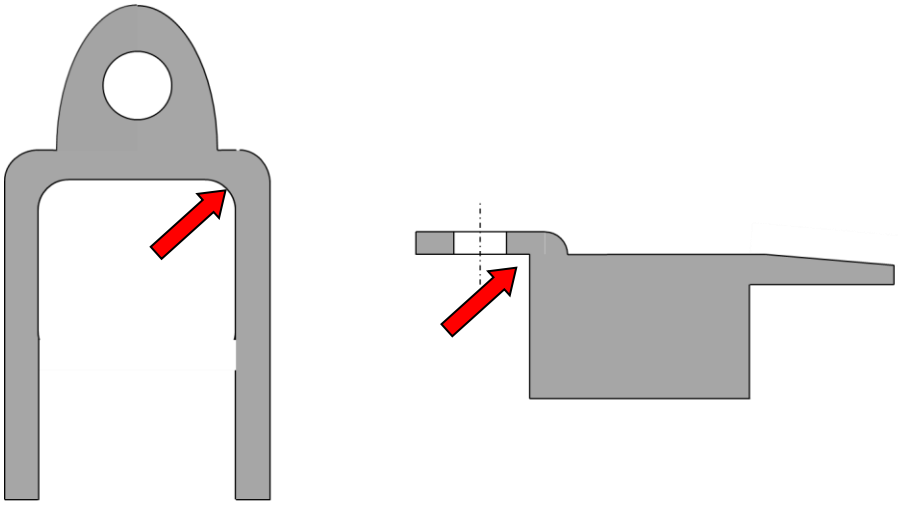


Abbildung 3-77: Zugbügel als Biegeteil (Draufsicht/Seitenansicht)

Das Biegeteil ist die einfachste Konstruktion. Aus einer 10mm starken Platte aus Stahlblech wird die Kontur ausgeschnitten, wonach das Halbzeug per Kaltumformung gebogen wird. Mit 26,26€ pro Stück ist das Biegeteil eine sehr günstige Lösung. Durch die Biegeradien (s. Abbildung 3-77, rote Pfeile) ist das Bauteil und die Mitnahmefläche vergleichsweise weit von der Kante des Magnetkörpers entfernt. Dies führt zu einer generellen Verlängerung der Bremse in X-Richtung, was beim Kunden Probleme in Bezug auf den vorhandenen Einbauraum haben und dadurch den Verlust potenzieller Marktanteile zur Folge haben kann. Ein weiterer Nachteil ist die Fertigung des Werkstücks aus Baustahl. Dieser lässt sich sehr gut magnetisieren, was zu einem magnetischen Kurzschluss über den Zugbügel und dadurch zu einer Verringerung der Haftkraft führt. So sinkt die potenzielle Marktabdeckung bei einem kN Haftkraftverlust bereits rechnerisch um 27,66% (s. Tabelle 26).

**Schweißteil**

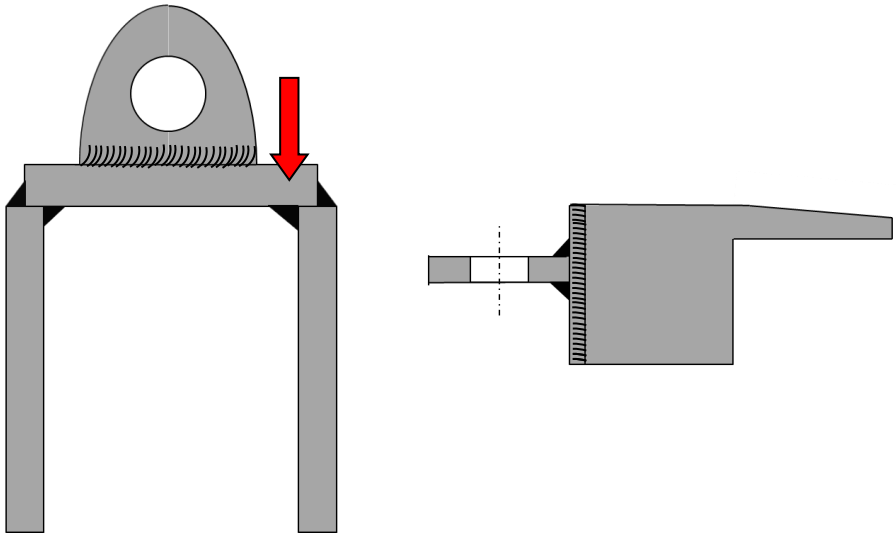


Abbildung 3-78: Zugbügel als Schweißteil (Draufsicht/Seitenansicht)

Um diesen Haftkraftverlust zu verhindern wird als nächstes versucht einen Zugbügel zu entwickeln, der den magnetischen Fluss im Bauteil unterbindet. Dazu wird ein Schweißteil entwickelt, das über eine Stirnplatte aus nichtrostendem Stahl anstatt aus Baustahl verfügt (s. Abbildung 3-78, roter Pfeil). Da nichtrostender Stahl nicht magnetisiert werden kann und somit der magnetische Kurzschluss vollständig über die Schiene geschlossen wird, ist nicht mehr mit einem Verlust der Haftkraft und somit mit einem Verlust potenzieller Marktanteile zu rechnen. Ein weiterer Vorteil ist die kompaktere Bauweise einer Schweißkonstruktion im Vergleich zu einem Biegeteil. Da die Biegeradien hier wegfallen ist das Bauteil ca. 20mm kürzer in X-Richtung als der gebogene Zugbügel und bietet also Vorteile beim Platzbedarf und der Adaptierbarkeit der Bremse ins Drehgestell. Im Vergleich zum Biegeteil ist die Schweißkonstruktion mit einem Stückpreis von 82,70€ pro Zugbügel wesentlich teurer.

**Schweißteil mit Schmiedeteil**

Um die Kosten pro Zugbügel zu senken, jedoch die oben genannten Vorteile der Schweißkonstruktion weiterhin anbieten zu können, wird nun durch Modifikation und die Kombination verschiedener Herstellverfahren versucht, ein Bauteil mit günstigeren Stückkosten zu entwickeln. Dazu wird der Zugbügel stirnseitig mit einer geschmiedeten Stirnplatte inklusive Druckfederlasche versehen. Dieses Teil besteht ebenfalls aus nichtrostendem Stahl, jedoch entfällt der Schweißvorgang der vorher benötigt wurde, um die Druckfederlasche an die Stirnplatte zu fügen. Obwohl das Schmiedeteil maschinell nachbearbeitet werden muss ist der Preis im Vergleich zur reinen Schweißkonstruktion mit 77,70€ pro Zugbügel bereits günstiger.

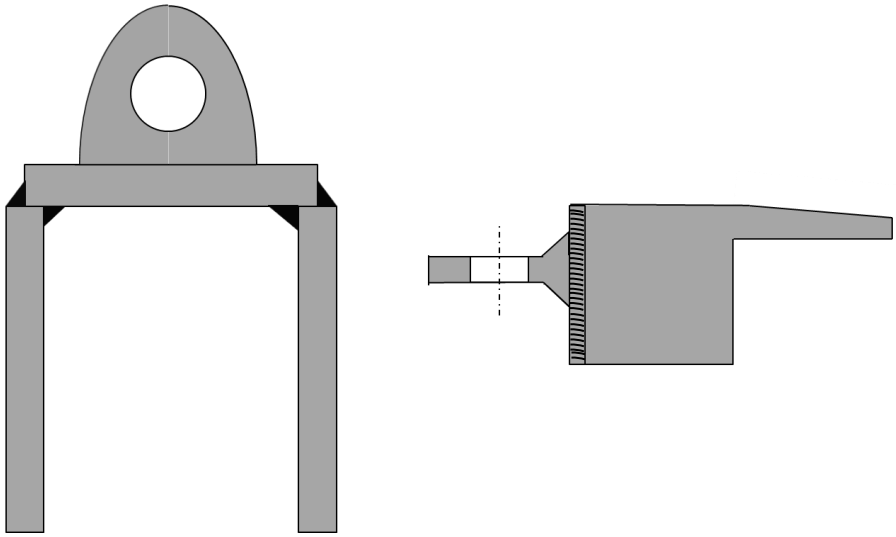


Abbildung 3-79: Zugbügel als Schweißteil mit Schmiedeteil (Draufsicht/Seitenansicht)

**Schweißteil mit Biegeteil**

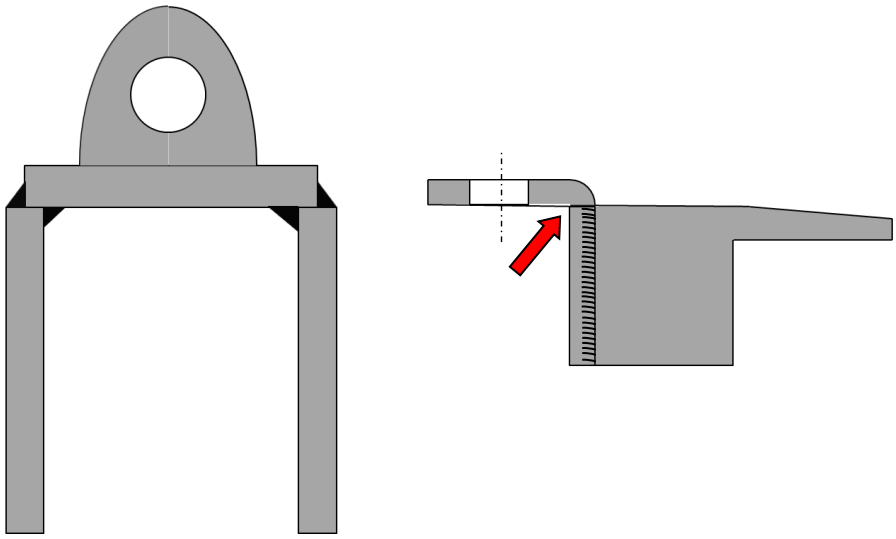


Abbildung 3-80: Zugbügel als Schweißteil mit Biegeteil (Draufsicht/Seitenansicht)

Ein weiterer Versuch den Zugbügel günstiger zu gestalten, ist Stirnplatte und Druckfederlasche als ein Biegeteil zu gestalten und anzuschweißen. Auf diese Weise wird der magnetische Fluss ebenfalls unterbrochen, wobei Biegeteile wie bei der Ausgestaltung des kompletten Zugbügels als Biegeteil zu sehen ist, sehr günstig sind. Nachteilig ist bei dieser Konstruktion hingegen, dass die Druckfederlasche höher am Zugbügel positioniert ist und zu einer größeren Bauhöhe der Bremse führt. Außerdem führt der Biegeradius (s. Abbildung 3-80, roter Pfeil) dazu, dass die Länge der Bremse im Vergleich zu den reinen Schweißkonstruktionen um ca. 10 mm zunimmt. Der Preis dieser Ausführung liegt bei 74,70€ pro Zugbügel.

Daraus ergibt sich folgende Nutzwertanalyse:

| Nutzwertanalyse "Zugbügel" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kriterium | Kundensicht | LifeCycle Cost | Montagesicht | Herstellkosten | Entwicklungs aufwand | Technische Lösung | | |
| Gewichtung | 5 | 5 | 2 | 5 | 3 | 4 | Summe | gewichtete Summe |
| Biegeteil | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 18 | 69 |
| Schweißteil | 4 | 4 | 4 | 1 | 4 | 4 | 21 | 81 |
| Schweißteil mit Schmiedeteil | 4 | 4 | 4 | 2 | 1 | 4 | 19 | 77 |
| Schweißteil mit Biegeteil | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 21 | 82 |

Tabelle 16: Nutzwertanalyse "Zugbügel"

Laut Nutzwertanalyse wird für den Standard ein Zugbügel als Schweißkonstruktion mit stirnseitiger Platte als Biegeteil eingesetzt. Ausschlaggebend dafür ist der günstigere Preis, der höher bewertet wurde als die leichten Nachteile beim Platzbedarf des Bauteils im Vergleich zur reinen Schweißkonstruktion. Daher beträgt der Unterschied in der Gesamtwertung lediglich einen Punkt.

### Verschleißplatten und Verschleißbleche

Die Kontaktflächen des Mitnehmers werden aufgrund der hohen, im Bremsfall wirkenden Kräfte mit Verschleißblechen versehen, um plastische Verformungen zu vermeiden. Die Verschleißbleche bestehen aus Hartmangan und werden stirnseitig an den Mitnahmebock angeschweißt, um ihn so zu schützen (s. Abbildung 3-81, blaue Platte, rote Kreise).

An den Seitenflächen des Mitnahmebocks sind s.g. Verschleißplatten aus Kunststoff angebracht, um einerseits den guten und möglichst spielfreien Sitz im Drehgestell zu gewährleisten und andererseits die entstehende Reibung der Bremse im Betriebsfall zu minimieren (s. Abbildung 3-81, grüne Platten). Dazu stehen zwei verschiedene Kunststoffe zur Verfügung, die seit Jahren in Verwendung sind: Robalon®-S und PAS80X. Bei beiden handelt es sich um Thermoplaste, die sehr witterungsbeständig sind und über sehr gute Verschleiß- und Gleiteigenschaften für den Einsatz in den Drehgestellen bieten. PAS80X ist dabei etwas spröder als Robalon®-S und neigt daher eher zum Splittern oder Brechen. Die Platten werden mit Senkschrauben am Mitnahmebock fixiert, wobei die minimale Materialdicke, die verbaut wird, mit 8mm angegeben wird, um den Senkschrauben bei Anzug genügend Widerstand bieten zu können und die Schraubenköpfe nicht überstehen zu lassen.

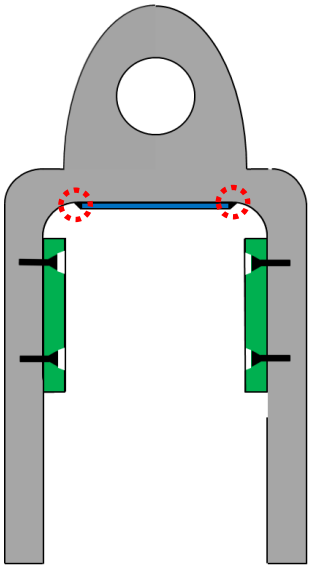


Abbildung 3-81: Zugbügel mit Verschleißblech und Verschleißplatten (Draufsicht)

Diese Anordnung wird ebenfalls bei Mitnahmeböcken angewandt.

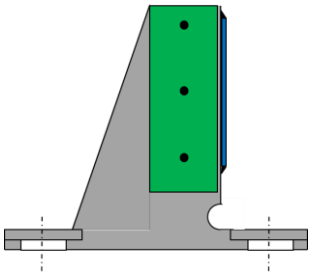


Abbildung 3-82: Mitnahmebock mit Verschleißblech und Verschleißplatten (Seitenansicht)

#### 3.5.6.4 Schnittstelle Magnetkörper/Mitnehmer-Druckfeder

Die Anbindung der Druckfeder kann entweder direkt an den Magnetkörper erfolgen, oder auch am Mitnehmer befestigt werden. Bei Verwendung eines Zugbügels ist die Befestigung der Druckfeder am Mitnehmer eine klassische und bewährte Anordnung, von der beim Standard nicht abgewichen wird.

Beim Einsatz eines Mitnahmebocks hingegen besteht die Möglichkeit die Druckfeder entweder direkt am Magnetkörper zu befestigen, oder die Lasche als Druckfederaufhängung mit dem Mitnahmebock selbst zu verbinden.

Bei der direkten Anbindung am Magnetkörper wird die Lasche an die Wangen des Magnetkörpers geschraubt oder geschweißt und dadurch eine feste Verbindung geschaffen, um die Bremse oberhalb der Schiene zu halten. Der Mitnahmebock kann durch diese Konstellation nicht ganz außen am Magnetkörper positioniert werden, da ca. 50mm für die Lasche und die Anbindung als Schweißnaht vorgesehen werden müssen (s.Abbildung 3-83).

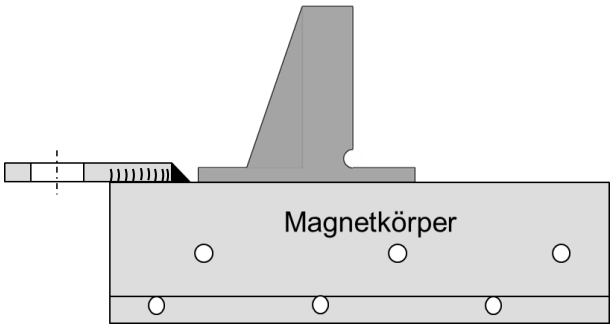



Abbildung 3-83: Druckfederanbindung an Magnetkörper

Eine Nachstellung der Druckfeder von Unten ist möglich, wodurch Wartungsarbeiten für den Betreiber erleichtert werden. Jedoch muss beachtet werden genug Platz zu lassen, damit der Schlüssel für die Nachstellung an der Bundmutter angesetzt werden kann. Hieraus ergibt sich ein leicht zusätzlicher Platzbedarf in X-Richtung. Durch die Verbindung über den Magnetkörper wird ein leichter magnetischer Kurzschluss über dem Magnet riskiert, der aufgrund der geringen Materialstärke jedoch schwach ausfällt. Entwicklungs- und Montageaufwand sind aufgrund der vorhandenen technischen Umsetzungen klein. In Bezug auf die Herstellkosten ist vorwegnehmend zu sagen, dass die Art der Anbindung der Druckfederaufhängung preislich keinen Unterschied macht. Da diese Schnittstelle faktisch wartungsfrei ist, hat sie ebenfalls keinen Einfluss auf die Life Cycle Cost des Produkts.

Eine andere Möglichkeit der Druckfederanbindung bei Verwendung eines Mitnahmebocks besteht darin, die benötigte Lasche an den Mitnahmebock selbst anzuschweißen (s. Abbildung 3-84).

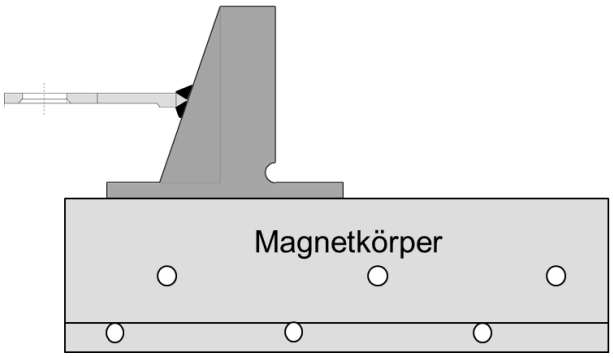



Abbildung 3-84: Druckfederanbindung an Mitnahmebock

Dies hat den Vorteil, dass die Druckfeder näher an den Magnetkörper rücken kann und somit durch die höhere Lage der Lasche die Bundmutter zur Nachstellung problemlos zu erreichen ist. Eine wartungsfreundliche Nachstellung im Betrieb ist auf diese Weise ebenfalls möglich. Entwicklungsaufwand ist aufgrund der vorhandenen Lösung nicht gegeben und der Montageaufwand ist geringer als bei der Anbindung an den Magnetkörper, da das Bauteil fertig angeliefert wird und somit der Schweißprozess entfällt. Wie bereits erwähnt besteht preislich kein Unterschied zur

Anbindung an den Magnetkörper. Die Life Cycle Cost werden ebenfalls nicht beeinflusst.

| Nutzwertanalyse "Schnittstelle Magnetkörper/Mitnehmer-Druckfeder" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kriterium** | **Kundensicht** | **LifeCycle Cost** | **Montagesicht** | **Herstellkosten** | **Entwicklungs aufwand** | **Technische Lösung** | | |
| **Gewichtung** | **5** | **5** | **2** | **5** | **3** | **4** | **Summe** | **gewichtete Summe** |
| **Anbindung an Magnetkörper** | 4 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 | 18 | **76** |
| **Anbindung an Mitnahmebock** | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 23 | **92** |

Tabelle 17: Nutzwertanalyse "Schnittstelle Magnetkörper/Mitnehmer-Druckfeder

Laut Nutzwertanalyse wird die Schnittstelle zur Druckfeder am Mitnehmer befestigt.

#### *3.5.6.5 Druckfeder*

Bei der Wahl der Druckfederaufhängung für die standardisierte Magnetschienenbremse liegt eine grundsätzliche Vorauswahl des Produktmanagements vor. Somit werden faktisch alle anderen Typen von Druckfedern ohne weitere Analyse aus dem Variantenbaum gestrichen.

> *„Wir wollen für den Standard eigentlich nur die Druckfederaufhängungen vom Typ 5 oder dem Typ 6 verwenden, da diese sich als die günstigsten erwiesen haben“*
>
> R. Rathammer, Produktmanager Magnetschienenbremsen, Entwicklung

Bei der Druckfeder vom Typ 5 nach der internen Nomenklatur im Rahmen der Sachmerkmalleiste wird eine vorgespannte Stahlfeder verwendet. Diese ist auf einem Teller gelagert und hält so die Bremse im Ruhezustand oberhalb der Schiene in Position. Diese Version ist eine bei Kundenprojekten bewährte Bauart, die leicht zu montieren ist und auch vielfach und unkompliziert projektiert wurde, wodurch der Entwicklungsaufwand gering ist. Beim Kunden in Form der Fahrzeugbauer ist die Druckfeder somit beliebt. Beim Betreiber hingegen fällt Wartungsaufwand an, da die Federn in Bezug auf Korrosion bis hin zur Beschädigung in Form von Bruch untersucht werden müssen. Dieser Umstand treibt die LLC in die Höhe. Die Materialkosten der Druckfeder betragen 52,55€ pro Stück.

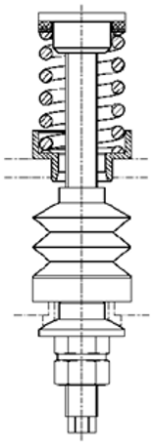


Abbildung 3-85: Druckfeder Typ 5

Bei der Druckfeder vom Typ 6 wird anstatt der Stahlfeder eine Elastomerfeder verwendet. Diese wurde zunehmend in neueren Projekten verbaut und hat somit einen guten Ruf beim Kunden und keinen Entwicklungsaufwand, Die Montage ist ebenfalls unkompliziert. Die Feder hat im Vergleich zur Stahlfeder eine minimale Korrosionsanfälligkeit und kann nicht brechen. Hinzu kommt, dass das Ansprechverhalten der Elastomerfeder feiner ist als das der Stahlfedern. Durch diese Eigenschaften ist die Elastomerfeder für den Betreiber wesentlich wartungsfreundlicher und senkt die Kosten für den Betrieb und die Instandhaltung. Der Nachteil des ursprünglichen Typen 6 ist der ungeschützte Stellbolzen des Systems, da dieser der Witterung im Betrieb ausgesetzt ist und daher korrodieren kann. Ebenfalls können sich Schmutzpartikel am Gewinde anlagern, wodurch die Nachstellung an der Bundbuchse erschwert ist und erst durch vorherige Reinigung möglich wird. Dies wiederum hat einen gesteigerten und daher teureren Wartungsaufwand zur Folge. Die Druckfeder kostet 40,95€/Stk.

Um diesen Problemen zu begegnen, wurde für die Elastomerfeder ebenfalls ein Faltenbalg entwickelt, der die Korrosion und die Schmutzanlagerung am Stellbolzen verhindert. Dadurch wird die Kundenfreundlichkeit in Bezug auf den Wartungsaufwand sehr gesteigert und die LLC werden gesenkt. Durch das zusätzliche Bauteil ist diese Version mit einem Preis von 46,70€ allerdings teurer als die Elastomerfeder ohne Faltenbalg.

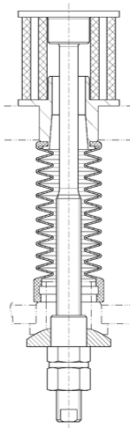


Abbildung 3-86: Druckfeder Typ 6 (mit Faltenbalg)

Daraus ergibt sich folgende Nutzwertanalyse:

| Nutzwertanalyse "Druckfeder" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kriterium** | **Kundensicht** | **LifeCycle Cost** | **Montagesicht** | **Herstellkosten** | **Entwicklungs aufwand** | **Technische Lösung** | | |
| **Gewichtung** | **5** | **5** | **2** | **5** | **3** | **4** | **Summe** | **gewichtete Summe** |
| **Typ 5** | 3 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 18 | **68** |
| **Typ 6** | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 20 | **77** |
| **Typ 6 mit Faltenbalg** | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 23 | **91** |

Tabelle 18: Nutzwertanalyse "Druckfeder"

Nach Auswertung wird die Elastomerfeder verwendet, die über einen Faltenbalg als zusätzlichen Schutz vor Verschmutzung des Stellbolzens verfügt.

#### *3.5.6.6 Schnittstelle Magnetkörper-Schienenschuh*

Die Schnittstelle zwischen Magnetkörper und Schienenschuh wird lediglich im Rahmen einer Konstruktionsvorschrift festgelegt. Hierbei werden für die beiden verschiedenen Magnetlängen die jeweiligen Abstände der Bohrungen definiert, die teilweise stark differierten in den bisherigen Projekten, wobei zusätzlich die Bohrbildhöhe ausgehend von der Unterkante des Magneten definiert wird, da es hier ebenfalls zu verschiedenen Ausprägungen kam. Kunden- und montagespezifisch ist diesbezüglich nichts zu beachten. Die Definition der Schnittstelle dient lediglich der Reduktion der internen Komplexität.

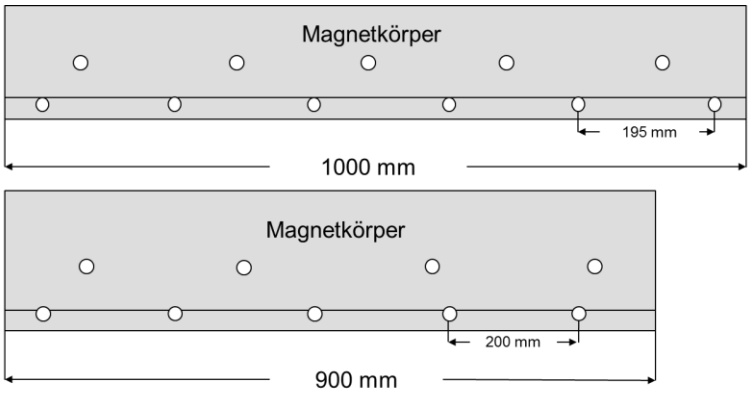



**Abbildung 3-87: Lochabstände der Schnittstelle Magnetkörper-Schienenschuh**

Danach ergibt sich für den Magnetkörper mit 1000mm Länge ein regelmäßiger Lochabstand der Schnittstelle von 195mm und für den Magnetkörper mit 900mm ein Lochabstand von 200mm.

#### *3.5.6.7 Schienenschuh und Zwischenleiste*

Im Hinblick auf den Schienenschuh sind mehrere Aspekte zu erörtern. Dazu zählen unter anderem das Material, die Verschleißhöhe und Fragen der Dimensionierung. Ebenfalls muss das Material der Zwischenleiste bestimmt werden.

**Material des Schienenschuhs**

Der Schienenschuh kann wahlweise aus Stahl oder aus Sintermaterial bestehen. Beim Sintermaterial wird der Schienenschuh pulvermetallurgisch hergestellt. Sinterschienenschuhe haben den Vorteil, dass Aufschieferungen durch die Reibung beim Bremsvorgang (s. Abbildung 6-3) verhindert werden und somit eine konstant gute Bremsleistung gewährleistet werden kann. Diese Aufschieferungen haften bei stählernen Schienenschuhen an und müssen bei Bedarf händisch im Rahmen von Wartungsarbeiten abgeschlagen werden. Demgegenüber ist der Verschleiß der Schienenschuhe aus Sintermaterial um eine vielfaches höher und hat demzufolge einen wesentlich früheren Austausch der Verschleißteile zur Folge. Durch die aufwändigere Herstellung sind Schienenschuhe aus Sintermaterial ebenfalls wesentlich teurer in der Anschaffung.

*„Ich kann beim Kunden mit Sinter keinen wirklichen Mehrwert verkaufen. Die Polschuhe verschleißen schneller und sind teurer als die aus Stahl.“*

M. Longin, Leiter Vertrieb, Vertriebsabteilung Österreich

Die Nutzwertanalyse sieht somit wie folgt aus:

| Nutzwertanalyse "Material Schienenschuh" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kriterium | Kundensicht | LifeCycle Cost | Montagesicht | Herstellkosten | Entwicklungs aufwand | Technische Lösung | | |
| Gewichtung | 5 | 5 | 2 | 5 | 3 | 4 | Summe | gewichtete Summe |
| Stahl | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 23 | 91 |
| Sinter | 1 | 1 | 4 | 1 | 4 | 4 | 15 | 51 |

Tabelle 19: Nutzwertanalyse "Material Schienenschuh"

Somit werden im Rahmen des Standardbaukastens Schienenschuhe aus Stahl als Verschleißmaterial angeboten.

### Überstand des Schienenschuhs

Die Schienenschuhe haben üblicherweise eine Auflagelänge, die genauso lang ist wie der Magnetkörper. Durch die beidseitigen Phasen, die den Einlaufwinkel enthalten, stehen die Schienenschuhe an beiden Seiten 25mm über den Magnetkörper hinaus (s.Abbildung 3-88).

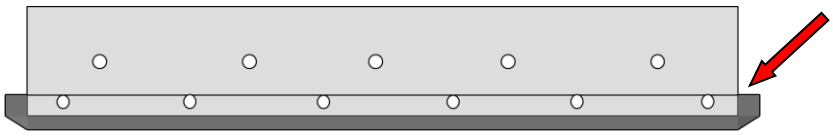


Abbildung 3-88: Überstand der Schienenschuhe

Eine weitere Idee seitens der Entwicklung ist, den Schienenschuh 50mm über die Magnetlänge herausragen zu lassen. Damit wird das Ziel verfolgt, das Magnetfeld und damit die Haftkraft zu verstärken, mit der die Bremse an die Schienen angezogen wird.

*„Eine Verlängerung des Schienenschuhs über die Magnetkante hinaus hat kaum einen messbaren Effekt, da der magnetische Fluss im Wesentlichen im Bereich der Spule stattfindet und von dort direkt in die Schienen geleitet wird.“*

H. Koidl, Systemauslegung, Entwicklung

Aus der Verlängerung des Schienenschuhs auf 50mm Überstand ergibt sich ebenfalls ein weiterer Nachteil, da sich auf den Schienen befindliche Gegenstände am Schienenschuh einfädeln und so zu einer Beschädigung der Bremse führen können. Somit ergibt sich folgende Bewertung des unterschiedlichen Überstandes der Schienenschuhe laut Nutzwertanalyse:

| Nutzwertanalyse "Überstand Schienenschuh" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kriterium | Kundensicht | LifeCycle Cost | Montagesicht | Herstellkosten | Entwicklungs aufwand | Technische Lösung | | |
| Gewichtung | 5 | 5 | 2 | 5 | 3 | 4 | Summe | gewichtete Summe |
| 25 mm | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 23 | 91 |
| 50 mm | 1 | 1 | 4 | 2 | 3 | 2 | 13 | 45 |

Tabelle 20: Nutzwertanalyse "Überstand Schienenschuh"

Dies bedeutet, dass der Überstand der Schienenschuhe 25mm beträgt.

### Verschleißhöhe der Schienenschuhe

In Bezug auf die Verschleißhöhe wird sich an den bisherigen Projekten orientiert. Die Auswertung mittels eines Histogramms ergibt folgende Verteilung:

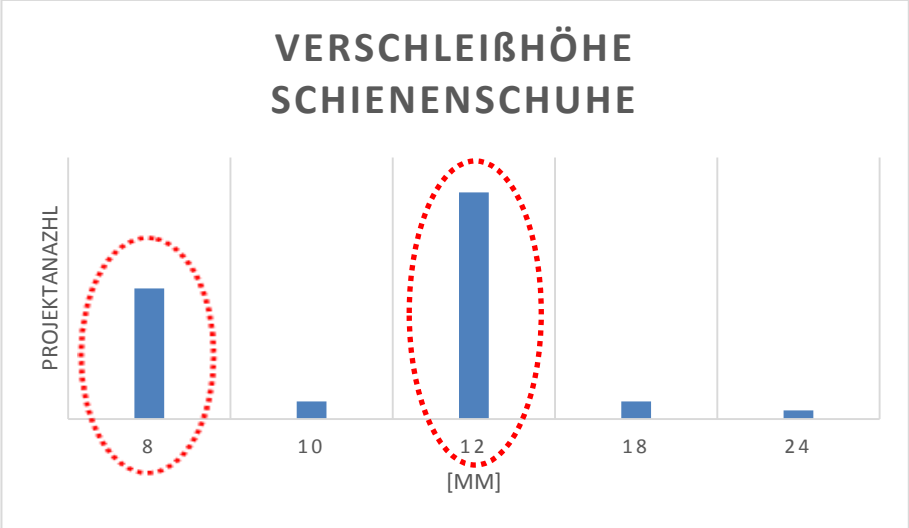



Abbildung 3-89: Histogramm Verschleißhöhe Schienenschuhe

Abbildung 3-89 zeigt deutlich, dass 12mm Verschleißhöhe bei den bisher gelaufenen Projekten am häufigsten verbaut wurden. So wurde diese Verschleißhöhe bisher in 56,52% der Magnetschienenbremsen eingebaut. Die zweithäufigste Ausprägung ist mit 32,61% ein Verschleiß von 8mm.

> *„Wir wollen im Standard 8mm Verschleiß anbieten, da das im normalen Betrieb aus unseren Erfahrungswerten ein ausreichender Verschleiß ist, bis die Schienenschuhe im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Wartungsintervallen ausgetauscht werden müssen.“*
>
> R. Rathammer, Produktmanager Starrmagneten, Entwicklung

Aufgrund dieser Entscheidung seitens des Produktmanagements wird entgegen der statistischen Auswertung im Rahmen des Standards eine Verschleißhöhe von 8mm angeboten. Dies hat neben dem Einsparen von Material und damit verbundenen reduzierten Anschaffungskosten den Vorteil, dass die Haftkraft aufgrund der

geringeren Materialstärke nicht negativ beeinflusst wird. Angesichts der großen Beliebtheit sollte in einem weiteren Schritt allerdings der Schienenschuh mit 12mm Verschleiß in die Erweiterung des Baukastens einfließen und angeboten werden.

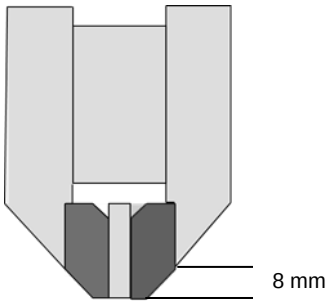



Abbildung 3-90: Verschleißhöhe

Somit werden Schienenschuhe aus Stahl verwendet, die einen seitlichen Überstand von 25mm pro Seite aufweisen und eine Verschleißhöhe von 8mm haben. Die Kosten pro Schienenschuh betragen 27,00€ beim Zulieferer OTB.

**Material der Zwischenleiste**

Die Zwischenleiste trennt die beiden Schienenschuhe voneinander und ermöglicht somit den magnetischen Kurzschluss über die Schiene (s.Abbildung 3-91).

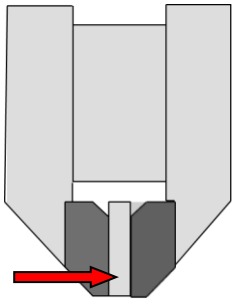


Abbildung 3-91: Schienenschuhe mit Zwischenleiste (Querschnitt)

Das Material der Zwischenleiste muss dementsprechend unmagnetisch sein, wodurch Kunststoff und Aluminium infrage kommen. Kunststoffzwischenleisten sind sehr günstig. Der technische Nachteil besteht darin, dass beim Bremsvorgang und der dadurch entstehenden Reibungswärme das Material schmelzen kann. Kundenseitig ist zu monieren, dass das Material im Gegensatz zum teureren Aluminium nicht wertig wirkt. Die Bewertung der Nutzwertanalyse ergibt somit folgendes Ergebnis:

| Nutzwertanalyse "Material Zwischenleiste" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kriterium | Kundensicht | LifeCycle Cost | Montagesicht | Herstellkosten | Entwicklungs aufwand | Technische Lösung | | |
| Gewichtung | 5 | 5 | 2 | 5 | 3 | 4 | Summe | gewichtete Summe |
| Aluminium | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 22 | 86 |
| Kunststoff | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 17 | 64 |

Tabelle 21: Nutzwertanalyse "Material Zwischenleiste"

Somit ist klar, dass für das Standardprodukt eine Zwischenleiste aus Aluminium eingesetzt wird. Die Kosten für die Zwischenleiste betragen 16,50€ pro Zwischenleiste.

### 3.5.7 Produktkatalog

Somit werden nun die beiden Versionen der standardisierten Magnetschienenbremse in Tiefaufhängung präsentiert, die den initialen Baukasten bilden.

Beide Varianten sind dreiteilige Magneten, bei denen der Magnetkörper aus Kern und zwei Magnetwangen verschraubt wird. Die elektrischen Anschlüsse sind mittig an der Magnetwange angebracht und die Kabel treten in X/Z-Richtung aus, um größtmögliche Flexibilität beim Anschluss ans Fahrzeug erreichen zu können. Die Kabel sind mit dem Magnetkörper verschraubt, um für Fahrzeugbauer und Betreiber eine möglichst leichte Montage bzw. Demontage gewährleisten zu können. Die Betriebsspannung beträgt 24 Volt.

Die Schienenschuhe sind aus Stahl und verfügen über 8 mm Verschleißhöhe, was für den normalen Einsatz ausreichend ist. Dabei haben die Schienenschuhe die gleiche Auflagelänge wie die Länge des Magnetkörpers und stehen an beiden Seiten 25mm über den Magnetkörper hinaus. Getrennt werden die Schienenschuhe durch eine Zwischenleiste aus Aluminium.

Die Druckfedern sind vom Typ 6 und mit Elastomeren ausgestattet, die wartungsarm und vom Ansprechverhalten gegenüber Stahlfedern feiner sind. Bei beiden Varianten ist eine Nachstellung der Druckfedern im Verschleißfall von unten möglich und unterstützt, besonders für die Betreiber, die Wartungsfreundlichkeit. Beide Schnittstellen zur Druckfeder sind an den Mitnehmer angebunden.

### 3.5.7.1 Variante mit Mitnahmebock

Abbildung 3-92: CAD Zeichnung Magnetschienenbremse (Mitnahmebock)

Der Magnet mit einer Länge von 1000mm und einer Höhe von 107mm entwickelt eine Haftkraft von 70kN. Der Betriebsstrom beträgt dabei 36,7 Ampere und liegt somit unter der geforderten Grenze von 43 Ampere. Die Variante mit Mitnahmebock ist mit geschmiedeten Mitnahmeböcken ausgestattet, wobei der Mitnahmeabstand 750mm beträgt. Der Mitnehmer ist mit dem Magnetkörper mit jeweils vier Außensechskantschrauben verschraubt und mit Distanzscheiben versehen, wodurch ein magnetischer Kurzschluss über den Mitnehmer verhindert wird. Die Haftkraft könnte so reduziert werden. Die Druckfederanbindung erfolgt mittels einer an den Mitnehmer angeschweißten Lasche, ermöglicht so die Nachstellung der Druckfeder von unten und stellt gleichzeitig die platzsparendste Lösung dar. Die gesamte Bremse hat eine Länge von 1115mm von Druckfeder zu Druckfeder gemessen. Die Verschleißplatten sind aus Robalon S gefertigt und fest mit dem Mitnehmer verschraubt.

#### 3.5.7.2 Variante mit Zugbügel

Abbildung 3-93: CAD Zeichnung Magnetschienenbremse (Zugbügel)

Die Variante mit Zugbügel verfügt über einen kürzeren Magnetkörper von 900mm Länge, der dafür im Vergleich zu der Variante mit Mitnahmebock mit 117mm höher baut. Die Bremse entwickelt eine Haftkraft von 66kN, die von einem Zugbügel, der an den Magnetkörper angeschweißt ist, auf das Fahrzeug übertragen wird. Der Betriebsstrom beträgt 39,7 Ampere und liegt somit ebenfalls unter der Grenze von 43 Ampere. Der Zugbügel besteht stirnseitig aus einem Biegeteil aus nichtrostendem Stahl, der nicht magnetisch ist, um einen Haftkraftverlust durch magnetischen Kurzschluss zu verhindern. Die seitlichen Zuglaschen sind aus Baustahl gefertigt, um das Schweißen einer schwarz-schwarz Verbindung zum Magnetkörper zu ermöglichen. Eine aufwändige Schweißnahtvorbereitung entfällt an dieser Stelle. Der Mitnahmeabstand der Zugbügel beträgt 997mm, wobei das Gesamtsystem eine Länge von 1131mm hat. Die Verschleißplatten sind wie schon bei der Version mit Mitnahmebock aus Robalon S gefertigt und mit dem Zugbügel verschraubt.

### 3.5.8 Potentielle Marktabdeckung

Die potentielle Marktabdeckung beider Varianten wird berechnet, indem die einzelnen prozentualen Anteile der Marktabdeckung der relevanten Vertriebsmerkmale miteinander multipliziert werden.

Dazu zählen abschließend noch:

- Haftkraft [kN]
- Einbauraum [mm]
- Gesamthöhe [mm]
- Betriebsstrom [Amp.]

Die Magnetlänge entfällt bei der Abschlussbetrachtung, da diese durch die Analyse des Einbauraums bestimmt wurde und generell mit diesem Vertriebsmerkmal und der Haftkraft zu stark korreliert. In Bezug auf den Abstand der Mitnahmeflächen und dem Abstand der Druckfederaufhängung konnten anhand der Analyse der Daten lediglich qualitative, aber keine quantitativen Aussagen getroffen werden. Somit werden auch diese beiden Vertriebsmerkmale nicht in die Berechnung mit einbezogen.

$$Marktabdeckung_{Gesamt} = Marktabdeckung_{Haftkraft} * Marktabdeckung_{Einbauraum} * Marktabdeckung_{Gesamthöhe} * Marktabdeckung_{Betriebsstrom}$$

**Formel 9: Potentielle Marktabdeckung**

Dies ist nur eine Näherung und keineswegs eine genaue Berechnung des Marktanteils und soll dazu dienen, ein Gefühl für die Akzeptanz des Produktes auf dem Markt zu bekommen. Durch die Multiplikation der einzelnen prozentualen Anteile soll annähernd bestimmt werden, wie hoch die Gesamtabdeckung des Marktes ist.

Die Haftkraft ist mit 70kN für die Magnetversion mit Mitnahmebock und mit 66kN festgelegt. Somit fallen alle darunter liegenden verbauten Haftkräfte im Zuge der Überdimensionierung der Module und Schnittstellen mit in die Berechnung (s. Anhang: Tabelle 26).

| <66kN | Haftkraft [kN] | % | <70kN |
|---|---|---|---|
| 68,12% | 18 | 2,13 | 78,76% |
| | 40 | 2,13 | |
| | 42 | 4,26 | |
| | 51 | 4,26 | |
| | 54 | 4,26 | |
| | 58 | 4,26 | |
| | 63 | 2,13 | |
| | 64 | 12,77 | |
| | 65 | 4,26 | |
| | 66 | 27,66 | |
| | 68 | 4,26 | |
| | 70 | 6,38 | |
| | 72 | 6,38 | |
| | 76 | 4,26 | |
| | 77 | 6,38 | |
| | 78 | 2,13 | |
| | 81 | 2,13 | |

Die Länge der Bremse beträgt bei der Version mit Mitnahmebock 1115mm. Die Bremsenlänge mit Zugbügel beträgt als Gesamtsystem 1135mm. Hinzu kommen pro Seite 10mm Sicherheitsabstand zu den Rädern des Drehgestells, um bei Betrieb des Fahrzeugs Raum für Bewegungen der Bremse zur Verfügung stellen zu können. Somit werden alle Drehgestelle mit in die Berechnungen einbezogen, die eine Differenz zwischen Achsabstand und Raddurchmesser von mehr als 1135mm aufweisen (s. Anhang: Tabelle 27).

Die Magnetversion mit Mitnahmebock verfügt über eine Höhe von 107mm, wobei die Version mit Zugbügel 117mm hoch baut. Somit werden alle Projekte in die Berechnung mit einbezogen, die größer als diese Werte sind, da die Standardbremse durch den geringeren Bauraum definitiv in Bezug auf die Höhe hätte verbaut werden kann (s. Anhang: Tabelle 28).

Da bei der Bestimmung des Betriebsstroms lediglich eine Obergrenze von 43 Ampere für das Standardprodukt existiert, die von beiden Varianten nicht überschritten wird, kann die Marktabdeckung mit 100% angenommen werden. Diejenigen Fahrzeugbauer, die keinen höheren Strom akzeptieren, können so bedient werden und die Fahrzeugbauer, die höheren Betriebsstrom einsetzen, können automatisch auch mit geringeren Amperezahlen arbeiten.

Somit ergeben sich nach dem oben beschriebenen Rechenschema folgende Gesamtmarktabdeckungen:

**Version mit Mitnahmebock:**

| Mitnahmebock | | |
|---|---|---|
| **Vertriebsmerkmal** | **Definition** | **%** |
| Haftkraft | <70kN | **78,76%** |
| Einbauraum | >1135mm | **64,52%** |
| Gesamthöhe | >107mm | **89,36%** |
| Betriebsstrom | Alle Projekte | **100%** |
| □ | - | **45,41%** |

Tabelle 22: Gesamtmarktabdeckung Version Mitnahmebock

**Version mit Zugbügel:**

| Zugbügel | | |
|---|---|---|
| **Vertriebsmerkmal** | **Definition** | **%** |
| Haftkraft | <66kN | **68,12%** |
| Einbauraum | >1131mm | **64,52%** |
| Gesamthöhe | >117mm | **68,09%** |
| Betriebsstrom | Alle Projekte | **100%** |
| □ | - | **29,92%** |

Tabelle 23: Gesamtmarktabdeckung Version Zugbügel

Die angestrebten 30% Marktabdeckung mittels eines Standardproduktes werden rechnerisch mit 45,41% bei der Bremsenversion mit Mitnahmebock sogar überschritten.

Bei der Version mit Zugbügel wird die Benchmark von 30% Marktabdeckung mit 29,92% verfehlt und liegt minimal darunter.

Jedoch kann man festhalten, dass mithilfe der mathematischen Lösung gute bis sehr gute theoretische Werte erreicht werden. Jene lassen den Schluss zu, dass im Hinblick auf die Erfüllung der geforderten Vertriebsmerkmale die Entwicklung des Standardprodukts erfolgreich ist.

*„Erfahrungsgemäß liegt die tatsächliche Marktabdeckung der Standardprodukte am Ende immer über den errechneten Marktabdeckungen.“*

U. Jerichow, Berater, ROI Management Consulting AG

Trotz der positiven Zahlen bleibt die tatsächliche Marktabdeckung allerdings abzuwarten. Speziell die Tatsache, dass die zwei wichtigen Vertriebsmerkmale Mitnehmerabstand und Druckfederabstand nicht mit in die Berechnung einbezogen werden können, weil hier keine sinnvollen und aussagekräftigen Werte ermittelt werden konnten, die man in die Entwicklung des Produkts von vorn herein einbeziehen kann, hat eine enorme Unsicherheit zur Folge.

Hier ist man seitens der Hersteller auf ein Entgegenkommen und Ändern der Aufhängungspunkte der Drehgestelle angewiesen und es muss sich in Zukunft zeigen, inwieweit die Bereitschaft da ist, diese Änderungen vorzunehmen, um das Standardprodukt mit seinen Vorteilen wie dem günstigen Preis, der hohen Qualität und der schnellen Lieferung einsetzen zu können.

Eine weitere Möglichkeit bieten dem Kunden die angebotenen Angleichskonstruktionen, bei denen dann beispielsweise nur die Schnittstelle in X-Richtung verschoben werden muss. Dadurch kann die Bereitschaft seitens der Wagenbauer die standardisierte Magnetbremse einzusetzen, nochmal steigen, obwohl die Angleichskonstruktionen mit leichten Zusatzkosten im Rahmen einer Zuschlagskalkulation verbunden wären.

### 3.5.9 Kosten

Beide Varianten werden nun im Hinblick auf ihre direkt dem Produkt zuzuordnenden Kosten betrachtet, um zu überprüfen, ob der im Target Costing definierte Zielwert von 750€ Einzelkosten (Target Costs) pro Bremse eingehalten werden kann. Der

Zielpreis (Target Price) laut Zieldefinition soll 980€/Stk. am Markt betragen. Daraus ergibt sich eine Zielrendite (Target Profit) von 23,47%. Die im Folgenden ermittelten Kosten stellen die Standardkosten (Drifting Costs) dar, was „diejenigen Kosten [sind], die unter Beibehaltung der derzeitigen Technologien und Prozesse bei der Erstellung der potenziellen Leistung entstehen würden“.[185] Durch die spätere Gegenüberstellung der Drifting Costs mit den Target Costs lässt sich die Ziellücke (Target Gap) beschreiben, aus welcher der letztendliche, kostenseitige Handlungsbedarf der Optimierung im Rahmen des Zielkostenmanagement abzuleiten ist.

Zu den betrachteten Kosten als Herstellkosten zählen:

- Materialkosten
- Fertigungskosten

Die Darstellung der Kosten erfolgt im Rahmen von Baukastenstücklisten, da hier aufgrund der Struktur „die Änderung einer Baugruppe zur Änderung nur einer Stückliste führt“[186], weshalb sie sich aufgrund des geringeren Aufwands bei Industrieprodukten durchgesetzt hat. Die Kosten werden für die jeweiligen Module und Schnittstellen getrennt ermittelt. Dabei setzen sich die Materialkosten aus Materialeinzelkosten und Materialgemeinkosten zusammen. Die Fertigungskosten bestehen aus den Fertigungseinzelkosten, den Fertigungsgemeinkosten und ggf. den Sondereinzelkosten der Fertigung.[187]

[185] Schuh, 2005, S 182
[186] Schuh, 2005, S.142
[187] Vgl. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/herstellkosten.html, 02.11.2014

### 3.5.9.1 Herstellkosten Variante Mitnahmebock

| Magnetschienenbremse (Mitnahmebock) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Baukastenelement** | **Bezeichnung** | **Abkürzung** | **Stückzahl** | **Einheit** | **€** | **€ Gesamt** |
| | | | | | | |
| Modul | Magnetkörper | M 1.1 | 1 | Stk. | 394,92 | 394,92 |
| Modul | Mitnahmebock | M 2.1 | 2 | Stk. | 62,37 | 124,73 |
| Modul | Schienenschuh und Zwischenleiste | M 3.1 | 1 | Stk. | 73,55 | 73,55 |
| Modul | Druckfeder | M 4.1 | 2 | Stk. | 53,07 | 106,14 |
| Schnittstelle | Magnetkörper-Mitnehmer | S 1.1 | 2 | Stk. | 24,09 | 48,18 |
| Schnittstelle | Magnetkörper-Schienenschuh | S 2.1 | 1 | Stk. | 20,31 | 20,31 |
| Schnittstelle | Magnetkörper-Druckfeder | S 3.1 | 2 | Stk. | 10,58 | 21,16 |
| **Montagekosten** | | | | | | |
| | Materialvorberei | | 0,014 | Std. | | 0,30 |
| | Kugelstrahlen | | 0,274 | Std. | | 10,13 |
| | Grundieren, Lackieren | | 0,441 | Std. | | 16,29 |
| | | | | | € Montag | 26,72 |
| | | | | | € Material | 788,99 |
| | | | | | € Herstell | 815,71 |

Tabelle 24: Herstellkosten Magnetschienenbremse I (Mitnahmebock)

Es ist zu sehen, dass diese Version der Magnetschienenbremse mit Herstellkosten von 815,71€/Stk. deutlich über dem im Rahmen des Target Costing gesetzten Preis liegt. Vor allem der Magnetkörper stellt mit nahezu 400€/Stk. den größten Kostenfaktor dar, da hier teure Materialien eingesetzt werden, wie der Kupferdraht für die Spule und auch eine teure anschlussseitige Wange, die mit einer eher komplizierten, verschraubten Kabelanbindung versehen ist.

Die Ziellücke liegt bei dieser Version der Mg-Bremse bei 65,71€/Stk. was auf die Target Costs bezogen 8,76% Mehrkosten sind.

### 3.5.9.2 Herstellkosten Variante Zugbügel

| Magnetschienenbremse (Zugbügel) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Baukastenelement** | **Beschreibung** | **Abkürzung** | **Stückzahl** | **Einheit** | **€** | **€ Gesamt** |
| | | | | | | |
| Modul | Magnetkörper | M 1.2 | 1 | Stk. | 424,26 | 424,26 |
| Modul | Zugbügel | M 2.2 | 2 | Stk. | 87,87 | 175,73 |
| Modul | Schienenschuh und Zwischenleiste | M 3.2 | 1 | Stk. | 66,50 | 66,50 |
| Modul | Druckfeder | M 4.1 | 2 | Stk. | 53,07 | 106,14 |
| Schnittstelle | Magnetkörper-Mitnehmer | S 1.2 | 2 | Stk. | 16,26 | 32,52 |
| Schnittstelle | Magnetkörper-Schienenschuh | S 2.2 | 1 | Stk. | 18,80 | 18,80 |
| Schnittstelle | Magnetkörper-Druckfeder | S 3.2 | 2 | Stk. | 0,31 | 0,62 |
| **Montagekosten** | | | | | | |
| | Materialvorberei | | 0,014 | Std. | | 0,30 |
| | Kugelstrahlen | | 0,274 | Std. | | 10,13 |
| | Grundieren, Lackieren | | 0,441 | Std. | | 16,29 |
| | | | | | € Montag | 26,72 |
| | | | | | € Material | 824,57 |
| | | | | | € Herstell | 851,29 |

Tabelle 25: Herstellkosten Magnetschienenbremse II (Zugbügel)

Diese Variante der Mg-Bremse liegt in den Herstellkosten ebenfalls über dem Ziel von 750€ und ist mit 851,29€ nochmal höher als die Version mit Mitnahmebock. Durch die höhere Bauart der Bremse sind hier die Tatsachen Kostentreiber, dass zum Wickeln der Spule mehr Kupferdraht eingesetzt werden muss und ebenfalls für die Herstellung der Wangen andere Halbzeuge eingesetzt werden müssen, die ebenfalls teurer sind. So kann bei der Bremse mit Mitnahmebock für die Herstellung der Wangen ein Halbzeug von 100 mm Höhe eingesetzt werden, wogegen die Zugbügelversion für die Wangen ein Halbzeug von 110mm benötigt.

Ein weiterer großer Kostenfaktor sind die als Schweißteil ausgeführten Zugbügel. Diese sind durch die eingesetzte Stirnplatte aus nichtrostendem Stahl vergleichsweise teuer.

Die Ziellücke liegt in diesem Fall bei 101,29€/Stk. was bezogen auf die Zielkosten einer Prozentzahl von 13,5% an zu hohen Kosten entspricht.

Es wird bei beiden Versionen deutlich, dass Handlungsbedarf im Hinblick auf die Kostenoptimierung des Produkts besteht, um den definierten Zielkostenwert der Herstellkosten von 750€/Stk. zu erreichen.

Ein kostenseitiger Optimierungsansatz der Zugbügelversion besteht in der Entwicklung der verschraubten Schnittstelle. Bereits im Rahmen der Nutzwertanalyse wurde deutlich, dass eine Verschraubung trotz momentan nicht vorhandener, technischer Umsetzung auch in Bezug auf die Entwicklung des gesamten Baukastensystems von enormem Vorteil ist. Bei der Umsetzung an der Zugbügelvariante ergibt sich dennoch ein direkter Kostenvorteil, da durch die Verschraubung ein Einsatz eines gebogenen Zugbügels aus Baustahl möglich wird, der den vergleichsweise teuren Zugbügel als Schweißteil ersetzen kann. Die Herstellkosten für den Zugbügel als Biegeteil betragen 54,81€ im Vergleich zu 87,87€ des geschweißten Zugbügels. Obwohl die geschweißte Schnittstelle mit 16,26€ pro Stück günstiger ist als die geschraubte Schnittstelle mit Herstellkosten von 24,09€, entsteht ein Kostenvorteil von 50,46€, der die Herstellkosten der Zugbügelversion auf 800,83€/Stk. senkt.

### 3.5.10 Marketing

Die strategische Stoßrichtung des Marketings für die standardisierte Magnetschienenbremse ist eindeutig die Marktdurchdringung, da das Produkt auf einem bestehenden Markt platziert wird. Nach Entwicklung des initialen Produktbaukastens müssen nun Prototypen gebaut und intensiv getestet werden. Diese Tests vor Markteinführung sind im Fall der Magnetschienenbremse von besonderer Wichtigkeit, da es sich einerseits um ein sicherheitsrelevantes Teil handelt und andererseits dem Kunden die versprochene Leistung, bspw. in Bezug auf die erreichte Haftkraft, garantiert werden muss. Im Weiteren sollte im Rahmen der Markterprobung in Kooperation mit einem Kunden das Produkt unter realen Bedingungen getestet werden. Dabei sollte es sich um einen Kunden handeln, „der bereit (...) [ist], mit dem Anbieter über evtl. vorhandene „Kinderkrankheiten“ zu diskutieren, ohne dies bereits gegen den Hersteller zu verwenden“.[188] Dabei bietet sich für Knorr-Bremse zum einen der Hersteller Vossloh an, der aufgrund seiner Beteiligungsstruktur Teil des Unternehmens ist oder zum anderen PESA, mit denen in den letzten Jahren aufgrund der zahlreichen erfolgreichen Projekte eine vertrauensvolle Geschäftsbeziehung entstanden ist. Ein weiterer Vorteil dieser Wagenbauer ist, dass es sich bei beiden um kleinere Marktteilnehmer handelt, für die das Produkt besonders attraktiv sein soll.

Obwohl es sich bei der standardisierten Magnetschienenbremse nicht um eine komplette Neueinführung, sondern eher um eine Produktvariation, sprich eine

[188] Backhaus, 2010, S.225

Weiterentwicklung eines bestehenden Produktes handelt, muss die Einführung dennoch aktiv kommuniziert werden, um den Kunden für die Verfügbarkeit zu sensibilisieren. Die standardisierte Magnetschienenbremse sollte in dem Zusammenhang als Baukastensystem propagiert werden, um negative Assoziationen seitens des Kunden im Hinblick auf die Nichterfüllung seiner spezifischen Wünsche zu vermeiden.[189] Dazu muss der Einführungszeitpunkt zuerst definiert und dann vertriebsseitig bei allen potentiellen Kunden kommuniziert werden. Der zentrale Punkt der Kommunikation muss die für dieses Produkt außergewöhnlich kurze Lieferzeit sein, da diese gerade im Produktgeschäft eine zentrale Rolle einnimmt.[190] Als Plattform für die tatsächliche Präsentation bietet sich eine der zahlreichen Fachmessen für Bahntechnik wie die InnoTrans an, bei der das Produkt dem Kunden präsentiert werden kann. Um zu vermeiden, dass der Erfolg der Magnetschienenbremse durch Einführung eines fehlerhaften und nicht voll ausgereiften Produktes eingeschränkt wird, sollte der Einführungszeitpunkt nicht zu früh gewählt werden.[191] So bietet sich die Möglichkeit, dem Kunden ein technisch ausgereiftes Produkt anzubieten, welches aufgrund der Tatsache, dass es sich um ein sicherheitsrelevantes Teil handelt dringend anzuraten ist, da die Fehlertoleranz seitens des Kunden diesbezüglich sehr gering ist. Es ist also zu erwarten, dass bei Nichterreichen der Kennwerte nicht nur die Reputation immens leidet, sondern, dass es sogar zu juristischen Konsequenzen kommen kann.

Aufgrund der geringeren persönlichen Beratung beim Produktgeschäft im Vergleich zum Anlagengeschäft mit dem speziell zugeschnittenen Projektcharakter, ist es wichtig, „dem Kunden verlässliche sowie verständliche Informationen“[192] über das Produkt und dessen Spezifikationen zur Verfügung zu stellen. Neben der klaren Produktinformation kann man zumindest für den Beginn der Einführung beide Magnetvarianten als CAD-Zeichnung auf einer Onlineplattform dem interessierten Kunden zur Verfügung stellen. Diese Plattform müsste noch entwickelt und in die bestehende Website integriert werden. Gegenwärtig sind auf der Website für die Drehgestellausrüstung lediglich kurze Verweise auf das angebotene Produktportfolio mit einem Verweis auf den Vertrieb gegeben (s. Anhang: Abbildung 6-4, roter Kreis). Eine konkrete Weiterleitung müsste bei den Schienenbremsen implementiert werden, wo der Kunde zur Produktpalette des Baukastens weitergeleitet wird und die CAD Zeichnungen ggf. konfigurieren und abrufen kann. So hat der Kunde die Möglichkeit, das Modell der Bremse direkt in seinen internen Konstruktionsprozess einfließen zu lassen. Dieser Schritt soll die Akzeptanz für die standardisierten Produkte erhöhen und hat nebenbei den Vorteil, dass der Prozess der Einbauuntersuchung zum Kunden hin ausgelagert wird und die Entwicklungsabteilung zusätzlich entlastet. In

[189] Vgl. VDI, 1999, S.5
[190] Vgl. Kuhn, 2011, S.20
[191] Vgl. Backhaus, 2010, S.226
[192] Kuhn, 2011, S.20

Bezug auf die richtige Durchführung der Einbauuntersuchung kann bei Bedarf kostenlose oder als Serviceangebot verkaufte Hilfestellung seitens Knorr-Bremse angeboten werden. Bei einer späteren Erweiterung des Baukastens kann die Onlineplattform mit einem Konfigurator versehen werden, bei der der Kunde die Möglichkeit hat, verschiedene Varianten zu generieren und als CAD-Modell abzurufen. Durch dieses Tool kann die Variantenstruktur klar, einfach und transparent transportiert werden. Bei einer größeren Produktstruktur mit vielen Varianten und einem größeren persönlichen Beratungsbedarf kann der Konfigurator ebenfalls seitens des Vertriebs genutzt werden, um beim Beratungsgespräch zu unterstützen. Ein weiterer Vorteil dieses digitalen Produktkonfigurationssystems ist, dass auf Basis der für den Kunden konfigurierten Variante direkt Stücklisten und Arbeitspläne für die Montage zur Verfügung stehen.[193]

Grundgedanke des Pricings ist, beide Bremsen zum Preis von 980 €/Stk. am Markt anzubieten. Bei Herstellkosten von 750€/Stk. würde somit eine Gewinnmarge von 23,47% ohne weiteren konstruktiven und administrativen Aufwand anfallen. Nebenbei würde man sich gemäß der klassischen Vorgehensweise beim Produktgeschäft über den Preis differenzieren.[194] Wie die Kostenberechnung der beiden Varianten gezeigt hat, sind Herstellkosten von 750€ pro Bremse nach jetzigem Stand nicht zu erreichen und mit 815,71€ für die Version mit Mitnahmebock und 851,29€ für die Variante mit Zugbügel wesentlich höher angesiedelt. Bei einer Beibehaltung des avisierten Verkaufspreises verbleibt bei den vorhandenen, realen Herstellkosten der beiden Bremsenvarianten lediglich noch eine Gewinnmarge von 16,76% bzw. 13,13%, was in Anbetracht der ursprünglich geplanten Gewinnmarge und auch zur Deckung der vorhandenen Overhead Costs zu gering ist. Unter Beibehaltung des gewünschten Gewinns von 23,47% muss der Preis der Bremse für den Mitnahmebock bei 1065,87€ und für den Zugbügel bei 1112,36€ liegen.

An der Heterogenität der beiden Varianten des initialen Baukastensystems ist bereits zu erkennen, dass auch im Hinblick auf die zukünftige Erweiterung des Angebots im Rahmen des Systembaukastens ein Angebot zu Einheitspreisen tendenziell ungeeignet ist. Ebenfalls ist auch die preisliche Konkurrenz zu den Mitbewerbern nicht entscheidend, da bereits 1000€/Stk. für diese einen Kampfpreis darstellen (vgl. Kapitel 3.4.1.2). Dies macht eine derart aggressive Preisstrategie, die Preisgrenze von 1000€ pro Stück noch zu unterbieten, unnötig. Die Setzung von Einheitspreisen hat ebenfalls den Nachteil, dass die Kunden bei Bestehen von unterschiedlicher Zahlungsbereitschaft keine dieser entsprechenden Preise angeboten bekommen, wodurch Knorr-Bremse potenziell weniger Gewinn generiert als möglich ist.[195] Somit sollte der Preis differenziert und auf diese Weise spezifisch an den Kunden

[193] Vgl. Schuh, 2005, S.242
[194] Vgl. Kuhn, 2011, S.20
[195] Vgl. Kuhn, 20011, S.137

angepasst werden. Hierbei ist zu beachten, dass der Grundpreis nicht zu hoch angesetzt werden darf, um zu erreichen, dass der Marktpreis im Vergleich zur projektorientierten Konkurrenz niedriger bleibt und die standardisierte Mg-Bremse als starke Alternative am Markt wahrgenommen wird.

Die Preisdifferenzierung weist demnach für den Kunden die Preise der einzelnen Module und Schnittstellen transparent aus, wobei er in einem späteren Entwicklungsstadium des Baukastens innerhalb der einzelnen Elemente immer mehrere Wahlmöglichkeiten hat. Auch evtl. Kostensenkungen und -erhöhungen der Module und Schnittstellen werden klar nach außen kommuniziert. So hat der Kunde die Möglichkeit, die Preisgestaltung strukturiert nachzuverfolgen und ein Grundpreis wird festgelegt. Die Anfrage läuft im nächsten Schritt über den Vertrieb, der die weitere Bearbeitung übernimmt. Dazu muss vertriebsseitig im Rahmen der Preisdurchsetzung ein Rabatt- und Bonussystem für den Baukasten entwickelt werden, der nach der Grundpreisbildung Anwendung findet. Dies kommt dem Wunsch des Vertriebs nach, keine Paketpreise anzubieten (vgl. Kapitel 3.4.1.1), da durch die weiterhin stattfindende Abwicklung über den Vertrieb die Möglichkeit besteht, kundenspezifisch individuelle Rabatte und Boni zu gewähren. Für das Produkt kommen im wesentlichen Mengenrabatte infrage, für die man interne Stufen festlegen kann. Treueboni oder auch Boni für die Unterstützung bei Neuprodukteinführungen können bei Bedarf zusätzlich entwickelt und gewährt werden.

Durch dieses System kann dem Kunden einerseits vertriebsseitig ein Preis angeboten werden, der seiner Zahlungsbereitschaft individuell entspricht und andererseits bleibt kundenseitig die Möglichkeit der aktiven Preisgestaltung bestehen.[196] Des Weiteren bleibt für Knorr-Bremse die Möglichkeit Preisänderungen nach oben und unten für neue Module und Schnittstellen an den Kunden weiter zu geben, ohne in das Korsett des fixen Verkaufspreises eingeschnürt zu sein. Dieser Umstand erhöht die Flexibilität bei der Entwicklung neuer Baukastenelemente.

[196] Vgl. Backhaus, 2010, S.243

# 4 Auswertung

Die vorliegende Diplomarbeit zeigt, inwieweit fehlendes Variantenmanagement gerade über einen längeren Zeitraum zu erheblichen Problemen führen kann. Dies sind zum einen marktbezogene Probleme, die die Wettbewerbsfähigkeit in eklatanter Weise negativ beeinflussen können, da beispielsweise die Kundenzufriedenheit in Bezug auf den Preis durch weitergegebene Kosten und die Lieferzeit durch nicht mögliche interne Produktionsnivellierung leidet. Entgegen der allgemeinen Annahme, dass eine Reduktion der Varianten am Markt zu Unzufriedenheit beim Kunden aufgrund eines zu kleinen Sortiments führt, ist es im Gegenteil so, dass Kennzahlen der Kundenzufriedenheit gesteigert werden können. Zum anderen kommt es ohne Variantenmanagement zu einem unkontrollierten Wachstum der Produktpalette und führt dazu, dass die interne Komplexität und die damit verbundenen Komplexitätskosten stark steigen. Dies wiederum wirkt sich negativ auf den Unternehmenserfolg aus. So ist es durch Variantenreduktion wieder möglich, eine für Kunden und Mitarbeiter durchschaubare Produktstruktur zu generieren, wodurch beispielsweise das Beratungsgespräch verbessert werden kann. Das Variantenmanagement dient somit dazu, interne und externe Probleme, die durch eine natürlich gewachsene Variantenvielfalt entstehen, zu lösen. Allerdings setzt es einen gut entwickelten Baukasten voraus.

So zeigt diese Arbeit, dass die Basis für die Entwicklung eines potenziell erfolgreichen Systembaukastens die eingeflossenen Kundenanforderungen sein müssen. Kritisch ist dabei immer die Informationsbeschaffung, die im vorliegenden Fall bedauerlicherweise nicht aus externen Quellen mittels Kundenbefragung gewonnen werden konnte, sondern aus internen Unternehmensquellen generiert werden musste. Gerade durch diesen Umstand ist besonders wichtig, der Definition und Analyse der Hauptvertriebsmerkmale besondere Sorgfalt zu widmen, da an dieser Stelle durch Fehlinterpretation die größte Gefahr besteht, am Markt vorbei zu entwickeln. Aus diesem Grund wurde diesem Thema auch eine zentrale Rolle zugewiesen.

Ein weiterer kritischer Faktor bei einem solchen Projekt ist die Einbeziehung verschiedener beteiligter Unternehmensbereiche. So sorgt die Entwicklung in einem interdisziplinären Team dafür, dass einerseits intern die Akzeptanz gesteigert wird und andererseits so viele Facetten des Produktes wie möglich beleuchtet werden und dadurch in die Produktentwicklung einfließen.

Beim Vorgehen zur Einführung einer Standardisierung und damit verbundenem Variantenmanagement macht diese Arbeit deutlich, dass es kein allgemeingültiges Rezept geben kann. Standardisierungsstrategie, Analyse der Kundenanforderungen, technische Umsetzung und der schlussendliche Vertrieb müssen immer auf den

konkreten Markt, das Produkt nebst vorhandener Produktstruktur und nicht zuletzt auch das Unternehmen bezogen werden. Nur so kann gewährleistet werden, ein potenziell erfolgreiches Baukastensystem am Markt etablieren zu können.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass es unerlässlich ist, den Produkten bereits im Vorfeld Kostengrenzen zu setzen. Dies wurde im Rahmen des Projektes durch Target Costing durchgeführt. Die Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte von vornherein ist wichtig, weil in der Entwicklung der Großteil der späteren Produktkosten durch die Wahl der technischen Alternativen im Hinblick auf Konstruktion und Herstellverfahren definiert werden.

In Bezug auf den Erreichungsgrad der Ziele ist festzustellen, dass der Preis für den Kunden durch das Baukastensystem signifikant reduziert werden kann. Dabei profitieren die Fahrzeugbauer von den preislichen Vorteilen, wobei die Betreiber durch die Konstruktion ebenfalls Vorteile von geringen LifeCycle Costs bei Wartung und Instandhaltung haben. Ebenfalls wird die Durchlaufzeit für Neu- und Wiederbeschaffung stark verkürzt. Durch die Verwendung von bewährten technischen Lösungen kann die Qualität und Zuverlässigkeit in gewünschtem Maße garantiert werden. Intern werden die Kosten durch Vereinfachung des Vertriebsvorgangs, dem Wegfallen der Neuprojektierung und der Reduktion des Konstruktions- und Prüfungsaufwands reduziert.

Trotz der erfolgreichen Umsetzung bleiben restliche Unsicherheiten bestehen. So besteht trotz sorgfältiger und aufwändiger Analyse im Rahmen der Untersuchung der Vertriebsmerkmale die Möglichkeit, dass Trends oder Häufigkeiten falsch interpretiert oder falsche Werkzeuge zur Interpretation eingesetzt wurden. Ein besonderes Problem in dem Zusammenhang ist die Tatsache, dass die beiden Hauptvertriebsmerkmale „Mitnahmeabstand“ und „Druckfederabstand“ nicht sinnvoll und abschließend analysiert werden konnten, was einen großen Unsicherheitsfaktor darstellt und im schlimmsten Fall dazu führen kann, dass das Produkt vom Markt nicht angenommen wird. Daraus ergibt sich notwendigerweise ein konstruktives Entgegenkommen seitens der Fahrzeugbauer bei Einsatz der standardisierten Magnetschienenbremse, was schwer einzuschätzen ist.

Somit ist abschließend zu sagen, dass trotz der theoretisch errechneten Marktabdeckung, die im Zielwert liegt, der Markterfolg nicht mit Sicherheit garantiert werden kann. Daher muss abgewartet werden, wie sich das Produkt nach Einführung am Markt entwickelt, wodurch immer ein großes unternehmerisches Risiko entsteht.

# 5 Ausblick

Mit der obigen Festlegung des Produktkatalogs ist das Standardisierungsprojekt noch nicht abgeschlossen. Intern gilt es nun als erstes, die Konstruktionsrichtlinien für die Konstruktion der Starrmagneten zu entwickeln, wobei dort verpflichtend für jeden Konstrukteur geregelt wird, wie bestimmte Ausführungen an jedem Modul und an jeder Schnittstelle umzusetzen sind. Dabei muss nicht nur die Konstruktion von Einzelteilen geregelt werden. Auch die Verwendung von Normteilen und Werkstoffen wird definiert,?? bis hin zur Definition der Fertigungsverfahren der Bauteile.

Ein weiterer Schritt von enormer Relevanz ist die exakte Festlegung welche Änderungen am Produkt in den Bereich der Angleichskonstruktionen und welche Änderungen unter eine eigene Projektierung fallen. Die Kommunikation des genauen Leistungssortiments an den Vertrieb und den Kunden sowie die damit verbundene Preisgestaltung sind, neben der Entwicklung des Standardprodukts selbst, eine der wichtigsten Aufgaben. Gerade dadurch, dass im Rahmen des Standardprodukts für die Vertriebsmerkmale „Mitnehmerabstand“ und „Druckfederabstand“ nur eine Ausprägung angeboten wird, müssen die Angleichskonstruktionen den Baukasten für den Kunden attraktiv erweitern und können so maßgeblich zur Steigerung der Akzeptanz des Produktes am Markt sorgen.

Damit diese internen Konstruktionsrichtlinien auch umgesetzt werden können, müssen für den nach außen gewandten Vertrieb Projektierungsvorschriften entwickelt werden, um zu verhindern, dass Leistungen im Rahmen des Produktportfolios dem Kunden gegenüber falsch kommuniziert werden. Nach innen gerichtet wird durch die genaue Projektierung im Vertrieb erst die Anwendung der Konstruktionsrichtlinien möglich, was später zusätzlichen Aufwand, beispielsweise durch Klärung technischer Fragen, vermeidet.

Nach Markteinführung der standardisierten Magnetschienenbremse müssen in regelmäßigen Abständen Reviews der Marktentwicklung und der Trends in interdisziplinären Teams aus Entwicklung, Vertrieb, Marketing, Montage und Einkauf durchgeführt werden. Ziel ist es dabei, das Sortiment und die einzelnen Module und Komponenten im Hinblick auf deren Existenzberechtigung ständig zu hinterfragen und den Produktbaukasten durch Erweiterungen und Reduktionen an Marktbedürfnisse und Marktentwicklungen anzupassen, um sukzessiv eine möglichst große Marktabdeckung zu erreichen und den Einsatz der Bremse bei möglichst vielen Kunden zu ermöglichen. Als Basis der Reviews müssen Kundenbedürfnisse, Absatzzahlen aber modul- und schnittstellenintern auch Berechnungen der Deckungsbeiträge dienen, um evtl. zu teure Lösungen zu streichen oder zumindest zu optimieren.

*„Wir kennen das Produkt schon recht gut, aber in mancher Hinsicht noch nicht gut genug.“*

M. Widlinski, Konstrukteur, Entwicklung

Weiterhin muss eine strukturierte Erfassung der Kundenbedürfnisse zuerst implementiert und letztlich auch gepflegt werden. Derzeit existiert Marktforschung und die Kenntnis und Analyse der Kundenanforderungen lediglich unstrukturiert und nicht ausgewertet in Form der Marktkenntnis des Vertriebs und der Projektingenieure. Die strukturierte Erfassung müsste als externe Informationsbasis den dokumentierten Kundenkontakt bei Messen und Kundenbesuchen verwenden, wobei intern Vertrieb, Entwicklung und das Beschwerdemanagement als Ausdruck der „negativen Kundenbedürfnisse“ einbezogen werden. Eine zentrale Zusammenfassung und Auswertung gepaart mit bereichsübergreifender Kommunikation verhindert, dass einzelne, mit dem Produkt vertraute Bereiche nicht über wichtige Entwicklungen und Aspekte informiert werden. Aus dem Wissen über die VOC und die Probleme mit dem Produkt können dann konkrete Maßnahmen abgeleitet werden, die entweder in konstruktive Lösungen, aber auch in Optimierungen der Montage oder beispielsweise des Vertriebsprozesses einfließen.

Eins der dringendsten, aktuellen Entwicklungsfelder im Rahmen des Baukastensystems ist die Standardisierung der Schnittstelle zwischen Magnetkörper und Mitnehmer. So muss die Verbindung beim Mitnahmebock gegenwärtig geschraubt und beim Zugbügel geschweißt werden. Dies führt dazu, dass lediglich zwei Produkte im Rahmen des Baukastens angeboten werden können. Eine Vereinheitlichung der Schnittstelle hin zu einer einzigen Schraublösung hätte zur Folge, dass der Baukasten wesentlich flexibler gestaltet und schnell neue Magnetkörper und Mitnehmer mit neuen Spezifikationen problemlos integriert werden könnten. Diese Flexibilität ist wichtig, um Marktveränderungen ohne große Zeitverzögerung zu begegnen und auf diese Weise dynamisch reagieren zu können. Schematisch würde das einen Variantenbaum weg von zwei Endprodukten und somit geringer Variation, hin zu einer doppelt so großen Variation ohne Erweiterung der internen Komplexität ergeben.

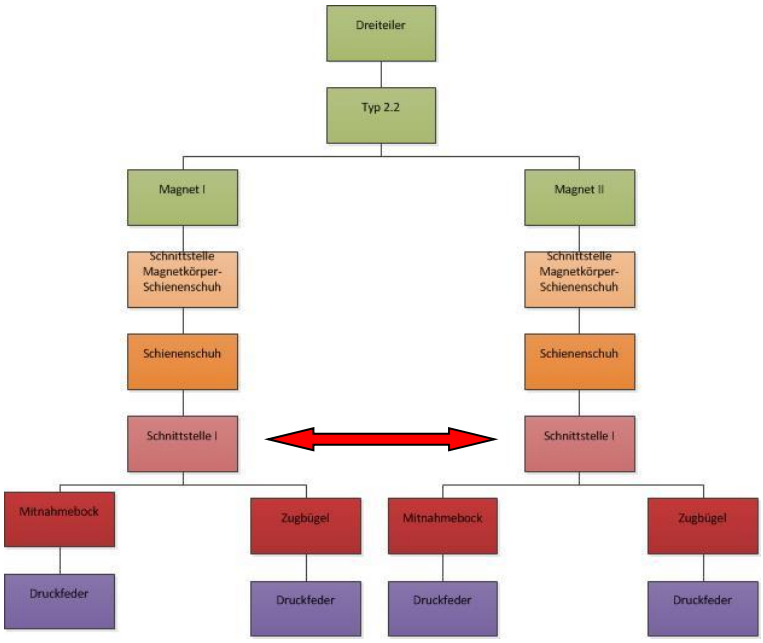



**Abbildung 5-1: Variantenbaum (ideal)**

Der ideale Variantenbaum lässt bereits erkennen, dass bei einer Vereinheitlichung der Schnittstelle (s. Abbildung 5-1, roter Pfeil) die Varianz entlang des Montageverlaufs konstant gering bleibt und durch die standardisierte Schnittstelle gegen Ende weiter auseinander geht. Dadurch wird das Portfolio ohne zusätzliche Entwicklung von Modulen stark erweitert und eine spätere Integration neuer Module ist simpel und führt zu kaum größerer interner Komplexität.

Die durch den verstärkten Einsatz und Verkauf der Standard Mg-Bremse freiwerdenden Kapazitäten können und sollen dazu genutzt werden, Innovationen auf dem Gebiet voran zu treiben.

*„Korrosion zwischen Magnetkörper und Schienenschuh und die Korrosion des Lacks sind immer große Themen bei Kundenbeschwerden.“*

E. Schober, Beschwerdemanager, Qualitätsmanagement

Abgesehen von Neukonstruktionen, die bspw. im Rahmen der Entwicklung neuer Module anfallen, existieren auch aktuelle Produktinnovationsfelder, die bisher nicht bearbeitet wurden. So wird von Seiten des Beschwerdemanagement moniert, dass immer wiederkehrende Probleme beim Kunden wie Korrosion des Lacks, einzelner Bauteile oder auch die Entlastung der Kabel auf Zug bisher nicht pro aktiv der Entwicklung angegangen wurden. Gerade mit dem Feld der Innovationen kann man speziell den bereichsinternen Vorbehalten gegenüber der Standardisierung seitens der Belegschaft der Abteilung „Forschung und Entwicklung“ begegnen, was eventuelle Personalfreisetzungen betrifft. Hier verbirgt sich ein enormes Potential, welches zum einen zeigt, dass mit Personalfreisetzung nicht zu rechnen ist und zum

anderen die Betätigung von Knorr-Bremse im Bereich der Starrmagnete sichert, da die momentane Technologieführerschaft verteidigt und ausgebaut werden kann.

Nicht nur die Produktinnovation ist für den wirtschaftlichen Alltag notwendig, sondern wie im Rahmen des Projekts deutlich geworden ist, können sich durch Variation der Fertigungsverfahren immense Kostenänderungen ergeben, die sukzessive die Konkurrenzfähigkeit des Produkts und auch des Unternehmens sichern können. Diese Prozessinnovationen können insbesondere für die Forschung und Entwicklung einen neuen Bereich ausbilden, bei dem man sich durch enorme Expertise und Know-How profilieren könnte.

Perspektivisch ist also zu sagen, dass bei Implementierung diverser Maßnahmen im direkten Produktumfeld unternehmensintern gewaltige Fortschritte gemacht werden können. Trotz der Tatsache, dass es keine Garantie für einen Erfolg des Produkts gibt, existieren immer mehrere Stellschrauben, die auch im Nachgang noch anfängliche Startschwierigkeiten nachjustieren können. Wichtig ist dabei jedoch, dass Strukturen geschaffen werden, um schnell und effizient auf Entwicklungen und Ereignisse reagieren zu können. Eine Schaffung und Beibehaltung eines dynamischen Umfeldes nicht nur beim Produktrelease sondern auch darüber hinaus, erscheinen unerlässlich zur Positionierung des Produktes im Markt.

Abschließend sollten in Abstimmung mit allen beteiligten Bereichen und der Geschäftsführung für den Fall des Scheiterns des Produktes auch Abbruchkriterien festgelegt werden, um nicht zu viele Marktanteile und Kunden zu verlieren. Ein zu langes Festhalten an einem Produkt, das nicht marktfähig ist und bspw. durch fortschreitende Weiterentwicklungen weitere Kosten verursacht, hätte ebenfalls finanziell und auch in Bezug auf die Reputation des Unternehmens negative Folgen, die vor allem hinsichtlich der Wiederherstellung des Rufs sehr nachhaltig sind.

# 6 Anhang

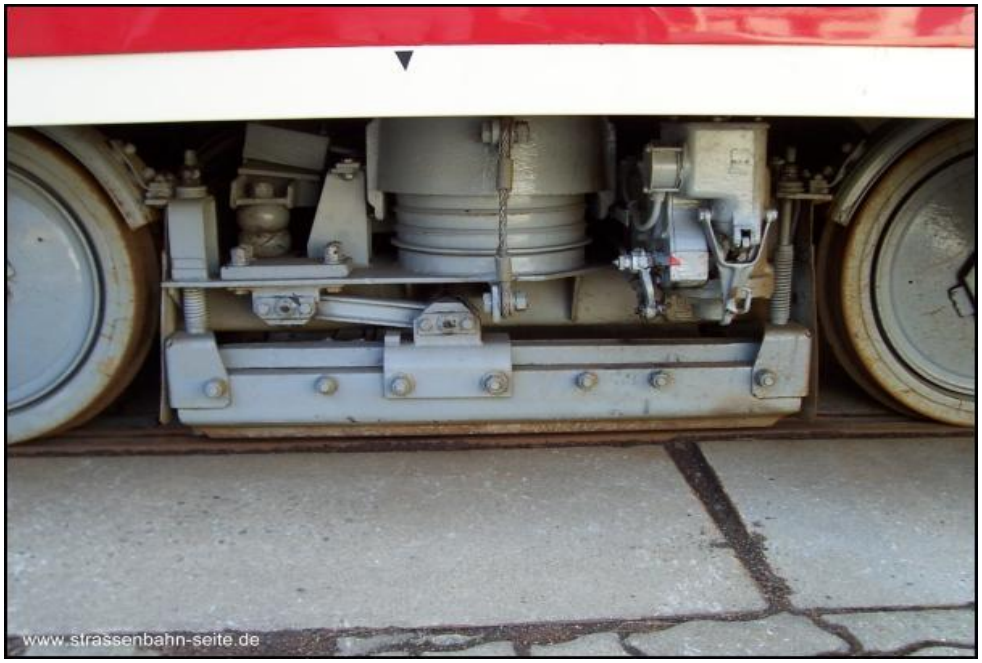



**Abbildung 6-1: Magnetschienenbremse im Drehgestell einer Straßenbahn[197]**

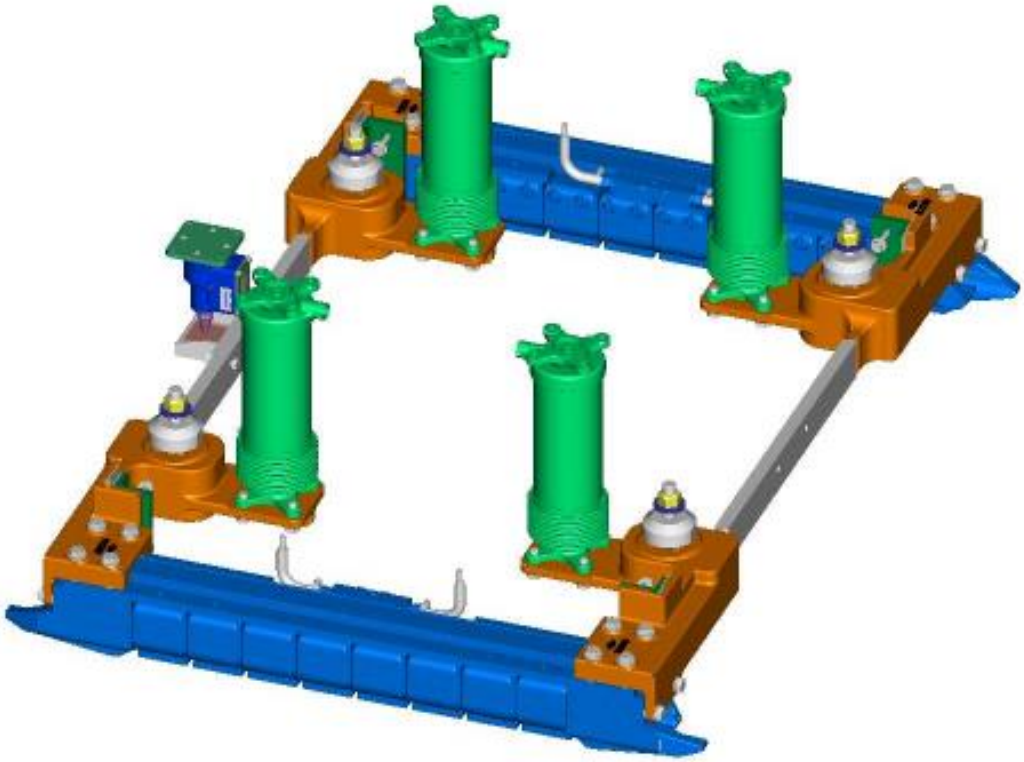


**Abbildung 6-2: Spurhalter mit Gliedermagneten (blau)**

[197] URL: http://www.strassenbahn-seite.de/technik10.html

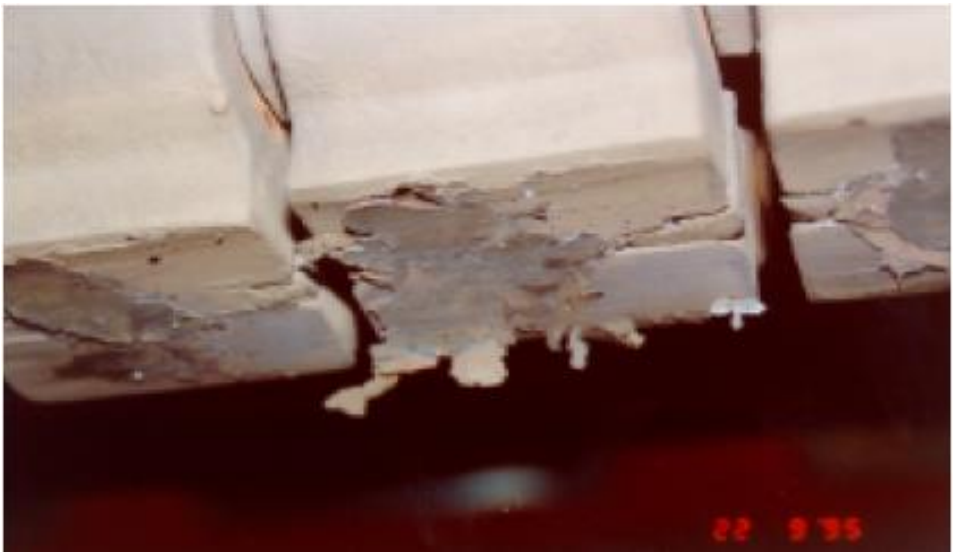


Abbildung 6-3: Typische Aufschieferungen bei Mg-Bremsen mit Polschuhen aus Stahl

| <66kN | Haftkraft [kN] | % | <70kN |
|---|---|---|---|
| 68,12% | 18 | 2,13 | 78,76% |
| | 40 | 2,13 | |
| | 42 | 4,26 | |
| | 51 | 4,26 | |
| | 54 | 4,26 | |
| | 58 | 4,26 | |
| | 63 | 2,13 | |
| | 64 | 12,77 | |
| | 65 | 4,26 | |
| | 66 | 27,66 | |
| | 68 | 4,26 | |
| | 70 | 6,38 | |
| | 72 | 6,38 | |
| | 76 | 4,26 | |
| | 77 | 6,38 | |
| | 78 | 2,13 | |
| | 81 | 2,13 | |

Tabelle 26: Marktabdeckung Haftkraft

| >1115mm | Differenz [mm] | % | >1135mm |
|---|---|---|---|
| | 940 | 3,23% | |
| | 985,6 | 3,23% | |
| | 990 | 6,45% | |
| | 1020 | 3,23% | |
| | 1040 | 3,23% | |
| | 1044 | 3,23% | |
| | 1052 | 3,23% | |
| | 1067 | 3,23% | |
| | 1080 | 3,23% | |
| | 1100 | 3,23% | |
| | 1139 | 3,23% | |
| | 1140 | 3,23% | |
| | 1143 | 3,23% | |
| | 1150 | 3,23% | |
| | 1160 | 3,23% | |
| | 1180 | 3,23% | |
| 64,56% | 1193,8 | 3,23% | 64,56% |
| | 1200 | 22,58% | |
| | 1210 | 3,23% | |
| | 1220 | 6,45% | |
| | 1240 | 3,23% | |
| | 1280 | 3,23% | |
| | 1870 | 3,23% | |

Tabelle 27: Marktabdeckung Bremslänge

| >107mm | Gesamthöhe (mm) | % | >117mm |
|---|---|---|---|
| | 97 | 2,13% | |
| | 100 | 4,26% | |
| | 105 | 2,13% | |
| | 106 | 2,13% | |
| | 108 | 4,26% | |
| | 110 | 6,38% | |
| | 113 | 2,13% | |
| | 115 | 2,13% | |
| | 116 | 6,38% | |
| | 117,5 | 2,13% | |
| | 118 | 10,64% | |
| | 118,5 | 4,26% | |
| 89,39% | 119 | 2,13% | |
| | 122 | 2,13% | |
| | 123 | 4,26% | 68,11% |
| | 126 | 17,02% | |
| | 129 | 2,13% | |
| | 131 | 2,13% | |
| | 132 | 4,26% | |
| | 134 | 14,89% | |
| | 138 | 2,13% | |

Tabelle 28: Marktabdeckung Magnethöhe

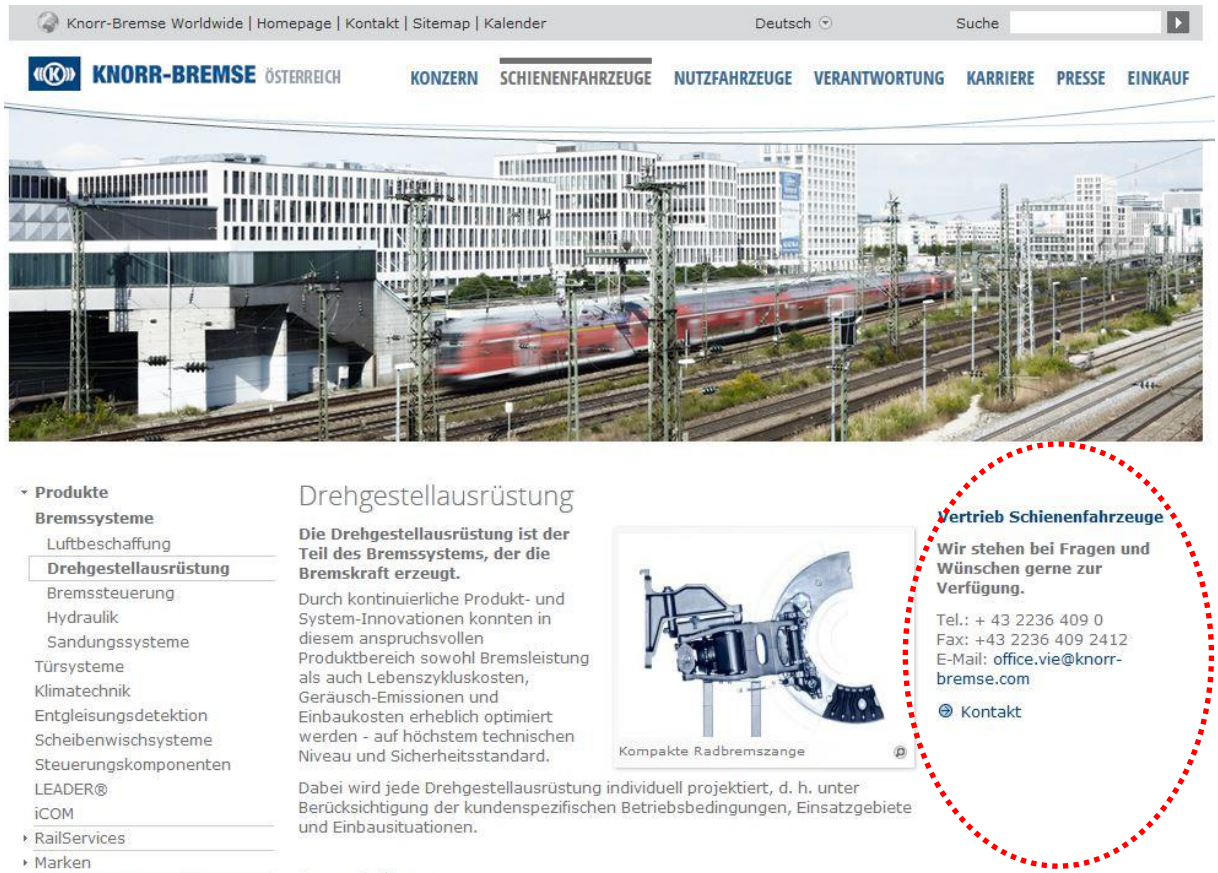



**Abbildung 6-4: Bild der Knorr-Bremse Website I**

Klotzbremseinheiten

- Ausführung mit Einzel- oder Doppelklotz
- Robuste Bauweise für unterschiedlichste klimatische Bedingungen
- Wirtschaftliche Lösung für eine Vielzahl von Anwendungsfällen

UIC-Bremszylinder und Gestängesteller

- Verschiedene Größen für unterschiedliche Bremsanforderungen
- Sehr robust, wartungsarm

Schienenbremsen

- Vom Kraftschluss zwischen Rad und Schiene unabhängige Bremseinrichtung
- Erhöhung der Gesamtbremsleistung des Fahrzeugs
- Ausführung als Magnet- oder Wirbelstrombremse
- Ausführung in Hoch- oder Tiefaufhängung

Konventionelle oder kompakte Bremsgeräte für

- alle vierachsigen Güterwagen mit Y25 Drehgestell
- Güterwagen mit verringerter Lärmemission

**Abbildung 6-5: Bild der Knorr-Bremse Website II**

# 7 Literaturverzeichnis

## 7.1 Verwendete Literatur

Adam, D., Johannwille, U.: Komplexitätsmanagement, 1. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998

Backhaus, K., Voeth, M.: Industriegütermarketing, 9. Auflage, Vahlen Verlag, München, 2010

Backmann, R.: Straßenbahnen, Stadtbahnen & U-Bahnen, Grundlagen der Fahrzeugtechnik und Infrastruktur im ÖPNV in Deutschland, 1. Auflage, Huss, München, 2010

Berekoven, L., Eckert, W., Ellenrieder, P.: Marktforschung, Methodische Grundlagen und praktische Anwendung, 11. Auflage, Gabler, Wiesbaden, 2006

Böhler, H.: Marktforschung, 3. Auflage, Kohlhammer, Stuttgart, 2004

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung, Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit, 4. Auflage, Hanser Verlag, München, 2009

Esch, F., Herrmann, A., Sattler, H.: Marketing, Einen managementorientierte Einführung, 2. Auflage, Vahlen, München, 2008

Festge, F.: Kundenzufriedenheit und Kundenbindung im Investitionsgüterbereich, Ermittlung zentraler Einflussfaktoren, 1. Auflage, Deutscher Universitäts- Verlag, Wiesbaden, 2006

Godefroid, P.: Business-to-Business-Marketing, 2.Auflage, Kiehl Verlag, Ludwigshafen, 2000

Groos, S.: Integriertes Zielkostenmanagement, Ausrichtung der Variantenvielfalt auf die Kundenbedürfnisse durch Leistungssysteme im Business-to-Business Markt, Dissertation, Universität St. Gallen, 1997

Hüttner, M., Schwartnig, U.: Grundzüge der Marktforschung, 7. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2002

Kallenbach, E., Eick, R.: Elektromagnete, Grundlagen, Berechnung, Entwurf und Anwendung, 3. Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2008

Klein, B.: QFD – Quality function deployment, Konzept, Anwendung und Umsetzung für Produkte und Dienstleistungen, 1. Auflage, expert Verlag, Wien, 1999

Knorr-Bremse Group: Zahlen&Fakten 2013, 2013

Knorr-Bremse GmbH: Schienenbremsen/ Track Brakes, 1. Auflage, KNORR-BREMSE Fachbibliothek, München, 2004

Kuhn, M., Zajontz, Y.: Industrielles Marketing, 1. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2011

Lindemann, Udo: Methodische Entwicklung technischer Produkte, Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005

Marx, D.: Nachfrageorientierte Produktgestaltung unter Anwendung des Kano-Modells der Kundenzufriedenheit für ausgewählte Produkte der IT/TK-Industrie, 1. Auflage, Diplomarbeit an der Johannes Gutenberg Universität, Grin-Verlag , Mainz, 2007

Meier, M.: Prinzipielle Gesamtlösung, the key to innovation, 1. Auflage, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Mechanische Systeme, Zentrum für Produkte-Entwicklung, Zürich, 2002

Naefe, P.: Einführung in das methodische Konstruieren, 1. Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2009

Olbrich, R., Battenfeld, D.: Komplexität aus Sicht des Marketing und der Kostenrechnung, Forschungsbericht der Fernuniversität Hagen, Olbrich (Hrsg.), Hagen, 2000

Rapp, T.: Produktstrukturierung, Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und –plattformen, 1. Auflage, Dissertation der Universität St. Gallen, DUV-Verlag, St. Gallen, 1999

Saatweber, J.: Kundenorientierung durch Quality Function Deployment, Systematisches Entwickeln von Produkten und Dienstleistungen, 1. Auflage, Hanser, München, 1997

Schäppi, B., Andreasen, M., Kirchgeorg, M., Radermacher, F.: Handbuch Produktentwicklung, 1. Auflage, Hanser, München, 2005

Schuh, G.: Produktkomplexität managen, Strategien, Methoden, Tools, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2005

SCI Verkehr GmbH: Light Rail Vehicles - Weltweite Marktentwicklungen, Forecast, Bestände, Hersteller, Infrastruktur- und Fahrzeugprojekte, Multiclient Studie, 2010

Schwarze, J.: Kundenorientiertes Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie, 1. Auflage, Dissertation der Universität Dortmund, DUV-Verlag, Dortmund, 2003

Strasser, Christoph: Einsatz von Methoden in der Produktentwicklung, Ein Beitrag zur praxisgerechten Auswahl und Anwendung, Dissertation , Technische Universität Wien, 2004

VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung: QFD, Produkte und Dienstleistungen marktgerecht gestalten, Tagung Düsseldorf 29. Und 30. Oktober 1998, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1998

VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung: Plattformkonzepte auch für Kleinserien und Anlagen?, Tagung Stuttgart 12. Und 13. Oktober 1999, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1999

Viehbahn, U.: Technisches Freihandzeichnen, Lehr- und Übungsbuch, 7. Auflage, Springer, Heidelberg, 2009

Wildemann, Horst: Kundenorientierte Produktentwicklung in der Automobilindustrie, TCW Standpunkt, 27 (2004)

## 7.2 Weiterführende Literatur

Arbeitsgruppe Deutsche Bahn/ Eisenbahnbundesamt/ Verband der Bahnindustrie in Deutschland e.V.: Ergänzungsregelung Nr. B012 für die technische Gestaltung der Magnetschienenbremse in Schienenfahrzeugen, 2010

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen, Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung- BOStrab, 1987

DIN EN 60352-2:2014-04: Lötfreie Verbindungen - Teil 2: Crimpverbindungen - Allgemeine Anforderungen, Prüfverfahren und Anwendungshinweise (IEC 60352-2:2006 + A1:2013); Deutsche Fassung EN 60352-2:2006 + A1:2013, Beuth Verlag, 2014

Hoischen, H., Hesser, W.: Technisches Zeichnen, Grundlagen, Normen, Beispiele, Darstellende Geometrie, 33. Auflage, Cornelsen, 2011

Kurz, U., Wittel, H.: Technisches Zeichnen, Grundlagen, Normung, Übungen und Projektaufgaben, 26. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014

# 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Interne und externe Komplexität ..... 5
Abbildung 2-2: Beispiele für positive und negative Wirkungen der Komplexität ..... 9
Abbildung 2-3: Kostenoptimale Produktvielfalt ..... 10
Abbildung 2-4: Differenzial versus Integralbauweise ..... 13
Abbildung 2-5: Arten von Modularität ..... 16
Abbildung 2-6: Kano-Modell ..... 23
Abbildung 2-7: MVM-Schema ..... 26
Abbildung 2-8: Idealtypischer Produktlebenszyklus ..... 29
Abbildung 2-9: Konzept des Zielkostenmanagements ..... 31
Abbildung 2-10: Geschäftstypologien auf Industriegütermärkten ..... 41
Abbildung 3-1: Organigramm der Abteilung ..... 47
Abbildung 3-2: Schema einer Magnetschienenbremse ..... 47
Abbildung 3-3: Verlauf der magnetischen Feldlinien im Querschnitt eines Starrmagneten ..... 48
Abbildung 3-4: Bestandteile der Magnetschienenbremse in Tiefaufhängung ..... 49
Abbildung 3-5: Schema der Angebotserstellung und Auftragserteilung ..... 52
Abbildung 3-6: Flussdiagramm der Konstruktion ..... 53
Abbildung 3-7: Zwischenlager Magnetkörper ..... 53
Abbildung 3-8: Montage Magnetkörper, Wickeln und Bandagieren ..... 54
Abbildung 3-9: Aufbau des Magnetkörpers (Querschnitt) ..... 56
Abbildung 3-10: Lackierstraße Knorr-Bremse Mödling ..... 57
Abbildung 3-11: Endmontage Mg-Bremse ..... 57
Abbildung 3-12: Flussdiagramm des Montageprozesses ..... 58
Abbildung 3-13: Kundenzufriedenheit mit der Qualität ..... 58
Abbildung 3-14: Kundenzufriedenheit mit dem Preis ..... 59
Abbildung 3-15: Kundenzufriedenheit mit der Lieferzeit ..... 59
Abbildung 3-16: Kundenzufriedenheit mit der Durchlaufzeit von Reparaturen ..... 60
Abbildung 3-17: Morphologischer Kasten zur Berechnung der Varianten ..... 63
Abbildung 3-18: Variantenbaum Ist-Situation ..... 64
Abbildung 3-19: Projektumfeld der Standardisierung ..... 65
Abbildung 3-20: Begrenzung der Breite der Mg-Bremse ..... 72
Abbildung 3-21: Modulare Struktur der Magnetschienenbremse I ..... 76
Abbildung 3-22: Modulare Struktur der Magnetschienenbremse II ..... 76
Abbildung 3-23: Sachmerkmalleiste Druckfedern (Deckblatt) ..... 77
Abbildung 3-24: Datenblatt Sachmerkmalleiste Druckfeder Typ 5 ..... 78
Abbildung 3-25: Sachmerkmalleiste Magnetkörper ..... 79
Abbildung 3-26: Sachmerkmalleiste Schnittstelle Magnetkörper/ Schienenschuh ..... 80
Abbildung 3-27: Sachmerkmalleiste Schienenschuh ..... 81

Abbildung 3-28: Sachmerkmalleiste Mitnehmer ....81
Abbildung 3-29: Sachmerkmalleiste Magnetkörper/ Mitnehmer ....82
Abbildung 3-30: Sachmerkmalleiste Druckfeder....83
Abbildung 3-31: Sachmerkmalleiste Schnittstelle Druckfeder/ Mitnehmer bzw. Magnetkörper ....83
Abbildung 3-32: Sachmerkmalleiste Projektschnittstelle ....84
Abbildung 3-33: Histogramm der Haftkraft ....88
Abbildung 3-34: Trend der Haftkraft ....88
Abbildung 3-35: ABC Analyse der Haftkraft....90
Abbildung 3-36: Histogramm der Magnetlängen ....92
Abbildung 3-37: Trend der Magnetlänge ....92
Abbildung 3-38: Minimaler Einbauraum der Magnetschienenbremse ....93
Abbildung 3-39: Histogramm der Achsabstände ....94
Abbildung 3-40: Histogramm der Raddurchmesser....94
Abbildung 3-41: Histogramm des minimalen Einbauraums ....95
Abbildung 3-42: Histogramm der Gesamthöhe....96
Abbildung 3-43: Trend der Gesamthöhe ....96
Abbildung 3-44: Histogramm Mitnehmerabstand....97
Abbildung 3-45: Histogramm der Relation Magnetlänge/ Abstand Mitnahmeflächen (Mitnehmerbock)....98
Abbildung 3-46: Histogramm der Relation Magnetlänge/ Zugbügel ....99
Abbildung 3-47: Histogramm der Druckfederabstände (Mitnahmebock) ....100
Abbildung 3-48: Histogramm Relation des Druckfederabstands (Mitnahmebock)...101
Abbildung 3-49: Histogramm des Druckfederabstands (Zugbügel) ....102
Abbildung 3-50: Histogramm des Betriebsstrom ....102
Abbildung 3-51: Trend des Betriebsstroms....103
Abbildung 3-52: Einsatz der Bauformen des Magnetkörpers....107
Abbildung 3-53: Einsatz der Dreiteiler ....108
Abbildung 3-54: Verwendete Betriebsspannung der Projekte ....109
Abbildung 3-55: Position der Kabelanbindung....109
Abbildung 3-56: Kabelaustrittsrichtungen ....110
Abbildung 3-57: Kabelabzweigflansch....110
Abbildung 3-58: Kabelaustritt in Y-Richtung ....111
Abbildung 3-59: Kabelaustritt in Z-Richtung ....112
Abbildung 3-60: Kabelaustritt in X/Z-Richtung....112
Abbildung 3-61: Entwicklung der Mitnehmerart ....114
Abbildung 3-62: Anzahl der Verschraubungen ....115
Abbildung 3-63: Angeschweißter Mitnahmebock....116
Abbildung 3-64: Angeschweißter Mitnahmebock (Querschnitt)....116
Abbildung 3-65: Maximalbohrbild (Draufsicht)....116
Abbildung 3-66: Verschobenes Bohrbild (Draufsicht)....118

Abbildung 3-67: Wange mit einfacher Schnittstelle (Seitenansicht).....118
Abbildung 3-68: Einfache Schnittstelle (Querschnitt).....119
Abbildung 3-69: Wange mit versenkter Schnittstelle (Seitenansicht).....119
Abbildung 3-70: Versenkte Schnittstelle (Querschnitt) .....119
Abbildung 3-71: Schnittstelle für Mitnahmebock (Draufsicht) .....120
Abbildung 3-72: Anbindung per Schweißnaht.....120
Abbildung 3-73: Anbindung per Verschraubung .....121
Abbildung 3-74: Integrierter Zugbügel (Seitenansicht) .....121
Abbildung 3-75: Geschweißter Mitnahmebock .....124
Abbildung 3-76: Geschmiedeter Mitnahmebock .....124
Abbildung 3-77: Zugbügel als Biegeteil (Draufsicht/Seitenansicht) .....126
Abbildung 3-78: Zugbügel als Schweißteil (Draufsicht/Seitenansicht).....127
Abbildung 3-79: Zugbügel als Schweißteil mit Schmiedeteil (Draufsicht/Seitenansicht) .....128
Abbildung 3-80: Zugbügel als Schweißteil mit Biegeteil (Draufsicht/Seitenansicht) 128
Abbildung 3-81: Zugbügel mit Verschleißblech und Verschleißplatten (Draufsicht) 130
Abbildung 3-82: Mitnahmebock mit Verschleißblech und Verschleißplatten (Seitenansicht).....130
Abbildung 3-83: Druckfederanbindung an Magnetkörper .....131
Abbildung 3-84: Druckfederanbindung an Mitnahmebock .....131
Abbildung 3-85: Druckfeder Typ 5 .....133
Abbildung 3-86: Druckfeder Typ 6 (mit Faltenbalg) .....134
Abbildung 3-87: Lochabstände der Schnittstelle Magnetkörper-Schienenschuh .....135
Abbildung 3-88: Überstand der Schienenschuhe .....136
Abbildung 3-89: Histogramm Verschleißhöhe Schienenschuhe .....137
Abbildung 3-90: Verschleißhöhe.....138
Abbildung 3-91: Schienenschuhe mit Zwischenleiste (Querschnitt) .....138
Abbildung 3-92: CAD Zeichnung Magnetschienenbremse (Mitnahmebock) .....140
Abbildung 3-93: CAD Zeichnung Magnetschienenbremse (Zugbügel).....141
Abbildung 5-1: Variantenbaum (ideal) .....156
Abbildung 6-1: Magnetschienenbremse im Drehgestell einer Straßenbahn .....158
Abbildung 6-2: Spurhalter mit Gliedermagneten (blau).....158
Abbildung 6-3: Typische Aufschieferungen bei Mg-Bremsen mit Polschuhen aus Stahl .....159
Abbildung 6-4: Bild der Knorr-Bremse Website I .....161
Abbildung 6-5: Bild der Knorr-Bremse Website II .....162

# 9 Formelverzeichnis

Formel 1: Bremskraft .....50
Formel 2: Kombinatorik der Varianten .....63
Formel 3: Wurzel-n Regel .....90
Formel 4: Minimaler Einbauraum .....93
Formel 5: Relation Magnetlänge/ Mitnehmerabstand .....98
Formel 6: Relation Magnetlänge/ Abstand Mitnahmeflächen (Zugbügel) .....99
Formel 7: Relation der Magnetkörperlänge/ Druckfederaufhängung (Mitnahmebock) .....100
Formel 8: Relation der Mitnahmeflächen/ Druckfederaufhängung (Zugbügel) .....101
Formel 9: Potentielle Marktabdeckung .....142

# 10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Multiplikatoreffekt der Kundenzufriedenheit ..... 25
Tabelle 2: ABC Analyse der Haftkraft ..... 89
Tabelle 3: Clustern der Haftkraft ..... 91
Tabelle 4: Minimaler Einbauraum der Drehgestelle (prozentual) ..... 95
Tabelle 5: Mitnahmeflächen des Mitnahmebocks ..... 98
Tabelle 6: Mitnahmeflächen des Zugbügels ..... 99
Tabelle 7: Matrix Betriebsstrom-Fahrzeugbauer I ..... 103
Tabelle 8: Matrix Betriebsstrom-Fahrzeugbauer II ..... 104
Tabelle 9: Aufbau Nutzwertanalyse ..... 106
Tabelle 10: Wertskala nach Richtlinie VDI 2225 ..... 106
Tabelle 11: Nutzwertanalyse "Anschluss des Magnetkörper" ..... 113
Tabelle 12: Nutzwertanalyse "Varianz der Position des Mitnahmebocks" ..... 118
Tabelle 13: Nutzwertanalyse "Schnittstelle Magnetkörper-Mitnehmer (Mitnahmebock)" ..... 120
Tabelle 14: Nutzwertanalyse "Schnittstelle Magnetkörper-Mitnehmer (Zugbügel)" ..... 122
Tabelle 15: Nutzwertanalyse "Mitnahmebock" ..... 125
Tabelle 16: Nutzwertanalyse "Zugbügel" ..... 129
Tabelle 17: Nutzwertanalyse "Schnittstelle Magnetkörper/Mitnehmer-Druckfeder ..... 132
Tabelle 18: Nutzwertanalyse "Druckfeder" ..... 134
Tabelle 19: Nutzwertanalyse "Material Schienenschuh" ..... 136
Tabelle 20: Nutzwertanalyse "Überstand Schienenschuh" ..... 137
Tabelle 21: Nutzwertanalyse "Material Zwischenleiste" ..... 139
Tabelle 22: Gesamtmarktabdeckung Version Mitnahmebock ..... 143
Tabelle 23: Gesamtmarktabdeckung Version Zugbügel ..... 143
Tabelle 24: Herstellkosten Magnetschienenbremse I (Mitnahmebock) ..... 146
Tabelle 25: Herstellkosten Magnetschienenbremse II (Zugbügel) ..... 147
Tabelle 26: Marktabdeckung Haftkraft ..... 159
Tabelle 27: Marktabdeckung Bremslänge ..... 160
Tabelle 28: Marktabdeckung Magnethöhe ..... 160

# 11 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| Abs. | Absatz |
| AG | Aktiengesellschaft |
| B2B | Business to Business |
| BOStrab | Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung |
| bspw. | beispielsweise |
| bzw. | beziehungsweise |
| ca. | circa |
| CNC | Computerized Numerical Control |
| CoC | Center of Competence |
| const. | konstant |
| °C | Grad Celsius |
| € | Euro |
| d.h. | das heißt |
| etc. | et cetera |
| e.V. | eingetragener Verein |
| evtl. | eventuell |
| f. | folgende |
| ff. | folgende folgende |
| ggf. | gegebenenfalls |
| kg | Kilogramm |
| kN | Kilo Newton |
| ICE | Intercity Express |
| LCC | LifeCycle Cost |
| LRV | Light Rail Vehicle |
| mm | Millimeter |
| N | Newton |
| Nr. | Nummer |
| ÖPNV | Öffentlicher Personennahverkehr |
| p.a. | per annum |
| PLM | Product Lifecycle Management |
| s. | siehe |
| s.g. | so genannt |
| s.o. | siehe oben |
| SML | Sachmerkmalleiste |
| Stk. | Stück |
| s.u. | Siehe unten |

| | |
|---|---|
| USP | Unique Selling Proposition |
| vgl. | vergleiche |
| VOC | Voice of Customer |
| z.B. | zum Beispiel |