



Thomas Atzlinger, BSc

Wertanalytische Betrachtung eines elektrischen Energiespeichersystems für E-Motorräder

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs

Studienrichtung

Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

F066482

Technische Universität Graz

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer

Graz, März 2016

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Danksagung

Die vorliegende Abschlussarbeit wurde in Kooperation mit der KTM AG und dem Institut für Fahrzeugsicherheit der Technischen Universität Graz unter der wissenschaftlichen Betreuung des Institutes für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung, geleitet von Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer, erarbeitet.

Ich möchte mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer für die Durchführung dieser Diplomarbeit am Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung herzlich bedanken.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Betreuern von Seiten des Institutes Herrn Dipl.-Ing. Thomas Böhm und Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Peter Schnöll für die fachlichen und methodischen Hilfestellungen sowie die intensive Betreuung während des gesamten Projektes bedanken.

Ein großer Dank gilt auch meinen Betreuern des Institutes für Fahrzeugsicherheit Herrn Dipl.-Ing. Christian Ellersdorfer und Herrn Dott. mag. Alessio Sevarin für die fachliche Unterstützung hinsichtlich fahrzeugsicherheitstechnischer Belange sowie der Koordination der Kontakte mit den Ansprechpersonen bei der KTM AG.

Stellvertretend für meine Betreuer seitens der KTM AG möchte ich mich bei Frau Nina Deitermann für die hervorragende Zusammenarbeit und die aktive Teilnahme an den durchgeführten Workshops bedanken.

Besonders bedanken möchte ich mich auch noch bei meinen Studienkollegen, welche mich während meiner gesamten Studienzeit in Graz begleitet, unterstützt und mit mir zahlreiche unvergessliche Momente durchlebt haben.

Schlussendlich möchte ich mich noch bei meiner Familie für die große Unterstützung auf meinem bisherigen Lebensweg bedanken.

Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Anwendung des Wertanalyseverfahrens auf das Energiespeichersystem von elektrisch angetriebenen Motorrädern. Die Wertanalyse ist eine Methode zur systematischen Untersuchung von Objekten oder Prozessen mit dem Ziel, dessen Wertschöpfung unter ständigem Fokus auf die Kundenanforderungen zu verbessern.

E-Motorräder spielen aufgrund ihrer zahlreichen Vorteile im Offroad-Segment eine immer wichtigere Rolle. Diese leistungsstarken Motorräder lassen sich lärmarm, einfach und umweltschonend- vom Anfänger bis hin zum Profi- durch das Gelände bewegen. Die KTM AG produziert am Standort in Mattighofen diverse rennsporttaugliche Modelle von Straßen- und Geländemotorrädern, darunter auch drei elektrisch angetriebene. Zur Etablierung der Marktführerschaft in diesem Segment möchte die KTM AG unter anderem den verwendeten Energiespeicher weiter optimieren.

Im Zuge dieser Arbeit wurde das elektrische Energiespeichersystem des KTM Freeride-E Modells einer wertanalytischen Betrachtung nach ÖNORM EN 12973 mit dem Schwerpunkt in den Bereichen Sicherheit, Leichtbau und Kosten unterzogen. Nach einer ausführlichen Analyse der Ausgangssituation wurde im Rahmen eines Workshops die Funktionsstruktur des Energiespeichers unter Berücksichtigung der Kundenanforderungen erarbeitet, strukturiert und grafisch dargestellt. Aufbauend auf der Bewertung der Funktionserfüllungsgrade wurden für ausgewählte Funktionen mit Hilfe von verschiedensten Analyse- und Kreativitätstechniken zahlreiche Ideen zur Verbesserung des Energiespeichers entwickelt. Die gefundenen Lösungsansätze wurden im Anschluss in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern nach ihrem Potential bewertet, schrittweise konkretisiert und weiterentwickelt.

Schlussendlich wurde aus den besten Ideen ein innovatives Lösungskonzept erarbeitet, welches der KTM AG für weiterführende Betrachtungen im Rahmen der Entwicklung einer neuen Generation von Energiespeichern vorgestellt wurde. Die vollständige Dokumentation dieses Wertanalyseprojektes bietet neben dem vorgestellten Lösungskonzept einen Leitfaden, welcher als Grundlage für weiterführende Betrachtungen herangezogen werden kann.

Diese Masterarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der KTM AG und dem Institut für Fahrzeugsicherheit der Technischen Universität Graz unter der wissenschaftlichen und methodischen Betreuung des Institutes für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung der TU Graz erstellt.

Abstract

The purpose of this thesis was to carry out a Value Analysis according to ÖNORM EN 12973 on the Energy Storage of electrically driven Motorcycles from KTM AG with a special emphasis on the factors safety, lightweight design and cost in order to identify cost- saving as well as improvement opportunities to support the development of a future generation of Energy Storages.

Electrically driven motorcycles play because of plenty of major benefits a more and more vital role in Offroad-Motorsports. Driven by high-torque electrical motors they offer a lot of fun to can beginners as well as professional riders. Of capital importance is the benefit of being low-noise, easy and environmental friendly in operation.

The KTM AG produces several models of On- and Offroad Motorcycles that are built to be comprehensively able to participate in races without any modifications. KTM stands for unconditional performance, quality and reliability and offers in addition to plenty of gasoline powered motorcycles also three electrically driven models. All three models are powered by the same Energy Storage, the so called "PowerPack".

After a detailed analysis of the initial situation a workshop was carried out in order to identify the functions of the energy storage and their individual performance level. Based on these results numerous ideas how to improve the PowerPack were developed using different creativity techniques. The numerous ideas found were screened according to their feasibility and potential for improvement and continuously specified by the project team carrying out a value-benefit analysis.

In a final step a concept for a new generation of energy storages was generated by combining the most promising ideas. This concept was presented to KTM for further considerations within the development process of future energy storages.

On top of the concept also the detailed documentation of the carried out Value Analysis project offers a lot of potentials for KTM by picking up this methodology and its tools for the product development process.

This thesis was completed in cooperation with the KTM AG and the Vehicle Safety Institute under the scientific supervision of the Institute of Industrial Management and Innovation Research at the Graz University of Technology.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Die Unternehmung KTM AG	1
1.2	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	3
1.3	Vorgehensweise.....	4
2	Die Wertanalyse	5
2.1	Value Management	5
2.2	Die Wertanalyse als Tool im Value Management.....	6
2.2.1	Definition	6
2.2.2	Entstehung	6
2.2.3	Ziele und Anwendungsgebiete.....	7
2.2.4	Erfolgsfaktoren	8
2.2.5	Wert und Funktion	9
2.2.6	Wertanalyse Team	11
2.2.7	Wertanalyse-Arbeitsplan.....	12
2.2.8	Begriffsbestimmungen.....	14
2.3	Unterstützende Methoden und Tools	21
2.3.1	SWOT Analyse	21
2.3.2	5-WHY Methode.....	21
2.3.3	Ursachen-Wirkungsanalyse	21
2.3.4	Benchmarking	21
2.3.5	Brainstorming	22
2.3.6	TRIZ	22
2.3.7	SCAMPER Methode.....	22
2.3.8	LEAN Verschwendungsarten.....	22
2.3.9	Nutzwertanalyse	22
3	Wertanalyseprojekt	23
3.0	Phase 0 – Vorbereitung des Projektes	23
3.1	Phase 1 – Projektdefinition	23
3.1.1	WA- Objekt	23
3.1.2	Systemabgrenzung.....	24
3.1.3	Grobziele.....	24
3.1.4	Mitwirkende	24
3.2	Phase 2 – Planung	25
3.3	Phase 3 – Umfassende Daten über Studie sammeln.....	26
3.3.1	Modellübersicht KTM Freeride- E	26
3.3.2	Antriebseinheit.....	27
3.3.3	KTM PowerPack.....	28

3.3.4	Analyse des Aufbaus des bestehenden PowerPack	29
3.3.5	Grundlagen zu Lithium- Ionen Akkuzellen.....	33
3.3.6	Lithium- Ionen Zellen des Typs 18650	35
3.3.7	SWOT-Analyse des PowerPack	37
3.3.8	Konkurrenzvergleich	40
3.4	Phase 4 – Funktionen- und Kostenanalyse.....	52
3.4.1	Vorbereitung	52
3.4.2	Funktionsanalyse	53
3.4.3	Funktionsbaum.....	53
3.4.4	Funktionsbeschreibung.....	55
3.4.5	Funktionserfüllungsgrad	56
3.4.6	Kostenanalyse	60
3.4.7	Funktionsbeteiligungsmatrix	61
3.4.8	Betrachtete Funktionen.....	61
3.4.9	Detailziele.....	62
3.5	Phase 5 – Sammeln und Finden von Lösungsideen	63
3.5.1	Vorgehen.....	63
3.5.2	Kostenerwartungen erfüllen	64
3.5.3	Energie speichern.....	71
3.5.4	Crashsicherheit gewährleisten	73
3.5.5	Gewichtsanforderungen erfüllen	77
3.5.6	Ladefähigkeit erhalten	81
3.5.7	Montage ermöglichen	88
3.5.8	Recycling ermöglichen.....	88
3.5.9	Zusammenfassung der Ideen	89
3.6	Phase 6 – Bewertung der Lösungsideen.....	90
3.6.1	Vorgehen.....	90
3.6.2	Vorauswahl nach Potential	90
3.6.3	Erstellen der Ideenkarten.....	90
3.6.4	Bestimmung der Bewertungskriterien und Gewichtung.....	91
3.6.5	Durchführung der Nutzwertanalyse.....	92
3.6.6	Auswertung der Nutzwertanalyse	93
3.6.7	Zusammenfassung	96
3.7	Phase 7 – Entwicklung Lösungskonzept	97
3.7.1	Lösungskonzept für neuen Zellhalter	97
3.7.2	Lösungskonzept neuer Stromableiter	99
3.7.3	Lösungskonzept zur Verbesserung der Crashsicherheit	100
3.7.4	Zusammenfassung	102
3.8	Phase 8 – Präsentation der Ergebnisse	104
3.9	Phase 9 – Realisierung	104
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	105

5	Verzeichnisse	107
5.1	Literaturverzeichnis	107
5.2	Internetquellenverzeichnis	109
5.3	Abbildungsverzeichnis	112
5.4	Tabellenverzeichnis	115
5.5	Abkürzungsverzeichnis	117
5.6	Formelverzeichnis	117
6	Anhang A	A1
6.1	Vorgehensweisen der unterstützenden Methoden und Tools	A 1
6.1.1	SWOT- Analyse.....	A 1
6.1.2	5-WHY Methode	A 2
6.1.3	Ursachen-Wirkungsanalyse	A 2
6.1.4	Benchmarking	A 3
6.1.5	Brainstorming	A 4
6.1.6	TRIZ	A 5
6.1.7	SCAMPER Methode.....	A 8
6.1.8	Nutzwertanalyse	A 9
7	Anhang B	B1
7.1	Konkurrenzvergleich	B 1
7.2	Unterlagen zu Funktionenanalyse	B 3
7.2.1	Funktionsbeschreibung.....	B 3
7.2.2	Funktionsbeteiligungsmatrix	B 6
7.3	Unterlagen zu Ideengenerierung.....	B 7
7.3.1	Allgemeine Ansätze zur Kostenreduzierung	B 7
7.3.2	5-WHY Analyse Crashesicherheit.....	B 10
7.3.3	5-WHY Analyse Ladefähigkeit	B 11
7.3.4	Ursachen-Wirkungsanalysen Crashesicherheit gewährleisten.....	B 11
7.3.5	Zusammenfassung der Lösungsideen	B 13

1 Einleitung

Im Rahmen dieser Arbeit wird das elektrische Energiespeichersystem von E-Motorrädern der Marke KTM einer wertanalytischen Betrachtung nach dem in ÖNORM EN 12973 festgelegten Vorgehen unterzogen. In diesem Kapitel wird die Unternehmung KTM sowie die Aufgabenstellung und Vorgehensweise bei der Durchführung der Wertanalyse (WA) vorgestellt.

1.1 Die Unternehmung KTM AG

„Ready to Race“¹, die perfekte Beschreibung der Unternehmensphilosophie von KTM zur Erzeugung von rennsporttauglichen Motorrädern ab Werk. Genau dieser Leitspruch und die uneingeschränkte Leidenschaft für Motorräder vom Entwicklungsingenieur bis hin zum Fahrer machen KTM erfolgreich. Dies bestätigt sich seit vielen Jahren, einerseits durch zahlreiche Welt- und Europameistertitel im Offroad- und Street-Motorradbereich, sowie andererseits durch kontinuierlich ausgezeichnete Leistungen und Top-Platzierungen bei den härtesten Rennen der Welt.²

Im Werk in Mattighofen (siehe Abbildung 1-1) werden von der KTM Motorrad AG Gelände- und Straßenmotorräder der Marken „KTM“ und „Husqvarna“ (vor 2013 „Husaberg“) entwickelt, produziert und von dort aus an ein weltweit reichendes Netz von über 1700 eigenständigen Händlern und Importeuren vertrieben.



Abbildung 1-1: KTM Headquarters in Mattighofen³

KTM ist im Offroad-Segment Weltmarktführer und hat seit den 1990er Jahren die Produktpalette (siehe Abbildung 1-2) durch zahlreiche Straßenmotorräder kontinuierlich erweitert. KTM bietet zurzeit neben Offroad- und Straßenmotorrädern mit einem

¹ <http://company.ktm.com>, Zugriffsdatum: 22.06.2015

² vgl. <http://company.ktm.com>, Zugriffsdatum: 22.06.2015

³ www.internationaltradeneews.com, Zugriffsdatum: 19.08.2015

Hubraum von 125 bis 1300ccm zusätzlich drei elektrisch angetriebene Motorräder sowie ein zweispuriges Straßenfahrzeug an.⁴



Abbildung 1-2: Auszug aus der KTM Produktpalette: Modelle 500 EXC, 1050 Adventure, 1090 RC8R, X-BOW R⁵

Auch in Zukunft möchte KTM die Marke durch erfolgreiches Engagement im Rennsport stärken und die daraus gewonnenen Erkenntnisse direkt bei der Entwicklung von Serienprodukten einsetzen. KTM setzt beispielsweise zwei Schwerpunkte in der Forschung und Entwicklung im Bereich „Leichtbau“ und „E-Mobility“. Ein weiterer Punkt der Zukunftsstrategie von KTM ist die Erschließung neuer Märkte durch eine marktgerechte Anpassung und Erweiterung des Produktportfolios. Zu diesem Zweck kooperiert KTM beispielsweise seit 2007 mit der indischen Bajaj-Gruppe zur Entwicklung von Straßenmotorrädern im Einstiegssegment. Einen weiteren Schwerpunkt setzt KTM in die Optimierung der weltweiten Zuliefer- und Vertriebsstrukturen.⁶

⁴ vgl. <http://company.ktm.com>, Zugriffsdatum: 22.06.2015

⁵ www.ktm.com, Zugriffsdatum: 19.08.2015

⁶ vgl. <http://company.ktm.com>, Zugriffsdatum: 22.06.2015

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, anhand der Anwendung des Wertanalyseverfahrens nach ÖNORM EN 12973 auf das bestehende Energiespeichersystem der KTM Freeride-E, mögliche Verbesserungs- und Kostenreduktionspotentiale zu identifizieren. Ausgehend von einer Analyse der Funktions- und Kostenstruktur des bestehenden Objektes sollen für die gefundenen Potentiale verschiedenste Lösungsideen und in weiterer Folge konkrete Lösungsvorschläge erarbeitet werden. Aufgrund der bereits langen Entwicklungszeit und ständiger Optimierungen des „PowerPacks“ durch KTM in Zusammenarbeit mit deren Lieferanten sind keine großen Kosteneinsparungen bei der Fertigung und Montage der aktuellen Ausführung zu erwarten. Ziel dieser Arbeit ist es daher, alternative Konzepte zur Realisierung der Bauteile, des gesamten Objektes sowie der Fertigung und Montage zu finden und nach deren Potential zu bewerten, um in weiterer Folge entsprechende Lösungskonzepte vorstellen und Empfehlungen geben zu können.

Durch die vollständige Durchführung des bei KTM bisher unbekanntes Wertanalyseverfahrens werden ebenfalls dessen Potentiale beim Einsatz im Entwicklungsprozess aufgezeigt, sodass die Wertanalyse eventuell in Zukunft bei KTM zu diesem Zwecke vermehrt eingesetzt wird.

In der Phase der Ideenfindung sind die Erkenntnisse des Projektes „KoRe“ zu berücksichtigen. Das Projekt „KoRe“ wurde am Institut für Fahrzeugsicherheit der TU Graz zur Identifizierung des *„Kostenoptimierungspotential bei elektrischen Motorradenergiespeichern durch Zulassen von Verformungen in Crashlastfällen“*⁷ durchgeführt.

⁷ Institut für Fahrzeugsicherheit, TU Graz (2014)

1.3 Vorgehensweise

Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Durchführung dieses Projektes richtet sich nach dem in ÖNORM EN 12973 festgelegten Arbeitsplan für Wertanalyseprojekte (Abbildung 1-3). Im Rahmen dieser zehn Phasen führt man die groben Schritte „Analyse der Ausgangssituation“, „Generierung von Lösungen“ und „Bewertung und Auswahl von Lösungen“ aus. Eine genauere Beschreibung der Phasen erfolgt in Kapitel 2.2.7. Die genauen Inhalte der Phasen des Arbeitsplans sowie die darin verwendeten Methoden und Werkzeuge wurden speziell an die Rahmenbedingungen dieses Projektes angepasst.

Zum Informationsaustausch mit KTM wurden aufgrund der Distanz Telefonkonferenzen abgehalten. Während dieser wurde meist der jeweilige Projektstatus vorgestellt, wichtige Entscheidungen getroffen sowie notwendige Informationen ausgetauscht.

Zur Erhebung wichtiger Inhalte wie beispielsweise der Funktionsstruktur wurden in Mattighofen Workshops mit mehreren Vertretern von KTM, dem Institut für Fahrzeugsicherheit sowie dem Institut für Industriebetriebslehre abgehalten. Die Inhalte wurden gemeinsam im Rahmen einer vom IBL moderierten Gruppenarbeit erarbeitet.

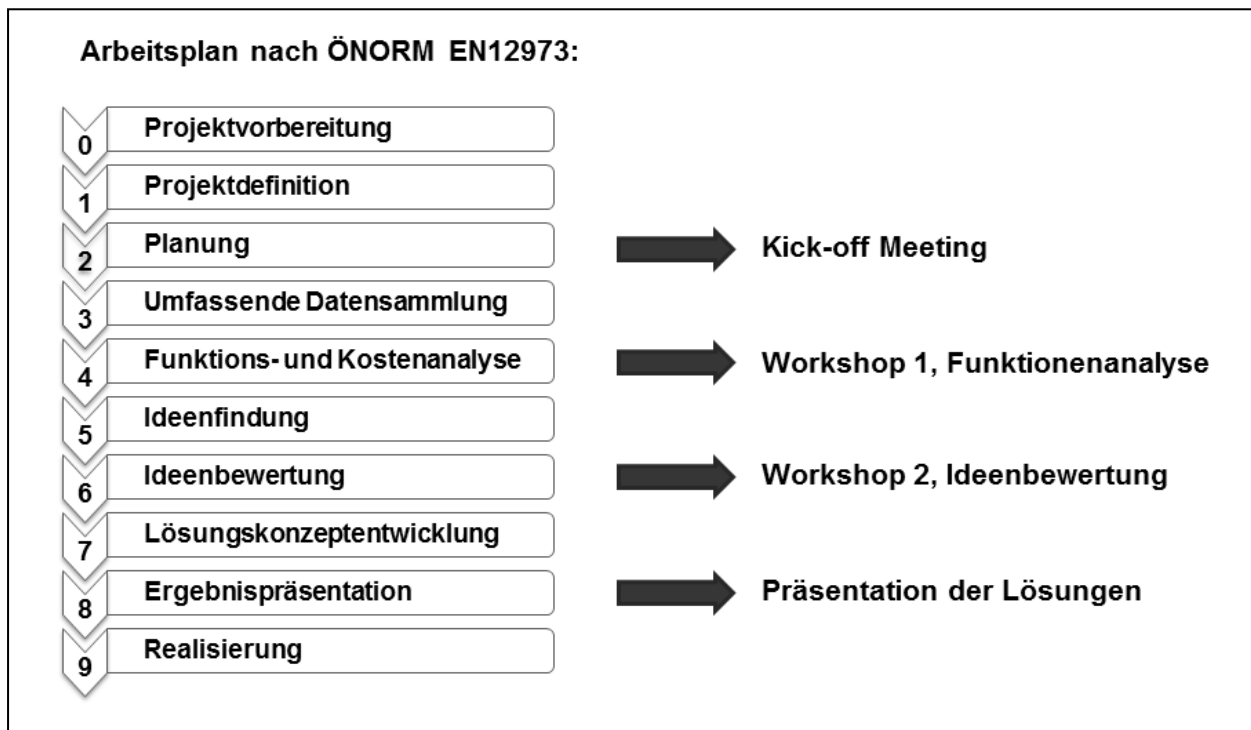


Abbildung 1-3: Vorgehensweise Projekt⁸

⁸ in Anlehnung an ÖNORM EN 12973, Ausgabe 2000, S. 33ff

2 Die Wertanalyse

Im Folgenden werden die theoretischen Grundlagen zur Durchführung dieser Masterarbeit vorgestellt. Neben dem im Projekt angewandten Wertanalyseverfahren und den darin verwendeten Methoden wird auch das Value Management als Umfeld der Wertanalyse kurz erläutert.

2.1 Value Management

Das Umfeld und die Rahmenbedingungen eines Unternehmens zur erfolgreichen Entwicklung und Erzeugung von Produkten haben sich in den letzten Jahrzehnten stark verändert. Entwicklungen wie die Globalisierung der Märkte, ständig steigende Umweltaforderungen und Rohstoffpreise, sowie steigende Innovationsdynamik führen zu einer Verstärkung der Konkurrenz und einer Erhöhung des Kostendruckes. Ein sehr weit verbreiteter Ansatz zur Lösung dieser Herausforderungen ist das Value Management (VM).⁹

Value Management wird in der ÖNORM EN 12973 wie folgt definiert:¹⁰

“Value Management ist ein Managementstil, der besonders geeignet ist, Menschen zu motivieren, Fähigkeiten zu entwickeln sowie Synergien und Innovationen zu fördern, jeweils mit dem Ziel, die Gesamtleistung einer Organisation zu maximieren.”

Value Management ist als Querschnittsansatz zu sehen, welcher sowohl in der Führungs- als auch in der Ausführungsebene eingesetzt werden kann. Im Zentrum der Betrachtungen steht immer das Wertekonzept, auf welches sämtliche Handlungen unter Berücksichtigung aller Anspruchsgruppen aufgebaut werden sollen.¹¹

Value Management zeichnet sich als Management-System vor allem durch die uneingeschränkte Kombination der folgenden vier „Schlüsselfaktoren“ aus:¹²

- Wertorientierter Managementstil
- Berücksichtigung der externen und internen Umweltfaktoren
- Nutzung positiver menschlicher Dynamik
- Bereitstellung nützlicher Methoden und Werkzeuge

⁹ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 1

¹⁰ ÖNORM EN 12973, Ausgabe 2000, S. 6

¹¹ vgl. ÖNORM EN 12973, Ausgabe 2000, S. 6f

¹² ÖNORM EN 12973, Ausgabe 2000, S. 18ff

Historisch betrachtet hat sich das Value Management aus der Wertanalyse heraus entwickelt, welche nach wie vor als grundlegendes Werkzeug zur Durchführung von Projekten gilt.¹³

2.2 Die Wertanalyse als Tool im Value Management

In diesem Kapitel werden die Grundlagen des Wertanalyseverfahrens vorgestellt. Es wird neben der Definition, der geschichtlichen Entwicklung, den Zielen und den wichtigsten Rahmenbedingungen auf den Arbeitsplan eingegangen, welcher die grundsätzliche Vorgehensweise festlegt.

2.2.1 Definition

Die Wertanalyse ist die am häufigsten verwendete Methode innerhalb des Value Managements und in der ÖNORM EN12973 als spezifische VM Methode festgelegt und wie folgt definiert:¹⁴

"Die Wertanalyse wird definiert als ein organisierter und kreativer Ansatz, der einen funktionsorientierten und wirtschaftlichen Gestaltungsprozess mit dem Ziel der Wertsteigerung eines WA-Objektes zur Anwendung bringt. Der Einsatz der Wertanalyse macht Organisationen leistungsfähiger, indem sie die Wettbewerbsfähigkeit der Produkte dieser Organisation verbessert."

Die Wertanalyse ist also ein systematisches Verfahren zur Untersuchung von Objekten und Leistungen mit dem Ziel diese zu verbessern.

2.2.2 Entstehung

Die grundsätzlichen Ideen und Überlegungen der Wertanalyse wurden im Jahre 1947 von Lawrence D. Miles entwickelt und erstmals zu einer Methode mit dem Namen „Value Analysis“ zusammengefasst. Viele der damals gefundenen Grundprinzipien wie das Loslösen von konkreten Lösungen und die Beschränkung auf wesentliche Funktionen, sowie die Arbeit in interdisziplinären Teams nach einem strikten Arbeitsplan gelten nach wie vor als einige der wesentlichen Merkmale.¹⁵

Miles, der damalige Chefeinkäufer von General-Electric, war aufgrund von Materialengpässen gezwungen nach Substitutionsprodukten oder Handlungsalternativen zu suchen und bemerkte dabei, dass die Substitutionen oft höheren Anforderungen genügen und dabei noch kostengünstiger sind als die Ursprungslösungen.¹⁶

¹³ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 25f

¹⁴ ÖNORM EN 12973, Ausgabe 2000, S. 30

¹⁵ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 27f

¹⁶ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1975), S. 10

Anhand dieser Feststellung entwickelte er eine Methode, um diesen Effekt gezielt herbeizuführen und systematisch zur Senkung der Kosten und Verbesserung der Produkte zu nutzen.¹⁷

Aufgrund der erfolgreichen Ergebnisse wurde die Methode in weiterer Folge in mehreren amerikanischen Unternehmen angewandt und verbreitete sich schnell in mehreren Industriezweigen. 1959 wurde schließlich die „Society of American Value Engineers“ (SAVE) gegründet, welche sich dem Erfahrungsaustausch und der Weiterentwicklung der Methode widmete. 1975 übernahm dies der VDI-Gemeinschaftsausschuss „Wertanalyse“ für den deutschsprachigen Raum, dieser wurde 1984 vom Zentrum Wertanalyse der „VDI-Gesellschaft Produkt und Prozessgestaltung“ (VDI-GSP) übernommen. In Österreich übernahm das Zentrum Wertanalyse des Wirtschaftsförderungsinstitutes der Wirtschaftskammer (WIFI- ZWA) diese Aufgabe. In diesem Zeitraum wurden weltweit zahlreiche Institutionen dieser Art gegründet. Nach und nach wurde die Wertanalyse auch in verschiedensten nationalen und internationalen Normen festgehalten und weiterentwickelt. Im Jahr 2000 wurde eine deutsche Übersetzung der europäischen Norm EN 12973 „Value Management“ herausgegeben, welche die neueste Beschreibung des Verfahrens inklusive eines 10-stufigen Arbeitsplanes darstellt.¹⁸

2.2.3 Ziele und Anwendungsgebiete

Das grundsätzliche Ziel der Wertanalyse ist es, den Wert des Analyseobjektes zu steigern. Der Wert kann je nach Projektziel verschiedenste Ausprägungsformen haben, beispielsweise das Gewicht, die Zuverlässigkeit, die Durchlaufzeit oder die Qualität, welche laut Definition zum Beispiel auf die dadurch entstehenden Kosten bezogen werden.¹⁹

Die Wertanalyse kann sowohl zur Wertgestaltung, also der Schaffung neuer Leistungen, als auch zur Verbesserung bestehender Leistungen als Wertverbesserung angewandt werden. Die WA ist anwendungsneutral, das heißt, dass Leistungen neben technischen Objekten und Dienstleistungen auch allgemeine Prozesse sein können. Das Wertanalyseverfahren wird seit Jahrzehnten weltweit erfolgreich in der Wirtschaft eingesetzt und wurde seit ihrer Entstehung ständig weiterentwickelt und den aktuellen Entwicklungen angepasst.²⁰

Der Begriff Wertanalyse wird oft mit der konventionellen Rationalisierung in Zusammenhang gebracht. Beide Verfahren entspringen dem gleichen Gedanken der

¹⁷ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1975), S. 1

¹⁸ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 12f

¹⁹ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 27

²⁰ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 12

Verbesserung der wirtschaftlichen Situation einer Organisation oder Unternehmung, sind jedoch klar zu unterscheiden. Unter Rationalisierung versteht man sämtliche Maßnahmen zur Umsetzung des Rationalprinzips.²¹ Rationalisierungsmaßnahmen orientieren sich meist rein an den Kosten um die Wirtschaftlichkeit und den Wirkungsgrad von isoliert betrachteten Betriebsbereichen nach gegebenem Anlass, wie beispielsweise Kostenüberschreitungen, zu erhöhen. Die Wertanalyse hingegen akzeptiert als ganzheitlichere Sichtweise oftmals auch Kostenerhöhungen, da diese nur als relatives Kriterium im Verhältnis zu einem bestimmten anderen Kriterium zur Entscheidungsfindung herangezogen werden. Anlass für die Durchführung einer Wertanalyse kann ebenfalls das Ziel der Kostensenkung sein, generell orientiert sich die Wertanalyse jedoch an der Sicherung längerfristiger strategischer Ziele wie etwa der Kundenzufriedenheit.²²

2.2.4 Erfolgsfaktoren

Der große Erfolg des Wertanalyseverfahrens beruht auf den folgenden vier Grundprinzipien:²³

- **Funktionskonzept:** Dieses Konzept beschreibt das „Denken in Funktionen“, wobei man unter einer Funktion die Wirkung eines Objektes versteht. Es garantiert, dass genau die vom Kunden gewünschten Funktionen erfüllt werden und der Fokus auf der Erfüllung der Kundenwünsche liegt. Des Weiteren ermöglicht das Arbeiten mit Funktionen, sich vom Bestehenden zu lösen und so zu innovativen, neuen Lösungen zu gelangen.
- **Wertekonzept:** Das Wertekonzept beschreibt den Umgang mit Kosten und Nutzen innerhalb der Ausführung eines Wertanalyseprojektes. Durch die entsprechende Definition des Wertes und dem klaren Ziel der Wertsteigerung wird garantiert, dass nicht nur die Kosten als Entscheidungskriterium herangezogen werden, sondern auch Möglichkeiten berücksichtigt werden, die trotz einer Steigerung der Kosten zu einer Verbesserung der Gesamtsituation führen.
- **Interdisziplinäre Teamarbeit:** Wertanalyseprojekte werden immer von interdisziplinären Teams durchgeführt, um das Problem von möglichst vielen Blickwinkeln zu beleuchten und so auch die Interessen möglichst vieler Interessensgruppen zu berücksichtigen. Das Arbeiten im interdisziplinären Team bringt durch das breite Spektrum an Fachwissen und Erfahrung auch große Vorteile bei der Suche und Beurteilung von Lösungen.

²¹ vgl. Alisch, K. (2004), S. 2480f

²² vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 9ff

²³ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 3ff

- **Wertanalyse-Arbeitsplan:** Der Wertanalyse-Arbeitsplan gibt den grundsätzlichen Ablauf des Projektes vor. Der Ablauf ist sehr einfach und logisch strukturiert und gibt dem Team stets Zielvorgaben. Durch den vorgegebenen Ablauf wird sichergestellt, dass ständig systematisch und überlegt vorgegangen wird.

2.2.5 Wert und Funktion

An dieser Stelle werden die grundlegenden Begriffe „Funktion“ und „Wert“ definiert, auf welchen die gesamte Wertanalyse aufbaut.

Wert

Das Wertanalyseverfahren hat die Steigerung des Wertes eines Objektes zum Ziel. Der Wert eines Objektes lässt sich auf verschiedenste Weisen definieren. L.D. Miles definierte den Wert in seinen ersten Ausführungen über die Wertanalyse als „den niedrigsten Preis, den man für die Erfüllung einer Funktion bezahlen muss“.²⁴ Im ökonomischen Sinn stellt der Wert die Wichtigkeit eines Gutes hinsichtlich der Erfüllung subjektiver Bedürfnisse, oder den Nutzen des Objektes, dar.²⁵ In der ÖNORM EN 12973 wird der Wert eines Objektes als das „Verhältnis von der Befriedigung von Bedürfnissen zum Einsatz von Ressourcen“²⁶ definiert (siehe Abbildung 2-1).

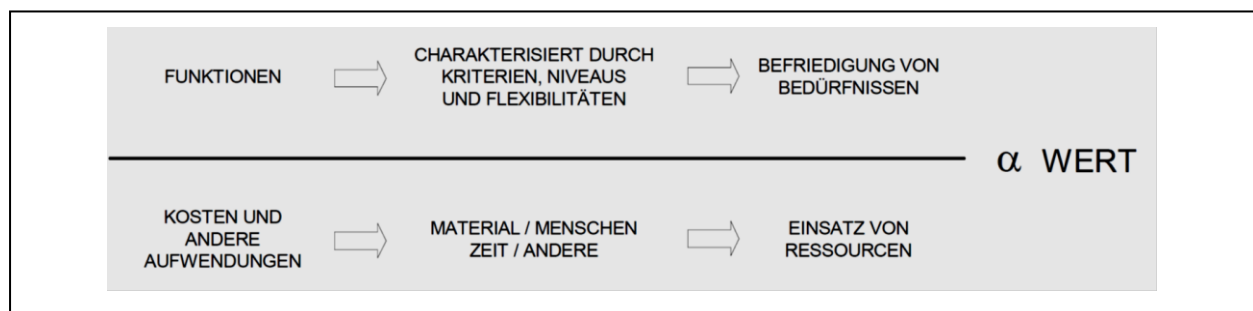


Abbildung 2-1: Darstellung des Wertes als Beziehung²⁷

Unter anderem berücksichtigt man zum Beispiel das Gewicht, die Zuverlässigkeit, die Verfügbarkeit oder allgemein die Qualität. Je besser man diese Anforderungen erfüllen kann und je weniger Ressourcen man dafür aufwendet, desto größer ist der Wert zu beurteilen. Um den Erfolg eines Wertanalyse-Projektes bestätigen zu können, ist es erforderlich, den Wert zu quantifizieren, um eine Wertänderung auch erfassen zu können. Es gibt verschiedenste Möglichkeiten den Wert zu steigern (siehe Abbildung 2-2).²⁸

²⁴ vgl. Hoffmann, H. (1979), S. 22

²⁵ vgl. Sellien, R.; Sellien, H. (1971), S. 2131

²⁶ ÖNORM EN 12973, Ausgabe 2000, S. 13

²⁷ ÖNORM EN 12973, Ausgabe 2000, S. 16

²⁸ vgl. ÖNORM EN 1325-1, Ausgabe 1996, S. 5f

Bedürfnis - Befriedigung		Einsatz von Ressourcen	
+++	sehr viel mehr Befriedigung	etwas höherer Ressourceneinsatz	+
++	viel mehr Befriedigung	gleicher Ressourceneinsatz	=
+	mehr Befriedigung	geringerer Ressourceneinsatz	-
=	gleiche Befriedigung	viel geringerer Ressourceneinsatz	--
-	etwas geringere Befriedigung	sehr viel geringerer Ressourceneinsatz	---

Abbildung 2-2: Möglichkeiten zur Wertsteigerung²⁹

Eine Steigerung des Wertes kann beispielsweise auch trotz einer Erhöhung des Ressourceneinsatzes erreicht werden, wenn die Befriedigung der Bedürfnisse in entsprechender Weise gesteigert wird. Der Wert ist bei dieser Betrachtung nicht als absoluter Wert zu sehen, sondern als Verhältnis von sich gegeneinander beeinflussenden Faktoren, welche durch richtiges gegenseitiges Abwägen gewählt werden.³⁰

Funktion

Kunden entscheiden bei der Anschaffung von Produkten oder der Nutzung von Dienstleistungen in der Regel nach sehr funktionsorientierten Kriterien. Produkte etwa werden nicht nach der Anzahl der Einzelteile, sondern anhand ihrer Funktion beurteilt. Für Funktionen, welche ihre Erwartungen dementsprechend erfüllen, sind die Kunden dann auch bereit Geld auszugeben. Für den Kunden ist der Aspekt „Was kann das Objekt?“ von weit größerem Interesse als „Wie macht es das Objekt?“. ³¹

Funktionen werden im Sinne der Wertanalyse auch genau nach diesem Prinzip als die „Wirkung eines Objektes“ definiert. Diese beschreibt genau „Was ein Gegenstand eigentlich tut bzw. bringt“. Für den Kunden leitet sich der Wert eines Objektes vom Erfüllungsgrad der gewünschten Funktionen ab. Um ein wettbewerbsfähiges Produkt anbieten zu können, ist es wichtig sich darauf zu konzentrieren, welche Wirkung und welchen Nutzen sich der Anwender davon erwartet. ³²

²⁹ ÖNORM A 6760, Ausgabe 2003, S. 5

³⁰ vgl. ÖNORM A 6760, Ausgabe 2003, S. 5f

³¹ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 57

³² vgl. VDI Richtlinie 2803, Ausgabe 1996, S. 3

Denken in Funktionen

Um durch die Wertanalyse möglichst vielseitige Lösungen zu erhalten ist es besonders wichtig das sogenannte „Denken in Funktionen“³³ anstatt „Denken in Lösungen/Bauteilen“³⁴ einzuführen und strikt einzuhalten. Erst wenn man sich durch die Abstraktion der Funktionen von den vorhandenen Lösungen weit genug entfernt hat, erhält man ein ausreichend breites Suchfeld, um in den kreativen Phasen entsprechend innovative und neuartige Lösungen zu erzeugen. Wird der Abstraktionsgrad jedoch zu hoch gewählt, so besteht die Gefahr, dass die ursprünglich gewünschte Wirkung des Objektes nicht mehr klar erkannt und verfehlt wird. Die Abstraktion der Funktionen ist ein sehr wichtiger Schritt bei der später beschriebenen Funktionsfindung und Funktionsbenennung.³⁵

2.2.6 Wertanalyse Team

Durchgeführt werden Wertanalyseprojekte von einem bereichsübergreifenden Projektteam, welches in der Regel aus 5 bis 7 Mitarbeitern aus unterschiedlichsten Abteilungen des Unternehmens besteht. Um die gruppenspezifische Wirkung und deren Vorteile nutzen zu können, sollte das Team direkt kommunizieren und dazu zumindest für die wichtigsten Aufgabenstellungen räumlich vereint sein.³⁶

Die Arbeit im Team bringt eine Vielzahl an Vorteilen mit sich:

- **Ganzheitliche Betrachtung:** Durch die „interdisziplinäre“ Zusammenarbeit kommt es zu einer Vereinigung unterschiedlicher Kompetenzen. Da die Interessen und Ziele mehrerer Zielgruppen gleichzeitig berücksichtigt werden, entstehen vielfältigere und qualitativ hochwertigere Lösungen als durch die Arbeit eines Einzelnen.³⁷
- **Besseres Verständnis:** Die Vereinigung des Wissens und der Fähigkeiten der Teammitglieder bewirkt eine Addition der Stärken und einen gleichzeitigen Ausgleich der individuellen Schwächen. Der Wissensaustausch während des Arbeitens erzeugt Lerneffekte, welche helfen komplexere Strukturen besser zu verstehen. Trotz gewisser Überlappungen von Wissensgebieten gilt auch, dass ein Team „intelligenter“ ist als die aufsummierten Einzelintelligenzen.³⁸

³³ ÖNORM EN 1325-1, Ausgabe 1996, S. 11

³⁴ ibidem

³⁵ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 57f

³⁶ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 77f

³⁷ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 81f

³⁸ VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 106ff

- **Höhere Kreativität:** Teamarbeit bringt besonders bei der Anwendung von Kreativitätstechniken zur Ideenfindung große Vorteile. Bei richtiger Anwendung der Brainstorming Methode beispielsweise kann durch die gegenseitige Inspiration und Motivation eine größere Anzahl an erfolgsversprechenden Lösungen gefunden werden, da Denkblockaden abgebaut werden.³⁹

Um den Erfolg einer Teamarbeit garantieren zu können ist gute Moderation notwendig. Diese hilft durch entsprechende Vorbereitung und die Bereitstellung der benötigten Methoden und Tools bei der raschen und produktiven Durchführung von Teammeetings. Die Leitung durch den Moderator garantiert die Einhaltung des Zeitplanes und hilft in den entsprechenden Phasen dabei funktionsorientiert, lösungsneutral und zunächst kritikfrei zu bleiben um die Kreativität nicht einzuschränken.⁴⁰

2.2.7 Wertanalyse-Arbeitsplan

Systematisches und zielgerichtetes Vorgehen sind zwei sehr wichtige Bestandteile des Erfolges eines Wertanalyseprojektes. Bereits L.D. Miles gab bei seinen Ausführungen einen Arbeitsplan als Leitfaden für Wertanalyseprojekte vor. Über die Jahre wurde dieser Arbeitsplan von den zuständigen Gremien anhand der Erfahrungswerte aus der Wirtschaft weiterentwickelt. Es haben sich dabei mehrere verschiedene Arbeitspläne mit 6 bis 10 Schritten entwickelt, wobei die Kernelemente die gleichen sind und nur deren Aufteilung auf die Phasen variiert. Der in der ÖNORM EN 12973 festgelegte Arbeitsplan besteht aus 10 Phasen (siehe Tabelle 2-1). Diese werden systematisch abgearbeitet, wobei die Einhaltung der gegebenen Reihenfolge zur strikten Trennung von schöpferischen und bewertenden Phasen besonders wichtig ist. Der Arbeitsplan gibt jedoch lediglich die Grundschritte und deren Reihenfolge vor. Die Bearbeitungstiefe der einzelnen Phasen und welche Verfahren und Tools zur Umsetzung der Phasen herangezogen werden, kann je nach Zweckmäßigkeit und Schwerpunkt vom Moderator bestimmt werden.⁴¹

³⁹ vgl. VDI Richtlinie 2807, Ausgabe 1996, S. 12f

⁴⁰ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 106ff

⁴¹ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 35ff

Grundschrift	Teilschritt
0. Vorbereitung des Projektes	0.1 Projektbeschreibung 0.2 Untersuchung der Durchführbarkeit des Projektes, Risikoanalyse 0.3 Rentabilitätsstudie, um welche Interessen geht es? 0.4 Auswahl von Entscheidungsträgern und WA-Teamleiter
1. Projektdefinition	1.1 WA-Objekt 1.2 Rahmenbedingungen der Studie 1.3 Prämissen der Daten über das Problem 1.4 Marketingziele 1.5 Allgemeine Ziele (Grobziele) 1.6 Um welche Interessen geht es? 1.7 Ressourcen 1.8 Mitwirkende 1.9 Vorbereitende Risikoanalyse
2. Planung	2.1 Bildung eines Arbeitsteams 2.2 Ausarbeitung eines ersten Zeitplans 2.3 Festlegung des Arbeitsraumes
3. Umfassende Daten über die Studie sammeln	3.1 Informationssammlung (intern u. extern): technische Information (über das Produkt), Wirtschaft, Wettbewerb, Stand d. Technologie 3.2 Detaillierte Marktforschung: Kundenanforderungen, der Markt, Position des zu entwickelnden Produktes 3.3 Verschiedenes: Bibliografie, Patente, Gesetze und Vorschriften, Normen, Regeln, Handbücher, Normen der Organisation
4. Funktionen-, Kostenanalyse, Detailziele	4.1 Formulierung des Bedarfs und Funktionenanalyse 4.2 Kostenanalyse und Funktionenkosten 4.3 Festlegung der Detailziele und Bewertungskriterien
5. Sammeln und Finden von Lösungsideen	5.1 Sammeln existierender Ideen 5.2 Entwickeln neuer Ideen 5.3 Kritische Analyse
6. Bewertung der Lösungsideen	6.1 Bewertung und Kombination der Ideen 6.2 Auswahl der Entwicklungsaufgaben 6.3 Arbeitsprogramme für die Entwicklung
7. Entwicklung ganzheitlicher Vorschläge	7.1 Studien und Tests, industrielle Entwicklung 7.2 Follow-up, Koordination 7.3 Bewertung der Lösungen: qualitativ, wirtschaftlich, Risikoanalyse
8. Präsentation der Vorschläge	8.1 Auswahl der vorzuschlagenden Lösungen 8.2 Ausarbeitung von Realisierungsprogrammen 8.3 Sammlung umfassender Daten über die Vorschläge 8.4 Erlangung einer Entscheidung durch den Entscheidungsträger 8.5 Information der WA-Teams und Auflösung oder Warte-Position der WA-Teams
9. Realisierung	9.1 Unterstützung der Realisierung: Follow-up, Unterstützung zur Korrektur von Abweichungen oder Vornahme von Anpassungen 9.2 In Ausnahmefällen: Organisation weiterer Sitzungen des WA-Teams, um unerwartete Probleme zu bewältigen (Reaktivierung) 9.3 Einschätzung der aktuellen Ergebnisse der Realisierung, Vergleich mit den prognostizierten Ergebnissen 9.4 Darstellung der erzielten, aktuellen Ergebnisse sowie der techn. u. allg. Informationen: an die WA-Teammitglieder, die betroffenen Fachleute u. einen breiteren Adressatenkreis in der Organisation 9.5 Gegebenenfalls Erstellung eines Systems zur Informationssammlung über Markterfahrungen

Tabelle 2-1: Wertanalyse Arbeitsplan nach ÖNORM EN 12973 ⁴²⁴² ÖNORM EN 12973, Ausgabe 2000, S. 33ff

2.2.8 Begriffsbestimmungen

Im Folgenden werden Begriffe erklärt, welche später bei der Durchführung des WA-Projektes nach dem genormten Arbeitsplan häufig verwendet werden.

Funktionsträger

Unter einem Funktionsträger, in der Literatur öfter auch Funktionenträger genannt, versteht man die Bestandteile des Objektes, durch welche die Funktionen realisiert werden. Bei technischen Objekten kann es sich dabei, je nach Aufbau des Objektes und Art der Funktion, um Einzelteile, Baugruppen oder das Gesamterzeugnis handeln.⁴³

Funktionenarten

Bei der Durchführung einer Wertanalyse differenziert man zwischen zwei Arten von Funktionen. Gebrauchsfunktionen sind zur sachlichen Nutzung des Objektes erforderlich und können im Regelfall quantifiziert werden. Geltungsfunktionen hingegen sind meist nur subjektiv wahrnehmbar und tragen zur sachlichen Nutzung des Objektes nichts bei. Bei der Funktionsanalyse sind natürlich beide Funktionenarten zu bestimmen. Je nach Art des Objektes werden sich für Investitionsgüter mehr Gebrauchsfunktionen ergeben und für Luxusgüter mehr Geltungsfunktionen (siehe Abbildung 2-3).⁴⁴

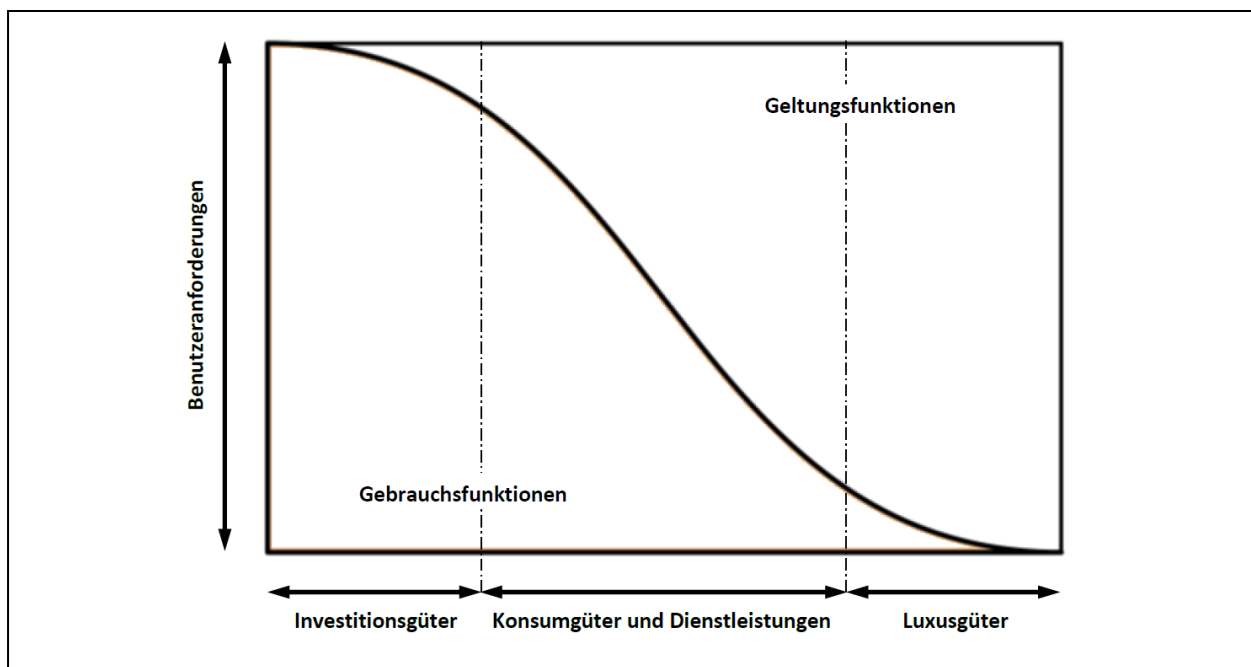


Abbildung 2-3: Benutzeranforderungen bei verschiedenen Wertanalyse- Objekten in Abhängigkeit von Gebrauchs- und Geltungsfunktionen⁴⁵

⁴³ vgl. ÖNORM EN 12973, Ausgabe 2000, S. 11

⁴⁴ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 60

⁴⁵ in Anlehnung an VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 19

Funktionsklassen

Nach der Wichtigkeit der Funktionen unterscheidet man zwischen Haupt- und Nebenfunktionen. Hauptfunktionen ergeben sich aus dem Verwendungszweck des Objektes. Deren Erfüllung ist für die einwandfreie Nutzung zwingend notwendig und deren Wirkung wird aus Sicht des Nutzers eine sehr hohe Gewichtung zugeordnet. Objekte können auch über mehrere Hauptfunktionen verfügen. Die in der Hierarchie untergeordneten Nebenfunktionen beschreiben und unterstützen die Hauptfunktionen. Hauptfunktionen können auch aus mehreren Unterfunktionen bestehen. Diese sind oft schon stark von Lösungskonzepten geprägt und werden in vielen Fällen vom Nutzer nicht mehr direkt erkannt. Auch Nebenfunktionen können wiederum aus Nebenfunktionen höherer Ordnung bestehen. Zur besseren Darlegung der oft konkurrierenden Interessen von Hersteller und Abnehmer kann eine weitere Unterscheidung zwischen abnehmer- und herstellerorientierten Funktionen vorgenommen werden. Aufgrund der starken Kundenorientierung ergeben sich meist abnehmerorientierte Funktionen als übergeordnete Funktionen. Diese Funktionen sind vom Kunden noch erkennbar und sind ein Entscheidungskriterium. Herstellerorientierte Funktionen hingegen werden als untergeordnete Funktionen vom Hersteller festgelegt und legen die Umsetzung der Funktionen fest.⁴⁶

Funktionsermittlung

Die Feststellung der Funktionen ist ein sehr wichtiger Schritt bei der Durchführung eines Wertanalyse-Projektes, da dieser den Grundstein für die nachfolgende Ideenfindung liefert und zu einem besseren Verständnis des betrachteten Objektes selbst führt.⁴⁷

Zur Funktionsermittlung geht man nach einem dreistufigen Vorgehenskonzept vor:⁴⁸

1. Erfassen des Analyseobjektes
2. Benennen der Funktion
3. Strukturieren der Funktion

Diese drei Schritte werden im Folgenden genauer beschrieben.

Erfassen des Analyseobjektes

Zur Durchführung einer Funktionenanalyse muss zunächst das Analyseobjekt definiert und, falls es nur Teil eines größeren Objektes ist, richtig abgegrenzt werden. Danach

⁴⁶ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 61f

⁴⁷ vgl. VDI Richtlinie 2803, Ausgabe 1996, S. 2f

⁴⁸ Akiyama, K. (1994), S. 30

werden Informationen gesammelt, welche Aufschluss auf die Wirkung des Objektes geben, sodass man die Funktionen und deren Zusammenhänge erfassen kann.⁴⁹

Es gibt verschiedenste Herangehensweisen hierzu. Wichtig ist es, dabei gezielt vorzugehen, um alle relevanten Funktionen festzustellen. Zuerst erfolgt meist eine Betrachtung des Gesamtobjektes. Man versucht beispielsweise durch die Betrachtung sämtlicher Einsatzgebiete und Anwendungssituationen über die gesamte Produktlebenszeit alle für den Nutzer relevanten Funktionen zu finden. In einem weiteren Schritt wird das Objekt anhand der Baugruppen und Teile Schritt für Schritt analysiert um sicherzustellen, dass die notwendigen Aufgaben eines jeden Bauteils in einer der Funktionen erfasst sind.⁵⁰

Im ersten Analyseschritt ergeben sich hauptsächlich abnehmerorientierte Funktionen, im zweiten Analyseschritt hauptsächlich herstellerorientierte. Bei der Funktionsanalyse berücksichtigt man neben den Funktionen des bestehenden Objekts nach der Fragestellung: „Welche Aufgaben hat das Objekt zu erfüllen, damit es der Kunde kauft?“ auch zukünftig erwartete Entwicklungen nach der Fragestellung: „Warum wird es der Kunde in der Zukunft kaufen?“.⁵¹

Zur Sammlung von Daten, Einsatzgebieten etc. und zur Generierung von Funktionen bieten sich Kreativitätstechniken wie etwa Brainstorming an. Während der Generierung der Funktionen ist es wichtig die Ideen, ungeachtet der richtigen Benennung und Strukturierung, sofort zu notieren, um die kreative Phase nicht durch vorgezogene Diskussionen zu erschweren.⁵²

Benennen der Funktionen

Beschrieben werden Funktionen durch ein Hauptwort und ein Zeitwort in Nennform. Das Hauptwort bezeichnet den Funktionsträger und das Zeitwort die Ausprägung der Wirkung. Bei der Benennung ist darauf zu achten, dass die Hauptworte möglichst quantifizierbar sind und die Zeitworte eine aktive Bedeutung haben, die das direkte Geschehen beschreiben (z.B.: „Antriebskraft übertragen“ anstelle „Antriebskraftübertragung gestatten“). Die Benennung soll des Weiteren möglichst lösungsneutral sein, um die Kreativität bei der Ideengenerierung in den folgenden Phasen nicht einzuschränken (z.B.: „Teile befestigen“ anstatt „Bleche vernieten“).⁵³

Die richtige Wahl des Abstraktionsgrades bei der Benennung der Funktionen ist sehr wichtig und hat einen großen Einfluss auf die Qualität und den erreichbaren Neigungsgrad der Lösung. Bei einem zu gering gewählten Abstraktionsgrad ist die

⁴⁹ vgl. VDI Richtlinie 2803, Ausgabe 1996, S. 2f

⁵⁰ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 59

⁵¹ vgl. ÖNORM A 6756, Ausgabe 1995, S. 4

⁵² vgl. Akiyama, K. (1994), S. 67

⁵³ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 56ff

Funktion noch sehr nahe der vorhandenen Lösung oder bereits sehr stark an eine neue konkrete Lösung gebunden. Dadurch kann die Ideengenerierung kaum neue und kreative Lösung ergeben. Ein mittlerer Abstraktionsgrad beschreibt den gewünschten Soll-Zustand gut und erlaubt dabei die vorhandene Lösung noch als eine der Möglichkeiten. Ein hoher Abstraktionsgrad beschreibt ebenfalls den Soll-Zustand, ermöglicht jedoch nahezu unbegrenzte Möglichkeiten zur Entwicklung neuer Ideen. Erst dieser Zustand gibt den nötigen Gestaltungsfreiraum, um neuartige und vorher nicht in Erwägung gezogene Lösungskonzepte zu entwickeln. Durch einen zu hohen Abstraktionsgrad entfernt man sich jedoch zu weit vom gewünschten Soll-Zustand und die Erreichung der gesteckten Ziele erschwert sich durch den erhöhten Aufwand erheblich. Je nach Art und Ziel des Wertanalyseprojektes ist der Abstraktionsgrad dementsprechend zu wählen, sodass die Lösungen dem gewünschten Grad an Neuigkeit und der Aufwand den Rahmenbedingungen entspricht.⁵⁴

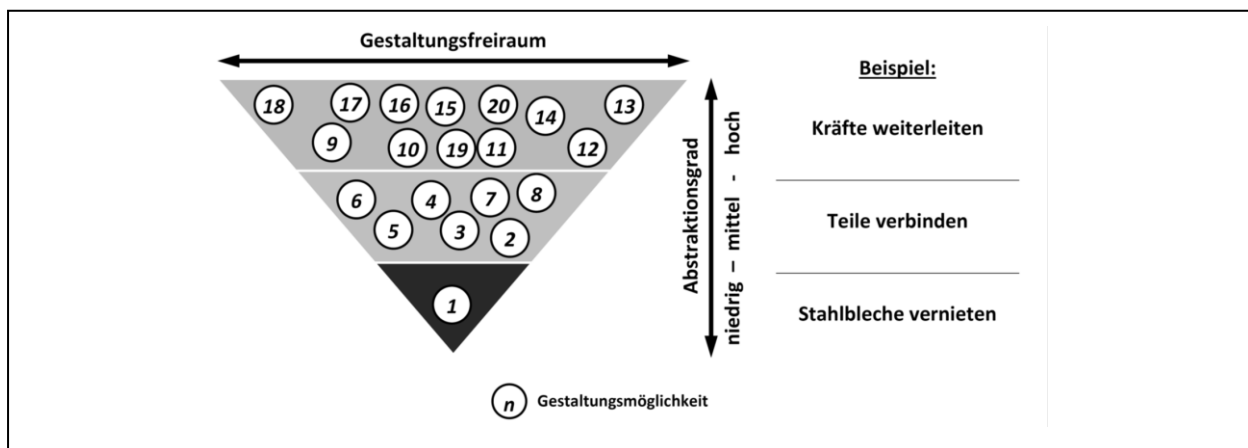


Abbildung 2-4: Wechselwirkung zwischen Abstraktionsgrad und Gestaltungsfreiraum⁵⁵

Strukturieren der Funktionen

Erst nach der Erfassung und Benennung der Funktionen werden diese zusammengefasst, kategorisiert, sortiert und strukturiert. Durch das Strukturieren der Funktionen werden die Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen diesen ausgearbeitet und in einem Diagramm dargestellt. Diese Analyse und Darstellung kann beispielweise nach der „Zweck-Mittel-Logik“ anhand eines Funktionenbaumes erfolgen. Diese Methode wird oft auch „beweisschlüssige“ Funktionsgliederung genannt. Neben dieser gibt es noch andere Methoden wie zum Beispiel der Funktions-Analyse-System-Technik, welche die Funktionen nach einer „Wie-Warum-Logik“ in einem sogenannten FAST-Diagramm darstellt.⁵⁶

Da letztere in dieser Diplomarbeit jedoch nicht zur Anwendung kam, soll an dieser Stelle nur ohne nähere Erläuterungen darauf hingewiesen werden.

⁵⁴ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 116f

⁵⁵ in Anlehnung an VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 116

⁵⁶ vgl. Akiyama, K. (1994), S. 66

Funktionsbaum

Unter einem Funktionsbaum versteht man die übersichtliche, grafische Darstellung der Funktionsstruktur eines Objektes nach der „Zweck-Mittel-Logik“. Die Funktionen werden anhand ihrer Klassifizierung und den Abhängigkeiten und Vernetzungen zwischen ihnen angeordnet. Übergeordnet findet man die Hauptfunktionen, welche den Verwendungszweck des Objektes beschreiben und unerlässlich sind. (siehe Abbildung 2-5) Durch die Fragestellung „WIE wird die Funktion erfüllt?“ gelangt man zu den untergeordneten Nebenfunktionen, welche die Hauptfunktion beschreiben und unterstützen. Die Frage „WOZU wird die Funktion benötigt?“ ergibt wiederum die übergeordnete Funktion. Zum Erstellen eines Funktionsbaumes empfiehlt sich die Gliederung von links nach rechts, wobei die übergeordneten Funktionen links angeordnet sind. Der Funktionsbaum sollte erst erstellt werden, nachdem alle wichtigen Funktionen bereits erfasst wurden. Das Gliedern der Funktionen und Erstellen des Funktionsbaums erfordert meist mehrere iterative Durchgänge bis eine passende Funktionsstruktur gefunden wurde.⁵⁷

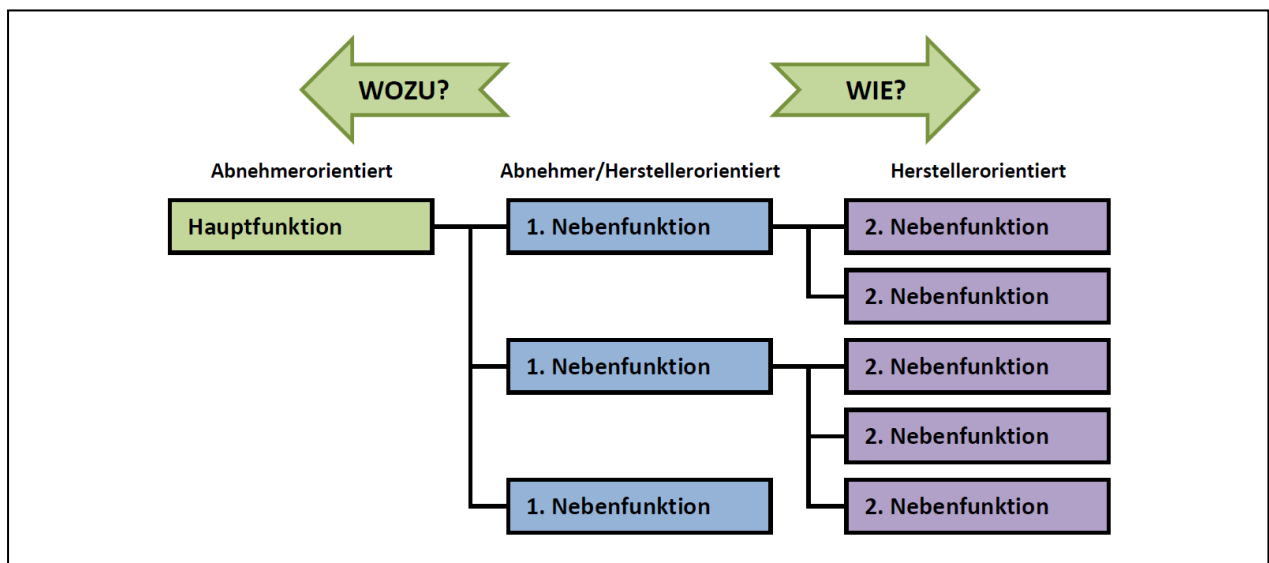


Abbildung 2-5: "Beweisschlüssige Funktionsgliederung" anhand eines Funktionsbaums⁵⁸

Funktionserfüllungsgrad

In einer an die Funktionsbestimmung anschließenden kritischen Prüfung wird festgestellt, inwieweit das bestehende Objekt die gefundenen Funktionen erfüllt (siehe Formel 2-1). Diese Beurteilung wird durch den Funktionserfüllungsgrad in Prozent ausgedrückt und dient zur Identifikation übererfüllter (Funktionserfüllungsgrad > 100%), untererfüllter (Funktionserfüllungsgrad < 100%) und unnötiger Funktionen. Aufgrund dieser Beurteilung lassen sich Funktionen nach solchen mit Kostenreduktionspotential

⁵⁷ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 62f

⁵⁸ Eigene Abbildung in Anlehnung an VDI - Zentrum Wertanalyse (1981), S. 36

und Aufholbedarf klassifizieren. Wichtig dabei ist es, die abnehmerorientierten Funktionen aus Sicht des Nutzers zu beurteilen und dessen Zufriedenheit mit dem Objekt möglichst objektiv zu bewerten.⁵⁹

$$\text{Funktionserfüllungsgrad} = \frac{IST}{SOLL} [\%]$$

Formel 2-1: Funktionserfüllungsgrad⁶⁰

Funktionskosten

Funktionskosten sind jene Kosten, die zur Erfüllung einer Funktion durch ein Objekt erforderlich sind. Sie entsprechen jenem Anteil der Gesamtkosten eines Funktionsträgers, der einer bestimmten Funktion zugeordnet werden kann.⁶¹

Die Verknüpfung der Funktionsträgerkosten mit den Funktionen erfolgt durch eine Funktionskostenmatrix anhand der Fragestellung „Wieviel ist der Funktionsträger an der Erfüllung dieser bestimmten Funktion beteiligt?“ (siehe Abbildung 2-6). Falls bei einem Objekt die Montagekosten einen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten ausmachen, so sollten diese ebenfalls berücksichtigt werden. Die Summe dieser Funktionsteilkosten ergibt die gesamten Funktionskosten.⁶²

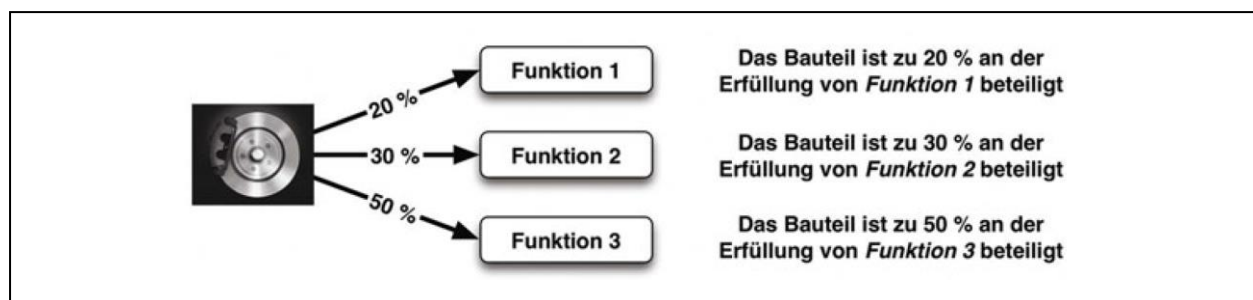


Abbildung 2-6: Anteilmäßige Zuweisung der Bauteilkosten auf die Funktionen⁶³

Funktionskostenmatrix

In die Funktionskostenmatrix trägt man alle Funktionen und wesentlichen Funktionsträger ein. Anschließend wird für jeden Funktionsträger bestimmt, wieviel dieser zur Erfüllung der Funktionen beiträgt (siehe Abbildung 2-7, Werte v bis z). Dies könnte in der gezeigten Funktionskostenmatrix zum Beispiel für den Zellhalter folgendermaßen lauten: Seine Funktion ist zu 80% die Batteriezellen zu positionieren und zu 20% die Zellverbinder zu positionieren. Würde es eine Funktion „Wärme ableiten“ in diesem Beispiel geben, so müsste man dieser ebenfalls eine Beteiligung zuschreiben, da der Zellhalter durch den Kontakt mit den Zellen Wärme ableitet.

⁵⁹ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 115ff

⁶⁰ VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 115

⁶¹ vgl. VDI Richtlinie 2800 - Entwurf, Ausgabe 1997, S. 5

⁶² vgl. Bronner, A.; Herr, S. (2006), S. 28f

⁶³ VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 71

Aufgrund dieser prozentuellen Beteiligung werden die Bauteilkosten (siehe Abbildung 2-7, Werte A bis E) auf die Funktionen aufgeteilt (siehe Abbildung 2-7, Werte a bis e) und zu den Funktionskosten aufsummiert.⁶⁴

Funktionen		Bauteilkosten	Funktionsträger					Funktionskosten	
			Zellenhalter	Abstandshalter	Gehäuseoberteil	Gehäuseunterteil	etc.		
Batteriezellen aufnehmen	Batteriezellen positionieren	Funktionsbeteiligung Funktionsbeteiligung	A € v % a €	B € w % b €	C € x % c €	D € y % d €	E € z % e €	Σ €	%
	Zellverbinder positionieren		% €	% €	% €	% €	% €	Σ €	%
Crashloads aufnehmen	Verformungen aufnehmen		% €	% €	% €	% €	% €	Σ €	%
	Eindringungen verhindern		% €	% €	% €	% €	% €	Σ €	%
etc.									
			100%	100%	100%	100%	100%	Σ €	100%

Abbildung 2-7: Beispielhafte Funktionskostenmatrix für das KTM PowerPack⁶⁵

⁶⁴ vgl. VDI - Zentrum Wertanalyse (1995), S. 163f

⁶⁵ Eigene Abbildung in Anlehnung an VDI - Zentrum Wertanalyse (1981), S. 40

2.3 Unterstützende Methoden und Tools

Welche Methoden und Tools innerhalb der Phasen des WA-Projektes zur Anwendung kommen ist im genormten Arbeitsplan nicht fixiert und kann vom Durchführungsverantwortlichen nach Zweckmäßigkeit entschieden werden. Im Folgenden werden die im Rahmen dieser Arbeit angewandten Methoden und Tools kurz angeführt. Eine Beschreibung der Vorgehensweisen zur Durchführung der Methoden befindet sich im Anhang 6.1. In welchen Phasen die jeweiligen Methoden zum Einsatz kommen, wurde im Rahmen der Projektplanung in Phase 2 definiert (siehe Kapitel 3.2).

2.3.1 SWOT Analyse

Die SWOT- Analyse ist ein strategisch orientiertes Analyseverfahren zur Bewertung der Ausgangssituation. Die Abkürzung SWOT steht dabei für Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Gefahren). Das Verfahren stellt die internen Stärken und Schwächen den externen Chancen und Gefahren gegenüber und stellt diese in Form einer Tabelle dar.⁶⁶

2.3.2 5-WHY Methode

Bei der Methode 5-Why, oder auch Fehler-Ursachen Analyse oder kurz 5-W genannt, handelt es sich um eine Befragungstechnik zur Analyse der zugrunde liegenden Ursachen von Problemen. Die Durchführung dieser Methode benötigt oft nur wenige Minuten und stellt sicher, dass die tatsächlichen Ursachen anstatt der Symptome des Problems behandelt werden.⁶⁷

2.3.3 Ursachen-Wirkungsanalyse

Die Ursachen-Wirkungsanalyse ist eine Methode zur systematischen Untersuchung von Problemursachen. Die Methode ist aufgrund der grafischen Darstellung in Form eines Fisches auch bekannt unter dem Namen Fishbone- oder Fischgräten-Methode.⁶⁸

2.3.4 Benchmarking

Benchmarking ist ein Instrument zum Vergleich eigener Produkte, Dienstleistungen oder Prozesse mit jenen von Wettbewerbern. Ziel ist es, gegenseitig voneinander durch die Feststellung von sogenannten Klassenbesten und der Leistungslücke zu diesen zu lernen.⁶⁹

⁶⁶ vgl. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de>, Zugriffsdatum: 15.07.2015

⁶⁷ vgl. www.lean-production-expert.de, Zugriffsdatum: 06.10.2015

⁶⁸ vgl. Kuster, J. (2011), S. 401f

⁶⁹ vgl. Alisch, K. (2004), S. 365

2.3.5 Brainstorming

Brainstorming ist eine sehr vielseitig einsetzbare Methode, die sich nicht nur zur Lösungsfindung eignet, sondern in mehreren Phasen der Wertanalyse eingesetzt werden kann. Brainstorming kann etwa auch zur Unterstützung anderer Analyse- und Kreativitätstechniken herangezogen werden.⁷⁰

2.3.6 TRIZ

Der Erfolg von Wertanalyseprojekten hängt sehr stark von den Aktivitäten in den Phasen 4 (Funktions- und Kostenanalyse) und 5 (Ideenfindung) ab. TRIZ ist eine Kreativitätstechnik mit zielstrebigem Vorgehensweise zur Förderung der Kreativität bei der Erarbeitung von innovativen Lösungsansätzen.⁷¹

2.3.7 SCAMPER Methode

Die SCAMPER Methode ist eine Kreativitätstechnik, welche zur Verbesserung bestehender oder der Entwicklung neuer Produkte eingesetzt werden kann. Diese Methode wurde aus der Osborne Checkliste heraus entwickelt und gibt sieben konkrete Stichworte als Ansätze für neue Lösungen vor.⁷²

2.3.8 LEAN Verschwendungsarten

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird nur ein kleiner Teil der Lehren des LEAN Management herausgegriffen, da dieser für die Ideensuche relevant ist. Taiichi Ohno definierte 7 Arten der Verschwendung, welche im Rahmen des Betriebs eines Unternehmens auftreten können.⁷³

2.3.9 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist ein Hilfsmittel für Entscheidungen zwischen Alternativen. Die Methode ermöglicht die Bewertung nach einer großen Anzahl von Kriterien, wobei diese sowohl objektiv als auch subjektiv beurteilbar sein können. Dieser Nutzwert ist nicht als absolutes Maß für die Qualität der Alternative zu sehen, sondern lediglich als dimensionslose Größe für Vergleiche.⁷⁴

⁷⁰ vgl. Alisch, K. (2004), S. 519

⁷¹ vgl. VDI Wissensforum GmbH (2014), S. 167

⁷² vgl. Bergbauer, A. K.; Kleemann, B.; Raake, D. (2008)

⁷³ vgl. www.lean-production-expert.de, Zugriffsdatum: 17.10.2015

⁷⁴ vgl. Zangemeister, C. (2014), S. 6ff

3 Wertanalyseprojekt

Im Folgenden werden die im Rahmen des Projektes ausgeführten Schritte beschrieben. Das allgemeine Vorgehen richtet sich nach dem in ÖNORM EN 12973 festgelegten Arbeitsplan der Wertanalyse.

3.0 Phase 0 – Vorbereitung des Projektes

Die Phase 0 der WA dient der allgemeinen Beschreibung des Projektes, der Untersuchung der Durchführbarkeit sowie der Verteilung der Verantwortungsbereiche. All diese Schritte wurden im Rahmen der Projektausschreibung bereits geklärt, sodass an dieser Stelle nur eine kurze Beschreibung des Projektes folgt.

Projektbeschreibung

Den Anstoß für das Projekt lieferten die Erkenntnisse eines vorangegangenen Projektes am Institut für Fahrzeugsicherheit an der TU Graz. Demzufolge bestehen beim aktuellen Energiespeichersystem des elektrisch angetriebenen Motorrades „Freeride-E“ von KTM große Sicherheitsreserven und somit auch einige Einsparungspotentiale. Im Zuge dieses Projektes soll das genannte Energiespeichersystem einer wertanalytischen Betrachtung unterzogen werden um diese und weitere Verbesserungs- und Einsparungspotentiale zu identifizieren und konkrete Lösungsvorschläge zur Verwirklichung dieser zu finden.

3.1 Phase 1 – Projektdefinition

In der ersten Phase des WA-Projekts werden das betrachtete Wertanalyseobjekt und die Rahmenbedingungen, sowie die groben Ziele und die Mitwerkenden definiert.

3.1.1 WA- Objekt

Das Objekt dieser wertanalytischen Untersuchung ist die elektrische Energiespeichereinheit des geländegängigen E-Motorrades „Freeride-E“ von KTM (siehe Abbildung 3-1). Diese Energiespeichereinheit wird von KTM als „PowerPack“ bezeichnet. Es handelt sich dabei um eine geschlossene Einheit, welche die Akkuzellen und das gesamte Battery-Management-System aufnimmt und auf der Antriebseinheit des Motorrades montiert wird. Die Einheit ist als ganzes wechselbar und kann durch ein externes Ladegerät geladen werden.

Abbildung 3-1: KTM PowerPack⁷⁵

3.1.2 Systemabgrenzung

Im Rahmen dieses Projektes sollen nur die mechanischen Komponenten des PowerPacks betrachtet werden. Sowohl die Zellen als auch sämtliche anderen elektrischen Komponenten inklusive des Battery-Management-Systems sollen nicht berücksichtigt werden, da laut KTM diese nur geringfügig verändert werden können. Lediglich die Zellverbinder und Stromableiter können in die Betrachtung der mechanischen Komponenten eingebunden werden, falls bei diesen Potential für Einsparungen und Verbesserungen gefunden wird.

3.1.3 Grobziele

Ziel dieses Projektes ist es, anhand einer ausführlichen Analyse des bestehenden PowerPacks Potentiale für Verbesserungen und Einsparungen zu finden und darauf basierend Lösungsvorschläge für die Entwicklung einer nächsten Generation von PowerPacks zu generieren. Diese Lösungsvorschläge sollen die Erfüllung folgender Ziele unterstützen beziehungsweise ermöglichen:

- Optimierung bestehender Funktionen
- Integration neuer Funktionen
- Senkung der Herstellkosten

3.1.4 Mitwirkende

Diese Masterarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der KTM AG und dem Institut für Fahrzeugsicherheit (Vehicle Safety Institute – VSI) der TU Graz unter der methodischen und wissenschaftlichen Betreuung des Institutes für Industriebetriebslehre (IBL) und Innovationsforschung der Technischen Universität Graz durchgeführt (siehe Abbildung 3-2). Die Betreuung von Seiten des Institutes für Industriebetriebslehre erfolgte durch Herrn Dipl.-Ing. Thomas Böhm und Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Peter Schnöll und von Seiten des Institutes für Fahrzeugsicherheit von

⁷⁵ www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

Herrn Dipl.-Ing. Christian Ellersdorfer und Herrn Dott. mag. Alessio Sevarin. Frau Nina Deitermann ist die Ansprechpartnerin seitens KTM und koordiniert die Kontakte zu weiteren beteiligten Fachexperten.

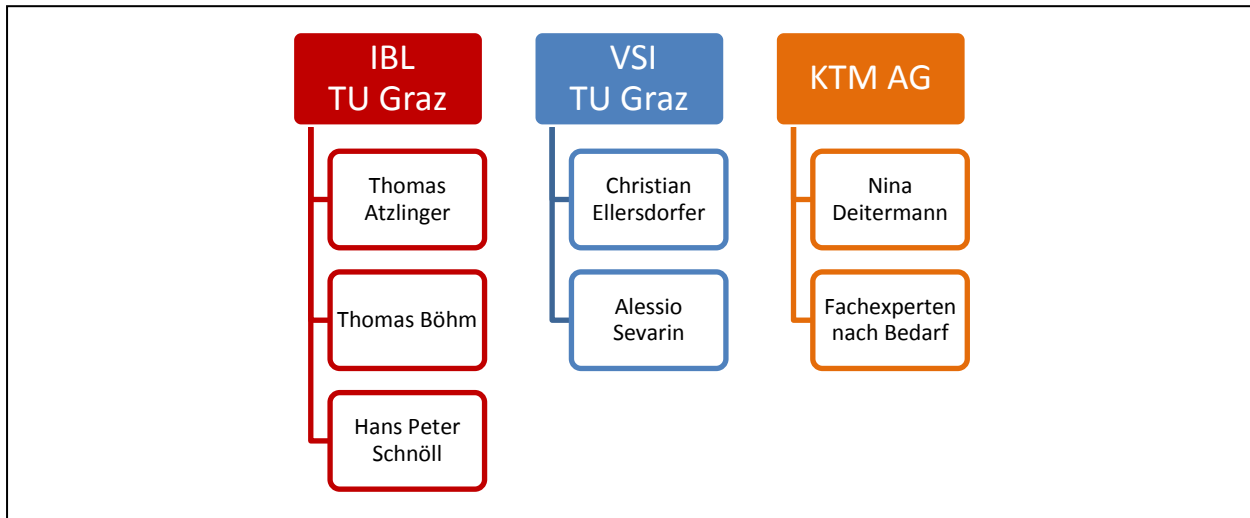


Abbildung 3-2: Mitwirkende am WA- Projekt⁷⁶

3.2 Phase 2 – Planung

In dieser Phase geht es an die genaue Planung des Projektablaufes. Der grobe Projektablauf ist in Kapitel 1.3 beschrieben. Die Vorgehensweise und die zu verwendenden Methoden und Tools (siehe Abbildung 3-3) wurden definiert und ein grober Zeitplan ausgearbeitet. Dies wurde den Beteiligten im Rahmen einer Telefonkonferenz vorgestellt und vom Projektteam abgesegnet.

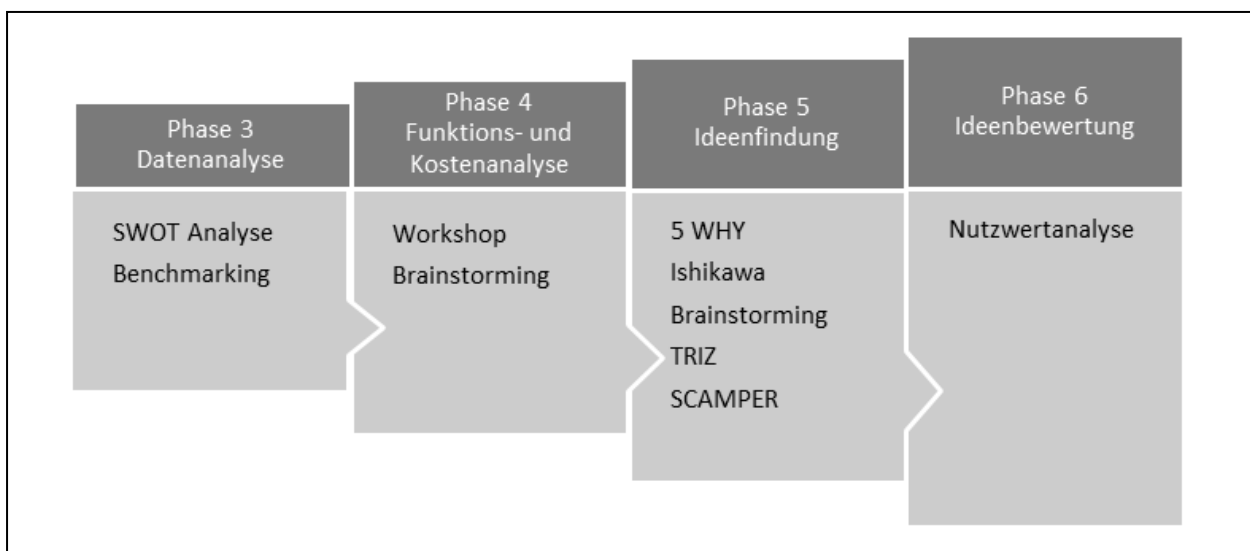


Abbildung 3-3: Eingesetzte Methoden und Tools⁷⁷

⁷⁶ eigene Abbildung

⁷⁷ eigene Abbildung

3.3 Phase 3 – Umfassende Daten über Studie sammeln

In diesem Abschnitt werden zunächst die Modelle der KTM Produktpalette vorgestellt, in welchen das betrachtete PowerPack zum Einsatz kommt. Danach wird auf das PowerPack selbst eingegangen und ein Vergleich mit den Modellen anderer Hersteller durchgeführt.

3.3.1 Modellübersicht KTM Freeride- E

E-Motorräder setzen neue Akzente im Offroad- und Endurosport. Die elektrogetriebenen Offroad-Modelle von KTM lassen sich im Vergleich zu den Modellen mit Verbrennungsmotoren leichter und lärmärmer durch das Gelände bewegen. Neben dem Lärm des Verbrennungsmotors entfällt bei E-Motorrädern auch die Belastung der Umwelt durch Abgasemissionen sowie Öl- und Kraftstoffverluste. Durch den Wegfall des benötigten Kickstarters, der Gangschaltung und Kupplung sind die Motorräder leicht zu bedienen und ermöglichen weniger geübten Fahrern einfachen Fahrspaß. Nichtsdestotrotz können die E-Modelle aufgrund des hohen Drehmoments und der raschen Leistungsentfaltung auch für professionelle Fahrer zur Herausforderung werden und diesen im Hochleistungssport zu Bestzeiten verhelfen.⁷⁸

KTM bietet derzeit drei Modellvarianten mit Elektromotor an. Alle drei basieren auf dem Freeride Modell, bei welchem versucht wurde die Agilität eines Trial-Motorrades mit dem Komfort eines Enduro Motorrades zu vereinen. Mit den drei Modellen Freeride E-SX (siehe Abbildung 3-4), E-XC (siehe Abbildung 3-5) und E-SM (siehe Abbildung 3-5) deckt KTM alle Einsatzgebiete von Offroad, Onroad bis hin zum öffentlichen Straßenverkehr ab.⁷⁹



Abbildung 3-4: KTM Freeride E-SX⁸⁰

⁷⁸ vgl. www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

⁷⁹ vgl. www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

⁸⁰ www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

Abbildung 3-5: KTM Freeride E-XC und E-SM ⁸¹

Alle drei Modelle sind auf dem gleichen Rahmen aufgebaut und mit der gleichen Antriebseinheit ausgestattet. Die Unterschiede liegen in den unterschiedlichen Ausstattungsvarianten, welche die Motorräder auf den Einsatz im jeweils bevorzugten Einsatzgebiet optimieren. Der Antrieb liefert in den einstellbaren Fahrmodi bis zu 16 kW und 42 Nm. Zur Ladung des 2,6 kWh fassenden Energiespeichers benötigt das mitgelieferte externe Ladegerät (siehe Abbildung 3-6) 80 min, verbraucht ist diese Energie je nach Einsatz und Fahrkönnen in etwa einer Stunde.⁸²

Abbildung 3-6: Ladegerät der Freeride-E Modelle von KTM ⁸³

3.3.2 Antriebseinheit

Angetrieben werden die Freeride-E Modelle durch einen permanentmagneterregten Synchronmotor in Scheibenläuferbauweise. Das kompakt ausgeführte Antriebsaggregat (siehe Abbildung 3-7) liefert eine Spitzenleistung von bis zu 16 kW. Die Dauerleistung beträgt dank der Flüssigkeitskühlung des Gehäuses auch bei hohen Umgebungstemperaturen 11 kW. Die bis zu 42 Nm Drehmoment liefernde

⁸¹ www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

⁸² vgl. www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

⁸³ www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

Antriebseinheit benötigt für das Anfahren keine Kupplung und während der Fahrt auch kein Schaltgetriebe.⁸⁴



Abbildung 3-7: KTM Freeride – E Antriebseinheit ⁸⁵

3.3.3 KTM PowerPack

Der Energiespeicher der KTM Freeride-E Modelle (siehe Abbildung 3-8, oben), sitzt direkt auf der Antriebseinheit des Motorrades und ist durch das Lösen von vier Schrauben einfach auszuwechseln. Das PowerPack verfügt über eine Kapazität von 2,6 kWh und ist 28 kg schwer. Zur Speicherung sind darin 360 Lithium-Ionen Zellen verbaut. Neben den Zellen enthält das PowerPack auch sämtliche Komponenten des Battery-Management-Systems. Um jeglichen Witterungsbedingungen standhalten zu können, sind sowohl die Antriebseinheit als auch der Energiespeicher und die Leistungselektronik der Freeride-E nach der Schutzklasse IP 67 völlig staub- und wasserdicht ausgeführt.⁸⁶



Abbildung 3-8: KTM Freeride - E Antriebsmotor und Energiespeicher ⁸⁷

⁸⁴ vgl. www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

⁸⁵ www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

⁸⁶ vgl. www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

⁸⁷ www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015

3.3.4 Analyse des Aufbaus des bestehenden PowerPack

Das KTM PowerPack besteht aus 3 sogenannten Sektionen, in welchen jeweils 120 Lithium- Ionen Zellen des Typs 18 650 verbaut sind. Der grundsätzliche Aufbau wird in Abbildung 3-9 anhand eines Schnittmodelles gezeigt. Von außen erkennt man das 3-teilige Aluminium Gehäuse, die Schrauben des Gehäuses sowie die zur Montage auf der Antriebseinheit, einen Transportgriff, den Ladestecker sowie die elektrischen Kontakte zur Verbindung mit der Antriebseinheit. Im hinteren Teil des PowerPacks befinden sich die erwähnten Sektionen mit den Zellen, im vorderen Bereich die elektrischen Komponenten des Battery- Management Systems.

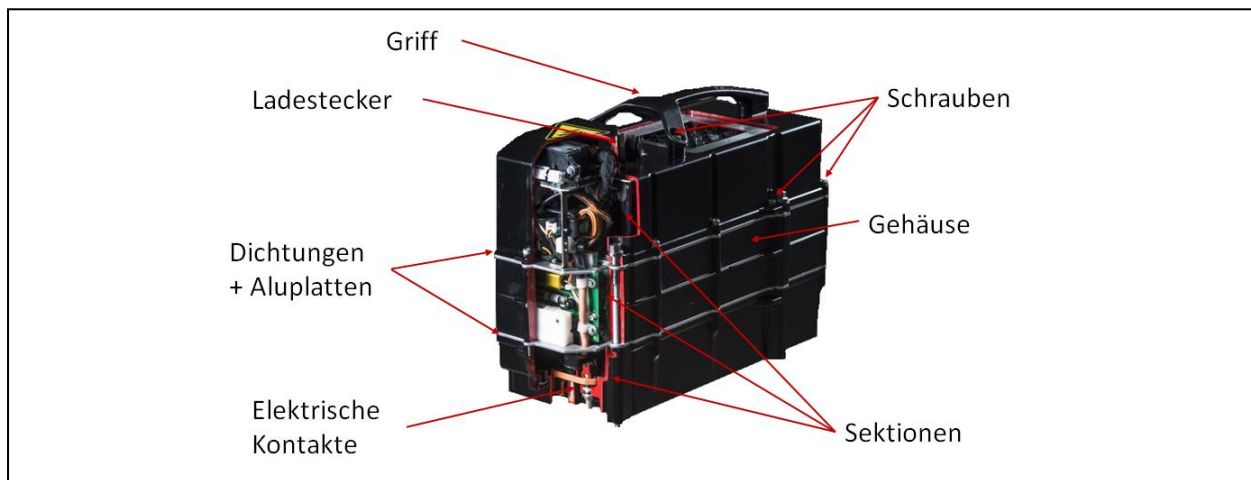


Abbildung 3-9: Aufbau des PowerPack ⁸⁸

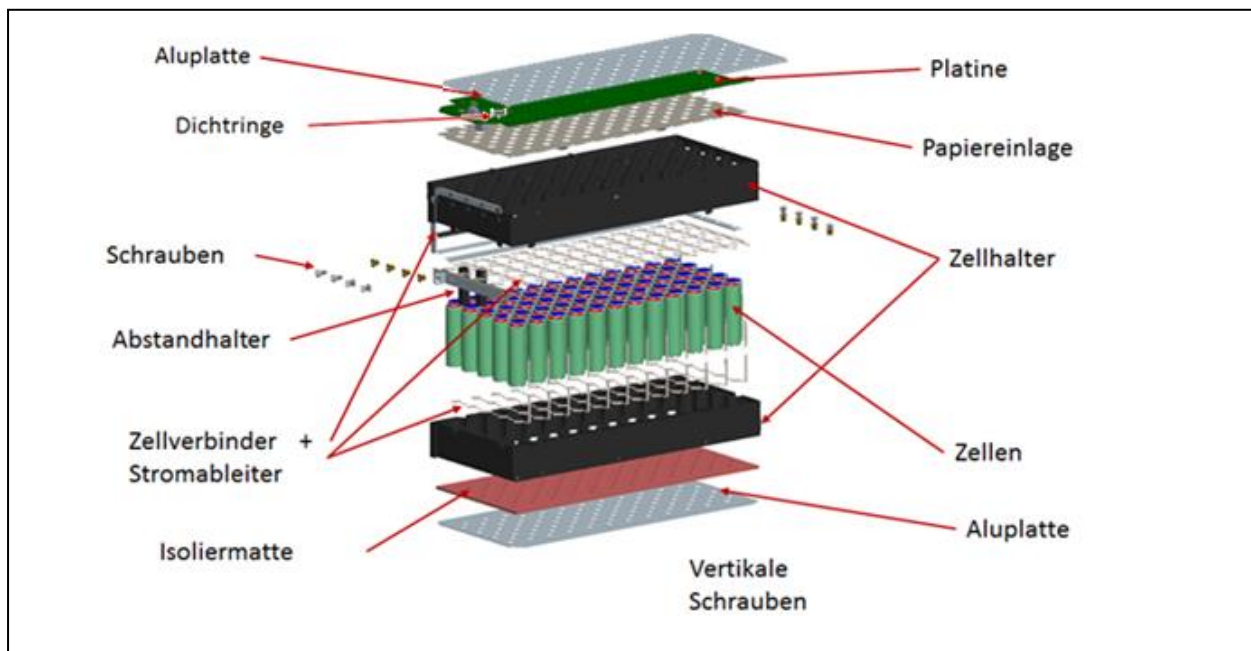


Abbildung 3-10: Aufbau der Sektionen ⁸⁹

⁸⁸ eigene Abbildung, Daten erhalten von KTM AG (2015)

⁸⁹ eigene Abbildung, Daten erhalten von KTM AG (2015)

Abbildung 3-10 zeigt den Aufbau der einzelnen Sektionen. Die drei Sektionen sind grundsätzlich baugleich ausgeführt, lediglich durch ihre Einbauposition als obere, mittlere oder untere Sektion im PowerPack ergeben sich leichte Unterschiede in der elektrischen Beschaltung.

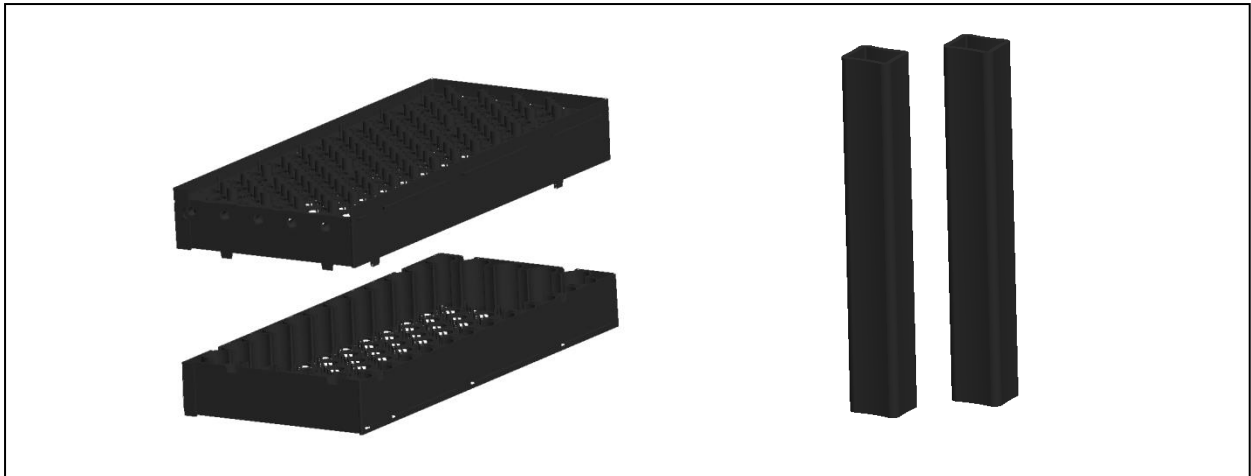


Abbildung 3-11: 2-teilige Zellhalter und Abstandshalter ⁹⁰

An den Stellen der Ober- und Unterseite der Zellen befinden sich Löcher in den Zellhaltern, um eine Verbindung der Zellverbinder (siehe Abbildung 3-12, links) mit den Zellen zu ermöglichen. Die Zellverbinder sind Blechteile, welche mit den Polen der Zellen verschweißt werden. Die elektrische Verbindung der Sektionen erfolgt durch Stromableiter. Es handelt sich dabei um Metallbügel, welche mit mehreren Schrauben befestigt werden (siehe Abbildung 3-12, rechts).

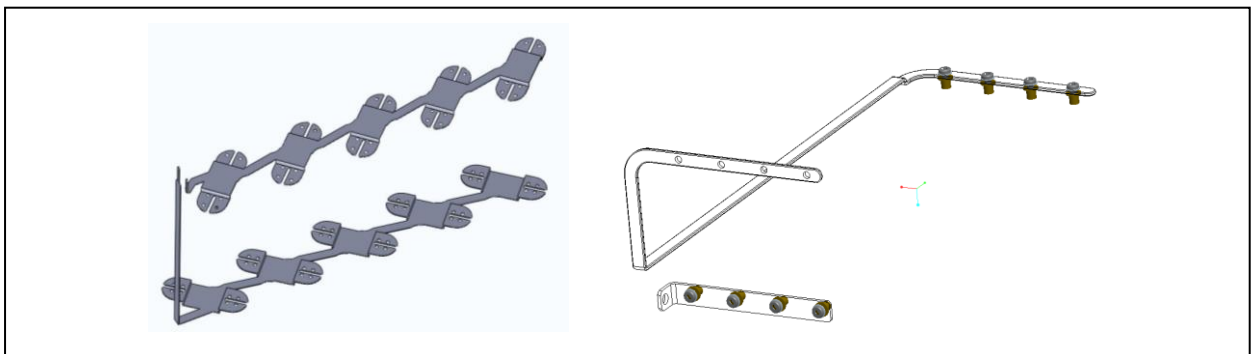


Abbildung 3-12: Zellverbinder und Stromableiter ⁹¹

Nach dem oberen Zellhalter folgt eine zur Isolierung eingesetzte Papiereinlage, nach welcher die Platine zur Überwachung von Ladezustand und Temperatur der Zellen montiert ist. Die Platine ist seitlich mit den Zellverbindern verbunden, zu diesem Zweck sind die Zellverbinder mit kleinen Verlängerungen versehen (siehe linkes Ende der Zellverbinder, Abbildung 3-12, links). Oberhalb der Platine werden Dichtringe

⁹⁰ eigene Abbildung, Daten erhalten von KTM AG (2015)

⁹¹ eigene Abbildung, Daten erhalten von KTM AG (2015)

eingesetzt, welche den richtigen Abstand zur folgenden Platte halten. Diese Platte ist zwischen der unteren und mittleren Sektion als dünne Wärmeleitplatte aus Aluminium ausgeführt (siehe Abbildung 3-13). Diese Wärmeleitplatten werden bei der Montage der Sektionen im Gehäuse zwischen den Gehäusehälften montiert und dient der Wärmeabfuhr von der Sektion an das Gehäuse und die Umwelt (siehe Abbildung 3-13). Oberhalb der obersten Sektion und unterhalb der untersten Sektion sind dies Deckplatten, ebenfalls aus Aluminium. Zwischen diesen und dem Gehäuse befindet sich eine Wärmeleitmatte zur Wärmeübertragung an das Gehäuse. Unter dem unteren Zellhalter befindet sich ebenfalls eine Isoliermatte, welche als elektrische Isolierung zu der folgenden Wärmeleit- oder Deckplatte dient. Zusammengehalten werden die Sektionen durch lange Stifte, welche durch alle Sektionen reichen und mit der obersten und untersten Deckplatte verschraubt sind. Diese Aluminiumstifte sind durch die Löcher in den Abstandhaltern (siehe Abbildung 3-11, rechts) geführt und leiten die Wärme der Zellen an den Rand der Sektionen ab.

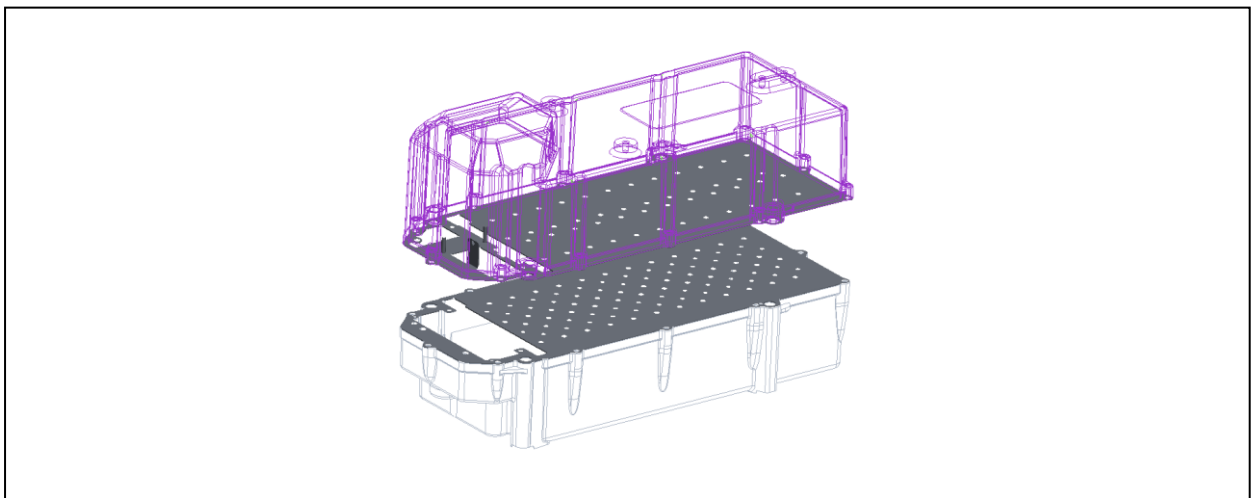
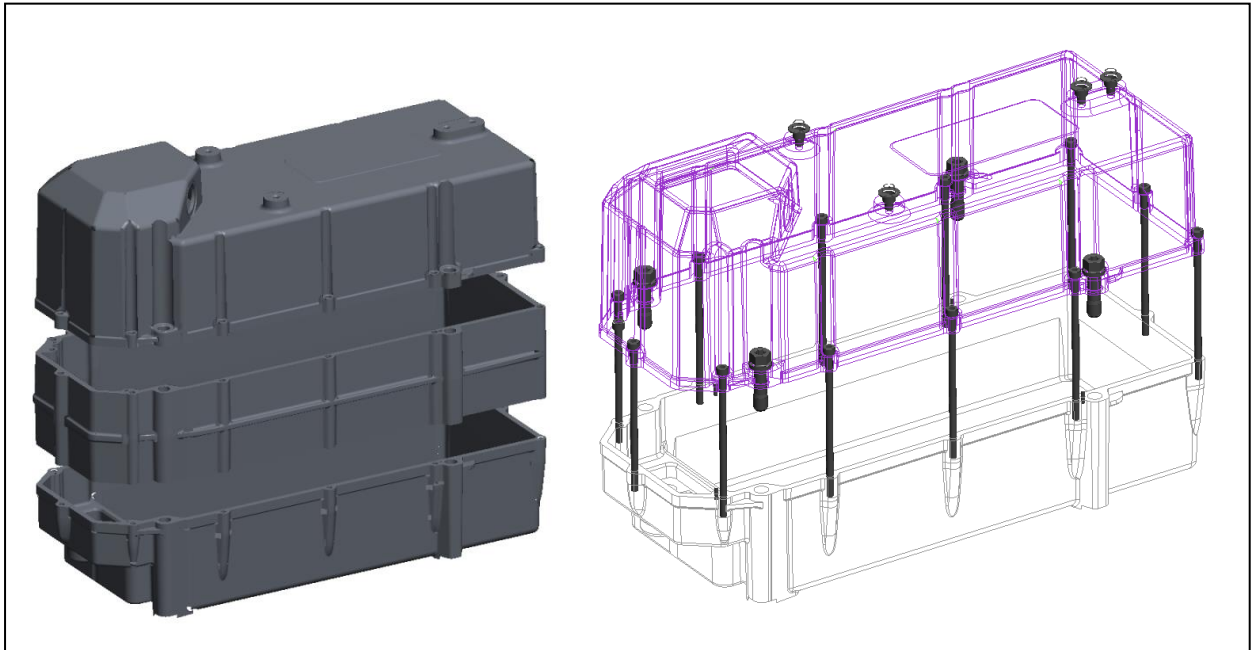


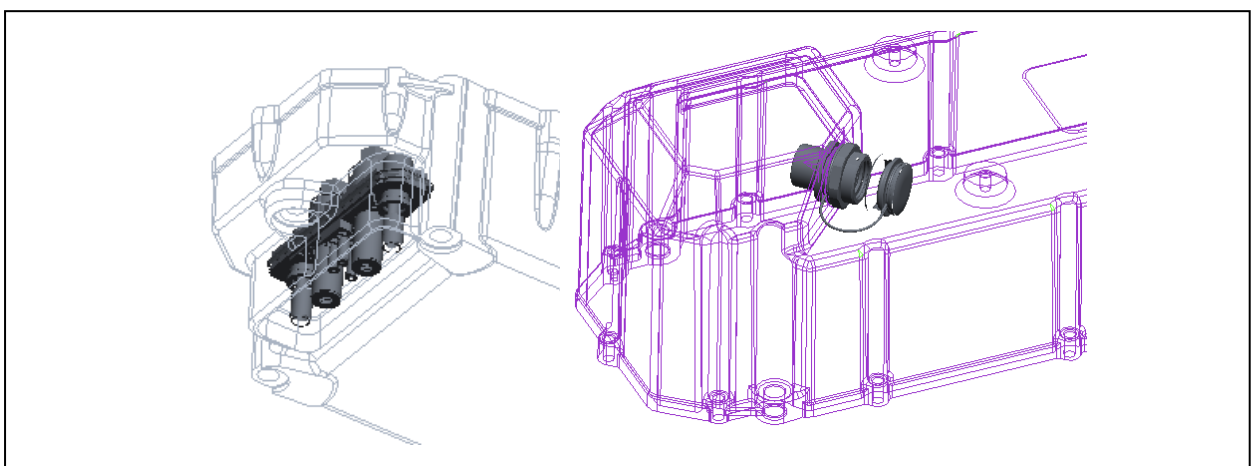
Abbildung 3-13: Zwischenplatten zur Wärmeabfuhr ⁹²

Die 3 Sektionen sind in einem 3-teiligen Aluminium Druckgussgehäuse enthalten (siehe Abbildung 3-14, links). Die Gehäusehälften werden durch Zentrierstifte in Position gebracht und durch, über den gesamten Umfang verteilte, Schrauben zusammengehalten (siehe Abbildung 3-14, rechts, lange Schrauben). Die Abdichtung des Gehäuses erfolgt durch Dichtpaste, welche bei der Montage auf die Dichtflächen aufgetragen wird. Zur Montage des PowerPacks ragen aus der Antriebseinheit lange Stehbolzen, auf welche dieses aufgesteckt und durch vier im Gehäuse befindliche Schrauben mit Innengewinde fixiert wird (siehe Abbildung 3-14, rechts, kurze Schrauben).

⁹² eigene Abbildung, Daten erhalten von KTM AG (2015)

Abbildung 3-14: Aufbau des 3-teiligen Gehäuses ⁹³

Am oberen Ende des Gehäuses ist der Ladestecker verbaut (siehe Abbildung 3-15, rechts). Dieser stellt die Verbindung mit dem Ladegerät her und kann ansonsten verschlossen werden. Auf der Unterseite befinden sich die Kontakte zur Verbindung mit der Antriebseinheit (siehe Abbildung 3-15, links). Diese sind im Gehäuse versenkt und dadurch beim Abstellen des PowerPacks ab Boden geschützt. Diese bestehen aus 2 Leistungskontakten und 4 Signalkontakten. Die Zentrierung der Stecker beim Einsetzen des PowerPacks in das Motorrad erfolgt durch seitlich angeordnete Zentrierstifte.

Abbildung 3-15: Elektrische Kontakte und Ladestecker ⁹⁴

⁹³ eigene Abbildung, Daten erhalten von KTM AG (2015)

⁹⁴ eigene Abbildung, Daten erhalten von KTM AG (2015)

3.3.5 Grundlagen zu Lithium- Ionen Akkuzellen

Lithium- Ionen Zellen spielen eine sehr wichtige Rolle in der Elektromobilität und werden von zahlreichen Herstellern elektrisch angetriebener Fahrzeuge als Energiespeicher eingesetzt. Zur Speicherung der Energie werden im PowerPack 360 Lithium- Ionen Zellen der Bauform 18650 verwendet. Die technischen Daten der verwendeten Zellen sind in Kapitel 3.3.6 zu finden. Im nun folgenden Abschnitt werden kurz die Grundlagen über den Aufbau, die Funktionsweise und das Gefahrenpotential dieser Zellen vorgestellt.

3.3.5.1 Aufbau

Lithium- Ionen Zellen sind elektrochemische Spannungsquellen auf der Basis von Lithium. Der schematische Aufbau wird in Abbildung 3-16 gezeigt. Die negative Elektrode davon besteht meist aus Grafit und verwendet Kupfer als Stromableiter. Die positive Elektrode besteht aus Lithium- Metalloxid, dies kann beispielsweise Nickel oder Kobalt enthalten und verwendet Aluminium als Stromableiter. Zwischen den Elektroden befindet sich ein ionenleitfähiger Elektrolyt und eine poröse Membran, der sogenannte Separator. Beim Laden und Entladen wandern Lithium- Ionen zwischen den Elektroden und werden in den Aktivmaterialien gespeichert. Lithium- Ionen Zellen haben eine Nennspannung von 3,6- 3,7 Volt.⁹⁵

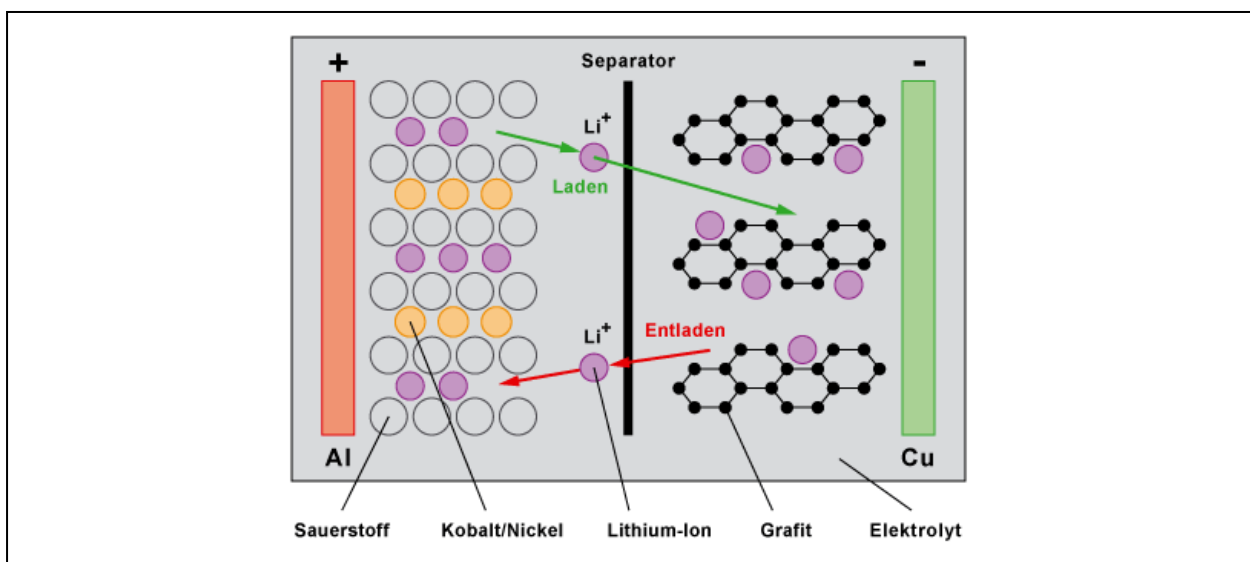


Abbildung 3-16: Schematischer Aufbau eines Lithium-Ionen Akkumulators⁹⁶

Eine sehr gängige Ausführung von Lithium- Ionen Zellen ist die Bauform 18650 (siehe Abbildung 3-17), wobei 18 für den Durchmesser in mm und 650 für die Länge in 1/10 mm steht. Je nach Ausführung können diese Maße leicht abweichen.

⁹⁵ vgl. Korthauer, R. (2013), S. 17f

⁹⁶ www.elektronik-kompodium.de, Zugriffsdatum: 15.12.2015



Abbildung 3-17: Panasonic Zelle CGR18650KA der Bauform 18650 ⁹⁷

Im Querschnitt einer solchen Zelle erkennt man die Tomographie der Zelle (siehe Abbildung 3-18). Die Schichten der Elektroden, der Elektrolyt sowie der Separator sind dabei spiralförmig im Inneren der Zelle aufgerollt. ⁹⁸

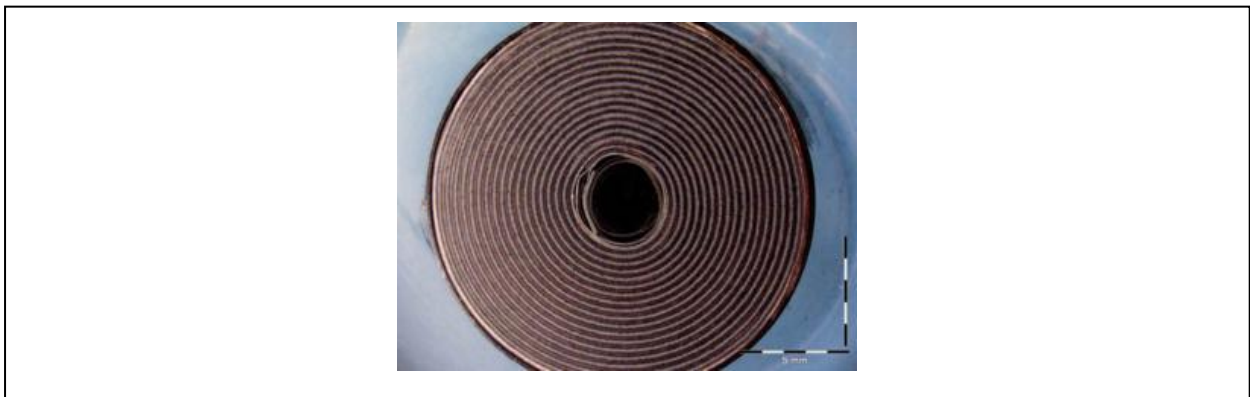


Abbildung 3-18: Querschnitt einer Akkuzelle der Bauform 18650 ⁹⁹

Je nach Einsatzgebiet können mehrere Zellen in einem Modul in Serie geschaltet und zur Erhöhung der Gesamtkapazität auch parallel geschaltet werden. Solche Module benötigen zur Steuerung ein Battery- Management System, welches neben den Zellspannungen und den Strömen auch die Temperatur während der Lade- und Entladevorgänge überwacht. ¹⁰⁰

3.3.5.2 Eigenschaften

Lithium- Ionen Zellen zeichnen sich sowohl durch eine sehr hohe Energiedichte, einen sehr hohen Wirkungsgrad bei Ladung und Entladung, eine sehr hohe Lebensdauer sowie einer sehr geringen Selbstentladung aus. Lithium- Ionen Zellen sind jedoch sehr empfindlich bei Über- und Tiefentladung, dies ist durch eine entsprechende Überwachung durch das Battery- Management zu vermeiden. ¹⁰¹

⁹⁷ www.tme.eu, Zugriffsdatum: 15.12.2015

⁹⁸ vgl. www.exponent.com, Zugriffsdatum: 15.12.2015

⁹⁹ www.exponent.com, Zugriffsdatum: 15.12.2015

¹⁰⁰ vgl. Korthauer, R. (2013), S. 14f

¹⁰¹ vgl. Korthauer, R. (2013), S. 16

Bei tiefen Temperaturen laufen die chemischen Reaktionen innerhalb der Zellen langsamer ab und es erhöht sich des Weiteren auch der Innenwiderstand, wodurch die abgebbare Leistung sinkt. Bei extrem tiefen Temperaturen kann es auch zum Einfrieren des Elektrolyten kommen. Bei zu hohen Betriebstemperaturen hingegen kann es durch eine Zersetzung des Elektrolyten zur Bildung einer Schicht auf der Anode kommen, wodurch sich der Innenwiderstand erhöht. Aufgrund der hohen Ströme, besonders während des Entladevorganges, erwärmen sich Lithium- Ionen Zellen im Betrieb.¹⁰²

3.3.5.3 Gefahrenpotential

Lithium ist ein hochreaktives Metall, welches sehr leicht brennbar ist und besonders im Kontakt mit Wasser eine stark exotherme Reaktion hervorruft. Lithium- Ionen Akkumulatoren sind im Inneren wasserfrei. Kommt es zu Beschädigungen der Zelle kann Wasser direkt oder in Form von Luftfeuchtigkeit eindringen und es kommt zu einer Reaktion unter sehr starker Wärmeentwicklung, wodurch hohe Brandgefahr besteht. Metallbrände dieser Art sind extrem schwer zu löschen und dürfen keinesfalls mit Wasser gelöscht werden. Bei einer Überladung, einem Kurzschluss oder einer zu großen Erhitzung der Zellen kommt es zu einem Zusammenbruch der Schichtstruktur der Metalloxide. Dieser exotherm verlaufende Vorgang setzt hohe Energiemengen frei und es kommt zur Bildung leicht brennbarer Gase, welche bei Überschreiten des Flammpunktes ebenfalls einen Brand verursachen können. Neben externen Kurzschlüssen kann es auch durch einen Bruch des Separators im Inneren der Zellen zu einem Kurzschluss kommen. Ein solcher Bruch kann beispielsweise durch starke Verformungen oder Eindringungen von externen Elementen in die Zelle entstehen.¹⁰³

3.3.6 Lithium- Ionen Zellen des Typs 18650

Zur Speicherung der Energie werden im PowerPack 360 Lithium- Ionen Zellen der Bauform 18650 von Samsung mit der Typenbezeichnung CGR18650KA verwendet (siehe Abbildung 3-17). Diese Zellen haben eine Nennspannung von 3,6 Volt und eine Nennkapazität von 1650 mAh. Die Ladespannung beträgt 4,2 Volt und der maximale Entladestrom 20 Ampere. Die Zellen können in einem Temperaturbereich von -20 bis +60° Celsius eingesetzt werden. Die Oberflächentemperatur der Zellen darf +70° Celsius keinesfalls überschreiten.¹⁰⁴

¹⁰² vgl. www.elektronik-kompendium.de, Zugriffsdatum: 15.12.2015

¹⁰³ vgl. www.elektroniknet.de, Zugriffsdatum: 15.12.2015

¹⁰⁴ Datenblatt erhalten von KTM AG (2015)

Die Abmaße und dazugehörigen Maßtoleranzen der Zellen sind in Abbildung 3-19 dargestellt.

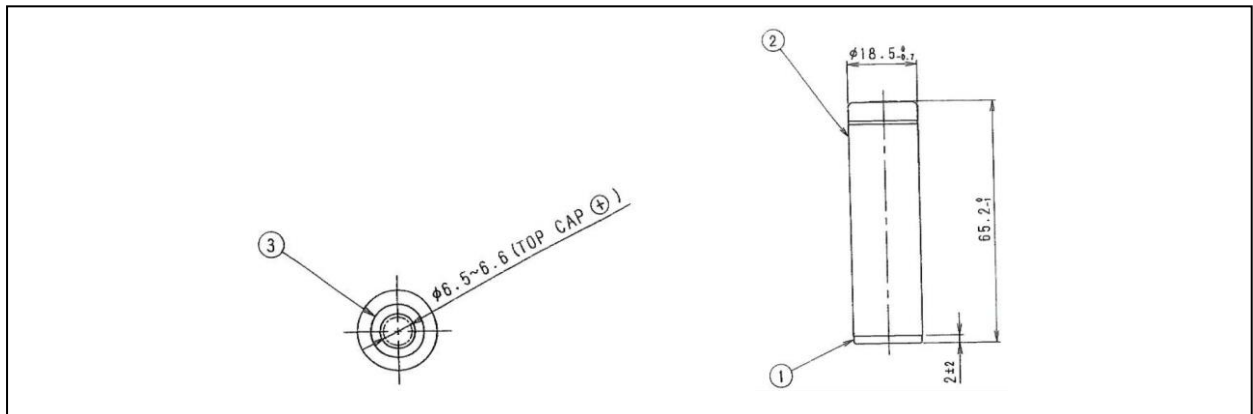


Abbildung 3-19: Abmaße der Zelle CGR18650KA ¹⁰⁵

¹⁰⁵ Datenblatt erhalten von KTM AG (2015)

3.3.7 SWOT-Analyse des PowerPack

Zur Analyse der Ausgangssituation wurde an dieser Stelle eine SWOT-Analyse durchgeführt. Der Umfang dieser SWOT-Analyse beschränkt sich bei der intern orientierten Analyse auf das PowerPack und bei der extern orientierten auf das Segment von vergleichbaren geländegängigen E- Motorrädern (siehe Tabelle 3-1).

<p><u>Strengths – interne Stärken</u></p> <p>S.1 Erfahrung als Marktführer S.2 Hohe Qualität S.3 Robuste und kompakte Bauweise S.4 Gute Abdichtung S.5 Hohe Betriebssicherheit</p> <p style="text-align: center;">FÖRDERN</p>	<p><u>Opportunities – externe Möglichkeiten</u></p> <p>O.1 Marktwachstum O.2 Andere Modelle O.3 Neue Zelltechnologien O.4 Sekundäre Verwendung</p> <p style="text-align: center;">NUTZEN</p>
<p><u>Weaknesses – interne Schwächen</u></p> <p>W.1: Aufwändige Montage W.2: Mechanische Überdimensionierung W.3: Geringe Stückzahlen W.4: Hohe Werkzeugkosten W.5: Aufwändige Elektronik W.6: Abhängigkeit vom Lieferant</p> <p style="text-align: center;">REDUZIEREN</p>	<p><u>Threats – externe Gefahren</u></p> <p>T.1: Steigende Konkurrenz T.2: Gesetzliche Bestimmungen T.3: Umweltauflagen T.4: Gefahr einer Substitutionstechnologie</p> <p style="text-align: center;">BEGRENZEN</p>

Tabelle 3-1: SWOT Analyse PowerPack

Strengths:

- S.1: **Erfahrung als Marktführer:** Zur KTM Freeride-E gibt es zur Zeit nur wenige vergleichbare Konkurrenzprodukte am Markt. KTM hat als Marktführer einen klaren Erfahrungsvorsprung.
- S.2: **Hohe Qualität:** Das KTM PowerPack zeichnet sich durch sehr hohe Qualität und Zuverlässigkeit aus. Die Bauteile sind solide und stabil ausgeführt um jeder Belastung standhalten zu können.

- S.3: **Robuste und kompakte Bauweise:** Das Alu-Gehäuse verleiht dem PowerPack eine sehr hohe Stabilität und macht es sehr widerstandsfähig gegen mechanische Belastungen. Auch im Crashfall bietet das Gehäuse guten Schutz für die Zellen. Durch die saubere Integration aller Bauteile in das kompakte Gehäuse sind diese vor Umwelteinflüssen bestens geschützt.
- S.4: **Gute Abdichtung:** Das bestehende PowerPack entspricht der Schutzart IP67 und ist somit vollständig gesichert gegen Berührung, staubdicht und kann zeitweilig in Flüssigkeiten untergetaucht werden. Dies ist die optimale Voraussetzung für den zuverlässigen Einsatz unter härtesten Bedingungen.
- S.5: **Hohe Betriebssicherheit:** Neben der Berührsicherheit nach IP67 ist das PowerPack mit einer zusätzlichen Schutzfunktion ausgestattet, welche die Spannung an den Leistungskontakten nur schaltet, wenn es fachgerecht im Motorrad montiert ist.

Weaknesses:

- W.1: **Aufwändige Montage:** Die Montage des PowerPack ist aufgrund der hohen Anzahl an Einzelteilen und den vielen Teilschritten sehr aufwändig und erfolgt größtenteils in Handarbeit. Viele der Verbindungen etwa sind sehr zeitaufwändig bei der Montage.
- W.2: **Mechanische Überdimensionierung:** Das Gehäuse ist laut den Erfahrungen des Projektes KoRe mechanisch überdimensioniert. Dies verleiht dem Gehäuse zwar gute Stabilität, erhöht jedoch auch Gewicht und Kosten.
- W.3: **Geringe Stückzahl:** Der Markt für Offroad E-Motorräder ist noch relativ klein und somit sind die produzierten Stückzahlen im Vergleich zu den Motorrädern mit Verbrennungsmotor sehr niedrig.
- W.4: **Hohe Werkzeugkosten:** Viele der Bauteile sind Spritzgussteile aus Kunststoff und Aluminium. Zur Produktion dieser werden aufwändige und teure Werkzeuge benötigt. Die hohen Kosten für neue Werkzeuge machen Änderungen sehr schwierig und schränken die Flexibilität stark ein.
- W.5: **Aufwändige Elektronik:** Die für das Battery- Management System benötigten elektrischen Komponenten sind den benötigten Komponenten von größeren Batterien, wie zum Beispiel in PKWs sehr ähnlich. Aufgrund der geringen Anzahl an Batteriezellen im Vergleich zu Batteriepaketen von PKWs ist der Anteil der Kosten für die elektrischen Komponenten an den Gesamtkosten sehr hoch.
- W.6: **Abhängigkeit vom Lieferanten:** Das PowerPack wird als fertig montierte Einheit von einem Zulieferer zugekauft.

Opportunities:

- O.1: **Marktwachstum:** Der Markt für E-Motorräder ist ein wachsender Markt. Durch ständig steigende Umweltaforderungen an Verbrennungsmotoren und die klaren Vorteile von Elektroantrieben in gewissen Anwendungsfeldern ist dieses Segment mit Sicherheit ein richtungsweisendes in Zukunft.
- O.2: **Andere Modelle:** Bei der Entwicklung anderer elektrisch angetriebener Motorradmodelle kann das Know-How und die Technologie der bereits bestehenden genutzt werden. Durch Wiederverwendung von Bauteilen und Baugruppen kann die Stückzahl erhöht werden.
- O.3: **Neue Zelltechnologien:** Zelltechnologien entwickeln sich sehr schnell weiter und werden in Zukunft durch die gesteigerte Energiedichte noch größere Kapazitäten, ein geringeres Gewicht und kürzere Ladezeiten ermöglichen, sodass die Konkurrenzfähigkeit zu Verbrennungsmotoren erheblich gesteigert wird.
- O.4: **Sekundäre Verwendung:** Energiespeicher, deren Kapazität und Leistungsfähigkeit den hohen Anforderungen von E-Motorrädern nicht mehr entsprechen, können sekundären Verwendungen mit niedrigeren Leistungsanforderungen zugeführt werden. Dies würde deren Lebensdauer erweitern um die, wenn auch reduzierte, Ladefähigkeit voll ausschöpfen zu können bevor der Speicher einem Recyclingprozess zugeführt wird.

Threats:

- T.1: **Steigende Konkurrenz:** Aufgrund des großen Wachstumspotentials des Marktes werden in Zukunft mehr Konkurrenten mit neuen Modellen auf den Markt kommen.
- T.2: **Gesetzliche Bestimmungen:** Für E-Motorräder gibt es derzeit nur sehr begrenzte gesetzliche Bestimmungen hinsichtlich des Umganges mit Akkus. Mögliche gesetzliche Bestimmungen sind bei Neuentwicklungen unbedingt zu berücksichtigen, um nachträgliche Änderungen zu vermeiden.
- T.3: **Umweltauflagen:** Die Entsorgung und das Recycling von Akkuzellen ist aufgrund der problematischen Chemikalien aufwändig und kostenintensiv. Steigende Umweltauflagen können zu neuen Vorgaben hinsichtlich Recyclingfähigkeit und Entsorgung führen.
- T.4: **Gefahr einer Substitutionstechnologie:** Die schnelle Entwicklungsgeschwindigkeit im Bereich der Zelltechnologie, Steuerungselektronik und der Antriebsmotoren kann bei zu langen Entwicklungszeiten dazu führen, dass bereits viel bessere und leistungsfähigere Technologien am Markt verfügbar sind bevor das ausgereifte Produkt erscheint.

Die Erkenntnisse der SWOT Analyse werden in den folgenden Phasen, beispielsweise bei der Ideenfindung, zum gezielten Ausgleich von Schwächen oder der Bestimmung und Gewichtung von Bewertungskriterien zum weiteren Ausbau der Stärken miteinbezogen.

3.3.8 Konkurrenzvergleich

Bei den Recherchen im Internet fanden sich zahlreiche Hersteller von E-Motorrädern aus der ganzen Welt, die meisten dieser sind jedoch in anderen Segmenten wie etwa der Produktion von Rollern tätig. Bei den folgenden vergleichenden Betrachtungen wurden nur jene berücksichtigt, welche ein zur KTM Freeride-E vergleichbares Offroad-E-Motorrad anbieten. Manche dieser betrachteten Motorräder wurden von den Herstellern soweit nur als Prototyp oder Konzept vorgestellt. Tabelle 3-2 zeigt eine Übersicht der betrachteten Motorräder mit Hersteller, Land und Entwicklungsstatus. Im Anhang 7.1 findet man eine Gegenüberstellung der technischen Daten dieser Fahrzeuge mit der KTM Freeride-E. Verglichen wurden rein technische Daten nach Herstellerangaben. Daten über Verkaufszahlen, Märkte oder Preise wurden nicht erhoben. Nur die ersten zwei der Hersteller bieten bereits ein serienreifes Produkt an, welches über ein entsprechendes Händlernetz auch vertrieben wird. Ein weiterer Hersteller nimmt zurzeit Vorbestellungen für die bald angekündigte Markteinführung an. Für die restlichen Motorräder gibt es noch keine konkreten Pläne über die Markteinführung. Obwohl diese derzeit keine Konkurrenz für KTM darstellen, wurden die Motorräder aufgrund der interessanten und abwechslungsreichen Konzepte für Rahmen und Antrieb in den Ausführungen miteinbezogen.

Hersteller	Modell	Land	Entwicklungsstatus
Quantya	EVO1- Track	Schweiz	Serienreif
Zero Motorcycles	MX Motorcross	USA	Serienreif
ALTA	Red Shift MX	USA	Vorbestellung
Ekrad	eKrad	Deutschland	Prototyp
EVDrive	e-Moto-CRF conversion kit	USA	Prototyp
IAV	E-Crossbike	Deutschland	Prototyp
Brammo	Engage MX	USA	Prototyp
Evolt	Bull 1 MX	Italien	Prototyp
Yamaha	PED1	Japan	Konzept

Tabelle 3-2: Übersicht der Modelle vom Konkurrenzvergleich

Modellbeschreibungen:

Im Folgenden werden die Modelle des Konkurrenzvergleichs nach der Reihe näher beschrieben. Eine Tabelle zum Vergleich der technischen Daten befindet sich im Anhang 7.1.

Modell EVO1 – Track von Quantya

Hersteller: QUANTYA SA, Via G.Vicari 14, 6900 Lugano, Schweiz

www.quantya.com



Abbildung 3-20: Quantya EVO1 – Track¹⁰⁶

Quantya entwickelt und produziert verschiedenste elektrisch angetriebene Fahrzeuge in der Schweiz. Die Produktpalette umfasst zwei Fahrzeuge für den Einsatz bei winterlichen Verhältnissen im Schnee, einige Motorräder für den Einsatz im Gelände und auch im öffentlichen Straßenverkehr, sowie zwei kleine Motorräder speziell für Kinder und Jugendliche. Quantya setzte bei den Motorradmodellen auf Lithium-Polymer Akkus und drehmomentstarke, bürstenlose Axialflusshochleistungsmotoren. Der Energiespeicher des Modells EVO1 ist von Form und Größe dem PowerPack ähnlich und ebenfalls direkt über dem Antriebsmotor angeordnet (siehe Abbildung 3-20). Die Speichereinheit fasst 2,08 kWh und ist kompakt und geschlossen ausgeführt, jedoch nicht entnehmbar. Über Wasser- und Staubdichtheit des Speichers und der Antriebseinheit gibt es vom Hersteller im Internet keine Angaben. Die Antriebseinheit ist im Vergleich zu KTM nicht als geschlossenen Einheit, sondern offen und luftgekühlt ausgeführt (siehe Abbildung 3-21). Der Rahmen und das Fahrwerk des EVO1 sind dem der Freeride-E sehr ähnlich.¹⁰⁷

¹⁰⁶ www.quantya.com, Zugriffsdatum: 20.08.2015

¹⁰⁷ vgl. www.quantya.com, Zugriffsdatum: 20.08.2015



Abbildung 3-21: Detailansicht Quantya EVO1 Antriebseinheit und Energiespeicher ¹⁰⁸

Modell MX Motocross von Zero Motorcycles

Hersteller: Zero Motorcycles Inc., 380 El Pueblo Road, Scotts Valley, CA 95066, USA

www.zeromotorcycles.com



Abbildung 3-22: Zero MX Motocross ¹⁰⁹

Die Zero Motorcycles Inc. entwickelt und produziert verschiedenste elektrisch angetriebene Motorräder. Neben einigen Straßenmotorrädern bietet Zero auch das speziell für den Einsatz im Gelände entwickelte Modell MX Motocross an (siehe Abbildung 3-22). Angetrieben wird dies von einem von Zero selbst entwickelten bürstenlosen und passiv gekühlten Elektromotor mit einer Leistung von bis zu 20 kW. Die Antriebseinheit ist ähnlich der KTM vollständig geschlossen ausgeführt. Der aus Aluminium ausgeführte Rahmen der MX wurde speziell an die länglich unter der Sitzbank angeordneten Energiespeicher (siehe Abbildung 3-23) angepasst. Das

¹⁰⁸ www.motorcyclistonline.com, Zugriffsdatum: 20.08.2015

¹⁰⁹ www.zeromotorcycles.com, Zugriffsdatum: 20.08.2015

Fahrwerk ist ähnlich der Freeride-E von KTM ausgeführt. Zero setzte bei allen Motorrädern auf ein modulares Lithium-Ionen Akkusystem. Bei der MX Motorcross beispielsweise kann das Grundmodul mit 2,8 kWh durch ein weiteres Akkupaket bis zu einer Gesamtkapazität von 5,7 kWh erweitert werden. Die Module können seitlich herausgenommen werden. Über die Dichtheit der Module gibt es von Seiten des Herstellers auf der Homepage keine detaillierten Angaben.¹¹⁰



Abbildung 3-23: Modulares Energiespeichersystem von Zero¹¹¹

Zero bietet zu den E-Motorrädern als zusätzliches Feature eine Smartphone App an (siehe Abbildung 3-24). In dieser kann man beispielsweise den durchschnittlichen Energieverbrauch abrufen, die Maximalleistung und Geschwindigkeit begrenzen oder die verbleibende Ladezeit anzeigen. Die Verbindung mit dem Motorrad erfolgt über eine Bluetooth-Schnittstelle.¹¹²



Abbildung 3-24: Zero Smartphone App¹¹³

¹¹⁰ vgl. www.zeromotorcycles.com, Zugriffsdatum: 20.08.2015

¹¹¹ www.zeromotorcycles.com, Zugriffsdatum: 20.08.2015

¹¹² vgl. www.zeromotorcycles.com, Zugriffsdatum: 20.08.2015

¹¹³ www.zeromotorcycles.com, Zugriffsdatum: 20.08.2015

Modell RedShift MX von ALTA

Hersteller: ALTA Motors, 1398 Bryant Street, San Francisco, CA 94103, USA

www.altamotors.co



Abbildung 3-25: RedShift MX von ALTA Motors ¹¹⁴

Das in USA stationierte Unternehmen BRD wurde 2014 auf den aktuellen Namen ALTA Motors umbenannt. ALTA Motors bietet zurzeit das Modell RedShift in zwei verschiedene Ausführungen zur Vorbestellung an. Die Markteinführung in Europa hat ALTA für 2016 angekündigt. Eine Ausführung ist rein für den Offroad-Einsatz bestimmt (siehe Abbildung 3-25), die andere für den Einsatz im öffentlichen Straßenverkehr. Angetrieben wird das Motorrad von einem wassergekühlten Motor der vertikal in den Rahmen integrierten Antriebseinheit (siehe Abbildung 3-26). Durch die spezielle Anordnung der Antriebseinheit bietet sich im vorderen Bereich des Motorrades mehr Platz für den Energiespeicher. Dessen Kapazität beträgt 5,7 kWh und ist somit größer als die der KTM Modelle. Sowohl Antrieb als auch Energiespeicher sind kompakt und robust ausgeführt. Über Wasser- und Staubdichtheit gibt es keine konkreten Angaben. Der nach dem außergewöhnlichen Konzept gestaltete Rahmen wird aus Aluminiumguss hergestellt und besteht aus zwei Teilen. ¹¹⁵



Abbildung 3-26: Rahmen der RedShift MX von ALTA Motors ¹¹⁶

¹¹⁴ www.altamotors.co, Zugriffsdatum: 27.08.2015

¹¹⁵ vgl. www.altamotors.co, Zugriffsdatum: 27.08.2015

¹¹⁶ www.core77.com, Zugriffsdatum: 03.09.2015

Modell eKrad

Hersteller: Ekrad GmbH, Döderleinweg 5, 87700 Memmingen, Deutschland

www.ekrad.de (derzeit offline)



Abbildung 3-27: eKRAD Motocross von Ekrad GmbH¹¹⁷

Die Ekrad GmbH aus Deutschland hat 2008 den Prototyp des eKRAD vorgestellt, einem geländegängigen, rein elektrisch angetriebenen Motorrad. Zur Energieversorgung wird ein im selbsttragenden Aluminiumrahmen eingebauter Lithium-Polymer Akku mit einer Speicherkapazität von 3,6 kWh verwendet (siehe Abbildung 3-27). Angetrieben wird das Motorrad von einem Motor in Gleichstrom-Scheibenläuferausführung. Nähere Details sind leider nicht bekannt. Nach der Vorstellung des Prototyps in 2008 sind von Ekrad keine weiteren Aktivitäten bekannt. Das eKRAD ist in diesem Sinne nicht als Konkurrenz zur KTM Freeride-E zu sehen, wurde jedoch aufgrund des außergewöhnlichen Rahmenkonzeptes in die Betrachtung einbezogen.¹¹⁸

¹¹⁷ www.ubergrun.de, Zugriffsdatum: 20.08.2015

¹¹⁸ vgl. www.ubergrun.de, Zugriffsdatum: 20.08.2015

Modell e-Moto-CRF conversion kit von EV Drive

Hersteller: EVDrive Inc., 17330 NW Kurtz Place, 97106 Banks, OR, USA

www.evdrive.com



Abbildung 3-28: e-Moto-CRF conversion kit ¹¹⁹

Das aus Banks, Oregon, stammende Unternehmen EVDrive entwickelt und produziert elektrische high-end Antriebssysteme, welche für den Ersatz von Verbrennungsmotoren in verschiedensten Serienfahrzeugen geeignet sind. EVDrive bietet darunter auch einen Umbausatz für die Honda CRF 250 R an (siehe Abbildung 3-28). Der Rahmen und die Fahrwerkskomponenten verbleiben dabei original, es werden lediglich der Verbrennungsmotor mit Tank, Luftfilter und all den nicht mehr benötigten Komponenten durch die neue Einheit ersetzt. Das als Prototyp in der Entwicklungsphase vorgestellte System wird von einem drehmomentstarken bürstenlosen Axialflusshochleistungsmotor angetrieben und von einem 2,4 kWh fassenden, 2-teiligen Energiespeicher versorgt. Die gesamte Einheit ist geschlossen ausgeführt und soll in einer nächsten Generation durch eine, in das Motorrad besser integrierte, Abdeckung geschützt werden. Zwar lässt sich durch dieses System an einem Motorrad mit etwas Aufwand zwischen einem Elektro- und Verbrennungsmotor wechseln, jedoch sind auch die Kosten für beide zu tragen. Da der Rahmen und das Fahrwerk nicht speziell auf den E-Antrieb abgestimmt wurden, integriert sich die Antriebseinheit schlechter in das Fahrzeug als bei anderen Herstellern. Dieser Umbausatz ist ebenfalls nicht als direkte Konkurrenz zu den Modellen von KTM zu sehen, soll aber der Vollständigkeit halber erwähnt sein.¹²⁰

¹¹⁹ www.evdrive.com, Zugriffsdatum: 27.08.2015

¹²⁰ vgl. www.evdrive.com, Zugriffsdatum: 27.08.2015

Modell E-Crossbike von IAV

Hersteller: IAV GmbH Ingenieurgesellschaft. Auto und Verkehr, Carnotstr. 1, 10587 Berlin

www.iav.com



Abbildung 3-29: E- Crossbike von IAV¹²¹

Das E-Crossbike wurde von der IAV GmbH für den SAE World Kongress 2013 entwickelt, um zu zeigen, dass die rein elektrische Antriebstechnologie mit einem 250cc Verbrennungsmotor schritthalten kann. Das Motorrad basiert auf der Husqvarna TC250, welche bei Wettkämpfen ebenfalls in der angepeilten MX2 Klasse einzuordnen ist. Bei der gemeinsamen Entwicklung des Antriebssystems mit Husqvarna wurde ein Teil des serienmäßigen Husqvarna Rahmens durch einen eigens entwickelten Stahl Rahmen ersetzt (siehe Abbildung 3-29). Dies schaffte genügend Platz für den Energiespeicher, welcher mit Lithium-Ionen Zellen bestückt ist und eine Kapazität von 2,5 kWh fasst. Angetrieben wird das Motorrad durch eine Permanentmagnet-Synchronmaschine in Außenläufer Bauweise mit einer Maximalleistung von 25 kW. IAV gestaltete die Antriebs- und Speichereinheit staub- und wasserdicht nach der Schutzklasse IP6k7. Zur Analyse von diversen Betriebsdaten wurde eine WLAN Schnittstelle zur Datenübertragung an Smartphones oder Tablets integriert. IAV verfolgte die Entwicklung nach der Vorstellung des Prototyps aufgrund der Übernahme von Husqvarna durch KTM nicht mehr weiter.¹²²

¹²¹ <http://articles.sae.org>, Zugriffsdatum: 02.09.2015

¹²² vgl. <http://articles.sae.org>, Zugriffsdatum: 02.09.2015

Modell Engage MX von Brammo

Hersteller: Brammo Inc., 300 West Valley View Road, 97540 Talent, OR, USA

www.brammo.com



Abbildung 3-30: Engage MX von Brammo ¹²³

Das Unternehmen Brammo Inc. beschäftigt sich mit der Entwicklung und Produktion von elektrischen Antriebs- und Speichereinheiten für verschiedenste Fahrzeuge. Brammo produziert und vertreibt bereits mehrere Straßenmotorräder weltweit. Unter anderem stellte Brammo auch den Prototyp des geländegängigen Motorrades Engage MX vor (siehe Abbildung 3-30). Brammo setzt dabei, anders als alle anderen hier erwähnten Hersteller, nicht auf ein einstufiges Getriebe mit festem Übersetzungsverhältnis, sondern auf ein 6-Gang Schaltgetriebe. Laut Brammo könne man somit das Drehmoment des Motors, genau wie bei einem Verbrennungsmotor, über einen größeren Drehzahlbereich besser und energieeffizienter nutzen. Bis auf die Information, dass der Energiespeicher mit Lithium-Ionen Zellen ausgestattet und entnehmbar ist, gibt es keine weiteren Angaben dazu. Der Energiespeicher ist wiederum als geschlossene Einheit über der Antriebseinheit angeordnet. Das Gehäuse scheint aus Blechteilen gefertigt zu sein. Der Rahmen ist als Rohrrahmen ausgeführt. Im Jänner 2015 wurde das Unternehmen Brammo an Polaris Industries verkauft. Ob eine baldige Markteinführung der Engage geplant ist, ist nicht bekannt.¹²⁴

¹²³ www.motomobil.at, Zugriffsdatum: 02.09.2015

¹²⁴ vgl. www.motomobil.at, Zugriffsdatum: 02.09.2015

Modell Evolt Bull 1 MX

Hersteller: EVO srl., via Dante 3/a, 23884 Castelle di Brianza (LC), Italien

www.evolt.it



Abbildung 3-31: Evolt Bull1 MX on Evolt ¹²⁵

Der vom italienischen Unternehmen Evolt vorgestellte Prototyp Bull 1 MX sticht durch sein außergewöhnliches Rahmenkonzept hervor (siehe Abbildung 3-31). Der Antriebsmotor sitzt dabei etwa in der Mitte des Motorrades unter der Sitzbank und treibt das Hinterrad durch ein zweistufiges Kettengetriebe an (siehe Abbildung 3-32). Dies wird durch die liegende Anordnung des hinteren Stoßdämpfers am unteren Ende des Rahmens möglich. Über dem Stoßdämpfer befindet sich der 2,88 kWh fassende Energiespeicher. Die Lage des Schwerpunktes ist dabei aufgrund der relativ hohen Position der Antriebseinheit höher als bei anderen Konzepten. Über Markteinführungspläne der Bull 1 MX wurden keine Informationen gefunden.¹²⁶



Abbildung 3-32: Aufbau der Bull1 MX ¹²⁷

¹²⁵ www.motorcafe.it, Zugriffsdatum: 02.09.2015

¹²⁶ vgl. www.motorcafe.it, Zugriffsdatum: 02.09.2015

¹²⁷ www.avem.fr, Zugriffsdatum: 02.09.2015

Modell PED1 von Yamaha

Hersteller: Yamaha Motor Co Ltd., 2500 Shingai, Iwata, Shizuoka, Japan

global.yamaha-motor.com



Abbildung 3-33: Konzept PED1 von Yamaha ¹²⁸

Mit der PED1 hat auch Yamaha auf der Motor Show in Tokio 2013 ein Konzept für ein elektrisch angetriebenes Offroad-Motorrad vorgestellt (siehe Abbildung 3-33). Von Yamaha gibt es noch sehr wenige Daten über das Motorrad. Zur Energiespeicherung gibt Yamaha an Lithium-Ionen Zellen zu verwenden. Der Aufbau des Antriebs und des Energiespeichers ist dem der KTM sehr ähnlich. Der Energiespeicher sitzt als Einheit an der Stelle des Verbrennungsmotors mit dem austauschbaren Energiespeicher direkt darauf. Yamaha setzt bei dem Konzept auf einen zweigeteilten Gussrahmen, welcher den Energiespeicher aufnimmt und schützt. Zu welchem Zeitpunkt Yamaha ein geländegängiges, elektrisch angetriebenes Motorrad auf den Markt bringen will, ist soweit noch nicht bekannt. ¹²⁹

¹²⁸ <http://global.yamaha-motor.com>, Zugriffsdatum: 27.08.2015

¹²⁹ vgl. <http://global.yamaha-motor.com>, Zugriffsdatum: 27.08.2015

Zusammenfassung:

Es gibt nur wenige serienreife Offroad-Motorräder am Markt, welche auch schon erfolgreich vertrieben werden. Im grundsätzlichen Aufbau unterscheiden sich diese nur wenig. Neben diesen wurden in den letzten Jahren auch verschiedenste Konzepte, mit oft außergewöhnlichem Aufbau, vorgestellt. Fast alle Hersteller setzen auf eine robuste und kompakte Bauweise, sowohl von Antrieb als auch vom Energiespeicher. Unabhängig von der verwendeten Akkuzelltechnologie ist die Speicherkapazität bei den Modellen sehr ähnlich und durch den Bauraum und das Gewicht beschränkt. Aufgrund der Staub- und Wasserdichtheit und der vollkommen geschlossenen Ausführung zählen die Antriebs- und Energiespeichereinheiten von KTM und Zero und zu den zuverlässigsten. Die einfache Auswechselbarkeit der Energiespeicher bietet während des Einsatzes sicherlich Vorteile. Ob die modulare Erweiterbarkeit des Energiespeichers Sinn macht, hängt sehr stark vom Einsatzgebiet des Motorrades ab. Bei Straßenmotorrädern spielt die Reichweite eine größere Rolle als bei Geländefahrzeugen, welche oft auf geschlossenen Strecken oder in begrenzten Gebieten bewegt werden. Eine Anbindung an das Smartphone ist ein sehr zukunftsweisendes Feature und wird sich bestimmt noch bei anderen Herstellern in naher Zukunft durchsetzen.

3.4 Phase 4 – Funktionen- und Kostenanalyse

In der 4. Phase des Wertanalyse-Arbeitsplanes gilt es, die vom Nutzer des WA-Objektes gewünschten Wirkungen zu erkennen und in Form von Funktionen darzustellen. Anhand einer kritischen Analyse des bestehenden Objektes können anschließend die Funktionserfüllungsgrade ermittelt und daraus Potentiale und detaillierte Ziele abgeleitet werden. Zur Bestimmung der Ziele ist auch eine Analyse der Kostenstruktur des Objektes erforderlich.

3.4.1 Vorbereitung

Zur Funktionenanalyse des PowerPacks bietet sich die Durchführung eines Workshops gemeinsam mit Vertretern von KTM und dem VSI an. Durch die Teilnahme von Personen aus unterschiedlichsten Fachrichtungen wird sichergestellt, dass die diskutierten Themen von möglichst vielen Blickwinkeln beleuchtet werden und die Lösungen von hoher Qualität sind. Der Workshop wurde seitens IBL vorbereitet und moderiert. Anhand einer vorbereiteten PowerPoint-Präsentation wurde Schritt für Schritt durch den Prozess der Funktionenanalyse geführt. Um während des Workshops Zeit zu sparen, wurde schon ein vorab Funktionenbaum erarbeitet, welcher während des

Workshops ergänzt und verbessert wurde. Einige Tage vor dem Workshop wurde ein PDF-Dokument mit einer Einführung in das „Danken in Funktionen“ und einer Erklärung der grundlegenden Begriffe der Wertanalyse bereitgestellt, sodass während des Workshops keine detaillierte Erklärung der Basics nötig war.

3.4.2 Funktionenanalyse

Der Workshop wurde am 03.06.2015 bei KTM in Mattighofen abgehalten. Während des Workshops wurden folgende Themen behandelt.

- Einführung
- Einleitendes Beispiel
- Funktionsermittlung nach Anwendungen
- Funktionsermittlung durch Bauteilanalyse und mögliche Entwicklungen
- Benennen der Funktionen
- Gliedern und Strukturieren

Nach einer kurzen Einführung und einem einleitenden Beispiel in die Funktionenanalyse wurde mit der Funktionsermittlung des PowerPacks begonnen. Als gedankliche Hilfestellung wurden die möglichen Anwendungsfälle sowie die Phasen der Lebensdauer des Motorrades herangezogen. Die Ermittlung der Funktionen erfolgte mit Hilfe von Brainstorming, wobei alle Vorschläge auf Kärtchen notiert und auf einem Flip-Chart gesammelt und sortiert wurden. In einer weiteren Runde wurden die von den Bauteilen des bestehenden PowerPacks erfüllten Funktionen durchgegangen und ergänzt. Im nächsten Schritte wurden mögliche zukünftige Entwicklungen eingeschätzt und in Funktionen übertragen. Am Ende des Workshops wurden noch die Benennungen der Funktionen diskutiert und eine grobe Strukturierung erstellt.

3.4.3 Funktionenbaum

Die endgültige Strukturierung des Funktionenbaumes erfolgte im Anschluss an den Workshop (siehe Abbildung 3-34 und Abbildung 7-2).

VS3, 23.06.2015

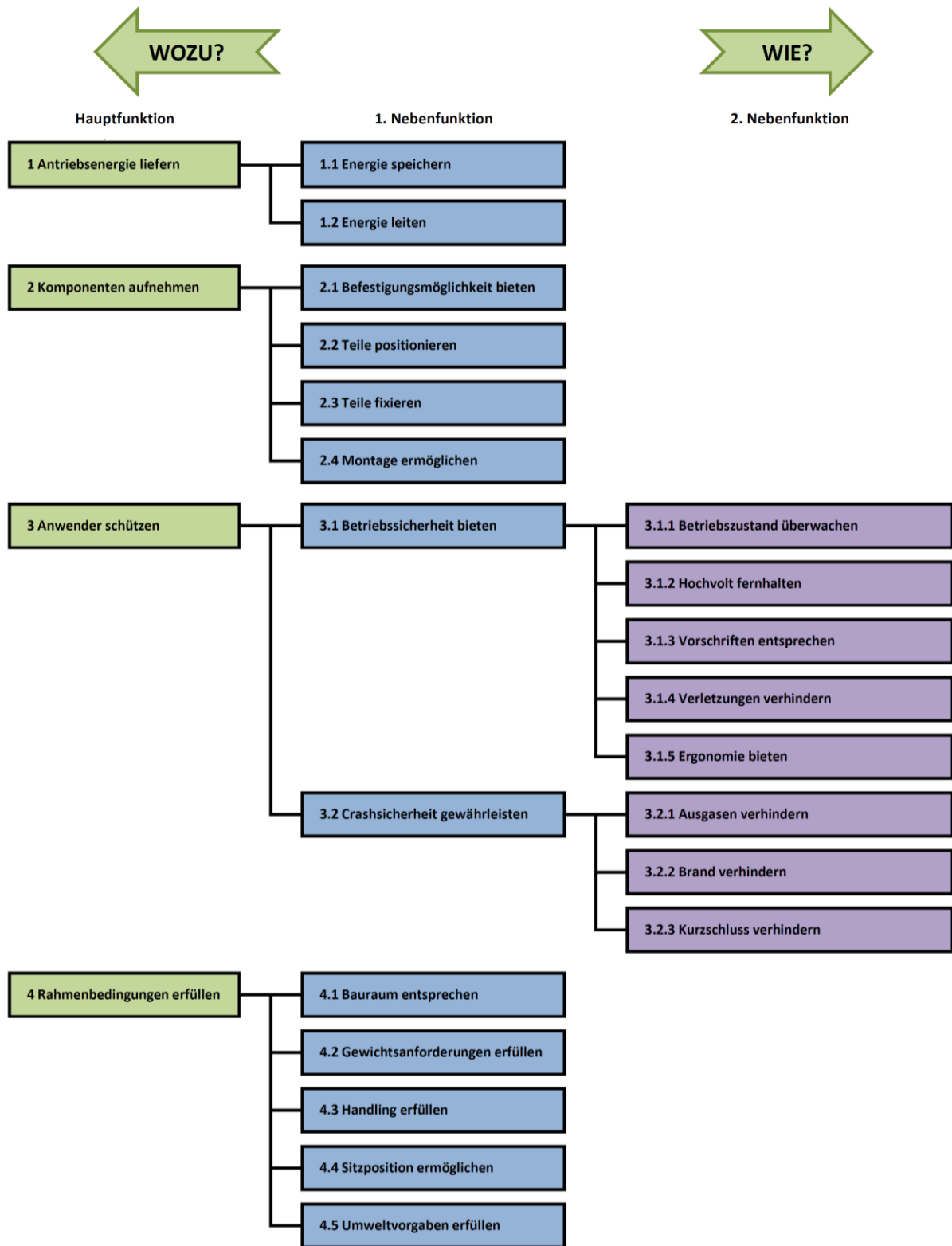
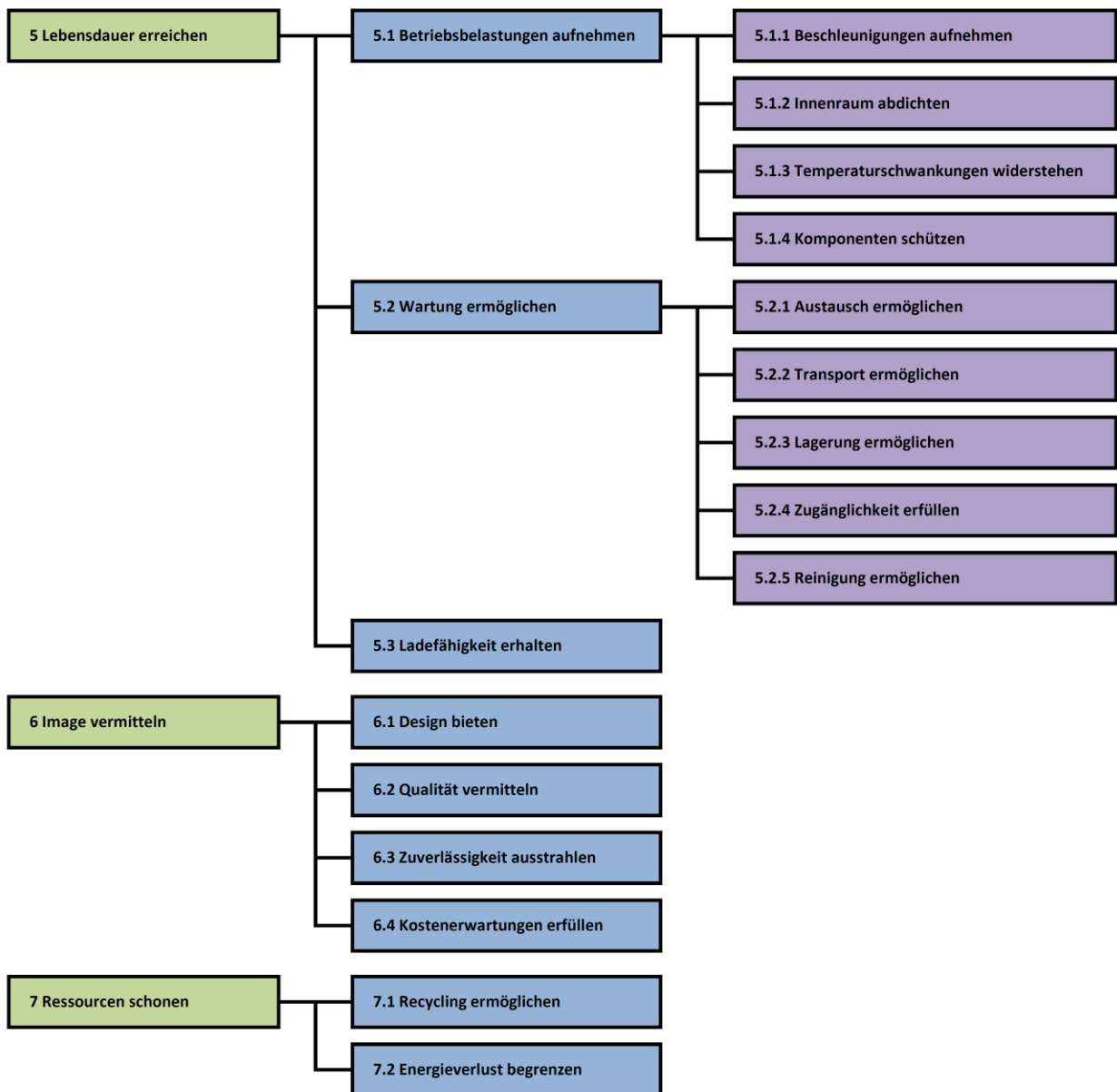


Abb. wird fortgesetzt

Abbildung 3-34: Funktionenbaum PowerPack, Teil 1¹³⁰

¹³⁰ eigene Abbildung

Abbildung 3-35: Funktionenbaum PowerPack, Teil 2¹³¹

3.4.4 Funktionsbeschreibung

In Tabelle 7-2 im Anhang 7.2 werden die gefundenen Funktionen näher beschrieben.

¹³¹ eigene Abbildung

3.4.5 Funktionserfüllungsgrad

Zur Bestimmung des Funktionserfüllungsgrades wurde eine Tabelle mit den Funktionsbeschreibungen, mit der Bitte diese von mehreren Personen unabhängig voneinander auszufüllen, an KTM gesendet. Als Hilfestellung zur Bestimmung von konkreten Zahlenwerten für die Erfüllungsgrade wurde Tabelle 3-3 beigestellt.

Funktionserfüllungsgrad	Bemerkung
100 %	Funktion ist voll erfüllt.
FEG > 100 % übererfüllte Funktionen	Die Funktionen sind besser erfüllt als eigentlich notwendig.
FEG < 100 % untererfüllte Funktionen	Funktion sollte besser vorhanden sein, wird nicht optimal oder gar nicht erfüllt.
unnötige Funktion	Funktion ist vorhanden aber wird für den Gebrauch nicht benötigt.
0 %	Funktion ist gar nicht vorhanden, sollte aber vorhanden sein zum besseren/einfacheren Gebrauch.
Anhaltspunkte	
101 – 110 %	Funktion ist leicht übererfüllt, geringes Potential vorhanden.
> 110 %	Funktion ist stark übererfüllt, großes Potential vorhanden.
200 %	Funktion ist doppelt übererfüllt. (z.B. 2-fache Sicherheit vorhanden, doppelt vorhanden)
90 – 99 %	Funktion ist leicht untererfüllt, z.B. manchmalige Beeinträchtigung des Gebrauches.
< 90 %	Funktion weicht wesentlich von der gewünschten Funktion ab.
ca. 50 %	Funktion sollte doppelt so gut ausgeführt sein zum optimalen Gebrauch.

Tabelle 3-3: Hinweise zur Bestimmung des Funktionserfüllungsgrades

Diese erwähnten Formulare wurden von Frau Deitermann und Herrn Öhlinger ausgefüllt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3-4 zusammengefasst. Herausragende Erfüllungsgrade wurden farbig markiert und sollen in den anschließenden Phasen näher betrachtet werden.

Funktion	FEG Deit.	FEG Öhl.	Ø FEG	Kommentar Nina Deitermann
Antriebsenergie liefern				
Energie speichern	100 %	65 %	82,5 %	
Energie leiten	100 %	100 %	100 %	
Komponenten aufnehmen				
Befestigungsmöglichkeiten bieten	100 %	105 %	102,5 %	
Teile positionieren	100 %	100 %	100 %	
Teile fixieren	100 %	100 %	100 %	
Montage ermöglichen	80 %	90 %	85 %	Vor allen Dingen aus Bauraumgründen schwierig.
Anwender schützen				
Betriebssicherheit bieten				
Betriebszustand überwachen	100 %	100 %	100 %	Ist sehr viele Ermessenssache, z.B. wie viele Temperaturmessstellen sind notwendig?
Hochvolt fernhalten		100 %	100 %	
Vorschriften entsprechen	100 %	100 %	100 %	
Verletzungen verhindern	100 %	90 %	95 %	
Ergonomie bieten	90 %	90 %	90 %	Dürfte prinzipiell leichter sein.
Crashsicherheit gewährleisten	110 %	110 %	110 %	Auch hier schwierig zu definieren ... ab wann darf es zu einem Defekt kommen Aufprall mit 60kmh, mit 80, oder mit 200?
Ausgasen verhindern	105 %	100 %	102,5 %	

wird fortgesetzt

Brand verhindern	105 %	110 %	107,5 %	
Kurzschluss verhindern	105 %	100 %	102,5 %	
Rahmenbedingungen erfüllen				
Bauraum entsprechen	100 %	100 %	100 %	
Gewichtsanforderungen erfüllen	90 %	90 %	90 %	Woher soll die Vorgabe kommen?
Handling erfüllen	100 %	90 %	95 %	
Sitzposition ermöglichen	100 %	100 %	100 %	
Umweltvorgaben erfüllen	100 %	100 %	100 %	
Lebensdauer erreichen				Könnte immer mehr sein.
Betriebsbelastungen aufnehmen				
Beschleunigungen aufnehmen	100 %	110 %	105 %	
Innenraum abdichten	100 %	90 %	95 %	
Temperaturschwankungen widerstehen	100 %	80 %	90 %	Entladen auch bis 70°C.
Komponenten schützen	100 %	100 %	100 %	
Wartung ermöglichen				Das PP ist wartungsfrei.
Austausch ermöglichen	100 %	90 %	95 %	
Transport ermöglichen	90 %	90 %	90 %	PP sehr schwer.

wird fortgesetzt

Lagerung ermöglichen	100 %	90 %	95 %	
Zugänglichkeit erfüllen	98 %	100 %	99 %	Ladestecker Deckel könnte mit einem gröberem Gewinde versehen sein.
Reinigung ermöglichen	100 %	90 %	95 %	Industriehochdruckreiniger im Kurzen abstand PP zu Düse zählen hier nicht dazu.
Ladefähigkeit erhalten	90 %	100 %	95 %	Kann konzeptbedingt nicht zu 100 Prozent erfüllt werden.
Image vermitteln				
Design bieten	100 %	100 %	100 %	
Qualität vermitteln	95 %	90 %	92,5 %	
Zuverlässigkeit ausstrahlen	100 %	100 %	100 %	
Kostenerwartungen erfüllen	70 %	80 %	75 %	
Ressourcen schonen		100 %	100 %	
Recycling ermöglichen	95 %	90 %	92,5 %	
Energieverlust begrenzen	100 %	100 %	100 %	

Tabelle 3-4: Funktionserfüllungsgrade von KTM¹³²¹³² Daten erhalten von KTM AG (2015)

3.4.6 Kostenanalyse

Aufgrund der hohen Geheimhaltungsstufe können von KTM keine exakten Bauteilpreise herausgegeben werden. Eine Aufschlüsselung der Preise nach Prozent an den Gesamtkosten ist auch nicht möglich, da man aufgrund der am Markt bekannten Preise gewisser Bauteile wiederum auf die Herstellkosten des PowerPacks schließen könnte. Da es nicht möglich ist eine Kostenanalyse ohne jegliche Informationen hinsichtlich der Preise durchzuführen, wurde beschlossen eine Liste von jenen Bauteilen freizugeben, welche laut einer Einschätzung von KTM ein großes Potential für Verbesserungen oder Einsparungen haben. Von diesen Bauteilen wurde ebenfalls die prozentuelle Aufteilung der Kosten bereitgestellt (siehe Tabelle 3-5).

KTM	
Bauteil/Arbeitsschritt	% der Kosten
Montage des gesamten PowerPacks	54%
Montage der Sektionen in obigen Kosten vorhanden	0%
Zellhalter 3-teilig (excl. anteiliger Werkzeugkosten)	2%
PowerPack Gehäuse (3 Gehäuseteile)	17%
Zellverbinder	8%
Stromableiter	6%
Alu Stifte durch das Pack	12%
+ Alusheets,.. TBD	
Summe:	100%

Tabelle 3-5: Liste der Bauteile mit Einsparungspotential laut KTM ¹³³

Anhand dieser Informationen ist es nicht möglich eine vollständige Funktionskostenmatrix zu erstellen, jedoch können von diesen Bauteilen durch eine Analyse der Funktionsbeteiligung auf die Funktionen mit Einsparungs- bzw. Verbesserungspotential Rückschlüsse gezogen werden.

¹³³ Daten erhalten von KTM AG (2015)

3.4.7 Funktionsbeteiligungsmatrix

Aufgrund der fehlenden Kosteninformationen wurde anstatt der Funktionskostenmatrix lediglich eine vereinfachte Funktionsbeteiligungsmatrix erstellt. Diese hilft in den nächsten Phasen bei der Zuordnung von Bauteilen zu Funktionen und umgekehrt. Die vollständige Matrix ist in Anhang 7.2.2 zu finden.

3.4.8 Betrachtete Funktionen

Betrachtet werden zum einen Funktionen mit außergewöhnlich hohem oder niedrigem Erfüllungsgrad und zum anderen Funktionen mit Einsparungspotential laut der Kostenanalyse (siehe Abbildung 3-36). In Kapitel 3.4.5 ist die vollständig ausgefüllte Tabelle der Funktionserfüllungsgrade zu finden. Jene Funktionen mit außergewöhnlichen Werten wurden hervorgehoben und zur weiteren Betrachtung herangezogen. Die Anhand der Kostenanalyse von KTM identifizierten Bauteile wurden in der Funktionsbeteiligungsmatrix hervorgehoben, um so die betroffenen Funktionen zu identifizieren (siehe Tabelle 7-3, Anhang 7.2.2).

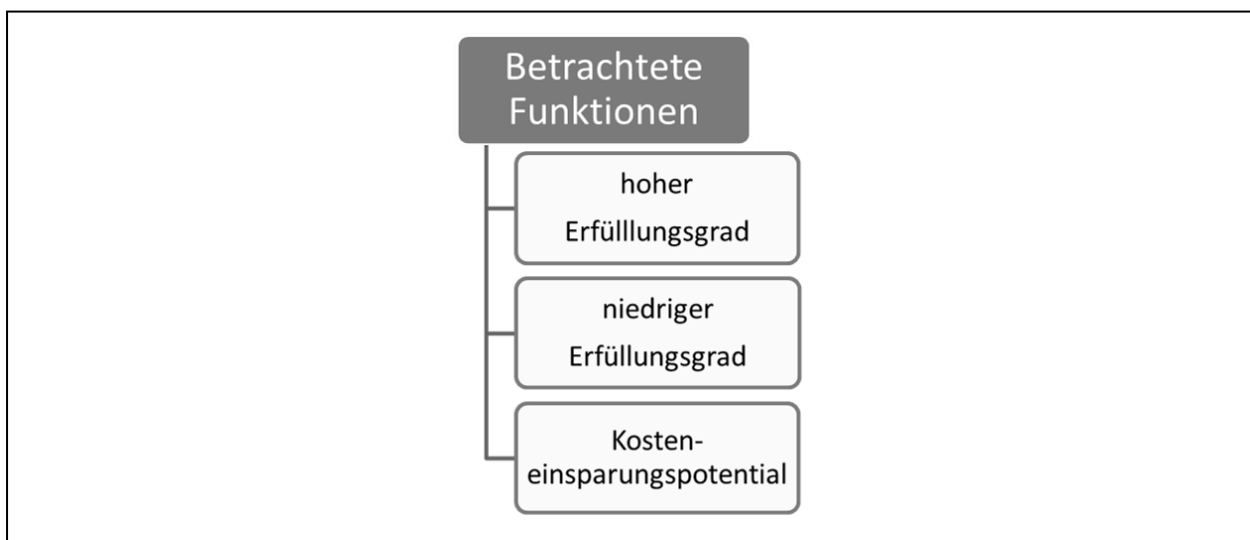


Abbildung 3-36: Auswahlkriterien betrachteter Funktionen¹³⁴

Da nicht alle der anhand der Funktionserfüllungsgrade und in der Funktionsbeteiligungsmatrix gefundenen Funktionen weiter betrachtet werden können, wurden jene ausgewählt und in Tabelle 3-6 zusammengefasst, welche im Rahmen dieses Projektes anhand der gesteckten Rahmenbedingungen beeinflussbar sind. Funktionen welche mit den elektrischen Komponenten zusammenhängen oder der Erfüllung allgemeiner Rahmenbedingungen wie gesetzliche Bestimmungen, Design oder Ergonomie dienen, sind deshalb nicht weiter betrachtet worden.

¹³⁴ eigene Abbildung

Funktion	Ø FEG	Kommentar
1.1 Energie speichern	82,5 %	Kunden möchten länger fahren.
2.4 Montage ermöglichen	85 %	Aus Bauraumgründen schwierig, großer Teil der Herstellkosten.
3.2 Crashesicherheit gewährleisten	110 %	PowerPack ist sehr massiv ausgeführt.
4.2 Gewichtsanforderungen erfüllen	90 %	Je leichter, desto besser für Handling, Ergonomie und Transport.
5.3 Ladefähigkeit erhalten	95 %	Schnelles Laden sollte unter allen Umständen möglich sein, auch bei hohen Temperaturen.
6.4 Kostenerwartungen erfüllen	75 %	Herstellkosten sollten gesenkt werden.
7.1 Recycling ermöglichen	92,5 %	Möglichst einfache Trennung großer Teile angestrebt.

Tabelle 3-6: Ausgewählte Funktionen zur näheren Betrachtung

Viele der zu betrachtenden Funktionen weisen starke Zusammenhänge auf. Dies wurde bei der genaueren Auswahl der Funktionen berücksichtigt. Die drei Funktionen, welche die Crashesicherheit betreffen, werden beispielsweise gemeinsam durch die übergeordnete Funktion „Crashesicherheit gewährleisten“ betrachtet. Manche der Funktionserfüllungsgrade sind von Parametern geprägt, welche durch eine andere Funktion berücksichtigt werden. Problem der Funktion „Ergonomie bieten“ war beispielsweise lediglich das zu hohe Gewicht. Da dies bei „Gewichtsanforderungen erfüllen“ betrachtet wird, ist „Ergonomie bieten“ nicht extra angeführt.

3.4.9 Detailziele

Als Grobziel wurden Lösungsvorschläge für die Entwicklung einer nächsten Generation von PowerPacks definiert, welche die bestehenden Funktionen optimieren, neue Funktionen integrieren und es dabei ermöglichen die Herstellkosten zu senken.

Da im Zuge der Datenerhebung aufgrund der hohen Geheimhaltungsstufe nur sehr geringe Auskünfte über die Herstellkosten gegeben wurden, war die Ermittlung der Funktionskosten anhand einer Funktionskostenmatrix nicht möglich. Abseits der herkömmlichen Vorgehensweise zur Bestimmung von Detailzielen anhand der Funktionskosten und Funktionserfüllungsgrade wurde beschlossen als Detailziel die Anzahl an Ideen heranzuziehen. Zahlenwerte für Detailziele für Funktionen festzulegen ist aufgrund der anfänglich sehr abstrakten Betrachtungen ebenfalls nicht möglich. Eine Quantifizierung des Potentials einzelner Ideen erfolgt jedoch im Rahmen der genaueren Betrachtungen zur Bewertung in Phase 6 (siehe Kapitel 3.6).

Je größer die Anzahl an Ideen, desto höher ist die Chance dabei eine gute Idee mit Potential zur Umsetzung zu finden. Um diesem Grundsatz gerecht zu werden sollen je Funktion im ersten Ideenfindungsvorgang mindestens 10 konkrete Ideen gefunden werden. Nach oben hin wird die Anzahl natürlich nicht begrenzt.

3.5 Phase 5 – Sammeln und Finden von Lösungsideen

In der Phase 5 sollen laut der Zieldefinition möglichst viele Ideen zur besseren und günstigeren Umsetzung der betrachteten Funktionen gefunden werden.

3.5.1 Vorgehen

Das Vorgehen während dieser Phase wird in Abbildung 3-37 dargestellt. Zum Finden von neuartigen Lösungsansätzen werden zuerst verschiedene Analysemethoden eingesetzt um die Anforderungen an die Funktionen zu identifizieren und mögliche Problemursachen festzustellen. Danach kommen diverse Kreativitätstechniken wie Brainstorming, Benchmarking oder die Methode TRIZ zur Generierung von Ideen zum Einsatz.

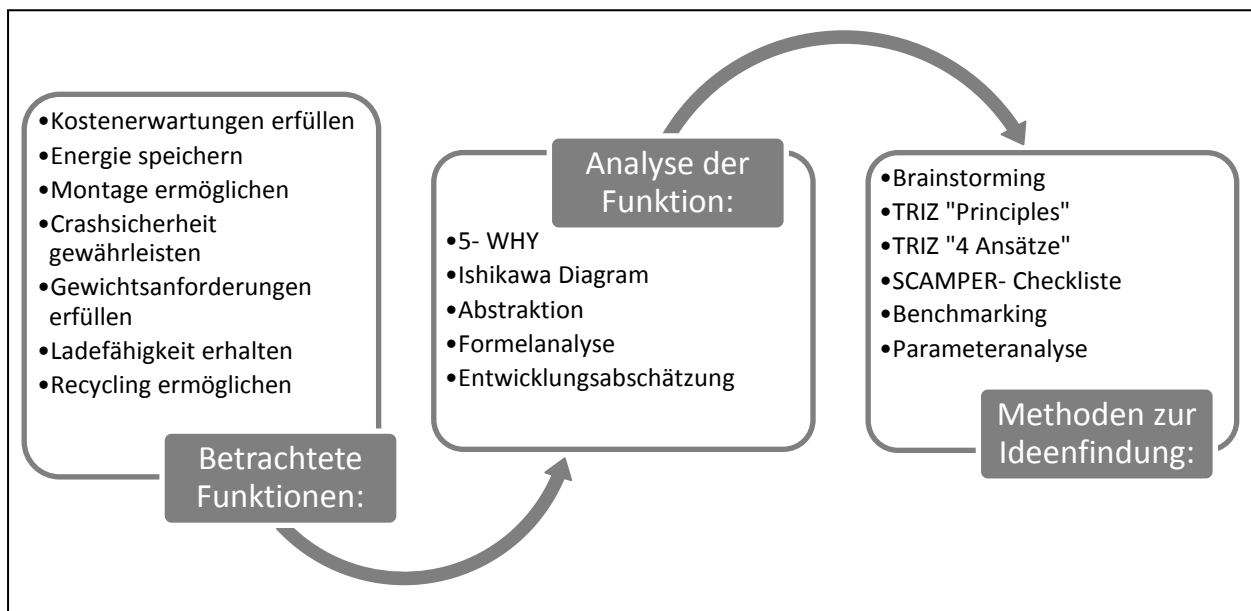


Abbildung 3-37: Vorgehensweise bei der Ideenfindung für Funktionen¹³⁵

Diese Analysen bauen auf dem bestehenden PowerPack auf. Die gefundenen Ideen sollen allgemeine Hinweise zur Verbesserung der bestehenden Teile oder zur Konzeptionierung neuer Teile liefern. Erst nach einer Bewertung und schrittweisen Konkretisierung werden daraus in den folgenden Phasen konkrete Konzepte erarbeitet. Die Ideenfindung wurde für jede der Funktionen eigens durchgeführt.

¹³⁵ eigene Abbildung

3.5.2 Kostenerwartungen erfüllen

Die Funktion wurde von KTM mit einem Funktionserfüllungsgrad von 75% bewertet, was eindeutig zeigt, dass diese Funktion noch verbessert werden muss. Eine Verbesserung dieser Funktion wird durch eine Senkung der Herstellkosten des PowerPacks erreicht. Um gezielt nach Ideen suchen zu können, wurde die in Abbildung 3-38 beschriebene Vorgehensweise gewählt.

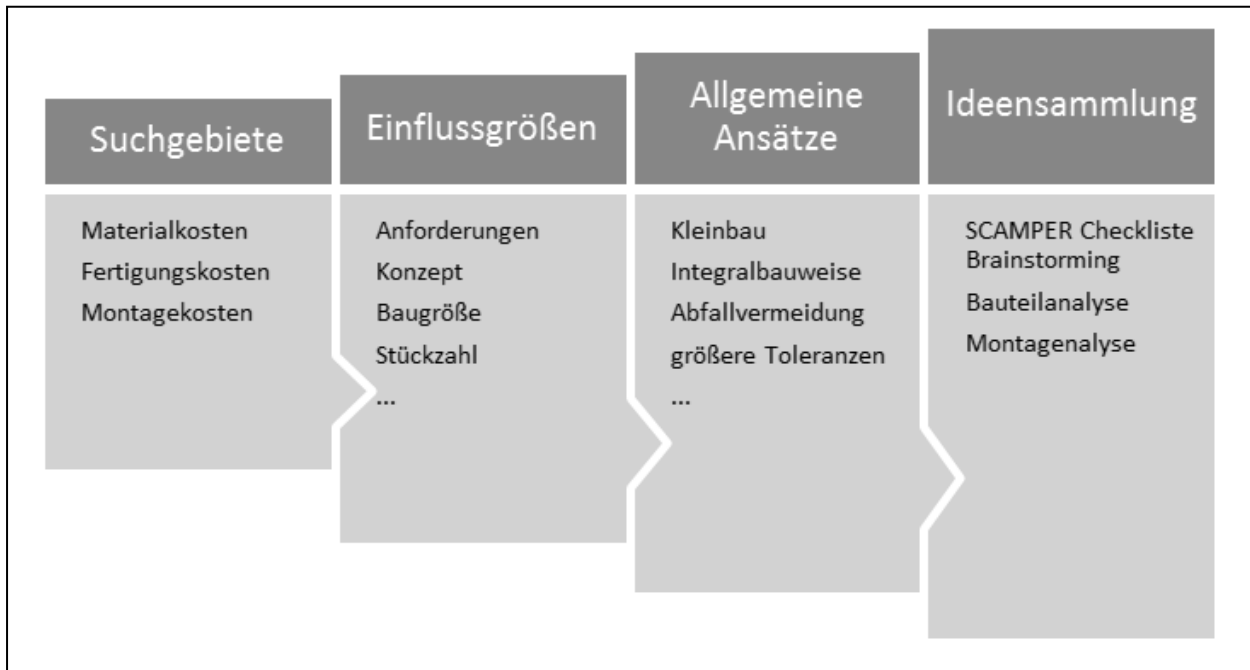


Abbildung 3-38: Vorgehensweise bei der Ideensuche zur Kostensenkung¹³⁶

Durch eine Festlegung der Suchgebiete und eine ausführliche Analyse der allgemeinen konstruktiven Einflussgrößen soll sichergestellt werden, dass alle Blickwinkel abgedeckt werden. Nach einer Auflistung allgemeiner Ansätze zur Kostensenkung werden diese auf die Bauteile und Montage angewandt um entsprechende Lösungsideen zu finden. Aufgrund der großen Anzahl von Einflussfaktoren eignet sich die relativ rasch durchzuführende SCAMPER Methode. Dadurch lassen sich ohne den großen Aufwand von TRIZ eine große Anzahl von Ansatzpunkten systematisch abarbeiten.

¹³⁶ eigene Abbildung

3.5.2.1 Suchgebiete für Kosteneinsparungen

Bevor mit der eigentliche Suche nach Lösungsideen begonnen werden kann, gilt es die Suchgebiete zu bestimmen.

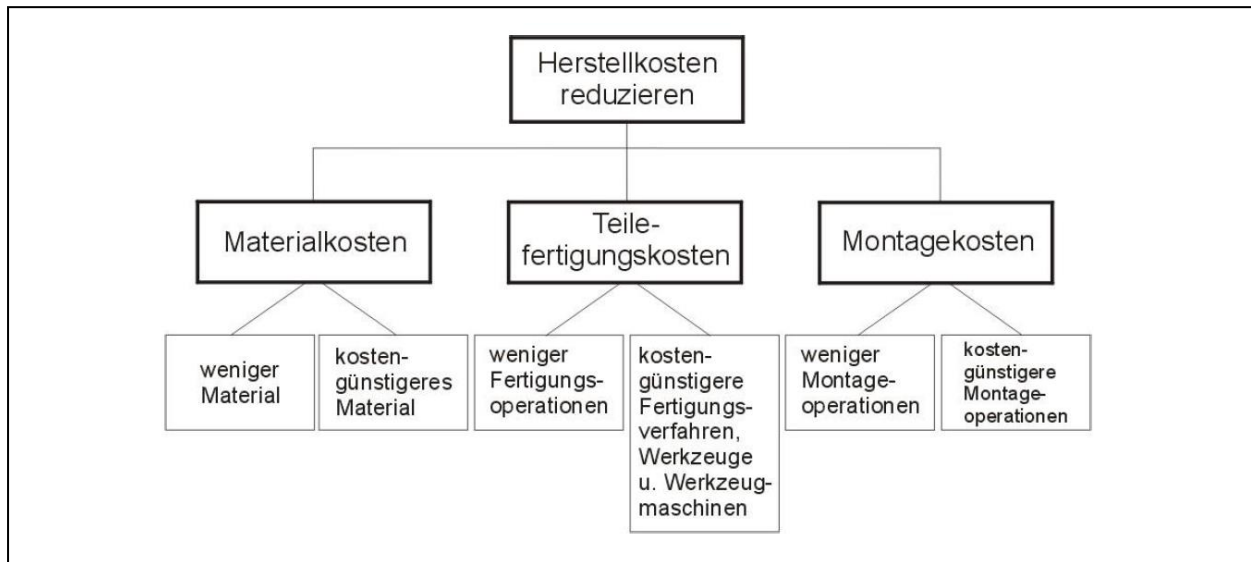


Abbildung 3-39: Möglichkeiten zur Senkung der Herstellkosten¹³⁷

K. Ehrlenspiel definiert drei mögliche Teilbereiche zur Suche nach Potentialen zur Senkung der Herstellkosten (siehe Abbildung 3-39). Zum einen kann man die Bauteilkosten anhand der Material- und Fertigungskosten beeinflussen und zum anderen anhand der Montagekosten. Laut Ehrlenspiel machen die Materialkosten in einem durchschnittlichen Produkt des Maschinenbaus ca. 43% der Gesamtkosten aus. Weitere 37% machen Personalkosten und die restlichen 20% sonstige Kosten aus.¹³⁸

Die von KTM bereitgestellten Daten über die Kosten des PowerPacks zeigen einen sehr ähnlichen Sachverhalt auf. Die Montage des Packs ist hierbei die größte Position. Da die Aufteilung der Bauteilkosten des PowerPacks auf Material- und Fertigungskosten nicht bekannt ist, werden diese in weiterer Folge gemeinsam als Herstellkosten betrachtet.

¹³⁷ Ehrlenspiel, K. et al. (2014), S. 166

¹³⁸ Ehrlenspiel, K. et al. (2014), S. 199f

3.5.2.2 Einflussgrößen auf die Kosten

Es gibt verschiedenste Stellhebel zur Beeinflussung der Kosten (siehe Abbildung 3-40).

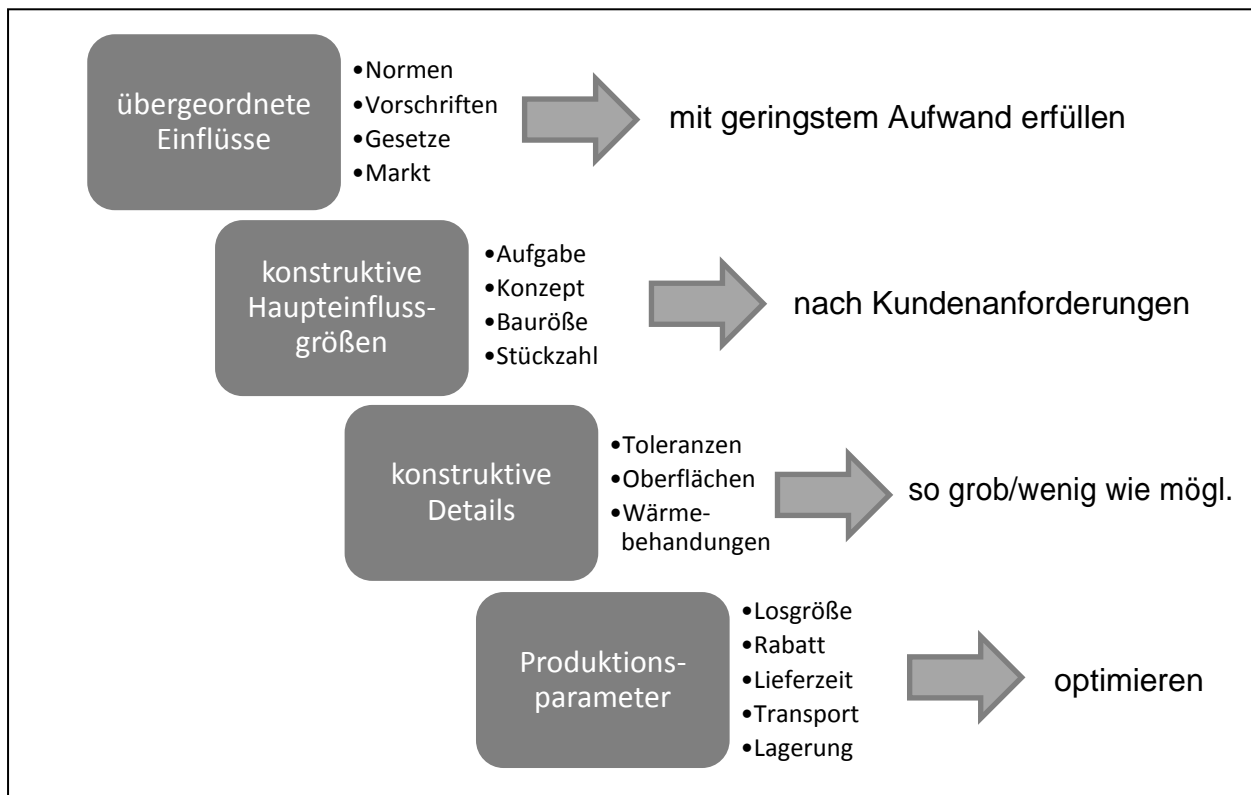


Abbildung 3-40: Übersicht konstruktiver Einflussgrößen¹³⁹

Vom Produkthersteller schwer zu beeinflussen sind übergeordnete Einflüsse wie Gesetze und Vorschriften. Diese können zwar nicht verändert werden, sollen jedoch mit möglichst geringem Aufwand erfüllt werden. In den frühen Phasen der Produktentwicklung lassen sich die später entstehenden Kosten der Produktion noch sehr stark beeinflussen. Die Aufgabenstellung und Anforderungen an das Produkt sollten exakt auf die Wünsche und Vorstellungen des Kunden abgestimmt werden um jede unnötige Funktion von Beginn an zu vermeiden. Wenn übergeordnete Einflussgrößen nicht mehr verändert werden können oder die Möglichkeiten erschöpft sind, so treten die der nächsten Ebene in den Vordergrund. Die konstruktiven Details wie Toleranzen und Oberflächen sollten so grob wie möglich gewählt werden um die Funktion über die geforderte Lebensdauer verlässlich zu erfüllen. Schlussendlich lassen sich durch eine Optimierung der Beschaffungs-, Lagerungs- und Produktionsvorgänge noch letzte Einsparungen erzielen. Je detaillierter die Einflussgrößen, desto geringer der Einfluss auf die Kosten, jedoch erhöht sich die Anzahl der Möglichkeiten dementsprechend.¹⁴⁰

¹³⁹ eigene Abbildung in Anlehnung an Ehrlenspiel, K. et al. (2014), S. 166

¹⁴⁰ vgl. Ehrlenspiel, K. et al. (2014), S. 166f

3.5.2.3 Allgemeine Ansätze zur Kostenreduzierung

In diesem Kapitel werden verschiedenste allgemeine Ansätze zur Kostenreduzierung vorgestellt. Es wird dabei grob nach der in Abbildung 3-40 vorgestellten Struktur der Einflussgrößen vorgegangen.

An dieser Stelle werden die in Anhang 7.3.1 genauer beschriebenen Ansätze nur aufgelistet:

- Geringere Anforderungen
- Reduzieren der Typenvielfalt
- Reduktion der Anzahl der Bauteile
- Verwendung etablierter Teile
- Reduktion der Materialkosten
- Reduktion der Fertigungskosten
- Reduktion der Montagekosten
- Senkung der Verschwendung in der Produktion und Logistik

3.5.2.4 Ideensammlung

Da diese Funktion sämtliche Bauteile sowie auch den Montagevorgang betrifft, werden diese nacheinander analysiert, um durch die Anwendung allgemeiner Ansätze konkrete Ideen zur Senkung der Herstellkosten zu finden. Die Komponenten in bestehender Form, als Einzelstücke betrachtet, wurden hinsichtlich der Herstellkosten fertigungstechnisch bereits im Rahmen des Entwicklungsprozesses bei KTM optimiert. Aus diesem Grund wird unter diesem Punkt versucht neben konkreter Verbesserungen vor allem neue Konzepte zur Gestaltung der Bauteile und Baugruppen zu liefern. Zu diesem Zweck wurde eine Ideensuche mit Hilfe von SCAMPER-Checklisten für jeden der relevanten Teile sowie die Montage durchgeführt.

Ideensuche mit SCAMPER:

Gehäuse	
Substitute:	Andere Fertigungstechnologie, z.B. Tiefziehblech Gehäuse aus Kunststoff
Combine:	Integration, sodass es weniger Teile sind
Adapt:	Teilung seitlich um Einlegen von Sektionen zu erleichtern

wird fortgesetzt

Modify:	Geringere Wandstärke, Rippen und Sicken zur Versteifung Steg zur Versteifung in der Mitte des Gehäuses
Put:	Material mit höherer Festigkeit um Materialmenge zu senken
Eliminate:	Einsparung der Schraubverbindungen und Dichtungen durch Klebeverbindungen
Reverse:	Gehäuse nur zur Abdichtung, Stabilität durch Zellhalter oder darin integrierte Stege

Tabelle 3-7: SCAMPER Checkliste Gehäuse

Zellhalter	
Substitute:	Zellhalter aus beschichtetem Aluminium zur Einsparung von Wärmeleitelementen Nur dünne Kunststoffeinsätze als Toleranzausgleich und Isolierung
Combine:	Kühlschlangen zwischen den Zellen anordnen Steg zur Versteifung des Gehäuses in Zellhalter quer eingießen und als Wärmeableiter verwenden
Adapt:	Zellhalter auch durch Stege in der Mitte versteifen
Modify:	Zellhalter aus Material mit höherer Wärmeleitfähigkeit
Put:	Zellhalter am Rand mit Gehäuse durch wärmeleitfähigem Kleber verbinden
Eliminate:	Verkleinerung der Zellhalter durch geringere Höhe, Klemmung der Zellen nur oben und unten Zellhalter durch Stege in der Mitte verkleben um Verschraubung zu vermeiden
Reverse:	Zellen horizontal anordnen um vertikalen Luftstrom und vertikale Kühlelemente zu erleichtern

Tabelle 3-8: SCAMPER Checkliste Zellhalter

Abstandhalter	
Substitute:	Fertigung der Abstandhalter aus weniger Teilen, möglichst nur 1 Teil
Combine:	Abstandhalter in Zellhalter integrieren und flexibel gestalten
Adapt:	-
Modify:	Höhere Wärmeleitfähigkeit der Abstandhalter um Wärmeleitstäbe einzusparen
Put:	-
Eliminate:	Kontakt zwischen Abstandhalter und Aluminium Stiften anstatt Luftspalt
Reverse:	Keinen Abstand zwischen den Zellen vorsehen und bessere Kühlung

Tabelle 3-9: SCAMPER Checkliste Abstandhalter

Zellverbinder	
Substitute:	-
Combine:	Luftzirkulation quer zu Zellverbindern ermöglichen
Adapt:	Steckverbindung am Ende verwenden
Modify:	Ebene Bleche verwenden
Put:	-
Eliminate:	Verbindung am Ende nur durch weniger Schrauben Verbindung mit Stromableiter durch Scheißen/Löten
Reverse:	Zellverbinder weglassen und Zellen direkt aneinander fügen

Tabelle 3-10: SCAMPER Checkliste Zellverbinder

Stromableiter	
Substitute:	-
Combine:	-
Adapt:	Verbindung durch weniger Schrauben
Modify:	Verbindung durch Löten/Scheißen Verbindung durch Nieten
Put:	-
Eliminate:	Sektionen symmetrisch gestalten dass Stromableiter zwischen diesen durch 180° Drehung überflüssig sind
Reverse:	-

Tabelle 3-11: SCAMPER Checkliste Stromableiter

Aluminiumstifte	
Substitute:	Stifte durch seitliche Wärmeableiter ersetzen
Combine:	-
Adapt:	Anderer Querschnitt zur besseren Anpassung an Zellen
Modify:	Anzahl der Stifte verringern, diese in größeren Abständen anordnen und größer ausführen
Put:	-
Eliminate:	Direkter Kontakt zu Zellen zur besseren Wärmeübertragung
Reverse:	-

Tabelle 3-12: SCAMPER Checkliste Aluminium Stifte

Wärmeleitplatten	
Substitute:	-
Combine:	-
Adapt:	Wärmeleitstäbe quer zu Zellen und in Zellhalter eingießen
Modify:	Wärmeleitplatten nicht zwischen Gehäusehälften sondern durch Wärmeleitpaste verbinden Integration von Sicken oder Rippen zur Versteifung in Querrichtung Abstützfunktion des Gehäuses Kühlelemente die direkt mit Zellen und Gehäusewand in Verbindung sind
Put:	Aktive Kühlung integrieren
Eliminate:	Bohrung einsparen die nicht notwendig sind
Reverse:	-

Tabelle 3-13: SCAMPER Checkliste Wärmeleitplatten

Montage	
Substitute:	Alle Sektionen gemeinsam vormontieren bevor sie in Gehäuse montiert werden
Combine:	Stromableiter kürzer machen und mit weniger Schrauben, dafür letzten Zellverbinder etwas massiver
Adapt:	Gehäuse als Rahmen wo Sektionen darin montiert werden Gehäuses geklebt
Modify:	Gehäuse seitlich teilen und Sektionen seitlich einlegen
Put:	-
Eliminate:	Sektionen weglassen durch andere Anordnung Zellen direkt aufeinander um sie in Serie zu schalten
Reverse:	Sektionen vormontieren und Stromableiter von oben reinstecken Stromableiter als Schienen auf der Seite

Tabelle 3-14: SCAMPER Checkliste Montage

Um die Montage konkret nach den Verschwendungsarten nach LEAN (siehe Kapitel 2.3.8) untersuchen zu können benötigt man detaillierte Informationen über die Montageabläufe, welche jedoch leider nicht zur Verfügung stehen.

3.5.3 Energie speichern

Da die zur Speicherung der Energie verwendeten Zellen von KTM bestimmt und im Rahmen dieses Projektes nicht verändert werden können, wird in diese Richtung auch nicht weiter recherchiert. Dennoch haben die Anzahl, Art und Eigenschaften der Zellen Einfluss auf andere Funktionen und dieser Zusammenhang soll kurz aufgezeigt werden. Da die Zellenanzahl und die Kapazität der einzelnen Zellen die einzigen Parameter sind, welche die Gesamtkapazität beeinflussen können, ist es leicht dies in Form eines Widerspruches zu formulieren. Deshalb bietet sich an dieser Stelle die Methode TRIZ zur Suche nach Lösungen an.

Funktionsanalyse

Der Funktionserfüllungsgrad von 82,5% laut KTM zeigt auf, dass es bei dieser Funktion Verbesserungspotential in Form einer höheren Speicherkapazität gibt. Ein Vergleich der Speicherkapazitäten von Mitbewerbern (siehe Abbildung 3-41) zeigt ebenfalls einen Trend zu höheren Gesamtkapazitäten.

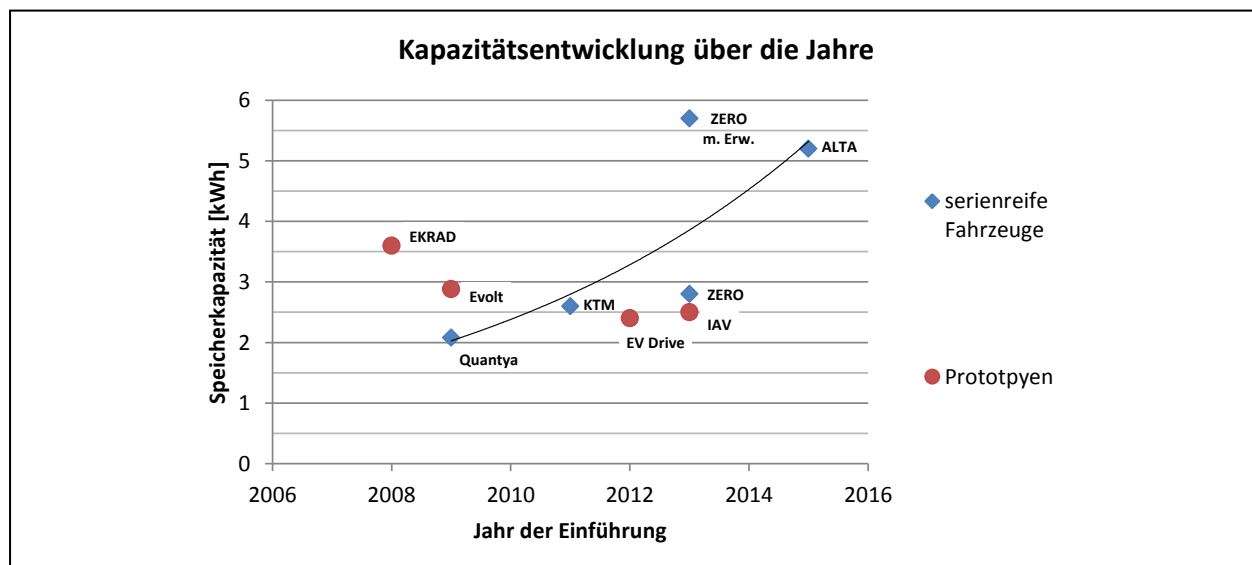


Abbildung 3-41: Benchmark der Kapazitätsentwicklung¹⁴¹

Diese Kapazitätserweiterung kann einerseits durch bessere Zellen oder andererseits einfach durch eine größere Zellenanzahl erreicht werden, wobei dies wiederum auch mehr Bauraum in Anspruch nimmt und das PowerPack schwerer macht. Höhere Energiedichten und Speicherkapazitäten erhöhen auch das Risiko im Falle eines Unfalles, da sich dadurch noch mehr reaktives Material im PowerPack befindet. Derzeitige Entwicklungstrends bei den Zelltechnologien weisen auf stetig steigende Energiedichten und somit steigendes Gefahrenpotential hin und machen die Funktion „Crashsicherheit bereitstellen“ zu einer immer wichtigeren in Zukunft.

¹⁴¹ eigene Abbildung

Formulierung des Widerspruchs nach TRIZ

Aus der obigen Analyse des Problems geht hervor, dass die Kapazität des PowerPacks gleichzeitig sowohl groß, als auch klein sein soll. Es handelt sich daher gemäß der Definition nach TRIZ um einen physikalischen Widerspruch, auf welchen das Verfahren „4 Ansätze“ angewandt werden kann um Lösungsideen zu generieren.

Ideensuche nach TRIZ „4 Ansätze“

Dieses Verfahren schlägt vier Ansätze zur Lösung des Widerspruchs vor, anhand welcher durch Brainstorming konkrete Ideen formuliert wurden (siehe Tabelle 3-15).

Ansatz	Lösungsideen
Separation im Raum	Anderer Ort am Motorrad wo weniger Gefahr besteht <ul style="list-style-type: none"> - schmaler und durch Rahmen geschützt - in Rahmen integriert - Knautschzone innerhalb/außerhalb des Packs vorsehen durch geschäumtes Material Anderer Ort wo Gewicht weniger ausmacht <ul style="list-style-type: none"> - weiter unten um Schwerpunktlage zu senken
Separation in der Zeit	Im Crashfall weggeben/ausweichen <ul style="list-style-type: none"> - Sollbruchstelle, Pack weicht aus - Verformbar, Zellen bleiben ganz und Gehäuse nimmt Energie auf Bei der Fahrt einen Teil weglassen <ul style="list-style-type: none"> - Teil herausnehmbar, wenn nicht notwendig
Separation innerhalb eines Objektes und seiner Teile	Zerlegen in verschiedene Teile <ul style="list-style-type: none"> - Modularer Aufbau - Pack für Straßenverkehr, schwerer und sicherer - Pack für Offroad, leichter, weniger crashresistent - Kapazität erweiterbar
Separation durch Bedingungswechsel	PowerPack bei Crash von Gefahr fernhalten <ul style="list-style-type: none"> - durch stabileren Rahmen herum

Tabelle 3-15: Lösungssuche durch TRIZ 4 Ansätze zu Energie speichern

3.5.4 Crashesicherheit gewährleisten

Diese Funktion soll die Belastungen während eines Crashes ertragen und größere Gefahren verhindern.

3.5.4.1 Problemanalyse

Im Falle eines Unfalls gilt es größere, von den Zellen ausgehende Gefahren für Fahrer und Umwelt zu vermeiden. Kommt es zu einer Beschädigung des PowerPacks, so kann es zu einem Kurzschluss, zum Ausgasen der Zellen sowie einem Brand der Zellen kommen. Laut des bestimmten Funktionserfüllungsgrades von über 100% bei allen drei Teilfunktionen, ist die Sicherheit beim bestehenden PowerPack sehr hoch und es bestehen Einsparungspotentiale. Die Funktion „Crashesicherheit gewährleisten“ setzt sich aus den drei Nebenfunktionen „Ausgasen verhindern“, „Brand verhindern“ und „Kurzschluss verhindern“ zusammen. Die Funktion „Kurzschluss verhindern“ bezieht sich dabei auf Teile außerhalb der Zellen. Um herauszufinden wodurch es zum Ausgasen, einem Brand oder Kurzschluss kommt wurde eine 5-Why Analyse auf die drei Szenarien durchgeführt (siehe Abbildung 7-1, Anhang 7.3.2).

Das Ergebnis der 5-Why Analyse ist, dass sich sowohl das Ausgasen als auch der Brand auf einen Kurzschluss innerhalb oder außerhalb der Zellen zurückführen lassen. Dieser kann durch eine übermäßige Verformung der Zelle, des gesamten PowerPacks oder die Eindringung eines externen Gegenstandes in die Zelle verursacht werden. Das größte Gefahrenpotential verbirgt sich hinter einem Brand, da dabei sehr hohe Temperaturen entstehen und Brände dieser Art sehr schwer zu bekämpfen sind. Deshalb wird dies im Folgenden näher betrachtet.

3.5.4.2 Abschätzung zukünftiger Entwicklungen

Die potentielle Gefahr durch die Zellen steigt in Zukunft mit der steigenden Energiedichte, wodurch sich die Bedeutung der Funktion „Crashesicherheit gewährleisten“ erhöht. Neben dem Gefahrenpotential der derzeit verwendeten Zellen sollten auch eventuell zukünftig eingesetzte Zellen berücksichtigt werden, sodass die notwendige Sicherheit auch bei einem denkbaren Upgrade des PowerPacks mit anderen Zellen noch gewährleistet ist.

3.5.4.3 Definition der Einflussgrößen

Anhand eines Ursachen- Wirkungsdiagramms wurden die möglichen Einflussgrößen auf die Brandgefahr analysiert und zusammengefasst. Bei einer ersten Analyse wurde lediglich die Zelle als unabhängiges System, ohne die umliegenden Bauteile, betrachtet (siehe Abbildung 7-3, Anhang 7.3.4). Da sich Brand und Ausgasen auf eine Verformung der Zellen, Eindringungen in die Zellen oder einen äußeren Kurzschluss zurückführen lassen, werden diese als Kriterien bei der Lösungssuche betrachtet.

Um die Ursachen dieser Ereignisse zu verstehen wurde eine weitere Ursachen-Wirkungsanalyse durchgeführt, diesmal jedoch auf das gesamte PowerPack bezogen (siehe Abbildung 7-4, Anhang 7.3.4).

3.5.4.4 Ideensammlung

Die Ideensammlung erfolgte nach der in Abbildung 3-42 gezeigten Vorgehensweise. Für die Sammlung von Ideen wurden sämtliche gefundenen Einflussgrößen schrittweise nacheinander abgearbeitet. Aufgrund der großen Anzahl an Einflussgrößen wurde wiederum die SCAMPER Methode gewählt. Auf Basis der bestehenden Lösung wurde durch gezielte Abstraktion und die Anwendung der Checkliste nach Lösungsideen gesucht.

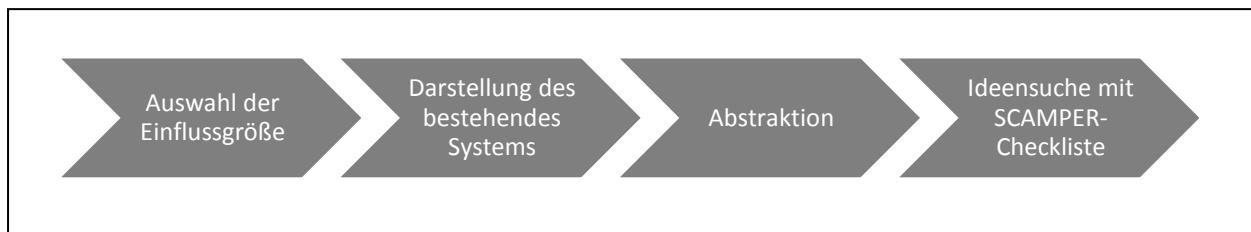


Abbildung 3-42: Vorgehensweise bei der Ideensammlung zur Crashesicherheit¹⁴²

Maschine

Die Gestaltung und Steifigkeit der Bauteile ist maßgeblich um Verformungen zu verhindern.

Bestehendes System:

Beim bestehenden Pack sind die Zellen in einem Zellhalter untergebracht und von einem stabilen Gehäuse umgeben. Die Zellhalter bieten im Vergleich zum Gehäuse nur eine sehr geringe Steifigkeit. Des Weiteren schützt auch der Motorradrahmen das PowerPack in gewissem Ausmaß vor Verformungen.

¹⁴² eigene Abbildung

Abstraktion:

Durch die Stabilität von Rahmen und Gehäuse sollen aufprallende Objekte von den Zellen ferngehalten werden. Eine noch stabilere Gestaltung von Gehäuse und Rahmen verbessern dabei den Schutz der Zellen.

Ideensuche mit SCAMPER:

Maschine	
Substitute:	Zellen mit geringerer Brandgefahr verwenden Gehäuse kleben, große Fügeflächen erhöhen Stabilität
Combine:	Integration in Rahmen und Erhöhung der Stabilität, ev. als tragendes Element
Adapt:	Erhöhung der Wandstärke
Modify:	Verwendung von Versteifungsrippen Zellhalter mit größerer Stabilität
Put:	-
Eliminate:	Weglassen des Gehäuses bei genügend Stabilität des Rahmens Gehäuse nur zum Schutz gegen Schmutz und Feuchtigkeit
Reverse:	Flexibles Gehäuse das ausweicht, Einbettung in Gummi, Anstatt aufprallende Objekte von den Zellen fernzuhalten können auch die Zellen von den aufprallenden Objekten ferngehalten werden, indem sie ausweichen können. Eine flexible Gestaltung des Gehäuses kann dadurch eine Beschädigung der Zellen verhindern.

Tabelle 3-16: SCAMPER Checkliste Maschine

Mensch und Mitwelt

Die Punkte Mensch und Mitwelt werden an dieser Stelle zusammengefasst. Das Verhalten der Beteiligten eines Crashfalles hat natürlich den größten Einfluss auf den Hergang und die Größe des entstehenden Schadens. Erfahrung, Reaktionsverhalten und Einschätzungsvermögen der jeweiligen Individuen lassen sich durch die Gestaltung des PowerPacks nicht beeinflussen und werden daher nicht weiter betrachtet. Bei der Gestaltung der Bauteile kann man lediglich auf statistische Werte zurückgreifen, um so die Risiken einschätzen und eingrenzen zu können.

Material

Die verwendeten Materialien haben einen maßgeblichen Einfluss bei der Verhinderung von Eindringungen.

Bestehendes System:

Das bestehendes Gehäuse ist aus Aluminium mittels Spritzguss gefertigt und weist eine Wandstärke von 5,5 mm auf. Der Rahmen des Motorrades ist aus Stahl Formrohren gefertigt.

Abstraktion:

Durch große Härte und Stabilität der verwendeten Materialien sollen Eindringungen in das Gehäuse und in weiterer Folge in die Zellen verhindert werden.

Ideensuche mit SCAMPER:

Material	
Substitute:	Härteres Material, z.B. Magnesium Faserverstärktes Material, z.B.: Faserverstärktes Aluminium, Faserverstärkter Kunststoff
Combine:	Verbundwerkstoffe: Mehrschicht aus harten und zähen Materialien: Alu, Stahl, Kunststoff verklebt
Adapt:	Geschäumte Materialien, hohe Stabilität bei geringer Masse, Potential zur Aufnahme von Verformungsenergie
Modify:	Hochfestes Stahlgehäuse mit dünner Wandstärke
Put:	-
Eliminate:	Zellen in weiches Material einbetten und harte Schale herum, bei Verformung des Gehäuses können sich Zellen im Inneren bewegen und anpassen
Reverse:	Zellhalter stabil gestalten um Zellen im Crashfall zu schützen, Gehäuse nur um die Einheit abzudichten.

Tabelle 3-17: SCAMPER Checkliste Material

Methode

Unter der Methode wird im Zusammenhang dieses Projektes die Ausführung konkreter Maßnahmen zur Erhöhung der Crashesicherheit verstanden. Diese Maßnahmen haben Einfluss auf alle drei früher definierten Ereignisse, welche zu größeren Gefahren führen.

Bestehendes System:

Bei dem bestehenden Pack gibt es keinerlei aktiv oder passiv wirkenden Sicherheitssysteme. Zwar gibt es Bauteile, welche schon zum Teil solche Aufgaben erfüllen, jedoch keine, welche ausschließlich dazu bestimmt sind.

Abstraktion:

Durch die Zugabe zusätzlicher Elemente soll die Sicherheit des PowerPacks hinsichtlich Brandgefahr durch das Vermeiden von Verformung, Eindringung und Kurzschluss erheblich gesteigert werden.

Ideensuche mit SCAMPER:

Methode	
Substitute:	Fasergewebe verwenden um Eindringungen zu verhindern (z.B.: Kevlar Matten oder ähnliche Kunststoffgewebe)
Combine:	In einer folgenden Betrachtung muss natürlich die Möglichkeit eine Funktionsintegration spezieller Sicherheitsbauteile in andere Bauteile geprüft werden
Adapt:	Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften, Frontaufprall durch Gabel etc. nicht so tragisch, daher weniger Stabilität in dieser Richtung erforderlich, z.B. bei Faserverstärkung möglich oder durch unterschiedliche Wandstärke
Modify:	Sollbruchstelle vorsehen damit PowerPack ausweichen kann und Rahmen die ganze Belastung aufnimmt
Put:	-
Eliminate:	Den Aufprall zwischen Unfallgegner und PowerPack verhindern durch Airbag, welcher das Gehäuse vor Kollisionen schützt
Reverse:	Eindringung und Verformung zulassen und durch aktives Löschesystem Brand unter Kontrolle bringen, z.B.: CO2 wird bei großer Hitze frei

Tabelle 3-18: SCAMPER Checkliste Methode

3.5.5 Gewichtsanforderungen erfüllen

Ziel dieser Funktion ist es, die Bauteile entsprechend zu gestalten, sodass die geforderten Funktionen trotz minimalem Gewicht voll erfüllt werden. Als erstes Ziel kann an dieser Stelle das unterbieten des Gewichts des aktuellen PowerPacks genannt werden. Bevor mit einer Analyse der Bauteile zur Identifizierung von Gewichtseinsparungspotentialen begonnen wird, soll das mögliche Potential abgeschätzt werden.

3.5.5.1 Abschätzung des Potentials

Ein Großteil der Masse des PowerPacks ergibt sich durch die 360 Zellen der Bauform 18650. Eine solche Zelle wiegt im Durchschnitt 44 Gramm. Insgesamt ergibt dies eine unveränderbare Masse von 15,84 kg nur aufgrund der Zellen. Das Gewicht der restlichen elektrischen Komponenten, welche ebenfalls im Rahmen dieses Projektes unverändert bleiben wird mit ca. 1000 g geschätzt, da keine genaueren Daten bekannt sind. Bei einer Gesamtmasse des PowerPacks von 28 kg bleiben somit die 11,16 kg der restlichen Komponenten übrig, an welchen Modifikationen vorgenommen werden können (siehe Tabelle 3-19).

<i>Gesamtgewicht</i>	$m_{Pack} = 28 \text{ kg (100 \%)}$
<i>Gewicht der Zellen</i>	$m_Z = 360 \times 44 \text{ g} = 15,84 \text{ kg (57 \%)}$
<i>Gewicht Elektronik</i>	$m_E = 1 \text{ kg (3 \%)}$
<i>Gewicht veränderbarer Teile</i>	$m_{Var} = 11,16 \text{ kg (40 \%)}$

Tabelle 3-19: Berechnung des Gewichts der veränderbaren Teile

Geht man von einem Potential zur Reduktion des Gewichtes rein durch Optimierungsmaßnahmen am bestehenden System von maximal 15% aus, so kann man damit im besten Fall 1,67 kg einsparen. Dies entspricht etwa 6% des Gesamtgewichtes und ergibt ein neues Gesamtgewicht von 26,33 kg (siehe Tabelle 3-20).

<i>Einsparungspotential 15%</i>	$m_{Red} = m_{Var} \times 15 \% = 1,67 \text{ kg (6 \%)}$
<i>Gesamtgewicht optimiert</i>	$m_{PackOPT} = 26,33 \text{ kg (94 \%)}$

Tabelle 3-20: Berechnung Einsparungspotential durch Optimierung

Geht man durch eine völlige Neukonzipierung des PowerPacks davon aus, dass durch alternative Konzepte und Materialien bis zu 35% der Masse der veränderbaren Teile eingespart werden kann, so ergibt sich ein neues Gesamtgewicht von 24,1 kg (siehe Tabelle 3-21).

<i>Einsparungspotential 35 %</i>	$m_{Red} = m_{Var} \times 35 \% = 3,9 \text{ kg (14 \%)}$
<i>Gesamtgewicht Konzept neu</i>	$m_{PackNEU} = 24,1 \text{ kg (86 \%)}$

Tabelle 3-21: Berechnung Einsparungspotential durch neues Konzept

Durch Optimierungsmaßnahmen lässt sich also nur eine geringe Gewichtsreduktion von etwa 6% des Gesamtgewichtes erreichen, durch eine Neukonzipierung hingegen bis zu 14%.

3.5.5.2 Bestimmung des Zielgewichtes

Zur Bestimmung des Zielgewichtes wird neben den vorhergehenden Schätzungen des Einsparungspotentials auch noch die Energiedichte mit jener von renommierten Batterieherstellern aus der Automobilbranche (siehe Abbildung 3-43) und jener von Konkurrenten, von denen die entsprechenden Daten verfügbar sind, verglichen (siehe Tabelle 3-22).

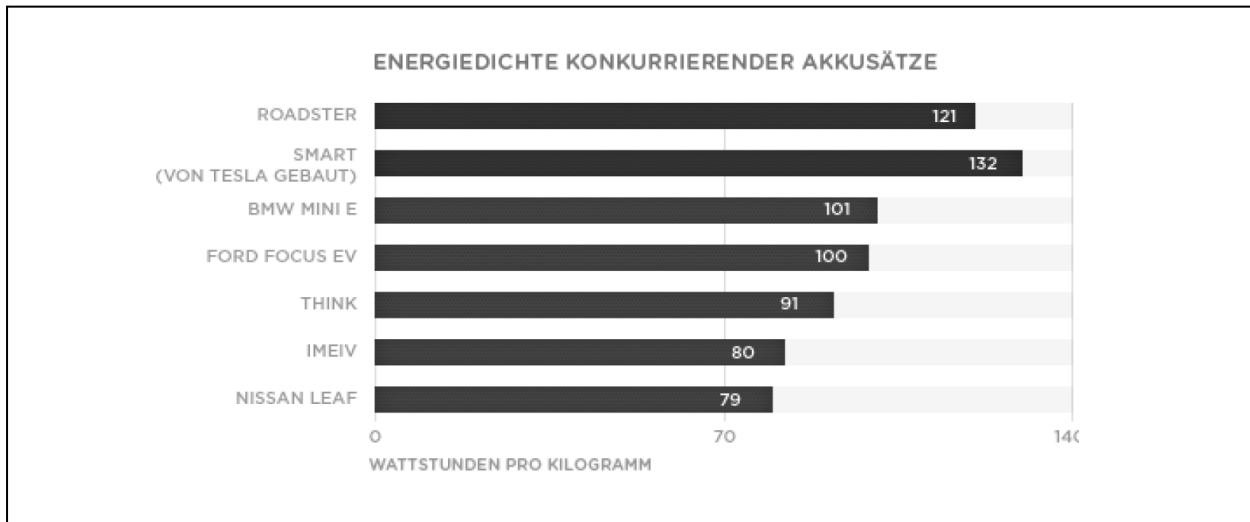
Abbildung 3-43: Energiedichten konkurrierender Akkusätze der Automobilbranche¹⁴³

Abbildung 3-43 zeigt, dass führende Automobilhersteller eine Energiedichte bis zu 132 Wh/kg erreichen. Dieser Wert ist natürlich bei der Entwicklung eines neuen Energiespeichersystems anzustreben, wird jedoch aufgrund der kleinen Speicherkapazität bei Motorrädern bei annähernd gleichem Aufwand an elektrischen Komponenten nicht zu erreichen werden. Dieser Effekt wird bei der Berechnung des Zielgewichtes durch einen geschätzten Geometriefaktor von 20% berücksichtigt (siehe Abbildung 3-12).

<i>Energiedichte bestehend</i>	$W_{Pack} = \frac{2,6 \text{ kWh}}{28 \text{ kg}} = 92,8 \text{ Wh/kg}$
<i>Energiedichte optimiert</i>	$W_{PackOPT} = \frac{2,6 \text{ kWh}}{26,33 \text{ kg}} = 99 \text{ Wh/kg}$
<i>Energiedichte Konzept neu</i>	$W_{PackNEU} = \frac{2,6 \text{ kWh}}{24,1 \text{ kg}} = 108 \text{ Wh/kg}$
<i>Energiedichte IAV</i>	$W_{IAV} = \frac{2,5 \text{ kWh}}{25 \text{ kg}} = 100 \text{ Wh/kg}$
<i>Energiedichte SMART</i>	$W_{SMART} = 132 \text{ Wh/kg}$

Tabelle 3-22: Vergleich der Energiedichten

Der Vergleich der Energiedichten des bestehenden PowerPacks mit jenen der Konkurrenz und dem Benchmark der Automobilbranche zeigt großes Potential auf (siehe Tabelle 3-22). Nach der Berechnungen der Energiedichten in Tabelle 3-22 mit den Gewichten aus den zuvor erfolgten Abschätzungen sieht man, dass die Energiedichte dadurch schon maßgeblich verbessert werden kann, jedoch die gewünschte Energiedichte des Benchmarks noch nicht ganz erreicht wird. Um diese zu erreichen ist demzufolge auch eine Veränderung der Zellen notwendig.

¹⁴³ <http://my.teslamotors.com>, Zugriffsdatum: 29.10.2015

Zielgewicht theoretisch	$m_{ZielTheo} = \frac{2,6 kWh}{132 Wh/kg} = 19,7 kg (70 \%)$
Geometriefaktor	$f_{Geo} = 20 \%$
Zielgewicht (bei 2,6 kWh)	$m_{Ziel} = m_{ZielTheo} + f_{Geo} = 23,64 kg (84 \%)$

Tabelle 3-23: Berechnung des Zielgewichtes

Das in Tabelle 3-23 errechnete Zielgewicht bezieht sich auf die bestehende Speicherkapazität von 2,6 kWh und ergibt mit 84% des Ursprunggewichtes in etwa wieder das gleiche Ergebnis wie bei der vorherigen Abschätzung einer Neukonzipierung.

3.5.5.3 Ideensammlung

Zur Suche nach Ideen wurde aufgrund der großen Anzahl an Ansatzpunkten wiederum die SCAMPER- Checkliste herangezogen. Bei der Betrachtung der jeweiligen Unterpunkte wurde auch versucht durch Benchmarking mit den neuesten Entwicklungen aus der Automobilbranche gute Ideen zu generieren.

Ideensuche mit SCAMPER:

Gewichtsansforderungen erfüllen	
Substitute:	<p>Zellen: Die Zellen sind ein großer Ansatzpunkt zur Reduktion des Gewichtes, da diese mit 57% den größten Anteil des Gesamtgewichtes ausmachen. Neben der Energiedichte spielt natürlich auch die Leistungsfähigkeit der Zellen hinsichtlich Ladung- und Entladung eine wichtige Rolle. Diese Faktoren sind gegenläufig und es gilt einen an den Anwendungsfall angepassten Kompromiss zu finden.</p> <p>Material Gehäuse: Das Gehäuse wird aus Aluminium gefertigt. Ein Werkstoff mit einer höheren spezifischen Feistigkeit kann zur Reduktion des Gewichtes beitragen.</p> <p>Mögliche Werkstoffe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Andere Aluminium Legierung • Aluminium Blech • Kunststoff • Magnesium • Faserverstärkter Kunststoff • Faserverstärktes Aluminium • Hochfestes Stahlblech

wird fortgesetzt

Combine:	Tragende Funktion des Packs um Rahmen zu sparen Zellhalter auch zur Kühlung Platten zur Kühlung wie bei Automobilen Kühlung in Wand integrieren
Adapt:	Gehäuse: Neues Gehäusekonzept notwendig um Gewicht drastisch senken zu können Blechkonstruktion, Steifigkeit durch Sicken, Kanten statt Wandstärke Fügen des Gehäuses durch Kleben/Nieten, Kunststoffgehäuse, Abstützung durch Zwischenwand in Gehäuse
Modify:	Geringere Wandstärken, Material nur wo Material benötigt wird Gestaltung der Form sodass diese Stabilität gibt (z.B. Kugel oder Ei)
Put:	-
Eliminate:	Modular Aufbauen, Gewicht nur wenn es benötigt wird Höhe der Zellhalter notwendig, Klemmung nur an oberen und unteren Ende nicht genug? Dazwischen besseren Luftzug Zellhalter überhaupt notwendig? Lange Wellbleche Zwischen Zellen? Können auch Kühlen Einsparung des Gewichtes der Schrauben durch Kleben
Reverse:	Gehäuse überhaupt notwendig, stabiler ausgeführter Zellhalter um Zellen genügend zu schützen

Tabelle 3-24: SCAMPER Checkliste Gewichtsansforderungen erfüllen

3.5.6 Ladefähigkeit erhalten

Diese Funktion soll den Ladezustand und die Temperatur der Zellen in einem geeigneten Bereich halten. Zur Verbesserung der Funktion wurde das Problem zuerst näher analysiert und anschließend durch TRIZ und eine Analyse der wichtigsten Parameter nach Ideen für Lösungen gesucht.

3.5.6.1 Analyse der Funktion

In manchen Situationen bei hohen Fahrleistungen und hohen Außentemperaturen kommt es zu Wartezeiten, da das PowerPack erst eine bestimmte Temperatur erreichen muss, um geladen werden zu können.

Eine hohe Zelltemperatur verursacht ebenfalls eine Reduktion der verfügbaren Zellkapazität, kühlere Zellen ermöglichen eine höhere Anzahl an Ladungsvorgängen bevor beispielsweise nur mehr 80% der ursprünglichen Kapazität verfügbar ist. Ziel ist es, das PowerPack in jeder erdenkliche Situation ohne Wartezeiten laden zu können und den Kapazitätsverlust zu minimieren.

Anhand einer 5- WHY Analyse wurde die Funktion „Ladefähigkeit erhalten“ genauer betrachtet um die maßgeblichen Einflussfaktoren und mögliche Ansatzpunkte zu identifizieren (siehe Abbildung 7-2, Anhang 7.3.3). Da der Ladezustand vom Battery-

Management System, welches im Rahmen dieses Projektes nicht betrachtet werden soll, geregelt wird, so liegt der Fokus auf der besseren Regelung der Temperatur der Zellen. Als mögliche Ansatzpunkte zur Verbesserung dieser wurden folgende Punkte identifiziert:

- Wärmeentwicklung
 - Zellenanzahl
 - Abstand der Zellen

- Wärmeabfuhr
 - Wärmetransportmechanismus
 - Besonders Wärmeleitfähigkeit und Wärmeübergang
 - Gestaltung des Wärmeflusses

Zum besseren Verständnis sollen an dieser Stelle anhand der mathematischen Formeln die möglichen Parameter zur gezielten Verbesserung der Wärmeleitmechanismen dargestellt werden.

Die mathematische Beschreibung der grundsätzlichen Mechanismen Wärmeübergang, Wärmeleitung und Wärmestrahlung sowie der erzwungenen Konvektion erfolgt anhand folgender Formeln:

Wärmeleitung

Wärmeleitung beschreibt den Wärmestrom innerhalb eines Feststoffes oder eines ruhenden Fluides aufgrund eines Temperaturunterschiedes.

$$\dot{Q} = \frac{\lambda * A * \Delta T}{d}$$

\dot{Q} ... übertragener Wärmestrom [W]

λ ... Wärmeleitfähigkeit [$\frac{W}{m \cdot K}$]

A ... Wärmeleitende Fläche [m^2]

d ... Dicke des Leitkörpers [m]

ΔT ... Temperaturdifferenz [K]

Formel 3-1: Wärmeleitung

Wärmeübergang

Beschreibt den Wärmestrom über die Grenzfläche zwischen verschiedenen Materialien beziehungsweise Medien.

$$\dot{Q} = \alpha * A * \Delta T$$

\dot{Q} ... übertragener Wärmestrom [W]
 α ... Wärmeübergangskoeffizient [$\frac{W}{m^2 K}$]
 A ... betrachtete Kontaktfläche [m^2]
 ΔT ... Temperaturdifferenz [K]

Formel 3-2: Wärmeübergang

Wärmestrahlung

Beschreibt den Wärmestrom durch elektromagnetische Strahlung.

$$\dot{Q} = \varepsilon * \sigma * A * T^4$$

\dot{Q} ... übertragener Wärmestrom durch Strahlung [W]
 ε ... Emissionsgrad [1]
 σ ... Stefan Boltzmann Konstante [$\frac{W}{m^2 K^4}$]
 A ... Oberfläche des abstrahlenden Körpers [m^2]
 T ... Temperatur des abstrahlenden Körpers [K]

Formel 3-3: Wärmestrahlung

Erzwungene Konvektion

Konvektion ist ein Wärmetransportmechanismus, welcher im Vergleich zu den anderen auch mit einem Transport von Teilchen verbunden ist. Dabei nehmen die bewegten Teilchen die Wärme an einem Ort auf und geben diese an einem anderen wieder ab. Erst durch die Strömung kommt es zu Konvektion. Bei der Kühlung durch Fahrtwind oder einen Lüfter spricht man beispielsweise von erzwungener Konvektion.

$$\dot{Q} = h * A * \Delta T$$

\dot{Q} ... übertragener Wärmestrom [W]
 h ... konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [$\frac{W}{m^2 K}$]
 A ... betrachtete Kontaktfläche [m^2]
 ΔT ... Temperaturdifferenz [K]

$$h = f(Re, Pr)$$

Re ... Reynolds Zahl, Größe zur Beschreibung der Strömung
 Pr ... Prandtl Zahl, Größe zur Beschreibung der Stoffeigenschaften

Formel 3-4: Erzwungene Konvektion

3.5.6.2 Ideensammlung nach TRIZ „Principles“

Die Wärmeleitung ist einer der wichtigsten Mechanismen zur Abfuhr der entstehenden Wärme der Zellen. Sämtliche Einflussgrößen auf die Wärmeleitung stehen in Widerspruch mit der Anforderung nach geringem Gewicht. Wird beispielsweise die Querschnittsfläche erhöht um die Ableitung der Wärme zu verbessern, so verschlechtert sich die Anforderung nach geringem Gewicht. Dieses demonstrativ gewählte Beispiel zeigt, dass sich hier viele technische Widersprüche finden lassen, weshalb zur Sammlung von Ideen die Methode TRIZ „Principles“ ausgewählt wurde.

Die Suche nach Lösungsideen richtete sich nach der in Kapitel 6.1.6 vorgestellten Vorgehensweise. Dazu wurden die entsprechenden Informationen in die jeweilige Spalte in Tabelle 3-25 schrittweise eingetragen. Zuerst wurden die Probleme in Form von Widersprüchen beschrieben. Danach die gefundenen Anforderungen den 39 Parameter nach Altshuller (siehe Anhang 6.1.6) zugeordnet. Anhand der Widerspruchsmatrix¹⁴⁴ wurden die entsprechenden Lösungsprinzipien herausgesucht und durch Brainstorming auf das Analyseobjekt angepasst, um mögliche Lösungsideen zu generieren.

¹⁴⁴ siehe Gimpel, B.; Herb, T.; Herb, R. (2000), S. 160ff

Anforderung 1	Anforderung 2	Nr.	Parameter 1 ¹⁴⁵	Nr.	Parameter 2 ¹⁴⁶	Lösungsprinzipien ¹⁴⁷	Lösungsideen
Material soll vorhanden sein um Wärme zu leiten.	Material erhöht das Gewicht.	26	Materialmenge	2	Masse des unbeweglichen Objektes	18 Mechanische Schwingung 26 Kopieren 27 Billige Kurzlebigkeit	Mechanische Schwingungen um Kühlmaterial zu Transportieren Dummy Zellen die Wärme ableiten und kühlen Billigere Zellen mit kürzerer Lebensdauer
Wege der Wärmeleitung sollen kurz sein.	Abstand der Zellen soll groß sein.	22	Energieverluste	4	Länge eines unbeweglichen Objekts	6 Universalität 7 Verschachtelung 38 Starkes Oxidationsmittel	Wärmeleiter in Zellhalter integrieren, eingießen Elektrische Leiter eingießen zur Isolierung Material das bei hohen Temp. zu CO2 wird, Inerte Atmosphäre verhindert Brand, CO2 Ausstoß bei Brand
Querschnittsflächen zur Wärmeleitung sollen groß sein.	Material erhöht das Gewicht.	6	Fläche des unbeweglichen Objekts	2	Masse des unbeweglichen Objektes	2 Abtrennung 14 Krümmung 30 Flexible Hüllen und Filme	Gehäuse isoliert, weglassen Verwendung von Blechen mit Sicken, Rippen, Zwischenstegen Weiche Einfassung, weiche Materialien, Gummi, harte Schale, Schaummaterialien
Material muss Stabilität gewährleisten.	Material erhöht das Gewicht	13	Stabilität der Zusammensetzung eines Objektes	26	Material-menge	15 Dynamisierung 32 Farbveränderung 35 Eigenschaftsänderung	Fahrtwind besser nutzen durch Leitbleche Wind erzeugen durch Lüfter Integration von Kühlkanälen in Zwischenwänden oder Gehäusewänden Aktive Kühlmatten mit Kühlgängen als Trennwände statt nur Wärmeleitplatten Zirkulation von Luft innerhalb des Packs durch Ventilator Kühlsystem von Motor anbinden und nutzen Farbmarkierung zeigt Temperatur an, wenn Pack „Ready to Race“ ist, Status Phasenübergang nutzen bei Flüssigkeiten,

wird fortgesetzt

¹⁴⁵ Klein, B. (2007), S. 219ff¹⁴⁶ Klein, B. (2007), S. 219ff¹⁴⁷ Gimpel, B.; Herb, T.; Herb, R. (2000), S. 160ff

							Bei normaler Temperatur als Wärmeleiter, bei krit. Temp. extra Kühlung durch Schmelzen Kupfer- oder Aludrähte durch das Gehäuse um Wärmeleitung zu Verbessern
Material soll elektrisch isolieren.	Material soll hohe Wärmeleitfähigkeit haben.	22	Energieverlust	17	Temperatur	19 Periodische Wirkung	Thermoelektrische Elemente zum Kühlen, BMW nutzt dies bereits
Material soll vor Beschädigungen schützen.	Material soll günstig sein.	11	Spannung oder Druck	23	Materialmenge	3 Örtliche Qualität 10 Vorgezogene Aktion 36 Phasenübergang 37 Wärmeausdehnung	Wärmeübergänge verbessern, Wärmeleitpasten, Matten Nutzung der elektrischen Leiter auch als Wärmeleiter Pack vor/nach dem Fahren kühlen/ beim Laden Kühlen, Flüssigkeitskühlung mit Ladegerät, Externe Kühlstation als Powerladestation, Ladegerät mit Kühlaggregat zum Anschließen Einsetzen von Kühlbeuteln, Kühlelementen Schmelzende Elemente einsetzen Nutzen der Verdampfungswärme von Elementen

Tabelle 3-25: Ideengenerierung für Ladefähigkeit durch „Principles“- Verfahren

3.5.6.3 Ideensammlung durch Parameteranalyse

Nach der Ideensammlung nach TRIZ wurde nochmals gezielt auf die Wärmeleitmechanismen eingegangen um weitere Ideen zur Verbesserung dieser zu finden.

Wärmeleitung:

Vorkommen im PowerPack:

- In Zellen – nicht beeinflussbar durch Projekt
- In Zellhaltern
- In Wärmeleitstiften
- In Wärmeleitplatten
- In Gehäuse

Maßnahmen zur Verbesserung:

- anderes Material mit höherer Wärmeleitfähigkeit
- größere Querschnitte
- eliminieren von Luftspalten

Wärmeübergang:

Vorkommen im PowerPack:

- Zellen auf Zellhalter
- Zellhalter auf Wärmeleitstifte
- Zellhalter auf Wärmeleitplatten
- Wärmeleitplatten auf Gehäuse
- Zellhalter auf Gehäuse

Maßnahmen zur Verbesserung:

- Vergrößerung der Kontaktfläche
- Verbesserung des Kontaktes
- Einsatz von Wärmeleitpaste

Wärmestrahlung:

Aufgrund der geringen Temperaturunterschiede zu vernachlässigen.

Erzwungene Konvektion:

Vorkommen im PowerPack:

- Im Inneren zu vernachlässigen da Luft nicht bewegt ist
- Durch Fahrtwind an äußerer Oberfläche

Maßnahmen zur Verbesserung:

- Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit durch Lüfter
- Erhöhung der Oberfläche durch Kühlrippen

3.5.7 Montage ermöglichen

Ziel dieser Funktion ist es, die Bauteile, Baugruppen und das gesamte PowerPack entsprechend zu gestalten, sodass diese möglichst einfach, kostengünstig und fehlerfrei montiert werden können. Eine Analyse und Ideensuche zur Montage erfolgte bereits unter dem Punkt 3.5.2.4.

3.5.8 Recycling ermöglichen

Ziel dieser Funktion ist die Minimierung der Auswirkungen auf die Umwelt durch die Produktion, den Betrieb sowie die Entsorgung der PowerPacks am Ende der Lebensdauer.

3.5.8.1 Analyse der Funktion

In erster Linie zielt die Funktion auf die möglichst einfache Zufuhr des ausgedienten PowerPacks in die entsprechenden Recyclingprozesse ab. Bei der Entsorgung von Akkumulatoren bestehen dabei stets elektrische- und chemische- Gefahrenpotentiale sowie Brandgefahr durch die reaktiven Materialien. Vorrangiges Ziel des Recyclingprozesses ist die Wiederverwertung der Metalle Kupfer, Aluminium, Kobalt und Nickel. Da beim PowerPack viele der Komponenten aus sehr reinen Materialien bestehen, würde es Sinn machen, diese bereits vor dem Schreddern und der pyrometallurgischen Behandlung zu trennen. Auch nach Ablauf der Lebensdauer des PowerPacks als Energiespeicher in einem Motorrad verfügt die Einheit noch über eine gewisse Speicherkapazität, welche im Rahmen einer Sekundärverwendung weiter zur Speicherung elektrischer Energie genutzt werden kann. Neben den Maßnahmen zur einfacheren Entsorgung und Wiederverwendung sind auch entsprechende Anreize notwendig, damit die Nutzer motiviert werden diese nach der entsprechenden Lebensdauer fachgerecht zu entsorgen beziehungsweise an den Hersteller zurückzugeben.

3.5.8.2 Ideensuche durch Brainstorming

Zur Entwicklung von Lösungsideen wurde zu jedem der während der Analyse gefundenen Ansatzpunkte ein Brainstorming durchgeführt.

Maßnahmen zur bessere stofflichen Trennung:

- Demontierbarkeit des Gehäuses
- Demontierbarkeit von großen Wärmeleitplatten
- Demontierbarkeit von Stromableitern
- Demontierbarkeit der Wärmeleitstifte

Ideen zur Sekundärverwendung:

- Sekundärverwendung als Kleinstspeicheranlagen für Haushalte durch Rücknahme und Kombination mit Photovoltaikanlage

Ideen zur Verlängerung der Lebensdauer:

- Aufbereitung von Packs nach gewissen Betriebsstunden
- Austausch von Sektionen
- Austausch von Zellen

Anreize zur Rückgabe:

- Leasing von Paketen wie bei Automobilen
- Miete von Paketen wie bei Automobilherstellern
- Umweltbonus bei Kauf eines neuen Packs

3.5.9 Zusammenfassung der Ideen

Die in den vorhergehenden Punkten gefundenen Ideen wurden in Tabelle 7-4 (siehe Anhang 7.3.5) zusammenfasst. Da viele Ideen durch Assoziationen im Rahmen der Ideensuche einer anderen Funktion aufgetreten sind, wurden die Ideen nochmals unabhängig von der Funktion in folgende Kategorien eingeteilt:

- Crashesicherheit
- Wärmeleitung
- Umweltschutz
- Kostensenkung

Mehrfach auftretende Ideen wurden an dieser Stelle zusammengefasst. Insgesamt haben sich dabei 94 Ideen ergeben.

3.6 Phase 6 – Bewertung der Lösungsideen

In dieser Phase des Projektes werden die Ideen schrittweise analysiert, nach ihrem Potential bewertet und selektiert.

3.6.1 Vorgehen

Die Ideenbewertung wird anhand der in Abbildung 3-44 gezeigten Vorgehensweise durchgeführt.

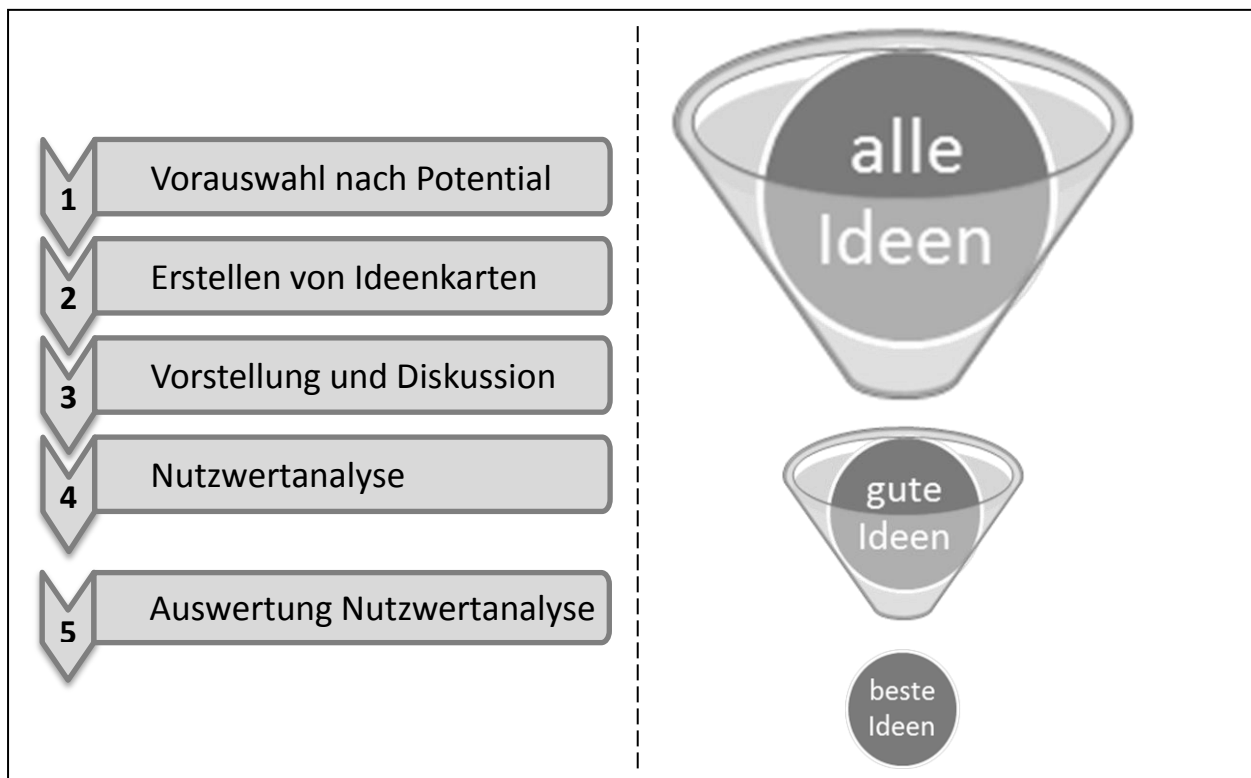


Abbildung 3-44: Vorgehensweise Ideenbewertung¹⁴⁸

3.6.2 Vorauswahl nach Potential

Die aus der vorherigen Projektphase resultierenden 94 Lösungsideen wurden in einer Teambesprechung diskutiert. Im Rahmen dieser Diskussion erfolgte eine erste Bewertung und Vorauswahl nach der Machbarkeit und dem Potential der Ideen. Das Resultat dieser Vorauswahl waren 26 Ideen, welche zur Präsentation und Bewertung bei KTM aufbereitet wurden. Diese 26 Ideen sind in Tabelle 7-4 färbig hinterlegt.

3.6.3 Erstellen der Ideenkarten

Zur Vorstellung der Ideen bei KTM wurde für jede Idee eine Ideenkarte erstellt. Auf dieser sind die wichtigsten Informationen übersichtlich dargestellt (Beispiel siehe

¹⁴⁸ eigene Abbildung

Abbildung 3-45). Neben einer laufenden Nummer und der Bezeichnung der Idee sind die Kategorie, eine ausführliche Beschreibung mit dazugehöriger Skizze sowie die Vor- und Nachteile angeführt.

IBL		Ideen Karte		TU Graz	
Nr.: 2 ³² Bezeichnung: Eliminieren isolierender Luftspalte					
Kategorie: Wärmeleitung					
Beschreibung: Eliminierung des isolierenden Luftspalte durch direkten Kontakt oder Wärmeleitpaste oder wärmeleitfähigen Kleber, direkte wärmeleitfähige Verbindung des Zellhalters mit dem Gehäuse Kontakt zwischen Abstandhalter und Wärmeleitstäben, isolierende Hohlräume vermeiden					
Skizze:					
λ Luft = 0,03 W/mK λ Kunststoff = 0,25 W/mK λ Laticonther = 10 W/mK		λ Wärmeleitpaste = 7-10 W/mK λ Wärmeleitpad 5-10 W/mK λ Aluminium = 235 W/mK		Vorteile: + Bessere Wärmeleitung + Optimierung des Weges der Wärme Nachteile: - Kompliziertere Montage - Enge Fertigungstoleranzen	
					

Abbildung 3-45: Beispiel Ideenkarte¹⁴⁹

3.6.4 Bestimmung der Bewertungskriterien und Gewichtung

Die Bewertung der Ideen erfolgte im Rahmen eines Workshops anhand einer Nutzwertanalyse. Zur Durchführung der Bewertung müssen Bewertungskriterien sowie deren Gewichtung festgelegt werden. Diese sollen die Erfüllung der Ziele „bessere Funktionserfüllung“ sowie „Senkung der Herstellkosten“ widerspiegeln. Die bessere Funktionserfüllung wurde direkt als Kriterium übernommen. Bei den Herstellkosten wurde jedoch nochmals zwischen einer Senkung der Produktionskosten und der Höhe des Entwicklungsaufwandes unterschieden, da diesen Positionen der Herstellkosten je nach produzierter Stückzahl sehr unterschiedliche Bedeutungen zukommen.

Im Rahmen einer Nutzwertanalyse ist es üblich, die Kosten nicht in die Bewertung miteinzubeziehen, sondern den Nutzwert im Anschluss in ein Verhältnis zu den Kosten zu stellen, um eine Entscheidung treffen zu können.¹⁵⁰ Da jedoch zum Zeitpunkt der Bewertung der Ideen aufgrund des geringen Konkretisierungsgrades noch keine genauen Kosten abgeschätzt werden konnten, wurden diese direkt als Bewertungskriterium genutzt.

¹⁴⁹ eigene Abbildung

¹⁵⁰ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 149f

Aufgrund der großen Anzahl an Ideen wurden nur diese drei Kriterien zur Bewertung gewählt. Jede dieser Kategorien könnte nochmals in detailliertere Kriterien zerlegt werden, dies würde jedoch den Aufwand zur Bewertung maßgeblich erhöhen und die Qualität der Bewertung der noch sehr konzeptartigen Ideen kaum verbessern.

Die Gewichtung der Bewertungskriterien wurde zu Beginn des Workshops mit den Teilnehmern diskutiert und festgelegt. Die Gewichtungsfaktoren sind wiederum sehr stark von der produzierten Stückzahl abhängig. Bei geringen Stückzahlen haben natürlich die Entwicklungskosten einen weit größeren Einfluss auf die Gesamtkosten als die Produktionskosten pro Stück. Bei großen Stückzahlen hingegen sind die Produktionskosten pro Stück wiederum ausschlaggebend und als wichtiger anzusehen. In Abhängigkeit der Stückzahl musste hier ein entsprechender Kompromiss gefunden werden, der die Zusammensetzung der Kosten des PowerPacks und die Wichtigkeit der Funktionserfüllung nach den Vorstellungen von der KTM AG wiedergibt. Dieser wurde mit folgenden Gewichtungsfaktoren gefunden:

- Funktionserfüllung: **40%**
- Produktionsaufwand: **40%**
- Entwicklungsaufwand: **20%**

3.6.5 Durchführung der Nutzwertanalyse

Zur Bewertung der 26 Lösungsideen wurde ein Workshop bei der KTM AG in Mattighofen abgehalten. Im Rahmen dieses Workshops wurden nach einer kurzen Vorstellung des Projektstandes und der Festlegung der Gewichtungsfaktoren die Ideen einzeln anhand der Ideenkarten vorgestellt und dann von den 5 Teilnehmern unabhängig voneinander bewertet. Zur Bewertung wurden Formulare mit allen wichtigen Informationen und Hilfestellungen vorbereitet.

Die Bewertung erfolgte auf einer Skala von 1 bis 5, wobei 1 die schlechteste und 5 die beste Ausprägung darstellt. Als Hilfestellung zur Vergabe der Punkte bei der Bewertung wurde Tabelle 3-26 bereitgestellt.

Funktionserfüllung	Entwicklungsaufwand
1 - keine Verbesserung oder Verschlechterung	1 - Technologieentwicklung erforderlich
2 - kaum Verbesserung	2 - Neukonzipierung mit vorh. Technologien
3 - kleine Verbesserung	3 - Neukonstruktion mit bekannten Technologien
4 - gute Verbesserung	4 - Größere Anpassungen bei gleichen Technologien
5 - wesentliche Verbesserung	5 - Kleine Anpassungen bei gleichen Technologien
Produktionsaufwand	
1 - Wesentlich höhere Produktionskosten, zusätzliche Teile, mehr Montageschritte, aufwändigere Teile	
2 - Höhere Produktionskosten, leicht aufwändigere Teile, geringe Veränderung der Montage	
3 - Gleiche Produktionskosten, gleiche Teileanzahl und Aufwand, gleiche Montage	
4 - Geringere Produktionskosten, weniger aufwändige Teile, einfachere Montage	
5 - Wesentlich geringere Produktionskosten, viel weniger Teile, Einsparung aufwändiger Montageschritte	

Tabelle 3-26: Hilfestellung zur Punktevergabe beim Workshop

Für jede der Ideen war ein Zeitraum von etwa 5 Minuten vorgesehen um diese vorzustellen, zu diskutieren sowie die Bewertung abzugeben.

3.6.6 Auswertung der Nutzwertanalyse

Die Auswertung der Nutzwertanalyse erfolgte anhand einer Tabelle in MS-Excel.

Berechnung

Bei der Nutzwertanalyse wurden während des Workshops fünf unabhängige Bewertungen abgegeben. Aus diesen Bewertungen wurde zuerst der Durchschnitt errechnet. Anschließend wurden zusammen mit den bestimmten Gewichtungen die Teilnutzwerte für die drei Bewertungskriterien bestimmt und zum Gesamtnutzwert aufsummiert.

Graphische Darstellung

Abbildung 3-46 zeigt das Ergebnis der Nutzwertanalyse. Die Ideen sind darin nach dem Gesamtnutzwert in absteigender Reihenfolge aufgelistet. In der Grafik sind neben den Gesamtnutzwerten auch die Teilnutzwerte anhand der farbigen Kennzeichnung der Balken erkennbar.

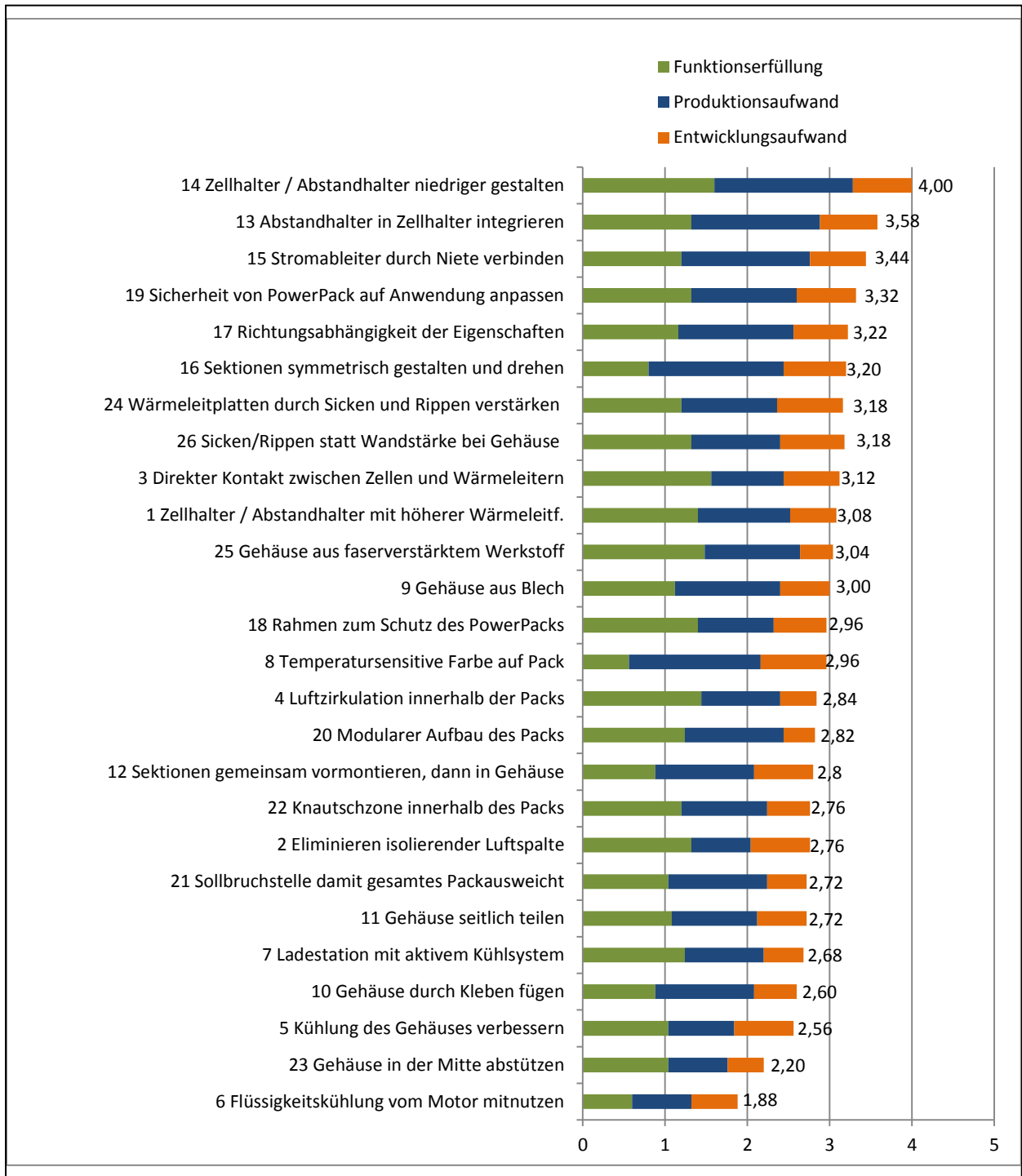


Abbildung 3-46: Ergebnis der Nutzwertanalyse¹⁵¹

¹⁵¹ eigene Abbildung

Sensitivitätsanalyse der Gewichtungsfaktoren

Aufgrund einiger Diskussionen zur Aussagekraft der Gewichtungsfaktoren während des Workshops wurde im Rahmen der Auswertung auch eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die Ergebnisse auch bei extremen Gewichtungen zu überprüfen. In einem ersten Schritt wurden dazu die Gewichtungen der Kriterien entsprechend variiert (siehe Tabelle 3-27). Analyse 1 entspricht den während des Workshops bestimmten Gewichtungsfaktoren.

Variation der Gewichtungen für Sensitivitätsanalyse			
	Funktionserfüllung	Produktionskosten	Entwicklungskosten
Analyse 1	40%	40%	20%
Analyse 2	100%	0%	0%
Analyse 3	0%	100%	0%
Analyse 4	0%	0%	100%

Tabelle 3-27: Variation der Gewichtungen zur Sensitivitätsanalyse

Im nächsten Schritt wurden jeweils die Top-5 Platzierungen der Ideen bei jeder Variante der Gewichtungen in einer Tabelle zur weiteren Betrachtung zusammengefasst (siehe Tabelle 3-28).

Top 5 Ideen bei jeweiliger Gewichtung		
Analyse 2	Analyse 3	Analyse 4
17	14	8
3	16	26
24	3	16
4	13	14
1	15	19

Tabelle 3-28: Top 5 Ideen bei den jeweiligen Gewichtungen

In Tabelle 3-29 wurde anschließend für die Ideen, in absteigender Reihenfolge nach ihrem Gesamtnutzwert bei Analyse 1 (Gewichtung laut Workshop) bestimmt, wie oft diese bei Variation der Gewichtungen unter den 5 besten Ideen zu finden waren.

Priorität Nr.	Ideen Nr.	Bezeichnung	Anzahl der Top 5 Platzierungen	Nutzwert Analyse 1
1	14	Zellhalter / Abstandhalter niedriger gestalten	2	4,00
2	13	Abstandhalter in Zellhalter integrieren	1	3,58
3	15	Stromableiter durch Niete verbinden	1	3,44
4	19	Sicherheit von PowerPack auf Anwendung anpassen	1	3,32
5	17	Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften	1	3,22
6	16	Sektionen symmetrisch gestalten und drehen	2	3,20
7	24	Wärmeleitplatten durch Sicken und Rippen verstärken	1	3,18
8	26	Sicken/Rippen statt Wandstärke bei Gehäuse	1	3,18
9	3	Direkter Kontakt zwischen Zellen und Wärmeleitern	2	3,12
10	1	Zellhalter / Abstandhalter mit höherer Wärmeleitf.	1	3,08

wird fortgesetzt

11	25	Gehäuse aus faserverstärktem Werkstoff	0	3,04
12	9	Gehäuse aus Blech	0	3,00
13	8	Temperatursensitive Farbe auf Pack	1	2,96
14	18	Rahmen zum Schutz des PowerPacks	0	2,96
15	4	Luftzirkulation innerhalb der Packs	1	2,84
16	20	Modularer Aufbau des Packs	0	2,82
17	12	Sektionen gemeinsam vormontieren, dann in Gehäuse	0	2,80
18	22	Knautschzone innerhalb des Packs	0	2,76
19	2	Eliminieren isolierender Luftspalte	0	2,76
20	21	Sollbruchstelle damit gesamtes Packausweicht	0	2,72
21	11	Gehäuse seitlich teilen	0	2,72
22	7	Ladestation mit aktivem Kühlsystem	0	2,68
23	10	Gehäuse durch Kleben fügen	0	2,60
24	5	Kühlung des Gehäuses verbessern	0	2,56
25	23	Gehäuse in der Mitte abstützen	0	2,20
26	6	Flüssigkeitskühlung vom Motor mitnutzen	0	1,88

Tabelle 3-29: Anzahl Top-5 Platzierungen Ideen bei Variation der Gewichtung

Das Ergebnis in der 2. Spalte von rechts in Tabelle 3-29 zeigt, dass jede der 10 besten Ideen nach dem Gesamtnutzwert mit den Gewichtung des Workshops bei mindestens einer weiteren Variation der Gewichtung unter den besten fünf Ideen zu finden ist. Dies bestätigt, dass diese zehn besten Ideen auch in unabhängigen Bewertungen nach einzelnen Bewertungskriterien ebenfalls sehr gut abschneiden und daher bestens für das Lösungskonzept geeignet sind.

Analyse der gegenseitigen Beeinflussung

Für die zehn besten Ideen wurde in einem weiteren Schritt noch analysiert, ob diese gemeinsam in einem Lösungskonzept umgesetzt werden können oder sich manche der Ideen gegenseitig negativ beeinflussen. Eine direkte Gegenüberstellung jeder der Ideen ergab, dass sämtliche Ideen in einem Konzept umsetzbar sind, sondern sich manche auch gut ergänzen und gegenseitig unterstützen.

3.6.7 Zusammenfassung

Anhand der Nutzwertanalyse wurden zehn Ideen identifiziert, welche nun zur weiteren Betrachtung in Phase 7 herangezogen werden (siehe Tabelle 3-30). Neben der im Rahmen des Workshops bestimmten Gewichtung wurden noch andere Variationen überprüft, um die Qualität der Ideen auch unter Unsicherheit der Gewichtungsfaktoren garantieren zu können. Es wurde auch festgestellt, dass sich die zehn ausgewählten Ideen nicht gegenseitig negativ beeinflussen und somit in einem gemeinsamen Lösungskonzept verwendet werden können.

Priorität Nr.	Ideen Nr.	Bezeichnung
1	14	Zellhalter / Abstandhalter niedriger gestalten
2	13	Abstandhalter in Zellhalter integrieren
3	15	Stromableiter durch Niete verbinden
4	19	Sicherheit von PowerPack auf Anwendung anpassen
5	17	Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften
6	16	Sektionen symmetrisch gestalten und drehen
7	24	Wärmeleitplatten durch Sicken und Rippen verstärken
8	26	Sicken/Rippen statt Wandstärke bei Gehäuse
9	3	Direkter Kontakt zwischen Zellen und Wärmeleitern
10	1	Zellhalter / Abstandhalter mit höherer Wärmeleitf.

Tabelle 3-30: Auswahl der 10 besten Ideen für Lösungskonzept

3.7 Phase 7 – Entwicklung Lösungskonzept

In dieser Phase wird aus dem Ergebnis der Nutzwertanalyse ein Lösungskonzept erarbeitet und genauer vorgestellt. Da sich diese zehn Ideen laut der Analyse in Kapitel 3.6.6 nicht gegenseitig negativ beeinflussen, können diese zusammen in einem Konzept realisiert werden. Die Ideen wurden dabei thematisch in drei Teilkonzepte für bestimmte Bauteile oder Baugruppen zusammengefasst. Diese stellen ein Lösungskonzept für einen neuen Zellhalter, einen neuen Stromableiter sowie ein Konzept zur Verbesserung der Crashesicherheit dar.

3.7.1 Lösungskonzept für neuen Zellhalter

Beim bestehenden PowerPack werden die Zellen über die gesamte Höhe von den Zellhaltern beziehungsweise den Abstandhaltern geklemmt und somit in Position gehalten (siehe Abbildung 3-48, links). Beide sind aus Kunststoff gefertigt und müssen von der entstehenden Wärme durchdrungen werden, bis diese zu den Aluminiumstäben, welche die eigentlichen aktiven Wärmeleitelemente sind, gelangt. Da die Zellen selbst sehr stabil ausgeführt sind, ist eine Klemmung über die gesamte Höhe nicht notwendig. Deshalb werden die Zellhalter im neuen Lösungskonzept niedriger ausgeführt (Umsetzung Idee Nr. 14: Zellhalter / Abstandhalter niedriger gestalten, Beispiel siehe Abbildung 3-48, mittig). Dies bringt neben einer Einsparung an Material zur Senkung der Herstellkosten und des Gewichtes auch noch den Vorteil von einem Freiraum zwischen den Zellen, welcher zur Wärmeabfuhr genutzt werden kann. In diesem Freiraum werden beim neuen Lösungskonzept Wärmeleitelemente eingesetzt, welche die Wärme durch die seitliche Anordnung auf möglichst kurzem Weg zum

Gehäuse leiten (Umsetzung Idee Nr. 3: Direkter Kontakt zwischen Zellen und Wärmeleitern, siehe Abbildung 3-47)

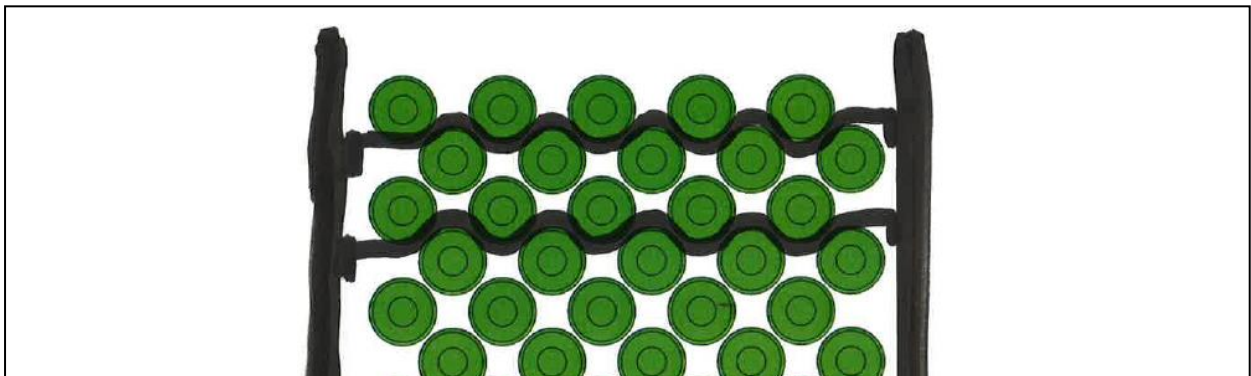


Abbildung 3-47: Schematische Darstellung von neuen Wärmeleitelementen¹⁵²

Zur Bestimmung des Abstandes zwischen den Zellen werden zurzeit separate Abstandhalter eingesetzt. Diese werden bei der Montage einzeln von Hand montiert und stellen einen großen Montageaufwand dar. Grund dieser Ausführung war, dass bei großen Maßabweichungen der Zellen lediglich diese kleinen Bauteile ausgetauscht werden müssen, anstatt des gesamten Zellhalters. Laut den Erfahrungen von KTM sind die Maßabweichungen der Zellen jedoch sehr gering. Im neuen Lösungskonzept werden daher diese Bauteile eingespart und deren Funktion direkt in den Zellhalter integriert (Umsetzung Idee Nr. 13: Abstandhalter in Zellhalter integrieren, Beispiel siehe Abbildung 3-48, rechts). Neben den Bauteilen selbst kann auch der große Montageaufwand für diese eingespart werden.



Abbildung 3-48: Bestehender Zellhalter und Abstandhalter (links)¹⁵³ vs. niedriger (mittig) und integrierter (rechts) Zellhalter von Lösungskonzept¹⁵⁴

Sowohl die Zellhalter, als auch die Abstandhalter des PowerPacks der ersten Generation werden aus Kunststoff mit sehr geringer Wärmeleitfähigkeit hergestellt und

¹⁵² eigene Abbildung

¹⁵³ KTM AG (2015)

¹⁵⁴ <http://shop.lipopower.de>, Zugriffsdatum: 26.01.2016

wirken entgegen den gewünschten Anforderungen isolierend für die Abwärme der Zellen. Im neuen Lösungskonzept werden diese aus hoch wärmeleitfähigem Kunststoff gefertigt, um somit diesen negativen Effekt zu verringern (Umsetzung Idee Nr. 1: Zellhalter / Abstandhalter mit höherer Wärmeleitfähigkeit). Als Beispiel wird der Kunststoff Laticonther CP1 herangezogen. Dieser ist elektrisch isolierend, färbbar, spritzgussgeeignet und erreicht durch keramische Zusatzstoffe eine etwa 20-fach höhere Wärmeleitfähigkeit als der Grundwerkstoff selbst. Dieser Kunststoff wird schon erfolgreich bei Kunststoffkühlelementen eingesetzt (siehe Abbildung 3-49).



Abbildung 3-49: Kühlkörper aus wärmeleitfähigem Kunststoff Laticonther CP1¹⁵⁵

3.7.2 Lösungskonzept neuer Stromableiter

In der aktuellen Ausführung des PowerPacks sind die Sektionen baugleich ausgeführt und werden übereinander montiert. Der Stromfluss zwischen den Sektionen wird dabei durch sogenannte Stromableiter verwirklicht, welche jeweils eine elektrische Verbindung zwischen dem linken Ende der unteren und dem rechten Ende der darauffolgenden Sektion herstellen (siehe Abbildung 3-50, links). Beim neuen Lösungskonzept sind die Sektionen entsprechend gestaltet, sodass der elektrische Kontakt zwischen den Sektionen durch eine Drehung dieser um 180° direkt am selben Ende erfolgt (Umsetzung Idee Nr. 16: Sektionen symmetrisch gestalten und drehen, siehe Abbildung 3-50, rechts). Die Stromableiter können dadurch wesentlich kleiner und einfacher ausgeführt werden, wodurch sich die Herstellkosten dieser wesentlich reduzieren.

¹⁵⁵ www.lati.com, Zugriffsdatum: 10.12.2015

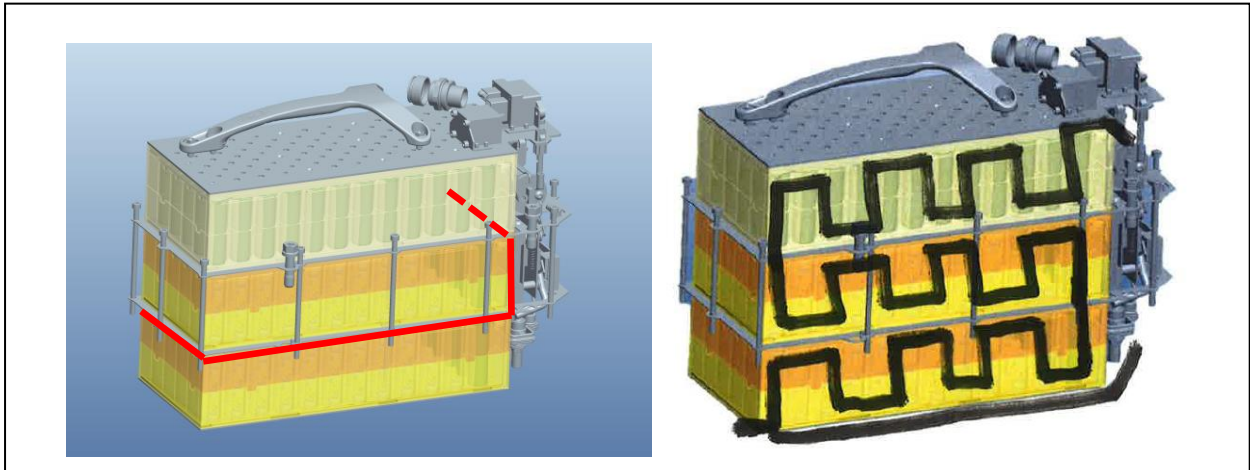


Abbildung 3-50: Darstellung von bestehendem Stromableiter (links) und „Weg des Stromes bei Lösungskonzept (rechts) ¹⁵⁶

Zur Herstellung der elektrischen Verbindung mit den Sektionen werden jeweils die letzten Zellverbinder durch 4 Schrauben mit dem Stromableiter verbunden (siehe Abbildung 3-51). Beim neuen Lösungskonzept (Umsetzung Idee Nr. 15: Stromableiter durch Nieten verbinden) werden diese durch Nieten verbunden und jeweils zwei dieser bisherigen vier Verbindungen eingespart. Dies garantiert trotzdem eine zuverlässige elektrische und mechanische Verbindung und führt, neben einer Einsparung von Bauteilen, auch zu einer Reduktion der Montagezeit zur Herstellung der Verbindung von ursprünglich 144 auf 24 Sekunden.

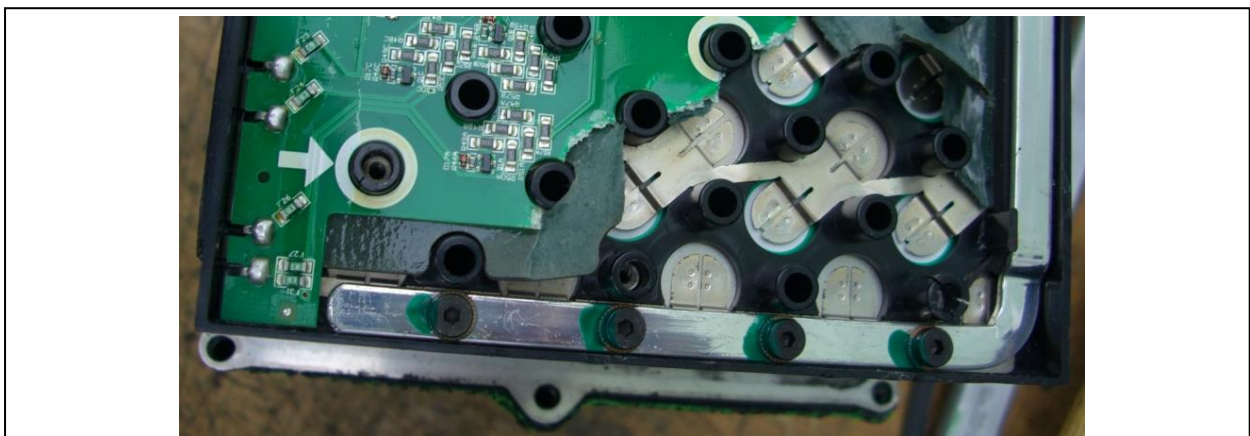


Abbildung 3-51: Bestehende Schraubverbindung der Stromableiter ¹⁵⁷

3.7.3 Lösungskonzept zur Verbesserung der Crashesicherheit

Im Fall eines Front- bzw. Heckaufpralls wird das PowerPack durch das Vorder- bzw. Hinterrad und die Gabel bzw. den Heckrahmen geschützt. Bei einem Seitenaufprall bietet nur der Rahmen in einem kleinen Bereich Schutz (siehe Abbildung 3-50). Beim neuen Lösungskonzept wird genau dieser Effekt durch eine Richtungsabhängigkeit der

¹⁵⁶ überarbeitete Darstellungen von KTM AG (2015)

¹⁵⁷ eigene Abbildung

Eigenschaften des PowerPacks ausgeglichen (Umsetzung Idee Nr. 17: Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften), indem die Steifigkeit von der Seite wesentlich höher ist als die von vorne und hinten. Zur Umsetzung dessen können bei konstanter Wandstärke über den Umfang gezielt entsprechende Sicken und Rippen verteilt werden (Umsetzung Idee Nr. 26: Sicken/Rippen statt Wandstärke bei Gehäuse). Durch dies kann die Wandstärke auf ein Minimum reduziert werden und trotzdem noch eine entsprechend hohen Steifigkeit in der jeweiligen Richtung erzielt werden.



Abbildung 3-52: Erklärung der notwendigen Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften¹⁵⁸

Zur Erhöhung der Steifigkeit des PowerPacks in Querrichtung werden die Wärmeleitplatten, welche bisher als ebene Platten ausgeführt sind, durch Sicken verstärkt (Umsetzung Idee Nr. 24: Wärmeleitplatten durch Sicken und Rippen verstärken, siehe Abbildung 3-53). Dies ist eine einfache und platzsparende Möglichkeit zur Erhöhung der Steifigkeit ohne zusätzliches Material oder zusätzliche Bauteile aufwenden zu müssen.

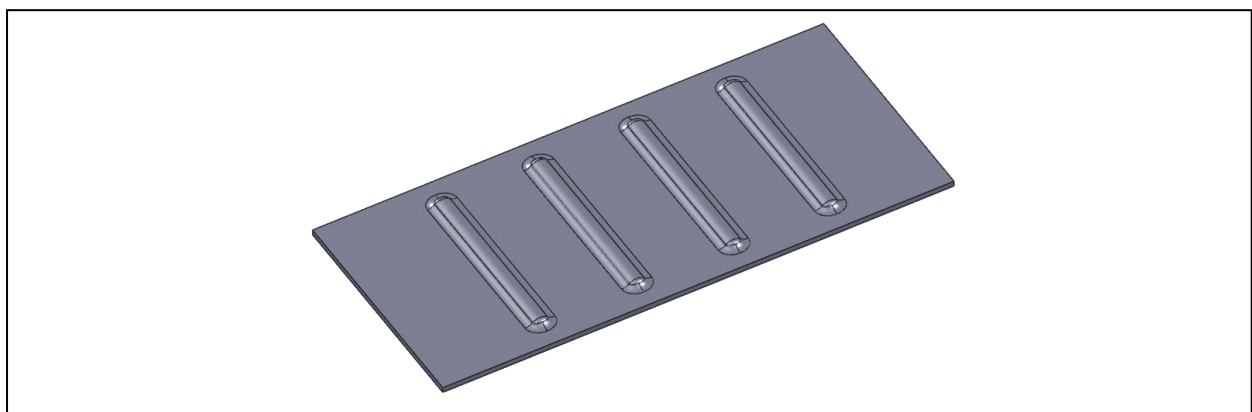


Abbildung 3-53: Schematische Darstellung einer Wärmeleitplatte mit Sicken¹⁵⁹

Beim bestehenden PowerPack wurde das Gehäuse zum Schutz der Zellen sehr massiv ausgeführt, um jeder möglichen Art von Crash, ungeachtet ob im Gelände oder im Straßenverkehr, standhalten zu können. Grundsätzlich unterscheiden sich die Gefahrenpotentiale dieser Einsatzfälle jedoch drastisch. Im Gelände sind es meist

¹⁵⁸ überarbeitete Darstellung von KTM AG (2015)

¹⁵⁹ Eigene Abbildung

leichtere Unfälle oder Stürze ohne Unfallgegner bei mittleren oder geringen Geschwindigkeiten. Im Straßenverkehr hingegen sind meist Unfallgegner beteiligt und die Geschwindigkeiten wesentlich höher. Aus diesem Grund sieht das neue Lösungskonzept eine Anpassung der Sicherheit auf den Anwendungsfall durch zusätzliche Rahmenteile vor (Umsetzung Idee Nr. 19: Sicherheit von PowerPack auf Anwendung anpassen). Diese Zusatzteile werden bei den straßenzugelassenen Modellen montiert und können bei den reinen Offroad-Motorrädern eingespart werden (siehe Abbildung 3-54). Das Gehäuse selbst kann kostengünstiger ausgeführt werden und dient der Abdichtung des Energiespeichers und zu einem reduzierten Anteil dem Schutz der Zellen im Fall eines Crashes.

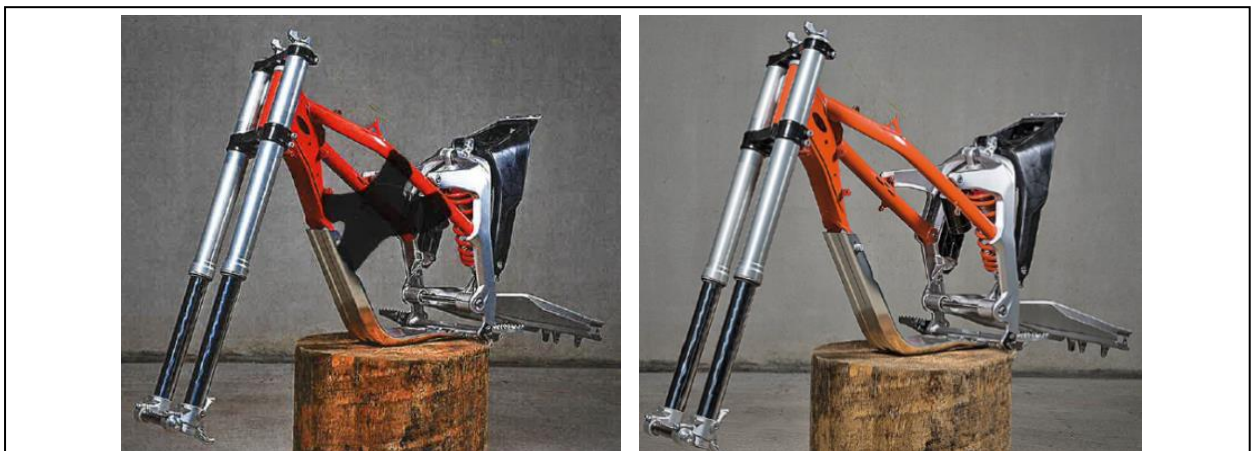


Abbildung 3-54: Skizze von Rahmen mit (links) und ohne Zusatzteilen (rechts) zum anwendungsgerechten Schutz¹⁶⁰

3.7.4 Zusammenfassung

Da aufgrund der hohen Geheimhaltungsstufe von Seiten der KTM AG keine konkreten Informationen zu den Kosten der Bauteile sowie der Montage bereitgestellt wurden, ist eine quantitative Darstellung des Verbesserungspotentials durch das Lösungskonzept hinsichtlich Kosten nicht möglich. Bei einer sehr isolierten Betrachtung der jeweiligen Ideen wurden die Verbesserungspotentiale anhand anderer Merkmale quantitativ erfasst. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 3-31 zusammengefasst.

¹⁶⁰ überarbeitete Darstellung von www.motorrad.net, Zugriffsdatum: 15.12.2015

Priorität Nutzwert	Idee Nr.	Beschreibung	Verbesserungspotential	Nachteil
1	14	Zellhalter / Abstandhalter niedriger gestalten	Einsparung von 44% des Materials für Zellhalter (Reduktion der Höhe von 45 auf 15 mm ergibt Einsparung von ca. 44% des Materials)	Montage des oberen Zellhalters bei engen Toleranzen der Zellen etwas schwieriger
2	13	Abstandhalter in Zellhalter integrieren	Einsparung von 264 Bauteilen und 528 Sek. Montagezeit/Pack (3 Sektionen, 88 Stk./Sektion, 2 Sek./Bauteil)	Durchmesser der Zellen darf nicht variieren
3	15	Stromableiter durch Nieten verbinden	Einsparung von 36 Bauteilen und 120 Sek. Montagezeit/Pack (alt: 3 Stromableiter, á 8 Verbindungsstellen, 2 Bauteile/Verb., 6 Sek./Verb., neu: 3 Stromableiter, á 4 Verbindungsstellen, 1 Bauteil/Verb., 2 Sek./Verb.)	Nicht lösbare Verbindung
4	19	Sicherheit von PowerPack auf Anwendung anpassen	Einsparung von 37% des Materials bei Gehäuse bei aktueller Ausführung bei nur 2 Zusatzteilen für Straßenmodell (Einsparung von 10% aus Übererfüllung und 30% des Materials aus Anpassung an Anwendung)	Zusätzliche Teile bei gewissen Modellen erforderlich, Auslegung Ermessenssache
5	17	Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften	Einsparung von 6% des Materials des Gehäuses (Einsparung von 20% des Materials auf 30% der Fläche)	Mindestwandstärke durch Fertigungsverfahren begrenzt
6	16	Sektionen symmetrisch gestalten und drehen	Einsparung von 55% des Materials der Stromableiter (Alt: Länge 650mm, Neu: Länge 290mm)	Konstruktion der Sektionen aufwändiger
7	24	Wärmeleitplatten durch Sicken und Rippen verstärken	Erhöhung der Biegesteifigkeit um 40% bei nur 4 Sicken (4 Sicken 10mm breit, 5mm tief)	Presswerkzeug zur Herstellung notwendig
8	26	Rippen statt Wandstärke bei Gehäuse	Einsparung von 10% des Materials des Gehäuses (Annahme: gleiche Steifigkeit mit 3 Rippen/100mm, 6mm hoch)	Platzbedarf außen auf Gehäuse etwas größer, Gusswerkzeug aufwändiger
9	3	Direkter Kontakt zwischen Zellen und Wärmeleitern	Verringerung des Weges der Wärme um 37% (Weg alt \varnothing 102,5mm, neu \varnothing 65mm)	Neukonzipierung des Aufbaus erforderlich, geringe Wandstärke der Wärmeableiter
10	1	Zellhalter / Abstandhalter mit höherer Wärmeleitf.	Einsparung von 88 Bauteilen, Verringerung des lokalen Wärmeleitwiderstandes um 70% (Wärmeleitwiderstand alt: RW 1,47 K/W, Neu: RW 0,43 K/W)	Höhere Wandstärke aufgrund der verringerten Festigkeit erforderlich

Tabelle 3-31: Zusammenfassung der Potentiale und Nachteile des Lösungskonzeptes

3.8 Phase 8 – Präsentation der Ergebnisse

In der vorletzten Phase des Wertanalyse-Arbeitsplanes werden die Ergebnisse des Wertanalyseprojektes präsentiert. Alle Ergebnisse sind in diesem Dokument in übersichtlicher Weise zusammengefasst.

Als wichtigstes Ergebnis dieses Projektes gilt natürlich das in Kapitel 3.7 erarbeitete Lösungskonzept. Ein weiterer wichtiger Punkt ist auch der mitgelieferte Ideenkatalog, welcher sämtliche während der Ideenfindungsphase entstandenen Ideen auflistet. Die darin enthaltenen und nicht weiter verfolgten Ideen können zu einem späteren Zeitpunkt zur Lösung anderer Probleme mit ähnlichem Charakter aufgegriffen werden.

3.9 Phase 9 – Realisierung

Die im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten Maßnahmen sind Empfehlungen zur Entwicklung der neuen Generation eines PowerPacks. Die detaillierte Ausarbeitung und Umsetzung erfolgt durch das Entwicklungsteam der KTM AG.

Neben dem vorgestellten Lösungskonzept bietet der mitgelieferte Ideenkatalog noch eine Vielzahl anderer Ansätze zur Verbesserung des PowerPacks, welche eventuell zu einem späteren Zeitpunkt aufgegriffen werden können.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die KTM AG produziert am Standort in Mattighofen diverse rennsporttaugliche Modelle von Straßen- und Geländemotorrädern, wovon drei elektrisch angetriebene Modelle sind. Der darin verwendete Energiespeicher wird von der KTM AG als „PowerPack“ bezeichnet. Im Rahmen dieser Arbeit wurde dieses elektrische Energiespeichersystem einer wertanalytischen Betrachtung nach ÖNORM EN 12973 mit dem Schwerpunkt in den Bereichen Sicherheit, Leichtbau und Kosten unterzogen.

Nach einer ausführlichen Analyse des aktuellen Systems anhand eines bestehenden PowerPacks und der CAD-Daten, wurden eine SWOT-Analyse und ein Konkurrenzvergleich zur Erfassung aktueller Entwicklungen am Markt durchgeführt. In der nächsten Phase wurde im Rahmen eines Workshops, unter Berücksichtigung der Kundenanforderungen, die Funktionsstruktur des Energiespeichers erarbeitet, strukturiert und grafisch dargestellt. Die Teilnehmer setzten sich dabei aus mehreren Fachexperten der KTM AG sowie der Technischen Universität Graz zusammen. Aufbauend auf der Bewertung der Funktionserfüllungsgrade wurden ausgewählte Funktionen näher betrachtet. Mit Hilfe von verschiedensten Analysetools wurden die Probleme des bestehenden Systems zunächst genau analysiert, um deren Ursachen und die Einflussgrößen darauf herauszufinden.

Zur Entwicklung einer möglichst großen Anzahl von Lösungsideen kamen verschiedenste Kreativitätstechniken zum Einsatz. Die 94 gefundenen Lösungsansätze wurden in Kategorien zusammengefasst und vom Projektteam nach ihrem Potential bewertet. Nach dieser ersten selektiven Auswahl standen 26 Ideen zur Verfügung, welche im Rahmen eines weiteren Workshops mittels Nutzwertanalyse bewertet wurden. Die Bewertung erfolgte nach den Kriterien „Funktionserfüllung“, „Produktionsaufwand“ und „Entwicklungsaufwand“. Die Auswertung der Nutzwertanalyse ergab schlussendlich zehn Ideen, aus denen ein innovatives Lösungskonzept erarbeitet wurde. Diese zehn Ideen konnten alle in einem Konzept integriert werden, welches der KTM AG für weiterführende Betrachtungen zur Entwicklung einer neuen Generation von Energiespeichern vorgestellt wurde. Das vorgestellte Lösungskonzept bietet sowohl der KTM AG, als auch dem Nutzer des Motorrades eine Vielzahl von Vorteilen. Durch die Integration von Funktionen können zahlreiche Bauteile eingespart werden. Die anforderungsgerechte Anpassung und Optimierung einiger wesentlicher Bauteile ermöglicht die Reduktion der Materialmengen, bei manchen Bauteilen sogar im höheren zweistelligen Prozentbereich. Die effizientere Gestaltung von Bauteilen und Verbindungen ermöglicht darüber hinaus noch große Reduktionen der Montagezeit. Für den Anwender

verbessern sich durch das Lösungskonzept sowohl das Handling des Motorrades aufgrund des reduzierten Gewichtes, als auch die Verfügbarkeit und Langlebigkeit der Zellen durch ein verbessertes Kühlkonzept. Im Falle eines Crashes bietet das Lösungskonzept dem Fahrer, trotz der Gewichtseinsparung, optimale Sicherheit durch den gezielten Schutz der Zellen vor äußeren Einwirkungen.

Diese Arbeit liefert einige grundlegende Ideen mit großem Potential zur Verbesserung des bestehenden PowerPacks. Diese sollten bei der Entwicklung einer neuen Generation von PowerPacks näher betrachtet und weiterentwickelt werden. Da die meisten Empfehlungen noch sehr konzeptartig sind, ist natürlich eine tiefergreifende Betrachtung und Prüfung dieser Lösungen unumgänglich.

Die vollständige Dokumentation dieses Wertanalyseprojektes bietet dem Industriepartner einen detaillierten Leitfaden für die zukünftige Anwendung der Wertanalyse bei Entwicklungsprojekten. Die bei der KTM AG bisher unbekannte Methodik der Wertanalyse liefert bei konsequenter Ausführung sicherlich einige Ansatzpunkte zur weiteren Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit durch eine Verbesserung der Abläufe im Entwicklungsprozess und eine gezielte Stärkung der Innovationskraft. Die Eignung zur Implementierung in den Entwicklungsprozess des PowerPacks, oder über diese Baugruppe hinaus, und das resultierende Verbesserungspotential müssen vorab noch genau evaluiert werden. Diese Arbeit liefert eine gute Grundlage dafür.

5 Verzeichnisse

5.1 Literaturverzeichnis

Akiyama, K.: Funktionenanalyse - Der Schlüssel zu erfolgreichen Produkten und Dienstleistungen, Landsberg 1994.

Alisch, K.: Gabler-Wirtschaftslexikon, 16., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl., Wiesbaden 2004.

Bergbauer, A. K.; Kleemann, B.; Raake, D.: Six Sigma in der Praxis, 3. Aufl., Renningen 2008.

Bronner, A.; Herr, S. (Hrsg.): Vereinfachte Wertanalyse - Mit Formularen und CD-ROM, Springer, Heidelberg 2006.

Ehrlenspiel, K. et al.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, 7. Aufl., Berlin Heidelberg 2014.

Gimpel, B.; Herb, T.; Herb, R.: Ideen finden, Produkte entwickeln mit TRIZ, München 2000.

Hoffmann, H.: Wertanalyse - Ein Weg zur Erschließung neuer Rationalisierungsquellen, Berlin 1979.

Institut für Fahrzeugsicherheit, TU Graz: Projektbericht KoRe: Kostenoptimierungspotential bei elektrischen Motorradenergiespeichern durch Zulassen von Verformungen in Crashlastfällen, Graz 2014.

Klein, B.: TRIZ/TIPS - Methodik des erfinderischen Problemlösens, 2. verb. und erw. Aufl., München 2007.

Korthauer, R. (Hrsg.): Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, Springer, Berlin, Heidelberg 2013.

KTM AG: Betriebsgebiet Süd Stallhofnerstraße 3, 5230 Mattighofen.

Kuster, J.: Handbuch Projektmanagement, Dordrecht 2011.

Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM A 6756: Wertanalyse - Funktionen, Grundbegriffe und Methodik der Wertanalyse-Funktionenarbeit, Ausgabe 1995, Wien.

Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM EN 1325-1: Value Management, Wertanalyse, Funktionenanalyse Wörterbuch - Teil 1: Wertanalyse und Funktionenanalyse, Ausgabe 1996, Wien.

Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM EN 12973: Value Management, Ausgabe 2000, Wien.

Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM A 6760: Wertanalyse (WA) - Management von Wertanalyse-Projekten, Ausgabe 2003, Wien.

Sellien, R.; Sellien, H. (Hrsg.): Dr. Gablers Wirtschafts-Lexikon - Zweiter Band L-Z, 8. Aufl., Gabler, Wiesbaden 1971.

Teufelsdorfer, H.; Conrad, A. (Hrsg.): Kreatives Entwickeln und innovat. Problemlösen mit TRIZ/TIPS, Publicis-MCD-Verl., Erlangen 1998.

VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (Hrsg.): VDI Richtlinie 2803: Funktionenanalyse - Grundlagen und Methode, Ausgabe 1996, Düsseldorf.

VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (Hrsg.): VDI Richtlinie 2807: Teamarbeit - Anwendung in Projekten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung, Ausgabe 1996, Düsseldorf.

VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (Hrsg.): VDI Richtlinie 2800 - Entwurf: Wertanalyse, Ausgabe 1997, Düsseldorf.

VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (Hrsg.): Wertanalyse - das Tool im Value Management, 6. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2011.

VDI - Zentrum Wertanalyse (Hrsg.): Wertanalyse - Idee - Methode - System, 2. überarb. Aufl., VDI-Verl., Düsseldorf 1975.

VDI - Zentrum Wertanalyse (Hrsg.): Wertanalyse - Idee - Methode - System, 3. überarb. Aufl., VDI-Verl., Düsseldorf 1981.

VDI - Zentrum Wertanalyse (Hrsg.): Wertanalyse - Idee - Methode - System, 5. überarb. Aufl., VDI-Verl., Düsseldorf 1995.

VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): Wertanalyse Praxis 2014, Stuttgart 2014.

Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 5. erw. Aufl., Winnemark 2014.

5.2 Internetquellenverzeichnis

Alta Motors, San Francisco, CA 2015,

<http://www.altamotors.co/machine/redshift-mx/>, Zugriffsdatum: 27.08.2015.

Ambient Studio 2009,

<http://www.motorcafe.it/?p=1742>, Zugriffsdatum: 02.09.2015.

Bonnier Corporation, New York, NY 2015,

<http://www.motorcyclistonline.com/2009-quantya-evo1-strada?image=4>, Zugriffsdatum: 20.08.2015.

David Seliger, New York, NY 2012,

<http://www.core77.com/posts/21599/Marc-Fenigstein-On-How-BRD-Motorcycles-is-Changing-the-Face-of-Motocross>, Zugriffsdatum: 03.09.2015.

EVDrive Inc., Banks, OR 2015,

<http://www.evdrive.com/prototypes/evdrive-trains-for-e-motos-the-e-motocrf250r-conversion-kit/>, Zugriffsdatum: 27.08.2015.

Exponent Engineering, Menlo Park, CA 2015,

<http://www.exponent.com/batteries/>, Zugriffsdatum: 15.12.2015.

Florian Mayer, Stuttgart 2015,

<http://www.ubergrun.de/wp-content/uploads/2008/12/ecrad-motocross.jpg>,
Zugriffsdatum: 20.08.2015.

IHN Internationale Handelsnachrichten GmbH, Rheine 2015,

http://www.internationaltradenews.com/media/inhalt/portraits/economics_itnat0260/ktm_sportmotorcycle/768x384/ktm_headquarters_in_mattighofen_austria.jpg,
Zugriffsdatum: 19.08.2015.

KTM Sportmotorcycle GmbH, Mattighofen 2015,

<http://company.ktm.com/die-marke-ktm/die-marke-ktm.html>, Zugriffsdatum: 22.06.2015.

KTM Sportmotorcycle GmbH, Mattighofen 2015,

<http://www.ktm.com/at/e-ride/>, Zugriffsdatum: 22.06.2015.

KTM Sportmotorcycle GmbH, Mattighofen 2015,

<http://www.ktm.com/at/e-ride/freeride-e-sx/>, Zugriffsdatum: 22.06.2015.

KTM Sportmotorcycle GmbH, Mattighofen 2015,

<http://www.ktm.com/at/>, Zugriffsdatum: 19.08.2015.

KTM Sportmotorcycle GmbH, Mattighofen 2015,

<http://company.ktm.com/unternehmen/strategie.html>, Zugriffsdatum: 22.06.2015.

KTM Sportmotorcycle GmbH, Mattighofen 2015,

<http://company.ktm.com/unternehmen/unternehmensprofil.html>, Zugriffsdatum:
22.06.2015.

Lati Industrial Thermoplastici S.P.A., Vedano Olona 2015,

http://www.lati.com/pdf/technical_data/laticonther_en.pdf, Zugriffsdatum: 10.12.2015.

Lindsay Brooke 2013,

<http://articles.sae.org/11881/>, Zugriffsdatum: 02.09.2015.

Lipopower Ltd., Kronach 2016,

<http://shop.lipopower.de/3-fach-Zellenhalter-fuer-A123-LiFepo-LiMn-Rundzelle-18650-1-Stueck>, Zugriffsdatum: 26.01.2016.

Mähliß J., Haar 2012,

<http://www.elektroniknet.de/power/energiespeicher/artikel/92479/>, Zugriffsdatum:
15.12.2015.

Michaël Torregrossa, Cagnes Sur Mer 2008,

<http://www.avem.fr/actualite-evolt-de-nouveaux-deux-roues-electriques-a-milan-613.html>, Zugriffsdatum: 02.09.2015.

Motomobil Verlag GmbH, Klosterneuburg 2011,

<http://www.motomobil.at/newsstories/news/244-brammo-engage-mit-6-ganggetriebe-e-bike-news-2011-neues-elektromotorrad>, Zugriffsdatum: 02.09.2015.

QUANTYA SA, Lugano 2015,

http://www.quantya.com/2015/evo1_qp.html, Zugriffsdatum: 20.08.2015.

QUANTYA SA, Lugano 2015,

<http://www.quantya.com/2015/products.html>, Zugriffsdatum: 20.08.2015.

Schnabel P., Ludwigsburg 2015,

<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0810281.htm>, Zugriffsdatum:
15.12.2015.

Springer Gabler Verlag, Wiesbaden,

<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/326727/swot-analyse-v3.html>, Zugriffsdatum:
15.07.2015.

Syburger Verlag GmbH, Unna 2015,

<http://www.motorrad.net/akku/zeitsprung-elektro-enduro-ktm-freeride-e-xc-im-fahrbericht.html>, Zugriffsdatum: 15.12.2015.

Tesla Motors, Palo Alto, CA 2015,

http://my.teslamotors.com/de_DE/roadster/technology/battery, Zugriffsdatum:
29.10.2015.

TME Germany GmbH, Leipzig 2015,

<http://www.tme.eu/de/details/accu-cgr18650ka/akkus/panasonic/cgr18650ka/>,

Zugriffsdatum: 15.12.2015.

Wichert O., Limburg 2012,

<http://www.lean-production-expert.de/lean-production/5-why.html>, Zugriffsdatum:

06.10.2015.

Wichert O., Limburg 2012,

<http://www.lean-production-expert.de/lean-production/7-verschwendungsarten.html>,

Zugriffsdatum: 17.10.2015.

Yamaha Motor Co Ltd., Iwata 2013,

[http://global.yamaha-](http://global.yamaha-motor.com/showroom/event/2013tokyomotorshow/sp/models/ped1/#.Vd8A6fntmko)

[motor.com/showroom/event/2013tokyomotorshow/sp/models/ped1/#.Vd8A6fntmko](http://global.yamaha-motor.com/showroom/event/2013tokyomotorshow/sp/models/ped1/#.Vd8A6fntmko),

Zugriffsdatum: 27.08.2015.

Zero Motorcycles Inc., Scotts Valley, CA 2013,

<https://www.zeromotorcycles.com/de/zero-mx-specs-2013>, Zugriffsdatum: 20.08.2015.

Zero Motorcycles Inc., Scotts Valley, CA 2015,

<https://www.zeromotorcycles.com/de/zero-mx-features-2013>, Zugriffsdatum:

20.08.2015

5.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: KTM Headquarters in Mattighofen	1
Abbildung 1-2: Auszug aus der KTM Produktpalette: Modelle 500 EXC, 1050 Adventure, 1090 RC8R, X-BOW R	2
Abbildung 1-3: Vorgehensweise Projekt.....	4
Abbildung 2-1: Darstellung des Wertes als Beziehung	9
Abbildung 2-2: Möglichkeiten zur Wertsteigerung	10
Abbildung 2-3: Benutzeranforderungen bei verschiedenen Wertanalyse- Objekten in Abhängigkeit von Gebrauchs- und Geltungsfunktionen	14
Abbildung 2-4: Wechselwirkung zwischen Abstraktionsgrad und Gestaltungsfreiraum	17
Abbildung 2-5: "Beweisschlüssige Funktionsgliederung" anhand eines Funktionenbaums	18
Abbildung 2-6: Anteilsmäßige Zuweisung der Bauteilkosten auf die Funktionen	19
Abbildung 2-7: Beispielhafte Funktionskostenmatrix für das KTM PowerPack	20
Abbildung 3-1: KTM PowerPack	24
Abbildung 3-2: Mitwirkende am WA- Projekt.....	25
Abbildung 3-3: Eingesetzte Methoden und Tools.....	25
Abbildung 3-4: KTM Freeride E-SX	26
Abbildung 3-5: KTM Freeride E-XC und E-SM	27
Abbildung 3-6: Ladegerät der Freeride-E Modelle von KTM	27
Abbildung 3-7: KTM Freeride – E Antriebseinheit	28
Abbildung 3-8: KTM Freeride - E Antriebsmotor und Energiespeicher	28
Abbildung 3-9: Aufbau des PowerPack	29
Abbildung 3-10: Aufbau der Sektionen	29
Abbildung 3-11: 2-teilige Zellhalter und Abstandshalter	30
Abbildung 3-12: Zellverbinder und Stromableiter	30
Abbildung 3-13: Zwischenplatten zur Wärmeabfuhr	31
Abbildung 3-14: Aufbau des 3-teiligen Gehäuses	32
Abbildung 3-15: Elektrische Kontakte und Ladestecker	32

Abbildung 3-16: Schematischer Aufbau eines Lithium-Ionen Akkumulators	33
Abbildung 3-17: Panasonic Zelle CGR18650KA der Bauform 18650	34
Abbildung 3-18: Querschnitt einer Akkuzelle der Bauform 18650	34
Abbildung 3-19: Abmaße der Zelle CGR18650KA	36
Abbildung 3-20: Quantya EVO1 – Track	41
Abbildung 3-21: Detailansicht Quantya EVO1 Antriebseinheit und Energiespeicher ...	42
Abbildung 3-22: Zero MX Motocross	42
Abbildung 3-23: Modulares Energiespeichersystem von Zero	43
Abbildung 3-24: Zero Smartphone App	43
Abbildung 3-25: RedShift MX von ALTA Motors	44
Abbildung 3-26: Rahmen der RedShift MX von ALTA Motors	44
Abbildung 3-27: eKRAD Motocross von Ekrad GmbH	45
Abbildung 3-28: e-Moto-CRF conversion kit	46
Abbildung 3-29: E- Crossbike von IAV	47
Abbildung 3-30: Engage MX von Brammo	48
Abbildung 3-31: Evolt Bull1 MX on Evolt	49
Abbildung 3-32: Aufbau der Bull1 MX	50
Abbildung 3-33: Konzept PED1 von Yamaha	51
Abbildung 3-34: Funktionenbaum PowerPack, Teil 1	54
Abbildung 3-35: Funktionenbaum PowerPack, Teil 2	55
Abbildung 3-36: Auswahlkriterien betrachteter Funktionen	61
Abbildung 3-37: Vorgehensweise bei der Ideenfindung für Funktionen	63
Abbildung 3-38: Vorgehensweise bei der Ideensuche zur Kostensenkung	64
Abbildung 3-39: Möglichkeiten zur Senkung der Herstellkosten	65
Abbildung 3-40: Übersicht konstruktiver Einflussgrößen	66
Abbildung 3-41: Benchmark der Kapazitätsentwicklung	71
Abbildung 3-42: Vorgehensweise bei der Ideensammlung zur Crashesicherheit	74
Abbildung 3-43: Energiedichten konkurrierender Akkusätze der Automobilbranche	79
Abbildung 3-44: Vorgehensweise Ideenbewertung	90

Abbildung 3-45: Beispiel Ideenkarte.....	91
Abbildung 3-46: Ergebnis der Nutzwertanalyse	94
Abbildung 3-47: Schematische Darstellung von neuen Wärmeleitelementen	98
Abbildung 3-48: Bestehender Zellhalter und Abstandhalter (links) vs. niedriger (mittig) und integrierter (rechts) Zellhalter von Lösungskonzept.....	98
Abbildung 3-49: Kühlkörper aus wärmeleitfähigem Kunststoff Laticonther CP1.....	99
Abbildung 3-50: Darstellung von bestehendem Stromableiter (links) und „Weg des Stromes bei Lösungskonzept (rechts)	100
Abbildung 3-51: Bestehende Schraubverbindung der Stromableiter.....	100
Abbildung 3-52: Erklärung der notwendigen Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften	101
Abbildung 3-53: Schematische Darstellung einer Wärmeleitplatte mit Sicken	101
Abbildung 3-54: Skizze von Rahmen mit (links) und ohne Zusatzteilen (rechts) zum anwendungsgerechten Schutz	102
Abbildung 6-1: SWOT Analyse als strategisch orientierte Analyse der Ausgangssituation	A1
Abbildung 6-2: Schema Ursachen- Wirkungsanalyse	A3
Abbildung 6-3: 39 technische Parameter nach TRIZ	A7
Abbildung 6-4: 40 innovative Lösungsprinzipen nach TRIZ	A7
Abbildung 7-1: 5-WHY Analyse der Funktion Crashesicherheit gewährleisten	B10
Abbildung 7-2: 5-WHY Analyse der Funktion Ladefähigkeit erhalten.....	B11
Abbildung 7-3: Einflussgrößen auf Brandgefahr der Zelle.....	B11
Abbildung 7-4: Einflussgrößen auf Verformung, Eindringung und Kurzschluss	B12

5.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Wertanalyse Arbeitsplan nach ÖNORM EN 12973	13
Tabelle 3-1: SWOT Analyse PowerPack.....	37
Tabelle 3-2: Übersicht der Modelle vom Konkurrenzvergleich	40
Tabelle 3-3: Hinweise zur Bestimmung des Funktionserfüllungsgrades	56
Tabelle 3-4: Funktionserfüllungsgrade von KTM.....	59
Tabelle 3-5: Liste der Bauteile mit Einsparungspotential laut KTM	60
Tabelle 3-6: Ausgewählte Funktionen zur näheren Betrachtung.....	62
Tabelle 3-7: SCAMPER Checkliste Gehäuse.....	68
Tabelle 3-8: SCAMPER Checkliste Zellhalter	68
Tabelle 3-9: SCAMPER Checkliste Abstandhalter	68
Tabelle 3-10: SCAMPER Checkliste Zellverbinder	69
Tabelle 3-11: SCAMPER Checkliste Stromableiter.....	69
Tabelle 3-12: SCAMPER Checkliste Aluminium Stifte	69
Tabelle 3-13: SCAMPER Checkliste Wärmeleitplatten	70
Tabelle 3-14: SCAMPER Checkliste Montage	70
Tabelle 3-15: Lösungssuche durch TRIZ 4 Ansätze zu Energie speichern.....	72
Tabelle 3-16: SCAMPER Checkliste Maschine.....	75
Tabelle 3-17: SCAMPER Checkliste Material	76
Tabelle 3-18: SCAMPER Checkliste Methode	77
Tabelle 3-19: Berechnung des Gewichts der veränderbaren Teile	78
Tabelle 3-20: Berechnung Einsparungspotential durch Optimierung	78
Tabelle 3-21: Berechnung Einsparungspotential durch neues Konzept.....	78
Tabelle 3-22: Vergleich der Energiedichten	79
Tabelle 3-23: Berechnung des Zielgewichtes.....	80
Tabelle 3-24: SCAMPER Checkliste Gewichtsanforderungen erfüllen	81
Tabelle 3-25: Ideengenerierung für Ladefähigkeit durch „Principles“- Verfahren	86
Tabelle 3-26: Hilfestellung zur Punktevergabe beim Workshop	93

Tabelle 3-27: Variation der Gewichtungen zur Sensitivitätsanalyse	95
Tabelle 3-28: Top 5 Ideen bei den jeweiligen Gewichtungen	95
Tabelle 3-29: Anzahl Top-5 Platzierungen Ideen bei Variation der Gewichtung	96
Tabelle 3-30: Auswahl der 10 besten Ideen für Lösungskonzept	97
Tabelle 3-31: Zusammenfassung der Potentiale und Nachteile des Lösungskonzeptes	103
Tabelle 6-1: SCAMPER Abkürzungen und Bedeutung	A8
Tabelle 6-2: Schema der Nutzwertanalyse.....	A9
Tabelle 7-1: Vergleich verschiedener Offroad E-Motorräder	B2
Tabelle 7-2: Funktionsbeschreibungen	B5
Tabelle 7-3: Funktionsbeteiligungsmatrix	B6
Tabelle 7-4: Zusammenfassung der Ideen.....	B16

5.5 Abkürzungsverzeichnis

IBL	Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung
TU	Technische Universität
VM	Value Management
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDI-GSP	VDI- Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung
VDI-GPP	VDI- Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung
VDI-ZW	VDI- Zentrum Wertanalyse
VSI	Institut für Fahrzeugsicherheit (Vehicle Safety Institute)
WA	Wertanalyse

5.6 Formelverzeichnis

Formel 2-1: Funktionserfüllungsgrad	19
Formel 3-1: Wärmeleitung.....	82
Formel 3-2: Wärmeübergang	83
Formel 3-3: Wärmestrahlung.....	83
Formel 3-4: Erzwungene Konvektion	83

6 Anhang A

Anhang A beinhaltet zusätzliche Informationen zum Kapitel 2.

6.1 Vorgehensweisen der unterstützenden Methoden und Tools

In den folgenden Kapiteln werden die Vorgehensweisen für die im Rahmen der Projektphasen eingesetzten Methoden und Tools vorgestellt.

6.1.1 SWOT- Analyse

Bei der SWOT- Analyse wird zuerst eine intern orientierte Analyse durchgeführt, welche die vorhandenen Stärken und Schwächen des Unternehmens gegenüber den Mitbewerbern aufzeigt. Danach folgt eine extern orientierte Analyse des Unternehmensumfeldes, welche die Chancen und Gefahren zukünftiger Entwicklungen des Umfeldes aufdeckt. Diese Informationen werden nach entsprechender Formulierung in tabellarischer Form dargestellt (siehe Abbildung 6-1).¹⁶¹

	intern orientiert	extern orientiert
Stärken (Strengths)		Chancen (Opportunities)
Schwächen (Weaknesses)		Gefahren (Threats)

Abbildung 6-1: SWOT Analyse als strategisch orientierte Analyse der Ausgangssituation¹⁶²

¹⁶¹ vgl. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de>, Zugriffsdatum: 15.07.2015

¹⁶² eigene Abbildung in Anlehnung an: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de>, Zugriffsdatum: 15.07.2015

6.1.2 5-WHY Methode

Durch das fünffache Stellen der Frage „Warum“ (engl. Why?) werden die Ursachen des Problems Schritt für Schritt hinterfragt. Falls dem Problem mehrere Ursachen zugrunde liegen, so kann sich die Befragung in mehrere Pfade aufteilen. Mehrfache Ursachen lassen sich anhand einer Ursachen- Wirkungsanalyse sehr gut ergründen und übersichtlich darstellen (siehe Kapitel 6.1.3). Zu Beginn der Analyse muss das Problem für alle Teilnehmer verständlich definiert werden. Nach der Analyse der Ursachen empfiehlt es sich gleich direkt vor Ort Lösungsvorschläge auszuarbeiten.¹⁶³

Grundregeln

Bei der Durchführung sind folgende Grundregeln zu befolgen:¹⁶⁴

- **Keine Annahmen treffen:** Es dürfen vorab keinerlei Annahmen über die Entstehung des Problems gemacht werden, sodass irreführende Schlussfolgerungen verhindert werden.
- **Nicht zu früh aufhören:** Die Anzahl der Befragungen ist nicht mit fünf Vorgängen beschränkt und kann bei Bedarf ausgeweitet werden. Es muss sichergestellt werden, dass die tatsächliche Ursache erfasst wurde bevor die Befragung beendet wird.
- **Überprüfung durch Umkehrung der Fragen:** Durch die Umkehr der Frage anhand einer „wenn – dann“ Logik lässt sich überprüfen, ob die Antworten logisch und schlüssig sind und tatsächlich Ursachen der vorherigen Schritte gefunden wurden.

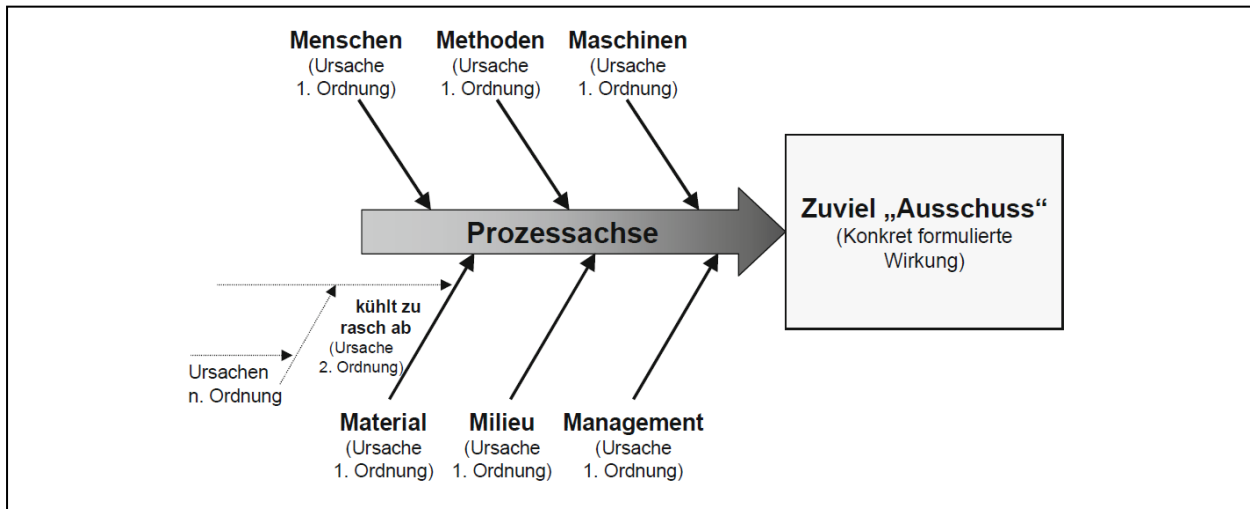
6.1.3 Ursachen-Wirkungsanalyse

Bei dieser Methode wird das präzise formulierte Problem in einem Feld rechts, dem sogenannten „Fischkopf“, notiert (siehe Abbildung 6-2). Die Äste des Diagramms bezeichnen die Kategorien von Ursachen. Quer zu diesen Ästen werden anschließend die gefundenen Ursachen eingetragen. Als Standard Kategorien für die Ursachen haben sich Mensch, Maschine, Material, Methode, Messung und Milieu etabliert (siehe Abbildung 6-2). Diese Standard „M“ eignen sich zur Beschreibung einer Vielzahl von technischen Problemen, müssen jedoch an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Zum Finden der Ursachen bieten sich Methoden wie beispielsweise Brainstorming an. Um das Problem an der Wurzel zu packen empfiehlt sich auch die Anwendung der 5-Why Methode zur genaueren Analyse der Ursachen (siehe Kapitel 6.1.2).¹⁶⁵

¹⁶³ vgl. www.lean-production-expert.de, Zugriffsdatum: 06.10.2015

¹⁶⁴ www.lean-production-expert.de, Zugriffsdatum: 06.10.2015

¹⁶⁵ vgl. Kuster, J. (2011), S. 401f

Abbildung 6-2: Schema Ursachen- Wirkungsanalyse¹⁶⁶

6.1.4 Benchmarking

Benchmarking ist ein Verfahren zum Vergleich des eigenen Produktes mit jenen von Mitbewerbern mit dem Ziel dabei voneinander zu lernen. Anhand eines systematischen Vergleichs sollen Unterschiede festgestellt und daraus Verbesserungsmöglichkeiten generiert werden:¹⁶⁷

- Definition des Analyseobjektes
- Auswahl der zu vergleichenden Unternehmen
- Erhebung der notwendigen Daten
- Ermittlung der Leistungslücken
- Ausarbeitung von Verbesserungsvorschlägen

Grundregeln

Dieses Verfahren eignet sich für den Vergleich von Merkmalen jedes Detaillierungsgrades. Besonders Acht geben muss man bei der Beurteilung der Vergleichbarkeit und Aussagekraft des Vergleiches zwischen den Objekten von unterschiedlichen Unternehmen. Vorsicht gilt auch beim Vergleich von urheberrechtlich geschützten Inhalten. Diese können zwar als Anhaltspunkte herangezogen werden, Schutzrechte dürfen jedoch unter keinen Umständen verletzt werden.¹⁶⁸

¹⁶⁶ Kuster, J. (2011), S. 401

¹⁶⁷ Alisch, K. (2004), S. 365

¹⁶⁸ vgl. Alisch, K. (2004), S. 365

6.1.5 Brainstorming

Brainstorming ist eine sehr einfache und effektive Kreativitätstechnik zur schnellen Generierung einer großen Anzahl an Ideen. Vor Beginn des eigentlichen Brainstorming-Prozesses gilt es das Problem eindeutig zu definieren. Anschließend rufen die Teilnehmer Schlagworte zu den auftretenden Ideen in den Raum. Der Moderator notiert diese, sodass die Teilnehmer diese sehen können. Ziel ist es, dass dieser Prozess eine gewisse Eigendynamik entwickelt, wobei sich die Teilnehmer von vorhandenen Ideen inspirieren lassen und darauf aufbauen. Sollte die Kreativität abreißen, so hat der Moderator einzuschreiten und weitere Denkanstöße zu liefern. Im Anschluss werden die Ideen kategorisiert und eventuell auch kombiniert, um möglichst neuartige Varianten von Lösungskonzepten zu erhalten.¹⁶⁹

Für erfolgreiches Brainstorming gibt es vier Grundregeln:¹⁷⁰

- **Keine Kritik:** Kritik unterbricht den Ideenfluss und führt zu unnötigen Diskussionen. Jegliche Analyse und Bewertung von Ideen wird auf die nachfolgende Phase verschoben, sodass die Teilnehmer sich nicht blockiert fühlen.
- **Aufgreifen, kombinieren, inspirieren lassen:** Es gibt keine Urheberrechte auf Gedanken und Ideen. Das Ergebnis der Gruppe als Ganzes steht im Vordergrund. Jeder darf eine jeden Idee aufgreifen, weiterentwickeln und kombinieren.
- **Der Phantasie freien Lauf lassen:** Es gibt keine Grenzen für die Phantasie. Je ausgefallener und origineller die Ideen, desto neuartiger und innovativer sind die daraus entwickelten Lösungen. Jeder Teilnehmer soll die Freiheit haben auch unvollständige und spekulative Ideen liefern zu können.
- **Quantität vor Qualität:** Ziel des Brainstormings ist es, in möglichst kurzer Zeit eine möglichst große Anzahl an Lösungen zu finden. Die Qualität der Lösungen spielt während der Suche keine Rolle. Erst nach einer intensiven Phase der Ideenfindung gilt es diese zu analysieren und zu selektieren.

¹⁶⁹ vgl. Alisch, K. (2004), S. 519

¹⁷⁰ vgl. Alisch, K. (2004), S. 519

6.1.6 TRIZ

Die Abkürzung TRIZ kommt aus dem Russischen und bezeichnet eine Methode mit dem sinngemäß übersetzten Namen „Theorie des erfinderischen Problemlösens“. Die Grundlagen dafür stammen vom russischen Patentexperten Genrich Altshuller, welcher bei der Analyse zahlreicher Patente Gesetzmäßigkeiten zur innovativen Lösung von Problemen erkannte. Aus den erkannten Mustern entwickelte er eine systematische Anleitung zum Auffinden kreativer Lösungen, welche in unterschiedlichsten Technologiebereichen angewandt werden können.¹⁷¹

Altshuller schlägt dazu folgende Vorgehensweise vor:¹⁷²

- Definition des tatsächlichen Problems
- Abstraktion des Problems
- Suche einer abstrakten Lösung
- Rücktransformation zu einer konkreten Lösung

Eine der grundlegenden Erkenntnisse Altshullers war, dass sich beinahe alle Probleme auf eine Art von Widerspruch zurückführen lassen. Er erkannte dabei zwei verschiedene Arten von Widersprüchen zur Beschreibung technischer Probleme.¹⁷³

Technische Widersprüche kennzeichnen sich dadurch, dass die Verbesserung eines Parameters des Systems zu einer gleichzeitigen Verschlechterung eines anderen Parameters führt. Beispielsweise steht die Kapazität eines Energiespeichers in Widerspruch mit dem Gewicht dessen. Physikalische Widersprüche hingegen fordern bestimmte Eigenschaften in Kombination mit den gegenteiligen Eigenschaften. Zum Beispiel wenn ein Objekt heiß und kalt zur selben Zeit sein soll. Eine weitere Erkenntnis Altshullers war, dass als konkrete Widersprüche formulierbare Probleme anschließend auch lösbar sind. TRIZ verfügt über verschiedenste Verfahren zur Lösung von Problemen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur zwei zur Lösung von technischen und physikalischen Widersprüchen angewandt.¹⁷⁴

„Principles“ zur Lösung technischer Widersprüche

Bei diesem Verfahren werden die in Widerspruch stehenden Parameter abstrahiert und in eine der 39 von Altshuller bestimmten Kategorien zugeordnet (siehe Abbildung 6-3, Anhang 6.1.6). Für die in Widerspruch stehenden Parameter können anschließend anhand einer Widerspruchsmatrix Lösungsprinzipien bestimmt werden. Von diesen

¹⁷¹ vgl. Gimpel, B.; Herb, T.; Herb, R. (2000), S. 1ff

¹⁷² vgl. Teufelsdorfer, H.; Conrad, A. (1998), S. 57

¹⁷³ Teufelsdorfer, H.; Conrad, A. (1998), S. 61

¹⁷⁴ vgl. Klein, B. (2007), S. 39f

Lösungsprinzipien identifizierten Altshuller insgesamt 40 im Rahmen der Patentrecherchen (siehe Abbildung 6-4, Anhang 6.1.6). Diese bieten zwar keine fertigen Lösungen, jedoch allgemeine Ansätze mit guten Aussichten auf Erfolg.¹⁷⁵

Es ergeben sich somit folgenden Arbeitsschritte:¹⁷⁶

1. Abstrahieren der Parameter
2. Kategorisieren in Parameter
3. Zuordnung in der Widerspruchsmatrix
4. Identifizieren der Lösungsprinzipien
5. Anpassung und Entwicklung von Lösungsansätzen

„4 Ansätze“ zur Lösung physikalischer Widersprüche

Bei physikalischen Widersprüchen stehen Merkmalsausprägungen im Widerspruch. Altshuller fand im Rahmen seiner Patentanalysen vier verschiedene Ansätze zur Lösung dieser:¹⁷⁷

- Separation im Raum
- Separation in der Zeit
- Separation innerhalb eines Objektes und seiner Teile
- Separation durch Bedingungswechsel

Diese Ansätze liefern jedoch wieder nur mögliche Ansätze und müssen in einem weiteren Schritt konkretisiert und auf die Durchführbarkeit überprüft werden.

¹⁷⁵ vgl. Teufelsdorfer, H.; Conrad, A. (1998), S. 66ff

¹⁷⁶ Teufelsdorfer, H.; Conrad, A. (1998), S. 66

¹⁷⁷ Gimpel, B.; Herb, T.; Herb, R. (2000), S. 81

TRIZ Technische Parameter nach Altshuller

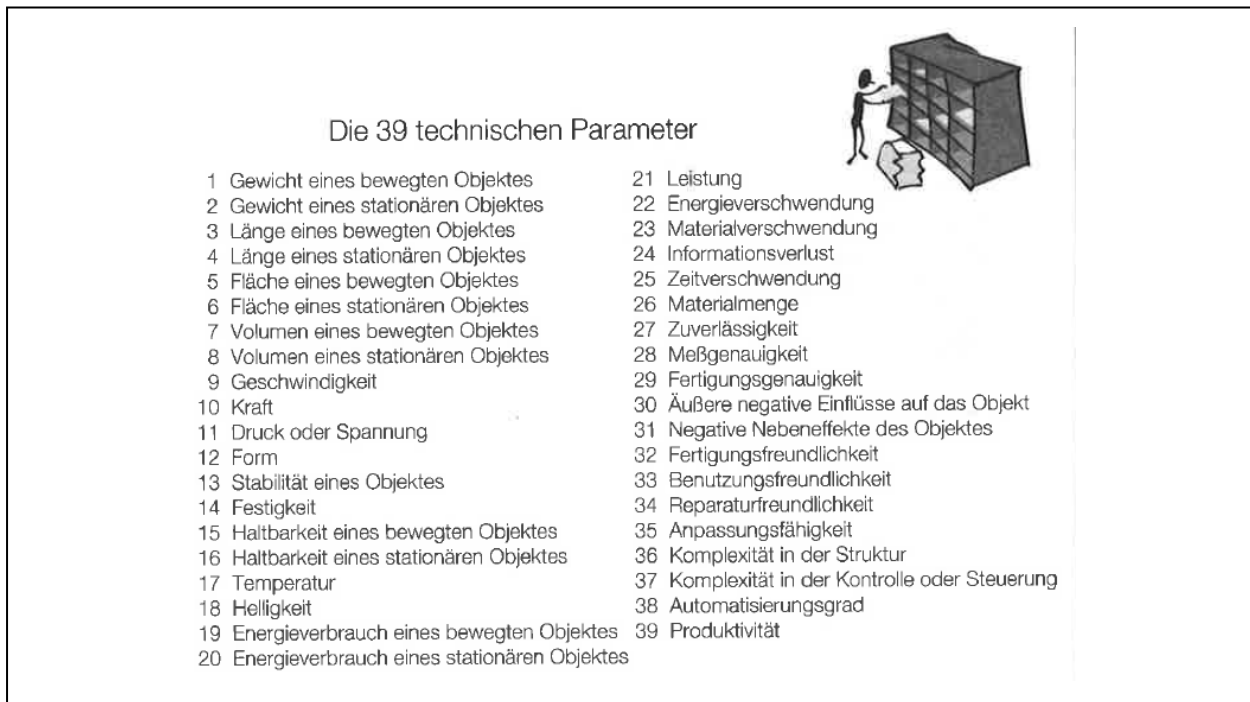


Abbildung 6-3: 39 technische Parameter nach TRIZ ¹⁷⁸

TRIZ Innovative Grundprinzipien nach Altshuller



Abbildung 6-4: 40 innovative Lösungsprinzipien nach TRIZ ¹⁷⁹

¹⁷⁸ Gimpel, B.; Herb, T.; Herb, R. (2000), S. 74

¹⁷⁹ Gimpel, B.; Herb, T.; Herb, R. (2000), S. 75

6.1.7 SCAMPER Methode

Die Methode ist durch die Vorgabe der Reihenfolge der Stichworte nach der Reihenfolge der Buchstaben in der Bezeichnung strukturiert. Jeder dieser Buchstaben ist die englische Abkürzung für ein Stichwort (siehe Tabelle 6-1).¹⁸⁰

Abkürzung	Bedeutung	Erklärung
S	Substitute	Ersetze Teile, Materialien, Personen
C	Combine	Kombiniere Funktionen, Zusatzfunktionen, Baugruppen
A	Adapt	Ändern von Funktion, Teilen, Zusammensetzung
M	Modify	Verändern von Größen, Parametern, Gestalt, Eigenschaften
P	Put	"Put to other use", Finden von weiteren Anwendungen
E	Eliminate	Entfernen von Teilen, Baugruppen, Funktionen, Eigenschaften
R	Reverse	Umkehr von Nutzen, Gestalt, Wirkung, Funktion

Tabelle 6-1: SCAMPER Abkürzungen und Bedeutung¹⁸¹

Vorgehen

Folgende Schritte sind nacheinander auszuführen:¹⁸²

- Definition des Problems
- Auswahl des Stichwortes
- Anwendung auf das Problem
- Generierung von Ideen

Zur Generierung von Ideen können im Rahmen der SCAMPER Methode andere Kreativitätstechniken zur Hilfe genommen werden.

¹⁸⁰ vgl. Bergbauer, A. K.; Kleemann, B.; Raake, D. (2008), S. 78ff

¹⁸¹ Bergbauer, A. K.; Kleemann, B.; Raake, D. (2008), S. 78ff

¹⁸² ibidem

6.1.8 Nutzwertanalyse

Zum Durchführen einer Nutzwertanalyse geht man nach folgenden Schritten vor (siehe dazu Tabelle 6-2):¹⁸³

1. Überprüfen nach zwingenden Kriterien

Alternativen, welche die zwingend Kriterien nicht erfüllen, werden nicht berücksichtigt.

2. Bestimmen der Bewertungskriterien

Die zu erfüllenden Kriterien werden erfasst und aufgelistet.

3. Gewichten der Kriterien

Kriterien von großer Bedeutung erhalten eine großen Gewichtungsfaktor, Kriterien von geringer Bedeutung einen kleinen.

4. Bewerten der Alternativen

Die Alternativen sind nach der Erfüllung der gefundenen Kriterien zu bewerten.

5. Berechnung der Teilnutzwerte

Der gefundene Wert des Erfüllungsgrades wird mit dem Gewichtungsfaktor des jeweiligen Kriteriums multipliziert und ergibt den Teilnutzwert dieser Alternative hinsichtlich dieses Kriteriums.

6. Berechnung des Gesamtnutzwertes

Durch das Aufsummieren aller Teilnutzwerte erhält man den Gesamtnutzwert der Alternative, welcher nun zum Vergleich mit anderen Alternativen herangezogen werden kann.

Kriterien				Alternative 1		Alternative 2		Alternative 3	
				abso- lutes Zielgewicht	Bewertung	Teilnutzwert	Bewertung	Teilnutzwert	Bewertung
1.1	2.1	3.1	3%						
		3.2	18%						
		3.3	9%						
2.2	3.4	3.5	35%						
		3.6	15%						
2.3	3.7	3.8	12%						
		3.9	8%						
Summe:		100%	Gesamt- nutzwert	Σ	Gesamt- nutzwert	Σ	Gesamt- nutzwert	Σ	

Tabelle 6-2: Schema der Nutzwertanalyse

¹⁸³ vgl. VDI - Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (2011), S. 149

7 Anhang B

In Anhang B beinhaltet diverse Zusatzinformationen zum Kapitel 3.

7.1 Konkurrenzvergleich

Auf der folgenden Seite befindet sich eine Tabelle mit den wichtigsten technischen Daten der in Kapitel 3.3.8 vorgestellten Modelle zum Vergleich.

Vergleich der technischen Daten

Hersteller	KTM ¹⁸⁴	Quantya ¹⁸⁵	Zero Motorcycles ¹⁸⁶	ALTA Motors ¹⁸⁷	Ekrad GmbH ¹⁸⁸	EV Drive ¹⁸⁹	IAV ¹⁹⁰	Brammo ¹⁹¹	Evolt ¹⁹²	Yamaha ¹⁹³
Modell	Freeride E-SX	EVO1 - Track	MX Motocross	RedShift MX	eKRAD	e-Moto-CRF conversion kit	E- Crossbike	Engage MX	Bull 1 MX	PED1
Nennleistung	11 kW	8,55 kW	-	18 kW	8,5 kW	-	15 kW	-	10 kW	-
Spitzenleistung	16 kW	12 kW	20 kW	29 kW	21 kW	36 kW	25 kW	-	33 kW	-
Drehmoment	42 Nm	38 Nm	92 Nm	-	45 Nm	-	60 / 120 Nm	-	32 Nm	-
Fahrzeit	1 h	0,5-1,5 h	0,5 – 2 h	2 h	-	0,5-1,5 h	-	-	2 h	-
Kapazität	2,6 kWh	2,08 kWh	2,8 / 5,7 kWh	5,2 kWh	3,6 kWh	2,4 kWh in 2 Batterien	2,5 kWh	-	2,88 kWh	-
Ladezeit (100%)	80 min	140 min	160 / 290 min	-	240 min	120 min	-	-	-	-
Zelltechnologie	Li- Ionen	LiPo	Li- Ionen	Li- Ionen	LiPo	-	Li- Ionen	Li- Ionen	LiPo	Li- Ionen
Nennspannung	260 V	52 V	-	-	72 V	-	-	-	96 V	-
Gewicht Motorrad	108 kg	93 kg	101 / 120 kg	113 kg	96 kg	-	110 kg	-	105 kg	100 kg
Gewicht Energiespeicher	28 kg	-	-	-	-	-	25 kg	-	-	-
Besonderheit	Energiespeicher entnehmbar, Wasser- und Staubdicht	Energiespeicher nicht entnehmbar, nicht Wasser- und Staubdicht	Modularer Energiespeicher, Smartphone App	Antriebseinheit in Rahmen integriert, Energiespeicher tiefer angeordnet	Selbsttragender Aluminium Schalenrahmen	Nachrüstsatz für Hoda CRF Modelle	auf Husqvarna TC250 aufgebaut, Wasser- und Staubdicht Bluetooth u. WLAN Schnittstelle	6-Gang Schaltgetriebe, Energiespeicher entnehmbar	Außergewöhnliche Anordnung von Antrieb und hinterem Stoßdämpfer	Energiespeicher austauschbar
Entwicklungsstatus	Serienreif	Serienreif	Serienreif	Vorbestellung	Prototyp	Prototyp	Prototyp	Prototyp	Prototyp	Konzept

Tabelle 7-1: Vergleich verschiedener Offroad E-Motorräder

¹⁸⁴ www.ktm.com, Zugriffsdatum: 22.06.2015¹⁸⁵ www.quantya.com, Zugriffsdatum: 20.08.2015¹⁸⁶ www.zeromotorcycles.com, Zugriffsdatum: 20.08.2015¹⁸⁷ www.altamotors.co, Zugriffsdatum: 27.08.2015¹⁸⁸ www.ubergun.de, Zugriffsdatum: 20.08.2015¹⁸⁹ www.evdrive.com, Zugriffsdatum: 27.08.2015¹⁹⁰ http://articles.sae.org, Zugriffsdatum: 02.09.2015¹⁹¹ www.motomobil.at, Zugriffsdatum: 02.09.2015¹⁹² www.motorcafe.it, Zugriffsdatum: 02.09.2015¹⁹³ http://global.yamaha-motor.com, Zugriffsdatum: 27.08.2015

7.2 Unterlagen zu Funktionenanalyse

In diesem Kapitel finden sich zusätzliche Informationen zur Funktionenanalyse in Kapitel 3.4.2.

7.2.1 Funktionsbeschreibung

Funktion	Beschreibung
1. Antriebsenergie liefern	Bereitstellen der Antriebsenergie für den E-Motor
1.1. Energie speichern	Die zum Antrieb notwendige Energie speichern
1.2. Energie leiten	Die Energie nach Bedarf von den Zellen zum Antrieb leiten
2. Komponenten aufnehmen	Die notwendigen Komponenten beinhalten
2.1. Befestigungsmöglichkeiten bieten	Genügend Möglichkeiten zum Befestigen der vorhandenen Bauteile bereitstellen
2.2. Teile positionieren	Die Komponenten sollen platzsparend und funktionsgerecht angeordnet sein
2.3. Teile fixieren	Die Bauteile verbinden, sodass diese je nach Anforderung dauerhaft Kontakt oder Abstand gehalten wird
2.4. Montage ermöglichen	Die Montage muss einfach und schnell erfolgen können
3. Anwender schützen	Dem Anwender maximale Sicherheit bieten bei normaler Anwendung und Crash
3.1. Betriebssicherheit bieten	Sicherheit während des Betriebes bieten
3.1.1. Betriebszustand überwachen	Alle für den Betrieb und die Sicherheit relevanten Parameter müssen überwacht werden
3.1.2. Hochvolt fernhalten	Bauteile die gefährlichen Spannungen tragen vom Benutzer fernhalten
3.1.3. Vorschriften entsprechen	Aktuelle und mögliche zukünftige Vorschriften müssen erfüllt werden
3.1.4. Verletzungen verhindern	Bei der standardmäßigen Handhabung und Anwendung darf sich der Benutzer nicht verletzen

wird fortgesetzt

3.1.5. Ergonomie bieten	Die Handhabung muss einfach und nutzergerecht möglich sein
3.2. Crashesicherheit gewährleisten	Die Belastungen während eines Crashes ertragen und größere Gefahren verhindern
3.2.1. Ausgasen verhindern	Es darf zu keinem Ausgasen der Zellen kommen
3.2.2. Brand verhindern	Die Zellen dürfen nicht in Brand geraten
3.2.3. Kurzschluss verhindern	Es darf zu keinem Kurzschluss der Zellen kommen
4. Rahmenbedingungen erfüllen	Die generellen Anforderungen erfüllen
4.1. Bauraum entsprechen	Das PowerPack muss dem verfügbaren Bauraum angepasst sein
4.2. Gewichtsanforderungen erfüllen	Das vorgegebene Maximalgewicht darf nicht überschritten werden
4.3. Handling erfüllen	Das PowerPack muss den Anforderungen des Handlings genügen
4.4. Sitzposition ermöglichen	Das PowerPack darf die ergonomische Gestaltung der Sitzposition nicht negativ beeinflussen
4.5. Umweltvorgaben erfüllen	Das PowerPack muss in seiner gesamten Ausführung allen notwendigen Umweltvorgaben entsprechen
5. Lebensdauer erreichen	Die gewünschte Anzahl an Ladungszyklen erreichen
5.1. Betriebsbelastungen aufnehmen	Den Belastungen während des Normalbetriebes standhalten
5.1.1. Beschleunigungen aufnehmen	Standhalten von jeglichen Beschleunigungen durch Stöße und Vibrationen während des Betriebes
5.1.2. Innenraum abdichten	Der Innenraum muss während des Einsatzes und der Reinigung vor Eindringungen von Schmutzpartikel und Feuchtigkeit geschützt sein
5.1.3. Temperaturschwankungen widerstehen	In einem Temperaturbereich von -10°C bis +50°C voll funktionsfähig sein
5.1.4. Komponenten schützen	Die Komponenten vor Beschädigungen durch den Betrieb schützen
5.2. Wartung ermöglichen	Alle notwendigen Wartungsarbeiten ermöglichen
5.2.1. Austausch ermöglichen	Einfachen Ausbau und Ersatz durch ein anders PowerPack ermöglichen

wird fortgesetzt

5.2.2. Transport ermöglichen	Von Hand transportierbar sein
5.2.3. Lagerung ermöglichen	Einfacher Lagerung am Boden und in schmutziger Umgebung standhalten
5.2.4. Zugänglichkeit erfüllen	Alle Bauteile, die zum Betrieb und Wartung benötigt werden, müssen einfach zugänglich sein
5.2.5. Reinigung ermöglichen	Der meist üblichen Reinigung mittels Hochdruckreiniger standhalten
5.3. Ladefähigkeit erhalten	Ladezustand und Temperatur der Zellen in einem geeigneten Bereich halten
6. Image vermitteln	Dem Image von KTM entsprechen
6.1. Design bieten	Dem Design des Motorrads entsprechen
6.2. Qualität vermitteln	Hohe Qualität durch hochwertige Bauteile und gute Verarbeitung ausstrahlen
6.3. Zuverlässigkeit ausstrahlen	Robustheit und Widerstandsfähigkeit ausstrahlen
6.4. Kostenerwartungen erfüllen	Sämtliche Bauteile müssen die Kostenziele erfüllen
7. Ressourcen schonen	Minimierung der Umweltbelastung
7.1. Recycling ermöglichen	Problemlose Zufuhr zu einem Recycling Prozess
7.2. Energieverlust begrenzen	Minimierung der Verluste und Maximierung der Effizienz

Tabelle 7-2: Funktionsbeschreibungen

7.2.2 Funktionsbeteiligungsmatrix

Funktionen			Funktionsträger																								
			Gesamt										Sektion										Sonst.				
Hauptfunktion	1. Nebenfunktion	2. Nebenfunktion	Gehäuse Oberteil	Gehäuse Mittelteil	Gehäuse Unterteil	Schrauben Gehäuse	Schrauben Modulbefestigung	Dichtungen	Griff	Elektrische Kontakte	Zentrierschrauben	Ladestecker	Platine	Papiereinlage	Dichtringe	Zellhalter Oberteil	Zellhalter Unterteil	Zellen	Abstandhalter	Wärmeleitplatten	Aluplatte	Alu Stifte	Schrauben klein	Zellverbinder	Stromableiter	Leistungselektronik	
1 Antriebsenergie liefern																											
	1.1 Energie speichern																	JA									
	1.2 Energie leiten									JA		JA	JA												JA	JA	JA
2 Komponenten aufnehmen																											
	2.1 Befestigungsmöglichkeit bieten		JA	JA	JA				JA								JA	JA			JA	JA					
	2.2 Teile positionieren										JA						JA	JA		JA							
	2.3 Teile fixieren					JA	JA																	JA			
	2.4 Montage		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
3 Anwender schützen																											
	3.1 Betriebssicherheit bieten																										
	3.1.1 Betriebszustand überwachen												JA													JA	
	3.1.2 Hochvolt fernhalten					JA				JA		JA															
	3.1.3 Vorschriften entsprechen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
	3.1.4 Verletzungen verhindern		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA													JA	
	3.1.5 Ergonomie bieten		JA	JA	JA	JA	JA		JA	JA		JA															
	3.2 Crashesicherheit gewährleisten																										
	3.2.1 Ausgasen verhindern		JA	JA	JA								JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA		JA	JA	
	3.2.2 Brand verhindern		JA	JA	JA								JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA		JA	JA	
	3.2.3 Kurzschluss verhindern		JA	JA	JA								JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA		JA	JA	
4 Rahmenbedingungen erfüllen																											
	4.1 Bauraum entsprechen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA															
	4.2 Gewichtsanforderungen erfüllen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
	4.3 Handling erfüllen		JA	JA	JA	JA	JA		JA	JA	JA	JA															
	4.4 Sitzposition ermöglichen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA															
	4.5 Umweltvorgaben erfüllen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
5 Lebensdauer erreichen																											
	5.1 Betriebsbelastungen aufnehmen																										
	5.1.1 Beschleunigungen aufnehmen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
	5.1.2 Innenraum abdichten		JA	JA	JA			JA	JA			JA															
	5.1.3 Temperaturschwankungen widerstehen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
	5.1.4 Komponenten schützen		JA	JA	JA				JA	JA																	
	5.2 Wartung ermöglichen																										
	5.2.1 Austausch ermöglichen						JA		JA	JA	JA	JA															
	5.2.2 Transport ermöglichen								JA	JA		JA															
	5.2.3 Lagerung ermöglichen		JA	JA	JA																						
	5.2.4 Zugänglichkeit erfüllen		JA	JA	JA	JA	JA		JA	JA		JA															
	5.2.5 Reinigung ermöglichen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA															
	5.3 Ladefähigkeit erhalten		JA	JA	JA					JA		JA	JA				JA	JA	JA		JA	JA	JA			JA	
6 Image vermitteln																											
	6.1 Design bieten		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA			JA															
	6.2 Qualität vermitteln		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA			JA															
	6.3 Zuverlässigkeit ausstrahlen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA		JA															
	6.4 Kostenerwartungen erfüllen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
7 Ressourcen schonen																											
	7.1 Recycling ermöglichen		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	
	7.2 Energieverlust begrenzen												JA					JA								JA	

Tabelle 7-3: Funktionsbeteiligungsmatrix

7.3 Unterlagen zu Ideengenerierung

In diesem Kapitel finden sich zusätzliche Informationen zum Kapitel 3.5.

7.3.1 Allgemeine Ansätze zur Kostenreduzierung

Im Folgenden werden einige sehr allgemeine Ansätze zur Reduktion der Herstellkosten kurz vorgestellt:¹⁹⁴

Geringere Anforderungen

Je geringer die Anforderungen an das Produkt, desto geringer die Kosten zur Erfüllung der Anforderungen. Im Rahmen dieses Projektes gilt es die bei der Funktionsanalyse identifizierten Funktionen mit möglichst geringem Aufwand zu erfüllen.

Reduzieren der Typenvielfalt

Generell führt eine Reduktion der Typenvielfalt zu einer wesentlichen Reduktion des Aufwandes für Entwicklung, Produktion und Vertrieb von Produkten. Da es vom PowerPack bisher nur einen einzigen Typen gibt, fällt dieser Ansatz bei diesem Projekt weg.

Reduktion der Anzahl der Bauteile

Eine Reduktion der Anzahl der Bauteile kann in mehrerlei Hinsicht zu Einsparungen führen. Durch die Integration von Funktionen von Bauteilen können ganze Bauteile und somit Fertigungs- und Montagekosten gespart werden. Durch einen modularen Aufbau des Produktes kann in vielen Fällen die Bauteilvielfalt durch die mehrfache Verwendung gleicher Module reduziert werden, wodurch sich wiederum die Entwicklungs-, Fertigungs- und Montagekosten reduzieren lassen. Eine mehrfache Verwendung gleicher Bauteile, beispielsweise durch die Standardisierung von bestimmten Bauteilen oder Baugruppen oder die Verwendung geeigneter Normteile führt zu einer Reduktion der Bauteilvielfalt bei gleichzeitiger Erhöhung der Stückzahl der verwendeten Einzelteile. Dies bringt vor allem bei der Beschaffung, Logistik und Lagerhaltung erhebliche Vorteile.

Verwendung etablierter Teile

Bauteile, welche sich in bestehenden Produkten bewährt haben, können wieder oder in leicht veränderter Form verwendet werden, wenn diese noch dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und auch die Anforderungen des neuen Produktes erfüllen.

Reduktion der Materialkosten

¹⁹⁴ vgl. Ehrlenspiel, K. et al. (2014), S. 166ff

Die Materialkosten eines Bauteils ergeben sich aus dem Gewicht des Bauteils dem Materialpreis. Zum einen kann man die Kosten daher durch eine Reduktion des Gewichts und zum anderen durch eine Reduktion des Materialpreises beeinflussen. Eine Reduktion des Gewichts lässt sich durch eine Optimierung der Bauteilgeometrie auf die Beanspruchung erreichen. Potentiale dazu lassen sich beispielsweise durch Simulationen oder die Auswertung von Schadensfällen an bestehenden Bauteilen identifizieren. Durch das gezielte Zulassen höherer Beanspruchungen lässt sich beispielsweise die Baugröße reduzieren, wodurch sich auch die Herstellkosten senken. Bei einer Reduktion der Wandstärke beispielsweise lässt sich die verringerte Stabilität durch entsprechende konstruktive Maßnahmen wie Verstärkungsrippen oder Sicken ausgleichen. Bei einer Gewichtsreduktion durch die Verwendung eines Werkstoffes mit geringerer Dichte sind stets die relativen Kosten sowie die relative Festigkeit zu bewerten. Dies gilt auch bei der Verwendung eines alternativen Werkstoffes mit geringerem Materialpreis. Bei der Verwendung kostengünstiger Materialien lassen sich oft durch einfache Wärme- und Oberflächenbehandlungen ähnliche Eigenschaften höherwertiger Werkstoffe erzielen. Ein weiterer Ansatz zur Einsparung von Materialkosten ergibt sich durch die Verwendung von genormten Standardwerkstoffen oder Halbzeugen, sofern dies möglich ist.

Reduktion der Fertigungskosten

Die Fertigungskosten werden in erster Linie durch die Auswahl des entsprechenden Fertigungsverfahrens bestimmt. Je nach Stückzahl und Anforderungen ist das kostengünstigste Verfahren zu wählen. Anschließend ist der zur Herstellung anfallende Aufwand auf ein Minimum zu begrenzen. Bei mechanischen Fertigungsverfahren kann dies etwa durch eine Reduktion der Anzahl und Größe der zu bearbeitenden Oberflächen oder eine Vergrößerung der Toleranzen erfolgen. Auch die Fertigungsnebetätigkeiten wie Spann- und Wechselvorgänge der Bauteile sowie der Werkzeuge sind zu optimieren. Sonderwerkzeuge sollten dabei vermieden werden. Bei der Bestimmung der Bauteilgeometrie sind kostengünstig zu fertigenden Oberflächenformen zu bevorzugen. Bei der Auswahl der Werkstoffe sind einfach zu bearbeitende zu bevorzugen.

Reduktion der Montagekosten

Die Montagekosten ergeben sich aus den Personalkosten und den Kosten für die benötigten Werkzeuge, Einrichtungen, Maschinen und Anlagen zur Montage und Überprüfung der Baugruppen. Bei manueller Montage, wie dies beim bestehenden PowerPack zum Großteil der Fall ist, sind die Personalkosten der größte Bestandteil. Diese lassen sich durch eine schnellere Montage reduzieren. Ansätze dafür sind beispielsweise eine Reduktion der Bauteile und somit auch der Montageschritte durch

Funktionsintegration. Auch die einfachere Handhabung von Bauteilen und der Einsatz effizienterer Verbindungstechniken erhöhen die Effizienz der Montage. Neben den direkten Montagetätigkeiten lassen sich auch durch die Reduktion von Wartezeiten und die Optimierung von Materialbereitstellung und anderen nebensächlichen Abläufen Einsparungen erzielen. Falls möglich und vom Aufwand und Stückzahl vertretbar, so können Montageschritte auch automatisiert werden, wenn das Produkt dafür geeignet und entsprechen gestaltet ist. Eine automatisierte Montage verursacht zwar weit höhere Kosten für Maschinen und Anlange, kann die direkt je Produkt anfallenden Montagekosten durch eine Erhöhung der Montageleistung jedoch drastisch senken. Bei entsprechender Ausführung lassen sich durch Automation auch diverse Fehlerquellen während der Montage ausschließen, wodurch sich die erreichte Qualität des Produktes verbessert und die Kosten für Ausschuss und Nacharbeit verringern.

Senkung der Verschwendung in der Produktion und Logistik

Bei Produktion und Logistik gilt es sämtliche Prozesse nach den in Kapitel 2.3.8 vorgestellten Verschwendungsarten nach LEAN Management zu überprüfen und diese anschließend schrittweise zu eliminieren.

7.3.2 5-WHY Analyse Crashesicherheit

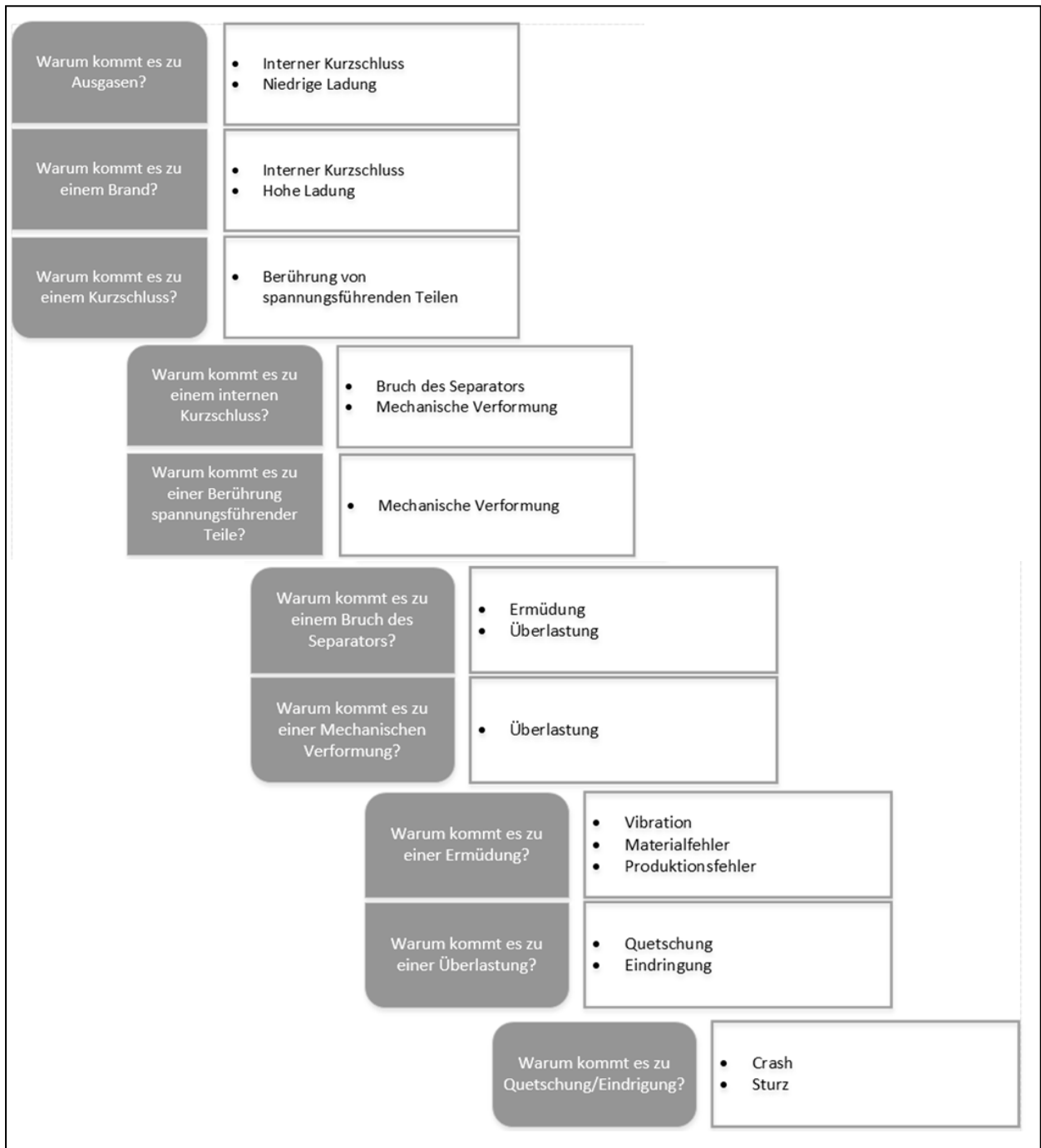


Abbildung 7-1: 5-WHY Analyse der Funktion Crashesicherheit gewährleisten¹⁹⁵

¹⁹⁵ eigene Abbildung

7.3.3 5-WHY Analyse Ladefähigkeit

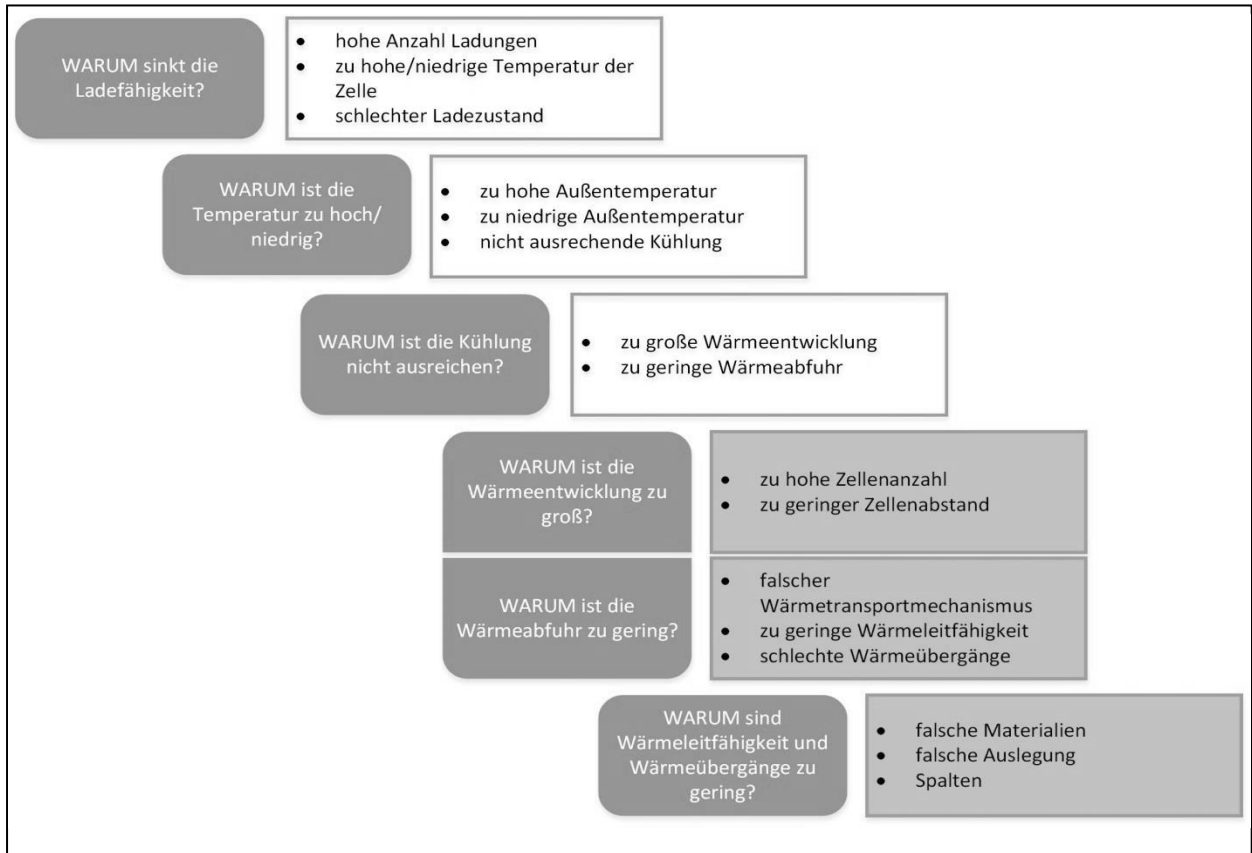


Abbildung 7-2: 5-WHY Analyse der Funktion Ladefähigkeit erhalten¹⁹⁶

7.3.4 Ursachen-Wirkungsanalysen Crashesicherheit gewährleisten

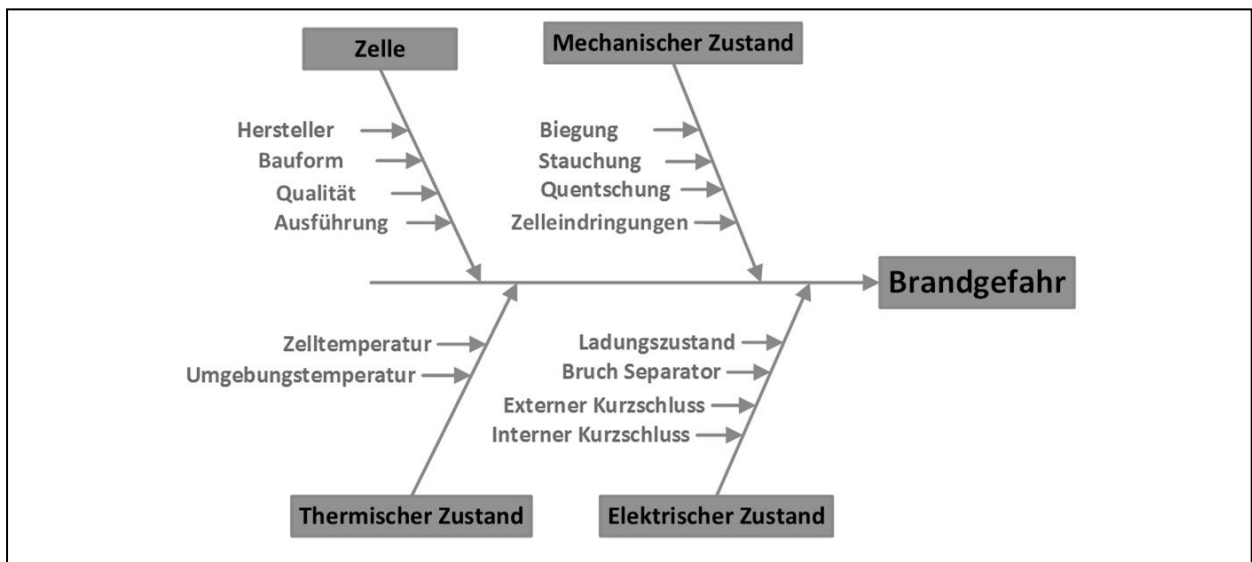
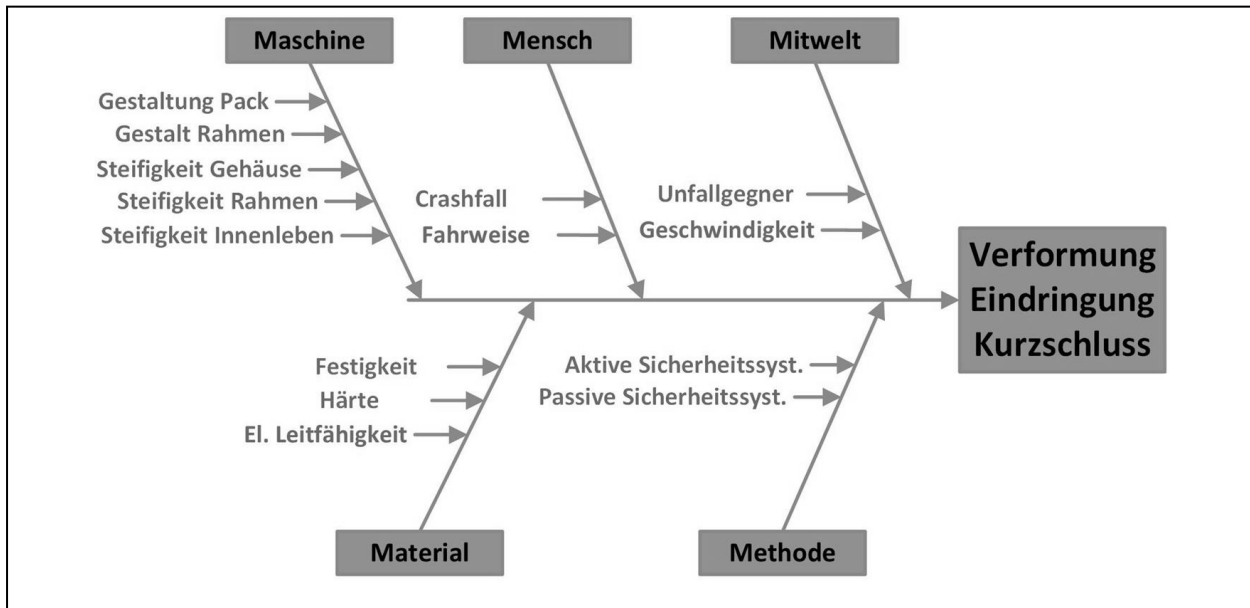


Abbildung 7-3: Einflussgrößen auf Brandgefahr der Zelle¹⁹⁷

¹⁹⁶ eigene Abbildung
¹⁹⁷ eigene Abbildung

Abbildung 7-4: Einflussgrößen auf Verformung, Eindringung und Kurzschluss¹⁹⁸¹⁹⁸ eigene Abbildung

7.3.5 Zusammenfassung der Lösungsideen

Nr.	Funktion	Beschreibung	Kategorie
1	Crashsicherheit gewährleisten	Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften	Crashsicherheit
2	Gewichtsanforderungen erfüllen	Gehäusewände mit Sicken und Rippen zur Stabilitätserhöhung	Crashsicherheit
3	Energie speichern	Rahmen zum Schutz des PowerPacks	Crashsicherheit
4	Crashsicherheit gewährleisten	Rahmen nimmt gesamte Energie auf, Gehäuse nur zur Abdichtung	Crashsicherheit
5	Energie speichern	Sollbruchstelle damit gesamtes Pack ausweicht	Crashsicherheit
6	Energie speichern	Sicherheit von PowerPack auf Anwendung anpassen	Crashsicherheit
7	Energie speichern	Spezielles Pack für den Offroadbetrieb mit weniger Sicherheitsfunktion	Crashsicherheit
8	Energie speichern	Knautschzone innerhalb oder außerhalb des Packs	Crashsicherheit
9	Crashsicherheit gewährleisten	Flexibles Gehäuse aus Gummi etc. sodass Zellen bei Crash sich mitbewegen	Crashsicherheit
10	Crashsicherheit gewährleisten	Schicht aus Fasergewebe einbinden um Eindringungen zu verhindern	Crashsicherheit
11	Crashsicherheit gewährleisten	Airbag zwischen Pack und Unfallgegner	Crashsicherheit
12	Crashsicherheit gewährleisten	Aktives Löschesystem zur Bekämpfung von Brand z.B. durch Austritt von CO ₂	Crashsicherheit
13	Kostenerwartungen erfüllen	Gehäuse durch Sicken und Rippen verstärken	Crashsicherheit
14	Kostenerwartungen erfüllen	Gehäuse durch Kleben fügen	Kostensenkung
15	Gewichtsanforderungen erfüllen	Gehäuse durch Nieten fügen	Kostensenkung
16	Crashsicherheit gewährleisten	Größere Wandstärke des Gehäuses für größere Sicherheit	Crashsicherheit
17	Crashsicherheit gewährleisten	Härteres Material für Gehäuse verwenden	Crashsicherheit
18	Gewichtsanforderungen erfüllen	Gehäuse aus Kunststoff	Kostensenkung
19	Gewichtsanforderungen erfüllen	Gehäuse aus Magnesium	Crashsicherheit
20	Crashsicherheit gewährleisten	Gehäuse aus faserverstärktem Kunststoff	Kostensenkung
21	Crashsicherheit gewährleisten	Gehäuse aus faserverstärktem Aluminium	Crashsicherheit
22	Crashsicherheit gewährleisten	Gehäuse aus Verbundwerkstoff Alu/Stahl	Crashsicherheit
23	Crashsicherheit gewährleisten	Gehäuse aus Verbundwerkstoff Kunststoff/Stahl	Crashsicherheit
24	Crashsicherheit gewährleisten	Sandwich Werkstoff Alu/Kunststoff/Alu	Crashsicherheit
25	Crashsicherheit gewährleisten	Gehäuse aus hochfestem Stahl und dünner Wandstärke	Kostensenkung
26	Gewichtsanforderungen erfüllen	Gehäuse aus Blech	Kostensenkung

wird fortgesetzt

Nr.	Funktion	Beschreibung	Kategorie
27	Gewichtsanforderungen erfüllen	Gehäusegestalt ändern um bessere Stabilität zu erhalten	Crashsicherheit
28	Kostenerwartungen erfüllen	Gehäuse aus weniger Bauteilen fertigen	Kostensenkung
29	Kostenerwartungen erfüllen	Gehäuse seitlich teilen	Kostensenkung
30	Kostenerwartungen erfüllen	Sektionen gemeinsam vormontieren, dann in Gehäuse	Kostensenkung
31	Kostenerwartungen erfüllen	Zellhalter zur Stabilität, Gehäuse nur zur Abdichtung	Kostensenkung
32	Kostenerwartungen erfüllen	Eliminieren isolierender Luftspalte	Wärmeleitung
33	Kostenerwartungen erfüllen	Zellen horizontal anordnen um Länge der Wärmeleiter zu verkürzen	Wärmeleitung
34	Kostenerwartungen erfüllen	Rahmen zum Befestigen der Sektionen, Abdeckung durch Deckeln auf Rahmen drauf	Kostensenkung
35	Kostenerwartungen erfüllen	Zellhalter als tragendes Element, Leichtes Gehäuse nur zur Abdichtung darum	Kostensenkung
36	Energie speichern	Tiefer Position des Packs, Motor dahinter um Schwerpunkt zu verbessern	Crashsicherheit
37	Energie speichern	Modularer Aufbau des Packs	Crashsicherheit
38	Crashsicherheit gewährleisten	Steifigkeit der Fügestellen erhöhen durch zusätzliches Kleben	Crashsicherheit
39	Crashsicherheit gewährleisten	Integration Gehäuse in Rahmen mit höherer Stabilität, Zellhalter als ganzes vormontiert und eingesetzt	Crashsicherheit
40	Ladefähigkeit erhalten	Temperatursensitive Farbe auf PowerPack	Wärmeleitung
41	Crashsicherheit gewährleisten	Zellen mit geringerer Brandgefahr verwenden	Crashsicherheit
42	Ladefähigkeit erhalten	Billigere Zellen mit kürzerer Lebensdauer	Kostensenkung
43	Kostenerwartungen erfüllen	Stromableiter mit Zellverbindern durch weniger Schrauben verbinden	Kostensenkung
44	Kostenerwartungen erfüllen	Stromableiter durch Nieten verbinden	Kostensenkung
45	Kostenerwartungen erfüllen	Stromableiter schweißen	Kostensenkung
46	Kostenerwartungen erfüllen	Zellverbinder weglassen und Zellen direkt aneinander fügen	Kostensenkung
47	Kostenerwartungen erfüllen	Sektionen symmetrisch gestalten und drehen	Kostensenkung
48	Kostenerwartungen erfüllen	Zellverbinder als ebene Bleche	Kostensenkung
49	Recycling Ermöglichen	Demontierbarkeit des Gehäuses, nur Rest wird geschreddert	Umweltschutz
50	Recycling Ermöglichen	Aufbereitung von Packs nach gewissen Betriebsstunden	Umweltschutz
51	Recycling Ermöglichen	Leasing von Paketen wie bei Automobilherstellern	Umweltschutz
52	Recycling Ermöglichen	Miete von Paketen	Umweltschutz
53	Recycling Ermöglichen	Umweltbonus bei Kauf eines neuen Packs	Umweltschutz

wird fortgesetzt

Nr.	Funktion	Beschreibung	Kategorie
54	Kostenerwartungen erfüllen	Kühlschlangen zwischen den Zellen wie bei Automobilherstellern	Wärmeleitung
55	Kostenerwartungen erfüllen	Zellhalter / Abstandhalter mit höherer Wärmeleitfähigkeit	Wärmeleitung
56	Kostenerwartungen erfüllen	Kontakt zwischen Abstandhalter und Wärmeleitstäben herstellen	Wärmeleitung
57	Kostenerwartungen erfüllen	Querschnitt der Wärmeleitstifte an Zellform anpassen	Wärmeleitung
58	Kostenerwartungen erfüllen	Weniger Wärmeleitstifte mit größerem Querschnitt zur schnelleren Montage	Wärmeleitung
59	Kostenerwartungen erfüllen	Direkter Kontakt zwischen Zellen und Wärmeleitern	Wärmeleitung
60	Kostenerwartungen erfüllen	Wärmeleitplatten nicht zwischen Gehäuse sondern durch Wärmeleitpaste mit Gehäuse verbinden	Wärmeleitung
61	Kostenerwartungen erfüllen	Wärmeleitplatten durch Sicken und Rippen verstärken	Crashsicherheit
62	Kostenerwartungen erfüllen	Kühlelemente die direkt mit Gehäuse in Verbindung sind	Wärmeleitung
63	Kostenerwartungen erfüllen	Bohrungen in Wärmeleitplatten einsparen	Wärmeleitung
64	Gewichtsanforderungen erfüllen	Zellhalter auch zur Wärmeleitung nutzen durch anderes Material und el. Isolierung	Wärmeleitung
65	Gewichtsanforderungen erfüllen	Platten mit integrierten Kühlkanälen zur Flüssigkeitskühlung	Wärmeleitung
66	Ladefähigkeit erhalten	Kühlmaterial das durch Schwingungen transportiert wird, z.B. wie Flüssigkeit in Ventilen von Motoren	Wärmeleitung
67	Ladefähigkeit erhalten	Dummy Zellen zur Wärmeableitung einsetzen oder gewisse Zellen weglassen	Wärmeleitung
68	Ladefähigkeit erhalten	Leitbleche zur besseren Nutzung des Fahrtwides verwenden	Wärmeleitung
69	Ladefähigkeit erhalten	Lüfter zur Erzeugung von Luftzug außerhalb von Pack	Wärmeleitung
70	Ladefähigkeit erhalten	Wärmeleitplatten dicker gestalten und Kühlkanäle integrieren die Luftzug ermöglichen	Wärmeleitung
71	Ladefähigkeit erhalten	Kühlkanäle für Flüssigkeitskühlung nur in Gehäusewand integrieren sodass Innenraum weiterhin dicht ist	Wärmeleitung
72	Ladefähigkeit erhalten	Luftzirkulation innerhalb des Packs	Wärmeleitung
73	Ladefähigkeit erhalten	Flüssigkeitskühlung von Motor mitnutzen	Wärmeleitung
74	Ladefähigkeit erhalten	Elemente die bei bestimmter Temperatur schmelzen um Überschreiten krit. Temperatur zu verhindern	Wärmeleitung
75	Ladefähigkeit erhalten	Kupfer oder Aluminium Drähte in Zellhalter eingießen zur Verbesserung der Wärmeleitung	Wärmeleitung
76	Ladefähigkeit erhalten	Thermoelektrische Elemente zur Kühlung wie BMW	Wärmeleitung

wird fortgesetzt

Nr.	Funktion	Beschreibung	Kategorie
77	Ladefähigkeit erhalten	Elektrische Leiter auch als Wärmeleiter verwenden	Wärmeleitung
78	Ladefähigkeit erhalten	Ladestation mit aktivem Kühlsystem	Wärmeleitung
79	Ladefähigkeit erhalten	Ladegerät mit Kühlfunktion zum Anschließen durch Schläuche bei Ladung im eingebauten Zustand	Wärmeleitung
80	Ladefähigkeit erhalten	Einsatz von Kühlelementen in das Pack vor dem Fahren	Wärmeleitung
81	Ladefähigkeit erhalten	Materialien mit höherer Wärmeleitfähigkeit für Gehäuse und Zellhalter	Wärmeleitung
82	Ladefähigkeit erhalten	Kühlung des Gehäuses verbessern	Wärmeleitung
83	Kostenerwartungen erfüllen	Abstandhalter in Zellhalte integrieren	Kostensenkung
84	Gewichtsanforderungen erfüllen	Zellhalter / Abstandhalter niedriger gestalten	Kostensenkung
85	Kostenerwartungen erfüllen	Zellhalter an Stege in der Mitte verkleben um Schrauben zur vertikalen Spannung zu vermeiden	Kostensenkung
86	Gewichtsanforderungen erfüllen	Wellbleche anstatt Zellhalter	Wärmeleitung
87	Crashsicherheit gewährleisten	Zellhalter mit größerer Stabilität	Crashsicherheit
88	Energie speichern	Zellhalter verformbar gestalten damit dieser sich bei Gehäusedeformationen anpasst und selbst Zellen nicht deformiert werden	Crashsicherheit
89	Crashsicherheit gewährleisten	Zellhalter aus weichem Material und Gehäuse als harte Schale	Crashsicherheit
90	Kostenerwartungen erfüllen	Zellhalter aus beschichtetem Aluminium	Wärmeleitung
91	Kostenerwartungen erfüllen	Zellhalter aus Aluminium mit dünner Kunststoffeinlage zur Isolierung	Wärmeleitung
92	Kostenerwartungen erfüllen	Versteifungs- und Wärmeleitstege quer in Zellhalter eingießen	Crashsicherheit
93	Kostenerwartungen erfüllen	Elektrische Leiter in Zellhalter integrieren	Kostensenkung
94	Kostenerwartungen erfüllen	Gehäuse in der Mitte abstützen	Crashsicherheit

Tabelle 7-4: Zusammenfassung der Ideen

Grün hinterlegte Ideen wurden in einer ersten groben Bewertung nach dem Potential mit dem VSI zur weiteren Betrachtung und Vorstellung bei KTM ausgewählt.