

Automotives Projekt- und Risikomanagement am Beispiel der Elektromobilität

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Martin Peter Hafellner



eingereicht am

Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften
der

Montanuniversität Leoben

Leoben, am 26.06.2016

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

[Ort], [Datum]

([Vorname] [Nachname])

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Danksagung

Herrn Dipl.-Ing. Robert Schaffernak, Herrn Dipl.-Ing. Hubert Gach und Herrn Dipl.-Ing. Franz Nigitz von der Firma Magna Steyr Battery Systems (MSBS) danke ich für das Zur Verfügung stellen der Firmeninfrastruktur, für die Möglichkeit aktuelle Automotive Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität als Versuchsfelder nutzen und Fallbeispiele veröffentlichen zu dürfen.

Herrn Dipl.-Ing Horst Valentini und Herrn Dipl.-Ing. Gerhard Lichtenecker (MSBS) danke ich für die Unterstützung bei der Integration der neu erarbeiteten, risikobasierten Projektmanagementinstrumente in das generische Managementmodell der Organisation.

Herrn Dipl.-Ing. Florian Prosznigg, Herrn Dipl.-Ing. Oliver Stojanovic, Herrn Dipl.-Ing Haris Pasic, Herrn Dipl.-Ing Werner Harkam, Herrn Dipl.-Ing. Martin Michelitsch, Herrn Dipl.-Ing. Ingo Hausberger und Herrn Dipl.-Ing. Dr. Nikolaus Hochgatterer (MSBS) gebührt mein Dank für die aktive Unterstützung bei der praktischen Validierung von Schlüsselementen dieser Dissertation in laufenden Entwicklungsprojekten.

Herrn Dipl.-Ing.(FH) Thomas Strasser und Herrn Dipl.-Ing.(FH) Alfred Wiedner (MSBS) danke ich für die aufbauenden Worte und Taten in zahlreichen persönlichen und fachlichen Diskussionen, sowohl im Büro als auch privat und auf Dienstreisen zu Lieferanten von Schlüsselkomponenten für die Automotive Elektromobilität.

Frau Dipl.-Ing. Dr. Patricia Handel (MSBS) danke ich für das fachkundige Korrekturlesen der Dissertationsschrift und für die zahlreichen Fragen und Inputs, die eine essentiellen Beitrag zur Verbesserung von Verständnis und Lesbarkeit des vorliegenden Werkes geleistet haben.

Meinen Eltern danke ich dafür, dass sie durch ihr Wirken die materiellen, intellektuellen, menschlichen und emotionalen Grundsteine für meinen persönlichen und beruflichen Werdegang gelegt haben. Besonderer Dank gebührt meinem Vater, der mit ehrlichem Interesse und großem Stolz den Fortgang meiner Dissertation verfolgt hat. Leider war es ihm nicht vergönnt, den Abschluss dieser Arbeit erleben zu dürfen. Bitte verzeih mir meine Langsamkeit.

Kurzfassung

Das in der Automobilindustrie etablierte, standardisierte Vorgehensmodell für das Management Automotiver Entwicklungsprojekte ist in dessen Grundstruktur seit fünfundzwanzig Jahren unverändert geblieben. Die Automotive Elektromobilität ist durch ein hoch dynamisches Umfeld mit signifikant verkürzten Produktentwicklungszeiten und asymmetrischem Wettbewerb von branchenfremden Global Players gekennzeichnet. Die veränderten Umfeldbedingungen lassen Schlüsselemente Automotiver Vorgehensmodelle kollabieren und resultieren in endkundenrelevanten Risiken, die sich auf die Interessen der Stake- und Shareholder negativ auswirken.

In der vorliegenden Arbeit werden etablierte Standardabläufe in Automotiven Entwicklungsprojekten beschrieben und anhand von repräsentativen Fallbeispielen mit Realsituationen aus Entwicklungsprojekten der Automotiven Elektromobilität verglichen. Durch die Analyse der Fallbeispiele wird das Versagen von klassischen Automotiven Projekt- und Risikomanagementinstrumenten aufgezeigt.

Danach werden die theoretischen Grundlagen für die Erarbeitung eines neuen, flexiblen und adäquaten Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement in der Automotiven Elektromobilität erarbeitet. Diese umfassen Systemtheorie, Theorie der Modellbildung, Entscheidungstheorie, Organisationsdesign und generische Modelle für das Management von Organisationen und Risiken. Das neue Vorgehensmodell verschränkt die Prinzipien des Leobener Generic Managementmodells mit dem aus der Finanzwirtschaft entliehenen COSO Enterprise Risk Managementmodells zu einem risikobasierten Projektmanagementmodell. Klassische Automotive Produktreifegrade werden durch risikobezogene Reifegrade ersetzt. Die Risikoermittlung, Risikobewertung und Risikobewältigung erfolgt unter dem Aspekt der strategischen Auswirkungen von Risiken aus der Produktentwicklung auf den Endkunden und die Organisation. Risikoermittlung und Risikovermeidung in frühen Phasen des Entwicklungsprojekts werden favorisiert. Dabei bilden die Instrumente De-Materialisierung, Substitution und Denovation zentrale Elemente zur Reduktion der System-, Prozess-, Produkt- und Organisationskomplexität. Die Reduktion von Komplexität steht in direktem Zusammenhang mit der Reduktion des Gesamtrisikoportfolios des Automotiven Entwicklungsprojekts. Die übergeordneten Ziele des neuen Vorgehensmodells sind die nachhaltige Wertsteigerung der Organisationen von Automotiven Entwicklungspartnern, die Erhöhung deren Flexibilität und die Einbindung der Interessen aller Stakeholder in den Risikomanagementprozess. Zur Risikodarstellung, Risikokommunikation und Verfolgung des Erreichungsgrades von Risikozielen wird ein Balanced Risk Scorecard eingeführt. Das Balanced Risk Scorecard liefert allen hierarchischen und funktionalen Strukturelementen im Organigramm einer Organisation Steuergrößen für die risikobasierte Entscheidungsfindung im Entwicklungsprojekt.

Die Schlüsselemente des Vorgehensmodells werden am Ende der Arbeit in der Praxis erprobt und deren Wirksamkeit anhand von anonymisierten Fallstudien belegt.

Abstract

The standardized instruments and procedures, which have been established in the automotive industry for the management of development projects, have stayed unchanged during the last twenty five years. Development projects in the automotive electro-mobility are embedded in a highly dynamic environment with shortened development cycle time. Traditional OEMs are challenged through asymmetrical competition by non-automotive global players. These changed conditions make key automotive development project management instruments collapse. As a result vehicles with an increased risk portfolio are delivered to end customers. These risks adversely affect the interests of stake- and shareholders.

In the initial step, this thesis analyzes the suitability of standardized automotive instruments, processes and models for application in current development projects in the e-mobility. The analysis is based on representative case studies from live development projects. The case studies illustrate the collapse of a project- and risk management approach based on classical automotive procedures when applied in the automotive e-mobility.

After this analysis the theoretical framework for establishing a new model for automotive project- and risk management is discussed. Key elements of the theoretical framework are: Systems theory, model theory, decision theory, organizational design and generic models for the management of risks and organizations. The new model fuses the principles of the „Leoberner Generic Management Model“ with the COSO ERM framework, which is carried over from the financial economy, to a new model for risk-based project management. Classical automotive development project phases, which are based on hardware maturity, are replaced by risk-based project phases. Risk determination, risk evaluation and risk treatment are based on the strategic and end customer relevant impact of risks associated with product development. Risk determination and the avoidance of risks during initial and early project phases is favoured. The project management instruments de-materialization, substitution and denotation are central elements for the reduction of system-, product-, process and organizational complexity. The reduction of complexity is directly linked to the reduction of the total risk portfolio in the automotive development project. The strategic targets of the new model for risk-based development project management are to increase the value of the organization and to increase its flexibility by full involvement of all stake- and shareholders into the project- and risk management process. For communication and display of risks a balanced risk scorecard is established. From the balanced risk score card, risk-related key performance indicators are generated for each hierarchical and functional group within an organization. The key performance indicators are used for defining risk targets, for risk-based decision making and for tracking the progress of measures taken for risk reduction.

Finally key elements of the new model for risk-based development project management are applied in live development projects for automotive lithium ion batteries for the propulsion of electric vehicles. The effectivity and efficiency of the model is demonstrated in selected anonymous case studies.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	3
1.2 Zielsetzung	6
1.3 Methodische Vorgehensweise	7
1.4 Aufbau der Arbeit.....	8
2 Automotive Entwicklungsprojekte	11
2.1 Automotive Muster.....	11
2.2 Automotive Entwicklungsprozesse und deren Risiken	14
2.3 Automotiver Entwicklungsprojekt-Terminplan	28
2.4 Automotive Entwicklungsprojekt - Organisation	38
3 Theoretischer Unterbau eines neuen Vorgehensmodells	46
3.1 Systemtheorie.....	47
3.2 Wissenschaftliche Modelle.....	51
3.3 Entscheidungstheorie	57
3.4 Organisationsdesign und Managementmodelle	62
3.5 Risikomanagement.....	69
4 Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungs-Projektmanagement	75
4.1 Grundbauelemente des Vorgehensmodells	76
4.2 Voraussetzungen zur Anwendung des Vorgehensmodells	78
4.3 Gesamtüberblick über das Vorgehensmodell	80
4.4 Risikobasierter Produktreifegrad.....	84
4.5 Organisations Redesign	91
4.6 Prozess Redesign	95
4.6.1 Stücklistenfilter.....	95
4.6.2 De-Materialisierung, Substitution und Denovation.....	98
4.6.3 Risikoermittlung	105

4.6.4	Risikoverdichtung.....	108
4.6.5	Risikodarstellung.....	114
4.6.6	Risikobasierte Entwicklungsprojektlenkung.....	121
5	Fallstudien.....	125
5.1	Risikobasierter Produktreifegrad.....	125
5.2	Stücklistenfilter, De-Materialisierung, Substitution, Denovation.....	129
5.3	Risikoermittlung	135
5.4	Risikoverdichtung, Risikoaggregation und Risikobewältigung.....	141
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	152
7	Literaturverzeichnis	154

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodische Vorgehensweise	8
Abbildung 2: Der Produktentwicklungsprozess nach APQP	15
Abbildung 3: Ablaufplan eines Entwicklungsprojektes nach VDA	16
Abbildung 4: Komplexität am Beispiel von Cockpits	20
Abbildung 5: Lebensdauertest einer Lithiumionenzelle mit Prognose	21
Abbildung 6: Vorlage für die Risikoabschätzung aus der FMEA nach VDA	24
Abbildung 7: Einbindung der Produkt/Prozessvalidierung in den Produktentstehungsprozess .	27
Abbildung 8: Generischer Terminplan eines Automotiven Entwicklungsprojektes.....	28
Abbildung 9: Risikomanagement während eines Automotiven Entwicklungsprojekts.....	29
Abbildung 10: Simplifizierte Darstellung einer Lieferkette	30
Abbildung 11: Zusammenhang zwischen PSO und PPAP in der Lieferkette	30
Abbildung 12: Preisentwicklung der seltenen Erden	33
Abbildung 13: Beispiel für Stealth-Komponente in Tier 2 und Tier 3	34
Abbildung 14: Beispiel für die Umkehrung der Meilensteinkette	37
Abbildung 15: Generisches Managementsystem eines Automotiven Betriebes	38
Abbildung 16: Meilensteinkette für die Produktentwicklung	39
Abbildung 17: Terminverzug und Überlappung der Musterphasen in der Realität.....	41
Abbildung 18: Kollaps und Verzerrung Automotiver Musterphasen	44
Abbildung 19: Struktur und Interaktionen eines Systems.....	48
Abbildung 20: Struktur und Interaktionen eines Systems.....	50
Abbildung 21: Modellentwicklung	53
Abbildung 22: Die Struktur eines Entscheidungsmodells	55
Abbildung 23: V-Modell eines Hardware-Entwicklungsprozesses.....	57
Abbildung 24: Einflussfaktoren auf den Unternehmensgewinn	58
Abbildung 25: Mögliche Erwartungsstrukturen aus Entscheidungen.....	59
Abbildung 26: Aufbau und Ablauforganisation eines Unternehmens	63
Abbildung 27: Verschmelzung der abteilungs- und prozessorientierten Sichtweise	65
Abbildung 28: Das neue St. Galler Managementmodell.....	66
Abbildung 29: Die Säulen (Angelpunkte) des Leobener Generic Management Modells	67

Abbildung 30: Das Leobener GM-Modell als Ebenenmodell	68
Abbildung 31: Generische Darstellung des Risikomanagementprozesses.....	70
Abbildung 32: Das COSO ERM Framework	73
Abbildung 33: Generische Darstellung des Risikomanagementprozesses.....	74
Abbildung 34: Grundbauelemente des Vorgehensmodells	77
Abbildung 35: Komplexitätsreduktion im Vorgehensmodell	78
Abbildung 36: Gesamtüberblick über das Vorgehensmodell.....	83
Abbildung 37: Aufbau eines Leuchtturmbauteil-Kernteams	92
Abbildung 38: Abspalten von Satellitenteams von Leuchtturmbauteil-Kernteams	93
Abbildung 39: Projekt-, Organisations- und Risikomanagement	94
Abbildung 40: De-Materialisierung und Substitution	99
Abbildung 41: Stücklistenfilter, De-Materialisierung und Substitution.....	100
Abbildung 42: Illustration des Risikoverdichtungsprozesses	110
Abbildung 43: Nomogramm zur Risikoverdichtung von vier gekoppelten Risiken	113
Abbildung 44: Überblick über den Risikoverdichtungsprozess.....	114
Abbildung 45: Oppositionshaltung von Linien- und Projektfunktionen.....	115
Abbildung 46: Risikobasierende Projektlenkung im SE-Team	122
Abbildung 47: Projektübergreifende Lenkung	124
Abbildung 48: Entwicklungsprojektterminplan mit Anwendung risikobasierter Musterphasen .	126
Abbildung 49: Klassischer zeitlicher Ablauf einer Produktvalidierung (DV/PV)	127
Abbildung 50: Verkürzung der DV/PV Testdauer durch Mischverbau / gespiegelte Abläufe ...	128
Abbildung 51: Batteriegehäuse im Projekt Stella 1	130
Abbildung 52: Details des Batteriegehäuses im Projekt Stella 1	130
Abbildung 53: Batteriegehäuse des Projekts Stella 2	131
Abbildung 54: Batteriegehäuse des Projekts Frodo 15	132
Abbildung 55: Fertige Hybridbatterie des Projekts Frodo 15.....	133
Abbildung 56: Abgriff initialer Risikozahlen aus der FMEA	140
Abbildung 57: Abgriff initialer Risikozahlen aus einem Rohstoffrisikodiagramm.....	141
Abbildung 58: Heavy-Duty Lithiumionen-Hybridbatterie.....	143
Abbildung 59: Matrix für die Ermittlung des Lieferantenrisikos.....	145
Abbildung 60: Nomogramm „Kulturelle und geografische Risiken“	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen an Produkte unterschiedlichen Reifegrades in Magna	13
Tabelle 2: Automotive Musterphasen im Überblick	14
Tabelle 3: Beispiel für ein befülltes FMEA-Formblatt	23
Tabelle 4: Auszug aus dem VDA 6.3 Bewertungsformat	25
Tabelle 5: Die Reichweite des Automotiven Radars in Richtung Urproduktion	31
Tabelle 6: Stealth Components im Wirkungsbereich des Automotiven Radars	35
Tabelle 7: SE-Team Matrix: Teammitglieder und Funktionen	40
Tabelle 8: Technische Änderungen in den Projekten Jura 1 und Jura 2	42
Tabelle 9: Untergliederung ökonomischer Modelle nach Zielbezug	54
Tabelle 10: Darstellung multipler Zielvariablen determinierter Systeme	60
Tabelle 11: Darstellung multipler Zielszenarien stochastischer Systeme	60
Tabelle 12: Einsatzzeitpunkt des risikobasierten Entwicklungsprojektmanagements	79
Tabelle 13: Morphologischer Kasten für die Anwendbarkeit des Modells	80
Tabelle 14: Neue Musterphasen für Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität	84
Tabelle 15: Entscheidungstabelle Stücklistenfilter	96
Tabelle 16: Verkürzungs- und Denovationsvektoren	104
Tabelle 17: Beispiel für Entscheidungstabelle in FMEA	107
Tabelle 18: Verdichtung (Verschränkung) zweier gekoppelter Risikozahlen	112
Tabelle 19: Balanced Risk Scorecard (PRIO-Tool)	120
Tabelle 20: Darstellung der bereichsbezogenen Risiken im PRIO-Tool	123
Tabelle 21: Maßgeschneiderte, risikobasierte Produktfreigabe	134
Tabelle 22: Beispiel für initiale Risikozahlen aus Entscheidungstabellen	136
Tabelle 23: Beispiel für direkt abgeleitete, variable Risikozahlen	138
Tabelle 24: Wiederbeschaffungszeit für Lithiumionenzelle in Wochen	144
Tabelle 25: Risikobasierte Lieferantenentwicklungs-Aktivitäten	146
Tabelle 26: Risikobezogene Lieferantenbetreuungsaktivitäten	147
Tabelle 27: Beispiel für Risikoverdichtung Bauteilbeschaffung	149

Abkürzungsverzeichnis

APQP	Advanced Product Quality Planning
BMU	Battery Management Unit
BoL	Begin of Life
BSC	Balanced Scorecard
CC	Concept Confirmation
CEO	Chief Executive Officer
COSO	Committee of Sponsoring Organization
cpk	Capability of process (k-factor)
CSC	Cell Supervision Circuit
DFMEA	Design-FMEA
DoE	Design of Experiments
DV	Design Verification
DVP&R	Design Verification o Product and Report
ERM	Enterprise Risk Management
FC	Functional Confirmation
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
GF	Geschäftsführung
GMS	Generic Management System
HR	Human Ressources
HV	High Voltage
I	Conditional Investment Release
IT	Information Technology
IMDS	International Material Data System
KFZ	Kraftfahrzeug
KPI	Key Performance Indicator
LS	Launch Sign-off
LT	Leuchtturm
MS	Magna Steyr

MSA	Measurement System Analysis
MSBS	Magna Steyr Battery Systems
OEM	Original Equipment Manufacturer
P	Planning Release
PEC	Preliminary Engineering Completion
PEP	Produktentstehungsprozess
PFMEA	Prozess(Process)-FMEA
PHEV	Plug-in Hybrid Vehicle
PKW	Personenkraftwagen
PP	Pilot Production
PPAP	Production Parts Approval Process
PPF	Produkt- und Prozessfreigabe
ppk	preliminary capability of process (k-factor)
PPS	Preliminary Programme Specification
PR	Production Release
PRIO	Project Risk Overview
PS	Process Sign-off (in MSBS-Regelwerk)
PSO	Process Sign Off (in internationalen Standards)
PT	Prototyp (Prototype)
PTO	Production Try-out
PV	Product Vision (bezogen auf Prototypenphase)
PV	Product Validation (bezogen auf Produkt-und Prozessfreigabe)
QM	Qualitätsmanagement
R&R	Repeatability and Reproducibility
REM	Risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement
Rg	Gesamtrisikozahl
RG	Reifegrad
RiFi	Risikofilter
RM	Risikomanagement
RoHS	Reduction of Hazardous Substances
RPT	Rapid Prototyping
RPZ	Risikoprioritätszahl

SCM	Supply Chain Management
SDIBS	SDI Battery Systems (Firma)
SE	Simultaneous Engineering
SK	Subkomponente
SOP, SoP	Start of Production
SMT	Surface Mounting Technology
SQA	Supplier Quality Assurance
TA	Target Agreement
VDA	Verband der Automobilindustrie
VE	Vorentwicklung
VOC	Voice of the Customer

1 Einleitung

Die Automobilindustrie entwickelt, produziert und vertreibt die komplexesten, in Massenproduktion hergestellten Industrieprodukte der Welt. Das global agierende, Automotive Netzwerk aus Zulieferern, Automobilproduzenten, Händlern und Dienstleistern trägt als Motor der Wirtschaft signifikant zum Bruttoinlandsprodukt von Industriestaaten, Tiger- und Schwellenländern bei. Der Gesamtumsatz der als Automobilindustriebetriebe gelisteten Unternehmen erreichte in Deutschland im Jahr 2014 einen Gesamtbetrag von 367,9 Milliarden Euro. Die Anzahl der in der Automobilindustrie beschäftigten Personen betrug 775.000¹. Die zum Betreiben der Automobile errichtete Infrastruktur hat das Landschafts- und Städtebild moderner Gesellschaften geprägt und stellt einen elementaren Baustein von Raum- und Städteplanungskonzepten dar. Im Jahr 2011 betrug die Gesamtlänge des österreichischen Straßennetzes 124.510 km. Davon entfielen 2.180 km auf Autobahnen und Schnellstraßen². Die Automotive Infrastruktur bildet die Grundlage für das Aufrechterhalten und den Ausbau von Logistikkonzepten für den Güter- und Personentransport.

Die Schaffung eines öffentlichen Bewusstseins für das Thema Nachhaltigkeit hat die Automobilindustrie als Leitindustrie hochentwickelter Staaten auf globaler Ebene erfasst. Seit 2010 ändert sich die Definition des Fahrzeugbegriffes. Das Fahrzeug wird nicht ausschließlich als Fortbewegungsmittel, sondern als Teil eines zusammenhängenden Systems gesehen. Das Fahrzeug übernimmt intelligente Aufgaben und steht mit seinem infrastrukturellen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Umfeld in Wechselwirkung.

Das Antriebskonzept von Fahrzeugen ist seit hundert Jahren unverändert geblieben. Die typischen, auf unseren Straßen bewegten Fahrzeuge verfügen über einen Verbrennungsmotor, ein Getriebe und ein Fahrwerk mit indirekt angetriebenen Rädern. Innovationen erfolgten während der letzten hundert Jahre in der Form, dass Teilbereiche von Systemkomponenten weiter entwickelt wurden. Der Fokus lag auf Effizienzsteigerung bei gleichbleibenden Grundfunktionen. Beispiele dafür sind:

- Karosserieoptimierungen zur Erhöhung der Crash-Sicherheit
- Allradantrieb
- Power Steering
- Treibstoffdirekteinspritzung.

Die Verantwortung für den Schutz der Umwelt und soziale Verantwortung sind in westlichen Industriestaaten fixe Bestandteile des Denkens. Dadurch muss sich die Automobilindustrie gesellschaftlicher Kritik stellen. Hauptangriffspunkte sind:

- die Umweltbelastung durch Autoabgase in Ballungszentren
- die Auslagerung von Produktionsstätten in Länder mit fehlenden Sozial- und Umweltstandards

¹ Vgl. Statista (2015)

² Vgl. BMVIT (2015)

- die Rezyklierbarkeit der Fahrzeuge nach deren Betriebsperiode
- die Verwendung von knappen Rohstoffen
- die Verwendung von Rohstoffen aus Krisenregionen.

Die Reduktion des von Fahrzeugen emittierten Kohlendioxid-Gases ist Gegenstand globaler Klimaschutzaktivitäten. Auf der Konferenz von Doha, Katar, wurde eine Verlängerung des Kyoto-Protokolls von 1997 bis zum Jahr 2020 beschlossen. Darin verpflichten sich die Mitgliedsstaaten, ihre Kohlendioxid-Emissionen bis zum Jahr 2020 um 20% zu reduzieren³.

Die Zielwerte für den CO₂ Ausstoß von Fahrzeugen mit Verbrennungskraftmaschinen sind in der Europäischen Union durch die Euro 6 Verordnung definiert und mit einer Zeitachse hinterlegt⁴. Für das Erreichen der Zielvorgaben wendet die Automobilindustrie zwei Strategien an:

- die Senkung des Kraftstoffverbrauches der Fahrzeugflotten durch Optimierung von Verbrennungskraftmaschinen
- die Entwicklung von Antriebstechnologien, die ihre Energie zum Bewegen des Fahrzeuges nicht mehr ausschließlich durch Verbrennung fossiler Brennstoffe erzeugen, sondern auf alternative Energiequellen zurückgreifen.

In Europa wurden im ersten Quartal 2015 mit Ausnahme der Schweiz und nordischer Staaten weniger als ein Prozent der Fahrzeuge durch alternative Energiequellen angetrieben⁵. Der bevorzugte Alternativantrieb ist elektrischer Natur. Die Entwicklung von Fahrzeugen mit rein elektrischem oder Hybrid-Antrieb steht im Fokus der Automobilindustrie. Der Kaufpreis eines Mittelklasse-Elektrofahrzeuges liegt ein Drittel über dem Kaufpreis eines vergleichbaren Fahrzeuges mit Verbrennungskraftmotor. 75% der Mehrkosten werden durch die Hochleistungs-Lithiumionenbatterie verursacht⁶. Die Lithiumionenbatterie, durch die ein Elektrofahrzeug angetrieben wird, gilt als Schlüsselkomponente der Automotiven Elektromobilität. Um den durchschnittlichen Verbrauch an fossilen Kraftstoffen in den Fahrzeugflotten der Original Equipment Manufacturers (OEMs) im Liter-Bereich⁷ zu senken, ist ein Ausrollen von Elektrofahrzeugen in Massenproduktion nötig. Die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen im Endkundenmarkt muss innerhalb eines Zeithorizonts von fünf Jahren durch staatliche Förderungen aufrechterhalten werden. Bis zum Jahr 2020 hat die Automobilindustrie folgende Aktivitäten zu priorisieren, um eine Gleichstellung von Elektrofahrzeugen mit konventionell angetriebenen Fahrzeugen zu erzielen:

- Senkung der Kosten für Automotive Antriebsbatterien
- Erhöhung der Fahrzeugreichweite auf mindestens 700 km pro Batterieladung
- Verkürzung der Ladezeiten
- Erhöhung der Batterielebensdauer

Durch die ständige Präsenz des Automobils in unserem täglichen, privaten und beruflichen Leben wird dieses als selbstverständlicher Bestandteil unserer Umwelt empfunden. Die

³ Vgl. COP (2012)

⁴ Vgl. EG 715 (2007)

⁵ Vgl. Sorge (2015)

⁶ Firmeninterne Quelle, nicht zitiert

⁷ Liter pro 100 km

Gewöhnung der Menschen an das Automobil führt dazu, dass Gefahren, die primär von bewegten Automobilen ausgehen, unterschätzt werden. Durch das Zusammenspiel und die komplexen Wechselwirkungen einer Vielzahl an Hardware- und Softwarekomponenten, Modulen und Systemen innerhalb der Plattform „Automobil“, sind Fahrzeuge statistisch betrachtet hoch fehleranfällig. Im Falle des Versagens kritischer Fahrzeug-Echtzeitsysteme geraten Verkehrsteilnehmer in lebensbedrohliche Situationen⁸. Zur Risikobewältigung verfügt die Automobilindustrie über branchenspezifische, standardisierte Instrumente für technisches Risikomanagement während des Fahrzeugentwicklungsprozesses.

Die Outputs und zeitlichen Abfolgen von Prozessen in einem Automotiven Entwicklungsprojekt sind in global standardisierten Regelwerken festgeschrieben und von Zulieferbetrieben verbindlich einzuhalten. Vor der Übergabe eines Fahrzeuges von der Entwicklungsabteilung an die Serienproduktion sind die Outputs des Entwicklungsprozesses schriftlich zu dokumentieren und freizugeben. Abweichungen von dieser Vorgehensweise sind nicht zulässig und bedürfen der Genehmigung durch den Kunden.

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Seit dem Jahr 2000 hat bei den Autoherstellern die Geschwindigkeit der Modellabfolgen konstant zugenommen. Dies hat dazu geführt, dass der für den Entwicklungs- und Industrialisierungsprozess zur Verfügung stehende Zeitraum auf unter zwei Jahre gedrückt werden musste. Aggressive Zeitpläne für mock ups setzen Zeiträume von unter 15 Monaten für die Projektplanung an. Gleichzeitig konnte eine Zunahme der Komplexität der Systemkomponenten und somit des Gesamtsystems Fahrzeug verzeichnet werden. Die Komplexität der Fahrzeuge ist als Funktion der Variantenvielfalt zu sehen und steigt exponentiell mit der Anzahl der Produkte⁹. Die derzeit von den OEMs angebotene Variantenvielfalt innerhalb der Hauptbaureihen gibt dem Endkunden die Möglichkeit, sein individuelles Fahrzeug zusammenzustellen (personalising). Daraus resultiert der Umstand, dass es unmöglich geworden ist, alle denkbaren Kombinationen von Grund- und Sonderausstattungen inklusive deren Wechselwirkung in Hardware zu validieren. Die OEMs beschränken sich auf die Validierung von sicherheitsrelevanten Elementen und die Validierung von kundenrelevanten Ausstattungen, für die das Marketing eine signifikante „take rate“ vorhersagt und die im Versagensfall zu einer deutlichen Verärgerung des Endkunden führen. Um diese Elemente herauszufiltern, bedient sich die Automobilindustrie unterschiedlicher Risikomanagementinstrumente. Zur Bewertung des Risikos für den Endkunden kommen die in der Automobilbranche etablierten Risikomanagementinstrumente FMEA oder die Potenzialanalyse nach VDA 6.3 zum Einsatz. Diese Instrumente zielen vorwiegend auf technisches Risikomanagement ab und hinterlassen Lücken in der Risikolandschaft von Entwicklungsprojekten.

Neben der Verkürzung der Produktentwicklungsphase und der Erhöhung der Fahrzeugkomplexität fand von 2005 bis 2015 eine Reduktion der Entwicklungs- und Fertigungstiefe in den Stammwerken der großen Automobilhersteller statt. Die Komplexität der

⁸ Vgl. Kaeding (2009), S.6

⁹ Vgl. Schneider et al. (2012), S.865

entwickelten Produkte wurde in der Lieferkette in Richtung der Urproduktion zu „Tier n“ verschoben. Der Vorteil für den Automobilhersteller besteht darin, nicht mehr eine große Anzahl von Komponenten, sondern nur noch eine gut überschaubare Anzahl an Subsystemen und Modulen entwickeln, verwalten und assemblieren zu müssen. Der Großteil der Entwicklungsleistungen findet heute nicht im Hause der Automobilhersteller, sondern bei Unterlieferanten statt. Diese sind auf die Entwicklung von Komponenten, Modulen und Teilsystemen spezialisiert. Durch die Verschiebung von Schlüsselaktivitäten in Richtung der Basis der Lieferkette hat das Lieferanten- und Unterlieferantenmanagement während der Automobilentwicklungsphase an Bedeutung gewonnen. Es muss sichergestellt werden, dass die von den Unterlieferanten entwickelten und gefertigten Kaufteile dem technischen Stand, und dem Image des Automobilherstellers (OEMs) entsprechen. Durch die Zunahme der Komplexität in der Supply Chain entstehen zusätzliche, durch die Arbeitsweise der Unterlieferanten bedingte Risiken für das Gesamtprojekt. Die Risiken können sich bis auf die Urproduktion erstrecken. Diesen muss mit geeigneten Risikomanagementinstrumenten entgegengewirkt werden. Diese Risikomanagementinstrumente werden von den Fachabteilungen „Supplier Quality Assurance“ (SQA) und „Engineering“ in der Organisation des Entwicklungspartners und vor Ort bei Unterlieferanten angewandt. Da sich nur zwei bis maximal drei Glieder der Lieferkette in der Reichweite dieses „Automobilradars“ befinden, bleiben darunter liegende Risiken unbeleuchtet. Dadurch können Situationen wie nach der Tsunami in Japan im Jahr 2011 entstehen, wodurch die Lieferkette von Elektronikbaugruppen durch Nicht-Verfügbarkeit elementarer Standard-Elektronikbauteile global zusammenbrach.

Neueste Entwicklungen zielen auf eine Integration der Fahrzeugflotte in ein „Internet der Dinge“ ab, in welchem mobile Einheiten einzeln und in Form von Schwärmen eigenständig und intelligent agieren können. Typische Arbeitsgebiete sind selbstfahrende Automobile und die Integration von batteriebetriebenen Fahrzeugen in elektrische „smart grids“. In smart grids kann überschüssige elektrische Energie aus schlecht steuerbaren Energiequellen wie Wind- und Solarstromgeneratoren in den Batterien der Elektrofahrzeuge gepuffert werden. Dafür ist es nötig, große Datenmengen zu erfassen, zu verarbeiten und zu übertragen (handling of big data). Firmen wie Apple und Google, deren Kernkompetenz in der Datenerfassung und in der intelligenten Datenverarbeitung liegt, planen den Eintritt in den Kreis der Automobilproduzenten mit Fokus auf urbaner Elektromobilität. Die profitablen, nicht Automotiven Kerngeschäfte dieser Firmen eröffnen Möglichkeiten zur Querfinanzierung. Die flexible Unternehmenskultur definiert deren Herangehensweise an Produktneuentwicklungen. Die Vorgehensmodelle zur Produktentwicklung unterscheiden sich signifikant von Automotiven Prozessen. Dadurch müssen sich die historisch etablierten Automobilproduzenten ab dem Jahr 2010 zunehmend einem asymmetrischen Wettbewerb stellen. Apple und Google erweitern ihr Portfolio um das Produkt „Elektrofahrzeug“. Klassische OEMs sind gezwungen, ihre Fahrzeuge um elektronische Komponenten für Entertainment, Kommunikation und Information und ihre Fahrzeugflotte um Elektrofahrzeuge zu erweitern.

Die zu exekutierenden, Automotiven Entwicklungsprozesse lassen den Entwicklungspartnern in der Automobilindustrie wenig bis keinen Spielraum für kreative Projektmanagementansätze. Die Entwicklungsprozesse sind so starr, dass sich diese nur eingeschränkt an Sonderanwendungen anpassen lassen. Die Tendenz zur Überregulierung wirkt sich sichtbar auf den Zeitrahmen aus,

der zum Abfahren eines Automotiven Entwicklungsprojekts benötigt wird. Entwickler fühlen sich durch das Regelwerk eingezwängt und in ihrer Kreativität beschnitten.

Werden in einem klassischen Automobilentwicklungsprojekt alle geforderten Aktivitäten nach den Vorgaben abgefahren, resultiert daraus eine Mindestprojektdauer von 30 Monaten. Sechs Monate entfallen auf die Vorkonzeptphase. Vierundzwanzig Monate entfallen auf die Entwicklungs- und Produktvalidierung bis zur Übergabe des Entwicklungsprojektes an die Serienproduktion. Nach Beginn der Serienproduktion (SOP) finden zur Risikobewältigung anlaufbegleitende Prozesse statt (safe launch plan). Nach dem Nachweis der Langzeit-Prozessfähigkeit der Serienproduktionsprozesse (drei Monate nach SOP) werden diese ausgesetzt.

Die aus Vorgehensmodellen für Automotive Entwicklungsprojekte ableitbaren, theoretischen Projektlaufzeiten kollidieren mit der Realität. Im Jahr 2015 betrug die Vorgabe an die Gesamtlaufzeit von Entwicklungsprojekten 12 bis 18 Monate¹⁰.

Die Analyse von ausgewählten Entwicklungsprojekten für innovative Systeme, Module und Komponenten im Bereich alternativer Antriebstechnologien¹¹ ergab, dass die klassischen, in der Automobilbranche etablierten, Instrumente des Projekt- und Risikomanagements versagen. Diese sind nicht effizient und flexibel genug, um in einem dynamischen Umfeld die nachhaltige Entwicklung von Organisationen in der Automobilindustrie zu unterstützen. Bestätigt wird dieser Umstand durch die signifikante Zunahme von Bauabweichungen. Dieses Managementinstrument wird eingesetzt, um bei nicht abgeschlossenen Produkt- und Prozessvalidierungen Verbau- und Auslieferungsfreigaben für entwickelte Produkte zu erteilen. In den Bauabweichungen sind Risikoanalysen enthalten, die das Vorgehen rechtfertigen. Während der Jahre 2005 bis 2011 existierte in einem Beispielbetrieb kein Entwicklungsprojekt im Bereich „Elektromobilität“, das ohne massive Verletzungen des vorgegebenen Standard-Automotive Prozessablaufes und der Ausstellung von Bauabweichungen verwirklicht werden konnte¹². Dieser Trend weitet sich seit dem Jahr 2013 auf Automotive Entwicklungsprojekte in klassische, von der Elektromobilität unabhängige Bereiche aus¹³. Für das Projekt- und Risikomanagement innovativer Entwicklungen im Bereich Elektromobilität wird zwingend erforderlich sein, die in der Automobilbranche etablierten Abläufe auf deren Aktualität zu überprüfen, neu zu überdenken und neu auszurichten.

In der Elektromobilität eröffnet sich daher eine Projekt- und Risikomanagementlandschaft, in der Produkte mit hohem Innovationsgrad, verdeckte Risiken in der Zulieferkette, ein nicht ausreichend vorhersagbares Langzeitverhalten von Schlüsselkomponenten, das einengende Automotive Regelwerk, ein nur auf technische Fakten bezogenes Risikomanagement und der auf durchschnittlich 18 Monate verkürzte Zeitrahmen für die Produktentwicklung in der Projektarena miteinander kollidieren.

¹⁰ Analyse von acht Entwicklungsprojekten (Angebotsphase)

¹¹ Vgl. Müllner (2015)

¹² Vgl. Müllner (2015), S.50ff

¹³ Vgl. Schwenk (2014), S.18ff

1.2 Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erarbeitung eines neuen, effizienten, zielgerichteten und dynamischen Vorgehensmodells für das Management Automotiver Entwicklungsprojekte. Es muss sich an den geänderten Umfeldbedingungen orientieren, unter welchen die Entwicklungspartner der Automobilproduzenten agieren. Standardisierte und streng geregelte Automotive Entwicklungsprozesse sollen derart modifiziert und vereinfacht werden, dass aus der Anwendung des neuen Vorgehensmodells eine Wertsteigerung für alle involvierten Stakeholder resultiert. Wenn Teile von klassischen Automotiven Prozessabläufen oder Instrumenten zur Wertsteigerung des Unternehmens beitragen, müssen diese an das neue Vorgehensmodell angekoppelt werden können. Das Modell soll speziell auf die Anwendung in Entwicklungsprojekten in der Elektromobilität maßgeschneidert werden. Es muss damit möglich sein, Vision, Mission und Leitbild des Unternehmens in Form eines Zielsystems in ein Entwicklungsprojekt zu übertragen und bis auf die Zahlenebene herunter zu brechen. Das Modell muss einem generischen Ansatz folgen und mit zertifizierten generischen Managementmodellen, die in den Organisationen der Entwicklungspartner etabliert sind, kompatibel sein. Die Strukturen des Managementsystems des Unternehmens müssen mit den Strukturen im Entwicklungsprojekt harmonisiert werden. Die Führungsprozesse des Unternehmens und die Führungsprozesse des Projektes müssen in konstruktiver Wechselwirkung stehen. Die Darstellung der Projektsituation auf der Zahlenebene muss dem Management als Instrument im Entscheidungsprozess dienen. Da zielgerichtete Projektentscheidungen in einem dynamischen Umfeld mit Risiko behaftet sind, muss dem Risikomanagement eine zentrale Rolle in dem neuen Vorgehensmodell zugewiesen werden. Zur Beherrschung und Bewältigung der Risiken soll ein zeitlich parallel ablaufender, an die Anforderungen von Entwicklungsprojekten für die Elektromobilität angepasster Risikomanagementprozess zum Einsatz gelangen, der mit dem Entwicklungsprojektmanagement verschränkt ist oder dies ersetzen kann. Im Risikomanagementprozess sollen nicht nur kundenbezogene Risiken (downstream), sondern auch Risiken in der Zulieferkette (upstream) erfasst werden. Aus dem Vorgehensmodell sollen für alle hierarchischen Ebenen (horizontal) und für alle Fachbereiche (vertikal) der Organisation maßgeschneiderte Instrumente für ein risikobasiertes Projektmanagement ableitbar sein. Die Information aus maßgeschneiderten Instrumenten muss zielbezogen und mit minimalem Aufwand zu einem Gesamtbild verdichtbar sein, um das Entwicklungsprojekt in einer holistischen Sichtweise abzubilden. Unterschiedliche Entwicklungsprojekte müssen in einem Unternehmen bewertbar und vergleichbar sein. Trotz der multiplen, multidimensionalen Anforderungen an das neue Vorgehensmodell soll dieses mit dem Anspruch auf Einfachheit gestaltet werden.

Um die Flexibilität und Wirksamkeit (Effektivität und Effizienz) des neuen Vorgehensmodells zu verifizieren, sollen die Kernelemente des Vorgehensmodells auf praktische Fallbeispiele in laufenden Entwicklungsprojekten angewandt werden.

Die Ausgangsbasis der Arbeit ist die Situation in Automotiven Entwicklungsprojekten in der Elektromobilität im Zeitraum 2005 bis 2015.

Forschungsfragen

Für die Implementierung eines risikobasierten Vorgehensmodells für das Management von Entwicklungsprojekten in der Elektromobilität müssen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Können die zur Zeit etablierten, klassischen Automotiven Musterphasen durch Anwendung eines neuen Vorgehensmodells aufgebrochen, abgeändert und verkürzt werden, ohne die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Zulieferteile und Produkte beim Endkunden zu beeinträchtigen?
- Ist für die Anwendung des Modells eine Modifikation der Aufbau- und Ablauforganisation des anwendenden Unternehmens erforderlich?
- Wie können Risiken im Produktentwicklungsprozess über die gesamte Supply Chain frühzeitig erkannt werden?
- Wie können Risiken standardisiert erfasst, gewichtet und mit den Unternehmenszielen harmonisiert werden?
- Wie können Risiken so verdichtet werden, dass diese dem Management als objektive Eingaben für Steuerungsentscheidungen im Entwicklungsprojekt dienlich sind?
- Wie kann die Komplexität der entwickelten Produkte und der begleitenden Prozesse im Interesse der Wertsteigerung für das Unternehmen nachhaltig gesenkt werden?
- Kann das klassische, durch Standardwerke wie APQP vorgegebene Entwicklungsprojektmanagement durch ein Vorgehensmodell für risikobasiertes Projektmanagement ersetzt werden?
- Kann das Vorgehensmodell auf alle / von allen Ebenen der Supply Chain als auch vom Kunden angewandt werden, um die gesamte Risikolandschaft eines Entwicklungsprojektes abzubilden?
- Kann das neue, risikobasierte Vorgehensmodell für das Management von Entwicklungsprojekten in der Elektromobilität auch für Nicht-Automotive Problemstellungen angewandt werden?
- Kann das Vorgehensmodell so einfach gestaltet werden, dass die Effizienz der Organisation durch Freisetzen von Ressourcen verbessert wird?

1.3 Methodische Vorgehensweise

Die Ableitung und Definition der zu behandelnden Problemlandschaft erfolgt **deduktiv** aus der Projektdokumentation abgeschlossener und laufender Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität. Ergänzend erfolgen Experteninterviews und das Einbringen persönlicher Erfahrung bei der Führung kritischer, in einem internationalen Umfeld agierender Lieferanten für

Schlüsselkomponenten von Hybridbatterien¹⁴. Aus der Analyse der Problemlandschaft werden die Forschungsfragen theoretisch beantwortet.

Unter Einbeziehen fachübergreifender Literatur und interdisziplinären Denkens wird auf der Meta-Ebene **induktiv** ein grob strukturiertes Gedankenmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement erstellt. Parallel zur Ausarbeitung des Gedankenmodells wird dieses unter Anwendung der **Action Research Methodik**¹⁵ auf Fragestellungen in laufenden Entwicklungsprojekten im Bereich Elektromobilität angewandt.

Die **Erprobung** der Wirksamkeit des Modells erfolgt auf der **Arbeitsebene** in Form von praktischen Fallstudien, die Teilaspekte des Vorgehensmodells validieren. Parallel zur Erprobung wird das Vorgehensmodell weiterentwickelt, verfeinert und erneut validiert.

Ein Überblick über die zeitliche Abfolge der angewandten Methoden ist in Abb.1 dargestellt.

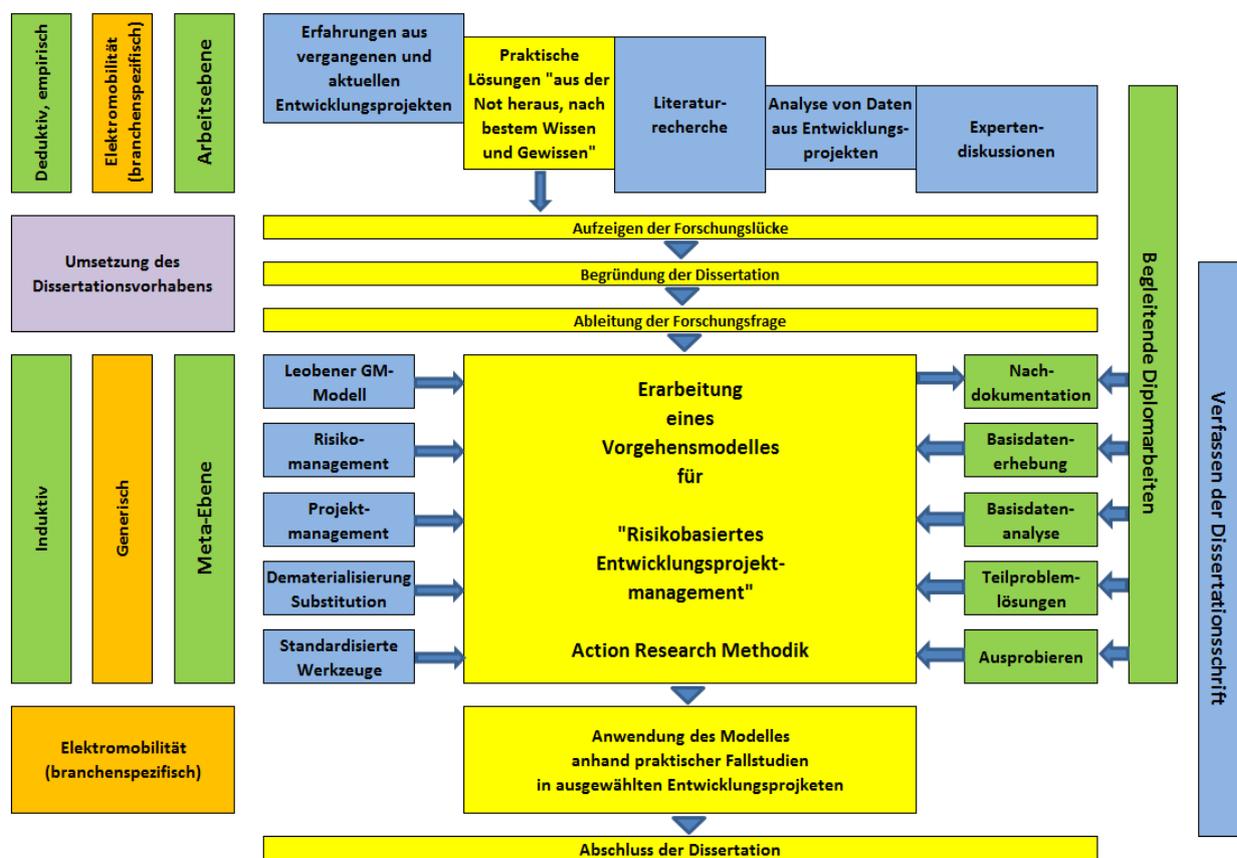


Abbildung 1: Methodische Vorgehensweise¹⁶

1.4 Aufbau der Arbeit

Im ersten Abschnitt werden die aktuelle Stellung und die Problemlandschaft in der Elektromobilität erläutert. Forschungsfragen werden abgeleitet und die methodische Vorgehensweise bei der Problemlösung dargestellt.

¹⁴ Vgl. Müllner (2015)

¹⁵ Vgl. Kemmis (2007), S.7f

¹⁶ Begleitende Masterarbeiten: Müllner (2015), Janosch (2011)

Im zweiten Abschnitt erfolgt die Erklärung der standardisierten Projekt- und Risikomanagementinstrumente, die im Rahmen eines Automotiven Entwicklungsprojekts in der Elektromobilität zum Einsatz kommen. Die Erklärung bezieht sich auf den Idealzustand (Zielzustand). Dazu wird die Automotive Einteilung der entwickelten Hardware basierend auf deren Reifegrad erläutert. Danach erfolgt eine ausführliche Abhandlung der Entwicklungsprozesse in einem Automotiven Entwicklungsprojekt. Diese stützt sich auf international standardisierte, Automotive Vorgehensmodelle. Die Vorgehensmodelle unterteilen das Entwicklungsprojekt in hardwarebezogene Musterphasen. Das Bild eines Automotiven Entwicklungsprojekts wird durch die Beschreibung der Projekt-Aufbauorganisation vervollständigt. Parallel zur Beschreibung der idealen Abläufe wird die reale Situation in Entwicklungsprojekten analysiert und den Idealabläufen gegenübergestellt. Die Beschreibung der Realsituation basiert auf praktischen Fallstudien in Entwicklungsprojekten für die Elektromobilität. Die Fallstudien stammen aus einem weltweit tätigen, bekannten Automobilzulieferkonzern mit Stellung „Tier 0,5 bis Tier 1“¹⁷ zu international tätigen Premium-OEMs. Durch die Fallbeispiele wird nachgewiesen, dass die heute angewandten, standardisierten Projektmeilensteinketten und deren begleitende Instrumente zur Risikominimierung nur noch bedingt dafür geeignet sind, Elektrofahrzeugs-Entwicklungsprojekte über die Lieferkette effizient zu steuern.

Im dritten Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen des neuen, risikobasierten Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement in der Elektromobilität erarbeitet. Diese bilden die Kernelemente des Vorgehensmodells. Für das neue Modell wird ein systemtheoretischer Ansatz gewählt, der sich an der Struktur der Systemelemente orientiert, die zu optimieren sind. Danach erfolgen die Abhandlung wissenschaftlicher Modelle und die Auswahl geeigneter Modelltypen, mit welchen der neue, risikobasierte Ansatz abgebildet werden kann. In einem Modell zur Durchführung eines Entwicklungsprojekts müssen Entscheidungen getroffen werden. Zum Verständnis der Strukturierung von Entscheidungen werden Instrumente der Entscheidungstheorie einbezogen. Ein neues Vorgehensmodell erfordert die Anpassung der Aufbau- und Ablauforganisation eines Unternehmens. Dafür werden die theoretischen Grundlagen von Organisationsdesign und Managementmodellen erläutert. Die Aspekte „Effektivität“ und „Effizienz“ werden der Aufbau- und Ablauforganisation zugeordnet. Es erfolgt die Würdigung generischer Managementmodelle zum effektiven und effizienten Führen von Organisationen. Den Abschluss des dritten Abschnitts bildet die theoretische Beschreibung von Instrumenten und Modellen zum Risikomanagement. Der Risikomanagementprozess wird in ein generisches Managementmodell eingebunden. Dabei erfolgt die Erweiterung technischer Risikomanagementmodelle um ein Risikomanagementmodell aus der Finanzwirtschaft.

Im vierten Abschnitt wird ein flexibel anwendbares, zielgerichtetes, effizientes und dynamisches Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement erarbeitet. Es verknüpft in Anlehnung an die Six Sigma Methodologie etablierte Instrumente des Projekt- und Risikomanagements mit neuen Managementansätzen. Dabei wird explizit auf die mit dem Eingehen von Wagnissen verknüpften Chancen verwiesen. Am Beginn werden die

¹⁷ Tier 0,5: Der Konzern entwickelt und produziert Gesamtfahrzeuge im Auftrag von OEMs, besitzt aber keine eigene Automobilmärke

Grundbauelemente des Vorgehensmodells erläutert. Danach wird spezifiziert, unter welchen Rahmenbedingungen das Vorgehensmodell anwendbar ist. Das Modell wird anschließend in Form eines Prozessablaufplans (process flowchat) dargestellt. Für die Anwendung des neuen Vorgehensmodells müssen die Struktur des Entwicklungsprojekts, die Projektorganisation und die Entwicklungsprozesse ein Redesign erfahren. Die detaillierte Beschreibung der Elemente des neuen Vorgehensmodells bildet den Abschluss des Abschnitts.

Im fünften Abschnitt erfolgt die Validierung des Vorgehensmodells. Dies geschieht nicht in einem alleinstehenden, sondern in mehreren Entwicklungsprojekten mit unterschiedlichem Projektfortschritt. Da während der Verifizierungsphase in den ausgewählten Projekten unterschiedliche Produktreifegrade zeitgleich koexistierten, kann der Zeitrahmen für die Validierung gerafft werden. Die Instrumente des Vorgehensmodells kommen in isolierten und in abteilungsübergreifenden Gremien zur Anwendung. Durch die Fallstudien werden die Flexibilität, die Stakeholderorientierung und die Wertsteigerungen für Organisationen, welche das Vorgehensmodell zur Anwendung bringen, illustriert.

Das sechste Kapitel fasst die Erkenntnisse der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen bei der Anwendung eines risikobasierten Entwicklungsprojektmanagement-Ansatzes. Darin sind Risiken und Empfehlungen enthalten.

2 Automotive Entwicklungsprojekte

Der Ablauf Automotiver Entwicklungsprojekte ist global standardisiert und in Automotiven Regelwerken festgelegt, die für Zulieferbetriebe verbindlich sind. Die Projektstruktur basiert auf den Eigenschaften der entwickelten Hardware. Die entwickelte Hardware kann mit Hilfe einer Entscheidungstabelle (vgl. Tab.1) bewertet und einer Musterklasse zugeordnet werden. Ein Automotives Entwicklungsprojekt weist drei koexistente Dimensionen auf:

- Der zunehmende Reifegrad der zu entwickelnden Hardware wird in Form einer Meilensteinkette dargestellt. Die von Meilensteinen begrenzten Projektphasen werden als Musterphasen bezeichnet.
- Die Meilensteinkette mit ihren Musterphasen bildet das Zeitgerüst für den Automotiven Produktentwicklungsprozess und dessen Sub-Prozesse. Die Sub-Prozesse laufen parallel und sequentiell ab.
- Der Automotive Entwicklungsprozess mit seinen Sub-Prozessen wird auf die Organisation des mit der Produktentwicklung beauftragten Partners (Zulieferbetriebes) abgebildet.

2.1 Automotive Muster

Die auf dem Hardware-Reifegrad und der Hardware-Validierungstiefe basierenden Musterphasen eines Automotiven Entwicklungsprojekts werden mit Großbuchstaben bezeichnet. Mit aufsteigender alphabetischer Reihenfolge erhöht sich die Produktreife bis zum Erreichen des Hardware-Standes, der in der Serienproduktion in Endkundenfahrzeugen verbaut wird.

A-Muster

A-Muster müssen zum Testen von Kunden-Basisfunktionen geeignet sein. Die Produktion erfolgt in hausinternen Fachabteilungen und/oder von spezialisierten externen Zulieferanten. 95% der A-Muster werden in Rapid-Prototyping-Technologie angefertigt. Beispiele für Rapid-Prototyping-Technologien sind:

- Stereolithographie
- 3D-Druck
- Freier Aufbau und freie Verdrahtung von elektrischen und elektronischen Bauteilen
- Laserbeschnitt und Hand-Umformen
- Abguss in Silikonformen

Das optische Erscheinungsbild der Aufbauten ist irrelevant. Die typische Stückzahl für A-Muster liegt bei 5-20. A-Muster sind nicht dafür geeignet, außerhalb geschützter Bereiche eingesetzt zu werden, da sicherheitsrelevante Funktionen nicht erfüllt sind.

B-Muster

B-Muster müssen Serien-Design aufweisen und dafür geeignet sein, durch Produkterprobungen die Erfüllung der Lastenheftforderungen zu belegen. B-Muster Komponenten stammen aus Hilfswerkzeugen und müssen nicht zu 100% aus Serien-Werkstoffen bestehen. Hilfswerkzeuge sind:

- Aluminium-Spritzgusswerkzeuge
- Flexible Umformmaschinen

B-Musterbaugruppen (aus B-Musterkomponenten zusammengesetzte Module und Systeme) werden in seriennahen Prototypen-Produktionslinien hergestellt. Die Produktions- und Prüfbedingungen sind im Produktlenkungsplan¹⁸ (Control plan¹⁹) definiert. Typische Produktionsstückzahlen liegen zwischen 20 und 100.

C-Muster

C-Muster müssen dasselbe Design aufweisen wie B-Muster. B-Muster Komponenten stammen aus Serienwerkzeugen und müssen aus denselben Materialien bestehen, wie diese in der Serienproduktion zum Einsatz kommen. Beispiele für Serienwerkzeuge sind:

- Gehärtete Metall-Druckguss- oder Kunststoff-Spritzgusswerkzeuge
- Folgeverbundwerkzeuge für Stanzen und Umformen von Blechen

Sie müssen für die Herstellung von C-Muster-Modulen und -Systemen zum Verbau auf Serien-Produktionslinien geeignet sein. Die Produktionslinien für C-Muster müssen dem Serienstand entsprechen. Die Verkettung und Taktung der Prozesse in der Produktionslinie ist nicht gefordert. Typische Stückzahlen liegen zwischen 100 und 500.

D-Muster

D-Muster entsprechen dem Hardwarestand, der in Endkundenfahrzeugen verbaut wird. Sie stammen von Serienproduktionslinien und müssen folgende Eigenschaften aufweisen:

- Serien-Materialien
- Ur- und umgeformte Komponenten aus Serienwerkzeugen
- Unter Serienbedingungen gefertigt

Komponenten, Module und Systeme mit D-Musterstand müssen zur Durchführung eines Testablaufes zur Produktvalidierung geeignet sein. Typische Produktionsstückzahlen für D-Muster liegen zwischen 500 und 3000.

E(P)-Muster

E(P)-Muster haben dieselbe Hardware-Reife wie D-Muster. Die Produktion von E-Mustern erfolgt auf Serienproduktionslinien in kontinuierlichem Betrieb gemäß der Abrufe des Kunden.

¹⁸ Vgl. Magna N85192 (2009), S.4ff

¹⁹ Vgl. APQP (2009), S.19

Mischverbauten

Unter Mischverbauten wird in der Automobilindustrie die Kombination von Komponenten unterschiedlicher Hardware-Reife zu Modulen, Systemen und Gesamtfahrzeugen verstanden. Die Hardware mit dem geringsten Reifegrad definiert die Nomenklatur der Muster. Kommt in einer Baugruppe B- und C-Muster-Hardware zum Einsatz, wird die Gesamtbaugruppe als B-Muster bezeichnet.

Tabelle 1: Anforderungen an Produkte unterschiedlichen Reifegrades in Magna²⁰

Sample-Category	Use / Purpose	Quality	Manufacturing	Conditions for approval	Testing
A	First build up of the concept in hardware for the representation of the customer related functions. Object for FMEA.	Customer related functions confirmed. Deviations to specification / functional restrictions are stated in the test report.	Hand-work, special manufacturing, modified processes. Partly alternative materials. Rapid prototyping parts. Tacking according internat. standards.	100% testing of characteristics defined in the prototype control plan	Start of testing at MAGNA in special environment with qualified staff.
B	Final hardware. Used for DV testing in an extent that the release of the series tools manufacturing can take place.	Functions confirmed. DV test finalized with positive results. Reliability and lifetime confirmed with defined confidence. Surface not finalized in tools. Deviations to specification / functional restrictions are stated in the test report.	Series related PT building, auxiliary tools (e.g. aluminum or unhardened steel) and auxiliary devices / fixtures. Target: 100% final material.	100% testing of characteristics defined in the prototype control plan. Prototype process flow chart and control plan supplied	Design verification Testing in vehicles. Defined restrictions for operating
C	Confirmation of final design with parts off tools. Samples for building up the assembly line. Internal release of production process at supplier	Same as B. All functions of the hardware according specification confirmed. Can be flashed in serial production process	100% off tool (not hardened) 100% final material Start-up of series process in series production site	100% testing of characteristics defined in the series control plan. Series process flow chart and control plan supplied	Testing with parts off serial tools. Testing in vehicles. Defined restrictions for operating
D	PV testing PPAP parts Run at rate Release / approval	Same as C Reliability and lifetime confirmed Short-term process capability confirmed. Parts marked like parts from serial production.	100% final process at 100% cycle time 100% final tools 100% final material 100% series staff 100% series packing MSA done; IMDS done Parts from / after run@rate	Documentation for process and product approval completed	Product validation Assembly in pre-series vehicles
Series P	Serial production Continuous Conformity Testing	Same as D confirmation of long term process capability	Same as D	Same as D confirmation of long term process capability	Assembly in serial vehicles for the customer

²⁰ Zit.: Valentini et al. (2007), S.11

2.2 Automotive Entwicklungsprozesse und deren Risiken

In einem Automotiven Entwicklungsprojekt durchläuft das zu entwickelnde Produkt vier, durch den Hardware-Reifegrad (Musterdefinition) strukturierte Phasen. Die zeitliche Abfolge, messbare Eingabegrößen, die messbare Wertschöpfung, messbare Ausgabegrößen und die Zusammenhänge zwischen den Aktivitäten beim Durchlaufen der Musterphasen definieren den Produktentwicklungsprozess im Entwicklungsprojekt. Eine deutliche Abgrenzung zwischen Automotiven Musterphasen, dem Produktentwicklungsprozess und dem Entwicklungsprojekt-Terminplan ist nicht möglich. Der Produktentwicklungsprozess (Produktentstehungsprozess) ist in der Automobilindustrie standardisiert.

Der Beginn der A-Musterphase bildet die Abgrenzung des Entwicklungsprojekts zur Vorentwicklung. Das Ende der D-Musterphase markiert die Übergabe der entwickelten Hardware an die Serienproduktion (vgl. Tab.2). Zum positiven Abschluss einer Musterphase müssen die in standardisierten Meilenstein-Checklisten definierten Inhalte abgearbeitet sein. Am Ende jeder Projektphase findet nach der Stage Gate²¹ Methodologie ein „Tollgate Review“ statt, in dem Projektmanagement und Geschäftsführung entscheiden, ob das Entwicklungsprojekt in die nächsthöhere Musterphase eintreten darf. Bei Zielabweichungen ist das Projektmanagement autorisiert, Abweicherlaubnisse zu erlassen. Eine Abweicherlaubnis (build deviation) ermöglicht den Eintritt des Entwicklungsprojekts in die nächste Musterphase trotz geringerer Hardware-Reife. Eine technische Risikobewertung bildet die Grundlage für die Genehmigung einer Abweicherlaubnis.

Tabelle 2: Automotive Musterphasen im Überblick

<i>Produktentwicklungszyklus in der Automobilindustrie basierend auf Produkt-Reifegrad</i>						
<i>Muster- phase</i>	<i>Vor-konzept- phase</i>	<i>Produktentwicklungsphase</i>				<i>Serien- produktion</i>
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	
<i>Abteilung, Team</i>	<i>Vorent- wicklungs- abteilung</i>	<i>Simultaneous Engineering Team (SE team)</i>				<i>Fertigung</i>
<i>"Phase Exit" Kriterium</i>	<i>Vorent- wicklung dokumen- tiert</i>	<i>Konzept bestätigt</i>	<i>Design bestätigt, Bauteile aus Serien- werkzeugen verfügbar</i>	<i>Serien- prozeß- freigabe (PSO) erfolgt</i>	<i>Produkt validiert, Erstbe- musterung (PPAP) abge- schlossen</i>	<i>Zielszenario</i>

²¹ Vgl. Cooper (2014), p.20ff

Für Entwicklungsprojekte im anglo-amerikanischen Kulturkreis kommt der APQP-Prozess²² zum Einsatz. APQP steht für „Advanced Product Quality Planning“. Der APQP-Prozess hat den Charakter eines Vorgehensmodells, das von den amerikanischen „Big Three“ Chrysler, Ford und General Motors erarbeitet wurde. Die Prozesse im Entwicklungsprojekt sind mit dem Hardware-Reifegrad (Musterphasen) und dem Projektterminplan verschmolzen (vgl. Abb.2).

PRODUCT QUALITY PLANNING TIMING CHART

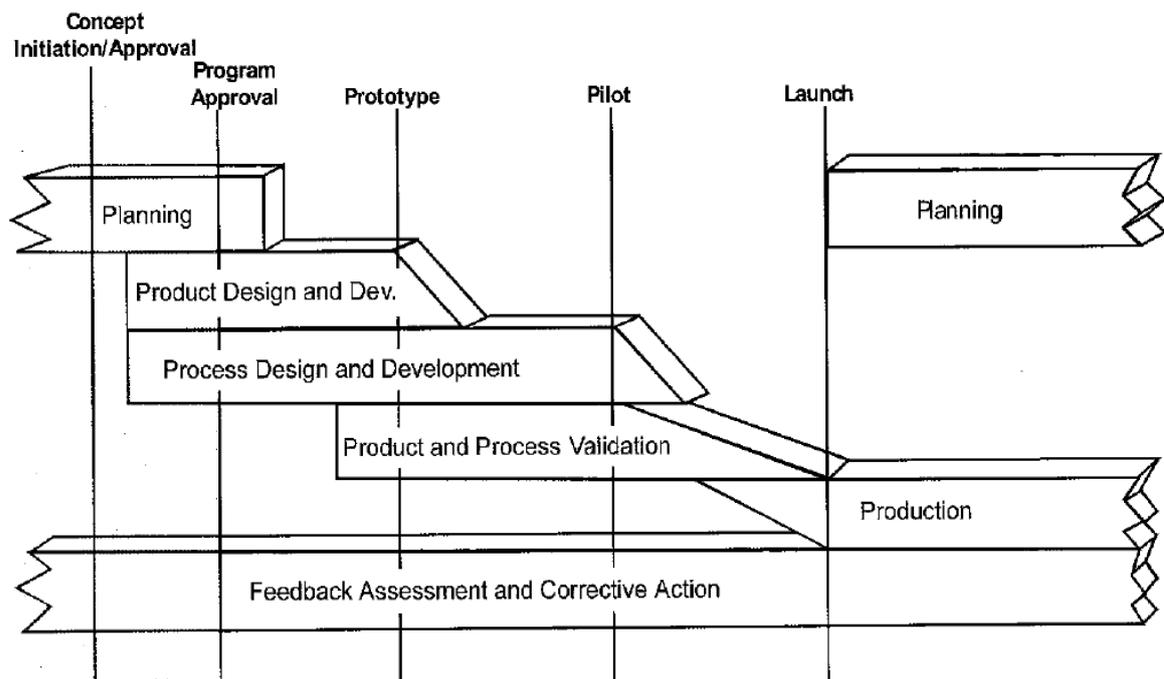


Abbildung 2: Der Produktentwicklungsprozess nach APQP²³

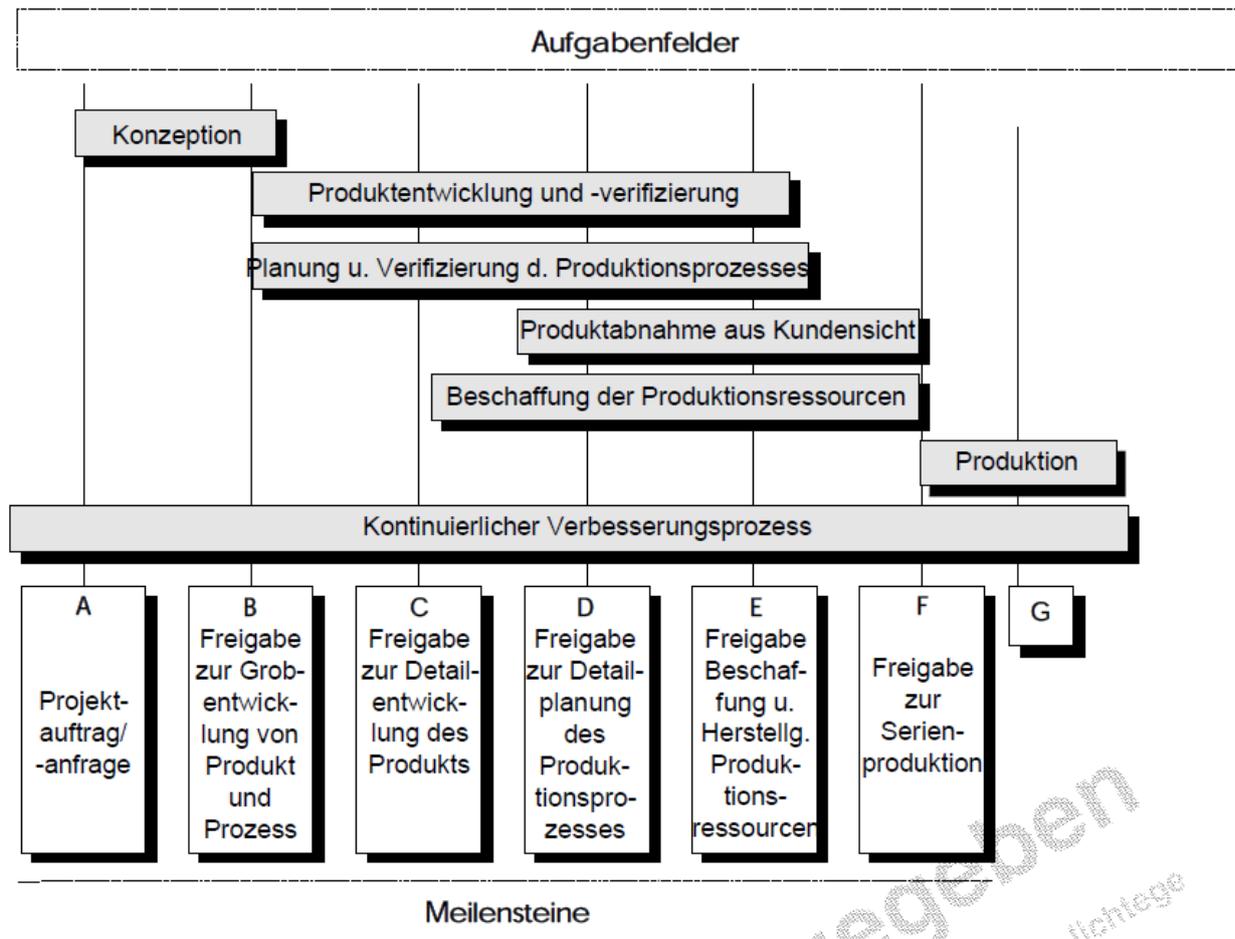
Für Zulieferbetriebe europäischer Lieferanten gelten die Vorgaben des Verbands der Automobilindustrie (VDA)²⁴. Die Überlagerung von Musterphasen, Entwicklungsprozessen und der Zeitachse im Entwicklungsprojekt-Terminplan erfolgt analog zur APQP-Systematik (vgl. Abb.3).

Die Bezeichnungen der Musterphasen können gemäß dem angewandten Vorgehensmodell von den in dieser Arbeit gewählten Bezeichnungen abweichen. Die in der vorliegenden Arbeit gewählten Bezeichnungen werden von allen Kulturkreisen gleich verstanden und sind präzise definiert (vgl. Tab.1).

²² Vgl. APQP (2008)

²³ Vgl. APQP (2008), S.8

²⁴ Vgl. VDA (1998), Band 4.3

Abbildung 3: Ablaufplan eines Entwicklungsprojektes nach VDA²⁵

Vorentwicklungsprozess

Automotive Vorentwicklungsprozesse sind in der Elektromobilität nicht standardisiert. Vorentwicklungsaktivitäten werden basierend auf Marktforschungen, Feldstudien und Kundenzufriedenheitsauswertungen (z.B.: „JD Powers“) initiiert. Kundenwünsche werden unter Anwendung des Six Sigma Werkzeuges „Voice of the Customer“ (VOC)²⁶ in technische Anforderungen umgewandelt. Die oberste Leitung eines Unternehmens entscheidet, welche Vorentwicklungsthemen in ein Vorentwicklungsprojekt überführt werden. Die Konformität eines Vorentwicklungsthemas mit der mittel- bis langfristigen strategischen Planung des Unternehmens ist für die Projektvergabe entscheidend. Vorentwicklungsprojekte stellen die Grundfunktionalitäten von neuen Komponenten, Modulen und Systemen in Hard- und Software dar. Die Hard- und Softwarekomponenten müssen nicht aus Automotiven Produktionsprozessen stammen. Komponenten werden in Form freier Aufbauten in Laborumgebung zu Modulen und Systemen kombiniert.

Am Projektende wird die technische Spezifikation der entwickelten Baugruppe erstellt und freigegeben.

²⁵ Zit.: VDA Band 4.3 (1998), S.14

²⁶ Vgl. Breyfogle (2003) S. 52ff

Die Problematik der Vorentwicklungsphase besteht im Inseldenen der Vorentwicklungsabteilungen.

Aspekte der Herstellbarkeit in der Serienproduktion werden unzureichend berücksichtigt.

Das Risikomanagement in der Vorentwicklung zielt ausschließlich auf den Arbeitsschutz ab. Technisches Risikomanagement ist rudimentär vorhanden. Risiken aus nicht-technischen Aspekten des Umfeldes einer Serienproduktion werden nicht berücksichtigt.

- **Die zunehmende Bedeutung der Vorentwicklung**

Die klassischen, am Automotiven Markt seit mehr als 50 Jahren etablierten Fahrzeugproduzenten wie BMW, Chrysler, Daimler, General Motors, Ford und die Volkswagen-Gruppe kamen ab der Jahrtausendwende durch die aggressiven Wirtschaftsstrategien von Tiger und Schwellenländern aus dem Fernen Osten zunehmend unter Zeit- und Innovationsdruck. Die schrittweise Öffnung des chinesischen Marktes hat durch das gleichzeitige, staatlich geförderte Entstehen chinesischer Groß-OEMs zur Bedienung des Binnenmarktes dazu geführt, dass die Verkaufsprognosen der klassischen OEMs am chinesischen Markt signifikant verfehlt wurden. Tiger- und Schwellenländer konnten ihren Marktanteil an produzierten Fahrzeugen vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2014 von 7,8 auf 34,2 % steigern. Dies entspricht einer Vervierfachung des Produktionsvolumens²⁷. Asiatische Tiger und Schwellenländer nehmen zusammen mit Japan eine Vorreiterrolle in der Elektromobilität ein. Beim Ausrollen der Versuchsflotten steht der Zeitfaktor im Vordergrund. Risiken werden zu Gunsten des Erfahrungsgewinnes bei der Industrialisierung und Felderprobung neuer Fahrzeuggenerationen in Kauf genommen. Die Gesetzgebung, welche ausländischen Automobilproduzenten den Eintritt in den chinesischen Markt erschwert (z.B.: China RoHS²⁸, Forderungen nach „local content“) fördert staatsnahe lokale OEMs und verzerrt den Wettbewerb. Zusätzlich zu einer ungünstigen Situation im Wachstumsmarkt China, fördert der gesättigte Markt in Europa und den USA den Verdrängungswettbewerb und erhöht den Marktdruck.

Daraus entsteht der Zwang für die am Markt etablierten Automobilentwickler und Produzenten, die eigene Automobilmarke von den Mitbewerbern deutlich zu differenzieren. Die Endverbraucher müssen durch Alleinstellungsmerkmale für die eigene Marke gewonnen und langfristig gebunden werden.

Der Strategie wird entsprochen, indem durch die OEMs immer komplexere Fahrzeuge mit zusätzlicher Möglichkeit zur Personalisierung und Individualisierung in schneller Modellabfolge auf den Markt gebracht werden.

Die Umweltgesetzgebung in Europa, Japan und den USA zwingt die Automobilentwickler zur Einhaltung strikter Emissionsziele. Diese sind nur durch Innovationen bei Verbrennungskraftmaschinen und zusätzliche Implementierung von vollelektrischen oder Hybridfahrzeugen, die alternative Energien nutzen, zu erreichen. Dafür ist praxisnahe Grundlagenforschung mit Anwendung der Ergebnisse in Vorentwicklungsprojekten zwingend erforderlich.

²⁷ Vgl. OICA (2015), elektronische Quelle

²⁸ Vgl. China RoHS (2016), S.7ff

A-Muster Prozesse

Das Ziel der A-Musterphase ist die Darstellung kundenrelevanter Forderungen in Hardware. Nach Eingang des Entwicklungsauftrags eines Kunden wird ein Automotives Entwicklungsprojekt etabliert. In der A-Musterphase wird die Produktdokumentation aus der Vorentwicklung mit der Kundenspezifikation zu einem Produktlastenheft verschmolzen. Dieses bildet die Basis für Produktentwicklung und Produktvalidierung.

Der Schwerpunkt liegt auf der Funktion des Produktes, nicht auf dessen Anpassung an die Fahrzeuggeometrie. Kundenrelevante Funktionen werden in Prüflabors getestet und nach Automotiven Vorgaben²⁹ dokumentiert. Die technische Dokumentation der Ergebnisse der A-Musterphase ist die Grundlage für das technische, Automotive Risikomanagement. Sie bildet die Grundlage für die Konstruktions-FMEA (Design-FMEA).

Wie in der Vorentwicklung sind das nicht-technische Risikomanagement und die Herstellbarkeit des Produktes gering priorisiert.

B-Muster Prozesse

Die Entwicklungsprozess-Ziele der B-Musterphase sind:

- Die Erstellung des an die Fahrzeugschnittstellen angepassten Serien-Designs
- Die technische Risikobewertung des Produktdesigns
- Die Darstellung des Seriendesigns in funktionaler Hardware
- Die Bestätigung der Funktionen aus dem Produktlastenheft

In der B-Musterphase wird das A-Muster-Design nach Automotiven Richtlinien modifiziert, bis dies dem Serien-Design des Produktes entspricht und alle Aspekte der Kundenspezifikation erfüllt. Dabei werden die Methoden Design for Manufacturing³⁰, Design for Six Sigma³¹, Design to Cost und Design for Quality angewandt.

Das in der B-Musterphase konstruierte Design bestimmt die Komplexität des Produktes. Die Komplexität des Produktes definiert dessen Kosten und Risikopotenzial in der Serienproduktion und beim Endanwender (Autofahrer). Die B-Musterphase stellt die wichtigste Projektphase dar. Ist das Design des Produktes zu 80% festgelegt, wird zur Ermittlung des designbedingten technischen Risikos eine Design-FMEA³² durchgeführt. Nach dem Einfließen der Maßnahmen aus der Design-FMEA wird ein Änderungs-Stopp verhängt.

Ein Teil der B-Muster durchläuft eine Testabfolge, die die Konformität des Produktes mit der Produktspezifikation bestätigt. Diese Testabfolge und die Dokumentation der Ergebnisse wird

²⁹ Vgl. VDA Bd1 (2008), S.4ff

³⁰ Vgl. Anderson (2014), S.3ff

³¹ Vgl. VDA Ringbuch (2011), S.4ff

³² Vgl. FMEA (2008)

als „Design Verification of Product and Report“ (DVP&R)³³ oder als Design Verification Testing (DV Testing) bezeichnet.

Nach positivem Abschluss des DVP&R wird das Produktdesign fixiert (design freeze). Danach werden Serienwerkzeuge zur Erstellung der Urform von Komponenten produziert, aus denen das Endprodukt aufgebaut ist. Der Übergang zur C-Musterphase findet mit der Inbetriebnahme der Serienwerkzeuge statt.

- **Das Risiko „Über-Innovation“ in der B-Musterphase**

Vom Jahr 1955 bis zum Jahr 2011 versechsfachte sich die Anzahl der an Unternehmen gestellten Leistungsanforderungen, während sich der damit verbundene Grad der organisatorischen Komplexität in den Unternehmen um den Faktor 35 steigerte³⁴. Die Analyse der Zunahme von für den Endverbraucher beim Fahrzeugkauf verfügbaren KFZ Varianten zeigt einen linearen bis exponentiellen Anstieg. Die Anzahl der im elektrisch-elektronischen Bordnetz miteinander verknüpften Komponenten stieg im Beobachtungszeitraum von 2000 bis 2010 mit Extrapolation auf 2015 in Fahrzeugen eines deutschen Premium-Automobilherstellers von 30 auf 90. Die Anzahl der für die Vernetzung der Steuergeräte nötigen Datenbusse stieg im selben Zeitraum von durchschnittlich 5 auf durchschnittlich 35³⁵.

Es ist festzustellen, dass Produkte zunehmend „von Technikern für Techniker“ entwickelt werden. Automobilentwickler neigen ohne Lenkung zur Überinnovation und tragen dadurch zur Überkomplexität des Systems Fahrzeug bei. Die Überkomplexität ist für den Endverbraucher nicht offensichtlich. Eine überkomplexe Konstruktion führt gepaart mit Überinnovation zu einer Erhöhung der Fehleranfälligkeit der entwickelten Produkte. Die Erhöhung der Komplexität bedingt die Zunahme der Systemvarietät.

Nach dem Gesetz von Ashby (law of requisite variety) muss die Varietät eines regulierenden Systems größer sein als die Varietät des Systems, welches reguliert werden soll³⁶. Demnach ist für ein System der Varietät „n“ ein Steuerungs- und Überwachungssystem der Varietät „n+1“ zu etablieren, um das System unter Kontrolle zu halten. Im Falle der Erhöhung der Komplexität zweier zu überwachender Schlüsselkomponenten von „n“ auf „n+1“ bedeutet dies eine, durch exponentiell steigende Interaktionsmöglichkeiten bedingte Zunahme der Gesamtsystemvarietät. Im Falle einer elektronischen Überwachung resultiert dies in einer Erhöhung der Komplexität der Steuerungssoftware auf den Grad „n+2“ bis „n+3“.

In Abb.4 ist das Cockpit eines Junkers Ju-52 Passagierflugzeugs aus dem Jahr 1937 mit dem Cockpit eines Mittelklasse-PKWs (Grundausrüstung) aus dem Jahr 2015 verschmolzen. Zusätzlich zu den sichtbaren Bedienelementen des PKWs verfügt das Fahrzeug über mehrschichtige Softwaremenüs zur Fahrzeugkonfiguration und Aktivierung von Funktionen. Die einem modernen Autofahrer zugemutete Komplexität übertrifft die Anforderungen an einen Piloten vor drei Generationen.

³³ Vgl. APQP (2008), S.19, S.92

³⁴ Vgl. Morieux (2011), S.46

³⁵ Vgl. Jaensch (2010), S. 4

³⁶ Vgl. Ashby (1956), S. 124ff



Abbildung 4: Komplexität am Beispiel von Cockpits³⁷

- **Das Risiko nicht vollständiger Produktvalidierungen in der B-Musterphase**

Die nicht vollständige Produktvalidierung (Design Verification Test) in der B-Musterphase wird entweder von der Systemkomplexität oder der Zeitdauer des DV-Testablaufs verursacht.

Für die Produktvalidierung steht dem Entwicklungsprojektleiter aus Kosten-, Testkapazitäts- und Zeitgründen eine begrenzte Anzahl an Prototypen zur Verfügung. Mit diesen Versuchsträgern können nicht alle **Variantenkombinationen** validiert werden. Zur Risikominimierung werden Variantenkombinationen in Erprobungsmustern kombiniert, welche den geschätzten „take rates“ für Ausstattungsvarianten der Fahrzeuge im Endkundenmarkt entsprechen. Je mehr Fahrzeugvarianten verfügbar gemacht werden, desto höher ist das Ausfallrisiko für nur zum Teil validierte Konfigurationen. Das Restrisiko betrifft die gesamte Fahrzeugflotte im Feld.

Lithiumionen-Batteriezellen sind die Schlüsselemente der Automotiven Elektromobilität. Das Funktionsprinzip galvanischer Zellen bestimmt durch die Reaktionskinetik der elektrochemischen Vorgänge die **Dauer des DV-Testlaufes**. Im Vergleich mit Automotiven Standard-Produkten (Klimaanlage, Motor) muss für die Dauer der Validierung einer Lithiumionenzelle (Lebensdauersimulation) ein fünf- bis zwanzigfach längerer Validierungszeitraum angesetzt werden. Da die Auswirkungen von Raffungsfaktoren auf elektrochemische Reaktionen ungenügend erforscht sind, können sich konservativ geraffte Lebensdauertests über bis zu zwei Jahre hinziehen. Zwei Jahre entsprechen 85% des für die gesamte Produktentwicklung vorgesehenen Zeitraums bei korrekter Anwendung des Entwicklungsprozesses ohne Projektverkürzung.

³⁷ Schwarzweiss-Foto: Einspinner (1937), S. 42

Als Fallbeispiel ist der Lebensdauertest (DV-Test) einer Hochleistungs-Lithiumionenbatteriezelle angeführt, die in einer Batterie für ein Hybridfahrzeug eines europäischen Premium-OEMs zum Einsatz kommt. In Abb.5 ist das Vorhersagemodell für die Abnahme der Batteriezellenkapazität über den geplanten Einsatzzeitraum der Batteriezellen dargestellt. Die horizontale Achse repräsentiert einen Zeitfaktor für die Testdauer. Die vertikale Achse entspricht der Abnahme der Kapazität der Batteriezelle unter Anwendung eines definierten Lade-Entlade-Profiles. Die Berechnungen der Vorhersagekurven erfolgten mittels statistischer Verfahren unter Einbeziehen von empirisch ermittelten Alterungskurven für die Zellchemie. Die Vorhersagekurven sind mit Unsicherheiten (Risiken) behaftet, weshalb diese mit zunehmender Zellalterung divergieren. Der mit Messpunkten hinterlegte Bereich der errechneten Kurven stellt einen Zeitraum von fünf Monaten dar, in dem Lebensdauerdaten der Prüflinge erhoben und mit dem Modell verglichen wurden. Um den Lebensdauertest nach den Vorgaben im Lastenheft des Kunden vollständig abfahren zu können, musste der Testablauf über 20 weitere Monate fortgeführt werden. Der Entwicklungsprojektterminplan wurde für das Gesamtsystem „Batterie“ auf insgesamt 24 Monate anberaunt. Dies entspricht der Zeitspanne, in der ein Automotives Entwicklungsprojekt für Standardbauteile problemlos realisiert werden kann. Mit einer Gesamtdauer des Batteriezellen DV-Tests von 25 Monaten und mit einem, nach der PSO durchzuführenden PV-Test von ebenfalls 25 Monaten war der Abschluss des Entwicklungsprojekts erst 36 Monate nach Projektbeginn möglich. Das bedeutet, dass die in den Hybridbussen verbauten Batterien zum Betreiben des Antriebsstranges bis 12 Monate nach Serienproduktionsbeginn ohne abgeschlossene Produktvalidierung im Feld beim Endkunden im Einsatz waren. Für die Auslieferung der Batterien musste von der Projektleitung eine Bauabweichung unterzeichnet werden.

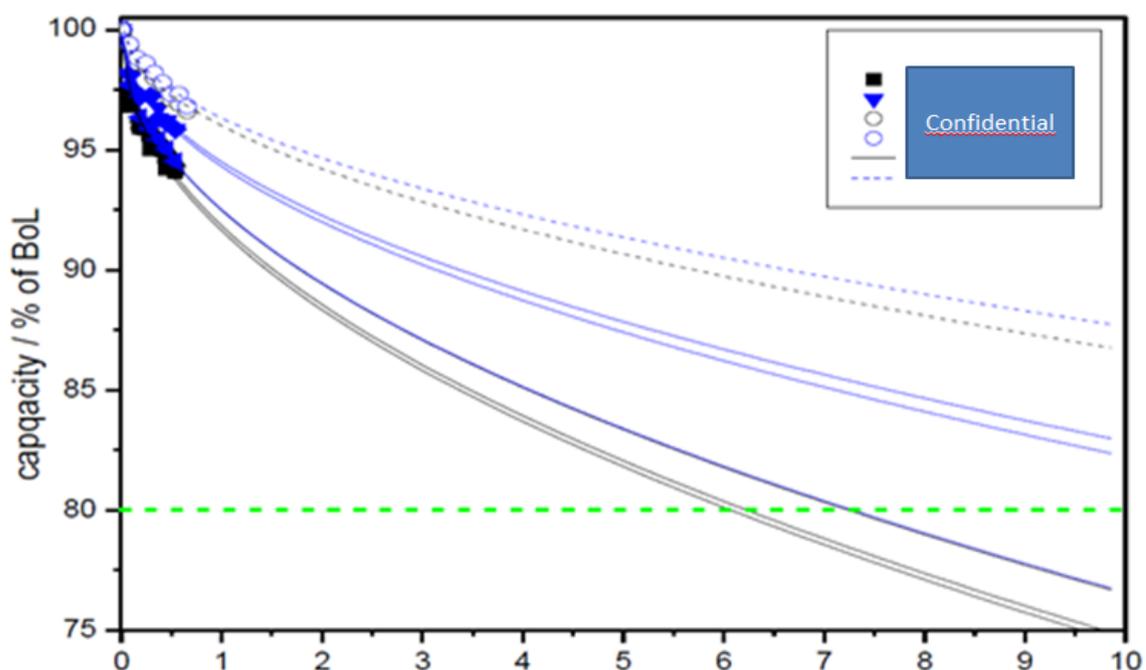


Abbildung 5: Lebensdauertest einer Lithiumionenzelle mit Prognose³⁸

³⁸ Modellierung: Dipl.-Ing. Florian Prosznigg

Die Basis der Bauabweichung bildete eine technische Risikobetrachtung der Ausfallswahrscheinlichkeit des Batteriesystems. Dafür wurde parallel zur Produktvalidierung ein Designs of Experiments (DoE) erarbeitet und durchgeführt. Die Auswertung des DoE (Central Composite Design) bildete auch die Basis für eine Gewährleistungskosten-Betrachtung. Eine Nicht-Erfüllung der Lebensdauerforderungen oder nicht vorhersagbare Phänomene an Batteriezellen aus dem Serienprozess („sudden death“) hätten zu einer Nachbesserungs- oder Rückholaktion für die gesamte bestückte Fahrzeugflotte und zu einer existenzgefährdenden finanziellen Situation für die Sparte Elektromobilität geführt.

Auch für Standardkomponenten hoher Komplexität wie elektronischen Steuergeräten, komplexen Kühlsystemen und komplexen Batteriegehäusen ist es in der für B-Muster zur Verfügung stehenden Zeitspanne nicht möglich, deren Konstruktion sauber auszuführen, einem vollständigen DV-Testing zu unterziehen und Ausfallsrisiken mit zeitnahen Maßnahmen zu bewältigen.

C-Muster Prozesse

Die Ziele des Entwicklungsprozesses in der C-Musterphase sind:

- Die Darstellung der Prototypenkomponenten in Hardware unter Verwendung von Serienwerkzeugen
- Der Aufbau der Serien-Produktionslinie
- Die Bewertung des fertigungsbedingten technischen Risikos für das Endprodukt
- Die Vorbereitung des Produktionsstandortes für die Serienprozessabnahme durch den Kunden
- Das Freizeichnen der Ergebnisse aus der Design- und Prozess-FMEA

Die Verfügbarkeit der ersten serienwerkzeugfallenden Komponente (off tool parts) markiert den Beginn der C-Musterphase. Die Produktionsprozesse sind am Beginn der C-Musterphase noch nicht verkettet und getaktet. Vor dem Aufbau der Serienproduktionslinie wird zur Bewältigung des technischen Risikos im Produktionsprozess eine Prozess-FMEA³⁹ (PFMEA) durchgeführt. Im Rahmen der Inbetriebnahme der Produktionsanlagen finden Probelaufe zur Ermittlung der Maschinenfähigkeit statt. Die Maschinenfähigkeit wird durch den cmk-Wert⁴⁰ statistisch beschrieben. Die cmk-Werte beziehen sich auf „Besondere Prozessmerkmale“⁴¹ in der PFMEA und beinhalten die Dimension des Prozessrisikos. Für „Besondere Produktmerkmale“ müssen Wiederholgenauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messwerte von Prüfmitteln (Gage Repeatability and Reproducibility = Gage R&R⁴²) nachgewiesen werden. Die Daten aus der Messsystem-Analyse (Measurement System Analysis = MSA⁴³) entsprechen dem Risiko der Auslieferung nicht spezifikationskonformer Produkte. Sind alle Produktions- und Prüfprozesse miteinander verkettet und getaktet, erfolgt die Produktion von Testlosen unter Serienbedingungen. Nach positiver Testproduktion (Production Try-out = PTO) wird der Kunde

³⁹ Vgl. VDA Band 4 (2012), Kap.3

⁴⁰ Vgl. Dietrich/Schulze (1996), S. 60ff

⁴¹ Vgl. Magna N85042 (2010), S.2ff

⁴² Vgl. Breyfogle (2003), S. 312ff

⁴³ Vgl. MSA (2010), S.1ff

eingeladen, am Produktionsstandort des Lieferanten den Serienprozess in einer Prozessserie⁴⁴ (Process Sign Off = PSO⁴⁵) abzunehmen.

• **Das Risiko „Risikomanagement“ in der B- und C-Musterphase**

Das Automotive Risikomanagement in Entwicklungsprojekten für die Elektromobilität findet in der B- und C-Musterphase statt. Es zielt primär auf das Beherrschen technischer Risiken ab. Dafür kommen die Instrumente FMEA und Potenzialanalyse nach VDA6.3 zum Einsatz. Diese Instrumente ordnen Produkten, Prozessen und Organisationen Risikopotenziale zu. Daneben existieren untergeordnete Risikomanagementinstrumente in den Fachabteilungen der Organisation.

In der **FMEA** werden Fehler im Produktdesign (Design-FMEA) und Produktionsprozess (Prozess-FMEA) evaluiert. Die Bedeutung (B), die Auftretenswahrscheinlichkeit (A) und die Entdeckungsmöglichkeit (E) der Fehler werden nach standardisierten Tabellen (vgl. Tab.3) mit Risikofaktoren von 1 (geringes Risiko) bis 10 (maximales Risiko) belegt. Durch Multiplikation der Faktoren wird eine Risikoprioritätszahl (RPZ) errechnet⁴⁶.

Tabelle 3: Beispiel für ein befülltes FMEA-Formblatt⁴⁷

System-Nr./Systemelement: Motorsteuergerät		Sach-Nr.: 345-6789	Verantw.: Müller	Abt.: Firma: Transpa-Rent							
Funktion/Aufgabe: Drosselklappensteller entsprechend der Eingangswerte ansteuern		Änderungsstand: 1	Datum: 28.11.								
Mögliche Fehlerfolgen	B	Möglicher Fehler	K	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ	V/T	
E-Gas-System Motorleistung wird mit Leerlaufregelung betrieben	8	Motorsteuergerät Drosselklappensteller wird mit Ersatzwert "Leerlaufregelung" angesteuert Bemerkung: Obwohl diese Reaktion im Fehlerfall gewollt ist, wird sie hier als Fehler betrachtet, da dadurch die Funktionalität des Fahrzeugs eingeschränkt wird.	PWG-Wert Modul Wert von Pedalwert-Geber 1 (PWG 1) zu groß eingelesen	Maßnahmenstand - Entwicklung: 01.04. Softwareentwicklung nach Richtlinie XY Meier, KW 22 abgeschlossen	4	Modultest: Testnummer 1234 Meier, KW 22 abgeschlossen	4	128			
				Meier	1 (2)	Integrationstest auf HiL-Prüfstand Testnummer 4567 Müller	2 (3)	(48)	Meier, KW 22 nicht beschlossen Müller, KW 39 nicht umgesetzt Müller, KW 39 nicht umgesetzt		
				Maßnahmenstand - Kundenbetrieb: 01.04. Ersatzwertausgabe zur Verhinderung der ursprünglichen Fehlerfolge: "Motorleistung" entspricht nicht Fahrerwunsch (B=10) Meier, KW 30 abgeschlossen Siehe Funktion der Überwachungs-SW "Bei Differenz "Soll-/Ist-Vergleich" Drosselklappensteuerung auf "Leerlaufregelung" umschalten"	4	Plausibilisierung durch Vergleich PWG 1 mit PWG 2 in Überwachungsmodul Müller, KW 30 abgeschlossen	2	3	32		
				Nachstellen nach Inspektionsplan Meier, KW 30 abgeschlossen	6	Fehlersuchprogramm mit Messwertausgabe auf Diagnoseleitung Meier, KW 30 abgeschlossen	2	5	32		
Funktion/Aufgabe: PWG-Notlauf sicherstellen											
E-Gas-System		Motorsteuergerät weitere Fehler							
Funktion/Aufgabe: Spannungsversorgung für alle 4 Geber sicherstellen											
E-Gas-System		Motorsteuergerät weitere Fehler							
B = Bewertungszahl für die Bedeutung RPZ = Risikoprioritätszahl		A = Bewertungszahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit V = Verantwortlichkeit			E = Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit T = Termin für die Erledigung						

⁴⁴ Vgl. Magna N85062 (2007), S.3ff

⁴⁵ Vgl. VDA Band 2 (2012)

⁴⁶ Vgl. VDA Band 14 (2008), S. 37

⁴⁷ Zit.: VDA Band 4 (2012), S. 98

Führt die Nichterfüllung eines Produktmerkmals zur Verletzung einer gesetzlichen Anforderung oder zu einer Gefährdung von Personen, so wird dieses Produktmerkmal als Kritisches Produktmerkmal (critical characteristic) bezeichnet. Führt die Nichterfüllung eines Produktmerkmals⁴⁸ zu einer Reklamation durch den Kunden, so wird dieses Produktmerkmal als Signifikantes Produktmerkmal (significant characteristic) bezeichnet. Eine typische FMEA für ein komplexes Modul umfasst 40-70 Din A4 Seiten im Querformat und enthält Detailinformationen, die ohne Datenverdichtung nicht als Steuerungselemente für das Projektmanagement tauglich sind. Die Ergebnisse einer FMEA müssen in Form eines Risikoprioritätszahlen-Paretos oder einer Risikomatrix zusammengefasst werden. Das so erhaltene Präsentationsformat kann als risikobezogene Entscheidungsgrundlage in Projektsteuerungsbesprechungen verwendet werden. (vgl. Abb.6). Bei Vergleich von sechs Design-FMEAs desselben Produktes, welches von unterschiedlichen Entwicklungspartnern dargestellt wurde, betrug der Seitenumfang der Dokumente bei standardisierter Schriftgröße zwischen 18 und 67 DIN-A4 Seiten im Querformat⁴⁹. Die Begründung für die Varianz der Ergebnisse liegt in den unterschiedlichen Risikokulturen in den Organisationen der Entwicklungspartner. Das Automotive Regelwerk fordert keine Anpassung der Risikokultur der Zulieferbetriebe an die Risikokultur des OEMs.

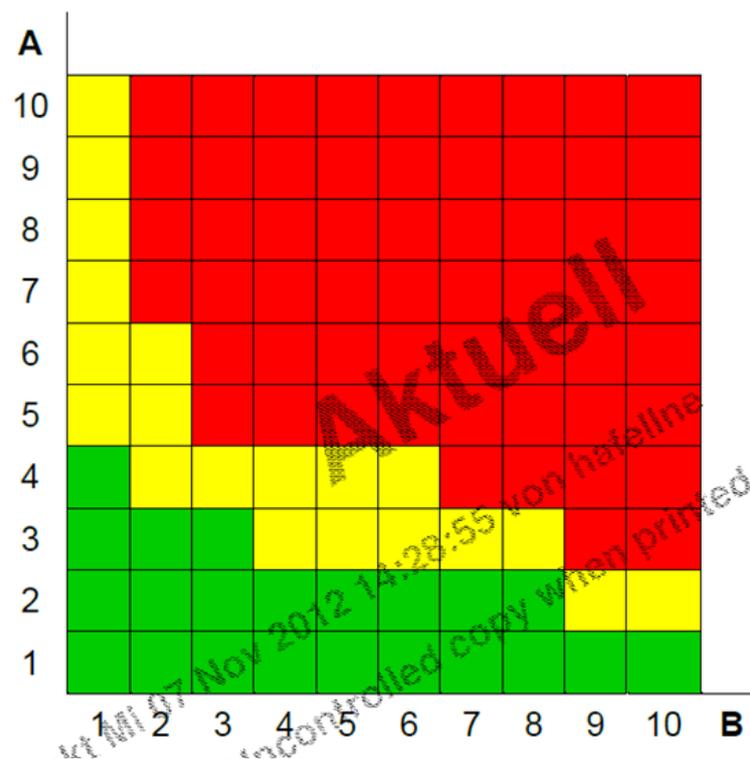


Abbildung 6: Vorlage für die Risikoabschätzung aus der FMEA nach VDA⁵⁰

Das unterschiedliche Risikoverständnis stellt in sich ein Projektrisiko dar. Zur Eingliederung des Risikomanagements in ein generisches Managementmodell ist ein Abgleich des

⁴⁸ Vgl. VDA Gelbband (2010), S.7ff

⁴⁹ Projekte Jura 1, Jura 2, Frodo 11, 12, 15, VPT

⁵⁰ Zit.: VDA Band 4 (2012), S.66

Risikoverständnisses zwischen den Partnern in der Supply Chain und innerhalb der Organisationen der Entwicklungspartner nötig.

Die **Potenzialanalyse nach VDA6.3** ist in der Automobilindustrie als standardisiertes Instrument zur Lieferantenbewertung im europäischen Raum etabliert. Sie wird von OEMs zum Zweck der Bewertung des Potenzials der Zulieferbetriebe im Lieferantenauswahlprozess eingesetzt. Die Zulieferbetriebe wenden das Instrument auf ihre Lieferanten in Richtung der Urproduktion (upstream) an. Die Ergebnisse der Potenzialanalyse dienen als Basis für Lieferantenauswahl und Lieferantenentwicklung. Die vor Ort erhobenen Fakten (Audit-Artefakte) werden in ein, von der VDA vorgegebenes, elektronisches Format übertragen. Dieses verfügt über einen automatisierten Auswertalgorithmus (vgl. Tab.4). Der Algorithmus liefert die Einstufung des Lieferanten basierend auf der Fähigkeit seiner Prozesse, die Kundenanforderungen zu erfüllen. Das Ergebnis einer Potenzialanalyse repräsentiert das lieferantenbezogene Risiko. VDA6.3 Auditoren werden von einer zentralen Ausbildungsorganisation innerhalb der VDA zertifiziert. Damit sind die Audit-Ergebnisse in Kombination mit dem automatisierten Auswertewerkzeug standardisiert. Die Ergebnisse sind in den vertikalen und den horizontalen Hierarchieebenen der Lieferkette vergleichbar und austauschbar. Die Potenzialanalyse ist im Vergleich zur FMEA hinsichtlich der Standardisierung des Risikoempfindens ausgereift.

Tabelle 4: Auszug aus dem VDA 6.3 Bewertungsformat⁵¹

	*Sternchen	Prozessaudit Ergebnis VDA 6.3 Fragenkatalog Prozessaudit Standort: 0	Fragenbogen leeren Alle Fragen mit 10 Punkten bewerten	Auftrags-Nr: Datum: 00.01.1900
Nr.	Typ	Frage		Auditfeststellungen
P2	n.b.	Projektmanagement	Allgemein	Es müssen min. 5 Fragen beantwortet werden. 0 von 7 Fragen beantwortet.
2.1		Ist die Projektorganisation (Projektleitung) etabliert und die Aufgaben sowie Kompetenzen der Projektleitung, Teammitglieder festgelegt?	n.b.	Text eingeben
2.2	x	Sind für die Projektentwicklung die erforderlichen Ressourcen geplant, vorhanden und werden Änderungen angezeigt?	n.b.	Text eingeben
2.3		Ist ein Projektplan vorhanden und mit dem Kunden abgestimmt?	n.b.	Text eingeben
2.4		Wird das Änderungsmanagement im Projekt durch die Projektorganisation sichergestellt?	n.b.	Text eingeben
2.5	x	Sind die Verantwortlichen Personen in der Organisation und beim Kunden im Änderungsdienst eingebunden?	n.b.	Text eingeben
2.6		Gibt es im Projekt einen Q-Plan und wird dieser umgesetzt und regelmässig auf Einhaltung überwacht?	n.b.	Text eingeben
2.7	x	Ist ein Eskalationsprozess etabliert und ist dieser wirksam umgesetzt?	n.b.	Text eingeben
P3	n.b.	Planung der Produkt- und Prozessentwicklung	Produkt	Es müssen min. 4 Fragen beantwortet werden. 0 von 5 Fragen beantwortet.
			Prozess	Es müssen min. 4 Fragen beantwortet werden. 0 von 5 Fragen beantwortet.
3.1		Liegen die produkt- und prozessspezifischen Anforderungen vor?		
			Produkt	n.b. Text eingeben
			Prozess	n.b. Text eingeben
3.2	x	Ist die Herstellbarkeit auf Basis der ermittelten Anforderungen an das Produkt und den Prozess übergreifend bewertet?		
⏪ Haftungsausschluss EingabeMaske Fragen Bewertungsmatrix Deckblatt Q-Fähigk Proz-BakkenMatrix Erläuterung QTP dt. Maßnahmenplan Änderungshistorie				

⁵¹ Zit.: VDA 6.3 Elektronisches Auswertetool (Screenshot)

Das Potenzial eines Zulieferbetriebes in der Supply Chain hängt nicht nur von seiner Strukturierung und seinen Prozessen ab. Die Komplexität des zu entwickelnden / zu fertigenden Produkts (aus der FMEA) muss in die Betrachtung mit einbezogen werden.

Von Fachbereichen, die dem Entwicklungsprozess als Support-Funktionen zugeteilt sind, werden **nicht-technisch geprägte Risikomanagementinstrumente** betrieben. Diese sind auf die Ansprüche der funktionalen Einheiten maßgeschneidert. Zur Erfassung logistischer Risiken liegen in der Automobilbranche keine standardisierten Instrumente vor. Darum bringen die Logistikabteilungen selbst erstellte Instrumente zur Risikoabschätzung zur Anwendung. Finanzielle Risiken werden aus dem Finance-Rating der Zulieferbetriebe abgeleitet. Dieses Finance Rating kann in kostenpflichtigen Datenbanken abgefragt werden. Mit der Implementierung dieser Risikomanagementinstrumente können interne Abteilungen oder externe Dienstleister betraut werden.

Die Gesamtheit der in einem Entwicklungsprojekt angewandten Risikomanagementinstrumente ist schlecht strukturiert. Die Risikomanagement-Instrumente sind nicht dazu geeignet, einen holistischen Risikomanagementansatz zu unterstützen. Jeder Eigner eines Risikomanagementinstrumentes kann die daraus gewonnenen Erkenntnisse interpretieren und in Projektsteuerungsbesprechungen einbringen. Für den Vertreter eines Fachbereichs sind Risikoaussagen aus anderen Fachbereichen schwer nachvollziehbar. Es liegt im Ermessen des Entscheiders (Entwicklungsprojektmanagers), die von unterschiedlichen Fachbereichen kommunizierten Risiken hinsichtlich deren Auswirkungen auf Gesamtprojekt- und Firmenziele zu bewerten. Daraus müssen die richtigen Projektsteuerungsentscheidungen abgeleitet werden. Es steht kein standardisiertes Automotives Instrument zur Verfügung, das in der Lage ist, Risiken in einer objektiven Weise fachbereichsübergreifend zu ermitteln, zu verdichten, hinsichtlich der Auswirkungen auf Unternehmensziele zu bewerten und übersichtlich darzustellen. Aus der schlecht abgestimmten Verteilung von Risikozielen auf die Strukturelemente der Organisation ohne zusammenführendes Management resultieren negative Auswirkungen auf Gesamtprojektziele in kundennahen Projektphasen.

D-Muster Prozesse

Die ersten D-Muster stammen aus der Serienprozessfreigabe⁵² (PSO) durch den Endkunden am Produktionsstandort des Lieferanten. Eine Teilmenge der D-Muster aus der Serienprozessfreigabe durchläuft eine Testfolge zur Produktvalidierung (PV-Testing). Die Testabfolge ist eine Teilmenge der DV-Tests (vgl. „B-Musterphase“) oder mit diesen identisch. Die Stückzahl der während der PSO produzierten Produkte entspricht der Kammlinie. Die Kammlinie ist die mit dem Kunden maximal vereinbarte Stückzahl pro Zeiteinheit bezogen auf den gesamten Serienproduktionszeitraum. Prozessfähigkeits-Kennzahlen werden ermittelt und in Form von ppk- (Kurzzeit Prozessfähigkeit) und cpk-Werten (Langzeit-Prozessfähigkeiten) statistisch beschrieben. Diese Kennzahlen repräsentieren das von der Produktion verursachte Risiko für Endkundenfahrzeuge im Feld. Ausgewählte D-Muster werden vermessen und dem Endkunden mit einem Dokumentenpaket zur Abnahme des Produktes (Erstbemusterung)

⁵² Magna N10039 (2007), S.4ff

übergeben. Im anglo-amerikanischen Kulturkreis findet die Erstbemusterung nach PPAP (Production Part Approval Process)⁵³ statt. Für Zulieferer an europäische OEMs gelten die Erstbemusterungs-Vorgaben des Verbands der Automobilindustrie (VDA)⁵⁴.

In Abb.7 sind als Beispiel für die zeitliche Abfolge der Prozess- und Produktvalidierung die Sub-Prozesse von der C-Musterphase (serienwerkzeugfallende Teile) bis zum Beginn der Serienproduktion (SOP) im Produktentstehungsprozess (PEP) nach VDA dargestellt.

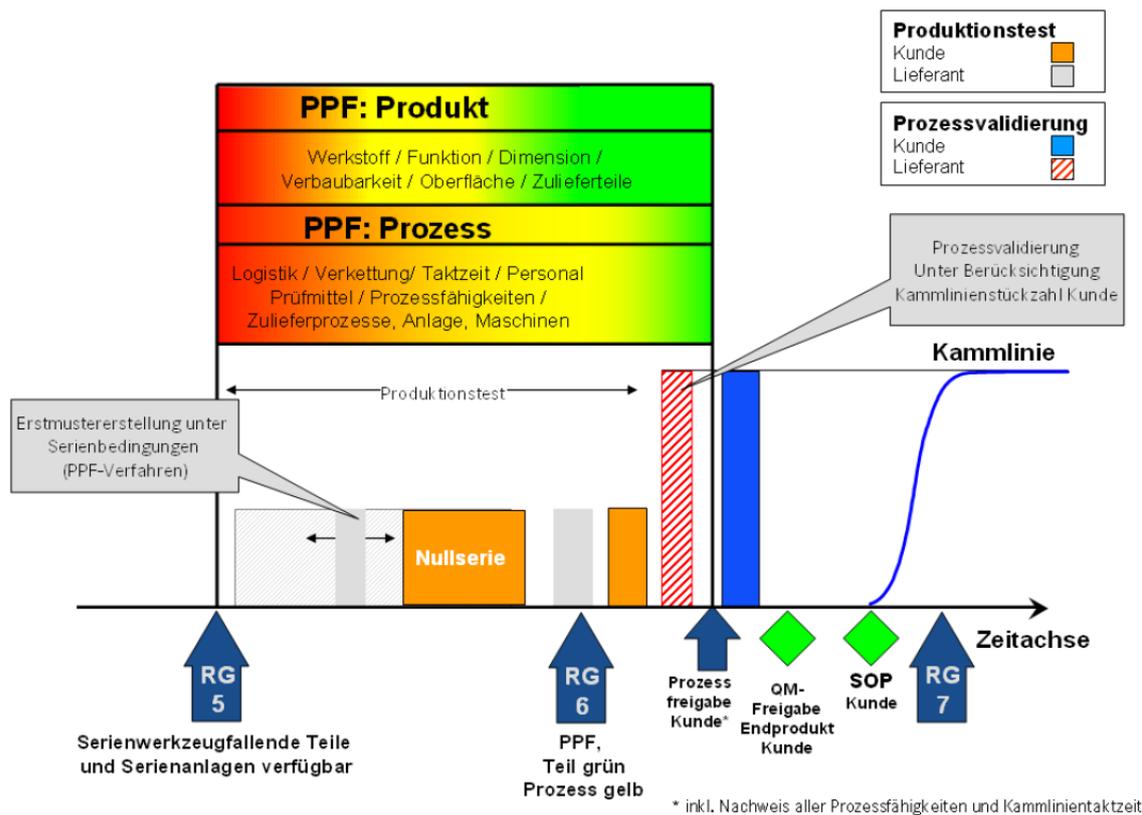


Abbildung 7: Einbindung der Produkt/Prozessvalidierung in den Produktentstehungsprozess⁵⁵

E(P)-Muster Prozesse

Mit der Freizeichnung der Erstbemusterungs-Dokumentation durch den Kunden endet das Automotive Entwicklungsprojekt. Das Entwicklungsteam wird aufgelöst und das Produkt an die Serienproduktion übergeben. Der formale Beginn der Serienproduktion wird als „SOP“ oder „SoP“ (Start of Production) bezeichnet.

⁵³ Vgl. PPAP (2006), S.3ff

⁵⁴ Vgl. VDA Band 2 (2012)

⁵⁵ Zit.: VDA Band 2 (2012), S.20

2.3 Automatischer Entwicklungsprojekt-Terminplan

Am Beginn eines Entwicklungsprojekts wird mit dem Entwicklungspartner ein Projektterminplan erstellt. Die Basis für das detaillierte Ausarbeiten der zeitlichen Abfolge der Aktivitäten und ihrer Interdependenzen bildet ein generischer Entwicklungsterminplan. Die Automotiven Musterphasen werden mit den Prozesszyklenzeiten beim Durchlaufen des Produktentwicklungsprozesses überlagert und in einem Gantt-Chart dargestellt (vgl. Abb.8). Die Untergliederung der Musterphasen in Aktivitäten entspricht den Haupt-Checklistenpunkten der Meilensteinreviews bei Anwendung eines Stage-Gate-Prozesses.

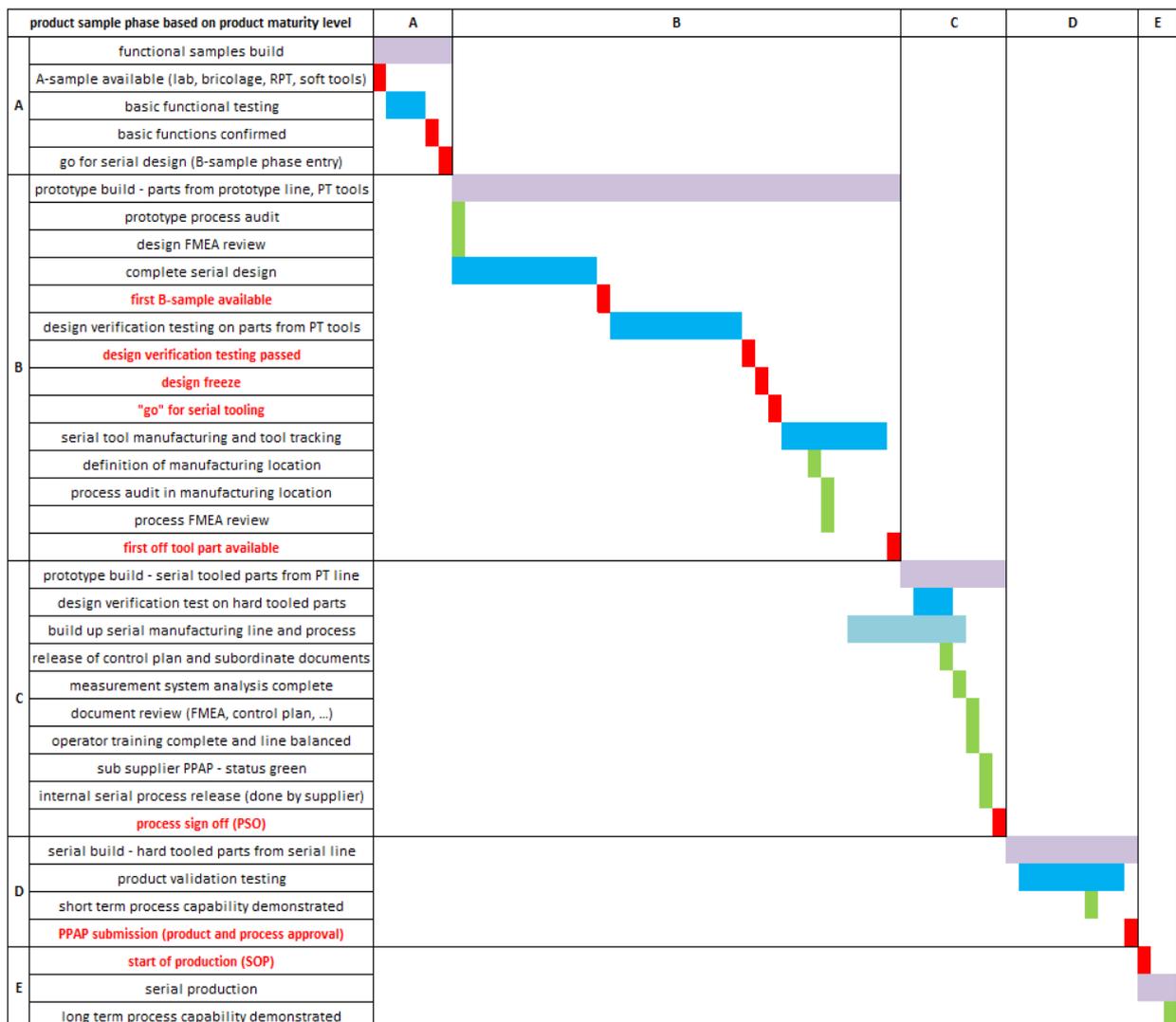


Abbildung 8: Generischer Terminplan eines Automotiven Entwicklungsprojektes

Der Entwicklungsterminplan enthält als Mindestanforderung folgende Meilensteine:

- Designerstellung
- Design-FMEA (DFMEA)
- Änderungsstopp
- Prototypenwerkzeugerstellung
- Design-Verifizierungs-Testablauf (DV-Testablauf)
- Designbestätigung

- Auslösen der Serienwerkzeuge (go for tooling)
- Serienwerkzeugerstellung (urformende Werkzeuge)
- Serienwerkzeugfreigabe (tooling release)
- Prozess-FMEA (PFMEA)
- Aufbau der Serienproduktionslinie
- Serienprozessfreigabe (PSO = Process Sign Off)
- Produkt-Validierungs-Testablauf (PV-Testing)
- Erstbemusterung (PPAP)
- Serienanlauf
- Serienproduktionsstart (SOP, SoP = Start of Production)

Risikomanagement im Entwicklungsprojekt-Terminplan

Das real stattfindende Risikomanagement kann im Entwicklungsprojekt-Terminplan in drei Bereiche untergliedert werden. In den kreativen Projektphasen kommen die oben erläuterten Risikomanagementinstrumente zum Einsatz. Durch den fehlenden holistischen Einsatz und abteilungsinterne **Risikomanagement-Insellösungen** werden Wechselwirkungen zwischen den Risiken nicht erfasst. In seriennahen Phasen des Entwicklungsprojekts treten nicht vorhergesehene Auswirkungen von Risiken zu Tage. Diese Risiken müssen in Form eines ereignisgesteuerten, **reaktiven Risikomanagements** bewältigt werden (vgl. Abb.9). Je nach Wirksamkeit der Maßnahmen erstrecken sich die Auswirkungen der Risiken auf die Serienproduktion (**Restrisiko**).

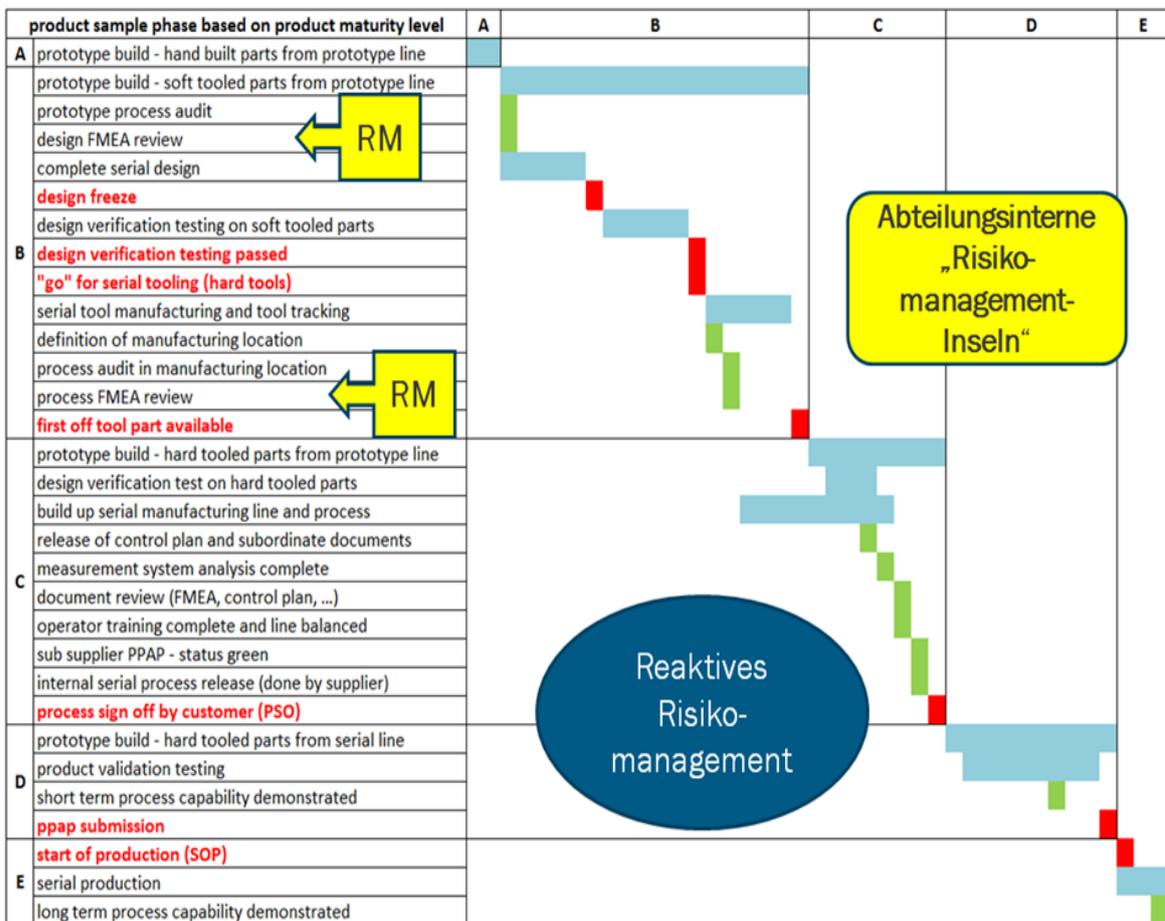


Abbildung 9: Risikomanagement während eines Automotiven Entwicklungsprojekts

Verkettung der Entwicklungsprojekt-Terminpläne in der Lieferkette

In der Lieferkette sind die Produktentwicklungsterminpläne gemäß der Fertigungstiefe miteinander verkettet (vgl. Abb.10). Für die Entwicklungspartner in der Lieferkette werden die Projektmeilensteine mit abnehmender Distanz zur Urproduktion früher fällig. Zum Zeitpunkt der Prozessabnahme durch den Kunden (z.B.: PSO durch Tier 1 bei Tier 2) müssen dem Lieferanten (Tier 2) die Bemusterungen (PPAPs) für dessen Kaufteile (von Tier 3) vorliegen (vgl. Abb.11).

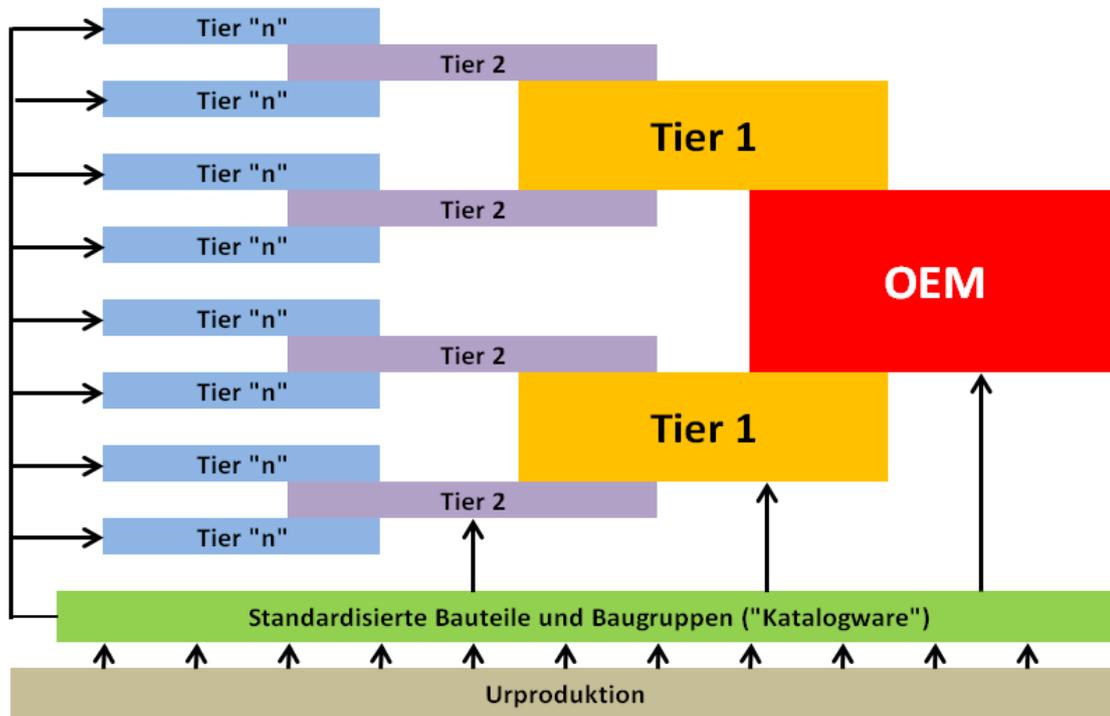


Abbildung 10: Simplifizierte Darstellung einer Lieferkette

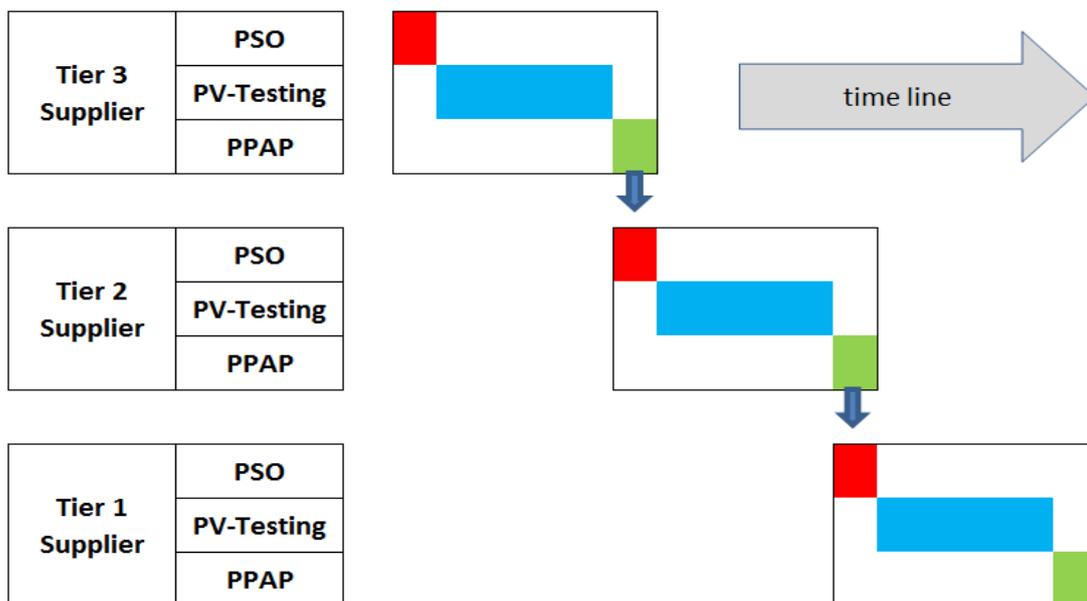


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen PSO und PPAP in der Lieferkette

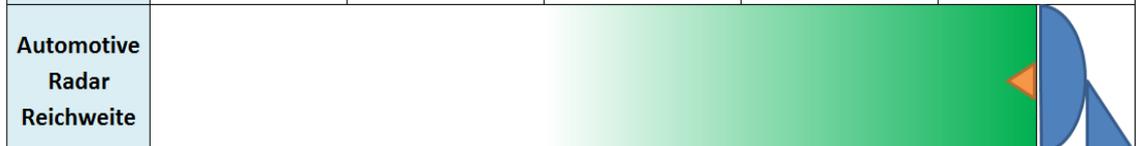
Die Verlagerung der Komplexität in Richtung Urproduktion

Der Trend in der europäischen Automobilindustrie geht in Bezug auf die Entwicklung und Produktion von Automotiven Komponenten-, Modulen- und Systemen in Richtung Outsourcing. OEMs verstärken Monitoring-Aktivitäten in deren Zulieferketten und konzentrieren sich firmenintern auf Design-, Marketing und Innovationsthemen. Hochspezialisierte Komponenten-, Modul- und Systemlieferanten werden mit der Gesamtentwicklung und Produktion der Zulieferteile beauftragt. Um die Fahrzeug-Endmontage hinsichtlich der dafür nötigen Investitionen und Arbeitsschritte zu verschlanken, geht ein zweiter Trend in Richtung Verbau von Gesamtsystemen (z.B.: Gesamtcockpit). Diese Gesamtsysteme können in der Fahrzeugproduktionslinie mit wenigen einfachen Montageschritten an das Fahrzeug angekoppelt werden. Es ist vorstellbar, dass Automobilproduzenten nur noch virtuelle Fahrzeuge entwickeln und die Produktion der Eigenmarke an Zulieferkonzerne wie Magna vergeben, welche eine Position als „Tier 0,5“ einnehmen.

Das „Automotive Radar“ in Richtung Urproduktion

Durch die Verringerung der Fertigungstiefe beim OEM wird die Komplexität der zu entwickelnden und zu produzierenden Zulieferteile in die Supply Chain in Richtung der Urproduktion (upstream) weiterverteilt. Dadurch entfernt sich der OEM um mindestens eine Fertigungsstufe von der Urproduktion. Zur Beobachtung der Zulieferkette sind Instrumente für Lieferantenmanagement in Form eines „Automotiven Radars“ entwickelt worden, die die Supply Chain beleuchten (vgl. Tab.5).

Tabelle 5: Die Reichweite des Automotiven Radars in Richtung Urproduktion

	Tier 5	Tier 4	Tier 3	Tier 2	Tier 1	OEM
Produkte	Urprodukte: Erdöl, Erze, organische Produkte (Leder)	Standardisierte Rohstoffe: Briketts, Pellets, Granulate	Halbzeuge: Bleche, Rohre, Draht, Textilien Lamine, Normteile. Elektron. Bauteile	Unterbaugruppen Mechanik, Elektrik, Elektronik	Fahrzeugkomponenten, Module, Systeme	
Zertifikate	teilweise ISO 9001 und ISO 14001	teilweise ISO 9001 und ISO 14002	ISO 9001, ISO 14001	ISO 9001, ISO TS 16949 teilweise	ISO TS 16949 verpflichtend; Generic Mgmt	
Critical-to-quality-flowdown	Nein	Nein	teilweise	ausreichend	in vollem Umfang	
Automotive Verständnis	Nein	Nein	teilweise	ausreichend	in vollem Umfang	
Automotive Radar Reichweite						

Die Kaufteillistenhefte der OEMs fordern eine top-down-Weitergabe der Lastenheftanforderungen in der gesamten Zulieferkette. Die anwendbaren Forderungen aus Kunden-Lastenheften werden ergänzt und in Lastenhefte für Zuliefererbetriebe umgewandelt (critical-to-quality flow down). Dabei handelt es sich um Automotive Entwicklungsprozessvorgaben, Qualitätsforderungen und Risikomanagementinstrumente. Diese müssen von den Supply Chain Management Abteilungen der Zulieferfirmen auf deren Unterlieferanten angewandt werden. Dieses „Automotive Radar“ hat eine typische Reichweite von zwei Unterlieferanten-Niveaus (z.B.: von „Tier n“ bis „Tier n-2“). Lieferanten für Urprodukte und die Hersteller standardisierter Rohstoffe verfügen über keine bis rudimentäre Kenntnisse Automotiver Vorgaben und Abläufe. In weiterer Folge existiert kein Verständnis für die Anforderungen an das Endprodukt. Wird die Endkundenanforderung nicht verstanden, so können von diesen Partnern im Lieferantennetzwerk im Falle von Produktvariationen oder Abweichungen keine Warnungen an übergelagerte Tiers ausgegeben werden.

- **Risikosituationen durch Versagen des Automotiven Radars**

In der Elektromobilität haben Materialeigenschaften und Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen essentielle Bedeutung. Elektroden von Batteriezellen enthalten Graphit und Lithiumverbindungen mit unterschiedlichen Kristallstrukturen. Diese sind zusätzlich mit Übergangselementen aus dem Periodensystem dotiert. Für die Kathoden- und Elektrolytproduktion spielt Lithiumcarbonat, welches in südamerikanischen Salaren abgebaut wird, eine zentrale Rolle. Magnete für Elektromotoren enthalten seltene Erden wie Samarium, Neodym und Dysprosium. Hochleistungs-Kondensatoren enthalten Tantal, das als Konfliktmineral eingestuft ist. Die Versorgungssicherheit mit oben genannten mineralischen Rohstoffen und die damit zusammenhängende Preisentwicklung stellen projektgefährdende Risiken dar. Urproduktions- und Aufbereitungsbetriebe für mineralische Rohstoffe sind generell nicht nach Automotiven Regelwerken zertifiziert. Durch deren Entfernung von Tier 1 bis Tier 3 in der Lieferkette befinden sich die Abbaubetriebe außerhalb des Wirkungsbereichs des Automotiven Radars.

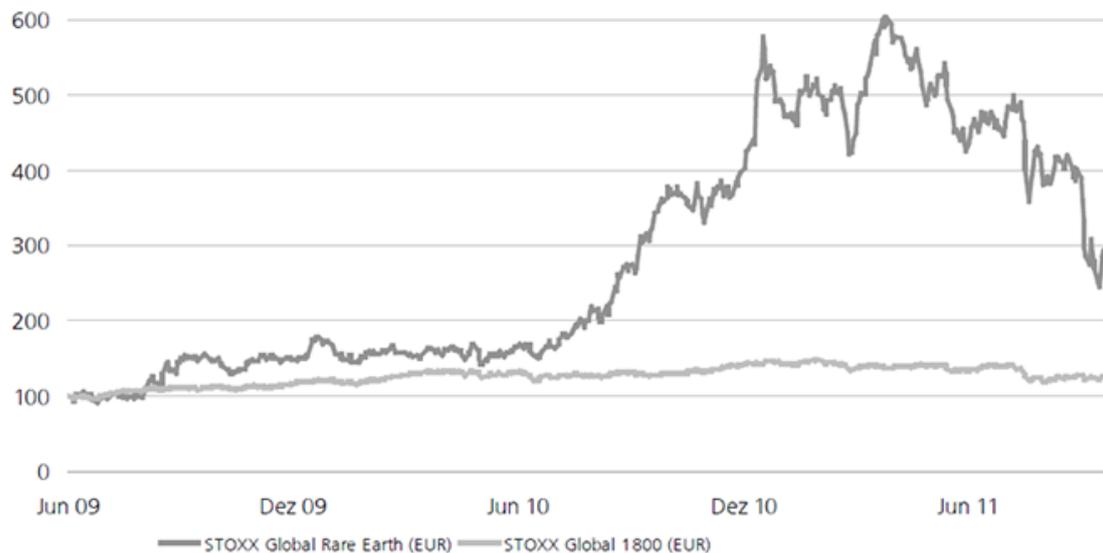
In Abb.12 wird der sprunghafte Anstieg des Preises für seltene Erden illustriert. Der Preisanstieg kann mit der Monopolstellung Chinas und dem gestiegenen Bedarf an Selten-Erd-Elementen für die Erzeugung von Magneten erklärt werden. Magnete kommen in Generatoren von Windkraftwerken und in Elektromotoren zum Einsatz und stellen Schlüsselkomponenten der Elektromobilität dar. Ein weiterer Treiber des Preises für seltene Erden war die von China initiierte Exportbeschränkung für diese Rohmaterialien zu Gunsten lokaler Kunden, wenngleich China diese Drosselung der Produktion mit Umweltschutzmaßnahmen begründet hat⁵⁶.

Die durch einen Tsunami ausgelöste Fukushima-Katastrophe bewirkte im Jahr 2011 den Zusammenbruch der Lieferketten für elektronische Steuergeräte und Infotainment-Komponenten in Fahrzeugen. Die Analyse zeigte, dass die Lieferengpässe durch die Nicht-Verfügbarkeit von Ersatztypen für elektronische Standardkomponenten und Mikrocontroller aus japanischer Produktion verursacht wurden. Eine statistische Analyse des Effektes auf das Lieferantennetzwerk in Richtung des Endkunden basierend auf den Umsätzen der von der

⁵⁶ Vgl. Bencek (2012), elektronisches Dokument

Tsunami betroffenen Firmen zeigte signifikante Störungen der direkten, aber auch der indirekten Kunden⁵⁷. Indirekte Kunden sind Modul- und Systemlieferanten für OEMs.

Historische Kursentwicklung des STOXX Global Rare Earth Index



Quelle: Bloomberg, Daten per September 2011

Abbildung 12: Preisentwicklung der seltenen Erden⁵⁸

In Anlehnung an die Tarnkappentechnologie werden in dieser Arbeit risikobehaftete Komponenten, die in der Lieferkette unentdeckt bleiben als „stealth components“ bezeichnet. Die oben beispielhaft beschriebenen „stealth components“ konnten vom Automotiven Radar der Supply Chain Management Departments der Tier 1 Zulieferer nicht als Risikobauteile detektiert werden. Beispiele für die Stellung von „stealth components“ in Bezug zum Automotiven Radar sind in Tabelle 6 dargestellt.

- **Fallbeispiel für eine Stealth-Baugruppe**

Durch die Verschiebung der Komplexität der Zulieferteile in Richtung Urproduktion entziehen sich nicht nur Rohstoffe und Einzelkomponenten dem Automotiven Radar. Der Trend zur Modularisierung in der Elektronik führt zu einer Vereinfachung des Leiterplattenlayouts elektronischer Baugruppen. Die ursprünglich in Leiterplatten integrierten Funktionsblöcke⁵⁹ werden als Unterbaugruppen zugekauft und auf der Leiterplatte bestückt. Die Unterbaugruppen enthalten wieder Leiterplatten und führen eine standardisierte Funktion aus. Durch die Standardisierung ist eine Massenfertigung und multiple Anwendung der Unterbaugruppen in unterschiedlichen Entwicklungsprojekten möglich.

Das Fallbeispiel für ein getarntes Risiko in Form einer Unterbaugruppe (Relais-Block) stammt aus einer für einen deutschen Premium-OEM entwickelten und gefertigten Lithiumionen-Hybridbatterie („Tier 1“).

⁵⁷ Vgl. Carvalho et al (2014), S.12

⁵⁸ Vgl UBS (2012), elektronisches Dokument

⁵⁹ Funktionsblöcke sind Bereiche auf Leiterplatten, die standardisierte Aufgaben übernehmen

Zur elektronischen Überwachung und Steuerung der Batteriefunktionen ist in der Hybridbatterie ein elektronisches Batteriesteuergerät verbaut (BMU = Battery Management Unit). Dieses kommuniziert mit batterieinternen, elektronischen Wächter-Instrumenten und der Fahrzeugsoftware des OEMs. Das von einem Elektronik-Bestücker (Tier 2) gefertigte BMU ist für essentielle, kundenrelevante Batteriefunktionen verantwortlich.

Die Stückliste der BMU enthält ein Relais, das durch den Elektronik-Bestücker als Standardkomponente (Katalogware) von einem asiatischen Unterlieferanten (Tier 3) eingekauft und verlötet wurde.

Bei einer Standard-Röntgenuntersuchung der BMU im Rahmen der Kontrollzerlegung einer Batterie aus einem DV-Testlauf wurde festgestellt, dass in dem Relais eine Ringkernspule verarbeitet wurde (vgl. Abb.13). Die Ringkernspule wurde vom Relaislieferant von einem Unterlieferanten (Tier 4) einkauft, verlötet und den Gesamtverbund mit einer Wärmeleitpaste vergossen.

Die fertigungstechnische Ausführung der Spule (stealth component 1) und deren Verbau im Relais (stealth component 2) standen im Widerspruch mit den Endkundenanforderungen.

Die Abarbeitung des Problems erforderte:

- das Einsetzen eines Spezialisten-Teams
- eine zweiwöchige Dienstreise nach Taiwan
- damit zusammenhängende Änderungen und erneute Freigaben von Produktionsprozessen
- eine neue Produktvalidierung
- diverse Kommunikation zum Endkunden

und verursachte einen finanziellen Schaden von 85.000 Euro⁶⁰.

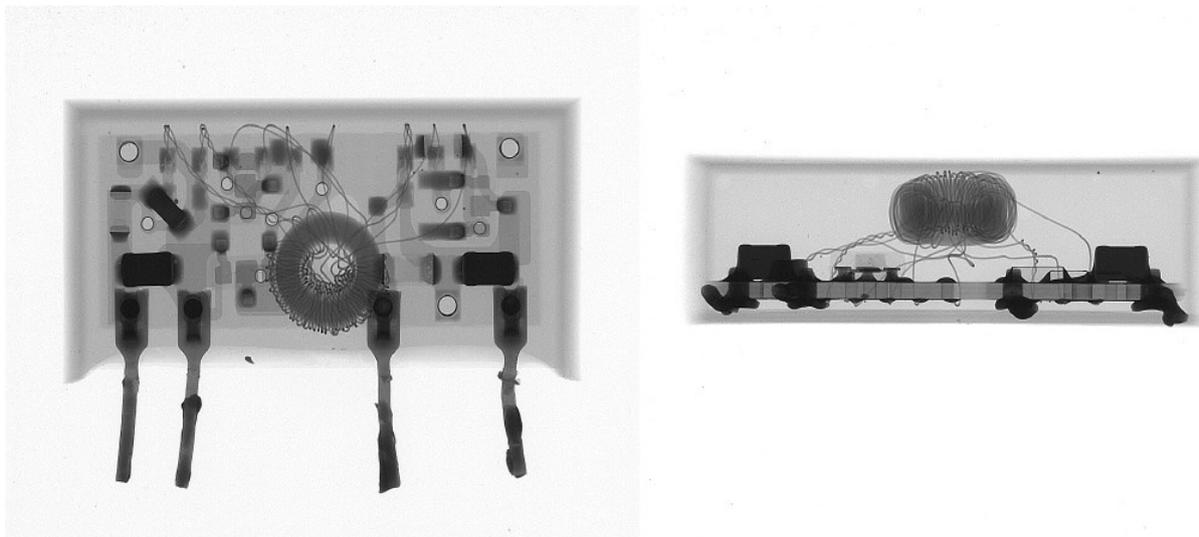


Abbildung 13: Beispiel für Stealth-Komponente in Tier 2 und Tier 3

⁶⁰ Angenommener Wert (Geheimhaltung)

Tabelle 6: Stealth Components im Wirkungsbereich des Automotiven Radars

Tier 5	Tier 4	Tier 3	Tier 2	Tier 1	Endanwendung	
Urprodukte: Erdöl, Erze, organische Produkte (Leder)	Standardisierte Rohstoffe: Briketts, Pellets, Granulate, Pulver, Flüssigkeiten	Halbzeuge: Bleche, Rohre, Draht, Textilien Lamine, Normteile. Elektron. Bauteile	Unterbaugruppen: Mechanik, Elektrik, Elektronik, Styling	Fahrzeugkomponenten: Module, Systeme		
Seltene Erden: Nur Lagerstätten in China bauwürdig					Magnete in Elektromotoren	
Coltan-Abbau in diktatorisch regierten Ländern	Tantal: Konfliktmineral				Hochleistungs Kondensatoren in Elektronik	
		Hochkomplexe Computer-Chips				Batterie- und Motormanagement

• **Risikosituationen durch Kollaps der Musterphasen**

Wie zuvor beschrieben bewirken ein schnellerer Modellwechsel und die beschleunigte Implementierung von Innovationen eine Verkürzung der Laufzeit von Entwicklungsprojekten von 24 bis 30 Monaten auf 18 Monate. Die Projektlaufzeitverkürzung gefährdet eine saubere Produktvalidierung. Im Falle des Nicht-Bestehens einer Produktvalidierung fehlen Zeitpuffer für Korrekturschleifen. Daraus folgt eine Verschleppung des Fehlers in die darauffolgende Musterphase mit Verbau unreifer Bauteile.

Die OEMs drängen ihre Zulieferer zu einem frühen Auslösen der Serienwerkzeuge zur Produktion ur- und umgeformter Bauteile. Dazu kommt die Forderung nach einem frühen Aufbau der Serienproduktionsanlagen. So erhalten die OEMs zu einem Zeitpunkt, in dem die Entwicklung der Komponenten noch nicht abgeschlossen ist, Prototypen, die hinsichtlich deren Beschaffenheit Serienqualität aufweisen⁶¹. Bei Designänderungen fallen in den Zulieferbetrieben Umbau- und Verschrottungskosten für Serienwerkzeuge und Anlagen(teile) der Serienproduktionslinie an. Diese sind um den Faktor 5 bis 20 höher als Modifikationen an Hilfswerkzeugen und Prototypenproduktionslinien⁶².

Um die vorgegebenen Terminziele einzuhalten eröffnen sich zwei Möglichkeiten: Die erste Möglichkeit besteht in der Verkürzung jeder einzelnen Musterphase. Die zweite Möglichkeit besteht im Überlappen der Musterphasen.

⁶¹ Projekte Jura 1, Jura 2

⁶² Batteriegehäuse Projekt Jura 2

In jedem Fall geht die Verkürzung der Projektlaufzeit zusammen mit dem zu frühen Auslösen der Serienwerkzeuge und dem zu frühen Aufbau der Serienproduktionslinie auf Kosten der B-Musterphase. Bei der B-Musterphase handelt es sich um die wichtigste Musterphase in einem Automotiven Entwicklungsprojekt. In dieser Phase wird das Seriendesign des zu entwickelnden Bauteiles erstellt und mittels DV-Tests gegen die Spezifikation abgeprüft. Ohne ein bestandenes DV-Testing ist sowohl für das Auslösen der Erstellung der ur- und umformenden Serienwerkzeuge, als auch für das Auslösen der für die Produkterstellung nötigen Produktionsanlagen und Testsysteme nur mittels Risikofreigaben möglich.

Die hastige Produktentwicklung und die Verschleppung des Abschlusses der DV-Testläufe in nachfolgende Musterphasen konfrontieren das Entwicklungsprojektmanagement mit Änderungen am Produkt in Musterphasen, in welchen die entwickelten Bauteile schon Serienqualität und ein eingefrorenes Produktdesign haben sollten.

Für die Serienprozessfreigabe (PSO) in einem „Tier n“ Produktionsstandort sollten die verbauten Zulieferteile aller „Tier n-1“ erstbemustert sein (vgl. Abb.11). Nur so kann garantiert werden, dass Probleme im Zuge der „Tier n PSO“ eindeutig dem Assemblierungs- und Testprozess zuordenbar sind und nicht von den verbauten Komponenten verursacht werden. Die Frage nach dem Bemusterungs-Status der Stücklistenkomponenten eines Moduls oder Systems vor Beginn der PSO ist eine Standardfrage der APQP- und PSO-Checkliste des Kunden.

Die logische Verknüpfung der Serienprozessfreigaben und Produktvalidierungen im Zusammenspiel der Partner in der Supply Chain kann sich umkehren. Das heißt, dass die Zieltermine des Endkunden für dieselben Meilensteine vor den Meilenstein-Zielterminen des Lieferanten und diese vor den Meilenstein-Zielterminen des Unterlieferanten zu liegen kommen.

Im Falle eines negativen Ergebnisses aus der Produktvalidierung beim Unterlieferanten bricht die gesamte Validierungsstruktur in Richtung Endkunden zusammen. Im Falle der Verletzung einer sicherheitsrelevanten Anforderung kann daraus ein Projektstopp resultieren. Nach Einbringen einer erfolgreichen Korrekturschleife beim Unterlieferanten muss die Projektleitung entscheiden, in welchem Ausmaß PSOs und Produktvalidierungen über die gesamte Lieferkette bottom-up wiederholt werden müssen.

- **Fallbeispiel zum Kollaps der Musterphasen**

In einer elektronischen Baugruppe zur Messung der Zell-Spannungen (CSC = Cell Supervision Circuit) in einer Lithiumionenbatterie für einen Premium Hybrid-PKW⁶³ kam ein maßgeschneiderter Mikrocontroller (Chip) zum Einsatz. Der Chip wurde von einem amerikanischen Großkonzern mit globalen Entwicklungs- und Fertigungsstandorten produziert (Tier 3). Eine Fehlfunktion des Mikrocontrollers hatte im Standardfall eine Abschaltung der Batterie zur Folge, konnte aber in einer Extremsituation zum Abbrand einer Lithiumionenzelle führen. Der Mikrocontroller wurde dem Elektronik-Bestücker (Tier 2) vom Batterieproduzenten (Tier 1) als verpflichtend einzusetzendes Bauteil vorgeschrieben. Die Einkaufs- und

⁶³ Projekte Jura 1, Jura 2

Freigabeverantwortung wurde an den Lieferanten abgegeben. Der Lieferant behandelte das Bauteil nach seinen internen Prozessvorgaben als Standard-Kaufteil ohne besondere Risikobetrachtung. Zum Zeitpunkt des Aufbaus von Batterien (nach dem „Design Freeze“) befand sich der Chip noch in Entwicklung. Damit wurde die Abfolge der Projektmeilensteine für Produkt- und Prozessfreigaben über zwei Glieder der Lieferkette umgekehrt (vgl. Abb.14).

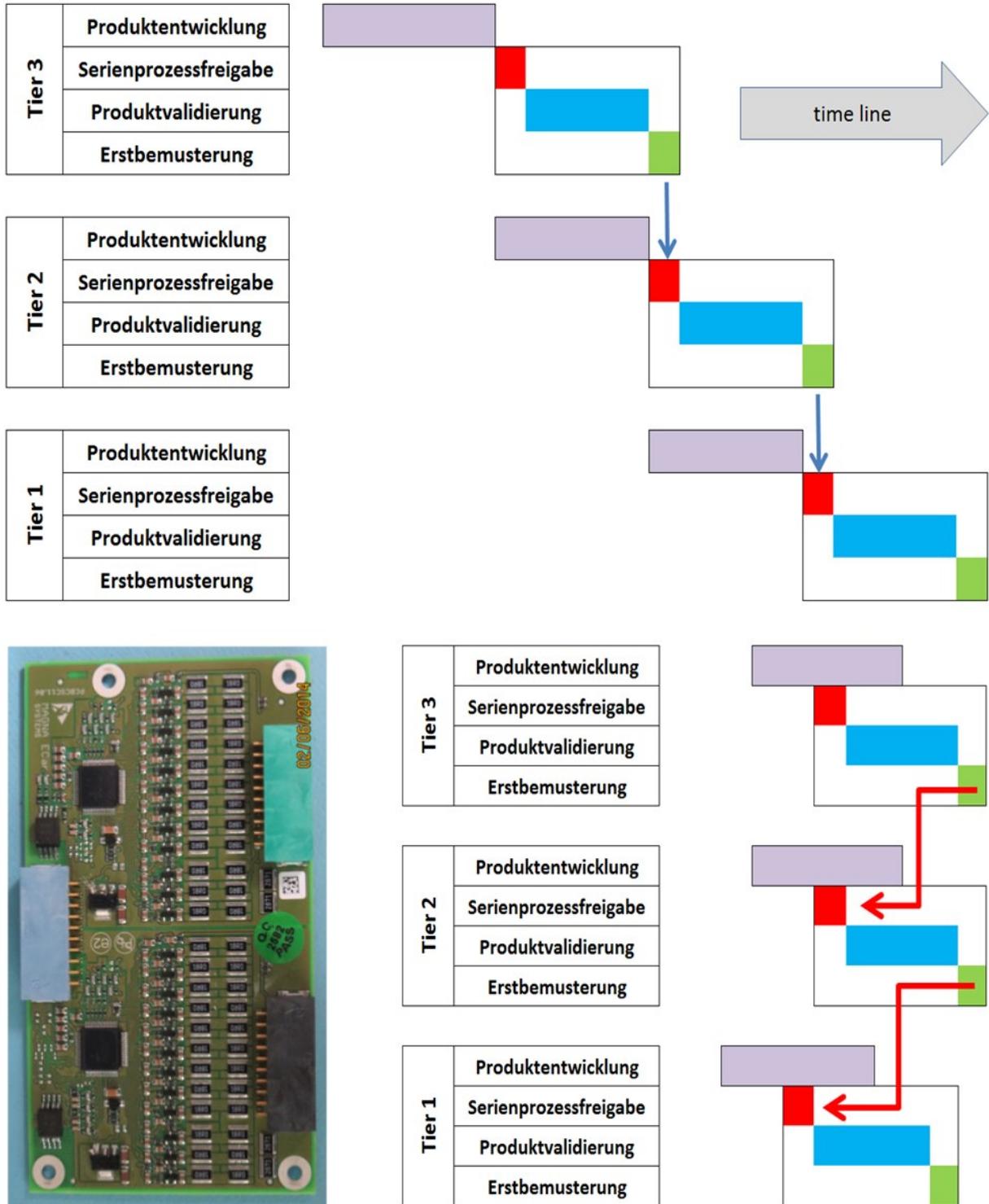


Abbildung 14: Beispiel für die Umkehrung der Meilensteinkette

Die Auswirkung des Fehlers waren „Liegenbleiber“ – das heißt, dass Testfahrzeuge und Endkundenfahrzeuge auf offener Strecke immobilisiert wurden. Die aus der Situation resultierende „Task Force“ erstreckte sich von September 2013 bis Juni 2015 und verursachte einen finanziellen Gesamtschaden von 3,1 Millionen Euro⁶⁴. Der Imageschaden für den Endkunden ist nicht quantifiziert.

2.4 Automotive Entwicklungsprojekt - Organisation

Die Aufbau- und Ablauforganisation eines Automotiven Entwicklungsprojekts muss darauf ausgerichtet sein, standardisierte Anforderungen an Entwicklungsprozesse und Terminpläne zu erfüllen. Beide orientieren sich an den Vorgaben in APQP und VDA. Auf Grundlage der Prozessvorgaben aus APQP und VDA werden in Zulieferbetrieben Organisationsanweisungen erstellt, die den Produktentwicklungsprozess (Produktentstehungsprozess) definieren. Dieser wird in die übergeordnete Prozesslandschaft der Organisation eingebunden. In erfolgreichen Automotiven Zulieferbetrieben für Entwicklung und Fertigung komplexer Produkte sind generische Managementsysteme implementiert und zertifiziert. In Abb.15 ist das generische „End-to-End“ Modell eines solchen Betriebes dargestellt. Im Kasten „Development“ sind die Schlüsselprozesse des Produktentwicklungsprozesses dargestellt. Die horizontale Dimension entspricht den Leistungserstellungsprozessen im Produktlebenszyklus. Die vertikale Dimension verbindet die Leistungserstellungsprozesse mit der arbeitsteiligen Struktur der Organisation und stellt Support-Prozesse dar.



Abbildung 15: Generisches Managementsystem eines Automotiven Betriebes⁶⁵

⁶⁴ Angenommener Wert (Geheimhaltung)

⁶⁵ Zit: Firma SDIBS (Generic Managementmodell – online)

Für den Produktentwicklungsprozess (Produktentstehungsprozess) wird auf Basis der in APQP/VDA beschriebenen Stage Gate Methodik die Vorlage einer Meilensteinkette aufgebaut. Diese definiert die zeitliche Abfolge der Entwicklungsprozesse. Die Meilensteinkette dient als Vorlage für die Erstellung von produktspezifischen Entwicklungsterminplänen.

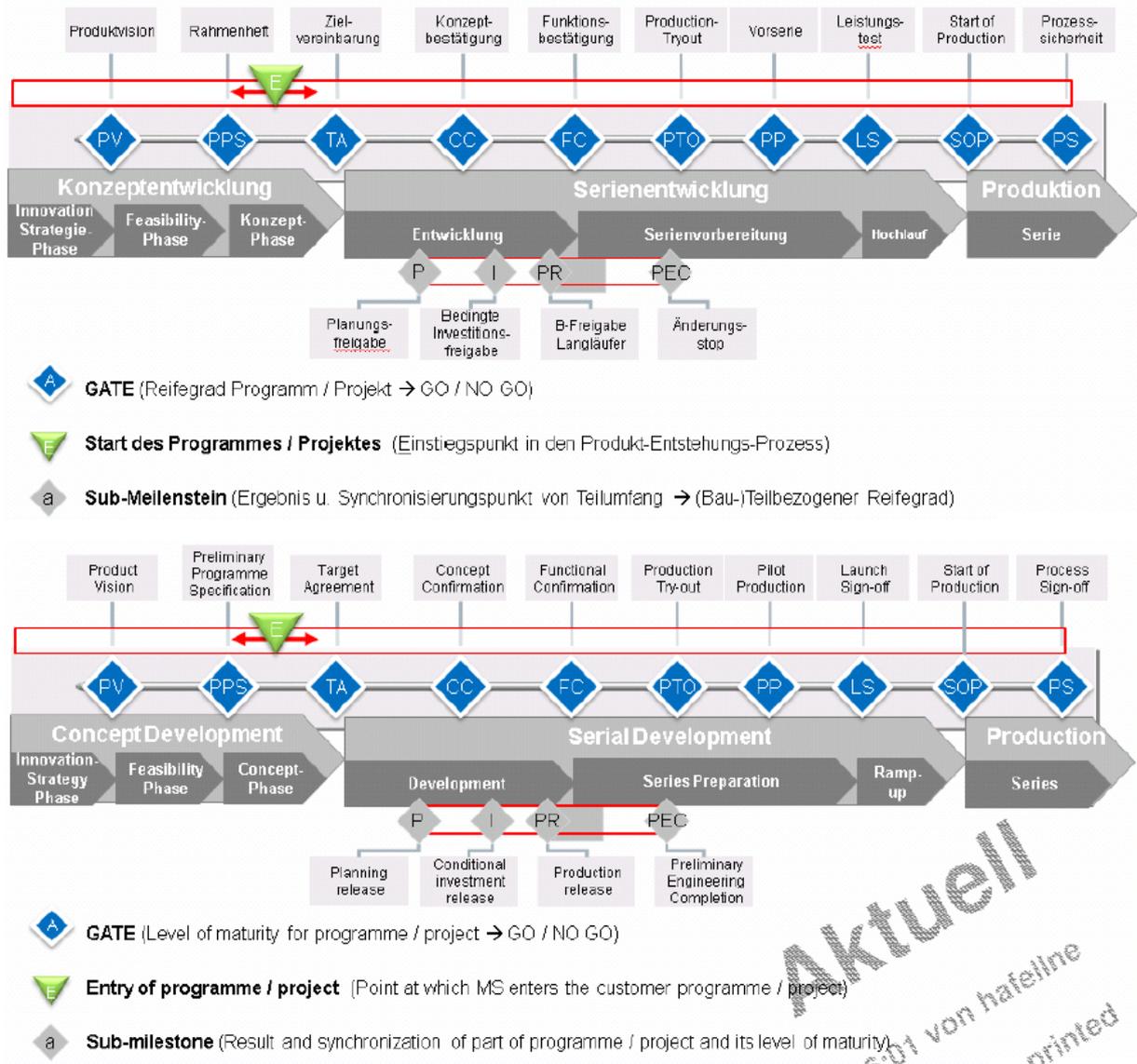


Abbildung 16: Meilensteinkette für die Produktentwicklung⁶⁶

Nach der Genehmigung des Entwicklungsprojekts durch den Projektauftraggeber wird ein Projektteam zusammengestellt. Dazu werden dem Projekt Personen aus den Fachabteilungen in Voll- oder Teilzeit zugewiesen. Die Mitglieder des Projektteams befinden sich in 80% der untersuchten Zulieferbetriebe in einer Matrixorganisation. Das vertikale Reporting erfolgt in die Fachabteilung (Linienfunktion). Das horizontale Reporting erfolgt zum Projektleiter (Projektfunktion).

Um Parallelisierungen der Entwicklungsarbeiten innerhalb und zwischen den Entwicklungspartnern im Produktentstehungsprozess zu ermöglichen, wird ein „Simultaneous Engineering-Ansatz“ (SE-Ansatz) gewählt. Vorgehensweisen wie „Integrated Product

⁶⁶ Zit.: Magna G 10250-1 (2010), S.12

Development“ und „Concurrent Engineering“ entsprechen dem Simultaneous Engineering Ansatz und weisen nur marginale Unterschiede zu diesem auf⁶⁷.

Die in SE-Teams organisierten Entwicklungsprojektteams bilden die Kompetenzzentren, die alle Schlüsselaktivitäten der Produktentwicklung auf Bauteil, Modul oder Systemebene durchführen und mit deren Umfeld koordinieren. SE-Teams setzen sich interdisziplinär zusammen. Die SE-Teamarbeit erfolgt in Zusammenarbeit mit internen Fachabteilungen oder externen Lieferanten für Hardware und Dienstleistungen. Ziel des SE-Teams ist, alle Stakeholder-Interessen in die Produktentwicklung einfließen zu lassen.

Die höchste SE-Teamebene ist beim Automobilhersteller (OEMs) angesiedelt. Diese gibt ihre Forderungen an die direkten Zulieferer (Tier 1 Lieferanten) weiter. Von diesen werden die Forderungen in der Lieferkette in Richtung der Urproduktion weitergegeben.

Bevor das SE-Team seine Arbeit aufnimmt, müssen die Verantwortlichkeiten der Entwicklungspartner auf Seiten des Lieferanten und des Kunden in einer SE-Team Matrix (vgl. Tab.7) eindeutig festgelegt werden, sodass für jede Person, die auf Seiten des Kunden eine dauerhafte Funktion im SE-Team wahrnimmt, eine Ansprechperson des Lieferanten als Schnittstelle definiert ist.

Tabelle 7: SE-Team Matrix: Teammitglieder und Funktionen⁶⁸

Simultaneous Engineering (SE) Team-Matrix							
Project name			Component name				
Supplier			Customer				
e-mail	Tel	Name			Name	Tel	e-mail
			SE team leader		SE team leader		
			Development		Development		
			Sales		Purchasing		
			Quality		Supplier Quality Assurance		
			Production		Production		
			Logistics		Logistics		

- communicate with each other
- main members of SE Team - communicate only after agreement with project leader
- substitute
- additional members of SE Team - communicate only after agreement with project leader

Können während der Produktentwicklung auftretende Probleme nicht auf SE-Teamebene gelöst werden erfolgt eine Eskalation an das übergeordnete Steuergremium. Die Eskalation der Thematik ist stufenweise bis auf Geschäftsführerebene möglich. Der Eskalationspfad wird in einem Beiblatt zur SE-Teammatrix definiert.

⁶⁷ Vgl. Meis (2011), S.2

⁶⁸ Magna Projekt Jura 2

Basierend auf der Struktur des zu entwickelnden Produkts werden SE-Teams in funktionalen Gruppen zusammengefasst. Für die funktionalen Gruppen werden übergeordnete SE-Teams gegründet. Die Gesamt-SE-Teamstruktur entspricht der Anordnung und Verbindung der Komponenten des Gesamtprodukts in Hardware.

Die Reaktion der Organisation auf reale Risikosituationen

Das Organisationsdesign muss so erfolgen, dass die im Vorgehensmodell für die Entwicklung Automotiver Komponenten definierten Instrumente zielgerichtet und dynamisch anwendbar sind. In der Elektromobilität ist die Organisation mit veränderten und sich verändernden Umfeldbedingungen konfrontiert. Dynamische Entwicklungen des Marktes, dynamische Änderungen der Kundenanforderungen und die Dynamik von Innovationen kollidieren mit den starren und standardisierten Prozessen in Automotiven Entwicklungsprojekten. Die vom Kunden vorgegebenen, terminbezogenen Entwicklungsziele sind nicht erreichbar. Der Soll-Ist Vergleich in einem typischen, realen Terminplan zu Projektende ist in Abb.17 dargestellt.

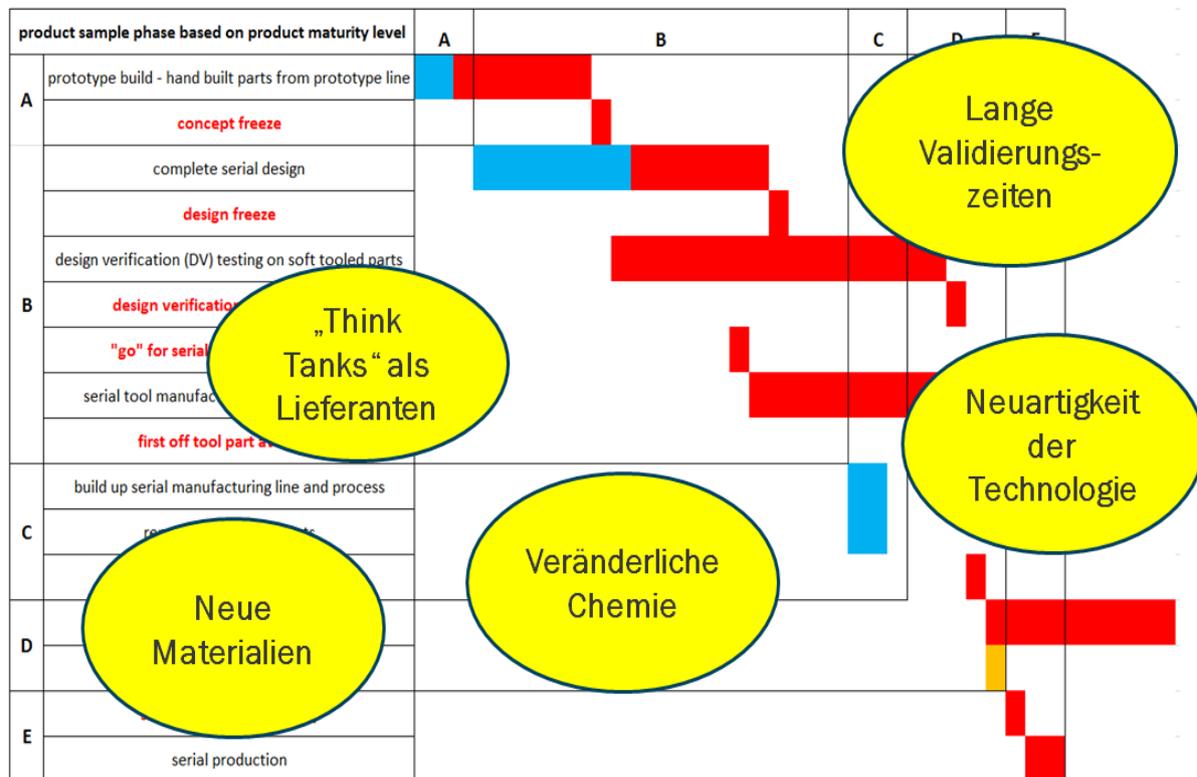


Abbildung 17: Terminverzug und Überlappung der Musterphasen in der Realität

Die Hauptproblematik liegt im verspäteten Abschluss der Produktentwicklung und Produktvalidierung. Produktänderungen und Produktvalidierungen erstrecken sich bis in die Serienproduktionsphase. Das damit verbundene Restrisiko kann in Rückrufaktionen resultieren. Dies kann die Entwicklungspartner in ökonomisch existenzbedrohende Situationen führen.

- Fallstudie „Erfüllungsgrad“ eines Entwicklungsauftrages

Die Analyse zweier abgeschlossener Entwicklungsprojekte für Lithiumionenbatterien ergab, dass am Beginn der Serienproduktion nur 35% der laut APQP zu erbringenden Arbeitspakete

positiv erledigt waren⁶⁹. Die Ursachen lagen in der Verschleppung unreifer Hardware in höhere Musterphasen und Mischverbauten von Komponenten unterschiedlichen Reifegrades. Die kombinierte Stückliste beider Projekte enthält 250 unterschiedliche Komponenten und Baugruppen. Die Gesamtzahl der Änderungen betrug 2039. Zwei Drittel der Produktänderungen erfolgten nach dem Änderungsstopp (Design Freeze). Die Hälfte der technischen Produktänderungen erfolgte nach der Freigabe der Serienprozesse in der Lieferkette (vgl. Tab.8). 85% aller Produktänderungen erfolgten nach der B-Musterphase des Projektes⁷⁰. In 100% der Fahrzeuge im Feld wurden im ersten Jahr nach der Markteinführung Systeme mit nicht abgeschlossener Produktvalidierung verbaut. Das finanziell bewertete Gewährleistungsrisiko betrug 1.500 Euro⁷¹ pro System. Für die Auslieferung der Systeme an den OEM wurden durch die Entwicklungsprojektleitung Risikofreigaben erteilt.

Tabelle 8: Technische Änderungen in den Projekten Jura 1 und Jura 2

Musterphase			B		C		D		Summe
			Entwicklung				Serie		
Bauteilfreigaben	Projekt	Jura 1	Erstfreigabe	175	Änderungen	119	Änderungen	256	550
		Jura 2		143		131		376	650
	Vergleich	Musterphasen isoliert	318		250		632		1200
		Entwicklung - Serie	568				632		1200
		vor / nach Design Freeze	318		882				1200

- Risikofreigaben

Laut Automotiven Vorschriften für das Entwicklungsprojektmanagement muss die verbaute Hardware mindestens den Reifegrad der gleichnamigen Musterphase aufweisen. Durch das Nicht-Abschließen oder Nicht-Bestehen von Design- und Produktvalidierungen und neu hinzugekommene Anforderungen an das Produkt wird dieses Ziel gefährdet. Die Zulieferbetriebe können dadurch die Hardware auf Grund der Wiederbeschaffungszeiten trotz Beschleunigungsaktivitäten am Beginn der nächsthöheren Musterphase nicht bereitstellen. Die

⁶⁹ Vgl. Müllner (2015), S.58

⁷⁰ Vgl. Müllner (2015), S.69

⁷¹ Angenommener Wert (Geheimhaltung)

Anlieferung von Hardware erfolgt verspätet und ohne Validierung. Gesamtbaugruppen, welche aus Komponenten, Modulen und Systemen geringeren Reifegrades bestehen stellen Risiken dar. Diese Risiken können im Fall von Fahrzeugerprobungen für Sicherheit und Umwelt relevant werden.

Um der Anlieferungsplanung des Kunden entsprechen zu können, stellen die Zulieferbetriebe Anträge für **Bauabweichungen**. Die Anträge enthalten Risikoabschätzungen in Bezug auf Sicherheit und Funktionalität der gelieferten Teile. Bedingt durch den Marktdruck werden diese Bauabweichungen in der Regel von den Kunden freigezeichnet.

Diese Vorgehensweise etabliert sich zurzeit in der Automobilbranche als Standardprozess, der in frühen Entwicklungsphasen beginnt und sich bis zu einem Jahr nach Serienproduktionsstart erstreckt. Dadurch werden unreife Produkte an den Endkunden ausgeliefert. Der Kunde fungiert als unfreiwilliger Testfahrer in groß angelegten Feldversuchen unter realen Bedingungen. Im Fachjargon hat sich dafür der Begriff „Bananenprinzip“ etabliert, da das Produkt unreif ausgeliefert wird und erst auf dem Weg zum Kunden oder beim Kunden reift. Bestenfalls können nach Sichtbarwerden von Unzulänglichkeiten im Rahmen von geplanten Werkstattaufenthalten (Service) Nachbesserungen vorgenommen werden. Schlimmstenfalls drohen pressewirksame Rückholaktionen, die dem Ruf eines OEMs und seiner Zulieferer signifikant schaden können. Rückrufaktionen können juristisch, technisch und finanziell existenzbedrohende Dimensionen für die involvierten Parteien in der Zulieferkette annehmen.

- **Verzerrung der Realität durch das (Projekt) Management**

Der Projektfortschritt wird vom Projektauftraggeber und dessen Kunden an der Produktreife gemessen. Die Produktreife wird durch die Hardwarereife, die Validierungstiefe, den Aufbauzustand der Logistikkette und den Zustand der Serienproduktionsanlage definiert. Projektreviews mit dem Kunden finden im Anschluss an interne Projektmeilenstein-Reviews in der Organisation des Lieferanten statt. In den bilateralen Reviews werden Sondervereinbarungen zwischen den Entwicklungspartnern für die Auslieferung und Verbau der entwickelnden Produkte getroffen. Die Sondervereinbarungen dienen der Auflösung des Zielkonfliktes, der aus der realen Situation des Entwicklungsprojekts resultiert. Es ist im Interesse des Kunden und des Lieferanten, den Markteintrittstermin zu halten.

Seit 2010 sind im Projektmanagement zwei Trends zu beobachten, die Automotive Vorgehensmodelle und die darin festgelegten Prozesse und Entscheidungen auszuhebeln beginnen⁷².

Der erste Trend ist die Akzeptanz von Sonderprozessen (Bauabweichungen und Risikofreigaben) als Standardprozesse. Der zweite Trend ist die Implementierung von Sondersprachregelungen mit Loslösen der Hardwarereife von der Musterstufe.

Durch das Zurückdrängen der Bedeutung von Hardwarereife und Validierungstiefe kann nicht eindeutig bestimmt werden, welchen Reifegrad ein entwickeltes Produkt z.B.: zum Meilenstein „C-Muster“ besitzt. Es kann sich dabei um eine Komponente aus einem Serienwerkzeug

⁷² Aus Projekten Jura1, Jura2, Frodo 11, 12, 15, 19, Wildcat 33

handeln (C-Muster Forderung), das das Design Verification (DV) Testing noch nicht positiv absolviert hat (B-Muster Forderung). Es kann sich um ein Produkt geringeren Reifegrades handeln (A- oder B-Muster), das mit einer freigegebenen Bauabweichung in der zeitlich angesetzten C-Musterphase des Kunden zum Einsatz kommt. Durch dieses Vorgehen wird ein geschöntes Bild des Entwicklungsprojekts vermittelt und in Gremien mit Entscheidungskompetenz vorgestellt. Die geschönte Sprachregelung bedeutet, dass unter dem Begriff „B-Muster“ nicht mehr die Hardware reife, sondern eine zeitlich (kalendarisch) abgegrenzte und als „B-Muster“ benannte Projektphase, verstanden wird (vgl. Abb.18). Diese Vorgehensweise unterstützt den Kollaps der Musterphasen. Dieser wird vom Management mitgetragen.

Produktentwicklung in der Automobilindustrie: Entwicklungsphasen nach Produktreifegrad							
Vorschrift	Projektphase	Vorentwicklung VE	(Kunden)Spezifisches Entwicklungsprojekt				Series- produktion
			A	B	C	D	
	Inhalt	Entwicklung von Designs und Technologien mit Potential für Serienproduktion	Erste funktionale Darstellung des Teiles nach Kundenanforderung	Teile aus Hilfswerkzeugen DV-Testing Serienwerkzeug-erstellung	Teile aus Serienwerkzeugen Aufbau Serienproduktionslinie	Produktvalidierung Freigabe des Teiles für Serienproduktion (Bemusterung)	Repetitive Produktion
Dauer	6 Monate - 1 Jahr	6 Monate	8 Monate	6 Monate	4 Monate	2-3 Jahre	

Anspannung des Marktes, Innovationsdruck	➔	Zeitvorgabe des Endkunden für Abwicklung Gesamtprojekt: max. 18 Monate	Series- produktion
--	---	--	-----------------------

Realität	Gesamte Vorentwicklung entfällt Koexistenz unterschiedlich reifer Komponenten in Modulen / Systemen Unausgereiftes Produkt kommt auf Markt (Bananenprinzip)	(Kunden) Spezifisches Entwicklungsprojekt			"Series- produktion"
		VE und A	A und B	B, C und D	
		6 Monate	8 Monate	4 Monate	2-3 Jahre

Management- Verzerrung	Musterphasen werden vom Produktreifegrad entkoppelt "Benennung" mit "B, C, D"	(Kunden) Spezifisches Entwicklungsprojekt			"Series- produktion"
		B	C	D	
		6 Monate	8 Monate	4 Monate	2-3 Jahre

Abbildung 18: Kollaps und Verzerrung Automotiver Musterphasen

Durch das Nachhinken der realen Produktreife wird die Qualität der Komponenten, Module und Systeme, die in Kundenfahrzeugen zum Einsatz gelangen, nachhaltig reduziert.

Zusammenfassung

Automotive Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität sind in ein dynamisches Umfeld eingebettet. Das Organisationsdesign der Entwicklungspartner in der Lieferkette ist an die Struktur von standardisierten Vorgehensmodellen zum Management eines Entwicklungsprojekts angepasst. Die Komplexität eines Elektrofahrzeuges erfordert den Einsatz neuer, komplexer Technologien. Entwickler neigen zur Über-Innovation. Die mit der Produktentwicklung beauftragte Organisation reagiert auf die Erhöhung der Produktkomplexität

mit der Erhöhung der Komplexität der technischen Entwicklungsprozesse. Gleichzeitig mit der Erhöhung der Produktkomplexität wird der Zeitraum, der für die Produktentwicklung zur Verfügung steht, um mindestens 30% verkürzt. Klassische Automotive Prozesse sind nach dem Stage-Gate Prinzip aufgebaut, das in Zusammenhang mit der Entwicklung hoch innovativer Produkte in einem volatilen Umfeld und unter Zeitdruck nicht mehr aufrecht zu erhalten ist⁷³. Die auf dem Hardware-Reifegrad aufgebauten, Automotiven Musterphasen kollabieren. Der Kollaps der Musterphasen veranlasst die Organisation dazu, Sonderprozesse zur Produktfreigabe einzuführen um Zieltermine gegenüber dem Kunden einhalten zu können. Die Sonderprozesse erhöhen die Gesamtprozesskomplexität. Sonderprozesse etablieren sich als Standardabläufe. Die zu Standardabläufen gewordenen Sonderprozesse stellen den Automotiven Entwicklungsprozess und dessen Musterphasen-Gliederung in Frage. In der Lieferkette wird die Produktkomplexität upstream in Richtung der Urproduktion verschoben. Das Automotive Radar ist nicht mehr in der Lage, Bedrohungen in tieferen Ebenen der Lieferkette zu erfassen und aufzulösen. Nach Serienproduktionsbeginn wird unausgereifte Hardware mit Abweicherlaubnissen (Bauabweichungen) freigegeben, in Fahrzeugen verbaut und an den Endkunden ausgeliefert.

Dies bedeutet eine signifikante Ausweitung des Risikoportfolios für Automobilhersteller und deren globale Lieferketten. Die in der Automobilindustrie etablierten Risikomanagementwerkzeuge sind techniklastige Insellösungen. Die Verknüpfung von Projekt- und Risikomanagement ist zu schwach ausgeprägt, um Projektrisiken mit den Zielen der Organisation zu harmonisieren und effizient zu bewältigen.

Die Dynamik der etablierten Automotiven Instrumente und Modelle ist für die ständig durchzuführende Anpassung an sich ändernde System- und Umfeldanforderungen zu träge. Es müssen an die Situation angepasste, alternative, dynamische und flexible Entwicklungsprojekt- und Risikomanagementinstrumente eingeführt werden. Diese müssen ermöglichen, trotz der Verkürzung der Projektlaufzeit in einem hoch innovativen Umfeld die Auswirkungen von Projektrisiken auf die Organisation zu minimieren. Die verbleibenden Restrisiken dürfen keine der interessierten Parteien gefährden und müssen eine nachhaltige Organisationsentwicklung durch Wertsteigerung garantieren.

⁷³ Vgl. Cooper (2014), S. 20-31

3 Theoretischer Unterbau eines neuen Vorgehensmodells

Zur Gestaltung eines Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement wird ein **systemtheoretischer Ansatz** gewählt. Der Systembegriff wird auf die zu entwickelnde Hardware, die Organisationen der Entwicklungspartner und alle interessierten externen Parteien angewandt. Die Struktur der Systeme bestimmt die Interaktion der Systemelemente.

Für die Darstellung und das Verständnis der Interaktionen zwischen den Systemelementen werden die Systeme als **Modelle** abgebildet. In den Modellen üben die Systemelemente Funktionen in Form von Prozessen aus.

Die **Prozesse** in einem Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement müssen **zielgerichtet** und an die Situation angepasst sein. Zur Anpassung an die Situation müssen die Modelle eine **flexible** und **dynamische** Prozessgestaltung erlauben.

Zum Erreichen von Zielen werden Entscheidungen getroffen. Im übergeordneten Vorgehensmodell sind Entscheidungsmodelle eingebettet, in welchen Entscheidungsprozesse ablaufen. Die **Entscheidungstheorie** liefert die Grundlage für das Zustandekommen von Entscheidungen.

In einer Organisation werden Entscheidungen vom Management getroffen. Der Begriff Management wird für die Führung eines Unternehmens und für die Leitung eines Entwicklungsprojekts angewandt. Zur Abstraktion und Darstellung der Führungsaufgaben werden Linienorganisation und Projektorganisation in ein **Managementmodell** eingebunden. Managementmodelle verknüpfen Personen und Ziele.

Das **Organisationsdesign** muss so erfolgen, dass unter Anwendung des Managementmodells zielgerichtete, effektive und effiziente Entscheidungen getroffen und exekutiert werden können.

Die Entscheidungen in einem Automotiven Entwicklungsprojekt in der Elektromobilität sind risikobehaftet. Deshalb muss das neue Vorgehensmodell für die Umsetzung der Ziele ein adäquates, an die Situation angepasstes **Risikomanagement** beinhalten.

Die Komplexität des Zusammenwirkens von Produkt, Organisation und ihrer interessierten Parteien in einem Risikoszenario erfordert eine **holistische Betrachtungsweise** des Gesamtsystems.

Die Abbildung des Gesamtsystems muss in einem **generischen Managementmodell** erfolgen. Das Risikomanagement muss in einem generischen Managementansatz eine zentrale Rolle spielen. Das Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement wird so gestaltet, dass es mit einem generischen Managementmodell verschmolzen werden kann.

Die Suche nach wirksamen Instrumenten zur Erfassung, Bewertung, Verdichtung und Beherrschung von Risiken erfolgt branchenübergreifend. Als generisches Risikomanagementinstrument wird ein Vorgehensmodell aus der Finanzwirtschaft in die materielle Wirtschaft übertragen und in das Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement integriert.

3.1 Systemtheorie

Unter einem System versteht man ein „aus mehreren Teilen zusammengesetztes, gegliedertes Ganzes“⁷⁴. Man unterscheidet funktional mit der Umgebung in Wechselwirkung stehende, offene Systeme und nicht mit der Umgebung in Wechselwirkung stehende, geschlossene Systeme. Geschlossene Systeme sind immer selbstgesteuert (autopoietisch oder selbstreferenziell). Offene Systeme können sowohl selbst- als auch fremdgesteuert sein. Fremdgesteuerte Systeme werden als allopoietisch (fremdbestimmt) bezeichnet. Überlebensfähige Systeme weisen als eine ihrer grundlegenden Funktionen deren Fähigkeit zur Selbst-Reproduktion auf⁷⁵. Systeme können biologischer, sozialer, technischer, oder – im Zeitalter der Informationsverarbeitung – virtueller Natur (Softwarefunktionen) sein. Als Auslöser zur Systembildung wird die Erhöhung der Komplexität von miteinander funktional im Zusammenhang stehenden Elementen gesehen. Durch Systembildung werden die Überlebenswahrscheinlichkeiten der einzelnen interdependenten Systembestandteile erhöht. Überlebensfähige Systeme weisen arbeitsteilige interne Strukturen auf. Darin übernehmen Subsysteme spezialisierte Teilaufgaben, die zum Überleben des Systems beitragen. Der Bedeutung von Systemen wird in der von BERTALANFFY begründeten, aus dem Studium biologischer Systeme abgeleiteten Systemtheorie⁷⁶ in Wissenschaft und Forschung Rechnung getragen.

Der Begriff „System“ ist immer mit dem Begriff „Funktion“ verknüpft.

Der von LUHMANN geprägte Begriff „Funktionssystem“⁷⁷ veranschaulicht mittels Methoden der Systemtheorie, dass Systeme funktional orientiert sind. Systeme entwickeln sich zu einem Zustand, der durch die Erfüllung bestimmter spezifischer Aufgaben zur Problemlösung durch das System definiert wird. Eine Kernaussage von LUHMANN besteht in der Erkenntnis, dass nicht die Funktion eines Systems aus seiner Struktur, sondern die Struktur eines Systems aus dessen Funktion folgt⁷⁸.

Daraus resultiert die Erkenntnis, dass die in einem Automotiven Entwicklungsprojekt erarbeiteten Systemdesigns funktionellen Anforderungen folgen. Dies gilt für technische Systeme in Hardware und deren Steuerungssysteme. Die in einer Automotiven Projektlandschaft ausgebildete Systemlandschaft ist auf die Erfüllung des Entwicklungsauftrages ausgerichtet. Zusammengeführt kann ein Automotives Entwicklungsprojekt als System- oder Funktionskomplex betrachtet werden.

LUHMANN bezeichnet unsere Welt als eine Ansammlung von Funktionskomplexen wie Wirtschaft, Wissenschaft, Justizsystem, Religionen, etc., welche sich miteinander in Dialog und untereinander in Interaktion befinden. Alle diese Teilsysteme üben Teilfunktionen aus, mittels derer die Teilsysteme durch ihren funktionalen Beitrag zum Bestehen des Gesamtsystems erklärt werden können. Funktionssysteme weisen vier Hauptcharakteristika auf: Die binäre Kodierung eines Systems definiert die Operationscharakteristik und die Abgrenzung des

⁷⁴ Zit. Brockhaus (2014), elektronisches Dokument

⁷⁵ Mc. Laughlin (2001), elektronisches Dokument

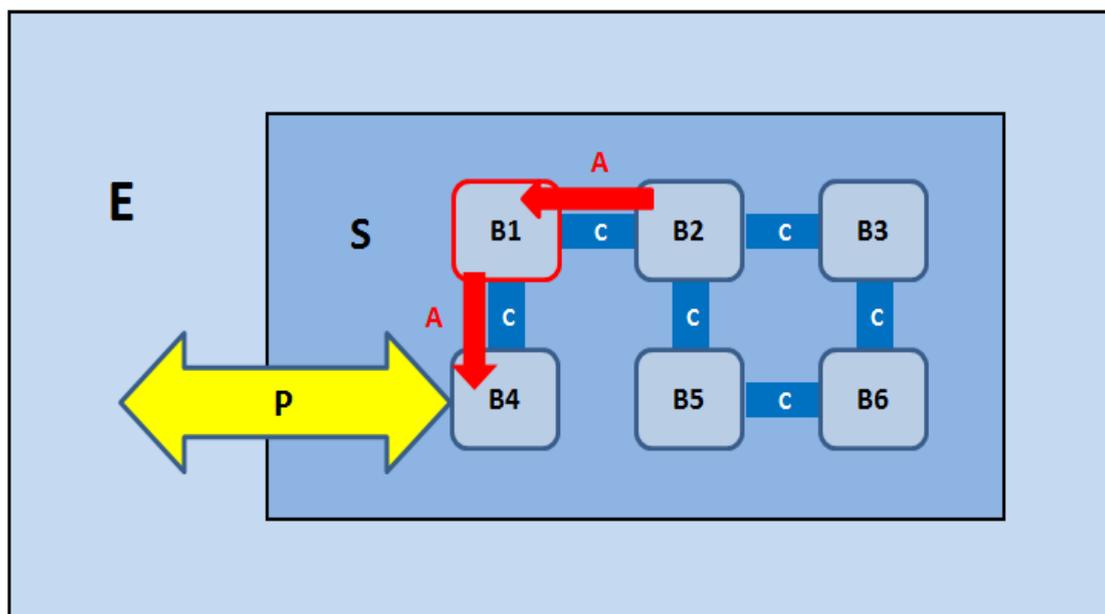
⁷⁶ Bertalanffy (1948)

⁷⁷ Luhmann (2001), elektronisches Dokument

⁷⁸ Luhmann (2001), elektronisches Dokument

Systems zu seiner Umwelt. Das Programm des Systems regelt die Zuordnung von Beobachtungen zu den in der Kodierung festgelegten Codewerten. Das Medium des Systems regelt die Kommunikation. Die Funktion dient primär der Selbsterhaltung des Systems, über welche die funktionale Erklärung des Systems erfolgt⁷⁹.

Wenn die Erfüllung spezifischer Aufgaben durch ein Gesamt- oder Teilsystem auf Grund der Zunahme der Komplexität nicht mehr möglich ist, erfolgt innerhalb des betrachteten Systems eine Differenzierung dessen Gesamtfunktion in Teilfunktionen. Dadurch vollzieht sich ein Übergang von einem Gesamtsystem zu einem arbeitsteiligen System. In untergeordneten Hierarchien können sich weitere Teilsysteme ausbilden. Die Notwendigkeit zur Spezialisierung und zur Aufteilung in weitere Teilsysteme kann mit der Reduktion der Steuerungskomplexität des Gesamtsystems zur Sicherung dessen Überlebens funktional erklärt werden. Die funktionale Erklärung eines Systems durch NAGEL⁸⁰ erfolgt, indem er ein System (S) in einer Umgebung (E) einen Prozess (P) ausüben lässt. Innerhalb des Systems (S) übt ein Bestandteil (B) des Systems⁸¹ die Funktion (A) aus. Die Organisation der gesamten Systembestandteile (Bi) im System (S) wird als (C) bezeichnet (vgl. Abb. 19). Die Funktion (A) des Systembestandteiles (B) dient nun dazu, die Interaktion des Systems (S) mit der Umgebung (E) zu ermöglichen. Die funktionale Erklärung des Systemelementes (B) wird derart erbracht, dass bei Ausschalten der Funktion (A) die Interaktion des Systems (S) mit der Umgebung (E) unterbunden oder gestört wird. Die Funktion (A) stellt bei Beeinträchtigung für das Überleben des Systems ein Risiko dar.



- | | |
|--|--|
| E ... Umgebung des Systems S | Bi ... Systembestandteile |
| S ... System in der Umgebung E | C ... Organisation der Systembestandteile |
| P ... Prozess, der von S in E ausgeführt wird | A ... Funktion eines Systembestandteiles |

Abbildung 19: Struktur und Interaktionen eines Systems

⁷⁹ Vgl. Luhmann (2004)

⁸⁰ Vgl. Nagel (1961), S.403

⁸¹ Variable „B“ vom Autor zur besseren Erklärung eingebracht

Mit Zunahme der funktionalen Ausdifferenzierung und Aufgliederung in Teilsysteme steigt innerhalb des Gesamtsystems der Bedarf an Kommunikation zwischen den Systemelementen. Ohne diese Kommunikation wäre es nicht möglich, dass das Gesamtsystem die ihm zugeordnete Funktion erfüllen kann.

Um den Aufbau eines Elektrofahrzeuges zu erklären ist ein Systemansatz ideal. Das System Fahrzeug besteht aus Sub-Systemen, die spezialisierte Aufgaben erfüllen. Beispiele für Sub-Systeme sind:

- Fahrwerk
- Antrieb
- Energiespeicher (Batterie)

Das Sub-System Energiespeicher kann in folgende Systembestandteile untergliedert werden:

- Energiespeichermodule
- Energieübertragung
- Kühlung
- Batteriemangement (elektronisch)

Energiespeichermodule bestehen aus den Komponenten:

- Batteriezelle
- Mechanische Zellverbinder
- Elektrische Zellverbinder

Komponenten repräsentieren die am geringsten komplexen Bauelemente eines Elektrofahrzeuges. Komponenten werden nicht als Systeme betrachtet. Systeme entstehen erst durch Wechselwirkung zwischen den Komponenten. Die Wechselwirkungen sind auf die Erfüllung funktionaler Ziele ausgerichtet.

Zur Erfüllung funktionaler Ziele interagieren die Systeme über deren Schnittstellen mit der Systemumgebung und sind fähig, sich an wechselnde Umwelt- und Umfeldbedingungen anzupassen. Das gewünschte Systemverhalten unter vorgegebenen Umwelt- und Umfeldbedingungen ist in Lastenheften des Kunden spezifiziert.

In Abb.20 ist der Aufbau des Systems "Lithiumionenbatterie" mit dessen Subsystemen und Schnittstellen zur Systemumwelt dargestellt.

Die in drei Zellmodulen kombinierten Lithiumionen-Batteriezellen (Z) werden von einem Kühlmedium (K) umströmt. Die Spannungen der Batteriezellen werden durch elektronische Baugruppen (CSC) überwacht. Die Information der CSCs wird an eine elektronische Baugruppe (BMU) weitergeleitet, die die Information verarbeitet und mit der Fahrzeugelektronik kommuniziert. Die Leistungsübertragung an den Elektromotor erfolgt über Hochspannungsleitungen (HV). Die Zu- und Abschaltung der Batterie wird von einem Relais (R) übernommen. Bei einem Systemversagen wird die Sicherung (F) aktiv und trennt das Batteriesystem elektrisch von der Systemumwelt ab.

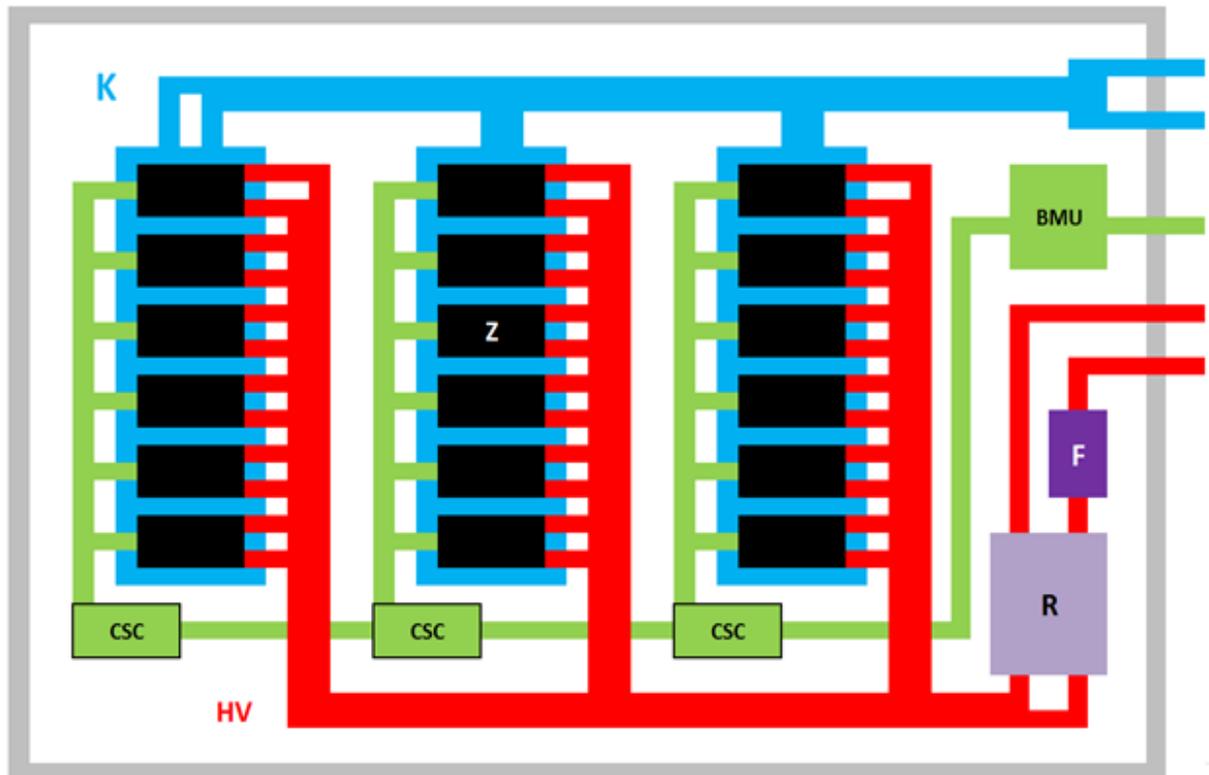


Abbildung 20: Struktur und Interaktionen eines Systems

Die Aufbau- und Ablauforganisation von Entwicklungsprojekten in der Automotiven Elektromobilität ist an die Strukturierung der zu entwickelnden Hardware angepasst. Jedem funktionalen Hardwarekomplex ist eine Fachabteilung in der Organisation des Entwicklungspartners zugewiesen. Die Fachabteilungen werden im Managementsystem der mit der Entwicklung beauftragten Organisation zu einem Gesamtsystem verknüpft. Das Gesamtsystem muss um Funktionskomplexe ergänzt werden, welche die Kommunikation zwischen den Systemkomponenten und deren Versorgung mit Ressourcen sicherstellen. Dazu gehören z.B.: Einkauf, Logistik, Controlling und Personalmanagement.

Die Systemkomplexität steigt in Richtung des Endkunden. Dabei können die mit der Entwicklung der Produkte beauftragten Partner in der Lieferkette als Systemelemente betrachtet werden, die im Gesamt-Entwicklungsprozess interagieren. Die Strukturierung (Arbeitsteiligkeit) deren Aufbau- und Ablauforganisationen wird durch die Komplexität der Produkte geprägt. Die organisatorischen Einheiten der Entwicklungspartner sind funktional ausgerichtet. Die organisationsbezogenen Aspekte in einem Netzwerk aus Entwicklungspartnern entsprechen einem Funktionssystem. Für das Verständnis komplexer Abläufe in Automotiven Entwicklungsprojekten wird deshalb analog zur Betrachtung der Hardware ein systemtheoretischer Ansatz gewählt.

In einem Entwicklungsprojekt muss die Organisation flexibel auf sich ändernde Umweltbedingungen reagieren, um das Überleben des Systems (der Organisation) sicherzustellen. Das Überleben des Systems ist mit dessen betriebswirtschaftlichem Überleben gleichzusetzen. Die Systemtheorie *„ermöglicht, die Dynamik der betriebswirtschaftlichen*

*Organisationssysteme (Organisation) ... in den Blickpunkt zu rücken und sich auf das Kriterium der Flexibilität auszurichten, um die Organisation den veränderten Umweltbedingungen schnell anpassen zu können*⁸². Um auf gegenwärtige Veränderung reagieren zu können, müssen die Systeme zur Leistungserstellung und deren Support-Systeme flexibel strukturiert werden. Beispiele sind Systeme für Qualitäts-, Prozess- und Projektmanagement. Um das wirtschaftliche Überleben des Systems (der Organisation) in Zukunft zu gewährleisten, ist ein zukunftsbezogenes, zielorientiertes und flexibles Risikomanagementsystem zentraler Bestandteil des Managementsystems der Organisation. Dabei müssen die Systemelemente herausgefiltert werden, die die Zielerfüllung signifikant gefährden können. Das Überleben einer Organisation ist von der Effektivität und Effizienz der Prozesse innerhalb der Systeme und deren Interaktionen abhängig. Zur Erhöhung der Effektivität und Effizienz unter gleichzeitiger Berücksichtigung sich ändernder Umweltbedingungen müssen die Systeme dynamisch gestaltet werden. Die Systemdynamik muss beherrscht und gelenkt werden.

Die Beherrschung der Systemdynamik wird durch die Implementierung von Steuerungsinstrumenten gewährleistet. Die Steuerungsinstrumente sollen so aufgebaut sein, dass die Aufwände zur Zielerreichung minimiert werden. Die Simulation und Regelung dynamischer Systeme kann unter Anwendung der Kybernetik erfolgen. Unter Kybernetik versteht man "die Erkennung, Steuerung und selbständige Regelung ineinander greifender, vernetzter Abläufe bei minimalem Energieaufwand"⁸³. Man kann Kybernetik als Lenkungsinstrument bezeichnen, welches ein zielgerichtetes Systemverhalten unter wechselnden Bedingungen sicherstellt⁸⁴.

Ein Beispiel für kybernetische Prozesse in einem autopoietischen System ist die Überwachung der Spannungen von Lithiumionenzellen in einem Zellmodul. Die Zellspannungsüberwachung erfolgt von der Umwelt unabhängig und wird durch einen komplexen Algorithmus in der Software einer elektronischen Baugruppe ausgeführt. Werden Schwellenwerte über- oder unterschritten erfolgt eine automatische Selbstabschaltung des Zellmoduls und eine vollständige Abtrennung des Moduls vom Batteriesystem.

Entscheidungsprozesse in Automotiven Entwicklungsprojekten können als kybernetische Vorgänge in allopoietischen Systemen verstanden werden.

Für die Entwicklung und Steuerung materieller und virtueller Systeme ist deren Abbildung in Modellen erforderlich. Aus den Modellen werden Erkenntnisse gewonnen, die zur Verbesserung der Steuerungsinstrumente und der Modelle selbst dienen.

3.2 Wissenschaftliche Modelle

Die Grundlage wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns liegt im Denken in Modellen⁸⁵. Die konstruierten Modelle dienen zur Abbildung natürlicher oder künstlicher Originale. Diese können in Form materieller und immaterieller Komponenten und Systeme vorliegen. Die

⁸² Zit: Gabler (2015)

⁸³ Vester (2001), S. 124

⁸⁴ Vgl. Ulrich (2001), S.244f

⁸⁵ Vgl. Stachowiak (1980), S.53

Originale können selbst Modellcharakter aufweisen⁸⁶. Beispiele für materielle Ausprägung sind technische Modelle wie Prototypenteile, die unter Anwendung von Rapid-Prototyping-Technologie entstanden sind. Beispiele für immaterielle Ausprägungen sind Datenmodelle und virtuelle 3D-Modelle für Computersimulationen. Bei der Konstruktion und dem Arbeiten mit Modellen ist zu berücksichtigen, dass diese nicht alle Eigenschaften des Originals beinhalten müssen. Modelle bilden nur die Eigenschaften des Originals ab, die dem Ersteller und/oder Anwender des Modells als für seine Problemlösung relevant erscheinen. Vor der Erschaffung eines Modells ist dessen Zweck festzulegen, aus welchem in einem pragmatischen Ansatz die Verkürzungsmerkmale (das Weglassen unwesentlicher Bestandteile des Originals) hervorgehen⁸⁷. Für die Optimierung eines Produktionsprozesses kann ein mathematisches Modell erstellt werden, das Prozessparameter ohne statistische Relevanz für den Prozess-Output nicht berücksichtigt. Der pragmatische Ansatz bei der Erstellung eines Modells bedingt, dass dieses seine Funktion

- nur für bestimmte Modellanwender
- nur in einem definierten Zeitraum
- nur auf definierte Operationen

erfüllt. Es ist deshalb seinem Original nicht per se zugeordnet. Ein Modell des Originals "O" dient im Zeitraum "t" dem Verwender "V" zur Verfolgung einer Intention "Z"⁸⁸. Das Finite-Element-Modell eines Batteriegehäuses zur Simulation dessen Crash-Verhaltens dient bis zur Durchführung des Crash-Tests in Hardware dem Bauteilentwickler zur Absicherung des Gehäusedesigns. Ein gemeinsamer Untersuchungsgegenstand kann durch verschiedene Modelle abgebildet werden. Dies bedeutet nicht, dass es eine über diese Gemeinsamkeit hinausgehende Beziehung zwischen den Modellen geben muss. Jedes Modell eines gemeinsamen Gegenstands hat seinen eigenen Anwendungsbereich⁸⁹. Merkmale des Originals, die im Modell nicht vorhanden sind, werden als präterierte Attribute bezeichnet. Merkmale des Modells, die im Original nicht vorhanden sind, werden als abundante Merkmale bezeichnet⁹⁰.

Modellentwicklung

Die Entwicklung von Modellen läuft in Phasen ab und stellt in sich ein Modell dar (vgl. Abb.21). Nach der Definition des Problems, das mit Hilfe eines Modells gelöst werden soll (Zielfunktion) werden die Grenzen des Modells und dessen Anwendbarkeit definiert. Danach erfolgt die Konstruktion des Modells. Nach der Modellanalyse erfolgt eine Validierung des Modells durch dessen praktische Anwendung. Ist das Validierungsergebnis negativ, muss das Modell modifiziert oder neu konstruiert werden.

⁸⁶ Vgl. Stachowiak (1973), S.131

⁸⁷ Vgl. Stachowiak (1973), S.132

⁸⁸ Vgl. Stachowiak (1973), S.132

⁸⁹ Vg. Falkenburg/Muschnigg (1988)

⁹⁰ Vgl. Stachowiak (1973), S.155

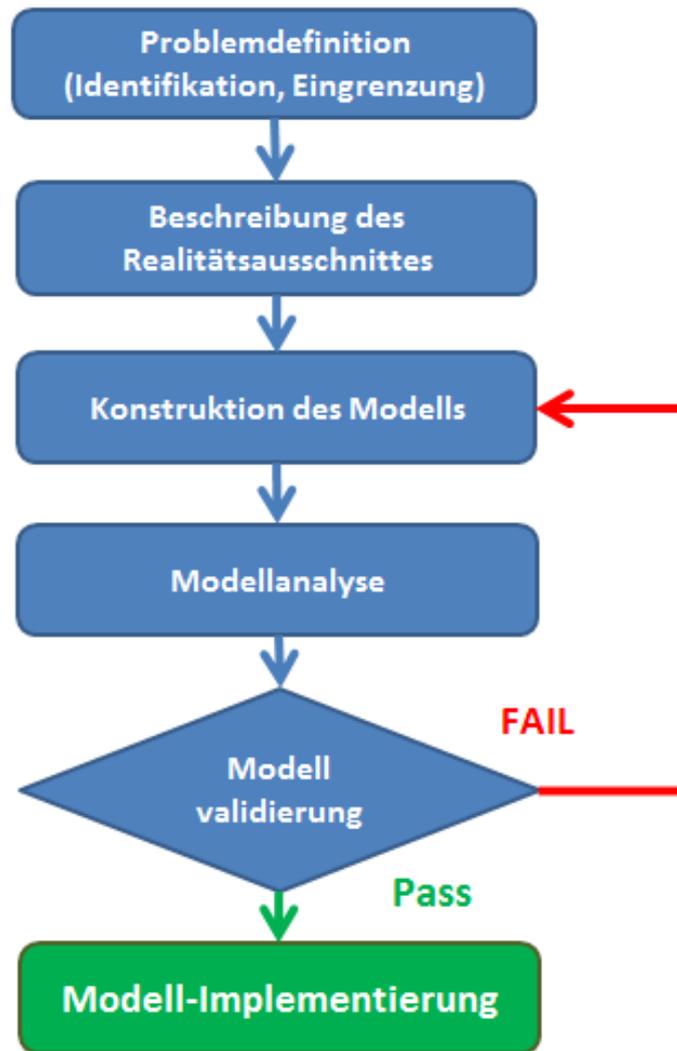


Abbildung 21: Modellentwicklung⁹¹

Klassifikation von Modellen

In der Real- und Betriebswirtschaft haben sich folgende Modelltypen als zweckmäßig erwiesen:

- Beschreibungsmodelle (deskriptive Modelle)
- Erklärungsmodelle
- Entscheidungsmodelle
- Vorgehensmodelle

Alle ökonomischen Modelle sind zielorientiert. Die Untergliederung der Modelle nach deren Zielbezug ist in Tabelle 9 dargestellt.

⁹¹ Vgl. Homburg (2000), S.37

Tabelle 9: Untergliederung ökonomischer Modelle nach Zielbezug

Ziel	Modellbezeichnung	
geordnete Beschreibung von Elementen in realen Systemen	Erfassungsmodell	Beschreibungsmodelle (Deskriptive Modelle)
Beschreibung der Beziehungen zwischen Elementen in einem realen System	Ermittlungsmodell	
Verstehen eines Systems durch Ableitung dessen Ausprägung aus Eingabegrößen	Erklärungsmodell	Erklärungsmodelle
Vorhersagen der zukünftigen Entwicklung eines Systems aus aktuellen Eingabegrößen	Prognosemodell	
Vorhersagen der zukünftigen Entwicklung eines Systems durch Variation der Eingabegrößen (Optimierung)	Simulationsmodell	
Logische Ableitung einer Entscheidung in einem System bei Vorliegen von mindestens zwei Handlungsalternativen	Entscheidungsmodelle	
Verwirklichung von strategischen Zielen durch Kombination von Beschreibungs-, Erklärungs- und Entscheidungsmodellen	Vorgehensmodelle	

Beschreibungsmodelle dienen zur Erfassung von realen Objekten⁹² und Outputs von Vorgängen. Liegt der Fokus auf der Erfassung bestimmter Größen des Originalen, wird das Beschreibungsmodell als Erfassungsmodell bezeichnet. Erfassungsmodelle enthalten keine Information über die Wirkzusammenhänge der erfassten Größen des Originals. Deshalb ist es nicht möglich, diese Modelle zum Testen von Hypothesen oder zur Erstellung von Prognosen heranzuziehen⁹³. Ein Beispiel für ein Erfassungsmodell ist die zahlenmäßige Darstellung volkswirtschaftlicher Größen wie Jahres-Umsatzzahlen eines Gesamtindustriezweiges. Zwischen den Größen in einem Erfassungsmodell können Zusammenhänge in Form mathematischer Beziehungen geschaffen werden, die die Ursprungsgrößen transformieren und zu neuen Größen kombinieren⁹⁴. Diese Erweiterung des Erfassungsmodells wird als Ermittlungsmodell bezeichnet. Beispiele für Ermittlungsmodelle sind die Ermittlungsrechnung als Basis der Unternehmensbilanz und das Projektcontrolling eines Automotiven Entwicklungsprojektes.

Erklärungsmodelle werden angewandt, um den Zustand des Originals durch kausale Zusammenhänge mit Modellinputs aus der Vergangenheit zu erklären. Die kausalen Zusammenhänge werden in Hypothesen eingearbeitet. Um die Gültigkeit des Modells

⁹² Vgl. Gabler (2015)

⁹³ Vgl. Domschke, Scholl (2000), S.28, Gal, Gehring (1981) S.20

⁹⁴ Vgl. Homburg (1998), S.34

nachzuweisen, wird das Modell in der Realität am Original zum Zweck der Falsifikation des Modells erprobt⁹⁵. Eine Hypothese kann nicht verifiziert, sondern nur falsifiziert werden. Im Falle einer Falsifikation muss das Modell modifiziert werden⁹⁶. Nach dem Nachweis der Gültigkeit eines Modells kann dieses zur Vorhersage des zukünftigen Verhaltens des Originals verwendet werden. In diesem Fall spricht man von einem Prognosemodell. Ein besonderer Fall des Prognosemodells bildet das Simulationsmodell. In einem Simulationsmodell kann das zukünftige Verhalten des Originals durch multiple Variation der Eingangsgrößen dargestellt werden⁹⁷. Die beobachtete Auswirkung eines Risikos kann mit einem Risikomanagementmodell (Erklärungsmodell) nachgebildet werden. Gelingt es nicht, die Hypothesen zu falsifizieren, wird das Risikomanagementmodell als gültig eingestuft. Mit dem gültigen Risikomanagementmodell ist es möglich, durch Eingabe realer Größen (z.B.: aus Erfassungs- und Ermittlungsmodellen) das zukünftige Risikopotenzial abzuschätzen. Durch Simulation verschiedener Eingangsszenarien können Parameter definiert werden, die in der Zukunft das Risiko minimieren.

Entscheidungsmodelle kommen zur Anwendung, wenn für das Erreichen eines Zieles mindestens zwei Handlungsalternativen zur Verfügung stehen. Die Aufgabe des Entscheidungsmodells ist die logische Ableitung einer Entscheidung aus der Darstellung des Entscheidungsproblems im Modell⁹⁸. Die Entscheidungsmodelle haben ihre Gültigkeit in einem Entscheidungsfeld. Ein Entscheidungsfeld besteht aus den im Modell erfassten relevanten Umweltzuständen, der Vorgabe des gewünschten Ergebnisses (Zieles) und den im Modell vorgegebenen Handlungsalternativen. Die Umweltzustände können variable sein und stochastischen Charakter aufweisen. Um eine Entscheidung zu treffen, werden die Elemente im Entscheidungsfeld durch Entscheidungsregeln definiert. Die Struktur eines Entscheidungsmodells ist in Abb. 22 dargestellt.

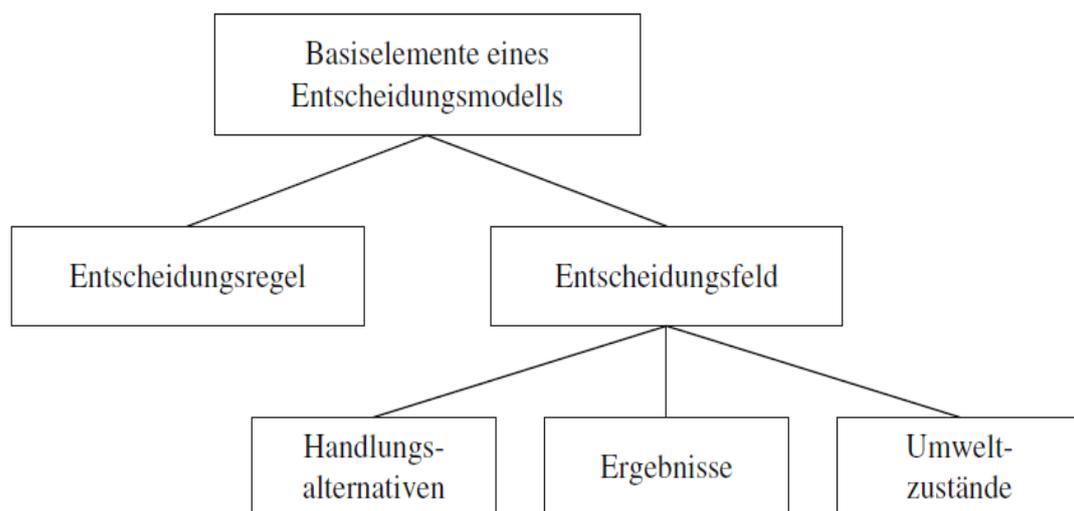


Abbildung 22: Die Struktur eines Entscheidungsmodells⁹⁹

⁹⁵ Vgl. Homburg (1998), S.34

⁹⁶ Vgl. Popper (1998), Kap.1, Unterkapitel 6

⁹⁷ Vgl. Gabler (2015)

⁹⁸ Vgl. Laux et.al. (2012), S.29

⁹⁹ Zit.: Laux et al. (2012), S.30

Die Zielgrößen (Zielvariablen) im Entscheidungsmodell *“bringen zum Ausdruck, welchen Konsequenzen der Alternativen der Entscheider Bedeutung beimisst”*¹⁰⁰. In einem Automotiven Entwicklungsprojekt ist die Bedeutung des vom Produktdesign herrührenden Risikos aus der Design-FMEA ablesbar. Der Leiter einer Entwicklungsabteilung kann nach einem Konzeptwettbewerb aus unterschiedlichen Designvarianten auswählen. Zur Auswahl des optimalen Designs dient ein Entscheidungsmodell. Ein System, das in einem Entscheidungsmodell abgebildet wird, kann aus Teilsystemen bestehen, die unterschiedliche Ziele verfolgen. In diesem Fall muss von der Organisation, in dem das Entscheidungsmodell zur Anwendung gelangt, ein Zielsystem etabliert werden. Dies ist mit der Unternehmenskultur zu harmonisieren. Im Automotiven Projekt- und Risikomanagement ist die oberste Leitung mit unterschiedlichen Stakeholder-Interessen konfrontiert, welche die Umweltzustände des Entscheidungsfelds repräsentieren. Im Falle eines projektbegleitenden Risikomanagementsystems müssen die Entscheidungsregeln im Entscheidungsfeld der Risikokultur der Organisation entsprechen.

Können die Entscheidungsmöglichkeiten eindeutig strukturiert und mathematisch beschrieben werden, erfolgt die Entscheidungsfindung rechnergestützt. Bei Vorliegen eines im Entscheidungsmodell schlecht zu strukturierenden Systems werden heuristische Verfahren eingesetzt. Beispiele für heuristische Entscheidungsmodelle sind Entscheidungstabellen oder Entscheidungsbäume¹⁰¹.

Vorgehensmodelle *“beschreiben den idealtypischen Umfang und Ablauf von Aktivitäten, die zur Erreichung eines Projektziels erforderlich sind. Sie geben damit einen Rahmen vor, durch den ein Projekt strukturiert und durchgeführt werden kann. In der Regel enthalten sie Aussagen zu Projektphasen und Meilensteinen, den anzuwendenden Standards, Richtlinien, Methoden und Werkzeugen in einem Projekt”*¹⁰². Vorgehensmodelle können Kombinationen aus Beschreibungs-, Erklärungs- und Entscheidungsmodellen sein. Die Strukturierung eines Vorgehensmodells ermöglicht die klare Auftrennung eines Gesamtsystems in Teilsysteme. Die Teilsysteme werden miteinander verknüpft, indem die Interaktionen zwischen den Prozessen modelliert werden. Vorgehensmodelle sind zielorientiert. Die Anforderung an ein Vorgehensmodell besteht in der Unterstützung des (Projekt)Managements zum Erreichen strategischer Ziele. Die Ausprägung eines Vorgehensmodells und die Anordnung dessen Elemente zueinander werden durch das Zielsystem vorgegeben. In Produktentwicklungsprojekten ist das V-Modell für die Entwicklungsabteilung von Bedeutung (vgl. Abb.23). Der in dem Vorgehensmodell dargestellte Prozessablauf beginnt mit der Definition der Kundenanforderungen. Die Kundenanforderungen definieren die Struktur des zu entwickelnden (zu „designenden“) Systems. Das System besteht aus Modulen, die aus Komponenten aufgebaut sind. Nach der Darstellung des Entwicklungsprodukts in Hardware erfolgt die Validierung. Die Validierungsergebnisse werden mit den Kundenanforderungen verglichen. Aus dem Vergleich kann der Grad der Zielerreichung ermittelt und als Kennzahl kommuniziert werden.

¹⁰⁰ Zit.: Laux et al. (2012), S.31

¹⁰¹ Vgl. Gabler (2015)

¹⁰² Vgl. Seibert Seibert (2006), S.45

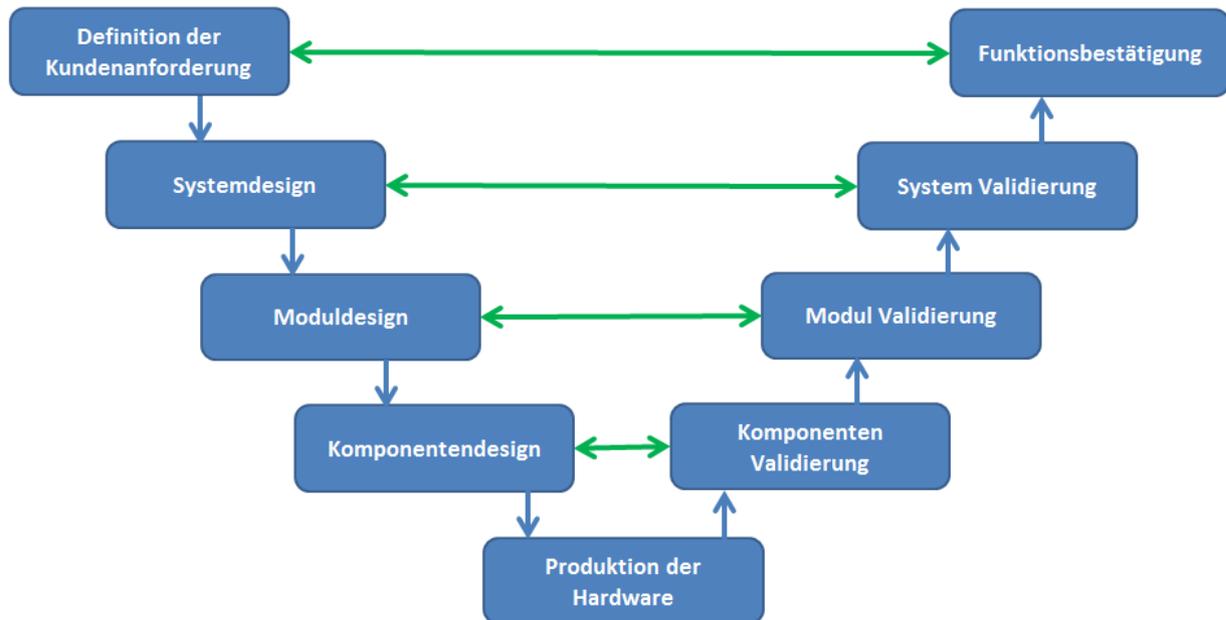


Abbildung 23: V-Modell eines Hardware-Entwicklungsprozesses

Vorgehensmodelle können komplex und mehrdimensional gestaltet werden, um alle für das Erreichen strategischer Ziele zu simulierenden Merkmale des Originals (Entwicklungsprojektes) abzubilden. Bei den in den Schriften der VDA und im APQP-Prozess dargestellten Phasen Automotiver Entwicklungsprojekte und deren Beziehung zur Aufbau- und Ablauforganisation eines Unternehmens handelt es sich um Vorgehensmodelle (vgl. Abb.2, Abb.3). Die Vorgehensmodelle orientieren sich an der Struktur der in einem Entwicklungsprojekt in Wechselwirkung stehenden virtuellen und materiellen Systeme. Die Interaktionen zwischen den Systemen entsprechen technischen Prozessen und Managementprozessen. Die Prozesse beinhalten Steuerungsentscheidungen, die zielorientiert ausgerichtet sein müssen um das (wirtschaftliche) Überleben der Systeme zu garantieren. Das Überleben von Systemen ist bei allopoietischen Systemen von deren Umwelt und Umfeld abhängig. Die Umwelt- und Umfeldbedingungen Automotiver Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität haben sich verändert. In den angewandten Modellen sind Schlüsselemente der Originale (des originalen Umfelds) nicht mehr abgebildet. Die in der Automotiven Elektromobilität angewandten Vorgehensmodelle sind daher nicht mehr geeignet, Produktentwicklungsprojekte effektiv und effizient zu unterstützen. Es ist erforderlich, ein neues Vorgehensmodell zu entwickeln und einzuführen. Um ein zielgerichtetes Systemverhalten unter wechselnden Bedingungen sicherzustellen, sind risikobasierte Entscheidungsprozesse von zentraler Bedeutung.

3.3 Entscheidungstheorie

Die Bedeutung von Entscheidungsprozessen im Automotiven Entwicklungsprojektmanagement erfordert das Verständnis der den Entscheidungen zu Grunde liegenden Vorgänge. Wenn sich zur Problemlösung mindestens eine Handlungsalternative bietet, muss eine Entscheidung getroffen werden. Entscheidungen sind auf das Erreichen von Zielen ausgerichtet. Die Handlungsalternativen können vor dem Treffen der Entscheidung danach bewertet werden, in

welchem Maß sie zur Zielerreichung beitragen¹⁰³. Die Handlungstheorie "ist ein Wissenskorpus zur Beschreibung, Analyse und Modellierung von Entscheidungsprozessen und Faktoren, die darauf einwirken"¹⁰⁴.

Ziele und Zielsysteme

Vor der Anwendung entscheidungstheoretischer Instrumente müssen Zielsysteme geschaffen werden, auf welche die Entscheidungen ausgerichtet sind. Beispiel für ein Ziel im betriebswirtschaftlichen Umfeld ist der Gewinn eines Unternehmens. Die Zielerreichung wird von unterschiedlichen Umfeld-Parametern beeinflusst. Ein Beispiel für Faktoren, die den aus der Entwicklung eines Produktes resultierenden Gewinn eines Unternehmens beeinflussen ist in Abb. 24 dargestellt.

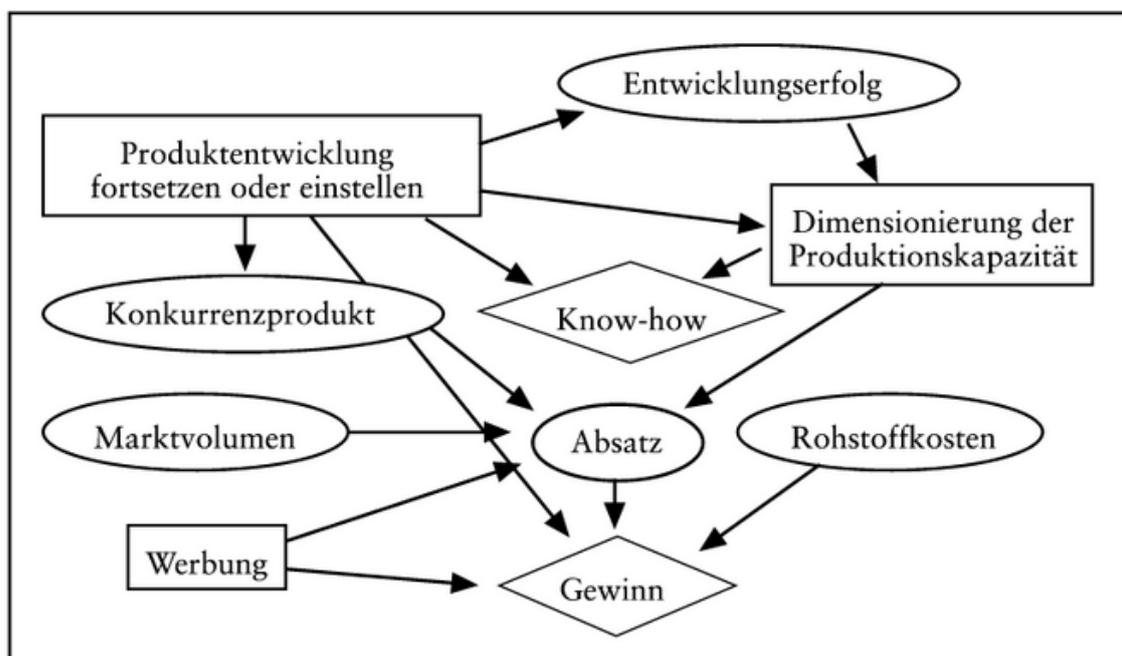


Abbildung 24: Einflussfaktoren auf den Unternehmensgewinn¹⁰⁵

Zukünftige Erwartungsstrukturen können mit Sicherheit oder Unsicherheit bestimmt werden. Im Fall von Sicherheit liegt nur ein Umweltzustand vor, der eindeutig ermittelt und vorhergesagt werden kann. Im Fall von Unsicherheit kann zwischen Unsicherheit im engeren Sinne und Risiko unterschieden werden (vgl. Abb. 25). Bei Unsicherheit im engeren Sinn ist es nicht möglich, die Auswirkungen einer Handlung für den Entscheider mittels statistischer Wahrscheinlichkeiten darzustellen. Bei einer Risikosituation können den Auswirkungen der Handlungen Eintrittswahrscheinlichkeiten zugewiesen werden. Die Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten kann subjektiv oder objektiv erfolgen¹⁰⁶. Ein Beispiel für die Ermittlung von Eintrittswahrscheinlichkeiten von Risiken sind standardisierte Entscheidungstabellen aus der Produkt- und Prozess-FMEA.

¹⁰³ Vgl. Engel (1981), S. 19ff

¹⁰⁴ Vgl. Onpulson (2015), elektronische Quelle

¹⁰⁵ Zit: Das Wirtschaftslexikon (2016), elektronische Quelle

¹⁰⁶ Vgl. Laux et al. (2012), S.23

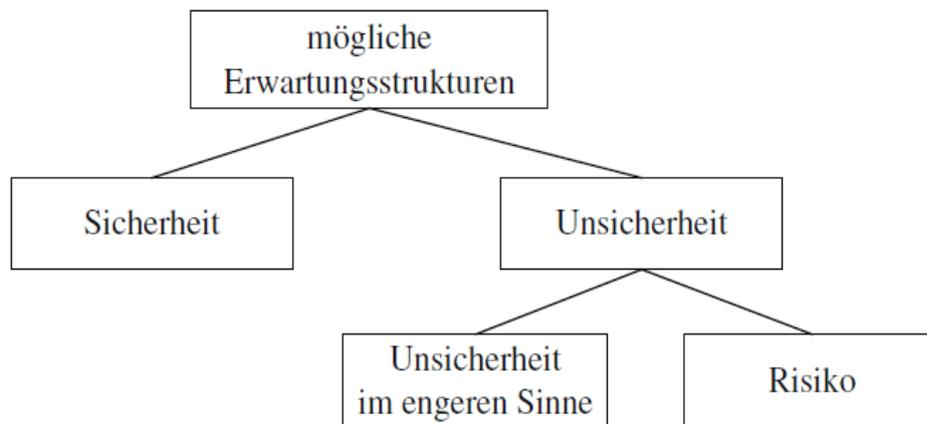


Abbildung 25: Mögliche Erwartungsstrukturen aus Entscheidungen¹⁰⁷

In Automotiven Entwicklungsprojekten setzt sich das Zielsystem aus multiplen Einzelzielen zusammen. Hauptziele sind:

- Technische Ziele
- Terminziele
- Kostenziele
- Sicherheitsziele
- Umweltziele
- Risikoziele

Multiple Ziele können in einer Matrixdarstellung zu einem Gesamtzielsystem kombiniert werden. In der Praxis sind Entscheidungsmatrizen in Form von Entscheidungstabellen anzutreffen, aus denen der Entscheider eine Handlungsalternative auswählen kann.

Dabei werden im Fall von Sicherheit die Zielvariablen (X) den zur Zielerreichung zur Verfügung stehenden Handlungsalternativen (a,b,c) gegenübergestellt. Die Bedeutung der Ziele wird in Form von Gewichtungsfaktoren (w) ausgedrückt. Die berechenbaren Ausprägungen der Zielvariablen in Abhängigkeit von der Handlungsalternative werden als (x) bezeichnet. Diese werden nach Multiplikation mit dem zugewiesenen Gewichtungsfaktor zur Entscheidungsbildung miteinander verglichen. In das Produkt aus Gewichtungsfaktor und Zielvariable können weitere Variablen als Faktoren eingebracht werden (vgl. Tab.10). Dies gilt für die Bewertung von Zielen im Falle von vorhersehbar und berechenbarem Verhalten der Zielvariablen.

In der Praxis sind die Eingabegrößen für die Vorhersage der Ausprägungen der Zielvariablen bei mehrfachen Handlungsalternativen mit Unsicherheit behaftet. Die den Berechnungen der Ausprägung der Zielszenarien zu Grunde liegenden Modelle stellen nur die aus der Sicht des Anwenders relevanten Merkmale des Originals dar. Deshalb werden die Zielvariablen (X) durch Zielszenarien (S) ersetzt. An Stelle der Gewichtungsfaktoren (w) treten die

¹⁰⁷ Zit.: Laux et al. (2012), S. 23

Eintrittswahrscheinlichkeiten (p) der Zielszenarien. Aus diesen resultieren die Konsequenzen (c) der Handlungsalternativen a , b und c (vgl. Tab.11).

Tabelle 10: Darstellung multipler Zielvariablen determinierter Systeme¹⁰⁸

Zielvariablen	X_1	X_2	X_3
Gewichte →	w_1	w_2	w_3
Alternativen			
a	x_{1a}	x_{2a}	x_{3a}
b	x_{1b}	x_{2b}	x_{3b}
c	x_{1c}	x_{2c}	x_{3c}

Tabelle 11: Darstellung multipler Zielszenarien stochastischer Systeme¹⁰⁹

	Szenarien	s_1	s_2	s_3
Alternativen	Wahrscheinlichkeiten	p_1	p_2	p_3
a	Konsequenzen	c_{1a}	c_{2a}	c_{3a}
b		c_{1b}	c_{2b}	c_{3b}
c		c_{1c}	c_{2c}	c_{3c}

Die zur Ermittlung der Auswirkungen von Handlungsalternativen angewandten mathematischen Algorithmen erwecken den Eindruck der Berechenbarkeit. Dies ist Grundlage der präskriptiven (normativen) Entscheidungstheorie.

Präskriptive (normative) Entscheidungstheorie

Die präskriptive Entscheidungstheorie modelliert den menschlichen Entscheider als "homo oeconomicus". Dieser zeichnet sich durch seine logischen Fähigkeiten und unendliche Rechenkapazität aus¹¹⁰. Der "homo oeconomicus" ist fähig, aus den verfügbaren Eingaben in einem Entscheidungsfeld (vgl. Abb.22) unter Anwendung logischer Verknüpfungen und seiner Rechenkapazität optimale Entscheidungen zu treffen. Die präskriptive Entscheidungstheorie ignoriert menschliches Verhalten.

Deskriptive Entscheidungstheorie

In der betriebswirtschaftlichen Praxis werden Entscheidungen, die das Überleben der Organisation sicherstellen müssen, von Menschen gefällt. Menschliche Entscheider verfügen nicht über die Fähigkeit, alle Alternativen und Konsequenzen für ihre Handlungen zum

¹⁰⁸ Zit.: Das Wirtschaftslexikon (2016), elektronische Quelle

¹⁰⁹ Zit.: Das Wirtschaftslexikon (2016), elektronische Quelle

¹¹⁰ Vgl. Menges (1974), S.86

Handlungszeitpunkt zu berücksichtigen. Aus diesem Grund treffen Menschen keine optimierten, sondern nur zufriedenstellende Lösungen¹¹¹. Die deskriptive Handlungstheorie verwirft das Modell des "homo oeconomicus" und bezieht die Realität mit ein.

Die descriptive Entscheidungstheorie setzt den Willen der Entscheider voraus, Ziele zu erreichen. Der Entscheidungsprozess wird in die Willensbildungs- und die Willensdurchsetzungsphase eingeteilt¹¹². In der Willensbildungsphase erfolgen

- die Erkennung und Klarstellung des Problems (Anregungsphase)
- das Festlegen von Kriterien zur Messung des Erfolgs, die Suche nach Handlungsmöglichkeiten und die Bewertung der Konsequenzen (Suchphase)
- die Bestimmung der günstigsten Handlungsweise (Auswahlphase)

In der Willensdurchsetzungsphase erfolgen

- die Umsetzung der Handlung (Durchführungsphase)
- die Bestimmung des Zielerreichungsgrades (Kontrollphase)

Die Erkenntnisse aus der Kontrollphase können erneut in die Anregungsphase einfließen und einen neuen Entscheidungszyklus auslösen.

Die Strukturen des Plan-Do-Check-Act-Zyklus aus Qualitätsverbesserungsprozessen und die Action Research Systematik sind mit den Prozessen der deskriptiven Entscheidungstheorie ident.

Entscheidungen in Automotiven Entwicklungsprojekten

Automotive Entwicklungsprojekte zeichnen sich durch komplexe Zielsysteme und multiple Entscheider aus. Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität sind durch die Neuartigkeit der Produkte risikobehaftet oder laufen unter Unsicherheit im engeren Sinne ab. Deshalb ist das Handeln der Menschen einzubeziehen und den Instrumenten der deskriptiven Entscheidungstheorie der Vorrang zu geben. Die Entscheider sind in unterschiedlichen Hierarchien und funktionalen Bereichen der Organisation (des "Systems" zur Produktentwicklung) angesiedelt. Daraus resultieren Zielkonflikte, die beherrscht werden müssen. Entscheidungen können zentral oder dezentral getroffen werden. Die Umsetzungen der Entscheidungen müssen hinsichtlich multipler, kurz-, mittel- und langfristiger Zielszenarien optimale Ergebnisse liefern. Die Mehrzahl der Entscheidungen ist schlecht strukturiert. Der Faktor Mensch und dessen Erfahrungsschatz leisten in der Entscheidungsbildung einen signifikanten Beitrag. Der Zielerreichungsgrad (abgeschlossene APQP-Aktivitäten) in Automotiven Entwicklungsprojekten ist im Zeitraum von 2010 bis 2015 zu Projektende auf unter 50% gefallen¹¹³. Die in der Automobilindustrie etablierten Entscheidungs- und Vorgehensmodelle sind auf Grund des veränderten Umfeldes nur noch eingeschränkt mit den Zielsystemen Automotiver Entwicklungsprojekte kompatibel. Die Strukturen und Prozesse zur Entscheidungsfindung müssen effektiver und effizienter gestaltet werden. Das Schaffen von Strukturen zur Zielfestlegung, Problemklarstellung, zur Festlegung der Handlungsweise, zur

¹¹¹ Vgl. Rommelfellner & Eickemeier (2002), S.5

¹¹² Vgl. Heinen (1991), S.35ff

¹¹³ Firmeninterner Benchmark ohne Quellenangabe

Handlungsverwirklichung und zur Bestimmung der Zielerreichung ist Aufgabe des Managements einer Organisation.

3.4 Organisationsdesign und Managementmodelle

Management ist die Koordination der Aktivitäten in einem Unternehmen mit dem Zweck, vorgegebene Ziele zu erreichen¹¹⁴. Die Ausprägung des Managements einer Organisation hat drei Dimensionen: Management kann als **organisatorische Einheit** in einem Unternehmen betrachtet werden. Die Manager üben in den Hierarchieebenen der Organisation leitende **Funktionen** mit planenden, realisierenden und kontrollierenden Tätigkeiten aus. Die angewandten **Managementmethoden** sind an die Ziele des Unternehmens und dessen Struktur angepasst¹¹⁵. Die Gesamtheit aller dem Management zugeordneten Aspekte kann in Managementmodellen beschrieben werden. In den Managementmodellen sind Strukturen, Prozesse, Instrumente zur Entscheidungsfindung und Verantwortungen festgelegt. Befindet sich ein Unternehmen im Wandel, muss das Managementmodell an die neue Situation angepasst werden, um das wirtschaftliche Überleben des Unternehmens zu sichern. Als Auslöser für ein Re-Design der Organisation sind folgende Beispiele angeführt:

- Änderung des Zielsystems des Unternehmens
- Innovationsschub
- Erhöhung der Produktkomplexität
- Wachstum
- Änderung des Umfeldes

Das Re-Design einer Organisation mit der Anpassung des Managementmodells an geänderte Bedingungen entspricht der Evolution eines Organismus. KITCHER wendet das Evolutionsprinzip für nicht-biologische Inhalte an und verknüpft die Begriffe "Funktion" und "Design" in der Aussage: „*the function of an entity (S) is what (S) is designed to do*“¹¹⁶. Damit sind Organisationsdesign und Organisationsfunktion direkt verknüpft.

Aufbauorganisation

Beim Erstellen eines Organisationsdesigns werden die Systemelemente der Organisation unter dem Aspekt der **Effektivität** strukturiert. Die systematische, zielgerichtete Anordnung der Systemelemente eines Unternehmens entspricht dessen Organisationsdesign und kann mit dessen Aufbauorganisation gleichgesetzt werden. Die Effektivität stellt die Eignung der Aufbauorganisation eines Unternehmens dar, die vorgegebenen Ziele zu erreichen. Dabei werden keine Aussagen getroffen, in welcher Art und Weise die Zielerreichung verwirklicht wird¹¹⁷.

Ablauforganisation

Die Ablauforganisation eines Unternehmens definiert, wie die Elemente der Aufbauorganisation funktional verknüpft sind. Sie wird darauf ausgerichtet, die in der Aufbauorganisation

¹¹⁴ Vgl. BWL Wissen (2016), elektronische Quelle

¹¹⁵ Vgl. Gabler (2015), elektronische Quelle

¹¹⁶ Zit.: Kitcher (1993), S. 379

¹¹⁷ Vgl. Gabler (2015), elektronische Quelle

stattfindenden **Prozesse** so zu gestalten, dass Ziele effizient erreicht werden. Die **Effizienz** ist ein „Beurteilungskriterium, mit dem sich beschreiben lässt, ob eine Maßnahme geeignet ist, ein vorgegebenes Ziel in einer bestimmten Art und Weise (z.B. unter Wahrung der Wirtschaftlichkeit) zu erreichen“¹¹⁸.

In Abbildung 26 ist die Strukturierung eines Unternehmens in Aufbau- und Ablauforganisation dargestellt. Die Aufbauorganisation repräsentiert das Potenzialgefüge eines Unternehmens. Die Ablauforganisation steht für das Prozessgefüge¹¹⁹.

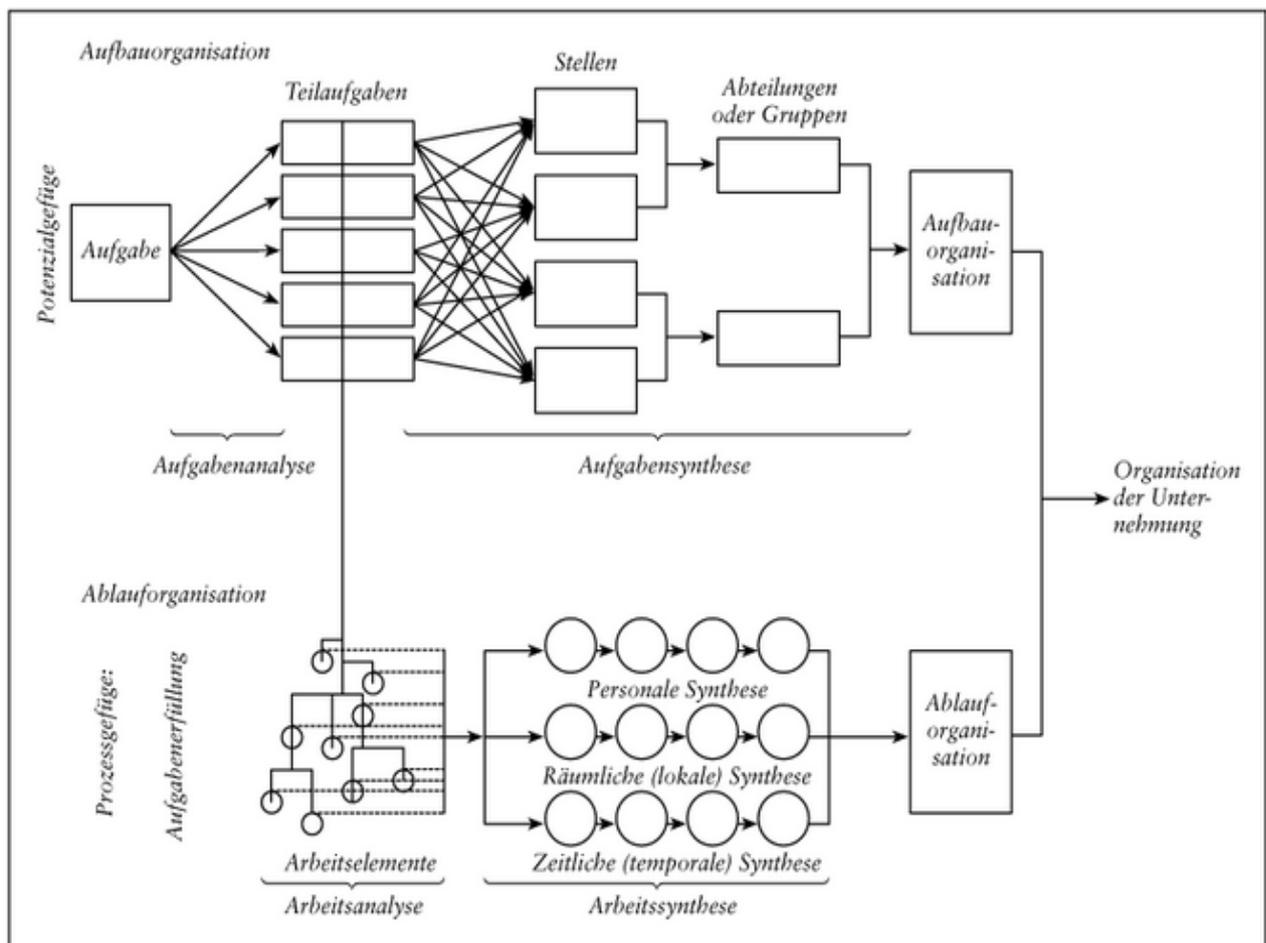


Abbildung 26: Aufbau und Ablauforganisation eines Unternehmens¹²⁰

Eine effektive Verknüpfung der Systemelemente einer Organisation impliziert nicht, dass die Organisation effizient an der Zielerreichung arbeitet.

Projektorganisation

Im Unterschied zu Prozessen zeichnen sich Projekte durch deren Einmaligkeit aus. Ein Projekt ist "eine zeitlich befristete, relativ innovative und risikobehaftete Aufgabe von erheblicher Komplexität, die aufgrund ihrer Schwierigkeit und Bedeutung meist ein gesondertes Projektmanagement erfordert"¹²¹. Projekte greifen auf Elemente und Ressourcen der Aufbau- und Ablauforganisation eines Unternehmens zu. Die Effektivität und Effizienz der Aufbau und

¹¹⁸ Zit.: Gabler (2015), elektronische Quelle

¹¹⁹ Vgl. Bleicher (1991), S.35f

¹²⁰ Zit.: Bleicher (1991), S.49

¹²¹ Zit.: Gabler (2015), elektronische Quelle

Ablauforganisation impliziert nicht eine effiziente Projektabwicklung. Die zur Abwicklung eines Automotiven Entwicklungsprojekts erforderlichen Strukturen und Prozesse sind in generischen, standardisierten Vorgehensmodellen festgelegt. Automotive Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität können durch deren Endkunden-Bezug eine Struktur aufweisen, die nicht mit der Organisationsstruktur des Auftragnehmers kompatibel ist. Dasselbe gilt für die Nicht-Kompatibilität der Entwicklungsprozesse mit der Ablauforganisation des entwickelnden Unternehmens. Das Organisationsdesign muss die Struktur des Unternehmens mit der Struktur der Entwicklungsprojekte unter Einbeziehen aller Stakeholder-Forderungen effektiv und effizient verknüpfen. Die Ablauforganisation des Unternehmens muss mit der Projektablauforganisation harmonieren. Organisations- und Projektentscheidungen müssen die Zielsysteme der Entwicklungspartner adressieren. Für die Steuerung des Unternehmens und der Automotiven Entwicklungsprojekte müssen diese in einem Gesamtmodell dargestellt werden, das flexibel strukturiert sein muss. Das Modell muss die Führungs- und Entscheidungsaufgabe des Linien- und Projektmanagements der Organisation zur effizienten Zielerreichung unterstützen. Eine effektive und effiziente Möglichkeit der Einbindung aller Teilaspekte des Managements in ein übergeordnetes, zielorientiertes Steuerungssystem ist die Erarbeitung eines generischen Managementmodells.

Generic Management

Dem Generic Management Ansatz liegt eine holistische Sichtweise des Unternehmens und aller interessierten Parteien zu Grunde. Diese erfordert

- Ein umfassendes, systemisches Denken
- Ein gedankliches Wechselspiel zwischen den Teilen und der Ganzheit
- Das Einordnen von Teilerkenntnissen in Gesamtkonzepte
- Ein wechselseitiges Denken auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen

Damit ist ein auf einer breiten Basis beruhendes, zusammenfügendes Denken gemeint. Es wird dafür unter Berücksichtigung vieler Einflussfaktoren von größeren Zusammenhängen ausgegangen. Generic Management wirkt im Gegensatz zur klassischen Unternehmensführung nicht zerlegend und isolierend, sondern zusammenführend¹²². Auf ein Entwicklungsprojekt in der Elektromobilität angewandt bedeutet Generic Management die Integration aller Aspekte der Gesamtorganisation in das Vorgehensmodell zur zielgerichteten Entwicklungsprojektleitung. In Abb.27 ist die Verschmelzung der abteilungsorientierten Sichtweise (vertikal) mit der prozessorientierten Sichtweise (horizontal) dargestellt. Die prozessorientierte Sichtweise entspricht im Falle eines Entwicklungsprojekts den im Projekt ablaufenden Entwicklungsprozessen. Mehr als 75% der, mit der Entwicklung von Schlüsselkomponenten beauftragten Zulieferer verfügt über zertifizierte, generische Qualitätsmanagementsysteme¹²³, welche alle für deren Produktentwicklung und Produktion relevanten Normvorgaben wie ISO9001, ISO14001, ISO/TS16949, ISO27000, ISO51000, etc. vereinigen. Die generischen Managementsysteme enthalten Organisationsanweisungen und Vorgehensmodelle, die den Entwicklungsprozess abbilden.

¹²² Vgl. Bleicher (2004), S.52

¹²³ Aus SDIBS Lieferantendatenbank, 31.10.2015

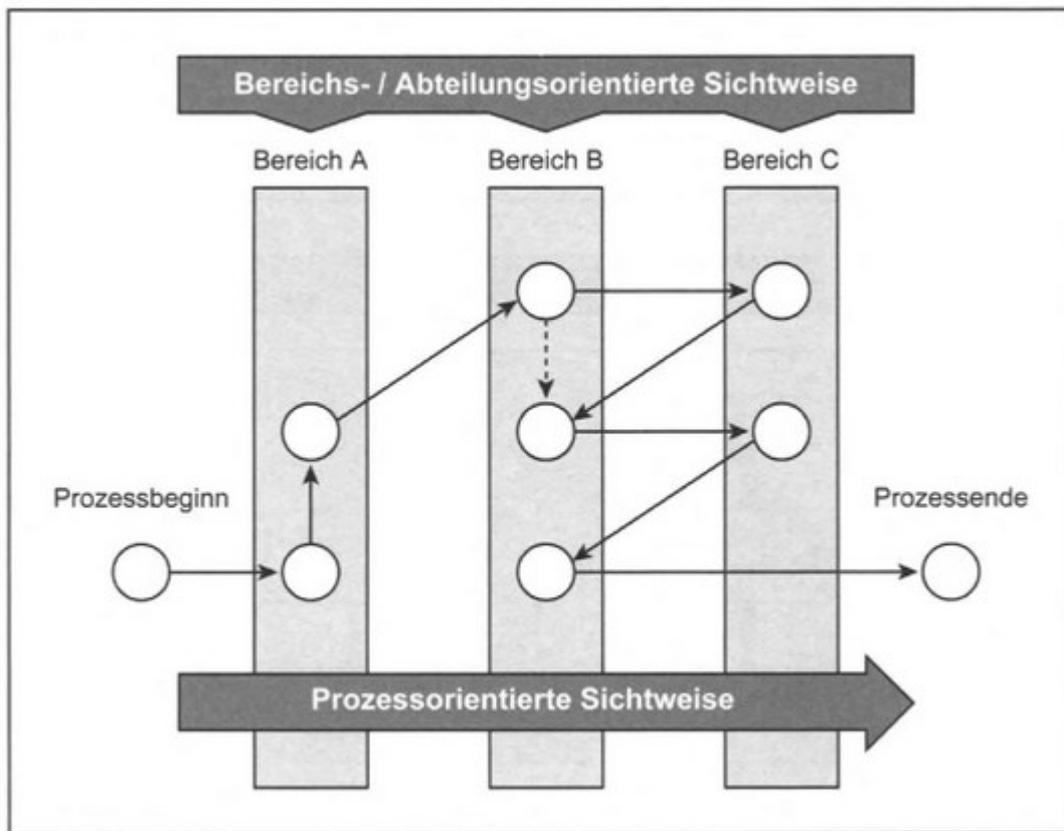


Abbildung 27: Verschmelzung der abteilungs- und prozessorientierten Sichtweise¹²⁴

Das St. Galler Managementmodell

Die Basis des St. Galler Managementmodells bildet der Systemansatz von Hans ULRICH¹²⁵. Die Weiterentwicklung des St. Galler Managementmodells erfolgte durch Knut BLEICHER, der das Managementmodell vertikal in normatives, strategisches und operatives Management unterteilt. Die Vision der Unternehmensführung wird auf das normative Management übertragen, das die Unternehmenspolitik und das Unternehmensleitbild festlegt. Das strategische Management übernimmt die Zielvorgaben und nutzt die Unternehmensstruktur mit dem Managementsystem zum Herunterbrechen der Ziele in Teilziele. Das operative Management setzt die Teilziele in Handlungen um, indem organisatorische Prozesse ausgeführt werden. Die drei vertikalen Ebenen werden um Verhaltensaspekte der Mitarbeiter erweitert. Das Leistungs-, Kooperations- und Problemverhalten der Mitarbeiter definiert die Unternehmenskultur. Über dem gesamten Modell steht die Dimension der Unternehmensentwicklung, welche als dynamisches Element gesehen werden kann. Die Unternehmensentwicklung muss derart erfolgen, dass das Überleben der Organisation unter wechselnden Umweltbedingungen gewährleistet ist¹²⁶. RÜEGG-STÜRM stellt die Dimensionen des weiterentwickelten St. Galler Managementmodells mit seiner Beziehung zur Umwelt

¹²⁴ Vgl. Baumgartner et al. (2006), S.53

¹²⁵ Vgl. Ulrich (1968); Ulrich (1972)

¹²⁶ Vgl. Bleicher (2011), S.85ff

übersichtlich dar (vgl. Abb.28). Darin sind Ordnungsmomente (Strategie, Struktur und Kultur) mit Prozessen (Managementprozesse, Geschäftsprozesse, Unterstützungsprozesse) und Entwicklungsmodi (Erneuerung, Optimierung) des Unternehmens dreidimensional verknüpft. Der Modellkern wird zwiebelschalenartig von den Interaktionsmodi der Komponenten und von Umweltsphären umgeben. Die Umweltsphären repräsentieren die Anspruchsgruppen (Stakeholder, interessierte Parteien), die aus dem Umfeld auf das Unternehmen einwirken.

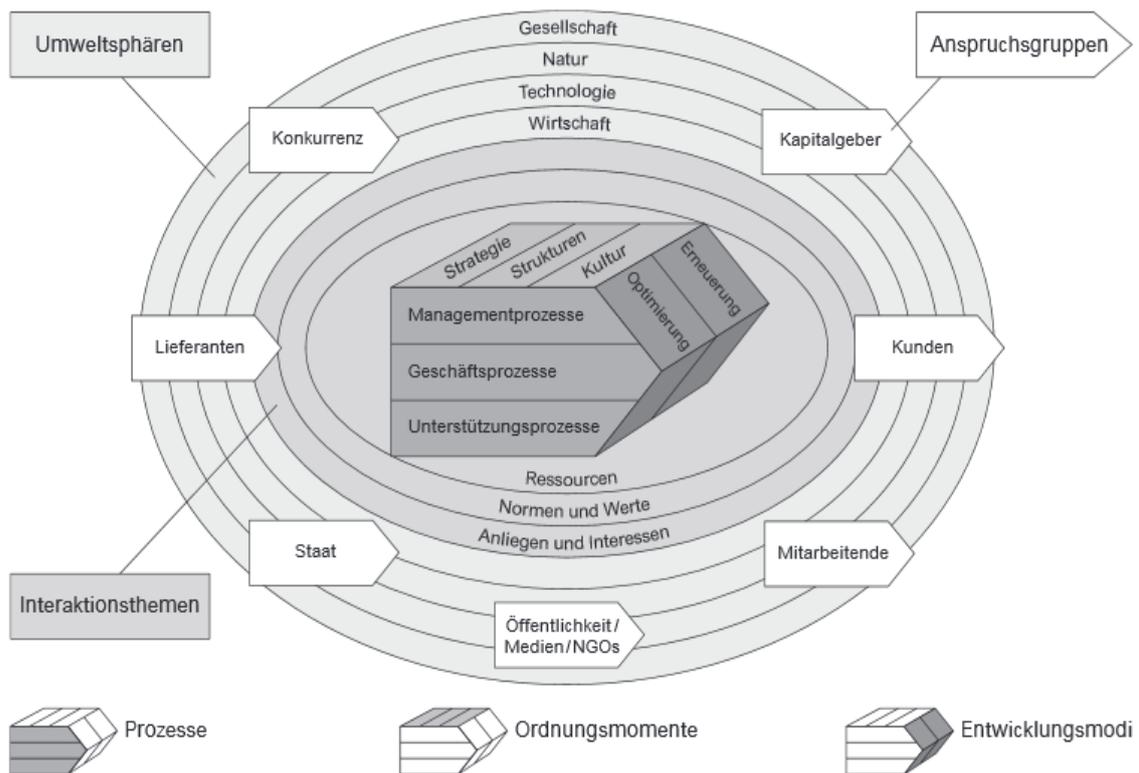


Abbildung 28: Das neue St. Gallener Managementmodell¹²⁷

Das neue St. Gallener Managementmodell ist durch Austausch und Umbenennung seiner Bestandteile flexibel an die Anforderungen und Zielsysteme einer Organisation anpassbar. Generische Managementsysteme von Entwicklungspartnern in Automotiven Projekten sind zu mehr als 80% an das St. Gallener Managementmodell angelehnt¹²⁸.

Das Leobener Generic Management Modell

Die Definition von Generic Management im Leobener Modell lautet: „*Generic Management ist ein Führungsmodell zum Management unternehmensinterner und unternehmensexterner Anforderungen und Ansprüche einschließlich der Prinzipien des Sustainable Development unter Beachtung dynamischer und komplexer Prozesse und Rahmenbedingungen und dient einer dauerhaften und nachhaltigen Unternehmensentwicklung*“¹²⁹. Die besondere Wirksamkeit

¹²⁷ Zit.: Rüegg-Stürm, J. (2015), S.70

¹²⁸ Empirisch ermittelter Wert (72 auditierte Automobil-Zulieferer)

¹²⁹ Zit: Baumgartner, Biedermann, Klügl, Schneeberger, Strohmeier, Zielowski (2006), S.32ff

dieses von BAUMGARTNER, BIEDERMANN, KLÜGL, SCHNEEBERGER, STROHMEIER und ZIELOWSKI am Institut für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben erarbeiteten Managementmodells liegt in der expliziten Forderung, die nachhaltige Unternehmensentwicklung sicherzustellen. Damit werden die Zielszenarien der Organisation, in der das Managementmodell zur Anwendung gelangt, eindeutig auf das Überleben des Funktionskomplexes „Unternehmen“ in seinem Umfeld ausgerichtet. Die Philosophie des Leobener Generic Management Modells beruht auf den Säulen: Wertsteigerung, Stakeholder-Beteiligung und Flexibilität (vgl. Abb.29).

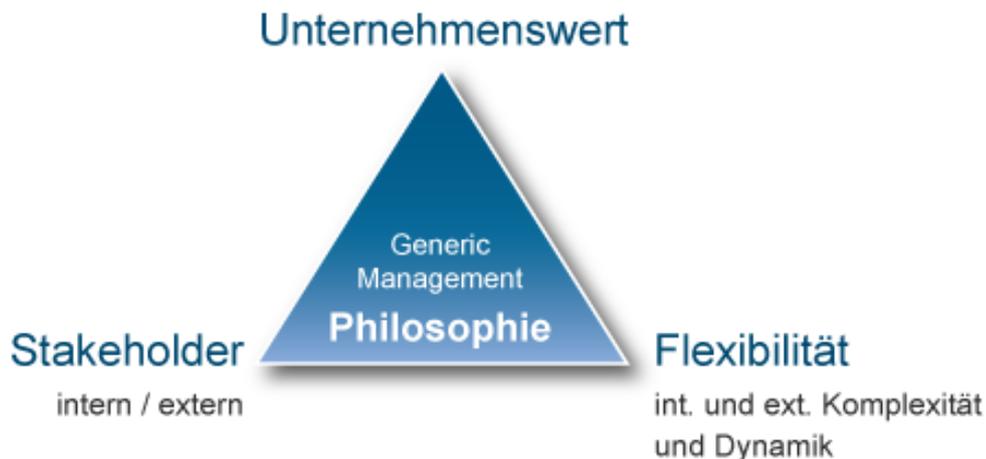


Abbildung 29: Die Säulen (Angelpunkte) des Leobener Generic Management Modells¹³⁰

Es ist ein ganzheitliches Führungsmodell, welches an der Schnittstelle zwischen Wirtschaft und Technik dort zur Anwendung kommt, wo dynamisch ablaufende und komplexe Zusammenhänge ermittelt und gesteuert werden müssen. Die Anwendung des Leobener Generic Management Modells veranlasst die beteiligten Parteien zu einer integrativen, interaktiven und vernetzten Sichtweise der in Wechselwirkung stehenden Felder. Durch die Flexibilität des Leobener Generic Management Modells wird eine rasche Anpassung an sich ändernde interne und externe Rahmenbedingungen ermöglicht. Dadurch wird die Agilität der Organisation erhöht. Die Rahmenbedingungen werden von internen und externen Stakeholdern vorgegeben. Die mit der Stakeholder Orientierung und Flexibilität verknüpfte Effizienzsteigerung resultiert in der Steigerung des Unternehmenswertes. Eine Steigerung des Unternehmenswertes schafft Ressourcen zur weiteren Erhöhung der Stakeholder Orientierung und Flexibilität.

Die Darstellung des Leobener Generic Managementmodells kann als Ebenenmodell erfolgen. Dabei werden dessen Systemelemente und Instrumente mit dessen Gestaltungsfeldern und einer Regelkreissystematik überlagert. In den Gestaltungsfeldern werden in Übereinstimmung mit der Unternehmenskultur Strategien und daraus Strukturen abgeleitet. Das Wissens und Datenfeld bildet die Basis der Gestaltungsfelder. Die Regelkreissystematik über Standardisierung, Wissensweitergabe, Messung, Analyse und Bewertung führt zur Modellverbesserung und zur Verbesserung der Zielerreichung. Über eine Darstellung als Würfel können die Ebenen überlagert und zusammengeführt werden (vgl. Abb. 30). Jeder Raumpunkt

¹³⁰ Zit: Biedermann (2015), elektronische Quelle

des Würfels wird einem Teil der Organisation und den für diesen anwendbaren Aspekten zugewiesen.

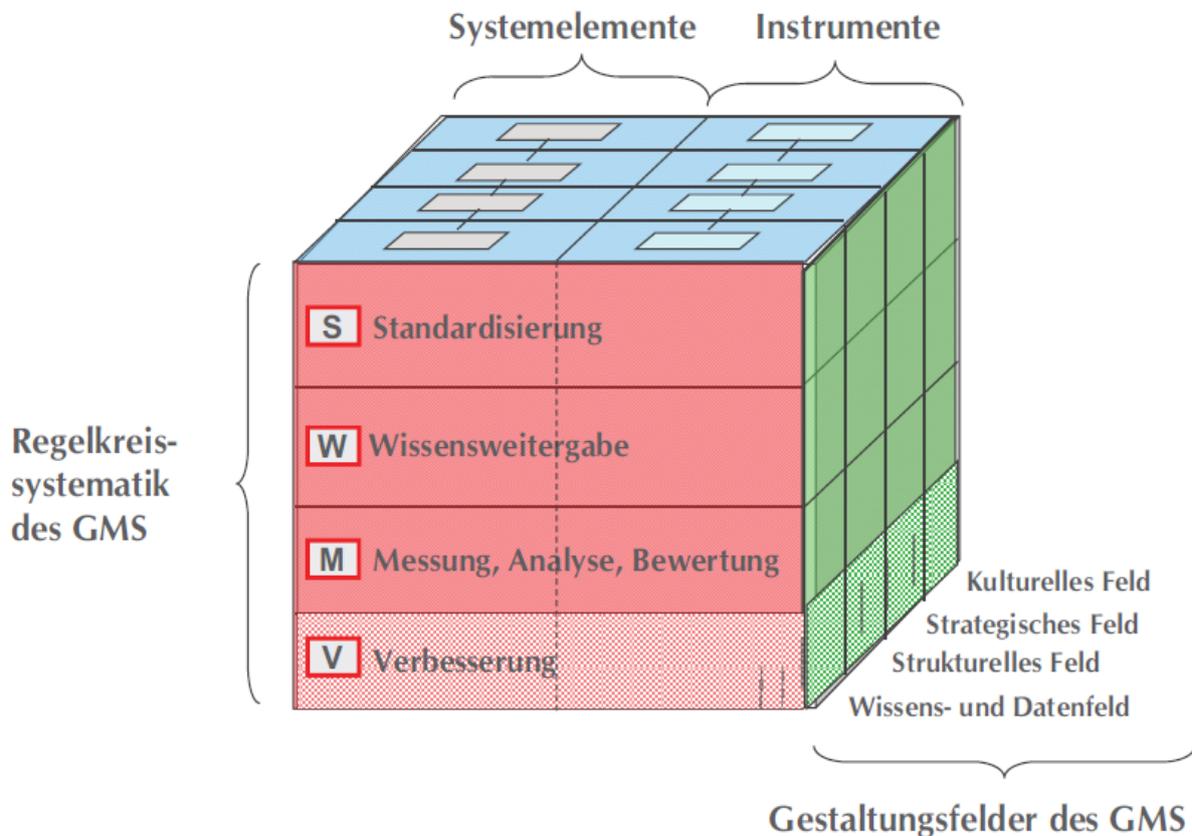


Abbildung 30: Das Leobener GM-Modell als Ebenenmodell¹³¹

In Entwicklungsprojekten für die Automotive Elektromobilität liegt der Fokus auf der technischen Darstellung von Elektrofahrzeugen. Aspekte der Stakeholderorientierung, Flexibilität und Wertsteigerung sind nicht Teil der primären Zielsysteme des Projektmanagements. Wirtschaftlich erfolgreiche Automotive Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität sind die Grundlage für den Umbau der globalen Fahrzeugflotten. Sie müssen darauf ausgerichtet sein, eine nachhaltige und dauerhafte Unternehmensentwicklung für die Partnerunternehmen in der Lieferkette zu ermöglichen. Das Leobener Generic Managementmodell bildet eine Vorlage für die effiziente Verbindung der Aufbau-, Ablauf und Projektorganisation von Entwicklungsbetrieben in der Automotiven Lieferkette.

Die in der Unternehmensorganisation stattfindenden Führungs- und Durchführungsprozesse sind in entwicklungsorientierten Betrieben risikobehaftet. Deshalb ist eine Integration des Risikomanagements in einem generischen Managementansatz erforderlich. Das Risikomanagement muss durch den Neuheitsgrad der Entwicklungen und Technologien mit angemessener Priorität betrieben werden.

¹³¹ Zit.: Schneeberger (2014), S.55

3.5 Risikomanagement

Im allgemeinen Sprachgebrauch versteht man unter dem Begriff Risiko den „*möglichen negativen Ausgang bei einer Unternehmung, mit dem Nachteile, Verlust, Schäden verbunden sind*“ oder „*mit einem Vorhaben, Unternehmen o. Ä. verbundenes Wagnis*“¹³². Dabei ist der Risikobegriff negativ besetzt. Risiken treten immer im Zusammenhang mit Zielen auf und können auch als „Auswirkungen von Unsicherheiten auf Ziele“ definiert werden. Unter Risikomanagement versteht man den Umgang mit Risiken, welche aus Führungs- und Durchführungsprozessen einer Unternehmung entstehen¹³³.

Stellt man die Eintrittswahrscheinlichkeit eines statistisch normalverteilten Risikos graphisch dar, beschränkt man sich im technisch-realwirtschaftlichen Risikomanagement auf die Betrachtung der negativen Semivarianz. Die negative Semivarianz kann kumulativ als Summe der Risikoeintrittswahrscheinlichkeiten gedeutet werden, die das Erreichen von Zielen negativ beeinflussen.

Die in nationalen und internationalen Normen, Standards und in firmenspezifischen Managementmodellen dargestellten Risikomanagementprozesse bestehen immer aus den vier Kernelementen

- Risikoidentifikation
- Risikobewertung
- Risikosteuerung
- Risikokontrolle

welche repetitiv angewandt werden. Risikomanagementprozesse sind vergleichbar mit der Plan-Do-Check-Act¹³⁴ Systematik aus dem Qualitätsmanagement. Dadurch kann die zeitliche Veränderung des Risikoportfolios und somit die Effektivität des Risikomanagementprozesses gesteuert werden.

Als Risikobewältigungsmaßnahmen werden folgende Strategien angewandt:

- Risikovermeidung
- Risikoverminderung
- Risikoüberwälzung
- Das Selbst-Tragen von Risiken

Dabei sollten die Risiken in Zusammenhang mit den Zielen der Organisation gesehen werden, die den Risikomanagementprozess initiiert hat. Risikomanagement sollte als abteilungsübergreifende Querschnittsfunktion betrieben werden. Durch den repetitiven Charakter des Risikomanagementprozesses ist garantiert, dass der Risikomanagementprozess ständig an ein sich änderndes Umfeld, in dem die Organisation agiert, angepasst werden kann. Die Änderung des Umfeldes kann eine Änderung der Unternehmensziele erfordern. Die Zieländerung kann die Risikopolitik und die Schwellenwerte für die Risikoakzeptanz beeinflussen. Dadurch ändern sich die Risikokategorisierung und die Risikobewertung, welche

¹³² Zit.: Duden, 2015

¹³³ Vgl. GABLER (2015)

¹³⁴ Vgl. ISO 9001 (2015), S.12ff

die Auslöser für das Einsteuern von Maßnahmen zur Risikobewältigung bilden. Durch eine Überwachung der Risikosteuerungsentscheidungen mittels eines Kontrollsystems werden die Auswirkungen der Risikobewältigungsmaßnahmen erfasst. Nach der Dokumentation der Ergebnisse erfolgt die Kommunikation an die interessierten Parteien. Die Ergebnisse aus dem Risikomanagementprozess können damit in Beziehung zu den Zielen der Organisation gesetzt werden. Dadurch wird der Regelkreis geschlossen. Ein generischer Ansatz für einen Risikomanagementprozess ist in Abbildung 31 illustriert.

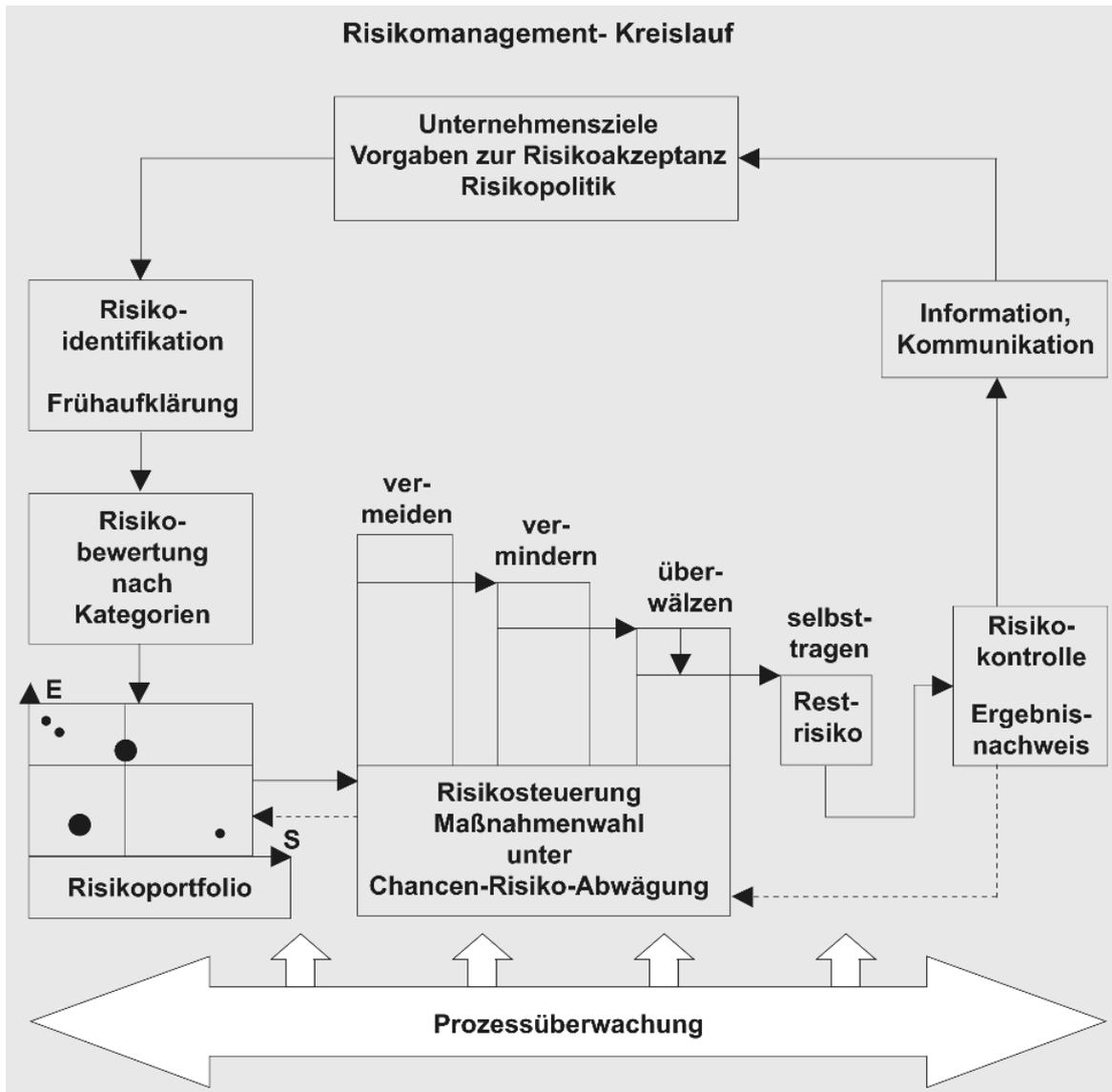


Abbildung 31: Generische Darstellung des Risikomanagementprozesses¹³⁵

Dem Risikomanagement zu Grunde liegende Normen und Standards

Erste Vorgaben in Bezug auf die systematische Erfassung und Abarbeitung von Risiken im Rahmen eines Risikomanagementprozesses wurden in Australien und Neuseeland erarbeitet und im Standard AS/NZS 4360¹³⁶ niedergeschrieben. Nach der letzten Modifikation des

¹³⁵ Zit.: GABLER (2015), elektronische Quelle

¹³⁶ Vgl. AS/NZS 4360 (1995)

Standards im Jahr 2004 entschied das Australisch-Neuseeländische Komitee OB-007, keine weitere Revision dieses Standards zu veranlassen. Stattdessen wurde beschlossen, die Erarbeitung einer international gültigen Norm für Risikomanagement zu fördern¹³⁷.

Die ISO 31000 ist die erste international gültige Norm für Risikomanagement. Unternehmen konnten zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Arbeit nach der ISO 31000 in deren gültiger Revision (2009) nicht zertifiziert werden.

Die österreichische nationale Normenreihe ON 49000, nach welcher sich ein Unternehmen von einer akkreditierten Organisation zertifizieren lassen kann, regelt die Eingliederung des Risikomanagements in die Geschäftsprozesse eines Unternehmens. Bei der ON 49002-1 handelt es sich um einen Leitfaden, wie Anforderungen aus der ISO 31000¹³⁸ in der praktischen Anwendung in die Geschäftsprozesse eines Unternehmens eingebettet werden können um mit diesem in Wechselwirkung zu treten, wobei unter Geschäftsprozessen auch die Prozessabläufe in (Groß)Projekten verstanden werden¹³⁹.

Der dem Auditieren von Qualitätsmanagementsystemen zu Grunde liegende Standard ISO 10911 erläutert das Konzept risikobasierten Auditierens und verweist auf *„das Risiko des Auditprozesses, seine Ziele nicht zu erreichen, sowie auf die Möglichkeit der Beeinflussung des Audits durch die Tätigkeiten und Prozesse der zu auditierenden Organisation“*, gibt aber *„keine speziellen Anleitungen zum Risikomanagementprozess der Organisation“*¹⁴⁰.

Die am 15. September 2015 erschienene Revision der ISO 9001 erhebt in Kapitel 6 „Planung“ die klare Forderung des Nachweises der Implementierung und Durchführung von Maßnahmen zum Umgang mit Risiken und Chancen. Die Erfüllung dieser Forderung müssen im Rahmen von Zertifizierungs- und Überwachungsaudits dargelegt werden. Die ISO 9001:2015 ist mit einer Übergangsfrist von drei Jahren bis spätestens 14. September 2018 in allen nach diesem Regelwerk zertifizierten Unternehmen verpflichtend zu implementieren. Der Begriff Risikomanagement wird nicht explizit ausgeführt, sondern durch die Forderung nach „Risikobasiertem Denken“ ersetzt. Dadurch ist beabsichtigt, dass eine risikobasierte Entscheidungsfindung und risikobasiertes Handeln im Managementmodell des Unternehmens verankert wird. Dies betrifft die Unternehmenskultur, und alle Hierarchieebenen des Managements über Vision, Mission, Leitbild, Unternehmenspolitik und Strategie. Die operative Anwendung risikobasierten Denkens erfolgt nach Vorgaben in Organisationsanweisungen, in welchen der Risikoaspekt nachhaltig verankert werden muss.

Risiko als Chance

Die ISO 9001:2015 sieht in Bezug auf den Umgang mit Risiken für das Unternehmen nicht nur die Summe der Maßnahmen zur Erkennung und Abwehr von Gefahren, sondern verweist auch auf die Chancen¹⁴¹. Dem Unternehmen können sich Chancen durch das Eingehen von Wagnissen eröffnen. Das Erkennen von Chancen für ein Unternehmen und eine rasche Reaktion auf ein sich änderndes Umfeld sind von zentraler, strategischer Bedeutung. Die

¹³⁷ Vgl. Standards New Zealand (2015)

¹³⁸ Vgl. ISO 31000 (2009)

¹³⁹ Vgl. ON 49002-1 (2010), S.12

¹⁴⁰ Zit: ISO 19011 (2011), S.6

¹⁴¹ ISO 9001 (2015), S.23ff

Anwendung eines etablierten Prozesses, der den Umgang mit Risiken regelt, kann dem Unternehmen Wettbewerbsvorteile gegenüber den Mitbewerbern verschaffen.

Das realwirtschaftliche (materielle) Risikomanagement verfügt in Bezug auf die Bewertung von Chancen nicht über den Reifegrad des finanzwirtschaftlichen Risikomanagements. Risikomanagementmodelle in der Finanzwirtschaft berücksichtigen nicht nur die negative Semivarianz der Risikoeintrittswahrscheinlichkeiten. Die gesamte Verteilungsbreite der Risikoeintrittswahrscheinlichkeit wird von Beginn an für die Risikobetrachtung herangezogen. Durch die Betrachtung der positiven Semivarianz wird die Wahrscheinlichkeit für das Generieren von finanziellen Mehrwerten abgeschätzt die durch das Eingehen eines Wagnisses generiert werden können.

Die in Entwicklungsprojekten für die Automotive Elektromobilität angewandten Risikomanagement-Modelle und -prozesse sind zweidimensional strukturiert. Das bedeutet, dass diese in einer Ebene graphisch dargestellt werden können. Durch die Multidimensionalität von Zielszenarien und Umwelt eignen sich diese Risikomanagementmodelle nicht mehr für die Abbildung der gesamten Risikolandschaft. Die Modelle sind zu grob strukturiert und zu unflexibel, um auf dynamische Veränderungen effektiv und effizient reagieren zu können.

Zur Implementierung eines dynamischen und multidimensionalen Vorgehensmodells in Automotiven Entwicklungsprojekten wird das COSO Enterprise Risk Management Modell (COSO ERM) aus der Finanzwirtschaft entlehnt und modifiziert.

Das COSO ERM Rahmenwerk

Das umfassendste Kompendium für Risikomanagement stellt das auf die Finanzwirtschaft angewandte Rahmenwerk des „Committee for Sponsoring Organisations“ (COSO-Framework) dar. Es definiert die Schaffung von Werten für die Stakeholder eines Unternehmens durch einen gesamtheitlichen Risikomanagementansatz als primäres Ziel. Die Schlüsselfrage ist, wie viel Unsicherheit das Management bei der Schaffung von Mehrwerten für seine Stakeholder zu akzeptieren bereit ist¹⁴². Dabei muss die Unternehmensstrategie mit der Risikokultur („risk appetite“) der obersten Leitung harmonisiert werden¹⁴³.

Unter Risiko versteht man im COSO Rahmenwerk die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses, das die Erreichung von Zielen negativ beeinflusst. Der Begriff Chance steht für die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses, welches die Erreichung von Zielen positiv beeinflusst¹⁴⁴.

Um die von der obersten Leitung definierten Ziele erreichen und die damit verbundenen Risiken und Chancen beherrschen zu können, ist es erforderlich, dass das Risikomanagement die gesamte Organisation durchdringt. Die graphische Darstellung dieses Prinzips erfolgt in Form eines Würfels, dessen drei, im Schrägriss sichtbaren Flächen die Unternehmensziele mit den organisatorischen Einheiten und den Elementen des kontinuierlich ablaufenden Risikomanagementprozesses überlagern (vgl. Abb. 32).

¹⁴² Vgl. COSO (2004), S.13

¹⁴³ Vgl. COSO (2004), S.14, S.19

¹⁴⁴ Vgl. COSO (2004), S.16

Abbildung 32: Das COSO ERM Framework¹⁴⁵

Risikomanagement und Generic Management

Durch die fehlende Normenforderung nach Integration von Risikomanagement in generische Managementsysteme wurden Risikoaspekte nur ungenügend berücksichtigt und als Mehraufwände gesehen. Ein zunehmendes Risikobewusstsein und die Gewichtung risikobasierter Denks in der ISO 9001:2015 verändert die Risikokultur in Unternehmen. Im Management wächst das Bedürfnis, Risiken zu ermitteln, zu analysieren und zu steuern. Wenn Unternehmen Risiken nicht mehr hinnehmen, sondern Maßnahmen dagegen ergreifen, liegt aktives Risikoverhalten vor¹⁴⁶. Agile Unternehmen in der Supply Chain Automotiver Komponenten zeigen zunehmend aktives Risikoverhalten. Dafür wird der Risikomanagementprozess in generische Managementmodelle eingebunden. Der Risikomanagementprozess wird in generischen Managementmodell als Querschnittsfunktion über alle fachspezifischen (vertikalen) Risikomanagementinstrumente dargestellt (vgl. Abb.33). Damit kommt zum Ausdruck, dass der Risikoaspekt in allen Vorgehensmodellen und Prozessen enthalten ist, die in einem gesamten generischen Managementmodell kombiniert sind.

STROHMEIER liefert einen Ansatz für ganzheitliches Risikomanagement in Industriebetrieben unter Anwendung der Methode des radikalen Konstruktivismus in Verbindung mit dem St. Galler Managementmodell. Die Wirksamkeit des Modells wird mittels einer, auf die Abteilung für Instandhaltung angewandten Fallstudie belegt¹⁴⁷. Die vorliegende Arbeit wird als Ergänzung zu dem von STROHMEIER für eine Gesamtorganisation hergeleiteten, ganzheitlichen Risikomanagementmodells gesehen. Darin wird der Produktentstehungsprozess in einem Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement abgebildet. Das

¹⁴⁵ Vgl. Gabler (2015)

¹⁴⁶ Vgl. Pinnels (2007), S.22

¹⁴⁷ Vgl. Strohmeier (2007), S.71ff

Vorgehensmodell kann in ein generisches Managementmodell, das für die Gesamtorganisation entwickelt wird, eingegliedert werden.

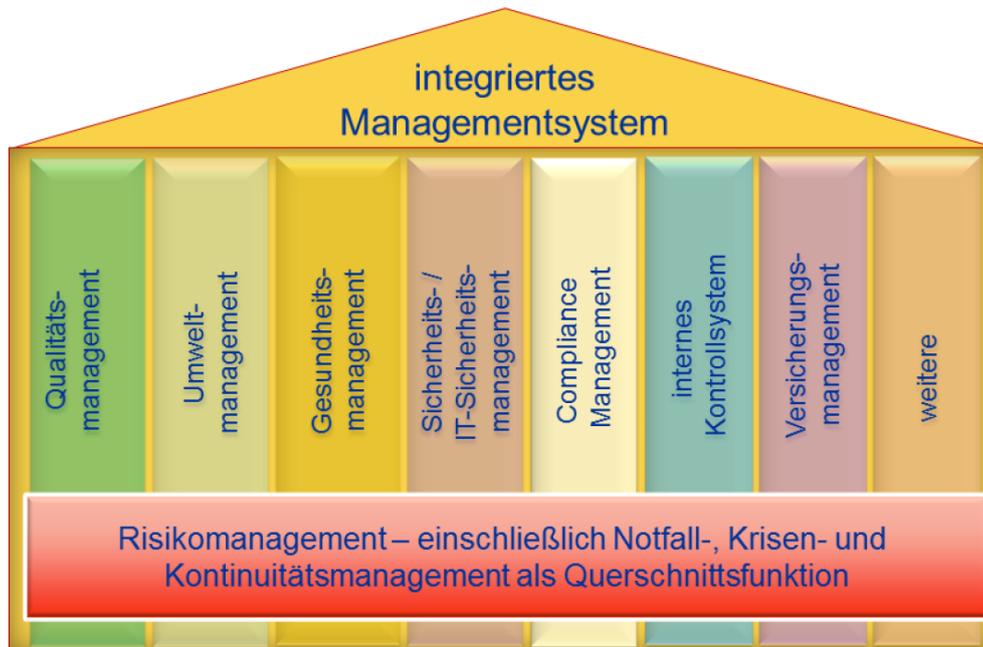


Abbildung 33: Generische Darstellung des Risikomanagementprozesses¹⁴⁸

Zusammenfassende Bemerkungen

Die Automobilindustrie verfügt über wirksame Instrumente des Projektmanagements und des (technischen) Risikomanagements, die in den Managementmodellen der Endkunden und deren Entwicklungspartner implementiert sind. Die Instrumente sind nicht zu einem wirksamen Gesamtsystem miteinander verknüpft. Die Automotiven Risikomanagementinstrumente FMEA und Potenzialanalyse nach VDA6.3 sind zweidimensional und technikgeprägt. Deren Kombination mit Risikomanagement-Insellösungen in den Fachabteilungen eines Unternehmens bildet eine unübersichtliche, schlecht strukturierte Risikomanagementlandschaft. Es obliegt den Projektmanagern, die Ausgabegrößen der Instrumente zur Erreichung der von der Geschäftsführung eingeforderten Projektziele zu interpretieren und Handlungen abzuleiten. Daraus resultiert eine Subjektivierung der Entscheidungen in den Bereichen des Entwicklungsprojekts, die nicht durch starre Vorgaben aus Automotiven Standards geregelt sind. Somit ist der Erfolg eines Entwicklungsprojekts direkt von der Kompetenz des Projektleiters und seines Kernteams abhängig.

¹⁴⁸Vgl. Gabler (2015)

4 Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungs-Projektmanagement

Das neue Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement in der Automotiven Elektromobilität stellt einen radikalen Bruch mit dem klassischen Projekt- und Risikomanagement in der Automobilbranche dar. Fest vorgeschriebene und starre Prozesse werden aufgebrochen und durch eine flexible, ganzheitliche Sichtweise ersetzt. Die Instrumenten- und Modelldynamik wird unter Einbeziehen eines adäquaten Risikomanagements an die veränderte Situation angepasst. Dies stellt hohe Anforderungen an die Wandlungsfähigkeit der Organisation, die das Vorgehensmodell zur Anwendung bringt. Die Wandlungsfähigkeit wird auch von den Entwicklungspartnern im Elektromobilen Lieferanten- und Kundennetzwerk erwartet.

Für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement ist ein mehrdimensionaler Ansatz nötig. Das Leobener Generic Management Modell und das COSO ERM Framework sind in Form eines Würfels (dreidimensional) erklär- und darstellbar. In beiden Darstellungen entspricht eine Dimension dem strukturellen, die zweite Dimension dem prozessualen und die dritte Dimension dem Führungsaspekt der Organisation. Beide Modelle definieren Stakeholderorientierung und die Schaffung von Mehrwerten für das Unternehmen als zentrale Ziele. Beide Managementmodelle sind so flexibel, dass deren Instrumente austauschbar und modifizierbar sind. Damit können beide Modelle flexibel auf unterschiedliche Bedürfnisse und Fragestellungen angewandt werden. Der Vergleich der beiden Modelle zeigt, dass sich in der Realwirtschaft und in der Finanzwirtschaft kongruente Managementmodelle ausgebildet haben, die den nachhaltigen Erfolg eines Unternehmens garantieren. Deshalb werden für die Ableitung eines Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement in der Automotiven Elektromobilität Kernelemente beider Managementmodelle angewandt. Diese Kernelemente bilden die Schnittstellen für die Einbindung des Vorgehensmodells in die generischen Managementmodelle der Organisation.

Das klassische, in der Automotiven Elektromobilität etablierte Zielsystem ist auf die Erfüllung von produktions- und validierungsbezogenen Hardware-Reifezielen ausgerichtet. Die Voraussetzung für die Implementierung des neuen Vorgehensmodells ist die Abänderung des Zielsystems. Darin werden Hardware-Reifeziele durch endkundenbezogene Risikoziele ersetzt. Hardwarebezogene Produktreifegrade werden durch risikobezogene Produktreifegrade ersetzt.

Die Abänderung des Zielsystems erfordert ein Re-Design der Aufbau- und Ablauforganisation des Unternehmens, in dem das neue Vorgehensmodell zur Anwendung gelangt. Dies beinhaltet die Abänderung der Automotiven Entwicklungsprozesslandschaft und die Implementierung einer neuen, fraktalen SE-Team-Struktur.

Das Zusammenspiel aus risikobasierten Produktreifegraden und der daran angepassten Aufbau- und Ablauforganisation bilden einen zielorientierten, flexiblen, effektiven und effizienten Risikomanagementprozess. Dieser wird als zentrales Steuerungsinstrument für die Automotive Entwicklungsprojektlenkung eingesetzt. Das klassische Risikomanagement wird durch ein

adäquates, dynamisches Risikomanagement ersetzt, das den Entscheidern im Management der Organisation Kenngrößen in Form von Restrisikozahlen liefert.

Die Reduktion des Restrisikos durch ein effektives und effizientes Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement in der Elektromobilität generiert Mehrwerte für den Anwender. Die Mehrwerte werden durch Komplexitätsreduktion, Zeiteinsparung und Freisetzen gebundener Ressourcen geschaffen.

4.1 Grundbauelemente des Vorgehensmodells

Das neue Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement ist multi-dimensional, multi-funktional und dynamisch zu sehen. Es ist als Kombination aus Ermittlungs-, Bewertungs- und Entscheidungsmodell typisierbar. Die Kernelemente des Vorgehensmodells sind:

- der Grundgedanke, dass Risiko immer auch Chance bedeutet
- das Streben nach Einfachheit in der Gestaltung von Produkten und Prozessen
- das Leobener Generic Management Modell als geistiger Überbau, nach dessen Prinzipien sämtliches Denken und Handeln im Projekt stattfinden sollte
- die Anwendung von Elementen des mit dem Leobener Generic Management Modell kompatiblen COSO Enterprise Risk Management Frameworks
- der Fokus auf Risikovermeidung als sowohl zeitlichen, als auch gedanklichen Ansatz, Risiken zu begegnen
- das Prinzip der De-Materialisierung und Substitution zur Reduktion des initialen Risikovorrates
- ein fraktaler Teamansatz der zulässt, dass die personellen Zusammensetzungen der Entwicklungsteams über die Projektlaufzeit nicht konstant, sondern gewünscht veränderlich gestaltet werden können
- ein Verwerfen der klassischen, auf dem Reifegrad der zu entwickelnden Produkte basierenden Automotiven Entwicklungsmusterphasen und deren Ersatz durch einen, auf das ausgelieferte Produkt bezogenen, risikobasierten Ansatz
- die Bündelung von Fachkompetenzen als Antwort auf eine sich ändernde Risikolandschaft während des Entwicklungsprojektes zur Eliminierung von Bedrohungen mittels risikobasierten Experteneinsatzes
- die Anwendung von Instrumenten für die initiale Risikobewertung
- das Abgreifen von initialen Risikozahlen aus bereits in unterschiedlichen Fachbereichen etablierten Risikomanagementinstrumenten
- die Anwendung einer Risikoverdichtungsmethode zur hierarchischen Gliederung des Impacts von Risiken auf Unternehmens- und Projektziele, bevor diese einem standardisierten Risikoabarbeitungsprozess zugeführt werden
- ein Balanced Scorecard Ansatz zur übersichtlichen Darstellung des Risikovorrates als Grundlage für Entscheidungsprozesse (PRIO = Project Risk Overview)

Diese Elemente sind miteinander verschränkt und stehen während des gesamten Entwicklungsprojektes miteinander in Wechselwirkung (vgl. Abb. 34). Bedingt durch den Projektfortschritt und die Veränderung der Risikolandschaft treten Instrumente des Vorgehensmodells in unterschiedlichen Projektphasen stärker oder schwächer in Erscheinung.

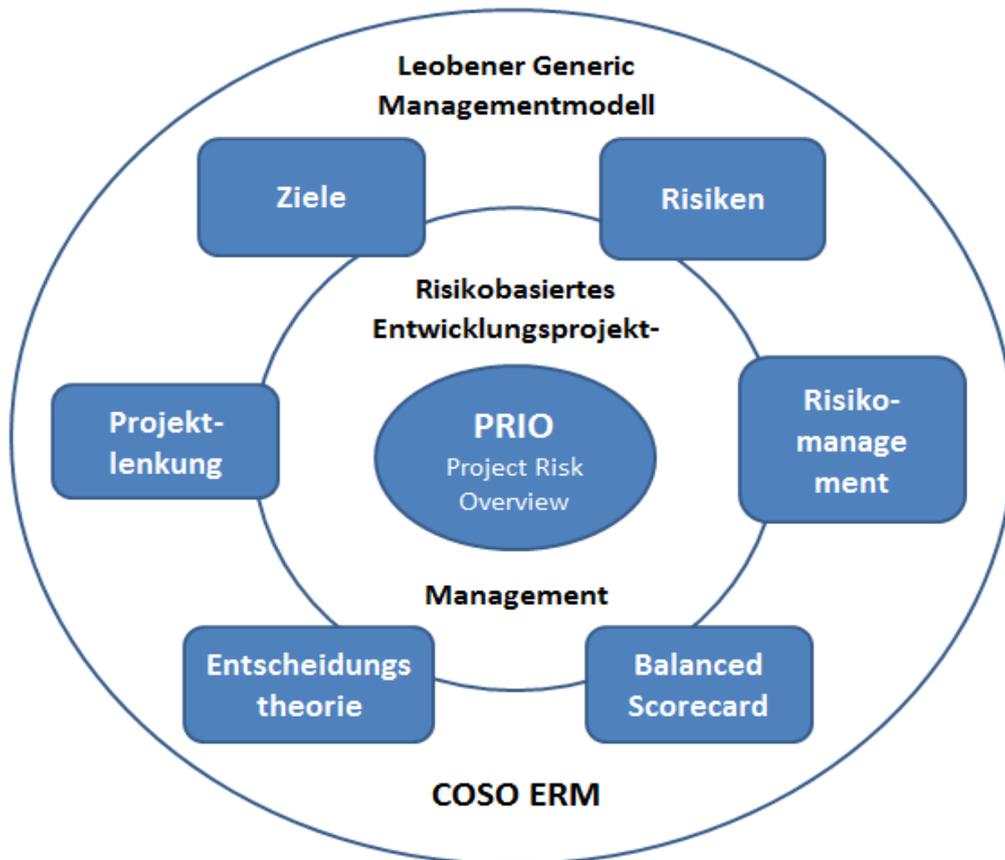


Abbildung 34: Grundbauelemente des Vorgehensmodells

Da das Leobener Generic Management Modell die Denk- und Handlungsweise im Entwicklungsprojekt prägt, sind Wertsteigerung, Stakeholderorientierung und Flexibilität als generische, übergeordnete Ziele anzusehen. Dies gilt besonders für die Herangehensweise bei der Risikobewältigung in einem Entwicklungsprojekt. Es ist ausdrücklich gewünscht, Strukturen, Prozesse und Vorgehensweisen zu vereinfachen, zu verkürzen oder zu eliminieren (De-Materialisierung). Die Rechtfertigung erfolgt durch die Anwendung eines adäquaten Risikomanagementprozesses auf alle Ebenen der Organisation unter Einbeziehen aller (auch externer) Stakeholder. Diese Handlungsweise muss kundentaugliche, sichere und zuverlässige Produkte termingerecht auf den Endkundenmarkt bringen. Dabei sind keine spürbar negativen Auswirkungen auf das Empfinden des Endkunden gefordert.

Die De-Materialisierung zur Reduktion der Produkt- und Prozesskomplexität reduziert die Gesamtvarietät innerhalb des Entwicklungsprojekts. Wird die Gesamtvarietät im Entwicklungsprojekt reduziert, sind auf der immateriellen Ebene weniger komplexe Steuerungswerkzeuge im Rahmen des Projektmanagements und seiner Begleitprozesse nötig. Auf der materiellen Ebene werden durch ein vereinfachtes Produktdesign mit einer geringeren Anzahl an Einzelteilen die Wechselwirkungen zwischen den Teilen reduziert. Das gilt bei der Montage und im Zusammenspiel der Komponenten im fertigen Produkt. Die Auswirkung besteht in einer höheren Zuverlässigkeit des Gesamtprodukts in der Endanwendung. Durch De-Materialisierung und Substitution wird das Gesetz von Ashby in Richtung niedrigerer Komplexität wirksam (vgl. Abb. 35).

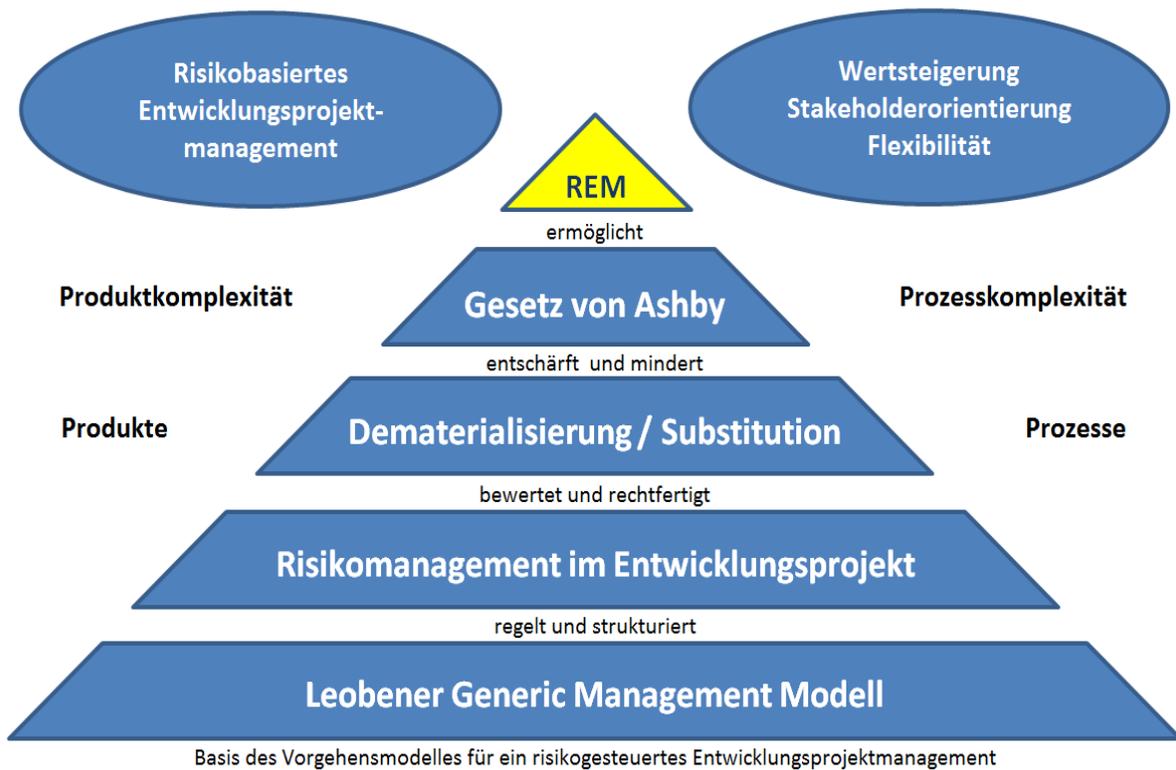


Abbildung 35: Komplexitätsreduktion im Vorgehensmodell

4.2 Voraussetzungen zur Anwendung des Vorgehensmodells

Das Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement ist unter folgenden Voraussetzungen anwendbar (vgl. Tab.12, Tab.13):

Der Übergabeprozess von der Vorentwicklung an die Serienentwicklung wurde gestartet.

Aus der Vorentwicklung sind für mindestens 75 % der Konzeptkomponenten, Module und Systeme zumindest Grundspezifikationen und 3D-Modelle existent, aus welchen Expertenabschätzungen zur Risikoklassifikation ableitbar sind.

Der vorgegebene Zeitrahmen für die Abarbeitung des Projektes liegt signifikant unter der laut Automotiven Standardwerken dafür angesetzten Mindestprojektlaufzeit (24 Monate).

Im Terminplan des Entwicklungsprojektes sind Korrekturschleifen für Designänderungen des Produktes oder dessen Komponenten, Module und Systeme nicht berücksichtigt, so dass im Falle von Testausfällen zeitliche und qualitative Projektziele nicht eingehalten werden können.

Das Design-Verification (DV) und/oder das Product Validation (PV) Test Portfolio kann nicht innerhalb eines Zeitraumes von vier Monaten abgefahren werden. Testabläufe zur Validierung der Produktlebensdauer erstrecken sich über mehr als sechs Monate.

Die zu entwickelnden Produkte weisen überdurchschnittlich hohe Komplexität und Varietät auf. Deshalb ist zur Erstellung des finalen Produktdesigns inklusive Änderungsschleifen ein Zeitraum von mehr als sechs Monaten nötig.

Tabelle 12: Einsatzzeitpunkt des risikobasierten Entwicklungsprojektmanagements

Produktentwicklungszyklus in der Automobilindustrie basierend auf Produkt-Reifegrad						
Muster- phase	Vor-konzept- phase	Produktentwicklungsphase				Serien- produktion
		A	B	C	D	E
Abteilung, Team	Vorent- wicklungs- abteilung	Simultaneous Engineering Team (SE team)				Fertigung
"Phase Exit" Kriterium	Vorent- wicklung dokumen- tiert	Konzept bestätigt	Design bestätigt, Bauteile aus Serien- werkzeugen verfügbar	Serien- prozeß- freigabe (PSO) erfolgt	Produkt validiert, Erstbe- musterung (PPAP) abge- schlossen	Zielszenario

Risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement

Das Produkt und die für die Serienproduktion erforderlichen Anlagen sind keine Modifikationen von bereits in der Automobilbranche etablierten Lösungen, sondern dringen in neue, hoch innovative Bereiche mit hohem Potenzial für Patente vor.

Für mehr als 70 Prozent der Komponenten eines Modules oder für mehr als 70 Prozent der Komponenten und Module eines Systems sind intern und/oder extern Datenbanken vorhanden, aus denen mittels statistischer Verfahren die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Risiken und deren Auswirkungen auf den Endkunden errechnet werden können.

Die mit der Entwicklung beauftragte Organisation ist bis zu einem Grad entwickelt, dass der stabile Ablauf von definierten, auditieren und zertifizierten Prozessen im Tagesgeschäft gewährleistet ist.

Die mit der Entwicklung beauftragte Organisation steht Innovationen im Ablauf des Entwicklungsprojekts und den daraus folgenden Änderungen positiv gegenüber. Die Organisation verfügt über die nötige Agilität, um auf Grund risikobasierter Entscheidungen in Steuergremien kurzfristig Richtungsanpassungen und Richtungswechsel umzusetzen.

Das Vorgehensmodell ist primär auf das Monitoring des Entwicklungsprojektes im eigenen Haus und auf das Monitoring der Supply Chain mit Blickrichtung zur Urproduktion ausgerichtet. Dabei kann die Organisation, in der das Vorgehensmodell angewandt wird, jede Position in der Lieferkette bis hin zum OEM annehmen. Durch Verdichtung der Informationen in Richtung Management kann das Vorgehensmodell dem Lieferanten als Reporting-Werkzeug der Entwicklungsleistung zu dessen Kunden dienen.

Dabei beschränkt sich die Anwendung des Vorgehensmodells nicht nur auf die Automobilbranche mit Fokus auf der Elektromobilität. Es kann auf alle Organisationen angewandt werden, die in einem streng regulierten bis überregulierten Umfeld agieren und

dessen Entwicklungsprojektabläufe auf dem Reifegrad der zu entwickelnden Bauteile und Baugruppen basieren.

Tabelle 13: Morphologischer Kasten für die Anwendbarkeit des Modells

Kriterium	Ausprägung				
Klassische Automotive Musterphase	Vorentwicklung	A	B	C	D
Fortschritt der Vorentwicklungs-aktivitäten (%)	20	40	60	80	100
Serienspezifikation Vollständigkeit (%)	20	40	60	80	100
Zeichnungsstand	3D-Modell Entwurf	3D-Modell bemaßt	3D-Modell bemaßt und toleriert	2D Zeichnungen bemaßt, toleriert, Entwicklungsstand	2D Zeichnungen bemaßt, toleriert, Serienstand
Projektlaufzeit: 24 Monate minus X Monate	4	6	8	10	12
Korrekturschleifen berücksichtigt	4	3	2	1	Null Fehler Plan
Dauer des DV und PV Testens in Monaten	> 2	> 4	> 6	> 8	> 10
Zeitraum für Erstellung des finalen Produktdesigns in Monaten	> 2	> 4	> 6	> 8	> 10
Neuheitsgrad der Anlagen	Seit 20 Jahren Standard	Seit 10 Jahren Standard	modifizierter Standard	in Entwicklung	zu entwickeln
Ausfallwahrscheinlichkeiten für Stücklistenkomponenten bekannt (%)	20	40	60	80	100
Reifegrad der Organisation (zertifiziertes Managementmodell)	keines	ISO9001 "ready"	ISO9001	ISO TS 16949	EFQM
Agilität der Organisation	starr	konservativ	änderungsbereit	agil	hoch agil

4.3 Gesamtüberblick über das Vorgehensmodell

Vor der expliziten Erklärung der Instrumente des Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement in der Automotiven Elektromobilität erfolgt dessen Darstellung in Form eines Gesamtüberblicks (vgl. Abb. 36). Darin wird die Abfolge der zur Anwendung kommenden Instrumente als Prozess beschrieben und in den zeitlichen Projektverlauf eingegliedert.

Am Beginn des Entwicklungsprojekts erfolgt die Übernahme von Konzepten aus der Vorentwicklung. Die Designelemente und Komponenten der zu entwickelnden Module oder Systeme werden vom Serien-Entwicklungsteam in einer Stückliste abgebildet. Für die Stücklistenelemente werden Spezifikationen und Zeichnungen erstellt. Die Dokumentation muss soweit detailliert sein, dass jedem Stücklistenelement von einem interdisziplinären

Expertenteam ein initiales Risiko zugeordnet werden kann. Nach der Risikobewertung werden die Stücklistenkomponenten in Risikoklassen eingeteilt (**Stücklistenfilter**). Die komplexesten Komponenten werden als **Leuchtturmbauteile** bezeichnet. Im Entwicklungsprojekt müssen sich alle Aktivitäten an den Leuchtturmbauteilen orientieren. Hardwarebezogene Aktivitäten finden in einer laborähnlichen Umgebung statt. Damit ist die Überleitung der Produktentwicklung von der Vorentwicklung in ein spezifisches Entwicklungsprojekt abgeschlossen.

Als zweiter Schritt wird eine auf das Endprodukt maßgeschneiderte Produkt-, Projekt- und Risikomanagementstruktur aufgebaut. Die Strukturelemente des Projekts werden von den Strukturelementen des Produkts und deren zugewiesenen Risikopotenzialen geprägt. Je einfacher die Strukturen gestaltet werden können, desto weniger komplex sind die Abläufe und Interdependenzen der Instrumente im Entwicklungsprojektmanagement. Um der Forderung nach Einfachheit zu entsprechen muss vor dem Beginn der Projektroutine die Struktur des Entwicklungsprojekts kritisch hinterfragt und vereinfacht werden. Den Ausgangspunkt für die Vereinfachung bildet die Stückliste des zu entwickelnden Produkts. Die Kombination der Stücklistenelemente soll ein technisches Funktionssystem bilden, dessen Eigenschaften im Lastenheft des Kunden spezifiziert sind. Für jedes Stücklistenelement müssen drei Fragen beantwortet werden:

- Wird die Funktion des Stücklistenelements zur Erfüllung der Funktion des Gesamtsystems wirklich benötigt?
- Kann das Stücklistenelement vereinfacht werden?
- Kann das Stücklistenelement durch ein Element mit derselben Funktion ersetzt werden, das weniger risikobehaftet ist?

Die Stückliste wird durch Weglassen (De-Materialisierung), Ersetzen (Substitution) und Vereinfachen (Denovation) der Elemente modifiziert. Das Gesamtrisiko wird so bereits am Projektanfang reduziert, bevor die risikobasierte Projektmanagementroutine einsetzt. Während dieser Phase ist die Zusammensetzung der Projektteams (SE-Teams) variabel.

Das nach der (technischen) **De-Materialisierung, Substitution und Denovation** reduzierte Risikoportfolio des Projekts bildet die Basis für den nachfolgenden **Risikoverdichtungsprozess**. Die Risiken werden hinsichtlich der Erreichung von strategischen, operativen, Berichts- und Compliance-Zielen nach dem **COSO ERM** strukturiert. Die Risikoverdichtung liefert hinsichtlich des Impacts der Risiken auf die Ziele des Unternehmens in den horizontalen Ebenen des Unternehmensorganigramms miteinander vergleichbare Risikozahlen. Die Gesamtrisikolandschaft wird in Form eines **Balanced Risk Scorecards** dargestellt. Das Balanced Risk Scorecard wandelt die Risikostrategie des Unternehmens in Handlungs-Auslöser im Entwicklungsprojekt um. Der Erfolg der Risikobewältigungsmaßnahmen wird durch die im PRIO dargestellte Abnahme der Risikozahlen über die Projektlaufzeit verfolgt. Die Darstellung und Validierung von Hardware erfolgt in firmeninternen Entwicklungsabteilungen.

Die Risikoverdichtung und die Risikodarstellung im PRIO erlauben das Ersetzen von hardwarebezogenen Produktreifegraden durch **risikobezogene Produktreifegrade**.

Nach der Implementierung des auf das Entwicklungsprojekt maßgeschneiderten **Organisationsdesigns** beginnt die Routinearbeit im Entwicklungsprojekt durch Anwendung von Produktentstehungs- und Validierungsprozessen.

Das Entwicklungsprojekt durchläuft danach Phasen, in welchen das Risikoportfolio durch geeignete Risikobewältigungsmaßnahmen so lange reduziert wird, bis ein endkundentaugliches, in Serienproduktion herstellbares Produkt entwickelt und validiert wurde.

Dabei werden zum Erreichen der Terminziele des Entwicklungsprojekts bewusst Prozesse und Vorgaben aus klassischen, Automotiven Vorgehensmodellen verletzt. Die Rechtfertigung für diese Vorgehensweise und die dafür nötigen Entscheidungen erfolgt über den Risikomanagementprozess.

Durch das Zulassen von **Mischverbauten** aus Hardware unterschiedlichen (klassischen) Reifegrades, aber mit gleichem Risikopotenzial, kann Hardware früher in einem endkundennahen Umfeld erprobt werden.

Durch **gespiegelte Produktvalidierung** können Langläufer-Qualifikationstests früher gestartet und abgeschlossen werden.

Komplexe Schlüsselkomponenten (Leuchtturmbauteile) werden von **Kernteams** entwickelt, an welchen sich „Satellitenteams“ orientieren müssen. Satellitenteams entwickeln niedriger komplexe Stücklistenkomponenten, die mit Leuchtturmbauteilen in Wechselwirkung stehen.

Klassische Projektreviews werden durch **Restrisikoreviews** ersetzt. Basierend auf dem im PRIO dargestellten Restrisiko entscheidet die Projektleitung über **risikobasierten Experteneinsatz**.

Wenn das Risiko für den Endkunden unter einen von der Organisation definierten Schwellenwert gesenkt worden ist, können Elektrofahrzeuge an „**Friendly Customers**“ zur Auslieferung gelangen. Daraus wird vor der offiziellen Markteinführung ein statistisch relevantes Feedback des Endkundenmarktes unter Feldbedingungen ermittelt. Basierend auf dem Feedback können vor der offiziellen Markteinführung Nachbesserungsaktivitäten initiiert werden.

Zum Serienproduktionsbeginn wird das im PRIO-Tool dargestellte **Restrisiko** in einem Dokument zum formellen Abschluss des Entwicklungsprojektes zusammengefasst. Das von der obersten Leitung des Unternehmens freigezeichnete Restrisikodokument entlastet den Projektleiter und markiert den Projektabschluss.

Am Beginn der Serienproduktion können Restrisiken auftreten, die aus noch nicht vollständig abgeschlossenen Produktvalidierungen resultieren. In dem Fall kann bis zum positiven Abschluss dieser Validierungen eine Rumpfmannschaft aus dem Entwicklungsteam erhalten bleiben.

Die Elemente und Instrumente des **Leobener Generic Managementmodells** sind über die gesamte Projektlaufzeit als Verbindung zum generischen Managementmodell der Organisation wirksam. Die Fokussierung auf **Wertsteigerung**, **Stakeholderorientierung** und **Flexibilität** sind die obersten Maximen für die Entscheidungsfindung im Automotiven Entwicklungsprojekt.

Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungs-Projektmanagement

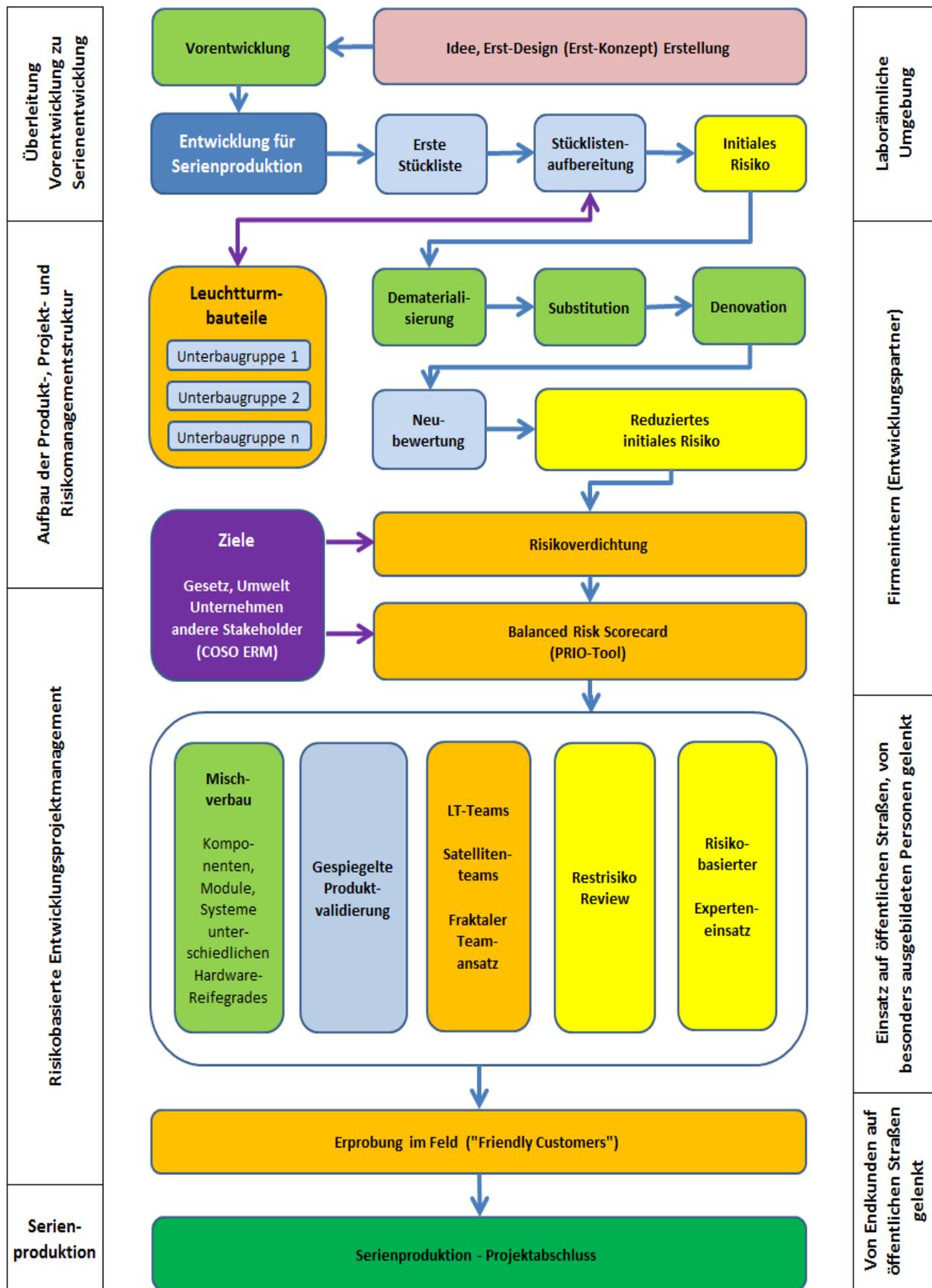


Abbildung 36: Gesamtüberblick über das Vorgehensmodell

4.4 Risikobasierter Produktreifegrad

Dem Kollaps der klassischen Automotiven Musterphasen in einem dynamischen Umfeld kann mit zwei Maßnahmen entgegengewirkt werden:

Die erste Möglichkeit besteht in einer Verlängerung der Projektlaufzeit auf den ursprünglich anberaumten Zeitraum von 24+6 Monaten. Dafür müssen sich OEMs zu den klassischen Musterphasen bekennen und diese in der eigenen Organisation und in der Zulieferkette einfordern.

Die zweite Möglichkeit besteht in der Einführung eines neuen Musterphasenkonzeptes, das den Zeitkonflikt auflöst und ein Ineinandergreifen der klassischen Musterphasen erlaubt (Parallelisierung).

Die Eintrittswahrscheinlichkeit der ersten Möglichkeit ist im Kontext einer globalisierten und flexibilisierten Automotiven Welt mit asymmetrischem Wettbewerb als gering einzustufen.

Die in dieser Arbeit favorisierte Lösung liegt im Ansatz, den Kollaps der Musterphasen als Chance zu sehen. Das Überfahren der klassischen Projektmeilensteine wird in einen neuen, risikobasierten Kontext gebracht. Dadurch wird der Termin-Zielkonflikt aufgelöst und dem Projektmanagement die Möglichkeit eröffnet, den Entwicklungsprojekt-Terminplan kreativ und zielorientiert zu gestalten. Die Ableitung der betriebswirtschaftlichen Ziele für die Organisation erfolgt aus dem Leobener Generic Managementmodell. Die damit verknüpften Risikoziele, die der Risikokultur des Unternehmens entsprechen, werden aus dem COSO ERM abgeleitet.

Tabelle 14: Neue Musterphasen für Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität

Projekt-phase neu	Entwicklungsrelevant "contained" - "controlled"			Kundenrelevant "not contained" - "not controlled"		
	Kundenbezogenes Risiko (Plan)	Leib und Leben	Umwelt	Sachschaden	Verärgerung	nicht wahrgenommen
Umfeld der Anwendung	Labor	Abgesperrte Teststrecke	Testfahrt auf öffentlichen Straßen	Friendly Customers	alle Endkunden	
Produkt-validierung	Sicherheit, Umwelt Gesetz, Behörde		Funktionalität		Re-Validierungen nach Änderungen	
			wahrnehmbar	verdeckt		
	Lebensdauer "Langläuferbauteile" - DoE					
	Lebensdauer "Langläuferbauteile" - voller Testumfang					
Reales kundenbezogenes Risiko	nicht relevant - Versuchsfahrzeuge			plan- und eindämmbar	Null bis existenzbedrohend (Zuverlässigkeit)	
"Alarmstufe"						

Die neuen Automotiven Produktreifegrade lösen sich vom Hardware-Reifegrad als Abgrenzungsmerkmal zwischen den Musterphasen (vgl. Tab. 14). Die Einführung von Musterphasen, die auf einer endkundenbezogenen Risikoklassifikation basieren, stellt einen radikalen Bruch mit den seit drei Jahrzehnten gültigen Regeln für die Grundstruktur Automotiver Entwicklungsprojekte dar. Die Anwendung des neuen Musterphasenkonzepts muss bei Kundenaudits vom Lieferanten der Entwicklungsleistung argumentierbar sein.

Der Verbau von Komponenten, Modulen und Systemen mit geringerem Reifegrad als für die laufende, klassische Musterstufe gefordert, ist mit einer Bauabweichung (Abweicherlaubnis) zu genehmigen. Mit der Erstellung, Bewertung und Freigabe einer Bauabweichung werden Projektressourcen gebunden. Durch die Auflösung der auf dem Reifegrad von Hardware und deren Validierungstiefe basierenden Musterphasen werden Bauabweichungen überflüssig. Die freigesetzten Ressourcen können für kreative Projektarbeit genutzt oder eingespart werden.

Die neuen Phasen eines risikobasierten Projektmanagementansatzes für Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität bilden im Gesamtüberblick einen entwicklungsrelevanten und einen kundenrelevanten Block.

Zur Abgrenzung der risikobasierten Produktreifegrade werden dem Endkunden Fragen gestellt und die Ergebnisse (Termine) in Tabelle 14 eingetragen. Daraus ist ein Entwicklungsprojekt-Terminplan ableitbar. Die Fragen lauten wie folgt:

- Wann soll die Funktionalität des Produkts in einem besonders kontrollierten Umfeld, (Gefahr für **Leib und Leben** der Personen, die mit diesem Produkt in Wechselwirkung treten ist gebannt) für erste Tests und Machbarkeitsstudien in rudimentärer Hardware und Software dargestellt sein?
- Wann soll das Produkt einen Sicherheitsgrad erreicht haben, sodass Gefahr für Leib und Leben gebannt ist und mit dem Produkt **Testfahrten auf abgesperrten Teststrecken** mit Einrichtungen zum Abwehr von Gefahren für die Umwelt von besonders geschulten Personen durchgeführt werden können?
- Wann soll das Produkt hinsichtlich des vertretbaren Risikos dafür geeignet sein, um es in Testfahrzeugen verbauen zu können, mit welchen **Probefahrten auf öffentlichen Straßen** durchgeführt werden können und die von besonders geschulten Testfahrern betrieben werden, die im Schadfall Personenschäden vermeiden, Umweltschäden begrenzen und Sachschäden minimieren können ?
- Wann soll das Produkt hinsichtlich des Risikos für den Endkunden dazu tauglich sein, um an „**Friendly Customers**“ zum Testbetrieb ausgeliefert werden zu können, welche das Fahrzeug auf öffentlichen Straßen bewegen und im Falle des Eintretens von Risiken ausschließlich mit Szenarien konfrontiert werden, die zur Verärgerung führen?
- Wann soll das Produkt hinsichtlich der Auswirkungen der zu erwartenden Risiken über eine Reife verfügen, so dass es an **alle Endkunden** auslieferbar ist und das Risiko aus noch nicht abgeschlossenen Langzeit-Lebensdauertests ökonomisch vertretbar ist?

Im Folgenden werden die aus oben stehenden Fragen abgeleiteten, risikobasierten Entwicklungsprojektphasen genauer erläutert.

Das Abschlusskriterium der Entwicklungstätigkeiten in jeder risikobezogenen Produktreifephase ist die Freigabe eines Produktdesigns. Das Produkt muss aus der besonders abgesicherten Umgebung in ein, die nächst niedrige Risikostufe repräsentierendes Umfeld entlassen werden können.

Entwicklungsrelevante, risikobezogene Produktreifegrade

Alle Aktivitäten für

- die hardwaremäßige Darstellung der Grundbauelemente
- deren Montage
- deren Testbetrieb
- deren Einsatz in Testfahrzeugen

in den entwicklungsrelevanten Musterphasen müssen in kontrollierten Umgebungen stattfinden. Im Falle des Risikoeintritts müssen die Umgebungen über Notfallmechanismen verfügen, um Gefahr für Leib, Leben und Umwelt abzuwenden. Die mit den entwickelten Bauteilen und Baugruppen in Kontakt tretenden Mitarbeiter müssen über Sonderbefähigungen verfügen. Der Nachweis der Befähigungen muss schriftlich belegbar sein. Diese Forderung, ist in allen Entwicklungsphasen zwingend zu erfüllen.

- **Phase 1: Gefahr für Leib und Leben**

In der ersten Projektphase stellt das entwickelte Produkt in seiner Gesamtheit eine Gefahr für Leib und Leben dar. Funktionale Elemente zur Speicherung, Weiterleitung, Unterbrechung und Messung von elektrischen Potenzialen und elektrischen Strömen sind noch nicht in einer Form in Hardware verfügbar, dass das Produkt oder seine Komponenten von ungeschulten Personen ohne Schutzausrüstung gehandhabt werden können. Deshalb müssen alle Aktivitäten an Hardware in abgesperrten Laboreinrichtungen stattfinden. Die Laboratorien müssen vom Gesetzgeber oder dessen Beauftragten zertifiziert worden sein. Ein reales, kundenbezogenes Risiko wird dadurch eliminiert.

Für die Absicherung der Lebensdauer der chemischen Komponenten, die in Lithiumionenzellen verbaut werden sollen, können während dieser Phase bereits Lebensdauertests begonnen werden. Die aktive Zellechemie kann in Prototypengehäuse eingeschlossen werden, deren Geometrie annähernd der Endanwendung entspricht. Für die Herstellung der Lithiumionenzellen kommen manuelle Prozesse und handgefertigte Komponenten zum Einsatz. Die Berührsicherheit der Lithiumionenzellen ist während dieser Musterphase noch nicht nachgewiesen. Das Verhalten der Lithiumionenzelle im Falle von mechanischer Deformation und Überladung (Abuse Case) kann nicht mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden. Durch den Aufbau und Test in einem kontrollierten Umfeld mit Spezialisten-Einsatz bietet sich die Chance für eine frühe Erkenntnisgewinnung (Zellcharakterisierung). Der zweite positive Effekt liegt in einer Verkürzung späterer Erprobungsphasen und damit in der Verkürzung der risikobehafteten Projektlaufzeit.

- **Phase 2: Teststreckentauglich**

In der zweiten, risikobezogenen Projektphase verfügt das Produkt bereits über einen Reifegrad, dass von ihm keine Gefahr mehr für Leib und Leben ausgeht. Es kann innerhalb einer

abgesperrten Teststrecke für Erprobungsfahrten in ein Fahrzeug eingebaut oder auf Prüfständen in Bezug auf Erfüllung der Endkundenspezifikation getestet werden. Damit ist das Design des Produktes bereits auf einem Level, der dem endgültigen, in Zukunft ins der Serie verbauten Design bis auf geringe geometrische Abweichungen nahe kommt.

Während dieser Phase wird die Hauptentwicklungsleistung mit Einbeziehen aller Stakeholder und einem generischen bereichsübergreifenden Projektmanagementansatz erbracht. Die Werkzeuge Stücklistenfilter, De-Materialisierung, Substitution und ein übergeordneter Risikobewältigungsprozess nach dem COSO ERM kommen parallel zum Einsatz.

Der Zyklus aus Risikoermittlung, Risikobewertung, Risikobewältigung und Risikokontrolle sollte sich mindestens in zweiwöchigem Intervall wiederholen. Die Beiträge aller Stakeholder werden in Leuchtturmbauteil-Kernteam gebündelt. Das Abkoppeln von Satellitenteams zur Ausarbeitung des Systemumfeldes der Leuchtturmbauteile wird vorbereitet.

Die Verlaufskurve des kumulierten Projektrisikos (der aufsummierten individuellen Risikozahlen im Gesamtprojekt) muss in dieser Projektphase den steilsten Abfall aufweisen. Alle Designelemente des Endproduktes müssen so ausgeführt werden, dass am Ende von Phase 2 der Einsatz des Produktes in einem Fahrzeug auf öffentlichen Straßen möglich ist. Dafür ist eine signifikante Reduktion des Risikovorrates zwingend erforderlich. Die Bestätigung der Designs erfolgt durch maßgeschneiderte Produktvalidierungs-Testläufe. Die Zeitdauer dieser Phase kann sechs bis neun Monate betragen.

- **Phase 3: Straßentauglich im Testbetrieb**

Während der letzten entwicklungsrelevanten Projektphase müssen das Design des Gesamtproduktes straßentauglich und dessen industrielle Herstellbarkeit bestätigt worden sein. Die Testfahrer, welche die Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen unter Anwendung präzise formulierter Fahrprofile bewegen, haben die Funktionalität des Gesamtsystems im Fokus. Die Wahrnehmbarkeit von Endkundenfunktionen und die Auswirkung deren Versagen sind zentrale Bestandteile der Fahrberichte. Dazu zählen im Bereich der Elektromobilität:

- Spürbarer Leistungsverlust (Beschleunigung)
- Spürbarer Reichweitenverlust
- Spürbare Ladezeitverlängerung
- Spürbare Vibrationen
- Verzögertes Ansprechverhalten von Bedienelementen
- Ruckartiges Fahrverhalten
- Unangenehme Geräusche vom elektrischen Antriebsstrang
- Fehlermeldungen im Cockpit
- Funktionsverlust des elektrischen Antriebsstranges ohne Immobilisierung des Fahrzeuges (bei Hybridfahrzeugen)
- Funktionsverlust des elektrischen Antriebsstranges mit Immobilisierung des Fahrzeuges. Dies wird unter Ausschließen sicherheits- und umweltrelevanter Risiken als maximales Risiko oder im Fachjargon als „Liegenbleiber“ bezeichnet.

Kundenrelevante, risikobezogene Produktreifegrade

Die Entwicklungsprojektphase kundenrelevanter, risikobezogener Produktreifegrade beginnt mit der Auslieferung von Fahrzeugen

- an Journalisten für Pressefahrten
- an autorisierte Vertriebspartner als Händler-Erstausstattung
- an bevorzugte Erstkunden.

Die Auslieferung dieser Fahrzeuge beginnt 3 Monate vor dem offiziellen Markteinführungstermin. Bis zu diesem Zeitpunkt muss das Risiko für den Endkunden so weit gesenkt worden sein, dass beim Eintreten des Risikos dessen Auswirkung für den Endkunden nicht wahrnehmbar ist. Danach folgt die letzte, risikobezogene Projektphase mit Auslieferung der Elektrofahrzeuge an "Friendly Customers".

- **Phase 4: Friendly Customers**

Den Marketingabteilungen der OEMs und deren Zulieferer in Position „Tier 1“ liegen personenbezogene Informationen über Endverbraucher in Datenbanken vor. Diese umfassen deren Erwartungen an ein neues Fahrzeug und deren Verhalten im Fehlerfall. Die Datenbanken sollten mittels „Data Mining“ (Handling of Big Data) derart gefiltert werden, dass eine statistisch repräsentative Anzahl an Erstkunden ermittelt werden kann, welche über folgende Eigenschaften verfügen:

- In der Gesellschaft etabliert und vernetzt
- Sendet Informationen verbal und in elektronischen Medien
- Starkes Umweltbewusstsein
- Pioniergeist
- Technikbegeisterung
- Begeisterung für Neues
- Imponiergehabe
- Legt Wert auf Prestige
- Visionär
- Verzeiht kleine Fehler
- Kommuniziert Fehler nicht öffentlich
- Kommuniziert Fehler an Autohändler

Die Summe diese Eigenschaften klassifiziert Erstkunden als "Friendly Customers", die im zentralen Interesse des Entwicklungsprojektleiters und seines Stabes stehen sollte. Zum Zeitpunkt der Auslieferung an „Friendly Customers“ sind Produktvalidierungen noch nicht abgeschlossen. Daraus folgt eine erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit für Risiken, die zu einer Irritation des Kunden führen können. Ein breiten- und pressewirksames Negativ-Szenario kann durch Auslieferung von Fahrzeugen an Friendly Customers vermieden oder abgeschwächt werden. Diese Kunden liefern als freiwillige Feld-Tester in einem statistisch signifikanten Großversuch das erste Feedback aus der Praxis. Die Abfrage der Kundenmeinungen und die Erfassung von Vorfällen müssen in direkter Kommunikation auf geschützten Kommunikationskanälen erfolgen. Durch die gewonnenen Daten können die in den

angewandten Risikomanagementwerkzeugen vergebenen, auf Endkundenfunktionen bezogenen Risikozahlen verifiziert und revidiert werden. Daraus können Nachbesserungsarbeiten abgeleitet werden, die im günstigen Fall noch vor dem Eintritt in die letzte Phase des Entwicklungsprozesses in das Produktdesign einfließen können.

- **Phase 5: für alle Endkunden tauglich**

Mit der Freigabe zur Auslieferung der Produkte an alle Endkunden wird das gesamte Marktrisiko wirksam. Die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Bedeutung von Risiken, die aus noch nicht abgeschlossenen Entwicklungsaktivitäten resultieren, werden aus dem projektbegleitenden Risikomanagementinstrument abgeleitet. Daraus wird eine Prognose für zu erbringende Leistungen im Gewährleistungs- und Kulanzbereich erstellt. Die Prognose wird der Entwicklungsprojektleitung als Restrisiko vorgelegt. In der Elektromobilität leisten nicht abgeschlossene Lebensdauertest der in Batterien verbauten Lithiumionenzellen den Hauptbeitrag zu diesem Restrisiko. Für die Simulation der typischen, in der Kundenspezifikation geforderten Lebensdauer von 15 Jahren oder 300.000 km ist ein Validierungszeitraum von mindestens zwei Jahren gefordert.

Am Ende von Phase 5 wird das Entwicklungsprojekt mittels eines standardisierten Prozesses an das Team übergeben, das für die Serienproduktion des entwickelten Produktes verantwortlich ist.

Mischverbauten

Die neu eingeführten, risikobasierenden Phasen eines Entwicklungsprojektes lassen Mischverbauten über die gesamte Entwicklungsprojektlaufzeit zu. Mischverbauten treten auf, wenn in einem Modul Komponenten oder in einem System Komponenten und Module unterschiedlicher Hardwarereife zum Einsatz gelangen. Der in Abb. 17 dargestellte Projektterminplan eines realen Entwicklungsprojekts veranschaulicht durch die roten Balken wann Bauteile unterschiedlicher (klassischer) Hardwarereifegrade im Gesamtsystem verbaut wurden. Mischverbauten sind bei Anwendung klassischer Automotiver Musterphasen unvermeidbar und binden signifikante Projektressourcen für die Erstellung, die Risikobewertung und die Freigabe von Bauabweichungen.

Das bewusste Zulassen von Mischverbauten durch Einführen risikobezogener Entwicklungsprojektphasen und die Rechtfertigung dieser Vorgehensweise durch Einführung eines risikobasierenden Projektmanagements eröffnen Chancen zur Steigerung der Effizienz. Diese tragen zur Wertsteigerung für die Organisation und alle involvierten Stakeholder bei.

Werden in einer Musterstufe (Projektphase) Komponenten, Module und Systeme verbaut, die bereits eine höhere Produktreife aufweisen als gefordert, sind diese nicht Gegenstand der detaillierten Risikobetrachtung. Bei diesen Komponenten handelt es sich um Normteile, Katalogware und standardisierte Übernahmeteile wie Hardwaremodule aus anderen Entwicklungs- und Serienprojekten höherer Musterstufen. Höhere Produktreifen können im Vorfeld durch die Instrumente Stücklistenfilter, De-Materialisierung und Substitution erzielt werden. Der daraus ableitbare Beitrag zur Risikoreduktion von Mischverbauten resultiert aus

der Reduktion der Komplexität des Gesamtproduktes. Die Rückführung auf einfachere Designs verringert die Systemvarietät und die Fehlereintrittswahrscheinlichkeit.

Der Einsatz von Komponenten, Systemen und Modulen, die eine geringere als die geforderte Hardwarereife aufweisen ist zentraler Gegenstand des projektbegleitenden Risikomanagementprozesses bei der Freigabe eines Mischverbaus. Bei der Risikobetrachtung ist immer die Auswirkung auf den Endkunden zu bewerten. Der Endkundenbegriff wird in diesem Zusammenhang für alle Stakeholder angewandt. Beispiele für Endkunden sind:

- Gesetzgeber
- Testfahrer
- Der in der Lieferkette höher stehende Partner
- Interne und externe Testabteilungen für die Produktvalidierung
- Werker in der Produktionslinie
- Vertreter der einschlägigen Presse in Zusammenhang mit Marketing
- Friendly Customers

Das Ziel (der Grundgedanke) eines Mischverbaus ist eine Darstellung der für die aktuelle, risikobezogene Projektphase **nötigen**, nicht die Darstellung der maximal möglichen Produktreife in Hardware. Die Hardwarereife orientiert sich an den Bedürfnissen der in dieser Phase auftretenden Stakeholder. Durch Aufgeben der Forderung nach der maximal möglichen Hardwarereife ergibt sich eine Entlastung des Entwicklungsteams. Das Team kann sich so auf Kernaktivitäten (Leuchtturmbaueile) fokussieren. Zugleich werden Kosten für Beschleunigungsaktivitäten in der Lieferkette reduziert. Folgende Beispiele illustrieren diesen Grundgedanken:

- Zur Durchführung eines Crash-tests ist es nicht nötig, dass die im Produkt verbaute Elektronik funktional sein muss. Die einzige Forderung an die Elektronik ist, dass die elektronische Baugruppe in der definierten Lage verbaut ist und die selbe Steifigkeit aufweist wie die in der Serie eingesetzte Lösung
- Für Testfahrten, welche vom Vorstand des Kunden oder von Vertretern der Presse durchgeführt werden, ist eine positiv abgeschlossene Validierung der Lebensdauer einer Hybridbatterie nicht nötig, da die Testfahrzeuge nur kurz im Einsatz sind. Die Batterie muss alle vom Gesetzgeber gestellten Sicherheitsanforderungen erfüllen und die elektrische Leistung so bereitstellen, dass die Tester durch Beschleunigungswerte und Reichweite beeindruckt sind.

Verkürzung der Projektlaufzeit als Chance

Durch das Zulassen von Mischverbauten ist es zulässig, die klassischen Automotiven Musterphasen in einem Entwicklungsprojekt in der Elektromobilität ineinander zu verschachteln. Der Markteintrittstermin kann durch Auslieferung der ersten Serienfahrzeuge an Friendly Customers terminlich nach vorne verlegt werden. Das Ziel ist eine Verkürzung der Gesamtdauer des Entwicklungsprojektes um ein Drittel dessen Laufzeit im Vergleich zur Anwendung klassischer Automotiver Musterphasen.

4.5 Organisations Redesign

Die Einführung risikobezogenen Entwicklungsprojektphasen in Verbindung mit einem dynamischen Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement erfordert ein Redesign der Entwicklungsprojektstruktur. Die Strukturelemente des Entwicklungsprojekts müssen in die funktionalen Strukturen der Gesamtorganisation eingegliedert werden. In klassischen Automotiven Entwicklungsprojekten wird die Struktur der Projektorganisation an die Struktur des zu entwickelnden Produkts angepasst. Die funktionalen Einheiten im Projektorganigramm bleiben über die gesamte Projektlaufzeit unverändert. Durch die erhöhte Instrumenten- und Modelldynamik des Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement muss die starre Organisationsstruktur aufgegeben werden. Die Produktentstehungsprozesse finden in Simultaneous Engineering (SE)-Teams statt. Zu Projektbeginn wird die Entwicklungsleistung analog zur Vorgehensweise in klassischen Entwicklungsprojekten entsprechend der Strukturelemente des Gesamtprodukts in Teilpakete aufgegliedert. Danach beginnen die SE-Teams mit der Entwicklungstätigkeit und greifen auf Supportprozesse der Gesamtorganisation zu.

Im Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement wird der Simultaneous Engineering Ansatz in kritischen Projektphasen durch einen Sequential Engineering Ansatz ersetzt. Die Zusammensetzung von SE-Teams wird variabel gestaltet. Die Organisationsstruktur muss ermöglichen, dass aus bestehenden SE-Teams temporär Mikro-SE-Teams abgespalten und/oder mehrere SE-Teams temporär zu einem Makro SE-Team verschmolzen werden können. Die mit der Produktentwicklung beauftragten Teams nehmen damit hochflexible, **fraktale Strukturen** an. Die Zusammensetzung und Größe eines Mikro- oder Makro SE-Teams orientiert sich an der Risikolandschaft des Entwicklungsprojekts. Durch eine Risikobewertung der Stückliste des Produkts (Stücklistenfilter) werden am Projektbeginn die am meisten risikobehafteten Stücklistenkomponenten (Leuchtturmbauteile) identifiziert. Diese initiale Risikobewertung bildet die Entscheidungsgrundlage für das Entwicklungsprojektmanagement zur temporären Umgestaltung der SE-Team Zusammensetzungen. Leuchtturmbauteile werden priorisiert. Vertreter aus allen SE-Teams werden zu Leuchtturmbauteil-Kernteams zusammengezogen, die interdisziplinär das grundlegende Design der Leuchtturmbauteile festlegen. Parallel ablaufende Entwicklungsaktivitäten in anderen SE-Teams können in Abhängigkeit von den Arbeitspaketen zum Erliegen kommen, bis die Risikobewältigungsmaßnahmen im Kernteam verabschiedet sind.

In Abb. 37 sind typische Stakeholder eines Leuchtturmbauteil-Kernteams dargestellt. Neben externen Stakeholdern (rot), internen Kunden der Entwicklungsabteilung (zyklame) und Supportfunktionen (orange) sind Vertreter aller Fachbereiche aus dem Engineering (blau) eingebunden. Das Leuchtturmbauteil selbst kann dem Zuständigkeitsbereich jeder Fachabteilung entsprechen. Für die Erarbeitung der entwicklungsbedingten Risikobewältigungsmaßnahmen ist eine holistische Sichtweise erforderlich. Durch Einbeziehen aller technischen Fachgebiete wird ein generischer Ansatz verwirklicht. Dieser fördert den interdisziplinären Wissensaustausch und wirkt internem „Silodenken“ entgegen. Durch die Bündelung der gesamten interdisziplinären Kompetenz einer Organisation auf

Leuchtturmbauteile kann das Risikoportfolio des Gesamtproduktes signifikant gesenkt werden. Das zusätzliche (temporäre) Einbeziehen externer Spezialisten erhöht die Effektivität und Effizienz der Risikobewältigungsmaßnahmen. Die Flexibilisierung der Teamstruktur mit der Möglichkeit zur temporären Umgestaltung verstärkt die Anpassungsfähigkeit der SE-Teams an sich ändernde Umweltbedingungen. Die Anpassungsfähigkeit der Teamstruktur in Kombination mit spezifischen Instrumenten zur Risikobewältigung erlaubt eine zielgerichtete Evolution der zu entwickelnden Bauteile in Richtung des minimalen Endkundenrisikos.

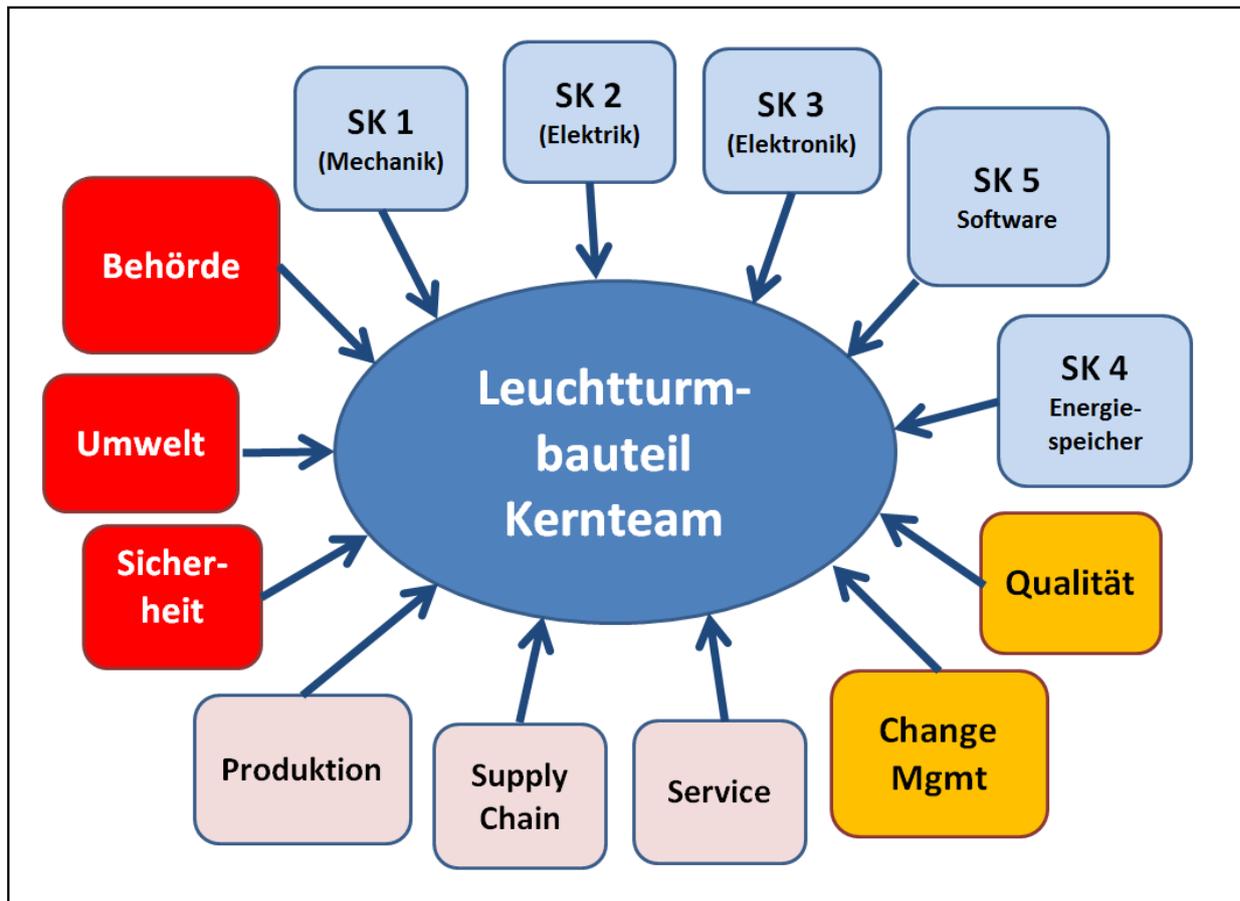


Abbildung 37: Aufbau eines Leuchtturmbauteil-Kernteam

Diese Vorgehensweise trägt durch zwei weitere Aspekte zur Wertsteigerung des Unternehmens bei:

Erstens wird verhindert, dass bei sonst parallel ablaufenden Produktentwicklungstätigkeiten die Schnittstellendynamik das effiziente Zusammenspiel der entwickelten Peripheriekomponenten mit Leuchtturmbauteilen gefährdet.

Zweitens wird vermieden, dass Stakeholder in Bezug auf deren Inputs für das Produktdesign nicht berücksichtigt werden, die gemäß der branchenüblichen Vorgehensweise erst in späteren Projektphasen in Erscheinung treten.

Nach der Erarbeitung eines von allen Stakeholdern mitgetragenen Gesamtkonzeptes und einer klaren Definition der Schnittstellen zu Nachbarkomponenten, kann das Leuchtturmbauteil-Team auf ein verkleinertes, technisches Kernteam reduziert werden. Dieses bearbeitet spezifische,

auf das Leuchtturmbauteil bezogene Fragestellungen. Die Vertreter der anderen Fachbereiche werden aus dem Kernteam entlassen entwickeln die ihnen zugewiesenen Nachbar-Systemelemente der Leuchtturmbauteile in Satelliten-SE-Teams (vgl. Abb. 38).

Die Schnittstellen zum Leuchtturmbauteil-Kernteam müssen erhalten bleiben. Über diese Schnittstellen finden während der weiteren Entwicklungsphase Abstimmungsprozesse zwischen Leuchtturmbauteil und Peripherie statt. Jedes Leuchtturmbauteil übernimmt die Funktion einer zentralen Schaltstelle im Entwicklungsprojekt. Im Falle von Designänderungen jeglicher Art müssen diese mit dem Leuchtturmbauteil abgestimmt werden. Daher muss das Änderungsmanagement an das Leuchtturmbauteil-Kernteam angekoppelt werden, das als übergeordnete Instanz die den Änderungsprozess eingebrachten Anträge freigeben oder ablehnen kann (Veto-Recht). So wird sichergestellt, dass Änderungen in Satellitenteams, die Schnittstellen und Funktion des Leuchtturmbauteiles negativ beeinflussen können, am Radar erscheinen und rechtzeitig Maßnahmen zur Risikoreduktion einsetzen können. Die vom Leuchtturmbauteil ausgehenden Entwicklungsaufträge müssen in die Satellitenteams eingesteuert und an Entwicklungspartner in der Lieferkette weitergegeben werden. Die Qualität der Interaktionsprozesse muss von der Qualitätsabteilung der Organisation sichergestellt werden. Die Qualität der Interaktion des Systems aus SE-Teams mit den Entwicklungspartnern in der Lieferkette ist Aufgabe der Abteilung Supplier Quality Assurance (SQA). Das aus Leuchtturmbauteil, Satellitenteams, Entwicklungspartnern und Supportabteilungen bestehende System mit dessen Interaktionen ist in Abb. 38 dargestellt.

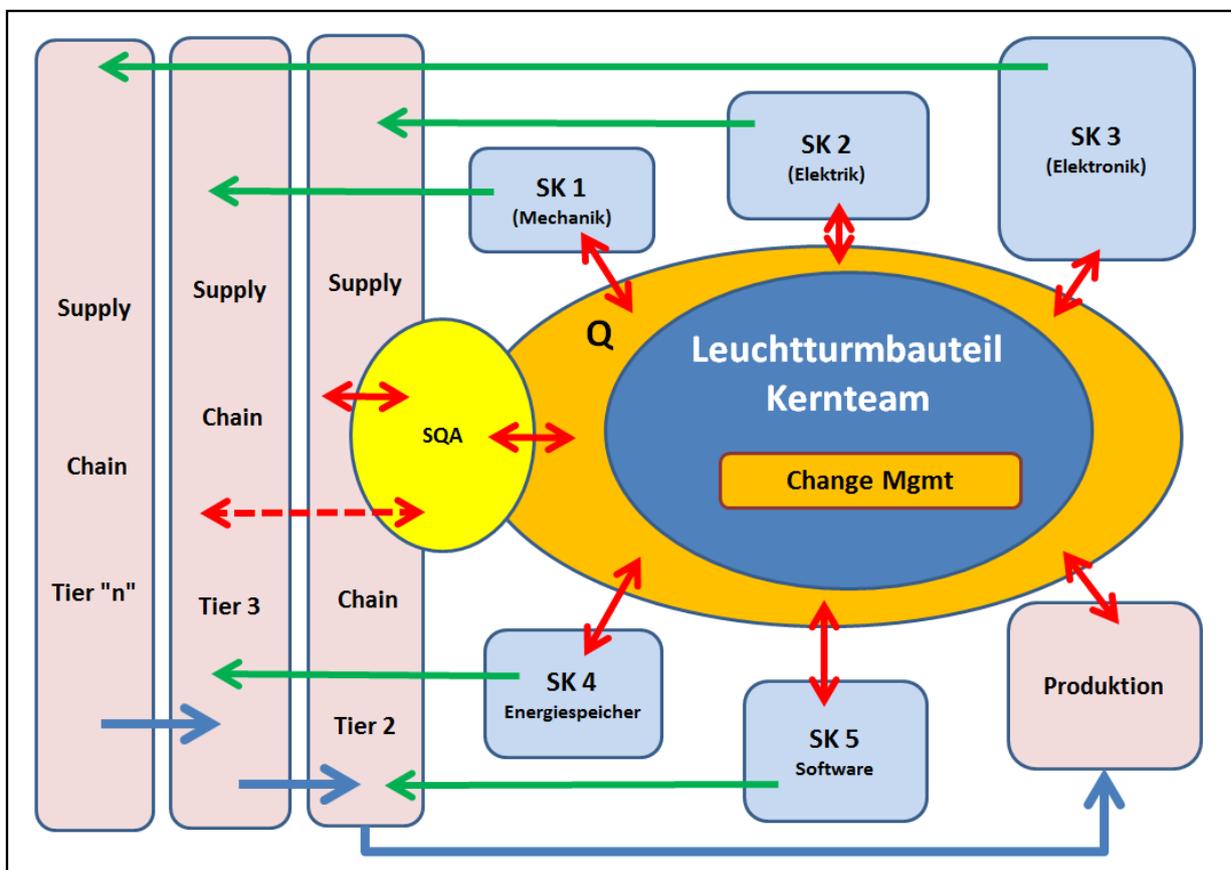


Abbildung 38: Abspalten von Satellitenteams von Leuchtturmbauteil-Kernteams

Das Organisationsdesign des Entwicklungsprojekts muss flexibel genug sein, um jederzeit oben beschriebene Methode anwenden zu können (risikobasierter Experteneinsatz). Das Organisationsdesign eines Entwicklungsprojekts muss mit den Strukturen der Gesamtorganisation verschmelzen. Die Strukturen des Entwicklungsprojekts werden dafür im Managementmodell der Gesamtorganisation abgebildet.

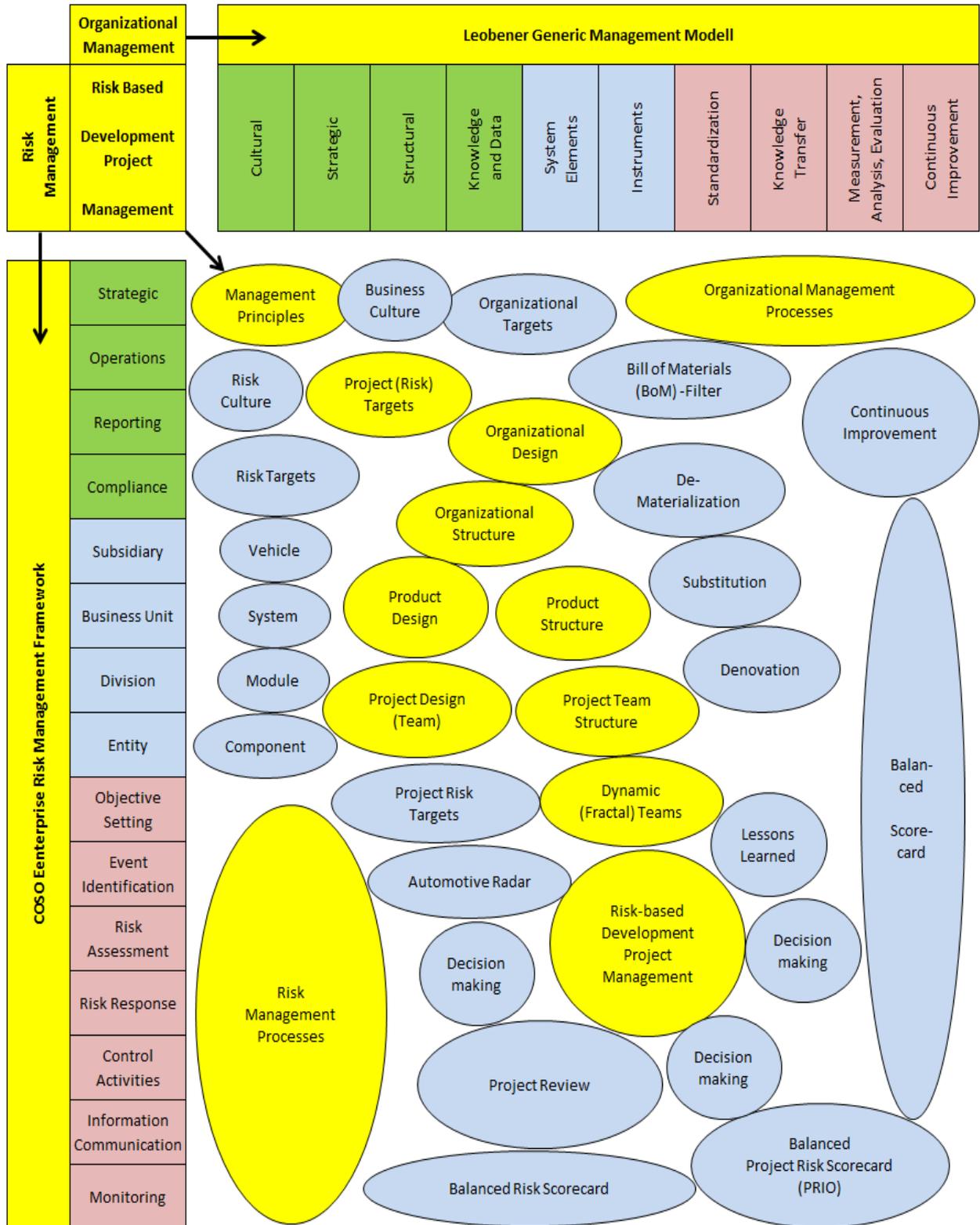


Abbildung 39: Projekt-, Organisations- und Risikomanagement

Das Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement verbindet das Leobener Generic Management Modell mit dem COSO Enterprise Risk Management Framework. In Abb.39 sind die Dimensionen beider Managementmodelle linearisiert und als Zeilen- und Spaltenindizes einer Matrix aufgetragen. Die horizontale Achse entspricht dem generischen Managementmodell der Gesamtorganisation. Die vertikale Achse entspricht dem Risikomanagementmodell. Im Wirkungsfeld der Matrix sind Strukturelemente der übergeordneten Firmenorganisation, Strukturelemente des zu entwickelnden Produkts, ausgewählte Instrumente und Prozesse dargestellt. Die Aspekte des risikobasierten Entwicklungsprojektmanagements sind um die Hauptdiagonale der Matrix gruppiert.

Nach dem Redesign der Entwicklungsprojektorganisation und deren Verschmelzung mit dem Managementmodell der Gesamtorganisation müssen die zeitlich ablaufenden Interaktionen zwischen den Systemelementen modelliert werden. Die Interaktionen entsprechen den Produktentstehungsprozessen. In der Prozesslandschaft sind risikobasierte Entscheidungsprozesse von zentraler Bedeutung. Die Anwendung eines neuen Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement erfordert ein Redesign der Produktentstehungsprozesse.

4.6 Prozess Redesign

Die Effektivität und Effizienz des Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement beruht auf der Einführung von Sonderprozessen. Diese verknüpfen die Strukturelemente und Instrumente des Vorgehensmodells. Die Sonderprozesse können in zwei Kategorien untergliedert werden. Die erste Kategorie umfasst neu erarbeitete Prozesse, die die klassische Automotive Prozesslandschaft ergänzen. Dazu zählen z.B.: der Stücklistenfilter oder der Risikoverdichtungsprozess. Die zweite Kategorie umfasst Prozesse, die etablierte Automotive Prozesse miteinander verknüpfen. Dazu zählt z.B.: der Abgriff von Risikozahlen aus standardisierten Automotive-Instrumenten. In beiden Kategorien kann es sich bei den Prozessen um Bewertungs-, Ermittlungs- und Entscheidungsprozesse handeln. Die Prozesse werden über die Laufzeit des Entwicklungsprojekts seriell und parallel angewandt. Die Entscheidungen im Führungsprozess des Automotiven Entwicklungsprojekts beruhen auf Ausgabegrößen des Risikomanagementprozesses. Die Abfolge der Kernprozesse des Vorgehensmodells ist in Abb.36 dargestellt. Es folgt eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Prozesse in chronologischer Reihenfolge.

4.6.1 Stücklistenfilter

Bei der Anwendung klassischer Vorgehensmodelle für die Entwicklung von Automotiven Produkten setzen standardisierte (repetitive) Abläufe unmittelbar nach Projektbeginn ein. Die Entwicklungsaktivitäten bauen auf der Konzeptstückliste des Endprodukts auf. Dabei wird das in der Konzeptstückliste integrierte Risikopotenzial unterschätzt. Ein effizienter Risikomanagementprozess in der Produktentstehung muss Risiken in deren Embryonalstadium erfassen und bewältigen. Zur Ermittlung des initialen, von den Strukturelementen des Endprodukts ausgehenden Risikos muss die Konzeptstückliste einer Filteroperation unterzogen

werden. Die Stückliste fasst die Strukturelemente (Komponenten, Module, Systeme) des Endprodukts zusammen und beinhaltet alle für die Durchführung einer initialen technischen Risikoanalyse relevanten Informationen. Als Minimalanforderung müssen folgende Dokumente vorliegen:

- Bauteilbezeichnungen für genormte Teile und Katalogware
- 2D-Zeichnungen für niedrig bis mittel komplexe Baugruppen und Module
- 3D-Modelle für komplexe Module und Systeme

Die technische Komplexität eines Stücklistenelements wird durch dessen Funktion im Funktionskomplex „Endprodukt“ bestimmt. Die Filteroperation ist der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe durch Klassierung nachempfunden. Die virtuellen Siebböden entsprechen Bauteilrisikoklassen, die initialen Risikozahlen entsprechen. Die technische Komplexität wird als Maschenweite der Siebböden interpretiert. Damit werden den einzelnen Stücklistenelementen individuelle Risikopotenziale (Risikozahlen) zugewiesen. Im Idealfall existiert im Managementmodell der Organisation eine fein strukturierte Entscheidungstabelle zur standardisierten Risikoermittlung (vgl. Tab.15).

Tabelle 15: Entscheidungstabelle Stücklistenfilter

Eigenschaften des Stücklistenelements				Filterstufe (Filterabgang)				
				1	2	3	4	5
Normteil				0				
Katalogteil	mechanisch			0				
	elektrisch				0			
	elektronisch				0			
ausgeblendet								
Blechbaugruppe	verschweißt	unbeschichtet	< = 20 Merkmale		0			
			> 20 Merkmale			0		
		beschichtet	< = 20 Merkmale			0		
			> 20 Merkmale				0	
ausgeblendet								
Entwicklungsteil elektrisch	Kabelbaum		< = 40 Merkmale		0			
			> 40 Merkmale			0		
			optische Leiter			0		
	Reais		Niedrigspannung		0			
			Hochspannung			0		
ausgeblendet								
Entwicklungsteil elektronisch	passive Bauteile		< = 50 Merkmale			0		
			> 50 Merkmale				0	
	aktive Bauteile	Standardsoftware					0	
		Customized Software	< = 1000 Programmzeilen					
			< 1000 Programmzeilen					0
ausgeblendet								
Batteriezelle	Lithium- Manganspinell	Energiezelle				0		
		Leistungszelle					0	
ausgeblendet								

Existiert keine Entscheidungstabelle, kann die Risikozuweisung basierend auf kostenpflichtig am freien Markt verfügbaren Zahlentabellen, z.B.: für die Zuverlässigkeit von elektronischen Komponenten, erfolgen. Als Ergänzung sollten empirisch gewonnene Erkenntnisse (Lessons Learned) einfließen. Für neu zu entwickelnde Komponenten sind Expertenmeinungen heranzuziehen, um einen "best guess" als erste Näherung zu erhalten. Die systematische Ermittlung und Analyse der individuellen Risikopotenziale ist für die Erstbewertung des Gesamtrisikovorrates des auszuliefernden Produktes (Summenbildung) erforderlich. Die Reduktion des Gesamtrisikos der Konzeptstückliste ist das erste Risikoziel des risikobasierten Entwicklungsprojektmanagementprozesses. Danach können die Stücklistenkomponenten nach Risikoklassen geordnet und dem Projektteam vorgestellt werden. Der Stücklistenfilter sollte nicht nur am Beginn des Entwicklungsprojektes zum Einsatz kommen, sondern nach jeder Stücklistenänderung angewandt werden. Damit wird die technische Risikohistorie des Gesamtproduktes abgebildet. Bei Risikoerhöhung kann eine Warnung an die Projektleitung erfolgen.

Entscheidungshilfen für die Stücklisten-Filteroperation:

In der ersten Filterstufe erfolgt das Aussieben von Bauteilen geringster Komplexität. In diese Klasse fallen Normteile und Katalogware. Bei der Katalogware darf es sich nicht um höher komplexe Baugruppen handeln, die in Massenproduktion mit Hauptzielrichtung des Marketings auf den Consumer-Bereich vertrieben werden.

Die zweite Filterstufe identifiziert einfache mechanische Baugruppen, die ohne Risiko von Entwicklern am Anfang ihrer Karriere entwickelt und von Standardlieferanten produziert werden können. Die Baugruppen dürfen keine sicherheitsrelevante Funktion im Gesamtsystem ausüben.

Der Auswurf der dritten Filterstufe besteht in einfachen elektromechanischen Baugruppen. Dazu gehören Standard-Relais, Kabelbäume und anderen Komponenten, deren Technologie sich seit mindestens zehn Jahren in Großserie in kundenrelevanten Fahrzeugen im Einsatz befindet.

Die Filterstufe 4 identifiziert komplexe mechanische, elektromechanische, elektronische und elektronisch-mechanische Baugruppen, Module und Systeme. Für deren Entwicklung ist das Einsetzen von Spezialisten im Rahmen von SE-Teams zwingend erforderlich. In diese Kategorie fallen z.B.: elektronische Steuergeräte, Batteriegehäuse, Kühlsysteme, Hochleistungsrelais und Leistungsbau- und Schaltelemente.

Die höchste, mittels Automotiver Instrumente für Projekt- und Risikomanagement handhabbare Risikoklasse wird von Produkten der Filterstufe 5 repräsentiert.

Dazu zählen

- hoch komplexe mechanische Baugruppen an deren Schnittstellen, Herstellbarkeit, Funktion und Sicherheit Anforderungen gestellt werden, die den neuesten Stand der Technik widerspiegeln
- Hoch komplexe elektromechanische Baugruppen, die in technisches Neuland vorstoßen und für den Hochspannungsbereich geeignet sein müssen

- Hoch komplexe elektronisch-mechanische Baugruppen, welche über Hardware- und Softwareschnittstellen verfügen. In den Produkten sind kundenspezifisch vorprogrammierte oder zu programmierende Mikrocontroller verbaut. Diese stehen über Hardware- und Software-Schnittstellen mit der Batterie- und Fahrzeuginfrastruktur in Verbindung
- Alle Bauteile mit einer sicherheitsrelevanten Funktion
- Alle Baugruppen, die aus neuartigen Materialien aufgebaut sind. Die Verarbeitbarkeit der Materialien muss durch statistische Daten zur Prozessfähigkeit belegt sein. Das Langzeitverhalten der Materialien muss vorhersagbar sein
- Alle Bauteile, Module und Systeme, die über eine, sich über die Produktlebensdauer verändernde Chemie verfügen. Darunter fallen Lithiumionenbatteriezellen.

Bauteile der Risikostufe 5 aus dem Stücklistenfilter werden als „Leuchtturmbauteile“ (lighthouse components) bezeichnet. Leuchtturmbauteile sind Gegenstand fraktaler Entwicklungsteams, die im Entwicklungsprojekt während der Erarbeitung des Produktdesigns in Erscheinung treten.

Alle Bestandteile der Stückliste einer Lithiumionenbatterie, die sich nicht mittels des angewandten Stücklistenfilters klassifizieren lassen, müssen unmittelbar an die Projektleitung gemeldet werden. Diese Stücklistenelemente stellen projekt- bis strategiegefährdende Risiken dar. Für diese Stücklistenelemente ist mit der Geschäftsführung, die die Interessen der Organisation und deren Stakeholder repräsentiert, die weitere Vorgehensweise abzustimmen und schriftlich darzulegen.

4.6.2 De-Materialisierung, Substitution und Denovation

Unmittelbar nach der Anwendung des Stücklistenfilters müssen Instrumente angewandt werden, die das Gesamtrisiko für das Entwicklungsprojekt senken, bevor der für die Begleitung des Entwicklungsprojektes ausgelegte, routinierte Risikomanagementprozess einsetzt. Risikovermeidung und Risikoverminderung sind die effektivsten Vorgehensweisen zur nachhaltigen Senkung des Risikoportfolios. Dafür werden die Instrumente De-Materialisierung und Substitution¹⁴⁹ angewandt. Techniken zur De-Materialisierung und Substitution kommen im Umfeld des Managements nachhaltiger Entwicklungen in der Industrie erfolgreich zur Anwendung. Diese Instrumente zielen als Meta-Strategien für nachhaltige Entwicklung auf das Vermieden von Abfällen und die Schonung von Ressourcen ab (vgl. Abb.40). Die direkte Anwendung auf Entwicklungsprojekte in der Automotiven Elektromobilität zielt auf die Entwicklung eines einfachen und möglichst gering komplexen Endprodukts ab. Ein möglichst einfaches und gering komplexes Produkt erfordert weniger aufwändige und ressourcenschonendere Produktionsprozesse. Zugleich wird die Komplexität der Supportprozesse wie Einkauf, Logistik, Instandhaltung und dem begleitenden Qualitätsmanagement gesenkt. Der Maschinenpark zur Herstellung eines de-materialisierten Produktes hat geringeren Platzbedarf und benötigt weniger Energie. Nach Anwendung der Instrumente De-Materialisierung und Substitution verschiebt sich der Charakter des entwickelten Produkts holistisch betrachtet in Richtung eines ökologischeren Produkts. Dieser

¹⁴⁹ Vgl. Robert et al. (2002), S. 200ff

Aspekt kann für die Automotive Elektromobilität werbewirksam werden. Mit einem, in den zu entwickelnden Produkten verwirklichten Ökodesign¹⁵⁰ wird gleichzeitig den seit 01.01.2015 im Energieeffizienzgesetz¹⁵¹ erhobenen Forderungen und somit den Bedürfnissen der Stakeholder „Umwelt“ und „Gesetz“ entsprochen.

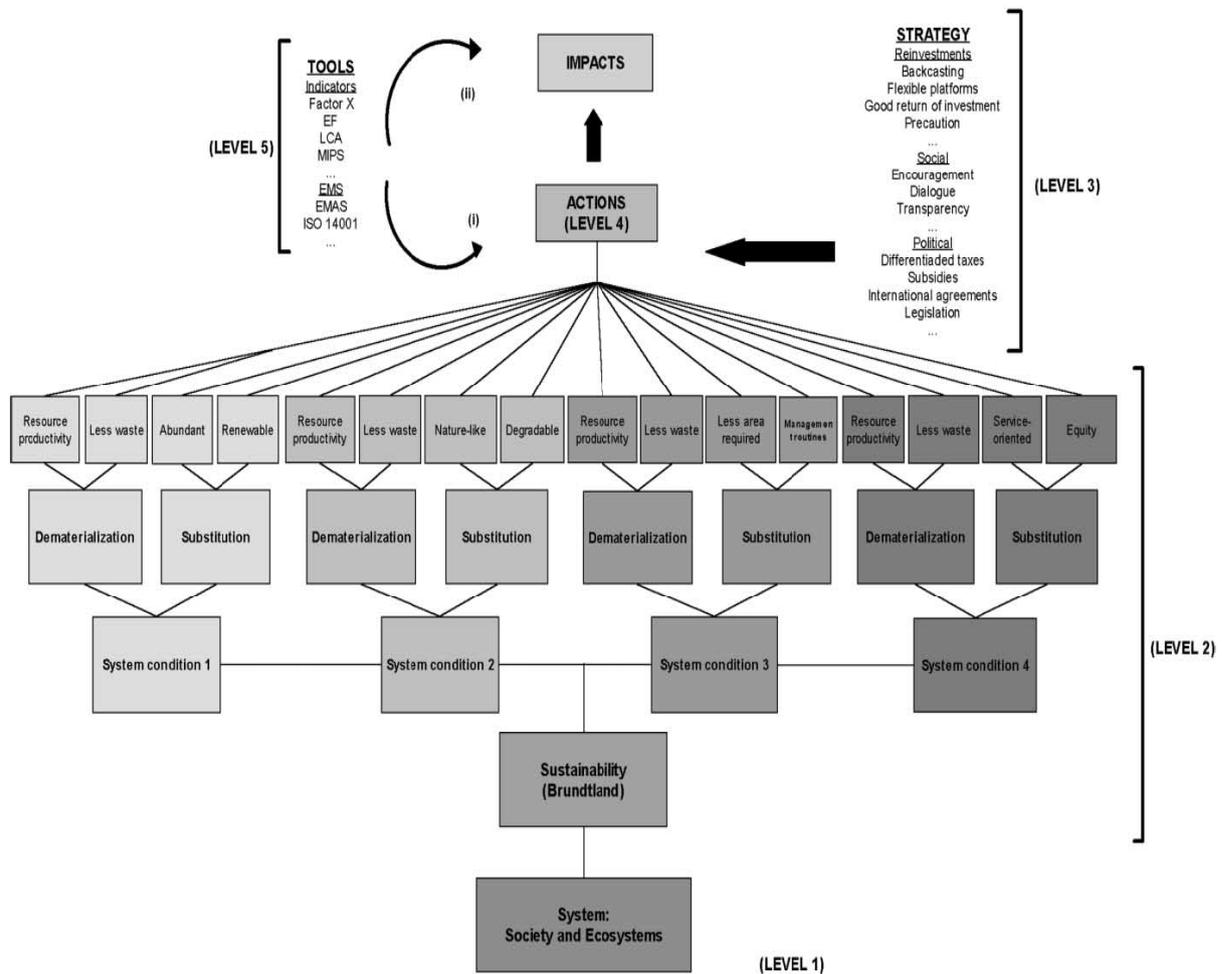


Abbildung 40: De-Materialisierung und Substitution¹⁵²

Den Ausgangspunkt für De-Materialisierungs- und Substitutionsaktivitäten liefert der Stücklistenfilter. Die Ziele der Aktivitäten sind:

- die Reduktion der Anzahl der Stücklistenkomponenten durch Elimination
- die Verschiebung von nicht eliminierbaren Stücklistenkomponenten in eine niedrigere Risikoklasse (Filterstufe)

Im Folgenden werden Vorgehensweisen zur De-Materialisierung und Substitution für die einzelnen Risikoklassen des Stücklistenfilters beschrieben. Der Gesamtprozess ist in Abb. 41 als Prozessablaufplan dargestellt.

¹⁵⁰ Vgl. Kriwet et al. (1995), S.15ff

¹⁵¹ Vgl. ISO 50001 (2015)

¹⁵² Zit.: Robert et al (2002) S. 199

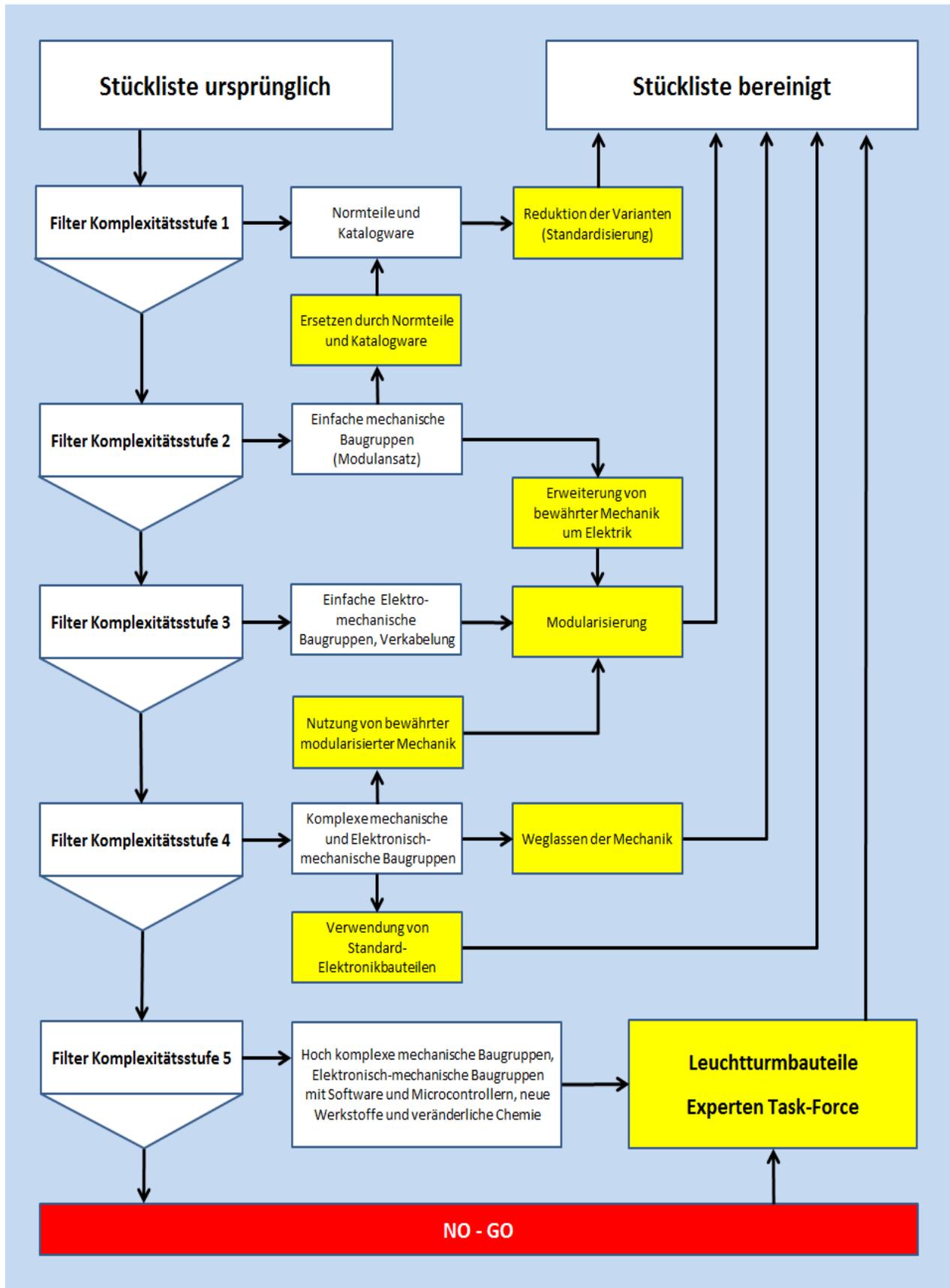


Abbildung 41: Stücklistenfilter, De-Materialisierung und Substitution

De-Materialisierung und Substitution in Stücklisten-Filterstufe 1:

Der im Vergleich zu höher komplexen Bauteilen vernachlässigbare Preis pro Einzelkomponente und der geringe Betreuungsaufwand für die Produktfreigabe (Bemusterung) verleiten dazu, diesen Komponenten kein oder nur marginales Augenmerk zu widmen. Mit jeder Stücklistenposition sind folgende Prozesse vernetzt.

- Anlegen eines Liefervertrages
- Beschaffungsprozesse (Einkaufsprozess, Anlieferlogistik)
- Firmeninterne Logistik und Lagerhaltungsprozesse
- Beschaffungs- und Instandhaltungsprozesse für Montagewerkzeuge in der Produktion

Durch eine Reduktion der Varianten können diese begleitenden Aktivitäten proportional reduziert und Ressourcen über die gesamte Projektlaufzeit im Serienbetrieb freigestellt werden. Zuerst muss ermittelt werden, wie viele unterschiedliche Varianten an Normteilen und Katalog-Komponenten in der Stückliste des Endproduktes angeführt sind. Danach erfolgt die Analyse wie viele dieser Komponenten pro Variante verbaut werden. Das Entwicklungsteam muss überprüfen, ob die Verwendung desselben Normteils für unterschiedliche Montagefälle möglich ist. Bei positivem Ergebnis wird die Stückliste verkürzt und das Einkaufsvolumen des ausgewählten Normteils erhöht (De-Materialisierung). Kann beispielsweise die Befestigung von Komponenten in übergeordneten Baugruppen von der Verwendung mechanischer Normteile durch Befestigung durch Verrasten („snap in“) substituiert werden, entfallen weitere Normteile. Zusätzlich zur Elimination der mechanischen Befestigungselemente kann deren Fehlerwahrscheinlichkeit aus der Berechnung der Zuverlässigkeit der Baugruppe gestrichen werden. Die aus Verwechslungen von Bauteilen ableitbare Fehlerwahrscheinlichkeit wird reduziert und erhöht die Effizienz der Fertigungsprozesse. Montagewerkzeuge können vereinheitlicht oder eliminiert werden.

De-Materialisierung und Substitution in Stücklisten-Filterstufe 2:

Niedrig komplexe, maßgeschneiderte mechanische Komponenten ohne signifikanten Entwicklungsaufwand und ohne kritische Systemfunktionen sollten durch am Markt verfügbare, genormte Bauteile oder Katalogware ersetzt werden. Die Substitution bewirkt durch Reduktion der Bauteilekomplexität eine Transformation des bearbeiteten Stücklistenelements von Risikostufe 2 auf Risikostufe 1. Dieser Ansatz folgt dem Prinzip: „Never design a part that you can buy out of a catalog“ (Anderson´s Law)¹⁵³. Durch den Ersatz von maßgeschneiderten durch standardisierte Bauteile werden personelle Ressourcen in der Produktentwicklung frei. Aus der Verwendung von standardisierten Bauteilen folgt zwingend eine Standardisierung der Schnittstellen zwischen den Baugruppen. Personen, die in den Standardisierungsprozess eingebunden wurden, sollten als Stakeholder in den SE-Teams auftreten, die mit der Schnittstellenentwicklung betraut sind. Die Schnittstellendefinition sollte in einem Designdurchlauf erfolgen. Andernfalls besteht das Risiko, die gewonnene Projektarbeitszeit durch spätere Schnittstellenanpassungen (Änderungswesen) wieder zu verlieren. Der Stücklistenfilterprozess muss deshalb zu einem Zeitpunkt stattfinden, an dem die Schnittstellen

¹⁵³ Vgl. Anderson (2014), S.3

der umgebenden Baugruppen noch nicht eindeutig definiert sind. Die Standardisierung von Komponenten aus Stücklisten-Filterstufe 2 führt in Summe zu einer Vereinfachung und Standardisierung der Schnittstellen im Gesamtsystem. Die Standardisierung kann sich über die Systemgrenze hinaus „bottom-up“ über die Schnittstellenkette bis zu den Schnittstellen in der Endanwendung ausbreiten.

De-Materialisierung und Substitution in Stücklisten-Filterstufe 3:

Das Ziel der Aktivitäten zur De-Materialisierung und Substitution von Stücklistenkomponenten in Filterstufe 3 ist das Generieren von Modulen. Für einfache elektromechanische Baugruppen mit maßgeschneidertem Design, deren Technologie bereits ausreichend entwickelt und erprobt ist, sind drei Ansätze zielführend:

Die erste Möglichkeit besteht in der Verwendung von Standardmodulen oder modifizierten Standardmodulen (customized standard).

Als zweite Möglichkeit kann simple, bereits modularisierte Mechanik herangezogen werden, die um für die Funktionserfüllung nötige, elektrische oder mechanische Designelemente erweitert wird.

Die dritte Möglichkeit besteht in der Verwendung von „Carry-over“ Modulen, die bereits in anderen Projekten Serienreife erlangt haben.

Der Ersatz von maßgeschneiderten Systembestandteilen durch Module führt zu einer Entlastung der SE-Teams. Die Aktivitäten in den SE-Teams können auf Designanpassungen und Delta-Validierungen beschränkt werden. Die SE-teams werden zu Mikro SE-Teams transformiert. Die freigewordenen Ressourcen können in Leuchtturmbauteil-Teams und SE-teams mit Schnittstellen zu den modularisierten Stücklistenkomponenten eingesetzt werden.

Die Funktionalität der Module muss mit der Endkundenspezifikation abgeglichen werden. Können die Funktionen im verfügbaren Bauraum nicht durch das Heranziehen bereits verfügbarer Basismodule dargestellt werden, ist eine Neuentwicklung nötig.

Jede Neuentwicklung von Systembestandteilen aus Stücklisten-Filterstufe 3 muss unter der Prämisse erfolgen, dass diese in ihren Hauptmerkmalen den Charakter eines neuen Modulbausteines aufweisen. Die neuen Modulbausteine dienen synergetisch zur De-Materialisierung und Substitution in anderen Entwicklungsprojekten.

De-Materialisierung und Substitution in Stücklisten-Filterstufe 4:

Der Komplexitätsgrad der Bauteile aus Filterstufe 4 verfügt über das Potenzial, bei Funktionseinschränkung das Gesamtsystem Lithiumionenbatterie zum Versagen zu bringen. Für die Entwicklung und Validierung dieser Stücklistenelemente ist das Einsetzen von SE-Teams zwingend vorgeschrieben. Die SE-teams sind über den gesamten Entwicklungszeitraum aktiv. Für jedes SE-Teammitglied ist ein zeitlicher Aufwand von mindestens 1,5 Arbeitstagen pro Woche anzusetzen. Die De-Materialisierung und Substitutionsaktivitäten fokussieren sich auf das Rückführen von Systemkomponenten auf Filterstufe 3. Je mehr

Stücklistenkomponenten auf Filterstufe 3 rücktransformiert werden können, desto größer wird der Sicherheitsabstand zu Komponenten aus Filterstufe 5.

Im Falle elektronischer Baugruppen, die über ein Gehäuse verfügen sollte geprüft werden, ob diese ohne Gehäuse verbaubar sind. Designelemente einer Automotiven Antriebsbatterie, an welche die Elektronik angebaut wird, können so ausgeführt werden, dass diese als Elektronikgehäuse fungieren. Für mechanische oder elektromechanische Komponenten gelten die Gedankengänge zur Modularisierung aus Filterstufe 3.

De-Materialisierung und Substitution in Stücklisten-Filterstufe 5:

Die Filterstufe 5 umfasst die komplexesten Komponenten und Module im Gesamtsystem. Leuchtturmbauteile bilden eine Teilmenge der Stücklistenelemente in Filterstufe 5. Vor der Anwendung von Techniken zur De-Materialisierung und Substitution, sollte eine Überprüfung dieser Bauelemente auf ihren Innovationsgrad erfolgen. In Bezug auf Innovation können De-Materialisierung und Substitution kontraproduktiv wirken. Der Ersatz innovativer Designs durch Standarddesigns kann das Innovationspotenzial des Gesamtsystems so weit senken, dass Wettbewerbsvorteile verloren gehen. Für das Beibehalten einer Innovation muss mindestens eine der beiden folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- Eine Innovation muss eindeutig der Darstellung mindestens einer bisher noch nicht verwirklichten Funktion des Endprodukts zuordenbar sein
- Die Innovation muss das Potenzial zu einer nachweisbaren, sprunghaften Verbesserung einer kundenrelevanten Funktion besitzen, die zu einer Wertsteigerung für die Organisation führt

Werden innovative Designs beibehalten, müssen die Entwickler dem Grundgedanken folgen, dass das Produkt so einfach wie möglich gestaltet werden sollte (De-Materialisierung). Die Schnittstellen von Leuchtturmbauteilen zu deren Systemumfeld sollten standardisiert sein. Die Systemumgebung der Leuchtturmbauteile sollte modularisiert sein. Durch die mittels De-Materialisierung und Substitution erreichte Standardisierung und Modularisierung wird das Risikopotenzial des Gesamtsystems auf Leuchtturmbauteile konzentriert. Die Eliminierung von Stücklistenkomponenten und das Verschieben von Stücklistenelementen in Richtung geringer Komplexität setzen personelle Ressourcen frei, die in Leuchtturmbauteil-Teams konzentriert werden können.

Denovation

Der Begriff „Denovation“ steht für das Bestreben, dem Drang von Entwicklungsabteilung nach „Innovationen um jeden Preis und in jedem Bereich“ entgegenzuwirken.

Die einem Entwicklungsprojekt zur Verfügung stehende Denkleistung darf nicht dazu verwendet werden, in Massenproduktion bewährte, robuste Designs und robuste Prozesse umzugestalten oder neu zu erfinden. Über-Innovation führt zu einer Umkehrung der De-Materialisierungs- und Substitutionsvektoren im Stücklistenfilter.

Mit steigender Anzahl neuer Technologien und zusätzlicher Design-Elemente wird die Komplexität des (technischen) Gesamtsystems erhöht. Jedem neuen Systemelement kann eine Varianz zugeordnet werden. Die Gesamtsystemvarianz steigt mit der Wurzel aus der Summe der Einzelvarianzen. Die Gesamtsystemvarianz ist mit der Systemunsicherheit verknüpft. Unsicherheiten bedeuten Risiken. Eine Erhöhung der Gesamtsystemvarianz führt unmittelbar zu einer Erhöhung des Gesamtrisikos für das zu entwickelnde Produkt. Die Beherrschung einer erhöhten Systemvarianz (Produktvarianz) erfordert eine komplexere Projektaufbauorganisation und komplexere Projektsteuerungsprozesse (Ashby's Law).

Der Denovationsgedanke in Kombination mit Stücklistenfilter und Stücklistenaufbereitung in Richtung einer niedrigeren Systemkomplexität senkt die Systemvarietät durch Ausscheiden von Summanden aus der Varianzsumme. Die Veränderungen in der Konzeptstückliste sind in Tab.16 schematisch dargestellt. Der vertikale Pfeil (Verkürzungsvektor) repräsentiert das Ausscheiden von Komponenten aus der Stückliste. Die horizontalen Pfeile (Denovationsvektoren) stehen für die Reduktion der Komplexität individueller Stücklistenelemente. Die blauen Pfeile stehen für wahrscheinliche, die weißen Pfeile für hypothetische Chancen aus der Stücklistenaufbereitung. Das gelb hinterlegte Stücklistenelement stellt ein Leuchtturmbauteil dar.

Tabelle 16: Verkürzungs- und Denovationsvektoren

Stücklisten- element	Stücklistenfilterstufe (Risikoklasse)				
	1	2	3	4	5
A	X				
B	X				
C	X				
D		X			
E		X			
F			X		
G			X		
H				X	
I				X	
J					X
K					X

Die Wertsteigerung für die Gesamtorganisation resultiert u.a. aus

- Einer einfacheren Projektorganisation
- Freiwerden von Kapazitäten in der Entwicklungsabteilung für Produkte
- Freiwerden von Kapazitäten in der Entwicklungsabteilung für (Fertigungs) Prozesse durch Verwendung von Standard-Produktionsanlagen und Standard-Montagewerkzeuge

- Weniger komplexen und dadurch billigeren umformenden und umformenden Serienwerkzeugen
- Weniger komplexen Testdurchläufen für Produkt- und Prozessvalidierung
- Senkung der Stückkosten für den Einkauf
- Einfacheren Logistikprozessen
- Kürzeren Taktzeiten beim Verbau
- Weniger Transaktionen durch verringerte Anzahl an zusammenzufügenden Komponenten
- Einfacheren Schnittstellen

Conclusio

Die Komplexität des zu entwickelnden Produktes bestimmt die Komplexität der Entwicklungsprojektorganisation. Komplexität ist mit Unsicherheit und Risiko verknüpft. Durch eine Verringerung der Komplexität kann das Risikoportfolio eines Entwicklungsprojekts gesenkt werden. Die Instrumente Stücklistenfilter, De-Materialisierung, Substitution und Denovation tragen signifikant zur Reduktion des Risikoportfolios am Beginn des Entwicklungsprojekts bei. Das Risikopotenzial eines Entwicklungsprojekts ist eine zentrale Steuergröße für Entscheidungsprozesse und muss im Vorgehensmodell durch einen adäquaten, generischen und flexiblen Risikomanagementprozess abgebildet werden.

4.6.3 Risikoermittlung

Die objektive Ermittlung von Risiken am Projektbeginn ist Basis für die Qualität der Risikobewältigung. Risikoszenarien können im ersten Ansatz verbal formuliert werden. Danach muss eine Transformation der Risiken in Zahlenwerte erfolgen. Risikozahlen bilden die Kenngrößen des Risikomanagementprozesses. Risikozahlen müssen unabhängig vom Ersteller ermittelbar sein und Schemata folgen, die sich in einem Qualitätsmanagementhandbuch darstellen und auf die Abläufe in einem Automotiven Entwicklungsprojekt anwenden lassen. Durch die Transformation der Risiken in Risikozahlen ist eine mathematische Verarbeitung des Risikoportfolios möglich. Niedrige Zahlenwerte müssen geringe Risiken darstellen. Die Risikozahlen sollten positiv und von Null verschieden sein, um bei nachfolgenden mathematischen Verknüpfungen (Multiplikation) keine falschen Gesamtergebnisse zu liefern.

Durch die Verwendung von Risikozahlen können Risikoziele im risikobasierten Entwicklungsprojektmanagement-Prozess ebenfalls als Zahlenwerte formuliert werden. Die Verwendung von Risikozahlen ermöglicht eine einfache mathematische Bestimmung des Zielerreichungsgrades. Die Zielbildung muss sich am Zielsystem des Unternehmens orientieren. Zielvorgaben sollten als eigenständige Ziele der betroffenen Funktionsbereiche in einer Organisation definiert und gesehen werden¹⁵⁴. Das Festlegen der Instrumente zur Ermittlung der Risikozahlen und die Risikozielformulierung müssen durch die oberste Leitung erfolgen, da die Mitglieder fachlich nicht verwandter Organisationseinheiten über

¹⁵⁴ Vgl. Rabitsch (2008), S.74f

unterschiedliches Risikoempfinden verfügen. Abteilungsspezifische Arbeitsprozesse und Erlebnisse der Personen in deren Vergangenheit beeinflussen das abteilungsinterne Risikoempfinden. Risikobewertungen können dadurch subjektiv und auf die Interessen der eigenen Abteilung, nicht objektiv und bezogen auf die Wertsteigerung des Gesamtunternehmens im Einklang mit strategischen Firmenziele ausfallen. Aus Managementsicht müssen sich Bedrohungen, die innerhalb einer Abteilung als existenzbedrohende Risiken gesehen werden, nicht in voller Höhe auf übergeordnete Ziele auswirken. Risikobasierte Entscheidungen der Entwicklungsprojektleitung müssen sich auf nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen stützen. Zur Ermittlung initialer Risikozahlen sollten deshalb allen Stakeholdern standardisierte Instrumente zur Verfügung stehen, aus welchen Risikozahlen nachvollziehbar abgeleitet und abgelesen werden können. Die Instrumente zur Risikoermittlung müssen unterschiedliches Risikoempfinden basierend auf den Auswirkungen auf Projekt- und Unternehmensziele in elektromobilen Entwicklungsprojekten ausgleichen und standardisieren. Dadurch werden in einem schlecht strukturierten Entscheidungsfeld Ordnungsvektoren in Richtung des „Homo Oeconomicus“ wirksam.

Für die Ermittlung von Risikozahlen werden drei Instrumente angewandt:

- Entscheidungstabellen, die fixe initiale Risikozahlen liefern welche nach oben hin begrenzt sind
- Definitionen für die Errechnung variabler Risikozahlen, die nach oben hin nicht begrenzt sind
- Vorschriften für das Abgreifen von initialen Risikozahlen aus komplexeren, bereits angewandten, standardisierten Risikomanagementinstrumenten

Entscheidungstabellen für fixe initiale Risikozahlen

Entscheidungstabellen sind wirksame Instrumente zur Festlegung von Risikozahlen wenn der Organisation allgemein anwendbare, quantitative Risikoeinschätzungen zur Verfügung stehen. Die Einschätzungen müssen aus Ermittlungs- und/oder Erklärungsmodellen stammen. Die in der Organisation empirisch gewonnene Erfahrung sollte mit einbezogen werden. Die Entscheidungstabellen verknüpfen fach- und abteilungsspezifische Risiken über die Ausprägung von Unsicherheitsfaktoren (Eingangsszenarien) mit Risikozahlen. Durch Vergleich der in den Entscheidungstabellen angeführten Eingangsszenarien mit der gegenwärtigen, realen Projektsituation wird die Risikozahl eindeutig bestimmt. Die Entscheidung wird transparent, objektiviert und durch Dritte nachvollziehbar. Bei den zu vergebenden Risikozahlen sollte es sich um fixe Werte in einer nach oben begrenzten Skala handeln. Die Entscheidungstabellen sollten nicht abteilungs-, oder bereichsspezifischen, sondern generischen Charakter aufweisen. Die Tabellen können im generischen Managementmodell der Organisation integriert werden. Damit sind die Entscheidungstabellen projektübergreifend verpflichtend einzusetzen. Das Zusammenführen aller fixen initialen Risikozahlen in einer Gesamt-Entscheidungstabelle unterstützt einen holistischen Ansatz.

Die Verwendung von Entscheidungstabellen hat sich zum Festlegen von Risikozahlen in technischen Risikomanagementinstrumenten bewährt. Bei der Durchführung einer FMEA wird die Auswirkung eines Fehlers auf das Endprodukt eindeutig definiert und als Zahl dargestellt.

Der Entscheider verwendet dazu die Kriterien in Tab.17. Dieselbe Vorgehensweise muss auf nicht-technische Bereiche angewandt werden.

Tabelle 17: Beispiel für Entscheidungstabelle in FMEA¹⁵⁵

Effect	Criteria: Severity of Effect on Product (Customer Effect)	Rank
Failure to Meet Safety and/or Regulatory Requirements	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation without warning.	10
	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation with warning.	9
Loss or Degradation of Primary Function	Loss of primary function (vehicle inoperable, does not affect safe vehicle operation).	8
	Degradation of primary function (vehicle operable, but at reduced level of performance).	7
Loss or Degradation of Secondary Function	Loss of secondary function (vehicle operable, but comfort / convenience functions inoperable).	6
	Degradation of secondary function (vehicle operable, but comfort / convenience functions at reduced level of performance).	5
Annoyance	Appearance or Audible Noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by most customers (> 75%).	4
	Appearance or Audible Noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by many customers (50%).	3
	Appearance or Audible Noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by discriminating customers (< 25%).	2
No effect	No discernible effect.	1

Direkt abgeleitete, variable initiale Risikozahlen

Die Verwendung von variablen, initialen Risikozahlen ist sinnvoll, wenn aus Ermittlungs-, Erklärungs- oder Simulationsmodellen einfache (mathematische) Zusammenhänge zwischen offensichtlichen Projektparametern und Risiken ableitbar sind. Die Skala dieser Gruppe von Risikozahlen ist nach oben hin nicht begrenzt. Offensichtliche Projektparameter sind z.B. in Form der zeitlichen Dauer kritischer Schlüsselaktivitäten aus dem Entwicklungsprojektterminplan ablesbar. Weitere Risikozahlen können direkt aus fachspezifischen Risikomanagementinstrumenten übernommen werden. Die Berechnung der Zahlenwerte erfolgt in diesem Fall vorab. Risikozahlen können auch durch einfache

¹⁵⁵ Zit.: FMEA Fourth Edition (2008) S. 37

mathematische Berechnungen aus Charakteristika des zu entwickelnden Produkts ermittelt werden, wenn diese als Zahlenwerte vorliegen (z.B.: Anzahl der Komponenten eines Moduls). Die Vorschriften für die Ermittlung direkt abgeleiteter, variabler Risikozahlen sollten in einer Gesamtübersicht dargestellt werden. Diese sollte gleich wie Entscheidungstabellen Teil des integrierten Managementmodells der Organisation sein.

Abgriff initialer Risikozahlen aus Risikomanagementinstrumenten

Mit zunehmender Komplexität eines risikobehafteten Elements des Entwicklungsprojekts steigt die Unsicherheit beim Ermitteln einer Risikozahl. Deshalb müssen zur Ermittlung von Risikozahlen komplexere Instrumente angewandt werden¹⁵⁶. Stellt man die in unterschiedlichen organisatorischen Einheiten angewandten Instrumente zur Risikoermittlung einander gegenüber, unterscheiden sich diese in deren Detaillierungsgrad, deren Funktionalität und deren Format. Jedes dieser, auf die besonderen Bedürfnisse seiner Anwender maßgeschneiderte Risikomanagementwerkzeuge, liefert dem Adressatenkreis fachspezifische Risikoindikationen. Diese werden in einer isolierten Betrachtungsweise innerhalb des Fachbereiches zur Risikobewältigung benötigt. Beispiele dafür sind:

- Financial Rating eines Lieferanten
- Ausfallsrisikoanalyse für Transport
- FMEA
- Potenzialanalyse nach VDA6.3

Diese Risikomanagement-Insellösungen können aufgrund der Komplexität der Aussagen nicht ohne einen Transformationsvorgang in einen generischen, datenbasierenden Risikomanagementprozess integriert werden. Aus diesen Instrumenten müssen einfache Risikozahlen ableitbar sein. Die Verallgemeinerung muss soweit erfolgen, dass die Zahlen mit Risikozahlen aus anderen organisatorischen Einheiten kombiniert werden können. Die dabei angewandte Methodik muss trotz Verallgemeinerung fähig sein, Schlüsselrisiken abzugreifen und darzustellen. Der erste Schritt besteht im Eintragen von Risiko-Aussagen in Risiko-Streudiagramme. Danach werden die Diagramme mit Risikonetzen überzogen. Jeder Masche des Risikonetzes wird eine Risikozahl zugeordnet. Die Risikozahlen der mit Einträgen belegten Maschen sollten nicht einzeln als initiale Risikozahlen in den Risikomanagementprozess eingehen. Es besteht die Möglichkeit, die höchste erreichte Risikozahl weiter zu verwenden oder die einzelnen Risikozahlen aufzusummieren. Die Festlegung der Vorgehensweise sollte im Managementmodell der Organisation in Form einer Verfahrensanweisung erfolgen.

4.6.4 Risikoverdichtung

Nach der Ermittlung initialer Risikozahlen als Eingangsgrößen für den risikobasierten Entwicklungsprojektmanagement-Prozess müssen diese verdichtet und mit den Zielszenarien der Organisation in Zusammenhang gebracht werden. Das Ergebnis einer Risikoverdichtung muss sich als Zahlenwert manifestieren, der in strategische Berechnungen einfließen kann. Der Verdichtungsprozess muss für jede Hierarchie-Ebene der Organisation Risikozahlen liefern, die

¹⁵⁶ Vgl. „Ashby’s Law“

hinsichtlich deren Auswirkung auf Unternehmensziele vergleichbare Gewichtungen aufweisen. Dadurch kann der Entscheider (die der Ebene vorgesetzte Person) einen objektiven Vergleich zwischen den ihm zugewiesenen Risikozahlen durchführen. Risikosteuerungsentscheidungen werden transparent und können priorisiert werden. Durch mathematische Verknüpfung der Risikozahlen innerhalb der Strukturelemente der Firmen- und Projektorganisation kann eine weitere Risikoverdichtung (Konsolidierung) erfolgen. Durch die Risikokonsolidierung wird die individuelle Risikotragfähigkeit¹⁵⁷ für jede einzelne Organisationseinheit und für die Gesamtorganisation sichtbar.

Die Risikoverdichtung muss vor der Risikobewertung (dem Risikovergleich) vorgenommen werden. Die oberste Leitung muss Vorgaben für Kombination, Verstärkung und Abschwächung von definierten Risiken oder Risikogruppen festlegen und kommunizieren. Die Vorgaben müssen sich im Einklang mit Vision, Mission, Leitbild, Strategie und damit mit der Risikokultur des Unternehmens befinden. Durch Festlegung der Risikoverdichtungsregeln als Führungsaufgabe werden die auf Risikozahlen basierenden Projektsteuerungsentscheidungen auf alle Ebenen der Firmen- und Projektorganisation heruntergebrochen.

Das durch die oberste Leitung getragene Risikomanagement innerhalb der Organisation sollte nach den Richtlinien des COSO-ERM implementiert werden, da dieses das am höchsten entwickelte Instrument für einen ganzheitlichen Risikomanagementansatz darstellt. Die primäre Ausrichtung des COSO ERM auf das Risikomanagement im Bereich Finanzwirtschaft ist vernachlässigbar. Die Struktur und Vorgehensweisen im COSO ERM sind problemlos auf die Realwirtschaft und auf risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement übertragbar.

Der Prozessablauf für die Risikoverdichtung ist in Abb.42 dargestellt. Am Beginn des Risikoverdichtungsprozesses werden die ermittelten initialen Risikozahlen aus Risikomanagement-Insellösungen abgegriffen. Im Idealfall kann eine Verdichtung zu einer Gesamt-Risikozahl pro Insellösung erfolgen. Die Ergebnisse werden um Risikozahlen aus Entscheidungstabellen ergänzt. Die Ergebnisse werden pro Organisationseinheit erfasst und in einem standardisierten Format dargestellt. Durch den Bezug auf organisatorische Einheiten erfolgt die Festlegung der Risikoeigner. Unter organisatorischen Einheiten werden sowohl firmen- als auch projektspezifische Strukturen verstanden. Danach werden alle Risikozahlen in eine Gesamtprojektansicht übertragen. In diesem Stadium sind die Risiken aggregiert, aber hinsichtlich deren Auswirkung auf Unternehmensziele noch nicht gewichtet. Das Kernelement des Risikoverdichtungsprozesses besteht in einer Transformation der Zahlenwerte der initialen Risikozahlen, so dass äquivalente Zahlenwerte denselben Impact auf die strategischen Ziele des Unternehmens haben. Dies erfolgt durch Kombination (Verschränkung), Verstärkung, Abschwächung oder Gleichbelassen der initialen Risikozahlen nach definierten Verdichtungsregeln.

Die verdichteten Risikozahlen bilden die Basisdaten für die risikobasierte Entwicklungsprojektlenkung. Zur übersichtlichen Darstellung werden die Risikozahlen in einer Tabelle zusammengefasst, die als Entscheidungsgrundlage für projektsteuernde Aktivitäten dient.

¹⁵⁷ ON 49002-1 (2014), S.18

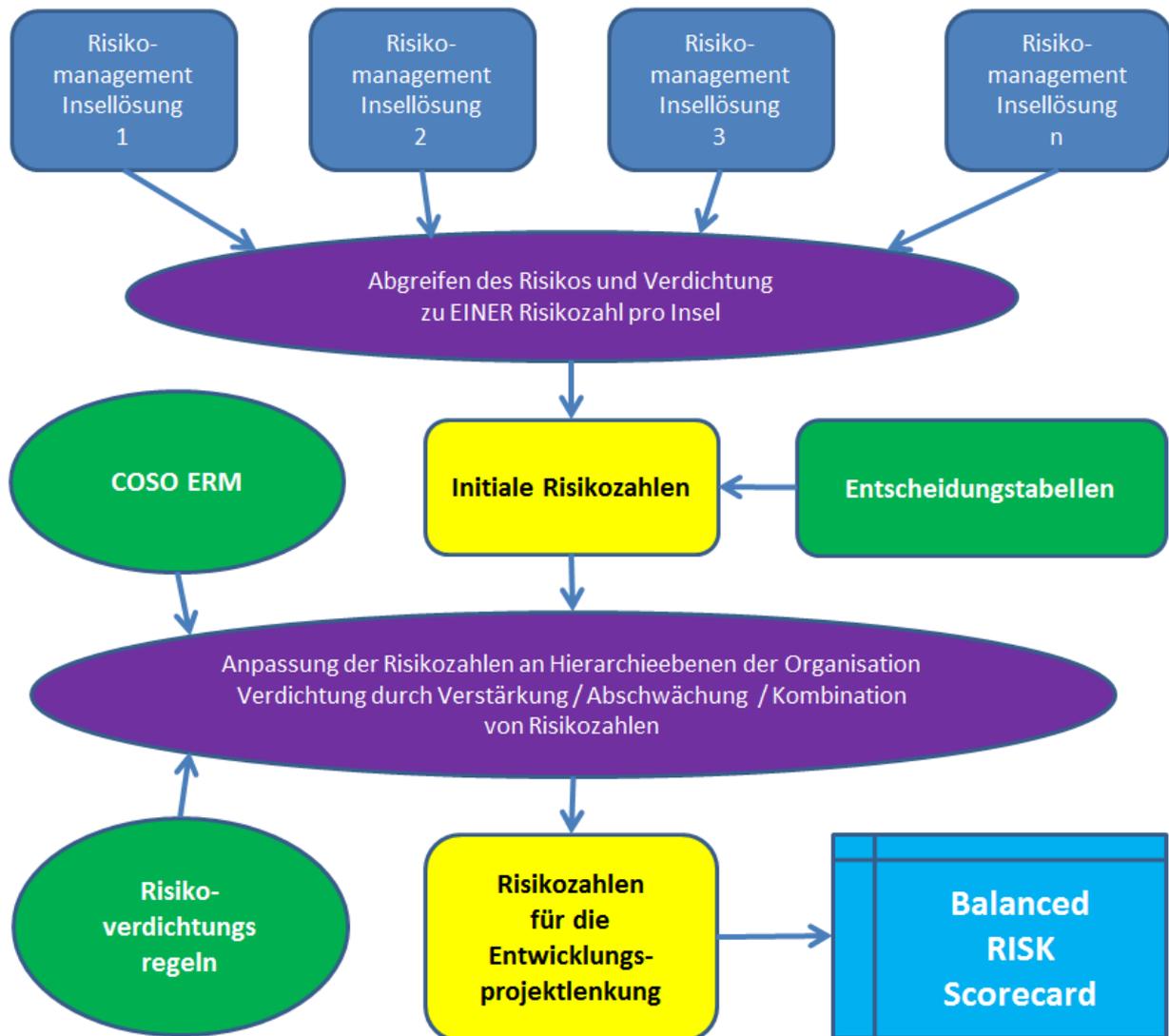


Abbildung 42: Illustration des Risikoverdichtungsprozesses

Basierend auf der Auswirkung von Risiken auf Unternehmensziele werden folgende Risikoklassen und die dazugehörigen Risikoverdichtungsregeln eingeführt:

Sicherheitsrelevante Risiken

Risiken, bei deren Eintreten sicherheitsrelevante Ziele insofern negativ beeinflusst werden, als dadurch Gefahr für Leib und Leben entsteht, dürfen nicht weiter verdichtet werden. Die Risiken müssen von der Betrachtungsebene ihrer Entdeckung ausgehend auf direktem Weg in das höchste Entscheider-Gremium durchschlagen, das für die Einhaltung der vom Gesetzgeber erlassenen Vorschriften verantwortlich und strafrechtlich verfolgbar ist. Dabei ist der numerische Wert der Risikozahl von untergeordneter Bedeutung. In einer tabellarischen Darstellung von Risikozahlen sollten sicherheitsrelevante Risiken durch eine Anmerkung in einer Zusatzspalte oder eine farbliche Kodierung hervorgehoben werden. Die Bewältigung sicherheitsrelevanter Risiken ist zu priorisieren. Diese Risiken müssen durch geeignete Instrumente eliminiert werden. Gelingt dies nicht, muss die Auftrittswahrscheinlichkeit der Risiken durch die Schaffung von Redundanzen ins Unwahrscheinliche verschoben werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Installation von Sicherheitsmechanismen, die sich automatisch bei Risikoeintritt aktivieren und die Auswirkungen der Risiken so weit abschwächen, dass Gefahr für Leib und Leben gebannt wird. Bei Unwirksamkeit der Maßnahmen ist die einzige Handlungsalternative ein Projektstopp.

Für die Elektromobilität typische, sicherheitsrelevante Ziele sind z.B.:

- das Einhalten von Vorgaben für den elektrischen Berührungsschutz hochspannungsführender Bauteile
- das kontrollierte Abschalten der Batterie im Missbrauchsfall
- die Erfüllung von Anforderungen an das Abbrand-Verhalten von Batterien im Falle eines durch Überladung, Kurzschlüsse oder anderer Faktoren ausgelösten Feuers

Strategiegefährdende Risiken

Die ISO/TS16949 verpflichtet die oberste Leitung eines Unternehmens aus Vision, Mission und Leitbild eine Unternehmensstrategie festzulegen, diese durch geeignete Maßnahmen umzusetzen und deren Wirksamkeit zu überprüfen¹⁵⁸. Für jedes Entwicklungsprojekt muss von der obersten Leitung eine individuelle Risikostrategie festgelegt werden, welche die Chancen zur Wertsteigerung für das Unternehmen mit den Auswirkungen der Risiken auf Stake- und Shareholderziele abgleicht. Die Zielszenarien müssen im Managementreview mit den initialen Risikozahlen verknüpft werden. Strategiegefährdende initiale Risikozahlen sind von der obersten Leitung mit Multiplikatoren zu belegen, die deren strategische Bedeutung zum Ausdruck bringen. Die Multiplikatoren können in verschiedenen Entwicklungsprojekten unterschiedliche Werte annehmen. Projektinterne Entscheidungen sind daher individuell an die Projektsituation und deren Rahmenparameter angepasst. Die Organisation kann bereit sein, in Pilotprojekten zur Erschließung eines neuen Marktsegments höhere Risiken einzugehen. Zur Bewältigung strategiegefährdender Risiken müssen Entscheidungen in einem schlecht strukturierten Entscheidungsfeld stattfinden. Die Zahlenwerte strategiegefährdender Risiken tragen zur Strukturierung und Objektivierung des Entscheidungsfelds bei. Wenn möglich sollten zur Risikobewältigung standardisierte Instrumente angewandt werden. Die Verdichtung mehrerer fachverwandter Risikozahlen zu einer Gesamtrisikozahl (Aggregation) kann durch Aufsummieren oder durch Multiplikation erfolgen. Die Rechenoperationen sind im Projekthandbuch festzulegen.

Projektgefährdende Risiken

Als projektgefährdende Risiken werden die Unsicherheiten bezeichnet, die ein Projekt technologisch, terminlich oder aus Sicht der Wirtschaftlichkeit zum Scheitern bringen können. Diese stehen im primären Fokus des Projektleiters des Automotiven Entwicklungsprojekts, der die Steuerungsverantwortung zur Terminerreichung wahrnimmt. Für die Darstellung von projektgefährdenden Risiken sollten diese mit den unveränderten Zahlenwerten der initialen Risikozahlen in die Risikoübersicht einfließen. Es muss abschätzbar sein, dass projektgefährdende Risiken innerhalb der Projektlaufzeit derart gemindert werden können, dass sich die Auswirkungen der Risikofolgen auf den Endkunden bis längstens zum Zeitpunkt der Erprobung des Produktes im Feldeinsatz bei „Friendly Customers“ erstrecken. Können

¹⁵⁸ ISO/TS16949 S.32ff

projektgefährdende Risiken nicht innerhalb dieser Zeitspanne ausreichend gemindert werden, sind diese mittels Multiplikatoren in die Risikoübersicht einzubringen oder im Falle von strategisch wichtigen Projekten als strategiegefährdende Risiken auszuweisen. Die Entscheidungen zur Risikobewältigung werden in einem besser strukturierten Entscheidungsfeld getroffen als bei strategiegefährdenden Risiken. Die Verdichtung (Aggregation) artverwandter Risikozahlen erfolgt durch Addition.

Projektverzögernde, alleinstehende Risiken

Diese Risikogruppe umfasst jene Risiken, die ein Projekt nicht gefährden, aber signifikant verzögern können. Die Risiken sind nicht mit anderen Risikozahlen kombinierbar. Für die Bewältigung dieser Risiken stehen den Risikoeignern in der Automobilindustrie etablierte Instrumente und Vorgehensmodelle zur Verfügung. Die initialen Risikozahlen, die projektverzögernde Risiken repräsentieren, können mittels Divisoren abgeschwächt werden, bevor diese in die Gesamtrisikoversicht eingehen. Nach der Division sollten die Ergebnisse gerundet werden, so dass ganzzahlige Werte entstehen. Die Divisoren sollten sich am zeitlichen Anteil der geschätzten Projektverzögerung an der gesamten geplanten Projektdauer orientieren um eine optimale Anpassung an die Realität zu erzielen.

Projektverzögernde, gekoppelte Risiken

Unter projektverzögernden, gekoppelten Risiken werden Bedrohungen verstanden, die denselben Impact auf Unternehmensziele aufweisen und die miteinander verschränkt sind. Die Verschränkung besteht darin, dass die Risiken denselben Zielparameter beeinflussen. Diese Risiken können im Risikoverdichtungsprozess mittels einer Risikozahlen-Verdichtungsmatrix zu einer gemeinsamen Risikozahl kombiniert werden (vgl. Tab.18). Bei Entscheidungen für Risikobewältigungsmaßnahmen, die nur eine der beiden verschränkten Risikozahlen beeinflussen, wird der zielbezogene Gesamteffekt gedämpft. Für eine optimale Risikobewältigung müssen immer Maßnahmen für beide gekoppelte Risikoarten ergriffen werden, um die minimale Risikozahl (Risikoziel) zu erreichen.

Tabelle 18: Verdichtung (Verschränkung) zweier gekoppelter Risikozahlen

Risiko- klasse		Risiko 1		
Risiko 2		1	2	3
		2	3	4
		3	4	5

Die Entscheidungen zur Bewältigung projektverzögernder Risiken finden in SE-Teams statt. Im Fokus stehen dabei Entscheidungen, die in Leuchtturmbauteil-Teams stattfinden. Diese müssen im Fokus des Entwicklungsprojektleiters stehen. Durch die Anwendbarkeit standardisierter Automotiver Instrumente in Kombination mit Verfahrensanweisungen aus dem generischen Managementmodell der Organisation sind Entscheidungen gut strukturiert.

Risiken auf operativer Ebene

In diese Risikogruppe fallen alle Risiken, die Störfaktoren für das Tagesgeschäft im Automotiven Entwicklungsprojektmanagement darstellen. In Summe führen diese Risiken zu verdeckten und schlecht quantifizierbaren Ineffizienzen im Entwicklungsprojekt. Dazu zählen neben technischen, prozessualen und organisatorischen Konflikten auch soft facts, die sich durch die Interaktion der Vertreter verschiedener Interessensgruppen oder durch geografische und kulturelle Differenzen ergeben. Für die Auflösung dieser Konflikte stehen der Organisation etablierte Makro- und Mikromanagementwerkzeuge zur Verfügung, die auf SE-Team-Ebene eingesetzt werden können. Prozessuale Risiken betreffen sowohl immaterielle Prozesse in der Ablauforganisation als auch technische Prozesse bei der Produktion von Komponenten, Modulen und Systemen. Im Falle von Risiken auf zwischenmenschlicher Ebene verschiebt sich die Rolle der Personalabteilung vom Dienstleister für Bereitstellung, Verwaltung und Entwicklung von Humanressourcen zum risikosteuernden Mitglied des Entwicklungsprojektteams. Vor dem Eingang der Risikozahlen in die Risikoübersicht des Projekts müssen die initialen Risikozahlen im Risikoverdichtungsprozess analog zu projektverzögernden Risiken durch Anwendung von Dämpfungsooperatoren verringert werden. Eine Möglichkeit der Risikodämpfung für gekoppelte Risiken ist die Anwendung eines Nomogramms, das drei oder vier Risikozahlen zu einer Gesamtrisikozahl verdichtet (vgl. Abb.43).

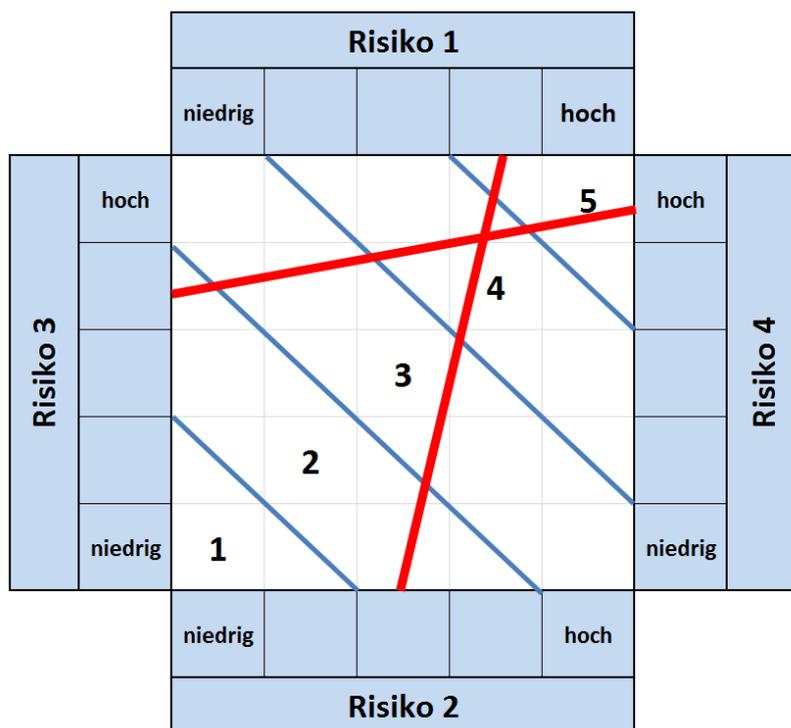


Abbildung 43: Nomogramm zur Risikoverdichtung von vier gekoppelten Risiken

Anstelle einer Verdichtungsmatrix können adäquate Divisoren für unabhängige Risikozahlen definiert werden.

In Abb.44 sind die oben beschriebenen Risikoverdichtungsregeln zusammengefasst. Die Abbildung kann in eine Organisationsanweisung des generischen (Risiko)Managementmodells der Organisation aufgenommen werden.

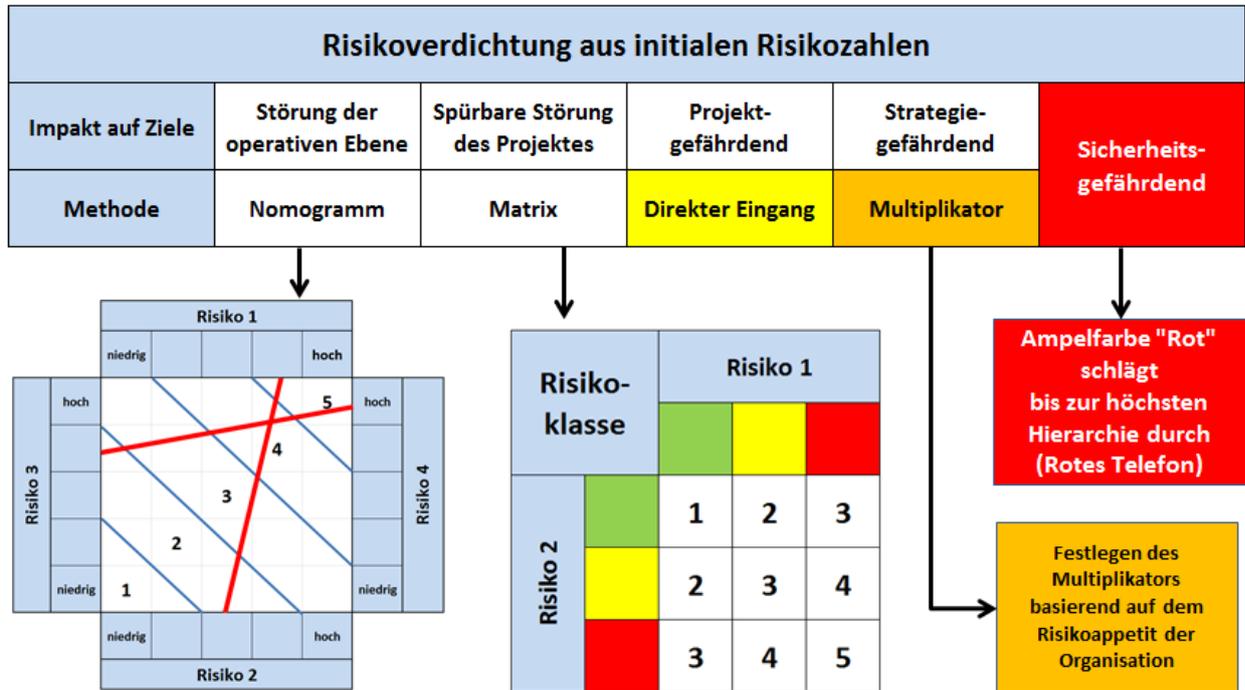


Abbildung 44: Überblick über den Risikoverdichtungsprozess

Nach Abschluss der Risikoverdichtungsaktivitäten müssen die gewichteten Risikozahlen in einer Risikoübersicht zusammengefasst werden. Die Risikoübersicht fasst die Eingangs-Steuergrößen für den risikobasierten Entwicklungsprojektmanagement-Prozess zusammen. Dieses holistische Risikoportfolio fungiert als zentrales Steuerungsinstrument für die Firmenorganisation, die Projektorganisation und deren Stakeholder.

4.6.5 Risikodarstellung

Bisher wurden neue Entwicklungsprojektphasen, der Stücklistenfilter, De-Materialisierung, Substitution, Denovation, die initiale Risikoermittlung und die Risikoverdichtung beschrieben. Alle diese Instrumente liefern Risikozahlen. Die Risikozahlen werden Risikoeignern zugeteilt und Risikoziele festgelegt. In einem generischen Ansatz für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement in der Automotiven Elektromobilität dürfen die Risikozahlen nicht isoliert vorliegen. Die Darstellung der Risikozahlen in einer Gesamtübersicht vermittelt der obersten Leitung, der Entwicklungsprojektleitung, den funktionalen Einheiten der Organisation und externen Stakeholdern eine holistische Sichtweise des Entwicklungsprojekts. Diese Gesamttrisikoubersicht muss einfach zu befüllen, einfach zu handhaben und flexibel an die Firmen- und Projektorganisation anpassbar sein. Die in der Übersicht dargestellten,

individuellen Risikozahlen müssen den verantwortlichen Personen als Risiko-KPIs eindeutig zuordenbar sein. Durch Anwendung von Filteroperationen muss ermöglicht werden, jeder interessierten Partei einen maßgeschneiderten Risikostatus des Projekts zu liefern. Die Risikozahlen müssen in Richtung der obersten Leitung kumulierbar sein und in der höchsten Ebene eine Gesamtrisikozahl des Automotiven Entwicklungsprojekts liefern. Das Instrument muss als zentrale Informationsquelle zur datenbasierenden Entscheidungsfindung in Gremien zur Entwicklungsprojektlenkung und als Steuerinstrument für die am Entwicklungsprojekt beteiligten Linienfunktionen im Organigramm verwendbar sein. Die mit der Entwicklung von Schlüsselkomponenten für die Elektromobilität betrauten Entwicklungsteams sind bei OEMs bis Tier 2 in Matrixstrukturen eingebunden. Die Mitglieder der Entwicklungsteams sind disziplinar einem Linienvorgesetzten und fachlich einem Projektvorgesetzten unterstellt. Diese Struktur bewirkt in 80% aller beobachteten Fälle eine Entkoppelung von Linien und Projektinteressen¹⁵⁹. Die Inhaber von Linienfunktionen konzentrieren sich auf eine gesamtheitliche, strategische Führung der Organisation. Die Entwicklungsprojektleiter befinden sich in Wettstreit um die von den Linienfunktionen bereitgestellten personellen Kapazitäten. Das daraus resultierende Risiko besteht darin, dass sich Linie und Projekt in der Matrix nicht durchdringen und ergänzen, sondern dass Linie und Projekt die Rollen von Oppositionsparteien zueinander einnehmen (vgl. Abb.45). Das zu entwickelnde Instrument zur Risikodarstellung und Risikoaggregation muss als zentrales Werkzeug fungieren, um den Konflikt zwischen Linienfunktionen und Projektfunktionen aufzulösen. Beide Parteien müssen durch Einbindung in einen zentralen, datenbasierten Risikomanagementprozess verschmolzen werden, der als Drehscheibe agiert.

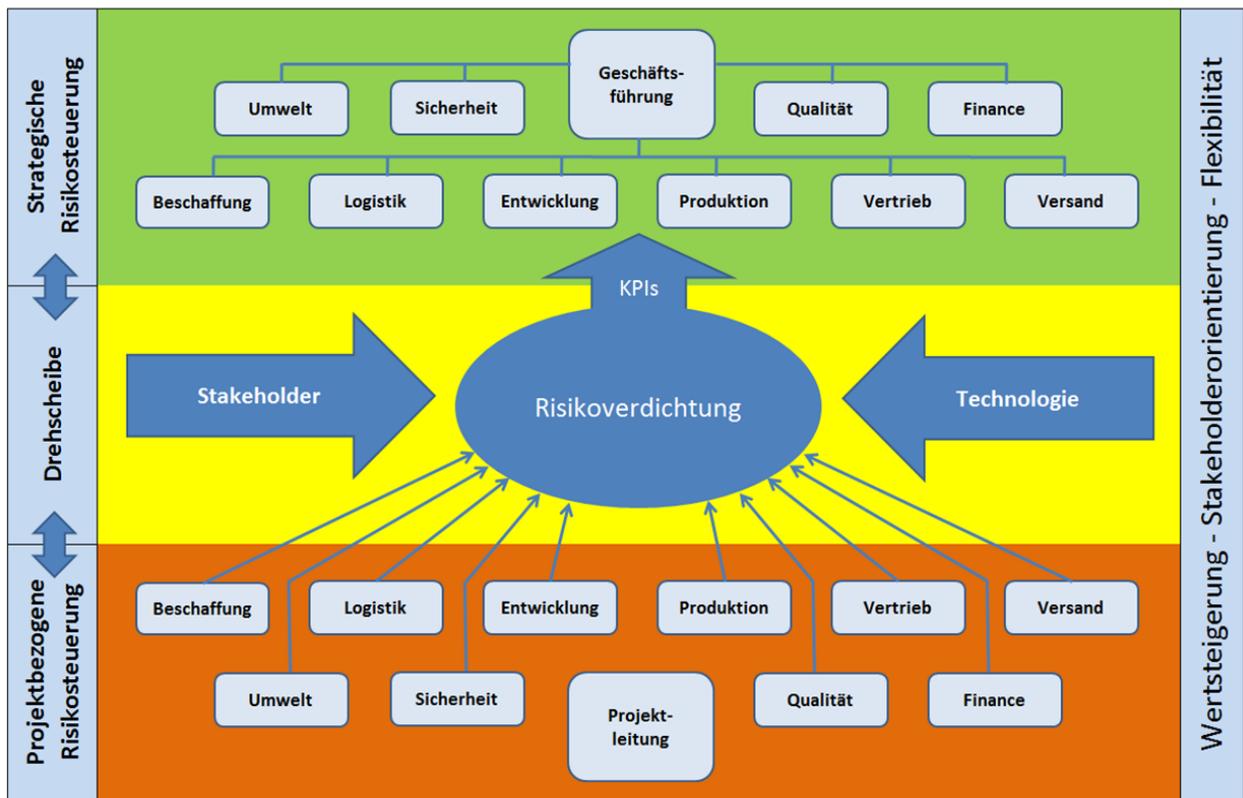


Abbildung 45: Oppositionshaltung von Linien- und Projektfunktionen

¹⁵⁹Firmeninterne Quelle ohne Angabe

Balanced Risk Scorecard

Das Balanced Scorecard (BSC) ist ein ideales Instrument zur Steuerung der Geschäftsprozesse einer Organisation. Im BSC werden Kennzahlen individueller Fachbereiche bereichsübergreifend in einer Tabelle zusammenführt. Dadurch erhält der führungsverantwortliche Entscheiderkreis zu einem definierten Zeitpunkt (im Management Review) einen Überblick über die Gesamtsituation der Organisation.

Die Ausdehnung eines Balanced Scorecards kann in zwei Richtungen erfolgen:

- Horizontal: Ausdehnung auf Unternehmensbereiche derselben (Hierarchie)Ebene wie z.B.: Unternehmensteile und Unternehmensgruppen
- Vertikal: Erstreckung über unterschiedliche Hierarchieebenen (bottom up / top down)

Durch die vertikale Erstreckung eines Balanced Scorecards wird der Prozess des Herunterbrechens von Zielen verdeutlicht und die Unternehmensstrategie durch diese Zielvorgaben konkretisiert¹⁶⁰. In einem Automotiven Entwicklungsprojekt kann das Herunterbrechen von Qualitäts- oder Risikozielen über einen BSC Ansatz erfolgen.

In einem klassischen Balanced Scorecard koexistieren Kennzahlen (Key Performance Indicators) unterschiedlicher Dimensionen. Beispiele sind: eine Lagerumschlagszahl von 12, eine Kundenreklamationsrate von 3400 ppm, ein Operating Cash Flow von 13,5 Millionen Euro, eine Overall Equipment Efficiency von 81% und eine durchschnittliche Lieferzeit von 12 Wochen. Diese Kennzahlen liefern den führungsverantwortlichen Fachexperten und der obersten Leitung der Organisation eine Datengrundlage für deren Lenkungsentscheidungen. Auf Grund ihrer unterschiedlichen Dimension und Auswirkung auf Unternehmensziele sind diese Zahlenwerte durch einfache mathematische Operationen nicht miteinander verknüpfbar und weiter verdichtbar. Für externe Stakeholder ist die Nachvollziehbarkeit schwierig.

Zur Darstellung des Risikoportfolios eines Entwicklungsprojekts in der Elektromobilität erweist sich ein Balanced Scorecard Ansatz dennoch als sinnvoll. Durch die Weiterentwicklung des Balanced Scorecards zu einem Balanced Risk Scorecard wird ein zentrales Instrument zur Erfassung des Risikoportfolios im Gesamtprojekt geschaffen. Risikozahlen können der BSC Systematik folgend von der Arbeitsebene bis zur strategischen Ebene, sowohl auf die Linien- als auch auf die Projektorganisation bezogen, in das Dokument eingetragen werden. Das Balanced Risk Scorecard konkretisiert die Risikostrategie des Unternehmens im Projekt basierend auf dessen Risikokultur. Der Abgleich mit der Risikostrategie der Organisation erfolgt durch Risikoverdichtung. Im Gegensatz zu einem klassischen BSC-Ansatz wird durch die Risikoverdichtung eine konsistente Risikozahlenlandschaft erzeugt. Die Risikozahlen können in Bezug auf deren Auswirkungen auf die Ziele der Organisation als gleich gewichtet angenommen werden. Dadurch wird eine Risikoaggregation durch Addition der individuellen Risikozahlen zu einer projektbezogenen Gesamtrisikozahl möglich. Die im Balanced Risk Scorecard dargestellte, zielbezogene Risikolandschaft ist die Grundlage zur Entscheidungsfindung in Regelterminen zur Projektsteuerung. Durch den Risikoermittlungs- und Risikoverdichtungsprozess sind die Interessen aller Stakeholder berücksichtigt. Das Scorecard kann über den gesamten Zeitraum des Automotiven Entwicklungsprojekts zum

¹⁶⁰ Vgl. Ehrmann (2012), S. 202

Einsatz kommen. Projektbezogene Entscheidungen können damit priorisiert werden. Die Entscheidungen zielen auf die nachhaltige Senkung des Gesamtrisikos ab. Dabei treten sicherheitsrelevante Themen an erste Stelle. Nach den sicherheitsrelevanten Themen werden die Projektrisiken nach sinkendem Zahlenwert der individuellen oder kumulierten Risikozahlen gereiht.

PRIO (Project Risk Overview)

Das für die Anwendung in einem risikobasierten Entwicklungsprojektmanagementprozess maßgeschneiderte Balanced Risk Scorecard wird als PRIO bezeichnet. Die Bezeichnung PRIO wurde gewählt, da dies sowohl die Kurzform von „Project Risk Overview“ darstellt, als auch dessen Rolle zur Priorisierung von Risikobewältigungsentscheidungen herausstreicht.

Im Folgenden wird der Aufbau des PRIO-Tools beschrieben (vgl. Tab.19):

Grundstruktur

Die Grundstruktur verschränkt die Stücklistenelemente eines zu entwickelnden Moduls oder Systems mit dem Linien-Organigramm der Organisation, die mit der Entwicklung eines Produktes für die Elektromobilität beauftragt wurde. Die Verschränkung mit dem Linien-Organigramm einer Organisation ist essentiell für den Aufbau eines Risikobewusstseins beim Management der Linienstrukturen. Das Linienmanagement entsendet Repräsentanten in die Projektmatrix, wo diese fachlich an die Projektleitung berichten. Im Managementreview der Gesamtorganisation berichten die Projektleiter unter Anwesenheit des Linienmanagements zur Obersten Leitung des Unternehmens. Dadurch werden dem Linienmanagement die Vorgänge in parallel ablaufenden Entwicklungsprojekten ins Bewusstsein gebracht. Im Managementreview können auf der obersten organisatorischen Ebene projektübergreifende Entscheidungen getroffen werden. Zum Beispiel können die den Projekten zugeteilten personellen Ressourcen umgeschichtet werden um das Gesamtrisiko durch risikobasierten Experteneinsatz zu mindern. Um einen effizienten Risikoaggregationsprozess zu unterstützen muss das Balanced Risk Scorecard hoch flexibel strukturiert sein. Es folgt eine Beschreibung der Feinstruktur des Balanced Risk Scorecards:

Schlüsseldaten der Stücklistenkomponenten

In den ersten Spalten des PRIO-Tools sind die Schlüsseldaten der Stücklistenkomponenten des zu entwickelnden Produkts dargestellt. Schlüsseldaten einer Stücklistenposition sind:

- Die Sachnummer
- Der Änderungsstand
- Die Bezeichnung der Komponente
- Der Lieferant (Tier n-1)
- Die Commodity (z.B.: Mechanik, Elektrik, Elektronik)
- Der verantwortliche Entwickler
- Andere Mitglieder des fraktalen Entwicklungsteams

Durch Anwendung von Filteroperationen können

- Auf den Änderungsstand (den Entwicklungsfortschritt)

- Auf den Lieferanten
- Auf die Technologie (Commodity)
- Auf eine Person

bezogene Risikozahlen ermittelt und durch weitere Filter verfeinert werden.

Risikoeigner (Risk Owners)

Über den Spalten am rechten Rand des PRIO-Tools steht das Firmenorganigramm mit allen hierarchischen Ebenen der Organisation, die in die Abarbeitung eines Entwicklungsprojekts involviert sind. Die Interessen externer Stakeholder werden von den Repräsentanten der organisatorischen Einheiten vertreten, die mit den externen Stakeholdern in Wechselwirkung stehen. Die Funktionsinhaber auf der untersten im PRIO-Tool dargestellten Ebene des Organigramms sind für die Erstellung und das Einpflegen der initialen, auf die Stücklistenpositionen (Sachnummern) bezogenen Risiko-KPIs verantwortlich. Diese wenden die in der Organisation etablierten, standardisierten Risikomanagementinstrumente zur nachhaltigen Senkung der beeinflussbaren Risiken an. Die Vorgesetzten der Funktionsinhaber haben die Aufgabe, die Einzelrisiken ihrer untergeordneten Einheiten zu einer Risikozahl zu aggregieren. Danach werden von den Vorgesetzten die für ihre Hierarchieebene anwendbaren Risikomanagementinstrumente angewandt. Die Aggregation der Risikozahlen wird nach demselben Schema in Richtung der obersten Leitung fortgesetzt, wobei mit steigender Ebene in der Hierarchie der Organisation strategische und (risiko)kulturelle Aspekte stärker in den Vordergrund treten. Bei der Darstellung der initialen Risikozahlen handelt es sich um kausale Risikoerklärungen. Bei den Steuerungsentscheidungen des mittleren Managements in den fachspezifischen Einheiten der Organisation handelt es sich um funktionale Risikoerklärungen. Diese orientieren sich an dem durch die Firmenstruktur definierten Funktionskomplex, in den das Entwicklungsprojekt eingebettet ist. Die Projektsteuerungsentscheidungen der obersten Leitung stellen intentionale Erklärungen dar, welche die kausalen und funktionalen Erklärungen der untergeordneten Berichtsebenen mit der Risikokultur im Unternehmen und dessen strategischen Zielen harmonisieren. Der Entwicklungsprojektleiter bildet die Schnittstelle zwischen Projekt und Firmenleitung. Durch die Vergabe von Prioritäten im obersten Entscheidungsgremium werden risikobasierte Projektsteuerungsentscheidungen in der Gegenrichtung des Risikoaggregationsprozesses auf die Risikoeigner der untersten Berichtsebene heruntergebrochen.

Die Entwicklungsabteilungen der Partner im Lieferantennetzwerk sind mit zunehmender Nähe zum OEM mit einer Zunahme der Komplexität der entwickelten Produkte konfrontiert. Intern sind diese Entwicklungsabteilungen an die Struktur der verwendeten Konstruktionselemente und Technologien angepasst und stark ausdifferenziert. Eine Darstellung aller Entwicklungsfunktionen in der Sektion der Risikoeigner würde mehr als die Hälfte der verfügbaren Spalten in Anspruch nehmen. In der Risikoübersicht würde daraus ein Ungleichgewicht auf Kosten entwicklungsfremder Fachabteilungen im Organigramm resultieren. Daher werden nur generische entwicklungsbezogene (technische) KPIs dargestellt, die auf alle unterschiedlichen, technologiebezogenen Abteilungen der Entwicklungssparte anwendbar sind. Die Diversifizierung der Risikozahlen und die Zuordnung zu den technologiebezogenen

Fachabteilungen erfolgt in der Sektion „Schlüsseldaten“, indem jedes Stücklistenelement in der vertikalen Struktur einer (technologischen) Commodity zugewiesen wird.

Risiko-Gesamtübersicht

In der ersten Spalte der Gesamtübersicht steht die Summe der Risikozahlen der Stücklistenposition über alle funktionalen Linien-Basis-KPIs. Ordnet man diese Risikosummen nach aufsteigendem Zahlenwert, sollte sich das Ergebnis mit dem des Stücklistenfilters decken. Die komplexesten und am meisten risikobehafteten Bauteile (Leuchtturmbauteile) müssen die höchsten Risikozahlen aufweisen. Scheinen Stücklistenkomponenten mit hohem Risikozahlenwert auf, bei denen es sich nicht um Leuchtturmbauteile handelt, müssen diese weiter analysiert werden. Die Schlussfolgerung ist, dass andere als technische Risiken in Zusammenhang mit dieser Komponente auftreten, die von Fachabteilungen aus dem Nicht-Entwicklungsbereich bewältigt werden müssen.

Die darauf folgenden Spalten stellen dar, ob mindestens eine der individuellen Basis-Risikozahlen hinsichtlich der Auswirkung des Risikos auf die Gesamtbaugruppe einen Bezug zu Sicherheit, Umwelt oder Funktionalität aufweist. Diese Information verhindert, dass sicherheitsrelevante Stücklistenelemente mit niedriger Gesamtrisikozahl bei der Durchführung der Risiko-Priorisierung unberücksichtigt bleiben. Umweltrelevante Auswirkungen beim Eintreten eines Risikos müssen auf dem Risikoradar des Entwicklungsprojekts für alle Projektphasen aufscheinen, in denen die entwickelten Systeme außerhalb von geschützten Bereichen wie Labors oder abgesperrten Teststrecken zum Einsatz kommen. Die sicherheits-, umwelt- und funktionsrelevanten Risikoindikatorspalten entsprechen den neuen, für das Abwickeln eines Entwicklungsprojektes in der Elektromobilität eingeführten, auf dem Endkundenrisiko basierenden Musterphasen. Das PRIO-Tool fungiert zusätzlich als Absicherungsinstrument für die risikobezogene Produktreife bei Anwendung des neuen Musterphasenansatzes.

In den letzten beiden Spalten der Risiko-Gesamtübersicht erfolgt die Bewertung der Hardware-Reife nach klassischen Automotiven Musterphasen (A bis D-Muster) und deren Verknüpfung mit der aktuellen Projektphase. Die durch Risikoverdichtung ermittelte, auf die geforderte Gesamtreife des Projektes nach klassischen Musterphasen bezogene Risikozahl stellt einen Indikator dar, wie risikobehaftet sich ein Mischverbau von Komponenten und Modulen im Gesamtsystem auswirkt. Basierend auf diesem Risiko kann die Projektleitung über den termingerechten Beginn oder die Verschiebung des Starttermins einer Produktvalidierung entscheiden.

Flexibilität

Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei dem vorgestellten PRIO-Tool um eine Basisversion handelt, die hoch flexibel gestaltet und in jede Richtung erweiterbar ist. Durch Einbringen von Filteroperationen kann sichergestellt werden, dass jede interessierte Partei aus dem PRIO-Tool eine auf deren Bedürfnisse maßgeschneiderte Risikozahl ableiten kann. Die Filteroperationen können in horizontaler (komponentenbezogen, commoditybezogen, lieferantenbezogen) und vertikaler Richtung (personenbezogen, abteilungsbezogen) durchgeführt werden.

Tabelle 19: Balanced Risk Scorecard (PRIO-Tool)

PRIO - Project Risk Overview (Balanced RISK Scorecard)										Risk evaluation summary										General Management										
Components key data										worst case effect of malfunction			Project phase		Division 1										Division 2			Division 3		
Part number	Change level	Part description	Supplier	Commodity	Design engineer	Supplier quality engineer	Accumulated risk	Safety	Environment	Repair, retrofit	Component maturity	Project phase	Department 1	Department 2	Department 3	Department 4	Department 5	Department 6	Department 7	Department 8	Department 9	Department 10	Department 11	Department 12	Department 13	Department 14	Department 15			
PN1	CL1	PD1	S1	C1	Jane Doe	John Doe	30			X	D	E	2	2	3	3	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1		
PN2	CL2	PD2	S1	C1	Jane Doe	John Doe	74	X			C	E	3	3	5	6	5	5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	15		
PN3	CL3	PD3	S1	C1			21		X		D	E	3	3	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1		
PN4	CL4	PD4	S2	C1						X	C	E	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
PN7	CL7	PD7	S3	C1			52		X		D	E	2	2	2	3	2	2	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2		
PN8	CL8	PD8	S3	C1			38		X		D	E	2	2	2	2	3	2	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2		
PN10	CL10	PD10	S4	C2			18	X			C	E	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Total:							381						29	22	25	29	34	28	60	32	24	25	38	25	38	35	105	154	122	

grey line: risk overview based on component

level 1 triggers for prioritization

level 2 triggers for prioritization

level 3 trigger for prioritization

Company Org Chart

Risk-KPI per component and department

accumulated risk per division

project is in E-sample phase but safety critical component has only reached maturity C

accumulated risk per department

accumulated risk per component

low risk number but safety critical

accumulated risk per commodity

Total project risk

4.6.6 Risikobasierte Entwicklungsprojektlenkung

Mit der Einführung von neuen, auf dem Endkundenrisiko basierenden Entwicklungsprojekt-Musterphasen, dem Zulassen von Mischverbauten, der Erfassung der damit in Zusammenhang stehenden initialen Risiken, einem nachfolgenden Risikoverdichtungsprozess und der Darstellung der Gesamtrisikolandschaft in einem Balanced Risk Scorecard sind die Grundlagen geschaffen, das klassische Automotive Entwicklungsprojektmanagement durch ein risikobasierendes Entwicklungsprojektmanagement zu ersetzen. Das PRIO-Tool übernimmt die Rolle eines zentralen Projektsteuerungsinstruments. Dies beinhaltet das gesamte Risikoportfolio des Projektes, welches die Bedürfnisse aller Stakeholder repräsentiert. Durch Risikoverdichtungsmöglichkeiten können an die Hierarchieebenen der mit der Produktentwicklung beauftragten Organisation angepasste Risiko-KPIs errechnet werden. Die KPIs bilden die Basis zur Entscheidungsfindung, sowohl in Projektlenkungsgremien als auch für die Steuerung der Gesamtorganisation. Durch Anwendung von Filteroperationen im PRIO-Tool können Risikozahlen für jede funktionale Einheit im Organigramm, jede Stücklistenkomponente, jedes Spezialisten-Team und jede Technologie abgeleitet werden und als Mikro-Steuerungsinstrumente dienen.

Die Sichtweise der am Entwicklungsprojekt beteiligten Personen wird dahingehend verändert, dass nicht mehr einzelne, fachspezifische KPIs, sondern standardisierte Risiko-KPIs betrachtet werden. Die Sichtweise auf das Entwicklungsprojekt löst sich von einer isolierten Betrachtung von Termin, Kosten, Technologie und Qualität und wird durch eine Restrisikobetrachtung ersetzt. Im Rahmen des Restrisikoreviews werden Ziele zur Risikoreduktion in der Zukunft festgelegt. Bei der nächsten Zusammenkunft des Entscheider-Gremiums werden die Effektivität und Effizienz der Maßnahmen durch Veränderung der Zahlenwerte der Risiko-KPIs bestätigt oder widerlegt.

Komponentenspezifische Lenkung

Im PRIO-Tool werden den kleinsten funktionellen Einheiten aus dem Linien-Organigramm, die im Entwicklungsprojekt mitwirken, Risiko-KPIs zugewiesen. Diese werden als komponentenspezifische, risikobasierende Steuergrößen in SE-Teams oder Leuchtturmbauteil-Entwicklungsteams eingesetzt. Dafür wird in einem ersten Schritt die Gesamtrisikozahl der Komponente, mit deren Entwicklung das SE-Team beauftragt wurde, aus dem PRIO-Tool abgegriffen. Danach erfolgt eine Betrachtung der individuellen Risikozahl jedes am SE-Team beteiligten Fachbereichs und die Entscheidung, welche Risikobewältigungsmaßnahmen auf die Problemstellungen angewandt werden.

Die Betrachtung Risikozahlenhistorie im Entwicklungsprojekt und die Erstellung einer Risikoprognose bis zum geplanten Fertigstellungstermin des Projektes werden von jedem Risikozahlen-Eigner separat vorgenommen. Die Darstellung der Risikozahlen in Form eines Diagramms dient als persönlicher Leistungsnachweis des Risikoeigners. Das Risikoportfolio wird als Zahlenwert und als Liniendiagramm dargestellt. Die Ab- oder Zunahme eines Risikos im Laufe des Projektgeschehens und das am Projektende verbleibende Restrisiko werden dadurch sichtbar. Die Zeitachse des Diagrammes muss die Musterphasen des Entwicklungsprojektes beinhalten. Zur Bewältigung der Risiken von niedrig bis mittel komplexen Stücklistenelementen (Stücklistenfilter Stufe 1 und 2) sind keine personellen Vollzeitressourcen

erforderlich. Daher können Risikoeigner in unterschiedlichen SE-Teams und Projekten Mehrfachfunktionen einnehmen. Alle einem Risikoeigner zugewiesenen KPIs können in einem personenbezogenen Diagramm vereinigt werden (vgl. Abb.46). Basierend auf dem personenbezogenen Risiko-Portfolio kann der Risikoeigner im Konfliktfall mit seinem Linienvorgesetzten eine Priorisierung vereinbaren, die in die SE-Teams zurückgespiegelt wird. Die Darstellung von Risiko(reduktions)zielen kann in der Übersicht in Form von Ziellinien erfolgen.

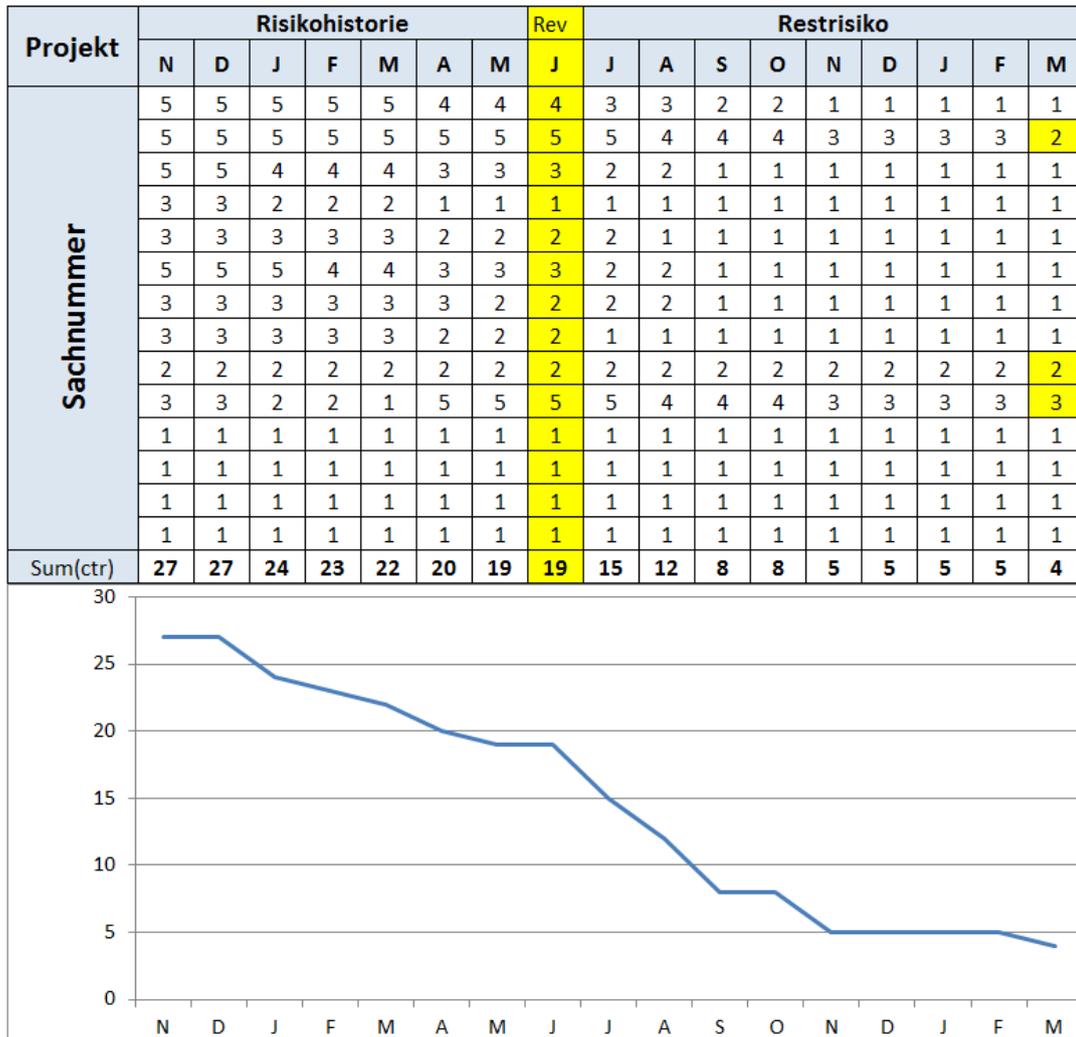


Abbildung 46: Risikobasierende Projektlenkung im SE-Team

Projektspezifische Lenkung

Über der im PRIO-Tool dargestellten Ebene von Risikoeignern, die individuelle Risikozahlen zu verantworten haben, stehen die Vorgesetzten der funktionalen Bereiche im Linienorganigramm des Unternehmens. Diese Personen sind Mitglieder des Projektsteuerkreises. In Regelterminen zur risikobasierten Entwicklungsprojektlenkung werden Risikoerklärungen an den Entwicklungsprojektleiter adressiert. Die Risikostrategie des Unternehmens wird vom Entwicklungsprojektleiter in die Steuerungsbesprechungen eingebracht und in Handlungen zur Risikobewältigung umgewandelt. Die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der Gesamtorganisation

wird durch Entscheidungen im Entwicklungsprojekt signifikant beeinflusst. Die Inhaber linienbezogener Führungsfunktionen sind im Falle eines produzierenden Unternehmens auch für die Effizienz in der Serienproduktion der entwickelten Produkte verantwortlich. Dadurch werden die Linienverantwortlichen im Entwicklungsprojekt von der Stakeholder- in die Shareholder-Rolle transformiert und müssen aktiv in das Entwicklungsgeschehen eingreifen. Durch Verdichtung der komponentenspezifischen Risiken zu bereichsbezogenen Risiken wird ein objektiver Risikovergleich zwischen den funktionalen Einheiten der Organisation möglich. Die bereichsbezogenen Risikozahlen können im PRIO-Tool durch Risikoaggregation dargestellt werden (vgl. Tab.20). Für die Bewältigung der bereichsbezogenen Risiken werden Instrumente angewandt, deren Charakter mehr strategisch geprägt ist als im Falle komponentenspezifischer Entwicklungsprojektlenkung. Risikobewältigungsmaßnahmen werden mit der Projektleitung vereinbart und mit dem PRIO-Tool im Protokoll der Projektsteuerungsbesprechung archiviert. Risikobewältigungsmaßnahmen können die Verschiebung von Projektressourcen in andere Bereiche bedeuten. Die Führungsverantwortlichen im Linienorganigramm sind in alle Entwicklungsprojekte eingebunden. Durch eine ganzheitliche Sichtweise aller parallel laufenden Entwicklungsprojekte können auf Ebene der funktionalen Bereiche Synergien erzeugt werden. Es muss geprüft werden, ob Vorgehensweisen, Problemlösungen, Risikoreduktionsmaßnahmen und Produktdesigns aus anderen Projekten übernommen werden können. Dadurch können Projektressourcen geschont und das Risikopotenzial des Entwicklungsprojekts gesenkt werden.

Tabelle 20: Darstellung der bereichsbezogenen Risiken im PRIO-Tool

		Shareholder (Organigramm)										Summe		
		1			2			.	n					
Komponente	KPI	1	2	n	1	2	n	.	1	2	n		Komponentenbezogene Risiken	
	1							.						K1
	2							.						K2
	3							.						K3
	4							.						K4

	n							.						Kn
Summe	B1			B2			.	Bn			Rg			
Bereichsbezogene Risiken														

Projektübergreifende Lenkung

Durch Aufsummieren der Bereichsrisiken kann eine Risikozahl für das gesamte Entwicklungsprojekt errechnet und der obersten Leitung der Organisation bekannt gemacht werden. Es obliegt der obersten Leitung einer Organisation, Vision, Mission und Leitbild in Strategien umzuwandeln und so eine Geschäftskultur zu schaffen, die auch die Risikokultur der

Organisation bestimmt. Die oberste Leitung muss den internen und externen Stake- und Shareholdern nachweisen, dass sie die Organisation effektiv und effizient führt und weiterentwickelt. Der schriftliche Nachweis erfolgt durch Darlegung der Organisationsentwicklung in den Protokollen von Management Reviews. Die Verfolgung des Fortschritts von Entwicklungsprojekten ist Teil dieser Management-Reviews. Die Projektleiter der Automotiven Entwicklungsprojekte steuern dafür die Gesamtrisikozahlen ihrer Projekte in dieses Entscheidungsgremium ein. Die Risikozahlen können in ein klassisches Balanced Scorecard als Entwicklungs-KPIs eingehen. Die Risikoaggregation in den Entwicklungsprojekten muss im PRIO-Tool derart erfolgen, dass die Projekte objektiv vergleichbar sind. Die Höhe der projektspezifischen Gesamtrisikozahlen muss das Projektrisiko unverfälscht darstellen. Die Risikozahlen dürfen nicht durch Normierung auf einen maximal möglichen Gesamtwert (Nivellierung) verfälscht werden. Der im Managementreview durchzuführende Prozess zur projektübergreifenden, risikobasierten Entwicklungsprojektlenkung ist in Abb.47 dargestellt.

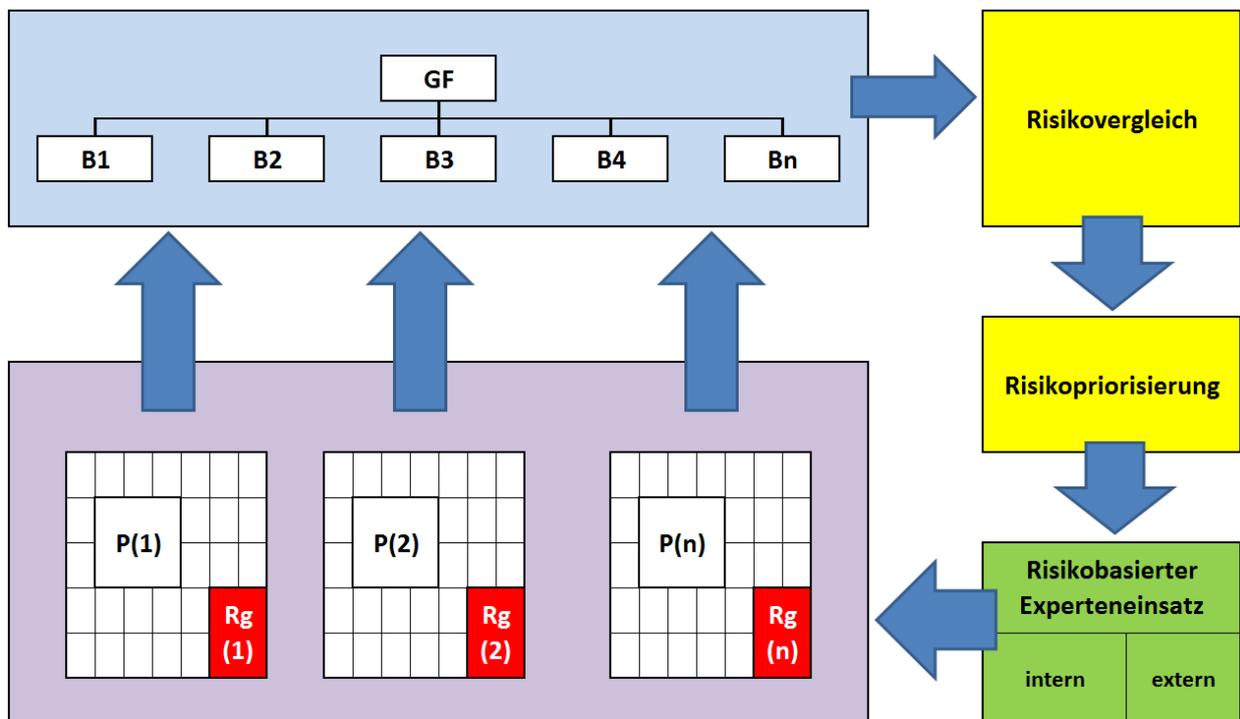


Abbildung 47: Projektübergreifende Lenkung

Nur bei Kommunikation des absoluten Zahlenwertes der projektspezifischen Gesamtrisikozahlen (Rg) ist es der Geschäftsführung (GF) möglich, einen Risikovergleich zwischen den Entwicklungsprojekten (P) durchzuführen. Die Gesamtrisikozahlen sind Entscheidungsgrundlage für die strategische Zuteilung von internen und externen Ressourcen und risikobasierten Experteneinsatz. Sicherheitsrelevante Risiken müssen zusätzlich ausgewiesen werden. Ob in einem Projekt bevorzugt Risikovermeidung, Risikominderung, Risikoüberwälzung, Risikoakzeptanz oder andere Instrumente zur Anwendung gelangen, ist Resultat der strategischen Ausrichtung und der Risikokultur der Organisation. Die von der

Unternehmensführung oder übergeordneten Stellen getroffenen Entscheidungen zur Risikobewältigung können für verschiedene Projekte unterschiedlich ausfallen und stellen intentionale Erklärungen des Managements an das Entwicklungsprojektteam dar. Jedes Entwicklungsprojekt wird mit den strategischen Zielen der Organisation und deren Shareholder verglichen und hinsichtlich der Wertsteigerung für das Unternehmen optimiert. Die oberste Leitung ist dazu autorisiert, zu Gunsten von Chancen, die sich am Markt bieten, in Schlüsselprojekten bewusst Risiken einzugehen und dies an die Projektleiter zu kommunizieren. Des Weiteren kann die oberste Leitung durch risikobasierten Einsatz externer und interner Experten punktuell risikomindernde Maßnahmen hohen Wirkungsgrades veranlassen, um Schlüsselprojekte ins Ziel zu bringen.

5 Fallstudien

In den folgenden Fallstudien werden die Anwendbarkeit und Wirksamkeit des Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement auf die Automotive Elektromobilität bestätigt. Jede Fallstudie bezieht sich auf eines oder mehrere Schlüsselemente des Vorgehensmodells, die in unterschiedlichen Entwicklungsprojekten angewandt wurden. Die Aufgliederung in einzelne Fallstudien wurde aus zwei Gründen vorgenommen: Erstens wurde das individuelle Entwicklungsprojektrisiko im Falle eines Versagens des angewandten Schlüsselements minimiert (Risikostreuung). Zweitens wurde bestätigt, dass das Vorgehensmodell unter veränderten Umfeldbedingungen anwendbar ist. Die veränderten Umfeldbedingungen wurden durch unterschiedliche Entwicklungsprojekte und deren Rahmenbedingungen repräsentiert. Die Fallstudien wurden in einem Automotiven Zulieferbetrieb in Position „Tier 1“ durchgeführt. Der Umfang der Projekte bestand in der Entwicklung und Produktion von Lithiumionenbatterien zum Antrieb von rein elektrisch betriebenen und Hybridfahrzeugen. Der Nachweis der Anwendbarkeit und Wirksamkeit des gesamten Vorgehensmodells auf die Automotive Elektromobilität ergibt sich aus der Summe der Fallstudien.

5.1 Risikobasierter Produktreifegrad

Die Anwendung von risikobasierten Produktreifegraden auf Entwicklungsprojekte mit OEMs muss schlüssig argumentiert werden. Die beiden folgenden Fallstudien beziehen sich auf ein Entwicklungsprojekt für eine Hybridbatterie eines britischen Premium-OEMs¹⁶¹. Nach der Erstellung eines Terminplans für das Entwicklungsprojekt gemäß klassischen Meilensteinen wurde dieser mit risikobasierten Entwicklungsphasen überlagert. Das Festlegen der Entwicklungsziele basierte auf risikobasierten Produktreifegraden. Die Benennung der Hardware erfolgte nach klassischen Musterphasen. Die Gesamtprojektdauer wurde mit 18 Monaten festgelegt. Die Validierung der entwickelten Hardware erfolgte an Mischverbauten. Die Anwendung des neuen Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement

¹⁶¹ Projekt Wildcat 33

wurde in Kooperation mit der Abteilung „Supplier Quality Assurance“ des Kunden erarbeitet. Zur Risikobewältigung wurden die Schlüsselkomponenten mit dem höchsten Risikopotenzial in einem Filterprozess (Stücklistenfilter) identifiziert. Zum Festlegen der Spezifikationen wurden temporär erweiterte SE-Teams (Leuchtturmbauteil-Teams) konstituiert.

Fallstudie: Risikobasierte Projektplanung

In dieser Fallstudie wird die strategische Vorgehensweise bei der Anwendung von risikobasierten Produktreifegraden anhand eines Entwicklungsprojekt-Terminplans erläutert (vgl. Abb.48). Das Entwicklungsprojekt war durch eine Verschachtelung der klassischen Automotiven Musterphasen charakterisiert. Die Verschachtelung ist durch die Überlappung der blauen Zeitbalken im Terminplan erkennbar. Die Parallelisierung von Design- und Produktvalidierungs-Testläufen, die sequentiell ablaufen sollten, ist durch rote Balken hervorgehoben. Die risikobasierten Produktreifegrade sind durch orange, gelbe und grüne Kästen dargestellt. Am Projektbeginn wurden die Projektressourcen auf die Darstellung und Validierung sicherheitsrelevanter Charakteristika des Endprodukts gebündelt.

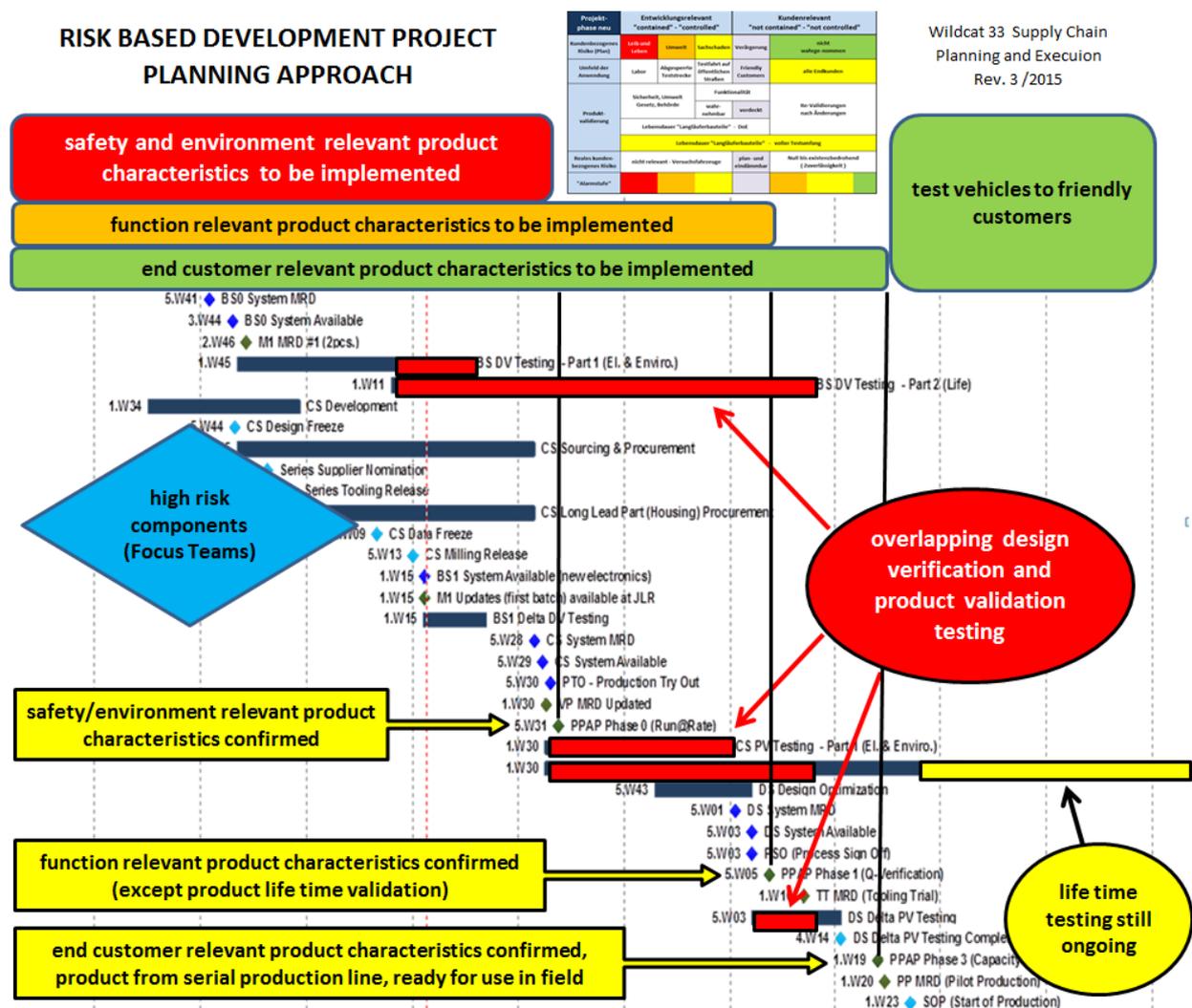


Abbildung 48: Entwicklungsprojektterminplan mit Anwendung risikobasierter Musterphasen

Der risikobasierte Ressourceneinsatz erfolgte durch Bündelung der interdisziplinären Entwicklungskompetenz der Organisation in Focus Teams. Die Abnahme des Risikoportfolios wurde mittels klassischer Automotiver Instrumente (FMEA) nachgewiesen. Die Produktfreigabe erfolgte an drei risikobasierten Projektmeilensteinen (PPAPs). Diese sind im Terminplan mit gelben Kästen hervorgehoben. Durch die risikobezogenen Entwicklungsziele und das partielle Validieren risikobezogener Produktfunktionen konnte die Projektleitung Mischverbauten von Hardware unterschiedlichen Reifegrades rechtfertigen. Die wahrgenommene Chance lag in einer Projektverkürzung von sechs Monaten und in einer (kalendarischen) Verkürzung der Produktvalidierungszeit um acht Monate. Das Hauptrisiko bestand in einem Nicht-Bestehen des Lebensdauertests der Hybridbatterien, da die Produktvalidierung nicht abgeschlossen war als sich bereits Serienfahrzeuge bei „Friendly Customers“ im Einsatz befanden. Zur Abschätzung des dadurch gegebenen Risikopotenzials wurde ein DoE (Central Composite Design) durchgeführt. Damit konnte ein unvorhergesehenes katastrophales Ereignis („sudden death“) ausgeschlossen werden. Das Risiko wurde von der Geschäftsführung aus strategischen Gründen („time to market“) bewusst eingegangen.

Fallstudie: Mischverbauten und gespiegelte Produktvalidierung

Der in Abb.48 dargestellte Entwicklungsprojekt-Terminplan war auf die Gesamtsystemebene (Hybridbatterie) anwendbar. Terminpläne von Unterbaugruppen (Subsysteme, Module und Komponenten) waren auf die Zieltermine des Gesamtprojektterminplans ausgerichtet. Zellmodule bildeten die wichtigsten Systemelemente der Hybridbatterie, da diese im Projekt 75% des Gewichtes, 70% der Kosten und das Verhalten der Batterie über die Automotive Lebensdauer bestimmten. Die in den Zellmodulen verbaute Steuerelektronik wurde auf Grund der Komplexität, Varietät und Validierungszeit im Stücklistenfilter als „Leuchtturmbauteil“ und „stealth component“ identifiziert. Aus Sicht des OEMs befand sich die Steuerelektronik in Position „Tier 3“. Die Entwicklungs- und Validierungszeit der Elektronik beeinflussten den Gesamtterminplan auf Grund des vorgegebenen, sequentiellen Ablaufs der Aktivitäten signifikant (vgl. Abb.49).

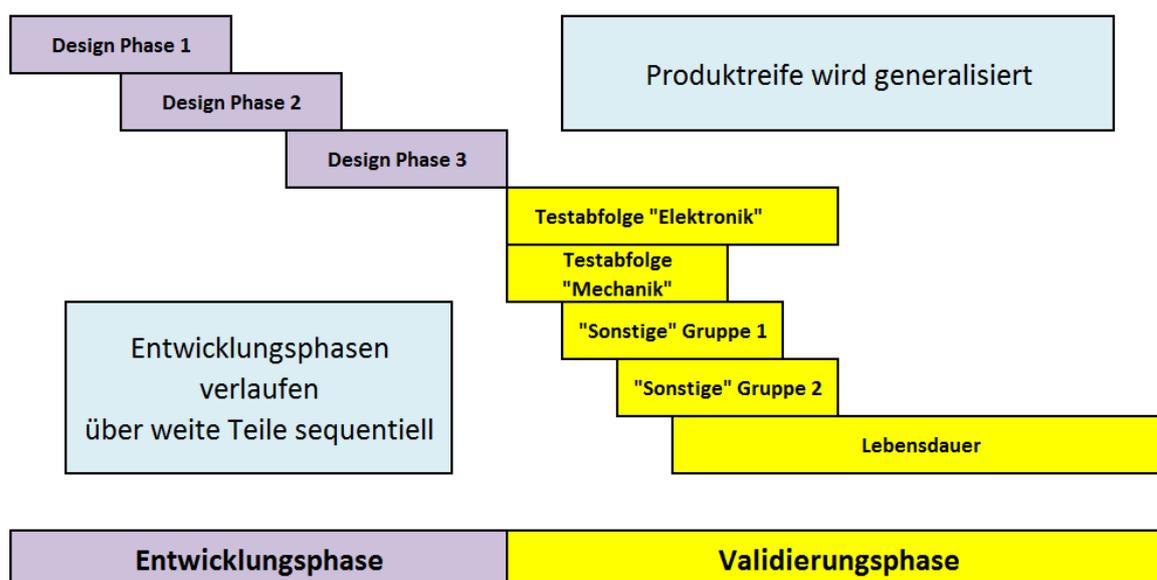


Abbildung 49: Klassischer zeitlicher Ablauf einer Produktvalidierung (DV/PV)

Als erster Ansatz zur Lösung des Terminproblems wurden Entwicklungsaktivitäten und Validierungs-Testläufe überlappend angesetzt. Für den Beginn der Validierungsphase war dieselbe Hardware-Reife für alle Modulkomponenten nach klassischer Automotiver Sichtweise gefordert (keine Mischverbauten zulässig). Durch die Anforderungen an die Hardwarekonsistenz waren die Gesamtprojekt-Terminziele nicht zu erreichen. Zur Verkürzung der für Entwicklung und Validierung der Batteriesteuerlektronik aufzuwendenden Zeit wurde ein risikobezogener Ansatz mit Mischverbauten und gespiegelter Produktvalidierung erarbeitet. Dafür wurden im komponentenspezifischen Entwicklungsterminplan die voneinander unabhängigen Erprobungspfade von einem fixen Endtermin ausgehend parallel in die negative Zeitrichtung aufgetragen (vgl. Abb.50). Die Zielterminvorgabe wurde aus dem Batterie-Gesamtterminplan abgeleitet. Durch die unterschiedliche Dauer der einzelnen Testpfade ergaben sich unterschiedliche Zeitpunkte für den Beginn der Erprobungen. Diese Starttermine wurden mit der zu dieser Zeit verfügbaren Hardware reife der Komponenten der Steuerelektronik verglichen. Danach wurde das Risiko bewertet, dass ein Mischverbau von Hardware unterschiedlicher Reife den DV-Testlauf nicht bestehen könnte. Der Lebensdauer test, in welchem die Baugruppe unter erhöhter Temperatur gemäß des Arrhenius-Modells in einer Prüfkammer unter Serieneinsatzbedingungen zu betreiben war, stellte den am meisten zeitkritischen Testlauf mit dem höchsten Zeiteinsparungspotenzial dar. Durch die Leitfunktion des Leuchtturmbauteil-Teams wurden die Entwicklungsaktivitäten mit peripheren Komponenten (K2, K3, Kn) im Modulverbund koordiniert und auf den Beginn des Lebensdauer tests ausgerichtet (vgl. Abb.50).

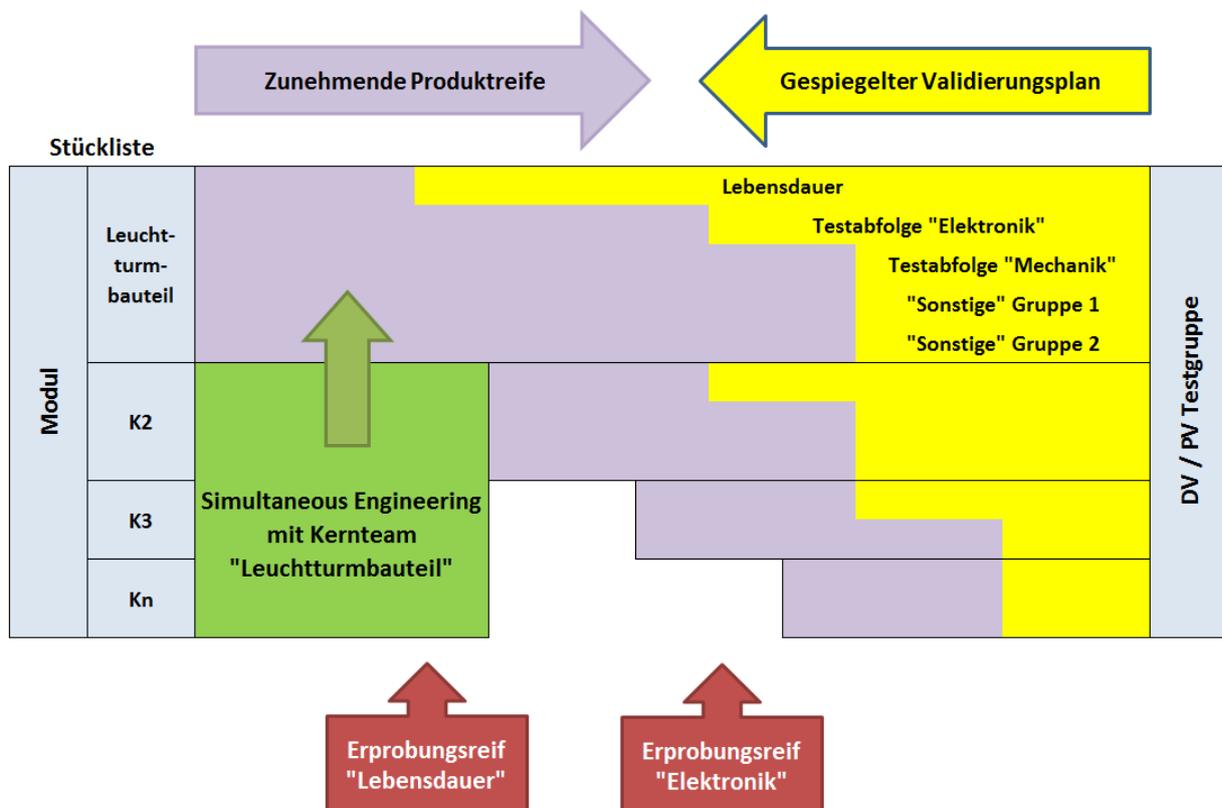


Abbildung 50: Verkürzung der DV/PV Testdauer durch Mischverbau / gespiegelte Abläufe

Der Lebensdauertest adressierte primär die mit elektronischen Komponenten bestückte Leiterplatte. Die elektronische Baugruppe bestand aus einer Leiterplatte, die in einem abschirmenden Gehäuse verbaut war. Die Schnittstellen der Baugruppe zur Systemumgebung bestanden in elektrischen, mechanischen und Software-Interfaces. Die mechanischen Interfaces und die Außenkontur des Gehäuses mussten sich an der Modulmechanik orientieren. Die Entwicklungsarbeit der Modulmechanik wies einen Terminverzug von zwei Monaten auf. Die Risikoanalyse für das Bestehen des Lebensdauertests ergab eine annähernd 100-prozentige Abhängigkeit des Erprobungsergebnisses von der bestückten Leiterplatte. Deshalb wurde nur ermittelt, ob die zum Plan-Starttermin des Lebensdauertestlaufs verfügbare Hardwarereife der bestückten Leiterplatte ausreichend war, um repräsentative Erprobungsergebnisse zu liefern.

Durch Beschränkungen des Bauraums im Fahrzeug kommen 97-99% der Komponenten auf einer Leiterplatte in miniaturisierter Form als oberflächenmontierte Bauteile (SMT-Bauteile) zum Einsatz. Die Größe von passiven Bauteilen wie SMT-Widerständen und SMT-Kondensatoren liegt im Millimeterbereich. Aktive, hoch integrierte Bauteile wie Mikrocontroller besitzen bis zu 160 Anschlüsse an den vier Kanten eines millimeterhohen Gehäuses mit einer Grundfläche von zwei Quadratzentimetern. Eine manuelle Bestückung der Bauteile ist aus wirtschaftlicher Sicht und aus Qualitätssicht nicht möglich. Zur Bestückung dieser Bauteile werden deshalb Hochgeschwindigkeits-Automaten eingesetzt. Die Investitionssumme für eine SMT-Produktionslinie beträgt 1,5 bis 4,5 Millionen Euro. Die Anlagen werden sowohl für Serienproduktion als auch für Prototypenproduktion eingesetzt. Die Produktionsqualität der auf einer SMT-Bestückanlage gefertigten Prototypen entspricht der in der Serienproduktion zu erwartenden Qualität.

Die Steuerelektronik des Moduls wurde bereits auf einer Serien-SMT-Anlage produziert. Alle lebensdauerkritischen Komponenten waren in der Stückliste fixiert. Durch einen Mischverbau der Leiterplatte mit einem Elektronikgehäuse geringerer Hardwarereife konnte der Lebensdauertest vier Monate vor dem ursprünglichen Planbeginn gestartet werden. Die zweimonatige Verzögerung bei der Entwicklung der Modulmechanik wurde zusätzlich zu 100% kompensiert. In Summe gelang eine Verkürzung der Projektlaufzeit um vier Monate bei vollständiger Validierung der Steuerelektronik.

5.2 Stücklistenfilter, De-Materialisierung, Substitution, Denovation

Die beiden folgenden Fallstudien zeigen das Potenzial auf, das durch Identifikation von Schlüsselbaugruppen im Stücklistenfilterprozess und darauffolgende De-Materialisierung, Substitution und Denovation freisetzbare ist.

Fallstudie: Gehäuse von Automotiven Lithiumionenbatterien

Im Rahmen dreier parallel laufender Projekte unterschiedlichen Reifegrades wurden Stücklistenfilter angewandt und die Gehäuse von Lithiumionenbatterien als Leuchtturmbauteile identifiziert. Erkenntnisse aus dem am weitesten fortgeschrittenen Projekt wurden in einer fraktalen Teamstruktur in die jüngeren Projekte übertragen. Im Produktentstehungsprozess

kamen die Vorgehensweisen De-Materialisierung, Substitution und Denovation zum Einsatz. Der Beobachtungs- und Aktionszeitraum erstreckte sich über acht Monate.

Das Gehäuse der Lithiumionenbatterie im Projekt Stella 1 bildete den Benchmark. Beim Gehäuse des Projekts Stella 1 (vgl. Abb.51, Abb.52) handelte es sich um eine komplexe Stahlblech-Schweißbaugruppe mit 23 zu verbindenden Stanz-Biegeteilen.



Abbildung 51: Batteriegehäuse im Projekt Stella 1



Abbildung 52: Details des Batteriegehäuses im Projekt Stella 1

Die Baugruppe wurde in einer Schweißlinie mit sechs Robotern gefertigt. Nach der Qualitätsprüfung wurde die Baugruppe bei einem Unterlieferanten verzinkt, erneut geprüft und ausgeliefert. Die Ausrichtung der komplexen Halter im Inneren des Batteriegehäuses (vgl. Abb.52) führte durch den Verzug beim Schweißen und Verzinken zu geometrischen Abweichungen und Spaltkorrosionen, die in Verbauproblemen und Bandstillständen resultierten. Die dem Gehäusedesign zugeordnete Gesamtrisikozahl entsprach 22% des designbezogenen Gesamtprojektrisikos. Die unverdichteten Risiko-KPIs waren:

- die Anzahl der Einzelbauteile
- die Anzahl der Fügeprozessschritte
- die Invest-Kosten für ur- und umformende Serienwerkzeuge
- die Erstellungszeit für ur- und umformende Serienwerkzeuge
- die Kosten für die Produktionsanlagen
- die Produktionsdurchlaufzeit in Tagen
- die Anzahl der Reklamationen an die Unterlieferanten
- die Anzahl der Reklamationen vom Endkunden

Die Effektivität und Effizienz der De-Materialisierung, Substitution und Denovation in den beiden Vergleichsprojekten wurde durch die Abnahme der Risiko-KPIs belegt.

In der folgenden Zusammenfassung der Ergebnisse wurden die Risikozahlen der größten Potenziale und Risiken in allgemein verständliche Dimensionen rückgerechnet.

Das De-Materialisierungs und Substitutionsziel im Projekt Stella 2 war die Reduktion der Komplexität der Füge- und Oberflächenbeschichtungsprozesse. Das Stella 2 Gehäuse wurde deshalb nicht als Schweißbaugruppe, sondern als einteiliges Aluminium-Druckgussgehäuse in Hardware dargestellt (vgl. Abb.53).



Abbildung 53: Batteriegehäuse des Projekts Stella 2

Damit wurde die Anzahl an zu verbauenden Einzelkomponenten zur 23 auf 1 reduziert und das Ausrichtungs- und Schnittstellenproblem gelöst. Für die Produktion des Aluminium-Druckgussgehäuses konnten die Anzahl der Fertigungsprozessschritte trotz zusätzlicher mechanischer Bearbeitung um 65% und die Produktionsdurchlaufzeit um 45 % gesenkt werden. Die Reklamationen in Richtung des Lieferanten nahmen im Vergleich mit der Stella 1 Schweißbaugruppe von 18,5% auf 0,7% ab. Die Risikozahl für die Erstellungszeit des Serienwerkzeugs musste um 35% erhöht werden, da auf Grund von Hinterschnitten im Gehäusedesign Schieber in das Druckgusswerkzeugs eingebracht werden mussten. Schieber schaffen Strukturen, deren Achsen nicht parallel zur Werkzeug-Öffnungsrichtung liegen und deshalb eine Entformung verhindern. Die Erstellungszeit für das Druckgusswerkzeug betrug 21 Wochen. Zusammenfassend ergab die De-Materialisierung und Substitution eine signifikante technische Risikoreduktion zu Lasten des Projektterminplans.

Das primäre Risikoziel für das Batteriegehäuse im Vergleichsprojekt Frodo 15 war die Reduktion der Risikozahl für die Erstellungszeit der Serienwerkzeuge. Die Reduktion der Komplexität des Gehäuses wurde als sekundäres Risikoziel definiert. Zur Reduktion der Werkzeugerstellungszeit wurden die Prinzipien Substitution und Denovation angewandt. Die frühe Entwicklungsphase des Projekts gestattete eine Mitgestaltung des Bauraums und der Schnittstellen zum Fahrzeug. Dadurch konnte eine einfache, quaderförmige Batterie-Außenkontur verwirklicht werden (vgl. Abb.54). Die niedrig komplexe Außenkontur erlaubte einen Aufbau des Batteriegehäuses aus standardisierten Aluminium Strangpressprofilen (Denovation). Die Serienwerkzeuge für einen Aluminium-Strangpressprozess sind niedrig komplex, kostengünstig und haben kurze Erstellungszeiten. Die Werkzeugerstellungszeiten lagen im Durchschnitt 25% unter den Erstellungszeiten der Serienwerkzeuge für das Stella 1 Benchmarkprojekt.

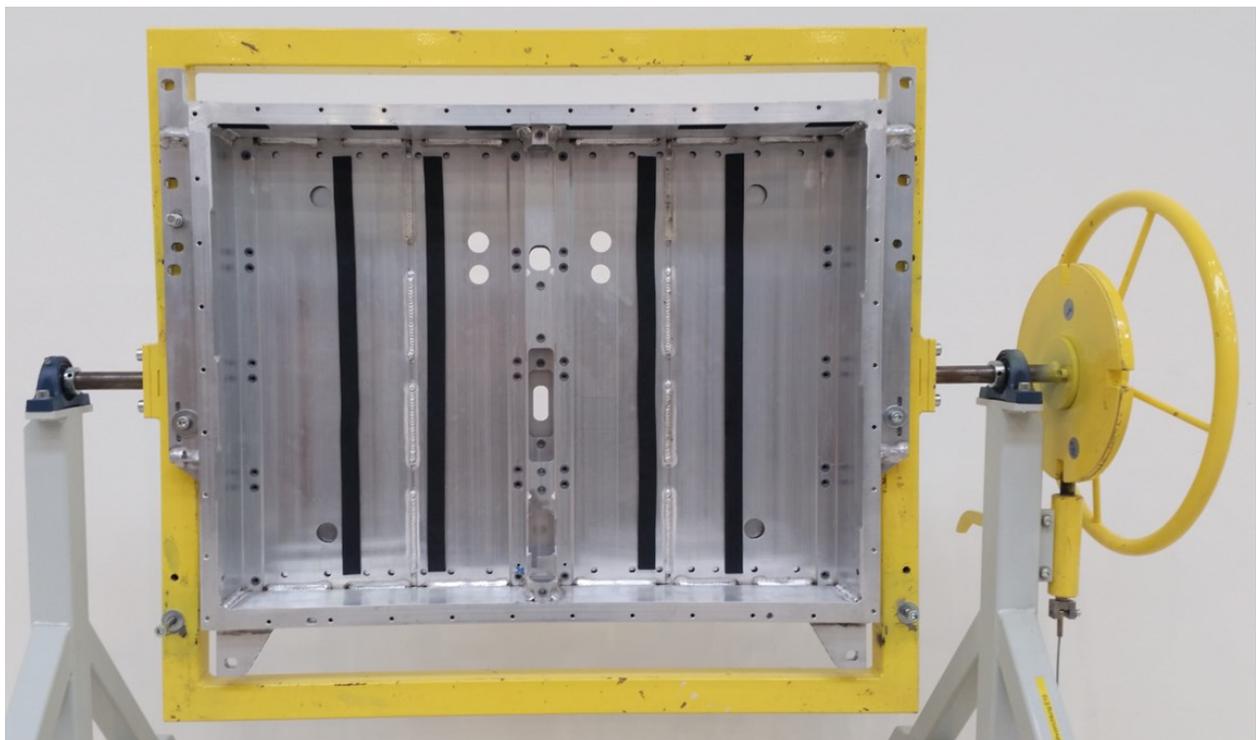


Abbildung 54: Batteriegehäuse des Projekts Frodo 15

Die Anzahl der Prozessschritte bei der Fertigung wurde im Vergleich zu Stella 2 um 15% erhöht. Die Anzahl der zu verbauenden Einzelteile erhöhte sich von 1 auf 9. Die Erhöhung der Risikozahl für die Gehäusekomplexität wurde in Kauf genommen, da die Reduktion der Werkzeugherstellungszeit einen signifikant positiven Impact auf Projektterminziele aufwies. Die einfache Gehäusegeometrie erlaubte eine Standardisierung der Verbindungselemente und Schnittstellen zu den im Gehäuse montierten Batteriesystemelementen. Schraubprozesse und Montageprozesse für das Einbringen und Verschalten der Batteriekomponenten konnten mit Standardschrauben und Standardwerkzeugen einfach, effektiv und effizient gestaltet werden. Der lagenweise Aufbau der Batterie mit parallelen geometrischen Bezugsebenen ermöglichte die Verwendung eines niedrig komplexen, kostengünstigen Batteriedeckels (vgl. Abb.55). Die Anbindungspunkte zum Fahrzeug lagen in einer parallelen Ebene zum geometrischen Gesamtbezugssystem der Batterie. Dies vereinfachte den Endprüfprozess in der Batterieproduktion und den Verbau im Fahrzeug. In Bezug auf das Benchmarkprojekt Stella 1 konnte das Risikopotenzial des Frodo 15 Gehäuses um 85% gesenkt werden.

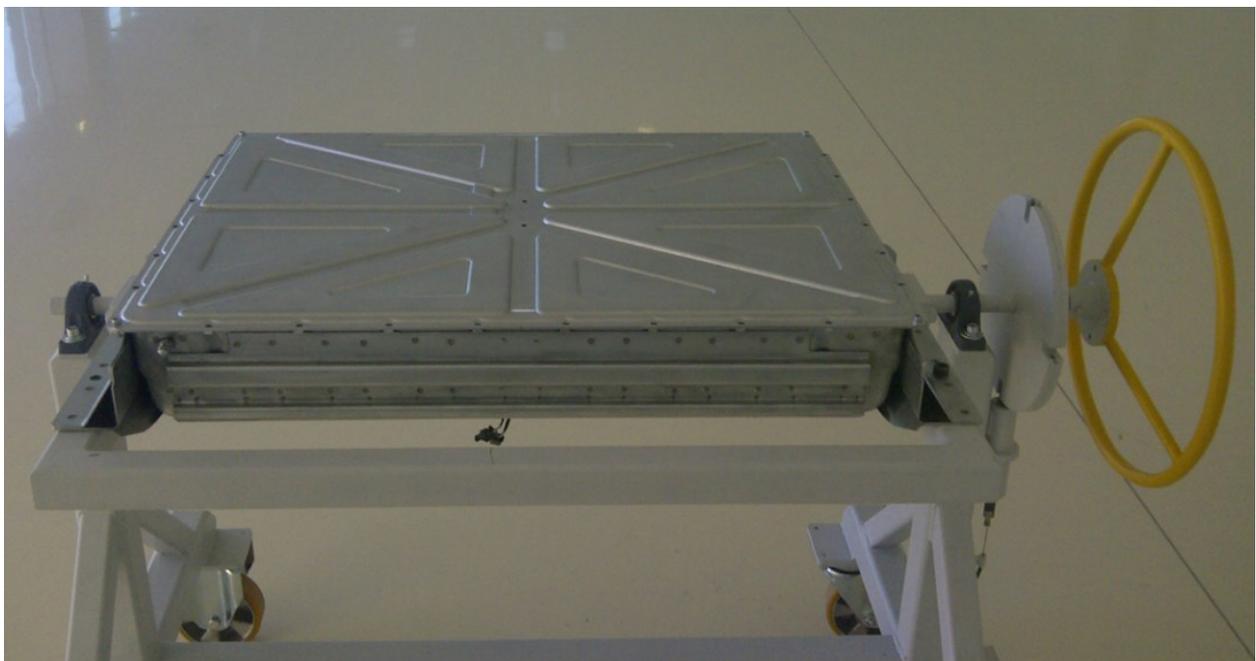


Abbildung 55: Fertige Hybridbatterie des Projekts Frodo 15

Fallstudie: Reduzierter Freigabeumfang durch risikobasierten Ansatz

Am Ende eines Automotiven Entwicklungsprojekts werden die entwickelten Produkte durch den Kunden mittels Unterzeichnung der Erstbemusterungsdokumentation nach VDA¹⁶² oder PPAP¹⁶³ freigezeichnet. Der Freigabeumfang wird unter Verweis auf standardisierte Bemusterungs-Vorlagestufen gemäß der Produktkomplexität durch den Kunden definiert. Eine Bemusterung nach Vorlagestufe 1 beschränkt sich auf das Einreichen eines standardisierten Formblattes mit Verweis auf ein technisches Datenblatt. Vorlagestufe 3 im VDA-Format bedeutet, dass für das freizugebende Produkt zusätzlich zum Deckblatt 24 Prüfgebiete („Muss-

¹⁶²Vgl. VDA Bd.2 (2012)

¹⁶³Vgl. PPAP (2006)

Felder“) abgearbeitet und dokumentiert werden müssen (vgl. Tab.21, oben). Lithiumionenbatterien für den Antrieb von Fahrzeugen können aufgrund deren Energiedichte im Versagensfall zu katastrophalen Versagensmodi (Feuer, Stromschlag) führen. Deshalb neigen Kunden dazu, die Vorlagestufen für die Bemusterung von Kaufteilen und damit den für die Produktfreigabe geforderten Dokumentations- und Prüfumfang zu erhöhen. Die Erhöhung der Anforderungen an die Freigabe erfolgt nicht gezielt, sondern wird generell angewandt ohne das Risikopotenzial der einzelnen Kaufteile zu bewerten. Daraus resultieren Mehraufwände im Projekt und eine Veränderung des Risikoempfindens in der Organisation.

In einem Entwicklungsprojekt für einen nordischen Nutzfahrzeughersteller wurde basierend auf der Stückliste eine komponentenspezifische Risikobewertung durchgeführt. Die Bewertung basierte auf den Auswirkungen des Versagens der Komponente auf Sicherheits- und Funktionsziele (technischer Teil des Stücklistenfilters). Basierend auf der Risikoanalyse erfolgte für jede Komponente der Stückliste eine individuelle Festlegung der anwendbaren Prüfgebiete (vgl. Tab.21, unten). Diese virtuelle De-Materialisierung reduzierte den Freigabeumfang um 35%. Der reduzierte Freigabeumfang wurde an die Lieferanten kommuniziert und mittels Sondervereinbarung schriftlich bestätigt. Dadurch konnten Projektressourcen freigespielt und Bemusterungskosten eingespart werden.

Tabelle 21: Maßgeschneiderte, risikobasierte Produktfreigabe

Stückliste	Vorlagestufe	Erstbemusterung: Prüfgebiete nach VDA 2.0																								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		Deckblatt	Maßprüfung	Funktionsprüfung	Werkstoffprüfung	Haptikprüfung	Akustikprüfung	Geruchsprüfung	Aussehensprüfung	Oberflächenprüfung	EMV-Prüfung	Zuverlässigkeitsprüfung	FM	nsf	FW	fdi	Prüfgebiete	Sonstiges								
		"Muss" - Felder										"Muss nicht"														
K1	3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
K2	2	x	x	x	x							x		x		x	x	x		x	x	x	x			x
K3	1	x																								x
Kn	3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Stückliste	Vorlagestufe	Erstbemusterung: Prüfgebiete nach VDA 2.0																								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		Deckblatt	Maßprüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Prüfung	Sonstiges								
		"Muss" - Felder										Aktivieren der anderen Prüfgebiete NUR wenn dies nötig ist Basis: Risikomanagement														
K1	4	x		x	x						x				x			x		x		x				
K2	4	x			x																x	x				
Kn	4	x	x												x	x	x	x	x	x	x	x			x	

Die Risikoanalyse zeigte Komponenten, für die die Bemusterungs-Vorlagestufe erhöht werden musste. Für einen Kleber, der für die Fixierung von Lithiumionen-Zellen an einem Kühlkörper zum Einsatz kam, war laut Standard Vorlagestufe 1 angezogen. Da der Kleber sicherheitsrelevante Funktionen wie Wärmeableitung und elektrische Isolation über Lebenszeit darstellen musste, wurde die Vorlagestufe auf 3 erhöht.

Der risikobasierte Ansatz für eine maßgeschneiderte Produktfreigabe stellt ein aus dem Stücklistenfilter abgeleitetes, wirksames Instrument zur Festlegung von Risikozielen dar.

5.3 Risikoermittlung

Die Grundlage für alle Aktivitäten in einem risikobasierten Ansatz zur Entwicklungsprojektlenkung wird durch die Qualität der Ermittlung von initialen Risikozahlen gebildet. Die folgenden Fallstudien zeigen verschiedene Vorgehensweisen zur Ermittlung dieser initialen Risikozahlen.

Fallstudie: Ermittlung fixer, initialer Risikozahlen

In der Firma Magna Steyr Battery Systems (MSBS) wurde in einem Pilotprojekt für die initiale Bewertung von subjektiv empfundenen Risiken eine Entscheidungstabelle erstellt. Diese basiert auf Erfahrungen aus vergangenen Projekten (lessons learned) und Experteninterviews. Die folgenden Beispiele stellen einen Auszug aus dieser Gesamttabelle dar und beleuchten die den Zuweisungen von Risikozahlen zu Grunde liegenden Gedanken (vgl. Tab.22).

- Risikosteuerungsentscheidung:

Die Entscheidung, ein Risiko zu vermeiden, zu reduzieren, zu übertragen, zu kompensieren oder zu akzeptieren stellt in sich ein Risiko für das Entwicklungsprojekt dar. Deshalb sollte dieser Aspekt im generischen Risikomanagementprozess kommuniziert und mit bewertet werden.

- Bauteilkomplexität:

Das technische Risikopotenzial von Bauteilen korreliert mit deren Komplexität. Die Bauteilkomplexität kann auf das Vorhandensein von definierten Produktmerkmalen bezogen werden. Im aktuellen Fallbeispiel wird die Bauteilkomplexität durch Einordnen des Bauteils in eine Produktgruppe festgelegt. Diese Vorgehensweise entspricht dem am Projektbeginn anzuwendenden Stücklistenfilter.

- Verwendete Materialien:

Die mit den verwendeten Materialien in Zusammenhang stehenden Risiken sind die Verfügbarkeit der Rohstoffe und die Materialcharakterisierung. Bei der Erstellung des Designs eines Produktes obliegt die Auswahl der verwendeten Materialien dem Entwicklungsingenieur.

Die Logistik- und Einkaufsabteilungen der Organisation müssen Rohmaterialverfügbarkeit über die Produktlebensdauer garantieren. Bei Rohmaterialien, die an der Börse gehandelt werden, können Kursschwankungen einen business case zerstören.

In der Automobilindustrie muss für alle in einem Fahrzeug verbauten Produkte eine Materialdeklaration durchgeführt werden. Die Deklaration wird in einer globalen Datenbank eingepflegt, die aus ethischer oder gesundheitlicher Sicht als problematisch identifiziert wurden. Bei einer geplanten Verwendung von Konfliktmineralen oder verbotenen Stoffen muss das Risiko direkt an die Projektleitung gemeldet werden.

- Entfernung von der Urproduktion:

Die ungenügende Reichweite des Automotiven Radars führt dazu, dass im Fall einer tief gehenden Lieferkette die unterhalb von Tier n-2 angesiedelten Risiken verschleiert werden. Je weiter das Endprodukt von der Urproduktion entfernt ist, desto höher ist das Risiko, dass ungewünschte Entwicklungen am Grundstoffmarkt übersehen werden. Deshalb werden die in Komponenten, Modulen und Systemen zum Einsatz kommenden Materialien nach deren Entfernung von der Urproduktion klassifiziert. 98,5% der evaluierten Lieferanten, die standardisierte Materialien herstellen (z.B.: Hüttenbetriebe) befinden sich in keinem größeren Abstand als „Tier 5“ zum OEM.

- Zeitzonenrisiko:

In der Entwicklung von Schlüsselkomponenten für die Elektromobilität sind Lieferantennetzwerke und Entwicklungsstandorte globalisiert. Im Projekt Nordic verfügte der Lieferant einer Schlüsselkomponente für eine Hybridbatterie über einen Entwicklungs- und Vertriebsstandort in Deutschland, ein Design- und Testcenter in den USA, einen Entwicklungsstandort für Vormaterial in Malaysia, einen Software-Entwicklungsstandort in Rumänien und eine Prototypenproduktion in Japan. Der Lieferant wurde mit der gesamten Entwicklung der Schlüsselkomponente beauftragt und durch die Mitglieder des in Österreich angesiedelten SE-Teams überwacht. Durch die Zeitverschiebungen zwischen den an der Produktentwicklung beteiligten Parteien kam es zu einer deutlichen Irritation. Deshalb werden in der initialen Risikobewertung Zeitzonenunterschiede mit Risikozahlen belegt. Die Risikozahl entsteht durch Addition der Zahlen für die maximale Zeitverschiebung nach Westen und die maximale Zeitverschiebung nach Osten.

Tabelle 22: Beispiel für initiale Risikozahlen aus Entscheidungstabellen

Risikoart	Risikozahl				
	1	2	3	4	5
Risiko Steuerungsentscheidung	Risikovermeidung	Risikoreduktion	Risikoübertragung	Risikokompensation	Risikoakzeptanz
Bauteil-Komplexität	Normteile und Katalogware	Einfache mechanische Baugruppen	Elektro-mechanische Baugruppen, Verkabelungen	Elektronisch-mechanische Baugruppen ohne Software	Elektronisch-mechanische Baugruppen mit Software, Integrierte Schaltkreise
Verwendete Materialien	aus multiplen Quellen prompt verfügbar	an Börse gehandelt	Single Source oder Nachschub politisch beeinflusst	Conflict Minerals	Verbotene Stoffe
Entfernung von Urproduktion	Baugruppe fertig zum Einbau in ein Fahrzeug	Baugruppe aus urgeformten, maßgeschneiderten Produkten aufgebaut	Urgeformtes, maßgeschneidertes Produkt (Spritzgußteil, Leiterplatte, Blechbiegeteil)	Aus standardisiertem Rohmaterial erzeugtes Produkt ohne maßgeschneiderte Form (Stahlblech, Kupferdraht, Kunststoffgranulat)	Standardisiertes Produkt, eine Stufe über Urproduktion (Stahlbrammen, Kupferbarren, Raffinerieprodukt)
Zeitzone(n)risiko	selbe Zeitzone	+/- 1 bis 3 Stunden Zeitverschiebung	+/- 4 bis 6 Stunden Zeitverschiebung	+/- 7 bis 9 Stunden Zeitverschiebung	+/- 10 bis 12 Stunden Zeitverschiebung

Fallstudie: Direkt abgeleitete, variable Risikozahlen

Für initiale Risikozahlen, deren Zahlenwerte objektiv ermittelt werden können, wurden in der Firma MSBS Ermittlungsvorschriften definiert. Die Vorschriften wurden in einer Tabelle zusammengefasst und in einem Pilotprojekt angewandt. Ein Auszug aus der Gesamttabelle ist in Tab.23 dargestellt. Im Folgenden werden die fünf in Tab.23 zusammengefassten, initialen Risiko-KPIs erläutert:

- **Produktionsprozess:**

Zur Herstellung von Komponenten, Modulen und Systemen werden in der Lieferkette Serienproduktionslinien aufgebaut und durch den jeweiligen Kunden abgenommen. Für die Darstellung eines zuverlässigen Produktes werden robuste Herstellungs- und Prüfprozesse gefordert. Die Prozesse müssen auf Störungen von außen vorhersehbar und träge reagieren. Den mit der Prozesslenkung beauftragten Personen wird so ein ausreichender Reaktionszeitraum eingeräumt, um durch gezielten Eingriff die Langzeitprozessfähigkeit aufrecht zu erhalten. Je mehr kritische Parameter in einem Produktionsprozess auftreten, desto stärkere Interaktionen bestehen zwischen diesen Parametern und desto schwerer ist es, den Prozess in einem stabilen Operationsfenster zu halten. Deshalb wurde im Pilotprojekt die Anzahl der prozesskritischen Parameter als Risikozahl definiert. Die prozesskritischen Parameter sind im Produktlenkungsplan (Control Plan) festgeschrieben und können abgezählt werden.

- **Produktvalidierung:**

In einem Entwicklungsprojektterminplan nimmt die Produktvalidierung im Durchschnitt ein Drittel der Projektlaufzeit ein. Wenn es zu Ausfällen während der Testläufe kommt, müssen Korrekturmaßnahmen implementiert und validiert werden. Im schlimmsten Fall ist eine Wiederholung des gesamten Validierungstestlaufs durchzuführen. Im Falle von Batteriezellen erstreckt sich die Dauer der Produktvalidierung bis auf die doppelte Projektlaufzeit. Die Produktvalidierungsdauer stellt ein strategiegefährdendes Risiko dar. Die Dauer der gesamten, aus Design-Verification- und Product-Validation-Testing bestehenden Produktvalidierung in Wochen wurde daher als Risikozahl angesetzt. Die Zeiträume im Entwicklungsterminplan wurden empirisch von Produkten mit vergleichbaren Technologien in vergangenen Entwicklungsprojekten abgeleitet. Es bestand die Möglichkeit, die Risikozahl basierend auf der Bauteilkomplexität zu modifizieren und damit einen Ausfall mit anschließender Korrekturmaßnahme und nachfolgender Re-Validierung zu simulieren. Die Vernetzung von Bauteilkomplexität und Re-Validierungsrisiko erfolgte im Risikoverdichtungsprozess.

- **Lieferzeit:**

In Entwicklungsprojekten treten in kritischen Projektphasen spontan erhöhte Bedarfe an Zukaufteilen auf. Die Zusatzbedarfe resultieren zu 80% aus nicht vorhergesehenen Ausschussraten im Produktionsprozess, aus einer Erhöhung der Anzahl der Prüflinge für Produktvalidierungen oder aus erhöhten Endkundenbedarfen. Im Pilotprojekt wurde die Wiederbeschaffungszeit des Kaufteiles in Wochen als Risikozahl festgelegt. Die Berechnung erfolgte als Summe aus der Bestellabwicklungszeit, der Produktherstellungszeit und der Transportzeit vom Lieferanten zum Kunden.

- Bauteil-Varietät:

Je komplexer eine Baugruppe ausgeführt ist, desto höher ist das Risiko, dass durch Versagen einer einzelnen Komponente die Funktion der Baugruppe beeinträchtigt wird oder zu deren Ausfall führt. Die Quadratwurzel aus der Anzahl der Komponenten erwies sich als aussagekräftige Risikozahl, da sich deren Dimension in die Risikozahlenlandschaft harmonisch einfügte. Im Falle von Baugruppen, die im Fehlerfall funktionskritische Situationen hervorrufen können, wurde die Berechnung der Bauteilvarietät verschärft. Die Risikozahl wurde für sicherheitskritische Stücklistenelemente als Produkt der Quadratwurzeln aus der Anzahl der Komponenten und der Anzahl der Schnittstellen errechnet.

Für eine funktionskritische elektronische Baugruppe eines „Tier n“ Lieferanten mit 100 Komponenten und 25 Schnittstellen ergab sich die Risikozahl 50.

Erfahrungen aus vergangenen Projekten veranlassten das Elektronik SE-Team, initiale Risikozahlen für Komponenten von Unterlieferanten zu berechnen, um potenzielle „stealth-components“ zu identifizieren.

Ein auf dieser elektronischen Baugruppe verbauter Mikrocontroller eines „Tier n-1“ Lieferanten mit 160 elektrischen Kontaktierungsflächen und 100 Schaltblöcken ergab eine Risikozahl von 400. Die auf den Mikrocontroller bezogene Risikozahl verdeutlichte ein in der Lieferkette tieferliegendes Risiko, das unter Anwendung des klassischen Automotiven Radars nur ungenügend beleuchtet worden wäre.

Tabelle 23: Beispiel für direkt abgeleitete, variable Risikozahlen

Risikoart	Risikozahl
Produktionsprozess	Anzahl der prozesskritischen Parameter
Produktvalidierung	Dauer der Produktvalidierung (DV- und PV Test) in Wochen
Korrekturmaßnahmen	Dauer einer Korrekturmaßnahme inklusive Validierung in Wochen
Lieferzeit	Wiederbeschaffungszeit in Wochen
Bauteil-Varietät	Wurzel aus der Anzahl der, in einer Baugruppe verbauten Komponenten

Fallstudien: Abgriff initialer Risikozahlen aus Risikomanagementinstrumenten

Die beiden folgenden Fallstudien illustrieren die Vorgehensweise für den Abgriff initialer Risikozahlen aus Risikomanagementinstrumenten, die als Insellösungen in funktionalen Einheiten der Gesamtorganisation zum Einsatz kommen.

- Risikozahlen aus der FMEA

Die FMEA liefert eine tabellarische Aufstellung der technischen, auf ein Produkt (Design-FMEA) oder auf Prozesse (Prozess-FMEA) bezogenen Risiken. Der Umfang einer FMEA ist zu groß um die gesamte Information ohne eine Informationstransformation darstellen zu können. Die Risiken werden in der Automobilbranche nach sinkender Risikoprioritätszahl geordnet, in einem Risiko-Pareto dargestellt und dem Entscheiderkreis präsentiert. Der maximale Zahlenwert einer Risikoprioritätszahl beträgt 1000. Die Risikokultur der Organisation definiert die Höhe der Risikoprioritätszahl, bei deren Überschreitung eine Risikobewältigungsmaßnahme ergriffen werden muss (Schwellenwert). Diese Vorgehensweise ist mit der Gefahr verbunden, sicherheitsrelevante Risiken nicht in den Risikobewältigungsprozess einzubinden, wenn diese Zahlenwerte unter dem festgelegten Schwellenwert liegen. Hat ein Risiko die Bedeutung „10“, handelt es sich dabei um ein sicherheitsrelevantes Risiko. Tritt dieses Risiko mit der Wahrscheinlichkeit „2“ und der Entdeckungsmöglichkeit „2“ auf, ergibt sich für die durch Multiplikation generierte Risikoprioritätszahl ein Wert von 40. Diese Risikozahl liegt signifikant unter einer konservativen Risikoschwelle mit dem Zahlenwert 100.

Zur Ermittlung der initialen Risikozahl aus der FMEA wurden in einem Pilotprojekt die FMEA-Ergebnisse für jedes identifizierte Risiko in ein Diagramm eingetragen. Die Abszisse des Diagramms entsprach den Zahlenwerten für die Auftretenswahrscheinlichkeit. Die Ordinate des Diagramms entsprach den Risikozahlen für die Bedeutung der Risiken. Das erhaltene Streudiagramm wurde in fünf Felder unterteilt (vgl. Abb.56).

Das erste Feld umfasste alle Risiken mit einer Bedeutung von 9 und 10, unabhängig von deren Auftretenswahrscheinlichkeit und wurde als „legal zone“ bezeichnet. Alle Risiken in diesem Feld mussten an die Projektleitung und die oberste Leitung kommuniziert werden, da diese sicherheitsrelevante Risiken darstellten. Die aus diesem Diagrammteil abgegriffene initiale Risikozahl hat den Wert 5.

Risiken mit einer Bedeutung von 5 bis 8 und einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 5 bis 10 waren Risiken, die bei deren Eintritt vom Endkunden des entwickelten Produktes bemerkt werden würden. Die Auswirkung wäre eine Verärgerung des Kunden, die zu Reklamationen geführt hätte. Dieses Feld wurde als „warranty zone – high likelihood“ bezeichnet. Die zugeordnete initiale Risikozahl lautete 4.

Lag die Auftretenswahrscheinlichkeit bei einer Bedeutung von 5 bis 8 und die Auftretenswahrscheinlichkeit unter 5, so wäre die Risikoauswirkung nur von kritischen Kunden bemerkt worden. Diesem als „warranty zone – low likelihood“ bezeichneten Feld wurde die initiale Risikozahl 3 zugeordnet.

Risiken mit einer Bedeutung von kleiner als 4 hätten zu Ineffizienzen innerhalb der eigenen Organisation geführt. Diese wären von externen Stakeholdern nicht wahrgenommen worden.

Die Unterteilung dieses Diagrammbereichs erfolgte in die beiden Felder „inhouse inefficiencies“ mit Risikozahl 2 und „no-brainers“ mit Risikozahl 1. Inhouse Inefficiencies umfassten Verlust an Entwicklungszeit und Zusatzkosten, die im Managementreview nicht detailliert aufgeschienen wären. No-brainers waren Risiken, die vernachlässigt werden konnten. Die Aufwände für Risikobewältigungsmaßnahmen an No-brainers hätten den Nutzen übersteigen.

Bedeutung	10	"Legal Zone" (5)									
	9										
	8	Warranty zone low likelihood (3)				"Warranty Zone" high likelihood (4)					
	7										
	6	no-brainers (1)				inhouse inefficiencies (2)					
	5										
	4	no-brainers (1)				inhouse inefficiencies (2)					
	3										
	2	no-brainers (1)				inhouse inefficiencies (2)					
	1										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Auftreten									

Abbildung 56: Abgriff initialer Risikozahlen aus der FMEA

Die initiale Risikozahl, die die gesamte FMEA repräsentierte, wurde durch eine Rechenoperation ermittelt. Die Anzahl der Punkte pro Feld wurde mit der dem Feld zugeordneten Risikozahl multipliziert. Nach Addition der Produkte wurde die Quadratwurzel gezogen. Eine komponentenspezifische Betrachtung der Werte für die Risikozahlen korrelierte mit den Werten für die Bauteilvarietät. Ein geringer Korrelationskoeffizient wies auf eine unsorgfältig durchgeführte FMEA hin.

- Risikozahlen aus einer Rohstoffrisikomatrix

Hochleistungs-Lithiumionenbatterien, Hochleistungs-Elektromagnete und die Batterie-Steuerelektronik sind an die Verfügbarkeit von Hochtechnologie-Rohstoffen gebunden. Beispiele für Hochtechnologierohstoffe sind Seltene Erden, Platingruppenelemente, Niob, Tantal, Veredler für hochlegierte Stähle, Kupfer, Gold und Lithium.

Lithiumionenbatterien als Energiespeicher und Hochleistungsmagnete in gewichtsreduzierten Elektromotoren sind Schlüsselkomponenten in der Automotiven Elektromobilität. In Lithiumionenbatterien kommen feste Lithiumverbindungen in Elektroden und Lithium-Leitsalze in Elektrolyten zum Einsatz. Die Seltenen Erden Samarium, Neodym und Dysprosium werden in Verbindung mit Übergangselementen zu Hochleistungsmagneten gesintert.

Die Verfügbarkeit dieser Rohstoffe stand auf dem Automotiven Radar der Einkaufsabteilung und wurde durch initiale Risikozahlen ausgedrückt.

Die Grundstoffindustrie hat ein Diagramm erstellt, in dem die wirtschaftliche Bedeutung von chemischen Elementen mit deren Versorgungsrisiko kombiniert wurde (vgl. Abb.57). Durch Überlagerung des Diagramms mit einem Risikogitter konnten den Materialien initiale Risikozahlen zugewiesen werden.

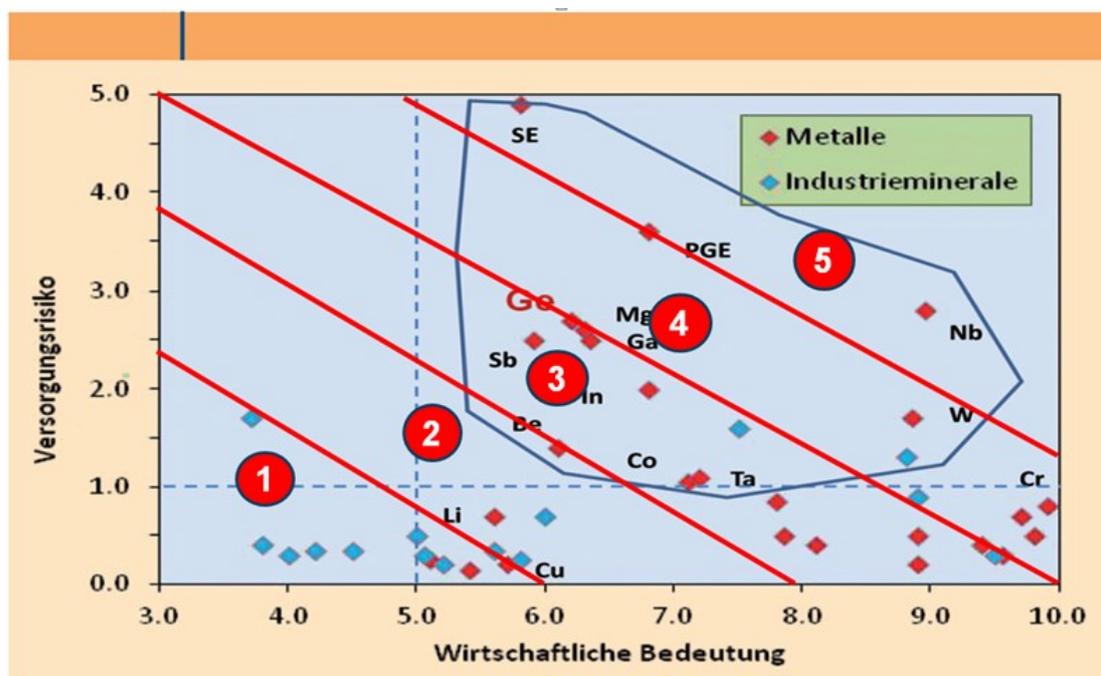


Abbildung 57: Abgriff initialer Risikozahlen aus einem Rohstoffrisikodiagramm¹⁶⁴

Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass zur Sicherstellung der Versorgung mit seltenen Erden (SE) strategische Maßnahmen getroffen werden mussten um Versorgungsengpässe zu vermeiden. Die Verfügbarkeit von Lithium wurde in Bezug auf das Versorgungsrisiko **ohne Betrachtung der Lieferzeit** mit der Risikozahl 2 bewertet und als unkritisch eingestuft.

5.4 Risikoverdichtung, Risikoaggregation und Risikobewältigung

Für einen risikobasierten Entwicklungsprojektmanagement-Ansatz wurden die initialen Risikozahlen in ein Balanced Risk Scorecard (PRIO-Tool bzw. Risikofilter) eingetragen. Die initialen Risikozahlen wurden den Risikoeignern in der Entwicklungsprojektorganisation zugewiesen. Danach erfolgte ein Risikoverdichtungsprozess in Abstimmung mit strategischen Zielen der Organisation. Aus dem Abstimmungsprozess resultierten Risikoziele. Die risikobasierte Entscheidungsfindung und die Verfolgung der Zielerreichung erfolgte in Projekt-Steuerkreisbesprechungen. Das PRIO-Tool wird auf Grund seiner Dimension nicht als Gesamtdarstellung angeführt (Lesbarkeit). Die Details des Risikoverdichtungsprozesses werden auf Grund ihrer Koppelung an die langfristige Firmenstrategie aus Gründen der Geheimhaltung (Wettbewerbsvorteil) nur erläutert, wenn dies zum Verständnis der Fallstudie erforderlich ist. Die nachfolgenden Fallstudien zeigen sowohl die Wirksamkeit einzelner Elemente des Vorgehensmodells als auch deren Kombination.

¹⁶⁴ Zit.: Melcher et al (2013), S. 34. Isolinien eingefügt von Hafellner, 2015

Fallstudie: Strategiegefährdende Risiken

Die Firma MSBS erhielt einen Entwicklungsauftrag für eine Hybridbatterie, welche in Nutzfahrzeugen und Bussen für den Personentransport in Ballungszentren in Europa und Asien zum Einsatz kommen sollte. Die im Lastenheft erhobenen Anforderungen an Sicherheit, Leistung, Lebensdauer und den Temperaturbereich im Umfeld der Endanwendung waren an Forderungen im Militärbereich angelehnt. Am Projektbeginn existierte weltweit keine Batteriezellentechnologie, die für den Einsatz im spezifizierten Umfeld geeignet war. Im Rahmen einer Batterietechnologie-Tagung in den USA wurde der Kontakt zwischen der Sparte „Innovative Systeme und Module“ der Firma MSBS und einem in Boston angesiedelten Spin-off des Massachusetts Institute of Technologies auf Entwicklerebene hergestellt. Das Spin-off verfügte über eine Batteriezellenchemie, die bereits in der Consumer-Industrie zum Einsatz kam. Durch Einsatz von Nanotechnologie konnten hohe Energiedichten mit konservativem Verhalten im Missbrauchsfall, akzeptablem Kaltstartverhalten und einer theoretischen Lebensdauer von größer als zehn Jahren verwirklicht werden. Ein durch die MSBS-Abteilung für Lieferanten-Qualitätssicherung (SQA) vor Ort durchgeführtes Audit nach Automotiven Richtlinien wurde nach vier Stunden wegen schwerer Abweichungen in ein Lieferantenreview zur Risikoermittlung umgewandelt. Die Gesamtbewertung des Audits erfolgte nicht in den branchenüblichen Ampelfarben Grün (Freigabe des Lieferanten als Entwicklungs- und Produktionspartner ohne Auflagen), Gelb (Bedingte Freigabe mit Auflagen) oder Rot (Gesperrter Lieferant), sondern wurde dem MSBS-Entwicklungsvorstand als „Grau“ kommuniziert. In der darauffolgenden Diskussion mit dem Vorstand wurde der Risikoaspekt sowohl im Sinne von „Bedrohung“ als auch im Sinne von „Chance“ kommentiert. Aus Sicht klassischer Automotiver Prozesse war es hoch riskant, mit diesem Lieferanten eine Geschäftsbeziehung einzugehen. Die Chance bestand darin, mit einer revolutionären Batteriezellentechnologie den Nutzfahrzeugmarkt für Lithiumionen-Hybridbatterien neu aufzurollen. Die technischen Anforderungen an Produkte für den Nutzfahrzeugmarkt liegen über den Anforderungen für PKW. Die nachweisliche Erfüllung von technischen Vorgaben aus dem Nutzfahrzeugmarkt ist hinsichtlich der Robustheit des Produktdesigns am PKW-Markt werbewirksam und stellt eine zusätzliche Chance dar. Im Einklang mit der Vision des Managements und der daraus abgeleiteten Strategie wurde beschlossen, den Lieferanten mit der Entwicklung einer auf die Endanwendung maßgeschneiderten Batteriezellen-Neuentwicklung zu beauftragen. Im Vertrag wurde der Lieferant dazu verpflichtet, unter Führung des Departments SQA einen risikobasierenden Entwicklungsprojektterminplan nach Automotiven Vorgaben zu erstellen. Die strategische Vorgabe des Managements war, bis zum SOP das Risiko so weit zu reduzieren, dass das verbleibende Risikoportfolio zu keinen durch den Endkunden wahrgenommenen Einschränkungen im regulären Fahrbetrieb führt. Die Batteriezelle und deren Peripherie wurden im Entwicklungsprojekt als Leuchtturmbauteile gehandhabt. Die Entwicklungsprojektlenkung basierte auf Restrisikoreviews. Die unter Verwendung der neuen Lithiumionen-Batteriezellentechnologie in MSBS entwickelte Batterie (vgl. Abb.58) setzte Maßstäbe im Bereich von Automotiven Heavy-Duty-Hybrid-Batterien und ermöglichte die Akquisition von vier Folgeaufträgen in einem Portfolio von drei OEMs. Die Batterien befinden sich u.a. erfolgreich in den roten City-Bussen im Stadtzentrum von London im Einsatz.



Abbildung 58: Heavy-Duty Lithiumionen-Hybridbatterie

Die durch MSBS gelenkten Aktivitäten zum Aufbau Automotiver Strukturen, Denk- und Entscheidungsweisen in der Organisation des Lieferanten machten diesen zum ersten Batteriezellenhersteller, der in Nordamerika nach ISO/TS16949 zertifiziert wurde. Damit wurde dem Lieferanten im Gegenzug für den Zugriff auf seine Schlüsseltechnologie der offizielle Eintritt in die Automotive-Branche ermöglicht.

Fallstudie: Leuchtturmbauteil Batteriezelle - Rohstoffversorgung mit Lithiumcarbonat

Das Element Lithium kommt in der Elektromobilität in Lithiumionen-Zellen in Form von zwei Schlüsselmaterialien zum Einsatz:

- Der Elektrolyt der Lithiumionenzellen besteht u.a. aus anorganischen Lithiumsalzen oder chemisch verwandten Verbindungen, in welchen die Lithium-Ionen als Redox-Shuttle für den Ladungsausgleich zwischen Anode und Kathode fungieren.
- Das Kathodenmaterial besteht aus festen, mineralischen Pulvern wie Lithiummanganspinell oder Lithiumeisenphosphat.

Das Lithium wird durch Eindampfen von lithiumreichen Restlösungen aus Salzseen (Salaren) gewonnen. Die weltweit größten Salare liegen in Südamerika. Nach dem Eindampfen der lithiumreichen Lösungen wird durch Aufbereitung der Schlämme pulverförmiges Lithiumkarbonat erzeugt. Die Umwandlung des Lithiumkarbonates in Elektrolyt und Kathodenpulver erfolgt in Ländern wie Vietnam, Japan oder Südkorea. Die weltweit führenden Hersteller für Lithiumionenbatteriezellen sind in Japan, China und Südkorea angesiedelt.

Die Lithiumionenzelle eines japanischen Herstellers (Tier 2) gelangte in der Firma MSBS in zwei Hybridbatterie-Entwicklungsprojekten für einen deutschen Premium-OEM zum Einsatz. Die Batteriezelle wurde im Stücklistenfilter als Leuchtturmbauteil deklariert und im PRIO-Tool

(Risikofilter) mit adäquater Aufmerksamkeit verfolgt. Aus Sicht der theoretischen Verfügbarkeit von Lithium (vgl. Abb.57) ohne Berücksichtigung der Wiederbeschaffungszeit handelt es sich bei Lithium um ein unkritisches Element (Risikozahl 2). Die Entfernung der Batteriezelle von der Urproduktion wurde mit der Risikozahl 5 bewertet (vgl. Tab.22). Bei der Risikozahl für die Lieferzeit handelte es sich um eine direkt abgeleitete, variable Risikozahl (vgl. Tab.23). Die Wiederbeschaffungszeit in Wochen wurde durch Aufsummieren der Zeiträume für alle sequentiellen Aktivitäten ab der Bestellung durch den Kunden ermittelt (vgl. Tab.24).

Tabelle 24: Wiederbeschaffungszeit für Lithiumionenzelle in Wochen

Wiederbeschaffungszeit Lithiumionen-Batteriezelle		
Vorgang	Ort	Wochen
Verarbeitung der Bestellung in der Supply Chain	Südamerika	2
Eindampfen der Li-Lösungen in Salaren	Südamerika	22
Lithiumkarbonat-Herstellung	Südamerika	4
Schiffstransport zu Kathodenpulver-Produzent	--	6
Kathodenpulver-Produktion (Synthese / Reinigung)	Asien	8
Schiffstransport zum Zell-Hersteller	--	2
Batteriezellen-Produktion	Asien	8
Versand der Zellen zum Batteriehersteller	Europa	8
	Summe	60

Ohne Beschleunigungsmaßnahmen seitens des Supply Chain Departments der Organisation betrug die Wiederbeschaffungszeit 60 Wochen. Die der Abteilung Logistik zugewiesene Risikozahl errechnete sich aus der Summe der theoretischen Verfügbarkeit, der Entfernung zur Urproduktion und der Lieferzeit. Die aggregierte Gesamtrisikozahl betrug demnach 67. Durch die Gewichtung der Lieferzeit im PRIO-Tool (Risikoverdichtung) ging die Batteriezelle als projektgefährdend in das Risikoportfolio des Entwicklungsprozesses ein. Im Risikoportfolio der Logistikabteilung befand sich die Lithiumionen-Zelle im Top 3 Pareto. Durch die schriftliche Vereinbarung eines Notfallplans mit temporärer Umstellung von Seefracht auf Luftfracht, das Anlegen eines strategischen Lagerbestandes beim Hersteller des Kathodenpulvers und durch einen Vorlauf an Lithiumionenzellen konnte die Risikozahl von 65 auf 38 gesenkt werden. Im Januar 2015 erhöhte der Kunde die Abrufe für Lithiumionen-Batterien um 800%. Durch die Bewertung im PRIO-Tool konnte auf das verdeckte Risiko an der Basis der Lieferkette frühzeitig und angemessen reagiert werden.

Fallstudie: Lieferantenrisiko, risikobasierte Produktfreigabe und Experteneinsatz

In der Automobilindustrie hat sich zur Bewertung des von einem Lieferanten ausgehenden Risikos die Potenzialanalyse nach VDA 6.3 etabliert. Sämtliche funktionalen Einheiten im

Organigramm eines Lieferanten werden damit hinsichtlich deren Eignung bewertet, Automotive Prozesse und Qualitätsanforderungen zu erfüllen. Die Potenzialanalyse wird sowohl von den OEMs auf Tier 1 Lieferanten, als auch von Tier 1 Lieferanten auf tiefer liegende Ebenen der Zulieferkette angewandt. Durch die Standardisierung der Auditfragen und eine vorgegebene Bewertung mit automatischer Datenverarbeitung sind die Ergebnisse objektiviert und zwischen den Partnern in der Lieferkette austauschbar. Die Einstufung des auditierten Lieferanten kann als grün (geeigneter Lieferant), gelb (Lieferant ist zu entwickeln) oder rot (Lieferant ungeeignet) erfolgen. Die Komplexität der Bauteile ist in den Bewertungskriterien der Potenzialanalyse unterrepräsentiert.

- Risikoermittlung und Risikoverdichtung

In der Abteilung Supplier Quality Assurance (SQA) der Firma MSBS wurden zur Ermittlung des Risiko-KPIs „Lieferantenfähigkeit“ die beiden initialen Risikoindikatoren „Einstufung nach VDA 6.3“ und „Bauteilkomplexität“ zu einer Risikozahl verdichtet. Die Verdichtung erfolgte in einer Risikomatrix (vgl. Abb.59). In der Matrix entspricht die Lieferanteneinstufung der Ampelfarbe aus der Potenzialanalyse. Die Bauteilkomplexität wird aus dem von der Qualitätsabteilung verwendeten Risikofilter (technisches Risiko) abgegriffen. Die Risikoverdichtung ergibt Risikozahlen zwischen 1 und 5. Diese wurden für alle Stücklistenelemente einer Hybridbatterie im PRIO-Tool erfasst.

		Bauteil RiFi/FMEA		
		G	Y	R
Lieferanten- Einstufung	G	1	2	3
	Y	2	3	4
	R	4	4	5

Abb.1: Risikomatrix. Die Risikozahl bestimmt die SQA-Aktivitäten im Projekt und mit den Lieferanten

		Component RiFi/FMEA		
		G	Y	R
Supplier Source Evaluation	G	1	2	3
	Y	2	3	4
	R	4	4	5

Fig. 1: Risk matrix: Activities in the project and with suppliers are determined by the risk number.

Abbildung 59: Matrix für die Ermittlung des Lieferantenrisikos¹⁶⁵

- Risikobewältigung und risikobasierter Experteneinsatz

Die Organisationsanweisung OA-SP-002 regelte die Vorgehensweise und die Prozesse zur risikobasierten Projektarbeit in der Abteilung SQA. Darin wurden abhängig von der verdichteten Risikozahl der Detaillierungsgrad der Produktfreigabedokumentation (Bemusterungs-

¹⁶⁵ Zit.: OA-SP-002 (2014), S.7

Vorlagestufe) und die Aufwände für die Lieferantenbetreuung festgesetzt (vgl. Tab.25). Für alle Risikozahlen unter 5 standen den Mitarbeitern der Abteilung SQA standardisierte Automotive Instrumente und Prozesse zur Verfügung. Die Aktivitäten mit dem Entwicklungspartner in Lieferantenposition wurden für jedes Stücklistenelement mit einer Risikozahl größer als 2 im komponentenspezifischen Entwicklungsterminplan hinterlegt.

Tabelle 25: Risikobasierte Lieferantenentwicklungs-Aktivitäten¹⁶⁶

Aktivität mit Entwicklungspartner	Risikoeinstufung aus Risikoverdichtungsprozess Bauteilkomplexität - Lieferantenfähigkeit				
	1	2	3	4	5
SE Team	nein	nein	ja	ja	Von den CEOs der Entwicklungspartner zu erarbeitender und schriftlich zu bestätigender Sonderablauf
Kickoff Meeting	nein	nein	nein	ja	
D-FMEA Review	nein	ja	ja	ja	
Prototypen Produktionslinien Review	nein	nein	nein	ja	
P-FMEA review	nein	ja	ja	ja	
Dokumenten-review	nein	nein	ja	ja	
Serienproduktionslinien Review	nein	nein	nein	ja	
PSO	nein	nein	ja	ja	
Bemusterungs Vorlagestufe	1	2	3	3	
Safe Launch Plan	nein	nein	nein	ja	
Betreuungsaufwand in Tagen pro Jahr	1	10	40	80	

Seitens SQA waren zwei Risikoaspekte an die Entwicklungsprojektleitung zu kommunizieren:

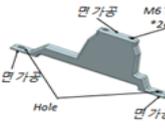
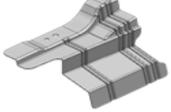
Für alle Lieferanten von Stücklistenelementen mit Risikozahl 5 waren individuelle Vereinbarungen zwischen dem CEO des Zulieferbetriebes und der obersten Leitung von MSBS zu vereinbaren und schriftlich zu bestätigen (strategiegefährdende Risiken). Die Risikozahl 5 entsprach dem Ergebnis aus dem Stücklistenfilterprozess (Filterstufe 5). Durch den Risikoverdichtungsprozess konnte im Projekt Stella 1 die richtige Einstufung der Stücklistenelemente im Stücklistenfilterprozess nachgewiesen werden.

Der zweite Risikoaspekt mit projektgefährdendem Charakter resultierte aus der Verfügbarkeit personeller Ressourcen in der Abteilung SQA. In Tab.25 ist der zu planende Betreuungsaufwand in Mann-Tagen pro Jahr abhängig von der Risikozahl dargestellt. Die Aufwände wurden aus vorangegangenen Projekten empirisch ermittelt. Die Summe der

¹⁶⁶ Vgl. Janosch (2011), S.86

individuellen Betreuungsaufwände über die Gesamtstückliste ergab einen Personalbedarf von 3,4 Mitarbeitern für die Lieferantenbetreuung im Projekt Stella 1 (vgl. Tab.26).

Tabelle 26: Risikobezogene Lieferantenbetreuungsaktivitäten

NO	PART NAME	3D Drawing	Unit	SupplierOA SP-002					
				Component Complexity	Supplier Potential VDA6.3	Risk number	SQA resources days/year	PPAP Level	supplier on-site visit
2	BOLT-M6L14_FLANGE		EA			1	1	1	n
3	Bus bar connection		EA			3	40	2	y
6	PCB ASSY-BSM		EA			4	80	3	y
ausgeblendet									
9	Sensor_Temp_Coolant		EA			2	10	2	n
ausgeblendet									
10	Secondary Fuse(60A)		EA			2	10	2	n
ausgeblendet									
18	Block module connection		EA			3	40	2	y
ausgeblendet									
21	Housing-Lower		EA			4	80	3	y
ausgeblendet									
35	Body Mounting Bracket		EA			4	80	3	y
36	Ventilation Body		EA			2	40	2	y
Risk Based Supplier Quality Assurance: SQA Manning (days per year)								3,4	

Die Verfolgung des KPIs für das Lieferantenrisiko über die Projektlaufzeit zeigte auf Projektleiterebene im PRIO-Tool eine konstante Reduktion des Risikoportfolios. Auf Abteilungsleiterenebene waren die KPIs der Zulieferteile mit Entwicklungsaufwand durch Fluktuation gekennzeichnet. Das Lieferantenrisiko für dasselbe Kaufteil wechselte die Position in der Risikomatrix (vgl. Abb.59) sowohl in horizontaler als auch vertikaler Richtung. Die Ursachen für die Fluktuation lagen in Entscheidungen zur Lieferantenauswahl und in Design-Änderungen des Kaufteiles.

Wurde ein Lieferant für ein mittel komplexes Kaufteil (Einstufung „Gelb“) mit VDA 6.3 Status „Grün“ beauftragt, ergab sich laut Abb.59 eine verdichtete Risikozahl von 2. Die Organisationsanweisung OA-SP-002 definierte ein SQA Personaleinsatz im Umfang von 10 Manntagen pro Jahr. In mehreren Fällen nahm der Einkauf die Chance zur Reduktion des Einkaufspreises durch Nominierung eines weniger entwickelten, nach VDA 6.3 als gelb eingestuften Lieferanten wahr. Die Einstufung des Lieferanten erhöhte die verdichtete Risikozahl von 2 auf 3. Der für die Lieferantenbetreuung zu planende Personaleinsatz erhöhte sich dadurch von 10 auf 40 Manntage pro Jahr. Der zusätzliche Personalaufwand wurde dem Einsparungspotenzial gegenübergestellt und im Komitee, das über die Lieferantenauswahl entschied, diskutiert.

Im Falle der Nominierung des gelb eingestuften Lieferanten als Serienlieferant erfolgte zur Risikobewältigung eine Fokussierung des SE-Teams auf das Produktdesign. Das Entwicklungsziel war, zusätzliche Aktivitäten zur Reduktion des Bauteilrisikos zu initiieren. Da das technische Bauteilrisiko von dessen Komplexität abhängt, wurden in einer Designschleife De-Materialisierung, Substitution und „Denovation“ zur Komplexitätsreduktion eingesetzt. Konnte das Bauteilrisiko von komplex (gelb) auf niedrig komplex (grün) gesenkt werden, wurde das Lieferantenrisiko auf die ursprüngliche Bewertung mit Risikozahl 2 und einem Experteneinsatz von 10 Manntagen pro Jahr zurückgeführt. Die Reduktion der Bauteilkomplexität generierte zusätzliche Kosteneinsparungen durch Synergieeffekte im Entwicklungsprojekt.

- Abteilungsspezifische Synergien aus dem risikobasierten Projektmanagementansatz

Eine aus dem PRIO-Tool abgeleitete Darstellung der projektspezifischen Bauteilportfolios in Form einer bebilderten Gesamtstückliste (vgl. Tab.26) erwies sich als ideales, abteilungsspezifisches Steuerungsinstrument. Die Möglichkeit zur Planung der Gesamtpersonalaufwände in der Abteilung (SQA) bildete die Basis für einen mit dem Linienvorgesetzten abgestimmten risikobasierten SQA-Einsatz. Im Falle der Erhöhung einer Risikozahl wurde der zusätzliche SQA-Personalbedarf in einem Projekt unmittelbar aufgezeigt. Die Verringerung einer Risikozahl signalisierte das Freiwerden von verfügbaren SQA-Ressourcen. Die verfügbaren Ressourcen konnten mit einer holistischen Betrachtungsweise der SQA-Projektlandschaft durch den Linienvorgesetzten (Abteilungsleiter) gezielt in und zwischen den Entwicklungsprojekten verschoben werden.

Die Aufteilung der Kaufteile auf die Mitarbeiter der Abteilung SQA erfolgte durch Abgleich des KPIs „Lieferantenrisiko“ mit deren Kompetenzprofilen und Erfahrungen. Während der Einschulungsphase arbeiteten neue Mitarbeiter ausschließlich mit Bauteilen und Baugruppen

der Komplexitätsstufe 1 und 2. Nach dem Nachweis ihrer Fähigkeiten konnten die Mitarbeiter mit der Betreuung von mehr risikobehafteten Kaufteilen beauftragt werden.

Fallstudie: Versorgungsrisiko Elektronik

Elektronische Steuergeräte für Zellspannungsmessung, Batteriemanagement und andere intelligente Mess- und Regelsysteme einer Lithiumionenbatterie bestehen aus 40 bis 120 verschiedenen elektronischen Bauteiltypen.

Die Verfügbarkeit von elektronischen Standardbauteilen auf dem Weltmarkt ist durch das Endgeräte-Portfolio und den Marktimpact von elektronischen Consumer-Produkten gesteuert.

Der von Massenproduzenten für elektronische Bauteile als Nischenmarkt deklarierte Anwendungsbereich „Elektromobilität“ bedeutet für maßgeschneiderte Komponenten, dass auf Grund geringerer Stückzahlen keine Priorisierung auf diesen Bauteilen liegt. Lieferzeiten für maßgeschneiderte Bauteile orientieren sich an der Verfügbarkeit von Produktions-Slots in den Serienproduktionslinien für Bauteile mit hoher Stückzahl. Die den Nischenprodukten eingeräumten Produktionszeiträume liegen zwischen den Produktionszeiten der Hauptkomponenten.

Das Supply Chain Department führte im Projekt Stella 2 im Abstand von zwei Wochen Analysen durch, in welchen Lieferzeit und verfügbare Ersatztypen von elektronischen Bauteilen ermittelt wurden. Zur Ableitung von Risikozahlen wurde eine Risikomatrix etabliert (vgl. Tab.27)

Tabelle 27: Beispiel für Risikoverdichtung Bauteilbeschaffung

Lieferzeit in Wochen	über 12	5	5	4	3
	8 bis 12	5	4	4	3
	4 bis 8	5	4	3	2
	1 bis 4	4	3	2	1
		0	1	2	3
		Verfügbare Ersatztypen			

Die Zeilen der Matrix entsprachen der Lieferzeit der Bauteile in Wochen. Die Spalten entsprachen den verfügbaren Ersatztypen, die in der elektronischen Baugruppe verbaut werden konnten, ohne deren Funktionen einzuschränken. Die aus der Matrix abgeleiteten Risikozahlen definierten in einer Organisationsanweisung die Maßnahmen zur Risikobewältigung in der Abteilung.

Folgende Maßnahmen wurden zur Risikominderung ergriffen:

- Dual Source Strategie
- Aufbau strategischer Lagerbestände
- Einwirken auf die Elektronikentwicklung
 - De-Materialisierung (weniger Bauteile)
 - Substitution (weniger Bauteiltypen)
 - Denovation (Darstellung einer Funktion nicht durch maßgeschneiderten Bauteil sondern durch Kombination mehrerer Standardbauteile)

Die klassischen Ansätze Dual Source Strategie und der Aufbau von strategischen Lagerbeständen erhöhten die Verwaltungsaufwände und beeinflussten KPIs im klassischen Balanced Scorecard (Cash Flow und Lagerumschlagszahl).

Das Einwirken auf die Elektronikentwicklung erwies sich als kosteneffizient. Durch De-Materialisierung, Substitution und Denovation konnte die Anzahl der verwendeten Bauteiltypen von 36 auf 31 reduziert werden. Die Folgen waren die Reduktion des Verwaltungsaufwandes für Bestellung und Freigabe der Bauteile, die De-Materialisierung des Lagerbestandes und die Verringerung der Rüstzeiten an den Bestückautomaten. Die Leiterplatte wurde zusätzlich von doppelseitiger auf einseitige Bestückung mit Bauteilen umgestellt. Als Synergieeffekt reduzierte sich der technische Risiko-KPI für die Elektronik um 4,5 %.

Fallstudie: Risiken auf operativer Ebene

In einem Entwicklungsprojekt der Firma MSBS verfügte ein Lieferant für ein komplexes Modul einer Hybridbatterie über ein globales Netzwerk an Entwicklungs- und Produktionsstandorten. Dieselbe Konstellation führte in einem bereits abgeschlossenen Entwicklungsprojekt zu signifikanten Mehraufwänden für das Ausräumen von sprachlich und kulturell bedingten Missverständnissen. Der Entwicklungsprojektleiter musste während einer kritischen Projektphase als Mediator zur De-Eskalation auftreten. Die Lessons Learned Datenbank wies auf die Problematik eines global-interkulturellen Projektteams hin. Die Risiken wurden hinsichtlich deren Auswirkung auf die strategischen Ziele der Organisation bewertet. Zur Bewältigung der Risiken standen der Abteilung Personalentwicklung standardisierte Instrumente zur Verfügung. Die Risiken wären früh erkannt worden, hätten die strategischen Ziele nicht signifikant beeinflusst, sondern nur Mehraufwände verursacht. Zur Bestimmung des KPIs für interkulturelle Risiken im Balanced Risk Scorecard wurden deshalb vier Risiken zu einer Risikozahl verdichtet. Die Verdichtung erfolgte durch Anwendung eines Nomogramms (vgl. Abb.60), in dem die vier Risikozahlen

- Zeitverschiebung des am weitesten entfernten Lieferantenstandorts zum Kundenstandort in westliche Richtung
- Zeitverschiebung des am weitesten entfernten Lieferantenstandorts zum Kundenstandort in östliche Richtung
- Anzahl der Kulturkreise
- Anzahl der Projektsprachen

eingetragen wurden. Die Fläche des Nomogramms wurde in Felder aufgeteilt, die Risikozahlen repräsentierten. Die sich im Nomogramm gegenüberliegenden Einzelrisiken wurden mit Linien verbunden. Die Risikozahl des Feldes, in dem sich der Schnittpunkt der Linien befand, wurde in das PRIO-Tool übertragen.

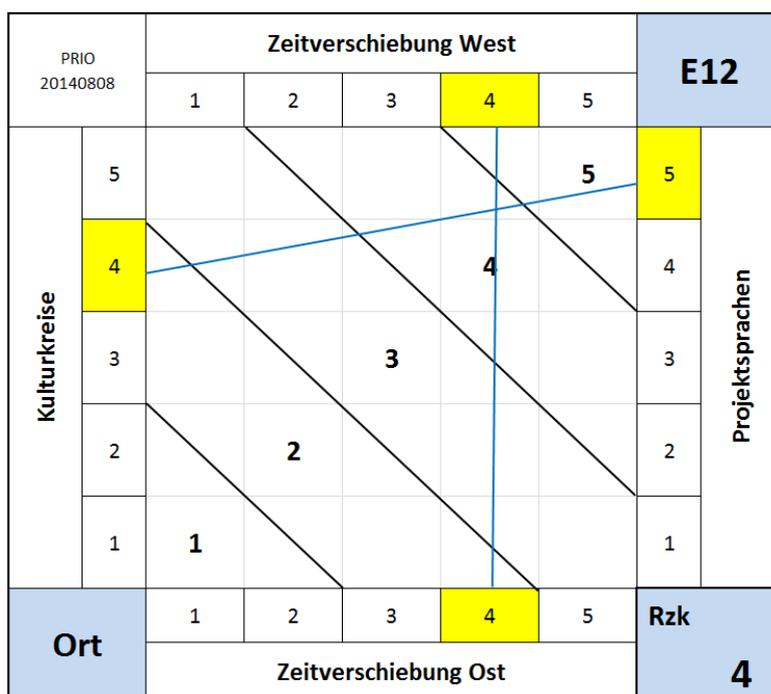


Abbildung 60: Nomogramm „Kulturelle und geografische Risiken“

Die geplante Einigung auf drei Projektsprachen (Deutsch, Englisch, Chinesisch) hätte die Gesamt-Risikozahl nicht beeinflusst. Eine Konzentration aller Entwicklungspartner in Europa stellte sich als nicht durchführbar heraus. Da die Risikozahl nicht beeinflussbar war, musste das SE-Team die Entscheidung zur Risikoakzeptanz treffen. Diese Risikobewältigungsentscheidung wurde mit der Risikozahl 5 belegt (vgl. Tab.22). Dadurch blieb der interkulturelle Aspekt während der Produktentwicklung im Fokus des SE-Teams. Zur Verbesserung der Kommunikation erhielten Schlüsselpersonen im Entwicklungsteam eine Schulung für „Coaching virtueller Teams“ und interkulturelle Trainings.

Conclusio aus den Fallstudien

Die Anwendung eines risikobasierten Ansatzes für das Management Automotiver Entwicklungsprojekte wurde von Lieferanten und Kunden ohne Ausnahme positiv bewertet.

Die im generischen Managementmodell der Firma MSBS integrierten Instrumente des Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement wurden im Jahr 2015 ohne Abweichung nach ISO/TS 16949 zertifiziert.

Neue Mitarbeiter bezeichneten das Vorgehensmodell als logisch, leicht verständlich und einfach nachvollziehbar.

Der befürchtete Widerstand langjähriger Mitarbeiter gegen die Anwendung eines neuen Vorgehensmodells war unbegründet. Führungskräfte und Schlüsselpersonen in der

Organisation zeigten reges Interesse an den Grundgedanken und Instrumenten des neuen Vorgehensmodells.

Die Anwendung der Instrumente des Vorgehensmodells auf allen hierarchischen Ebenen der Organisation und in unterschiedlichen Fachbereichen führte zu einer deutlich wahrnehmbaren Veränderung der Risikokultur in Entwicklungsprojekten.

Die zahlenorientierte Entscheidungsfindung (Risiko-KPIs) unter Anwendung von Stücklistenfilter, Risikofilter und Balanced Risk Scorecard wurde mit „mehr Sicherheit durch Sachlichkeit“ kommentiert.

Die Anwendung von De-Materialisierung, Substitution und Denovation führte im technischen Bereich zu robusteren Designs und Prozessen. Die Anwendung auf das generische Managementmodell bewirkte eine signifikante Reduktion des Dokumentenumfangs mit daraus resultierender Reduktion der Bürokratie.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der in der Elektromobilität von der Automobilindustrie angewandte, klassische, nach dem Stage Gate Prinzip aufgebaute, standardisierte Produktentwicklungsprozess ist in einem hoch innovativen Umfeld mit asymmetrischem Wettbewerb und aggressiven zeitlichen Zielvorgaben überholt. Ein Beharren auf der klassischen Einteilung eines Elektromobilen Entwicklungsprojekts in hardware reifebezogene Musterphasen führt im realen Projektgeschehen zu einem Überfahren von Reifegradmeilensteinen. Die dadurch verursachte Überlappung der sequentiell auszuführenden Schlüsselaktivitäten im Produktentstehungsprozess bildet den Anfang einer Ereigniskette, die Projektziele signifikant gefährdet. Das finale Ergebnis kann die Auslieferung von nicht serientauglichen Fahrzeugen an den Endkunden bedeuten. Das klassische Automotive Entwicklungsprojektmanagement kollabiert. Um Entwicklungsprojekte in der Elektromobilität in einem hoch dynamischen Umfeld ins Ziel zu bringen, muss ein neuer, adäquater Projektmanagementansatz angewandt werden. Dafür müssen die Ziele aller involvierten Stake- und Shareholder ermittelt werden und in die neuen Projektmanagementinstrumente einfließen. Trotz verkürzter Zeiträume zur Erstellung und Validierung der entwickelten Produkte muss deren Zuverlässigkeit im Feld gewährleistet sein. Gleichzeitig muss für alle interessierten Parteien eine Wertsteigerung nachgewiesen werden, die das nachhaltige Überleben der Entwicklungspartner im globalen Automotiven Netzwerk gewährleistet. Die Basis des neuen Ansatzes ist die Substitution des klassischen durch ein risikobasiertes Vorgehensmodell für das Management eines Entwicklungsprojekts.

Dazu müssen die Auswirkungen von Projektrisiken auf die strategischen Ziele der Organisation, die mit der Entwicklung eines Produkts beauftragt wurde, ermittelt, bewertet und bewältigt werden. Die Reduktion der Komplexität der zu entwickelten Produkte bei gleichzeitiger Reduktion der Komplexität der Entwicklungsprozesse ist Voraussetzung für ein effizientes

risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement. Zur Entscheidungsfindung müssen Projektrisiken holistisch betrachtet, gewichtet, verdichtet und übersichtlich dargestellt werden. Dazu muss das Vorgehensmodell in generische Managementmodelle integrierbar sein. Die Risiken müssen den an der Entwicklung beteiligten, hierarchischen Ebenen der Organisation in Form von Kennzahlen vorliegen, die als Steuergrößen für eine risikobasierte Entscheidungsfindung dienen.

Die Einführung eines neuen Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement erfordert einen Bruch mit etablierten Automotiven Prozessen. Ein bewusstes Eingehen von Wagnissen und die Betrachtung von Risiko als Chance erfordert ein Umdenken in dem durch technisches Risikomanagement geprägten Automotiven Umfeld. Dafür können nachweislich effektive Vorgehensmodelle aus nicht Automotiven Branchen entlehnt und an die Bedürfnisse im Automotiven Entwicklungsprojektmanagement angepasst werden. In der Finanzwirtschaft sind effektive Risikomanagementinstrumente im Einsatz, die auf das Wertsteigerungspotenzial beim Eingehen finanzieller Wagnisse ausgerichtet sind. Die Gedanken und Instrumente finanzwirtschaftlicher Risikomanagement-Vorgehensmodelle können ohne signifikante Modifikationen mit generischen Vorgehensmodellen der Realwirtschaft verschmolzen werden.

Das Vorgehensmodell für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement entspricht bereits der in den neuesten Qualitätsmanagement-Regelwerken zur Zertifizierung von Organisationen gestellten Forderung nach der Implementierung risikobasierten Denkens.

Der Ersatz des klassischen Vorgehensmodells für die Produktentwicklung durch ein risikobasiertes Vorgehensmodell begünstigt die Entstehung einer Risikokultur, in der technische Risikospekulationen zu lebensbedrohlichen Situationen führen können. Deshalb sollten Kontrollmechanismen etabliert werden, die für alle Entwicklungspartner im globalen Automotive Netzwerk verpflichtend anzuwenden sind. Die Kontrollmechanismen müssen primär dazu im Stande sein, Gefahren für Leib, Leben und Umwelt aus Risikospekulationen aufzeigen und abwehren zu können.

Die zunehmende Anzahl unabhängiger Normen und Standards, die Risikomanagement und risikobasiertes Denken als Zusatzforderung enthalten werden die Komplexität des Risikomanagementprozesses erhöhen. Für Klein- und Mittelbetriebe wird diese Komplexität nicht mehr handhabbar sein. Es wird erforderlich sein, diese Regelwerke zu vereinfachen und in ein holistisches Risikomanagementmodell zu integrieren. In diesem holistischen Modell müssen die zur Risikoermittlung, Risikoverdichtung, Risikoaggregation und risikobasierten Entscheidungsfindung angewandten Instrumente standardisiert werden ohne dass diese ihre Flexibilität verlieren. Die Standardisierung von branchenspezifischen Bewertungskriterien (Risikozahlen) und das Festlegen von Schwellenwerten und Handlungsanweisungen sind für einen Risikovergleich zur Unternehmensbewertung erforderlich. Mögliche Vorgehensweisen sind in den Fallstudien demonstriert.

Durch Anwendung des neuen Vorgehensmodells für risikobasiertes Entwicklungsprojektmanagement in streng geregelten Branchen können Organisationen signifikante Wertsteigerungen in einem dynamischen Umfeld erzielen.

7 Literaturverzeichnis

ANDRESON, D.M. (2014): Design for Manufacturability: How to Use Concurrent Engineering to Rapidly Develop Low-Cost, High-Quality Products for Lean Production. <http://www.design4manufacturability.com>, Zugriff 02.12.2015

APQP (2008): Advanced Product Quality Planning (APQP) and Control Plan. Reference Manual, Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation, Second Edition, July 2008

ASHBY, W.R. (1956): An Introduction to Cybernetics. Verlag Chapman & Hall, 1956

BAUMGARTNER, R.J., BIEDERMANN, H., KLÜGL, F., SCHNEEBERGER, T., STROHMEIER, G., ZIELOWSKI, C. (2006): Generic Management. Unternehmensführung in einem komplexen und dynamischen Umfeld. Deutscher Universitätsverlag, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2006

BENCEK, D.; KLODT, H.; RICKELS, W. (2012): Vorratslager für Seltene Erden: Eine Aufgabe für die Wirtschaftspolitik?. www.wirtschaftsdienst.eu/archiv/jahr/2011/3/vorratslager-fuer-seltene-erden/, Zugriff am 12.11.2012

BERTALANFFY, L. (1948): Zu einer allgemeinen Systemlehre. *Biologia Generalis* Bd 195, S.114-129. MIT Press/Wiley&Sons New York/Cambridge, 1948

BIEDERMANN, H. (2015): MBA Generic Management. Generic Management Philosophie. Department Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Montanuniversität Leoben. <http://mba.unileoben.ac.at/de/3973/>, Zugriff am 12.12.2015

BLEICHER, K. (1991): Organisation. Strategien – Strukturen – Kulturen, 2. vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 1991

BLEICHER, K. (2004): Das Konzept Integrierten Managements. Visionen-Missionen-Programme. Campus Verlag, Frankfurt /New York, 2004

BLEICHER, K. (2011): Das Konzept Integriertes Management. Visionen-Missionen-Programme. St. Gallener Managementkonzept. 8. Auflage, Campus Verlag Frankfurt /New York. 2011

BMVIT (2015): Faktenblatt Gesamtverkehrsplan Österreich. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/gvp/faktenblaetter/umwelt/fb_strasse_schiene_netz.pdf, Zugriff am 01.12.2014

BREYFOGLE, F.W. (2003): Implementing Six Sigma. Second Edition, Verlag John Wiley and Sons, New Jersey, 2003

BROCKHAUS (2014): Brockhaus online-Lexikon. www.brockhaus.de/enzyklopaedie. Zugriff am 16.07.2014

- BWL WISSEN (2016): Elektronisches Wörterbuch zum Thema Wirtschafts- und Betriebswissenschaften. <http://www.bwl-wissen.net/definition/management>, Zugriff am 15.02.2016
- CARVALHO, M., NIREI, M. SAITO, Y.U. (2014): Supply Chain Disruptions: Evidence from the Great East Japan Earthquake. RIETI Discussion Paper Series 14-E-035. The Research Institute for Economy, Trade and Industry, June 2014.
- CHINA RoHS (2006): Chinese Government Regulation SJ/T 11363-2006: Requirements for Concentration Limits for Certain Hazardous Substances in Electronic Information Products, 2006. Elektronisches Dokument in MSBS Datenbank. Zugriff am 16.11.2014
- COOPER, R. G. (2014): What's Next? After Stage-Gate. Research Technology Management, Vol. 57, No. 1, pp 20–31., 2014
- COP (2012): Protokoll der UNFCCC Konferenz zu Klimaschutz COP18/CPM8, 26. Nov.-07. Dez. 2012. Zusammenfassung auf Home Page des Deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/un-klimakonferenzen/ergebnisse-der-un-klimakonferenzen/>. Zugriff am 01.12.2015
- COSO (2004): Enterprise Risk Management – Integrated Framework. Executive Summary Framework. The Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission. http://www.coso.org/documents/coso_erm_executivesummary.pdf, Zugriff am 12.03.2014
- DAS WIRTSCHAFTSLEXIKON, (2016): elektronisches Wirtschaftslexikon, <http://www.daswirtschaftslexikon.com/>, Zugriff am 11.02.2016
- DIETRICH, E.; SCHULZE, A. (1996): Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation, 2. Auflage, Carl Hauser Verlag, München 1996
- DIN ISO 9001:2015 (2015): Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin 2015
- DIN ISO/TS 16949:2009 (2009): Technische Spezifikation: Qualitätsmanagementsysteme. Besondere Anforderungen bei Anwendung von ISO 9001:2008 für die Serien- und Ersatzteil-Produktion in der Automobilindustrie. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin 2009
- DIN ISO 19011:2011 (2011): Leitfaden zur Auditierung von Managementsystemen. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin 2011
- DIN ISO 31000:2009 (2009): Risikomanagement – Allgemeine Anleitung zu den Grundsätzen und zur Implementierung eines Risikomanagements. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin 2009
- DIN ISO 50001:2011 (2011): Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin 2011
- DOMSCHKE, W.; SCHOLL, A. (2008): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Springer Verlag, Berlin 2008

- EG 715 (2007): Verordnung EG715/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=URISERV:l28186> . Zugriff am 01.12.2015
- EHRMANN, H., OLFERT, K. (Hrsg.) (2012): Risikomanagement in Unternehmen. Kompakt-Training Praktische Betriebswirtschaft. NWB Verlag, Kiehl, 2012
- EINSPINNER, H. (1937): Flüge über Österreich. Leykam-Verlag, Graz 1937
- ENGEL, F. (1981): Entscheidungsorientierte Finanzierung, W. Kohlhammer Verlag GmbH, Stuttgart 1981
- FALKENBURG, B.; MUSCHNIK, W. (Hrsg.) (1998): Models, Theories and Disunity in Physics. IN: Philosophia Naturalis, 35, Heft 1., 1998
- FMEA (2008): Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation, Fourth Edition, June 2008
- GAL, T., GEHRING, H. (1981): Betriebswirtschaftliche Planungs- und Entscheidungstechniken. Verlag De Gruyter, Berlin – New York, 1981
- GABLER, (2015) Wirtschaftslexikon. Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Risikomanagement, online im Internet: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/7669/risikomanagement-v10.html>, Zugriff 29.11.2015 bis 12.02.2016
- MUL MBA (2015): MBA Generic Management - Generic Management Philosophie. Department für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Montanuniversität Leoben. MU-online, <http://mba.unileoben.ac.at/de/3973/>, Zugriff 31.10.2015
- HEINEN, E. (1991): Industriebetriebslehre als entscheidungsorientierte Unternehmensführung. In: HEINEN, E. (Hrsg.) Industriebetriebslehre. Entscheidungen im Industriebetrieb, 9. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 1991
- HOMBURG, C. (1998): Quantitative Betriebswirtschaftslehre, Gabler Verlag, Wiesbaden 1998
- HOMBURG, C. (2000): Quantitative Betriebswirtschaftslehre, Gabler Verlag, Wiesbaden 2000
- JAENSCH, M., HEDENETZ, B., CONRATH, D. (2010): Transfer von Prozessen des Software-Produktlinien Engineering in die Elektrik/Elektronik-Architekturentwicklung von Fahrzeugen. 8. Workshop Software Engineering. Karlsruher Institut für Technologie. 30.09.2010
- JANOSCH, D. (2011): The Supplier Quality Assurance Tool Kit with Focus on Innovative Systems, Master Thesis, Institute of Production Science and Management and Institute of Industrial Management and Innovation Research, TU Graz, 2011
- KAEDING, G. (2009): Produktlinien im Automobilbereich. Seminararbeit „Automotive Konzepte und Techniken“. FB Informatik der Universität Kobenz-Landau, SS 2009
- KRIWET, A. et al. (1995): Systematic Integration of Design-for-Recycling into Product Design. In: International Journal for Production Economics, Vol. 38, S. 15-22.

- KEMMIS, S. (2007): Action Research as a Practice-changing Practice. Opening Address for the Spanish Collaborative Action research Network (CARN) Conference, University of Valladolid, Oct 18-20, 2007
- LAUX, H. et al. (2012): Entscheidungstheorie. Springer Lehrbuch, 29. Springer Verlag Berlin Heidelberg 2012
- LUHMANN, N. (2001): Systemtheorie: Zusammenfassung von NEHRKORN, S. 122. Veranstaltung der Humboldt-Gesellschaft am 19.08.2001. www.humboldtgesellschaft.de/inhalt.php?name=luhmann#E, Zugriff am 14.04.2014
- LUHMANN, N., BAECKER, D. (Hrsg.)(2004): Einführung in die Systemtheorie, 2. Auflage. Carl-Auer-Systeme-Verlag, Heidelberg 2004
- MAGNA STEYR Group Standard G10250-1 (2010): Magna Steyr Development Systems (MSDS), Revision 1. Elektronisches Dokument, elektronisches generisches Managementsystem, Magna Steyr Battery Systems. Mehrfache Zugriffe im Zeitraum 2010-2014
- MAGNA STEYR Standard N85065 (2010): Qualitätsforderungen an Lieferanten von Produktionsmaterial, Revision 04. Elektronisches Dokument, elektronisches generisches Managementsystem, Magna Steyr Battery Systems. Mehrfache Zugriffe im Zeitraum 2010-2014
- MAGNA STEYR Standard N10039 (2007): Process Sign Off (PSO). Elektronisches Dokument, elektronisches generisches Managementsystem, Magna Steyr Battery Systems. Mehrfache Zugriffe im Zeitraum 2010-2014
- MAGNA STEYR Standard N85042 (2010): Besondere Merkmale – Special Characteristics. Elektronisches Dokument, elektronisches generisches Managementsystem, Magna Steyr Battery Systems. Mehrfache Zugriffe im Zeitraum 2010-2014
- MAGNA STEYR Standard N85192 (2009): Produktionslenkungsplan – Control Plan. Elektronisches Dokument, elektronisches generisches Managementsystem, Magna Steyr Battery Systems. Mehrfache Zugriffe im Zeitraum 2010-2014
- MAGNA STEYR Standard N85062 (2007): Production Process and Production Part Approval - Produktionsprozess- und Produktfreigabe. Elektronisches Dokument, elektronisches generisches Managementsystem, Magna Steyr Battery Systems. Mehrfache Zugriffe im Zeitraum 2010-2014
- Mc LAUGHLIN, P. (2001): What Functions Explain. Functional Explanation and Self Reproducing Systems. Cambridge University Press, Cambridge 2001
- MEIS, J-F. (2011): Simultaneous Engineering in der frühen Phase. IBW-Newsletter Jahrgang 19/3. Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München, München 2011
- MENGES, G. (1974): Grundmodelle wirtschaftlicher Entscheidungen. Einführung in moderne Entscheidungstheorien, 2. Auflage, Westdeutscher verlag GmbH, Düsseldorf 1974
- MELCHER, F.; WILKEN, H. (2013): Die Verfügbarkeit von Hochtechnologierohstoffen. Chemie in unserer Zeit 2013/47. Wiley VCH Verlag GmbH & Co KG, Weinheim 2013

- MORIEUX, Y. (2011): Kontrolle ist gut, Vertrauen besser. Schwerpunkt Komplexität. Harvard Business Manager 11/2011
- MÜLLNER, T. (2015): Systematische Analyse eines Plug-in-Hybrid-Electric-Vehicle-(PHEV)Entwicklungsprojektes. Masterarbeit am Department für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben, Juni 2015
- MSA (2010): Measurement System Analysis. Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation, Fourth Edition, June 2010.
- NAGEL, E. (1961): The Structure of Science. Problems in the Logics of Explanations. Routledge & Kegan Paul Ltd., London 1961
- OA-SP-002 (2014): Magna Steyr Battery Systems Organisationsanweisung „Lieferantenmanagement“, Revision 12. Elektronisches Dokument, elektronisches generisches Managementsystem, Magna Steyr Battery Systems. Mehrere Zugriffe im Zeitraum 2014-2016
- ON 49002-1 (2010): Risikonmanagement für Organisationen und Systeme – Leitfaden für die Einbettung des Risikomanagements ins Managementsystem. Austrian Standards, Wien 2014
- OICA (2015): Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles. www.oica.net. Zugriff 09.12.2015
- ONPULSON (2015): Wirtschaftslexikon. <http://www.onpulsion.de/lexikon/entscheidungstheorie/>, Zugriff am 10.02.2016
- PINNELS, J.R. ; PINNELLS, E. (2007): Risikomanagement in Projketen. Internationale Wagnisse identifizieren und minimieren. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, 1. Auflage, Wiesbaden 2007
- POPPER, K.R. (1998): Logik der Forschung. Tübingen 8. verb. u. verm. Aufl. 1984; vgl. dazu Alan E. Musgrave: Explanation, Description and Scientific Realism. In: Herbert Keuth, (Hg.): Logik der Forschung. Akademie Verlag Berlin 1998
- PPAP (2006): Production Part Approval Process (PPAP), Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation, Fourth Edition, March 2006
- QUEST TRENDMAGAZIN (2015): Update 15. Juni 2015. <http://www.quest-trendmagazin.de/automobilindustrie/internationalisierung/internationalisierung-der-automobilproduktion.html>, Zugriff am 09.12.2015
- RABITSCH, B., MUSSNIG, W. (2008): Balanced Chance- and Risk-Management. VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft &Co KG, Saarbrücken; 2008
- ROBERT, K.H. et al. (2002): Strategic sustainable development – selection, design and synergies of applied tools. In: Journal of Cleaner Production, Vol. 10, S 197-214.
- ROMMELFANGER, H., EICKEMEIER, S. (2002): Entscheidungstheorie. Klassische Konzepte und Fuzzy Erweiterungen. Springer Verlag, Berlin Heidelberg; 2002
- RÜEGG-STÜRM, J (2015): Das neue St. Gallener Managementmodell. FHS St.Gallen. https://www1.fhsg.ch/fhs.nsf/files/ifu_StU_Publikationen_Betriebswirtschaft%20f%C3%BCr%20F%C3%BChrungskr%C3%A4fte_Lehrmaterialien_Kapitel%201_Das%20neue%20St.Galler%20

Management-Modell/\$FILE/Das%20neue%20St.Galler%20Management-Modell.pdf, Zugriff am 13.02.2016

SCHNEEBERGER, T. (2014): Generic Management. Vorlesungsskriptum zur Lehrveranstaltung Generic Management, Institut für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Montanuniversität Leoben. Elektronische Quelle, Leoben, 2014

SCHNEIDER, R. A., RIECK, K. (2012): Komplexität in der Automobilindustrie am Beispiel Baukastenstrategie. GI-Jahrestagung. 2012. Elektronisches Dokument veröffentlicht in: <http://subs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings208/863.pdf>. Zugriff am 01.12.2015

SCHWENK, J. (2014): Safe Launch – Wie Projekte ins Ziel kommen. Beschaffung Aktuell, Magazin für Strategischen Einkauf, Materialwirtschaft und Logistik, Konradin Mediengruppe, Heft 12/2014

SEIBERT, S. (2006): Technisches Management. Innovationsmanagement – Qualitätsmanagement – Projektmanagement. Teubner Verlag, 2006

SORGE, N.V. (2015): Elektroauto-Europakarte. Manager Magazin Newsletter, 15.06.2015. <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/anteil-elektroautos-in-europaeischen-laendern-a-1038880.html>, Zugriff am 01.12.2015

STANDARDS NEW ZEALAND (2015): Standards New Zealand, Private Bag 2439, Wellington 6140, digitales Verzeichnis Australisch-Neuseeländischer Standards, <http://www.standards.co.nz>, Zugriff am 30.11.2015

STACHOWIAK, H. (1973): Allgemeine Modelltheorie. Verlag Springer, Wien 1973

STACHOWIAK, H. (1980): Der Modellbegriff in der Erkenntnistheorie, in: Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie, Jahrgang 11, Nr. 1, 1980, S.53-68

STATISTA (2015): Deutsches Statistik-Portal, Statista GmbH, 20335 Hamburg, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/160479/umfrage/umsatz-der-deutschen-automobilindustrie/>, Zugriff am 01.12.2015

STROHMEIER, G. (2007): Ganzheitliches Risikomanagement in Industriebetrieben, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2007

UBS (2012): United Bank of Scotland ETF Fond Rare Earth Elements. Investor Information March 23rd, 2012. Publiziert in: <http://institut-seltene-erden.org/investieren-in-fonds-der-seltenen-erden>, März 2012. Zugriff am 16.02.2015

ULRICH, H. (1968): Die Unternehmung als produktives soziales System. Haupt Verlag, Bern 1968

ULRICH, H. (1972): Das St. Gallener Management-Modell. Haupt Verlag, Bern 1972

ULRICH, H. (2001): Systemorientiertes Management. Haupt Verlag, Bern 2001

VALENTINI, H., LICHTENECKER, G., STRASSER, T., WIEDNER, A., HAFELLNER, M. (2007): Allgemeines Komponentenlastenheft. Magna E-Car Systems Standard MM-05. Elektronisches Dokument, elektronisches generisches Managementsystem, Magna E-Car Systems, Zugriff am 12.02.2014

VDA Band 1 (2008): Dokumentation und Archivierung: Leitfaden zur Dokumentation und Archivierung von Qualitätsforderungen. Verband der Automobilindustrie. 3. Auflage, 2008

VDA Band 2 (2012): Sicherung der Qualität von Lieferungen: Produktionsprozess- und Produktfreigabe (PPF), Verband der Automobilindustrie. Gelbband, 2012

VDA Band 4 (2012): Sicherung der Qualität in der Prozeßlandschaft, Kapitel 3, Produkt und Prozess-FMEA, zweite überarbeitete Auflage 2006, aktualisiert 2012. Verband der Automobilindustrie, 2012

VDA Band 4, Teil 3 (1998): Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz – Projektplanung, Verband der Automobilindustrie, 1. Auflage, 1998

VDA Einlage für Ringbuch (2011): Design for Six Sigma. Verband der Automobilindustrie. 1. Auflage, Dezember 2011

VDA Band 5 (2011): Prüfprozesseignung, Eignung von Messsystemen, Mess- und Prüfprozessen, Erweiterte Messunsicherheit, Konformitätsbewertung. Verband der Automobilindustrie, 2. vollständige überarbeitete Auflage 2010, aktualisiert 2011

VDA Band 14 (2008): Präventive QM Methoden in der Prozesslandschaft, Verband der Automobilindustrie, 1. Auflage, Mai 2008

VDA Gelbband (2010): Besondere Produktmerkmale. Verband der Automobilindustrie, Gelbband. Erstauflage 2010

VESTER, F. (2001): Die Kunst vernetzt zu denken. Deutsche Verlags Anstalt, 7. Auflage, Stuttgart 2001