Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

Forschungsinstitut für Unternehmensführung, Produktion und Logistik

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **481 ZBG**

Reifegradbasiertes QM in F&E für disruptive Technologien am Beispiel E-Mobility

Ein Konzept zur Bewertung und Ableitung methodengestützter Handlungsempfehlungen

(Bewilligungszeitraum: 01.05.2013 - 30.11.2014)

der AiF-Forschungsvereinigung

Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)

München, 30.11.2014	Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Horst Wildemann
Ort, Datum	Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s) an der/den Forschungsstelle(n)
Cottbus, 30.11.2014	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Specht
Ort, Datum	Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s) an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 481 ZGB der Forschungsvereinigung Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Autoren



Horst Wildemann

Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult.

Forschungsinstitut Unternehmens-
führung, Logistik und Produktion
Technische Universität München



Dieter Specht

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.

Institut für Produktionswirtschaft
Brandenburgische Technische
Universität Cottbus-Senftenberg

Mitarbeiter



Kiryo Abraham

M. Sc., Dipl.-Betriebswirt

Technische Universität München



Axel Brunn

Dipl.-Kfm.

Technische Universität München



Angela Hahn

Dipl.-Kffr.

Brandenburgische Technische
Universität Cottbus-Senftenberg



Mandy Hermann

M.Sc.

Brandenburgische Technische
Universität Cottbus-Senftenberg



Dominik Jauß

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH)

Technische Universität München



Moritz Seidenader

M.Sc.

Technische Universität München



Hendrik Thyssen

Dipl.-Wirt.-Ing.

Technische Universität München



Stefan Zetzmann

M.B.A.

Technische Universität München

Vorwort

Die Elektromobilität ist von großer politischer Bedeutung, da sie als Schlüssel zur klimafreundlichen Umgestaltung der Mobilität angesehen wird. Den hohen Kundenanforderungen bei den primären Produkteigenschaften kann die Elektroautoindustrie nur bedingt gerecht werden. Die Batterie-, Antriebs- und Leichtbautechnologie sind dabei drei Schlüsseltechnologien in der Elektromobilität. Die Wahl der Batterietechnologie hat entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Elektroautos. Die Antriebstechnologie beschränkt sich nicht allein auf die Antriebsquelle, sondern befasst sich auch mit der Versorgung der Maschine mit Energie sowie der Ansteuerung verschiedener Antriebselemente. Leichtbau ist ein Konstruktionsprinzip, welches Gewicht bzw. Masse von technischen Produkten reduziert. Kosten und Qualität und Zeit stehen vor allem bei solch neuen Technologien stets in enger Beziehung zueinander. Das Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie ist auf die evolutionäre Technologieentwicklung von Verbrennungsmotoren ausgelegt, bietet aber keine Handlungsempfehlung für die Gegebenheiten disruptiver Technologien. Die Elektromobilität und deren neue Technologien werden als disruptive Technologie angesehen und bringen große Veränderungen mit sich, wodurch auch qualitätsrelevante Themen beeinflusst werden. Diese potentiellen Einflussquellen lassen sich entlang der Prozesskette ver-

schiedenen Gestaltungsfeldern zuordnen. Die Gestaltungsfelder bilden den entscheidenden Ansatzpunkt, um den Einfluss disruptiver Technologien auf die Qualität auch weiterhin zu bewerten. Aufgrund der neuartigen Herausforderungen durch die Elektromobilität sind die Implikationen auf das Qualitätsmanagement und die Notwendigkeit neuer, angepasster Qualitätssicherungsansätze zu präzisieren. Diese begründen sich aus den erhöhten technischen und finanziellen Risiken, der Erfordernis von Flexibilitätskorridoren, der Abkehr von klassischen Produktentwicklungsprozessen und -strukturen sowie der Inexistenz von Produkt- und Prozessstandards. Die bestehenden Reifegradmodelle zur Qualitätssicherung sind der gesteigerten Komplexität und der Neuartigkeit der Technologien sowie der Wertschöpfungsstrukturen, -prozesse und -akteure in der Elektromobilität nicht gewachsen. Vorhandene Reifegradmesskonzepte bewerten etablierte, konventionelle und in weiten Teilen standardisierte Technologien, Produkte und Prozesse. Die Qualitätssicherung der Forschung und Entwicklung in der Elektromobilität lässt sich daher innerhalb dieser Modelle nicht abbilden. Daher ist mittels einer Reifegradbewertung in der Produktentwicklung der Einsatz der Elektromobilität zu bewerten. Das Forschungsvorhaben trägt mit der Entwicklung eines anforderungsgerechten Reifegradmodells zur Qualitätssicherung in der Forschung und Entwicklung der Elektromobilität zur Behebung die-

ser theoretischen und praktischen Defizite bei. Die grundlegende Struktur dieses Modells wird durch die Gestaltungsfelder Entwicklungsnetzwerke, Wissensmanagement, Organisation und Prozesse, Kundenorientierung, Technologiemanagement und Risikomanagement fundiert. Das entwickelte Reifegradmesskonzept wird, um die Praktikabilität und Anwendungsfreundlichkeit zu erhöhen in einem IT-Tool abgebildet und ist öffentlich zugänglich.

Durch einen engen Schulterschluss zwischen Forschung und Praxis konnten neben wissenschaftlichen Erkenntnissen auch konkrete Methoden für die Praxis gewonnen werden. Für die produktiven und aufschlussreichen Diskussionen, Beiträge und Anregungen bedanke ich mich bei allen Experten aus Theorie und Praxis. Der projektbegleitende Ausschuss bestand aus den Unternehmen Alfred Kärcher GmbH, BMW AG, Bosig Baukunststoffe GmbH, Bundesverband eMobilität e.V., Continental AG, Daimler AG, DGH Group, Ebm-papst St. Georgen GmbH & Co. KG, EvoBus GmbH, Fischer Automotive Systems GmbH & Co. KG, HOERBIGER Antriebstechnik Holding GmbH, Innovative Mobility Automotive GmbH, Insero e-mobility AG, Neues Zahnradwerk Leipzig GmbH, Robert Bosch GmbH, SGL Carbon AG, Siemens AG, TNS Infratest GmbH, Volkswagen AG, W.L. Gore & Associates GmbH und ZF Friedrichshafen.

Das Forschungsprojekt wurde von der Mitgliedsvereinigung Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), vertreten durch den Verein zur Förderung der Energie- und Umwelttechnik e. V. unter der Vorhabennummer 481 ZBG gefördert. Für die Unterstützung der Forschungsarbeit und die sehr gute Zusammenarbeit bedanken wir uns vielmals.

Unserer Dank gilt Herrn MSc, Dipl.-Betriebswirt (FH) Kiryo Abraham, M.B.A. Stefan Zetzmann, Dipl.-Wirt.-Ing. Hendrik Thyssen, Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Dominik Jauß, Dipl.-Kfm. Axel Brunn, M.Sc. Moritz Seidenader, Dipl.-Kffr. Angela Hahn und M.Sc. Mandy Hermann für die Unterstützung bei der Forschungsarbeit und für die Erstellung des Berichts.

München und Cottbus, 1. Dezember 2014

Dieter Specht Horst Wildemann

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 1
Inhaltsverzeichnis 5
0 Zusammenfassung der Ergebnisse 8
1 Einleitung 11
1.1 Behandlung der Problemstellung in der Literatur 15
1.2 Empirische Basis der Untersuchung 24
1.3 Forschungsdesign 52
2 Entwicklung von Technologien in der Elektromobilität 61
2.1 Eigenschaften der Technologien der Elektromobilität 62
2.2 Klassifizierung der Technologien 86
2.3 Disruptive Technologien in der Elektromobilität 92
2.4 Träger des technologischen Fortschritts in der Elektromobilität 99
2.5 Entwicklungsnetzwerke in der Elektromobilität 104
3 Produktentstehungsprozess in der Elektromobilität 135
3.1 Struktur und Herausforderungen des Produktentwicklungsprozesses 136
3.2 Leitlinien zur Produktentwicklung 155
4 Reifegradorientiertes Messkonzept zur Qualitätssicherung 161
4.1 Reifegradorientierung in der Systemgestaltung 163
4.2 Anforderungen an ein reifegradorientiertes Messkonzept zur Qualitätssicherung 175

4.3 Konzeptionierung eines reifegradorientierten Messkonzepts zur Qualitätssicherung 182
5 Gestaltung eines Reifegradmodells zur Qualitätssicherung 195
5.1 Gestaltungsfelder 195
5.1.1 Entwicklungsnetzwerke 196
5.1.2 Wissensmanagement 212
5.1.3 Organisation und Prozesse 222
5.1.4 Kundenorientierung 235
5.1.5 Technologiemanagement 251
5.1.6 Risikomanagement 269
5.2 Ausprägungen der Gestaltungsfelder 284
5.3 Methodenempfehlungen zur Steigerung des Reifegrades 289
5.3.1 Grundlagenforschung 293
5.3.2 Vorentwicklung 323
5.3.3 Konzeptentwicklung 335
5.3.4 Serienentwicklung 340
5.3.5 Phasenübergreifend 345
5.4 Exemplarische Fallstudien 372
5.5 Lessons Learned 400
6 IT-Tool 406
6.1 Zielsetzung des IT-Tools 406
6.2 Aufbau und Nutzung des IT-Tools 408
6.2.1 Bewertungs- und Nutzerverwaltung 410

6.2.2 Vorgehensweise der Bewertung 413
6.2.3 Auswertung der Risikoprofile 414
6.2.4 Benchmarking 416
6.2.5 Handlungsempfehlungen 418
6.2.6 Bewertungsdownload 420
7 Literaturverzeichnis 421
8 Anhang 456
Abbildungsverzeichnis 456
Beschreibung des Tools CMMDPD 461
Stichwortverzeichnis 468

0 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Forschungsvorhaben wurde ein reifegradbasiertes Messkonzept für das Qualitätsmanagement in der Forschung und Entwicklung disruptiver Technologien am Beispiel der Elektromobilität erarbeitet. Es wurde nachgewiesen, dass bestehende Ansätze des Qualitätsmanagements den Herausforderungen der Elektromobilität auf Grund ihrer Ausrichtung an konventionellen Technologien und Prozessen nur bedingt standhalten. Die Anwendung eines reifegradbasierten Messkonzepts für das Qualitätsmanagement in der Forschung und Entwicklung ermöglicht es, die Implikationen der Elektromobilität zu beherrschen. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens lassen sich zu folgenden Aussagen zusammenfassen:

- Die Herausforderungen der Forschung und Entwicklung in der Elektromobilität ergeben sich aus sprunghaften Veränderungen in den Dimensionen der Technologie, des Marktes sowie der Organisation und des Umfeldes der Wertschöpfung. Diese Veränderungen bedingen die Notwendigkeit der Anpassung und Vereinbarung bestehender sowie die Entwicklung neuer Qualitätsstandards, -kriterien und -messkonzepte.
- Die Anpassung und Vereinbarung bestehender sowie die Entwicklung neuer Qualitätsstandards, -kriterien und

-messkonzepte für die Forschung und Entwicklung in der Elektromobilität hat mit Fokus auf die Technologien der Batterie, des Antriebsstranges und des Leichtbaus zu erfolgen. Diese bilden die erfolgskritischen Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und sind entscheidend für die Markt- und Wettbewerbsfähigkeit der Elektromobilität.

- Bestehende reifegradorientierte Messkonzepte zur Qualitätssicherung in der Forschung und Entwicklung werden den Herausforderungen des Technologiesprungs hin zur Elektromobilität nicht gerecht und weisen nur eine bedingte Anpassungsfähigkeit auf. Ihre Anwendbarkeit beschränkt sich auf die Reifegradbewertung konventioneller Technologien und Prozesse mit einer hohen Reife sowie einem hohen Standardisierungsgrad.
- Ein reifegradorientiertes Messkonzept zur Qualitätssicherung in der Forschung und Entwicklung der Elektromobilität erlaubt eine Bewertung in den Gestaltungsfeldern der Entwicklungsnetzwerke, des Wissensmanagements, der Organisation und Prozesse, der Kundenorientierung sowie des Technologie- und Risikomanagements. Die Bewertungsbereiche und -kriterien in diesen Gestaltungsfeldern werden den veränderten Rahmenbedingungen durch den Wandel zu Elektromobilität gerecht und berücksichtigen die qualitäts- und erfolgskritischen Messpunkte und -bereiche.

- Methodenempfehlungen auf Basis der Bewertung durch ein reifegradorientiertes Messkonzept zur Qualitätssicherung erlauben die Realisierung eines höheren Reifegrades in der Forschung und Entwicklung der Elektromobilität durch die Generierung konkreter Handlungsempfehlungen.
- Die Operationalisierung des reifegradbasierten Messkonzepts in einem IT-Tool ermöglicht es die Ergebnisse der Modellbildung direkt zu nutzen. Das IT-Tool trägt zukünftig zur systematischen Reifegradbewertung sowie Reifegradoptimierung in der Qualitätssicherung der Forschung und Entwicklung bei und gewährleistet damit den Transfer der Forschungsergebnisse in die Praxis.

Zum Transfer der Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden Workshops mit zahlreichen Unternehmen durchgeführt. Zudem wurden die Forschungsergebnisse online über Newsletter veröffentlicht. Außerdem erfolgte die Vorstellung und Diskussion der Inhalte und Ergebnisse des Forschungsprojekts auf Kolloquien und Expertengesprächen. Das IT-Tool steht interessierten Unternehmen im Internet unter folgender Webadresse zur Verfügung:

https://tools.bwl.wi.tum.de/CMMDPD/

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

1 Einleitung

Die Elektromobilität gilt insbesondere vor dem Hintergrund zunehmender Ressourcenverknappung im Bereich fossiler Brennstoffe sowie wachsenden umwelt- und klimapolitischen Herausforderungen als Schlüsseltechnologie auf dem Weg zu einer energieeffizienten und damit nachhaltigen Mobilität. Zur Erreichung ihrer Klimaschutzziele strebt die Bundesregierung im Rahmen des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität an, bis zum Jahre 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutsche Straßen zu bringen und Deutschland zum Leitanbieter und -markt der Elektromobilität zu entwickeln (vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2011). Auch andere Nationen wie China und Japan erheben Anspruch auf die technologische Führung und setzen die wettbewerbsfähige Entwicklung der Elektromobilität sowie deren Förderung auf die politische Agenda (vgl. Klink 2012; Ministry of Economy, Trade and Industry 2006). Für Unternehmen am Automobilstandort Deutschland bietet sich mit der Elektromobilität und der damit verbundenen Abkehr vom Verbrennungsmotor die Chance, ihre Rolle als Innovations- und Technologieführer im internationalen Wettbewerb nicht nur zu behaupten, sondern vor allem auszubauen. Gleichzeitig stellt die Elektromobilität die Automobilindustrie vor große Herausforderungen. Durch den Wandel von der Mechatronik hin zur Elektronik, verlieren bisherige Kompetenzen

der Fahrzeughersteller und Zulieferunternehmen an Bedeutung. Entscheidende Kompetenzen innerhalb der Schlüsseltechnologien der Elektromobilität, liegen derzeit bei zum Teil branchenfremden Unternehmen. Diese sind Energiekonzerne oder Hersteller von Lithium-Ionen Batterien. Für Fahrzeughersteller und ihre Zulieferbetriebe gilt es, die Kompetenzdefizite bezüglich der Schlüsseltechnologien der Elektromobilität durch Kooperationen und Bildung von Netzwerken mit diesen vermeintlich branchenfremden Unternehmen zu schließen (vgl. Gnann/ Plötz 2011). Durch diese Kooperationen sowie die Integration, Implementierung und Realisierung branchenfremder Kompetenzen, Technologien und Prozesse, werden die Unternehmen der Automobilindustrie durch die Elektromobilität mit strategischen, operativen, organisatorischen und vor allem qualitativen Risiken konfrontiert (vgl. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO 2011). Speziell die operativen und somit auch qualitativen Risiken erschweren es Fahrzeugherstellern und Zulieferunternehmen den Technologiewechsel zu vollziehen. Vor allem weil das Erfahrungswissen bezüglich Elektrofahrzeugen gering ist und sich dadurch das Risiko von Fehlentwicklungen und imageschädlichen Rückrufaktionen erhöht, wird der Wechsel zum Elektrofahrzeug zögerlich forciert. Um vorhandene Wissenslücken zu schließen und notwendige Kompetenzen aufzubauen ist es unabdingbar, dass sowohl Fahrzeughersteller als

auch Zulieferunternehmen mit fachkundigen Unternehmen aus den relevanten Branchen zusammenarbeiten (vgl. Gnann/ Plötz 2011). Durch die Notwendigkeit der Integration branchenfremder Kompetenzen wird die Kooperationsbereitschaft im automobilen Umfeld durch die Elektromobilität noch weiter steigen (vgl. Valentine-Urbschat/ Bernhart 2009; Pilkington et al. 2002). Die Kooperation branchengleicher, branchenfremder und neugegründeter Unternehmen sowie Forschungsinstituten und Universitäten führt dazu, dass große Umfänge der Elektromobilität in Netzwerken realisiert werden. Die Herausforderung innerhalb dieser Netzwerke besteht darin, dass sowohl die branchenfremden als auch die neugegründeten Unternehmen als Teilnehmer dieser Netzwerke wenig Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit Automobilunternehmen besitzen und ihnen dadurch die automobilen Produkt- und Prozessstandards unbekannt sind (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2010; Valentine-Urbschat/ Bernhart 2009). Der Erfolg der Elektromobilität unterliegt jedoch einer starken Abhängigkeit der integrativen Vernetzung der dezentralen Kompetenzträger. Vor dem Hintergrund der unternehmensübergreifenden Verteilung von Entwicklungstätigkeiten sind neue Qualitätskonzepte zur Sicherstellung der Erfüllung automobiler Produkt- und Prozessstandards erforderlich (vgl. Kalmbach et al. 2011). Dies gilt insbesondere für die Entwicklung derjenigen Produktkomponenten,

deren Einsatz im automobilen Umfeld einen hohen Neuheitsgrad und damit einen innovativen Charakter aufweist. So ist das Bremssystem durch die Elektrifizierung komplett neu zu konzipieren (vgl. Seibt 2011). Aufgrund derartiger Innovationssprünge werden vorhandene Fahrzeugkomponenten und Konzepte des Qualitätsmanagements obsolet (vgl. Wildemann 2011, 2014k). Die etablierten Methoden und Konzepte des automobilen Qualitätsmanagements fokussieren die evolutionäre Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors (vgl. Bille et al. 2012). Vor dem Hintergrund des innovativen Charakters der Elektromobilität und der Spezifika ihrer kooperativen Entwicklung, sind die standardisierten Entwicklungsprozesse im automobilen Umfeld hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit zu prüfen, bedarfsgerecht anzupassen und durch neue Ansätze und Konzepte zu erweitern. Das Ziel insbesondere deutscher Automobilhersteller muss darin bestehen, trotz der Existenz und Beschreitung der mit der Elektromobilität einsetzenden neuen Technologiekurve, die etablierten Qualitätsstandards unter Anwendung angepasster Methoden und Konzepte zu erfüllen. Um vor diesem Hintergrund die Zielerreichung qualitativer Standards auf Produkt- und Prozessebene kontrollieren und zielgerichtet steuern zu können, kommen im Bereich des Qualitätsmanagements Reifegradmodelle zur Anwendung. Auf Basis definierter Messpunkte und -kriterien erlauben sie nicht nur die Ermittlung spezifischer Reifegrade der

Entwicklungsprozesse und -objekte, sondern auch die strukturierte Analyse und Optimierung einzelner Entwicklungstätigkeiten. Analog zu den Qualitätsstandards weisen jedoch auch die in der Automobilindustrie zur Anwendung kommenden Reifegradmodelle einen hohen Standardisierungsgrad bei gleichzeitiger Fokussierung auf die evolutionäre Weiterentwicklung etablierter Technologien auf. Es ist daher zu prüfen, inwiefern bestehende Reifegradmodelle des automobilen Qualitätsmanagements unter dem Einfluss der technologischen Spezifika der Elektromobilität anzupassen und neu zu konzipieren sind. Auch die Charakteristika ihrer kooperativen Entwicklung sind hierbei zu untersuchen und an den Untersuchungsgegenstand anzupassen. Ausgehend von dieser Fragestellung wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ein bedarfsgerechtes Messkonzept für das reifegradbasierte Qualitätsmanagement in der Forschung und Entwicklung der Elektromobilität und den relevanten Technologien entwickelt.

1.1 Behandlung der Problemstellung in der Literatur

Um die Technologien der Elektromobilität im frühen Stadium der Entwicklung hinsichtlich ihres Qualitätsreifegrades zu bewerten, sind sowohl die qualitätsrelevanten Bewertungskriterien als auch die Prozesse und Methoden des Qualitätsmanagement zu hinterfragen. Zur Konkretisierung der formulierten For-

schungslücke, werden ausgewählte Studien im Themenfeld der Elektromobilität hinsichtlich dieser Fragestellungen analysiert. Die Untersuchung einzelner Studien erfolgt nach den technologischen Clustern der Batterie, des Antriebs und des Leichtbaus, welche die Schlüsseltechnologien der Elektromobilität bilden (vgl. Hardman et al. 2013). Es gilt zu prüfen, inwieweit ausgewählte Studien qualitätsrelevante Fragestellungen nicht nur innerhalb des Gesamtkontextes der Elektromobilität, sondern insbesondere in Bezug auf diese drei Schlüsseltechnologien untersuchen. So wird in der Studie „Shell PKW Szenarien bis 2030“ die Entwicklung der Elektromobilität auf Basis von verschiedener Szenarien diskutiert (vgl. Shell Deutschland Oil GmbH 2009). Innerhalb des Alternativ- oder Nachhaltigkeitsszenarios „Automobilität im Wandel“, in welchem die Autoren von strengeren Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen im Bereich Verkehr sowie entsprechender umweltpolitischer Instrumente und Maßnahmen ausgehen, wird die Batterie- und Speichertechnologie als treibende Kraft der Evolution der Elektromobilität vom Nischen- zum Massenmarkt erkannt. Die Massenmarktfähigkeit von elektrisch betriebenen Automobilen wird dabei in den direkten Zusammenhang mit der Alltagstauglichkeit gebracht, welche sich durch qualitative Verbesserungen von Batterietechnik und Energiespeicherung als Befähiger steigern lässt. Herausforderungen und Handlungsempfehlungen zur Qualitätsverbesserung

und zum Qualitätsmanagement werden nicht analysiert. Darüber hinaus fehlt eine Betrachtung der übrigen Schlüsseltechnologien des Leichtbaus und des Antriebsstranges. BACKHAUS ET AL. (2010) vollziehen eine kostenorientierte Analyse der Elektromobilität sowie insbesondere der Batterietechnologie. Aspekte der Qualität und des Qualitätsmanagement in der Forschung und Entwicklung werden dagegen nicht untersucht. Innerhalb der Elektromobilitätsstudie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (2010) werden die Herausforderungen und Risiken der Elektromobilität mit besonderem Fokus auf die Industrie untersucht. Dabei wird die Elektromobilität als hochkomplexes Gesamtsystem für die involvierten Unternehmen charakterisiert, welches diese sowohl vor technische als auch strukturelle Herausforderungen in Bezug auf die Wertschöpfungskette und den Produktlebenszyklus stellt. Die Batterie wird auch hier als zentrale Schlüsseltechnologie der Elektromobilität identifiziert. Reichweite, Energie- und Leistungsdichte, Nutzungssicherheit sowie Zyklenbeständigkeit und Lebensdauer charakterisieren an dieser Stelle erfolgskritische Qualitäts- und Erfolgskriterien. Die Stellhebel werden in der Qualitätsverbesserung der Materialien und Komponenten sowie der Qualitätsoptimierung von Produktionsverfahren gesehen. Neben der Batterietechnologie werden die Technologien des Leichtbaus und des Antriebsstranges kaum betrachtet. Handlungsempfehlungen zur

Verbesserung der Qualität sind nicht Bestandteil der Studie. Zsilinszky et al. betrachten die Elektromobilität aus der Perspektive der beteiligten Länder. Es wird dabei aufgezeigt, dass Know-how bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen entscheidend ist. Qualitätsaspekte werden im Rahmen der Studie nicht betrachtet (vgl. Zsilinsky et al. 2011). Giffi et al. untersucht Kundenbedürfnisse innerhalb der Elektromobilität. Der Fokus liegt auf dem Antrieb und der Batterietechnologie. Der Leichtbau wird lediglich in Ansätzen berücksichtigt (vgl. Giffi et al. 2011). Die Gewährleistung der Qualitätsansprüche der Kunden wird durch die Reichweite der Fahrzeuge, die Aufladezeit, den Kauf- und Aufladepreis sowie die Energieeffizienz berücksichtigt. Das Qualitätsmanagement inklusive jeglicher Facetten, wird nicht berücksichtigt und die Reifegrade der eingesetzten Technologien werden nicht hinterfragt. Auch Heymann et al. (2011) identifizieren die Qualität der Batterietechnologie als höchste technische Hürde in der Entwicklung der Elektromobilität. Neben dem qualitativen Entwicklungsbedarf im Bereich der Leistungsdichte, der Lebensdauer, der Energiedichte und der Zyklusfestigkeit, wird die thermische Sicherheit als zentraler Qualitätsaspekt herausgestellt. Die Bestätigung der herrschenden Forschungslücke ist insoweit zu erkennen, als dass die große Herausforderung in der Erfüllung automobiler Qualitätsstandards und -prozesse gesehen wird. Diese Erfüllung erschwert sich zusätzlich durch die

Integration neuer Kooperations- und Netzwerkpartner in die automobile Wertschöpfungskette. Bewertungskriterien sowie Handlungsmethoden zur Verbesserung der Qualität und des Qualitätsmanagements in der Entwicklung der Elektromobilität und ihrer Komponenten werden nicht dargelegt. Auf die Qualitätsherausforderungen und Risiken bei Technologien des Antriebsstrangs und des Leichtbaus wird nicht eingegangen. Kaiser et al. untersuchen die Implikationen der Elektromobilität in den Bereichen Technik und Infrastruktur sowie hinsichtlich der sozio-ökonomischen und ökologischen Aspekte (vgl. Kaiser et al. 2011). Sie erörtern, dass die Elektromobilität nicht allein für die Hersteller und Zulieferer herausfordernd ist. Infrastrukturanbieter, Energieversorger, IT-Unternehmen bis zu jedem Einzelnen in der Gesellschaft, haben sich mit den Auswirkungen der Elektromobilität zu beschäftigen. Dies spiegelt sich an der Erwartungshaltung hinsichtlich Qualität, Komfort und Preis wider. Daher ist der Innovationsprozess mit seinen neuen Einflussfaktoren zu berücksichtigen und die Wissensstände der unterschiedlichen und neuen Anbieter effizient zu berücksichtigen. Es wird nicht beleuchtet, inwiefern die Entwicklung durch Reifegrade gemessen und vorangetrieben wird. Der dritte Forschungsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität betrachtet die Batterie, die Antriebstechnologie und den Leichtbau und somit alle drei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität als Leuchttürme

der Forschung und Entwicklung (vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2012). Im Bereich der Batterie werden die Themenfelder Materialentwicklung und Zelltechnologie, neuartige Batteriekonzepte, Sicherheits- und Testmethodik, Lebensdauermodellierung und -analytik sowie Prozesstechnologie fokussiert. Im Bereich der Antriebstechnologie werden die E-Maschine, die Leistungselektronik, Antriebssysteme sowie Fahrzeugintegration und Produktionstechnologie als Schwerpunkte gesetzt. Im Bereich des Leichtbaus liegt das Hauptaugenmerk auf der Qualitätsverbesserung in der Entwicklung von Leichtbauwerkstoffen und -strukturen, der Optimierung und Entwicklung von Komponenten sowie großserienfähiger Herstellungsprozesse. Während in übrigen Bereichen insbesondere die Kostenreduzierung und Effizienzsteigerung im Vordergrund steht, wird im Themenfeld der Produktionstechnik die Qualitätssicherung untersucht. Handlungsempfehlungen, Bewertungskriterien oder Methoden des Qualitätsmanagements fehlen darin. Pregger et al. beziehen wiederum lediglich die Batterietechnologie in ihre Untersuchung ein. Auf Grund des prognostizierten Entwicklungspotenzials konzentrieren sie sich in ihren Szenarien auf Lithium-Ionen-Batterien und lassen Technologien wie Natrium-Nickelchlorid sowie Nickelmetallhydrid unberücksichtigt (vgl. Pregger et al. 2012). Als Qualitätskriterien, welche die Entwicklung der Elektromobilität in den nächsten Jahren wesentlich beeinflussen wer-

den, identifizieren sie analog zu Heymann die Energiedichte, die Sicherheit sowie Lebensdauer der Materialien. Über diese Kriterien hinaus entwickeln sie Modelle zur Batterie- sowie zur Fahrzeugsimulation und stellen die Chancen, Risiken, Anreize und Interdependenzen der Kooperationsakteure der Elektromobilität dar. Ganzheitliche Methoden und Prozesse zum Qualitätsmanagement in Entwicklungsnetzwerken der Elektromobilität werden nicht aufgezeigt. PWC betrachtet die Zukunftsfähigkeit verschiedener Antriebstechnologien im Rahmen der Elektromobilität. Im Rahmen einer Befragung teilten 44 % der Befragten mit, dass dem Hybrid- und Plug-In-Hybridantrieb die besten Chancen für eine nachhaltige Marktetablierung zugesprochen werden. Dem reinen Elektroantrieb wird mit 13 % lediglich eine nachhaltige Marktetablierung zugetraut. Die Gründe für diese Einschätzung liegen in qualitativen, wissens- und risikobezogenen Aspekten. Die qualitativen Aspekte liegen in der geringen Reichweite begründet. Die wissens- und risikobezogenen Gesichtspunkte basieren auf fehlenden Kompetenzen respektive geringem Wissensstand über Technologien im Elektromobilitätsumfeld und der Vernetzung von neuen Anbietern im automobilen Umfeld. Die Einschätzung der Felder Qualitäts-, Wissens- und Risikomanagement erfolgt in der Studie lediglich in Ansätzen. Eine Reifegradbewertung erfolgt dabei nicht (vgl. PricewaterhouseCoopers 2012). Proff und Kilian untersuchen

anhand eines Wettbewerbsvergleichs der Elektrofahrzeuge in der EU den elektroautomobilen Markt. Hierbei werden auf die technologischen Alternativen in den jeweiligen Bereichen und Ländern eingegangen, eine qualitätsorientierte Betrachtung der Technologien erfolgt jedoch nicht. Zwar wird in der Analyse der Wartung und Reparatur von Elektrofahrzeugen eine ähnliche Bedeutung wie der Forschung und Entwicklung der Fahrzeuge zugemessen, eine Bewertung und Aufschlüsselung der relevanten Technologien innerhalb der Elektromobilität erfolgt ebenso, die Herausforderungen und Risikobereiche für das Qualitätsmanagement werden jedoch nicht abgeleitet (vgl. Proff/ Kilian 2012). Amarakoon et al. konzentrieren sich in ihrer Studie auf die Batterietechnologie, in dem sie eine Lebenszyklusanalyse für Lithium-Ionen-Batterien entwickeln. Ausgehend von der Charakterisierung der Batterie als disruptive Technologie im automobilen Umfeld, dient die Studie insbesondere der Generierung von Benchmarkdaten und –informationen für die Industrie (vgl. Amarakoon et al. 2013). Die Lebenszyklusanalyse beinhaltet die Phasen der Produktion und Fertigung, der Nutzung und des Recyclings. Zwangsläufig wird die Vorstufe der Forschung und Entwicklung nicht analysiert. Eine Beschreibung der Prozesse und Risiken innerhalb der verschiedenen Lebenszyklusphasen ist vorhanden, jedoch bleibt eine Spezifizierung konkreter Kriterien, Methoden und Prozesse für eine verbesserte

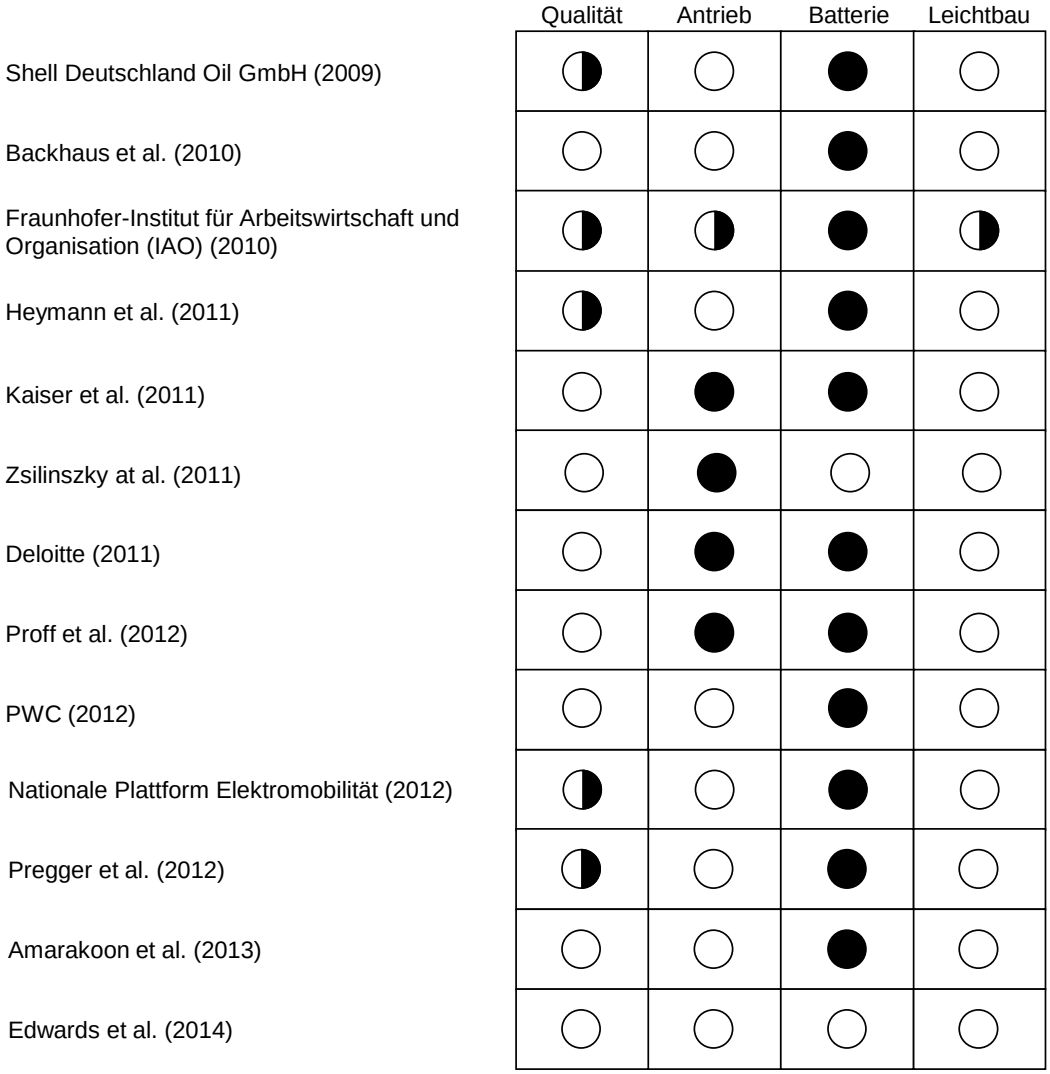


Abbildung 1-1: Behandlung der Problemstellung in Fremdstudien nach technologischen Clustern

Qualität und ein verbessertes Qualitätsmanagement, insbesondere in Bezug auf die kooperative Arbeit in Netzwerken, aus. Edwards et al. betrachten die verschiedenen Elektromobilitätskonzepte, ohne jedoch dabei auf eine detaillierte Analyse der für die Elektromobilität relevanten Einzeltechnologien einzugehen. Als qualitatives Risiko erkennen sie lediglich die Faktoren der Datenunsicherheit und –konsistenz (vgl. Edwards et al. 2014). Entwicklungsbereitende Kriterien, Methoden und Prozesse des

Qualitätsmanagements im Elektromobilitätsumfeld werden nicht erläutert. Abbildung 1-1 fasst die Ergebnisse der Analyse der untersuchten Studien nach den für die Elektromobilität relevanten Clustern Qualität, Batterie, Antrieb und Leichtbau zusammen. Die Ergebnisse zeigen, dass Fragestellungen des Qualitätsmanagements bisher unzureichend erforscht sind. Der Fokus bisheriger Studien liegt auf der Analyse alternativer Material- und Lösungskonzepte, insbesondere hinsichtlich der Batteriezellentechnologie. Methoden, Maßnahmen und Konzepte zur Erreichung automobiler Qualitätsstandards werden nicht erörtert. Ferner fehlt es an der Formulierung von Mess- und Zielkriterien, welche die Ableitung konkreter Reifegrade zur Qualitätsmessung in der Entwicklung der Elektromobilität über alle Schlüsseltechnologien hinweg erlauben.

1.2 Empirische Basis der Untersuchung

Die empirische Untersuchung gründet sich auf eine Befragung, auf den Erkenntnissen aus Expertengesprächen, Workshops und Fallstudienanalysen. In Abbildung 1-2 ist die Vorgehensweise der empirischen Fundierung dargestellt. In der Interaktion mit den beteiligten Unternehmensvertretern wurde eine Kommunikationsplattform geschaffen, die einen beidseitigen Abgleich von Hypothesen und Praxisbedarfen zulässt. Die darauf basierenden Erkenntnisse dienen zur Begründung der Hypothesen

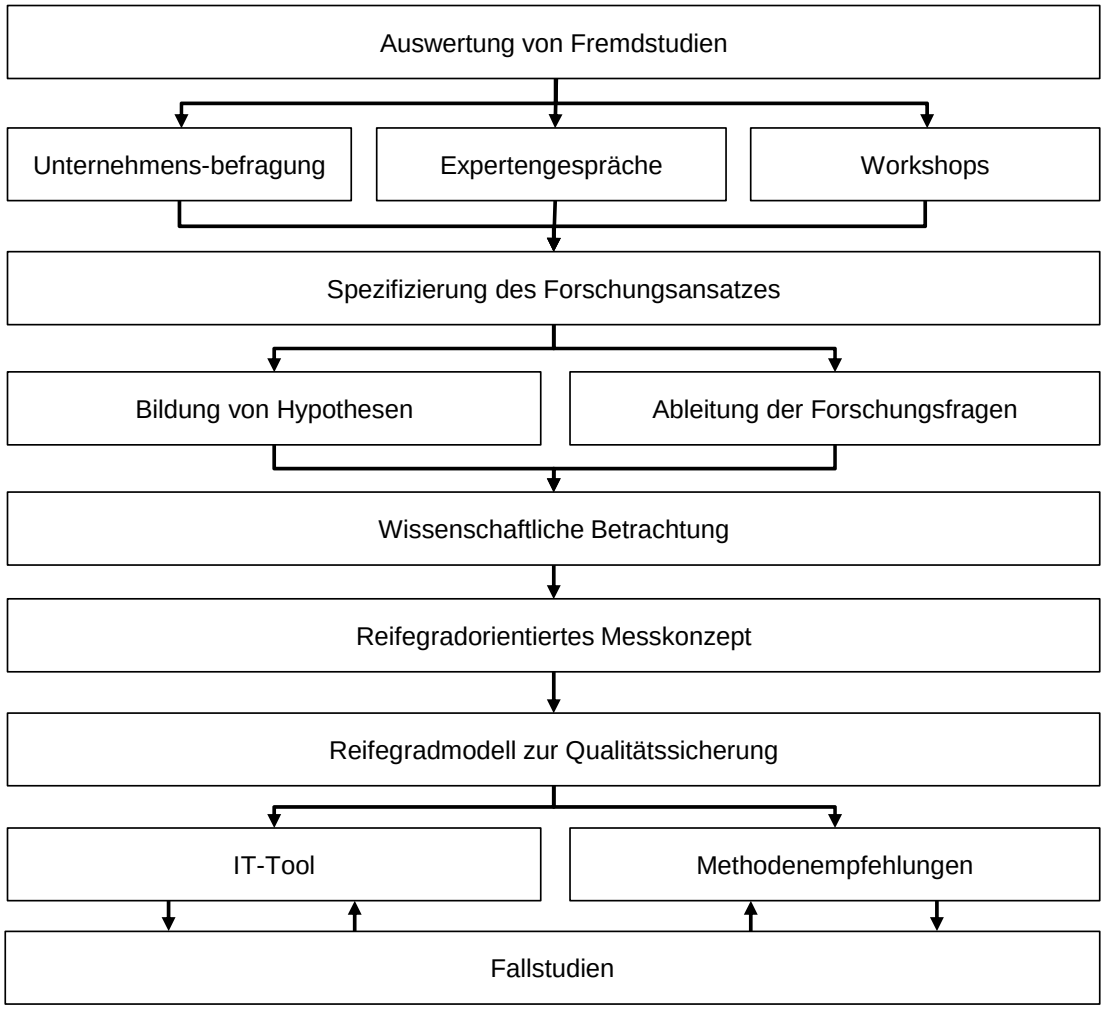


Abbildung 1-2: Empirische Basis und deren Verwendung

und der Konkretisierung der Forschungsfragen. Die Basis der Befragung wird gebildet durch eine umfassende Literaturrecherche und -analyse, welche die Identifikation bestehender Herausforderungen und Lösungsansätze im Bereich des Qualitätsmanagements in der Forschung und Entwicklung der Elektromobilität ermöglicht. Auf Grundlage der gesammelten Informationen wurde ein Fragebogen erarbeitet. Dieser richtete sich speziell an Unternehmen der Automobilbranche, mit dem Zweck, die essenziellen Herausforderungen der Elektromobili-

tät in Bezug auf das Qualitätsmanagement zu konkretisieren und zu bewerten. Ferner zielt die Befragung auf die Beantwortung der Frage ab, in welchen Unternehmensbereichen durch die Entwicklung der Elektromobilität spezifischer Handelsbedarf entsteht. Befragt wurde eine Grundgesamtheit von 104 Entscheidungsträgern aus Unternehmen des automobilen Umfelds in unterschiedlichsten Bereichen. Abbildung 1-3 zeigt hierzu die Aufteilung der Grundgesamtheit der befragten Unternehmen nach Branche und Position entlang des Produktlebenszyklus.

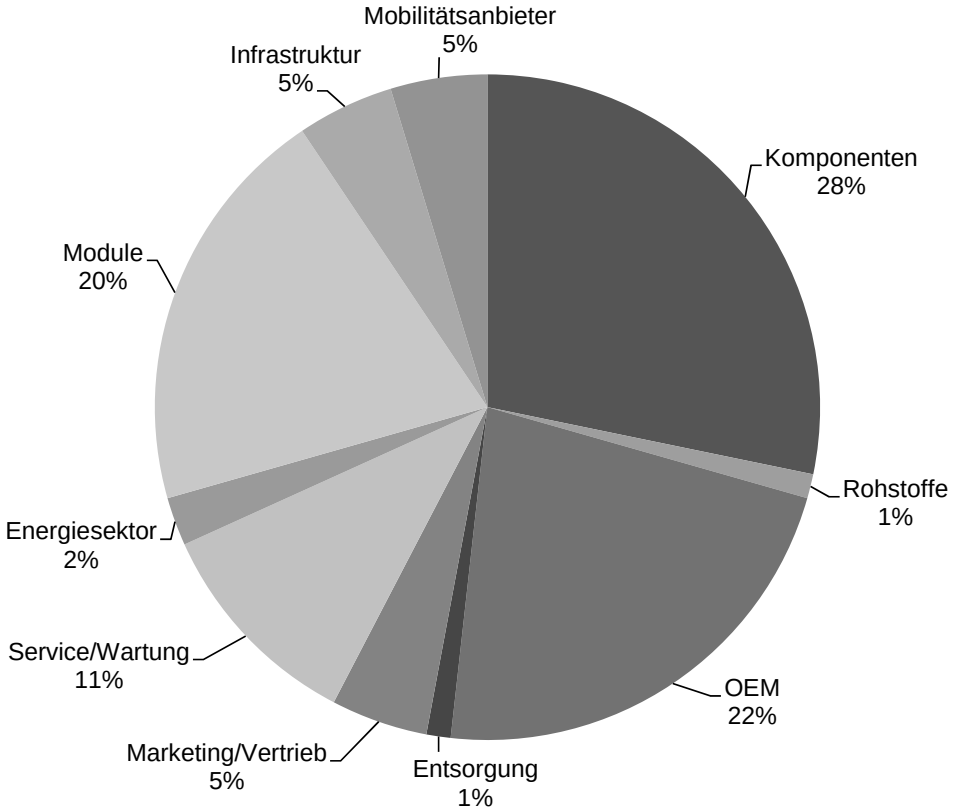


Abbildung 1-3: Aufteilung der Grundgesamtheit der befragten Unternehmen nach Branche und Position entlang des Produktlebenszyklus

Etwa 19 % der Befragten gehörten OEMs an und 41 % Zulieferern von Modulen und Komponenten. Mit 9% sind Unternehmen aus den Bereichen Service und Wartung vertreten.Die Bereiche Marketing und Vertrieb, Entsorgung, Energie, Mobilitäts- und Infrastrukturdienstleister nahmen nur zu geringen Teilen an der Befragung teil. Auf einer Bewertungsskala von 0 für „keine Auswirkungen“ über 1 für „sehr geringfügige Auswirkungen“ bis 4 für „sehr starke Auswirkungen“, galt es für die befragten Unternehmensvertreter die Stärke der Implikationen der Elektromobilität in den unterschiedlichen Bewertungsbereichen Forschung, Entwicklung, Produktion, Beschaffung, Marketing und Vertrieb sowie Service und Wartung zu beurteilen. Die Ergebnisse der Befragung bestätigen zunächst die Ausgangssituation und Problemstellung des Forschungsvorhabens insoweit, als dass die befragten Unternehmensvertreter innerhalb der Elektromobilität Implikationen und Herausforderungen für eine Vielzahl von Unternehmensbereichen erkennen. Darüber hinaus zeigt die Befragung, dass die Forschung und Entwicklung besonders stark betroffen ist. Die Befragten neigen dazu, die Herausforderungen hoch einzustufen. Dies liegt daran, dass in der Forschung und Entwicklung die Details des eigentlichen Produktes festgelegt werden und somit ein Großteil der Verantwortung für den Produkterfolg in diesen Unternehmensbereichen festgelegt wird. Wie die prozentuale Verteilung der abge-

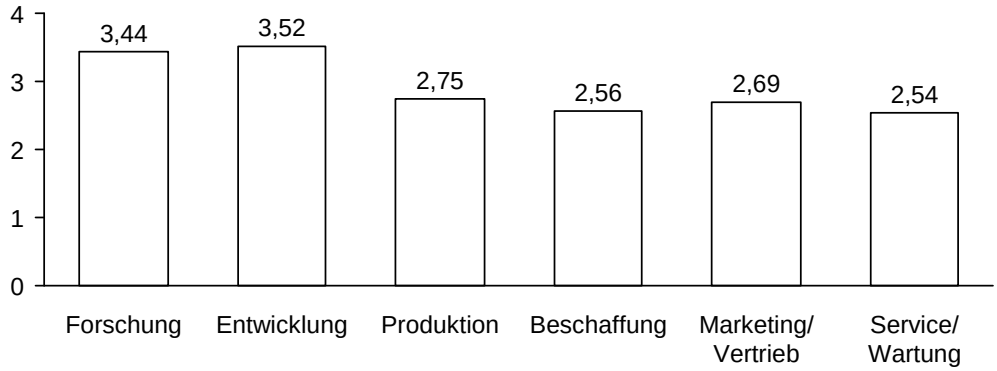


Abbildung 1-4: Bewertung der Stärke der Auswirkungen der Elektromobilität auf verschiedene Unternehmensbereiche

gebenen Bewertungen in Abbildung 1-5 belegt, schätzen 69 % der Befragten die Auswirkungen der Elektromobilität im Bereich der Forschung als sehr stark ein. Auch die prozentuale Verteilung der abgegebenen Bewertungen für den Bereich Entwicklung zeigt, dass die Industrie dazu ebenfalls erhebliche Implikationen erwartet (vgl. Abbildung 1-6). Ein weiteres Ziel der Befragung bestand in der Beantwortung der Frage, in welcher Art und Charakteristik die Auswirkungen in Form von konkreten Herausforderungen sichtbar werden. Zur Erörterung dieser Fragestellungen wurde bei den Unternehmensvertretern die Relevanz der Herausforderungen einer Abhängigkeit der Akteure untereinander, eines fehlenden Netzwerks und fehlender Standards, der Kundenanforderungen und -akzeptanz, der Investitionskosten, der Rentabilität, der Lieferantenqualifizierung, der Produktentwicklung, des Technologiereifegrads, der Sicher-

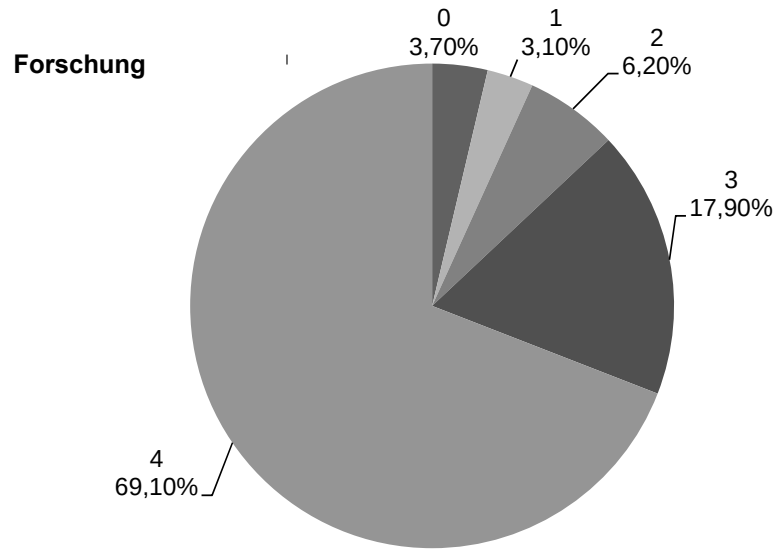


Abbildung 1-5: Prozentuale Verteilung der abgegebenen Bewertungen für den Bereich Forschung

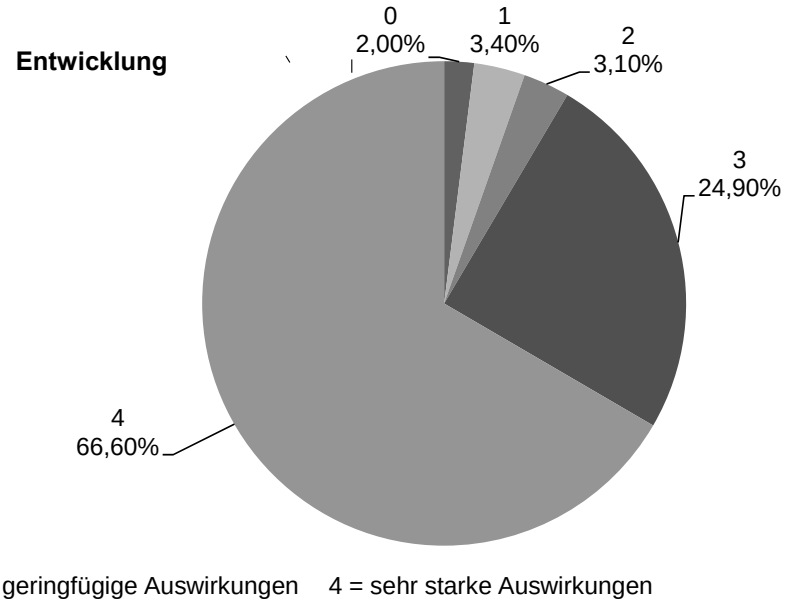


Abbildung 1-6: Prozentuale Verteilung der abgegebenen Bewertungen für den Bereich Entwicklung

heitsspezifikation, des Wissensmanagements und der relevanten Qualitätsanforderungen erfragt. Die Bewertung sollte auch hier auf einer Skala von 0 für „keine Herausforderung“ über 1 für „sehr geringe Herausforderung“ bis 4 für „sehr hohe Herausforderung“ erfolgen. Abbildung 1-7 zeigt die Ergebnisse der Relevanzbewertung der Herausforderungen der Elektromobilität. Zu erkennen ist, dass die gezielte Entwicklung der Technologie (Technologiereifegrad) und des Produkts (Produktentwicklung) von den Unternehmen als sehr hohe Herausforderung beurteilt wird. Qualitätsaspekte in Form von Qualitätsanforderungen, fehlenden Standards und Sicherheitsspezifikationen sowie die Akzeptanz der Kunden werden als hohe Herausforderung gewertet. Netzwerkaspekte werden als eher geringe Herausforderung eingeschätzt. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die Unternehmen der Automobilbranche bereits erfahren in Netzwerkstrukturen agieren. Im Falle der Elektromobilität ergeben sich jedoch durch die Heterogenität der Netzwerkpartner und dem Beitritt neuer Netzwerkmitglieder durchaus neuartige Herausforderungen. Die Ergebnisse der Befragung fundieren den identifizierten Forschungsbedarf insofern, als dass die theoretisch hergeleitete Forschungslücke durch die Offenlegung und Bestätigung praxisrelevanter Herausforderungen und Fragestellungen manifestiert wird. Die Expertengespräche dienten zur thematischen Struk-

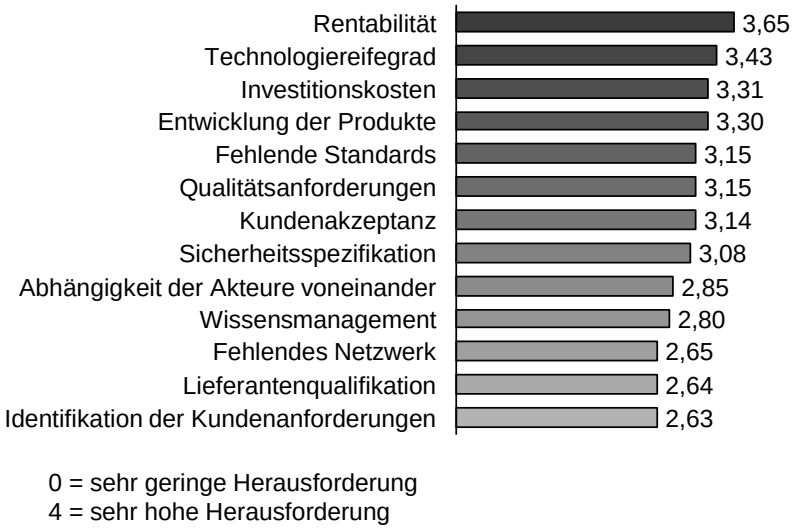


Abbildung 1-7: Bewertung der Herausforderungen der Elektromobilität

turierung des Untersuchungsgegenstandes sowie der praxisbezogenen Konkretisierung und Verifizierung der Forschungsfragen.Es wurde ein iterativer Optimierungsansatz verfolgt, welcher die kontinuierliche Anpassung des Modells mit den praktischen Anforderungen der Unternehmen ermöglichte. Im Detail wurden Erkenntnisse zur Gliederung des Untersuchungsgegenstandes in spezifische Gestaltungsfelder und Einflussbereiche erarbeitet. Darauf aufbauend konnten innerhalb dieser Gestaltungsfelder und Einflussbereiche die maßgeblichen Implikationen der Entwicklung von Elektromobilitätsfahrzeugen auf das Qualitätsmanagement der involvierten Unternehmen abgeleitet werden. Das Fundament zur Durchführung der Expertengespräche bildete die Literatur- und Fallstudienanalyse. Auf dieser Basis wurde ein Gesprächsleitfaden erarbeitet, welcher die empirische Validierung der theoretisch gewonnenen Erkenntnisse er-

möglichte. Auch zielte der Gesprächsleitfaden auf die Konkretisierung, Erweiterung und Anpassung der Forschungsfragen und Modellinhalte ab. Mithin bestand die Gesamtintention der Expertengespräche in der Integration praxisrelevanter Informationen, Fragestellungen und Anforderungen, der Systematisierung des Forschungsvorhabens sowie der Operationalisierung des entwickelten Modells für ein reifegradbasiertes Qualitätsmanagement bei Technologien der Elektromobilität. Um diese Intention in Gänze zu erfüllen, wurden Expertengespräche mit insgesamt 21 Praxis- und Unternehmensvertretern geführt, welche innerhalb von drei Iterationsschleifen konsultiert wurden. Um der Problemstellung der Heterogenität der in die Entwicklung der Elektromobilität involvierten Unternehmen innerhalb des Forschungsvorhabens gerecht zu werden, wurde die Gesamtheit der Unternehmen aus verschiedenen Branchen gebildet. So stammte der Großteil der Unternehmen zwar aus der Automobil- und Zulieferindustrie, jedoch wurden Vertreter aus den Bereichen Maschinenbau, Energietechnik, Luft- und Antriebstechnik sowie Werkstofftechnik in das Forschungsvorhaben einbezogen (vgl. Abbildung 1-8). Darüber hinaus entstammten die Vertreter der beteiligten Unternehmen verschiedenen Hierarchieebenen und Funktionsbereichen. So konnten sowohl Geschäftsführer und Vizepräsidenten als auch Fachexperten und -abteilungsleiter, insbesondere aus den Bereichen Forschung und

Entwicklung sowie Qualitätsmanagement, befragt werden. Innerhalb der ersten Expertengespräche wurde die Relevanz des Forschungsvorhabens bestätigt und zentrale Themenschwerpunkte definiert. Mit der organisatorischen Gestaltung der Forschung und Entwicklung in Bezug auf Qualitätsaspekte sollen im Rahmen der Untersuchung Prozesse, Schnittstellen, Qualitätsregelkreise, Mitarbeiter, Fehlleistungen und Eskalationsmechanismen analysiert und betrachtet werden . Am Beispiel der Elektromobilität sollen Aktivitäten aus dem Qualitätsmanagement bei etablierten Technologien für disruptive Technologien adaptiert werden. Außerdem sind neue Prüf- und Testverfahren zu identifizieren und zu diskutieren. Die Gestaltung von Netzwerken mit Forschungs- und Entwicklungspartnern beinhaltet die Identifikation sowie die Gestaltung des Wissens- und Erfahrungstransfers. Außerdem ist die Beschreibung und Erstellung eines Bewertungs- und Beurteilungsverfahren sowie die Identifizierung von neuen Kooperationsmechanismen in Bezug auf die Risikoverteilung und rechtliche Aspekte angestrebt. Im Rahmen der ersten Expertengespräche wurde die Vorgehensweise des Forschungsvorhabens durch die Praxispartner legitimiert. Die zweite Expertengesprächsrunde diente zur Erarbeitung der Modellinhalte. Die Bestandteile des Modells beinhalten dabei Prozessphasen, Meilensteine und potenzielle Gestaltungsfelder.

Unternehmen	Typ	Branche
Alfred Kärcher GmbH & Co.KG	GU	Maschinenbau
BMW AG	GU	Automobil
BOSIG Baukunst-stoffe GmbH	KMU	Bautechnik
Bundesverband eMobilität e.V.	GU	Erneuerbare Energien
Continental AG	GU	Automobil
CP autosport GmbH	KMU	Automobil
Daimler AG	GU	Automobil
Ebm-papst St. Georgen GmbH & Co. KG	GU	Luft- und Antriebstechnik
EvoBus GmbH (Tochter Daimler AG)	GU	Automobil
Fischer Automotive Systems GmbH & Co. KG	GU	Automobil
HOERBIGER Antriebstechnik Holding GmbH	GU	Automobil
Innovative Mobility Automotive GmbH	KMU	Automobil
Neues Zahnradwerk Leipzig GmbH	KMU	Automobil
Robert Bosch GmbH	GU	Industrie
SGL Carbon	GU	Werkstofftechnik
Siemens AG	GU	Automobil
Stolfig GmbH Geisenfeld	KMU	Metall
TNS Infratest GmbH	KMU	Marktforschung
Volkswagen AG	GU	Automobil
W.L. Gore & Associates GmbH	KMU	Technologie
ZF Friedrichshafen	GU	Automobil

Abbildung 1-8: Übersicht der am Forschungsvorhaben beteiligten Praxis-partner

Vor der zweiten Runde wurden die Gestaltungsebenen festgelegt. Diese beinhalten Reifegrade für Produkte, Prozesse, Technologie und die Organisation. Entlang dieser Ebenen wurde ein Vorgehen entwickelt, welches die Erarbeitung eines Reifegradmodells zur Generierung von Methodenempfehlungen für das mittlere Management erlaubt. Durch die Festlegung von Messgrößen und Kennzahlen zur Bestimmung der Reifegrade wurde der Modellbereich konkretisiert. Die Plausibilisierung der Vorarbeiten und deren Ergebnisse erfolgte durch die zweite Expertengesprächsrunde, in der folgende Fragen beantwortet wurden:

- Welche Prozessphasen sind an welchen Stellen im Reifegradmodell zu messen?
- Welche Bewertungskriterien können bei der quantitativen und qualitativen Evaluierung herangezogen werden?
- Welche Gestaltungsfelder eignen sich zur Bestimmung der Reife im Rahmen des Forschungsprojekts?
- Wie kann das Bewertungsmodell für die Reifegradmessmethodik aussehen?

Im Rahmen der dritten Runde der Expertengespräche wurde das Bewertungsschema mit den Praxispartnern verifiziert. Die Gespräche wurden mit allen teilnehmenden Industriepartnern durchgeführt und erfolgten persönlich. Die Vielfalt der teilnehmenden Industriepartner sowie deren unterschiedliche

Schwerpunkte im Rahmen der Bewertung des Entwicklungsprozesses ermöglichten eine ganzheitliche praxistaugliche Validierung des entwickelten Modellkonzeptes. Wiederkehrende Gesprächsinhalte der Diskussionen mit den Praxispartnern waren überwiegend strategische Komponenten, die im Rahmen der Bewertung abgefragt werden sollen. Bei Technologien der Elektromobilität kann nicht ohne weiteres ein Entwicklungsprozess aufgesetzt werden. Gerade im Umfeld von Entwicklungsnetzwerken ist eine im Vorhinein festgelegte Strategie notwendig. Als weitere Erfolgskriterien konnten in den Gesprächen die Flexibilität der Prozesse sowie des Bewertungsschemas bei der Grundlagenforschung identifiziert werden. Die Entwicklung von Produkten disruptiver Technologien erlaubt keine Rückgriffe auf Erfahrungswerte traditioneller Produkte, welche die Aufstellung aussagekräftiger Zukunftsszenarien zulassen würden. Daher wird besonders in den Anfangsphasen die Flexibilität benötigt mehrere Entwicklungsschleifen vornehmen zu können. Für jedes einzelne Expertengespräch wurde ein Interviewleitfaden vorbereitet, der das Reifegradmodell beschreibt. In der Folge wurde mit den Experten die Bewertungslogik diskutiert und es erfolgte eine Validierung der für jeden Bewertungsbereich erarbeiteten Bewertungskriterien sowie der dazugehörigen Ausprägungen. Die Workshops des projektbegleitenden Ausschusses dienten der Konkretisierung und Sys-

tematisierung des Forschungsgegenstandes durch den Austausch und Abgleich von Wissenschaft und Industrie. So wurden im Verlauf dieser Sitzungen aktuelle Forschungsergebnisse präsentiert und innerhalb des jeweiligen Plenums zur Diskussion gestellt. Theoretische Erkenntnisse und Fragestellungen konnten durch den Informationsaustausch mit den Praxispartnern plausibilisiert und fundiert werden. Darüber hinaus sind Inhalte des Modells für ein reifegradbasiertes Qualitätsmanagement im Bereich disruptiver Technologien erarbeitet sowie die spezifischen Gestaltungsfelder konkretisiert worden. Die Generierung des Modells stützte sich somit auf einen fundierten Praxisbezug, welcher insbesondere die Praktikabilität und Nutzbarkeit des im Verlauf des Forschungsprojektes entwickelten IT-Tools zur Anwendung des generierten Modells gewährleistete. Der erste Workshop diente der Abgrenzung der Untersuchung aus wissenschaftlicher und praktischer Perspektive, indem der aktuelle Stand der Forschung aufgezeigt wurde. Zur Einschränkung und Konkretisierung von disruptiven Technologien wurde entschieden, dass die gesamte Untersuchung anhand der drei Technologien Batterie, Antrieb und Leichtbau erfolgt. Vor dem Hintergrund, dass diese drei Technologien in Wissenschaft und Industrie als die Schlüsseltechnologien der weiteren Entwicklung der Elektromobilität gelten (vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2011), ist die vorgenommene Ab-

grenzung als zielführend in Bezug auf eine fokussierte Forschungsarbeit zu erachten. Die Speicher- respektive Batterietechnologie wird als disruptiv klassifiziert, da sich die Elektromobilität lediglich durch deren sprunghafte Weiterentwicklung etablieren kann (vgl. Manyika et al. 2013). Die Antriebstechnologie wird in der Elektromobilität hauptsächlich durch den Elektromotor spezifiziert. Verglichen mit der Batterietechnologie kann der Elektromotor zwar als reife Technologie deklariert werden, Anforderungen für Elektrofahrzeuge werden dennoch auch in diesem Bereich nicht in Gänze erfüllt (vgl. Hüttl et al. 2010; Schlick et al. 2011). Über die Eingrenzung des Betrachtungsbereiches auf die drei Schlüsseltechnologien Batterie, Antrieb und Leichtbau hinaus, ist ferner eine Definition des Untersuchungsgegenstandes in Bezug auf die betrachteten Phasen des Produktentstehungsprozesses sowie des Produktlebenszyklus nötig. Die Eingrenzung auf den Bereich der Forschung und Entwicklung reicht bei solch tiefgreifenden Technologieumbrüchen wie im Falle der Elektromobilität aus Qualitätssicht nicht aus. Die Qualitätsbeeinflussung ist zwar gerade in den frühen Entwicklungsphasen mit vergleichsweise geringem Aufwand möglich. Gleichzeitig zeigen sich jedoch die Auswirkungen der getroffenen Entscheidungen vielfach erst im Verlauf oder zum Ende des Produktentwicklungsprozesses. Ist die Technologie dann bereits in der Phase der Serienfertigung angelangt, so sind

die Möglichkeiten der Qualitätsbeeinflussung deutlich geringer oder die mit diesen Möglichkeiten einhergehenden Aufwände und Kosten deutlich höher. Technisch unausgereifte Technologien sowie ein insuffizienter Design- respektive Entwicklungsprozess weisen sehr hohe Implikationen auf die Gesamtkosten auf (vgl. Töpfer/ Günther 2007). Eine wesentliche Schlussfolgerung lautete daher, dass für eine qualitätsorientierte Untersuchung der Auswirkungen disruptiver Technologien deren gesamter Produktentstehungs- und -lebenszyklus berücksichtigt werden muss. Auch wurde herausgefunden, dass im Falle von disruptiven Technologien eine bloße Untersuchung der Prozess-, Produkt- und Technologiereife ebenfalls nicht alle qualitätsrelevanten Auswirkungen berücksichtigt. Vielmehr erfordert

Erkenntnisse	Schlussfolgerungen
Die Abgrenzung von disruptiven Technologien ist nicht ohne weiteres durchzuführen. Ein unterschiedliches Verständnis ist vorhanden.	Die Anlehnung an die Elektromobilität und deren neuen Technologien (Batterie, Antrieb und Leichtbau) ist zielführend.
Eine Betrachtung der F&E ist bei neuen Technologien nicht ausreichend.	Bei neuen Technologien im Automobilbereich ist stets der gesamte Produktlebenszyklus zu betrachten und somit bei der Reifegradmessung.
Die Organisation ist ein entscheidender Faktor bei neuen Technologien, welche zu beachten ist.	Im Reifegradmodell wird die Organisationsreife zusätzlich zur Prozess-, Produkt- und Technologiereife eingebunden.
Es existieren unterschiedliche Reifegradmodelle, die teilweise im Automobilbereich Anwendung finden.	Die unterschiedlichen Reifegradmodelle sind herauszuarbeiten und fehlende Aspekte aufzugreifen.
Bestehende Bewertungsansätze sind zu generisch, um genaue Handlungsempfehlungen aufzuzeigen und Maßnahmen zu definieren.	Eine Untergliederung bestimmter Handlungsfelder in Bewertungsbereiche ist zielführend, um fallspezifische Maßnahmen und Handlungsempfehlungen aufzeigen zu können.

Abbildung 1-9: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des ersten Workshops

der disruptive Charakter auch eine Bedarfsanalyse, Anpassung oder Erneuerung etablierter Organisationsstrukturen und organisationaler Prozesse (vgl. Hüttl et al. 2010). Vor diesem Hintergrund bildet die Pers-pektive der Organisation einen wesentlichen Bestandteil und einen Untersuchungsbereich der vorliegenden Arbeit. In Abbildung 1-9 die wesentlichen Erkenntnisse sowie die essenziellen Schlussfolgerungen aus dem ersten Workshop dargelegt. Das zentrale Ziel des zweiten Workshops des projektbegleitenden Ausschusses bestand in der Detaillierung des Untersuchungszeitraumes. Zur Spezifizierung des Untersuchungsgegenstandes sind die Themenfelder Qualitätsmanagement, Produktentwicklung und Entwicklungsnetzwerke aufgegriffen und für das Forschungsvorhaben als entscheidend kategorisiert worden. Das Qualitätsmanagement wird sich aus Sicht der beteiligten Praxispartner nicht grundsätzlich verändern. Jedoch wurde festgehalten, dass Kriterien innerhalb der Ansätze und Methoden aufgrund des disruptiven Charakters der Elektromobilität zu hinterfragen und gegebenenfalls bedarfsgerecht anzupassen sind. Durch die Integration und Beteiligung neuer, branchenfremder Unternehmen aus dem nicht-automobilen Umfeld wie der Elektronik-, Chemie- oder Batterieherstellung, sind die Diskrepanzen hinsichtlich der bestehenden Qualitätsaspekte und -standards zu denen der Automobilindustrie zu prüfen. Außerdem sind vor dem Hintergrund des Ein-

satzes neuer Materialien neue Ansätze und Prozesse zur qualitativen Überprüfung zu implementieren (vgl. Bille et al. 2012) und Methoden und Ansätze des Qualitätsmanagements auf ihre Anwendung innerhalb der Elektromobilität zu verifizieren. Diese Betrachtung wird im Verlaufe des Forschungsprojektes insbesondere auf die Produktentwicklung forciert, dem entscheidenden Schritt bei neuen, disruptiven Technologien. Standardentwicklungsprozesse sind nur bedingt anwendbar. Der Automobilbereich nutzt seit Jahrzehnten etablierte Entwicklungsprozesse für evolutionäre Weiterentwicklungen. Durch den disruptiven Charakter der Elektromobilität und deren Technologien, ist eine schnellere, gleichzeitig flexiblere und pragmatischere Entwicklung zu implementieren (vgl. Bille et al. 2012). In der Produktlebenszyklusphase der Produktentwicklung entscheidet sich, ob die disruptive Technologie grundsätzlich technisch umsetzbar ist. Aufgrund der ausgeprägten Komplexität in der Elektromobilität mit den diversen und tiefgreifenden Technologien sind Entwicklungsnetzwerke unerlässlich. Dies spiegelt sich vor allem darin wider, dass das entsprechende Wissen über mehrere Innovationstreiber verteilt ist. Sowohl Antriebskomponenten wie auch Komponenten des Fahrwerks werden zu großen Teilen von zahlreichen Zulieferunternehmen bereitgestellt. Diese Unternehmen sind in den Entwicklungs- und Produktionsprozess innerhalb eines effizienten Entwicklungsnetzwerkes zu integrie-

ren und gezielt einzusetzen (vgl. Czaja 2009). Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des zweiten Workshops des projektbegleitenden Ausschusses festgehalten, dass zur Erfüllung des Forschungsvorhabens insbesondere die Strukturen, die Organisation, die Prozesse und Partner innerhalb von Entwicklungsnetzwerken im automobilen Umfeld im Hinblick auf etwaige Implikationen und Herausforderungen in der Entwicklung der Elektromobilität zu untersuchen sind. Abbildung 1-10 fasst die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des zweiten Workshops des projektbegleitenden Ausschusses zusammen. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen des zweiten Workshops komplettierten das Fundament zur Entwicklung eines reifegradbasierten Qualitätsmanagements in Forschungs- und Entwicklungsnetzwerken für disruptive Technologien am Beispiel der Elektromobilität. Auf der Grundlage der mit den Praxispartnern abgestimmten Phasen des Forschungs- und Entwicklungsprozesses, konnte ein Modell erarbeitet werden. Das Ziel des dritten Workshops bestand darin, das erarbeitete Modell und die dazu definierte Vorgehensweise zu detaillieren, final abzustimmen und durch die Praxispartner freizugeben. Zur Vorarbeit des dritten Workshops und der angestrebten Ergebnisse wurden Expertengespräche zur Spezifizierung und Konkretisierung der Modellinhalte durchgeführt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse flossen in die Modellkonzeptionierung ein, sodass die wissenschaftliche

Erkenntnisse	Schlussfolgerungen
Das Qualitätsmanagement wird durch die neuen Technologien beeinflusst, indem die vorhandenen Methoden und Kriterien in Bezug auf Einsatz bei disruptiven Technologien zu prüfen sind.	Die Methoden und Kriterien im Rahmen des Qualitätsmanagements ist im automobilen Umfeld in Bezug auf deren Anwendung bei disruptiven Technologien zu überprüfen.
Das automobile Umfeld wird vor allem durch Tätigkeiten in der Forschung und Entwicklung geprägt. Dennoch ist der gesamte Produktlebenszyklus wettbewerbsentscheidend.	Im Forschungsvorhaben wird von der Grundlagenforschung, über die Vorentwicklung bis zum Start of Production der Entstehungsprozess betrachtet. Die Betrachtung darüber hinaus wird nicht forciert. Als Untersuchungsfeld wird die Produktentwicklung untersucht.
Die Unternehmen im Automobilbereich agieren in Netzwerken und kooperativen Zusammenarbeiten, die aufgrund der Elektromobilität weiter verstärkt werden können.	Der Netzwerk- und Zusammenarbeitsgedanke ist im Rahmen des Forschungsvorhabens als Handlungsfeld Entwicklungsnetzwerke aufzunehmen und innerhalb des automobilen Umfelds genauer zu spezifizieren.

Abbildung 1-10: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des zweiten Workshops

Betrachtung und die Modellgenerierung mit Aspekten der Praxis fundiert werden konnten. Folglich berücksichtigt das Modell nicht nur rein wissenschaftliche Aspekte, sondern ist darüber hinaus praktikabel für dessen Implementierung und Anwendung in der Praxis. Das Modell des Reifegradmesskonzepts beinhaltet dabei vier Prozessphasen, welche zu deren Bewertung für Technologien im automobilen Umfeld mit disruptiven Charakter fokussiert werden. Die Prozessphasen im Forschungsvorhaben sind generisch definiert worden, um einen Einsatz in den unterschiedlichsten Unternehmen, unabhängig von deren Größe und Form zu ermöglichen. Die Grundlagenforschung definiert sich über die Praktikabilität und Relevanz einer Technologie für einen bestimmten Anwendungsfall. Die Umsetzung sowie die Produkteigenschaften werden innerhalb der Vorentwicklung de-

terminiert. Folglich werden in dieser Phase die konkreten Marktanforderungen berücksichtigt. Die abschließende Freigabe der technischen Machbarkeit bestätigt die Verbindlichkeit des technologischen Konzepts. Im Rahmen der Serienentwicklung erfolgt die Designdetermination und die Herstellbarkeit des technologischen Ansatzes wird bekräftigt (vgl. Braess, H.-H. & Seiffert, U. 2003). Technologien, welche zwischen der Grundlagenforschung sowie der Serienentwicklung nicht angemessen abgesichert sind, können zu Qualitätsdefiziten, Imageverlust und im schlimmsten Fall zur Unternehmensgefährdung führen (vgl. Bille et al. 2012). Zur regelmäßigen Messung der untersuchten Reifegrade werden Meilensteine genutzt. Die Messung anhand der Meilensteine/Messpunkte erfolgt sowohl punktuell innerhalb, als auch nach jeder einzelnen Prozessphase. Die definierten Messpunkte im Rahmen des Workshops wurden mit folgenden Zielen determiniert:

- Technologie (entwickelbar und beschaffbar): Die Technologie ist gemäß der Vorentwicklung entwickelbar und bei Lieferanten beschaffbar.
- Definition (prinziptauglich): Die Prinziptauglichkeit ist erreicht, wenn das Lösungsprinzip entwickelt und erfolgreich erprobt ist.

- Konzept-Entscheidung (konzepttauglich): Konzepttauglichkeit liegt vor, wenn der Prototyp entwickelt und erprobt ist.
- Design-Entscheidung (serientauglich): Die Serientauglichkeit bildet ein Lastenheft mit allen zu erfüllenden Parametern ab.
- Beschaffungsfreigabe (beauftragbar): Sämtliche Teile sind im Markt verfügbar und können von einer Auswahl von Lieferanten beschafft werden. Die Beauftragung ist somit möglich.

Die Messung der Meilensteine hat unterschiedliche inhaltliche Ausprägungen. Im Rahmen des Workshops wurden die inhaltlichen Orientierungen in Gestaltungsfelder konkretisiert. Diese haben das Ziel, das Qualitätsmanagement wie auch dessen flankierende Funktionsgebiete, welche von den Implikationen der Elektromobilität tangiert werden, gänzlich abzudecken. Folgende Gestaltungsfelder sind innerhalb des Messkonzepts konkretisiert und abgestimmt worden:

- Entwicklungsnetzwerke: Gemeinsame Produktentwicklung durch mittelfristig stabile, kooperative Beziehungen zwischen Unternehmen

- Wissensmanagement: Umfasst alle strategischen und operativen Tätigkeiten und Managementaufgaben zum bestmöglichen Umgang mit Wissen
- Organisation & Prozesse: Organisation kennzeichnet die Strukturwirkung und Prozesse die Ablaufwirkung
- Kundenorientierung: Teilgebiet des Requirement Engineerings zur effizienten und fehlerarmen Entwicklung komplexer Systeme wie Elektrofahrzeuge
- Technologiemanagement: Planung, Bewertung und Anwendung (neuer) Technologien zur Schaffung langfristiger Wettbewerbsvorteile
- Risikomanagement: Maßnahmen zur systematischen Erkennung, Analyse, Bewertung, Überwachung und Kontrolle von Risiken

Folglich wurde im Rahmen des dritten Workshops das Modell finalisiert und durch die Praxispartner freigegeben. Abbildung 1-11 fasst die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des dritten Workshops des projektbegleitenden Ausschusses zusammen. Auf Basis der Detaillierung, Finalisierung und Freigabe des entwickelten Modells konnte ein Lastenheft für das IT-Tool formuliert werden. Das IT-Tool dient schlussendlich der rechnerbasierten Anwendung des reifegradbasierten Bewertungsmodells in der Industrie. Das Ziel des vierten projektbegleitenden

Erkenntnisse	Schlussfolgerungen
Innerhalb des Produktentwicklungsprozesses existieren Prozessphasen, welche einen unterschiedlichen Charakter aufweisen. Vor diesem Hintergrund ist Reifegrad auf Basis unterschiedlicher Kriterien respektive Ausprägungen zu messen .	Der Produktentwicklungsprozess ist in mehrere Prozessphasen zu detaillieren und am Ende der jeweilige Prozessphase ist der Reifegrad zu messen. Die Prozessphasen sind dabei generisch abzubilden, sodass sich jedes Unternehmen darin wiederfindet und das Messkonzept entsprechend eine breite Anwendung findet. Folgende Prozessphasen sind innerhalb des Messkonzepts abzubilden: - Grundlagenforschung - Vorentwicklung - Konzeptentwicklung - Serienentwicklung
Zur Messung des Reifegrades der jeweiligen Technologie sind Meilensteine im Produktentwicklungsprozess zu definieren.	Die Meilensteine innerhalb des Produktentwicklungsprozesses befinden sich sowohl am Ende der jeweiligen Prozessphase als auch am Ende des Produktentwicklungsprozesses sowie innerhalb einer Prozessphase. Es sind 6 Meilensteine definiert worden, die es im Rahmen des Messkonzeptes zu berücksichtigen gilt. Folgende Meilensteine sind innerhalb des Messkonzepts abzubilden: - Theorie (technologisch interessant/marktrelevant) - Technologie (entwickelbar/beschaffbar) - Definition (prinziptauglich) - Konzept-Entscheidung (konzepttauglich) - Design-Entscheidung (serientauglich) - Beschaffungs-Freigabe (beauftragbar)
Die Definition von Handlungs- respektive Gestaltungsfeldern unterstützt die gesamtheitliche Betrachtung des Untersuchungsgegenstands.	Die Gestaltungsfelder sollten das Qualitätsmanagement, wie auch Randgebiete abdecken. Durch den disruptiven Charakter der Elektromobilität existieren Implikationen auf Randbereiche, die indirekt Einfluss auf das Qualitätsmanagement haben. Folgende Gestaltungsfelder sind innerhalb des Messkonzepts abzubilden: - Entwicklungsnetzwerke - Wissensmanagement - Organisation & Prozesse - Kundenorientierung - Technologiemanagement - Risikomanagement

Abbildung 1-11: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des dritten Workshops

Ausschusses bestand in der ex-post Validierung des bis dato entwickelten reifegradbasierten Messkonzeptes für das Qualitätsmanagement in der Entwicklung disruptiver Technologien. Neben der Evaluierung der Bewertungsbereiche, welche die

Konkretisierung der zuvor entwickelten und mit den Praxispartnern abgestimmten Gestaltungsfelder darstellen, lag der Fokus auf der praxisorientierten Beurteilung sowie der Spezifizierung der Bewertungskriterien und deren Ausprägungen. Bezüglich der Motivation der Validierung wurde die Insuffizienz bestehender Reifegradmesskonzepte dargestellt. Die Erkenntnis, dass etablierte Qualitäts- und Reifegradmesskonzepte den Herausforderungen und Besonderheiten in der Entwicklung disruptiver Technologien wie der Elektromobilität nur bedingt genügen, wurde durch die Praxispartner bestätigt. Der Mehrwert und die Nutzenstiftung der Generierung eines gemäß den Herausforderungen und Besonderheiten der Entwicklung disruptiver Technologien bedarfsgerecht ausgestalteten Modells eines reifegradbasierten Qualitätsmanagements im Rahmen des Forschungsprojektes konnte somit nicht nur aus theoretischer sondern insbesondere auch praxisorientierter Perspektive fundiert werden. Die anschließende Validierung des bis dahin entwickelten Modells zeigte, dass dieses alle relevanten Bewertungsbereiche und -kriterien sowie auch deren bedarfsgerecht definierte Ausprägungen beinhaltet. Die von den Praxispartnern validierten und bestätigten Bewertungsbereiche, -kriterien und -ausprägungen konnten somit innerhalb eines IT-Tools implementiert werden. Diesbezüglich konstatierten die Praxispartner, dass die Möglichkeit zur individuellen Auswahl und Gewichtung einzelner

Gestaltungsfelder und Bewertungskriterien im Verlaufe des Forschungs- und Entwicklungsprozesses disruptiver Technologien zu insuffizienter Objektivität und Verbindlichkeit des Reifegradmodells führt. In Abbildung 1-12 sind die wesentlichen Inhalte des letzten Workshops aufgeführt. Das im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelte Modell eines reifegradbasierten Qualitätsmanagements für die Forschung und Entwicklung disruptiver Technologien muss somit eindeutig definierte Vorgaben hinsichtlich der zu jedem Messpunkt und Meilenstein zu erfüllenden Reifekriterien sowie deren Ausprägungen enthalten. Die Erkenntnissen und Schlussfolgerungen des vierten Workshops bildeten die zentrale Grundlage für die Finalisierung des entwickelten Modells eines reifegradbasierten Qualitätsmanagements disruptiver Technologien. Etwaige Anpassungs- und Änderungswünsche der beteiligten Praxispartner wurden geprüft und bedarfsgerecht innerhalb des Modells berücksichtigt. Ferner stellten die Ergebnisse des vierten Workshops das wesentliche Fundament für die Ausarbeitung des Lastenheftes des IT-Tools dar, welches im Anschluss an den vierten Workshop initiiert werden konnte. Auf der Basis dieses Lastenheftes wurden das Konzept und der grundlegende Aufbau des IT-Tools entwickelt. Darüber hinaus wurden Methoden des Qualitätsmanagements auf deren Anwendung innerhalb der Entwicklung disruptiver Technologien untersucht. Diese Untersuchung bildete den Aus-

gangspunkt zur Erstellung von Methodensteckbriefen, welche den Anwendern des Reifegradmodells komprimierte Handlungsempfehlungen in Abhängigkeit der Reifegradbewertung aufzeigen. Innerhalb des fünften Workshops des projektbegleitenden Ausschusses sollte das Lastenheft sowie das Konzept und der Aufbau des IT-Tools auf die Übereinstimmung und Entsprechung zu dem zuvor entwickelten Reifegradmodell mit den Praxispartnern geprüft werden. Darüber hinaus galt es, die Praktikabilität und Nutzbarkeit des IT-Tools durch die Praxispartner validieren zu lassen. Bis auf wenige Details und Änderungswünsche wurde das IT-Tool von Praxispartnern als angemessen und bedarfsgerecht befunden. Schlussfolgernd konnte die Entwicklung des IT-Tools auf Basis dieses Lastenheftes unter Prüfung und Berücksichtigung der Anpassungsbedürfnisse der Praxis-

Erkenntnisse	Schlussfolgerungen
Etablierte Reifegradmesskonzepte genügen den Anforderungen der Entwicklung disruptiver Technologien wie der Elektromobilität nur bedingt.	Die Entwicklung eines anforderungsgerechten Reifegradmesskonzeptes für die Entwicklung disruptiver Technologien ist erforderlich und nutzenstiftend.
Die auf Basis der zuvor identifizierten Gestaltungsfelder ermittelten Bewertungsbereiche, deren Kriterien sowie die konkreten Ausprägungen sind vollständig und bedarfsgerecht definiert.	Die von den Praxispartner validierten und bestätigten Bewertungsbereiche, -kriterien und Ausprägungen sind in dieser Form innerhalb des IT-Tools zu implementieren.
Eine individuelle Auswahl und/oder Gewichtung der Gestaltungsfelder, Bewertungsbereiche und Kriterien führt zu mangelnder Objektivität und Verbindlichkeit des Reifegradmesskonzeptes.	Der Netzwerk- und Zusammenarbeitsgedanke ist im Rahmen des Forschungsvorhabens als Handlungsfeld Entwicklungsnetzwerke aufzunehmen und innerhalb des automobilen Umfelds genauer zu spezifizieren.

Abbildung 1-12: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des vierten Workshops

partner erfolgen. Neben der Validierung des Lastenheftes des IT-Tools diente der fünfte Workshop des projektbegleitenden Ausschusses ferner der Vorstellung und Validierung der Struktur und Inhalte der Methodensteckbriefe. Es sollte insbesondere geprüft werden, ob diese sowohl die Vermittlung eines Methodenverständnisses sowie den zielgerichteten Einsatz der Methoden ermöglichen. Die Vorstellung der Methodensteckbriefe erfolgte anhand ausgewählter Methoden für jedes der erarbeiteten Gestaltungsfelder des Reifegradmodells. Form, Aufbau und grundlegender Inhalt der Steckbriefe wurden im Verlaufe der Vorstellung durch die Praxispartner als praktikabel und suffizient bestätigt. Schlussfolgernd sollte die Integration der Steckbriefe in das IT-Tool gemäß generierter Struktur und erarbeitetem Inhalt erfolgen. Die Vollständigkeit der bis dato erarbeiteten Gesamtheit an Methoden für das reifegradbasierte Qualitätsmanagement wurde auf Basis eines Praxisvortrages diskutiert, welcher die Herausforderungen der Kleinserienentwicklung und -produktion bei OEMs thematisierte. Die Inhalte des Vortrages ließen erkennen, dass die Elektromobilität für die OEMs von disruptivem Charakter ist und dass die Entwicklung der Elektromobilität neben der Anwendung etablierter Standardmethoden des Qualitätsmanagements vor allem die individuelle Entwicklung und Applikation bedarfsspezifischer Methoden erfordert.

Erkenntnisse	Schlussfolgerungen
Das erarbeitete Lastenheft des IT-Tool für das reifegradbasierte Qualitätsmanagement disruptiver Technologien gewährleistet dessen Praktikabilität, Funktionalität und Nutzbarkeit.	Das IT-Tool für das reifegradbasierte Qualitätsmanagement disruptiver Technologien kann gemäß des erarbeiteten Lastenheftes entwickelt werden.
Aufbau, Form und Inhalt der Methodensteckbriefe sichern das Verständnis der einzelnen Methoden sowie deren zielgenaue Anwendung.	Die Methodensteckbriefe können gemäß der generierten Struktur sowie dem erarbeiteten Inhalt innerhalb des IT-Tools hinterlegt werden.
Die Elektromobilität stellt für OEMs eine disruptive Technologie dar, welche über die Anwendung der etablierten Standardmethoden hinaus die Entwicklung und den Einsatz bedarfsspezifischer Methoden des Qualitätsmanagements erfordert.	Handlungsempfehlungen auf Basis eines reifegradbasierten Modells für das Qualitätsmanagement disruptiver Technologien haben neben etablierten Methoden des Qualitätsmanagements insbesondere auch bedarfsspezifisch ausgestaltete Methoden zu berücksichtigen.

Abbildung 1-13: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des fünften Workshops

Die Gesamtheit der Methodenempfehlungen innerhalb eines reifegradbasierten Qualitätsmanagement für disruptive Technologien ist vor diesem Hintergrund um diese spezifisch ausgestalteten Methoden zu erweitern. Abbildung 1-13 fasst die dargelegten Erkenntnisse und Schlussfolgerungen zusammen.

1.3 Forschungsdesign

Der Forschungsablauf und die Hypothesenbildung basieren sowohl auf der Auswertung vorhandener Fremdstudien, sowie der Aggregation sämtlicher Erkenntnisse aus Befragungen, Fallstudien, Expertengesprächen und Workshops. Insgesamt konnten auf dieser Grundlage 10 Hypothesen zur Erarbeitung eines reifegradbasierten Qualitätsmanagements in Forschungs- und Entwicklungsnetzwerken für disruptive Technologien am Bei-

spiel Elektromobilität formuliert werden. Diese werden nachfolgend fundiert.

H1: Die Entwicklung der Elektromobilität ist insbesondere für die etablierten Unternehmen der Automobilindustrie von disruptivem Charakter. Die Entwicklung der Elektromobilität stellt einen technologischen Umbruch für die Automobilindustrie dar. Der technologische Umbruch ergibt sich aus der Abkehr von der ausgereiften Technik des Verbrennungsmotors hin zum elektronischen Antrieb des Automobils. Das Gesamtsystem des elektrisch getriebenen Automobils sowie auch dessen Einzelkomponenten versetzt die Automobilindustrie an den Anfang eines technologischen Entwicklungs- sowie Optimierungspfades und erfordert die Analyse, Anpassung und/oder Erneuerung von Prozessen, Strukturen und Methoden.

H2: Der disruptive Charakter der Elektromobilität manifestiert sich in den Technologien der Batterie, des Antriebs und des Leichtbaus. Diese Komponenten bilden die Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und sind ausschlaggebend für den Erfolg. Die Erhöhung der Leistungsdichte der Batterie, die Optimierung des Antriebsstranges sowie die Verbesserung von Leichtbaumaterialien und -strukturen bilden in Summe die zentralen Erfolgsfaktoren für die Elektromobilität und sind daher als Schlüsseltechnologien zu betrachten. Mehr als alle anderen Technologien tragen Sie zur Erhöhung der Reichweite von

elektrisch betriebenen Automobilen bei und fördern dadurch deren Markt- und Wettbewerbsfähigkeit. Die Optimierung und Weiterentwicklung dieser Schlüsseltechnologien ist daher im Rahmen der Elektromobilität zu fokussieren.

H3: Die Entwicklung der Elektromobilität und ihrer Schlüsseltechnologien erfordert die branchenübergreifende Kooperation von heterogenen Unternehmen aus ebenso heterogenen Branchen. Über die technologische Dimension des disruptiven Charakters hinaus bedeutet die Entwicklung der Elektromobilität auch einen strukturellen Umbruch für die Automobilindustrie. Die strukturelle Dimension des disruptiven Charakters ergibt sich aus der Tatsache, dass die Kompetenzen für die Technologien der Elektromobilität zu großen Teilen in anderen Branchen und Industriezweigen zu finden sind. So liegen die Kompetenzen für die Schlüsseltechnologien der Batterie bei Elektronik-, Energie- und Chemieunternehmen. Das Wissen für die Schlüsseltechnologie des Leichtbaus liegt hingegen bei Unternehmen der Werkstoffindustrie sowie in der Luft- und Raumfahrt. Hieraus ergibt sich für die Automobilindustrie die Anforderung, ebendiese branchenfremden Unternehmen vermehrt im Rahmen von Kooperationen und Netzwerken in die Entwicklung der Elektromobilität einzubeziehen. Mithin sind die Unternehmen allein schon auf Grund ihrer Branchen- und Industriezugehörigkeit als heterogen zu erachten. Darüber hinaus ergibt sich die

Heterogenität aus divergenten Unternehmensgrößen und -strukturen.

H4: Die im Rahmen der Elektromobilitätsentwicklung kooperierenden, heterogenen Unternehmen zeichnen sich durch ebenso heterogene Qualitätsstandards, -kriterien, -messkonzepte und -managementprozesse aus. In der kooperativen Entwicklung der Elektromobilität kommt es durch die in Bezug auf ihre Branchen, Industrien, Märkte, Wettbewerber und Kunden zuvor heterogenen Unternehmen zwangsläufig zur Konfrontation verschiedenartiger Qualitätsstandards, -messkonzepte, -kriterien und -managementprozesse. So treffen die Schlüsseltechnologien Batterie, Antrieb und Leichtbau auf die Standards, Konzepte, Kriterien und Prozesse der Automobilindustrie, der Energie- und Elektronikbranche sowie der Chemie und Werkstoffindustrie.

H5: Durch das kooperative Zusammenwirken heterogener Unternehmen sowie durch den disruptiven Charakter birgt die Entwicklung der Elektromobilität Risiken und Herausforderungen für die Einhaltung der Qualitätsstandards, -messkonzepte und -managementprozesse der Automobilindustrie. Das kooperative Zusammenwirken heterogener Unternehmen führt insofern zu qualitätsrelevanten Risiken und Herausforderungen bei der Entwicklung der Elektromobilität, als dass nun mehr eine Vielzahl neuer bzw. zuvor unabhängiger Komponenten, Syste-

me, Strukturen sowie Verfahren, Prozesse und Methoden sowohl individuell als auch in ihrer Gesamtheit und ihren Interdependenzen auf die Qualität und das Qualitätsmanagement einwirken. Das mangelnde Wissen über diese Einzel- und Gesamtwirkungen, deren Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, Abhängigkeiten sowie deren disruptiver Neuheitscharakter stellen die Automobilindustrie und ihre Zulieferer vor neue, teils unbekannte und/oder schwer prognostizierbare Risiken und Herausforderungen. Um die hohen Qualitätsstandards in der Automobilindustrie auch im Rahmen der Elektromobilität einhalten und gewährleisten zu können, gilt es, diese Risiken und Herausforderungen zu untersuchen und zu beherrschen.

H6: Die Entwicklung der Elektromobilität erfordert auf Grund des disruptiven Charakters ihrer Schlüsseltechnologien sowie vor dem Hintergrund der Kooperation heterogener Unternehmen die Generierung neuer und/oder die Adaption bestehender Qualitätsstandards, -messkonzepte und -managementprozesse. Aufgrund der technologischen, strukturellen sowie organisatorischen und prozessualen Implikationen der Elektromobilität, sind vorherrschende, etablierte Qualitätsstandards,- messkonzepte, -kriterien und -managementprozesse zunächst auf ihre weitere Tauglichkeit und Anwendbarkeit im Rahmen der Entwicklung der Elektromobilität zu prüfen. Im Falle einer Insuffizienz sind diese Standards, Messkonzepte, Kriterien und Ma-

nagementprozesse bedarfsgerecht anzupassen, zu erweitern oder zu erneuern.

H7: In der kooperativen Entwicklung der Elektromobilität sind die inhomogenen Qualitätsstandards der heterogenen Unternehmen an die herrschenden Qualitätsstandards der Automobilindustrie zu assimilieren. Die Qualität der Komponenten und des Endprodukts bildet neben dem Preis den zentralen Erfolgsfaktor für die Kunden- und Nutzerakzeptanz und schlussendlich für den Markt- und Wettbewerbserfolg in der Elektromobilität. Vor diesem Hintergrund gilt es, die automobilen Qualitätsstandards auch im Rahmen der Elektromobilität zu erfüllen und garantieren zu können. Zu diesem Zwecke sind abweichende Qualitätsstandards an die der Automobilindustrie anzupassen.

H8: Die Elektromobilität ist ein ganzheitliches System von disruptiven Technologien, bei welchem eine entsprechende Komplexität und Komponentenkompatibilität zu berücksichtigen ist, um Qualitätsprobleme zu vermeiden. Die Komplexitätswirkungen, die Interaktion und die Kompatibilität der Technologien sowie der Einzelkomponenten im Gesamtsystem elektrisch angetriebener Automobile sind im Vergleich zur Verbrennungsmotortechnik noch wenig optimiert. Um Qualitätsproblemen vorzubeugen sind die Komplexität und die Kompatibilität dieser Technologien und Komponenten frühzeitig zu berücksichti-

gen. Es gilt, die Komplexität zu reduzieren und die Kompatibilität zu erhöhen.

H9: Die bedarfsgerechte Entwicklung neuer bzw. die Adaption bestehender Qualitätsstandards, -kriterien, -messkonzepte und -managementprozesse hat nicht nur in Bezug auf die Einzeltechnologien der Elektromobilität, sondern insbesondere auf die Komplexität der entwickelten Systemverbünde und die Kompatibilität der Komponenten zu erfolgen. Der disruptive Charakter der Technologien der Elektromobilität vergrößert sich durch deren Symbiose im Gesamtsystem. Vor dem Hintergrund neuer, teils unbekannter Komplexitäts- und Kompatibilitätswirkungen der Einzeltechnologien und -komponenten im Systemverbund, sind die Qualitätsstandards, -kriterien, -messkonzepte und -managementprozesse auch und vor allem auf das Gesamtsystem hin auszulegen.

H10: Die bedarfsgerechte Entwicklung neuer bzw. die Adaption bestehender Qualitätsstandards, -messkonzepte und -managementprozesse hat unter besonderer Fokussierung der Schlüsseltechnologien Batterie, Antrieb und Leichtbau zu erfolgen. Batterie, Antrieb und Leichtbau stellen die erfolgskritischen Schlüsseltechnologien der Elektromobilität dar. Mithin ist die Qualität dieser Technologien ausschlaggebend für die Weiterentwicklung sowie den Markt- und Wettbewerbserfolg der Elektromobilität. Vor diesem Hintergrund ist diesen Tech-

nologien im Rahmen des Qualitätsmanagements besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Das Forschungsvorhaben strebt die Entwicklung eines reifegradbasierten Messkonzepts für das Qualitätsmanagement in Forschungs- und Entwicklungsnetzwerken für disruptive Technologien am Beispiel der Elektromobilität an. Das erarbeitete Messkonzept soll Unternehmen in der Entwicklung und dem Umgang mit disruptiven Technologien, insbesondere der Elektromobilität, hinsichtlich der Identifizierung, Bewertung, Beherrschung und Verbesserung qualitätsrelevanter Faktoren unterstützen. Um sowohl konkrete als auch zielführende Anforderungen an das reifegradbasierte Messkonzept zu identifizieren und zu erfüllen, sind im Verlauf des Forschungsvorhabens die folgenden Fragestellungen zu beantworten:

- Welche konkreten qualitätsrelevanten Herausforderungen ergeben sich durch die Technologien der Elektromobilität?
- Lassen sich die vorhandenen Ansätze des Qualitätsmanagements von der Automobilindustrie auf die Lieferanten und Kooperationspartner der Technologien übertragen?
- Erfordert die Existenz und Integration neuer Technologien die Erarbeitung neuer oder die Anpassung bzw. Erweiterung bestehender Ansätze der Qualitätssicherung?

- Welche Besonderheiten ergeben sich für die Qualität im Kontext der Entwicklung von neuen Technologien in F&E-Netzwerken und wie sind diese zu berücksichtigen?
- Welche Kenngrößen respektive Kriterien werden aufgrund der speziellen Anforderungen neuer Technologien an das Qualitätsmanagement benötigt?
- Inwieweit muss die Qualitätssicherung durch die neuen Technologien auch auf das Serviceumfeld in der Automobilindustrie ausgeweitet werden?
- Wie lässt sich der Reifegrad in ein Messsystem für das Qualitätsmanagement für die Entwicklung neuer Technologien in der Elektromobilität einbinden?
- Welche typspezifischen Handlungsempfehlungen sind je nach Technologie- und Prozessreife zu verfolgen?

2 Entwicklung von Technologien in der Elektromobilität

Die Elektromobilität gilt als Lösung für effizientere und umweltfreundlichere Fahrzeuge und zur nachhaltigen Entkoppelung der Mobilität von fossilen Brennstoffen. Die Übergangsphase vom Verbrennungsmotor hin zum elektrischen Antrieb wird dabei durch eine simultane Entwicklungsarbeit bestimmt. Die inkrementelle Verbesserung der heute bereits weitestgehend optimierten konventionellen Antriebssysteme hat parallel zu einer durch Sprünge geprägten Technologieentwicklung im Bereich der elektrischen Antriebssysteme zu erfolgen. Folglich befindet sich die Automobilindustrie in einem tiefgreifenden strukturellen Wandel. Der weitere Entwicklungspfad der Markttransformation in der Elektromobilität wird maßgeblich durch die technologischen Schwerpunktfelder in der Forschung und Entwicklung bestimmt. Die Qualitätssicherung in Forschung und Entwicklung ist hierbei erfolgsentscheidend für die an Komplexität gewinnenden Entwicklungsnetzwerke. Um den speziellen Anforderungen der Elektromobilität gerecht zu werden, gilt es ein Reifegradmodell zu entwickeln, das gezielt dazu eingesetzt werden kann die Koordination der Netzwerkpartner und das Schnittstellenmanagement innerhalb des Entwicklungsprozesses zu verbessern. 80% der Herstellkosten in der Automobilbranche entstehen in der frühen Phase der Produktentwicklung (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Die technologi-

schen Herausforderungen bringen sowohl für OEMs als auch deren Zulieferer große Veränderungen mit sich. Um den Anforderungen an Regulierung, Total Cost of Ownership und Akzeptanz des Kunden am Markt gerecht zu werden, gilt es nach wie vor technologische Hürden zu überwinden. Um diese Hürden zu analysieren, werden die trendbestimmenden Technologien der Elektromobilität erarbeitet.

2.1 Eigenschaften der Technologien der Elektromobilität

Die zunehmende Elektrifizierung und Vernetzung von Fahrzeugsystemen ist als zentraler Trend und zukunftsbeständiger Innovationstreiber aus der Automobilentwicklung nicht mehr wegzudenken. Während das komplette Schaltbild eines VW-Käfers der 60er Jahre problemlos auf einem DIN-A4-Blatt darstellbar ist, umfassen die elektronischen Systeme eines heutigen VW Phaeton 45 vernetzte Steuergeräte, die mit einem 64 kg schweren und über 3,8 km langen Leitungsstrang mit über 2000 Schnittstellen verbunden sind. Auch die Komplexität der elektronischen Systeme hat eine überproportionale Entwicklungskurve durchlaufen. Durchschnittliche Motorsteuergeräte in den 1990er Jahren wiesen einen Funktionsumfang von etwa 20 Funktionen auf, die über etwa 200 erfasste Parameter gesteuert wurden. Das Lastenheft eines solchen Steuergeräts umfasste um die 50 Seiten. Ein modernes Steuergerät hat einen Funktions-

umfang von etlichen hundert Funktionen und überwacht mehr als 20.000 Parameter. Das Lastenheft eines neu zu entwickelnden Steuergeräts würde mehrere tausend Seiten umfassen. Studien prognostizieren einen Anstieg des Herstellkostenanteils elektronischer Komponenten am Fahrzeug auf 35% bis 2017 und auf 50% bis 2030 (vgl. Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik 2014). Langfristig kann dieser Wert auf bis zu 70% steigen. Als zentrale Treiber dieser Entwicklung treten die Elektrifizierung des Antriebsstranges und die zunehmende Menge an Sensoren und elektrischen Baugruppen in den Bereichen der Fahrerassistenz, Komfort- und Infotainmentsysteme sowie Sicherheitssysteme in den Vordergrund. Die wirtschaftliche Relevanz der Elektrifizierung von Fahrzeugen wird neben ihrem relativen Bedeutungszuwachs vor allem durch die zunehmende Diffusion der Technologien in die volumenstarke Kompaktklasse bestärkt. Hierzu sind die relevanten Technologiefelder zu beleuchten und hinsichtlich ihrer Implikationen für das Qualitätsmanagement zu klassifizieren. Der Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik weist sieben zentrale Technologiefelder der Elektromobilität aus: Elektrischer Antriebsstrang, Hochvolt-Bordnetz, Batteriesystem, Energierückgewinnung, Energiemanagementsysteme und Ladeschnittstelle. Diese Felder müssen um den Leichtbau ergänzt werden.

Elektrischer Antriebsstrang: Der Antriebsstrang stellt das zentrale Modul im Automobil und damit das zentrale Entwicklungsfeld der Elektrifizierung dar. Der Antriebsstrang eines konventionellen Fahrzeugs setzt sich aus dem Verbrennungsmotor, dem Schwungrad, der Kupplung, dem Getriebe, den Differenzialen sowie den Antriebsachsen zusammen. Bei einem elektrifizierten Antriebsstrang ist zwischen einem Hybridsystem und einem rein elektrischen Antrieb zu unterscheiden. Ein hybrides Antriebssystem verfügt über die genannten Komponenten des konventionellen Antriebsstrangs, die je nach Hybridisierungsgrad um einen elektrischen Antrieb, einen Energiespeicher (Akkumulator), Leistungselektronik und ein Energierückgewinnungssystem ergänzt werden. Ein rein elektrischer Antriebsstrang umfasst die genannten elektrischen Komponenten sowie gegebenenfalls ein Energieerzeugungssystem wie etwa eine Brennstoffzelle. Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs bildet das Kernelement des künftigen Entwicklungspfads der E-Mobility und stellt aufgrund der hohen technischen Komplexität und der hohen Energiedichte der in kinetische Energie zu transformierenden elektrischen Energie die größten Herausforderungen an alle beteiligten Entwicklungspartner dar. Neben der Sicherstellung eines Höchstmaßes an Produktsicherheit und Zuverlässigkeit rücken mit der steigenden Industrialisierung der Produktion auch Wirkungsgrad und Lebensdauer sowie Modularisierungs- und Zielkostenüber-

legungen stärker in den Fokus der Entwicklung. Die Komplexität ergibt sich hierbei in der Notwendigkeit einer kaskadierten Abstimmung aller Elemente des elektrischen Antriebs auf Komponenten-, Modul-, System- und Gesamtfahrzeugebene, die sich aus dem hohen Grad der Interdependenz der elektronischen Komponenten ergibt. Ähnlich wie bei einem Smart-Grid-Netz gilt es den zum Teil stark schwankenden Leistungsbedarf aller Komponenten mit dem Leistungsbereitstellungssystem zu harmonisieren, um unter sämtlichen Fahrsituationen und Umweltbedingungen eine sichere und effiziente Energieversorgung sicherzustellen. Auch kommt der Bauteil- und Funktionsintegration im Bereich des elektrifizierten Antriebsstrangs eine hohe Bedeutung zu. Durch eine kompakte, integrierte Bauweise der Komponenten wird Bauraum eingespart, der in modernen Fahrzeugen durch ihren steigenden Funktionsumfang und die damit steigende Modulanzahl immer kostbarer wird. Zudem wird durch eine integrierte Bauweise der Montageprozess vereinfacht und die elektrischen Schnittstellen und Kabellängen minimiert, was geringere Spannungsabfälle zur Folge hat. Aufgrund der Substitutionsbeziehung zu konventionellen fossilen Antriebssystemen wird die Technologietransformation hin zu rein elektrischen Antriebssystemen in mehreren Stufen verlaufen und sich über einen Zeitraum von mehreren Dekaden erstrecken. Der Entwicklungspfad ist mit einer hohen Unsicherheit behaftet, die

sich aus der Abhängigkeit zu externen Rahmenbedingungen wie der Kraftstoffpreisentwicklung, der Strompreisentwicklung und der Kosten- und Leistungsentwicklung der Akkumulatortechnologie ergibt (vgl. Plötz et al. 2013, S.1). Mit jeder Entwicklungsstufe hybrider Antriebssysteme gilt es die vorhandenen technologischen Konzepte für die Module des Antriebsstrangs zu verbessern, oder diese durch radikale Innovationen durch neue Technologien zu ersetzen. Während frühere elektrifizierte Fahrzeuge oftmals noch einen Großteil der Komponenten des konventionellen Antriebsstrangs nutzten, sind bei aktuellen Modellen bereits die Komponenten stark angepasst oder gänzlich ersetzt worden. Eine besondere Herausforderung ergibt sich aus den unterschiedlichen Anforderungs- und Leistungsprofilen von Verbrennungs- und elektrischen Motoren, die weitreichende Auswirkungen auf die weiteren Komponenten des Antriebsstrangs haben. Dies lässt sich am Beispiel des Drehzahlspektrums der beiden Motorentypen veranschaulichen: während PKW-Verbrennungsmotoren einen Drehzahlbereich von etwa 800 U/Min bis zu 5000 U/Min (Dieselmotor) oder 7000 U/Min (Ottomotor) aufweisen, umfasst der Drehzahlbereich eines entsprechenden Elektromotors je nach Typ von 100 U/Min bis zu 20.000 U/Min. Aus der großen Drehzahldifferenz ergeben sich gänzlich verschiedene Übersetzungsverhältnisse für das Getrie-

be, die es durch innovative Getriebekonzepte zu harmonisieren gilt.

Leistungselektronik und Hochvolt-Bordnetz: Die Elektrifizierung des Antriebs zieht weitreichende Auswirkungen in der technischen Ausgestaltung des Fahrzeugs nach sich, die weit über die Neugestaltung des Antriebsstrangs hinausgehen. So hat der Verbrennungsmotor neben der Gewährleistung des Vortriebs die Energieversorgung zahlreicher Nebenverbraucher zur Aufgabe. Leistungsstarke Verbraucher wie die Ölpumpe werden in der Regel direkt über den Keilriemen mit angetrieben. Leistungsschwächere Verbraucher wie der Klimakompressor oder die Lichtmaschine werden hingegen meist indirekt über den Ölkreislauf oder die in der Lichtmaschine generierte elektrische Energie versorgt. Mit dem Entfall des Verbrennungsmotors verlieren diese Hilfsaggregate somit ihre Energiequelle. Aufgrund der rein elektrischen Funktionsweise werden in einem Elektrofahrzeug alle Nebenverbraucher elektrisch betrieben. Hierzu sind teilweise sehr leistungsfähige Wechselrichter sowie Spannungswandler und zusätzliche Leistungselektronik für das Energiemanagement vonnöten (vgl. Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik 2014). Als weitere Herausforderung kommen die hohen Leistungsdichten von bis zu mehreren 100kW und Ströme von mehreren hundert Ampere hinzu, die über das Bordnetz von der Stromquelle zum Hauptantrieb gelei-

tet und dort entsprechend der Fahrsituation und den Fahreraktionen gesteuert werden müssen. Insgesamt ist für Elektrofahrzeuge somit ein Hochvolt-Versorgungsnetz (HV-Bus) unumgänglich. Vor dem Hintergrund des in der Automobilindustrie vorherrschenden sehr hohen Anforderungsniveaus bezüglich Sicherheit, Zuverlässigkeit, Kosten, Bauraum und Robustheit stellen die teilweise sehr aufwendigen Elektronikkomponenten und die nutzbaren, teilweise teuren Materialien die Träger der Technologieentwicklung vor die Herausforderung, die Gratwanderung in diesem Anforderungsraum erfolgreich zu beschreiten. Bei Antrieben bis etwa 100 kW kommt meist ein Hochvoltnetz mit bis zu 400 (420) V zum Einsatz, um die Kosten durch die Nutzung standardisierter 600 V Leistungshalbleiter zu minimieren. Bei hohen Leistungsklassen, die insbesondere bei Sport- und Nutzfahrzeugen vorzufinden sind, fallen auch höhere Hochvolt-Busspannungen an, die von 650 V bis 800 V reichen und eine Leistungselektronik mit einer Sperrfähigkeit von über 1200 V erfordern (vgl. Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik 2014).

Batteriesystem: Das Batteriesystem stellt die Kernkomponente im elektrischen Antriebsstrang und den kritischsten Erfolgsfaktor im weiteren Entwicklungspfad der Elektromobilität dar. Etymologisch leitet sich der Begriff der Batterie aus dem Militärwesen ab, in dem eine Batterie einen Zusammenschluss meh-

rerer Artillerieeinheiten umschreibt. Im Analogieschluss beschreibt die Batterie im Begriffsumfeld der Speicherung elektrischer Energie eine Reihenschaltung mehrerer galvanischer Zellen zu einem Energiespeicher. Es kann weiterhin eine Unterscheidung zwischen Batterien und Akkumulator-Batterien getroffen werden, wobei sich letztere durch die Fähigkeit abgrenzen, mehrere Ladezyklen zu durchlaufen. Die Leistungsdichten von Einmal-Batterien und Akkumulatoren unterscheiden sich bei den heute am Markt etablierten Batterietypen nicht erheblich. Im Kontext der E-Mobility kommen daher heute ausschließlich Akkumulatoren zum Einsatz. Hier kommt der Begriff der Traktionsbatterie (Traktionsakkumulator) zum Tragen, der einen Zusammenschluss mehrerer Batterieeinheiten zu einem Zellenverbund mit höherer Kapazität und Leistungsabgabe beschreibt. Traktionsbatterien sind auch unter den Begriffen Traktionsakkumulator, Antriebsbatterie und Zyklenbatterie bekannt. Neben dem Fahrzeuggewicht ist die Traktionsbatterie ein Schlüsselfaktor in Bezug auf die erzielbare Reichweite bei Elektrofahrzeugen. Obwohl auch ältere Akkumulatortechnologien in verschiedenen Anwendungsfeldern etabliert sind (Blei-Akkumulatoren, Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren, Nickel-Cadmium-Akkumulatoren), konnten sich im Bereich der E-Mobility insbesondere der Lithium-Ionen-Akkumulator und zunehmend auch der Lithium-Polymer-Akkumulator aufgrund ih-

rer höheren Energiedichte und ihrem geringeren Leistungsgewicht durchsetzen. Gegenüber den anfänglichen Blei-Nickel-Akkus der 1900er Jahre konnte bis heute eine Versechsfachung der Leistungsdichte erreicht werden (vgl. Noorden 2014). Doch gegenüber fossilen Brennstoffen weisen selbst Lithium-Polymer-Akkus eine wesentlich eingeschränktere Energiedichte auf: 1 Kg Benzin (1,33 Liter) liefert etwa 12 kWh Energie. Demgegenüber speichert ein aktueller 1 Kg Lithium-Polymer-Akkumulator etwa 0,15 kWh und damit lediglich etwas mehr als 1% der Energie einer analogen Menge an fossilem Brennstoff. Der gegenüber dem Verbrennungsmotor wesentlich höhere Wirkungsgrad des Elektromotors (etwa 85-90%; Ottomotor etwa 30%) kommt hierbei jedoch als begünstigender Faktor hinzu. Auch unter Berücksichtigung der Wirkungsgraddifferenz bleibt eine erhebliche Leistungslücke der Akkumulatoren bestehen, die diese zur kritischsten Komponente im Entwicklungsprozess marktfähiger Elektrofahrzeuge machen. Die Gewichtsproblematik wird durch die Notwendigkeit einer unfallsicheren Einhausung, das Batteriekühlsystem und das Batteriemanagementsystem weiter verschärft, da dies das Netto-Zellgewicht um etwa 65 Prozent erhöht und somit die Leistungsdichte des Gesamtsystems halbiert (vgl. Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik 2014). Die Leistungsdichte eines Akkumulators hängt primär von der chemischen Energie ab, die im Reak-

tionsprozess freigesetzt wird. Die Wahl der chemischen Elemente hat somit einen direkten Einfluss auf das chemische Reaktionspotenzial. Der Schwerpunkt der Akkumulatorforschung liegt daher weltweit auf der Identifikation und Industrialisierung alternativer Akkumulatortechnologien unter der Nutzung möglichst reaktionsfreudiger Elemente mit hohen chemischen Potenzialen. Das US-amerikanische Energieministerium hat das Joint Center for Energy Storage Research im Jahr 2012 mit einer Fördersumme von 120 Mio. USD beauftragt, binnen 5 Jahren einen marktfähigen Akkumulator zu entwickeln, der die fünffache Kapazität eines heutigen Lithium-Ionen-Akkumulators bei einem Fünftel der Kosten aufweist. Der Benchmark wurde hierbei auf eine Energiedichte von 0,4 kWh/Kg bis zum Jahr 2017 gesetzt (vgl. Noorden 2014). Um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen, sind verschiedene technologische Ansätze denkbar, die sich hinsichtlich ihrer Energiedichte und Industrialisierbarkeit unterscheiden. Abbildung 2-1 fasst die Entwicklungstrends der relevantesten Technologien zusammen. Als vielversprechendste Technologien werden heute Magnesium-Ionen-Akkumulatoren, Lithium-Schwefel-Akkumulatoren und Lithium-Luft-Akkumulatoren diskutiert. Die erzielbare Energiedichte von Lithium-Schwefel-Akkumulatoren liegt bei dem Faktor 2 bis 5 gegenüber aktuellen Lithium-Polymere-Akkumulatoren und damit

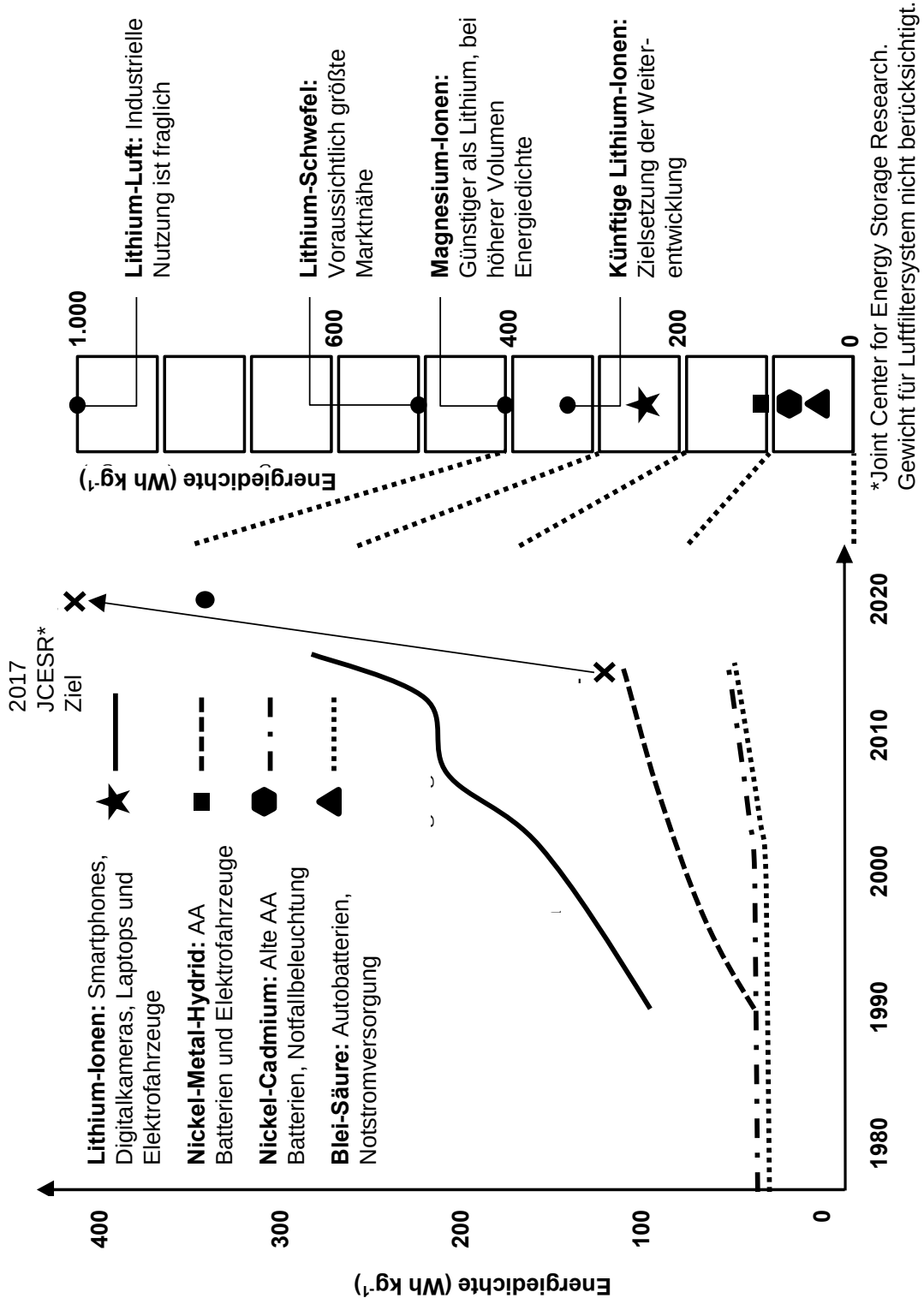


Abbildung 2-1: Entwicklungspotenzial der Akkumulatortechnologie

weit niedriger, als die theoretisch erzielbaren Energiedichten der weiteren Technologiearten. Jedoch kommen mit Lithium und Schwefel sehr kostengünstige Elemente als Energieträger zum Einsatz. Zudem kann bei diesem Akkumulatortyp auf die Graphitmatrix zur Einbettung der Lithium-Ionen in der Anode verzichtet werden. Anstelle des Graphits kommt reines Lithium zum Einsatz, das als Elektrode sowie als Ionenquelle dient. Beim Entladen des Akkumulators schrumpft die Elektrode zusammen und beim erneuten Aufladen nimmt diese wieder ihre ursprüngliche Form ein. Somit ergibt sich ein Kosten-, Gewichts- und Bauraumvorteil für den Lithium-Schwefel-Akku. Jedoch gelten diese bis heute als wenig zyklenfest und sind somit für den Einsatz im automobilen Umfeld noch ungeeignet. Doch zeichnen sich bereits heute verschiedene Ansatzpunkte in der Nanotechnologie und Elektrolytchemie zur Überwindung der bestehenden Problematik ab. Magnesium-Ionen-Akkumulatoren sind zunächst durch einen Gewichtsnachteil gegenüber den auf Lithium basierenden Systemen gekennzeichnet, da Magnesium ein höheres spezifisches Gewicht aufweist. Doch schwerere Elemente wie Magnesium bieten einen erheblichen Vorteil. Mit Magnesium lassen sich zwei elektrische Ladungen tragen und damit doppelt so viele wie mit Lithium. Somit lassen sich erhebliche Steigerungen in der Energiedichte erzielen. In der größeren Masse liegt jedoch auch das Dilemma dieses Ener-

gieträgers. Er bewegt sich wesentlich langsamer durch Elektrolyt und Elektrode als Lithium, mit der Folge einer reduzierten Stromstärke. Der Forschungsschwerpunkt liegt daher in der Identifikation geeigneter Elektrolyte, die einen schnelleren Ionenfluss ermöglichen. Lithium-Sauerstoff-Akkumulatoren sind am Zukunftsträchtigsten in der Akkumulatorforschung in Bezug auf die erzielbare Energiedichte dar, da sich mit ihnen theoretisch ähnliche Werte wie mit fossilen Brennstoffen erzielen lassen. Durch die direkte Oxidation des Lithiums mit der Umgebungsluft lässt sich eine hohe chemische Reaktionsenergie bei einem stark reduzierten Zellengewicht realisieren. Alternativ könnten bei diesem technologischen Ansatz der „atmenden Batterie“ auch kostengünstigere Materialien wie Natrium in einem Natrium-Luft-Akkumulator zum Einsatz kommen und so die Kosten auf unter 90 EUR/kWh reduzieren. Natrium-Luft-Akkumulatoren haben gegenüber Lithium-Luft-Akkumulatoren weiterhin den Vorteil, dass sich diese effizienter aufladen lassen und wesentlich mehr Ladezyklen durchlaufen können, ohne dabei einen Großteil ihrer Kapazität einzubüßen. Als zentrales Problem gilt die Aufbereitung der Umgebungsluft für den Oxidationsprozess. Im internationalen Vergleich liegen Japan, Südkorea und China an der Spitze der Technologieentwicklung im Bereich der Hochleistungsakkumulatoren. Die Entwicklung von Traktionsbatterien weist eine Verzögerung von einigen Jahren

auf, sodass deutsche Entwicklungsnetzwerke aufgrund ihres System-Know-hows die Chance haben, sich als globaler Technologieführer aufzustellen (vgl. Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik 2014).

Energierückgewinnung: Die kontinuierliche Steigerung des Wirkungsgrads bildet eine zentrale Zieldimension konventioneller und elektrischer Antriebssysteme. In konventionellen Fahrzeugen wird die kinetische Energie beim Bremsen und im Schubbetrieb in thermische Energie überführt, die über die Bremsscheiben und den Motor ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Elektrische Antriebssysteme bieten hingegen die Möglichkeit, die kinetische Energie des Fahrzeugs während des Bremsvorgangs über die Nutzung des Antriebsmotors als Generator wieder in elektrische Energie zu wandeln und den Wirkungsgrad des Gesamtsystems somit erheblich zu steigern. Dieser Prozess der Energierückgewinnung wird auch als Rekuperation bezeichnet. Die durch Rekuperation erzielbare Effizienzsteigerung hängt stark vom Fahrprofil des Fahrzeugs ab und kann bei häufigen Start-Stopp-Zyklen bis zu 25% betragen. Um den Rückgewinnungsprozess weiter zu optimieren, kann das Rekuperationssystem zusätzlich mit Großkapazitäts-Kondensatoren (Supercaps) ausgestattet werden. Kondensatoren zeichnen sich durch eine gegenüber Batterien geringere Speicherkapazität bei drastisch erhöhten Lade- und Entladeraten aus.

Der Einsatz der Supercaps ermöglicht es, Spitzenlasten im Brems- und Anfahrfall abzufangen und so auch diese Spitzenenergien nutzbar zu machen. Weitere Potenziale für die Rekuperation bieten die übrigen bewegten Massen am Fahrzeug wie Radaufhängung und Federung sowie die thermische Energie der Komponenten des Antriebsstrangs. Im Gegensatz zu den bereits im Feld eingesetzten Rekuperationssystemen befindet sich die Technologieentwicklung in diesen Anwendungsfeldern jedoch noch in einem frühen Entwicklungsstadium.

Hilfsaggregate: Die Anzahl der Hilfsaggregate ist aufgrund des steigenden Funktionsumfangs moderner PKW kontinuierlich angestiegen. Etablierte Systeme wie Servolenkung, Bremskraftunterstützung und Klimaanlage sind heute bereits in nahezu allen Fahrzeugklassen in den Bereich der Serienausstattung migriert. Gleichzeitig kommen immer neue Hilfsaggregate zur Realisierung innovativer Funktionen wie der elektronischen Handbremse, der Sitzklimatisierung und dem automatischen Einparksystem hinzu. Im Rahmen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs hat auch eine Elektrifizierung der bisweilen noch direkt über den Keilriemen angetriebenen Aggregate wie Hydraulikpumpen, Servolenkung oder Wasserpumpe zu erfolgen. Die Elektrifizierung der Aggregate bietet ein hohes Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz, wodurch ihre technische Weiterentwicklung auch wirtschaftlich interessant wird (vgl. Hönes

2006, S. 76). Der Verband der Elektroindustrie hat 7 Technologiefelder identifiziert, die im Rahmen der Elektrifizierung von Fahrzeugen besonders entwicklungsrelevant sind (vgl. Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik 2014):

- Aktive Lenkung, Lenkunterstützung und Steer-by-Wire,
- Kupplungs- und Shift-by-Wire Systeme,
- elektromechanische Bremssysteme und Brake-by-Wire,
- Klimaregelungssysteme (Heizung und Lüftung),
- Federung, Dämpfungs- und Stabilisatoraktoren,
- Starter-Generatoren und
- Traktionsbatterie-Kühlung.

Bei konventionellen Systemen werden die meisten Hilfsaggregate über den Keilriemen direkt durch den Verbrennungsmotor angetrieben, da dies die kostengünstigste Möglichkeit der Energieversorgung für leistungsintensive Verbraucher darstellt. Hieraus ergibt sich jedoch der Nachteil, dass die Leistungsversorgung der Nebenaggregate mechanisch von der Drehzahl des Motors abhängt und somit keine optimale Synchronisation von Energiebereitstellung und –bedarf gegeben ist. Durch eine mechanische Entkoppelung der Hilfsaggregate vom Motor durch eine konsequente Elektrifizierung kann dieses Defizit behoben werden. Aufgrund der Notwendigkeit einer bedarfsgerechten

Energiebereitstellung bestimmter Hilfsaggregate besitzen bereits heutige Fahrzeuggenerationen mit konventionellem Antriebssystem oftmals eine leistungsstärkere Lichtmaschine, die eine Elektrifizierung zahlreicher Nebenaggregate ermöglicht. So kann etwa der Motorkühler elektrisch betrieben werden, wodurch sich eine höhere Kühlleistung und eine Harmonisierung der Kühlleistung mit der anfallenden Abwärme erzielen lässt. Somit kann der Kühlkreislauf kleiner dimensioniert werden und der Motor erreicht aufgrund des geringeren Kühlmittelvolumens nach dem Kaltstart schneller seine Betriebstemperatur und die damit verbundenen minimalen Emissionswerte. Auf diese Weise können alleine durch die Elektrifizierung des Motorlüfters bis zu 3% Kraftstoff gespart werden (vgl. Hönes 2006, S. 76). Die Elektrifizierung bietet im Bereich der Komfort- und Sicherheitssysteme große Vorteile. Durch den Einsatz eines digitalen Bussystems lässt sich eine hohe Systemflexibilität bei gleichzeitig höherer Sicherheit realisieren. So kann mit der Elektrifizierung der Fahrsicherheitssysteme ABS und ESP über ein BUS-gesteuertes elektrisches Bremssystem ein schnelleres und agileres Ansprechverhalten der Systeme erreicht werden. Gleichzeitig lassen sich neue Funktionalitäten wie eine elektronisch-mechanische Handbremse oder eine mit dem Bremssystem gekoppelte elektronische Geschwindigkeitsregelanlage realisieren, die den Komfort im Fahrzeuggebrauch steigern. Die

Herausforderung in der Elektrifizierung der Hilfsaggregate liegt in der Komplexität des elektrotechnischen Gesamtsystems im Fahrzeug sowie der hohen Leistungsdynamik der Systeme. Während Low-End-Verbraucher mit wenigen Watt bis einigen hundert Watt elektrischer Leistung bei Strömen von 5-8 Ampere arbeiten, erfordern die zukünftig immer relevanter werdenden High-End-Verbraucher eine Leistungsversorgung im Kilowatt-bereich mit bis zu 200 Ampere Stromstärke. Aus den Leistungs-anforderungen ergeben sich konstruktive Folgen, die das Design und die Schnittstellen der Nebenverbraucher betreffen. Für Low-Power-Systeme wird aufgrund der geringeren Komplexität und des geringeren Bauraumbedarfs eine monolithische, inte-grierte Bauweise bevorzugt. Bei High-Power-Aggregaten kann die Leistungselektronik nicht mehr sinnvoll in einem integrier-ten Bauteil untergebracht werden. Aus dem hohen Leistungsbe-darf ergibt sich weiterhin die Notwendigkeit eines Hochvolt-Bordnetzes, das die Nebenverbraucher in einem dynamischen Gesamtsystem untereinander und mit dem Traktions-Akkumulator verbindet. Eine weitere Herausforderung der Technologieentwicklung liegt in den hohen Drehmomentanfor-derungen, die an Stellmotoren bei gleichzeitigen Volumen- und Gewichtsrestriktionen gestellt werden. Hier kommen Konzepte wie bürstenlose, mehrpolige Motoren und leistungsstarke Mate-rialien wie Neodym-Magnete zum Einsatz.

Energiemanagementsystem: Energiemanagementsysteme in Elektrofahrzeugen haben eine zentrale Aufgabe: Die kontinuierliche Zustandsüberwachung und Harmonisierung von Energiequelle (Traktionsbatterie) und Energieverbrauchern (Antriebsstrang und Nebenverbraucher). Während konventionelle Akkumulatoren wie etwa Nickel-Cadmium-Akkumulatoren ohne besondere Zustandsüberwachungssysteme geladen und betrieben werden können, ist für das Laden und Entladen von Lithium-Polymer-Akkumulatoren eine Einzelzellüberwachung zum Schutz des Akkumulators zwingend erforderlich. Mit zunehmender Energiedichte steigt auch die Empfindlichkeit der Traktionsakkumulatoren gegenüber dem Lade- und Entladeverhalten sowie thermischen Belastungen. Im Bereich des Batteriemanagements gilt es somit Faktoren wie die Lade- und Entladehistorie, den Degradationszustand, Temperaturverläufe, Spannung und Stromfluss auf Einzelzellenebene kontinuierlich zu überwachen und die Lade- und Entladezyklen möglichst zellschonend zu gestalten und eine Zellenzerstörung durch Überladen und Tiefenentladen zu vermeiden. Zudem sind die Einzelzellspannungen über das sogenannte Balancing mittels Ladeausgleichssystem kontinuierlich aufeinander abzustimmen (Zellsymmetrierung), um einen optimalen Leistungsgrad des Zellverbunds sicherzustellen. Die Differenz der Einzelzellspannungen hat einen zentralen Einfluss auf die Gesamtkapazität der Traktionsbatte-

rie: Die Zelle mit der höchsten Zellspannung begrenzt den Ladezyklus und die Zelle mit der geringsten Zellspannung den Entladezyklus. Mit der fertigungstechnisch bedingten wachsenden Differenz der Einzelzellspannungen wird somit das Lade-/Entladefenster ohne ein entsprechendes Zell-Balancing mit zunehmenden Betriebszyklen immer kleiner. Auch der Aspekt der Sicherheit ist durch das Energiemanagementsystem zu berücksichtigen. Störfälle und Kurzschlüsse sind unbedingt zu vermeiden. Denn aufgrund des geringen internen Widerstands und der hohen Entladeströme und -energien können Lithium-Polymer-Akkumulatoren im Kurzschlussfall heftige explosionsartige Reaktionen auslösen. Da eine Kurzschlussreaktion des Akkumulators durch äußere Krafteinwirkung bei Unfällen nicht ausgeschlossen werden kann, sind Traktionsbatterien zum Schutz der Insassen in einer widerstandsfähigen Schutzhülle eingekapselt. Als weiterer Faktor kann das Fahrverhalten durch ein entsprechendes Feedbacksystem so beeinflusst werden, dass eine Maximierung der Reichweite und der Batterielebensdauer erreicht wird.

Ladeschnittstelle: Die Vielzahl der zu überwachenden Parameter heutiger und zukünftiger Traktionsbatterien macht die technische Komplexität ihres Betriebs deutlich. Neben dem Anschluss der Anode und Kathode umfasst die Ladeschnittstelle von Lithium-Polymer-Akkumulatoren einen sogenannten Balancer-Port,

über den Informationen zu Einzelzellspannungen und gegebenenfalls auch Temperaturen an das Ladesystem übermittelt werden. Um ein Elektrofahrzeug über das Stromnetz zu laden, ist eine Rekonditionierung der elektrischen Energie notwendig. Diese umfasst je nach Stromnetz eine Anpassung der Stromstärke, der Spannung und eine Gleichrichtung. Die Rekonditionierung hat dabei dynamisch in Abhängigkeit der Zellzustände zu erfolgen. Hinzu kommen weitere zu berücksichtigende Faktoren wie der bei vielen Stromanbietern übliche tageszeitabhängige Strompreisverlauf. Die Herausforderung in der Entwicklung der Ladeschnittstelle liegt in einer weltweiten Harmonisierung der technischen und geometrischen Parameter um die weltweite Varianz der verschiedenen Ladesysteme möglichst gering zu halten. Weiterhin gilt es zu entscheiden, ob das Ladegerät im Fahrzeug oder außerhalb vom Fahrzeug verbaut wird. Für einen Verbau im Fahrzeug spricht der Zugewinn an Flexibilität, der durch die Integration des Batteriemanagements (Zellspannungsüberwachung, Zellsymmetrierung, Temperaturmanagement) für den Ladevorgang erreicht wird. Bei einer entsprechend flexiblen technischen Auslegung des Ladegeräts können Elektrofahrzeuge somit in verschiedenen Stromnetzen problemlos geladen werden. Für den Verbau des Ladegeräts außerhalb des Fahrzeugs spricht die geringere technische Komplexität des Ladegeräts, da dieses jeweils nur die Anforderungen des spezifischen Anwen-

dungsumfelds erfüllen muss. Zudem kann das Ladegerät so flexibel ausgelegt werden, dass verschiedene Fahrzeuge damit geladen werden können.

Leichtbau: Der Erfolg der Elektromobilität hängt entscheidend von den Fortschritten im Bereich der Gewichtsoptimierung von Fahrzeugen ab. Denn die Reichweite als zentrales Erfolgskriterium hängt bei Elektrofahrzeugen wesentlich von zwei Faktoren ab: Der Leistungsdichte der Traktionsbatterie und dem Fahrzeuggewicht. Weiterhin zeichnet sich der Leichtbau als eine Technologie aus, die einen starken Prozess- und Materialbezug aufweist. Denn erst durch kontinuierliche Weiterentwicklung und Industrialisierung der Fertigungsprozesse in Verbindung mit der Erforschung neuer Materialien und Materialkombinationen lassen sich serientaugliche Leichtbaukomponenten realisieren, die den Ansprüchen an Ästhetik, Sicherheit, Langlebigkeit und Funktionalität genügen. Im Rahmen der Nationalen Plattform Elektromobilität wurde das Themenfeld Leichtbau als eigenständiges Technologiecluster herausgestellt. Dabei stehen insbesondere die Entwicklung von Leichtbauwerkstoffen, die Optimierung und Entwicklung neuer Komponenten und Formgebungen, die Entwicklung von EV-Leichtbaustrukturen sowie die Entwicklung großserienfähiger Herstellungsprozesse im Vordergrund (vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2012, S. 23 ff.). In der bisherigen Entwicklungsgeschichte zeigte sich die

Luft- und Raumfahrtindustrie aufgrund ihrer außergewöhnlich hohen Anforderungen an das Gewicht der verwendeten Bauteile stets als Wegweiser der Leichtbautechnologie. In den vergangenen Jahrzehnten wurde im Flugzeugbau hauptsächlich auf Aluminium, Titan, Magnesium und weitere metallische Werkstoffe mit einer geringen spezifischen Dichte und hohen Festigkeit zurückgegriffen. Aufgrund der hohen Materialkosten und der zum Teil schweren Zerspanbarkeit dieser Werkstoffe sind diese mit der Ausnahme von Aluminium jedoch für den Einsatz in der automobilen Großserienproduktion weitestgehend ungeeignet. Als vielversprechende Technologien gelten hingegen Faserverbundwerkstoffe, neuartige Polymere und Hybridbauteile, die aus verschiedenen Materialien zusammengesetzt werden. Im Bereich der Faserverbundwerkstoffe steht der Werkstoff Carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK) im Mittelpunkt der derzeitigen Entwicklung. CFK besteht aus einer mit Kohlefaser-Gewebematten verstärkten Kunststoffmatrix, die mittels spezieller Duroplast- oder Thermoplast- Harze in mehreren Schichten miteinander verbunden und anschließend in der gewünschten Form ausgehärtet wird. Durch die Kombination der verschiedenen Werkstoffe ergeben sich weitreichende Gestaltungsfreiräume in Bezug auf Festigkeitswert, Elastizität und Widerstandsfähigkeit der Gesamtmatrix. So reicht das Produktspektrum der CFK-Technologie heute von elastischen und hochstabilen

Formbauteilen bis hin zu hochtemperaturfesten CFK-Verbundwerkstoffen, wie sie etwa in Rennsport-Bremsscheiben zum Einsatz kommen. Der Vorteil der CFK-Technologie liegt in dem geringen spezifischen Gewicht bei gleichzeitig erzielbaren sehr hohen Festigkeitswerten. So beträgt das Gewicht eines CFK- Bauteils, das auf dieselbe Bruchlast eines vergleichbaren Stahlbauteils dimensioniert wurde lediglich 10-20%. Um dieselbe Zugsteifigkeit zu erreichen, ist ein relatives Bauteilgewicht von etwa 35-40% erforderlich. Im automobilen Umfeld kann durch den Einsatz von unidirektionalen CFK-Bauteilen bei gleicher Funktionserfüllung im Durchschnitt eine Gewichtsreduktion von 60% gegenüber Stahlbauteilen und 40% gegenüber Aluminium-Bauteilen erzielt werden. Bei Auswahl des geeigneten Materials oder Materialverbunds für Bauteile in einem Elektrofahrzeug spielen neben den Festigkeitswerten und dem Gewicht zahlreiche weitere Faktoren wie der spezifische Wärmeausdehnungskoeffizient und die thermische Leitfähigkeit eine entscheidende Rolle. Gleichzeitig zeigt sich ein enger Zusammenhang zwischen den verwendeten Materialien und den dahinterliegenden Fertigungs- und Montageprozessen. Der hohe Neuheitsgrad und der hohe Gestaltungsfreiraum im Bereich der Materialauswahl stellen die Komponentenhersteller und Entwicklungsteams vor große Herausforderungen, da es vor dem Hintergrund der großen Menge an Einflussfaktoren neben der Pro-

duktentwicklung vor allem die Entwicklung wirtschaftlicher und skalierbarer Fertigungsprozesse voranzutreiben gilt. Insbesondere die Kombination von Faserverbundwerkstoffen, Polymerwerkstoffen und metallischen Werkstoffen ist aus fertigungstechnischer Sicht heute oftmals noch schwierig realisierbar. So gilt es etwa dauerfeste Verbindungsverfahren und geeignete Werkzeuge zur spanenden Bearbeitung der heterogenen Verbundmaterialien zu entwickeln. Aufgrund der hohen Fertigungskosten ist der Einsatz innovativer Verbundmaterialien im Fahrzeugbau heute noch dem Premiumsegment vorbehalten. Für eine Prognose des weiteren Entwicklungspfads kann jedoch ein Analogieschluss aus der Luftfahrtindustrie herangezogen werden: Während Flugzeuge in den 60er bis 70er Jahren einen Anteil von Faserverbundwerkstoffen von weniger als 5% aufwiesen, liegt der Faserverbundanteil bei einer aktuellen Boeing A350 bei über 50%.

2.2 Klassifizierung der Technologien

Technologien lassen sich nach unterschiedlichsten Kriterien klassifizieren (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Um die Technologien der Elektromobilität zu charakterisieren und voneinander abzugrenzen, werden geeignete Abgrenzungskriterien diskutiert. Nach der Funktion können Produkt-, Prozess- sowie Werkstofftechnologien unterschieden werden. Produkttechnologien sind

definiert als Technologien, die zur Erfüllung einer Aufgabenstellung eines Endproduktes eingesetzt werden. Prozesstechnologien hingegen sind Technologien, die zur Herstellung eines Produktes benötigt werden. Als Werkstofftechnologien bezeichnet man neue Materialen und Werkstoffe mit technologisch herausragenden, wirtschaftlich nutzbaren Eigenschaften (vgl. Bullinger 1999). Nach dem Kriterium der Interdependenz lassen sich Komplementär-, Konkurrenz- und Substitutionstechnologien differenzieren. Unter Komplementärtechnologien werden Technologien verstanden, die gemeinsam in einem Produkt zur Anwendung kommen, da sie sich in Bezug auf die technische Problemlösung ergänzen. Konkurrenztechnologien hingegen ermöglichen es aus der Sicht des Anwenders gleiche oder ähnliche Funktionen zu realisieren und bieten eine rein technische Alternative. Sie beinhalten eine Substitutionsgefahr. Unter Substitutionstechnologien werden Ablösungen von im Wertschöpfungsprozess der Unternehmen eingesetzten Technologien durch neue, andersartige Technologien verstanden, mit denen neuartige Marktleistungen erbracht werden können (vgl. Frauenfelder 2000). Unternehmen sowie ganze Branchen unterliegen der Gefahr, durch auftretende Substitutionstechnologien an Wettbewerbsfähigkeit einzubüßen und in ihrer Existenz bedroht zu sein (vgl. Specht et al. 2002). Bei der Klassifikation nach der Anwendungsbreite werden Querschnitts- sowie Längsschnitttech-

nologien unterschieden. Querschnittstechnologien besitzen ein breites Anwendungsspektrum und kommen in verschiedensten Anwendungen und Branchen zum Einsatz. Beispiele für Querschnittstechnologien sind die Halbleiter-, Laser- oder Nanotechnologie. Bei Längsschnitttechnologien hingegen handelt es sich um anwendungsspezifische Technologien, die auf wenige Anwendungsgebiete und Branchen gerichtet sind (vgl. Tschirky 1998). Nach dem Kriterium der unternehmensinternen Anwendungsbreite kann zwischen Kernkompetenz- und Randkompetenztechnologien differenziert werden. Kernkompetenztechnologien leisten einen maßgeblichen Beitrag für den nachhaltigen Wettbewerbserfolgs eines Unternehmens. Sie sind zumeist schwer imitierbar und kaum substituierbar und werden oft in mehreren Geschäfts-/Produkt- und Marktfeldern eingesetzt. Randkompetenztechnologien hingegen werden nur in einzelnen Geschäftsfeldern verwendet und weisen nur eine geringe strategische Bedeutung für die Unternehmensentwicklung auf (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Nach dem Technologieeinsatz werden Kerntechnologien, die in Produkte und Dienstleistungen eingehen, und Unterstützungstechnologien, die über die Produkte und Dienstleistungen für den Kunden verfügbar gemacht werden, differenziert. Kerntechnologien stellen eine Kombination von Kernkompetenzen dar und leisten einen Beitrag zum Aufbau von Wettbewerbsvorteilen (vgl. Zahn 1995). Nach dem Konzept

des Technologielebenszyklus und dem Einfluss auf die gegenwärtige und zukünftige Wettbewerbsposition kann eine Klassifizierung in Schrittmacher-, Schlüssel- und Basistechnologie sowie in neue und verdrängte Technologie erfolgen. Schrittmachertechnologien befinden sich in einem frühen Entwicklungsstadium und setzen sich voraussichtlich erst zukünftig im Markt durch. Sie versprechen hohe latente Wettbewerbsvorteile und führen zu hohen potenziellen Auswirkungen auf die Leistungsmerkmale der Produkte oder auf die Kostenstruktur. Schlüsseltechnologien weisen ein hohes Entwicklungspotenzial sowie einen starken Einfluss auf die Produkt- und die Kostendifferenzierung auf. Sie konnten sich bereits im Markt etablieren und den Unternehmen, die sie beherrschen, starke Wettbewerbsvorteile ermöglichen. Es ist zu beachten, dass nur wenige Technologien den Schritt von der Schrittmacher- zur Schlüsseltechnologie durchlaufen. Basistechnologien sind als Technologien definiert, die sich bereits im Markt etabliert haben und von den relevanten Wettbewerbern beherrscht werden müssen, ohne diesen explizit Differenzierungsvorteile zu bieten. Sie weisen nur noch einen begrenzten Entwicklungsspielraum auf und sind nicht geeignet, um noch wirksame Wettbewerbsvorteile zu erzielen. Neue Technologien sind Technologien, die am Markt, in der Branche oder im eigenen Unternehmen als neu betrachtet werden und deren Auswirkung auf die Wettbewerbsposition noch mit Unsi-

cherheiten behaftet ist. Sie können die Basis für die Entwicklung von Substitutionsprodukten darstellen. Hierfür müssen sie durch technologische Innovationen erfolgreich in Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen transferiert werden und können sich zu Schlüsseltechnologien entwickeln. Alte oder verdrängte Technologien stellen Technologien dar, die das Ende des Lebenszyklus bereits erreicht haben (vgl. Saad et al. 1993). Die Technologiecluster der Elektromobilität lassen sich anhand der Kriterien klassifizieren. Die Bewertung erfolgt aus Sicht der OEM der Automobilindustrie. Die Charakteristika der einzelnen Technologien des Clusters Antriebstechnologie sind in Abbildung 2-2 dargestellt. Hierzu gehören der elektrische Antriebsstrang, das Hochvolt-Bordnetz, die Hilfsaggregate sowie die Energierückgewinnung. Zum Cluster Batterietechnologie gehören das Batteriesystem, das Energiemanagement sowie die On-Board-Ladetechnologie. Zu diesen Technologien gehören die Kohlefasertechnologie sowie Hybridtechnologien. Um im Kontext geänderter gesellschaftlicher und politischer Rahmenbedingungen und subsequenter Regulation die langfristige Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, rückt die Entwicklung disruptiver Technologien in der Elektromobilität zunehmend ins zentrale Blickfeld der Automobilindustrie. Dabei gilt es die Vorzüge etablierter und über Jahrzehnte entwickelter Basis- und Schlüsseltechnologien des klassischen Automobils zu kompensieren. Um das Ver-

Cluster Antrieb					
Kriterien	**Ausprägungen**				
Funktion	1 3 Produkttechnologie	2 4 Prozesstechnologie		Werkstofftechnologie	
Interdependenz	3 Komplementär-technologie	2 1 4 Konkurrenz-technologie		Substitutions-technologie	
Anwendungsbreite	Querschnittstechnologie		3 Längsschnittstechnologie		2
Unternehmensinterne Anwendungsbreite	Kernkompetenztechnologie		1 3 Randkompetenztechnologie		2 4
Technologieeinsatz	1 Kerntechnologie		4 2 3 Unterstützungstechnologie		
Technologie-lebenszyklus	Neue Technolo-gie	1 3 Schritt-machertech-nologie	2 4 Schlüssel-technolo-gie	Basis-technolo-gie	Verdrängte Technolo-gie
1 Elektrischer Antriebsstrang 2 Hochvolt-Bordnetz 3 Hilfsaggregate 4 Energierückgewinnung					

Cluster Batterie					
Kriterien	**Ausprägungen**				
Funktion	1 3 Produkttechnologie	2 Prozesstechnologie		Werkstofftechnologie	
Interdependenz	Komplementär-technologie	2 1 3 Konkurrenz-technologie		Substitutions-technologie	
Anwendungsbreite	1 Querschnittstechnologie		3 Längsschnittstechnologie		2
Unternehmensinterne Anwendungsbreite	Kernkompetenztechnologie		1 3 Randkompetenztechnologie		2
Technologieeinsatz	1 3 Kerntechnologie		2 Unterstützungstechnologie		
Technologie-lebenszyklus	Neue Technolo-gie	1 3 Schritt-machertech-nologie	2 Schlüssel-technolo-gie	Basis-technolo-gie	Verdrängte Technolo-gie
1 Batteriesystem 2 Energiemanagement 3 On-Board-Ladetechnologie					

Cluster Leichtbau					
Kriterien	**Ausprägungen**				
Funktion	Produkttechnologie	Prozesstechnologie	2 1 Werkstofftechnologie		
Interdependenz	Komplementär-technologie	1 Konkurrenz-technologie	2 Substitutions-technologie		
Anwendungsbreite	1 Querschnittstechnologie		2 Längsschnittstechnologie		
Unternehmensinterne Anwendungsbreite	Kernkompetenztechnologie		1 Randkompetenztechnologie		2
Technologieeinsatz	1 Kerntechnologie		2 Unterstützungstechnologie		
Technologie-lebenszyklus	Neue Technolo-gie	1 Schritt-machertech-nologie	2 Schlüssel-technolo-gie	Basis-technolo-gie	Verdrängte Technolo-gie
1 Kohlefasertechnologie 2 Hybridteile					

Abbildung 2-2: Eigenschaften der Technologien des Clusters Antrieb, Batterie und Leichtbau

drängungspotential der Schrittmachertechnologien in der Elektromobilität zu realisieren, sind teils riskante Investitionen zu tätigen um die technologische und ökonomische Reife der Technologien schnellstmöglich auf ein Niveau zu heben, das vom Markt akzeptiert wird. Das Beispiel des i3 von BMW zeigt, dass sogar die klassischen Ansätze in vollem Umfang ignoriert werden können und ein Fahrzeug mit völlig neuen Ansätzen und Strategien entwickelt werden kann. Die Vorgehensweise ist allerdings mit hohen Kosten und Risiken verbunden.

2.3 Disruptive Technologien in der Elektromobilität

Die Eigenschaften der Technologien der Elektromobilität weisen eine Gemeinsamkeit auf: Sie entwickeln sich nicht kontinuierlich, sondern müssen Leistungssprünge aufweisen, damit sie die bestehenden Technologien im Automobil verdrängen können (vgl. Christensen 2011). Die Elektromobilität wird auch als disruptive Technologie eingestuft (vgl. Hardman et al. 2013). Disruptive Technologien weisen im Gegensatz zu evolutionären Technologien eine andere Leistungsfähigkeit als die bisher etablierten Technologien auf (vgl. Adner 2002). Sie wandeln die Wettbewerbssituation, indem sie die Leistungsbeurteilung dieser Wettbewerbssituation verändern (vgl. Danneels 2004). Als Disruption wird der Vorgang bezeichnet, in dem die neue Technologie, trotz der zunächst teils schlechteren Eigenschaften, die

etablierte Technologie vom Markt verdrängt (vgl. Adner 2002). Anhand der Entwicklung von in der Vergangenheit erfolgreichen disruptiven Technologien lassen sich verschiedene Charakteristika feststellen (vgl. Hardman et al. 2013). Die im Markt führenden Unternehmen registrieren oft die durch die disruptive Technologie entstehende Gefahr nicht. Außerdem ist in vielen Fällen die disruptive Technologie am Anfang kostspieliger als evolutionäre Technologien mit ähnlicher Leistung, gleichzeitig ist das Qualitätsniveau häufig niedriger. Es kann festgestellt werden, dass disruptive Technologien oft einen neuartigen Mehrwert für den Kunden aufweisen und zunächst nur Nischenmärkte besetzen. Im Zuge der Marktdurchdringung der disruptiven Technologie verlieren die evolutionären Technologien zumeist an Bedeutung, werden aber trotzdem nicht vollständig verdrängt. Mit dem steigenden Reifegrad der Technologie werden schließlich auch die Anforderungen der breiten Kundenmasse abgedeckt. Da diese Charakteristika nicht in allen Fällen zutreffen, lassen sich diese zu drei übergreifenden Bewertungskriterien konsolidieren. Sie definieren den disruptiven Aspekt im Hinblick auf die Marktführer, die Konsumenten sowie auf die Infrastruktur. Für eine disruptive Technologie müssen mindestens zwei dieser Kriterien erfüllt sein. Im Hinblick auf die Marktführer sind Technologien als disruptiv einzustufen, wenn diese nicht von den aktuellen Marktführern, sondern von

neuen Firmen produziert werden. Mit Blick auf die Konsumenten lassen sich Technologien als disruptiv charakterisieren, wenn die Charakteristika der neuen Technologie das Nutzerverhalten der Verbraucher verändern. Hinsichtlich der Infrastruktur sind Technologien als disruptiv zu klassifizieren, wenn diese eine andere Infrastruktur benötigen als die vorhandene Technologie. Diese Kriterien ermöglichen eine Bewertung neuer Technologien für die Elektromobilität. Die meisten Automobilhersteller entwickeln Elektrofahrzeuge selbst und passen ihr Produktportfolio entsprechend an. Es sind nur wenige Unternehmen beispielsweise wie Tesla vorzufinden, die ausschließlich für die Produktion von Elektrofahrzeugen gegründet wurden. Bei Betrachtung des Gesamtmarkts kann daher von einer Disruption innerhalb des Portfolios der OEMs gesprochen werden (vgl. Hardman et al. 2013). Da die OEMs der Automobilindustrie neue Kompetenzen im Hinblick auf elektrifizierte Fahrzeuge benötigen, müssen sie auf Unternehmen außerhalb ihres bekannten Lieferantennetzwerks zurückgreifen (vgl. Pilkington et al. 2002). Dies impliziert eine deutliche Veränderung der Zulieferstrukturen, insbesondere für Technologien der Cluster Antriebs- und Batterietechnologie. Für die neuen Antriebstechnologien sind Kompetenzen aus der Elektroindustrie, für die Batterietechnologien Wissen aus der Chemie gefragt (vgl. Bille et al. 2012). Bezüglich des Clusters Leichtbau sind die Veränderun-

gen etwas weniger intensiv, da die Mehrheit der OEMs bereits vor den Entwicklungen zur Elektromobilität in diesem Feld agiert hat. Für die Zulieferer der Automobilindustrie ist die Elektromobilität vor allem disruptiv, da sie das angestrebte Leistungsspektrum der Elektromobilität in vielen Fällen noch nicht bedienen können (vgl. Hardman et al. 2013). Für die OEMs der Automobilindustrie besteht die Herausforderung in der stetigen Verbesserung der konventionellen Antriebe bei gleichzeitiger Investition in die Entwicklung elektrifizierter Antriebskonzepte und Batterietechnologien (vgl. Hüttl et al. 2010). Die höhere Profitabilität der konventionellen Antriebe bremst den Transformationsprozess zur Elektromobilität (vgl. Bernhart et al. 2013). Unternehmen wie Tesla müssen diesen Spagat nicht bewältigen, da sie sich vollständig auf die neuen Technologien der Elektromobilität spezialisiert haben. Bezüglich der Konsumenten weist die Elektromobilität ebenfalls ein hohes disruptives Potenzial auf. Das Verhalten der Verbraucher wird erheblich verändert, da Elektrofahrzeuge an jedem Stromanschluss aufgeladen werden können und nicht unbedingt an Tankstellen „vollgetankt“ werden müssen. Dieser disruptive Aspekt bezieht sich insbesondere auf den neuartigen Kundennutzen des Technologieclusters Batterie. Außerdem bieten Elektrofahrzeuge den Kunden durch die Themencluster Antrieb, Batterie und Leichtbau im Vergleich zu konventionellen Antrieben Mehrwerte wie

sehr geringe Lärmemissionen, keine direkten Abgase, geringere laufende Kosten sowie Vorteile durch staatliche Anreize (vgl. Hardman et al. 2013). Bezüglich der Infrastruktur ist ein hohes disruptives Potenzial zu erwarten. In diesem Kontext stehen die Technologiecluster elektrifizierter Antrieb und Batterie im Fokus. Die bestehende Infrastruktur in Form von Tankstellen wird durch Ladenetzwerke erheblich beeinflusst. Für vollständig elektrifizierte Fahrzeuge mit Batteriesystemen kann das heutige Tankstellennetz obsolet werden, da ein Elektrofahrzeug theoretisch über jeden beliebigen Stromanschluss geladen werden kann. Um den Ladevorgang zu beschleunigen, werden zusätzlich Schnellladestationen wie das Tesla Supercharger Network konzipiert. Des Weiteren ist ein Trend zu Ladestationen an öffentlichen Parkplätzen zu verzeichnen, die ein Aufladen während des Parkens erlauben (vgl. Hardman et al. 2013). Für die Qualitätssicherung ist der sprunghafte Charakter der Technologien eine besondere Herausforderung. Zunächst geht die Intensivierung der Entwicklungsarbeit in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses mit erhöhten finanziellen Risiken einher. Gleichzeitig gilt es der Forschung und Entwicklung benötigte Freiräume einzuräumen. Eine Anpassung klassischer, auf evolutionäre Technologien ausgelegter Produktentwicklungsprozesse und den inhärenten, erprobten aber rigiden Qualitätsmanagementstrukturen ist erforderlich um die nötige Flexibilität zu ge-

währleisten. Zudem steigt der Qualitätssicherungsaufwand aufgrund noch nicht vorhandener Lernkurveneffekte, höherer Unsicherheit und erhöhtem Testaufwand im Vergleich zur inkrementellen Entwicklungsarbeit. Außerdem gilt es bei der Entwicklung disruptiver Technologien, externes Know-how und Kernkompetenzen verschiedener Partner zu bündeln. Disruptive Produkte sind durch eine simultane Prozess- und Qualitätssicherungsstrategieentwicklung zu begleiten. Hierzu sind oftmals externe Partner wie etwa Prüf- und Zertifizierungsinstitutionen hinzuzuziehen, die die Entwicklung neuer Prüfprozesse und Qualitätsstandards aktiv begleiten. Die Qualitätssicherung wird dadurch erheblich komplexer, insbesondere wenn kleine innovative Unternehmen mit weniger hoch entwickelten Qualitätssicherungsstandards oder branchenfremde Unternehmen mit eigenen Qualitätssicherungsstandards und -anforderungen in Entwicklungsnetzwerke integriert werden müssen. Die Prüf- und Qualitätssicherungsprozessentwicklung ist ein iterativer Prozess, dessen Effizienz im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung durch adaptierte Prüfverfahren, neue Techniken und Werkzeuge sowie eine steigende Lernkurve der Mitarbeiter mit der Zeit immer weiter ansteigt. Es kommt zu einer Diskrepanz zwischen Wirkungsgradoptimum der technologiestufenbezogenen Forschung und Entwicklungsaufwendungen und der Effizienz der entsprechenden Prüf- und Qualitätssicherungsprozesse (vgl. Ab-

bildung 2-3). So sind die Prüf- und Qualitätssicherungsprozesse für Nickel-Methalhydrid-Akkumulatoren heute durchgängig standardisiert und die entsprechenden Produkte können ohne besondere Prüfmaßnahmen in technischen Geräten eingebaut und genutzt werden. Die Qualitätssicherung und Prüfung von Lithium-Polymer-Zellen ist hingegen mit einem hohen Aufwand verbunden, der sich in höheren Geräte- und Prüfkosten, höheren Sicherheitsanforderungen sowie einer höheren Ausschussquote bei den Akkumulatoren niederschlägt.

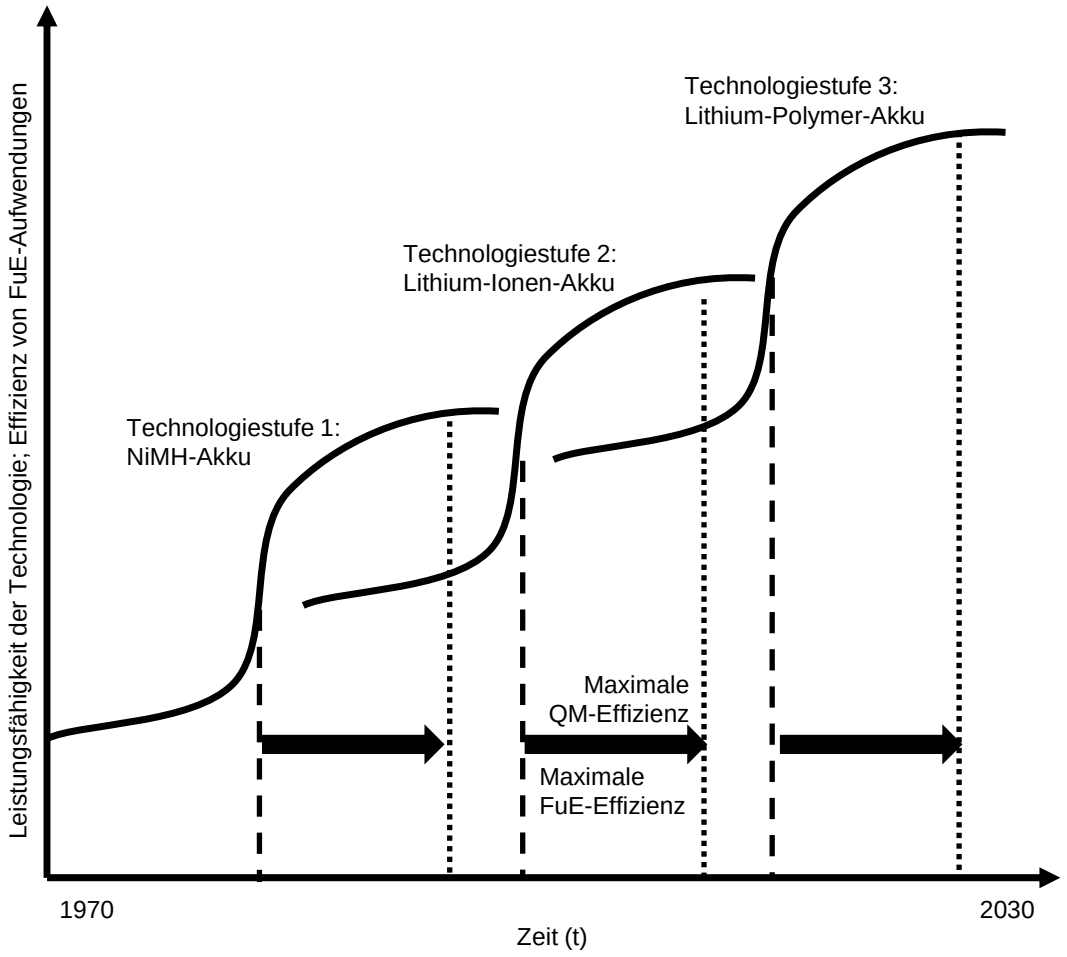


Abbildung 2-3: S-Kurven der Akkutechnologien

2.4 Träger des technologischen Fortschritts in der Elektromobilität

Im Spannungsfeld zwischen der Forderung nach nachhaltigem und profitablem Wachstum und immer größerem Kosten- und Innovationsdruck in der Entwicklung, ist es für Unternehmen auf allen Wertschöpfungsstufen entscheidend den technologischen Fortschritt weiter voranzutreiben um den Herausforderungen des Marktes gerecht zu werden. Mit rund 50-60% der F&E-Investitionen der Industrie, liegen die Branchenschwerpunkte allerdings hauptsächlich auf relativ reifen Technologien und nicht auf wachstumsstarken neuen Techniken. Neuerungen sind somit hauptsächlich inkremental-evolutionär und dienen der Sicherung der Wettbewerbsposition in einem hochkompetitiven Umfeld (vgl. Wildemann 2007; Schömann 2012). Gerade in der Elektromobilität ergeben sich allerdings Chancen durch die Entwicklung disruptiver Technologien Kosten zu senken oder den Kundennutzen zu erhöhen und so im Idealfall neue Märkte zu erschließen, um auch langfristig Wettbewerbsvorteile zu sichern. Mit dem US-amerikanischen Unternehmen Tesla ist ein reiner Elektroautomobilhersteller entstanden. Auch andere, der konventionellen Automobilindustrie fremde Unternehmen, wie beispielsweise der französische Mischkonzern Bolloré in Kooperation mit dem Energieunternehmen EDF, produzieren bereits marktreife Elektroautos (BLUECAR). Nahezu alle etablier-

ten Automobilproduzenten haben inzwischen ein E-Mobility-Programm. Als marktreife Beispiele lassen sich hier beispielsweise der Nissan Leaf, der Chevrolet Volt, Mercedes mit einer E-Version des Smarts, Renault mit einer E-Version des Kangoo sowie den Modellen Fluence und Twizy, Peugot mit dem iOn, BMW mit dem i3, der Opel Ampera oder VW mit dem e-up! und dem e-Golf nennen. Auch die Arbeit an Hybridfahrzeugen, insbesondere an Vollhybriden, die ein rein elektrisches Fahren ermöglichen, stellen eine Übergangstechnologie dar und liefern wichtige Erkenntnisse und Beiträge zur technologischen Entwicklung der E-Mobilität (vgl. Grünig 2011). Für die OEMs der konventionellen Automobilindustrie liegen diese disruptiven Entwicklungen definitionsgemäß zumindest teilweise außerhalb ihrer Kernkompetenzen. Während deutsche und japanische OEMs mittelfristig einen Teil der Elektromotoren für ihre Fahrzeuge entweder in Joint Ventures mit zentralen Zulieferern oder in Eigenproduktion fertigen wollen, wie beispielsweise an den Investitionen in die VW Elektromotorenfabrik in Kassel deutlich wird (vgl. Schömann 2012), setzen französische und US-amerikanische OEMs auch langfristig vollständig auf Fremdlieferungen. Ebenso ist beispielsweise die Produktion von Lithium-Ionen Zellen in vormals industriefremder Hand. In der elektromobilen Wertschöpfungskette verschiebt sich folglich das Kräfteverhältnis verglichen mit der Herstellung konventioneller

Fahrzeuge deutlich zugunsten der Zulieferer (vgl. Bernhart et al. 2013, 2014). Der Strukturwandel betrifft aber bei weitem nicht nur OEMs der konventionellen Fahrzeugindustrie. Automobilzulieferer tragen derzeit rund drei Viertel des Wertschöpfungsprozesses eines durchschnittlichen PKW (vgl. Stahlecker et al. 2011). Innerhalb der Zulieferindustrie werden bis 2030 trotz des wachsenden Gesamt-PKW-Marktes stagnierende Wertschöpfungspotenziale für konventionelle Antriebskomponenten wie Getriebe, Verbrennungsmotoren, Abgasanlagen oder Startmaschinen erwartet. Große Wachstumspotenziale ergeben sich dafür beispielsweise für Ladegeräte, Leistungselektronik und Traktionsbatterien. Wegfallende Zulieferteile für konventionelle Antriebe müssen durch neue, für die Elektromobilität kompatible Komponenten und Systeme ersetzt werden. Zentrale Herausforderung für die Zulieferindustrie konventioneller Fahrzeuge ist es mit diesen Entwicklungen schrittzuhalten. Laut einer Studie der Industrie- und Handelskammer Stuttgart investieren Automobilzulieferer in Baden Württemberg im Durchschnitt lediglich 2,6% ihres Umsatzes in F&E. Eine teilweise Rücknahme der von Zulieferern ausgelagerten Wertschöpfungsumfängen scheint also in Anbetracht der meist hohen technologischen Spezialisierung auf eng abgegrenzte Bereiche und des technologischen Wandels durchaus wahrscheinlich (vgl. Stahlecker et al. 2011). Gleichzeitig etablieren sich bereits kleine innovative Unterneh-

men sowie Spezialmaschinen-Hersteller mit vorhandenen Kompetenzen als Lieferanten von Komponenten und als wichtige Partner in der Entwicklung neuer Technologien mit E-Mobilitätsrelevanz. Bei einem Wertschöpfungsanteil von 30-40 % der Batterie am Gesamtfahrzeug nehmen Unternehmen aus anderen Industrien, insbesondere aus der Elektronik- und der Chemiebranche eine zunehmend bedeutende Rolle in der Wertschöpfungskette und der Entwicklung von Automobilen und deren Komponenten ein. Insgesamt geht die Bundesregierung davon aus, dass die deutsche Industrie bis Ende 2014 17 Milliarden Euro in die Forschung und Entwicklung der Elektromobilität investiert haben wird (vgl. Bundesregierung 2011; Nationale Plattform Elektromobilität 2012; Vallée/ Schnettler 2013). Eine entscheidende Rolle in der Entwicklung spielen aufgrund gesellschaftlichen Drucks und politischer Zielsetzung der Staat und öffentliche Fördermittel. Laut dem Regierungsprogramm Elektromobilität der Bundesregierung soll sich Deutschland durch Innovationen in den Bereichen Fahrzeuge, Antriebe und Komponenten, sowie deren Einbindung in die Strom- und Verkehrsnetze zum Leitmarkt für die Elektromobilität entwickeln (vgl. Bundesregierung 2011). Mit dem Ziel von einer Million Fahrzeuge bis zum Jahr 2020 hat die Bundesregierung schon im Zeitraum von 2009 bis 2011 500 Millionen Euro und bis 2013 eine weitere Milliarde Euro für Forschung und Entwicklung bereitgestellt

(vgl. Nationale Plattform Elektromobilität 2012). Qualitätssicherungsinstitute wie beispielsweise der TÜV, die durch das unabhängige Testen von Qualitäts- und Sicherheitsstandards, deren Zertifizierung sowie ihrer Forschungsarbeit die Industrie unterstützen, sind ebenfalls wichtige Träger des technologischen Fortschritts. Durch die aufgezeigten Entwicklungen werden bestehende Akteure der Automobilindustrie vor Herausforderungen gestellt und bestehende Strukturen aufgebrochen. So könnten Großunternehmen aus ursprünglich der Automobilindustrie fernen Branchen zukünftig basierend auf Technologieführerschaft in den für die E-Mobilität relevanten Bereichen als Integratoren und letztlich als Tier-1 Zulieferer oder sogar OEMs auftreten. Durch die verringerte Bedeutung bisheriger Kernkompetenzen aktueller Akteure entsteht ein Wettbewerb um Ressourcen und Technologien. Im Bereich der Zulieferer können sich neue Akteure etablieren, während insbesondere auf eng abgegrenzte Bereiche spezialisierte Zulieferer von Komponenten ohne E-Mobilitätsrelevanz ihre Zukunftsfähigkeit langfristig überdenken müssen. Automobilhersteller übernehmen zunehmend die Koordination vorgelagerter Wertschöpfungsstufen mit dem Ziel der Bündelung komplementärer Kernkompetenzen. Um die Risiken und Kosten der technologischen Entwicklung zu bewältigen, entstehen neuartige Kooperationen und strategische Allianzen (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Die für den Erfolg der

Elektromobilität notwendigen Innovationen und Leistungssprünge in den verschiedenen Technologiefeldern erfordern kollektive und industrieübergreifende Entwicklungskooperationen. Es gilt relevante Kompetenzen und spezifisches Know-how zu bündeln und dabei die teilweise sehr unterschiedlichen Qualitätssicherungsstrategien verschiedener erfolgskritischer Branchen und Unternehmen aufeinander abzustimmen. Auch können nicht alle an der Entwicklung neuer Systeme beteiligten Entitäten den in der Automobilindustrie etablierten hohen und stark standardisierten Qualitätssicherungsansprüchen kurzfristig gerecht werden. Um die Entwicklung der Elektromobilität effektiv voranzutreiben sind die in der Automobilindustrie traditionell allein über Markt und Hierarchie gesteuerte Arbeitsteilung und die darin verankerten Qualitätssicherungsprozesse in der Entwicklung teilweise nicht länger zielführend. Zur konstruktiven Kollaboration und Inklusion essentieller Partner, bedarf es crossfunktionaler Kooperationsformen in Entwicklungsnetzwerken und einem Übergang von einer Funktions- in eine Technologieorientierung.

2.5 Entwicklungsnetzwerke in der Elektromobilität

Entwicklungen in der Automobilindustrie erfordern, aufgrund der hohen Streuung benötigter Informationen und Kompetenzen zur Herstellung von Elektrofahrzeugen, Kooperationen und in-

tensive Zusammenarbeiten in Entwicklungsnetzwerken. Dies ermöglicht die Integration von Lösungen in angemessener Zeit. Die Informationshoheit der etablierten OEMs und die pyramidalen Strukturen der Automobilindustrie werden von neu auftretenden Agenten in Frage gestellt. Traditionelle Entwicklungsaufgaben werden schon länger zunehmend von Zulieferern übernommen, während sich der Aufgabenschwerpunkt der OEMs im Produktentwicklungsprozess auf die Definitionsphase, die Produktplanung und den Strategieabgleich verlagert und somit auf die Gestaltung und Steuerung des Entwicklungsprozesses (vgl. Schömann 2012). Die Kollaboration mit anderen Organisationen kann Unternehmen helfen Fixkosten zu reduzieren, Flexibilität zu gewinnen, von Know-how und Expertise von Spezialisten zu profitieren sowie Risiken zu teilen. Insbesondere im Bereich der Automobilindustrie hat sich das Auslagern von F&E-Aufgaben und die Kooperation mit anderen Unternehmen als eine strategisch wichtige Komponente der Produktentwicklung erwiesen. Durch den Übergang vom Verbrennungsmotor zur Elektromobilität verschieben sich Wertschöpfungsanteile in der Automobilindustrie und die Struktur der Wertschöpfungskette verändert sich. So könnte die Elektrifizierung des Antriebsstrangs einen Wegfall von ca. 30% des derzeitigen Wertschöpfungsanteils der Automobilproduzenten bedeuten (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Zunehmend sind innovative Entwick-

lungsansätze auf Basis von Kooperation zur Bündelung komplementärer Kernkompetenzen in industrieübergreifenden Entwicklungsnetzwerken gefragt (vgl. Müller et al. 2014). Da die Entwicklung in der Elektromobilität umfangreiches Know-how, das häufig weder bei traditionellen Zulieferern noch OEMs vorhanden ist, erfordert, entstehen teilweise vollkommen neuartige Unternehmensnetzwerke. Neue Kompetenzträger treten auf. Insbesondere im Aufbau der Netzstruktur und flächendeckenden Ladestationen sind neben staatlichen Investitionen in die Forschung und Entwicklung Expertise und Kompetenzen von Energieversorgern gefragt. Die großen vier RWE, E.on, EnBW und Vattenfall, aber auch viele kleine und regionale Energieversorger sind an Elektromobilitätsprogrammen, sowohl in Kooperation mit öffentlichen Stellen als auch mit Automobilherstellern und Zulieferern, beteiligt. Um gemeinsame Ladestandards zu entwickeln und die Elektromobilität insgesamt attraktiver zu machen, entstehen im Bereich der Ladeinfrastruktur auch horizontale Kooperationen der OEMs wie beispielsweise im durch die Bundesregierung geförderten Projekt „SLAM- Schnellladenetz für Achsen und Metropolen“ zur Errichtung von mehr als 400 Schnellladestationen und eines Forschungsladenetzes bis zum Jahr 2017, an dem sich BMW, Daimler, Porsche und VW sowie der Energieversorger EnBW und mehrere Forschungsinstitute beteiligen. Ebenfalls entstehen strategische Allianzen

zwischen Automobilherstellern und Zulieferern und vertikale Kooperationen von sowohl kleinen als auch großen Technologieunternehmen mit den OEMs zur Entwicklung von Elektrofahrzeugen und dafür benötigten Komponenten. So arbeitet beispielsweise Siemens gemeinsam mit Volvo an einem Elektroauto und steuert Antriebstechnik, Leistungselektronik sowie die Ladetechnik für die Batterien bei. Daimler arbeitet mit Bosch an der Weiterentwicklung des elektrischen Antriebsstrangs (vgl. Büschemann 2011). Durch die Auswahl selektiver Partnerschaften in abgegrenzten Bereichen können traditionelle OEMs ihre Kompetenz und Erfahrung im Umgang mit der Koordination von Entwicklungsaufgaben als Integratoren einsetzen und häufig federführend auftreten. Bedingt durch den Wandel zur Elektromobilität können allerdings Zulieferer und Technologiekonzerne mit entsprechenden Kernkompetenzen auch vermehrt vollständige Module selbst entwickeln und anschließend mehreren Automobilherstellern anbieten sowie vermehrt Integrationsfunktion und Wertschöpfungsanteile übernehmen. So hat Continental mit dem Konzept „Elektrifizierung nach Maß“ einen OEM unabhängigen Technologiebaukasten geschaffen, mit dem Fahrzeughersteller existierende Fahrzeuge hybridisieren können (vgl. Continental 2013). Gerade Großkonzerne aus der Elektronikindustrie wie etwa Sanyo oder Samsung können sich im Rahmen ihrer Technologieführerschaft als Integratoren etablieren und

Entwicklungsprozesse von Lithium-Ionen-Batterien, -zellen, Zellkomponenten und anderen Elektronikbauteilen entlang der Wertschöpfungskette koordinieren. Nicht zuletzt durch das Aufkommen von OEMs, die exklusiv in der Elektromobilität tätig sind, die entweder wie etwa Tesla völlig neu entstanden sind, oder als Zulieferer bereits elektromobile Kompetenzen aufgebaut haben, wie der ehemals reine Batterieproduzent BYD, kommt es zu einer wesentlich höheren Komplexität der Netzwerkstrukturen und einer Verschiebung von der hierarchischen Entwicklungsstruktur der Zulieferpyramide zu komplexen, teilweise heterarchischen Entwicklungsnetzwerken. So kooperiert Volkswagen beispielsweise heute mit dem Energieversorger E.on, gleichzeitig mit dem Batterieproduzenten VARTA, dem Elektronikkonzern Sanyo aus Japan sowie dem chinesischen Automobilhersteller BYD, der wiederum parallel eine Kooperation mit dem Daimler Konzern verfolgt. Auf der anderen Seite bietet Volkswagen in Partnerschaft mit einem Energiedienstleister Mini-Kraftwerke für Wohnhäuser an und plant den Einstieg in Off-Shore Windparks (vgl. Vallée/ Schnettler 2013; Wiese 2011). In der Analyse der zentralen Technologiecluster der Elektromobilität wurde die hohe technologische und prozessuale Interdependenz der verschiedenen Technologiefelder und ihrer Kompetenzträger deutlich. Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs stellt eine komplexe Aufgabe dar, die wertschöpfungs-

seitig nur durch einen ganzheitlichen Ansatz realisiert werden kann, der alle betroffenen Baugruppen und Kompetenzträger einschließt. Der Status-Quo der Entwicklungs- und Wertschöpfungsstrukturen in der Elektromobilität zeigt ein heterogenes Gesamtbild, das durch vielfältige Einflussgrößen wie historisch gewachsene Wertschöpfungs- und Kooperationsstrukturen, unternehmensindividuelle Entwicklungs- und Technologiestrategien, neue Akteure und dynamische gesetzliche Rahmenbedingungen geprägt ist. Die Vielfalt der Einflussgrößen führt zu technologischen, Know-how-bezogenen und wirtschaftlichen Unsicherheiten, denen die an den Wertschöpfungsprozessen beteiligten Unternehmen auf verschiedene Weise entgegentreten. Aus dieser Ausgangssituation lässt sich auch die Heterogenität der Wertschöpfungs- und Kooperationsstrukturen im Status-Quo der Elektromobilität erklären. Im Folgenden werden zu diesem Zweck aktuelle Fallbeispiele in den drei Technologieclustern Antriebsstrang, Batterietechnologie, und Leichtbau näher beleuchtet.

Antriebsstrang: In der automobilen Entwicklungsgeschichte hat sich im Bereich der Antriebs- und Motorentechnik ein deutlicher Kompetenzschwerpunkt im Entwicklungsnetzwerk herausgestellt. So zählt die Antriebs- und Motorentechnologie traditionell zu den Kernkompetenzen der OEMs. Porsche weist ihre Sechszylinder-Boxermotoren sowie die dazugehörigen Getriebe- und

Antriebstechnologien als explizite Kernkompetenz des Unternehmens aus (vgl. Hamprecht 2014). Auch andere Hersteller haben eine hohe Entwicklungskompetenz im Bereich der Verbrennungsmotoren, die mit jeder neuen Generation leistungsfähiger und effizienter werden. Dabei hat die Komplexität der Aggregate kontinuierlich zugenommen. Zahlreiche neue Technologien wie die mehrfach variable Nockenwellensteuerung, die mehrfache Turboladung oder die kennfeldgesteuerte Ölpumpe gehen Hand in Hand mit einer kontinuierlichen Verbesserung der bestehenden Systeme, wodurch die Teileanzahl und Komplexität der Motoren kontinuierlich ansteigt. So hat sich die Teileanzahl eines durchschnittlichen Verbrennungsmotors in den letzten Jahrzenten mehr als verdoppelt. Aufgrund der hohen technologischen und thermodynamischen Komplexität sowie dem direkt erkennbaren Kundenwert (Leistung und Effizienz) konzipieren heute nahezu alle großen OEMs ihre Motoren selbst und beziehen Tier-1 Lieferanten lediglich in Teilentwicklungsprojekte für bestimmte Motormodule und insbesondere die steigenden Elektronik und Elektrotechnikumfänge mit ein. So liegt die Entwicklungs- und Produktionskompetenz des Antriebsstrangs bei Toyota zu 100% im Unternehmen. Renault hingegen kauft den elektrischen Antrieb vom Zulieferer Continental zu. Daimler verfolgt eine Kooperationsstrategie und hat ein Joint Venture mit Bosch gegründet, um spezifisch auf die Anforde-

rungen der Elektromobilität angepasste Antriebssysteme (Traktionsmaschinen) zu entwickeln und zu produzieren. Es gilt jedoch als unwahrscheinlich, dass die bestehende Kompetenzzuordnung in der Entwicklung konventioneller Antriebstechnologien im technologischen Umfeld der Elektromobilität über alle Hersteller hinweg erhalten bleibt. Denn aus dem Technologiesprung von Verbrennungs- hin zu elektrischen Antriebsmotoren ergeben sich Rahmenbedingungen, die sich in zweifacher Hinsicht auf die Strukturbildung in den Entwicklungsnetzwerken auswirken. Innerhalb der bestehenden Entwicklungsnetzwerke kommt es zu einer Kompetenzverschiebung hin zu den bereits etablierten Tier-1 und Tier-2 Lieferanten. Die Kernkompetenzen vieler Modullieferanten liegen in der Entwicklung und Integration elektrotechnischer und elektronischer Module im Bereich des Antriebs. Eine Ausweitung der Entwicklungskooperationen im Bereich der elektrischen Antriebssysteme bietet sich aus technologischer Sicht oftmals an. Gegen eine Vertiefung der Kooperationsbeziehungen sprechen aus Sicht der OEMs hingegen das Risiko einer nachhaltigen Know-how-Verschiebung hin zu den Lieferanten und die damit verbundene zunehmende Abhängigkeit in der Zusammenarbeit. Außerhalb der bestehenden Entwicklungsnetzwerke drängen zahlreiche neue Akteure in den Markt der Elektromobilität, da sich aus der Elektrifizierung des Antriebsstranges für Hersteller von Industriemotoren, elektri-

schen Steuergeräten und mechatronischen Systemen eine Chance auf die Ausweitung ihres Geschäftsfeldes ergibt. So überträgt etwa der Mechatronikspezialist Wittgenstein sein Know-how im Bereich der elektrischen Hochleistungsantriebe auf den Bereich der Elektromobilität und strebt eine Ausweitung der bereits etablierten Kooperationsbeziehungen zu VW und weiteren Automobilherstellern an. Ein weiteres Beispiel für eine Entwicklungskooperation zwischen Automobil-OEM und Elektrotechnikspezialist liefert die Volvo Car Cooperation mit Siemens. Schwerpunkt des Joint Ventures ist zum einen die Entwicklung innovativer elektrischer Antriebstechnologien, Hochleistungselektronik sowie Ladesysteme. Zum anderen werden die technische Integration und die alltagsbezogene Anwendungsoptimierung der zukünftigen Volvo C30 Electric Modelle gezielt weiterentwickelt. Auch innerhalb der Zulieferindustrie ist der Startschuss für zahlreiche horizontale, vertikale und laterale Allianzen gefallen. So haben sich etwa der Motorenhersteller SEW Eurodrive und der Automobilzulieferer Brose Fahrzeugteile in einer strategischen Entwicklungskooperation zusammengeschlossen. Der Schwerpunkt der Zusammenarbeit liegt in der ganzheitlichen Entwicklung von Antriebssträngen, wobei SEW Eurodrive das Kompetenzfeld der Motorentechnik und Brose das Kompetenzfeld der Getriebe- und Peripheriekomponenten beisteuert. Durch die Übernahme von Perm Motor konnte der im

Bereich der Elektrofahrräder etablierte Hersteller Heinzmann seine Kompetenzen im Bereich der Elektromobilität weiter ausbauen. Mit dem von Perm entwickelten bürstenlosen Scheiben-Synchronmotor wurden bereits mehrere elektrische Antriebssysteme für Motorräder realisiert. Dazu zählen unter anderem auch das Enduro-Motorrad Freeride E von KTM sowie ein elektrischer Roller von Peugeot. Auch horizontale Kooperationen zwischen OEMs werden im Rahmen der Entwicklung elektrischer Antriebe eingegangen. Im Jahr 2011 wurde durch die Automobilhersteller Ford und Toyota eine Entwicklungskooperation begründet, die die Entwicklung eines Hinterachsantriebs für leichte hybride Nutzfahrzeuge zum Ziel hatte. Nach der Erzielung der ersten Fortschritte wurde diese Kooperation jedoch aufgelöst, da die Hersteller im weiteren Entwicklungspfad ihre Kernkompetenzen eigenständig ausbauen wollten. Einige OEMs beschreiten hingegen den Weg des entwicklungstechnischen Alleingangs. Harley Davidson hat mit dem Elektromotorrad Projekt Livewire ein straßenzugelassenes Serienmotorrad ohne namhaften Kooperationspartner entwickelt und will sich auch im weiteren Entwicklungspfad durch selbst entwickelte Antriebskonzepte vom Wettbewerb differenzieren. Das Unternehmen Tesla bietet mit seinen elektrischen Supersportfahrzeugen, die bereits heute breiten Absatz finden, ein weiteres Beispiel für ein elektrisches Antriebskonzept, das ohne eine strategische Entwick-

lungskooperation zur Marktreife gebracht wurde. Eine weitere zentrale Facette künftiger Entwicklungskooperationen ergibt sich aus der zunehmend intensiven Zusammenarbeit von Unternehmen und Forschungseinrichtungen sowie Hochschulen. Zahlreiche Hochschulen und Forschungsinstitute arbeiten bereits heute mit Automobilherstellern und Systemlieferanten in der Entwicklung neuer elektrischer Antriebskonzepte mit dem Ziel zusammen, die technologische Reife der Systeme zu optimieren und dabei gleichzeitig die Herstellprozesse zu industrialisieren und ein marktfähiges Zielkostenniveau zu erreichen. Beispiele hierfür bieten die Hochschule Bochum, die in einer Forschungskooperation mit ThyssenKrupp Steel Europe ein Elektrofahrzeug entwickelt hat, dessen Motor mit einem speziellen weichmagnetischen Stahl-Elektroband ausgestattet ist, das eine höhere Energieeffizienz als vergleichbare Materialien ermöglicht. Mit dem Elektrofahrzeug MUTE hat die Technische Universität München ein weiteres Beispiel für eine Forschungskooperation in der Entwicklung elektrischer Fahrzeugantriebe gezeigt. In der Zusammenarbeit von über 20 Lehrstühlen mit führenden deutschen Automobilherstellern wurde ein ganzheitliches Konzept eines kostengünstigen, sicheren und alltagstauglichen Elektrofahrzeugs erarbeitet. Die Besonderheit bei dieser Kooperation liegt in der Federführung durch die Universität. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich in der heutigen Ent-

wicklungslandschaft elektrischer Antriebssysteme ein sehr heterogener Stand bezüglich der Entwicklungs- und Kooperationsstrategien zwischen Automobilherstellern, System- und Modullieferanten, bisher branchenfremden Herstellern und Forschungsinstituten abzeichnet. Die Ursache für die Vielfalt der Kooperationsbeziehungen und die Heterogenität der Entwicklungsstrategien ist dabei in der Vielzahl der Einflussfaktoren, der hohen Technologiedynamik und den oftmals noch schwer absehbaren Entwicklungsrisiken zu sehen, denen die Akteure mit unterschiedlichen Strategien begegnen. Aufgrund der zunehmenden Integration auf Bauteil-, Funktions- und Technologieebene und der wachsenden Anzahl entwicklungsbeteiligter Branchen ist zukünftig mit einer verstärkten Kooperationsintensität und -dynamik zu rechnen.

Batterietechnologie: Mit bis zu 50% der Fahrzeugkosten stellt die Batterie den größten Kostenblock bei Elektrofahrzeugen dar (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Mittel- bis langfristig besteht enormes Wachstumspotential in diesem Bereich. So prognostizieren Hensley et al. ausgehend von jährlich 6-8 Millionen weltweit verkauften Elektrofahrzeugen im Jahr 2020, Umsätze von bis zu $60 Milliarden durch Batterieverkäufe (vgl. Hensley et al. 2009). Um Kosten, Reichweite und Ladezyklen soweit zu verbessern, dass die Elektromobilität breite Kundensegmente ansprechen kann, besteht erheblicher Entwicklungsbedarf. Die

für die Elektromobilität zentrale Herausforderung der Weiterentwicklung der Batterietechnologie, fällt dabei nicht in den Kernkompetenzbereich der traditionellen OEMs. Kompetenzen und Know-how müssen teuer aufgebaut oder zugekauft werden. Im Rahmen der Innovationsallianz LIB2015 werden seit 2008 neue Fertigungstechniken, Komponenten und Materialien für Speicherzellen und Batteriesysteme zur Verbesserung von Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und Sicherheit von Speicherzellen und Batteriesystemen erforscht. Das Bundesministerium für Forschung und Bildung unterstützt die diagonale Kooperation entlang der gesamten Wertschöpfungskette mit 60 Millionen Euro. Mit 360 Millionen Euro unterstützt die Industrie die Forschungsallianz aus Chemieindustrie, Zulieferunternehmen, OEMs, Batterieherstellern, Forschungsinstituten, Universitäten und Energieversorgern (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2013a). Die Neugründung von Unternehmen zur Entwicklung und Produktion von Batterietechnologie hat sich in der Breite nicht durchgesetzt. Bolloré bezieht zwar die Batterien für das BLUECAR vom eigens gegründeten Tochterunternehmen Batscap (vgl. Donovan et al. 2013), die Fertigung von Lithium-Ionen-Zellen, die fast 50% der Herstellkosten und den größten Teil der Wertschöpfung einer Batterie ausmacht, ist jedoch nahezu ausschließlich in vormals industriefremder Hand. Mit einem prognostizierten Umsatz für 2016 von rund $1,68

Milliarden und einem globalen Marktanteil von 41% dominiert Panasonic mit seinem Tochterunternehmen Sanyo die Zellfertigung für die Automobilindustrie. Auch der zweitgrößte Zelllieferant AESC, mit einem Marktanteil von 17% kommt aus Japan. Mit LG Chem (9%) und Samsung (7%) folgen zwei koreanische Hersteller. Der einzig nennenswerte Produzent in Europa ist das von Evonik gegründete, deutsche Unternehmen Li-Tec Battery (4%), das Daimler sukzessive vollständig übernommen hat (vgl. Bernhart et al. 2014). Sowohl Automobil- als auch Batteriehersteller sind in der Entwicklung auf Kooperationen angewiesen um Kompetenzen und Know-how zu bündeln. Keine der beiden Seiten scheint jedoch den jeweiligen Kooperationspartnern Exklusivität zu garantieren. So kooperiert beispielsweise Sanyo mit Honda, PSA, Toyota und über Audi mit dem VW-Konzern. Sowohl Honda als auch Toyota kooperieren aber simultan mit Panasonic. VW ist zusätzlich in Kooperation mit VARTA, Toshiba und BYD, die wiederum sowohl mit Daimler zusammenarbeiten als auch inzwischen eigene Elektrofahrzeuge produzieren. Daimler kooperiert zudem mit dem französischen Batterielieferanten JCI Saft (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Tesla plant derzeit in Kooperation mit dem langjährigen Partner und Anteilseigner Panasonic eine „Giga-Fabrik“ die Batterien für bis zu 500.000 Fahrzeuge pro Jahr produzieren soll. Die Investition von $ 4-5 Milliarden, könnte durch Skaleneffekte Teslas Kosten

für Batterien um bis zu 30% senken und würde die weltweite Batteriewertschöpfung in der Elektromobilität revolutionieren (vgl. The Economist 2014; Bernhart et al. 2014). Auch große Zulieferer gehen Kooperationen mit ursprünglich branchenfremden Unternehmen ein, um in der Batterietechnologie und in Batteriesystemen unabhängig von den OEMs Kompetenzen aufzubauen. So kooperierte beispielsweise Magna mit dem US-amerikanischen, inzwischen insolventen und vom chinesischen Hersteller Wanxiang übernommenen, Batteriehersteller A123. Bosch hat mit Samsung im gemeinsamen Joint Venture SB LiMotive zwischen 2008 und 2012 an der Entwicklung von Batteriesystemen für den Einsatz in Hybrid- und Elektrofahrzeugen gearbeitet um sich langfristig OEM unabhängig als Massenlieferant von Batteriesystemen zu etablieren und sich so durch Integrationskompetenz Wertschöpfungsanteile zu sichern (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Zusätzlich zu Entwicklung, Vertrieb und Betrieb von Ladestationen und Netzstrukturen beteiligen sich Energieversorger ebenfalls an der Entwicklung von Batteriesystemen. 2006 gingen 15% des durch Windkraftwerke erzeugten Stromes aufgrund fehlender Zwischenspeicher verloren. Bis 2050 soll die Hälfte des Energiebedarfs in Deutschland aus regenerativen Quellen gedeckt werden. Durch Nutzung der mobilen, dezentralen Speicherkapazität, die die Elektromobilität mit sich bringt, könnten gleichzeitig Spannungsspitzen im Netz

durch bedarfsorientiertes Ein- und Ausspeisen von Strom ausgeglichen werden (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2013b). Als Beispiel der Kooperation zwischen Energieversorger und Zulieferern für die Automobilindustrie lässt sich die Entwicklungspartnerschaft zwischen der Infineon Technologies AG und der RWE Effizienz GmbH nennen. Die Halbleitertechnik des IT-Unternehmens wird zum einen für die Ladeinfrastruktur und das Thema Smart Grid benötigt. Mikrocontroller, Sensoren und Leistungshalbleiter spielen aber auch eine zentrale Rolle bei der Übertragung und Einspeisung von Energie in Batterien. RWE gewinnt so einen potentiellen Partner zur Entwicklung von Batterietechnologie. Zulieferern bietet sich die Möglichkeit in das Infrastrukturgeschäft vorzudringen (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). E.on errichtet zusammen mit dem Batteriehersteller Exide Technologies einen modularen Batteriegroßspeicher, in dem verschieden Batterietechnologien verknüpft werden. Lithium-Ionen Batterien können hier als kurzfristige Leistungsspeicher eingesetzt werden (vgl. E.on 2014). Durch den strukturellen Wandel in der Wertschöpfungskette zeichnet sich eine Veränderung der Wettbewerbslandschaft ab. Neue, bisher branchenfremde Akteure können sich entlang der Wertschöpfungskette positionieren und neue Akteure wie beispielsweise Tesla können trotz immenser Eintrittsbarrieren tragende Rollen einnehmen. Zur Entwicklung zukunftsweisender Batteriesyste-

me sind multidirektionale Partnerschaften gefragt. Normen und Standards müssen sich etablieren. Insbesondere in der Grundlagenforschung entstehen horizontale und diagonale Netzwerke, die gleichermaßen von öffentlicher Hand und den Universitäten und Forschungsinstituten sowie der Industrie getragen werden. Besonders in der Entwicklung von Batteriesystemen wird deutlich, dass durch den Wandel zur Elektromobilität die klassisch pyramidale Struktur der Zuliefer-Hersteller-Beziehung verschränkten Entwicklungsnetzwerken weicht.

Leichtbau: Das Technologiecluster des Leichtbaus unterscheidet sich strukturell von den weiteren beleuchteten Technologiefeldern der Akkumulatortechnik und des Antriebsstrangs hinsichtlich seines Anwendungsfokus. Im Gegensatz zum Antriebsstrang und der Batterie beschreibt der Leichtbau keine bestimmte Komponente sondern ein Konstruktionsprinzip und kann somit überall im Fahrzeug eingesetzt werden. Zudem ist das Prinzip des Leichtbaus auch auf bestehende, konventionelle Fahrzeugkonzepte anwendbar. Produktionsseitig resultiert aus dieser Differenzierung ein höherer Freiheitsgrad bezüglich der in Frage kommenden Kompetenzträger und Akteure. Batterie und Antriebsstrang bilden die beiden zentralen Gewichtsträger in einem Elektrofahrzeug. Das Prinzip des Leichtbaus lässt sich aufgrund der funktionellen Struktur dieser Komponenten nur bedingt auf sie anwenden. An dritter Stelle der Gewichtsträger steht die Ka-

rosserie, die sich aus tragenden Strukturkomponenten sowie der formgebenden Außenhülle zusammensetzt. Aufgrund des hohen Gewichtsanteils und der guten Anwendbarkeit der Prinzipien des Leichtbaus bildet die Karosserie den zentralen Forschungsgegenstand dieses Technologieclusters in der Elektromobilität. Hinsichtlich der künftigen Kompetenzverteilung ist eine Unterscheidung zwischen strukturgebenden formgebenden Karosseriekomponenten zu unterscheiden. Die Strukturkomponenten der Karosserie bilden das zentrale tragende Element des Fahrzeugs, integrieren sämtliche weitere Komponenten wie Antriebsstrang, Fahrwerk und Interieur, sind maßgeblich an der Formgebung des Fahrzeugs beteiligt und unterliegen einem hohen Anforderungsniveau hinsichtlich ihres Verformungsverhaltens im Falle eines Unfalls. Historisch liegen die Kompetenzen der Karosserieentwicklung aufgrund der hohen Abhängigkeit zu den weiteren Fahrzeugkomponenten, der direkten Auswirkung auf die Formgebung und Fahreigenschaften des Fahrzeugs und dem hohen Entwicklungs- und Prüfaufwands im Rahmen der Sicherheits- und Crashtests bei den Automobil-OEMs. Auch in der Elektromobilität ist dieser Kompetenzschwerpunkt weitestgehend erhalten geblieben. So werden die Strukturkomponenten der BMW i-Serie aus kohlefaserverstärktem Kunststoff in den eigenen Werken in Deutschland und den USA hergestellt. Im weiteren Entwicklungspfad ist mit einem verstärkten Einsatz

von faserverstärkten Kunststoffen, sogenannten Prepregs (preimpregnated fibers; vorimprägnierte Faserwerkstoffe, die aus Endlosfasern und einer ungehärteten Kunststoffmatrix bestehen und gut automatisiert verarbeitbar sind) und Hybridwerkstoffen sowie einem funktionsspezifischen Werkstoffmix zu rechnen. Im Gegensatz zu dem im Bereich der Strukturkomponenten traditionell eingesetzten Werkstoff Stahl ist das Verformungs- und Splitterverhalten der neuen Faser- und Hybridwerkstoffe aufgrund der inhomogenen Strukturen und Materialkombinationen schwieriger zu berechnen. Eine verstärkte Kooperation mit Werkstoff- und Prozessspezialisten ist im Rahmen künftiger Generationen von Elektrofahrzeugen somit wahrscheinlich. Weitreichende Kooperationsmöglichkeiten ergeben sich auch im Bereich der Außenhülle des Fahrzeugs. BMW arbeitet in diesem Segment bereits heute mit externen Werkstoffspezialisten zusammen. So hat BMW eine Vertiefung der Kooperationsbeziehungen mit dem Chemie- und Werkstoffspezialisten SGL Carbon beschlossen, um durch Investitionen in Höhe von 100 Mio. EUR ihre Produktionskapazitäten für Teile aus kohlefaserverstärktem Kunststoff von jährlich 3000 auf 6000 Tonnen zu verdoppeln. Vor dem Hintergrund einer jährlichen weltweiten Gesamtnachfrage nach dem Werkstoff von lediglich 57.000 Tonnen im Jahr 2011 wird das Ausmaß dieser Kooperationsleistung ersichtlich (vgl. Gathmann 2013). Auch Audi strebt strategische

Technologiekooperationen an, um ein wettbewerbsfähiges Zielkostenniveau für CFK-Werkstoffe zu erreichen (vgl. Timm 2010, S. 15). Das Unternehmen sieht ein Kostensenkungspotenzial von 50% im Bereich Material, 90% im Bereich der Herstellprozesse und 70% im Bereich Lack. In diesem Prozess werden neben den großen Technologieträgern auch zahlreiche kleine und mittelständige Unternehmen mit Spezialwissen in der Produktion und Verarbeitung der Materialien und Gesamtwerkstoffe eine entscheidende Rolle spielen. So arbeitet BMW bereits heute im Bereich der Faserkunststoffe mit KMU wie der Unternehmensgruppe C-Con zusammen, um externes Knowhow und externe Kapazitäten zur Flexibilisierung der Produktion in diesem Bereich frühzeitig aufzubauen. Der Handlungsraum zur Erschließung der Leichtbautechnologie erschöpft sich jedoch nicht im Bereich der Karosserie, da das Konzept auf alle Bereiche des Fahrzeugs anwendbar ist. So kann durch den Einsatz gewichtsreduzierter Materialien, neuer Produktionsprozesse und optimierter Modulanordnungen ein Gewichtsvorteil in vielen Bereichen des Fahrzeugs erzielt werden. Am Beispiel des aktuellen Audi A3, der gegenüber seinem Vorgängermodell trotz höherer Leistung, verbesserter Sicherheit und neuen Komfortfeatures 80kg leichter ist, wird dies deutlich ersichtlich (vgl. Audi AG 2012). Dieser Erfolg wurde nicht durch einen sprunghaften Design- oder Technologiewechsel erzielt, sondern durch

zahlreiche kleine Verbesserungsmaßnahmen, die sowohl durch Audi selbst als auch durch eine gezielte Zusammenarbeit mit den Modullieferanten erfolgten. Durch die zunehmende Relevanz des Faktors Gewicht als kundenwertgestaltende Zielgröße und die aufgrund des technologischen Fortschritts wachsenden Gestaltungsfreiräume werden sowohl Fahrzeughersteller als auch Lieferanten im weiteren Entwicklungsprozess sowohl bei konventionellen als auch bei Elektrofahrzeugen vermehrt auf die Prinzipien des Leichtbaus zurückgreifen. Die produktionsseitige Realisierung wird dabei technologie- und strategiespezifisch sowohl durch die einzelnen Akteure als auch in technologie- und anwendungsfeldspezifischen Kooperationen erfolgen. Die Kollaboration in Entwicklungsnetzwerken ist mit spezifischen Herausforderungen und Risiken verbunden. So kann sowohl die Abhängigkeit von Fremdkapazitäten als auch die Abhängigkeit von Fremdwissen die eigene Verhandlungsposition schwächen. Gleichzeitig wird es durch die Auslagerung für Automobilproduzenten schwierig, Wissen über ausgelagerte Komponenten im eigenen Unternehmen vorzuhalten. Dies wirkt sich wiederum maßgeblich auf die Qualität der Teile und der Entwicklungsprozesse aus (vgl. Takeishi 2002). Nachfolgend wird ein Überblick über die wesentlichen technischen, wirtschaftlichen sowie wissensbezogenen Herausforderungen im Umfeld der Elektromobilität gegeben. Zunächst soll auf die technischen Herausforde-

rungen eingegangen werden. Im Übergang zur Elektromobilität sind Veränderungen hinsichtlich der technischen Modulstruktur der Fahrzeuge zu verzeichnen. Höhere Design-Freiheitsgrade beim Antriebsstrang, andere Möglichkeiten der Lastenverteilung und insgesamt weniger Module und Schnittstellen sind hierfür charakteristisch. Dies vereinfacht die Modularisierung der Fahrzeuge und verstärkt die Auslagerung von Modulen hin zu Zulieferern (vgl. proff 2012). Daher ist eine der technischen Hauptaufgaben für die automobilen OEMs in der Elektromobilität das Management der Konfiguration und der Schnittstellen der Fahrzeuge und Module. Die aus dem Entwicklungsnetzwerk zugelieferten Subsysteme und Module weisen für den Abnehmer noch stärker als heute den Charakter einer „black box“ auf. Durch die verstärkte Aufteilung der Wertschöpfung auf sehr heterogene Unternehmen, welche ihren Ursprung in unterschiedlichsten Branchen haben, muss bei der Vernetzung von Systemen und Modulen möglichen Kompatibilitätsrisiken begegnet werden. Des Weiteren ist es für die Unternehmen des Entwicklungsnetzwerks erfolgsentscheidend, die technische Komplexität des Gesamtsystems, aber auch der einzelnen Module zu beherrschen und noch weiter zu reduzieren. Eine weitere technische Herausforderung stellt die Sicherstellung der Produkt- und Prozessqualität in branchenübergreifenden, internationalen Netzwerken der Elektromobilität dar. Das ohnehin schon sehr breite Spektrum

der OEM an Lieferanten wird durch die Entwicklungen der Elektromobilität noch heterogener, insbesondere durch Vertreter aus völlig neuen Branchen. Dies kann zur Problematik führen, dass kleinere Lieferanten nicht über ausreichend unternehmerische Reife oder Liquidität für Qualitätszertifizierungen verfügen. Außerdem ergibt sich die Aufgabenstellung, Normen, Standards und Spezifikationen mit länderspezifischen, aber auch branchenspezifischen Besonderheiten in der Entwicklung vollumfänglich zu berücksichtigen. Hinzu kommt, dass bisherige Qualitätsanforderungen und Prüfumfänge um neue Aspekte aus den Bereichen Chemie, Leistungselektronik und Leichtbau ergänzt werden müssen. Tests, Bemusterungen und Freigaben gestalten sich hierdurch zeitaufwändiger und kostspieliger. Außerdem fehlen bei Simulationen sowie auch bei Langzeiterprobungen oft geeignete Referenzdaten. Neben der Qualität muss auch die Prozesssicherheit auf dem Weg zu einer zukünftigen Massenfertigung weiterentwickelt werden. Die Mitglieder der Entwicklungsnetzwerke müssen die steigenden Stückzahlen und die Transformation vom Nischenanbieter zum Massenfertiger durch die Etablierung robuster Prozesse bewältigen. Bislang sind Technologien für hochintegrierte, mechatronische Komplettsysteme noch nicht großserientauglich und weisen erst eine geringe technologische Reife auf. Außerdem haben sich die Leichtbauanforderungen im Zuge der Elektromobilität drastisch verschärft

(vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Dies führt zu neuen wirtschaftlichen Herausforderungen der Zusammenarbeit in Entwicklungsnetzwerken. Die Automobilhersteller müssen derzeit erfolgreich den Spagat bewältigen, zum einen die konventionellen Antriebstechnologien hinsichtlich Effizienz und Emissionen weiter zu optimieren, zum anderen umfangreiche Investitionen in die Entwicklung marktfähiger alternativer Antriebskonzepte richtig zu steuern (vgl. Bozem 2013, S. 81ff.). Im Übergang zur Elektromobilität ist ein struktureller Wandel der gesamten Wertschöpfungskette zu verzeichnen. So wird die klassische Entwicklungspyramide der Automobilindustrie mit dem OEM als fokalem Unternehmen immer mehr durch Entwicklungsnetzwerke mit unterschiedlichsten Vertretern aus zahlreichen Branchen abgelöst. Der Wettbewerb zwischen automobilen OEMs wird durch konkurrierende Entwicklungsnetzwerke der Elektromobilität, die nicht deckungsgleiche Geschäftsfelder aufweisen, abgelöst (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Die Automobilindustrie wandelt sich vom vertikalen Integrator über das Plattform- und Baukastensystem hin zu einem Netzwerk-Orchestrator (vgl. proff 2012). Gerade die Fähigkeiten der Netzwerkkoordination sowie der Integration technischer und organisatorischer Systeme, bei denen die automobilen OEM führend sind, können auch in Zukunft Kernkompetenzen im Wettbewerb der Elektromobilität darstellen (vgl. Vallée/ Schnettler

2013). Wesentliches Ziel der Etablierung von Entwicklungsnetzwerken im Umfeld der Elektromobilität ist die Erschließung von Synergiepotenzialen hinsichtlich Kosten-, Zeit-, Markt- und Ressourcenvorteilen (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Trotzdem ist es derzeit noch schwierig, im Sinne eines systematischen Kompetenzmanagements einzuschätzen, bei welchen Aktivitäten der Netzwerkmitglieder welche Synergien zu erwarten sind (vgl. proff 2012). Eine der größten Herausforderungen liegt in der eindeutigen Festlegung der Kollaborationsstrukturen in Form von Verantwortlichkeiten, Rollen und Entscheidungsfreiheiten. Gleichzeitig müssen eine übergeordnete Netzwerkstrategie sowie klare Netzwerkziele formuliert werden. Die Nutzen-, Risiko- und Aufwandsverteilung zwischen den Netzwerkakteuern muss bereits frühzeitig abgestimmt werden. Da die Automobilhersteller für einige Module nicht genügend eigene Kompetenzen aufweisen, sind sie auf Kooperationen sowie auf gezielte Zukäufe angewiesen (vgl. proff 2012). Erforderliche Entwicklungskompetenzen lagen bislang zu 90% in den Bereichen Mechanik und Mechatronik. Dieser Anteil wird durch die wachsende Bedeutung der Elektronik und Chemie in der Elektromobilität voraussichtlich auf 60% sinken (vgl. proff 2012). Schätzungen gehen von einem Wegfall von 30% der bisherigen Wertschöpfung der Automobilunternehmen aus (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Diese Entwicklungen bergen Risiken für den Verlust

von Kernkompetenzen sowohl auf Seiten der OEMs als auch auf Seiten der traditionellen Zulieferer. Gleichzeitig steigen im Netzwerk Abhängigkeitsrisiken und die strategische Autonomie der Netzwerkmitglieder verringert sich (vgl. Sydow 2010). Die Automobilproduzenten stehen vor der Aufgabe, die verbleibenden Kernkompetenzen wie etwa Fahrzeugbau an die neuen Bedürfnisse anzupassen und die Chancen der Elektromobilität durch Erschließung neuer Geschäftsfelder zu verwerten (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Eine weitere wirtschaftliche Herausforderung stellt die Vermeidung einer „Lock-in"-Situation durch hoch spezifizierte Investitionen dar (vgl. Sydow 2010). Technologiestrategische Entscheidungen müssen von den Unternehmen regelmäßig hinterfragt werden und laufende und geplante F&E-Projekte sowie deren Interdependenzen kontinuierlich bewertet werden. Der Technologiefrühaufklärung sowie dem Technologiescouting kommt hierbei eine wichtige Rolle zu. Nachfolgend soll auf die wissensbezogenen Herausforderungen im Umfeld der Elektromobilität eingegangen werden. Die Bedeutung, die das Wissen der einzelnen Netzwerkmitglieder für das Wissen des Gesamtnetzwerks hat, kommt besonders in kompetenzintensiven Entwicklungsnetzwerken zum Ausdruck. Hier ist Wissen sehr stark und vor allem unmittelbar an das Wissen einzelner Unternehmen oder Persönlichkeiten gebunden. Für die Entwicklungsnetzwerke der Elektromobilität besteht die Notwendigkeit,

adäquate Institutionalisierungsmechanismen zu etablieren, die das Wissen unabhängig vom einzelnen Träger machen (vgl. Schüppel 1997). Die wesentlichen Herausforderungen liegen dabei im Wissenserwerb, im Wissenstransfer sowie in der Wissensbewahrung. Der Wissenserwerb und Wissenstransfer ist bei der Elektromobilität durch eine interdisziplinäre, branchenübergreifende Zusammenarbeit charakterisiert. Somit muss eine erfolgreiche Wissensmanagementstrategie nicht nur mit den Unternehmensstrategien der Einzelunternehmen abgestimmt sein, sondern auch mit den Zielen des Gesamtnetzwerks konform gehen. Die wesentliche Herausforderung liegt darin, wie implizites Wissen und Erfahrungswissen der Netzwerkmitglieder gesammelt und formalisiert werden können. Des Weiteren muss sämtlichen Anspruchsgruppen der Zugang zum notwendigen und fachspezifischen Know-how ermöglicht werden. Der netzwerkübergreifende Wissenstransfer kann durch bedarfsgerechte IuK-Technologien wie Open Innovation oder virtuelle Teams unterstützt werden. Wissensrisiken liegen darin, dass nach dem Abschluss von Projekten die gemachten Erfahrungen, wie es zum Erfolg oder Misserfolg gekommen ist und das erworbene Wissen zu wenig dokumentiert werden. Unabhängig vom Projekterfolg scheuen das Management und die beteiligten Mitarbeiter oftmals, sich weiter mit der Thematik zu befassen. Wissen geht dadurch unter und muss beim nächsten Mal mühsam neu aufge-

baut werden. Fehlende Kodifizierungen belassen Wissen personengebunden und erschweren den Transfer und die weitere Kompetenzentwicklung. Das Wissen wird nicht verfügbar und bereichert die Kompetenzbasis des Unternehmens nur wenig (vgl. Zucker/ Schmitz 2000). Interaktion ist die Basis für die Entstehung von Netzwerkeffekten. Dabei ist das Vehikel dieser Interaktion die Kommunikation. Gerade beim Verlassen bekannter Entwicklungspfade, wie bei disruptiven Technologien, ist ein reibungsloser Informationsaustausch im Netzwerk unerlässlich und die Kommunikation muss besonders schnell und effektiv ablaufen. Innerhalb der F&E-Netzwerke sind alle Voraussetzungen für einen reibungslosen Informations- und Kommunikationsfluss sowie für ein Vertrauensverhältnis zu schaffen. Klare Verantwortlichkeiten für den Datenaustausch, Wissensnetzwerke und Kreativitätstechniken sind zu etablieren. Es können z. B. digitale Plattformen wie ein gemeinsames Intranet oder Wiki-Datenbanken angelegt werden, auf die alle Netzwerkpartner Zugriff haben und dort auch ihr Wissen oder ihre Erfahrungen einpflegen können. Die digitalen Plattformen bieten die Möglichkeit, kostengünstig, schnell und einfach Wissen auszutauschen und nachhaltig greifbar zu machen. Dabei ist es wichtig, dass nur Netzwerkmitglieder auf diese Plattformen zugreifen können und die Informationen vor Dritten ausreichend geschützt sind. Es muss außerdem gewährleistet werden, dass alle Netzwerk-

mitglieder sich bei der Erweiterung der Plattformen und Datenbanken beteiligen. Risiken für Unternehmen der Elektromobilität liegen in diesem Kontext insbesondere in Ineffizienzen in der Kommunikation. Diese können zu erheblichen Mehrkosten, zur mangelnden Erschließung von Synergien sowie zur unzureichenden Berücksichtigung von Entwicklungsinterdependenzen führen (vgl. proff 2014; Gassmann 2013). Im Kontext der Wissensbewahrung in den Entwicklungsnetzwerken stehen die Sicherung des geistigen Eigentums sowie die Vermeidung eines unkontrollierten Abflusses von Wissen im Vordergrund. Mit einer zunehmenden Internationalisierung der Entwicklungsnetzwerke ist es erforderlich, den Schutz des geistigen Eigentums der Unternehmen über bestehende Landesgrenzen hinweg sicherzustellen (vgl. Wagner/ Thieler 2007). Dieses schützenswerte geistige Eigentum der Unternehmen umfasst Patente, Gebrauchsmuster, Geschmacksmuster und Marken (vgl. Wildemann 2009). Vertraglich festgelegte Schutzrechte und Geheimhaltungsvereinbarungen sowie die einzelnen Rollen der Netzwerkmitglieder im Entwicklungsnetzwerk sind frühzeitig, umfänglich und eindeutig zu regeln. Ferner sind im Netzwerk entsprechende Vertragsstrafen zu formulieren. Geheimhaltungsbedürfnisse von wettbewerbswirksamen Technologien, der Zuspruch der jeweiligen IP-Rechte sowie die Verlässlichkeit der Mitglieder sind besonders zu berücksichtigen. Der potentielle

Abfluss von Wissen ist oft Folge von Mitarbeiterfluktuation. Die wenigsten Unternehmen sind sich der Brisanz personeller Wissensrisiken hinsichtlich der Produkt- und Prozessqualität bewusst, da der Fluktuation von Mitarbeitern oftmals zu wenig Beachtung geschenkt wird. Implizites Wissen ist nicht in vollem Maße vom jeweiligen Wissensträger lösbar. Daher ist es für Unternehmen in Entwicklungsnetzwerken der Elektromobilität erstrebenswert, die Verweildauer der Wissensträger zu verlängern, insbesondere wenn diese über spezifisches, nicht kodifizierbares und schwer explizierbares Wissen verfügen, das sich nicht über die Methoden der Wissensteilung entpersonifizieren lässt. Oft ist gerade das implizite und nicht kopierbare Wissen wettbewerbsrelevant und erfolgsbeeinflussend (vgl. Schüppel 1997). Den OEMs fällt nach wie vor eine zentrale Rolle im Wertschöpfungsgefüge und insbesondere in der Entwicklungsarbeit zu. Um die Systemführerschaft zu bewahren verstehen sich die Automobilhersteller zunehmend auch als Mobilitätsanbieter, was sich an dem bereits stark gestiegenen Umfang an Car-sharing Angeboten zeigt. Markenimage ist in der Automobilindustrie auch weiterhin von kritischer Bedeutung und stellt eine hohe Markteintrittsbarriere für branchenfremde Unternehmen dar. Auch die Erfahrung in der Skalierung von Projekten ist für den Durchbruch der Elektromobilität und die Kernkompetenz der OEMs essentiell. Hierbei sichert insbesondere die Integrations-

und Koordinationsfunktion, die die Automobilhersteller seit langem, sowohl in der Produktion als auch der Entwicklung übernehmen, die Stellung der Automobilhersteller in der Wertschöpfungskette. Gerade im Hinblick auf die Qualitätssicherung stellt sich heute die Frage wie den Qualitätsstandards der Automobilindustrie auch im Bereich der Elektromobilität Rechnung getragen werden kann..

3 Produktentstehungsprozess in der Elektromobilität

Auf Basis definierter Marktanforderungen entstehen kundenspezifische Neuproduktentwicklungen mit definierten ökonomischen und technischen Zielanforderungen sowie Neu- und Weiterentwicklungen von Plattformen und Modulen. Der Schwerpunkt liegt auf neuen Systemlösungen (vgl. Wildemann 2014d). Bereits erprobte technische und technologische Konzepte hingegen sind Ausgangspunkt von Applikationsentwicklungen. Hierbei handelt es sich um Varianten, welche unter Verwendung von bestehenden Plattformen und Modulen gestaltet werden können. Dabei werden das Produkt und/oder der Prozess durch Neu- und Weiterentwicklung und Anpassung von Randmodulen und Rationalisierungsprojekte moduliert. Die Zeitplanung ist dabei klar ausgeprägt. Der Entwicklungsaufwand fällt, verglichen mit Neuproduktentwicklungen, eher geringer aus (vgl. Wildemann 2014d). Basierend auf dieser Klassifikation ist die Elektromobilität als Extremum der Neuproduktentwicklung anzusehen. Die Integration neuer Technologien und Innovationen in ein bestehendes Produkt setzt die Kenntnis um Technologieeigenschaften und ihr Zusammenspiel mit bestehenden Technologien voraus. Auf Grund der Besonderheiten der Elektromobilität wurden in Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss verschiedene Modelle und Ansätze aus der Theorie diskutiert und mit aktuellen Erkenntnissen der Branche abgeglichen.

3.1 Struktur und Herausforderungen des Produktentwicklungsprozesses

Der Produktentstehungsprozess (PEP) bildet den Leitprozess der automobilen Produktentwicklung von der Produktidee bis zur industrialisierten Herstellung und Vermarktung des fertigen Fahrzeugs. Als solcher bildet der Produktentstehungsprozess das Kernelement der strukturierten Produktentwicklung bei allen Automobilherstellern. Die Aufgabe des Produktentwicklungsprozesses liegt in der Koordination der Entwicklungsaktivitäten innerhalb großer Automobilkonzerne sowie der Harmonisierung der Aktivitäten aller beteiligten externen Akteure. Der Produktentstehungsprozess beschreibt somit auch den Technologieentwicklungsprozess der Fahrzeugmodule und strukturiert ihren Entwicklungspfad durch zahlreiche Meilensteine, die auch Stage-Gates genannt werden. Jeder Meilenstein bildet einen Qualitätsmesspunkt mit spezifischen verbindlichen produkt- und prozessbezogenen Anforderungen, deren Erfüllung eine zwingende Voraussetzung für das weitere Durchlaufen des Prozesses darstellt. Konkretisierungsgrad und Interdependenz der Anforderungen nehmen dabei mit jedem Meilenstein zu. Als Kernprozess der Entwicklungstätigkeiten wird der Produktentstehungsprozess auch für den technologischen Entwicklungspfad der Elektromobilität von maßgebender Bedeutung sein. Der Produktentwicklungsprozess weist jedoch eine Historie der inkre-

mentellen Produktverbesserungen auf und zeigt nur wenige, modulbezogene Fälle disruptiver Technologiesprünge. Vor dem Hintergrund der tiefgreifenden Auswirkungen, welche die Implementierung der im Rahmen der Elektromobilität neu zu erschließenden Technologien auf die Produktentwicklung haben, gilt es diese Auswirkungen auf den etablierten Produktentstehungsprozess differenziert zu untersuchen. Der Produktentstehungsprozess lässt sich von der Produktidee bis zum Start der Serienproduktion anhand der fünf Prozessschritte „Grundlagenforschung“, „Vorentwicklung“, „Konzeptentwicklung“, „Serienentwicklung“ und „Serienvorbereitung“ beschreiben (vgl. Abbildung 3-1). Aufgrund der in einigen Technologiefeldern der Elektromobilität vorherrschenden geringen Marktreife besitzen die Phasen der Vorentwicklung und der Grundlagenforschung eine hohe Relevanz. Gemäß den Aussagen der Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses sind im Hinblick auf die Elektromobilität in diesen beiden Prozessphasen ein erhöhtes Maß an Flexibilität, Kreativität und Rekursionsschleifen notwendig. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Aktivitäten nachgelagerter Prozessphasen sich sukzessiv an die etablierten Standardentwicklungsprozesse anzunähern haben, um die etablierten Prozessketten der beteiligten Unternehmen nicht zu gefährden.

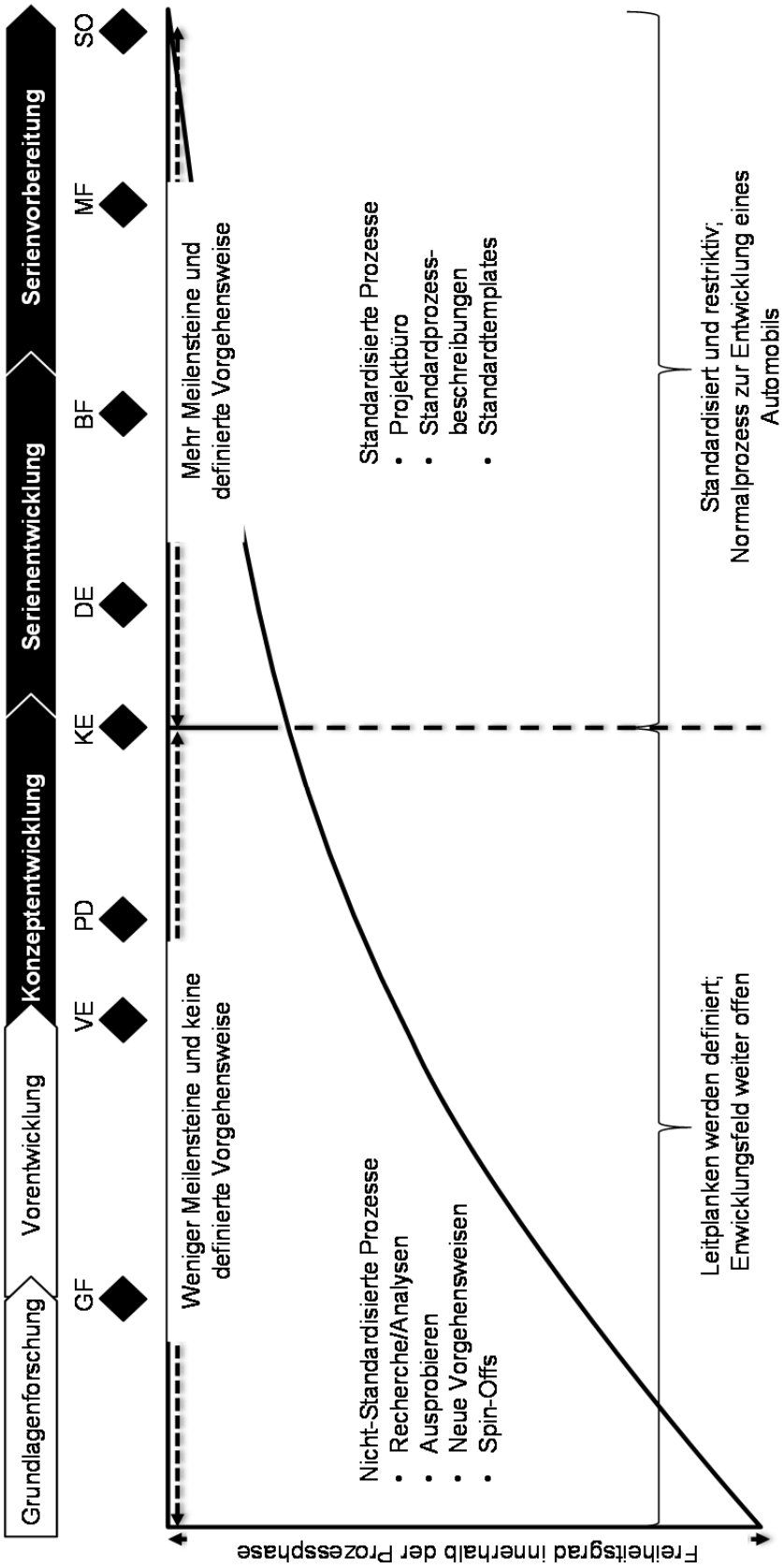


Abbildung 3-1: Produktentwicklungsprozess in der Elektromobilität

Grundlagenforschung: Die Grundlagenforschung beschreibt die früheste Phase in der Entwicklung einer neuen Produkt- oder Prozesstechnologie. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung definiert die Zielsetzung der Grundlagenforschung als Ausgangspunkt für technische Innovationen und für eine auf Nachhaltigkeit zielende Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2014b). Aus der Begriffsdefinition wird der geringe technische Konkretisierungsgrad dieser Stufe der Technologieentwicklung ersichtlich. Die Grundlagenforschung bildet den Nukleus der Entwicklung disruptiver Technologien, da in dieser frühen Phase der Forschung und Entwicklung zumeist Ansätze für radikale Produkt- und Prozessinnovationen verfolgt werden. Die Grundlagenforschung besitzt daher das inhärente Ziel, potenzielle kundenwirksame Technologiefelder zu identifizieren und zu bewerten sowie die Erschließung derselben zu planen. Letzteres besitzt für die Technologien der Elektromobilität besondere Relevanz. Da ein Unternehmen allein meist nicht die notwendigen Kompetenzen oder Ressourcen besitzt, besagte Technologien zu erschließen, werden Entwicklungskooperationen mit verschiedenartigen Unternehmen eingegangen. Ein Teil des Aufgabeninhalts der Grundlagenforschung ist damit auch die Identifikation, Bewertung und Selektion möglicher Entwicklungspartner. Das Ziel der Entwicklungskooperationen in der Grundlagenfor-

schung liegt hauptsächlich in der Komplementierung von Erfahrungswerten. Gemeinsam werden zumeist aus der Theorie abgeleitete und durch erste Versuche bestätigte Technologiekonzepte hinsichtlich ihrer technologischen und wirtschaftlichen Eigenschaften sowie Einsatzmöglichkeiten untersucht. Untermauert wird diese Analysephase durch Versuchsreihen und generiert letztendlich Elementarwissen über die Funktionsweisen, Problemstellungen, Stärken und Schwächen einer neuen Technologie. Ergebnis der Grundlagenforschung ist somit ein anwendungsunspezifisches Technologieverständnis, das nicht an wirtschaftliche Interessen einzelner Unternehmen geknüpft ist, sondern der potenziellen Steigerung des Allgemeinwohls durch eine anknüpfende angewandte oder industrielle Forschung dient. Die nicht-wirtschaftliche Ausrichtung der Grundlagenforschung liegt dabei vor allem in dem hohen Entwicklungsrisiko begründet, welches die Erforschung innovativer Technologien mit einem hohen Neuheitsgrad mit sich bringt. Die unternehmerische Aufgabe der Grundlagenforschung besteht deshalb darin, Entwicklungsfehlschlägen oder gar strategische Fehlpositionierungen präventiv zu adressieren. Das Risiko technologischer Fehlentwicklungen und das wirtschaftliche Nutzenpotenzial werden entlang des Produktentstehungsprozesses durch eine reziproke Wirkbeziehung charakterisiert: Während das Risiko der Projekte in der Grundlagenforschung sehr hoch ausgeprägt ist, ist der di-

rekt erzielbare wirtschaftliche Nutzen der Forschungsergebnisse aufgrund ihrer Anwendungsferne meist noch gering. Mit fortschreitender Technologiereife sinkt das Risiko einer Fehlentwicklung, während der Anwendungsbezug und damit das wirtschaftliche Nutzenpotenzial weiter ansteigen. Für die Entwicklungsnetzwerke bedeutet dies, dass privatwirtschaftlich orientierte Unternehmen in der Regel keine Grundlagenforschung betreiben, da das Risiko-/Nutzenverhältnis in keinem wirtschaftlichen Verhältnis steht. Aufgrund der zentralen Relevanz der Grundlagenforschung für die Erzielung technologischen Fortschritts tritt somit der Staat in Form von öffentlich finanzierten Forschungsinstituten und Universitäten als zentraler Akteur in diesem Segment auf. So wurde im Jahr 2010 durch das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Universität Ulm das Helmholtz-Institut Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung (HIU) ins Leben gerufen, das sich der Grundlagenforschung im Bereich neuer Energiespeichertechnologien für Traktionsbatterien widmet. Ein weiteres zentrales Instrument für den Ausbau der Grundlagenforschung bilden staatliche Förderungen und Subventionen, die privatwirtschaftlichen Unternehmen als Anreiz dienen. Die Ausmaße der staatlichen Förderungen variieren dabei je nach Land erheblich. So fördert China technologische Innovationen im Bereich effizienter und elektrischer Antriebstechnologien mit etwa 1 Mrd. EUR. Weiterhin unterstützte

das chinesische Ministerium für Wissenschaft und Technologie den Ausbau von über 10 Pilotregionen für Elektromobilität mit über 10.000 Fahrzeugen und ca. 2 Mrd. EUR für die Dauer von 2009 – 2011 (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWI) 2009). In Deutschland werden die Förderprogramme für Elektromobilität unter der Nationalen Plattform Elektromobilität gebündelt. In diesem Rahmen wurden im Konjunkturpaket II durch die Bundesministerien für Wirtschaft und Technologie (BMWi), für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), für Bildung und Forschung (BMBF) und für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) Fördermittel in der Höhe von insgesamt 500 Mio. Euro für Projekte in 15 Themengebieten ausgeschrieben. Im Fokus des Förderprogramms steht die Grundlagenforschung in den Bereichen Zell- und Batterieentwicklung sowie Komponentenentwicklung und deren Standardisierung für Elektrofahrzeuge. In weiteren Förderprogrammen stehen auch andere Technologiecluster wie Materialforschung im Vordergrund der Grundlagenentwicklung. Im Rahmen des Projekts „M-era.Net“ wird die transnationale Erforschung innovativer Werkstoffe und Materialien für Traktionsbatterien durch öffentliche und privatwirtschaftliche Institutionen gefördert (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2014a). Ein zusätzliches Risiko ergibt sich aus der Tat-

sache, dass im Bereich der Grundlagenforschung oftmals konkurrierende Technologiekonzepte parallel verfolgt werden, obwohl im weiteren Entwicklungspfad nur eines dieser Konzepte den Marktdurchbruch erreichen kann. Die Entscheidung über den Erfolg oder Misserfolg einer Technologie wird dabei oftmals nicht aufgrund technischer Vor- und Nachteile getroffen, sondern ergibt sich aus den komplexen wirtschaftlichen und unternehmenspolitischen Zusammenhängen in den späteren Phasen der Produktentwicklung. Viele der in der Elektromobilität zentralen Technologien haben den Prozess der Grundlagen- und Vorentwicklung bereits durchlaufen und einen hohen Reifegrad im Produktentwicklungsprozess erlangt. Aufgrund der noch geringen Stückzahlen von Elektrofahrzeugen und der nach wie vor voranschreitenden Grundlagenforschung ist jedoch bei keinem der zentralen Technologiecluster der Batterietechnik, der Antriebstechnologie und des Leichtbaus von einer vollständigen Marktreife auszugehen. Durch die Überschneidung verschiedener technologischer Konzepte kommt es in der Elektromobilität zu einer parallelen, technologiespezifischen Entwicklungstätigkeit in allen Phasen des Produktentwicklungsprozesses. Als Beispiel kann hier die Ladetechnik herangezogen werden, die für das Wiederaufladen der Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen verantwortlich ist. Während bereits erste Serien-Elektrofahrzeuge wie der BMW i3 am Markt erhältlich und mit

einem konkreten technischen System zur Batterieladung ausgestattet sind, befinden sich gleichzeitig zahlreiche alternative fahrzeuginterne und externe Ladekonzepte in der Grundlagen- und Vorentwicklung. Aufgrund der Anforderungsvielfalt, die sich aus möglichst geringen Ladezeiten und somit hohen Ladeströmen, Sicherheitsaspekten und infrastrukturellen Überlegungen wie der Zentralisierung der Ladetechnik in den Ladestationen oder der Dezentralisierung der Ladetechnik in den Fahrzeugen ergibt, kommt es zu einer simultanen Erst- und Weiterentwicklung verschiedener Technologiekonzepte und somit zu einer hohen Planungsunsicherheit für Fahrzeughersteller und Lieferanten im Rahmen des Produktentwicklungsprozesses. Es entsteht ein Interessenskonflikt zwischen Gesetzgeber und Automobilherstellern. Während die Europäische Union aus Sicht des Gesetzgebers die Entwicklung eines einheitlichen und herstellerübergreifend kompatiblen Ladesystems anstrebt, haben die Hersteller ein Interesse, das von ihnen entwickelte oder zugekaufte System weiter zu nutzen und zusätzlich die Option für ein mehrpreisfähiges Schnellladesystem offen zu halten (vgl. Pander/ Bruhn 2013). So existieren bis heute unterschiedliche Ladesteckertypen für Elektrofahrzeuge in Europa, die erst durch ein verbindliches Übereinkommen der Unterhändler des Europaparlaments, der EU-Kommission und der EU-Staaten im März 2014 auf den einheitlichen Stecker „Typ 2“ vereinheitlicht werden

konnten. Die risikobehafteten und volatilen Rahmenbedingungen der Grundlagenforschung begründen den noch sehr geringen Anwendungs- und Branchenbezug dieser Entwicklungsstufe. Aus diesem Grund lässt sich für den Prozess der Grundlagenforschung innerhalb des automobilbezogenen Produktentwicklungsprozesses nicht eine Vielzahl an Meilensteinen oder Stage-Gates beschreiben. Entscheidend ist lediglich der Meilenstein am Ende der Phase der Grundlagenforschung. Zu diesem Meilenstein liegt ein Bewertungskonzept vor, welches aufzeigt, ob die untersuchten Technologien prinzipiell interessant zu verfolgen sind und ein möglicher Bedarf im Markt existiert.

Vorentwicklung: In der Prozessphase Vorentwicklung wird die technologische Machbarkeit neuer Ideen aus der Grundlagenforschung untersucht. Diese weisen häufig noch keinen direkten Produktbezug auf. Typische Ergebnisse der Vorentwicklung können erste Produktkonzepte, aber auch Technologieprototypen sein (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Zu Beginn wird geprüft, welche neuen Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung für die Technologiestrategie des Unternehmens von Bedeutung sind. Die priorisierten Ideen und Technologien werden anschließend hinsichtlich konkreter Anwendungsfälle bewertet. Basis für die Bewertungen sind neben den Ideen die konkreten Anwendungsmöglichkeiten sowie zugehörige Fragestellungen und Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung. Wesentliche Aufgabe

der Vorentwicklung ist neben der Machbarkeitsprüfung insbesondere die weitest mögliche Verringerung von Risiken für die spätere Konzept- und Serienentwicklung. Außerdem sollten Varianten von Produktideen bereits frühzeitig in Baukasten- oder Plattformkonzepte überführt werden (vgl. Becker 2010). Finaler Meilenstein der Vorentwicklung ist es, eine Planbarkeit der Serienentwicklung zu gewährleisten. Dies bedeutet, dass auf Basis der entwickelten Funktionsmuster und Prototypen sichergestellt sein muss, dass die Serienentwicklung in einem definierten Zeitrahmen durchgeführt werden kann (vgl. Becker 2010). Dies bedeutet, dass die Technologie realisierbar und zugehörige Komponenten bei Lieferanten beschaffbar sind (Meilenstein Invention). Des Weiteren sind im Rahmen der Vorentwicklung relevante Zielgruppen abzugrenzen, unattraktive Ideen herauszufiltern und Lösungsansätze zur Überarbeitung von Schwachstellen zu erarbeiten. Die Arbeit in der Vorentwicklung der Automobilindustrie weist einen experimentellen und kreativen Charakter auf und lässt Freiräume für radikale Entdeckungen. Außerdem weist sie ein geringes Maß an Formalisierung von Prozessen und Abläufen bei einer gleichzeitig hohen Interdisziplinarität auf (vgl. Tatarczyk 2009). Die Vorteile des Einsatzes einer Vorentwicklung liegen in reduzierten Entwicklungszeiten und -aufwänden, ausgereifteren Produkten mit robusterer Qualität, Standardisierungs- und Modularisierungspotenzialen sowie in Möglichkeiten

der Einwerbung öffentlicher Fördergelder. Nachteilig sind mögliche Image- und Erlösnachteile durch die verringerte Produktvarianz, die Kosten der Vorentwicklung selbst und mögliche Probleme durch die organisatorische Einbindung (vgl. Voigt 2008). Qualitätssicherungsinstrumente nehmen auf dieser Stufe des Entwicklungsprozesses eine zunehmend bedeutende Rolle ein. Das wichtigste Instrument der Vorentwicklung sind Roadmaps. Sie ermöglichen eine nachhaltige Verknüpfung zwischen Grundlagenforschung, Vorentwicklung sowie Konzept- und Serienentwicklung. Zukunftsträchtige Technologien werden in Technologie-Roadmaps dargestellt, um Weiterentwicklungsmöglichkeiten bestehender Produktgenerationen zu ermitteln und neue Produktkonzepte auszuarbeiten. Durch die Darstellung der aus der Grundlagenforschung verfügbaren Technologien in Technologie-Roadmaps können entsprechende Roadmaps für Vorentwicklungsprojekte abgeleitet werden. Die Roadmaps erlauben außerdem die Zeithorizonte für mögliche Serienentwicklungen und Produktlebenszyklen zu veranschaulichen. Die Vorgehensweise der Verknüpfung der verschiedenen Roadmaps kann zeitlich sowohl vorwärts- als auch rückwärtsgerichtet durchgeführt werden (vgl. Becker 2010; Wildemann 2014m). Parallel erfolgen ein permanentes Technologie-Monitoring sowie ein Technologie-Benchmarking, in dem die Technologien im Vergleich zur Konkurrenz beleuchtet werden, um bessere

Methoden und Praktiken zu identifizieren und um zukunftsträchtige Technologien zu finden. Im Hinblick auf Entwicklungsnetzwerke tragen Qualitätssicherungsinstrumente auch dazu bei die Koordination der Netzwerkpartner zu unterstützen und somit die Ressourceneffizienz der Entwicklungsarbeit zu verbessern. Neuartige Technologien bergen stets die Gefahr, sich unerwartet schnell auszubreiten und andere Technologien völlig zu substituieren. Bei der Gestaltung von Prototypen und Mustern wird auf die Morphologie möglicher zukünftiger Produkte und Produktfamilien zurückgegriffen und diese mit bestehenden Produkten und Komponenten verglichen. Daraus ergeben sich ein Funktionsnachweis von Produktkonzepten und ein erster Prototyp. Die gewonnenen Erfahrungen aus dem Prototypen- und Musterbau dienen der Generierung von technologischem Fachwissen. Für manche Technologien, wie zum Beispiel für die Leichtbautechnologie, ist die spätere Prozessfähigkeit von hoher Bedeutung für den Erfolg. In diesen Fällen wird die Produktvorentwicklung um eine Prozessvorentwicklung ergänzt (vgl. Becker 2010). In der Prozessvorentwicklung und der Produktionsplanung nutzt man neben der Erfahrung aus dem Prototypen- und Musterbau das vorhandene technologische Fachwissen, um erste Grobkonzepte für die Produktions- und Prozessgestaltung zu entwickeln. Aufgrund der großen Ungewissheit über die Mobilität der Zukunft verfolgen OEMs derzeit parallel laufende

Vorentwicklungsprojekte, die auf unterschiedlichsten technologischen Wirkprinzipien basieren. Volkswagen bündelt daher seit 2010 seine weltweiten Aktivitäten bei Forschung und Vorentwicklung für Elektrofahrzeuge. Eine enge, weltweite Kooperation und Vernetzung der Expertengruppen steht dabei im Vordergrund. Der Aufbau von Prototypen und die Bewertung der Leistung und Spezifikation der Lösungen erfolgen gemeinsam und im direkten Vergleich mit den Partnern aus dem Verbund. Außerdem betreibt VW ein internationales Trend- und Technologie-Scouting mit eigenen Forschungssatelliten in den USA, China und Japan. Im weltweiten Forschungs- und Vorentwicklungsverbund analysiert Volkswagen insbesondere verschiedene Speicherkonzepte und die Anforderungen an Lebenszeit, Kosten, Zuverlässigkeit, Reichweite und Sicherheit (vgl. Volkswagen 2014).

Konzeptentwicklung: Die in der Vorentwicklung validierten Technologien sind zunächst in Bauteile und Module technisch umzusetzen und anschließend in Prototypen und Konzeptfahrzeugen zu integrieren und zu testen. Grundsätzlich geht die Entwicklungsarbeit graduell in die hochstandardisierten Produktentwicklungsprozesse der Automobilindustrie über. Die Konzeptentwicklung setzt bei in der Grundlagenforschung und Vorentwicklung identifizierten Problemstellungen und generiertem Know-how über verfügbare Technologien und den damit

verbundenen Herausforderungen an und markiert damit den Startpunkt des klassischen Produktentstehungsprozesses. Durch den hohen Innovationsgrad elektromobiler Entwicklungen und der großen konzeptionellen Veränderungen auf Gesamtfahrzeugebene aufgrund neuer, wegfallender und stark angepasster Bauteile und Module ist die Sicherstellung ihrer Kompatibilität und die Möglichkeit der Integration die zentrale Herausforderung in dieser Phase des Produktentstehungsprozesses. Aufgrund fehlender elektromobilspezifischer Erfahrungswerte in Entwicklung, Fahrzeugintegration, Produktion und Montage sowie Versuchs- und Serviceanforderungen sind Planung und Timing komplex und bedürfen höherer Freiheitsgrade als der Konzeptentwicklungsprozess konventioneller Fahrzeuge (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Zusätzlich steigt die Prozesskomplexität durch benötigtes interdisziplinäres Systemwissen und komponentenspezifischem Know-how sowie der Notwendigkeit der Zusammenarbeit mit einer steigenden Zahl an Entwicklungspartnern außerhalb des eigenen Kompetenzspektrums. Die Qualitätsanforderungen der Automobilhersteller im Entwicklungsprozess stellen für viele vormals branchenfremde Unternehmen eine große Herausforderung dar. Kern der Konzeptentwicklungsphase ist die detaillierte Definition der Anforderungen an das Gesamtfahrzeug, die Spezifikation von Funktionslisten und -architektur, die Anforderungsdefinition an die geometrische Ar-

chitektur und Design des Fahrzeugs, die Software-Funktionsarchitektur, sowie die Erstellung von System-, Komponenten-Lastenheften und deren Implementierungsplanung. Zentraler Bestandteil ist folglich auch die Harmonisierung der Anforderungen an Bauräume, Gesamteigenschaften und Ergonomie durch rechnerunterstütztes Konstruieren. Die initialen CAD-Entwürfe sind primär durch die definierten Fahrzeugabmessungen, Fahrerkabinenanforderungen, dem Strukturentwurf und maßgeblich von Anordnungen des Antriebsstrangs und des Fahrwerks geprägt. So entstehen im Bereich des Antriebsstrangs durch die Herausforderung der sicheren Integration von Motor, Umrichter, Ladeinfrastruktur, Hoch-Volt-Bordnetz und dem Thermomanagement erhebliche Änderungen im Vergleich zu konventionellen Systemen. Das Batteriesystem wird aufgrund von Gewicht, Größe und insbesondere sicherheitsrelevanter Überlegungen zur bestimmenden Komponente für die Auslegung der Integrationsstrategie (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). Um die Innovationszyklen zu verkürzen aber auch um die Entwicklungsaufgaben trotz steigender Komplexität effektiv und effizient auszugestalten, setzt die Automobilbranche seit vielen Produktgenerationen auf Modularisierung. Auch die durch das Batteriesystem entstehenden, hohen Kosten können so durch Skaleneffekte und durch modulare Einsparpotenziale adressiert werden. Hierzu leisten Standardisierung und Modularisierung

einen zentralen Beitrag. Da Module in sich abgeschlossene Systeme bilden, kann ihre Funktionalität unabhängig von anderen Komponenten im Fahrzeug sichergestellt werden. Auf diese Weise unterstützt eine modulare Produktarchitektur die Simplifizierung der Identifikation und Beherrschung technischer Unsicherheiten. Neben den produktbezogenen Aktivitäten werden in der Konzeptentwicklung Geschäftsmodelle, Realisierungsfahrpläne, Chancen und Risiken sowie Business-Case-Analysen konkreter Produktkonzepte erstellt. Bei herkömmlichen Fahrzeugen kann hierbei auf historische Zahlen und Fakten zurückgegriffen werden. In Bezug auf die Elektromobilität hingegen bestehen hinsichtlich der Kunden- und Marktanforderungen noch hohe Unsicherheitsfaktoren, welche sich zwangsläufig in der Planungssicherheit und der Qualität der Business-Case-Analysen niederschlagen. Das Kernproblem besteht nicht zwingend aus dem Mangel an Werkzeugen und Methoden zur Identifikation von Kundenbedürfnissen, sondern vielmehr aus der Unkenntnis des Kunden über die eigenen Präferenzen. Aus Gewohnheit tendieren viele Fahrzeughalter dazu, die Vorzüge eines kraftstoffbetriebenen Fahrzeugs zu fordern ohne dabei mögliche Nutzungsszenarien zu berücksichtigen. Viele PKW-Nutzer nutzen, vor allem in alltäglichen Situationen wie Stadtfahren oder das Pendeln zwischen Wohn- und Arbeitsstätte, die Reichweite eines Verbrennungsmotors zu keinem Zeitpunkt voll aus.

Dennoch wird die geringe Reichweite oftmals als größtes Hindernis der Elektromobilität proklamiert. Diese Situation beschreibt ein charakteristisches Dilemma disruptiver Technologieinnovationen. Wird das Produkt am Ende der Konzeptentwicklung für konzepttauglich befunden, startet die Serienentwicklung. Im Rahmen der Konzepttauglichkeit wird unter anderem festgestellt, ob alle relevanten Komponenten und Bauteile nicht nur zu Beginn eines Autolebens, sondern auch noch einige Jahre später verfügbar sind und funktionieren.

Serienentwicklung: Nach Freigabe der Konzepttauglichkeit geht die Entwicklungsarbeit zunehmend in die standardisierten Prozesse der Automobilindustrie über. Vor dem Hintergrund der Leitlinie der „Time to Market“ werden Meilensteine und Zeitrahmen, auch bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen, enger und weniger flexibel gesetzt. Die tatsächliche Konstruktionsarbeit beginnt zunächst mit dem Testen von Baugruppen und Modulen und deren Integration mit dem Ziel der Konstruktion erster fertigungsreifer Prototypen. Durch Fahrzeugtests werden Mängel identifiziert und Abwandlungsmöglichkeiten geprüft, gegebenenfalls werden alternative Produktarchitekturen und Schnittstellen erarbeitet. Eine große Herausforderung beim Elektrofahrzeug ist hier die Koordination der oftmals branchendifferenzierten und automobilunerfahrenen Entwicklungspartner wie etwa aus den Bereichen des Leichtbaus. Im Vergleich zur

evolutionären Entwicklungsarbeit ist die Integration disruptiver Technologien und grundlegend veränderter Bauteile mit einem erheblich erhöhten Testaufwand verbunden. Gleichzeitig läuft die Produktionsplanung an. Montagepläne und -schemata werden erstellt, Bedarfsmengen bestimmt und Lieferanten ausgewählt. Am Ende der Phase der Serienentwicklung steht der Meilenstein „Beauftragbar“. Dies bedeutet, sämtliche Teile sind im Markt verfügbar und können von einer Auswahl an Lieferanten beschafft werden. Der Beschaffungsprozess wird in Gang gesetzt.

Serienvorbereitung: Im Rahmen der Prozessphase Serienvorbereitung werden die Produktkonzepte nun weiter konkretisiert. Die Vorgehensweise ist zu diesem Zeitpunkt vollständig durch streng einzuhaltende Meilensteine definiert und dem Entstehungsprozess konventioneller Fahrzeuge nahezu vollständig angeglichen. Die nachfolgenden Entwicklungsaufgaben befinden sich grundsätzlich im Kernkompetenzbereich traditioneller OEMs. Dennoch gilt es weiterhin, in der Entwicklung disruptiver Technologien, und daraus hervorgehenden komplexen, innovativen Baugruppen in der Elektromobilität, Lieferanten kooperativ einzubinden. Im zentralen Blickfeld liegt deren Potenzial benötigte Stückzahlen in der erforderlichen Qualität, Menge und Zeit bei größtmöglicher Flexibilität zur Verfügung zu stellen. Hierzu gilt es, die Lieferantenprozesse entlang der Wert-

schöpfungskette zu synchronisieren. In der Vorserie werden nun unter möglichst seriennahen Bedingungen Prototypen erstellt, um zum einen Mitarbeiter zu qualifizieren, Prozesse zu verbessern sowie Probleme frühzeitig zu erkennen und zu beheben. Parallel müssen der Entwicklungs- beziehungsweise Akquisitionsprozess der Serienwerkzeuge abgeschlossen werden. Auch hier ist gerade im elektromobilen Produktentstehungsprozess die Einbindung und Koordination von und zwischen Zulieferern wichtig, da diese bereits im nächsten Schritt, der Nullserie unter Serienbedingungen fertigen. Zu Beginn der Nullserie, entsprechen alle Komponenten sowie das Gesamtfahrzeug den relevanten Qualitäts- und Sicherheitsstandards, gesetzlichen Rahmenbedingungen und haben sämtliche bürokratischen Hürden überwunden. Alle Komponenten und Baugruppen sind zu diesem Zeitpunkt vollständig definiert und entstammen bereits den später verwendeten Serienwerkzeugen. Am Ende der Serienvorbereitung steht der Meilenstein „Start of Production“ und der Produktionshochlauf wird initiiert (vgl. Vallée/ Schnettler 2013).

3.2 Leitlinien zur Produktentwicklung

Bei der Überwindung von Technologiesprüngen ist der zeitliche Aspekt der Produktentwicklung oftmals entscheidend. First und Early Mover profitieren von einer Abschöpfungs-Preisstrategie und können zudem noch die prestigeträchtige Technologieführ-

rerschaft ihr eigen nennen. Geschwindigkeit ist jedoch für den nachhaltigen Erfolg im Markt nicht allein ausschlaggebend. Vielmehr erfordert die Verbindung aus gehobenen Qualitätsansprüchen der Konsumenten und wachsendem Preisdruck auch in den oberen Preissegmenten höhere Entwicklungsleistungen. Bestehende Strukturen können diese Komplexität in der Produktentwicklung nicht in vollem Umfang auffangen (vgl. Wildemann 2014d). Dem Technologiesprung zur Elektromobilität ist es demnach auch geschuldet, dass Erzeugnisse entstehen, die einen hohen Integrationsgrad unterschiedlicher Technologien aufweisen. Komplettmodule illustrieren eine Möglichkeit, den Anforderungen an die Fähigkeit zur Integration der Module gerecht zu werden, was die systematisch steigende Nachfrage erklärt. Eine Weiterführung des Modularisierungskonzeptes führt zu innovativen Systemen, die eine höhere Komplexität aufweisen und abnehmerspezifischer sind. Der Wandel von Modulen zu Systemen macht daher eine intensive Kooperation zwischen Abnehmer und Lieferant unerlässlich. Zur Überwindung dieser Herausforderungen setzt sich ein idealtypischer Entwicklungsprozess nach mehreren Bausteinen zusammen (vgl. Wildemann 2014d).

Kunden- und Marktorientierung: Ein erfolgreiches Produktkonzept definiert sich durch den Grad an erreichter Kundenbindung und Kundenzufriedenheit. Dieser Leitsatz gewinnt gerade im

Hinblick auf unklare Kunden- und Marktanforderungen der Elektromobilität zunehmend an Bedeutung. Im Rahmen der Produktentwicklung gilt es daher, den Unsicherheitsfaktor Kunde noch intensiver zu analysieren als bei konventionellen Fahrzeugen, die bereits eine Historie besitzen. Die getroffenen Annahmen und Zielvorgaben können sich jedoch volatil entwickeln und sollten daher zu bestimmten Zeitpunkten im Entwicklungsprozess kontrolliert werden. Daneben steht die Marktorientierung für eine Fixierung auf einen optimalen Markteintrittszeitpunkt. Durch eine Konzentration auf Qualität und Funktionalität in Verbindung mit den tatsächlichen Kundenbedürfnissen wird eine Über- und Unterdimensionierung vermieden (vgl. Wildemann 2014d). Für das letztendliche Produkt werden damit die Erfolgschancen im Markt erhöht. Das etablierte methodische Vorgehen zur Ermittlung von Kundenanforderungen und Rahmenbedingungen der bedienten Märkte ist dabei an die Rahmenbedingungen und Anforderungen der Elektromobilität anzupassen. Die Konzeptionierung und Nutzung alternativer Konzepte wie beispielsweise die frühe Integration von Lead Usern ist daher unerlässlich.

Standardisierung: Ein Technologiesprung kann den Anwendungsfall oder die Funktionalität eines Produktes grundlegend verändern. Im Falle der Elektromobilität sind zudem die Rahmenbedingungen des Produkteinsatzes anzupassen. Hierzu ge-

hört insbesondere die Schaffung einer adäquaten Infrastruktur, an welcher aktuell sowohl Staat, als auch Energieversorger und Automobilhersteller arbeiten. Dieser maßgebliche Wandel kann nur vollzogen werden, wenn ein hohes, branchenweites Maß an Standardisierung umgesetzt werden kann. Derzeit verwenden die deutschen OEMs unterschiedliche Ladestecker, was die Schaffung eines einheitlichen Ladenetzwerkes unmöglich macht. Der branchenweite Bedarf zur Standardisierung gewisser Komponenten steht teilweise im Konflikt mit der unternehmerischen Freiheit der beteiligten Unternehmen. Gerade im Hinblick auf die unternehmensindividuelle Gestaltung von Produkten stellt die Standardisierung einen wesentlichen Stellhebel dar. Da Technologien in ihrer Entstehungsphase und in der Markteintrittsphase tendenziell kostenintensive Lösungen erfordern, ermöglicht die gezielte Standardisierung die Realisierung von erheblichen Kosteneinsparpotenzialen und ebnet gleichzeitig den Weg für zukünftige Produktgenerationen. Ergebnisse der Standardisierung sind die Prinzipien der Erfahrungskurve und der „Economies of Scale“ (vgl. Wildemann 2014d).

Prozessintegration: Ein Charakteristikum der Elektromobilität ist die branchenübergreifende Kooperation von Unternehmen unterschiedlichster Art und Herkunft. Da die Zulieferer und Kooperationspartner einen wesentlichen Teil der innovativen Komponenten und Baugruppen eines Fahrzeugs zur Verfügung

stellen, kann eine ganzheitliche Anpassung des Produktentstehungsprozesses nur durch eine frühzeitige und vollständige Integration des Beschaffungsmarktes ermöglicht werden. Mit diesem Ansatz lässt sich das Target Costing effizienter einsetzen, Produktkosten lassen sich bereits im Entwicklungsprozess senken und durch die frühe Einbindung von Beschaffungsteilen reduzieren sich Änderungs- und Anpassungsaufwand (vgl. Wildemann 2014d).

Ressourcenbündelung: Die Ressourcenbündelung ist eine Konzentration von vorhandenen Kapazitäten durch eine Reduzierung der Gesamtanzahl an Projekten der Grundlagen- und Vorentwicklung in Verbindung mit einer Erhöhung der Intensität. Somit reduzieren sich sowohl die Entwicklungszeit als auch die Unsicherheitsfaktoren in der Produktentwicklung. Letztere werden durch frühzeitige Integration der F&E-Kapazitäten der Zulieferer und die damit einhergehende Risikoteilung zusätzlich reduziert. Zur Leitlinie Ressourcenbündelung gehört ebenfalls ein strukturiertes Vorgehen zur Planung des Ressourceneinsatzes. Beispielsweise ist es sinnvoll, das Projektteam aus unterschiedlichen Know-how Trägern zu besetzen: Ein Lead Engineer aus der Grundlagen- und Vorentwicklung kann auch in der Serienentwicklung wichtige Informationen und Erkenntnisse beitragen. In manchen Situationen können auch fachfremde Ingenieure, ohne Kenntnis über die automobile Produktentwick-

lung, entscheidende Hinweise zur Lösung von Problemen liefern.

Simultaneous Engineering: Die auch in der Produktentwicklung anderer Branchen und Produkte verbreitete Methode des Simultaneous Engineerings bietet im Hinblick auf die Elektromobilität nicht nur die allgemein bekannten Vorteile einer Verkürzung der Entwicklungszeit, einer Steigerung der Qualität und einer Senkung der Produktlebenszykluskosten. Vielmehr ermöglicht die örtliche, zeitliche und prozessuale Teilung von Ingenieurteams die unabhängige Entwicklung neuer innovativer Komponenten und Module. Die Funktionalität und die Qualität der Entwicklungsgegenstände kann einzeln verifiziert werden.

4 Reifegradorientiertes Messkonzept zur Qualitätssicherung

Trotz der hohen Reife von Qualitätsmanagementsystemen in der Automobilindustrie kommt es bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen nach wie vor zu Fehlentwicklungen, die auf Qualitätsprobleme zurückzuführen sind. Um die technologischen Herausforderungen, die mit der Entwicklung in der Elektromobilität verbunden sind, bewältigen zu können, müssen eine steigende Zahl an Netzwerkpartnern und Zulieferern und deren Entwicklungsaktivitäten in interdependenten Fachbereichen koordiniert werden. Die Herausforderung, sichere Fahrzeuge höchster Qualität, unter dem in der Automobilindustrie herrschenden Zeit- und Kostendruck, zu entwickeln, stellt erhöhte Anforderungen an das Qualitätsmanagement der Entwicklungsprozesse. Um einen effektiven und effizienten Gesamtansatz zu gewährleisten, gilt es Teilaufgaben intelligent zu definieren, zu strukturieren und zu spezifizieren. Um die Zunahme an Komplexität beherrschbar zu machen, gilt es Prozesse durchführbar, überschaubar und bewertbar zu gestalten, um sie kontinuierlich verbessern zu können (vgl. ATZelektronik 2007). Reifegradmodelle tragen zur Qualitätssicherung komplexer Prozesse bei und weisen ein erhebliches Potenzial für Entwicklungsprozesse in der Elektromobilität auf. Hierzu wird eine Methodik entwickelt, welche die unterschiedlichen Produkt- und Prozessreife-

grade der Produktentstehung berücksichtigt. Davon ausgehend sind angepasste, typspezifische Methoden und Problemlösungsvorschläge zu analysieren. Diese fußen auf einer Detaillierung der Problemstellungen und Herausforderungen der einzelnen Reifegradstufen. Das angestrebte Qualitätsmanagementkonzept soll es Unternehmen ermöglichen, den Entwicklungsprozess von disruptiven Technologien wie Elektrofahrzeugen sicherzustellen, um einen Innovations- und Markterfolg zu erzielen und entstehende Abweichungskosten zu reduzieren. Das im Rahmen dieses Forschungsprojekts entwickelte Reifegradmodell ist in Abbildung 4-1 dargestellt.

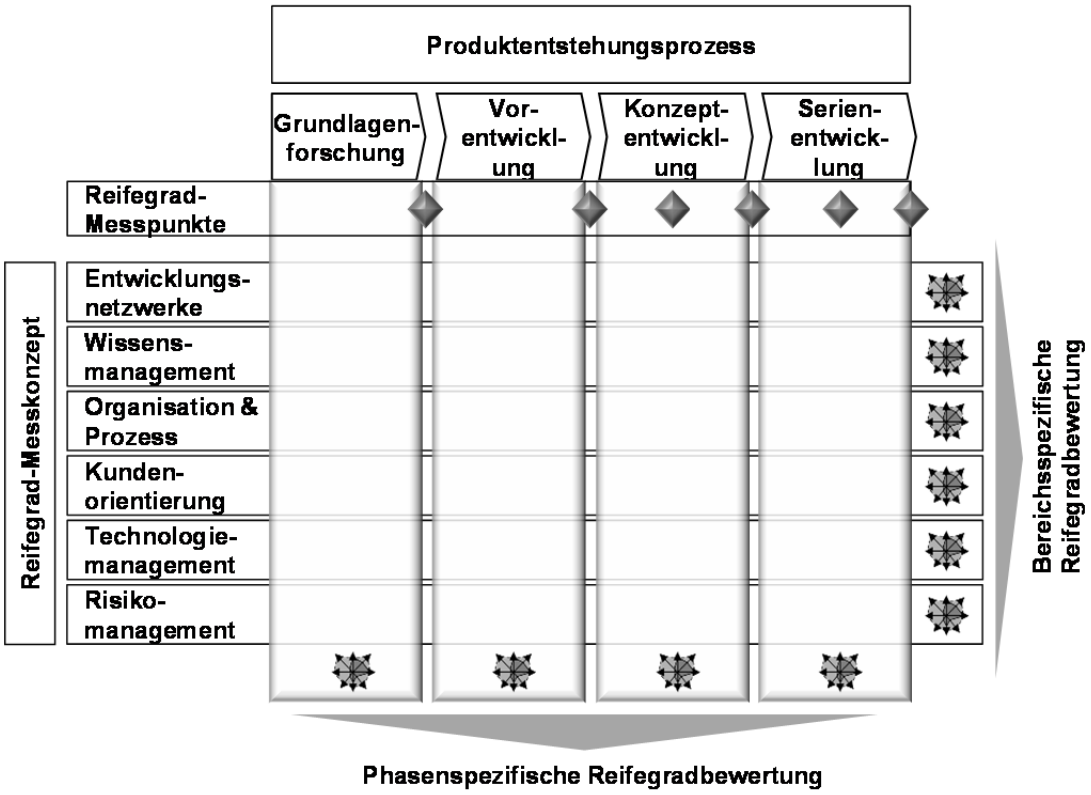


Abbildung 4-1: Reifegradmesskonzept für F&E-Netzwerke am Beispiel E-Mobility

4.1 Reifegradorientierung in der Systemgestaltung

Um den Reifegradbegriff zu konkretisieren sind zunächst die wichtigsten Ausprägungsformen von Reifegradmodellen zu diskutieren.

Reifegradmodelle für Prozesse und Organisationen: Die ersten Reifegradmodelle entstanden in den 80er Jahren in der Softwareentwicklung. Nach wiederholt auftretenden, von Zulieferern verursachten Softwarequalitätsproblemen beauftragte 1986 das amerikanische Verteidigungsministerium die Carnegie-Mellon Universität mit der Entwicklung eines Modells zur Bewertung der Reife von Softwareprozessen. In der Folge entstanden mehrere Capability Maturity Models (CMM), unter anderem zur Bewertung der Qualität der Prozesse in Softwareentwicklung, Systementwicklung und zur Mitarbeiterentwicklung. Nach wie vor unter der Leitung der Carnegie-Mellon Universität ist inzwischen Version 1.3 des Nachfolgermodells, dem Capability Maturity Model Integration (CMMI) entstanden, das die entstandenen Modelle integriert und weiterentwickelt hat. Das CMMI ist ein Modell zur Prozessverbesserung und gibt basierend auf Best-Practice-Erfahrungen, standardisierte Methoden zur Gestaltung, Definition, Bewertung und Verbesserung von Prozessen vor. Dabei stellt das CMMI weniger ein konkretes Vorgehensmodell, als ein universell anwendbares Regel- und Normenset zur Etablierung organisationsspezifischer Prozess-

verbesserungen dar. Somit ist es auf sehr verschiedene Industriezweige, Organisationsformen und Organisationsgrößen anwendbar. Die konkrete Ausgestaltung der Anforderungen an die Prozesse, wie beispielsweise Definition der Messwerte und Zielgrößen, oder Art und Zeitpunkt der Dokumentation, ist von jeder Organisation individuell durchzuführen und elementarer Teil der eigentlichen Prozessverbesserung. CMMI definiert hierfür 3 Fähigkeitsgrade im Sinne eines Reifegradmodells für Prozesse, die die Reife einzelner Prozesse einer Organisation evaluiert. Fähigkeitsgrad 1 ist beschrieben als ein durchgeführter Prozess, also ein Arbeitsablauf, der dafür sorgt, dass die zur spezifischen Zielerreichung eines Prozessgebiets erforderliche Arbeit verrichtet wird. Fähigkeitsgrad 2 wird als geführter Prozess definiert, der in Einklang mit den Leitlinien geplant und durchgeführt sowie von Fachleuten mit adäquaten Ressourcen ausgeführt wird. Der Prozess wird unter Beteiligung relevanter Stakeholder gesteuert und überprüft und anhand der Prozessbeschreibung gemessen. Ein Prozess auf der Fähigkeitsstufe 3 wird als definiert bezeichnet und ist gemäß dem organisationsspezifischen Satz an Standardprozessen erstellt. Durch eine sich fortwährende Weiterentwicklung der Prozessbeschreibung tragen definierte Prozesse zur Erfahrungsgenerierung und zur Erweiterung des Prozess-Know-hows und folglich zur Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens bei. Gleichzeitig definiert CMMI, 5

Reifegrade einer Organisation über mehrere Prozessgebiete hinweg. Zur Erreichung einer höheren Reifegradstufe der Gesamtorganisation gilt es in allen Prozessgebieten der Reifegradstufe einen höheren Fähigkeitsgrad zu erlangen. So muss für den Reifegrad 2 auf allen Prozessgebieten des Reifegrades 2 der Fähigkeitsgrad 2 erreicht werden. Für den Reifegrad 3 muss in den Prozessgebieten des Reifegrads 2 und 3 der Fähigkeitsgrad 3 erlangt werden. Für Reifegrad 4 muss der Fähigkeitsgrad 3 in den Prozessgebieten 2, 3 und 4 erlangt werden.

Reifegrad	Prozess-management	Projekt-management	Entwick-lung	Unterstützung
1. Initial				
2. Gemanagt		• Projektplanung • Projektverfolgung, -steuerung • Management von Lieferantenvereinba-rungen	• Anforde-rungsma-nagement	• Konfigurations-management • Qualitätssiche-rung von Prozessen und Produkten • Messung und Analyse
3. Definiert	• Organisationsweiter Prozessfokus • Organisationsweite Prozessdefinition • Organisationsweites Training	• Integriertes Projektmanage-ment • Risikomanage-ment	• Anforde-rungsent-wicklung • Tech-nische Umsetz-ung • Produktint e-gration • Verifikation • Validation	• Entscheidungs-analyse, -findung
4. Quantitativ gemanagt	• Performance Messung der organisationsweiten Prozesse	• Quantitatives Projektmanageme nt		
5. Optimierung	• Organisationsweite Innovation und Verbreitung	• Quantitatives Projektmanage-ment		• Ursachen-analyse und Problemlösung

Abbildung 4-2: Prozessgebiete in den einzelnen Reifegradstufen des CMMI-Dev

Für Reifegrad 5 ist der Reifegrad in allen Prozessgebieten zu erreichen. Neben CMMI findet auch das Modell zur Bewertung und Verbesserung von Prozessen der Norm ISO 15504 verbreitet Anwendung. Die Norm, auch bekannt unter dem Namen Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE), wurde ebenfalls für die Softwareindustrie konzipiert und ist ein internationaler Standard für die Bewertung von Unternehmensprozessen in der Softwareentwicklung. Wie das CMMI formuliert SPICE lediglich Anforderungen für Prozessreferenz- und Prozessbewertungsmodelle. Konkrete Anweisungen, wie Prozesse und Bewertungskriterien auszugestalten sind, erfolgen nicht. Basierend auf den in ISO 12207 festgelegten Prozessstrukturen werden ähnlich wie beim CMMI Reifegradstufen definiert. Im Unterschied zum CMMI wird bei SPICE nicht der Reifegrad der ganzen Organisation, sondern nur einzelner Prozesse bewertet. Bewertungsergebnis ist ein Stärken- und Schwächen-Profil der einzelnen Prozesse anhand von organisationsspezifisch bestimmten Indikatoren. Indikatoren für die Prozessdurchführung sind die nachweisliche Durchführung von Base Practices und das Vorhandensein von Arbeitsprodukten. Base Practices sind Aktivitäten, die auf einer abstrakten Ebene bestimmen was zu tun ist um die Prozessdimensionen dem Prozesszweck entsprechend durchzuführen, ohne dabei festzulegen, wie dies geschehen soll. Für die Prozessdimension „Systemin-

tegrationstest“ sind die Base Practices beispielsweise: Entwicklung der Systemintegrationsstrategie, Entwicklung der Systemintegrationsteststrategie, Ermittlung einer Testspezifikation für die Systemintegration, Integration der Systemelemente, Verifikation des integrierten Systems, Protokollieren und Ablegen der Ergebnisse des Systemintegrationstests, Sicherstellen von Konsistenz und Traceability in beide Richtungen zwischen der Systemarchitektur und der Testspezifikation für den Systemintegrationstest, Entwicklung der Regressionsteststrategie und Durchführung von Regressionstests. Es wird zwischen 6 Reifegradstufen unterschieden, beginnend mit Stufe 0: unvollständiger Prozess, in der der Prozess nicht durchgeführt wird oder seinen Prozesszweck nicht erfüllt. Nicht alle Arbeitsprodukte wie beispielsweise Pläne, Testbeschreibungen, oder Dokumentationen sind vorhanden, es gibt somit wenige Nachweise, dass der Prozesszweck systematisch verfolgt wird. Auf Stufe 1: Durchgeführter Prozess, erfüllt der umgesetzte Prozess zumindest den Prozesszweck. Auf Stufe 2: Gesteuerter Prozess, wird der Prozess gesteuert, ausgeführt, geplant und angepasst. Angemessene Arbeitsprodukte sind vorhanden. Auf Stufe 3, einem etablierten Prozess, wird schließlich ein Prozess unter Einsatz eines Vordefinierten Vorgehens umgesetzt und erreicht die vorgegebenen Prozessergebnisse. Die Vorgehensweise ist standardisiert und die Organisation verfügt über einen einheitlichen Entwicklungs-

prozess. Ein Prozess auf Stufe 4: Vorhersagbarer Prozess, läuft innerhalb klar abgesteckter Grenzen ab um Prozessergebnisse zu erreichen. Der Prozess ist quantitativ definiert und kontrolliert. Auf Stufe 5: Optimierender Prozess, wird der beschriebene Prozess kontinuierlich verbessert um gegenwärtige wie zukünftige Unternehmensziele zu erreichen. Auf Änderungsbedarfe kann präventiv reagiert werden (vgl. Automotive SIG 2007, 2010). Um den steigenden Anforderungen des Qualitätsmanagements in der Softwareentwicklung in der Automobilindustrie gerecht zu werden, wurde im Zusammenschluss Automotive SIG (Special Interest Group, dem unter anderen Audi, BMW, Daimler Chrysler, Fiat, Ford, Jaguar/Land Rover, Porsche, Volkswagen und Volvo angehöhren) basierend auf der ISO 15504 (SPICE) der branchenspezifische Standard Automotive SPICE entwickelt und veröffentlicht. Die Reifegradstufen unterscheiden sich nicht vom Standardmodell. Auch die Prozesse basieren wie im Standardmodell auf der ISO 12207, sind aber um automobilspezifische Dimensionen erweitert und industriespezifisch angepasst worden. Abbildung 4-3 gibt eine Übersicht über die Prozessdimensionen von Automotive SPICE (vgl. Verband der Automobilindustrie 2014). Neben dem Verbesserungspotenzial eigener Entwicklungsprozesse werden Reifegradmodelle zur strukturierten Selektion, Einschätzung, Koordination und Integration von Kooperationspartnern eingesetzt (vgl. ATZelektronik 2007).

Management Process Group
Organisational alignment
Organization management
Project management*
Quality management
Risk management*
Measurement*

Acquisition Process Group
Acquisition preperation
Supplier selection
Contract agreement*
Supplier monitoring*
Customer acceptance
Technical requirements**
Legal and administrative requirements**
Project requirements**
Request for proposals**
Supplier qualification**

Supply Process Group
Supplier tendering*
Product release*
Product acceptance support

Engineering Process Group
Requirements elicitation*
System requirements analysis*
System architectural design*
Software requirements analysis*
Software design*
Software construction*
Software integration*
Software testing*
System integration*
System testing*
Software instalation*
Software and system maintenance

Resource & Infrastructure Process Group
Human resource management
Training
Knowledge management
Infrastructure

Process improvement Process Group
Process establishment
Process assessment
Process improvement*

Supporting Process Group
Quality assurance*
Verification*
Validation*
Joint Review*
Audit
Product evaluation
Documentation*
Configuration management*
Problem resolution management*
Change request management*

Operation Process Group
Operational use
Customer support

Reuse Process Group
Asset management
Reuse program management
Domain engineering

* In Automotive Spice angepasst
** Neu hinzugekommen in Automotive Spice

Abbildung 4-3: Prozessdimensionen von Automotive SPICE

Expertengespräche ergaben, dass OEMs insbesondere bei der Auslagerung von Entwicklungsaufgaben mit Softwarekomponenten von Zulieferern in der Regel Level 3, welches sich auf Projektebene definiert, im Prozessreifegradmodell erwarten. Das heißt Zulieferer verfügen über einen einheitlichen Entwicklungsprozess und eine einheitliche Dokumentation. Anforderungen werden standardisiert abgefragt. OEMs können aufgrund des Reifegrades Erfahrung in der Entwicklungsarbeit und -kooperation voraussetzen. Anlaufzeiten von Projekten werden durch eine vordefinierte Vorgehensweise und gemeinsame Sprache deutlich verkürzt. Vertreter von Zulieferern konnten bestätigen, dass sich die Bedeutung von Automotive SPICE zunehmend auch auf die Entwicklungsprozesse nicht immanent Software-verbundener Prozesse ausweitet. Andere konkrete Reifegradmodelle werden zumindest nicht industrieweit eingesetzt.

Reifegrad von Produkten: Bei Produkten wird im Kontext des Produktentstehungsprozesses vom „Produktreifegrad“ oder vielfach auch von der „Serienreife“ gesprochen (vgl. Huy 1993). Der Produktreifegrad gilt dabei als Maß für den Fortschritt der Produkt- und Prozessentwicklung unter dem Gesichtspunkt, wie gut ein Produkt bereits den Kundenanforderungen gerecht wird und wie weit die Herstellung der vom Markt geforderten Stückzahlen bereits realisiert ist (vgl. Baumgärtner 2006; Wangenheim 1993). Als „Serienreife“ wird der Zeitpunkt im Pro-

duktentstehungsprozess bezeichnet, an dem sämtliche Anforderungen an das Produkt und die Prozesse vollumfänglich erfüllt sind. Aus produktlebenszyklusorientierter Sicht repräsentiert dieser Meilenstein also den Übergang von der Entwicklung und des Produktionsanlaufs in die Serienproduktion (vgl. Baumgärtner 2006). Die Bewertung des Produktreifegrads basiert auf dem Produktstrukturplan als Strukturierungsgrundlage sowie auf den zur Herstellung der Produkte und Bauteile benötigten Prozessen (vgl. Baumgärtner 2006; Burghardt 2012). Die Reifegradmessung erfolgt ergebnisorientiert und verknüpft die Aspekte Time-to-Market, Qualität und Produktkosten. Die bauteilspezifische Fortschrittskontrolle hinsichtlich der Zieldimensionen Produkt, Prozess und Kapazität stellt die einfachste Art der Produktreifegradmessung dar. Komplexere, mehrdimensionale Reifegradbeurteilungen werden mit Hilfe von Indikatorenmodellen realisiert. Um eine konsolidierte Gesamtbeurteilung des Produktreifegrads zu erhalten, werden die Einzelindikatoren zu monetären oder dimensionslosen Größen verknüpft (vgl. Baumgärtner 2006). Die Produktreife im Produktentstehungsprozess wird in der Automobilindustrie zumeist mit Hilfe von Quality Gates gemessen und gesteuert (vgl. Prefi 2014). Quality Gates sind dabei als Weiterentwicklung der von Cooper entwickelten Stage-Gates zu verstehen (vgl. Cooper 2002). Sie bilden die Endpunkte der einzelnen Phasen im Referenzmodell des Produktentstehungspro-

zesses. Quality Gates beschreiben Messpunkte, an denen zuvor vereinbarte Entwicklungsergebnisse bezüglich der Erfüllung der Forderungen interner und externer Kunden beurteilt werden. Sie beinhalten sowohl Reviews als auch eine Vorausschau und können erst passiert werden, wenn die Ergebnisse und die weitere Vorgehensweise abgestimmt und freigegeben sind (vgl. Wildemann 2003a). In der Unternehmenspraxis sind unterschiedlichste Bezeichnungen für Quality Gates vorzufinden. Bei der BMW AG finden „Gateways“ und „Synchropunkte“ Anwendung. Dies soll den Aspekt der Synchronisation der Anspruchsgruppen hervorheben. Die Audi AG verwendet den Begriff der „Q-Checks“, da hier der Schwerpunkt auf die Messung gelegt wird. DaimlerChrysler definiert „Quality Gates“ als Fixpunkte im Produktentstehungsprozess. Mit „Readiness Reviews“ sowie „Moments of Truths“ findet man bei General Motors abweichende Bezeichnungen, die Inhalte sind jedoch weitgehend übereinstimmend (vgl. Prefi 2014).

Reifegradmodelle von Technologien: Der Schwerpunkt der beschriebenen Reifegradmodelle liegt in der Bewertung der Leistungsfähigkeit komplexer Entwicklungsprozesse und Produkte. Dementsprechend stehen in den Modellen die informatorischen Abläufe im Entwicklungsprozess im Vordergrund der Betrachtung. Technologiebezogene Aspekte werden dabei nur indirekt beleuchtet. Ein Reifegradmodell, das spezifisch auf die Bewer-

tung des Reifegrads von Technologien ausgerichtet ist, ist das Technology Readiness Level (TRL). Das Technology Readiness Level findet seinen Ursprung in der Raumfahrt, wo es von der National Aeronautics and Space Administration (NASA) der Vereinigten Staaten von Amerika für die Bewertung des Reifegrads innovativer Luft- und Raumfahrttechnologien genutzt wird. Heute findet das TRL auch in der europäischen Raumfahrtbehörde European Space Administration (ESA) Anwendung. Das TRL bildet den Reifegrad neuer Technologien in 9 Stufen von der Grobbeschreibung der Funktionsweise bis zum erfolgreichen Einsatz eines auf der neuen Technologie basierten Produktes in einer Mission ab (vgl. Abbildung 4-4). Die Übertragung der Technologieentwicklungsstufen auf das Beispiel der Traktionsbatterien bestätigt die grundsätzliche Anwendbarkeit des Modells auf neue Technologien der Elektromobilität. Die ESA-spezifische Erweiterung des TRL-Modells um das Strategic Readiness Level (SRL) ermöglicht eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen innovativen Technologiekonzepten (Stufe 1-4) und existierenden innovativen Technologien in der Erprobung und im Einsatz (Stufen 5-9). Das TRL eignet sich somit zur Erarbeitung von Technologie-Roadmaps sowie als technologiespezifisches Controlling-Instrument. Durch den Einsatz der TRL-Level als Technologie-Stage-Gates kann ein verfrühter

TRL Level	Beschreibung	Technologiebeispiel: Traktionsbatterien
1	Grundlegende Funktionsprinzipien der Technologie sind erforscht, beschrieben und dokumiert.	Fluorid-Ionen Batterie
2	Technologiekonzept und Anwendungsfelder der Technologie sind beschrieben und dokumentiert.	Organische Akkumulatoren
3	Theoretischer und experimenteller Nachweis der Funktionalität der Technologie.	Graphen-Nano-Akkumulatoren Lithium-Luft-Akkumulatoren
4	Erfolgreich absolvierte Laborversuche.	Lithium-Schwefel-Akkumulatoren
5	Erfolgreich absolvierte Versuche unter realen Einsatzbedingungen.	Traktionsbatterien auf Lithium-Polymer-Basis
6	Prototyp oder Demonstrator entwickelt und in realen Einsatzbedingungen getestet.	Einsatz von Ultracaps zur Deckung von Lastspitzen
7	Prototyp oder Demonstrator im Feldeinsatz.	Brennstoffzelle als zentrales Stromerzeugungssystem
8	Systementwicklung abgeschlossen, Funktionsnachweis im Einsatzbereich.	Brennstoffzelle als RangeExtender
9	Qualifiziertes System; Funktionsnachweis im Feldeinsatz.	Traktionsbatterien auf Lithium-Ionen-Basis

Abbildung 4-4: TRL-Reifegradmodell

Einsatz neuer Technologien vor deren sichergestellter Industrialisierbarkeit vermieden werden. Es existiert zudem ein frei verfügbares TRL-Kalkulationstool der US-Amerikanischen Homeland Security, das die Quantifizierung des Reifegrads einer Technologie anhand definierter Kriterien ermöglicht. Neben dem Reifegrad der Technologie werden hierbei auch der Reifegrad der Produktions- und Montageprozesse sowie der Reifegrad relevanter Softwarekomponenten mit berücksichtigt. Trotz der grundsätzlichen Anwendbarkeit des Modells auf jegliche disruptive Technologie findet das TRL- Modell bisher nur im Umfeld hochkomplexer und kritischer Anwendungsfelder, wie der Luft- und Raumfahrt, Anwendung.

4.2 Anforderungen an ein reifegradorientiertes Messkonzept zur Qualitätssicherung

Es wird davon ausgegangen, dass eine höhere Qualitätssicherheit erreicht werden kann, wenn ein reifegradorientiertes Modell bereits in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses die Qualität anhand vordefinierter Gestaltungsfelder misst. Dabei gilt es die Möglichkeit für mehrere Rückkopplungsschleifen im Modell einzuräumen, da zu Beginn des Entwicklungsprozesses eine ausgeprägte Flexibilität erforderlich ist. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass zu Beginn die Produktvorstellungen noch unkonkret sind. Je fortgeschrittener der Prozess und je mehr das Produkt weiterentwickelt wird, desto standardisierter

können die Prozesse gestaltet werden. Deshalb wurde der Schwerpunkt dieses Reifegradmodells bewusst auf die frühen Phasen des Entwicklungsprozesses gelegt, wo bislang etablierte Reifegradmodelle zu rigide in den Vorgaben sind. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal zu gegenwärtigen Reifegradmodellen ist die spezifische Bewertung von Qualitätsaspekten der Elektromobilität. Hier sind beispielsweise ein alternatives Nutzenversprechen, veränderte Wertenetzwerke, umfassende Kompetenzen, ausreichende nachhaltige Ressourcen und neue Märkte zu nennen (vgl. Schneider 2012). Um die unterschiedlichen Qualitätsaspekte untersuchen zu können sind in Zusammenarbeit mit den Praxispartnern im Rahmen der zweiten Projektausschusssitzung Gestaltungsfelder definiert worden, die entlang des Entwicklungsprozesses diese Qualitätsaspekte der Elektromobilität abdecken. Neben den Qualitätsaspekten sind noch weitere Anforderungen zu nennen, die ein breites Spektrum an Gestaltungsfeldern erfordern, um eine hohe Qualitätssicherung zu gewährleisten. Im Rahmen eines Wertesystems ist sicherzustellen, dass bei der Beteiligung zur Entwicklung einer disruptiven Technologie das Management in vollem Umfang hinter dem Entwicklungsprojekt steht. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass bei der Gefahr einer Kanibalisierung eine Ausgründung entsprechender Organisationseinheiten des betreffenden Unternehmens oder Netzwerks gewährleistet ist. Neben einem

stabilen Wertesystem ist das Entwicklungsvorhaben auf Kompetenzen zu untersuchen, die besonders bei disruptiven Technologien benötigt werden. Hierbei gilt es ein besonderes Risikomanagement zu etablieren, das unter höchster Aufmerksamkeit und erhöhtem Bewusstsein die Fortschritte des Entwicklungsprojekts untersucht und ständig hinterfragt. Zusätzlich gilt es in der Elektromobilität nicht nur interne Sichtweisen zu nutzen, sondern vielmehr externe Sichtweisen und Methoden zu berücksichtigen, wie es bei Open Innovation der Fall ist, um so eine hohe Innovationsfähigkeit aufrechtzuerhalten. Im Rahmen der Forschungstätigkeit werden diese Themen zu den sechs Gestaltungsfeldern Entwicklungsnetzwerke, Wissensmanagement, Organisation und Prozesse, Kundenorientierung, Technologiemanagement und Risikomanagement gruppiert. Im ersten Gestaltungsfeld, Entwicklungsnetzwerke, geht es im Besonderen darum, dem steigenden Kooperationsbedarf Rechnung zu tragen. Vor allem bei disruptiven Technologien stellt sich zu Beginn des Entwicklungsprozesses ein erhöhtes finanzielles Risiko im Zusammenhang mit Fix- und Anlagenkosten dar. Darüber hinaus erleichtert die Kostenteilung die Umsetzung von Beschaffungs-, Entwicklungs- oder Vertriebsaktivitäten. Das Nutzen von Synergieeffekten im Netzwerk zeigt sich besonders in der Verringerung der Entwicklungs- und Produktionszeiten sowie in der Ergänzung und Erweiterung des Produkt- und

Dienstleistungsportfolios. Als weiterer Grund ist die Erhöhung der Flexibilität und der Reaktionszeit bei neuen Kunden- und Marktanforderungen zu nennen. In einer Umfrage im Rahmen des Forschungsprojekts wurde der Nutzen von Entwicklungskooperationen im Vergleich zu Beschaffungs-, Produktions-, Vertriebs- und Servicekooperationen am höchsten eingeschätzt. Hierbei wurden der Wissensabfluss und die Abhängigkeit vom Entwicklungspartner als Hauptrisiken identifiziert. Diese Themen sind im Rahmen des Reifegradmodells daher besonders zu berücksichtigen. Im nächsten Gestaltungsfeld sind im Rahmen des Risikomanagements Chancen und Risiken zu beurteilen, um die Entscheidungsfindung zu unterstützen. Dabei geht es vor allem um Risikofaktoren wie Abhängigkeit, mangelnde Einflussnahme, Koordinationsprobleme, Mehrkosten, Qualifikationsprobleme sowie Kompetenz- und Imageverlust. Diesen Risikofaktoren stehen Chancen gegenüber. Hier ist die Konzentration aufs Kerngeschäft, Zeitgewinn, Kostensenkung, Flexible Kapazitätsanpassung, Verstetigung der Auslastung, Qualitätsverbesserung und der Abbau von Kapitalbindung zu nennen. Im Risikomanagement in der Elektromobilität entstehen in Abhängigkeit des Innovationsgrades unterschiedliche Arten von Risiken. Dabei ist zwischen den verschiedenen Prozessphasen des Entwicklungsprozesses zu unterscheiden, von der jede Phase durch unterschiedliche Merkmale gekennzeichnet ist. Auf-

grund der Vielzahl der möglichen Risiken entlang der Entwicklungsprozesskette in der Elektromobilität, wie technische Realisierungsrisiken, zeitliche Risiken und wirtschaftliche Risiken, gilt es das Risikomanagement mit besonderer Sorgfalt zu untersuchen. Betrachtet man das Gesamtrisiko, ist festzustellen, dass besonders die technischen Risiken maßgebend für den positiven und termintreuen Verlauf des Entwicklungsprozesses sind. Die Forschung- und Entwicklung ist der Produktion vorgelagert und bestimmt daher zu einem erheblichen Teil das gesamte wirtschaftliche Risiko mit. Neben der Untersuchung der einzelnen Risiken gilt es zudem den Interdependenzen dieser Risiken im Rahmen des Risikomanagements gerecht zu werden. Das Risiko der verlorenen Kosten, allgemeine Zielabweichungen im Zielsystem und das Risiko der fehlenden Erfolgspotenziale sind nur einige Beispiele dafür. Neben diesen Gestaltungsfeldern ist in einem weiteren Feld die Kundenorientierung zu behandeln. Für eine höhere Kundenzufriedenheit müssen in der Elektromobilität andere Methoden der Kundenintegration genutzt werden als bei traditionellen Technologien. Dies wurde auch in verschiedenen Diskussionen mit den Praxispartnern deutlich. Bisherige Kunden eignen sich nicht für die Kundenintegration bei Disruptionen. Darüber hinaus ist das Identifizieren neuer zukünftiger Märkte und Marktsegmente schwierig. Bereits bei Verbrennungsmotoren ist ein schwieriges Kundenverhältnis zu

erkennen, da sich aufgrund des komplexen Produktes eine lange Entwicklungszeit ergibt und sich Kundenwünsche in der Zwischenzeit ändern können. Darüber hinaus weicht das Kundenverhalten in der realen Kaufentscheidung von den Marktforschungsergebnissen ab. Dadurch fehlt eine verlässliche Datenbasis, auf die während des Entwicklungsprozesses zurückgegriffen werden könnte. In der Elektromobilität müssen daher neue untypische Ansätze der Kundenorientierung in Betracht gezogen werden und bereits in der frühen Phase des Entwicklungsprozesses analysiert und integriert werden. Dabei ist der Blick auf den Kundennutzen zu richten, der in den Bereichen Qualität, Preis, Service und Zeit geschaffen werden kann. Am Ende der gesamten Prozesskette gilt es ein kundengerechtes Produkt zu präsentieren, das sowohl alle Anforderungen des Kunden abdeckt, aber auch dem Kunden neue und bisher ungenutzte Einsatzgebiete sowie Funktionen aufzeigt. Dies wurde im Rahmen der Diskussionen von den Experten immer wieder betont. Das Wissensmanagement ist ein weiteres Untersuchungsfeld, das im Reifegradmodell abzudecken ist. Hintergrund dieses Gestaltungsfelds ist, Wissen im Unternehmen für den Entwicklungsprozess bereitzustellen. Dieses Wissen wird benötigt, um innovative Ideen zu generieren, die den Marktdurchdringungsfaktor der Elektromobilität verstärken. Nur mit innovativem Wissen ist es für ein Unternehmen möglich neue

Patente hervorzubringen und das Marktumfeld zu gestalten. Neben der Erzeugung von neuem Wissen ist es zu dem von besonderer Bedeutung, das zusammengetragene Wissen zu speichern und situationsgerecht anzuwenden. Im Reifegradmodell gilt es daher vor allem technologisches Wissen und Erfahrungswerte zu neuen Technologien im Unternehmen, aber auch im Entwicklungsnetzwerk, bereitzustellen. Aufgrund der steigenden Komplexität im Entwicklungsumfeld von Unternehmen, was der Ausweitung der Forschung und Entwicklung auf externe Netzwerke geschuldet ist, wurde dieses Gestaltungsfeld von den Praxispartnern als essentiell beschrieben. Ein an das Wissensmanagement anschließendes Gestaltungsfeld ist das Technologiemanagement. Im Umfeld von disruptiven Technologien ist eine strategische sowie taktische Vorbereitung von besonderer Bedeutung, da über die weitere Entwicklung der Technologie keine Erfahrungswerte, auf die zurückgegriffen werden kann, existieren. Um mit disruptiven Technologien richtig umgehen zu können gilt es die traditionellen Zwänge des Unternehmens aufzubrechen. Alles bisher Erlernte und Bekannte ist im Umfeld von disruptiven Technologien mit einem Fragezeichen zu versehen. Besonders im Technologiemanagement ist es essentiell eine Zielrichtung vorzugeben. Zusätzlich sollte ein umfangreicher Kenntnisstand vorherrschen, welche Technologien zukünftig genutzt werden können. Damit das Projekt

entlang den vorgegebenen Zielen voranschreitet, ist der Fortschritt der Technologie ständig zu hinterfragen. Hierbei müssen die vorgegebenen Zielrichtungen anhand der Einflüsse des Umfelds überprüft werden. Vor diesem Hintergrund müssen im Reifegradmodell die technologischen Aspekte bewertet werden. In Anlehnung an das Gestaltungsfeld der Entwicklungsnetzwerke, das Abläufe außerhalb des Unternehmens abdeckt, ist es notwendig ähnliche teilweise identische Elemente innerhalb des Unternehmens zu untersuchen. Daher wurde im Rahmen der Projektausschusssitzungen die Notwendigkeit für ein Gestaltungsfeld dargelegt, das innerbetriebliche Themen und Prozesse beleuchtet. Besonders die Wandlungsfähigkeit des Unternehmens wurde von den Praxispartnern hervorgehoben, da bei disruptiven Technologien immer mit neuen kurzfristigen Entwicklungen zu rechnen ist, auf die ein Unternehmen entsprechend reagieren und sich anpassen muss.

4.3 Konzeptionierung eines reifegradorientierten Messkonzepts zur Qualitätssicherung

Das Modell des reifegradorientierten Messkonzepts zur Qualitätssicherung ist vor allem ein qualitatives Bewertungsmodell. Im Rahmen der Projektausschusssitzungen sowie in einzelnen Expertengesprächen wurde diese Art der Bewertung für die Zwecke der Forschung und Entwicklung diskutiert und begründet. Das erarbeitete reifegradorientierte Messkonzept lehnt sich

an etablierte Reifegradmodelle an. In Abbildung 4-5 werden die Zusammenhänge des Modells graphisch dargestellt. Das Ziel dieses Reifegradkonzepts ist eine systematische und methodische Reifegradbewertung der Produktentwicklung hinsichtlich ihrer Fähigkeit disruptive Technologien in ein Produkt zu überführen. Um dies zu realisieren ist das Modell anhand konkreter Technologien zu untersuchen. Im Rahmen eines Arbeitskreises des Qualitäts-Management-Center des Verbands der Automobilindustrie, wurden umfangreiche Forschungstätigkeiten zum Thema „Identifikation neuer Technologien in der Automobilindustrie“ durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurden auch die Anforderungen neuer Technologien an das Qualitätsmanagement erörtert. Alle Beteiligten erwarten gravierende Veränderungen durch die Elektromobilität. Dies begründet sich vor allem durch die hoch standardisierten Entwicklungsprozesse der Automobilindustrie, welche nicht auf die Entwicklung disruptiver Technologien ausgelegt sind. Die hohe Entwicklungskomplexität dieser Art von Technologien erfordert neue Konzepte, welche die Qualität der Forschungs- und Entwicklungsprozesse entlang des Produktentstehungsprozess sicherstellen. Am Beispiel der Technologien Batterie-, Antriebs- und Leichtbautechnologie wird eine Reifegradbewertung entwickelt. Bei der Konzipierung des Modells wurde zu Beginn das Meilensteinkonzept nach VDA untersucht. In diesem Modell werden

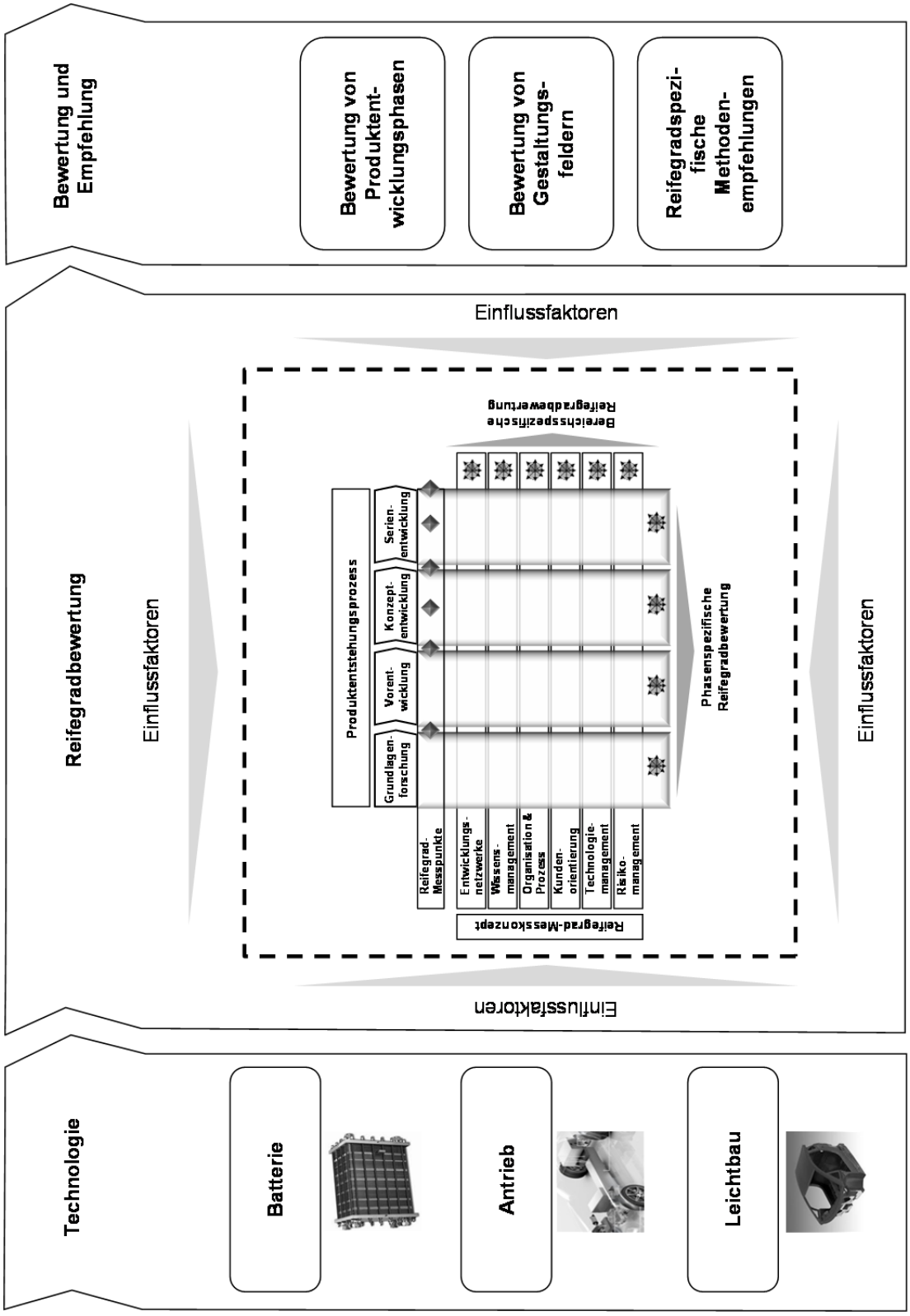


Abbildung 4-5: Reifegradmodell im Rahmen der Elektromobilität

bereits sieben mögliche Reifegrad-Messpunkte abgebildet.In Anlehnung an dieses Meilensteinkonzept wurden für die Entwicklung des Reifegradmesskonzepts in der Elektromobilität ähnliche Messpunkte definiert. In Gesprächen mit den Praxispartnern hat sich in diesem Zusammenhang herausgestellt, dass nicht der gesamte Produktentstehungsprozess und somit nicht alle Quality Gates für die Elektromobilität Anwendung finden. Den Unternehmen ist es hierbei besonders wichtig, sehr früh in der Produktentwicklung disruptiver Technologien auf Standardprozesse zu wechseln. Im Rahmen der Diskussionen wurde das Quality Gate „Beschaffungsfreigabe“ als realistischer Übergang identifiziert. Jedoch ist anzumerken, dass je früher Standardprozesse für die disruptive Technologie angewendet werden können, desto besser ist dies für die Effizienz des Unternehmens und für die Qualität des Produkts. In Abbildung 4-6 sind die mit

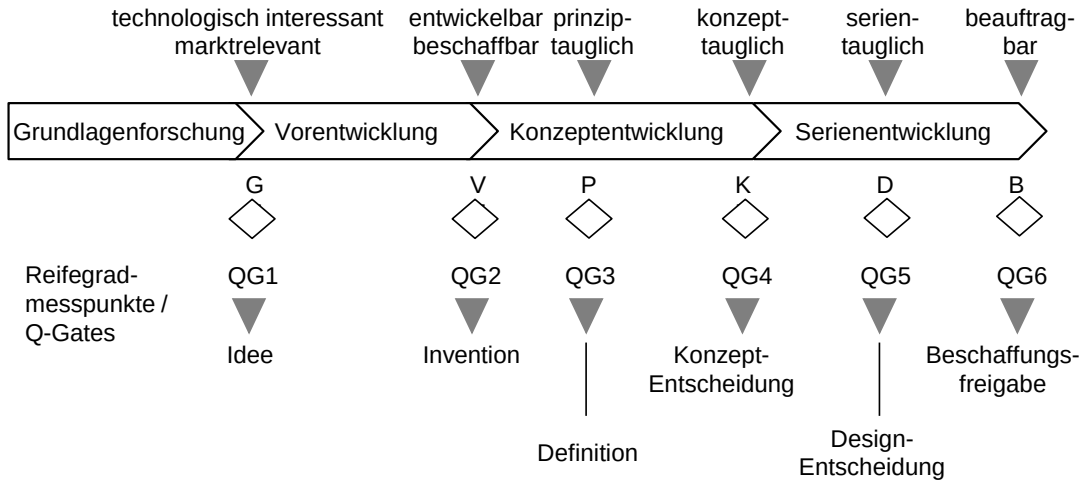


Abbildung 4-6: Definition von Quality Gates

den Praxispartnern validierten Quality Gates aufgezeigt. Diese bilden zusammen mit dem Produktentwicklungsprozess den Ausgangspunkt für das entwickelte Reifegradmodell. Die dadurch entstehenden Messpunkte untersuchen den gegenwärtigen Reifegrad des Entwicklungsprozesses des Unternehmens auf die folgenden Prinzipien: technologisch interessant; marktrelevant; entwickelbar; beschaffbar; prinziptauglich; konzepttauglich; serientauglich und beauftragbar. Diese Prinzipien wurden in den Projektausschusssitzungen sowie in persönlichen Expertengesprächen diskutiert. Dabei wurden die Begrifflichkeiten der Quality Gates festgelegt und ersetzen fortan den Begriff der Messpunkte. Das erste Quality Gate, bei dem das technologische Interesse sowie die Marktrelevanz untersucht werden, wurde so definiert, dass es prinzipiell interessant ist, die Technologie zu verfolgen und im Markt ein möglicher Bedarf existiert. Dieses Quality Gate kann erst passiert werden, wenn dem Unternehmen diese Informationen vorliegen. Hier entsteht die grundsätzliche Idee des Produkts, welche für den positiven Entwicklungsverlauf von besonderer Bedeutung ist. Im zweiten Quality Gate geht es um die Prinzipien der Entwickel- und Beschaffbarkeit der produkt- und technologierelevanten Materialien. Die Erkenntnis, die bei der Auswertung zu diesem Zeitpunkt entsteht, muss so lauten, dass die Technologie gemäß der Ergebnisse der Vorentwicklung weiterentwickelt werden kann

und die benötigten Materialien bei ausgewählten Lieferanten beschaffbar sind. In der Praxis wird dieses Gate als Invention bezeichnet. Im dritten Quality Gate, wird in der Praxis von der Definition gesprochen. Hierbei befindet sich der Entwicklungsprozess mitten in der Konzeptentwicklung. In diesem Stadium wird die Prinziptauglichkeit untersucht. Zu diesem Zeitpunkt müssen eine theoretische Funktionstüchtigkeit des Produktes gewährleistet und die grundlegenden Eigenschaften des Produkts definiert sein sowie notwendige Informationen vorliegen. Am Ende der Konzeptentwicklung muss das vierte Quality Gate, die Konzeptentscheidung, durchlaufen werden. An diesem Punkt wird festgestellt, ob die betreffenden Teile nicht nur zu Beginn eines Autolebens, sondern auch noch einige Jahre später funktionieren und produziert werden können. Bei disruptiven Technologien ist dies ein entscheidender Faktor, der auch von einigen Praxispartnern fokussiert wurde, um ein längeres Durchhaltevermögen und höhere Akzeptanz der Technologie gewährleisten zu können. In diesem Zusammenhang muss auch während der Entwicklungsphase die zunehmende Ressourcenverknappung berücksichtigt werden. Im fünften Quality Gate, der Design-Entscheidung, wird in der Phase der Serientauglichkeit ein Lastenheft mit allen zu erfüllenden Parametern abgebildet, um die angestrebte Standardisierung realisieren zu können. Am Ende der Serienentwicklung erfolgt die Beschaffungs-

freigabe, das sechste Quality Gate. Um der in den Anforderungen dargestellten Flexibilität Rechnung zu tragen liegen die Quality Gates dieses Reifegradmodells zu Beginn weiter auseinander als im späteren Verlauf des Produktentwicklungsprozesses. Dadurch sind mehrere Entwicklungsschleifen möglich. Die aufgezeigten Freiheitsgrade müssen dabei im Rahmen der Bewertung berücksichtigt werden, weil besonders in der Grundlagenforschung und Vorentwicklung starre Vorgaben und Richtlinien den Innovationsprozess behindern würden. Aus diesem Grund ist es hierbei von besonderer Bedeutung den Beteiligten in diesen Phasen der Entwicklung den nötigen Freiraum zu geben. In dem erarbeiteten Reifegradmodell wird dies durch entsprechende Fragestellungen gewährleistet. Für eine valide Aussagekraft der Ergebnisse des Modells wurden aus diesem Grund in enger Zusammenarbeit mit den Praxispartnern Gestaltungsfelder definiert und mit Hilfe des Bewertungsmodells logisch verknüpft. Diese Felder sind von Einflussfaktoren abhängig, welche im Rahmen der Bewertung berücksichtigt werden müssen, sie ändern sich phasen- und technologiespezifisch. Darüber hinaus kann nicht davon ausgegangen werden, dass diese Einflussgrößen auf alle Unternehmen gleich wirken, sodass von Unternehmen zu Unternehmen eine individuelle Bewertung stattfinden muss. Vor diesem Hintergrund wurden in den Expertengesprächen und Projektausschusssitzungen diese Ein-

flussfaktoren detailliert analysiert, um im später aufgeführten Bewertungskatalog einen umfassenden Pool an Fragestellungen als Bewertungsgrundlage anwenden zu können. Damit die geforderte Flexibilität bei der Produktentwicklung für disruptive Technologien gewährleistet werden kann, bieten die Gestaltungsfelder den notwendigen Detaillierungsgrad, wodurch die veränderten Rahmenbedingungen eingeschätzt werden können. Diese Einflussfaktoren sowie die Bewertungstiefe können realisiert werden, weil die Gestaltungsfelder in weitere Bewertungsbereiche aufgeteilt sind (vgl. Abbildung 4-7). Jedem Gestaltungsfeld wurden dabei jeweils drei Bewertungsbereiche zugeordnet, die mit den Praxispartnern diskutiert worden sind. Diese Bewertungsbereiche decken die verschiedenen Einflussfaktoren, die im Laufe der Entwicklungsphase auf das Projekt einwirken, ab. Die detaillierte und individuelle Bewertung im Modell findet hierbei eine Ebene unterhalb der Bewertungsberei-

Entwicklungsnetzwerke	**Wissensmanagement**	**Organisation & Prozesse**
- Netzwerkorganisation - Netzwerkbeziehung - Netzwerkmitglieder	- Wissenserwerb - Wissensbewahrung - Wissenstransfer	- Aufbauorganisation - Ablauforganisation - Mitarbeiter & Führung
Kundenorientierung	**Technologiemanagement**	**Risikomanagement**
- Kundenanforderungen - Kundenintegration - Kundennutzen	- Technologiefrüherkennung - Technologiebewertung - Technologieentwicklung - Technologiestrategie	- Risikomanagementprozess und -kompetenzen - Wirtschaftliche Risiken - Technische Risiken

Abbildung 4-7: Gestaltungsfelder und deren Bewertungsbereiche

che statt. Die beschriebenen Quality Gates entlang des Produktentwicklungsprozesses sowie die erwähnten Gestaltungsfelder bilden die grundlegenden Strukturen des Bewertungsmodells. Auf dieser Basis erfolgt die Reifegradbewertung. Das Bewertungskonzept ist dabei ähnlich wie das Modell in zwei Bewertungsachsen eingeteilt. Die erste Achse ist die Konzeption entlang der Prozessphasen, die sich an den definierten Quality Gates ausrichtet. Damit eine möglichst hohe Anwendbarkeit des Bewertungsmodels erreicht wird, wurden im Rahmen der Projektausschusssitzungen verschiedene Produktentwicklungsprozesse von Automobilherstellern verglichen, soweit diese entsprechende Daten zur Verfügung gestellt haben. Als Ergebnis wird ein herkömmlicher Produktentwicklungspro zess als Grundlage für das Reifegradmodell festgelegt.In Abbildung 4-8 ist dies schematisch dargestellt. Diese Ausgestaltung ist notwendig, um die imModell vorgesehene phasenspezifische

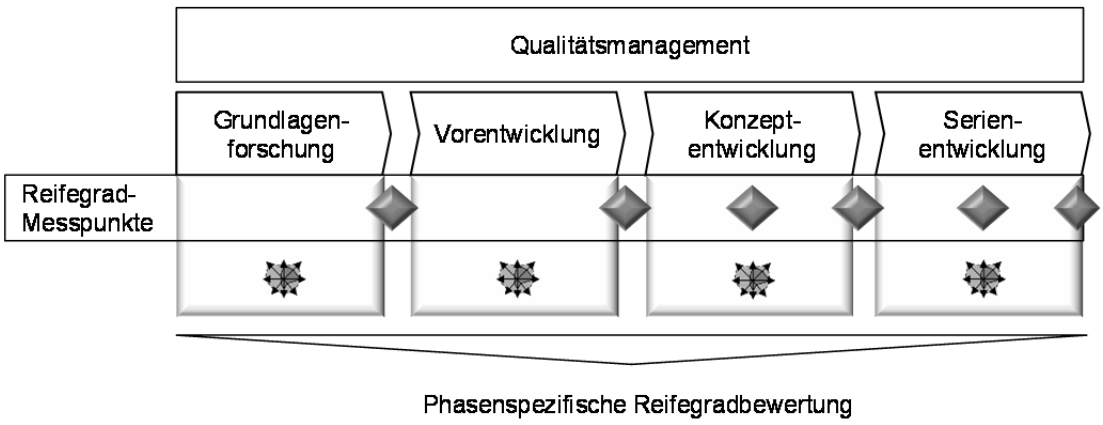


Abbildung 4-8: Prozessuale Messzeitpunkte im Reifegradmodell

Reifegradbewertung vornehmen zu können. Auf dieser Basis wurden in Zusammenarbeit mit den Praxispartnern die sechs Gestaltungsfelder entwickelt. Diese Gestaltungsfelder stellen die zweite Bewertungsachse im Reifegradmodell dar und werden anhand einer bereichsspezifischen Reifegradbewertung untersucht. Abbildung 4-9 sowie Abbildung 4-10 erläutern dies schematisch. Die definierten Messkriterien, welche an den einzelnen Quality Gates untersucht werden müssen, wurden in den Bewertungsbereichen der Gestaltungsfelder im Bewertungsmodell eingearbeitet. Die Gestaltungsfelder wurden dabei so umfassend ausgearbeitet, dass eine 360-Grad Sicht bei der Bewertung gewährleistet werden kann und mit Hilfe der Unterteilung in einzelne Bewertungsbereiche sichergestellt ist. Diese bereichsspezifische Reifegradbewertung hilft dem Unternehmen nicht nur auf der obersten Gestaltungsfeldebene Handlungsempfehlungen auszusprechen sondern auch die Aktionsfelder weiter herunterbrechen zu können. Begünstigt wird dies dadurch, dass die Bewertungsbereiche eine weitere Unterebene enthalten. Auf dieser Ebene sind Bewertungskriterien definiert, die jedes Unternehmen einzeln bewertet. Jedes einzelne Kriterium, wie zum Beispiel das Vertrauen im Netzwerk, wird individuell auf einer vordefinierten Skala bewertet. Für eine adäquate Einschätzung werden dem Probanden sowohl eine

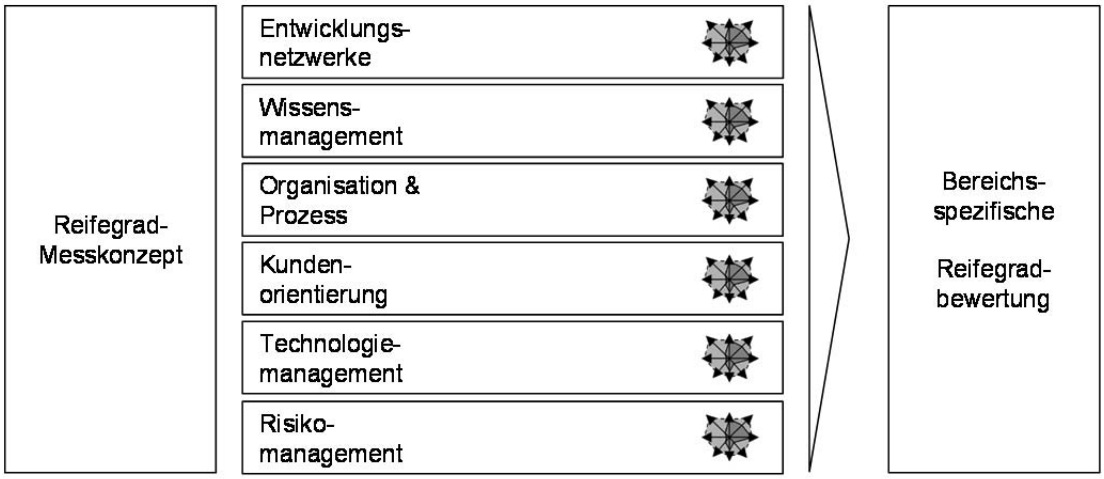


Abbildung 4-9: Messbereiche im Reifegradmodell

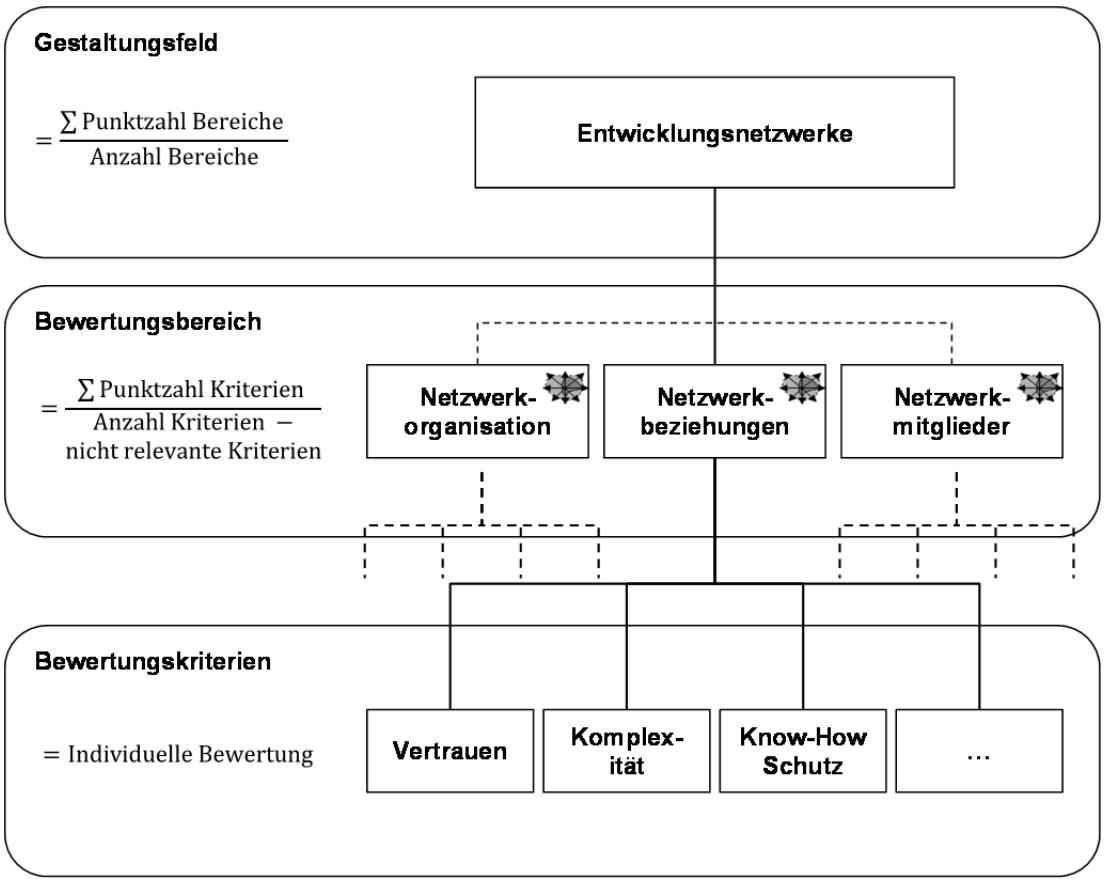


Abbildung 4-10: Exemplarische Darstellung des Reifegrad-Messkonzepts

minimale als auch eine maximale Ausprägung des Kriteriums vorgeben. Nach der Bewertung wird der Durchschnitt der abgegebenen Bewertungen je Bewertungsbereich ermittelt und zeigt einen ersten Reifegrad auf. Sofern alle Bewertungsbereiche eines Gestaltungsfelds analog bewertet wurden ergibt sich ein weiterer Reifegrad für das gesamte Gestaltungsfeld. Die bewerteten Kriterien, die in diesem Reifegradmodell abgefragt werden sind alle mit den Praxispartnern, im Rahmen von Expertengesprächen, diskutiert worden. Dabei wurden Fragestellungen, welche in den einzelnen Gestaltungsfeldern beantwortet werden müssen, definiert. Die Fragestellungen richten sich an die in den einzelnen Prozessphasen identifizierten Bedarfe und Herausforderungen sowie die ermittelten Messkriterien der Quality Gates, um den Reifegrad ermitteln zu können. Diese Bewertungsabläufe sind in Abbildung 4-10 exemplarisch am Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke dargestellt. Aufgeführt sind dabei in Auszügen die Bewertungskriterien des Bewertungsbereichs Netzwerkbeziehungen. Mit dem aufgestellten Bewertungskatalog wird somit eine nachvollziehbare Ermittlung und einer qualitativen Einschätzung von Sachverhalten im jeweiligen Unternehmen Sorge getragen. Mit diesem Modell ist somit, je nach Einschätzung der jeweiligen Fragen und Kennzahlen innerhalb des Bewertungskatalogs, eine Abbildung verschiedener individuell eingeschätzter Reifegrade möglich. Diese wei-

sen Potenziale oder Defizite auf, welche es fallspezifisch auszuschöpfen oder zu überwinden gilt. Für die abgegebenen Reifegradeinschätzungen stehen dazu mehrere Auswertungsmöglichkeiten zur Auswahl. Es ist möglich den Reifegrad der jeweiligen Prozessphase auszuwerten. Dies erfolgt gänzlich über alle Gestaltungsfelder und gewährleistet eine valide Basis um an jedem Reifegradmesspunkt zu den einzelnen Einflussfaktoren aussagefähig zu sein. Darüber hinaus kann jedes einzelne Gestaltungsfeld separat entlang des gesamten Produktentwicklungsprozesses ausgewertet werden. Dies kann entweder gänzlich für alle Prozessphasen oder für jede einzelne Prozessphase erfolgen. Der dadurch ermittelte Reifegrad wird innerhalb der Gestaltungsfelder auf mehreren Bewertungsebenen dargestellt, um die entsprechenden Handlungsfelder zum einen besser lokalisieren und zum anderen voneinander abgrenzen zu können. Nach der reifegradorientierten Messung werden dem Unternehmen typenspezifische Handlungsempfehlungen angeboten, die je nach Unternehmenssituation und Anforderungen des Quality Gates eingesetzt werden sollen. Die Handlungsempfehlungen beinhalten dabei reifegradspezifische Methodenempfehlungen, die dem Unternehmen in Form von Steckbriefen übermittelt werden, um diese entsprechen umsetzen zu können.

5 Gestaltung eines Reifegradmodells zur Qualitätssicherung

Als zweiten Kernbereich des Bewertungsmodells wurden gemeinsam mit den Praxispartnern Gestaltungsfelder erarbeitet, um die unterschiedlichen Qualitätsaspekte während des Produktentwicklungsprozesses abbilden zu können. Damit während der Bewertung die verschiedenen Prozesse und Aktivitäten in den einzelnen Gestaltungsfeldern im Detail untersucht werden können, wurden Fragestellungen anhand definierter Kriterien aufgestellt. Diese Bewertungskriterien sind innerhalb der Gestaltungsfelder festgelegten Bewertungsbereichen untergeordnet und bilden die Grundlage der Reifegradmessung entlang des Produktentwicklungsprozesses.

5.1 Gestaltungsfelder

Als Grundlage für die Bewertung der Gestaltungsfelder und Bewertungsbereiche wurden dazu, im Rahmen von Expertengesprächen, zu den jeweiligen Kriterien Ausprägungen formuliert, um die Mindestanforderungen sowie die Maximalanforderungen jedes Bewertungskriteriums festzulegen und so die Systemgrenzen des Modells zu definieren. Die minimale Ausprägung der Bewertungskriterien beschreibt demnach den Zustand, an dem der Fortschritt des Entwicklungsprozesses zum Stillstand kommt. Die maximale Ausprägung wiederum stellt den

Soll-Zustand dar, wie er als Best-Practice in der Branche angesehen wird.

5.1.1 Entwicklungsnetzwerke

Die Globalisierungstendenzen verlangen den Unternehmen zunehmend internationale Marktpräsenz ab. Produkt- und Produktionsstrukturen haben dadurch häufig einen Komplexitätsgrad erlangt, der nur mit hohen Koordinationskosten zu beherrschen ist. Die zunehmende Limitierung des Unternehmens auf Kernkompetenzen resultiert in der Gefahr, dass die vom Kunden nachgefragten Leistungen nicht mehr in der erforderlichen Breite angeboten werden und damit keine umfassende Problemlösung für den Kunden erreicht wird. Um diesen Risiken entgegenzuwirken und dennoch die Vorteile einer Konzentration auf Kernkompetenzen zu nutzen, entsteht ein Anstieg der Intensität der Arbeitsteilung und ein Trend zu engeren Formen betrieblicher Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen in Bereichen wie der Forschung und Entwicklung (vgl. Wildemann 1996). Dadurch ergeben sich weitere Kontrollschleifen für die neu hinzutretenden externen Vorstufen. Diese erfordern den Einsatz effizienter Koordinationsinstrumente, für die mit diesem Reifegradmodell eine Anwendungsmöglichkeit besteht. Den Anforderungen hinsichtlich der gleichzeitigen Beherrschung von Kosten, Qualität und Zeit unterliegen nicht nur die unternehmensinter-

nen Prozesse. Fremdbezugsanteile von häufig über 50% der Produktionskosten, bei weiter anhaltendem Trend zur Leistungstiefenreduktion hinsichtlich Fertigungs-, Entwicklungs-, Qualitäts- und Logistikaufgaben, führen dazu, dass das Beeinflussungspotential eines Unternehmens heute über die Unternehmensgrenzen hinausgeht (vgl. Wildemann 2006a). Die externen Funktions- und Aufgabenumfänge weisen eine wachsende Bedeutung auf die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen auf. Das vom Einkauf zu beeinflussende Kostenvolumen, die Bedeutung des Einkaufs für Liquidität sowie die Gewinnerzielung des Unternehmens steigt. Sie bewirkt, dass sich der Erfolg eines Unternehmens vermehrt in Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit und Kostensituation seiner Lieferanten ergibt. Erfolgreiche Unternehmen müssen im heutigen Wettbewerb daher nicht nur über die Vorteile finanzstarker Konzerne, wie Innovationsfähigkeit, Finanzkraft, breites Know-how und globale Präsenz, verfügen, sondern auch die Vorteile kleiner, flexibler Nischenanbieter, die beispielsweise durch Flexibilität, kurze Informations- und Entscheidungswege geprägt sind, erfüllen. Eine reine Zunahme der Unternehmensgröße führt unter Beibehaltung gewachsener Strukturen zu Effizienzverlusten. Um diesem Dilemma zu entgehen, verbinden Unternehmen Fokussierungsstrategien einzelner Unternehmenseinheiten und -standorte mit einer kooperativen Zusammenarbeit zwischen mehreren selbständigen und

formal unabhängigen Unternehmen (vgl. Wildemann 2008). Durch Aneignung von partieller Kontrolle über ergänzende Ressourcen und Fähigkeiten, wie in der Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Marketing können mit Hilfe derartiger Netzwerkorganisationen zusätzliche Gewinne erwirtschaftet werden, ohne die Eigentümerschaft und den damit verbundenen Koordinationsaufwand übernehmen zu müssen. Bislang rechtlich und wirtschaftlich selbständige Unternehmen spezialisieren sich dabei auf die Beherrschung bestimmter Leistungsprozesse und schließen sich mit anderen, nach denselben Prinzipien organisierten Unternehmen, zu temporären oder dauerhaften Einheiten, sogenannten Netzwerken zusammen (vgl. Wildemann 2004a). Insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen bieten sich Kooperationen oder der Zusammenschluss untereinander zu Systemverbunden an. Fast ein Drittel der Unternehmen hat in den letzten Jahren Kooperationserfahrung gesammelt, von den übrigen Firmen sind etwa 40% entschlossen, in der näheren Zukunft Kooperationen einzugehen (vgl. Wildemann 2004b). Die Vorzüge kooperativer Formen betrieblicher Zusammenarbeit spiegeln sich auch in der großen Anzahl von Joint Ventures, strategischen Allianzen oder Lizenzvergaben im Ausland wider, die in den letzten Jahren geschlossen wurden. Unter Berücksichtigung dieser Informationen ergeben sich Handlungsoptionen für Kooperationen und Netzwerke. Dabei geht es um die zwischen-

betriebliche Arbeitsteilung sowie die gegenseitige Ergänzung und Kombination von Ressourcen und Know-how. Vor diesem Hintergrund untergliedert sich die Auswertung des Gestaltungsfelds Entwicklungsnetzwerke in drei relevante Bewertungsbereiche: Netzwerkorganisation, Netzwerkbeziehungen und Netzwerkmitglieder. Der Bewertungsbereich Netzwerkorganisation umfasst alle übergeordneten makroperspektivischen Sachverhalte eines Netzwerks. Hierbei geht es um die Gestaltung, Lenkung und Entwicklung interorganisationaler Beziehungen im Rahmen des Strukturmanagements des Netzwerks. Somit erfolgt in diesem Bereich eine Bewertung anhand der netzwerkweiten Gestaltung und Koordination aller zwischenbetrieblichen Abhängigkeitsbeziehungen in sachlicher, zeitlicher und sozialer Dimension, die zur Erreichung des gemeinsamen Netzwerkzwecks unterhalten werden (vgl. Keijzer 2008). In Abstimmung mit den beteiligten Praxispartnern wurden dabei die folgenden Bewertungskriterien festgelegt: Netzwerkziele, Netzwerktransparenz, Wandlungsfähigkeit, Ressourcen- und Kapazitätsplanung, sowie die Netzwerksteuerung. Zu diesen einzelnen Kriterien wurde in Zusammenarbeit mit den Praxispartnern je eine Frage mit einer möglichen minimalen sowie einer möglichen maximalen Ausprägung zu Grunde gelegt.

1. Wie erfolgt eine übergeordnete Definition der Strategien und Ziele des F&E-Netzwerkes sowie deren Abstimmung mit

den Einzelstrategien und -zielen der Netzwerkmitglieder? Qualitative Aussage: Die Formulierung von gemeinsamen Strategien und Zielen innerhalb des Forschungs- und Entwicklungsnetzwerkes wurde von den Praxispartnern immer wieder als essentiell dargestellt. Viele bisherige Kooperationen sind daran gescheitert, weil dieser Aspekt im Vorfeld nicht eindeutig festgelegt wurde (vgl. Wildemann 2008). Minimalausprägung: Strategien und Ziele des Netzwerkes werden weder übergeordnet definiert, noch mit den Netzwerkmitgliedern abgestimmt. Maximalausprägung: Bei der gemeinsamen Definition der übergeordneten Strategien und Ziele des F&E-Netzwerkes werden Leistungs- und Zeitziele berücksichtigt. Diese Definition erfolgt unter Berücksichtigung der Einzelstrategien und -ziele sämtlicher Netzwerkmitglieder.

2. Herrscht Transparenz bezüglich der Integration der einzelnen Netzwerkmitglieder in den Wertschöpfungsprozess des F&E-Netzwerkes? Qualitative Aussage: Der Aufbau eines Forschungs- und Entwicklungsnetzwerkes ist mit zusätzlichem Koordinationsaufwand und mit Komplexität verbunden. Um diesen Entwicklungen Rechnung zu tragen, muss innerhalb des Netzwerks Transparenz vorherrschen. Hierbei ist sicherzustellen, dass jederzeit eine Aussage darüber getroffen werden kann, wer in dem Netzwerk beteiligt ist, welche Rolle dem Mitglied zugesprochen wurde und welches Ziel dieses Mitglied verfolgt. Fer-

ner ist zu gewährleisten, dass alle beteiligten Netzwerkmitglieder das gemeinsame Netzwerkziel kennen und unterstützen (vgl. Wildemann 1999). Minimalausprägung: Die Integration der einzelnen Netzwerkmitglieder ist weder definiert noch transparent kommuniziert. Maximalausprägung: Allen Netzwerkmitgliedern sind bei Netzwerkbildung die Netzwerkstrategie sowie die einzelnen Rollen der Netzwerkmitglieder bekannt. Die Definition von Schnittstellen, die Steuerung und Organisation des Netzwerks sowie eine gemeinsame Definition von wettbewerbsrechtlichen Grenzen sind gewährleistet. Es werden schnittstellenbezogene Meetings in der jeweils benötigten Zusammensetzung und in der notwendigen Häufigkeit durchgeführt.

3. Ist eine bedarfsgerechte Wandlungsfähigkeit des F&E-Netzwerkes sichergestellt? Qualitative Aussage: Flexible, wandlungsfähige Netzwerke sind eine adäquate Reaktion der Unternehmen auf die zunehmende Instabilität der Unternehmensumwelt. Die Realisierung und die damit verbundene Erschließung unternehmensübergreifender Rationalisierungspotenziale erfordern jedoch flexible, an die organisationalen Veränderungen anpassungsfähige Netzwerkstrukturen. Besonders im Umfeld disruptiver Technologien sind neue Entwicklungen im Unternehmensumfeld jederzeit möglich, wonach sich Unternehmen anpassen müssen (vgl. Wildemann 2001). Minimalausprägung: Eine bedarfsgerechte Wandlungsfähigkeit wird nicht berück-

sichtigt. Maximalausprägung: Phasenspezifische Kriterien der Wandlungsfähigkeit sind definiert. Mit Hilfe von Ein- und Ausstiegsszenarien werden Rahmenbedingungen und Notwendigkeiten der Wandlungsfähigkeit untersucht. Unter Berücksichtigung neu entstehender Technologiefelder sowie der Stabilität des Netzwerks und dessen Mitglieder wird bestehendes regelmäßig in Frage gestellt und bei Bedarf strategisch und zielorientiert angepasst.

4. Erfolgt eine übergeordnete Ressourcen- und Kapazitätsplanung? Qualitative Aussage: Für den Erfolg von Entwicklungsnetzwerken sind die täglich benötigten Ressourcen- und Kapazitäten zur Produktentwicklung entscheidend. Damit der Fortschritt der Produktentwicklung nicht ins Stocken gerät ist im Netzwerk sicherzustellen, dass jedem Netzwerkmitglied ausreichend Ressourcen und Kapazitäten zur Verfügung stehen. Gewährleistet wird dies durch eine im Netzwerk abgestimmte Ressourcen- und Kapazitätenplanung (vgl. Wildemann 2000a). Minimalausprägung: Es findet keine übergeordnete Ressourcen- und Kapazitätsplanung statt. Maximalausprägung: Es erfolgt eine übergeordnete finanzielle, personelle, technologische sowie physische Ressourcen- und Kapazitätsplanung. Dezentrale Bestands- und Bedarfsanalysen werden zentral aggregiert und innerhalb des (Gesamt-)Netzwerks abgeglichen.

5. Findet eine ganzheitliche Netzwerksteuerung innerhalb eines Entwicklungsprojektes statt? Qualitative Aussage: Ähnlich wie in den innerbetrieblichen Abläufen ist auch für die Prozesse und Aktivitäten innerhalb des Netzwerks ein Steuerungsorgan zu definieren, welches die Einhaltung der im Netzwerk definierten Vereinbarungen überwacht und das Netzwerk ganzheitlich steuert. Darüber hinaus ist die Steuerung des Forschungs- und Entwicklungsprojekts auf die Anforderungen im Netzwerk auszurichten (vgl. Lutz 2008). Minimalausprägung: Es gibt keinen Verantwortlichen zur Steuerung des Netzwerkes, insbesondere der Koordination und dem Controlling. Maximalausprägung: Verantwortlichkeiten zur Steuerung des Netzwerkes sind bekannt. Es besteht ein sowohl dezentrales als auch zentrales phasenspezifisches Netzwerkcontrolling (Kosten, Zeit, Qualität auf Projekt- und Programmebene) zum regelmäßigen Kosten-Nutzen Abgleich. Dies sorgt für eine frühzeitige Erkennung von Chancen und Risiken sowie der Vermeidung von Zielabweichungen und Einhaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen.

In der Automobilbranche wird sich zunehmend die Zusammenarbeit mit den Zulieferern intensivieren (vgl. Schonert 2008). Am Beispiel Toyota zeigt sich, dass hierbei durch Vertrauen und Gegenseitigkeit im Netzwerk wesentliche Erfolge erzielt werden können. So hat sich Toyota im Zuge seiner Internationalisierung gegenüber nichtjapanischen Zulieferern geöffnet und es dabei

geschafft, die kooperative Art der Zusammenarbeit zu fördern. Toyota setzt dabei hohe Ansprüche an ihre Zulieferer, doch neben dem Aufzeigen von Zielen werden die Zulieferer in der Erreichung dieser Ziele unterstützt (vgl. Schuh 2008). Um diesen Entwicklungen Sorge zu tragen werden im Bewertungsbereich Netzwerkbeziehungen alle mikroperspektivischen Sachverhalte des Netzwerks sowie die Interaktionen im Netzwerk bewertet. In Abstimmung mit den beteiligten Praxispartnern wurden dabei die folgenden Bewertungskriterien festgelegt: Know-how-Schutz, Informations- und Kommunikationsfluss, Vertrauensgrad, Netzwerkreziprozität. Diesen einzelnen Kriterien wurde je eine Frage mit einer möglichen minimalen sowie maximalen Ausprägung zu Grunde gelegt.

6. Werden innerhalb des F&E-Netzwerkes Regelungen zum Schutz des „Know-hows" getroffen? Qualitative Aussage: Eine besondere Herausforderung in Forschungs- und Entwicklungsnetzwerken ist der Schutz des Know-hows. Durch das Eingehen von Entwicklungspartnerschaften entsteht ein Wissenstransfer zwischen den einzelnen Mitgliedern. Um diesen Herausforderungen entgegenzuwirken wird im Rahmen dieses Bewertungskriteriums hinterfragt, inwieweit die organisatorische Implementierung eines Geheimhaltungsbeauftragten oder eines Patentbeauftragten, der die Mitarbeiter bezüglich der Problematiken sensibilisiert und bei Fragen Hilfe leisten kann, erfolgt (vgl.

Wildemann 2004c). Darüber hinaus gilt es im Vorfeld bereits bei der Rollendefinition der Netzwerkmitglieder festzulegen, wem neue Patente, die aus dem Projekt heraus entstehen, zugesprochen werden. Minimalausprägung: Es werden keine Regelungen oder Absprachen bzgl. des Know-how-Schutzes getroffen. Maximalausprägung: Vertraglich festgelegte Schutzrechte bzw. Geheimhaltungsvereinbarungen sowie die einzelnen Rollen der Netzwerkmitglieder werden frühzeitig, umfänglich und eindeutig geregelt. Ferner gelten im Netzwerk entsprechende Vertragsstrafen. Geheimhaltungsbedürfnisse von wettbewerbswirksamen Technologien, der Zuspruch der jeweiligen IP-Rechte, sowie die Verlässlichkeit der Mitglieder werden besonders berücksichtigt.

7. Werden innerhalb des F&E-Netzwerkes Regelungen zum Informations- und Kommunikationsfluss getroffen? Qualitative Aussage: Im Umfeld von disruptiven Technologien ist eine schnelle Reaktionsfähigkeit und somit ein effizienter Informations- und Kommunikationsfluss beim Aufbau von Forschungs- und Entwicklungsnetzwerken zu berücksichtigen. Dabei gilt es einen Handlungsrahmen aufzustellen, der die relevante Information nach deren Wertig- und Dringlichkeit unterscheidet, um so ein effizientes Netzwerks realisieren zu können. Minimalausprägung: Innerhalb des F&E-Netzwerkes existieren keine Regelungen zum Informations- und Kommunikationsfluss. Maximal-

ausprägung: Innerhalb des F&E-Netzwerkes sind alle Voraussetzungen für einen reibungslosen Informations- und Kommunikationsfluss gegeben. Dabei wird jede Information gemäß ihrer Wertigkeit und Dringlichkeit entsprechend behandelt und weitergegeben. Verantwortlichkeiten für den Datenaustausch sind allen Netzwerkmitgliedern, unter anderem hinsichtlich Aktualisierung und Speicherung, bekannt.

8. Wie hoch ist der Grad des Vertrauens der Netzwerkmitglieder unter einander bzw. zur Organisation? Qualitative Aussage: Eine Zusammenarbeit mit externen Unternehmen im Bereich der Forschung- und Entwicklung erfordert ein hohes Maß an Vertrauen. Ohne dies sind die Vorteile der Entwicklungspartnerschaften nicht zu realisieren. Zwar können unternehmensgefährdende Wissensübergänge mit Hilfe von Know-how-Schutzmechanismen abgefangen werden, aber nie gänzlich vermieden werden. Ferner besteht die Gefahr von opportunistischem Verhalten innerhalb des Netzwerkes. Vor diesem Hintergrund ist eine vertrauensvolle Zusammenarbeit eine entscheidende Erfolgsgröße für einen positiven Ausgang des Forschungs- und Entwicklungsprojekts (vgl. Becker et al. 2011b).

Minimalausprägung: Der Vertrauensgrad der Netzwerkmitglieder ist sehr gering. Maximalausprägung: Durch Umsetzung geeigneter Richtlinien (LOI, Code of Conduct) sowie durch regelmäßige Absprachen wird Vertrauen im Netzwerk geschaffen

und gelebt. Gegen Opportunismus sind spezifische Sanktionen definiert um mögliche Konflikte vorzubeugen.

9. Spielt die Komponente „Gegenseitigkeit" in der Netzwerkbeziehung eine Rolle? Qualitative Aussage: Eine Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied. In diesem Zusammenhang sind auch Netzwerke zu sehen. In Forschungs- und Entwicklungsprojekten ist jedes Mitglied für den erfolgreichen Ausgang des Projekts beteiligt. Aus diesem Grund ist es daher von entscheidender Relevanz, dass alle Partner sich gemäß der im Voraus festgelegten Rollen im Netzwerk einbringen. Jede für den positiven Fortschritt des Entwicklungsprojekts relevante Information sollte zeitnah im Netzwerk kommuniziert und bearbeitet werden (vgl. Frerichs/ Wiemert 2002). Minimalausprägung: Im vorherrschenden Netzwerk arbeitet jedes Mitglied für sich selbst. Es gibt keinen bilateralen Austausch. Maximalausprägung: Im vorherrschenden Netzwerk werden vor allem die Synergien bzgl. Kosten-, Zeit-, Markt- und Ressourcenvorteile genutzt. Darüber hinaus gibt es eine einheitliche Standardrichtlinie zum Verhalten und zur Zusammenarbeit im F&E-Netzwerk.

Bis zum Aufnehmen der Arbeit in Entwicklungsnetzwerken ist es oft ein langer Weg. Oftmals sind hierbei umfangreiche und zeitaufwendige Vorbereitungen notwendig. Die Auswahl der Netzwerkmitglieder ist dabei der entscheidende Meilenstein für

den Erfolg von Kooperationen und sollte dementsprechend sorgfältig betrieben werden. In dieser Phase gilt es Netzwerkpartner zu finden, welche den Netzwerkzielen entsprechen oder sich für diese gewinnen lassen. Ferner sind diese Netzwerkpartner nach ihren Stärken so auszuwählen, dass die Defizite des federführenden Unternehmens und des Netzwerks kompensiert werden. Darüber hinaus gilt es, solche Partner auszuwählen, die unter anderem ein Maß an Kooperationsbereitschaft, -bewusstsein und -fähigkeit besitzen. Als Suchraster bei der Partnersuche dient ein Soll-Profil des idealen Kooperationspartners (vgl. Becker et al. 2011a). Der Bewertungsbereich Netzwerkmitglieder bewertet alle relevanten Themen, welche die einzelnen Netzwerkbeteiligten betreffen. Hierzu erfolgte in Abstimmung mit den beteiligten Praxispartnern eine Definition der folgenden Bewertungskriterien: Mitgliederauswahl, Entscheidungsfreiheit, Netzwerkerfahrung und Netzwerkrisiko. Diesen einzelnen Kriterien wurde je eine Frage mit einer möglichen minimalen sowie maximalen Ausprägung zu Grunde gelegt.

10. Erfolgt die Auswahl der Netzwerkmitglieder sowie deren individueller Relationen auf Basis einer bedarfsorientierten Analyse? Qualitative Aussage: Bei Entwicklungspartnerschaften kann der Kooperationsgegenstand und die damit verbundenen Interdependenzen auf die Funktionen und Einheiten jedes Netzwerkmitglieds beschränkt werden, bei denen hohe Synergievor-

teile zu erwarten sind. So zielt beispielsweise die Entwicklungspartnerschaft zwischen Volkswagen und Ford zur gemeinsamen Entwicklung und Produktion einer Großraumlimousine darauf ab, die Vorteile und Vorleistungen der jeweiligen Unternehmen bei der Entwicklung gemeinsam zu nutzen. Durch die unternehmensspezifische Gestaltung des Designs des Endprodukts behalten dabei beide Unternehmen die erforderliche Flexibilität, ihr Produkt am Markt positionieren und sich vom Wettbewerb differenzieren zu können (vgl. Wildemann 2000b). Minimalausprägung: Es erfolgt keine spezifische Bedarfsanalyse und keine wirtschaftliche Bewertung der Netzwerkmitglieder. Maximalausprägung: Jeder potenzielle Kooperationspartner entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Handelskette wird bedarfsgerecht sowie technologiespezifisch entsprechend seiner Rolle im Netzwerk ausgewählt und integriert. Interesse, Motivation, Leidenschaft, Know-how, Erfahrungswerte und Expertise sind dabei wichtige Bewertungskriterien für die personen- oder firmenbezogenen Mitgliedschaften im Netzwerk.

11. Werden den Netzwerkmitgliedern Freiräume im F&E-Netzwerk eingeräumt? Qualitative Aussage: Besonders im Bereich der Forschung- und Entwicklung hindern rigide Vorgaben und Standards den Innovationsprozess. Damit ein möglichst innovatives Forschungs- und Entwicklungsumfeld entstehen kann, gilt es den Netzwerkbeteiligten entsprechende Freiräume in ih-

ren Entscheidungen und Prozessen zu gewähren. Dazu müssen im Vorfeld die notwendigen System- und Gestaltungsgrenzen aufgezeigt werden und mit den jeweiligen Rollendefinitionen in Einklang gebracht werden (vgl. Czichowsky 2003). Minimalausprägung: Jedem Netzwerkmitglied wird konkret vorgegeben wie die Aufgaben erledigt werden. Maximalausprägung: Es existieren im Vorfeld definierte Rollen innerhalb derer Entscheidungsfreiheit herrscht. Darüber hinaus ist es erwünscht über die eigene Rolle hinweg sich im F&E-Netzwerk einzubringen. Eine kreative und innovative Netzwerkkultur unterstützen dies.

12. Auf welche Erfahrung / Historie geht die Zusammenarbeit mit den Netzwerkmitgliedern zurück? Qualitative Aussage: Eine weitere Erfolgsgröße, für einen positiven Verlauf des Entwicklungsprojekts, ist die Auswahl von Mitgliedern, die zum einen nicht nur die nötige Kompetenz sondern bereits Erfahrung mit dem Umgang von disruptiven Technologien haben. Einer empirischen Studie der Pharmaindustrie zur Folge sind Unternehmen, die bereits vor Beginn einer Entwicklungspartnerschaft über eine größere Erfahrung verfügen, in der Lage die Erfolgswahrscheinlichkeit dieser Partnerschaft positiv zu beeinflussen (vgl. Vogt 2008). Minimalausprägung: Langjährige, starre Netzwerke oder fehlende Netzwerkerfahrung haben negativen Einfluss auf den Netzwerkerfolg. Maximalausprägung: Die Zusammenarbeit

wird in regelmäßigen Abständen überprüft und verbessert. Bei disruptiven Entwicklungsprojekten wird die Kooperation mit neuen Netzwerkpartnern geprüft. Die Erkenntnisse der bisherigen Erfahrungen werden strategisch bei neuen Kooperationen genutzt.

13. Welche Rolle spielt die Risikodiversifikation bei der Auswahl der Netzwerkmitglieder? Qualitative Aussage: Eine erheblicher Vorteil von Netzwerken ist die Lastenverteilung von Unsicherheiten auf alle Netzwerkpartner. Dies bedeutet, dass ein Ausfall eines Netzwerkpartners von den anderen Partnern aufgefangen werden kann. Dabei gilt es allerdings auch sicherzustellen, dass die weggefallene Leistung auch von einem anderen Netzwerkpartner erbracht werden kann. Solche Szenarien sind im Vorfeld der Netzwerkbildung zu untersuchen und zu definieren. Demnach muss während des Projektablaufs auf eine Alternative, im Moment des Ausfalls eines Netzwerkpartners, zurückgegriffen werden können (vgl. Becker et al. 2011a). Minimalausprägung: Die Auswahl der Netzwerkmitglieder erfolgt ohne Berücksichtigung der Risikodiversifikation. Maximalausprägung: In Abhängigkeit der strategischen Bedeutung der entwickelten Technologie wird unter Berücksichtigung der Risikodiversifikation eine Mehrzahl an möglichen Kooperationspartnern identifiziert, bewertet und ausgewählt. Das Netzwerkrisiko ist logisch und sinnvoll verteilt in Abhängigkeit der wirtschaftli-

chen und strategischen Interessen der einzelnen Netzwerkpartner.

5.1.2 Wissensmanagement

Die Entwicklung von disruptiven Technologien ist abhängig von der Kreativität und den Ideen vieler Beteiligter. Die Erschließung neuer Märkte durch die Entwicklung von Produkten auf Basis disruptiver Technologien setzt die Generierung neuen Wissens voraus. Hierzu muss ein strategischer Lernprozess implementiert werden (vgl. Christensen/ Armstrong 1998). Ein strukturiertes Wissensmanagement kann diesen unterstützen (vgl. Carayannis/ Juneau 2003). Probst et al. (2012) unterscheiden acht Bausteine des Wissensmanagements, welche in einem Gesamtkonzept integriert sind und der Ableitung der Bewertungsfelder des Reifegradmodells dienen. Im Gesamtkonzept wird zwischen Kern- und Unterstützungsprozessen differenziert. Zu den Unterstützungsprozessen gehören die Bausteine Wissensziele und Wissensbewertung, welche strategische Funktionen erfüllen. Aufgrund des geringen direkten Einflusses auf den PEP werden diese nicht als Bewertungsbereiche des Reifegradmodells betrachtet. Abhängig vom Ziel eines Entwicklungsprojektes muss das vorhandene und notwendige Wissen identifiziert werden, um mögliche Wissenslücken aufzudecken. Um diese zu schließen, kann Wissen aus externen Quellen, z.B. von Kunden

oder Experten, erworben beziehungsweise durch unternehmensinterne Aktivitäten, z.B. F&E oder Marktforschung, entwickelt werden. Probst et al. (2012) unterscheiden die Bausteine Wissensidentifikation, Wissenserwerb und Wissensentwicklung (vgl. Probst et al. 2012). In dem zu entwickelnden Reifegradmodell werden diese Bausteine unter dem Begriff Wissenserwerb zusammengefasst.

1. Sind in Ihrem Unternehmen Anreizsysteme zur Förderung des Wissenserwerbs implementiert? Qualitative Aussage: Die Entwicklung disruptiver Technologien ist mit Ungewissheit durch das Aufbrechen alter Denkstrukturen und der Schaffung neuer Märkte verbunden. Es besteht die Notwendigkeit kontinuierlich neues Wissen aufzunehmen, um Fehlentwicklungen zu vermeiden (vgl. Christensen/ Armstrong 1998). Zur Unterstützung des Wissenserwerbs und der Überbrückung personenbezogener Barrieren gegenüber neuen Ideen müssen Anreize geschaffen werden, welche Mitarbeiter zum aktiven Wissenserwerb führen (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Es gibt keine Anreize für Mitarbeiter Wissen zu erwerben. Maximalausprägung: Es existiert eine unternehmensweite Strategie zum Umgang mit Anreizen für Mitarbeiter. Die entsprechenden Anreizsysteme gewährleisten Entscheidungsfreiräume wie für Mitarbeiter Anreize geschaffen werden können (z.B. kreatives Umfeld, Wertschätzung, Leidenschaft). Das Anreizsystem ist

auf die jeweilige, vorzugsweise innovative, Unternehmenskultur abgestimmt.

2. In welchem Umfang sind in Ihrem Unternehmen Maßnahmen zum formellen Erwerb von implizitem Wissen implementiert? Qualitative Aussage: Ein Großteil des Wissens eines Unternehmens ist in impliziter Form an Mitarbeiter gebunden. Es müssen Maßnahmen ergriffen werden, um Mitarbeitern die Möglichkeit des Wissenserwerbs von personenbezogenem Wissen zu ermöglichen (vgl. Schewe/ Nienaber 2011). Minimalausprägung: Es gibt keine Maßnahmen zum formellen Erwerb impliziten Wissens. Maximalausprägung: Durch regelmäßige Maßnahmen (z.B. Gruppensitzungen, Teamarbeit, Job-Rotation, Wikipedia für Firmen, interne Kurse) wird der Erwerb impliziten Wissens formalisiert und externalisiert, sodass internes Wissen in hohem Maße systematisch weitergegeben wird.

3. Nehmen Mitarbeiter regelmäßig an zielgerichteten internen und externen Weiterbildungen teil? Qualitative Aussage: Der zielgerichtete, personenbezogene Wissenserwerb sollte durch eine strategieorientierte Personalentwicklung unterstützt werden. Ein effizientes Weiterbildungsmanagement identifiziert und schließt Wissensbedarfe und fördert die Entwicklung von Innovationen (vgl. Fredersdorf/ Glasmacher 2010). Minimalausprägung: Es gibt keine gezielten Weiterbildungsmaßnahmen für Mitarbeiter. Maximalausprägung: Interne und externe Weiter-

bildungsmaßnahmen werden frühzeitig identifiziert und zielgerichtet eingesetzt. Sie führen dazu, dass Mitarbeiter phasen- und technologie-spezifisch befähigt werden mit disruptiven Technologien umzugehen.

4. Werden verschiedene Quellen zum Wissenserwerb genutzt? Qualitative Aussage: Zur Entwicklung innovativer Produkte ist eine breite Wissensbasis notwendig. Die ausschließlich interne Entwicklung dieses Wissens ist beschränkt möglich. Deshalb müssen Unternehmen verschiedene Quellen für den Erwerb des notwendigen Wissens nutzen (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Der Wissenserwerb erfolgt immer von der gleichen Quelle. Maximalausprägung: Es sind verschiedene, leicht zugängliche Systeme zum Wissenserwerb implementiert, die durch geeignete Technologien und Dokumente unterstützt werden. Dabei werden sowohl interne als auch externe Experten aus verschiedenen Fachbereichen und Branchen eingebunden (trans-industrieller Austausch).

5. In welchem Umfang werden Kreativitätstechniken genutzt? Qualitative Aussage: Kreativität ist eine wichtige Eigenschaft zur individuellen Entwicklung neuer Ideen. Das aus erfolgreichen Ideen resultierende Wissen kann zu Wettbewerbsvorteilen für ein Unternehmen führen. Der Einsatz von Kreativitätstechniken kann die Kreativität von Mitarbeitern fördern. Minimalausprägung: Nur einige Maßnahmen werden teilweise

durchgeführt. Maximalausprägung: Verschiedene Kreativitätstechniken werden regelmäßig zielgruppengerecht eingesetzt und fördern in hohem Maße den internen und externen Wissenserwerb.

Das generierte Wissen muss im Unternehmen verfügbar gemacht werden, um das individuelle Wissen zu erhöhen und die Wissensentwicklung zu fördern. Es ist wichtig, die Relevanz der Informationen für den Innovationsprozess zu bewerten und zielgerichtet bereitzustellen (vgl. Carayannis/ Juneau 2003). In diesem Fall wird zwischen der Wissensverteilung und -nutzung unterschieden. Die Wissensverteilung umfasst nach Probst et al. (2012) alle Aktivitäten zur Verbreitung des Wissens nach ökonomischen Prinzipien. Es werden Prozesse und Strategien definiert, welche den Umfang der Wissensverteilung und den Zugang zum Wissen festlegen. Die Wissensnutzung bezieht sich auf technische und organisatorische Aktivitäten, welche die Wissensverteilung unterstützen (vgl. Probst et al. 2012). Beide Bausteine werden im Folgenden in dem Bewertungsbereich Wissenstransfer zusammengefasst. Es soll beachtet werden, dass die Entwicklung disruptiver Technologien mit Unsicherheit verbunden ist, welche nicht durch ein vollständig geplantes und präzise gesteuertes Wissensmanagement ausgeglichen werden kann (vgl. Christensen/ Armstrong 1998).

6. Wird das Wissensmanagement durch eine geeignete Organisationsgestaltung unterstützt? Qualitative Aussage: Die Einführung des Wissensmanagements bedarf geeigneter Informationssysteme und muss effizient in die Organisation integriert werden. Es sind das Führungssystem, die Aufbau- und Ablauforganisation, die Unternehmenskultur, die Informationstechnik, das Personal und das Controlling zu beachten (vgl. Mertins et al. 2009). Minimalausprägung: Die Aufgaben des Wissensmanagement werden nicht geplant durchgeführt. Maximalausprägung: Es existiert eine unternehmensweite Wissensmanagementstrategie, die mit der übergeordneten Unternehmensstrategie abgestimmt ist. Das Wissensmanagement lebt durch eine kreative und innovative Unternehmenskultur und wird spezifische Organisationseinheit strategisch unterstützt. Darüber hinaus publiziert diese Organisationseinheit das Wissen strategisch sowie taktisch über bedarfsgerechte, individualisierte Informationskanäle, um Wissen allen Anspruchsgruppen zur Verfügung zu stellen.

7. Wird allen Mitarbeitern Wissen leicht zugänglich gemacht und erfolgt ein bedarfsgerechter abteilungsübergreifender Wissenstransfer? Qualitative Aussage: Um den Wissenstransfer zwischen Mitarbeitern sicherzustellen, ist es notwendig, dieses vom Individuum zu lösen und in geeigneter Form zu teilen. Ist das Wissen durch jeden Mitarbeiter frei zugänglich, ergeben

sich Effizienzvorteile, welche sich positiv auf die Geschwindigkeit und Qualität der Leistungserstellung auswirken (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Einzelne Mitarbeiter verfügen über ein Wissensmonopol, welches anderen Mitarbeitern nicht bedarfsgerecht zugänglich gemacht wird. Maximalausprägung: Notwendiges und fachspezifisches Wissen wird für alle Anspruchsgruppen leicht zugänglich und effizient gespeichert, wodurch ein abteilungsübergreifender Wissenstransfer gewährleistet ist. Wissenscluster sowie eine Wissensdatenbank unterstützen einen zielgruppengerechten Wissenstransfer der nach Dringlichkeit und Wichtigkeit der Information differenziert ist.

8. In welchem Umfang werden geeignete Technologien zum Wissenstransfer über große Entfernungen hinweg genutzt? Qualitative Aussage: Die zunehmende Virtualisierung von Unternehmen erfordert geeignete Informations- und Kommunikationstechnologien. Der effiziente Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien kann kollektive Arbeitsprozesse und das Teilen von Wissen unterstützen (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Es werden keine Informations- und Kommunikationstechnologien außer Telefon und E-Mail genutzt. Maximalausprägung: Der Wissenstransfer wird durch bedarfsgerechte Informations- und Kommunikationstechnologien unterstützt (z.B. virtuelle Teams, Open Innovation).

9. Existiert eine geregelte Einarbeitung neuer Mitarbeiter? Qualitative Aussage: Eine geregelte Einarbeitung von neuen Mitarbeitern dient zur Sozialisierung und Vermittlung des unternehmensspezifischen strategischen und kulturellen Basiswissens. Es wird ein grundlegender Wissenstand geschaffen, welcher durch weitere Personalentwicklungsmaßnahmen vertieft werden kann. Eine effiziente Leistungserbringung im Sinne der Unternehmensstrategie wird von Beginn an gewährleistet (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Die Einarbeitung neuer Mitarbeiter ist nicht geregelt. Maximalausprägung: Es existiert ein phasenspezifischer Einarbeitungsplan, welcher eine bedarfsgerechte, individuelle und zielorientierte Einarbeitung der Mitarbeiter gewährleistet. Zusätzlich wird die Einarbeitung durch Mentoren begleitet.

Der letzte Baustein ist die Wissensbewahrung. Das im Rahmen des PEP und anderen Aktivitäten entwickelte und erworbene Wissen muss langfristig im Unternehmen verankert werden, um Wettbewerbsvorteile zu sichern und Grundlagen zur neuen Wissensgenerierung zu schaffen (vgl. Probst et al. 2012).

10. Erfolgt eine Wissensbewahrung von fachlichen Netzwerken mit Hilfe von Wissensclustern? Qualitative Aussage: Das individuelle Gedächtnis kann eine begrenzte Menge an Informationen speichern. Die kollektive Wissensbewahrung erhöht die Produktivität von Projektteams und unterstützt dadurch die Ent-

wicklung von Innovationen (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Die Möglichkeiten von Wissens-clustern werden nicht genutzt. Maximalausprägung: Es existieren strategische Wissenscluster, um die Wissensbewahrung der fachlichen Netzwerke zu gewährleisten. Dabei werden die entsprechenden Personen mit dem notwendigen Wissen zusammen gebracht, sodass in jeder Phase der Produktentwicklung Informationen zu Kundennutzen und Qualität im notwendigen Umfang vorliegen. Die Bildung von Wissensclustern erfolgt sowohl bedarfs- als auch verbrauchsgesteuert.

11. Wie stark unterstützt Ihre innovationsfördernde Unternehmenskultur das Bewahren von Wissen? Qualitative Aussage: Zur Sicherung des individuellen Wissens müssen Anreize und Austrittsbarrieren geschaffen werden, welche sich in der Unternehmenskultur widerspiegeln. Dadurch kann verhindert werden, dass Wissensträger das Unternehmen verlassen (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Es gibt eine geringe Wertschätzung für Innovationen. Wenige Innovationen werden hervorgebracht und Wissen geht häufig verloren. Maximalausprägung: Die im Unternehmen vorherrschende Unternehmenskultur zeichnet sich vor allem durch Partizipation und Begeisterung, Identifikation mit den Unternehmenszielen, Kommunikation und Kreativität, Veränderungsbereitschaft, Weitsicht, Zielstre-

bigkeit und Ernsthaftigkeit, Akzeptanz und Zuverlässigkeit sowie Glaubwürdigkeit aus.

12. Geht durch kulturelle Einflüsse innerhalb des Unternehmens Wissen verloren? Qualitative Aussage: Viele Unternehmen sind durch eine interne Sprachkultur geprägt, welche sich beispielsweise in spezifischen Abkürzungen äußert. Zudem werden global agierende Unternehmen durch unterschiedliche Muttersprachen beeinflusst. Es ist darauf zu achten, Wissen in einer definierten, organisatorischen Sprache zu sichern (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Sprachbarrieren und kulturelle Besonderheiten führen dazu, dass Wissen im Unternehmen verloren geht. Maximalausprägung: Es gibt keinen Wissensverlust, der auf die kulturellen Einflüsse im Unternehmen zurückzuführen ist. Es herrscht ein offener Umgang mit Landessprachen und kulturellen Einflüssen. Im Bedarfsfall werden entsprechende Interpretationsmaßnahmen zentral gesteuert.

13. Trägt eine Dokumentation von Wissen zur Wissensbewahrung im Entwicklungsnetzwerk bei? Qualitative Aussage: Es muss ein strukturiertes, vernetztes, elektronisches Gedächtnis geschaffen werden, welches die Bewahrung des Wissens sicherstellt. Die Integration aller lokalen Rechner und die Festlegung mehrfacher Zugriffsrechte verhindert den Verlust individuellen Wissens (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Es gibt keine Verantwortlichkeiten für die Nachverfolgung und Doku-

mentation von Daten. Der Ausfall einzelner Mitarbeiter kann zum Scheitern von Entwicklungsprojekten führen. Maximalausprägung: Es gibt konkrete Stellvertreterregelungen, wodurch sich keine Mitarbeiter ein Wissensmonopol aneignen können. Eine stets durch Verantwortliche aktualisierte Wissensdatenbank unterstützt die Bewahrung von Wissen. Dieses Vorgehen ist im Unternehmen als Standardarbeitsanweisung etabliert.

14. In welchem Umfang sind Maßnahmen zur Bewahrung des individuellen Wissens eines Mitarbeiters implementiert? Qualitative Aussage: Einzelne Mitarbeiter oder ganze Projektteams bündeln einen Großteil des wettbewerbsrelevanten Wissens eines Unternehmens. Zur langfristigen Bewahrung und Zurverfügungstellung des Wissens ist es notwendig, dieses vom Individuum zu lösen und in geeigneter Form zu sichern (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Es sind keine Maßnahmen zum Schutz individuellen Wissens von Mitarbeitern vorhanden. Maximalausprägung: Es sind Maßnahmen implementiert, welche den individuellen Wissensverlust stets verhindern. Die Maßnahmen werden kontinuierlich bedarfsgerecht sowie strategisch überprüft und verbessert.

5.1.3 Organisation und Prozesse

Die Erforschung, Entwicklung, Herstellung und Markteinführung innovativer Produkte, die in bedeutendem Umfang disrup-

tive Technologien beinhalten, stimmen häufig nicht mit den Prozessen und Wertesystemen großer Organisationen überein. Vielfach scheiterten insbesondere Unternehmen, die Marktführer mit traditionellen Produkten sind, an den vielfachen und andersartigen Anforderungen dieser (vgl. Christensen/ Armstrong 1998). Die Gestaltung der Organisationsstruktur, einschließlich der Einführung neuer Prozesse kann helfen, disruptive Veränderungen in der Industrie frühzeitig zu erkennen und adäquat darauf zu reagieren. Die organisationalen Kompetenzen für die Entwicklung von disruptiven Technologien beinhalten Ressourcen, Prozesse und Werte, die in Innovationsprojekten getrennt voneinander bewertet werden sollen (vgl. Christensen 2011). Mit der Unterscheidung von formaler und informaler Organisation können vier Säulen der Organisation abgeleitet werden (vgl. Schreyögg 2012): Integration von Individuum und Organisation, Strukturierung von Aufgaben, Organisation und Umwelt und emergente Prozesse. Die Zusammenhänge zwischen der Organisation und der Umwelt werden im Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke (siehe Abschnitt 5.1.1) betrachtet. Die Strukturierung von Aufgaben unter Berücksichtigung der Organisationskultur wird dem Bewertungsfeld Aufbauorganisation zugeordnet (vgl. Petry 2013). Determinanten dieses Bewertungsfelds sind beispielsweise Stabilität und Flexibilität der Aufbauorganisation (vgl. Specht/ Schmelzer 1990). Folgende organisatorische

Verankerungsmöglichen werden durch Schuh und Klappert vorgeschlagen: Ein- oder Mehrlinienorganisation, Staborganisation, flexible Struktur/ Mitarbeiterpool, Gremien mit bereichsübergreifender Zusammenarbeit und Center als organisatorische Einheit (vgl. Schuh/ Klappert 2011).

1. Werden die Spezifika disruptiver Entwicklungsprojekte in der Organisation widergespiegelt? Qualitative Aussage: Organisationskulturen, Ressourcen und Prozesse entscheiden darüber, ob Unternehmen im Umfeld disruptiver Technologien erfolgreich sind (vgl. Christensen/ Armstrong 1998). Die Schaffung einer unabhängigen Organisationseinheit ist häufig der einzige Weg, um die Spezifika disruptiver Technologien in der Organisation widerzuspiegeln (vgl. Christensen 2011). In jedem Fall sollten disruptive Entwicklungsprojekte organisatorisch verankert sein. Minimalausprägung: Hinsichtlich der organisatorischen Verankerung erfahren disruptive Entwicklungsprojekte keine Unterscheidung zu inkrementellen Entwicklungsprojekten. Maximalausprägung: Disruptive Entwicklungsprojekte erfahren eine besondere Aufmerksamkeit und Rückendeckung des Managements. Sie besitzen eine Sonderstellung in der Aufbauorganisation durch die flexible Bildung von Taskforce, Stabstellen oder gar Ausgliederungen. Es besteht die Möglichkeit die eigenen Prozesse zu kannibalisieren (vgl. Adner/ Snow 2010).

2. Besteht eine Regelung zur Informationsbeschaffung, -verwendung und -diffusion? Qualitative Aussage: Die Ausgestaltung der Organisationskulturen, Ressourcen und Prozesse liefert Erkenntnisse darüber, ob ein Unternehmen im Umfeld disruptiver Technologien erfolgreich ist (vgl. Christensen/ Armstrong 1998). Zu den wichtigsten Prozessen in disruptiven Entwicklungsprojekten gehört neben der Koordination und Interaktion die Kommunikation (vgl. Christensen 2011). Minimalausprägung: Weisungsgebundene Kommunikation erfolgt gemäß der Stellenhierarchie (vgl. Meixner/ Haas 2012). Maximalausprägung: Offene, direkte sowie hierarchiegerechte und empfängerorientierte Kommunikation wird je nach Bedarf hierarchieübergreifend praktiziert. Entscheidungsprozesse sind bedarfsorientiert, d.h. flexibel und effizient gestaltet und erlauben adäquate Rückgriffe auf die Linie. Die Verantwortungsbereiche sowie Befugnisse sind definiert und bekannt.

3. Wird die Mitarbeiterzuweisung bei Entwicklungsprojekten bedarfsorientiert gestaltet? Qualitative Aussage: Entwicklungsprojekte von radikalen innovationen und disruptiven Technologien sind durch erhöhte Ergebnisunsicherheit, eingeschränkte Planbarkeit sowie Improvisationsbedarf gekennzeichnet. Daher ist es wichtig, stark heterogene Teams, Querdenker und Außenstehende einzubeziehen (vgl. Meyer 2012). Minimalausprägung: Die Mitarbeiterzuteilung erfolgt gemäß der Personalverfügbar-

keit. Maximalausprägung: Es findet ein Abgleich der projektspezifischen Kompetenz und Leistungsbedarfe mit einer unternehmensinternen Kompetenzmatrix statt. Aufbauend darauf erfolgt die Platzierung von Mitarbeitern in Abhängigkeit von der strategischen Projektrelevanz. Disruptive Entwicklungsprojekte besitzen Relevanz auf allen Entscheidungsebenen (vgl. Gaitanides/ Ackermann 2004).

4. Welchen Grad an Flexibilität lässt die bestehende Organisationsstruktur zu? Qualitative Aussage: Unbeweglichkeit führt regelmäßig zum Scheitern von Unternehmen im Umfeld disruptiver Technologien. Lethargische Unternehmen versuchen immer wieder bahnbrechende Ideen in starren Strukturen zu entwickeln. Jedoch steht Formalität in einem negativen Zusammenhang zu kreativem Handeln. Eine optimierte Organisationsstruktur wirkt sich negativ auf das Engagement kreativer Mitarbeiter aus (vgl. Meyer 2012). Minimalausprägung: Es gibt keine klare Organisationsstruktur und ungeklärte Verantwortlichkeiten. Maximalausprägung: Die Organisationsstruktur ist modular aufgebaut, Unter Berücksichtigung neu entstehender Technologiefelder wird bestehendes regelmäßig in Frage gestellt und bei Bedarf strategisch und zielorientiert angepasst. Kompetenzen können bedarfsgerecht zum jeweiligen Prozess hinzugefügt bzw. abgegeben werden. Eine kurzfristige Priorisierung unter Berück-

sichtigung der langfristigen Planung wird überprüft und bei Bedarf durchgeführt.

5. Findet eine kontinuierliche Make-or-buy Analyse der F&E-Prozesse statt? Qualitative Aussage: Eine Make-or-Buy-Entscheidung bei Produktkannibalisierung in disruptiven Entwicklungsprojekten sollte so gefällt werden, dass sich die Make-Entscheidungen auf die Kernkompetenzen des nicht zu kannibalisierenden Produktes konzentrieren und die Buy-Entscheidungen das zu kannibalisierende Produkt innerhalb eines Unternehmens betreffen. Minimalausprägung: Die F&E-Prozesse werden nicht hinsichtlich einer möglichen Fremdvergabe geprüft (vgl. Schwarz 2003). Maximalausprägung: Eine regelmäßige Analyse unter Berücksichtigung neu entstehender ggf. disruptiver Technologien gewährleistet stets korrekte Entscheidungen hinsichtlich einer möglichen Fremdvergabe der F&E-Prozesse. Das Unternehmen ist somit auf anstehende Veränderungen vorbereitet.

Als qualitätsrelevante Merkmale der Ablauforganisation werden der Prozessablauf der F&E, die Koordination und Kooperation mit anderen Abteilungen sowie die Standardisierung, Stabilität und Flexibilität identifiziert (vgl. Specht/ Schmelzer 1990). Insbesondere die mangelnde Flexibilität wird als Ursache für das Scheitern großer Unternehmen im Umfeld disruptiver Technologien erkannt (vgl. Meyer 2012). Christensen erläutert den

Zielkonflikt zwischen der Standardisierung und Flexibilität. Auf der einen Seite sind Unternehmen mit klar definierten Prozessen für konkrete Problemstellungen einfacher zu führen. Andererseits führt das Anwenden von Prozessen in gleichbleibender Weise auf lange Sicht zu einer Unbeweglichkeit (vgl. Christensen 2011). Dyer et. al haben die Erfolgsfaktoren von Unternehmen untersucht, die disruptive Technologien erfolgreich entwickeln. Sie fanden heraus, dass die Kombination der Prozesse Hinterfragen, Beobachten, Netzwerken, Brainstorming und Testen sich positiv auf die Entwicklung disruptiver Produktinnovationen auswirken (vgl. Dyer et al. 2013). Alle Prozesse der zielgerichteten Erstellung und Veränderung einer Sach- oder Dienstleistung durch logisch zusammenhängende Aktivitäten werden dem Bewertungsfeld der Ablauforganisation zugeordnet (vgl. Petry 2013).

6. Sind anspruchsgruppen-spezifische Zielsetzungen und deren Umsetzung definiert? Qualitative Aussage: Die Ziele der Reaktionsstrategie für disruptive Technologien sollten darin bestehen, Ressourcenallokationsprozesse zugunsten disruptiver Technologien zu gestalten, die Marketingstrategie anzupassen und das Angebot an den zukünftigen Markentwicklungen zu orientieren (vgl. Adner/ Snow 2010). Dazu müssen im Rahmen der Technologiestrategie die technologischen Ziele definiert werden (vgl. Orilski 2012). Minimalausprägung: Es sind keine

anspruchsgruppen-spezifische Zielsetzungen definiert. Maximalausprägung: Eine Vision und Mission sowie deren Zwischenziele werden im Unternehmen rechtzeitig und vollständig an alle Anspruchsgruppen kommuniziert. Die Ziele basieren auf Best-Practice-Ansätzen, die zur Umsetzung disruptiver Entwicklungsprojekte kritisch hinterfragt und bedarfsorientiert adaptiert werden können (vgl. Dyer et al. 2013).

7. Wie hoch ist die Transparenz innerhalb Ihrer Unternehmensprozesse? Qualitative Aussage: Mangelnde Transparenz von Unternehmensprozessen wird als Barriere für den Wissenstransfer beschrieben und kann eine Ursache sein, warum Produktinnovationen nicht erfolgreich entwickelt werden. Transparente Prozesse helfen, dass Sinn und Zweck von Handlungen für alle Beteiligten ersichtlich werden (vgl. Probst et al. 2012). Minimalausprägung: Prozesse sind den Prozesseignern und den direkten Mitarbeitern teilweise bekannt. Maximalausprägung: Die Prozesse, die dazugehörigen Arbeitsschritte sowie die notwendigen Rollen der Mitarbeiter sind jedem projektbeteiligten Mitarbeiter grundsätzlich bekannt und können mit der Vision und den Zielen des Unternehmens in Verbindung gebracht werden. Im Rahmen von disruptiven Entwicklungsprojekten wird dies gemeinsam kritisch analysiert und adaptiert (vgl. Christensen 2011).

8. In welchem Umfang sind Prozesse sowie zugehörige Arbeitspakte definiert? Qualitative Aussage: Eine Koordination von Arbeitspaketen ist notwendig, um eine zielbezogene Abstimmung zwischen Aktivitäten zur Bearbeitung von Teilaufgaben zu erreichen. Steuerung und Koordination von Aufgaben gehört zu den grundsätzlichen Anforderungen des Technologiemanagements. Es ist zu beachten, dass Unternehmen mit klar definierten Prozessen einfach zu führen sind, das Unternehmen wird jedoch unflexibel gegenüber Veränderungen (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Minimalausprägung: Es sind keine Prozesse definiert. Maximalausprägung: Alle notwendigen Aufgaben, Prozesse sowie deren Ziel und Zweck sind aufeinander abgestimmt. Der Reifegrad der Prozesse wird kontinuierlich optimiert und wächst mit dem Reifegrad des Unternehmens. Vor Projektbeginn erfolgt eine Validierung der Prozessbeschreibungen hinsichtlich ihrer Gültigkeit für das Entwicklungsobjekt (vgl. Christensen/ Eyring 2011). Im Zeitverlauf nimmt der Detaillierungsgrad der Prozessdefinition zu.

9. Können die projektbeteiligten Anspruchsgruppen flexibel agieren? Qualitative Aussage: Durch die formale Organisationsstruktur mit ihrem Regelsystem wird die Gestaltung des Handels der Organisationsmitglieder beeinflusst (vgl. Sydow/ Wirth 2014). Kreatives Handeln ist im Zusammenhang mit disruptiven Entwicklungsprojekten von besonderer Bedeutung (vgl. Meyer

2012). Unternehmen, die disruptive Technologien erfolgreich entwickeln, sind häufig dadurch gekennzeichnet, dass Prozesse bei Bedarf angepasst werden können (vgl. Dyer et al. 2013).

Minimalausprägung: Die Ziele, Abläufe und Vorgehensweise sind fixiert (vgl. Meyer 2012). Maximalausprägung: Alle Anspruchsgruppen können im Rahmen ihrer Kompetenzfelder und verfügbaren Ressourcen die Umsetzung notwendiger Aufgaben individuell auf das Entwicklungsobjekt anpassen und den Prozess verändern, um eine Verbesserung zu erzeugen.

Die Integration von Individuen und Organisationen mit den dazugehörigen Elementen wird in dem Bewertungsfeld Mitarbeiter & Führung zusammengefasst. Christensen identifiziert die Interaktion, Koordination und Kommunikation als wichtige Einflussfaktoren, die dem Bewertungsfeld Organisation und Führung zugeordnet werden können (vgl. Christensen 2011).

10. Wie hoch ist der Freiheitsgrad zur Entwicklung und Beteiligung von Mitarbeitern in Ihren Prozessen? Qualitative Aussage: Ein hoher Freiheitsgrad der Mitarbeiter in der Prozessgestaltung sowie die Beteiligung von Mitarbeitern sind wichtige Führungsmethoden, die zur Motivation von Mitarbeitern beitragen (vgl. Schreyögg 2012). Bei radikalen Innovationen und disruptiven Technologien sollten Teams unabhängig voneinander arbeiten und über eine höhere Entscheidungsbefugnis im Bezug zur Prozessgestaltung und -optimierung verfügen (vgl. Meyer

2012). Minimalausprägung: Mitarbeiter besitzen keine direkten Gestaltungsmöglichkeiten und –befugnisse (vgl. Meyer 2012). Maximalausprägung: Mit der Zielsetzung einer ganzheitlichen Verbesserung können Mitarbeiter Prozesse aktiv über ein definiertes Änderungswesen mitgestalten und Verbesserungsvorschläge einbringen, welche konsequent verfolgt werden. Dies wird bereits durch eine entsprechende Unternehmenskultur gefördert (vgl. Sydow/ Wirth 2014). Es werden sowohl vor- als auch nachgelagerte Prozesse und Anspruchsgruppen systematisch und umfänglich berücksichtigt bzw. integriert. Sogenannte „Querdenker“ sind erwünschte und gesuchte Teammitglieder (vgl. Meyer 2012).

11. Wird die Mitarbeitermotivation in Ihrem Unternehmen gefördert? Qualitative Aussage: Die Motivation von Mitarbeitern hängt von der Personalauswahl, dem Führungsstil und der Organisationsgestaltung ab (vgl. Schreyögg 2012). Motivationsfördernde Maßnahmen können Anreizsysteme, Qualifikationen oder Schulungsmaßnahmen sein (vgl. Spur 2013). Minimalausprägung: Es bestehen keine übergreifenden Maßnahmen zur Förderung der Mitarbeitermotivation. Maximalausprägung: Die Mitarbeitermotivation wird besonders durch eine kreative und vielseitige Unternehmenskultur gefördert (vgl. Christensen/ Armstrong 1998). Neben den unternehmensweit gelebten Unternehmenswerten und einer zielstrebigen Unternehmensvision

finden flexible Anreizsysteme Anwendung. Ideen und Vorschläge der Mitarbeiter werden konsequent unterstützt und verfolgt. Dem Mitarbeiter werden die nötigen Ressourcen zur Verfügung gestellt, um die Idee umzusetzen.

12. Werden Mitarbeiter gezielt im Methodenumgang zur Prozessoptimierung/ Organisationsentwicklung geschult? Qualitative Aussage: Die Prozessoptimierung verfolgt das Ziel die zulässige Handlungsalternative zu ermitteln, die ein vorgegebenes Ziel am besten erfüllt im Vergleich zu allen anderen Alternativen. Insbesondere in strategisch wichtigen Geschäftsbeziehungen sollten ausreichend viele Ressourcen zur Prozessoptimierung investiert werden (vgl. Vahrenkamp 2007). Eine solche Investition kann beispielsweise in Schulungsmaßnahmen getätigt werden. Schulungen zur Anwendung von Methoden des Innovationsmanagements gehören zu den Aufgaben des projektbezogenen Innovationscontrollings (vgl. Littkemann 2005). Minimalausprägung: Ausgewählte Mitarbeiter werden in Bedarfsfällen in der Anwendung von Optimierungsmaßnahmen geschult. Maximalausprägung: Alle prozessbeteiligten Mitarbeiter werden regelmäßig in der Anwendung von Optimierungsmaßnahmen geschult, um Optimierungspotenziale zu bearbeiten, welche die Mitarbeiter selbst entdecken (vgl. Spur 2013).

13. Wie erhalten Mitarbeiter Feedback über ihr eigenes Verhalten in bestimmten Situationen? Qualitative Aussage: Das

Feedback bezieht sich auf das Arbeitsverhalten und unterliegt einer kurzfristigen Betrachtung. Feedbacks sollten aus aktuellem Anlass erfolgen. Feedbackgespräche eignen sich in disruptiven Entwicklungsprojekten dazu, schädliches Verhalten zu identifizieren, Widerstände gegen Änderungen aufzulösen und die Angst vor Produktkannibalisierung zu reduzieren (vgl. Christensen/ Eyring 2011). Minimalausprägung: Die Mitarbeiter erhalten kein direktes Feedback bezüglich ihrer Arbeitsleistung (lediglich Zielerfüllung). Maximalausprägung: Ein konstruktives Feedback über negative wie auch positive Aspekte der Arbeitsleistung erfolgt situativ, unmissverständlich, regelmäßig und folgt einem institutionalisierten kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Darüber hinaus wird das Feedback mit den Anforderungen der jeweiligen (disruptiven) Technologie abgeglichen (vgl. Jäggi/ Züger 2011).

14. Wie wird der Erhalt und die Diffusion von Erfahrungswissen in der Organisation sichergestellt? Qualitative Aussage: Eine hohe Mitarbeiterfluktuationsrate kann zum Verlust von Erfahrungswissen führen. Maßnahmen zur Wissensbewahrung sind der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien, die gezielte Verbesserungen der Mitarbeiterkommunikation und die Identifikation wertvoller Wissensträger (vgl. Trojan 2003). Ein wichtiges Ziel des Human Resources-Managements ist es, Wissensträger langfristig an das Unternehmen zu binden.

Eine angemessene Arbeit, motivierende Führung sowie die Unternehmenskultur können sich positiv auf die Mitarbeiterbindung auswirken (vgl. Felfe 2008). Minimalausprägung: Es existieren keine definierten Maßnahmen zur Mitarbeiterbindung. Maximalausprägung: Unter Berücksichtigung der Personalabteilungen werden die Wünsche und Anforderungen der Mitarbeiter in regelmäßigen Personalgesprächen mit den Zielen und Anforderungen der Organisation abgeglichen. Dem Vorgesetzten stehen Maßnahmen zur Mitarbeiterbindung zur Verfügung (vgl. Felfe 2008).

5.1.4 Kundenorientierung

Werden auf der Grundlage einer disruptiven Technologie oder eines innovativen Geschäftsmodells Produkte oder Dienstleistungen entwickelt, so wird möglicherweise zunächst nur ein kleiner Teil von Kunden angesprochen (vgl. Klenner 2011). In diesem Kontext ist die Kundenorientierung ein wichtiger Faktor. Bereits innerhalb des Forschungs- und Entwicklungsprozesses ist die Kundenorientierung als ein Gestaltungsfeld mit definierten Bewertungskriterien zu berücksichtigen. Insbesondere große Unternehmen scheuen vielfach die Risiken, sich zu einem frühen Zeitpunkt bei sich abzeichnenden Durchbruchsinnovationen zu beteiligen oder eigenständig neue Produkte am Markt zu positionieren. Für die Entwicklung disruptiver Technologien ist

häufig eine Konzentration auf Nischenmärkte und spezialisierte Kundenerwartungen erforderlich. Neue Trends und Kundensegmente sind zu berücksichtigen (vgl. Govindarajan et al. 2011). Das Fehlen eines umfassenden, integrativen Konzepts zur Durchsetzung von Kundenorientierung im realen Unternehmenskontext kann in diesem Zusammenhang als wichtiger Faktor in den Fällen des Scheiterns von Neuprodukteinführungen mit disruptiven Technologien erkannt werden. Primäres Ziel der Kundenorientierung ist die Erfüllung des individuellen Kundenwunsches bzw. der Erwartungen der Kunden und nicht die Schaffung eines allgemeinen Wettbewerbsvorteils (vgl. Bruhn 2012). Die Entscheidungsträger eines Unternehmens sind zu befähigen, die Bedürfnisse der Kunden in der Alltagssituation zu verstehen und diesen gerecht zu werden (vgl. Fournier et al. 1998). Die Auswahl der Bewertungskriterien zur Kundenorientierung erfolgte in Anlehnung an Bruhn (2012). Es werden sechs Bausteine der Kundenorientierung unterschieden. Der Baustein Qualitätsmanagement bezieht sich insbesondere auf den kundenbezogenen Qualitätsbegriff, welcher das Voten von Kunden zur Bewertung und Einschätzung der Wichtigkeit von Produkteigenschaften beinhaltet (vgl. Bruhn 2012). Die Umsetzung von Servicestrategien beinhaltet die Antizipation potenzieller Probleme des Kunden und ein Anbieten konkreter Lösungen, um den Kundenwünschen zu entsprechen. Nach einer Kunden-

gewinnung, kann sich die Bindung an das Unternehmen in Abhängigkeit von der Kundenzufriedenheit oder –unzufriedenheit in gegenläufige Richtungen entwickeln. Die für den Kunden sichtbare Produktqualität, dass Servicemanagement und ein aktives Beschwerdemanagement sind die erforderlichen Aktivitäten zur Sicherung der Kundenzufriedenheit. Die drei Bausteine werden zusammengefasst zum Bewertungsfeld Kundenanforderungen.

1. Werden alle Anwendungsfelder der disruptiven Technologie identifiziert? Qualitative Aussage: Zum Zeitpunkt der Entwicklung disruptiver Technologien sind Anwendungsfelder und Märkte nicht bekannt. Es ergeben sich Probleme, Anwendungsfelder zu identifizieren, da die Mehrheit der Manager nur über Erfahrungen im Planen evolutionärer Technologien verfügen (vgl. Christensen/ Eyring 2011). Mobile Endgeräte und Machine-to-Machine-Technologien können beispielsweise im Anwendungsfeld Elektromobilität dazu beitragen, Elektrofahrzeuge über Carsharing-Konzepte auf Marktsegmenten zu etablieren, um potentielle zukünftige Kunden von der Alltagstauglichkeit der strombetriebenen Fahrzeuge zu überzeugen. Die Elektromobilität bietet neue Anwendungsfelder für viele weitere Industrien wie die Reifenindustrie, IT-Industrie oder Glasindustrie (vgl. Glanz/ Jung 2010). Minimalausprägung: Die Anwendungsfelder und die sich daraus ergebenen Kundenanforderungen werden

nicht analysiert. Maximalausprägung: Mögliche Anwendungsfelder der disruptiven Technologie werden systematisch analysiert und strukturiert (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Darauf aufbauend werden die Entwicklungsstrategie festgelegt und Methoden zur Kundenintegration gewählt.

2. Können durch verschiedene Methoden Kundenanforderungen in den F&E-Prozess integriert werden? Qualitative Aussage: Nicht immer stimmen Kundenanforderungen zum technologischen Fortschritt mit dem Entwicklungspfad der Technologie überein (vgl. Christensen/ Eyring 2011). Leistungsanforderungen, Kundenerwartungen, und Zielgruppenanforderungen sind bei technologischen Entwicklungen zu berücksichtigen (vgl. Regius 2006). Das Ziel ist es, ein Übererfüllen von Kundenwünschen zu vermeiden. Minimalausprägung: Kundenanforderungen werden vom Management definiert. Es erfolgt keine Anwendung von Methoden zur Aufnahme von Kundenanforderungen. Maximalausprägung: Die Kundenanforderungen aus Beschwerdemanagement, Kundenmanagement oder anderen Methoden, beispielsweise einer verhaltensspezifischen Bedarfsanalyse, werden sowohl den relevanten F&E-Anspruchsgruppen verfügbar gemacht als auch phasenspezifisch bereitgestellt.

3. Welches Problem möchte der Kunde lösen und wie kann das Produkt dazu beitragen? Qualitative Aussage: Um ein Übererfüllen von Kundenanforderungen zu vermeiden, ist es wichtig,

die zu erfüllende Aufgabe der disruptiven Technologie zu identifizieren. Anhand der zu erfüllenden Aufgabe sollten auch Marktsegmentierungen erfolgen. Christensen et al. empfehlen die Beantwortung der folgenden Fragen, um die zu erfüllende Aufgabe zu ermitteln: Wer sind die Zielkunden und welche Probleme haben sie? In welchen Situationen treten die Probleme auf? Welche Ziele verfolgen Sie mit der gestellten Aufgabe? Welche Barrieren stören bei der Lösung der Aufgabe? (vgl. Christensen et al. 2013) Beispielsweise hat BMW im Project i zunächst die Welt und das weltweite Mobilitätsverhalten untersucht. Die Analyse zeigte, welche Aufgaben das Elektromobil in Zukunft lösen muss („Freude am Stehen“, ressourcenschonende Produktion, Sicherheitsanforderungen). Aus den Erkenntnissen wurde das disruptive Mobilitätskonzept der Zukunft entwickelt (vgl. Schade et al. 2014). Minimalausprägung: Die Produktentwicklung orientiert sich am Erreichen technologischer Verbesserungen, was zur Nichterfüllung von Kundenwünschen führt. Maximalausprägung: Ausgangspunkt disruptiver Produktentwicklungen ist das Lösen von zukünftigen Kundenproblemen, das Aufzeigen neuer Möglichkeiten sowie die Analyse von Verhaltensänderungen der Kunden, unter Berücksichtigung möglicher neuer Geschäftsmodelle. Es erfolgt ein rechtzeitiger und stetiger Zielabgleich, um Kundenwünsche umfänglich zu erfül-

len und einen Mehrwert für den Kunden zu schaffen (vgl. Schneider 2012).

4. Können Erkenntnisse aus vergangenen Kundenanforderungen genutzt werden? Qualitative Aussage: In der Automobilbranche sind Kenntnisse über vergangene und aktuelle Kundenanforderungen in Hinblick auf Qualität und Zuverlässigkeit durch kontinuierliche Befragungen bekannt. Beispielsweise kann darauf aufbauend begründet werden, dass die unzureichende Infrastruktur sowie die geringe Leistungsfähigkeit und hohen Kosten der Batterie Hürden für den Markterfolg der Elektromobilität darstellen (vgl. Wildemann 2014k). Minimalausprägung: Es werden keine Erkenntnisse aus vergangenen Projekten genutzt. Maximalausprägung: Kundenanforderungen werden anhand von Analysen nach Produkt- und Technologieaspekten differenziert bewertet. Neben Erkenntnissen aus vergangenen Projekten werden besonders neue Trends untersucht sowie Szenarien entwickelt, die neue Anforderungspotentiale aufdecken (vgl. Schneider 2012).

5. Kann die Zahlungsbereitschaft der Zielkunden, insbesondere von Lead-Usern ermittelt werden? Qualitative Aussage: Für Geschäftsideen und Projektideen wird häufig ein Business Case erstellt, der Zahlen, Daten und Fakten beinhaltet. Der sogenannte Geschäftsplan wird als Grundlage für Investitionsentscheidungen unter Berücksichtigung der Innovationsstrategie genutzt

(vgl. Meyer 2012). Der Preis ist ein wichtiges Kaufentscheidungskriterium, der den Wechsel zu Produkten auf Basis disruptiver Technologien begründen kann. Es wird empfohlen die Zahlungsbereitschaft von Lead Usern in den Business Case aufzunehmen (vgl. Adner 2002). Minimalausprägung: Im Business Case wird die Zahlungsbereitschaft der Zielkunden und Lead-User nicht berücksichtigt. Maximalausprägung: Ein realistischer und an den Interessen des Kunden ausgerichteter Business Case wurde erstellt. Sobald eine umsetzungsfähige Idee zu einem konkreten Produkt feststeht, wird die Zahlungsbereitschaft der Kunden spezifischer thematisiert (vgl. Meyer 2012).

Die Bausteine Kundenwertmanagement und Innovationsmanagement bilden das zweite Bewertungsfeld, die Kundenintegration (vgl. Bruhn 2012). Das Kundenwertmanagement dient der Ermittlung und Analyse kundenindividueller Kundenwerte sowie der Planung, Umsetzung und Kontrolle einer kundenwertbezogenen Steuerung von Kundenbeziehungen mit dem Ziel eines effizienten Einsatzes von Marketinginstrumenten und einer optimalen Ausschöpfung von Kundenpotenzialen. Im Rahmen der Kundenorientierung sind auch Leistungen zu generieren, die latent vorhandene, jedoch noch nicht artikulierte Erwartungen des Kunden erfüllen. Aus der Kundenorientierung gewonnene Anforderungen werden durch das Innovationsmanagement erfasst und für die Definition von Leistungsangeboten sowie In-

teraktionsaspekten genutzt. Auf diesem Wege können Innovationspotenziale von Kunden in den Leistungs- bzw. Produktentwicklungsprozess einbezogen werden (vgl. Füller et al. 2009). Zwischen den Bausteinen der Kundenorientierung sind Überschneidungen möglich, die auch in die Bewertungsfelder eingehen.

6. Können die potenziellen Nutzer disruptiver Technologien identifiziert werden? Qualitative Aussage: Bei disruptiven und radikalen Technologien sind alle potentiellen Nutzer zu identifizieren. Es wird empfohlen, zukünftige Bedürfnisse, nicht wahrgenommene Probleme, Nutzungsbarrieren von Nichtkunden sowie den richtigen Zielmarkt zu berücksichtigen (vgl. Meyer 2012). Wenn Produktideen ohne Berücksichtigung bisheriger Kunden und Märkte entwickelt werden (Technology Push), ergibt sich die Möglichkeit, neue Märkte und Kunden zu erschließen. Disruptive Technologien etablieren sich häufig auf neuen Märkten (vgl. Orilski 2012). Minimalausprägung: Produkte werden nur an bisherigen Kunden getestet. Maximalausprägung: Die potenziellen Nutzer werden auf unterschiedliche Weise mit neuen Ideen konfrontiert (z.B. auf Messebesuchen, Events, Produkttests, Beteiligungen in der Entwicklung, Trendscouts) (vgl. Meyer 2012).

7. In welchem Umfang werden Kunden in Ihren Produktentwicklungsprozess integriert? Qualitative Aussage: Die Beteili-

gung des Kunden am Produktentwicklungsprozess disruptiver Technologien ist für den Hersteller kein Selbstzweck, sondern unterliegt ökonomischen Zielvorstellungen. Die Kundenintegration muss sich notwendigerweise auf die Kunden konzentrieren, die einen weiterführenden Input leisten und gewährleisten, dass die kommunizierten Problemlösungsbedarfe den tatsächlichen Marktanforderungen entsprechen (vgl. Wildemann 2004c). Eine Kundenintegration, die erst zu einem späteren Zeitpunkt im Produktentwicklungsprozess intensiviert wird, kann sich negativ auf die Zielerreichungsgrade auswirken. Das verfügbare Kundenwissen soll mit größtmöglicher Effizienz zum frühestmöglichen Zeitpunkt erschlossen werden, um Kostenvorteile im Produktentwicklungsprozess realisieren zu können (vgl. Wildemann 2004b). Minimalausprägung: Kunden werden nicht in den Produktentwicklungsprozess integriert. Maximalausprägung: Die strategische Integration von Kunden, insbesondere von Lead-Usern, erfolgt beim Start des Produktentwicklungsprozesses. Er wird auf das neue Produkt frühzeitig aufmerksam gemacht und in der Folge wird ein direkter bilateraler Austausch gepflegt (vgl. Trott 2001).

8. Erfolgt eine Integration verschiedener Kundensegmente in Abhängigkeit vom Wissensstand und anderen Kundeneigenschaften? Qualitative Aussage: Die Integration von Kunden kann nach deren Wissenstand, Motivation, Technologieorientie-

rung und Engagement sowie weiteren Kundeneigenschaften erfolgen (vgl. Hofbauer 2013). Der Kunde kann z.B. als ein reiner Informant angesehen werden. Er ist Informations- und Ideengeber aufgrund von Beobachtung und Befragung. Bringt der Kunde sich intellektuell und ressourcenseitig ein, wirkt er aktiv mit. Er trifft zusammen mit dem Hersteller Entscheidungen über zu realisierende Produktmerkmale. Bei dieser Form übernimmt der Kunde auch Entscheidung über die Ausgestaltung der Leistung (vgl. Hofbauer/ Hellwig 2012). Tritt ein Kunde als ein Innovator, als ein Lead User auf, wird er aktiv partizipieren. In diesem Fall übernimmt der Kunde Teilaufgaben in Form von eigenen Inputs, durch Übernahme von Teillösungen oder auch durch die eigenständige Ausführung von Aufgaben. Durch eigene Lösungsentwürfe wirkt der Kunde bei der Realisierung der Problemlösung mit (vgl. Hofbauer 2013). Zudem kann der Kunde als potenzieller Abnehmer an der Beurteilung der Erfolgsträchtigkeit und des Marktpotenzials beitragen (vgl. Hofbauer/ Hellwig 2012). Minimalausprägung: Es wird nicht auf Charakteristika des Kunden geachtet, bspw. dessen Wissensstand. Maximalausprägung: Es erfolgt eine phasen- und technologiespezifische sowie bedarfsorientierte Segmentierung von Kunden nach Anwendungs- und Fachwissen. Es wird auf die Kreativität, Motivation und das besondere Engagement der Kunden geachtet. Somit

ist eine Berücksichtigung verschiedener Wissensquellen gewährleistet (vgl. Völker et al. 2007).

9. Erfolgt die Integration der Kunden unter Berücksichtigung des individuellen Kundenwerts? Qualitative Aussage: Anhand einer Kundenbewertung muss sich die Bedeutung des Kunden für das Unternehmen sowohl in wirtschaftlicher Hinsicht als auch anhand seines Potenzials als Co-Entwickler im Umfeld disruptiver Technologien bemessen lassen (vgl. Wildemann 2004b). Aus Herstellersicht lassen sich unter dem Begriff Kundenwert alle wahrgenommenen Wertbeiträge eines Kunden zur Erreichung monetärer und nicht-monetärer Zielsetzungen subsumieren. Hierzu zählen auch die Beiträge als Co-Produzent und Informationslieferant (vgl. Cornelsen 2000). Minimalausprägung: Bei der Integration des Kunden wird der individuelle Kundenwert nicht berücksichtigt. Maximalausprägung: Bei der Integration der Kunden in den Produktentwicklungsprozess geht es vor allem um die frühzeitige Bindung des Kunden an das Unternehmen. Die Integration der Kunden erfolgt nach Image und Marktwert. Auch für das bisherige Geschäftsmodell werden ökonomisch weniger wertvolle Kunden angesprochen (z.B. indem kostenlose Testprodukte/Prototypen zur Verfügung gestellt werden) (vgl. Günter/ Helm 2012).

10. In welchem Umfang wird ein gezieltes Kundenmanagement in Ihrem Unternehmen eingesetzt? Qualitative Aussage:

Der Wettbewerb zwischen Klein- und Großunternehmen wird stärker und Kunden werden anspruchsvoller. Fragen, die ein Unternehmen täglich begleiten, um wettbewerbsfähig zu bleiben, sind z.B.: Was bevorzugen meine Kunden und zu welchem Zeitpunkt und wie soll ich meine Kunden ansprechen (vgl. Homburg/ Werner 1998). Ein gezieltes Kundenmanagement, insbesondere im Bereich disruptiver Innovationen wie der Elektromobilität, die von einigen Kunden noch als unausgereift eingestuft wird, führt zu deutlichen Wettbewerbsvorteilen und zu Einsparungen in Werbung und Vertriebsmaßnahmen. Der Einsatz von Kundenmanagementsystemen hilft Unternehmen mit der Analyse von Kundendaten, produktiver zu arbeiten, mehr Geschäfte abzuschließen sowie die Zufriedenheit und Loyalität ihrer Kunden zu steigern (vgl. Bruhn 2012). Minimalausprägung: Es gibt keinen Prozess zur Speicherung und Auswertung von Kundendaten. Maximalausprägung: Es gibt ein zentrales und strategisches Analysesystem, mit dem Kundenstrukturen aufgearbeitet werden können. Diese Daten werden analysiert und ausgewertet sowie den verantwortlichen Funktionsbereichen zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt (vgl. Götz et al. 2011).

Das dritte Bewertungsfeld umfasst den Kundennutzen. Der Kundennutzen beinhaltet die bereits vorgestellten Bausteine Innovationsmanagement sowie Qualitätsmanagement und wird um

den Baustein Kundenbindungsmanagement erweitert. Das Kundenbindungsmanagement intendiert die Pflege der Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen und Kunden (vgl. Bruhn 2013). Die drei Bewertungsfelder Kundenanforderungen, Kundenintegration und Kundennutzen sind nicht unabhängig voneinander, sie bedingen sich gegenseitig. Aus ihrer Ausgestaltung resultiert der Gesamtreifegrad der Kundenorientierung.

11. Erfolgt eine Überprüfung des maximalen Kundennutzens? Qualitative Aussage: Eine Überprüfung des maximalen Kundennutzens soll dazu beitragen, Fehlinterpretationen der Kundenbedürfnisse zu vermeiden und eine aus Kundensicht optimale Produktqualität sicher zu stellen, die sich in der Vielfalt von Produktfunktionalität, Design und Preis äußert. Ziel neben der Schaffung des maximal möglichen Kundennutzens ist eine gesicherte Wirtschaftlichkeit der Produktentwicklung für das Unternehmen (vgl. Menthe/ Sieg 2013). Minimalausprägung: Eine Überprüfung des maximalen Kundennutzens findet nicht statt. Maximalausprägung: Bei der Analyse des maximalen Kundennutzens werden neben den Forderungen des Kunden sowohl das Verhalten des Kunden als auch das Aufzeigen ihm bislang unbekannter Bedarfe berücksichtigt. Darüber hinaus wird dem Kunden vorgestellt, welche Möglichkeiten das jeweilige Produkt bietet und wie es dem Kunden konkret weiterhilft. Eine frühzei-

tige Integration der Erkenntnisse in die Funktionsumsetzung ist gewährleistet (vgl. Kroeber-Riel/ Gröppel-Klein 2013).

12. Werden Kunden anhand ihrer Zufriedenheit mit dem bisherigen Produkt segmentiert und in den Produktentwicklungsprozess integriert? Qualitative Aussage: Die Annahme, dass Kundenzufriedenheit gleich Kundenbindung bedeutet, ist ein Trugschluss. Untersuchungen zeigen, dass sich rund ein Drittel zufriedener Kunden illoyal verhält, also abwanderungsgefährdet sind. Die Gruppe der zufriedenen, aber illoyalen Kunden ist zwar rational, aber nicht emotional an ein Unternehmen gebunden und damit ständig abwanderungsbereit. Zufriedene Kunden zu haben, reicht also nicht aus (vgl. Bruhn 2013).Es gilt, Kunden durch geeignete Maßnahmen zu integrieren und zu binden sowie für die Produkte und Dienstleistungen eines Unternehmens zu begeistern, sie zu loyalen Kunden zu machen. Des Weiteren werden die loyalen zufriedenen Kunden, unzufriedene durch Zwänge gebundene Kunden sowie unzufriedene nicht gebundene Kunden segmentiert und teilweise in den Produktentwicklungsprozess integriert, um auf die Kundenwünsche frühestmöglich eingehen zu können und in dem weiteren Produktentwicklungsprozess zu berücksichtigen (vgl. Stock-Homburg 2011). Mit einem optimalen Beschwerdemanagement von unzufriedenen Kunden können beispielsweise nicht nur unmittelbare Probleme des Kunden gelöst werden, sondern auch die Kunden-

bindung erhöht sowie Ideen zur Produktoptimierung abgeleitet werden, z.B. die Verbesserung der Ladezeiten von E-Autos. Minimalausprägung: Es erfolgt keine Kundensegmentierung nach Zufriedenheit bei der Integration von Kunden in den Produktentwicklungsprozess. Maximalausprägung: Es erfolgt eine systematische Segmentierung der Kunden nach ihrer Zufriedenheit am bisherigen Produkt und dessen Funktionserfüllung. Diese Erkenntnisse und Werte werden auf neue Technologien und Produkte übertragen. Auf dieser Basis werden Verbesserungen am Produkt unter Berücksichtigung des maximalen Kundennutzens vorgenommen (vgl. Stock-Homburg 2011).

13. Gibt es Anreize für Kunden, in der Produktentwicklung mitzuwirken? Qualitative Aussage: Anreize für die Mitwirkung und Kooperationsbereitschaft der Kunden in disruptiven Entwicklungsprojekten können durch Kostenerstattung, Aufwandsentschädigungen und direkte Einflussmöglichkeiten auf die Produktentwicklung gesetzt werden. Monetäre und nicht monetäre Anreize, wie Belohnungen und Anerkennungen spielen eine ebenso wichtige Rolle wie die Gestaltung der Anwendungen in einer Form, deren Nutzung den Kunden Freude bereitet (vgl. Gelbrich/Souren 2009). Der Kunde sieht sich eher in der Rolle eines kontinuierlichen Entwicklungspartners, der für seine eingebrachten Leistungen auch finanziell entlohnt werden will. Weitere Gründe, die innovative Anwender veranlasst, ihre Ideen

und Innovationen freiwillig mit anderen Unternehmen zu teilen und frei zugänglich zu machen, sind (vgl. Harhoff et al. 2003): der Innovator stellt Herstellern seine Innovation zur Verfügung, um Weiterentwicklung der Innovation voranzutreiben, Innovationen frei zugänglich zu machen, erhöht die Chance, einen Produktstandard zu etablieren. Reputationseffekte können erzielt werden und die Weitergabe von Innovationen wird durch niedrige Einstiegsbarrieren begünstigt. Minimalausprägung: Es gibt verschiedene monetäre Anreizsysteme die dazu führen, dass auch wenig motivierte Kunden an der Produktentwicklung mitwirken (vgl. Krieger 2005). Maximalausprägung: Es werden keine Anreize zur Mitwirkung des Kunden im Produktentwicklungsprozess gesetzt. Die Technologie selbst ist der Anreiz für Lead User, sich an der Produktentwicklung zu beteiligen. Der Lead-User ist auf Grund seines großen Eigeninteresses an der Nutzung der Technologie bereit auch dafür zu bezahlen (vgl. Martensen/ Dahlgaard 2009).

14. Können Indikatoren zur Eruierung des Kundennutzens herangezogen werden? Qualitative Aussage: Die Erfolgsquote von neuen Produkten und Dienstleistungen lässt sich nur durch eine konsequente Orientierung am Kundennutzen steigern. Der Kundennutzen treibt die Kaufentscheidung und ist eine Stellschraube für den Innovationserfolg und stellt das subjektive Preis-/Leistungsverhältnis aus Sicht der Kunden dar. Je höher

der angebotene Kundennutzen, desto größer sind die damit verbundenen Marktanteile und Umsatzgewinne (vgl. Menthe/ Sieg 2013). Minimalausprägung: Es werden keine Indikatoren zur Ermittlung des Kundennutzens herangezogen. Maximalausprägung: Es ist eine Liste mit phasen- und technologiespezifischen Indikatoren vorhanden, die den Nutzen der neuen Problemlösung anzeigt und kontinuierlich auf Richtigkeit überprüft wird. Die daraus resultierenden Ergebnisse fließen systematisch sowie ziel- und bedarfsgerecht in den weiteren Produktentwicklungsprozess ein, um den Kundennutzen zu maximieren.

5.1.5 Technologiemanagement

Um disruptive Technologien wie z.B. Elektromobilität erfolgreich zu entwickeln, ist ein adäquates Technologiemanagement erforderlich. Im Kontext einer Unternehmung ist der Begriff Technologiemanagement im Sinne eines Managements zur Gewinnung und Weiterentwicklung von Wissen und Fähigkeiten zu verstehen, das der Lösung praktischer Probleme dienen soll (vgl. Specht 1992). Es wird zwischen folgenden vier Aufgaben des Technologiemanagements unterschieden (vgl. Specht/ Mieke 2006): Technologieanalyse und –bewertung, Technologiestrategieentwicklung, Technologiestrategieumsetzung, Technologiecontrolling. Die Technologiefrühaufklärung, auch strategische Frühaufklärung oder Technologiefrüherkennung genannt,

steht am Anfang des Technologiemanagementprozesses und ist Bestandteil der strategischen Technologieplanung (vgl. Specht et al. 2009). Christensen betont, dass disruptive Technologien oft aus der Verknüpfung bestehender Technologien in neuen Produkten entstanden, weshalb die Technologiefrühaufklärung nicht im klassischen Sinn greift (vgl. Christensen/ Armstrong 1998). Schneider empfiehlt eine Kombination aus der strategischen Frühaufklärung und Szenariotechnik, um schwache Signale frühzeitig zu erkennen (vgl. Schneider 2012).

1. Werden Technologieprognosen durchgeführt? Qualitative Aussage: Im Rahmen des strategischen Innovationsmanagements sind neben der technologieorientierten Unternehmens- und Portfolioanalyse Methoden der Technologieprognose wichtige Werkzeuge, um die richtige Technologie, zur richtigen Zeit, in der gewünschten Qualität zu entwickeln. Beispiele hierfür sind die Szenarioanalyse, Delphi-Studien oder Scanning, die zur Erfassung schwacher Signale und zur Identifikation von Technologien mit disruptivem Innovationspotential dienen (vgl. Schneider 2012). Minimalausprägung: Es werden keine Technologieprognosen durchgeführt. Maximalausprägung: Es erfolgt ein zielorientiertes, branchenübergreifendes Technologiescouting welches, das den Markt im Hinblick auf mögliche, ggfs. auch disruptive Entwicklungen sowie deren Potenziale analysiert und das Unternehmen entsprechend vorbereitet (vgl.

Schneider 2012). Für diese Aufgabe wird unter anderem die Verfügbarkeit neuer Roh- und Werkstoffe sowie deren bedarfsgerechter Einsatz regelmäßig überprüft (vgl. Dyckhoff 2006).

2. Werden verschiedene Planungsebenen des Technologiemanagements (operativ, taktisch, strategisch) synchronisiert? Qualitative Aussage: Je nachdem, welchen Zeithorizont Planungen beinhalten, wird zwischen dem operativen, taktischen und strategischen Technologiemanagement unterschieden. Die Operationalisierung der Technologiestrategie erfolgt in der Technologieplanung, in der Entscheidungen in Hinblick auf die zukünftige technische Ausrichtung des Unternehmens getroffen werden (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Minimalausprägung: Das Technologiemanagement wird nicht auf verschiedenen Planungsebenen und in Abstimmung mit verschiedenen Abteilungen durchgeführt. Maximalausprägung: Methoden zur Abstimmung der einzelnen Planungsebenen und der am Produktentwicklungsprozess beteiligten Abteilungen sind erfolgreich implementiert (vgl. Feldmann 2007). Diese werden im weiteren Verlauf in die operativen Prozesse überführt und angewendet sowie regelmäßig überprüft (vgl. Schuh/ Klappert 2011).

3. Wird eine Produktportfolioanalyse durchgeführt? Qualitative Aussage: Die Produktportfolioanalyse liefert Erkenntnisse über die aktuellen wirtschaftlichen Kennzahlen der angebotenen Produkte der Unternehmen am Markt. Im Umfeld disruptiver

Technologien, wie der Elektromobilität, werden die Ergebnisse aus der Produktportfolioanalyse auf Akzeptanz am Markt untersucht und Handlungsempfehlungen sowie Entscheidungen für die weiteren Investitionsentscheidungen in Produkte abgeleitet und getroffen. Minimalausprägung: Es erfolgt keine Produktportfolioanalyse. Maximalausprägung: Das Marktwachstum, der Marktanteil und das Marktsegment werden produktspezifisch im Rahmen eines Szenarios regelmäßig analysiert (vgl. Srivastava/ Gnyawali 2011). Die Daten werden bei Investitions- und Desinvestitionsentscheidungen berücksichtigt (vgl. Christensen 2011).

4. Analysieren Sie den Produktlebenszyklus Ihrer Produkte? Qualitative Aussage: Das Übererfüllen von Kundenwünschen wird als Ursache für den Wechsel von einem Produktlebenszyklus zum nächsten gesehen, begleitet durch die Einführung disruptiver Technologien. Daher ist die Beobachtung des Produktlebenszyklus wichtig, um den Bedarf an Neuerungen frühzeitig zu identifizieren (vgl. Christensen/ Armstrong 1998). Minimalausprägung: Der Produktlebenszyklus wird nicht analysiert. Maximalausprägung: Der Produktlebenszyklus wird regelmäßig für alle aktuellen Produkte, unter Berücksichtigung neuer bzw. entstehender Technologien, analysiert, sodass alle Produkte sowohl zur richtigen Zeit eingeführt als auch vom Markt genommen werden können (vgl. Wong/ Ellis 2007).

5. Analysieren Sie den technischen Reifegrad in Ihrer Branche? Qualitative Aussage: Ein technischer Reifegrad beschreibt die technologieorientierte Reife von Projekten, Prozessen, Methoden und Geschäftsmodellen eines Unternehmens. Innerhalb eines disruptiven Entwicklungsprojektes erfolgt die Messung und Beurteilung eines technischen Reifegrades innerhalb eines Produktentwicklungsprozesses, um den technologischen Fortschritt der Produkte zu bestimmen und mit dem Markt- und Kundenanforderungen zu vergleichen sowie flexibel an sich ändernde Anforderungen anzupassen. Minimalausprägung: Ein technischer Reifegrad wird nicht analysiert. Maximalausprägung: Es existiert eine zukunftsorientierte Technologiestrategie. Der technische Reifegrad wird branchenübergreifend mit Bezug auf Veränderungen in der Wettbewerbsstruktur regelmäßig analysiert. Auf dieser Basis werden Entwicklungspotenziale für disruptive Technologien aufgedeckt.

Eine wichtige Aufgabe, die das zweite Bewertungsfeld beinhaltet und regelmäßig im Kontext der Technologiestrategieentwicklung durchgeführt wird, ist die Technologiebewertung. Sie beinhaltet die Auswahl, Anwendung und Beherrschung verschiedener Bewertungsansätze für jeweilige Entscheidungssituationen (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Die Technologieanalyse und –bewertung werden von vielen Autoren zusammengefasst, sollen im Rahmen dieses Forschungsprojekts allerdings getrennt be-

trachtet werden, um der großen Bedeutung dieser Aktivitäten des Technologiemanagements gerecht zu werden (vgl. Rezagholi 2004). Nach Schneider soll die Analyse und Relevanzbeurteilung disruptiver Technologien auch die Auswirkungen auf das Geschäftsmodell umfassen, um anschließend adäquate Reaktionsstrategien zu formulieren (vgl. Schneider 2012).

6. Wird das technologische Potenzial der disruptiven Technologie bewertet? Qualitative Aussage: Die Technologiebewertung ist eine wichtige Aktivität im Rahmen des Technologiemanagements. Sie ermöglicht eine adäquate Auswahl, Anwendung und Beherrschung verschiedener Bewertungsansätze für Entscheidungssituationen. Im Umfeld disruptiver Technologien ist es notwendig, den gesamten Produktlebenszyklus zu bewerten und die Kosten sowie den Nutzen der Technologien zu berücksichtigen (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Minimalausprägung: Das technologische Potenzial wird nicht bewertet. Maximalausprägung: Prozesse zur Bewertung des technologischen Potentials neuer, gegebenenfalls disruptiver Technologien sind definiert, implementiert und werden spezifisch angepasst (vgl. Denkena et al. 2009).

7. Analysieren Sie mögliche Verbesserungen der Kosten-Leistungs-Relationen? Qualitative Aussage: Im Rahmen des Innovations- und Technologiemanagements sind verschiedene technologische Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Um bei der

Technologiebewertung die Weiterentwicklung von Produkten und Produktionsverfahren einschätzen zu können, sind mögliche Verbesserungen der Kosten-Leistungs-Relationen heranzuziehen (vgl. Schwarz 2003). Die Kostenstruktur des Wertesystems kann einen großen Einfluss auf die Bewertung von Innovationen haben. Solche Wertesysteme sind häufig ein Grund für das Scheitern von großen Unternehmen bei der Entwicklung disruptiver Technologien (vgl. Christensen 2011). Im Project i von BMW wurde beispielsweise kurzfristig weniger Wert auf die Kosten der Produktion gelegt, als auf die Nachhaltigkeit in der Produktion. Produktionsverfahren und Einsatzstoffe (insbesondere Karbonfasern), sind vergleichsweise teuer, führen jedoch zu einer Nutzensteigerung (vgl. Schade et al. 2014). Minimalausprägung: Kosten-Leistungs-Relationen sind ungenau und fehlerbehaftet. Maximalausprägung: Kosten-Leistungs-Relationen werden präzise analysiert und entsprechen den Anforderungen des Technologieeinsatzes in der jeweiligen Phase der Produktentwicklung (vgl. Bartelt 2002). Auf dieser Basis werden Potentiale für Kostenersparnisse identifiziert und gehoben.

8. Analysieren Sie die technologische Position Ihres Unternehmens? Qualitative Aussage: Bei der Entwicklung der Technologiestrategie ist es erforderlich, die technologische Position im Vergleich zu Wettbewerbern zu bestimmen. Eine weit verbreitete Methode liefert die Produkt-Markt-Matrix. Die Ergeb-

nisse der technologieorientierten Unternehmensanalyse und der Portfolioanalyse können in einer Stärken-Schwächen-Analyse zusammengeführt werden (vgl. Schwarz 2003). Minimalausprägung: Es erfolgt keine Analyse der technologischen Position. Maximalausprägung: Das Unternehmen verfolgt eine Technologiestrategie, welche eine kontinuierliche Analyse der technologischen Position vorsieht, wodurch Stärken und Schwächen gegenüber Wettbewerbern aufgedeckt und genutzt werden. Auf dieser Basis werden, unter Berücksichtigung des Technologiescoutings, zielorientierte Maßnahmen zur Verbesserung der technologischen Position eingeleitet (vgl. Specht/ Mieke 2006).

9. Wird die Nutzenerfüllung der (insbesondere disruptiven) Technologien berücksichtigt? Qualitative Aussage: Wertesysteme von Unternehmen bestimmen das zu lösende Kundenproblem durch Produkte und Preise und beeinflussen die Entscheidung der Ressourcenzuteilung zugunsten disruptiver Entwicklungsprojekte. Häufig machen große Unternehmen den Fehler, den Kundennutzen nach einem Standardverfahren an aktuellen Kunden zu prüfen. Da disruptive Technologien häufig auf neuen Märkten entstehen, ist es wichtig, den Kundennutzen ebenso wie die Kosten für neue Kunden zu berücksichtigen (vgl. Christensen 2011). Bereits heute verfolgen viele Zulieferer aus der Automobilbranche das Ziel, sich an Kundenwünschen zu orientieren und Qualitätsführer zu werden (vgl. Rennhak 2009). Mini-

malausprägung: Die Nutzenerfüllung von (insbesondere disruptiven) Technologien wird nicht berücksichtigt, lediglich die Kosten. Maximalausprägung: Die Nutzenerfüllung erfolgt frühzeitig und mit Weitsicht. Es wird sowohl der direkte Nutzen durch Leistungssteigerung als auch der indirekte Nutzen durch die Qualitätsänderung bei (insbesondere disruptiver)Technologien berechnet, analysiert und realisiert (vgl. Denkena et al. 2009).

10. Inwieweit analysieren Sie die (insbesondere disruptive) Technologien hinsichtlich der Energie- und Ressourceneffizienz? Qualitative Aussage: Energie- und Ressourceneffizienz wird als potentieller Nutzen aus einer disruptiven Technologieentwicklung beschrieben und sollte im Rahmen von Kosten-Nutzen-Analysen berücksichtigt werden (vgl. Denkena et al. 2009). Im Rahmen eines Forschungsprojekts des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wurden die Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte der Elektromobilität untersucht. Ein hoher Materialbedarf besteht bei den Seltenen Erden, Gallium, Lithium und Kobalt. Folglich sollte die Ressourceneffizienz dieser kritisch eingestuften Ressourcen verbessert werden. Gleichzeitig wird ein Innovationsszenario entwickelt und g efordert, dass Maßnahmen für eine reduzierte Umweltbelastung mit großer Energieeffizienz entstehen (vgl. Schüler/ Buchert 2011). Minimalausprägung: Die

Energie- und Ressourceneffizienz werden nicht berücksichtigt. Maximalausprägung: Der Nutzen erhöhter Energie- und Ressourceneffizienz von (insbesondere disruptiven) Technologien wird frühzeitig berechnet und analysiert. Im Bedarfsfall werden phasen- und technologiespezifische Maßnahmen / Änderungen zur Effizienzsteigerung eingeleitet (vgl. Denkena et al. 2009).

11. In welchem Umfang wird bereits in der Produktentwicklung das Thema Recycling berücksichtigt? Qualitative Aussage: Der Recyclingzyklus von Technologien gehört neben dem Vorbereitungs-, Entstehungs- und Marktzyklus zu den wichtigen Bereichen der F&E (vgl. Schmeisser 2006). Wirtschaftliche Recyclinglösungen sowie eine aktive Rohstoffpolitik erbringen einen wichtigen Beitrag zur langfristigen Verfügbarkeit wichtiger Rohstoffe und sind in der Elektromobilität insbesondere bei Akkumulatoren von besonderer Bedeutung (vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2011). Die Sicherstellung der mittel- und langfristigen Ressourcenverfügbarkeit erfordert ein umweltgerechtes und effizientes Recycling. Die globalen Recyclingquoten für die wichtigen Ressourcen der Elektromobilität werden Studien zufolge zwischen 60 und 80 Prozent ab 2020 liegen. Insbesondere die Rückgewinnung von Gallium, Germanium, Indium und Seltenen Erden-Elemente sind ohne zusätzlichen prozesstechnischen Aufwand schwierig und wirtschaftlich nicht sinnvoll (vgl. Schüler/ Buchert 2011). Minimalausprä-

gung: Auf das Thema Recycling wird im Entwicklungsprozess nicht eingegangen. Maximalausprägung: Bereits bei der Produktentwicklung werden auf entsprechende Kriterien des Recycling und Umweltschutz geachtet (vgl. Schade et al. 2014). Eine vorausschauende und strategische Produktionsplanung berücksichtigt eine sortenreine Zerlegung bzw. Wiederverwertbarkeit des Produkts am Ende des Produktlebenszyklus.

Aufbauend auf der Identifikation von Technologiepotenzialen kann eine Technologiestrategie entwickelt werden, die das Realisieren der strategischen Unternehmensziele unterstützt (vgl. Wolfrum 1994). Die Technologiestrategie bildet das dritte Bewertungsfeld im Gestaltungsfeld Technologiemanagement. Adner und Zemsky zufolge ist es auch für Marktführer wichtig, disruptive Technologien in ihrer Strategie zu berücksichtigen, auch wenn diese zunächst nur für Nischenmärkte interessant sind. In Abhängigkeit von den Ergebnissen der Technologiebewertung sollen Marktführer trotz geringerer Anreize, in einen zunächst kleinen Markt einzutreten, disruptive Technologien in ihrer Strategie berücksichtigen (vgl. Adner/ Zemsky 2005).

12. Inwieweit ist die Innovationsstrategie auf disruptive Entwicklungsprojekte ausgerichtet? Qualitative Aussage: Zahlen, Daten und Fakten sind die Grundlage jeder Innovationsstrategie (vgl. Meyer 2012). Disruptive Entwicklungsprojekte sind jedoch durch größere Unsicherheiten charakterisiert. Zur Entwicklung

einer adäquaten Innovationsstrategie für disruptive Technologien empfehlen Ekekwe und Islam (2012) ein vierstufiges Vorgehen bestehend aus der Exploration, der Bewertung, Strategieformulierung und Aktivitätenplanung (vgl. Ekekwe/ Islam 2012). Im Zuge der Elektromobilität ist eine Ausrichtung der Innovationsstrategie auf Systeme statt Komponenten gefragt. Die Elektromobilität ist durch einen Geschäftsmodellwandel gekennzeichnet. Neben der Automobil- und Zulieferindustrie sollten auch Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau, Energieversorger und Mobilitätsdienstleister ihre Innovationsstrategie entsprechend anpassen (vgl. Rennhak 2009). Minimalausprägung: Es erfolgt keine strategische Ausrichtung auf disruptive Technologien. Maximalausprägung: Die Innovationsstrategie ist strategisch sowie taktisch an die Ansprüche disruptiver Technologien angepasst und berücksichtigt bei Minimierung des Risikos die notwendige Flexibilität für sich verändernde Anforderungen (vgl. Ekekwe/ Islam 2012).

13. Erfolgt eine bewusste Entscheidung bzgl. der Timing- und Pacing-Strategie? Qualitative Aussage: Neben der Marktfeld- und Qualitätsstrategie ist die Timing- und Pacing-Strategie ein wichtiger Bestandteil der Innovationsstrategie (vgl. Schwarz 2003). Disruptive Technologien erfordern eine Technologieführerschaft (vgl. Christensen 2011). Bereits heute streben viele Zulieferer in der Automobilindustrie die Technologieführerschaft

an (vgl. Rennhak 2009). Minimalausprägung: Es erfolgt keine Analyse der Timing-und Pacing-Strategie. Maximalausprägung: Der Marktein- und Marktaustritt sind innerhalb einer fundierten und vorausschauenden Timing- und Pacing-Strategie festgelegt. Diese berücksichtigt aktuelle sowie prognostizierte Entwicklungen des Marktumfeldes und gewährleistet die notwendige Handlungsflexibilität.

14. Wird eine bewusste Entscheidung hinsichtlich Technologiefelder getroffen? Qualitative Aussage: Im Rahmen der Technologiestrategie sind Technologiefelder zu definieren (vgl. Orilski 2012). Die Identifikation von Entwicklungen in den relevanten Technologiefeldern sollen Technologieentscheidungen in Unternehmen begründen. Beispielsweise können sich OEMs in der Automobilindustrie entscheiden, Antriebstechnologien zu entwickeln (vgl. Backhaus et al. 2011). Minimalausprägung: Die Entscheidung über Technologiefelder (bspw. Antriebstechniken) wird ohne einen formalen Entscheidungsprozess getroffen. Maximalausprägung: Die Auswahl der Technologiefelder erfolgt auf Basis einer regelmäßigen sowie fundierten Analyse, welche sowohl aktuelle als auch prognostizierte Entwicklungen des Marktumfeldes berücksichtigt (vgl. Schuh/ Klappert 2011).

15. Erfolgt eine bewusste Entscheidung das gewählte Technologiefeld zu vertiefen? Qualitative Aussage: Basierend auf den gewählten Technologiefeldern erfolgt die Entscheidung über die

Technologietiefe. OEMs aus der Automobilindustrie können sich beispielsweise entscheiden, sowohl Verbrennungsmotoren, als auch Elektromotoren basierend auf den Antriebstechnologien zu entwickeln (vgl. Backhaus et al. 2011). Minimalausprägung: Es wird keine bewusste Entscheidung über die Technologievertiefung (bspw. welche Antriebstechnik) getroffen. Maximalausprägung: Die Festlegung der Tiefe von ausgewählten Technologiefeldern erfolgt auf Basis einer regelmäßigen sowie fundierten Analyse, welche sowohl aktuelle als auch prognostizierte Entwicklungen des Marktumfeldes berücksichtigt. Es werden Make-or-Buy Entscheidungen in Betracht gezogen (vgl. Schwarz 2003).

Durch die Umsetzung der Technologiestrategie und das Technologiecontrolling wird die Technologieentwicklung vollzogen und unterstützt. Der Fokus im Rahmen dieses vierten Bewertungsfeldes des Technologiemanagements wird auf diskontinuierlichen Technologieentwicklungen gelegt (vgl. Porter 1985).

16. Erfolgt die Technologieentwicklung auf Basis einer vordefinierten Strategie und Zielsetzung? Qualitative Aussage: Die Ziele der Technologiestrategie entwickeln sich aus der Identifikation von Technologiepotenzialen und deren Auswirkungen auf die Unternehmensumwelt, der Marktstruktur und das Unternehmen. Diese Zielsetzung der vordefinierten Technologiestrategie beeinflusst die Erreichung strategischer Unternehmensziele

(vgl. Wolfrum 1994). Proff und Proff betonen die Notwendigkeit dynamischer Strategien beim Übergang zur Elektromobilität. Auf der einen Seite sind Automobilhersteller gefordert, bestehende Ressourcen zu verwerten, andererseits ist es erforderlich Ressourcen zu erneuern und neue Produktionsverfahren und Einsatzstoffe zu verwenden. Daher ist es wichtig, Strategien und Zielsetzungen für die Technologieentwicklung zu definieren (vgl. proff/ Proff 2012). Minimalausprägung: Es gibt keine definierte Strategie bzw. Zielsetzung zur Technologieentwicklung. Maximalausprägung: Die Technologieentwicklung folgt einer definierten Strategie und Zielsetzung sowie einem gemeinsamen Rollenverständnis. Diese sind auf die übergeordnete Unternehmensstrategie abgestimmt.

17. Findet eine Ressourcenzuteilung zugunsten disruptiver Entwicklungsprojekte statt? Qualitative Aussage: Ressourcen, Prozesse und Wertesysteme werden als entscheidende Variablen für den Erfolg disruptiver Entwicklungsprojekte identifiziert. Ein Problem vieler großer Unternehmen wird darin gesehen, dass systematische Prozesse mit ausgeprägten Planungs- und Entscheidungssystemen in Projekten mit disruptiven Technologien eher nicht anwendbar sind und in der Folge häufig zur Ablehnung dieser Projekte führen (vgl. Christensen 2011). Der Volkswagenkonzern konnte hingegen zeigen, dass auch disruptive Entwicklungsprojekte mit kurzfristig geringfügigen Margen

initiiert werden. Der VW XL1, als Ergebnis dieses radikalen Entwicklungsprojekts, begründet mit einem Verbrauch von 0,9 l/100 km im kombinierten Modus einen Meilenstein bei Hybridantrieben (vgl. Hucho 2012). Minimalausprägung: Es erfolgt keine Ressourcenzuteilung zugunsten disruptiver Entwicklungsprojekte. Maximalausprägung: Es erfolgt eine bedarfsorientierte Zuteilung von Ressourcen in Abhängigkeit von den wirtschaftlichen Möglichkeiten und Notwendigkeiten im Rahmen der strategischen Investitionsplanung, wodurch die optimale Entwicklung der disruptiven Technologie gewährleistet ist. Für die Forschung und Entwicklung neuer Technologien ist ein Budgetrahmen vorgegeben, der vom Management vertreten wird und Handlungsspielräume innerhalb dieses Rahmens gewährleistet (vgl. Christensen 2011).

18. Nutzen Sie Methoden des Projektmanagements um den Fortschritt der Technologieentwicklung zu kontrollieren? Qualitative Aussage: In Entwicklungsprojekten ist es notwendig, den Fortschritt regelmäßig zu überwachen, um Schwachstellen und Verzögerungen frühzeitig aufzudecken. In diesem Zusammenhang haben sich Reifegradmodelle oder Stage-Gate-Prozesse als förderlich erwiesen (vgl. Cooper 2002). Weiterhin können Maßnahmen des projektbezogenen Innovationscontrollings genutzt werden wie Berichtswesen, Schulungen und Beratungen (vgl. Littkemann 2005). Häufig finden die Methoden des virtuelles

Engineerings oder digitalen Produktdesigns in der Elektromobilität Anwendung. Die Robert Bosch GmbH setzt in Projekten mit virtuellen Teams verstärkt auf Medieneinsatz im Projektmanagement. Da es in Projektteams schwieriger ist Vertrauen aufzubauen als in konventionellen Teams, werden regelmäßige Treffen und telefonische Kontakte organsiert (vgl. Böttcher/ Blattner 2013). Minimalausprägung: Zur Kontrolle des Fortschritts der Technologieentwicklung kommen keine Methoden des Projektmanagements zum Einsatz. Maximalausprägung: Die Planung und Kontrolle der Technologieentwicklung erfolgt mit Hilfe geeigneter Methoden des Projektmanagements. Regelmäßig wird die strategische Ausrichtung sowie die Aktualität der laufenden Prozesse und Ansätze hinterfragt (vgl. Specht/ Mieke 2006).

19. Werden Fehler in der Technologieentwicklung frühzeitig erkannt? Qualitative Aussage: Fehler in der F&E kosten Aufwand, Zeit und Kapital. Die frühen Phasen der Produktentwicklung sind von besonderer Bedeutung, weil sie einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Produkte haben und die Fehlerkosten im Zeitablauf zunehmen. Daher ist eine frühzeitige Fehlervermeidung notwendig (vgl. Specht/ Schmelzer 1990). Eine effiziente Durchführung der Produktentwicklung wird durch das frühzeitige Einbinden aller Beteiligten unterstützt. Iterationsschleifen können das verspätete Erkennen von Problemen

verhindern, beispielsweise bei der Crashsicherheit von Elektrofahrzeugen (vgl. Krottmaier 1995). Minimalausprägung: Fehler in der Technologieentwicklung werden zu spät erkannt. Maximalausprägung: Fehler in der Technologieentwicklung werden bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung identifiziert und behoben, wodurch Folgekosten reduziert werden (vgl. Specht/ Schmelzer 1990). Die daraus gewonnen Erkenntnisse werden im Rahmen des Wissensmanagements entsprechend verarbeitet und bei Bedarf mit Experten diskutiert.

20. Analysieren Sie den Technologielebenszyklus Ihrer Technologien? Qualitative Aussage: Der Technologielebenszyklus gliedert sich in die Entstehungsphase, Wachstumsphase, Reifephase und Altersphase (vgl. Horsch 2003). Darauf aufbauend wird zwischen Schrittmacher-, Schlüssel-, und Basistechnologien sowie verdrängten Technologien unterschieden. Der Technologielebenszyklus einer Technologie ähnelt dem Patentanmeldezyklus. Die Patentanmeldung des Elektromobils Segway wurde im Gegensatz zum Elektroautomobil 2004 abgeschlossen. Folglich befindet sich diese Technologie in der Reifephase (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Minimalausprägung: Der Technologielebenszyklus wird nicht analysiert. Maximalausprägung: Es erfolgen strategische Prognosen zu aktuellen und zukünftigen Technologielebenszyklen, um rechtzeitig für die Entwicklung

neuer wertschöpfender Produkte vorbereitet zu sein (vgl. Christensen/ Armstrong 1998).

5.1.6 Risikomanagement

Die Analyse des disruptiven Charakters der Technologien der Elektromobilität im Verlaufe des Forschungsvorhabens hat gezeigt, dass deren Entwicklung für die Automobilindustrie mit dem Aufbrechen sowie dem Wandel etablierter Strukturen einhergeht und entsprechend erhöhte sowie neuartige Risiken birgt (vgl. Gassmann/ Kobe 2006). Das risikoorientierte Management der Forschung und Entwicklung dieser Technologien bildet daher eine fundamentale Grundlage für den Unternehmenserfolg, stellt die Automobilindustrie jedoch gleichzeitig vor große Herausforderungen (vgl. Herre et al. 2012; Reichmann/ Richter 2008). Vor dem Hintergrund dieser Herausforderungen und der Tatsache, dass ein Drittel aller Neuentwicklungsprojekte scheitern, steigt die Bedeutung des Risikomanagements im Bereich der Forschung und Entwicklung zunehmend (vgl. Schlegel/ Trent 2012). Das Risikomanagement bildet daher ein wesentliches Gestaltungsfeld innerhalb des konzipierten Reifegradmodells, da es die technischen und wirtschaftlichen Risiken im Verlaufe der Forschung und Entwicklung verringern soll (vgl. Wang et al. 2010)d; vgl. Yang (2012). Zentraler Erfolgsfaktor ist dabei die Effizienz und Qualität des Risikomanagementpro-

zesses als ablauforganisatorischer Bereich des Risikomanagements (vgl. Diederichs 2013). Im Vergleich zur Forschung und Entwicklung inkrementeller Technologien muss dieser Risikomanagementprozess in Anbetracht der Höhe, Vielfalt und Interdependenz der Projektrisiken bei disruptiven Technologien bedarfsgerecht auf die Risikomanagementkompetenz der beteiligten Entwicklungs- und Projektpartner ausgerichtet sein (vgl. Rudolph et al. 2007). Vor diesem Hintergrund bildet der Risikomanagementprozess in Verbindung mit den Risikomanagementkompetenzen den ersten von drei Bewertungsbereichen im Gestaltungsfeld des Risikomanagements. Die Bewertung innerhalb dieses Bewertungsbereiches erfolgt anhand der Kriterien Risikoidentifikation, Risikoanalyse und -bewertung, Risikohandhabung, Risikoüberwachung, Risikokommunikation und Risikobewusstsein. Die einzelnen Bewertungskriterien sowie deren Abfrage und Ausprägungen sind im Folgenden dargestellt.

1. Wie systematisch, detailliert und adäquat erfolgt die Risikoidentifikation? Qualitative Aussage: Die Risikoidentifikation bildet den ersten Schritt innerhalb des Risikomanagements und umfasst die strukturierte Erfassung sämtlicher Risiken, die einen negativen Einfluss auf die Strategien und Ziele eines Unternehmens haben können (vgl. Wildemann 2006b). Um bei disruptiven Technologien die Vielfalt und Interdependenz möglicher Risiken ganzheitlich zu erfassen, bedarf es eines strukturierten,

genauen und bedarfsgerecht ausgestalteten Prozesses zur Risikoidentifikation. Minimalausprägung: Es existiert kein definierter Prozess zur Risikoidentifikation. Maximalausprägung: Es existieren Prozesse und Methoden zur strukturierten, detaillierten und vollständigen Erfassung aller phasen- und technologiespezifischen, sowie mit neuen Technologien verbundenen Risiken. Dabei werden interne und netzwerkweite Interdependenzen analysiert.

2. Wie systematisch, detailliert und adäquat erfolgt die Risikoanalyse und -bewertung? Qualitative Aussage: Die Risikoanalyse und Bewertung bildet den zweiten Schritt im Verlaufe des Risikomanagementprozesses und beinhaltet neben der Ermittlung der Risikoursachen die Einschätzung darüber, inwieweit die identifizierten Risiken die Zielerreichung gefährden können (vgl. Wildemann 2006b). Insbesondere bei disruptiven Technologien gilt es für Unternehmen kontinuierlich zu prüfen, inwieweit die Risiken der Forschung und Entwicklung zu kompensieren sind. Minimalausprägung: Es existiert kein definierter Prozess zur Risikoanalyse und -bewertung. Maximalausprägung: Es erfolgt frühzeitig eine spezifische, vorausschauende Erarbeitung und Anwendung adäquater Risikomaße bzw. -Kennzahlen. Dabei werden geeignete Methoden zur detaillierten Risikoanalyse und –bewertung angewendet.

3. In welchem Umfang und mit welcher Intensität erfolgt die Anwendung von Strategien der Risikohandhabung? Qualitative Aussage: Die Risikohandhabung bildet den dritten Schritt des Risikomanagementprozesses und umfasst die Steuerung und Kontrolle der zuvor identifizierten sowie analysierten und bewerteten Risiken (vgl. Wildemann 2006b). Das Ziel der Risikohandhabung in der Forschung und Entwicklung disruptiver Technologien besteht in der Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten und der Minderung des Schadensausmaßes einer negativen Zielabweichung in Bezug auf die technischen und wirtschaftlichen Ziele. Minimalausprägung: Es kommen keine bedarfsgerechten Strategien der Risikohandhabung zur Anwendung. Maximalausprägung: Es existieren auf neue, ggf. disruptive Technologien angepasste Strategien zur ursachen- und wirkungsbezogenen Risikohandhabung. Der frühzeitige und zielgerichtete Methodeneinsatz führt zu einer maximalen Reduzierung von Risiken.

4. In welchem Umfang und welcher Güte erfolgt eine Risikoüberwachung? Qualitative Aussage: Die Risikoüberwachung bildet den abschließenden Schritt des Risikomanagementprozesses und beinhaltet die Gegenüberstellung der aktuellen Risikoposition mit den Risikopräferenzen und -zielen (vgl. Wildemann 2006b). Die permanente Kontrolle soll die Reaktionsge-

schwindigkeit der Unternehmen auf riskante Entwicklungen steigern und die Schadensbegrenzung erhöhen.

Minimalausprägung: Es existiert kein definierter Prozess zur Risikoüberwachung. Maximalausprägung: Es erfolgt eine kontinuierliche technologiespezifische Überwachung und Plausibilisierung der identifizierten Risiken. Die Kontrolle der Effektivität und Effizienz der Risikohandhabungsmaßnahmen differenziert nach Dringlichkeit und Wertigkeit.

5. In welchem Ausmaß und welcher Güte findet eine Risikokommunikation statt? Qualitative Aussage: Die Risikokommunikation sichert die kontinuierliche Bereitstellung von Informationen über die aktuelle Risikoposition und -situation. Es gilt zu kommunizieren welche Risiken bestehen, wie sie bewertet, kontrolliert und gehandhabt werden. Die Risikokommunikation ist die Grundlage zur Steigerung der Risikotransparenz in Unternehmen (vgl. Wildemann 2006b). Minimalausprägung: Es findet keine bedarfsorientierte Risikokommunikation statt. Maximalausprägung: Es sind alle Voraussetzungen für einen reibungslosen Informations- und Kommunikationsfluss gegeben. Die Risikokommunikation erfolgt zielgerichtet sowie empfängerorientiert und wird gemäß ihrer Wertigkeit und Dringlichkeit entsprechend behandelt und weitergegeben. Ein übergeordneter Risikomanager koordiniert dabei den gesamten Risikomanagementprozess.

6. Wird der Ausbildung und der Steigerung eines Risikobewusstseins Rechnung getragen? Qualitative Aussage: Die Stärkung des Risikobewusstseins der Mitarbeiter und Kooperationspartner bildet einen wesentliche Grundlage für ein erfolgreiches Risikomanagement (vgl. Wildemann 2006b). Über den gesamten Produktentstehungsprozess stellt ein ausgeprägtes Risikobewusstsein die frühzeitige Vermeidung von Fehlentwicklungen sowie die Identifikation von technischen und wirtschaftlichen Risiken sicher. Minimalausprägung: Es kommen keine definierten Maßnahmen zur Ausbildung und Steigerung eines Risikobewusstseins zur Anwendung. Maximalausprägung: Es erfolgt eine kontinuierliche Unterrichtung aller relevanten Anspruchsgruppen bezüglich der Ursachen und Wirkungsweisen der identifizierten Risiken sowie hinsichtlich der Funktionen und Abläufe des Risikomanagementprozesses. Besonders bei disruptiven Technologien wird das Risikobewusstsein besonders geschärft.

Den zweiten Bewertungsbereich innerhalb des Gestaltungsfeldes Risikomanagement bilden die wirtschaftlichen Risiken, welchen die Markt-, Produktions- und Kostenrisiken zugeordnet werden können (vgl. Wang, J. und Yang, C.-Y. 2012). Die Marktrisiken ergeben sich aus der Unsicherheit der Kunden- und Marktanforderungen in Bezug auf die neue, disruptive Technologie (vgl. Ganguly et al. 2011). Gleichzeitig sind auch die Marktgröße und das Marktwachstum nur schwer prognostizierbar (vgl. Park

2010). So beträgt der aktuelle weltweite Marktanteil von Elektroautomobilen lediglich 0,1 Prozent (vgl. Vallée/ Schnettler 2013). In Bezug auf die Kosten ergeben sich die wirtschaftlichen Risiken aus möglichen Ineffizienzen und zeitlichen Verzögerungen innerhalb des flexibel auszulegenden Forschungs- und Entwicklungsprozesses, durch die es zu Überschreitungen des Forschungs- und Entwicklungsbudgets kommen kann (vgl. Ganguly et al. 2011). Hinsichtlich der Produktionsrisiken besteht die Gefahr, dass die Forschung- und Entwicklung nicht von Beginn an produktions- und fertigungsgerecht ausgerichtet ist, was kostenintensive Änderungen nach sich ziehen kann (vgl. Vallée/ Schnettler 2013).

7. Findet eine regelmäßig Bewertung des Business Plans statt? Qualitative Aussage: Die Erstellung, Bewertung und Kontrolle eines Business Plans stellt die Manifestation der Realisierungstrategie der Unternehmensziele sowie die Darstellung der dazu notwendigen Maßnahmen, Planung und Voraussetzungen in einem Zeithorizont von drei bis fünf Jahren dar. Er bildet damit eine zentrale Entscheidungs- und Verhandlungsgrundlage für das Management, potenzielle Geschäftspartner, Gesellschafter und Finanzinstitute und ist das entscheidende Instrument für die Erstellung interner Strategie- und Planungskonzepte (vgl. Nagl 2013). In Bezug auf die Forschung- und Entwicklung disruptiver Technologien der Elektromobilität dient der Einsatz ei-

nes Business Plans der kontinuierlichen Überprüfung der Erfolgschancen der Technologien bei gleichzeitiger Minimierung der Risiken. Minimalausprägung: Der Business Plan wird nicht erstellt und bewertet. Maximalausprägung: Es erfolgt eine frühzeitige und risikobewusste Bewertung des Business Plans. Diese beinhaltet neben der Kontrolle von Effektivität und Effizienz der Risikohandhabung insbesondere die Fortschritts- und Prämissenkontrolle. Darüber hinaus erfolgt die Erstellung eines Notfallplans, welcher entsprechende Handlungsmaßnahmen aufzeigt um wirtschaftliche Gefahren einzudämmen (z.B. Imageschäden).

8. Berücksichtig die Forschung & Entwicklung der entwickelten Technologien und Komponenten deren Produktlebenszykluskosten? Qualitative Aussage: Die Produktlebenszykluskosten umfassen neben den für die Unternehmen entstehenden Produktions-, Logistik- und Vertriebskosten auch die für den Kunden in der Regel kaufentscheidenden Kosten während der Phase der Nutzung (vgl. Schulze 2013). In den nächsten Jahren wird die Differenz zwischen den Lebenszykluskosten eines Automobils mit konventionellem Verbrennungsmotor und denen eines Elektrofahrzeuges vor allem von der Preisdifferenz zwischen den Kosten fossilen Kraftstoffs und den Kosten des Eigentums sowie insbesondere der Neuaufladung der Batterie (vgl. Kasperk/ Drauz 2013) determiniert. Minimalausprägung: Die

Produktlebenszykluskosten spielen im Rahmen der F&E keine Rolle. Maximalausprägung: Zwecks Erreichung markt- und wettbewerbsfähiger Produktlebenszykluskosten sowie deren Refinanzierung werden sowohl Einzeltechnologien und Komponenten als auch das jeweilige Gesamtsystem der zukünftigen Betriebskosten frühzeitig hinsichtlich Mängel analysiert und bewertet.

9. Findet eine Analyse und Bewertung der F&E-Ressourcenverfügbarkeit und -effizienz statt? Qualitative Aussage: Die zunehmend eingeschränkte Verfügbarkeit fossiler Rohstoffe stellt einen wesentlichen Treiber des Wandels hin zur Elektromobilität und anderen alternativen Antriebskonzepten dar (vgl. Yay 2010). Jedoch ist auch im Rahmen der Entwicklung der Elektromobilität von Beginn an die Verfügbarkeit relevanter Ressourcen abzuschätzen und zu sichern. Insbesondere Lithium für die Batterien, Kupfer für die Batterien und Leitungen, Platingruppenmetalle für die Elektronik und seltene Erden für Batterien und Permanentmagnete sind für die Elektromobilität von besonderer Bedeutung (vgl. Haan et al. 2013). Über die materiellen Ressourcen hinaus gilt es, die Prozesseffizienz der Forschung- und Entwicklung abzusichern sowie den Umgang mit finanziellen, personellen und organisatorischen Ressourcen sicherzustellen. Minimalausprägung: Es findet keine adäquate Analyse der Ressourcenverfügbarkeit und -effizienz statt. Ma-

ximalausprägung: Es findet eine kontinuierliche, vorausschauende Analyse und Bewertung der Verfügbarkeit und Effizienz der finanziellen, personellen, organisatorischen, technologischen und physischen Ressourcen mit Rücksicht auf die politische Situation statt. Unter Berücksichtigung von Materialkreisläufen werden Standorte und Verfügbarkeiten von Materialien hervorgehoben. Dabei existieren Maßnahmen, um auf die Verfügbarkeit positiv einzuwirken.

10. Werden mögliche wirtschaftliche Interdependenzen zwischen verschiedenen F&E-Projekten auf Programmebene berücksichtigt? Qualitative Aussage: Das wirtschaftliche Interdependenzrisiko zwischen Forschungs- und Entwicklungsprojekten leitet sich aus den bestehenden kosten- und finanzwirtschaftlichen Abhängigkeiten und Allokationen ab (vgl. Gassmann/ Kobe 2006). Wirtschaftliche Interdependenzen ergeben sich z.B. dadurch, dass die Grundlagenforschung eines Projektes durch die Einnahmen eines anderen Projektes finanziert werden soll. Minimalausprägung: Wirtschaftliche Interdependenzen zwischen einzelnen F&E-Projekten werden nicht berücksichtigt. Maximalausprägung: Die Gesamtheit aller F&E-Projekte wird hinsichtlich möglicher wirtschaftlicher Interdependenzrisiken analysiert und bewertet. Bei Bedarf erfolgt die Anwendung entsprechender Risikohandhabungsmaßnahmen sowie eine kontinuierliche Risikoüberwachung.

Die technischen Risiken bilden den dritten Bewertungsbereich innerhalb des Gestaltungsfeldes des Risikomanagements. Technische Risiken resultieren aus der Gefahr, technische Probleme, Lösungsverfahren oder dessen Veränderung auf Grund mangelnden technologischen Wissens oder Lernfähigkeit nicht handhaben zu können (vgl. Park 2010). Vor dem Hintergrund, dass der Wandel hin zur Elektromobilität durch die Substitution von mechanischen zu elektrischen Komponenten ein verändertes und neuartiges Know-how erfordert, ist die Identifikation und Beherrschung der technischen Risiken für den Erfolg der Forschung und Entwicklung von grundlegender Bedeutung (vgl. Bieger, T., Knyphausen-Aufseß, D. und Krys, C. 2011). Die Bewertungskriterien des Bewertungsbereiches der technischen Risiken sowie deren Abfrage und Ausprägungen sind im Folgenden dargestellt.

11. Erfüllen die F&E-Prozesse die relevanten, branchenspezifischen Prozess- und Qualitätsstandards? Qualitative Aussage: Die Einhaltung branchenspezifischer Prozess-, Sicherheits- und Qualitätsstandards bildet eine essentielle Grundlage für die Minimierung der technischen und wirtschaftlichen Risiken der Elektromobilität (vgl. Dombrowski et al. 2011). Für die Automobilindustrie gilt es daher, sowohl die Produkt- als auch die Prozessqualität der Elektromobilität von Beginn an zu bewerten und an die Performance konventioneller Technologien und Pro-

zesse anzugleichen. Minimalausprägung: Die relevanten, branchen-spezifischen Prozess- und Qualitätsstandards werden (noch) nicht erfüllt. Maximalausprägung: Die relevanten, branchenspezifischen Prozess- und Qualitätsstandards werden vollständig berücksichtigt und eingehalten sowie kritisch hinterfragt. Die Standards reifen mit der Entwicklung der Technologie und werden gegebenenfalls vorausschauend auf die Charakteristika der neuen Technologien, Prozesse und Werkstoffe angepasst.

12. Werden Simulationsverfahren innerhalb der F&E - Prozesse entwickelt und zu deren Fundierung bzw. Verbesserung eingesetzt? Qualitative Aussage: Die Durchführung von Simulationen bietet bereits in den frühen Phasen der Forschung und Entwicklung die Realisierung zeit- und kosteneffizienter Lösungsstrategien durch die Reduzierung kostenintensiver Realversuche (vgl. Bartel 2010). Vor dem Hintergrund der mangelnden technologischen und marktlichen Reife der Elektromobilität, ist die Gestaltung und Nutzung bedarfsspezifischer Simulationsverfahren für deren weitere Entwicklung von besonderer Bedeutung für die Unternehmen. Minimalausprägung: Es werden gängige Standardverfahren verwendet, die regelmäßig zu Fehlern führen. Maximalausprägung: Bisherige Standardverfahren werden auf ihre Tauglichkeit untersucht und ggf. auf die Charakteristika der disruptiven Technologie angepasst bzw. neu entwickelt. Dies

gewährleistet technologiespezifische Simulationen, welche aussagekräftige Ergebnisse liefern.

13. Wird die technische Komplexität sowohl des Gesamtsystems als auch der Einzelkomponenten durchdrungen, aufbereitet und reduziert? Qualitative Aussage: In der Forschung und Entwicklung technischer Produkte ergeben sich durch vielfältige Interdependenzen hochkomplexe Gesamtsysteme (vgl. Felkai/ Beiderwieden 2011). Es muss von Beginn an das oberste Ziel sein, die Komplexität auf Komponenten- und Systemebene zu minimieren. Minimalausprägung: Es werden keine Maßnahmen zum Komplexitätsmanagement oder zur -reduktion durchgeführt. Maximalausprägung: Es wird eine Strategie verfolgt, bei der Produkte, unter Berücksichtigung der Multifunktionalität, grundsätzlich nach dem Schlankheitsprinzip entwickelt und produziert werden, sodass am Produkt selbst keine Einzelkomponenten mehr entfernt werden können. Eine unnötige Komplexität wird vermieden.

14. Werden Produkt- und Prozessstandards berücksichtigt? Qualitative Aussage: Die Entwicklung einer neuen Technologie birgt stets das Aufkommen einer Vielzahl heterogener technischen Lösungskonzepte. Um die ganzheitliche Technologie jedoch für den Massenmarkt reif und nutzbar zu machen, müssen allgemeingültige Normen und Standards etabliert werden. So besteht eine grundlegene Erfolgsvoraussetzung für die Elektro-

mobilität darin, einheitliche Lademethoden und Stecker zu schaffen. (vgl. Haan et al. 2013). Minimalausprägung: Bestehende Produkt- und Prozessstandards werden nicht überprüft und nicht hinterfragt (bspw. Qualitätsvorschriften aus bisherigen Produkten). Maximalausprägung: Bestehende Produkt- und Prozessstandards sowie gesetzliche Rahmenbedingungen, wie Zulassungs- und Einfuhrvorschriften für andere Länder, werden regelmäßig überprüft. Auf einzelne Qualitätskriterien und Standards wird bewusst verzichtet oder sie werden angepasst, wenn sie bei der Entwicklung disruptiver Technologien hinderlich sind.

15. Werden technische Interdependenzen zwischen verschiedenen F&E-Projekten berücksichtigt? Qualitative Aussage: Technische Interdependenzen bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten entstehen, wenn z.B. ein Projekt die Plattform für ein anderes Projekt darstellt, Projekte vollkommen abhängig nur gemeinsam durchgeführt werden können oder der erfolgreiche Abschluss eines Projektes die Erfolgswahrscheinlichkeiten eines anderen Projektes determiniert. Auf Multiprojektebene sind daher die technischen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Forschungs- und Entwicklungsprojekten zu prüfen (vgl. Gassmann/ Kobe 2006). Minimalausprägung: Technische Interdependenzen zwischen einzelnen F&E-Projekten werden nicht adäquat berücksichtigt. Maximalausprägung: Die Gesamtheit

aller F&E-Projekte sowie die Produktion und das SCM werden hinsichtlich möglicher technischer Interdependenzrisiken analysiert und bewertet. Bei Bedarf erfolgen die Anwendung entsprechender Risikohandhabungsmaßnahmen sowie eine kontinuierliche Risikoüberwachung. Dabei werden auch Probleme der Reverse Logistics berücksichtigt.

16. Findet eine technische (Risiko-) Diversifikation statt? Qualitative Aussage: Die Risikodiversifikation bildet ein zentrales Instrument der aktiven Risikobewältigung und bedeutet die Verteilung, Streuung und Zerlegungvon Risiken. Ziel ist es, die Auswirkungen der diversifizierten Risiken zu reduzieren, um dadurch die Risikopositionierung des Projektes bzw. des Unternehmens zu optimieren (vgl. Romeike/ Hager 2009). Minimalausprägung: Es erfolgt keine adäquate technische Risikodiversifikation. Maximalausprägung: Sämtliche Technologien, Komponenten und Systeme werden bezüglich einer möglichen technischen (Risiko-) Diversifikation analysiert und bewertet (z.B. Risikodiversifikation im Systemverbund). Aufbauend darauf erfolgt die Entwicklung von mehreren Alternativkonzepten und (Fallback-) Lösungen, die zu jeder Entwicklungsphase neu bewertet werden.

5.2 Ausprägungen der Gestaltungsfelder

Die in den Gestaltungsfeldern auftretenden Ausprägungen werden auf Basis der schematischen Bewertung der Gestaltungsfelder ermittelt und für den Anwender visualisiert dargestellt. Zunächst gilt es grundsätzliche und übergreifende Ausprägungen des Unternehmens aufzuzeigen, um eine Auswertung auf den ersten Blick zu gewährleisten. Hierbei liefert das Reifegrad Messkonzept zu jedem Quality Gate eine validierte Aussage über den aktuellen Reifegrad der Produktentwicklung in Form eines Netzdiagramms, wie in Abbildung 5-1 dargestellt. Diese Visualisierung liefert bereits auf einem hohen Aggregationsniveau Aussagen über Stärken und Schwächen der einzelnen Gestaltungsfelder. Ferner ermöglicht diese Darstellung kurzfris-

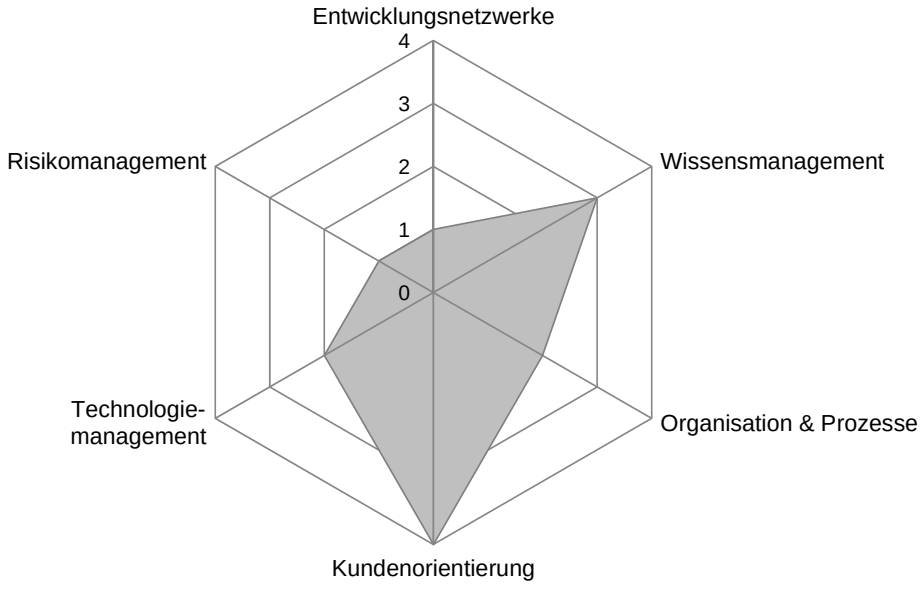


Abbildung 5-1: Exemplarisches Netzdiagramm am Beispiel der Grundlagenforschung

tige Aussagen über den aktuellen Reifegrad im Produktentwicklungsprozess. Aufgrund des hohen Aggregationslevels dieser Auswertungsform muss dem Anwender die Möglichkeit gegeben werden zuverlässige Aussagen oder Handlungsempfehlungen ableiten zu können.Hierbei gilt es die einzelnen Gestaltungsfelder weiter zu differenzieren und die einzelnen Bewertungsbereiche aufzuzeigen und zu analysieren. Für diesen Detaillierungsgrad liefert in diesem Reifegradmodell das Scoreboard weitere Informationen zu den Ergebnissen der Bewertungsbereiche. Diese Form der Auswertung ist in Abbildung 5-2 exemplarisch für das Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke dargestellt. Neben der Gesamtbewertung des Gestaltungsfelds, welche im aufgeführten Beispiel einen Wert von 2,77 erreicht, zeigt das Scoreboard eine detaillierte Bewertungsübersicht der einzelnen Bereiche des Gestaltungsfelds. Die elementaren Leistungsdaten des jeweiligen Bereichs liefern die Kennzahlen der Gesamtpunktzahl sowie des Reifegrades. Er stellt in dieser Auswertungsform den Mittelwert aller bewerteten Ausprägungen dar. Zusätzlich zur Gesamtpunktzahl und dem Mittelwert des Reifegrades werden die unterschiedlichen Bewertungseinschätzungen aufgeführt. Diese geben an mit welcher Häufigkeit die jeweilige Ausprägung auftritt und welche Verteilung der Bewertungen vorliegt. Setzt sich ein Bereich beispielsweise durchweg aus positiven Wertungen der Reifegrade 3 und 4

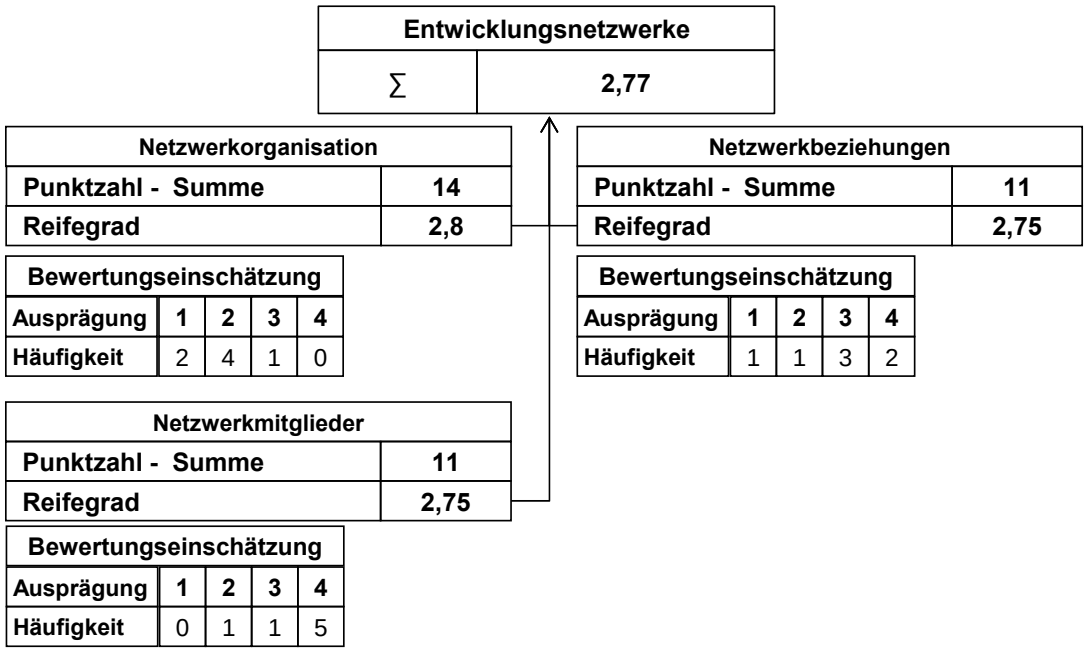


Abbildung 5-2: Exemplarisches Scoreboard des Gestaltungsfelds Entwicklungsnetzwerke

zusammen, lässt dies auf eine gewisse Konsistenz und Ausgeglichenheit schließen.Treten dagegen stark divergierende Wertungen auf, ist der Bereich nicht homogen ausgeprägt. Diese Schwankungen können durch das Scoreboard hervorgehoben werden. Die visuelle Unterstützung zum Scoreboard bietet ein Netzdiagramm. Abweichungen in den Bewertungsbereichen, die aufgrund der Komplexität des Scoreboards nicht unmittelbar ablesbar sind, können dadurch aufgezeigt werden. Im Netzdiagramm können Werte mehrerer, gleichwertiger Kriterien grafisch dargestellt werden. Jeder Bewertungsbereich wird hierbei als eine Achse definiert. Die Achsen sind strahlenförmig und geleichmäßig verteilt. Die Werte für jeden Bereich werden mit Linien verbunden und bilden so eine eingeschlossene, meist

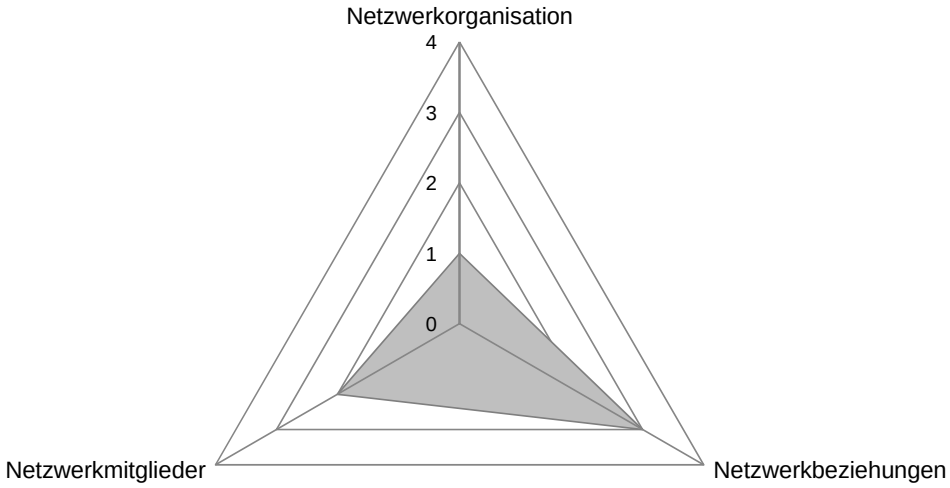


Abbildung 5-3: Exemplarisches Netzdiagramm Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke

farblich gekennzeichnete Fläche. Abbildung 5-3 zeigt ein solches Netzdiagramm am Beispiel des Gestaltungsfeldes Entwicklungsnetzwerke. In diesem Reifegradmodell ist es möglich eine weitere Ebene auszuwerten. Zu diesem Zweck werden im Modell, mit Hilfe eines Polaritätenprofils, die einzelnen Ausprägungen beziehungsweise Bewertungskriterien aufgezeigt. Somit kann eine detaillierte Analyse der Ausprägungen stattfinden. Die Auswertungsansicht in Form eines Polaritätenprofils befähigt den Betrachter, die Ist-Situation eines Gestaltungsfelds oder eines Quality Gates direkt zu erfassen und den Grad der Homogenität der Ausgestaltung der Bereiche zu identifizieren. Sind im Polaritätenprofil, wie in Abbildung 5-4 dargestellt, Ausreißer

besonders hoher oder niedriger Ausprägungen identifizierbar, ist der Bewertungsbereich inhomogen gestaltet. Die Analyse kann somit dazu dienen, unternehmensinterne Handlungsfelder zu identifizieren und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, die jeweiligen Bereiche homogen zu gestalten. Die Berechnung des Reifegrads anhand der Ausprägungen in den Bewertungskriterien erfolgt über die Berechnung des statistischen Mittels. Die Summe der Reifegrade der einzelnen Bewertungskriterien wird durch die jeweilige Anzahl an Kriterien geteilt, wodurch ein Mittelwert des Reifegrads eines Bewertungsbereichs entsteht. Die Berechnung des Reifegrades für die einzelnen Gestaltungsfelder wird danach über das statistische Mittel aller errechneten

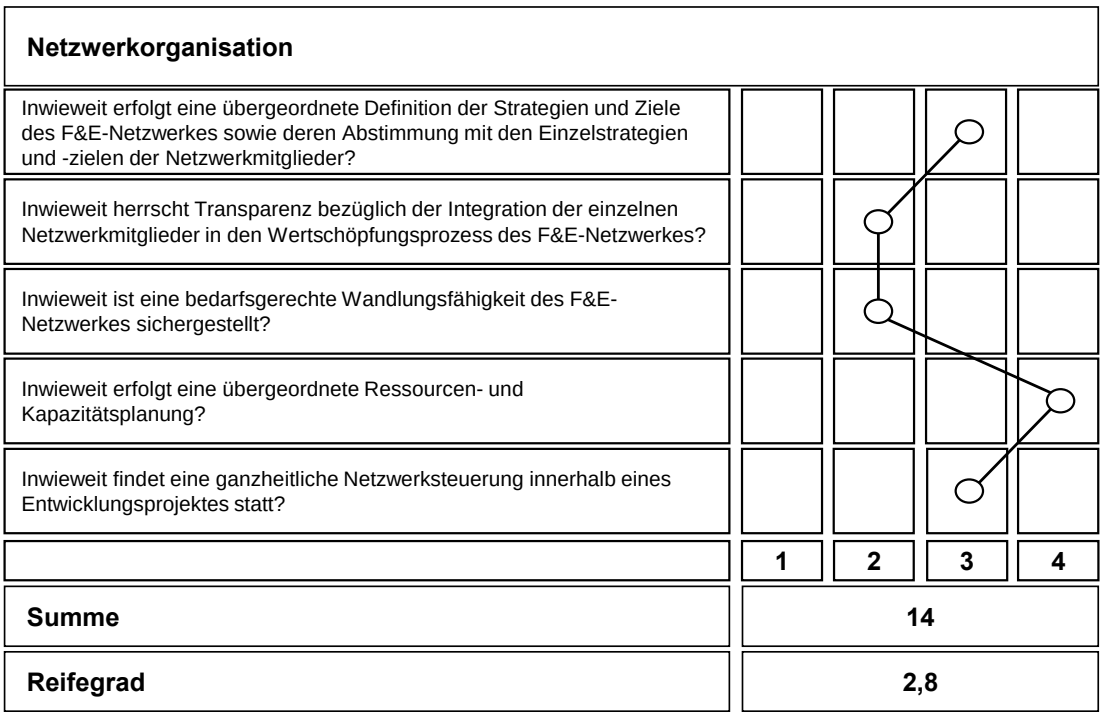


Abbildung 5-4: Exemplarisches Polaritäten-Profil Bewertungsbereich Netzwerkorganisation

Reifegrade der einzelnen Bewertungsbereiche des Gestaltungsfeldes ermittelt. Unter Berücksichtigung der errechneten Reifegrade lässt sich somit zu jedem Quality Gate ein Abbild des Ist-Zustandes erzeugen, auf Basis dessen Handlungs- und Methodenempfehlungen erarbeitet werden können.

5.3 Methodenempfehlungen zur Steigerung des Reifegrades

Zur Verbesserung des Reifegrades des Produktentwicklungsprozesses bedarf es zunächst einer umfangreichen Analyse der verschiedenen Quality Gates der Unternehmen. Um den ermittelten Reifegrad im nächsten Schritt verbessern zu können wurden daraufhin typenspezifische Handlungsempfehlungen abgeleitet. Diese Empfehlungen gliedern sich demnach in eine kurze Beschreibung der Methode, der Erläuterung der spezifischen Vorgehensweise, die Ergebnisse und Wirkungen, die mit der jeweiligen Methode erzeugt werden sowie die Einsatzmöglichkeiten der empfohlenen Methode innerhalb der Gestaltungsfelder und der Prozessphase. Im Verlauf der Analyse hat sich herausgestellt, dass durch die Nutzung einer Methode mehrere Gestaltungsfelder in unterschiedlichen Phasen bedient und weiterentwickelt werden können. Abbildung 5-7, Abbildung 5-5 und Abbildung 5-7 zeigen jeweils eine phasenspezifische Übersicht der in diesem Forschungsprojekt analysierten Methoden unter Berücksichtigung ihrer Wirkungen auf die Gestaltungsfelder.

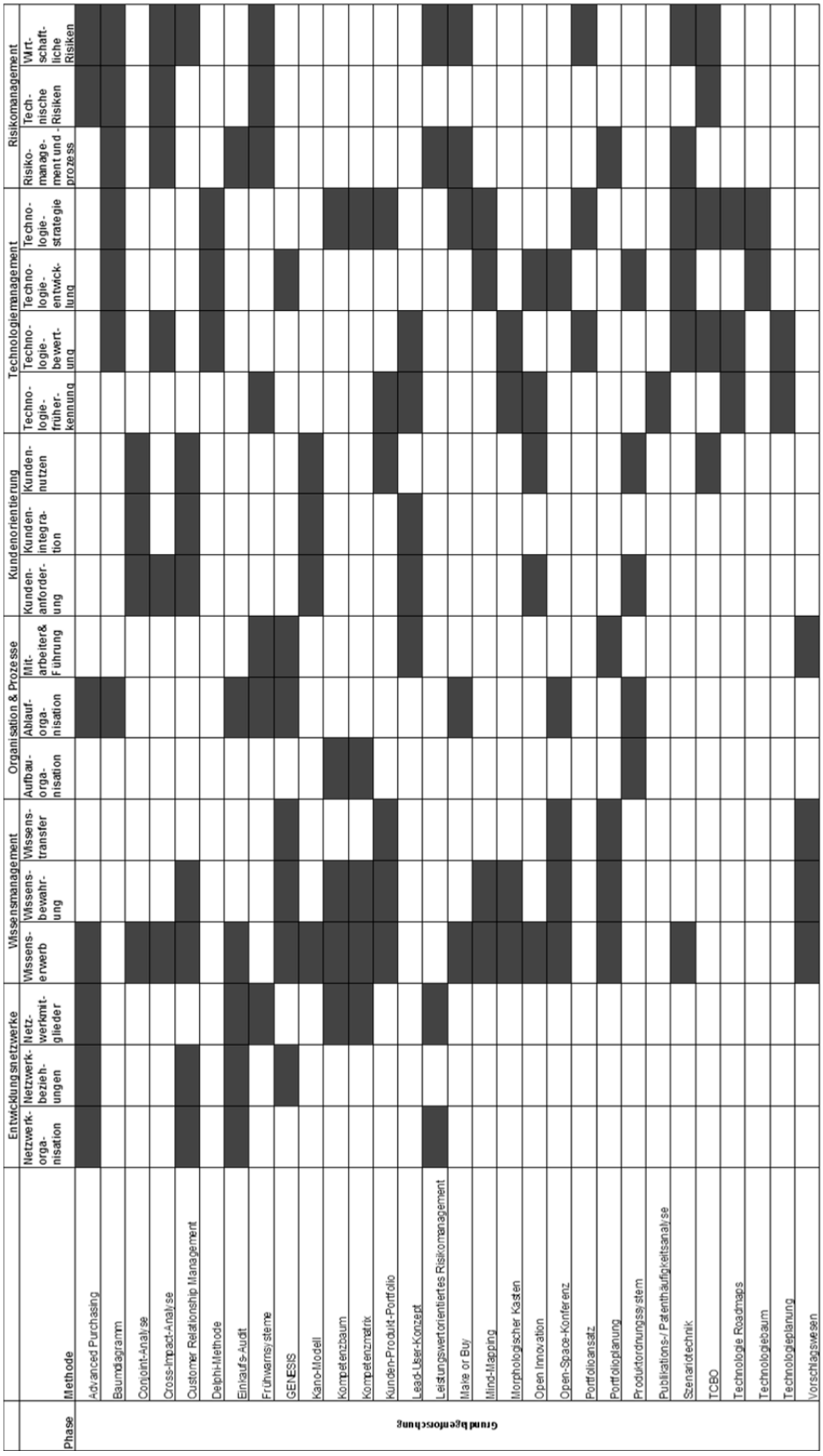


Abbildung 5-5: Übersicht der Methoden in der Grundlagenforschung

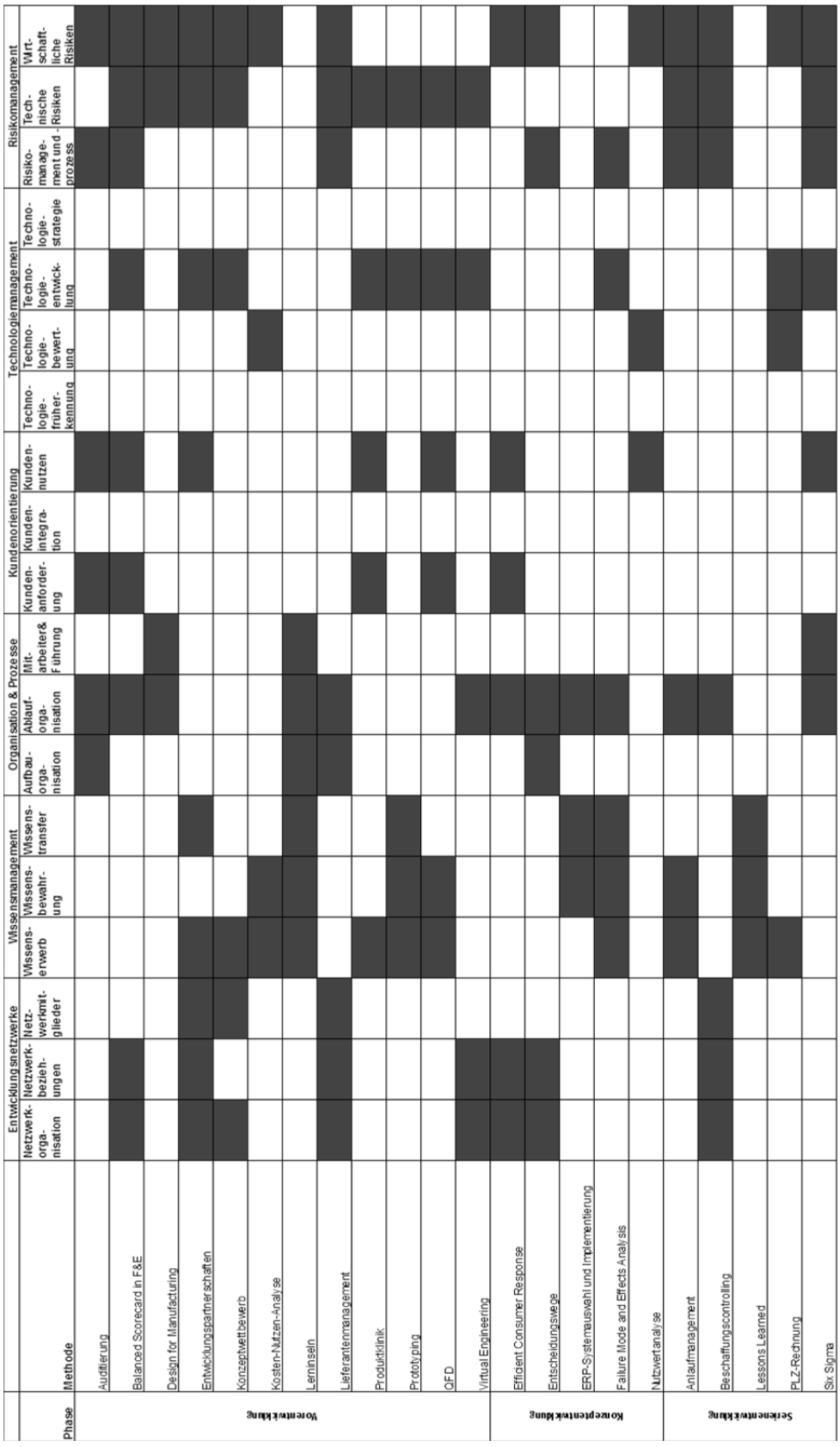


Abbildung 5-6: Übersicht der Methoden in der Vor-, Konzept- und Serienentwicklung

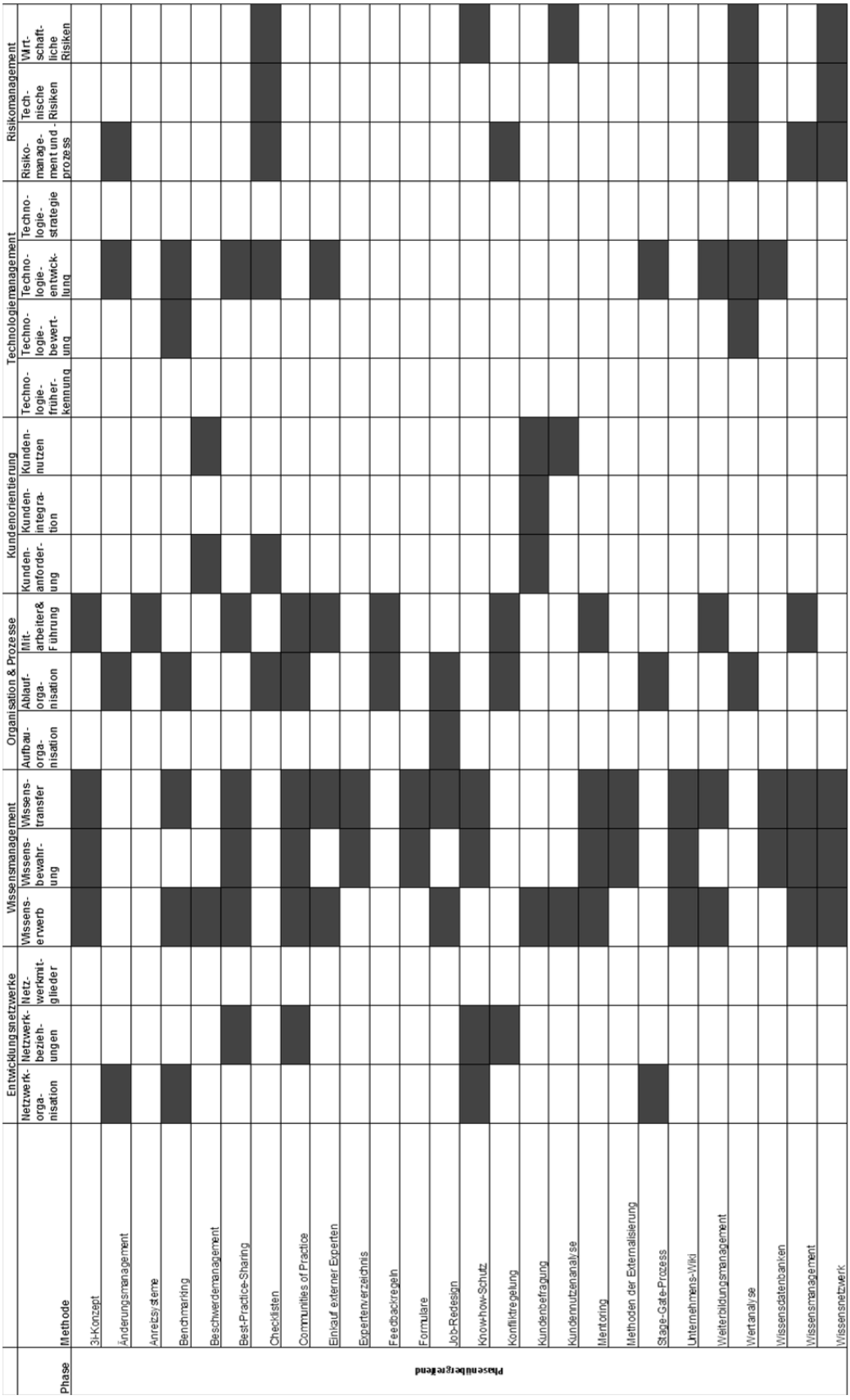


Abbildung 5-7: Übersicht der phasenübergreifenden Methoden

5.3.1 Grundlagenforschung

Advanced Purchasing: Ziel dieser Methode ist es, spezifisches Wissen aus dem Beschaffungsmarkt zu nutzen. Die Methode dient somit dazu, Entwicklungszeiten und -kosten zu reduzieren und damit wettbewerbsfähig zu bleiben. Zunächst wird die Ausgangssituation – im Besonderen die Prozesse in der Entwicklung und im Einkauf – analysiert. Anschließend werden Soll-Prozesse formuliert und die Bedeutung des Beschaffungsmarktes für die wettbewerbsfähige Gestaltung der Wertschöpfungskette festgelegt. Daraufhin werden die Zusammenarbeitsform, der Zeitpunkt der Einbindung sowie die Lieferleistung des Beschaffungsmarktes abgestimmt. Im finalen Schritt wird das entstandene Konzept im Produktentstehungsprozess umgesetzt. Um Erfolge messen zu können, ist ein Projekt- und Umsetzungscontrolling anzuraten. Das Konzept lässt sich insbesondere in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses anwenden. Es wirkt innerhalb der Gestaltungsfelder der Entwicklungsnetzwerke, des Wissensmanagement, der Organisation und Prozesse sowie des Risikomanagements. Es beeinflusst vor allem die Bereiche der Netzwerkorganisation, der Netzwerkbeziehungen, der Netzwerkmitglieder und des Wissenserwerbes, der Ablauforganisation und der technisch-wirtschaftlichen Risiken. Im Ergebnis wird die Ausweitung der Unternehmenskooperationen unterstützt.

Baumdiagramm (Entscheidungsbäume): Das Ziel der Erarbeitung eines Entscheidungsbaumes sind die Berechnung der Endwahrscheinlichkeiten und die Darstellung der möglichen Ergebnisse aus einer Entscheidung. Entscheidungsbäume unterstützen die Entwicklung disruptiver Technologien in Bezug auf die Untersuchung und Bewertung der unsicherheits- und risikobehafteten Zukunftsszenarien. Zunächst wird der Ausgangspunkt der Entscheidung bestimmt, woraufhin die Klassifikationselemente auf den einzelnen Ebenen ermittelt werden. Es erfolgt dann eine Bewertung der einzelnen Klassifikationselemente mit Wahrscheinlichkeiten. Die Endwahrscheinlichkeiten an jedem Ast-Ende werden durch Multiplikation der einzelnen Wahrscheinlichkeiten berechnet. Entscheidungsbäume ermöglichen die Verbesserung der Vorbereitung von Entscheidungen, der Visualisierung von Abhängigkeiten zwischen einzelnen Entscheidungen, die Visualisierung von Ergebnissen aus Entscheidungen. Entscheidungsbäume lassen sich in sämtlichen Phasen des Entwicklungsprozesses anwenden und wirken sich auf Entwicklungsnetzwerke, Organisation und Prozesse, Technologiemanagement sowie Risikomanagement aus. In diesen Feldern wirkt deren Anwendung auf die Netzwerkbeziehungen, die Ablauforganisation, die Technologiebewertung, -entwicklung und -strategie, die Risikomanagementprozesse sowie die technischen und wirtschaftlichen Risiken.

Conjoint-Analyse: Die Adaptive Conjoint Analyse (ACA) ist eine Methode zur Messung der Bewertung eines Produktes, indem die Nutzenwerte für bestimmte Ausstattungsmerkmale bestimmt werden. Sie wird rechnergestützt durchgeführt. Ziel der Conjoint Analyse ist es, die Bedürfnisse spezifischer Zielgruppen zu ermitteln. Es soll untersucht werden, welche Produktmerkmale dem Kunden wichtig sind und welche Potenziale existieren, um den Kundenmehrwert zu steigern. Ebenso können Vergleiche zu Konkurrenzprodukten angestellt werden. Die Conjoint-Analyse bildet damit die Zusammenhänge zwischen Kunde, Preis und Produkt ab. Durch die spezielle Fragetechnik der Methode ist der Kunde gezwungen, Kompromisse einzugehen. Bei Technologiesprüngen können auf diese Weise zumindest Tendenzen der Kundenwünsche identifiziert werden (vgl. Wildemann 2014b). Die Conjoint-Analyse ermöglicht damit die Gewinnung von Informationen über Kundenpräferenzen sowie eine Klassifikation bzw. Bewertung von Produktmerkmalen. Daher bietet die Methode eine Reifegradsteigerung in den Gestaltungsfeldern Wissensmanagement und Kundenorientierung in den Phasen der Grundlagenforschung, Vorentwicklung und Konzeptentwicklung.

Cross-Impact-Analyse: Das Vorgehen der Cross-Impact-Analyse gliedert sich in fünf Phasen. Zunächst werden potentielle Umweltentwicklungen bezogen auf Produkte identifiziert.

Außerdem werden wichtige Unternehmensaspekte und Ziele gewählt. Im dritten Schritt erfolgt die Bewertung der positiven und/oder negativen Einflüsse der Umweltentwicklungen auf die Unternehmensaspekte. Nach dem Schätzen der Eintrittswahrscheinlichkeiten werden die Ergebnisse diskutiert (vgl. Schwarz 2003). Die Cross-Impact-Analyse liefert wichtige Erkenntnisse über mögliche zukünftige Entwicklungen (vgl. Specht et al. 2002). Bei unklaren oder widersprüchlichen Ergebnissen kann weiterer Analysebedarf identifiziert werden. Die abschließende Ergebnisdiskussion kann wichtige Ideen für die frühen Phasen der Produktentwicklung liefern (vgl. Verworn 2009). Die Methode kann im Rahmen des Technologiemanagements und der Kundenorientierung eingesetzt werden und die Technologiefrüherkennung sowie die Analyse von Kundenanforderungen unterstützen. Den größten Einfluss auf den Erfolg der Produktentwicklung von Produkten auf Basis disruptiver Technologien hat die Cross-Impact-Analyse in den Phasen der Grundlagenforschung, Vorentwicklung und Konzeptentwicklung.

Customer Relationship Management (CRM): Ziel des CRM ist es, durch diese Beziehungen sowohl die Kundenzufriedenheit als auch den Marktanteil zu steigern sowie durch eine umfassende Speicherung und Nutzung der Daten, Kosten zu senken. CRM unterstützt die Entwicklung und Kommerzialisierung disruptiver Technologien insbesondere durch die Validierung der

Kundenanforderungen über den gesamten Produktlebenszyklus. Im ersten Schritt erfolgt eine Analyse der Kundenzufriedenheit, -bindung und -anforderungen. Darüber hinaus wird eine Prozessanalyse in Marketing, Vertrieb, Service und Logistik durchgeführt. Anhand der Analyseergebnisse werden Kundengruppen segmentiert. Schlussendlich werden die Maßnahmen eingeführt und regelmäßige Ergebnis- und Fortschrittskontrollen durchgeführt sowie notwendige Anpassungen vorgenommen. Im Ergebnis führt das CRM zu einer Steigerung des Umsatzes und der Termintreue. Ferner bewirkt es eine Senkung der Bearbeitungszeiten, der Durchlaufzeit sowie der Vertriebskosten. In den Phasen der Grundlagenforschung, der Vorentwicklung und der Konzeptentwicklung wirkt das CRM auf die Gestaltungsfelder Entwicklungsnetzwerke, Wissensmanagement, Kundenorientierung und Risikomanagement. Es fördert die Netzwerkorganisation und die Netzwerkbeziehungen, da Kundenwissen über alle Netzwerkpartner eingeholt und weitergegeben werden kann. Darüber hinaus fördert CRM den Wissenserwerb und die Wissensbewahrung, insbesondere über Kunden und Märkte. Es fördert ferner die Kundenintegration, den Kundennutzen sowie die Erfüllung von Kundenanforderungen und reduziert die wirtschaftlichen Risiken einer Fehlentwicklung.

Delphi-Methode: Die Methode ist dadurch gekennzeichnet, dass Experten Fragen anonym beantworten, um gruppendynamische

Prozesse zu vermeiden. Die Teilnehmer beantworten in mehreren Befragungsrunden einen Fragebogen, der die zu untersuchende Problemstellung abdeckt. Mit jeder Runde konvergieren die Meinungen der Experten stärker zueinander, bis nach der 2. bis 3. Iteration die Übereinstimmung in der Regel einen Grad erreicht, bei dem die Befragung abgebrochen werden kann. Zu Beginn erstellt ein kleines Expertenteam einen ausführlichen Fragebogen, der die Problemstellung nach Möglichkeit komplett abdeckt. Im Anschluss erfolgt die Zusammenstellung des Expertenpanels. Nun beginnt mit der ersten Iteration die Durchführung der Studie. Die Experten beantworten den Fragebogen und senden der Projektleitung ihre Ergebnisse. Daraufhin wird den Teilnehmern Rückmeldung erteilt über ihren Standpunkt innerhalb der Gruppe und die nächste Iteration beginnt. Dies wird so oft wiederholt, bis die Übereinstimmung der Meinungen einen Grad erreicht, an dem die Studie abgebrochen wird (vgl. Gelbmann/ Vorbach 2003). Das Ergebnis der Methode ist eine Prognose und Bewertung zukünftiger Entwicklungen in einem bestimmten Gebiet sowie die Ableitung einer geeigneten Innovationsstrategie. Die Methode wird in der Grundlagenforschung und Vorentwicklung eingesetzt. Sie wirkt auf die Bewertungsbereiche Technologiebewertung, -entwicklung und -strategie, weil diese Bereiche über Experten in dem Befragungsprozess behandelt werden.

Einkaufs-Audit: Ziel dieser Methode ist es, Stärken und Schwächen im Einkaufsbereich zu ermitteln sowie Chancen und Risiken zu bestimmen. Für die Beschaffung von neuartigen Technologien ist der Einkauf entsprechend aufzustellen. Leistungsprofile der Einkaufsleistung sind folglich wichtig, um Abnehmer-Lieferanten-Beziehungen zu bewerten und entsprechend zu handeln. Zu Beginn wird die Einkaufsleistung auditiert und eine Einkaufspotentialanalyse durchgeführt. Es werden Handlungsempfehlungen abgeleitet und die Abnehmer-Lieferanten Beziehungen bewertet. Durch eine Maßnahmenplanung und Potentialabschätzung können die aufgezeigten Handlungsfelder bearbeitet werden, indem zuvor ein Stärken- und Schwächen-Profil des Einkaufs erstellt wird. Die Methode Einkaufs-Audit berücksichtigt die Gestaltungsfelder Organisation & Prozesse, Kundenorientierung und Risikomanagement. Implikationen hat die Methode auf die Bewertungsbereiche Aufbau- und Ablauforganisation, Kundenanforderung, Kundennutzen, Risikomanagement und -prozess und den wirtschaftlichen Risiken. Durch das Einkaufs-Audit wird ein branchenvergleich ermöglicht, woraus die Erstellung eines differenzierten Leistungsprofils der Einkaufsleistung resultiert. Die Analyse der Maßnahmen und die Ausweisung ihrer Potenzialwirksamkeit kann in der Einkaufsstrategie dokumentiert werden. Der Einsatz der Methode erfolgt in der Grundlagenforschung und Vorentwicklung.

Frühwarnsysteme: Durch die Ausgestaltung von Frühwarnsystemen können sowohl schwache Signale bei disruptiven Technologien als auch konkrete Indikatoren für neue Technologiefelder als Vorläufer technischer Änderungen identifiziert werden. Neuartige Ansätze sind im Automobilbereich frühzeitig zu erkennen, um entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Zu Beginn werden die Beobachtungsbereiche zur Erkennung von Gefährdungen ermittelt. Daraufhin können Frühwarnindikatoren je Beobachtungsbereich bestimmt und Risikokennzahlen definiert werden. Durch die Fertigstellung von Sollgrößen und Toleranzgrenzen je Indikator erfolgt die Formulierung von Risikoschwellen und Festlegung von Aufgaben. Die Durchführung einer systematischen Vergleichsrechnung ist die Basis zur Ausgestaltung von Informationskanälen (vgl. Czaja 2009). Mit Hilfe der Methode Frühwarnsysteme können Effekte in den Gestaltungsfeldern Entwicklungsnetzwerke, Organisation & Prozesse, Technologie- und Risikomanagement erzielt werden. Frühwarnsysteme wirken auf Netzwerkmitglieder, die Ablauforganisation, Mitarbeiter & Führung, die Technologiefrüherkennung, der Risikomanagementprozess und Risikomanagementkompetenzen sowie auf wirtschaftliche- und technische Risiken in der Grundlagenforschung wie Vorentwicklung. Die Ergebnisse sind das Erkennen strategischer Risiken und relevante technologische Informationen aus der Unternehmensumwelt.

GENESIS: Diese Methode basiert auf einem Workshop, bei dem Lösungsansätze, Methoden und standardisierte Vorgehensweisen zur Produktivitätssteigerung eingesetzt werden. Ziele des Workshops sind: kurzfristige Produktivitätssteigerung, Durchlaufzeitreduzierung, Freisetzung von Flächen sowie eine Verbesserung des Qualitätsniveaus. Im Anschluss an den Workshop findet eine unmittelbare Realisierung der erarbeiteten Maßnahmen statt. Entscheidend für den Erfolg des GENESIS-Konzeptes sind die nachfolgend aufgeführten Gestaltungsgrundsätze. Durch die Analyse und Umgestaltung abgegrenzter Unternehmensbereiche kann eine konzentrierte Bearbeitung wichtiger Themenstellungen erfolgen. Entscheidungen werden in der Gruppe getroffen, nicht durch den Ranghöchsten. Der Einsatz ist in der gesamten Organisation und bei systemrelevanten Lieferanten denkbar (vgl. Burkholder 2006). Durch den Einsatz der Methode können Potenziale in den Gestaltungsfeldern Entwicklungsnetzwerk, Wissensmanagement, Organisation & Prozesse und Technologiemanagement ausgeschöpft werden. Die Methode wirkt auf die Bewertungsbereiche Netzwerkbeziehungen, Wissenserwerb und -bewahrung, Wissenstransfer, Ablauforganisation und Technologieentwicklung in der Grundlagenforschung und Vorentwicklung. Die Ergebnisse sind Kosteneinsparung, Bestandsreduzierung, Produktivitätssteigerung und ein steigendes Qualitätsniveau.

Kano-Modell: Die Grundidee der Kano-Analyse basiert auf der Erkenntnis, dass die Erfüllung von Forderungen der Kunden nach bestimmten Produkteigenschaften die Kundenzufriedenheit in unterschiedlichem Maß erhöht (vgl. Sauerwein 2000). Die Anforderungen können nach dem Kano-Modell in drei unterschiedliche Kategorien eingeteilt werden: Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen (vgl. Antony/ Preece 2002). Zunächst sind die kundenrelevanten Produkteigenschaften zu identifizieren. Anschließend wird ein Fragebogen erstellt und die Befragung durchgeführt. Den Fokus der Kano-Befragung stellt die Gegenüberstellung eines Merkmals in jeweils einer funktionalen und einer dysfunktionalen Fragenformulierung dar. Schließlich werden die Fragebögen ausgewertet und interpretiert (vgl. Sauerwein 2000). Sie dient der Identifikation der wichtigsten Kundenanforderungen an ein Produkt und zeigt operationalisierte kritische Kundenanforderungen an. Die Durchführung der Kano-Analyse wird zur Verbesserung der Markt- und Kundenorientierung eines Unternehmens empfohlen (vgl. Sauerwein 2000). Sie wird im Rahmen der Kundenorientierung genutzt, um mit einer direkten Kundenintegration die relevanten Kundenanforderungen und den Kundennutzen über den Zeitverlauf aufzunehmen und in den weiteren Phasen der Produktentwicklung zu berücksichtigen. Diese Methode wird in der Grundlagenforschung, Vorentwicklung und Konzeptentwicklung angewendet.

Kompetenzbaum: Die Erarbeitung des Kompetenzbaums erfolgt in sechs Schritten. Zunächst werden Kernkompetenzen analysiert und in Kompetenzlücken, Standardkompetenzen, Potentialkompetenzen und Kernkompetenzen gruppiert. Anschließend erfolgt das Zuordnen von Kernprodukten zu den Kernkompetenzen und im dritten Schritt die Zuordnung von Geschäftsbereichen nach Anwendungsfeldern. Die Organisation sollte so gestaltet sein, dass sich Geschäftseinheiten nach Anwendungsfeldern der Technologien untergliedern. In der vierten Phase erfolgt die Definition von Produktbereichen, bevor anschließend Endprodukte definiert werden. In der sechsten Phase wird der Kompetenzbaum graphisch dargestellt (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Die Analyse liefert einen Überblick über Kernkompetenzen und ihren möglichen Einsatz für neue Produkte oder neue Kunden. Der Kompetenzbaum trägt zur Identifikation neuer Geschäftsfelder für Produkte auf Basis disruptiver Technologien bei. Durch die organisatorische Zusammenfassung von Produkten gleicher Anwendungsfelder wirkt sich diese Methode indirekt auf die Aufbauorganisation und das Gestaltungsfeld Organisation und Prozesse aus. Der Kompetenzbaum liefert wertvolle Erkenntnisse für die Technologiestrategie und wird im Rahmen des Technologiemanagements genutzt. Die Anwendung dieser Methode erfolgt von der Grundlagenforschung bis zur Konzeptentwicklung.

Kompetenzmatrix: Bei dieser Methode werden zunächst die relevanten Akteure festgelegt. Im Anschluss werden der Kompetenzbereich und die jeweiligen Kompetenzen definiert. Als nächster Schritt gilt es eine Kompetenzentwicklung darzustellen die im weiteren Verlauf in einer Kompetenzmatrix aufgezeigt werden kann (vgl. North et al. 2013). Anhand der vorliegenden Matrix zwei Analysen durchgeführt. Zum einen werden die einzelnen Akteure miteinander verglichen und zum anderen wird eine Klassifizierung dieser Akteure erstellt. Im letzten Schritt werden die Schlussfolgerungen der Kompetenzmatrix interpretiert und diskutiert. Als Resultat wird eine Identifizierung von Kompetenzen der einzelnen Mitarbeiter erreicht. Dabei kann festgestellt werden welche Wissensdefizite oder Redundanzen in der Gesamtorganisation existieren. Der Anwendungsbereich dieser Methode liegt in den Bewertungsbereichen Wissenserwerb und Wissensbewahrung. Da die Akteure einer Kompetenzmatrix sich nicht nur im Unternehmen befinden sondern auch in einen Unternehmensnetzwerk vorzufinden sind, kann diese Methode neben dem Bewertungsbereich Aufbauorganisation auch in dem Bereich Netzwerkmitglieder eingesetzt werden. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Technologiestrategie. Die Methode wird in der Grundlagenforschung, Vorentwicklung und Konzeptentwicklung angewendet.

Kunden-Produkt-Portfolio: Zuerst erfolgt eine Analyse und Beurteilung von Märkten, Kunden und Produkten hinsichtlich ihrer Umsätze, Deckungsbeiträge, Nutzen(-wahrnehmung) und Innovationsgrade (vgl. Wildemann 2014d). In einer Darstellung mit aktuell gültigen Zusammenhängen zwischen Kunden- und Produktstrukturen können Handlungsbedarfe aufgezeigt werden. Anhand dieses Portfolios kann ein SOLL-Portfolio durch die Umsetzung der Unternehmensstrategie anhand von Portfolios in Markt-, Kunden-segmente und Produktbereiche/gruppen erstellt werden. Die Planung und Umsetzung des SOLL-Portfolios erfolgt mit Hilfe einer Innovations-Roadmap. Als Resultat kann eine Erhöhung der Markteffektivität durch kundenindividuelle/ -passende Produkte erreicht werden. Eine Verringerung der Komplexitätskosten durch eine Planung des Produktportfolios, der Kontrolle über Wachstum und Komplexität ist auch möglich (vgl. Wildemann 2014h). Der Einsatz dieser Methode erfolgt aufgrund der Durchführung von Kundenanalysen neben dem Bewertungsbereich Kundennutzen auch in den Bereichen Wissenserwerb, Wissensbewahrung und Wissenstransfer. Darüber hinaus kann die Kundensegmentierung auf zur Technologiefrüherkennung und zur Technologiestrategie beitragen und findet daher in den gleichnamigen Bewertungsbereichen Anwendung. Die Methode wird in der Grundlagenforschung eingesetzt.

Lead-User-Konzept: Ziel der Lead-User-Methode ist die aktive Integration ausgewählter trendführender Nutzer, die in sich Bedürfnis- und Lösungsinformationen vereinen. Mit spezifisch ausgewählten, innovationsorientierten Kunden werden Ideen und Konzepte für Produkt- oder Prozess-Neuentwicklungen generiert (vgl. Wiegandt 2009). Für eine erfolgreiche Umsetzung des Lead-User-Konzeptes hat das Unternehmen Lead-User zu identifizieren. Zunächst werden die Projektinitiierung mit Teambildung, der Definition des Zielmarktes und die Projektzieldefinition angestoßen. Im Folgenden wird eine Trendanalyse in den relevanten Suchfeldern durchgeführt (vgl. Hippel 1988). Das Konzeptdesign beinhaltet die Lead-User-Workshops mit dem Generieren neuer Ideen, die Evaluierung der Ideen sowie die abschließende Dokumentation der Ergebnisse. Die Methode ermöglicht den Transfer von Bedürfnisdefinitionen und der Lösungsanforderungen. Sie liefert eine Auflistung von Produkteigenschaften aus Anwendersicht. Mit dem Wissenserwerb zu Kundenanforderungen und möglichen Technologieentwicklungen aus den Lead-User-Workshops sind Unternehmen befähigt, markt- und kundenorientierter sowie wettbewerbsfähig zu sein. Aufgrund der direkten Kundenintegration werden mehrere Gestaltungsbereiche in diesem Netzwerk berücksichtigt. Die Methode wirkt auf die Gestaltungsfelder Wissensmanagement, Kundenorientierung, Technologiemanagement und Netzwerk.

Diese Methode eignet sich in den frühen Phasen des Forschungs- und Produktentwicklungsprozesses von der Grundlagenforschung bis zur Konzeptentwicklung.

Leistungswertorientiertes Risikomanagement: Die Methode geht von den Unternehmenszielen aus und zeigt leistungswirtschaftliche Wege und Maßnahmen auf, durch welche die Zielerreichung gesichert wird. Gerade bei disruptiven Technologien ist ein leistungswertorientiertes Risikomanagement notwendig, um relevante Technologien umzusetzen, welche einen Mehrwert erzielen. Das leistungswertorientierte Risikomanagement erfasst alle relevanten Risiken und Schadensgefahren anhand spezifischer Tools der Risikoidentifikation. Daraufhin werden Risiken priorisiert und Ansatzpunkte für die Risikohandhabung durch einen Methoden-Mix zur Risikoanalyse und -bewertung aufgezeigt. Es erfolgt eine Ableitung von aktiven und passiven Risikohandhabungsstrategien, um die Auswirkungen im Risikoeintrittsfall zu kompensieren. Das Risikocontrolling erfolgt unter zur Hilfename einer Risk-Map. Das leistungswertorientierte Risikomanagement weist Implikationen auf die Gestaltungsfelder Entwicklungsnetzwerk und Risikomanagement und wirkt auf die Bewertungsbereiche Netzwerkorganisation, Netzwerkmitglieder, Risikomanagement und -prozess sowie wirtschaftliche Risiken in der Grundlagenforschung, Vorentwicklung und Konzeptentwicklung. Durch den Einsatz der Methode resultieren die

Identifikation, Bewertung und Maßnahmenableitung von leistungswirtschaftlichen Risiken, die Verbesserung der Unternehmensrisikoposition, die Erzeugung von Risikotransparenz und Risikobewusstsein bei Mitarbeitern und die risikobewusste Steuerung der Geschäftsfelder.

Make or Buy (MoB): Die MoB-Entscheidung ist in der Elektromobilität aufgrund neuer Technologie- und Geschäftsfelder nötig. Vor allem Fahrzeughersteller können nicht sämtliche Leistungen selbst erbringen. Leistungen wie beispielsweise die Batterietechnologie werden in Partnerschaften erstellt oder fremdbezogen, um die Anforderungen des Marktes zu erfüllen und damit die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Zu Beginn erfolgt eine Analyse der Produktkomponenten, Fertigungstechnologien, Dienstleistungsprozesse und Zentralfunktionen. Daraufhin wird der Kerngeschäftsumfang festgelegt. Die Methode wirkt auf die Felder Wissensmanagement, Organisation & Prozesse, Technologie- und Risikomanagement in der Grundlagenforschung, Vorentwicklung und Konzeptentwicklung. Die Bewertungsbereiche Wissenserwerb, Ablauforganisation, Technologiestrategie, Risikomanagement und -prozess sowie wirtschaftlich Risiken werden durch die MoB-Entscheidung beeinflusst. Es resultieren die Steigerung des Absatzvolumens, der Qualität, der Produktivität und der Lieferbereitschaft sowie die

Senkung der Qualitätskosten in der Beschaffung und der Logistikkosten.

Mind-Mapping: Die Methode dient der vereinfachten Suche nach relevanten Aspekten. Das Mind-Mapping wird als Hilfe beim Brainstorming eingesetzt und kann sowohl individuell als auch im Team durchgeführt werden (vgl. Svantesson 1996). Zu Beginn wird der zentrale Begriff in die Mitte eines querliegenden Blattes geschrieben. Im Umfeld dieses Schlüsselbegriffes werden damit verbundene Begriffe eingetragen. Diese Unterbegriffe werden durch eine Linie mit dem Schlüsselbegriff verbunden. Die Unterbegriffe können jetzt ebenfalls als untergeordnete Schlüsselbegriffe weiterverwendet werden und eigene Unterpunkte erhalten (vgl. Svantesson 1996). Als Ergebnis einer Mind-Map werden komplexe Sachverhalte auf wesentliche Elemente und Relationen reduziert. Es wird ein Überblick über ein bestimmtes Themenfeld generiert, z.B. über Anwendungsfelder der disruptiven Technologie. Dieser Wissenserwerb wirkt sich auf die weiteren Überlegungen im Bereich der Technologiestrategie und Technologieentwicklung aus. Das generierte Wissen ist unternehmensspezifisch zu bewahren. Es empfiehlt sich die Anwendung in den frühen Phasen des Forschungs- und Produktentwicklungsprozesses von der Grundlagenforschung zur Vorentwicklung.

Morphologischer Kasten: Auf Basis vorhandener Informationen liefert diese Methode einen Beitrag zur Entwicklung neuer und innovativer Lösungsalternativen (vgl. Booij et al. 2000). Die implementierte Analyse generiert einen hohen Grad an Vollständigkeit. Bei Anwendung der Methode sind drei wesentliche Arbeitsschritte (Workshops, Meetings) zu durchlaufen (vgl. Zwicky/ Wilson 2012). Zerlegung in Elemente: Die Problemstellung muss definiert und beschrieben werden. Nach Analyse der Grundstruktur muss diese in, für die Problemlösung sinnvolle, charakteristische Elemente bzw. Parameter zerlegt werden. Die gewählten Parameter dürfen nicht voneinander abhängig sein, da sonst die freie Wahl von Kombinationen nicht gegeben ist. Erarbeitung der Ausprägungen: Jedem Parameter werden im nächsten Schritt die vorher erarbeiteten konkreten Ausprägungen zugeordnet. Kombination: Durch Kombination der Elementausprägungen ergeben sich alle möglichen Lösungsalternativen, aus denen eine präferierte auszuwählen ist. Die Methode liefert Problemlösungsalternativen sowie Ideen für neue Technologien. Durch die Anwendung des morphologischen Kastens werden zwei Gestaltungsfelder angesprochen, das Wissensmanagement und das Technologiemanagement, um das in der Problemlösungssuche erworbene Wissen zu bewahren. Die Erkenntnisse ermöglichen eine Technologiefrüherkennung und -bewertung in der Phase der Grundlagenforschung.

Open Innovation: Unter Open Innovation versteht man eine Methode, die es ermöglicht, externe Stakeholder aktiv in bestimmte Phasen des Innovationsprozesses einzugliedern. Verschiedene Techniken sind die Nutzung der sozialen Netzwerke und interaktive Webplattformen, die durch freiwillig generierte und interaktive Inhalte, die Ideen und Kompetenzen der User einbinden. Damit erschließen Organisationen eine Quelle für neues Wissen und Ideen und binden Kunden in die Produktentstehung mit ein, um bedarfsgerechte Lösungen generieren zu können. Der Fokus liegt hier auf einer IT-gestützten Webplattform, die es Nutzern ermöglicht, ihre Ideen und Bedürfnisse artikulieren. Diverse Kreativitätswerkzeuge dieser virtuellen Umgebung unterstützen Nutzer dabei, ihre Ideen in konkrete Lösungen zu transferieren, ohne dabei mit dem entwickelnden Unternehmen direkt in persönlichen Kontakt zu treten. Durch zeitlich begrenzte Ideenwettbewerbe wird dieser Prozess forciert und unternehmensfremde Personen motiviert, aktiv am Innovationsprozess mitzuwirken. Die Methodik führt zu Wissenszuwachs, Generierung kreativer und bedarfsgerechter Ideen, Erweiterung des Wissensnetzwerkes, Beschleunigung des Innovationsprozesses. In den Phasen der Grundlagenforschung, der Vorentwicklung, der Konzeptentwicklung und der Serienentwicklung wirkt es daher auf die Bereiche Wissenserwerb, Kundenanforderung und -nutzen sowie Technologiefrüherkennung und -entwicklung.

Open-Space-Konferenz: Ziel dieser Methode ist es, neues Wissen bzw. kreative Ideen zur Lösung drängender Probleme zu entwickeln und nach Möglichkeit Veränderungsprozesse zu initiieren und einzuleiten. Voraussetzung für die Durchführung sind Offenheit und Veränderungsbereitschaft, sowie generelles Vertrauen in die Selbstorganisation der Gruppe. Die zwei- bis dreitätige Konferenz findet mit großen Gruppen ab etwa 40 Personen in einem geeigneten Konferenzraum statt. Die Vorgabe nur eines Grundthemas unterstreicht die inhaltliche Offenheit und motiviert die Teilnehmer, eigene Themen bzw. Inhalte dazu ins Plenum einzubringen und vorzustellen, um freiwillige Workshops oder Arbeitsgruppen zu bilden. Zum Abschluss der Konferenz werden die wichtigsten Themen und Ziele herausgearbeitet und künftige Vorgehensweisen überlegt. Des Weiteren werden die Ergebnisse dokumentiert und allen Teilnehmern zur Verfügung gestellt. Die Methodik der Open-Space-Konferenz fördert die Entwicklung neuen Wissens, die Generierung kreativer Ideen, die Initiierung von Veränderungsprozessen und die Erweiterung des Wissensnetzwerks. Im Verlaufe der Grundlagenforschung, der Vorentwicklung und der Konzeptentwicklung wirkt sie daher auf die Bereiche Wissenserwerb, -bewahrung, -transfer, Ablauforganisation und Technologieentwicklung in den Feldern Wissensmanagement, Organisation und Prozesse bzw. Technologiemanagement.

Portfolioansatz: Das Vorgehen der Technologie-Portfolio-Analyse erfolgt mit den drei Schritten Technologieidentifikation, zukunftsorientierte Technologiebewertung und Auswertung des Technologieportfolios (vgl. Pfeiffer/ Dögl 1997). Zunächst müssen Bewertungsobjekte identifiziert werden. Anschließend erfolgt die Technologiebewertung mit Bezug auf die zwei elementaren Größen Technologieattraktivität und Ressourcenstärke. Zur Bewertung der Ressourcenstärke werden der technisch-qualitative Beherrschungsgrad, Ressourcen zur Ausschöpfung des Weiterentwicklungspotentials sowie die Aktionsgeschwindigkeit betrachtet(vgl. Pfeiffer/ Dögl 1997). Die Methode ermöglicht, dass aktuelle und zukünftige Technologien mit disruptivem Potential untersucht werden können. Der Portfolioansatz liefert wichtige Erkenntnisse, die als Grundlage für Investitions- und Desinvestitionsentscheidungen sowie für die Entscheidung zum Technologie-Timing erforderlich sind (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Die Bewertung und Auswahl der Verwertungsalternativen kann im Rahmen des Technologiemanagements und des Risikomanagements durchgeführt werden. Der Technologieportfolio-Ansatz ist anwendbar für die Technologiebewertung, die Festlegung der Technologiestrategie und bei der Bewertung von wirtschaftlichen Risiken in den Grundlagenforschung und Vorentwicklung (vgl. Pfeiffer/ Dögl 1997).

Portfolioplanung: Durch die Methode können portfoliointerne Negativeffekte bei neuartigen Technologien aufgedeckt werden. Dies umfasst beispielsweise Kannibalisierungseffekte durch die elektrifizierten Fahrzeuge bei etablierten Fahrzeugkonzepten. Außerdem werden Portfoliolücken aufgedeckt, sodass Überschneidungen reduziert werden können und neue marktgerechte Produktkonzepte entwickelt werden. Bei der Portfolioplanung werden zu Beginn relevante Produkteigenschaften definiert und Produktdaten im relevanten Markt gesammelt. Dadurch kann eine interne und externe Portfolioanalyse zur Identifikation von Lücken und Schwachstellen durchgeführt und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Daraufhin kann ein innovatives Konzept basierend auf den Produkteigenschaften entwickelt werden. Die Erfolgswahrscheinlichkeit der neuen Konzepte wird anhand von Substitutionsanalysen geprüft. Die Methode hat Implikationen auf die Gestaltungsfelder Kundenorientierung, Technologie- und Risikomanagement in der Grundlagenforschung, Vorentwicklung und Konzeptentwicklung. Sie wirkt auf die Bewertungsbereiche Kundenanforderung, Technologiefrüherkennung, Technologiestrategie und -entwicklung sowie auf die Technologiebewertung und den wirtschaftlichen Risiken. Es resultiert die Steigerung des Umsatzes, die Senkung von Kannibalisierungseffekten, die Ableitung innovativer Produktkonzepte und die Steigerung der Erfolgsaussichten neuer Produkte.

Produktordnungssystem (POS): Die Methode strukturiert den Aufbau des Produktprogramms mit dem Ziel einer effizienten Abbildung der Kundenanforderungen in Produkte und Prozesse. Es werden die Gestaltungsfelder Organisation & Prozesse, die Kundenorientierung und das Technologiemanagement beleuchtet. Das POS unterstützt die Analyse der aktuellen neuartigen Technologien im Elektromobilitätsumfeld. Zu Beginn wird eine Funktions- und Produktstrukturanalyse durchgeführt, um auf dieser Basis technische und kostenmäßige Bewertung der Konzepte durchzuführen. Daraufhin sind die Produkte in Module und Systeme zu detaillieren, um die Konfiguration der Strategie zu bestimmen. Die Zielkosten sind abzuleiten und unterschiedliche Lösungsansätze zu analysieren. Die Methode kann Effekte auf die Gestaltungsfelder Organisation & Prozesse, Kundenorientierung und Technologiemanagement erzielen und wirkt auf die Phasen der Grundlagenforschung, Vorentwicklung und Konzeptentwicklung. Das POS wirkt auf die Aufbau- und Ablauforganisation, die Kundenanforderungen, -integration und –nutzen sowie der Technologieentwicklung. Die Ergebnisse des POS sind die Optimierung der Produkte und Prozesse, die Unterstützung in der Organisation, die Stabilität und Flexibilität durch Individualisierung nach außen und Standardisierung nach innen, die Orientierung an Kundenanforderungen und -nutzen und die Mithilfe bei der Technologieentwicklung.

Publikations-/Patenthäufigkeitsanalyse: Die Methoden zielen darauf ab, durch die Aufdeckung momentan wichtiger Forschungsfelder neue technologische Trends zu identifizieren. Vor allem die Publikationshäufigkeitsanalyse fußt auf der These, dass die Anzahl der Publikationen im Qualitätsmanagement disruptiver Technologien mit der Intensität der Forschung in diesem Themengebiet korreliert ist. In der Grundlagenforschung stellen sich Veröffentlichungen als Hauptquelle heraus, während in der angewandten Forschung eher Patente Auskunft über neue Entwicklungen ermöglichen können. Beide Methoden liefern sowohl quantitative als auch qualitative Ergebnisse. Zu Beginn erfolgt eine Auswahl an Publikationen und Patente. Bei Anwendung der Publikationshäufigkeitsanalyse wird überprüft, ob sich durch eine zunehmende Anzahl an Veröffentlichungen relevante Forschungsfelder identifizieren lassen (vgl. Wellensiek et al. 2011). Das Ergebnis der Patenthäufigkeitsanalyse ist die Identifikation technischer Entwicklungen und neuer Trends sowie die Analyse des aktuellen Standes einer Technologie. Bis auf die Serienvorbereitung kann diese Methode in jeder Prozessphase des Entwicklungsprozess eingesetzt werden, um noch in den Entwicklungsprozess eingreifen zu können. Da aufgrund von Häufigkeiten bestimmter Patentgruppen oder Publikationen neue Technologierichtungen erkannt werden können, wirkt diese Methode besonders auf den Bereich der Technologiefrüherkennung.

Szenariotechnik: Die Methode wird bei Fragestellungen eingesetzt, die durch eine ausgeprägte Ungewissheit bzw. Unsicherheit, hohe Komplexität und einen langfristigen Planungshorizont gekennzeichnet sind. Zu Beginn erörtern die Prozessbeteiligten aus diversen Unternehmensbereichen die Ausgangssituation und legen das Gestaltungsfeld sowie den Zeithorizont fest. Im Anschluss erfolgt die Identifikation der Einflussfaktoren auf den zu untersuchenden Zielbereich. Unter Berücksichtigung der Vernetzung und der Wechselwirkung zwischen den Faktoren werden diese weiterentwickelt, sodass auf dieser Basis ein Annahmebündel von Szenarien abgeleitet werden kann. Davon werden meist zwei sehr unterschiedliche Szenarien und das Trendszenario ausgewählt. Schlussendlich können diese Szenarien analysiert und geeignete Maßnahmen abgeleitet werden. Die Szenariotechnik fördert Entwicklung neuen Wissens, die Generierung kreativer Ideen, die frühzeitige Identifikation technologischer Entwicklungen und die Ableitung einer Strategie zur Technologieentwicklung. In der Phase der Grundlagenforschung wirkt sie sich daher auf die Bereiche Wissenserwerb, Technologiefrüherkennung, -bewertung, -entwicklung, -strategie, Risikomanagement und -prozess sowie wirtschaftliche Risiken in den Gestaltungsfeldern Wissensmanagement, Technologie- und Risikomanagement aus.

TCBO-Ansatz: Bei Produkten auf Basis disruptiver Technologien sind Kosten des gesamten Lebenszyklus zu betrachten und um die Bewertung des Nutzens zu erweitern. Damit soll es Unternehmen ermöglicht werden, Pfadabhängigkeiten zu reduzieren und die Flexibilität zu erhöhen. Unternehmen im Umfeld der Elektromobilität müssen folglich den direkten Nutzen, indirekte Nutzeneffekte und potentielle Nutzeneffekte sowie alle Kostenanteile bei der Bewertung von Technologien berücksichtigen. Zunächst erfolgt die Identifikation von Nutzenmerkmalen anhand von Nutzenchecklisten beim TCBO-Ansatz. Anschließend werden Nutzenmerkmale in indirekte und potentielle Effekte kategorisiert (vgl. Denkena et al. 2009). Im dritten Schritt erfolgt die Monetarisierung der Merkmale als Grundlage für die anschließende Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen. Schließlich erfolgen die Auswahl der präferierten Technologie und die Entscheidung zur Technologieentwicklung. Als Ergebnis werden Kosten und Leistungsmerkmale möglicher Technologien über den gesamten Lebenszyklus miteinander verglichen. Die umfassende Bewertung trägt zum Auflösen von Pfadabhängigkeiten bei Investitionsentscheidungen bei. Die Methode wird im Rahmen des Technologiemanagements und Risikomanagements eingesetzt und kann zur Bewertung von Technologien und technischen Risiken genutzt werden. Die Analyse kann in den Phasen Grundlagenforschung und Vorentwicklung erfolgen.

Technologie-Roadmaps: Die Visualisierung von Technologieentwicklungen und Abhängigkeiten zwischen den Bezugsobjekten einer Roadmap ermöglicht es, Entwicklungen frühzeitig zu erkennen und damit Handlungsoptionen für Forschungs- und Entwicklungsprojekten zu identifizieren und zu analysieren (vgl. Möhrle/ Isenmann 2008). Der Einsatz dieser Methode bietet die Chance, ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt oder dessen Strategie an potenziellen zukünftigen Technologiepfaden zu orientieren. Je nach Einsatzzweck und projektspezifischer Anforderungen erfolgt eine Anpassung der Roadmap hinsichtlich der Anzahl der Bezugsobjekte, der Zeitdauer und des Detaillierungsgrades. Zunächst gilt es, die Ziele und Anforderungen klar zu definieren. Im Anschluss werden benötigte Informationen beschafft und ausgewertet (vgl. Stummer et al. 2010). Basierend auf der Visualisierung lassen sich Trends erkennen und Anwendungspotenziale ableiten (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Das Ergebnis dieser Methode ist die Identifikation potenzieller technologsicher Entwicklungen und die Ableitung möglicher Handlungsoptionen. Die Methode der Technologie-Roadmaps kann besonders in den Prozessphasen Grundlagenforschung und Vorentwicklung angewandt werden, wo noch wenig konkrete Prozesslandschaften existieren. In diesen Phasen wird auf die Bereiche Technologiefrüherkennung, -bewertung und -strategie eingegangen.

Technologiebaum: Zur Operationalisierung von Identifikation und Strukturierung der technologischen Ressourcen und Fähigkeiten sowie zur Abgrenzung von strategischen Technologiefeldern kann die Methode des Technologiebaums angewendet werden. Strategische Geschäftsfelder und Technologien werden über Funktionen und Produkte zueinander in Bezug gesetzt. Um die Akquise von komplementären Technologien zu unterstützen, werden z.B. für Hersteller von elektromechanischen Komponenten das Technologieportfolio in einem Technologiebaum eingebaut und strategische Geschäftsfelder erfasst (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Zunächst erfolgt die Analyse von Wissensgebieten, Technologien und Technologiefeldern, Funktionen sowie möglichen Anwendungen in Modulen und Produkten. Im zweiten Schritt werden Zusammenhänge und Einflüsse der Elemente identifiziert. Schließlich wird der Technologiebaum graphisch dargestellt (vgl. Specht et al. 2002). Als Ergebnis entsteht ein Überblick über die Zusammenhänge von Wissensgebieten, Technologien und Anwendungen. Die Methode bietet eine Möglichkeit, das technologische Wissen eines Unternehmens übersichtlich darzustellen. Der Technologiebaum wird im Rahmen des Technologiemanagements bei der Erarbeitung der Technologiestrategie genutzt. Die Methode findet insbesondere in den frühen Phasen der Produktentwicklung von der Grundlagenforschung bis zur Konzeptentwicklung Anwendung.

Technologieplanung: Die Technologieplanung liefert wertvolle Erkenntnisse für die Technologiefrüherkennung und Technologiestrategie. Eine zielgerichtete Technologieplanung versetzt Unternehmen in die Lage, flexibel auf marktseitige und technologische Veränderungen zu reagieren und ist von großer Bedeutung für ein erfolgreiches Technologiemanagement. In der Vorbereitung sind die Anwendungsfelder, Zielmärkte sowie mögliche Technologiefelder zu definieren, die sich in vielen Fällen von bekannten Produkten unterscheiden. Die Technologieplanung nutzt Methoden, die in weiteren Methodensteckbriefen detailliert werden (vgl. Orilski 2012). Zunächst erfolgt die Vorbereitung, in der Geschäftsfelder oder Technologiefelder definiert werden. Im zweiten und dritten Schritt erfolgen eine Informationsanalyse sowie die Ermittlung zukünftiger Herausforderungen. Im vierten Schritt werden Handlungsoptionen abgeleitet. Dazu gehören die Zusammenstellung des Projektportfolios und die Erarbeitung von Technologie-Roadmaps. Anschließend wird der Technologieplan erstellt und die Ergebnisüberprüfung durch das Technologiecontrolling durchgeführt. Die Technologieplanung wird im Rahmen des Technologiemanagements genutzt und wirkt auf die Bewertungsbereiche Technologiestrategie und Technologiefrüherkennung. In der Regel wird die Technologieplanung in der Grundlagenforschung eingesetzt.

Vorschlagswesen: Das Vorschlagswesen ist ein Instrument der Mitarbeiterintegration in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess (vgl. Probst et al. 2012). Durch einen strukturierten Einsatz kann es den Innovationsprozess erfolgreich unterstützen. Hierzu muss strikt zwischen allgemeinen Ideen und das Innovationsmanagement unterstützenden Ideen unterschieden werden. Nachdem ein Mitarbeiter eine Idee eingereicht hat, wird diese durch eine verantwortliche Stelle nach zuvor definierten Kriterien bewertet. Erfolgsversprechende Ideen werden realisiert und deren Umsetzung im Unternehmen propagiert, um als Anreiz für neue Ideen zu dienen (vgl. Schewe/ Nienaber 2011). Der Urheber der Idee wird anschließend in geeigneter Form honoriert. Die Prämie ist einer der wichtigsten Faktoren zur Motivation der Mitarbeiter (vgl. Bismarck 2008). Das Vorschlagswesen kann durch die Ausrichtung auf das Innovationsmanagement fachspezifische Verbesserungsvorschläge von Mitarbeitern sammeln, welche beispielsweise zur Entwicklung disruptiver Technologien führen. In diesem Fall wirkt es insbesondere auf das Wissensmanagement sowie auf die Organisation und Prozesse. Die Ideengenerierung wird den ersten Phasen der Produktentwicklung zugeordnet, weshalb das Vorschlagswesen im Bezug zum Innovationsmanagement vor allem die Grundlagenforschung und Vorentwicklung unterstützt (vgl. Specht et al. 2002).

5.3.2 Vorentwicklung

Auditierung: Die Methode identifiziert Hindernisse in den Geschäftsprozessen, um eine effiziente Leistungserstellung zu ermöglichen. Die Auditierung führt auch in der Elektromobilität zur ständigen Verbesserung von Standards und zur Verbesserung der Organisation. Der Auditierungsablauf ist rollierend, sodass eine ständige Weiterentwicklung von Standards erzielt wird. Zu Beginn sind Standards durch Fragebogen/Checklisten, Auditplan und Teamzusammenstellung festzulegen. Daraufhin erfolgen die Ermittlung und Bewertung des Ist-Zustandes durch Eröffnungsgespräche und Abweichungserfassung. Die Berichtserstattung durch die Dokumentation von Schwachpunkten und Positiva und der Erfolgsberichtigung früherer Maßnahmen sowie Lösungsansätze und die Definition von Verbesserungsmaßnahmen sind in der Auditierung essentiell. Die Methode wird in den Gestaltungsfeldern Organisation & Prozesse, Kundenorientierung und im Risikomanagement eingesetzt. Effekte werden in der Aufbau- und Ablauforganisation, im Kundennutzen, bei den Kundenanforderungen, im Risikomanagement und -prozess und bei den wirtschaftlichen Risiken erzielt. Eingesetzt wird die Auditierung von der Vor- bis zur Serienentwicklung. Dadurch erhöht sich die Produktqualität und Handlungsbedarfe werden identifiziert. Folglich kann die Organisationseinheit bewertet und entsprechende Unternehmensziele umgesetzt werden.

Balanced Scorecard (BSC) in F&E: Ziel der Methode ist es, das Spannungsfeld zwischen strategischer Planung und operativer Umsetzungssteuerung zu überbrücken. Zu Beginn werden mögliche unternehmensindividuelle Kriterien neben der Finanz-, Prozess-, Kunden- und Potenzialperspektive etabliert. Danach werden kritische Erfolgsfaktoren (KEF) festgelegt, welche die Interessen der Stakeholder berücksichtigen. Die Scorecard wird mittels der KEF und Key Performance Indicators (KPI) erstellt. Im nächsten Schritt wird eine Ursachen-Wirkungs-Analyse durchgeführt, in deren Rahmen die Wechselwirkungen der einzelnen KEF und KPI betrachtet werden. Die Zusammenhänge werden in einer BSC-Story konkret ausformuliert und mit Hilfe eines Soll-Ist-Vergleichs können Konsequenzen für die Unternehmensstrategie abgeleitet werden. Die Methode wirkt in Entwicklungsnetzwerke, Organisation und Prozesse, Kundenorientierung sowie Technologie- und Risikomanagement in der Vor- und Konzeptentwicklung. In diesen Gestaltungsfeldern lassen sich mit der BSC die Bereiche Netzwerkorganisation, Netzwerkbeziehungen, Ablauforganisation, Kundenanforderungen, Kundennutzen, Technologieentwicklung, Risikomanagementprozess sowie technische und wirtschaftliche Risiken beeinflussen. Die BSC führt zu einem effizienteren, ganzheitlichen Führungssystem sowie einer Senkung des Beschaffungsvolumens, der Einkaufspreise sowie einer Zeit- und Kostenreduzierung.

Design for Manufacture: Ziel der Methode ist es, Produkte von Anfang an herstell- und montagegerecht zu gestalten und damit die Lebenszykluskosten präventiv zu reduzieren. Die Anzahl nachträglicher Änderungen wird gesenkt, die Produktqualität gesteigert sowie Problemen in der Produktion systematisch vorgebeugt. Innerhalb der Methode werden zunächst die Einzelteile des Ist-Entwurfs hinsichtlich der Montierbarkeit beurteilt und die resultierende Montagezeit wird festgehalten. Ebenso wird eine Bewertung der Einzelteile hinsichtlich der Herstellkosten durchgeführt. Daraufhin wird die Design-Effizienz des Ist-Entwurfs analysiert und Schwachstellen beurteilt. Innerhalb des Redesign werden Verbesserungen hinsichtlich Montierbarkeit, Material und Gestalt der Teile und Baugruppen sowie zur Reduzierung der Anzahl der Bauteile abgeleitet. Im Ergebnis wird eine Reduzierung der Montagezeit, der Teileanzahl, der Herstellkosten, der defekten Produkte sowie der nachträglichen Änderungen bewirkt. Ferner führt es zu einer erhöhten Kostentransparenz. Die Methode wirkt sich in den Phasen der Vorentwicklung, der Konzept- und Serienentwicklung auf die Organisation und Prozesse sowie das Risikomanagement aus. Durch die verbesserte Abstimmung der Prozesse hat die Methode Einfluss auf die Ablauforganisation sowie die Führung und Mitarbeiter. Die Methode bewirkt eine Verbesserung der Produkte, eine Reduzierung der technischen und wirtschaftlichen Risiken.

Entwicklungspartnerschaften: Ziel der Methode ist die Bündelung von Know-how und Ressourcen, die Verkürzung von Entwicklungszeiten, Reduzierung von Kosten sowie der Gewinnung von Marktanteilen. Entwicklungspartnerschaften sind sinnvoll bei neuartigen und komplexen Vorgehen wie der Elektromobilität, da zahlreiche Wissensträger vorhanden sind, welche ein gemeinsames Entwicklungsziel haben. Zu Beginn wird bei der Methode die Ist-Situation analysiert und Ressourcenprofile für die Produkttechnologie und Organisation ermittelt. Daraufhin werden Infrastruktur und Schnittstellen untersucht und Gestaltungspositionen für Kooperationen geprüft. Es werden Kosten, Nutzen, Chancen und Risiken bewertet und ein Führungs- und Koordinationskonzept entwickelt. Konkrete Realisierungsschritte sind zu planen, ein Maßnahmenkatalog zu erstellen. Die Methode hat Implikationen auf Entwicklungsnetzwerke, Wissensmanagement, Kundenorientierung, Technologie- und Risikomanagement. Sie wirkt auf Netzwerkorganisation, -beziehungen und -mitglieder, Wissenserwerb und -transfer sowie Kundennutzen, Technologieentwicklung und wirtschaftliche und technische Risiken. Durch die Methode resultieren die Reduzierung der Entwicklungszeit, der Entwicklungskosten, von nachträglichen Änderungen, von Risiken und der Kapazitätsoptimierung und verbesserten Ressourcenverteilung. Partnerschaften erstrecken sich über die Phasen der Vor- bis zur Serienentwicklung.

Konzeptwettbewerb: Ziel der Methode ist es, die besten Konzeptideen bzw. die passenden Lieferanten zu identifizieren um deren Potenziale zur Generierung nachhaltiger Wettbewerbsvorteile zu nutzen. Der konkrete Ablauf wird festgelegt, Konzeptanforderungen mittels eines Lastenheftes werden dargelegt, eine Vorauswahl potenzieller Zulieferer erfolgt und der Konzeptwettbewerb wird durchgeführt. Durch gezielte Konzeptwettbewerbe im Rahmen der Produktentwicklung wird die Anzahl generierter Ideen und Konzepte drastisch gesteigert. Auf dieser Basis lassen sich innovative und kostenoptimierte Produktkonzepte und eine daraus resultierende Verringerung der Herstellkosten durch technische Entfeinerung realisieren (vgl. Wildemann 2014i). Bei unternehmensübergreifendem Einsatz kann der Methodeneinsatz die Reife der Zusammenarbeit im Rahmen von Entwicklungsnetzwerken positiv beeinflussen. Darüber hinaus steigert der Einsatz das generierte Wissen über Technologien und Produkte, und senkt das Risiko von Fehlentwicklungen. Die Methode wird in Entwicklungsnetzwerken, Wissensmanagement, Kundenorientierung und Risikomanagement eingesetzt. Die Methode stellt eine wichtige Systematik zur Ideengenerierung innerhalb der Konzeptentwicklungsphase dar und ermöglicht es, Strukturen für eine partnerschaftliche Zusammenarbeit zu optimieren.

Kosten-Nutzen-Analyse: Die Methode ermittelt den Nettonutzen einer Technologie. Dazu werden alle Aufwendungen und Erträge für die Umsetzung einer Technologie und dem daraus erzielbaren Nutzen gegenübergestellt (vgl. Haag et al. 2011). Bei mehreren Alternativen ergibt sich eine Reihenfolge, bei der grundsätzlich diejenige mit dem höchsten Nettonutzen als die beste erachtet wird, unter Berücksichtigung eventuell nicht monetär erfassbarer Größen. Im ersten Schritt erfolgt die Zusammenstellung relevanter Daten und die Selektion der Technologiealternativen. In der Berechnungsphase gilt es, Kosten und Nutzen je Alternative zu bestimmen. Des Weiteren ist die Wahl einer geeigneten Kalkulationszinsmethode zur Abzinsung auszuwählen. Im Anschluss erfolgt die Berechnung des Nettonutzens je Alternative und die Aufführung eventuell nicht monetär erfassbarer Bedingungen und eine Rangfolge der Alternativen wird determiniert (vgl. Kröll 2007). Das Ergebnis der Methode ist eine objektive Bewertung der Technologie anhand des Nettonutzens. Ferner findet eine indirekte Ermittlung von Kosteneinsparungen und Verbesserungspotenzialen statt. Die Methode kann ab der Vorentwicklung in allen Prozessphasen angewendet werden. Sie wirkt auf die Bereiche Wissenserwerb, Wissensbewahrung, Kundennutzen, Technologiebewertung und wirtschaftliche Risiken.

Lerninseln: Die Methode zielt darauf, Mitarbeiter für die Prozesse zu sensibilisieren und sie mit den verwendeten Werkzeugen und Materialien sowie mit den herzustellenden Produkten vertraut zu machen. Lerninseln sind entwicklungs- und produktionsnah angeordnet und werden als eigene Einheit verstanden. Sie enthalten ständig aktualisiertes Schulungsmaterial, speziell zu Produkten, Technologien und Entwicklungs- und Herstellungsprozessen. Dadurch können Mitarbeiter mit neuen Anforderungen der Elektromobilität qualifiziert werden, da sich das Tätigkeits- und Wissensprofil von der Mechatronik zur Elektrik verändert. Die Lerninseln sind mit entsprechendem Anschauungsmaterial für die entwickelnde/herzustellende Technologie bzw. Produkt auszustatten. Die Verantwortlichkeiten für die Aktualisierung der Materialen und Lehrarrangements sind zu benennen und Regelkreise sind zu institutionalisieren, um Lerninseln als wichtigen Bestandteil des täglichen Arbeitsaufkommens zu etablieren. Die Lerninseln haben Effekte auf das Wissensmanagement und die Organisation und Prozesse in den Phase Vor- und Konzeptentwicklung. Die Methode hat Auswirkungen auf die Bewertungsbereiche Aufbauorganisation, Wissenserwerb und Mitarbeiter und Führung. Es werden Lernprozesse verbessert, die Praxisorientierung erhöht, das Lernen effektiv gestaltet und die Motivation, Sensibilisierung und Qualitätsbewusstsein der Mitarbeiter gesteigert.

Lieferantenmanagement: Die Methode beinhaltet die Gestaltung und Entwicklung von Lieferantenbeziehungen und die Reduktion von Lieferrisiken. Innerhalb der Methode werden das Lieferantenportfolio, die -entwicklung und die -integration durchgeführt (vgl. Boutellier et al. 2003). Der erste Schritt der Methode stellt die Gestaltung der Lieferantenbasis dar. Die Segmentierung des Lieferantenportfolios dient der Ableitung von Sourcing-Strategien. Danach werden Lieferanten hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit bewertet. Die Entwicklung zielt darauf ab, die Leistungsfähigkeit sowie das Leistungspotenzial der Lieferanten zu erhöhen. Die Integration dient der Stärkung der Abnehmer-Lieferanten-Beziehung durch Übertragung von Aufgabeninhalten oder Wertschöpfungsprozessen an den Lieferanten. Die Auditierung stellt die Zielerreichung sicher. Die Methode verbessert die Transparenz der Lieferantenbasis und die Steigerung der Lieferantenleistung. Durch die Konzentration auf die besten Lieferanten können Optimierungen in der Kommunikation bei Defiziten und nötige Kurskorrekturen erfolgen. Folglich wird ein Vergleich bestehender und potentieller Lieferanten erzielt, um eine gewisse Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die Methode hat Einfluss auf die Entwicklungsnetzwerke, Organisation und Prozesse sowie dem Risikomanagement in der Vor- und Serienentwicklung.

Produktklinik: Die Methode ermöglicht eine systematische Abarbeitung aller Potenzialfelder von Produkt- und Wertschöpfungsprozessen. Durch die Methode können disruptive Technologien frühzeitig wettbewerbsfähig gemacht werden. Der Marktzugang wird zeitnah realisiert. Die noch freien Marktsegmente können identifiziert und schnell wettbewerbsarm besetzt werden. Zu Beginn erfolgt eine strukturierte Analyse der produktspezifischen Kunden- und Marktanforderungen. Durch Benchmarking von Wettbewerbsprodukten kann eine Leistungsmessung der eigenen Produkteigenschaften durchgeführt werden. Hierzu werden im Rahmen der Demontage und Funktionskalkulationen, Zielkostenvorgaben und potenzielle Produktkonzepte abgeleitet. Die erhaltene Konzeptbewertung ermöglicht eine Optimierung der eigenen Leistungsgestaltung. Konkrete Sofortmaßnahmen und eine kontinuierliche Umsetzungsbegleitung sichern die operative Implementierung der erarbeiteten Produktkonzepte. Neben einer Reduzierung der Herstellkosten, wird eine Leistungssteigerung und Nutzenoptimierung des eigenen Produktportfolios ermöglicht (vgl. Wildemann 2014i). Es wird nicht nur ein großes Maß an Wissen über die Erfüllung von Kundenbedürfnissen sowie Ansätze zu deren Umsetzung generiert. Die relevanten Gestaltungsfelder sind das Wissensmanagement, die Kundenorientierung, das Technologie- sowie das Risikomanagement in der Vor- und Konzeptentwicklung.

Prototyping: Die Methode wird eingesetzt, um risikobehaftete Forschungs- und Entwicklungsprojekte kalkulierbar zu machen und um Entwicklungs- und Wartungskosten zu senken. Je nach Problemstellung, Zielsetzung und Rahmenbedingungen kann eine von drei relevanten Varianten zur Anfertigung eines Prototyps verwendet werden. Beim Rapid Prototyping wird beispielsweise anhand von CAD-Daten mit einem 3D-Drucker in kurzer Zeit und kostengünstig ein Prototyp angefertigt. Beim Virtual Prototyping entsteht kein physischer Gegenstand, sondern ein am PC modellierter und getesteter Prototyp. Im Gegensatz dazu wird beim Basis-Prototyping nach klassischer Art ein physisches Modell des Endproduktes hergestellt. Das Ergebnis ist eine frühzeitige Erkennung von Fehlern am Produkt. Auch bildet dies die Basis für eine spätere Weiterentwicklung der Technologie und unterstützt bei der Problemlösung. Auch können mit dieser Methode Entwicklungs- und Wartungskosten reduziert werden. Die Methode kann ab der Grundlagenforschung angewandt werden, weil erst ab dieser Phase verwertbare Informationen vorliegen. Die Methode wirkt sich vor allem auf die Bereiche des Wissensmanagements aus, weil durch einen Prototypen gesamtheitlich zusammenhängende Informationen des Produkts ausgewertet werden können. Ferner liefert ein Prototyp Aufschlüsse über die weitere Technologieentwicklung und technische Risiken des Produkts.

Quality Function Deployment (QFD): Ziel des QFD ist es, die Komplexität in Entwicklung und Produktion zu senken und Entwicklungsprojekte schneller zu realisieren. Die Transparenz im Unternehmen steigt. Durch reduzierte Start- und Herstellkosten werden Kosteneinsparungen erreicht. Des Weiteren schafft die Methode einen Bezug zwischen Kundenanforderungen und technischen Merkmalen. Die Kundenanforderungen werden ermittelt und gewichtet. Konkurrenzprodukte fließen in die Betrachtung mit ein. Die zur Erfüllung der Kundenanforderungen wichtigen Merkmale werden ermittelt. Die Beziehungen zwischen den Merkmalen werden bestimmt. Die technischen Merkmale von Konkurrenzprodukten werden untersucht. Der Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen durch die Merkmale wird geschätzt und daraus die Bedeutung der Merkmale ermittelt. Die Resultate werden zusammengefasst und Schlussfolgerungen gezogen. Die Summe sowie den Umfang der nachträglichen Konstruktionsänderungen wirkt sich positiv auf Entwicklungskosten und Entwicklungszeit aus (vgl. Wildemann 2014l). Da die Methode durch ihre Natur Wissen über Kundenbedürfnisse generiert und diese in technische Merkmale überführt, kann die Methode zur Verbesserung der Reife von Wissensmanagement, Kundenorientierung, Technologie- und Risikomanagement eingesetzt werden. Die Methode kommt in der Vor- und Konzeptentwicklung zum Einsatz.

Virtual Engineering: Die Methode ist in partnerschaftlichen Entwicklungsprozessen oftmals ein entscheidender Erfolgsfaktor. Fehlt etwa ein einheitlicher Standard für CAD/CAM-Anwendungen, können Kompatibilitätsprobleme entstehen. Vor dem Einsatz von Virtual Engineering Systemen ist eine detaillierte Analyse der Rahmenbedingungen und der bestehenden IT-Systemlandschaften aller beteiligten Entwicklungspartner unbedingt erforderlich. Auf dieser Basis werden mögliche Systemarchitekturen zur gemeinsamen Produktentwicklung abgeleitet. Nach gemeinsamer, objektiver Bewertung aller Entwicklungsbeteiligten kann eine optimale Systemlandschaft konkretisiert werden. Vor dem Roll-out empfiehlt sich eine Pilotierung im kooperativen Produktentwicklungsumfeld. Hierbei können Systemeigenschaften nachjustiert werden. Die Vorteile dieser Methode sind Kosteneinsparungen, wie der virtuelle statt dem physischen Prototypen, eine Verkürzung der Entwicklungszeit, Flexibilität bei Produktänderungen sowie Aufwandsreduktionen (vgl. Wildemann 2014c). Die Methode wirkt auf die Gestaltungsfelder Entwicklungsnetzwerke, Technologie- und Risikomanagement in der Vor-, Konzept- und Serienentwicklung. Auf Grund der methodischen Eigenschaften eignet sich Virtual Engineering zur Steigerung des Reifegrads von Entwicklungsleistungen im Netzwerk und von Technologieentwicklungen. Darüber hinaus senkt die Methode Risiken der Produktentwicklung.

5.3.3 Konzeptentwicklung

Efficient Consumer Response (ECR): Ziel der Methode ist es, durch diese kooperative Zusammenarbeit eine kundenindividuelle Leistung in der richtigen Menge, zum richtigen Zeitpunkt, am richtigen Ort und in der entsprechenden Qualität zur Verfügung zu stellen. Zu Beginn werden geeignete Projektpartner ausgewählt und gemeinsame Gestaltungsfelder definiert. Anschließend wird eine Struktur- und Prozessanalyse der Waren- und Informationsflüsse, eine Warengruppen- und Produktanalyse sowie eine Markt- und Kundenanalyse durchgeführt, worauf-hin Potenziale identifiziert werden können. In Pilotbereichen werden physische und informatorische Logistikprozesse in der Nachschubversorgung gestaltet. Schlussendlich werden die Konzepte und Piloten flächendeckend realisiert und durch ein Umsetzungscontrolling begleitet. Der Mehrwert ergibt sich aus der Reduzierung der Verwaltungs-, Lager-, und Vertriebskosten. In der Phase der Konzeptentwicklung wirkt es auf Entwicklungsnetzwerke, der Organisation und Prozesse, der Kundenorientierung sowie des Risikomanagements. Durch die Stärkung der kooperativen Zusammenarbeit fördert das ECR die Netzwerkorganisation, -beziehungen, -mitglieder sowie die Ablauforganisation. Ferner erhöht sich durch die Kundeneinbindung der Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen sowie der Kundennutzen. Dadurch werden wirtschaftliche Risiken reduziert.

Entscheidungswege: Kurze Informationswege mit offenen Kommunikationsstrukturen sowie kurze Entscheidungswege ermöglichen eine schnelle Problemlösung. Unternehmen sollten für disruptive Technologien besondere Entscheidungswege definieren und implementieren. Bestandteil sind die Einschätzung der Informationslage, die Art des Entscheidungstyps und die Analyse der Entscheidungssituation (vgl. Christensen/ Eyring 2011). Um Entscheidungskompetenzen für disruptive Technologien zu definieren, muss die Informationslage (Sicherheit, Risiko, Unsicherheit) eingeschätzt, der Entscheidungstyp gewählt (Einpersonen-/ Mehrpersonenentscheidung) und die Entscheidungssituation (Alternativen, Umweltzustände, Ergebnisse) analysiert werden. Anschließend erfolgt die Implementierung der kürzesten Entscheidungswege (vgl. Grünig 2011). Als Ergebnis entstehen definierte Entscheidungskompetenzen für z.B. disruptive Entwicklungsprojekte. Außerdem werden Projektziele durch effiziente Entscheidungsprozesse unterstützt. Kurze Entscheidungswege beeinflussen die Gestaltungsfelder Netzwerkorganisation sowie Organisation und Prozesse. Sie beeinflussen sowohl die Aufbauorganisation, als auch die Ablauforganisation. Die Definition von Entscheidungswegen wirkt sich auf die Netzwerkorganisation und Netzwerkbeziehungen in der Konzeptentwicklung aus.

ERP-Systemauswahl und Implementierung: Die ERP-Systemauswahl und Implementierung beinhaltet die Durchführung eines systematischen Auswahlprozesses geeigneter ERP-Systemanbieter und die Ausgestaltung eines zweckmäßigen ERP-Einführungsprozesses zur Unterstützung der Geschäftsprozesse. Die erfolgversprechende Vorgehensweise manifestiert sich in der gleichzeitigen Betrachtung der Prozessreorganisation und -optimierung sowie der Gestaltung des Auswahl- und Implementierungsprozesses. ERP-Systeme können für die Elektromobilität im Bereich des Wissensmanagements und der Organisation sowie für Prozesse hilfreich sein, indem Wissen bewahrt und zwischen den Akteuren transferiert werden kann. Zu Beginn wird die IT- und Prozesslandschaft auditiert. Danach werden Schwachstellen der Systemlandschaft und zukünftige Systemanforderungen identifiziert. Daraufhin wird das ERP-System ausgewählt, Maßnahmenpakete definiert und der Implementierungsfahrplan aufgesetzt. In der Konzeptentwicklung wirkt die Methode auf die Wissensbewahrung, -transfer und Ablauforganisation in den Gestaltungsfeldern Wissensmanagement sowie Organisation und Prozesse. Die Ergebnisse sind eine hohe Transparenz durch Abbildung der Prozess- und IT-Landschaft, die Optimierung der Prozesslandschaft, ein strukturierter und sorgfältiger ERP-Einführungsprozess, die Kürzung des Auswahlprozesses und die Erhöhung des Umsetzungserfolgs.

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): Die FMEA ist eine Methode zur systematischen Ermittlung potenzieller Fehler sowie der daraus resultierenden Risiken und Folgen. Die FMEA wird insbesondere in der Konzeptentwicklung neuer Produkte angewandt. Ziel der FMEA ist es, die vom Kunden geforderte Qualität zum rechten Zeitpunkt und zu wettbewerbsfähigen Kosten anbieten zu können. Zu Beginn erfolgen eine Sichtung der Unterlagen und die Durchführung einer Funktionsanalyse. Die eigentliche Durchführung umfasst zunächst die systematische Identifikation von Fehlern bezüglich des Untersuchungsgegenstandes. Anschließend werden sowohl die Fehlerursachen als auch die Folgen ermittelt. Nun wird das Risiko des Eintretens des Fehlers bestimmt und bewertet. Aus der Analyse wird Handlungsbedarf zur Minimierung des Risikos abgeleitet. Die ermittelten Maßnahmen werden durchgeführt und eine Risikobewertung des verbesserten Zustands vorgenommen. Im klassischen Anwendungsfall ermöglicht eine FMEA die Reduzierung nachträglicher Änderungen und die Reduzierung der Fehlerkosten, was langfristig zu einer Verringerung der Entwicklungszeiten sowie einer Senkung der Entwicklungs- und Änderungskosten führt (vgl. Wildemann 2014e). Durch die breit gefächerten Erkenntnisgewinne, welche aus dem Einsatz dieser Methode entstehen, können das Wissens- , Technologie- und Risikomanagement, Organisation und Prozesse weiterentwickelt werden.

Nutzwertanalyse: Die Methode der Nutzwertanalyse liefert einen quantitativen Vergleich von verschiedenen Technologien mittels qualitativer Kriterien. Dieses Verfahren zur Multikriterienbewertung ist ebenfalls als Punktbewertungsmodell oder Scoring-Modell bekannt. Durch Experten erfolgt eine subjektive Einschätzung einer Vielzahl von qualitativen Kriterien für das Forschungs- und Entwicklungsprojekt, die darin resultiert, dass diese Kriterien quantifiziert und auf diese Weise vergleichbar gemacht werden. Als Ergebnis erhält der Nutzer eine Rangliste der projektspezifischen Technologien auf Basis der bewerteten Kriterien (vgl. Haag et al. 2011). Zu Beginn werden Bewertungskriterien unabhängig voneinander definiert und gemäß ihrer unterschiedlichen Relevanz gewichtet. Durch eine Punktevergabe wird die zu erwartende Erfüllung der Anforderungen an ein Kriterium ermittelt und im Anschluss mit dem Gewichtungsfaktor multipliziert. Die so bestimmten Teilnutzwerte werden zum Gesamtnutzwert einer Technologie aufsummiert. Die ermittelten Nutzwerte stellen die Klassifikation der Eignung der Alternativen dar (vgl. Stummer et al. 2010). Das Ergebnis ist eine quantitative Bewertung des Potenzials einer Technologie sowie die Identifikation der Nutzenerfüllung verschiedener Technologien. Die Nutzwertanalyse kann in der Konzeptentwicklung genutzt werden. Sie wirkt sich auf die Bereiche Kundennutzen, Technologiebewertung und wirtschaftliche Risiken aus.

5.3.4 Serienentwicklung

Anlaufmanagement: Ziel der Methode ist eine termingerechte Verfügbarkeit aller Bauteile für den Serienanlauf eines Produktes sicherzustellen und die Anlaufkosten auf ein Minimum zu reduzieren. Dies erfolgt durch eine enge Verzahnung von Entwicklung, Qualität, Produktion und Lieferanten. Ein fundiertes Anlaufmanagement ist die Basis für eine optimierte Time-to-Market-Strategie und eine nachhaltige Vermeidung von Verschwendung und Blindleistung im Produktionsprozess. Nach einer Definition von relevanten Produktions- und Logistikprozessen werden verschiedene Anlaufszenarien in enger Anknüpfung an die Erfahrungen aus der Entwicklung konzipiert. Die Vorstellungen aus der Produktentwicklung fließen direkt in die Produktionsvorbereitung ein. Anschließend erfolgt eine gemeinsame Inbetriebnahme der entsprechenden Produktionsanlagen, eine Produktion der Vorserie und Nullserie in organisatorisch verankerter Verantwortung von Entwicklung und Produktion. Das Anlaufmanagement kommt insbesondere in den Phasen der Serienentwicklung und Serienvorbereitung zum Einsatz. Es wirkt innerhalb der Gestaltungsfelder des Wissensmanagements, der Organisation und Prozesse sowie des Risikomanagements auf die Bereiche Wissenserwerb, -bewahrung, Ablauforganisation, Risikomanagement sowie technische und wirtschaftliche Risiken.

Beschaffungscontrolling: Ziel des Beschaffungscontrollings ist die Koordination der gesamten Beschaffungsführung sowie die Sicherstellung der Informationsversorgung. Wichtige Instrumente des Beschaffungscontrollings sind u.a. das Benchmarking und die Balanced Scorecard. Innerhalb des Beschaffungscontrollings erfolgt zunächst eine Erfassung der Ausgangssituation. Best-Practice Analysen werden für alle relevanten Einkaufsbereiche durchgeführt, um Schwachstellen aufzudecken. Anschließend wird eine Portfolio-Analyse mit dem Beschaffungsgüter- und Beschaffungsquellen-Portfolio durchgeführt, welche die Ableitung von Einkaufsstrategien erlauben. Im Nachgang wird das Soll-Konzept erstellt sowie Maßnahmen je Materialgruppe und Gestaltungsfeld formuliert. Nach der Abschätzung der Potentiale des Soll-Konzeptes werden die ersten Teilprojekte umgesetzt und permanente Erfolgskontrollen durchgeführt. Das Beschaffungscontrolling wirkt innerhalb der Gestaltungsfelder der Entwicklungsnetzwerke, der Organisation und Prozesse, des Technologiemanagements sowie des Risikomanagements in den Phasen der Serienentwicklung und Serienvorbereitung. Innerhalb der Felder lassen sich mit dem Beschaffungscontrolling die Bereiche Netzwerkorganisation, -beziehungen, -mitglieder, Ablauforganisation, Risikomanagement und Risikomanagementprozess sowie technische und wirtschaftliche Risiken beeinflussen.

Lessons Learned: Mit der Anwendung von Lessons Learned wird das Lernen aus Fehlern, aber auch aus Erfolgen, und darauf basierend der Aufbau von Wissen bezeichnet. Voraussetzung für die Anwendung dieser Methode ist eine offene Fehlerkultur und die Akzeptanz durch Mitarbeiter und Führungskräfte. Um eine systematische Aufbereitung gemachter Erfahrungen zu garantieren, muss die Methode der Lessons Learned in bestehende Projektabläufe eingebettet werden. Vor dem Projektauftrag bzw. der Projektdurchführung werden eventuell relevante Erkenntnisse aus vorherigen Projekten berücksichtigt. Nach jedem durchgeführten Projekt erfolgt eine Selbstreflexion und die systematische Aufbereitung und Dokumentation der gemachten Erfahrungen. Die Struktur der Dokumentation sollte vorher festgelegt werden, um die Erfahrungen einheitlich z.B. in Datenbanken ablegen zu können. Im Ergebnis bewirkt die Anwendung der Lessons-Learned-Methodik eine hohe Lernkurve bzw. Wissenszuwachs, die Schaffung der Grundlage für neue Innovationen und Problemlösungsansätze, den ganzheitlichen Zugang zu Wissen sowie die Förderung der offenen Fehlerkultur und Unternehmenskultur im Allgemeinen. Zum Ende der Serienentwicklung wirkt sich die Methodik daher im Feld Wissensmanagement auf den Wissenserwerb, die Wissensbewahrung und den Wissenstransfer aus.

Produktlebenszyklusrechnung (PLZ-Rechnung): Die Methode verfolgt das Ziel der Minimierung der PLZ-Kosten sowie der laufenden Rentabilitätsermittlung. Das Vorgehen zur Berechnung der PLZ-Kosten erfolgt in vier Schritten. Zunächst werden die Phasen des Produktlebenszyklus definiert. Die von Wong und Ellis erarbeitete Erweiterung des Produktlebenszyklusmodells lässt sich auf disruptive Technologien übertragen (vgl. Wong/ Ellis 2007). Im zweiten Schritt werden Besonderheiten von disruptiven Technologien berücksichtigt, wie Förderungen, Steuervergünstigungen, Wartungskosten oder Recyclingkosten. Anschließend wird der kalkulatorische Zinsfuß definiert, bevor im vierten Schritt das Ergebnis errechnet und weitere Maßnahmen eingeleitet werden (vgl. Kremin-Buch 2007). Der Vorteil dieser Methode liegt in der vollständigen Sichtweise des Produktlebenszyklus. Die erarbeiteten, geschätzten Kennzahlen werden zur Unterstützung der Investitionsentscheidung genutzt. Die Methode wird zur Technologiebewertung im Rahmen des Technologiemanagements sowie zur Analyse wirtschaftlicher Risiken im Rahmen des Risikomanagements genutzt. Die PLZ-Rechnung sollte zu Beginn der Serienentwicklung durchgeführt werden.

Six Sigma: Die Methode bezeichnet ein Nullfehlerprogramm, welches durch aktive Fehlervermeidung und Ursacheneliminierung, statt reaktiver Qualitätskontrollen, an Effektivität gewinnt.

Ziel der Methode sind stabile Prozesse sowie die Vermeidung von Prozessrisiken. Six-Sigma beinhaltet diverse Methoden zur Erhöhung der Qualität in der Organisation und den Prozessen. Sie geht präventiv gegen Risikopotenziale vor und setzt insbesondere bei Fehlerkosten an. Grundsätzlich können prozessuale und organisatorische Fehler reduziert, Risiken und Kosten minimiert werden. Six-Sigma bildet den Oberbegriff eines strukturierten Ansatzes zur Kombination der wichtigsten Erfolgsfaktoren für zielgerichtete Verbesserungen. Durch die Implementierung lassen sich sowohl kurzfristige als auch langfristige finanzielle Einsparungen in allen Unternehmensbereichen umsetzen. Trotz gestiegenem Kostendruck und verkürzter Produktentwicklungszeiträume können durch einen gezielten Methodeneinsatz innovative, qualitativ hochwertige Produkte zu wettbewerbsfähigen Preisen produziert werden (vgl. Pfeifer/ Schmitt 2014). Die Methode hat Implikationen auf die Gestaltungsfelder Organisation & Prozesse, der Kundenorientierung und dem Risikomanagement in der Serienentwicklung. Six Sigma wirkt auf die Bewertungsbereich Mitarbeiter und Führung, Ablauforganisation, Kundennutzen, Technologieentwicklung, Risikomanagementprozess und wirtschaftliche- und technische Risiken. Das Ergebnis sind die Qualifizierung neuer Mitarbeiter mit dem Konzept, die Optimierung von Prozessfehlern statt menschlicher Schuldzuweisungen und die präventive Risikoreduzierung.

5.3.5 Phasenübergreifend

3i-Konzept: Unter dem 3i-Konzept (Ideen, Impulse und Initiativen) wird ein Ideenmanagement verstanden, das verschiedene Maßnahmen bündelt, um die unternehmensinternen Verbesserungspotenziale nutzbar machen zu können. Ziel des 3i-Vorschlagswesens ist es, die Mitarbeiter eines Unternehmens durch gezielte Maßnahmen so zu motivieren, dass diese ihr gesamtes Potenzial an Ideen und Verbesserungsvorschlägen in das Unternehmen einbringen. Innerhalb des Vorgehens zum 3i-Konzept sind zunächst die Ziele und Rahmenbedingungen des 3i-Projektes festzulegen. Im zweiten Schritt folgt eine Analyse der Grunddaten, Prozesse und Bereiche, welche auch die Identifizierung von Schwachstellen beinhaltet. Darauf aufbauend werden Konzepte zur Neuausrichtung für die einzelnen Bausteine eines innovativen betrieblichen Vorschlagswesens definiert. Schlussendlich wird das Gesamtkonzept durch Einbindung der Vorgesetzten, durch zielorientierte Entlohnung sowie gegenseitige Auditierung institutionalisiert und durch eine offene Informationspolitik sowie ein Controlling permanent in seiner Effizienz abgesichert. Die 3-i Methodik kann entlang des gesamten Entwicklungsprozesses angewendet werden. Innerhalb der Gestaltungsfelder der Entwicklungsnetzwerke, des Wissensmanagements und der Organisation und Prozesse wirkt sie auf die Bereiche der Netzwerkmitglieder, des Wissenser-

werb, der Wissensbewahrung, des Wissenstransfers sowie der Mitarbeiter und Führung.

Änderungsmanagement: Ziel des Änderungsmanagements ist der effiziente Umgang mit auftretenden Änderungsbestrebungen. Zentrales Element ist dabei eine Wirtschaftlichkeitsprüfung, in der Änderungskosten und Potenziale gegenübergestellt werden. Wichtige Strategien des Änderungsmanagement sind die Prävention, die auf die Vermeidung von Änderungen hinzielt, sowie die Selektion, die die Bewertung und Auswahl von Änderungen regelt. Zunächst erfolgt eine umfangreiche Analyse der bestehenden Änderungs-abläufe, -kosten und -ursachen. Aus der Analyse können nun Schwachstellen und Potenziale abgeleitet werden. Anschließend werden Soll-Konzepte, Arbeitspakete und Maßnahmenpläne für die Bereiche Änderungsplanung, -durchführung und -controlling erarbeitet. Die Umsetzung erfolgt zunächst in Pilotprojekten, um die Effektivität und Effizienz der Maßnahmen bewerten und Anpassungen vornehmen zu können. Nun kann die Ausweitung und Umsetzung der Prinzipien auf das gesamte Unternehmen durchgeführt werden. Neben einer ganzheitlichen Effizienzsteigerung der Änderungsabläufe ermöglicht die Methode eine Senkung von Änderungskosten und der Anzahl der Änderungsposten. Positive Effekte, die sich durch ein effektives Änderungsmanagement ergeben, sind die Senkung von Entwicklungs- und Durchlaufzeiten (vgl. Wilde-

mann 2014a). Der Einsatz des Änderungsmanagements ist in allen Phasen des Produktentwicklungsprozesses sinnvoll. Je nach Art und Umfang ihres Einsatzes wirkt die Methode auf die Gestaltungsfelder Entwicklungsnetzwerke, Organisation und Prozesse, Technologiemanagement sowie Risikomanagement.

Anreizsysteme: Bei der Entwicklung eines Anreizsystems für die Mitarbeit und Unterstützung disruptiver Entwicklungsprojekte mit dem Ziel Widerstände zu vermeiden, sollte der Fokus auf die intrinsische Motivation gelegt werden (vgl. Christensen/ Eyring 2011). Zunächst ist es erforderlich die intrinsische Motivation der Mitarbeiter anhand der Determinanten Neugier, Arbeitsfreude und Selbstverwirklichung zu bewerten. Im nächsten Schritt werden adäquate immaterielle Anreize geschaffen, um disruptive Entwicklungsprojekte zu unterstützen. Solche Anreize könnten beispielsweise Zeit für eigene Forschung, Anerkennung oder Aufstiegschancen sein (vgl. Weber 2006). Anschließend werden die intrinsischen Anreize in materielle Anreizsysteme übertragen. Dazu kann die Möglichkeit von Gehaltserhöhungen oder Bonuszahlungen geprüft werden. Die speziellen Anreizsysteme für Entwicklungsprojekte von Produkten auf Basis disruptiver Technologien wirken sich positiv auf das Wertesystem von Unternehmen aus und helfen, disruptive Technologien zu entwickeln. Anreizsysteme wirken auf das Gestaltungsfeld Organisation & Prozesse. Sie sind eine Methode zur Mitar-

beiterführung und tragen zur Motivation der Mitarbeiter bei. Anreizsysteme können in allen Phasen der Produktentwicklung genutzt werden.

Benchmarking: Der Benchmarking-Prozess in der Entwicklung unterstützt die Bildung ehrgeiziger aber realistischer Ziele, stößt den Veränderungsprozess an und erweitert den Blickwinkel auch auf branchenfremde Unternehmen. Es ist dabei notwendig Entwicklungsprozesse durch Kennzahlen vergleichbar zu machen. Zu Beginn wird festgelegt, in welchen Unternehmensbereichen sowie in welcher Form das Benchmarking durchgeführt werden soll. Anschließend werden aussagefähige Vergleichsgrößen zur Leistungsermittlung sowie die Datenbasis festgelegt. Die genaue Analyse der Daten zeigt Stärken und Schwächen auf. Leistungslücken und Optimierungsmöglichkeiten werden ermittelt. Nun werden anspruchsvolle, realistische Leistungsziele definiert sowie Maßnahmen zur Zielerreichung erarbeitet. Die Maßnahmen werden umgesetzt, regelmäßige Ergebnis- und Fortschrittskontrollen werden durchgeführt. Grundsätzlich kann eine Steigerung von Produktivität, Qualitätsniveau und Flexibilität sowie die Senkung von Durchlaufzeiten oder des Bestandsniveaus erreicht werden (vgl. Wildemann 2014j). Die Einsatzmöglichkeiten der Methode Benchmarking begrenzen sich nicht auf einzelne Phasen des Produktentwicklungsprozesses. Letztendlich entscheidet das Untersuchungsobjekt welche Potenziale

gehoben werden können. Im Hinblick auf die Gestaltungsfelder des Forschungsprojekts kann die Methode zur Weiterentwicklung von Entwicklungsnetzwerke, Wissensmanagement, Organisation & Prozesse, sowie Technologiemanagement herangezogen werden.

Beschwerdemanagement: Das Beschwerdemanagement durchläuft zwei parallel gestaltete Prozesse, den direkten kundenbeziehungsrelevanten und den indirekten qualitätsrelevanten Beschwerdemanagementprozess. Im ersten Schritt erfolgt die Beschwerdestimulierung. Zur Generierung einer großen Anzahl von Beschwerden sollten alle Kundenkontaktkanäle eines Unternehmens direkt an die zentrale Beschwerdebearbeitung angebunden sein (vgl. Schöler 2009). Im Anschluss folgt die kundenorientiert gestaltete Beschwerdeannahme. Die Beschwerde wird von den betroffenen Abteilungen bearbeitet und ein Beschwerdemanagement-Reporting eingeführt. Die abschließende Beschwerdereaktion zielt auf eine schnelle und effektive Lösung von Kundenproblemen, mit direkter Wahrnehmung beim Kunden. Die zeitgleiche Beschwerdeinformationsnutzung im Produktentwicklungsprozess kann eine korrektive Funktion haben, Impulse geben und Risikosignal sein (vgl. Kukat/ Blümelhuber 2005). Die Methode ermöglicht einen direkten Kundenaustausch, der die Kundenzufriedenheit offen legt. Die Förderung der Kundenorientierung führt bereits in den frühen Phasen des

Forschungs- und Produktentwicklungsprozesses, im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung, zu Kosteneinsparung und Fehlervermeidung (vgl. Brückner 2007). Das Beschwerdemanagement liefert wichtige Erkenntnisse für das Gestaltungsfeld Kundenorientierung, insbesondere für die Kundenanforderungen sowie den Kundennutzen. Der direkte Kundenkontakt ermöglicht einen Wissenserwerb und wird im Rahmen des Wissensmanagements genutzt. Die Anwendung dieser Methode wird für alle Phasen des Forschungs- und Produktentwicklungsprozesses empfohlen, um frühestmöglich auf Schwachstellen reagieren zu können und Verbesserungen einzuleiten.

Best-Practice-Sharing: Bei einem Best Practice handelt es sich um eine Lösung für eine bestimmte Problemstellung, eine Aufgabe oder ein Projekt, im Rahmen der Forschung- und Entwicklung, die als die bestmögliche Lösung gilt und als nachahmungswürdig angesehen wird (vgl. Reinmann 2009). Sind Best Practices identifiziert, werden diese verarbeitet, strukturiert und nutzergerecht anderen Personen zur Verfügung gestellt. Diese greifen das Best Practice auf, um es noch einmal anzuwenden. Es erfolgt jedoch nicht nur ein wiederholter Einsatz der Lösung, sondern eine Angleichung an den Kontext und die Situation (vgl. Lehner 2012). Das Ergebnis der Methode ist der Austausch von Wissen und optimalen Lösungen. Auch wird durch die Vermeidung von Doppelarbeit die Effizienz im Unternehmen

gesteigert. Zusätzlich sammelt das Unternehmen bei der Suche nach Best-Practice-Beispielen neues Wissen an. Die Methode des Best-Practice-Sharing kann entlang des gesamten Entwicklungsprozesses angewendet werden, da auf jeder Entwicklungsstufe ein Abgleich mit dem Umfeld und dem angestrebten Ziel erfolgen sollte. Aufgrund der Transferleistungen kann dies auf Netzwerkbeziehungen positiv einwirken. Ferner kann der Wissenserwerb, die Wissensbewahrung und Wissenstransfer gefördert werden, indem neue für das Unternehmen anwendbare Praktiken gefunden und eigene ausgetauscht werden. Mitarbeiter und Führung sowie Technologieentwicklung sind ebenfalls Anwendungsbereiche dieser Methode, da auch Best-Practice zwischen Mitarbeitern und Abteilungen ausgetauscht werden sollte.

Checklisten: Eine Checkliste für die Technologieentwicklung disruptiver Technologien bietet Unternehmen die Möglichkeit, bereits vor dem Projektentscheid und der Investitionsentscheidung der Bedeutung disruptiver Entwicklungen Rechnung zu tragen (vgl. Dyer et al. 2013). Um Checklisten zur Berücksichtigung disruptiver Technologien im Projektportfolio zu erstellen, müssen Kriterien zur Projektauswahl definiert werden. Eingehende Projektvorschläge werden anschließend bezüglich ihres Bezugs zu disruptiven Technologien überprüft. Nach der Priorisierung der Projektvorschläge erfolgt die Entscheidung über die Aufnahme des disruptiven Entwicklungsprojekts in des F&E-

Portfolio und die Zuteilung von Ressourcen (vgl. Adner/ Snow 2010). Damit ist die Nutzung der Checkliste abgeschlossen und die Technologieentwicklung mit Berücksichtigung der Besonderheiten disruptiver Technologien wird initiiert. Der Einsatz von speziellen Checklisten trägt dazu bei, disruptive Technologien zu identifizieren und Entwicklungsprojekte zu priorisieren, um spezielle Entscheidungsprozesse zu durchlaufen (vgl. Christensen 2011). Die Anwendung spezieller Checklisten bietet die Möglichkeit, die Besonderheiten disruptiver Technologien in der Organisation zu berücksichtigen und unterstützt ein erfolgreiches Technologiemanagement. Checklisten können flexibel angepasst und in allen Phasen der Produktentwicklung eingesetzt werden.

Communities of Practice: Bei Communities of Practice handelt es sich um selbst organisierte und freiwillige bereichsinterne bzw. meist abteilungsübergreifende Personengruppen, die ein gemeinsames Interesse an einer Tätigkeit oder Aufgabe besitzen. Über eine längere Zeitspanne kommt es regelmäßig zu informellen Treffen und Interaktionen der Mitglieder der Gruppe, um Wissen und Erfahrungen auszutauschen und um an der Weiterentwicklung neuer Ideen und Problemlösungen zu arbeiten. Des Weiteren kann die Unternehmensführung eine Community of Practice nicht verordnen, sondern lediglich die Rahmenbedingungen schaffen. Die Voraussetzung seitens der Mitarbeiter

besteht in der Bereitschaft, vertrauensvoll und offen in gemeinsamen Themengebieten zu arbeiten. Es gibt einen Koordinator, der für die Organisation, die Struktur und die Festlegung der Ziele verantwortlich ist. Je nach Grad der Beteiligung der verbliebenen Teilnehmer ergeben sich eine Kerngruppe, eine aktive Gruppe oder periphere Teilnehmer. Die Methodik der Communities of Practice wirkt in allen Phasen des Entwicklungsprozesses auf die Netzwerkbeziehungen, da sie Austausch zwischen den Netzwerkpartnern anregt. Ferner fördert Sie den Wissenserwerb, -bewahrung und –transfer der Teilnehmer. Durch die Selbstorganisation beeinflusst die Methodik der Communities of Practice ferner die Bereiche der Ablauforganisation und der Mitarbeiter sowie Führung.

Einkauf externer Experten: Die temporäre Anstellung externer Experten unterstützt eine Organisation kurz- bis mittelfristige Wissenslücken zu schließen. Ihr theoretisches Wissen und die praktische Erfahrung aus anderen Projekten können als ebenso vorteilhaft angesehen werden wie die Flexibilität hinsichtlich der Dauer der Anstellung. Die Rekrutierung neuen Personals und externer Berater erfolgt nach einem möglichst klaren Suchprofil, das sich an strategischen Unternehmenszielen und den zukünftigen Fähigkeiten der Organisation orientiert. Über verschiedene Auswahlverfahren, bereits bestehende Kontakte und Referenzen werden geeignete Bewerber ausgesucht und ange-

stellt. Diese Art der Anstellung ist befristet und häufig erfolgsabhängig entlohnt. Der Einkauf externer Experten führt zu Wissenszuwachs im Unternehmen, Schließung kurzfristiger Wissenslücken, Einbindung zusätzlicher Experten in das Wissensnetzwerk sowie Anstieg der Effektivität und Verbesserung der Reaktionszeit der Gesamtorganisation. Über den gesamten Entwicklungsprozess wirkt es in den Gestaltungsfeldern Wissensmanagement, Organisation und Prozesse sowie Technologiemanagement. Es fördert durch die Integration externen Wissens den Wissenserwerb und den Wissenstransfer. Durch die Einbeziehung externer Wissensquellen wirkt es sich schlussendlich auch auf den Bereich der Technologieentwicklung aus.

Expertenverzeichnis: Das Expertenverzeichnis ist ein geeignetes Instrument, um auf Wissensträger zur Lösung spezifischer Probleme zuzugreifen. Diese Verzeichnisse werden ebenfalls als Yellow Pages, Who is who oder Wissenslandkarten bezeichnet. Im Verzeichnis werden Personendaten mit Informationen zu deren Kompetenzen und Spezialgebieten verknüpft. Zum Aufbau eines Expertenverzeichnisses muss festgelegt werden, welche Inhalte dieses umfasst und in welcher Form das Verzeichnis bereitgestellt wird. Die meisten Unternehmen nutzen das Intranet und integrieren Seiten mit Personenprofilen, welche eigenständig ausgefüllt und laufend aktualisiert werden (vgl. Schindler 2002). Das Expertenverzeichnis bietet eine Übersicht über Wis-

sensträger und deren Kompetenz. Es ermöglicht eine schnelle Kontaktaufnahme durch die Bereitstellung von Kontaktinformationen. Expertenverzeichnisse können interne und externe Experten umfassen, z.B. Mitarbeiter aus Fachabteilungen, Berater oder Kunden (vgl. Probst et al. 2012), auf welche in allen Phasen der Produktentwicklung zugegriffen wird. Hierdurch beeinflusst das Expertenverzeichnis die Gestaltungsfelder Wissensmanagement und Netzwerke.

Feedbackregeln: Das Feedback ist ein Führungsinstrument, dass positive Leistungen und Verhaltensweisen durch Lob und Motivation stärkt, negative Leistungen und Verhaltensweisen, die schädlich sind für disruptive Entwicklungsprojekte, korrigiert, einen Entwicklungsprozess auslöst und zum Verständnis der Bedeutung disruptiver Entwicklungsprojekte führt. Das Feedback bezieht sich auf das Arbeitsverhalten und unterstützt eine kurzfristige Betrachtungsweise. Feedbacks sollten aus aktuellem Anlass erfolgen. Das Feedbackgespräch wird in vier Phasen unterteilt. Zunächst erfolgen die Beobachtung und der Vergleich von Verhaltensweisen mit den Erwartungen. Die zweite Phase beinhaltet das Erkennen von Verhalten, das besonderen Einfluss auf disruptive Entwicklungsprojekte hat. In der dritten Phase werden Feedbackregeln aufgestellt und berücksichtigt. In der Regel sollte Feedback konstruktiv, aktuell, subjektiv und fair sein (vgl. Jäggi/ Züger 2011). In der letzten Phase wird das

Feedbackgespräch durchgeführt, bestehend aus der Gesamtrückmeldung, den positiven und negativen Beobachtungen sowie der Empfehlungen. Das Feedbackgespräch dient zum Erkennen von Verhaltensweisen, die disruptive Entwicklungsprojekte beeinflussen. Diese Methode beeinflusst das Gestaltungsfeld Organisation & Führung. Sie kann in allen Phasen des Produktentwicklungsprozesses angewendet werden.

Formulare: Formulare sind Dokumente, die Daten strukturiert erfassen. Das Formular ist vorgefertigt und muss lediglich vom Anwender ausgefüllt werden. Es wird oft bei gleichartigen Arbeitsgängen sowie der eigentlichen Arbeit vorgelagert, verwendet (vgl. Ackerschott 2001). Voraussetzung für die Nutzung von Formularen ist ein sich wiederholender Arbeitsablauf oder eine sich wiederholende Datenerhebung sowie eine inhaltliche Gleichartigkeit. Bei häufiger Durchführung ist die Nutzung von Formularen als Vorlage sinnvoll, um die Aufbereitung der Geschichte zu vereinfachen und eine Vergleichbarkeit untereinander zu gewährleisten (vgl. Schwesinger 2007). Es werden Informationen aus den gesammelten Daten abgeleitet und in einer festen Form für den Wissenserwerb genutzt. Die Methode wird zur Wissensbewahrung und für den Wissenstransfer eingesetzt. Weiterhin wirkt sich deren Anwendung auf die Ablauforganisation aus, da Formulare eine neue standardisierte Arbeitsweise definieren. Es wird empfohlen, die Methode in der Grundlagen-

forschung sowie in allen Bereichen des Produktentwicklungsprozesses anzuwenden.

Job-Redesign: Job-Redesign ist eine Methode des organisationalen Lernens. Es werden die Untergruppen Job-Enlargement, Job-Enrichment und Job-Rotation unterschieden. Beim Job-Enlargement wird der Aufgabenbereich eines Mitarbeiters um qualitativ gleichwertige Aufgabenelemente erweitert. Job-Enrichment beschreibt die Erweiterung des Kompetenz- und Verantwortungsbereichs eines Mitarbeiters. Bei der Job-Rotation wird einem Mitarbeiter ein gleicher oder neuer Arbeitsbereich in einer anderen Organisationseinheit zugeordnet. Maßnahmen des Job-Redesigns im Rahmen des organisationalen Lernens werden sowohl in privatwirtschaftlichen Unternehmen als auch vermehrt in der öffentlichen Verwaltung und innerhalb vorhandener Organisationsstrukturen durchgeführt. Job-Enlargement kann beispielsweise innerhalb einer Organisationseinheit stattfinden. Mitarbeiter werden mit den Aufgaben eines vor- oder nachgelagerten Arbeitsganges vertraut gemacht und sind befähigt, diesen ebenfalls durchzuführen. Job-Enrichment ist oftmals auf die Personalentwicklung von Führungskräften abgestimmt. Job-Rotation wird oftmals für Neueinsteiger eingesetzt. Sie werden über einen festgesetzten Zeitraum in verschiedene Organisationseinheiten eingebunden, um eine Einführung und einen Überblick über Prozesse und deren Abhängigkeiten

zu bekommen (vgl. Müller 2006). Die Methode führt zu einer individuellen Wissenserweiterung aller beteiligten Mitarbeiter und fördert ein erhöhtes individuelles Verständnis über Prozessabläufe und deren Schnittstellen. Die Methode wird insbesondere im Bereich des Wissensmanagement angewendet, um Wissen zu erwerben und zu transferieren. Die Durchführung der Methode verändert die Organisation und Prozesse, speziell die Aufbau- und Ablauforganisation von Unternehmen. Die Anwendung der Methode eignet sich in allen Phasen des Forschungs- und Produktentwicklungsprozesses.

Know-how-Schutz: Zukünftig müssen Unternehmen ihre Produkte durch durchdachte Strategien gezielt vor Produktpiraterie schützen. Dazu muss der Schutz des Know-hows auf die gesamte Wertschöpfungskette ausgeweitet werden. Der Einsatz der Methode erfordert eine umfängliche Auditierung der beteiligten Funktionen. Die geschaffene Transparenz über die IST-Situation des Unternehmens dient als Ausgangsbasis bzw. Referenzwert für die weitere Analyse. Demgegenüber steht der produktspezifische Schutzbedarf, welcher im weiteren Vorgehen detailliert analysiert und evaluiert wird. Abschließend sind geeignete Maßnahmen zur spezifischen Erhöhung des Schutzniveaus und deren Implementierung festzulegen. Damit ermöglicht der Einsatz dieser Methode Schutzkonzepte und -strategien für die untersuchten Produkte bzw. Produkt-gruppen zu identifizieren und

zu implementieren. Darüber hinaus ermöglichen die Analysen eine Darstellung der spezifischen Bedrohungslagen und Risikoprofile der Produkt bzw. Produktgruppen (vgl. Wildemann 2004c). Da beim Einsatz der Methode ein bis dato meist unbekanntes Wissen über Produkte generiert wird und die Risikofaktoren derselben transparent aufzeigt leistet die Methode einen Wertbeitrag im Wissens- und Risikomanagement. Darüber hinaus kann ein positiver Effekt in der Gestaltung von Beziehungen zwischen Entwicklungspartnern erzielt werden.

Konfliktregelung: Zur schnellen Konfliktlösung ist es notwendig, präventiv Eskalationsszenarien zu entwickeln (vgl. Wiswede 2000). Der erste Schritt bei dieser Methode ist die kontinuierliche und strukturierte Sammlung von existierenden und potenziellen Herausforderungen und Problemen. Dies ermöglicht eine objektive Evaluierung und Gewichtung der gefunden Herausforderungen. Danach wird eine Ursachenanalyse durchgeführt, um im nächsten Schritt Lösungsalternativen identifizieren und ableiten zu können. Diese Alternativen werden bewertet und die für den Untersuchungsgegenstand zutreffendste Alternative ausgewählt. Daraufhin erfolgt die Erarbeitung eines Umsetzungskonzepts, das in kontinuierlichen Abständen im Rahmen einer Erfolgskontrolle nachgehalten werden sollten (vgl. Wildemann 2014f). Das Ergebnis, das mit dieser Methode erreicht werden kann ist die Prävention von Konflikten, eine strukturierte Lö-

sungsfindung und eine Steigerung der Effizienz. Besonders in den Bewertungsbereichen Netzwerkbeziehungen, Ablauforganisation sowie Mitarbeiter & Führung kann diese Methode eingesetzt werden, weil in diesen Bereichen ein besonderes Augenmerk auf die Unternehmensbeziehung sowohl nach außen als auch nach innen, wie zu anderen Abteilungen, gelegt wird. Ferner unterstützt die Methode auch in dem Bewertungsbereich Risikomanagement und –prozess, da die Methode bereits präventive Maßnahmen vorschlägt und so zukünftiges Konflikt- und Risikopotenzial reduziert.

Kundenbefragung: Um eine Kundenbefragung durchzuführen, ist zunächst das Befragungsziel zu klären. Für die Befragung ist eine Auswahl an Testkunden erforderlich. Nachdem entschieden ist, welche Befragungsmethode aus der Marktforschung herangezogen wird, sind die Kundenadressen bereitzustellen. Es schließt sich die Erstellung des Fragebogens sowie die Entscheidungsfindung über den Interviewer an. Im folgenden Schritt wird die Befragung durchgeführt. Zu jedem Interview wird ein Einzelbericht erstellt. Die Datenauswertung und Interpretation der Ergebnisse führt gegebenenfalls zur Umsetzung von Handlungsempfehlungen der Kunden. Das Ergebnis wird intern und extern kommuniziert. Die Methode der Kundenbefragung arbeitet wie ein Frühwarnsystem und deckt Mängel auf, bevor negative Kundenreaktionen entstehen. Die Anwendung

dieser Methode erweitert zudem die Zielgruppen, welche durch die Befragung Handlungsempfehlungen für das Unternehmen aus Kundensicht anregen (vgl. Bruhn 2013). Eine Befragung ermöglicht die direkte Kundenintegration, in der die Kunden ihre Anforderungen und den Nutzen konkret definieren können. Dieser Wissenserwerb unterstützt das Unternehmen im weiteren Produktentwicklungsprozess. Die Methode wirkt somit auf die Gestaltungsfelder Kundenorientierung und Wissensmanagement. Es wird empfohlen, diese Methode in allen Phasen den Forschungs- und Produktentwicklungsprozesses anzuwenden.

Kundennutzenanalyse: In der Elektromobilität können durch die Kundennutzenanalyse Zielgruppen identifiziert werden, nach deren Einschätzung Eigenschaften wie beispielsweise Verbrauch oder Geräuscharmut den höchsten Nutzen aufweisen. Zu Beginn einer Kundennutzenanalyse ist zunächst eine Ist-Analyse vorzunehmen. In diesem Zusammenhang wird eine Kriterienstruktur der Marktbedürfnisse mit relevanten Einflussgrößen auf den Kundennutzen erarbeitet. Anschließend werden diese Kriterien und Einflussgrößen in einem linearen Scoring-Verfahren bewertet. Die Ergebnisse der Ist-Analyse werden in Grafiken und Tabellen überführt und für unternehmerische Entscheidungen unter Berücksichtigung der Ziele eingesetzt. Aus der Kundennutzenanalyse werden Handlungsempfehlungen in einem Katalog zusammen getragen. Abschließend erfolgt die Umsetzung mit der

Erstellung von Projektplänen und der Durchführung der Arbeitspakete. Ergebnis der Kundennutzenanalyse ist ein Katalog von zeit- und kostenoptimalen, aufeinander abgestimmten Handlungsempfehlungen für eine voll wettbewerbsfähige Marktposition (vgl. Schauenburg 1999). Die Methode wirkt sich auf den Kundenutzen im Rahmen der Kundenorientierung aus und sollte in allen Phasen des Forschungs- und Produktentwicklungsprozesses genutzt werden.

Mentoring: Das Mentoring ist eine Methode, die in Unternehmen insbesondere zur Einarbeitung neuer Mitarbeiter eingesetzt wird. Beim Mentoring werden von einer erfahrenen Person (Mentor) zu einer unerfahrenen Person (Mentee) Wissen und Erfahrungen in einem begrenzten Zeitraum weitergegeben. Der Mentee soll in der Entwicklung von Kompetenzen unterstützt werden, beispielsweise im Aufbau von Methoden-, Fach- oder persönlichen Kompetenzen, und sein Netzwerk erweitern (vgl. Graf/ Edelkraut 2014). Um den Nutzen des Mentorings zu maximieren sollten Mentor und Mentee entsprechend zuvor definierter Anforderungen zusammengeführt werden. Für diese Aufgabe müssen das Ziel und der Inhalt des Mentorings definiert werden. Weiterhin ist es sinnvoll, die Ziele und Inhalte in einem Vertrag festzuhalten sowie nach Beendigung des Programms eine Evaluierung durchzuführen. Das Mentoring als Personalmanagementmethode unterstützt die Gestaltungsfelder

Wissensmanagement sowie Organisation und Prozesse. Es stellt sicher, dass Wissen und Erfahrungen im Unternehmen langfristig gehalten werden. Weiterhin fördert das Mentoring die Lernkultur durch Weitergabe von Kompetenzen sowie die Vernetzung von Wissensträgern. Ist ein Mentee in einem Entwicklungsprojekt eingebunden, kann der Mentor diesen in allen Phasen unterstützen (vgl. Graf/ Edelkraut 2014).

Methoden der Externalisierung: Um das Unternehmen vor Wissensverlust bei Ausscheiden eines Mitarbeiters zu bewahren, gilt es die Fähigkeiten einer Person, die nur sie besitzt bzw. die ihr eventuell selbst nicht bewusst sind, zu externalisieren. Über Beobachtungs- und Modelllernen lässt sich implizites Wissen aufzeichnen und anderen Mitarbeitern zugänglich machen. Des Weiteren kann es über Metaphern und Analogien teilweise artikuliert werden und im Optimalfall in einem Modell abgebildet werden, um es als explizites Wissen dem Unternehmen zugänglich zu machen. Diese Techniken lassen sich auch in Gruppen und Workshops implementieren, so dass sie ebenfalls zum Wissenserwerb beitragen können. Beim Beobachtungs- und Modelllernen lassen sich Mitarbeiter mit implizitem Wissen bei ihrer Tätigkeit mit einer Videokamera filmen und kommentieren relevante Schritte und Schwerpunkte, um andere Personen mit diesem Video schulen zu können. Über Metaphern können Individuen bildhaft und anschaulich Zusammenhänge in einem

anderen Kontext verbalisieren, bspw. in der Biologie (Bionik) oder im sportlichen Kontext. Im Anschluss werden Analogien zum normalen Kontext der Organisation hergestellt und das entstandene explizite Wissen wird in Modellen abgebildet, um es zur Multiplikation verwenden zu können. Die Anwendung der Methodik der Externalisierung ermöglicht die Speicherung von personenbezogenem Wissen, den Wissenszuwachs, die Erschließung neuer Wissensquellen sowie die Bildung von Wissensclustern. Über den gesamten Entwicklungsprozess wirkt sie daher auf die Bereiche Wissensbewahrung und -transfer im Gestaltungsfeld Wissensmanagement.

Stage-Gate-Prozess: Das Projektmanagement von Entwicklungsprojekten ist häufig durch eine unzureichende Prozessdurchführung, unklare Prioritäten, den Einsatz von bereichsübergreifenden Teams sowie unzureichendes Wissensmanagement im Entwicklungsvorfeld gekennzeichnet. Um diese Defizite auszugleichen wurde mit dem Stage-Gate-Prozess eine Methode für das Projektmanagement von u.a. Entwicklungsprojekten entwickelt. Durch die Einführung von Kontrollpunkten (Gates) wird die Aufmerksamkeit gezielt auf die Qualität gelenkt und das Erreichen der zuvor definierten Ziele und Kriterien sichergestellt. Zunächst ist es erforderlich, das Entwicklungsprojekt in Abschnitte (Stages) zu unterteilen und Namen für die Abschnitte zu definieren. Im nächsten Schritt werden die Gates

mit Zielzeitpunkten und Freigabekriterien definiert. Nach der Implementierung erfolgt die Projektbewertung durch Vorgesetzte (vgl. Schuh/ Klappert 2011). Als Ergebnis entsteht ein definierter Entwicklungsprozess für ein Produkt auf Basis disruptiver Technologien. Dieser Prozess beinhaltet Kontrollpunkte zur Qualitätsüberwachung mit dazugehörigen Meilensteinen. Der Stage-Gate-Prozess trägt zur zielorientierten Projektdurchführung und zu einem standardisierten Projektcontrolling bei. Die positive Wirkung auf die Gestaltungsfelder Organisation & Prozesse sowie Technologiemanagement lassen sich auf die effiziente Technologieentwicklung und den Beitrag der Prozessdefinition zur Gestaltung der Ablauforganisation zurückführen. Der Stage-Gate-Prozess kann in allen Phasen der Produktentwicklung angewendet werden.

Unternehmens-Wiki: Die langfristige Sicherung von Wissen ist wesentlich für ein erfolgreiches Wissensmanagement (vgl. Probst et al. 2012). Ein Wiki ist eine Webapplikation, welche es ermöglicht, Wissen in Form von themenbasierten Seiten, z.B. zu disruptiven Technologien zu speichern. Die Inhalte können durch einen Nutzer gelesen, erweitert und geändert werden. Abhängig vom Anwendungsfall kann das Wiki als unternehmensinterne oder öffentliche Wissensdatenbank genutzt werden (vgl. Mertins et al. 2009). Vor dem Aufbau eines Wikis müssen die Anforderungen an Datenstrukturen und Datenhaltung definiert

werden. Vorhandene Dokumente werden analysiert, um ein Soll-Konzept zu erstellen. Das Soll-Konzept beinhaltet die Festlegung der Struktur und Inhalte sowie die Auswahl der Applikationen. Nachdem das Wiki erstellt und erste Inhalte implementiert wurden, soll eine unternehmensweite Vorstellung erfolgen. Zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des Wiki ist eine fortlaufende Pflege und Aktualisierung erforderlich (vgl. Mertins et al. 2009). Unternehmen, welche Wikis bereits intern einsetzen, sehen deren Vorteil insbesondere in der erhöhten Informationstransparenz und -aktualität. Durch die Struktur eines Wikis kann die Effizienz des unternehmensinternen Wissenstransfers verbessert werden. Zudem wird das Wiki als neue Form der kollaborativen Zusammenarbeit genutzt (vgl. Seibert et al. 2011). Die Inhalte des Wikis können beispielsweise Anleitungen, Schulungsunterlagen, Mitarbeiter- und Expertenverzeichnisse oder Projektdokumente umfassen, welche in allen Phasen eines Entwicklungsprojekts benötigt werden. Durch das breite Anwendungsfeld ist das Wiki eine geeignete Form zur zentralen Wissenssammlung (vgl. Mertins et al. 2009) und beeinflusst das Gestaltungsfeld Wissensmanagement in allen Phasen des Entwicklungsprozesses.

Weiterbildungsmanagement: Das Weiterbildungsmanagement umfasst die Analyse unternehmensinterner Weiterbildungsbedarfe sowie Aufgaben der Planung, Organisation und Verwal-

tung von Weiterbildungsmaßnahmen (vgl. Fredersdorf/ Glasmacher 2010). Weiterbildungsbedarfe ergeben sich aus grundlegenden oder spezifischen Kompetenzanforderungen für eine definierte Tätigkeit. Zur Vorbereitung von Weiterbildungen muss der Bedarf durch Soll-/Ist-Vergleiche ermittelt werden. Anschließend werden Ziele der Weiterbildungsmaßnahmen definiert und die Maßnahmen eingeleitet. Eine Erfolgskontrolle der Weiterbildungsmaßnahmen kann durch geeignete Controlling-Methoden geschehen. Es ist sicherzustellen, dass das erlernte Wissen aktiv im Arbeitsumfeld eingesetzt wird. Durch die effiziente Umsetzung des Weiterbildungsmanagements werden frühzeitig Wissenslücken identifiziert und Mitarbeiter zielgerichtet befähigt (vgl. Becker 2010). Im Umfeld der Produktentwicklung können Weiterbildungsmaßnahmen beispielsweise zur Schulung in Kreativitätstechniken oder Projektmanagementmethoden genutzt werden. Durch die Erhöhung des individuellen Wissens hat das Weiterbildungsmanagement einen großen Einfluss auf das Gestaltungsfeld Wissensmanagement. Die Befähigung der Mitarbeiter kann für einzelne Projektphasen eines Entwicklungsprojekts oder den gesamten Prozess der Produktentwicklung erfolgen.

Wertanalyse: Die Methode der Wertanalyse macht es möglich, eine Wertoptimierung zwischen Qualitätsmerkmalen und notwendigen Kosten methodisch zu bearbeiten. Sie ermöglicht die

Zuordnung von Kosten zu Produktfunktionen und dient der Ideenentwicklung zur Kostensenkung. Der erste Schritt bei einer Wertanalyse ist die Definition des Untersuchungsgegenstands und die Analyse der Objektsituation. Im nächsten Schritt gilt es den Soll-Zustand zu beschreiben, um nachfolgend Lösungsideen entwickeln und evaluieren zu können. Vielversprechende Lösungen sollten im nächsten Schritt ausgewählt und umgesetzt werden. Um einen langfristigen Erfolg dieser Methode zu gewährleisten ist es notwendig die Lösungen nachzuhalten. Durch die Wertanalyse kann eine erhebliche Wertsteigerung für den Kunden und das Unternehmen generiert werden. Auch kann dadurch die Kundenorientierung verbessert werden und eine eindeutige unternehmensinterne Ausrichtung an wertschöpfende Prozesse erreicht werden (vgl. Wildemann 2014a). Die Anwendung der Methode erfolgt in mehreren Bewertungsbereichen. Aufgrund der betrachteten Prozesse kann die Methode besonders im Bewertungsbereich Ablauforganisation eingesetzt werden. Ferner hilft die Wertoptimierung der Qualitätsmerkmale bei der Analyse und Auswahl von Technologien und kann daher in den Bewertungsbereichen Technologiebewertung und Technologieentwicklung eingesetzt werden. Gleichwohl hilft die Methode bei der Einschätzung von Risiken und findet daher Anwendung in den drei Bewertungsbereichen des Gestaltungsfelds Risikomanagement.

Wissensdatenbanken: Durch den Einsatz von IT bietet sich Organisationen die Möglichkeit, externes und internes Wissen, wie von Entwicklungsprojekten, abzulegen, um einen Zugriff zu einem späteren Zeitpunkt zu gewährleisten und einen Wissensverlust zu vermeiden. Somit stehen die gespeicherten Inhalte, jederzeit und unabhängig vom Ort sowie vom einzelnen Individuum, anderen Mitarbeitern und Abteilungen eines Unternehmens zur Verfügung (vgl. Flicker/ Thannhäuser 2010). Zunächst gilt es eine Software bzw. Datenbanktechnologie auszuwählen, die den unternehmensspezifischen Anforderungen entspricht. Im Anschluss erfolgt eine benutzerfreundliche und sinnvolle Strukturierung der festgelegten Anwendungsbereiche, die untereinander vernetzt werden. Ein spezielles Team oder einzelne Mitarbeiter entscheiden, welches Wissen für die Organisation relevant ist und speichern es. Ein Administrator verwaltet den Inhalt und die Struktur der Datenbank. Nach der Implementierung können Personen sie mit neuem Wissen füttern und mittels einer Suchmaschine auf Daten zugreifen (vgl. Wildemann 2003b). Das Ergebnis der Methode ist der Schutz vor Wissensverlust, indem eine strukturierte Speicherung von Wissen erfolgt. Auch resultiert aus dieser Methode ein zeit- und ortsunabhängiger Wissenstransfer an andere Mitarbeiter und Abteilungen eines Unternehmens. Die Einarbeitung von neuen Mitarbeitern kann darüber hinaus auch schneller und effizienter erfolgen. Diese Me-

thode kann entlang des gesamten Entwicklungsprozesses genutzt werden, weil zu jeder Prozessphase benötigtes Wissen in der Datenbank abgefragt oder gespeichert werden kann. Neben den Bewertungsbereichen Wissensbewahrung und Wissenstransfer wirkt die Methode auch auf die Technologieentwicklung, weil über die Wissensdatenbank wichtige Technologieinformationen abgerufen werden können.

Wissensmanagement: Als Wissensmanagement wird das ganzheitliche Management der Ressource „Wissen“ innerhalb eines Unternehmens bezeichnet. Es umfasst die unternehmensweite Identifizierung, Strukturierung und Sicherung des internen Wissens sowie dessen Transformation in nachhaltige Erfolgs- bzw. Nutzenpotenziale. In den Wissensmanagement-Prozess werden alle Mitarbeiter integriert, um eine nachhaltige Leistungssteigerung zu erreichen. Im ersten Schritt sind die Ziele, der Umfang und die Projektorganisation festzulegen. Daraufhin wird eine Ist-Analyse durchzuführen, ein Konzept zu erstellen und erfolgsrelevante Prozesse zu identifizieren. Weiterhin sind geeignete Wissensforen auszuwählen, ein permanenter Wissensfluss zu institutionalisieren und diese über Abteilungen und Geschäftsbereiche auszudehnen. Die eingeleiteten Maßnahmen sind selbstverständlich kontinuierlich zu überprüfen und zu verbessern. Die Methode Wissensmanagement wird über den gesamten Entwicklungsprozess für die Gestaltungsfelder Wis-

sensmanagement, Organisation & Prozesse und Risikomanagement eingesetzt, sodass die Bewertungsbereiche Wissenserwerb, -bewahrung und -transfer sowie Mitarbeiter & Führung und Risikomanagement und -prozess verbessert werden. Daraus resultieren eine Reduktion der Lernphasen, die Ermöglichung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, die Steigerung von Leistungsfähigkeit und Qualität und die Beschleunigung von Projekt- und Prozessdurchlaufzeiten.

Wissensnetzwerke: Der Aufbau von oder die Partizipation in Wissensnetzwerken ist eine geeignete Methode zum Wissenserwerb und -transfer. Bekannte Formen sind Expertennetzwerke, z.B. Verbände- oder Alumni-Netzwerke. Unternehmen müssen Netzwerke identifizieren, welche relevantes Wissen enthalten und sich mit diesen vernetzen. Durch den Austausch von individuellen Informationen zwischen Experten und den Aufbau persönlicher Kontakte können Wissensnetzwerke zu einem entscheidenden Wettbewerbsvorteil werden. Unternehmen haben die Möglichkeit, in vorhandene öffentliche Netzwerke oder interorganisatorische Netzwerke einzutreten. Es können ebenfalls eigene, interorganisatorische Netzwerke oder unternehmensinterne Netzwerke aufgebaut werden (vgl. Probst et al. 2012). Die Partizipation an Wissensnetzwerken führt zur Vermehrung des individuellen Wissens, das im Unternehmen verteilt werden kann. Es verbessert den Kontakt zu Wissensträgern und ermög-

licht einen leichteren Zugriff auf externe, individuelle Informationen, Denkstrukturen und Problemlösungsfähigkeiten (vgl. Braun 2005). Wissensnetzwerke beeinflussen alle Bewertungsbereiche des Gestaltungsfelds Wissensmanagement und unterstützen Projektteams in allen Phasen der Produktentwicklung.

Im Rahmen des entwickelten IT-Tools werden diese Methoden den Unternehmen in Form von Methodensteckbriefen an die Hand gegeben.

5.4 Exemplarische Fallstudien

Anhand der Technologien Batterie, Antrieb und Faserverbundtechnologie werden die ermittelten Gestaltungsfelder in Fallstudien anhand konkreter Unternehmen durchexerziert. Die drei Technologien weisen in den untersuchten Unternehmen aus dem Elektromobilitätsumfeld unterschiedliche Herausforderungen und Handlungsfelder auf, welche nachfolgend detailliert beschrieben und anhand der Reifegradmethodik bewertet werden.

Antrieb: Die Elektromobilität bedingt den Antrieb mittels Elektromotor. Elektromotoren werden universell verwendet und verstärkt im Schienenverkehr sowie in der Automobilbranche verbaut. Diese Technologie unterscheidet sich von den herkömmlichen Antriebsmethoden des Verbrennungsmotors durch eine unterbrechungsfreie Drehmomentübertragung über den

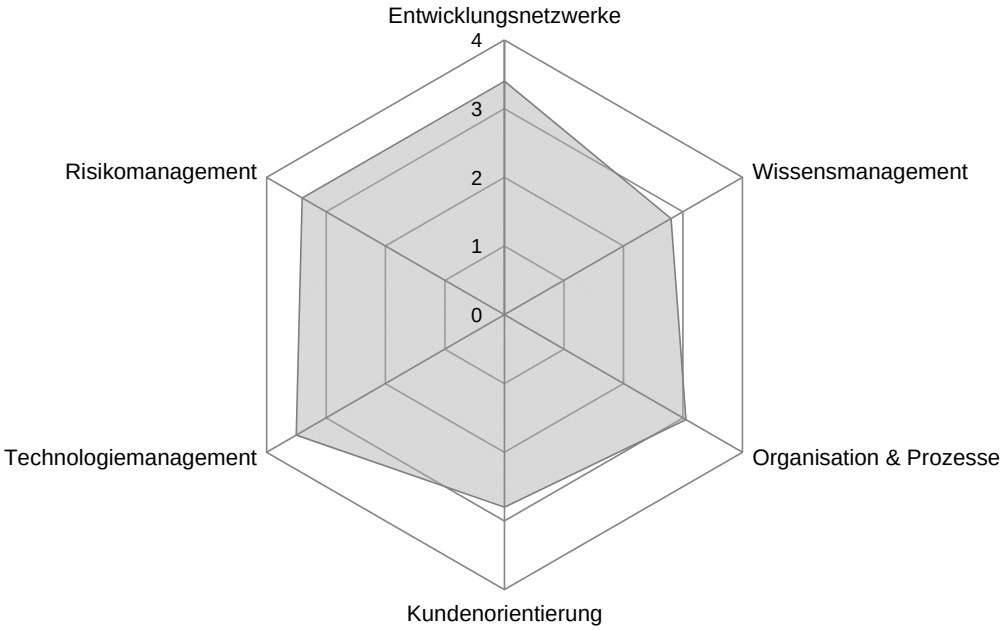


Abbildung 5-8: Bewertung der Antriebstechnologie

gesamten Geschwindigkeitsverlauf. Charakteristisch für die emissionsfreie Methode sind außerdem eine hoher Wirkungsgrad und die Möglichkeit der Energierückgewinnung. Die bisherige Bauweise bietet allerdings noch hohes Verbesserungspotenzial in Sachen Materialauswahl, -einsparung und Nachhaltigkeit.

Antrieb (Entwicklungsnetzwerke): Der hohe Grad an Komplexität erfordert die Bildung von Entwicklungsnetzwerken. Da die ursprüngliche Anwendung in Bereichen außerhalb der Automobilindustrie liegt und Zulieferer Bauteile derzeit noch nach Normen anderer Branchen (Kondensatoren, Permanentmagnete und Motorengehäuse) produzieren, werden zudem fachübergreifende Allianzen und Joint Ventures sowie das Nutzen von

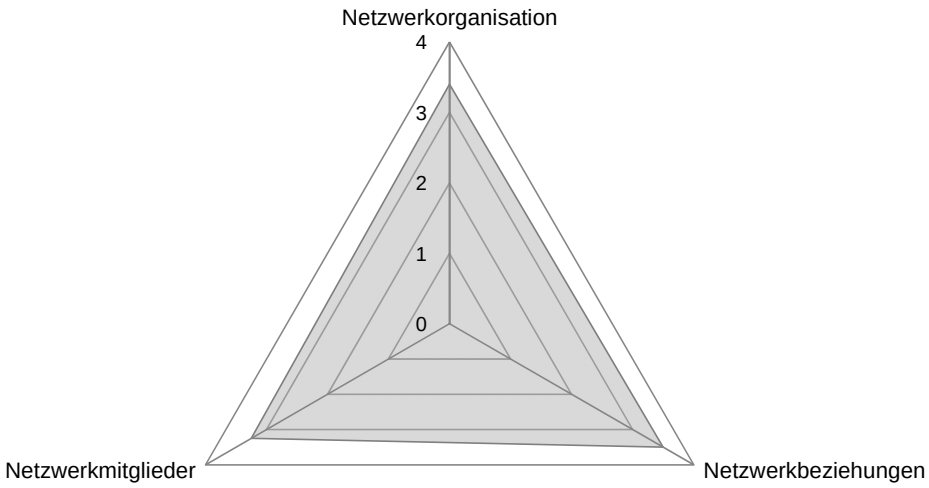


Abbildung 5-9: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke

Synergieeffekten unerlässlich. Die Bauteile müssen die Standards der Automobilindustrie erfüllen, um später in das Endprodukt integriert werden zu können. Es gilt, bauteilspezifisches Wissen sowie kostenreduzierende Maßnahmen mit den Zielen und Anforderungen des Automobilherstellers abzustimmen und zu koordinieren. Die Herausforderungen hierbei liegen in den Kooperations- und Abhängigkeitsstrukturen sowie der Wissensasymmetrie. Daher erfordert eine erfolgreiche Implementierung die Nutzung von Synergieeffekten, F&E-Aktivitäten, die Koordination von Fähigkeiten und Bedarfen sowie den Aufbau und die Pflege von Kooperationsnetzwerken. Elektromotoren sind zuverlässiger und benötigen weit weniger Wartung als Verbrennungsmotoren.

Antrieb (Wissensmanagement): Der Antrieb in Form des Elektromotors bietet neuartige Gefahrenquellen für den Endkunden

(Ausfall, Störungen, etc.). Kunden und Betreuer des Elektroautos sind noch nicht auf dem notwendigen Wissensstand, um einen sicheren Umgang gewährleisten zu können. Erfahrungswerte existieren bislang nur rudimentär. Endkunden sind auf potenzielle Komplikationen nicht vorbereitet, was die Hersteller ebenfalls vor zusätzliche Hindernisse stellt. Das notwendige Wissen für den sicheren Gebrauch muss akquiriert und letztendlich an den Kunden weitergeleitet werden. Herausforderungen sind neue, unbekannte Risiken, die Notwendigkeit des Wissenserwerbs und der Wissensentwicklung mit definierten operativen Wissenszielen. Spezifikationen bei den neuen Antriebsformen sind momentan noch unklar bzw. neu für die Branche, Erfahrungswissen fehlt (z.B. für Methodenanwendung und Messtechnik) und zum Teil Schulungen im Bereich der Elektromotoren notwendig sind.

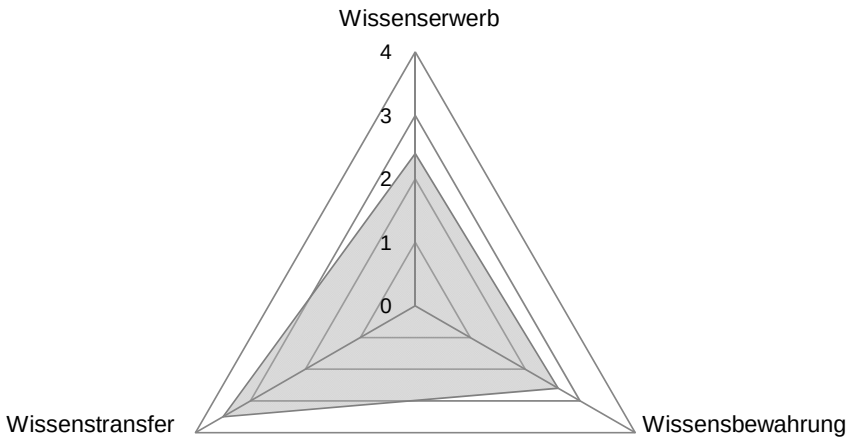


Abbildung 5-10: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Wissensmanagement

Durch die Vermittlung des vorhandenen Know-hows im Rahmen des Elektromotors und der Strukturierung von internen und externen Daten, Informationen und Fähigkeiten in Bezug auf die Technologie, können Maßnahmen ergriffen werden, um eine entsprechende Wissensbasis zu erzielen. Das Wissen sollte permanent durch ein selektives Verfahren aktualisiert und erweitert werden. Notwendig erscheinen an dieser Stelle auch das Lernen von anderen Branchen, die Adaption bestehender Konzepte und die Nutzung von Erfahrungswerten.

Antrieb (Organisation & Prozesse): Durch den kontinuierlichen und sprunghaften Fortschritt der Elektromobilität ist eine dauerhafte Anpassung der Prozesse von höchster Bedeutung. Um nicht in einen Rückstand gegenüber der Konkurrenz zu geraten, ist diese Adaption strukturiert und organisiert durchzuführen. Bei der Produktion von Elektromobilitätseinheiten stehen die

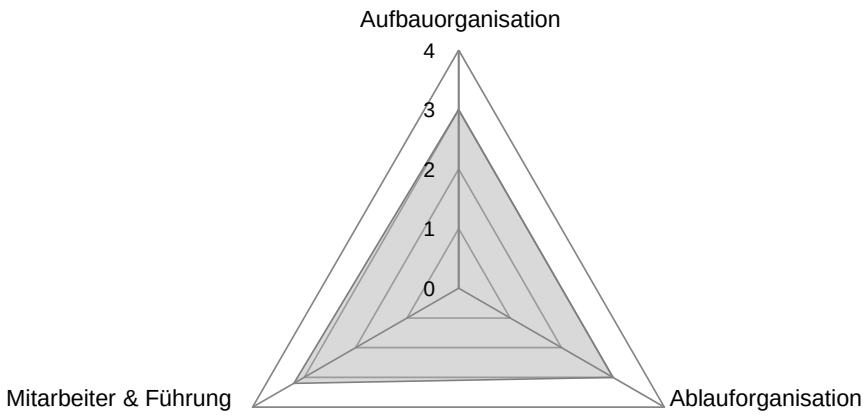


Abbildung 5-11: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Organisation & Prozesse

Produktion von Elektromotoren sowie die Anbindung an die Leistungselektronik im Vordergrund. Daher sind die Prozessabfolge sowie die Produktionszeit von großer Bedeutung. In Konsequenz ist auf ihre Optimierung erhöhter Wert zu legen, um maximale Kosteneinsparung zu erlangen. Der organisatorische Aufwand wächst folglich und spielt eine wesentliche Rolle hinsichtlich der Effizienz.

Antrieb (Kundenorientierung): Die Herausforderungen liegen bei neuen Technologien in der Prozessoptimierung und bei der Beibehaltung der organisatorischen Übersicht. Indem potenzielle Zeitersparnisse identifiziert, bürokratische Barrieren reduziert und Zuständigkeiten klar strukturiert werden, kann diesen Problemen entgegengewirkt werden. Darüber hinaus sind Komponenten zu standardisieren und nach Prozessinnovationen ist zu forschen. Aber auch der Kundenwille sollte die Entwicklung und Gestaltung des Elektromotors beeinflussen. Im Vergleich zu Verbrennungsmotoren stellt es für den Elektromotor eine größere Herausforderung dar den Leistungsanforderungen der Kunden gerecht zu werden. Die Stärken des Elektromotors im Vergleich zum Verbrennungsmotor sind der hohe Wirkungsgrad, keine Emission, geringe Wartungskosten und kundenfreundliche Fahrdynamik. Die Gesamtheit der Elektromobilität ist jedoch noch nicht optimal ausgelegt, sodass der Kunde

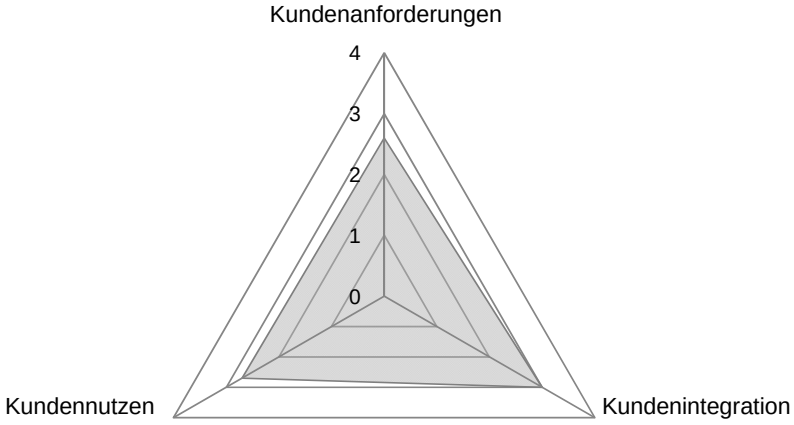


Abbildung 5-12: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Kundenorientierung

in Bezug auf Komfort gewisse Kompromisse eingehen muss (Ladezeit, Reichweite). Es existiert weiterhin Forschungsbedarf, um dem Kunden eine umstandslose, ganzheitliche Lösung anbieten zu können. Die Herausforderungen liegen vor allem in der Erreichung einer vollständigen Kundenzufriedenheit. Diese ist derzeit nur schwer zu erreichen, da Kundenerwartungen bei der Elektromobilität sehr hoch sind und die benötigte Infrastruktur momentan nicht vorhanden ist.

Antrieb (Technologiemanagement): Durch eine holistische Technologie- und Konzeptentwicklung sowie die Hervorhebung der Zukunftsorientierung der angebotenen Lösung können Maßnahmen ergriffen werden, um eine höhere Kundenaufmerksamkeit zu erreichen. Durch eine kontinuierliche Kostenreduktion durch Prozessoptimierungen, selektive Materialauswahl und Technologieeffizienz werden die vorhandenen Lösungen verbessert. Für den Markterfolg ist die Pflege und Ausnutzung der

bestehenden Technologien notwendig. Darüber hinaus gilt es durch die Erforschung neuer Technologien ständig auf dem aktuellen Stand zu sein, um sich von Konkurrenten abzusetzen. Die enormen Vorteile des Elektromotors müssen mit den erheblichen Komplikationen der anderen Teilkonzepte zusammengebracht werden, um ein ganzheitliches Elektromobilitätskonzept zu bieten. Während in anderen Teilbereichen viel Bedarf an Verbesserung besteht (Batterielebensdauer, Nachhaltigkeit), ist es wichtig im Forschungsbereich der Elektromotoren Weiterentwicklungen voranzutreiben, um die Marktposition zu halten und auszubauen. Die Herausforderungen liegen daher im Technologiemanagement, in der Technologiefrüherkennung und -bewertung. Die Automobilindustrie sollte auch im Hinblick auf die Elektromobilität weiterhin als eine innovative Branche agieren. Indem eine systematische, einheitliche Bewertung der Technologie (Messwerte spezifisch für Elektromobilität) etabliert, bestehende Technologiekonzepte überarbeitet und verfeinert werden, kann der Elektromotor an die Bedürfnisse der Automobilindustrie angepasst werden. Elektromotoren bringen eine Vielzahl an Fehlerquellen und somit Risikopotenziale mit sich. Besonders der Neuheitsgrad und die Adaption von Technologien aus fachfremden Bereichen in die Automobilbranche bereiten Schwierigkeiten. Durch den Neuheitsgrad der Technologie ist das Zusammenspiel zwischen Elektromotoren und deren

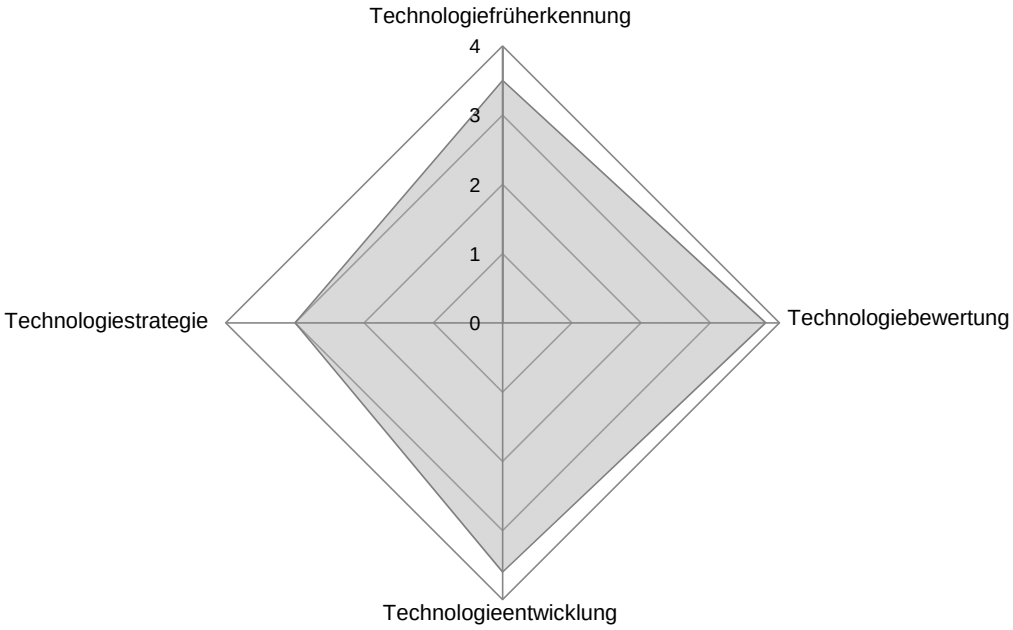


Abbildung 5-13: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Technologiemanagement

Umgebungsbedingungen momentan nicht empirisch erprobt und Erfahrungswerte existieren teilweise. Abhängigkeiten bestehen in jedem Teilsystem und bislang unbeachtete Größen können zu einflussnehmenden Störfaktoren werden (Vibrationen, Verunreinigungen).

Antrieb (Risikomanagement): Herausforderungen im Antrieb liegen bei vorhandenen Ungewissheiten und neuen Störgrößen. Die Verträglichkeit mit anderen Bereichen (z.B. Empfindlichkeit gegenüber Öl und Schmierstoffen, Vibrationen im Fahrbetrieb, Schmutz) ist unbekannt. Ebenso ist die Langzeiterprobung

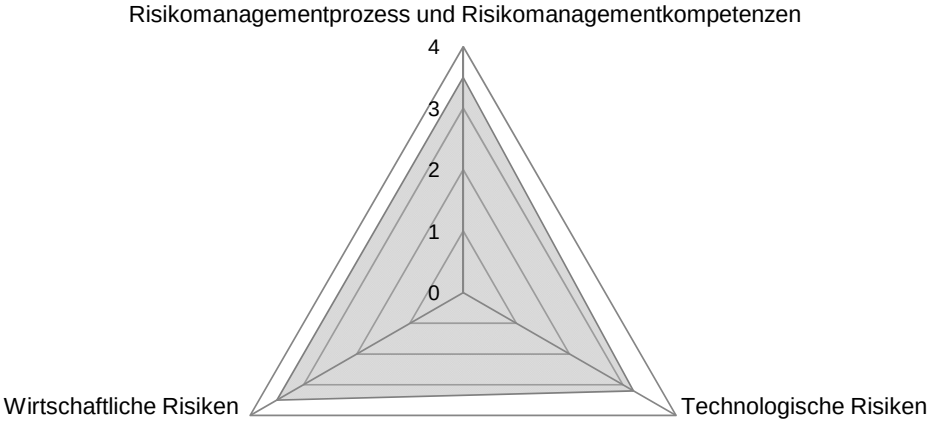


Abbildung 5-14: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Risikomanagement

aufgrund der verkürzten Produktlebens- und Entwicklungszyklen kaum möglich. Das Ausmaß an Störungen ist hoch und es ist mit Lieferantenausfall zu rechnen, da diese meist Branchenneulinge sind und Automobilstandards entsprechend nicht einhalten. Mit Hilfe von Überwachungssystemen und kritischen Analysen von Schnittstellen zu anderen Systemkomponenten kann den Risiken entgegengewirkt werden. Selbstverständlich unterstützen Ausweichszenarien das Risikomanagement.

Batterie: Die Batterietechnologie wird im Fahrzeugbau in rein oder partiell elektrisch betriebenen Fahrzeugen angewendet. Hauptsächlich sind hierbei Komponenten des Antriebstrangs betroffen: Elektroantrieb, Energiespeichermedium sowie Zusatzkomponenten wie Energierückgewinnung. Automotivspezifisches Erfahrungswissen ist hinsichtlich der Batterietechnologie nicht umfassend vorhanden. Systeme können in ihrer Komplexität nicht vollumfänglich erfasst werden.

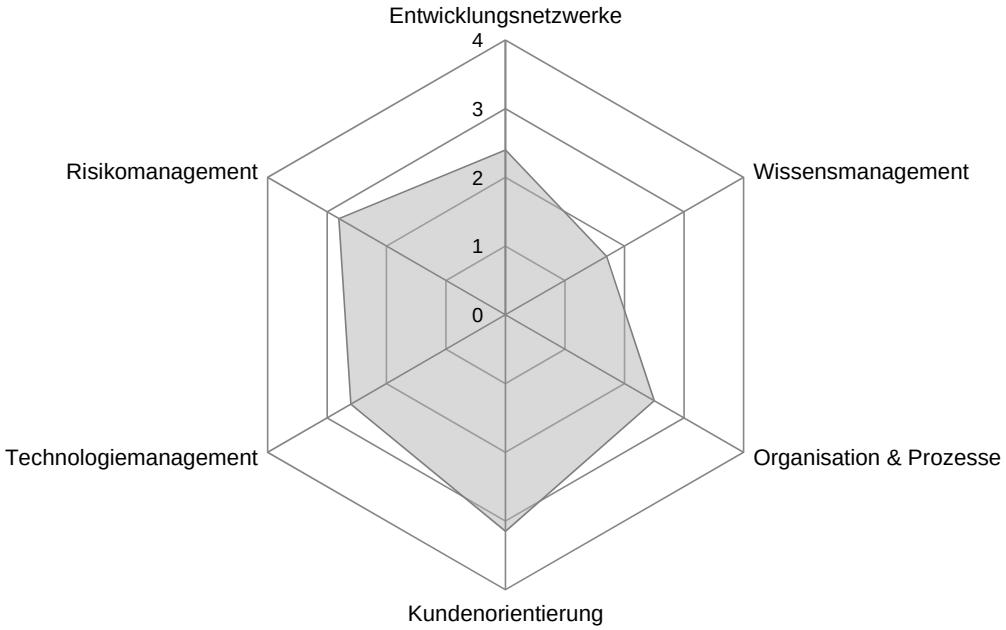


Abbildung 5-15: Bewertung der Batterietechnologie

Batterie (Entwicklungsnetzwerke): Im Rahmen der Batterietechnologie stellen die Systemauslegung und die Komponentendimensionierung die Kernherausforderungen der Produktentwicklung dar. Die Hochvolttechnologie erfordert strategische und operative Zusammenarbeit von Unternehmen unterschiedlicher Herkunft, Expertise und Hintergrund. Die Unternehmen aus dem Batterieumfeld besitzen zum Teil keine Automobil-Erfahrung und sind über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg zu integrieren. Beispielsweise besitzen Bauteilehersteller (Wickelgüter, Kondensatoren) teilweise keine Qualitätszertifizierungen nach Automobil-Standard. So genügt die verfügbare Katalogware weder den elementaren Anforderungen noch der steigenden Nachfrage (Neuprodukte bzw. Updates). Bereits etablierte Lieferanten im Automobilbereich besitzen

wesentliches, bauteilspezifisches Know-how in der Batterietechnologie. Die bestehenden Lieferantenbeziehungen werden allerdings durch ein Abhängigkeitsverhältnis dominiert. Es gilt, das spezialisierte dezentral (fachbereichsspezifisch) vorhandene Wissen neu zu organisieren und zu steuern, da das bestehende Wissen fachgebunden und über Fachgebiete verteilt ist. Durch Aggregation, Analyse und gezielte Kommunikation des Wissensstands wird die Erschließung der Technologie beschleunigt.

Batterie (Wissensmanagement): Etablierte Reparatur- und Serviceeinrichtungen, sowie Fahrzeugnutzer und Ersthelfer sind auf den Umgang mit der neuen Batterietechnologie nicht ausreichend vorbereitet. Eine fachbereichs- und unternehmensübergreifende Zusammenarbeit ist zur Gewährleistung der Komponentenkompatibilität unerlässlich. Prüfmerkmale zur Bemusterung einzelner Komponenten sind unzureichend

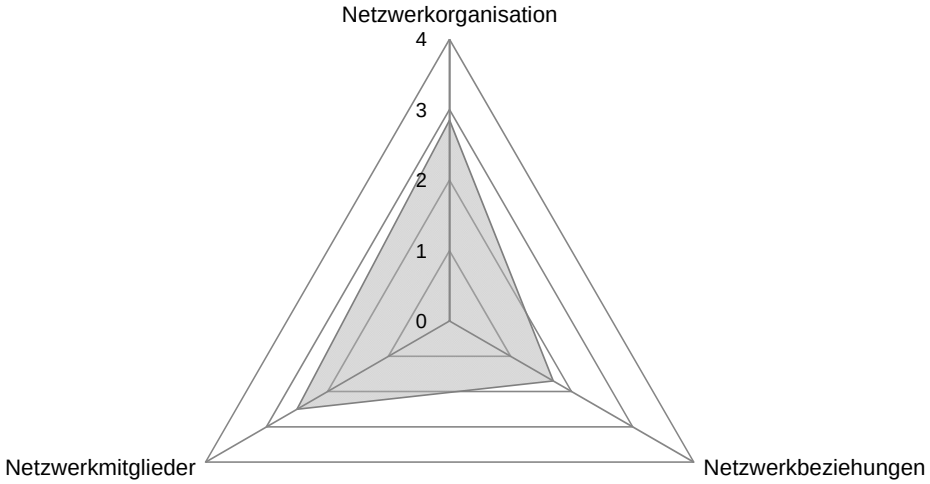


Abbildung 5-16: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke

bekannt. Weiterhin sind Abhängigkeiten und Wechselwirkungen verschiedener Teilsysteme nicht umfänglich erschlossen. Dies kann zu einer potenziell falschen Auslegung der Gesamtsysteme führen. Zudem erhöht die Vielzahl möglicher Fahrzustände die Komplexität der Validierungsprogramme. Die Batterietechnologie erfordert spezielles Fachwissen sowie spezielle Prüfverfahren. Batterieschäden (Kurzschlussfall oder ähnliches) können Gefahrenquellen für Umwelt und Personen darstellen (z.B. Ersthelfer bei Unfallbergung). Die Herausforderungen liegen folglich in den Validierungsprogrammen (z.B. fehlende Raffer-Faktoren), in der Produktspezifikation, dem fehlenden Wissen über Zusammenhänge/unbekannte Fehlermodi und Fehlerbilder. Auch die interdisziplinäre Zusammenarbeit ist im Wissens- und Erfahrungsmanagement wesentlich. Den Herausforderungen in der Batterietechnologie kann mit unterschiedlichen Maßnahmen entgegengewirkt werden. Die Standardisierung der Validierungskonzepte unter Einbeziehung von Erfahrungswissen sollte ebenso erfolgen wie die Entwicklung von alternativen Raffer-Tests. Außerdem können neue Reparaturkonzepte und Simulationen entwickelt werden, die auf Basis von Felderfahrungen und die Anpassung der Versuchsstrategien modifiziert werden. Hierzu sind Fachkräfte für Hochvolttechnologie nötig, welche durch Schulungen und Ausbildung über den gesamten Produktlebenszyklus der Batterie zu qualifizieren

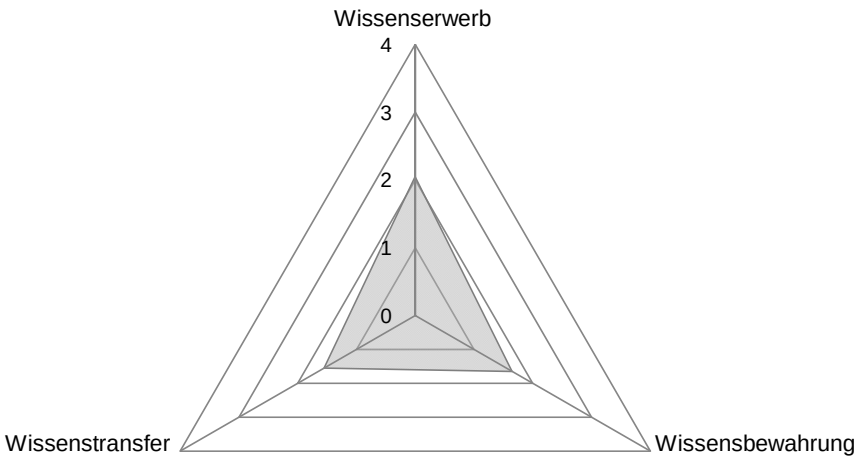


Abbildung 5-17: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Wissensmanagement

sind. Zusätzlich kann Wissen durch Lessons Learned und fachbereichsübergreifenden Erfahrungsaustausch generiert werden. Die Nutzung von Methoden und Tools zur Unterstützung von Aufbau und Kommunikation gewonnener Erfahrungswerte ist zudem förderlich. Die Technologieentwicklung basiert nicht auf brancheninternen Lasten- und Pflichtenheften. Die Antizipation potenzieller Komponentenfehler ist nicht umfänglich gegeben und Realprofile (Feuchtigkeit, Hitze, Kälte, Wechselwirkungen, Netzbetreiber, EMV, etc.) sind nicht ausreichend bekannt. Auch bestehende Tools, wie beispielsweise die FMEA, stoßen an ihre Grenzen, da diese keine Fehlerkombinationen betrachten und keine zeitlichen oder kausalen Zusammenhänge darzustellen vermögen.

Batterie (Organisation & Prozesse): Die Lagerung, Distribution und Reparatur der Batterie ist nicht ohne weiteres möglich.

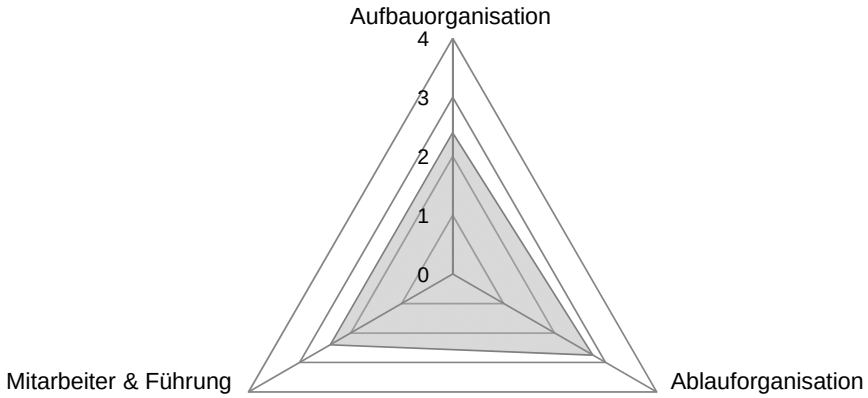


Abbildung 5-18: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Organisation & Prozesse

Durch die Prüfung von Bauteilen oder Fertigprodukten auf Erfüllung vorgegebener Eigenschaften (Bemusterung), kann die Qualität der Batterietechnologie im Rahmen definierter Fehlermodi und kundenseitiger Prüfkonzepte (Werkstatt) erhöht werden. Weiterhin gilt es die Produktspezifikationen in einem iterativen Prozess der Produkt-entwicklung anzupassen und Standards zur Bemusterung zu setzen. Durch die Standardisierung der Komponenten und ihrer Anordnung (Schnittstellenmanagement) kann eine organisatorische Basis für ein lernendes Unternehmen geschaffen werden.

Batterie (Kundenorientierung): Der Kundennutzen ist bei der Technologieauswahl der Batterie zu berücksichtigen. In diesem Zuge sind verschiedene kundenrelevante Aspekte, wie technischer oder wirtschaftlicher Nutzen zu bewerten und Entscheidungen auf Grundlage dieser Bewertung zu treffen. Das Konzept der Batterie ist z.B. nur auf preisliche Wettbewerbsvorteile

ausgelegt und andere, wie technische oder ökologische, Aspekte werden im Produktlebenszyklus nicht ausreichend berücksichtigt. Herausforderungen liegen in der momentan bestehenden Infrastruktur, welche nicht flächendeckend ausgebaut ist. Auch sind bestehende Recyclingstrategien bzw. der Austausch defekter Batterien derzeit nicht konsequent durchdacht. Die Abstimmung der Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Umfeld (z.B. Infrastruktur und Umgang) ist hochkomplex und nicht ohne weiteres umsetzbar. Durch Schulungs- und Sicherheitskonzepte kann der angemessene Umgang mit der Technologie sichergestellt werden. Auch die Etablierung von Methoden zur korrekten Erfassung von Kundenwünschen sowie die Einführung eines Feedback-Systems sind sinnvoll. Um die Kundenanforderungen erfüllen zu können, ist die Einbeziehung der Kunden in Produktentwicklungsprozess (u.a. Open-Innovation) unabdingbar.

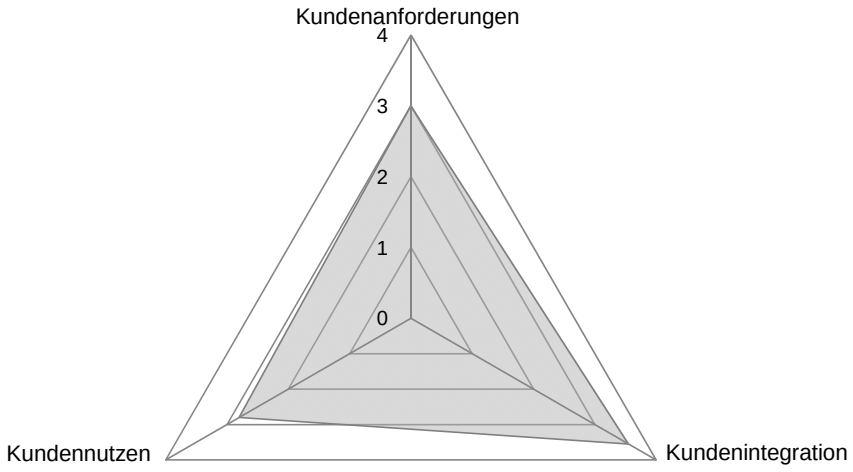


Abbildung 5-19: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Kundenorientierung

Batterie (Technologiemanagement): Die Identifikation und Bewertung von Technologien und -alternativen ist im Rahmen eines implementierten Technologiemanagements bei neuen Technologien, wie der Batterie, zur nachhaltigen Marktetablierung entscheidend. Neue Batterietechnologien werden nicht frühzeitig erkannt, da die Technologieselektion derzeit nicht anhand von klar definierten Kriterien durchgeführt werden kann. Als Resultat daraus wird die Schaffung eines frühzeitigen Wettbewerbsvorteils nicht wahrgenommen. Es gilt, bestehende Kernkompetenzen auszubauen und neue Kompetenzen und damit neue Marktzugänge zu schaffen. Es sind neue Prüfkonzepte bzw. -methoden für Batteriesysteme anzupassen respektive zu erarbeiten.

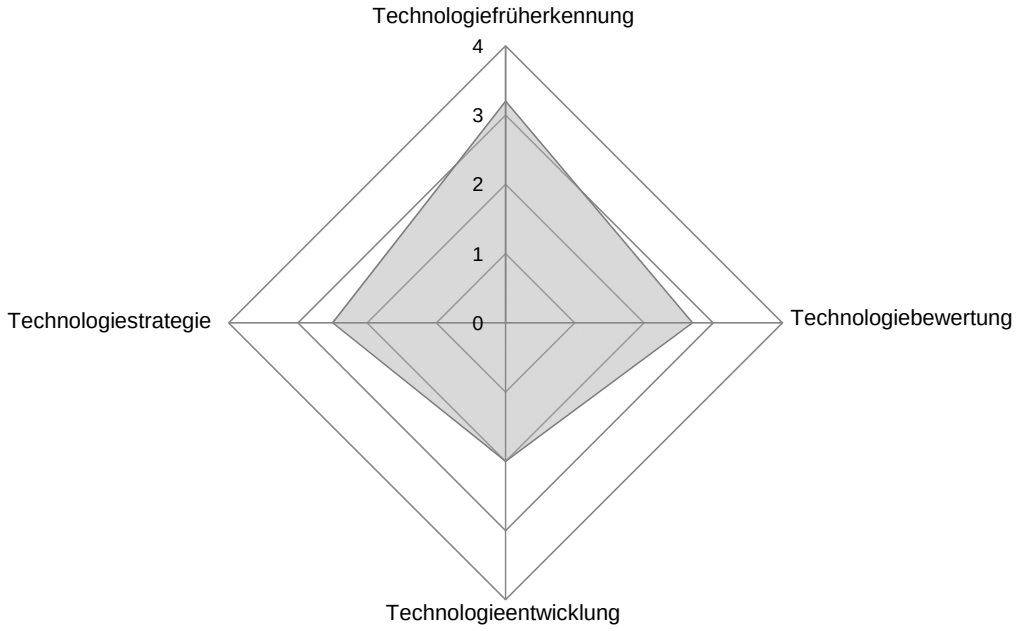


Abbildung 5-20: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Technologiemanagement

Ebenso sind Recyclingkonzepte zu definieren und unternehmensinterne und- externe Informationsquellen zu schaffen und zu verwalten. Dadurch können Selektions- und Beurteilungskriterien für die Batterietechnologie definiert werden

Batterie (Risikomanagement): Batteriesysteme sind in ihrer Handhabung ungleich sensibler als rein konventionelle Energiespeicher. Logistikprozesse sind daher auf die Bedürfnisse der Batterietechnologie anzupassen. Die Lagerung von Batteriesystemen gestaltet sich aufgrund der Sensibilität gegenüber Umwelteinflüssen (Hitze, Feuchtigkeit) schwierig. Weiterhin unterliegen diese im Zeitverlauf chemischen Veränderungen. Im Bereich Transport (Differenzierung Land-See-Luft, sowie Intra-, Outbound- und Inbound-Logistik) sind Gefahrenstoffverordnungen zu berücksichtigen, welche den Umgang lediglich teilweise regeln. Die Herausforderungen bei der Batterietechnologie bestehen im Materialhandling (Tätigkeit am Arbeitsplatz) und dem Umstand, dass keine Rückstellmuster erstellt werden können. Außerdem enthalten Batteriesysteme giftige Chemikalien, sodass gewisse Sicherheitsspezifikationen berücksichtigt werden müssen. Mit den Hochvoltverbindungen, Batteriezellen und diversen Steckern ist das Konfigurations- und Komplexitätsmanagement (Systeme als "Black Box") gleichermaßen herausfordernd. Mit Hilfe von Standards für Transport und Logistikprozesse als Erweiterung von Gefahr-

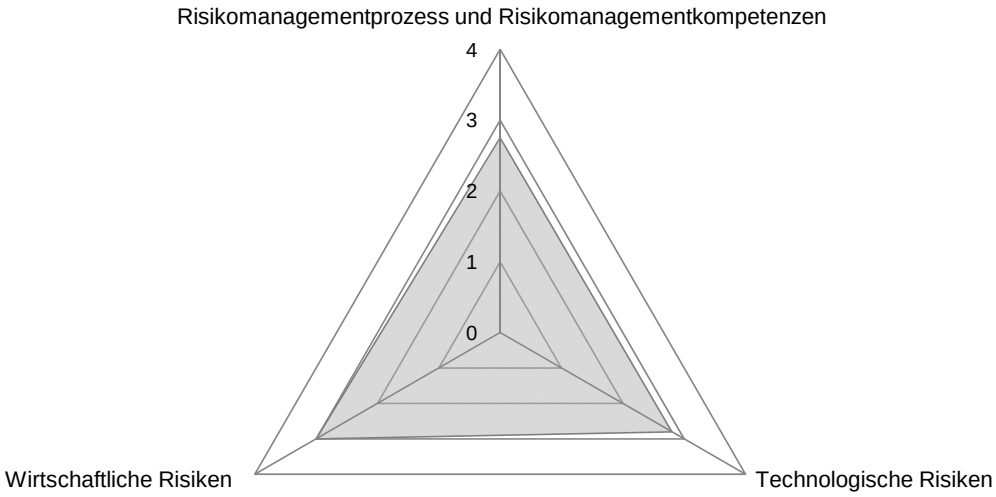


Abbildung 5-21: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Risikomanagement

gutvorschriften bzw. Gefahrenstoffverordnungen kann den logistischen Herausforderungen begegnet werden. Mittels Lager- und Ersatzteilkonzepten (bspw. Ladezustand von Batterien) sowie einem durchdachten Risikomanagement (Ersatzlieferant) werden Risiken minimiert. Ferner sind bestehende Maßnahmen zur Fehleridentifikation auf Validität zu prüfen und Recyclingstrategien zu etablieren.

Faserverbundtechnologie: Im Fahrzeugbau werden überwiegend Kohlefaser- und Glasfaserverbunde eingesetzt. Befinden sich mehrere Fasern und Materialien (z.B. Aluminium) zur Verstärkung im Verbund, ist von Hybridverbundwerkstoffen die Rede. Durch die Wechselwirkung einzelner Werkstoffe werden Synergieeffekte erzeugt, die sich positiv auf die Materialeigenschaften auswirken. Die Faserverbundtechnologie bezeichnet folglich die Entwicklung, Produktion und Verwendung

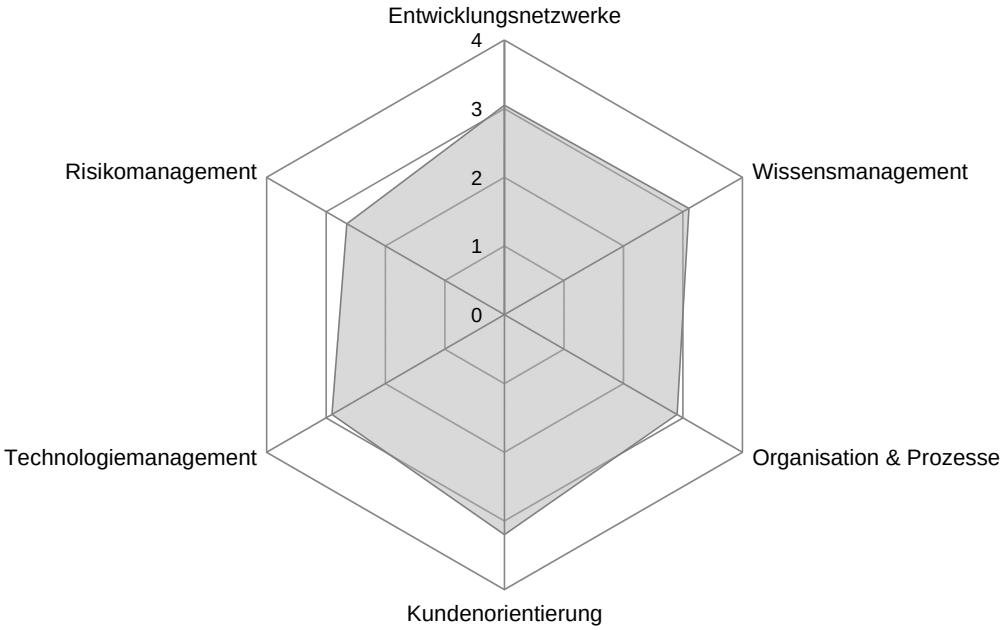


Abbildung 5-22: Bewertung der Faserverbundtechnologie

von Mischwerkstoffen, die aus zwei oder mehreren Komponenten bestehen, stets aber eine Faserkomponente beinhalten. Die Anforderungen der Automobilindustrie an die Faserverbundtechnologie haben unterschiedliche Auswirkungen, die es gleichermaßen zu berücksichtigen gilt. Welche Fertigungsverfahren sind in der Serie einsetzbar? Wie wird die Prozesssicherheit (Laminierprozess derzeit nur in Einzelfertigung) gewährleistet? Inwiefern wird eine hohe Produktivität (Stückzahl) und Prozessreife (Toleranzen, Anforderungen des Materials erfüllen) erzielt? Die Faserverbundtechnologie weist, aus Qualitätsgesichtspunkten, diverse Herausforderungen auf.

Faserverbundtechnologie (Entwicklungsnetzwerke): In den Entwicklungsnetzwerken ist es notwendig von anderen Bran-

chen und Anwendungsbereichen zu lernen, da keine Daten für Simulationen im Bereich der Faserverbundtechnologie vorhanden sind. Das technologische Know-how der Faserverbundtechnologie ist überwiegend auf Lieferantenseite sowie bei Instituten und Forschungseinrichtungen vorhanden. Grundsätzlich ist die Kompetenz der Abnehmer (OEM und Tier I) ausbaufähig. Daher ist zur Identifikation von Trends und tiefgreifenden Entwicklungen Entwicklungsnetzwerke ein wichtiger Aspekt in der Automobilindustrie. Mit Hilfe von starken Partnerschaften mit Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten, wird stets versucht, zukunfts- und kundenorientiert zu agieren. Für die Faserverbundtechnologie ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, in Form einer fachbereichs- und unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit, zur Erschließung der Technologie und Gewährleistung der Komponentenkompatibilität,

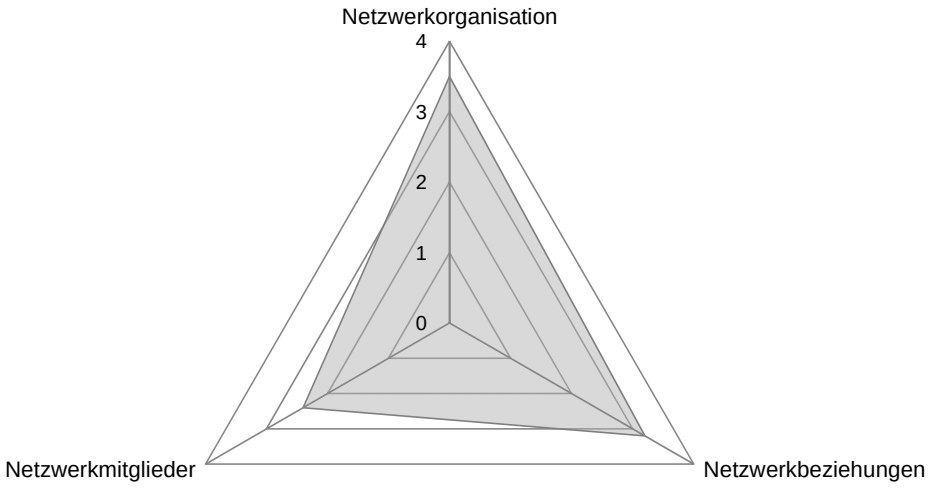


Abbildung 5-23: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke

unabdingbar. Die Kenntnisse dieser Forschungsaktivitäten sind um die analysierten Kenntnisse anderer Branchen (Reifenindustrie, Luftfahrt, Windkraft und Sportgeräte) zu erweitern, um die Wechselwirkungen zwischen dieser und weiteren Technologien ermitteln zu können. Die Technologieentwicklung basiert hierbei nicht auf brancheninternen Lasten- und Pflichtenheften. Zudem fehlen kurz- und langfristige Erfahrungswerte, welche die Spezifikation und Konstruktion der Bauteile erschweren.

Faserverbundtechnologie (Wissensmanagement): Das Fachwissen bei neuen Technologien wie der Faserverbundtechnologie liegt oft funktionsbereichsspezifisch vor. Folglich benötigt das Wissensmanagement das Anlegen einer produktspezifischen Datenbank. Spezialisiertes, dezentral (fachbereichsspezifisch) vorhandenes Wissen ist neu zu organisieren und zu steuern. Bestehendes Wissen ist fachgebunden und über viele Fachgebiete verteilt. Durch Aggregation, Analyse und gezielte Kommunikation des Wissensstands wird die Erschließung der Faserverbundtechnologie beschleunigt. Doch für die Faserverbundtechnologie sind zum Teil keine Konstruktions-, Simulations- und Festigkeitsberechnungsprogramme vorhanden, was die Beherrschung der Prozesse hemmt. Vor allem die maschinelle Bearbeitung des Faserverbunds, das Handling und die Lagerung des Materials sind nicht ohne weiteres möglich. Daher sind Prüfverfahren

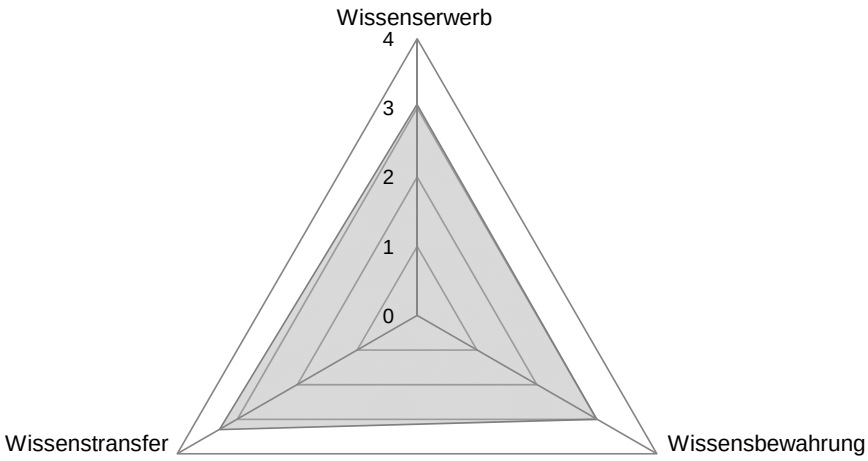


Abbildung 5-24: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Wissensmanagement

während der Produktion notwendig. Fehlendes Wissen über Zusammenhänge und unbekannte Fehlermodi erschweren die Produktspezifikation der Faserverbundtechnologie zusätzlich. Zu berücksichtigen sind ebenso Gefahrenstoffverordnungen, Gefahrgutvorschriften und das Recycling der Faserverbundtechnologie-Erzeugnisse. Gezielte Schulungen in der Faserverbundtechnologie und im prozessualen Handling, die Einführung eines geeigneten Wissensmanagementsystems zum Wissenstransfer, die Förderung des Bewusstseins für die Notwendigkeit von Wissensmanagement und der Austausch mit branchenfremden Unternehmen über deren Erfahrungen und Erkenntnisse sind bei der Einführung der Faserverbundtechnologie zwingend erforderlich.

Faserverbundtechnologie (Organisation & Prozesse): Ein gezieltes Lieferantenmanagement mit harmonisierten Anforde-

rungen aus organisatorisch-prozessualer Sicht ist für die Faserverbundtechnologie unabdingbar. In der Automobilindustrie werden Faserverbundteile lediglich partiell eingesetzt. Um einen erfolgreichen Einsatz dieser Technologie in der Serienfertigung zu gewährleisten, ist bereits in der Produktentstehung auf Abhängigkeiten zwischen den Produkten und Produktionsprozessen zu achten. Die Prozessstabilität ist schon in der Forschung und im Produktentwicklungsprozess (Anforderungsmanagement, Spezifikationsprozess und Testmanagement) zu berücksichtigen, indem spezifische Fallbeispiele definiert werden. Dadurch können mögliche Fehlerquellen reproduziert und proaktiv beseitigt werden. Die größten Herausforderungen liegen im Konstruktionsprozess (neue Produktbauweisen), in der Flexibilität der Prozesse, der Wandlungsfähigkeit der Organisation, in der Schaffung von Synergien durch Schnittstellen und in

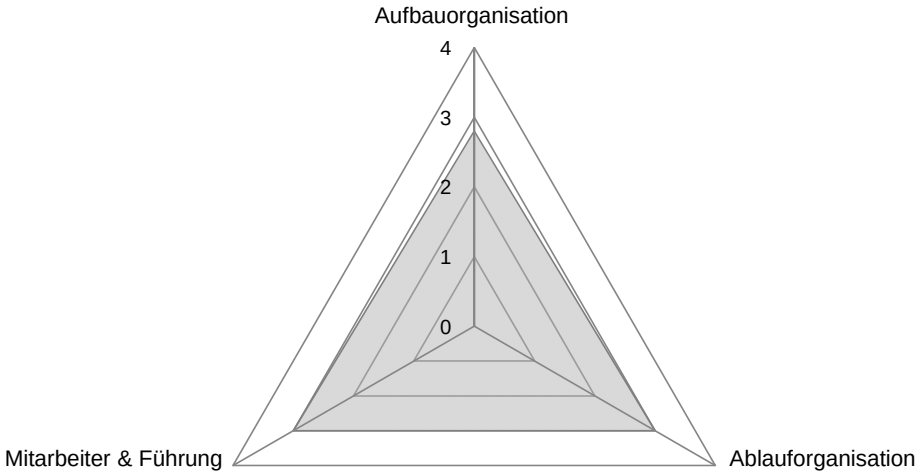


Abbildung 5-25: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Organisation & Prozesse

der Identifikation der Kernprozesse. Weitere Herausforderungen bestehen in der Anpassung des Produktentstehungsprozesses (Schleife statt Sequenz), in der Modifikation der Produktionsverfahren und -prozesse und in der klaren Definition von Verantwortlichkeiten. Zusammenfassend gilt es, Durchlaufzeiten zu verkürzen und eine lernende Organisation zu etablieren.

Faserverbundtechnologie (Kundenorientierung): Einen weiteren relevanten Gesichtspunkt bei der Einführung von Faserverbundtechnologien stellt der Kundennutzen bzw. die Kundenorientierung dar. Da der Kunde lediglich bereit ist einen bestimmten Preis für Faserverbundlösungen zu bezahlen, ist dieser Aspekt bereits zu Beginn des Entwicklungsprozesses einzukalkulieren. Die frühzeitige Analyse der Technologie kann mögliche

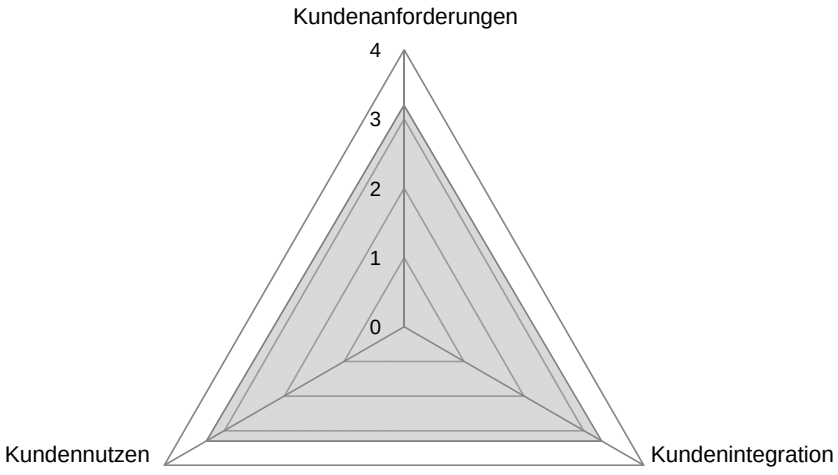


Abbildung 5-26: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Kundenorientierung

Einsatzfelder identifiziert. Diese sind auf Basis der kundenrelevanten Aspekte zu bewerten. Dabei werden der technische und wirtschaftliche Kundennutzen sowie die Tauglichkeit und Durchführbarkeit bewertet. Zusätzlich können durch die Einbindung von Lead-Usern in Workshops, Messen und Veranstaltungen proaktiv Informationen über die Technologie für potenzielle Kunden gestreut werden. Dadurch kann auf die Bedürfnisse und Vorstellungen der Kunden eingegangen werden.

Faserverbundtechnologie (Technologiemanagement): Zur nachhaltigen Marktetablierung der Faserverbundtechnologie ist die Identifikation und Bewertung von Leichtbaupotenzialen und -alternativen im Rahmen eines implementierten Technologiemanagements entscheidend. Der automobile Serieneinsatz von faserverbundverstärkten Kunststoffen ist derzeit, aufgrund diverser Hemmnisse, lediglich in einem beschränkten Maße möglich. Es gilt, diese Gründe und Risiken im Rahmen des Technologiemanagements frühzeitig zu erkennen und zu bewerten, um adäquate Lösungen bereitstellen zu können. Der Aufbau einer Basis als Voraussetzung für Qualitätsmanagement-Methoden, ohne Festlegung stringenter Standards zur Vermeidung vorgreifender Einschränkungen, erlaubt einen Überblick über die Neuerungen durch die Faserverbundtechnologie. Dadurch können gezielte Lösungen im Fertigungsprozess bei Faserverbundtechnologien erarbeitet werden. Da die Tech-

nologieentwicklung nicht auf branchen-internen Lasten- und Pflichtenheften basiert, fehlen kurz- und langfristige Erfahrungswerte, welche die Spezifikation und Konstruktion der Bauteile erschweren. So liegen beispielsweise Werkstoffkennwerte, insbesondere die Abschätzung der Lebenserwartung von Faserverbundbauteilen, nur eingeschränkt vor. Derartige Produktspezifikationen und Werkstoffbezeichnungen werden in einem iterativen Prozess ermittelt. Auch Raffer-Faktoren und belastbare Prüfkonzepte zur Langzeiterprobung sind derzeit nur partiell bekannt.

Faserverbundtechnologie (Risikomanagement): Das Gestaltungsfeld Risikomanagement begründet sich bei der Faserverbundtechnologie aus Qualitätsmanagementsicht folglich darin, dass sich das Richten von Faserverbundteilen im Vergleich zu Metallen schwieriger gestaltet und momentan noch unklare Materialklassifikationen vorhanden sind. Die Auslegung und Validierung der Materialien sowie die Fügeverfahren und Verbindungstechnologien sind derzeit unbekannt. Um geeignete Berechnungsmodelle einbinden zu können, fehlen aussagekräftige und realistische Ergebnisse. Darüber hinaus existieren für die Faserverbundtechnologie keine Tools zur Simulation der Materialbelastung, sodass die Schadenserkennung während der Produktnutzung ausgeschlossen ist. Diesen Hemmnissen kann durch die parallele Entwicklung von Produktions- und

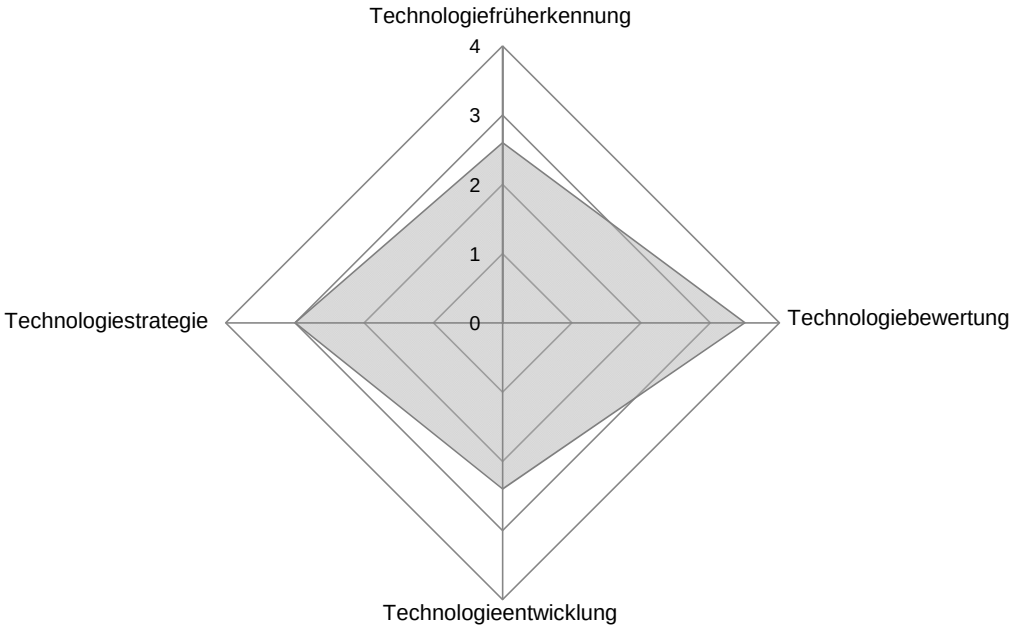


Abbildung 5-27: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Technologiemanagement

Prüftechnologie, die Definition von Konstruktionsprinzipien und Bauweisen für fasergerechtes Konstruieren und die Einrichtung einer Datenbank mit den, aus dem iterativen Prozess der Langzeiterprobung von Bauteilen gewonnenen Erkenntnissen, begegnet werden. Zu konstatieren ist, dass für das Qualitätsmanagement neue Prüfumfänge (Lufteinschlüsse, Adhäsion und Delamination) durch die Faserverbundtechnologie nötig sind. Folglich ist die Entwicklung neuer Messtechniken und -verfahren notwendig (Thermographie und Ultraschall), da zusätzlich eine viel höhere Qualität bei der Maßhaltigkeit notwendig ist. Die Prüfmethodik zur Messung der Produktqualität

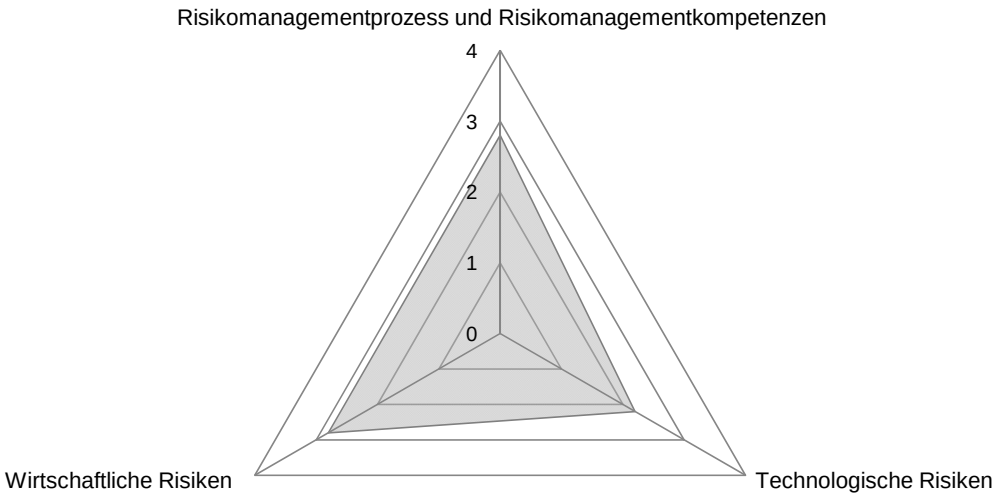


Abbildung 5-28: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Risikomanagement

(Computertomographie) ist somit anzupassen und die Implementierung der Großserientauglichkeit notwendig. Dies ist nur möglich, wenn Prozessparameter definiert und Standards (analog zu Stahl auch Definition von Harzen) geschaffen werden. Zur Bestimmung der Prozessqualität (Analyse der Prozessqualität über Statistiken) kann unter anderem die Methode Data Mining unterstützen.

5.5 Lessons Learned

Die Fallstudien, Expertengespräche und Projektausschusssitzungen haben gezeigt, dass beim reifegradbasierten Qualitätsmanagement in Forschungs- und Entwicklungsnetzwerken für disruptive Technologien keine einheitliche, für alle Anwendungsbereiche gültige, Lösung vorhanden ist. Im Besonderen haben die Fallstudien dargelegt, dass nach dem Untersuchungs-

gegenstand der Produktentwicklung sowie der jeweiligen Technologie differenziert werden muss. Die Probleme, welche bei der Forschung und Entwicklung im Bereich disruptiver Technologien im Elektromobilitätsumfeld auftreten können, sind vielschichtig und komplex. Darüber hinaus sind Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten von disruptiven Technologien wesentlich risikoreicher als andere Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Dies begründet sich dadurch, dass die Erfolgsgleichung einer Produktentwicklung aus erheblich mehr Unbekannten zusammengesetzt ist, als bei anderen Projekten. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden, in Zusammenarbeit mit den Praxispartnern, die wesentlichen Probleme des Qualitätsmanagements in Forschungs- und Entwicklungsnetzwerken am Beispiel der Produktentwicklung in der Elektromobilität analysiert und können mit den im Forschungsprojekt definierten Gestaltungsfeldern identifiziert sowie kategorisiert werden. Jedoch gilt es zu beachten, dass ein Problem im Gestaltungsfeld der Entwicklungsnetzwerke bei der Leichtbautechnologie nicht zwingenderweise ein Problem in demselben Gestaltungsfeld bei der Batterietechnologie darstellt. Von Technologie zu Technologie können unterschiedliche Ausprägungen und technologiespezifische Herausforderungen während der Produktentwicklung auftreten. Daher sind Problemlösungen immer für den vorliegenden Untersuchungsgegenstand zu sehen und nicht auto-

matisch auf andere Anwendungsbereiche zu übertragen. Eine weitere Erkenntnis des Forschungsprojektes ist, dass keine Methode vorhanden ist, die umfangreich zu einer Problemlösung in der Produktentwicklung bei den drei untersuchten Technologien beitragen kann. Die vorhandenen Methoden stellen lediglich abstrakte Vorgehensweisen mit modellhaftem Charakter dar und müssen daher für ein reifegradbasiertes Qualitätsmanagement in Forschungs- und Entwicklungsnetzwerken von disruptiven Technologien auf den Untersuchungsgegenstand und die jeweilige Technologie angepasst werden. Die Fallstudien zeigen weiterhin auf, dass mit dem entwickelten Reifegradmessmodell ein anwendbares Konzept für die Produktentwicklung erarbeitet wurde, um die auftretenden Probleme zu identifizieren und zu beheben. Jedoch können keine allgemeingültigen Ansätze getroffen werden. Ferner hat sich bewahrheitet, drei disruptive Technologien in diesem Forschungsprojekt zu untersuchen. Nur so konnte herausgestellt werden, dass bei den Technologien unterschiedliche Problemstellungen auftreten. Die Entwicklung des Reifegradmesskonzepts in einem IT-Tool stellt den Praxispartnern ein Werkzeug zur Verfügung, um die komplexen und vielschichtigen Probleme in der Produktentwicklung verlässlich sowie projektbezogen zu kategorisieren und zu verfolgen. Auch werden dadurch Fortschritte dokumentiert, die für spätere Anwendungsbereiche oder Produktentwick-

lungen weiterverwendet und ausgewertet werden können. Der wesentliche Vorteil des IT-Tools liegt hierbei in der Flexibilität und die dadurch entstehende Vielfalt im Einsatz bei Bewertungen. In zahlreichen Expertengesprächen mit den teilnehmenden Unternehmen, deren Experten unterschiedlicher Fachbereiche angehören, wurde der gesamte Produktentwicklungsprozess hinsichtlich der Technologien Batterie, Antrieb und Leichtbau analysiert. Die identifizierten Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen, die auf den Produktentwicklungsprozess einwirken, wurden in einem umfangreichen Fragenkatalog zusammengefasst, der die Grundlage des Tools abbildet. Dadurch wurde sichergestellt, dass mit der Bewertung anhand dieses Tools ein breites Spektrum der Einflussfaktoren des Produktentwicklungsprozess berücksichtigt wird. Mit der Bewertung durch das IT-Tool eröffnet sich dem Unternehmen ein. entlang der Gestaltungsfelder, analysierter, transparenter Produktentwicklungsprozess. Durch diese Transparenz ist es möglich, mit Hilfe von Ursache spezifischer Maßnahmen das Optimierungspotenzial zu lokalisieren und den Reifegrad des Qualitätsmanagements in der Forschung und Entwicklung zu verbessern. Darüber hinaus verhilft eine Benchmarkingfunktion die Ergebnisse mit anderen Fachbereichen oder Unternehmen zu messen. Andere Tools berücksichtigen eine solche Funktion bislang nur in Ansätzen. Mit diesem direkten Vergleich mehrerer Bewertungsstände oder

Entwicklungsprojekte erhöht das Tool den Mehrwert der entwickelten Reifegradbewertung. Ferner bietet das Tool an, die jeweiligen Bewertungsgegenstände innerhalb und außerhalb des Unternehmens zu teilen und gemeinsam zu bearbeiten. Dadurch wird der Notwendigkeit von Entwicklungskooperationen Rechnung getragen, die im Rahmen der Elektromobilität erforderlich sind. Auch sollten die internen Prozesse von neutralen Personen und Unternehmen bewertet werden. So kann sichergestellt sein, dass besonders bei disruptiven Technologien, wie sie in der Elektromobilität vorherrschen, alle Einflussfaktoren von Unternehmen berücksichtigt werden. Neben der internen Perspektive wird so auch die externe Perspektive in den Bewertungsprozess mit einbezogen. Das Tool setzt dies in Form einer Freigabefunktion per Email-Link um. Sofern das Unternehmen eine neutrale Person zur Bewertung identifiziert hat, generiert das Tool einen Link, der den bestimmten Bereich der Reifegradbewertung an die jeweilige Person freigibt. Der Link wird an den neutralen Benutzer per Email verschickt. Gegenüber den existierenden Tools die zur Reifegradbewertung verwendet werden, hebt sich das im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Tool durch die Flexibilität sowie mit der Freigabefunktion hervor. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass bisherige Reifegradmodelle und Bewertungstools hinsichtlich der Elektromobilität nicht angepasst wurden. Ein weiterer Vorteil des Tools ist, dass nach

der Bewertung des Produktentwicklungsprozesses spezifische Handlungsempfehlungen anhand validierter und praxistauglicher Methoden angeboten werden. Dem Unternehmen wird damit ein vollständiges Werkzeug an die Hand gegeben, um sämtliche Qualitätsaspekte der Elektromobilität entlang des Produktentwicklungsprozesses zu beleuchten und die Qualitätssicherheit aufrechtzuerhalten.

6 IT-Tool

Das IT-Tool basiert auf dem entwickelten Reifegradmodell und ermöglicht eine Selbstbewertung des Reifegrads in Bezug auf neue Technologien im Rahmen der Elektromobilität.

6.1 Zielsetzung des IT-Tools

Auf Grundlage einer webbasierten Selbstbewertung wird der Produktentwicklungsprozess hinsichtlich der Fähigkeit disruptive Technologien zu implementieren detailliert analysiert und in Form von Reifegraden dargestellt. Hierfür wurden im Rahmen der Forschungstätigkeit Gestaltungsfelder identifiziert, welche bei der Implementierung disruptiver Technologien eine entscheidende Rolle spielen. Je höher der Reifegrad eines Gestaltungsfeldes, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit eine disruptive Technologie erfolgreich in einem bestehenden Produkt zu implementieren. Die so erhaltene Transparenz über die Ist-Ausprägung der Reife des Produktentwicklungsprozesses, ermöglicht die Darstellung von Potenzialen und Defiziten. Die graphische Ergebnisdarstellung in einem Netzdiagramm erleichtert das Verständnis und gewährleistet die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Resultate. Auf Basis der identifizierten Defizite und Potenziale lassen sich Handlungs- und Methodenempfehlungen zur zielgerichteten Weiterentwicklung der Produktentwicklungsaktivitäten ableiten. Die typspezifischen Handlungs-

empfehlungen, die mit Hilfe des IT-Tools ermittelt werden, bieten situationsgerechte Hilfestellungen zur Weiterentwicklung der charakteristischen Gestaltungsfelder des Produktentwicklungsprozesses. Der Nutzen des IT-Tools für das Unternehmen liegt damit in der einfachen und übersichtlichen Überführung der Forschungsergebnisse in die Praxis. Darüber hinaus bietet das Tool die Möglichkeit eines unternehmensinternen Benchmarkings auf Basis bereits abgegebener Reifegradbewertungen. Beispielsweise kann ein Vergleich unterschiedlicher Entwicklungsprojekte, welche sich in Inhalt oder Größe unterscheiden, zielführend sein. Das Benchmarking kann auch zur Kontrolle der kontinuierlichen Reifegradentwicklung eines einzigen Entwicklungsprojektes herangezogen werden. Hierfür vergleicht die Benchmark-Funktion unterschiedliche Bewertungszeitpunkte eines Produktentwicklungsprojektes. Um dem Anspruch einer branchenübergreifenden Lösung gerecht zu werden, wird die Zielgruppe des IT-Tools nicht eingeschränkt. Grundsätzlich soll die Selbstbewertung ermöglichen, jedes Unternehmen, unabhängig der Branche und des Geschäftsmodells, gleichermaßen abzubilden. Darüber hinaus können öffentliche Institutionen sowie Forschungsinstitute und -einrichtungen das Tool, gemäß ihrer Bedarfe, selektiv einsetzen. Das Tool steht interessierten Nutzern in vollem Umfang, barrierefrei und kostenlos zur Verfügung.

6.2 Aufbau und Nutzung des IT-Tools

Die Menüführung des IT-Tools befindet sich am linken Bildschirmrand. Die Gliederung orientiert sich dabei an dem, im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten wissenschaftlichen Modell. In der Kopfzeile kann das Impressum aufgerufen sowie ein vollständiges Benutzerhandbuch heruntergeladen werden. Die „Allgemeinen Informationen“ sind dem Nutzer bereits ohne Registrierung zugänglich und bieten eine Einführung in das IT-Tool. Der Nutzer erhält einleitende Worte, welche zum Verständnis der Eigenschaften und Inhalte des Tools dienen. In diesem Zuge wird auch die Problemstellung, die das IT-Tool löst, beschrieben. Außerdem wird neben Nutzungshinweisen kurz auf den Lösungsweg sowie die möglichen Zielgruppen eingegangen. Unter dem Menüpunkt „Projektpartner“ sind die Unternehmen des projektbeteiligten Ausschusses des Forschungsprojektes ersichtlich. Registrierte Nutzer gelangen über den Button „Anmelden“ in den passwortgeschützten Bereich. Der Anwender gibt hierzu seine Zugangsdaten in den Anmeldebereich der Navigationsleiste ein. Ist der Nutzer noch nicht registriert, ist eine Anmeldung erforderlich. Für eine erfolgreiche Anmeldung sind die Informationen Vorname, Nachname, Firma und E-Mail-Adresse notwendig. Nach Abschluss der Registrierung erhält der Nutzer die Zugangsdaten per E-Mail. Die Registrationsdaten

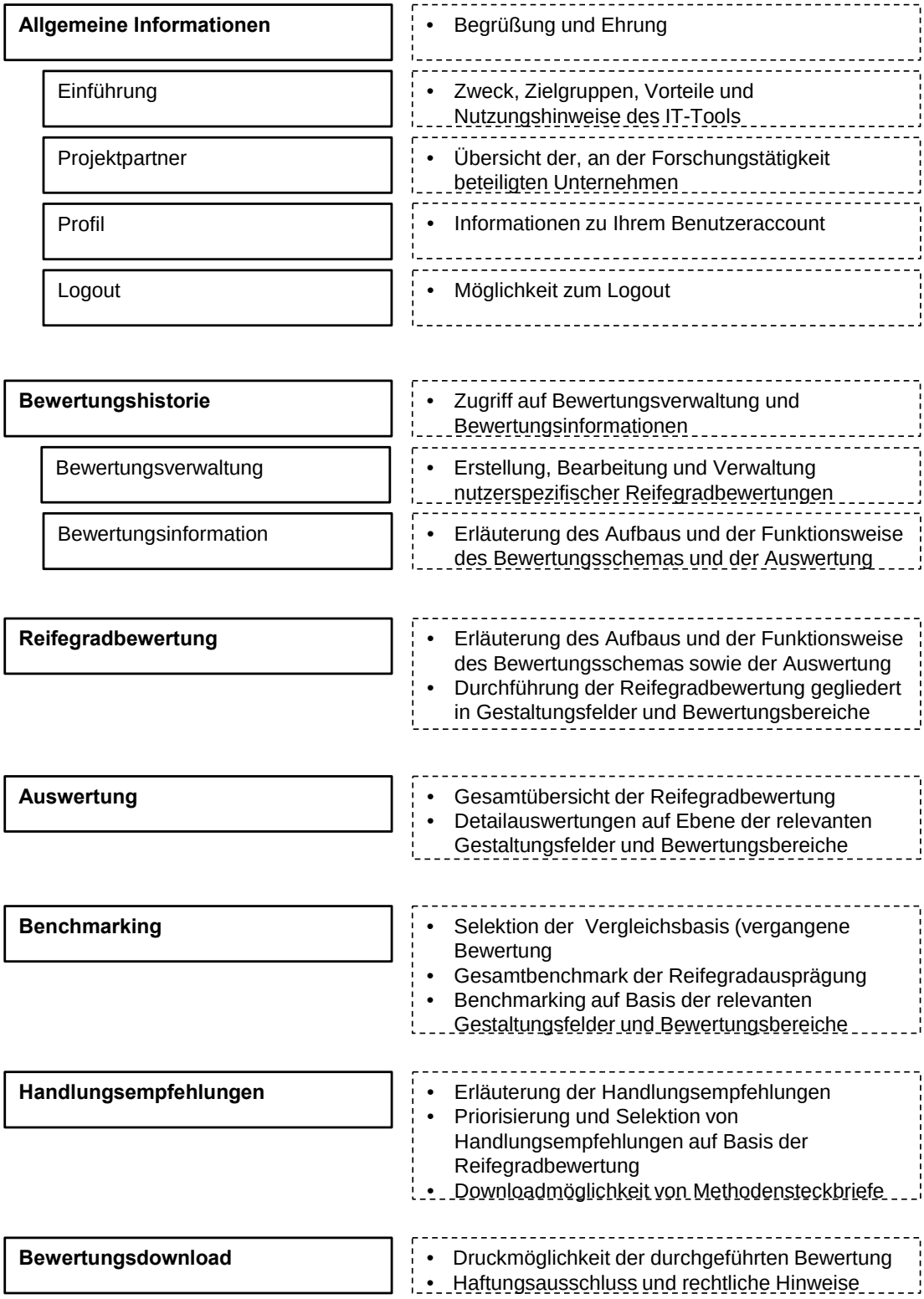


Abbildung 6-1: Aufbau des IT-Tools

werden automatisch in der Datenbank gespeichert und bleiben auch nach dem Ausloggen erhalten. Sollte das Passwort vergessen werden, kann der Nutzer im Bereich „Passwort vergessen“ ein neues beantragen. Hierzu ist die Angabe der E-Mail-Adresse, unter der die Registrierung vorgenommen wurde, anzugeben. Nach erfolgreichem Login erhält der Nutzer vollen Zugriff auf alle Menüpunkte der Navigationsleiste. Diese beschreiben die Funktionalitäten des Tools und werden in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert.

6.2.1 Bewertungs- und Nutzerverwaltung

Nach Anmeldung oder Login erfolgt eine automatische Weiterleitung zum Menüpunkt „Bewertungshistorie“, hierbei wird der Menüpunkte in „Bewertungsverwaltung“ und „Bewertungsinformationen“ unterteilt. Die Bewertungshistorie dient der Erstellung, Bearbeitung und Durchsicht von Reifegradbewertungen. Dem Nutzer wird eine Liste der bereits angelegten Bewertungen aufgezeigt. Die angelegten Bewertungen werden dabei durch Angabe von Bewertungstitel, Editor, Besitzer und Anlagedatum differenziert. Eine bereits angelegte Bewertung kann jederzeit gelöscht oder bearbeitet werden. Das mit der Bewertung assoziierte Datum spiegelt das jeweilig letzte Änderungsdatum wider. Um eine vorhandene Bewertung fortzuführen oder anzusehen, ist der Button „Weiter“ hinter dem gewünschten Eintrag in der Historie auszuwählen. Zum Löschen einer Bewertung dient das

Papierkorbsymbol hinter dem gewünschten Eintrag. Grundsätzlich besitzt jeder registrierte Nutzer die Berechtigung Bewertungen zu erstellen, zu bearbeiten und freizugeben. Lediglich die „Löschen“-Funktion ist dem Ersteller eines Datensatzes vorbehalten. Neue Bewertungen können über den Button „Neues Projekt“ erstellt werden. Um Bewertungsstände eindeutig identifizieren zu können, wird der Nutzer zum Menüpunkt „Bewertungsinformationen“ weitergeleitet. Im Reiter „Übersicht“ ist die anzulegende Bewertung eindeutig zu beschreiben. Das Tool assoziiert den aktuellen Benutzer als Eigner der neu erstellten Reifegradbewertung. Der Benutzer erhält die Möglichkeit den Betrachtungsgegenstand über die Eingabefelder „Fachbereich(e)“, „Projekt-Name“, sowie „Bewertungs-Zeitpunkt (Q-Gate)“ eindeutig zu bestimmen. Zusätzlich vergibt das Tool der anzulegenden Bewertung eine fortlaufende Nummer und datiert sie mit dem aktuellen Datum als Anlagedatum. Durch Klick auf den Button „Weiter“ erhält der Nutzer eine Übersicht zu den aktuellen Freigaben zu einem Projekt. Bei Neuerstellung sollte diese Liste leer sein. Ein weiterer Klick auf „Weiter“ schließt die Anlage einer neuen Bewertung ab. Im Reiter „Bewertungsverwaltung“ kann der Benutzer bereits angelegte Bewertungen freigeben. Hierfür die relevanten Bewertungen durch Anwahl der Checkbox in Spalte 1 auszuwählen sowie die E-Mail-Adresse des Empfängers in dem dafür vorgesehenen Feld unter der Be-

wertungsliste anzugeben. Mit Klick auf „Jetzt freigeben“ erhält dieser eine automatisch generierte Nachricht über die Freigabe.

Die ausgewählten Reifegradbewertungen erscheinen nun ebenfalls in seinem Nutzeraccount des IT-Tools. Mit dem Zugriffsrecht erhält der Benutzer die Möglichkeit, die bereits abgegebene Bewertung zu editieren. Auf diese Weise kann die unternehmensinterne Sicht durch verschiedene Bewertende evaluiert und bearbeitet werden. Jeder dieser Nutzer kann alle für ihn freigegebenen und bereits abgegebenen Bewertungen einsehen. Für jede angelegte Reifegradbewertung kann die Freigabe im Reiter „Bewertungsinformationen“ angepasst werden. Hierfür genügt ein Klick auf den Hyperlink in der Spalte „Projektname“ im Abschnitt „Bewertungsverwaltung“. Freigaben können gelöscht oder editiert werden. Letzteres beschreibt die Möglichkeit, die standardisiert freigegebenen Schreibrechte für eine Bewertung in reine Leserechte umgewandelt werden. Je höher die Anzahl und Diversität der Bewertenden, desto zuverlässiger ist das, durch das Tool generierte Abbild der Realität. Eine Kombination verschiedener Sichtweisen minimiert die Subjektivität. Alternativ kann die Reifegradbewertung, in Kombination mit der Bewertungshistorie, gestaltungsfeldspezifisch oder bewertungsbereichsspezifisch erfolgen. Dies bedeutet, dass einzelne Gestaltungsfelder oder Bewertungsbereiche von dem jeweilig zuständigen Fachbereich bewertet werden. So entsteht ein noch exak-

teres, auf Expertenmeinung fundiertes Abbild der Ist-Situation eines Unternehmens.

6.2.2 Vorgehensweise der Bewertung

Unter dem Menüpunkt „Reifegradbewertung“ findet sich eine sukzessive Bewertung der Gestaltungsfelder des Produktentwicklungsprozesses eines Unternehmens. Die Bewertung dient als Basis der Auswertung und determiniert daher den Reifegrad der Produktentwicklung hinsichtlich ihrer Fähigkeit disruptive Technologien in ein bestehendes Produkt zu integrieren. Auf der Startseite des Reiters „Reifegradbewertung“ werden das zugrundeliegende Modell sowie die Vorgehensweise der Bewertung erläutert. Per Mausklick auf eines der Gestaltungsfelder oder über den Button „Weiter“ gelangt der Benutzer zur eigentlichen Reifegradbewertung. Generell wird der Benutzer über den Button „Weiter“ schrittweise durch die komplette Bewertung geführt. Nichtsdestotrotz kann der Benutzer aber auch anhand der Seitenleiste die Menüführung steuern. Dies ist z.B. hilfreich, wenn einzelne Reifegradkriterien übersprungen werden sollen oder von einem anderen Bearbeiter durchgeführt werden. Die Bewertung der einzelnen Gestaltungsfelder folgt einer standardisierten Vorgehensweise. Zur Erhöhung des Detaillierungsgrades sind die betrachteten Gestaltungsfelder in charakteristische Bewertungsbereiche untergliedert, welche sich im oberen Bereich des Aktionsfeldes wiederfinden. Jeder Bewer-

tungsbereich enthält Bewertungskriterien, welche diesen umfänglich beschreiben. Diese Kriterien wurden in Literaturrecherchen, Fallstudien und Expertenbefragungen als besonders praxisrelevant identifiziert. Der Anwender legt damit die Ausprägung jedes Bewertungskriteriums einzeln fest. Die Bewertung der Kriterien erfolgt mit Hilfe eines Schiebereglers, welcher auf einer vierstufigen Skala bewegt wird. Der Wert 1 stellt die niedrigste, der Wert 4 die höchste Ausprägung dar. Als Orientierungshilfe und zur Erhöhung der Objektivität wurden die minimale und die maximale Ausprägung der Reifegrade jedes Bewertungskriteriums vordefiniert und den entsprechenden Ausprägungen der Bewertungsskala zugeordnet. Abbildung 8-5 zeigt eine beispielhafte Bewertung des Bewertungsbereiches „Netzwerkorganisation“ des Gestaltungsfeldes „Entwicklungsnetzwerke“. Über den Button „Weiter“ gelangt der Anwender zum nächsten Bewertungsbereich oder springt zum nächsten Gestaltungsfeld. Analog zum vorangehenden Dialogfeld ist die Ausprägung jedes aufgeführten Bewertungskriteriums für das Unternehmen festzulegen. Über den Button „Zurück“ kann der Anwender in bereits ausgefüllte Rubriken navigieren und seine Eingaben bei Bedarf anpassen.

6.2.3 Auswertung der Risikoprofile

Im Menüpunkt „Auswertung“ findet eine Aufbereitung der durchgeführten Reifegradbewertung statt. Diese orientiert sich

an dem, im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten Reifegradmodell und wird unter gleichnamigem Menüpunkt im Tool erläutert. Ziel der Auswertung ist eine strukturierte Aufbereitung und Darstellung der Bewertungsergebnisse auf verschiedenen Aggregationsniveaus. Im Menüpunkt „Übersicht“ wird zunächst eine Übersicht der Gesamtreifeausprägung der einzelnen Gestaltungsfelder der Produktentwicklung aufgeführt. Auf diesem maximal möglichen Aggregationsniveau erhält der Nutzer einen vorläufigen Gesamteindruck des Reifegrades zum Bewertungszeitpunkt. Weitere grafische Darstellungen erhöhen die Transparenz und erleichtern das Verständnis. Im Navigationsbereich ist jedes Gestaltungsfeld hierfür einzeln auswählbar. Auf höchster Aggregationsstufe sind die Ausprägungen jedes Gestaltungsfeldes in einem Scoreboard dargestellt. Neben dem Gesamtreifegrad des Gestaltungsfeldes zeigt das Scoreboard eine detaillierte Bewertungsübersicht der zugehörigen Bewertungsbereiche. Die dominierenden Leistungskennzahlen sind hierbei die Summe der Bewertungsausprägungen sowie der Reifegrad. Zusätzlich werden die Bewertungseinschätzungen aufgeführt. Diese zeigen auf, mit welcher Häufigkeit welche Ausprägung auftritt. Setzt sich ein Bereich beispielsweise durchweg aus hohen Reifegraden der Ausprägungen 3 und 4 zusammen, lässt dies auf eine gewisse Konsistenz und Ausgeglichenheit schließen. Treten hingegen stark divergierende Wertungen auf, ist der

Bewertungsbereich nicht homogen ausgeprägt. Letztendlich gibt die Bewertungseinschätzung Aufschluss über die Reifegrade der einzelnen Bewertungskriterien. Zur zusätzlichen Visualisierung ist zudem ein Spinnennetzdiagramm aufgeführt, welches die Bewertungsbereiche des Gestaltungsfeldes beinhaltet. Die Verwendung von Netzdiagrammen hat den Vorteil, dass Bewertungsbereiche eines Gestaltungsfeldes in Kontrast zueinander gesetzt und Diskrepanzen unmittelbar kenntlich gemacht werden können. Ein noch detaillierteres Aggregationsniveau wird mit Hilfe eines Polaritätenprofils möglich. Da diese Ansicht die Ebene der jeweiligen Bewertungskriterien eines Bewertungsbereiches einzeln aufführt, kann eine detaillierte Analyse der Ausprägungen derselben stattfinden. Sind im Polaritätenprofil Ausreißer besonders hoher oder niedriger Ausprägung identifizierbar, ist der Bewertungsbereich inhomogen gestaltet. Die Analyse kann somit dazu dienen, unternehmensinterne Handlungsfelder zu identifizieren und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, die jeweiligen Bereiche homogen zu gestalten oder Bereiche gezielt zu verbessern.

6.2.4 Benchmarking

Jede durchgeführte Bewertung der Produktentwicklung hinsichtlich ihrer Fähigkeit disruptive Technologien in einem Produkt zu implementieren stellt lediglich eine Momentaufnahme der Realität dar. Schaltet man die abgegebenen Bewertungen in eine

zeitliche Reihenfolge, so können Reifegradentwicklungen aufgezeigt und analysiert werden. Idealerweise entsprechen diese Entwicklungen den geplanten Maßnahmeneffekten zur Erhöhung des Reifegrades. Sollten Reifegrade ohne erklärlichen Grund abweichen so sind diese Diskrepanzen zu hinterfragen und zu bereinigen. Zur operativen Umsetzung des Controllings der Reifegradentwicklung wurde im Rahmen des Forschungsprojektes ein Benchmarkingansatz als zielführend identifiziert. Dieser ermöglicht den direkten Vergleich von 2, zu unterschiedlichen Zeitpunkten abgegebenen Bewertungen eines einzelnen Entwicklungsprojektes. In manchen Fällen ist es auch sinnvoll verschiedenartige Entwicklungsprojekte miteinander zu vergleichen um deren Stärken und Schwächen zu identifizieren. Wichtig hierbei ist die Wahl eines einheitlichen oder vergleichbaren Meßzeitpunktes der zu vergleichenden Entwicklungsprojekte. Die im IT-Tool hinterlegte Benchmark-Logik ermöglicht die Abbildung beider oben genannten Fälle. Basis des Benchmarking ist stets die derzeit aktive Bewertung, welche im Menüpunkt „Bewertungsverwaltung“ ausgewählt wurde. Als Referenzbewertung stehen dem Nutzer die durchgeführten Bewertungen des eigenen Unternehmens zur Verfügung, welche im Bereich „Bewertungshistorie“ aufgeführt sind. Die Referenzbewertung kann mit Hilfe des Drop-Down-Menüs „Bewertungsdatensatz“ ausgewählt werden. Die Auswertung des Benchmarking

erfolgt analog der aufgezeigten Auswertung des Bewertungsverfahrens. Die Grafiken werden dabei um einen Datensatz, den Benchmarkwert, erweitert. Aus der Diskrepanz der eigenen Auswertung und der des Benchmarks lassen sich Potenziale und Defizite eines Unternehmens darstellen.

6.2.5 Handlungsempfehlungen

Im Menüpunkt „Handlungsempfehlungen“ werden unternehmensspezifische Handlungsempfehlungen abgegeben, die zur Steigerung der Reife der Produktentwicklung dienen sollen. Die Vorgehensweise zur Ermittlung von Handlungsempfehlungen richtet sich nach dem Modell des Forschungsprojektes. Zur Vereinfachung der praktischen Umsetzung werden die Handlungsempfehlungen durch Methodensteckbriefe gestützt. Die durchgeführte Bewertung der einzelnen Gestaltungsfelder gibt zunächst Aufschluss über bestehende Potenziale und Defizite. Diese gilt es durch die methodengestützten Handlungsempfehlungen zu heben, respektive zu minimieren. Insgesamt steht dem IT-Tool dafür ein Pool verschiedenartiger Methoden zur Verfügung. Diese sind im Rahmen der Forschungstätigkeit zur Minimierung der Herausforderungen disruptiver Technologien und der damit einhergehenden Steigerung von Effizienz und Effektivität im Produktentwicklungsprozess identifiziert worden. Für jede Methode ist ein Steckbrief hinterlegt, der auf der linken Seite des Aktionsfeldes über den „Download“-Button aufgeru-

fen werden kann. Die Steckbriefe beschreiben kompakt den Inhalt, die Vorgehensweise, die Einsatzbereiche sowie die betriebswirtschaftliche Wirkung der Methode. Auf Grund der Vielzahl an unternehmensintern und unternehmensextern vorhandenen Einflussfaktoren und stark divergierenden Technologiecharakteristika wird im Rahmen des IT-Tools keine explizite Methodenempfehlung abgegeben. Vielmehr bietet das IT-Tool eine Morphologie an Methodenempfehlungen, welche den Bewertungsbereichen jedes Gestaltungsfeldes zugeordnet wurden. Auf diese Weise kann jedes Unternehmen selbst bestimmen in welchen Bereichen die Initiation eines Verbesserungsprozesses den höchsten Nutzen verspricht. Diese Flexibilität ist insbesondere bei disruptiven Innovationen, welche sehr technologiespezifische Eigenschaften und Anforderungen besitzen essentielles Erfolgskriterium. Deutlich wird diese Tatsache im Vergleich von Batterietechnologie und Faserverbundwerkstoffen. Während für Faserverbundwerkstoffe die höchsten Herausforderungen in der Automatisierung und im Massenfertigungsprozess selbst gesehen werden, sind Batterietechnologien meist durch ihre technischen Spezifika eine Herausforderung. Die Serienfertigung hingegen ist für diese Technologie nur eine bedingte Herausforderung. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dem Anwender die Entscheidung erleichtert wird, welche Methoden im Detail betrachtet und schließlich angewendet werden sollen. Die Me-

thodensteckbriefe stehen als PDF-Datei zum freien Download zur Verfügung und sind ausdruckbar. Damit können sie als Methodensammlung für das gesamte Unternehmen verwendet werden. Zu beachten ist jedoch, dass die Steckbriefe differenzierte Analysen durch interne und externe Experten nicht ersetzen. Sie dienen lediglich als Orientierungshilfe.

6.2.6 Bewertungsdownload

Im Menüpunkt „Bewertungs-Download“ kann jede beliebige, bereits durchgeführte Bewertung und Auswertung des IT-Tools in einem automatisch generierten Dokument übersichtlich dargestellt und lokal gespeichert sowie gedruckt werden. Das generierte Formular kann zur unternehmensinternen Dokumentation und zur Weiterverwendung der Ergebnisse im Sinne einer Ergebniskontrolle der Reifegradentwicklung dienen. Hauptbestandteil des Formulars ist die Aufbereitung der durchgeführten Eingaben und Ergebnisse des IT-Tools. Je nach Art des durchgeführten Benchmarkings beinhaltet der Download die Reifegradentwicklung der Produktentwicklung über den Zeitverlauf oder den Vergleich von 2 Reifegradbewertungen unterschiedlicher Entwicklungsprojekte.

7 Literaturverzeichnis

Ackerschott, H. (2001): Strategische Vertriebssteuerung. Instrumente zur Absatzförderung und Kundenbindung. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Adner, R. (2002): When are technologies disruptive? A demand-based view of the emergence of competition. In: Strategic Management Journal (23), S. 667–688.

Adner, R.; Snow, D. (2010): Old technology responses to new technology threats: demand heterogenity and technology retreats. In: Industrial and Corporate Change 19 (5), S. 1655–1675.

Adner, R.; Zemsky, P. (2005): A demand-based perspective on sustainable competitive advantage. In: Strategic Management Journal 36 (2), S. 229–254.

Amarakoon, S.; Smith, J.; Segal, B. (2013): Application of Life-Cycle Assessment to Nanoscale Technology: Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles.

Antony, J.; Preece, D. (2002): Understanding, managing, and implementing quality. Frameworks, techniques, and cases. London, New York: Routledge.

Arnolds, H.; Heege, F.; Röh, C. et al. (2013): Materialwirtschaft und Einkauf. Grundlagen - Spezialthemen - Übungen. 12., akt. u. überarb. Aufl. 2013. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Gabler.

ATZelektronik (2007): Welchen Stellenwert haben Reifegradmodelle in der Automobilindustrie? In: ATZelektronik (04), S. 34–35.

Audi AG (2012): Kunst-Flug. Gewichtsreduzierung am Beispiel des Audi A3. Hg. v. Audi Technologiemagazin. Online verfügbar unter http://www.audi.de/de/brand/de/vorsprung_durch_technik/content/2013/04/a3-leichtbau.html.

Automotive SIG (2007): Automotive Spice Prozessassessmentmodell.

Automotive SIG (2010): Automotive SPICE Process Assessement Model.

Backhaus, O.; Döther, H.; Heupel, T. (2011): Elektroauto – Milliardengrab oder Erfolgsstory? Entstehungsgeschichte, Marktanalyse 2010 und Zukunftspotenziale der Elektromobilität (ild Schriftenreihe Logistikforschung, Band 19).

Bartel, D. (2010): Simulation von Tribosystemen. Grundlagen und Anwendungen. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien (Vieweg + Teubner research).

Bartelt, A. (2002): Vertrauen in Zuliefernetzwerken: eine theoretische und empirische Analyse am Beispiel der Automobilindustrie. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=HVdHAAAACAAJ.

Baumgärtner, G. (2006): Reifegradorientierte Gestaltung von Produktionssystemen. Theoretische und empirische Analyse eines Gestaltungsmodells. 1. Aufl. München: TCW, Transfer-Centrum (40).

Becker, L. (2010): Die frühe Innovationsphase. Methoden und Strategien für die Vorentwicklung. 1. Aufl. Düsseldorf: Symposion.

Becker, T.; Dammer, I.; Howaldt, J. et al. (2011a): Netzwerkmanagement. Mit Kooperation zum Unternehmenserfolg. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (SpringerLink : Bücher).

Becker, T.; Dammer, I.; Howaldt, J. et al. (2011b): Netzwerkmanagement. Mit Kooperation zum Unternehmenserfolg. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (SpringerLink : Bücher).

Bernhart, W.; Schlick, T.; Olschewski, I. et al. (2013): Index Elektromobilität Q1/2013. Hg. v. Roland Berger Strategy Consultants und Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen. Aachen.

Bernhart, W.; Schlick, T.; Olschewski, I. et al. (2014): Index Elektromobilität Q1/2014. Hg. v. Automotive Competence Center & Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen und Roland Berger Strategy Consultants.

Bieger, T., Knyphausen-Aufseß, D. und Krys, C. (2011): Innovative Geschäftsmodelle. Berlin: Springer Berlin.

Bille, S.; Jung, H.; Suhm, A. et al. (2012): Elektromobilität - Neue Prozesse für Unternehmen und Kunden. UNITY-Fokusgruppe. Online verfügbar unter http://www.unity.de/de/de/veroeffentlichungen/opportunity.html.

Bismarck, W.-B. v. (2008): Das Vorschlagswesen. Von der Mitarbeiteridee bis zur erfolgreichen Umsetzung. Mering: Rainer Hampp Verlag.

Booij, G. E.; Lehmann, C.; Mugdan, J. (2000): Morphologie. Ein internationales Handbuch zur Flexion und Wortbildung.

Berlin, New York: Walter de Gruyter (Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft = Handbooks of linguistics and communication science, Bd. 17-).

Böttcher, J.; Blattner, P. (2013): Projektfinanzierung. Risikomanagement und Finanzierung. 3., überarb. Aufl. München: Oldenbourg.

Boutellier, R.; Wagner, S. M.; Wehrli, H. P. (2003): Handbuch Beschaffung. Strategien, Methoden, Umsetzung. München [u.a.]: Hanser.

Braess, H.-H. & Seiffert, U. (2003): Produktentstehungsprozess. In: H.-H. Braess (Hg.): Vieweg-Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. Mit 69 Tabellen. 3., vollst. neu bearb. u. erw. Aufl. Wiesbaden: Vieweg (ATZ-MTZ-Fachbuch), S. 881–948.

Braun, G. (2005): Wissensnetzwerke in Unternehmen. Effizienzaussagen und Strukturanalysen in betrieblichen Organisationsformen. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.

Brückner, M. (2007): Beschwerdemanagement. Reklamationen als Chance nutzen ; professionell reagieren ; Kunden zufrieden stellen. 2. Aufl. Heidelberg: Redline Wirtschaft.

Bruhn, M. (2012): Kundenorientierung: Bausteine für ein exzellentes Customer Relationship Management (CRM): C.H.Beck. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=xD5LADWwLXoC.

Bruhn, M. (Hg.) (2013): Handbuch Kundenbindungsmanagement. Strategien und Instrumente für ein erfolgreiches CRM. 8., überarb. u. erw. Aufl. Wiesbaden: Springer.

Bullinger, H.-J. (1999): Innovations- und Technologiemanagement. In: W. Eversheim und G. Schuh (Hg.): Produktion

und Management "Betriebshütte". Produktion und Management. 7. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer, S. 4.1–4.54.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2013a): Eletktromobilität - das Auto neu denken.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2013b): Innovationsallianz LIB. Online verfügbar unter http://www.bmbf.de/de/11828.php.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014a): Bekanntmachung Richtlinien zur Förderung transnationaler Forschungsprojekte innerhalb des ERA-NET „M-era.Net“ „Materialwissenschaft und Werkstofftechnologien“ – Themenschwerpunkt: Batteriematerialien – im Rahmenprogramm „Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft (WING)“. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Online verfügbar unter http://www.bmbf.de/pubRD/BAnz_AT_20.06.2014_B2.pdf.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014b): Grundlagenforschung. Online verfügbar unter http://www.bmbf.de/de/98.php.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hg.) (2010): Elektromobil in die Zukunft - Batterieforschung als Schlüssel. Online verfügbar unter http://www.bmbf.de/pub/elektromobilitaet.pdf.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWI) (2009): Auszug aus dem Bericht an den Haushaltausschuss Konjunkturpaket II, Ziffer 9 Fokus "Elektromobilität". Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMob

ilitaet/massnahmen-elektromobilitaet-im-konjunkturpaket-ii.pdf?__blob=publicationFile.

Bundesregierung (2011): Regierungsprogramm Elektromobilität. Hg. v. Bundesregierung.

Burghardt, M. (2012): Projektmanagement. Leitfaden für die Planung, Überwachung und Steuerung von Projekten. 9., erw. Ausg. Erlangen: PUBLICIS.

Burkholder, N. C. (2006): Outsourcing: The Definitive View, Applications, and Implications: Wiley. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=1cPBnLDlPH0C.

Büschemann, K.-H. (2011): Siemens baut mit Volvo Elektroauto. In: Süddeutsche Zeitung 2011, 01.09.2011. Online verfügbar unter http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/siemens-und-nun-wieder-ein-auto-1.1137424-2.

Buzan, T.; Buzan, B. (2006): The mind map book. London: BBC Active.

Carayannis, E. G.; Juneau, T. L. (2003): Idea makers and idea brokers in high-technology entrepreneurship. Fee vs. equity compensation for intellectual venture capitalists. Westport, Conn.: Praeger.

Carnahan, B. J.; Redfern, M. S.; Norman, B. (2000): Designing safe job rotation schedules using optimization and heuristic search. In: Ergonomics 43 (4), S. 543–560.

Christensen, C. M. (2011): The innovator's dilemma. The revolutionary book that will change the way you do business. 1st Harper Business pbk. New York: Harper Business.

Christensen, C. M.; Armstrong, E. (1998): Disruptive Technologies: A Credible Threat to Leading Programs in Continuing

Medical Education? In: Journal of Continuing Education in the Health Professions 18 (2), S. 69–81.

Christensen, C. M.; Eyring, H. J. (2011): The Innovative University: Changing the DNA of Higher Education from the Inside Out: Wiley. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=DvwdorJjLn8C.

Christensen, C.; Anthony, S.; Roth, E. A. (2013): Seeing What's Next: Using the Theories of Innovation to Predict Industry Change: Harvard Business Review Press. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=f8H4PMhK6AMC.

Continental (2013): Continental treibt endkundengerechte Lösungen für die "Elektrifizierung nach Maß" voran. Regensburg. Online verfügbar unter http://www.continental-corporation.com/www/presseportal_com_de/themen/pressemitteilungen/3_automotive_group/powertrain/press_releases/pr_2013_07_03_elekrifizierung_nach_mass_de.html.

Cooper, R. G. (2002): Top oder Flop in der Produktentwicklung. Erfolgsstrategien: von der Idee zum Launch. 1. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH.

Cooper, R. G.; Kleinschmidt, E. J. (2012): Erfolgsfaktor markt. Kundenorientierte produktinnovation. [S.l.]: Springer.

Cornelsen, J. (2000): Kundenwertanalysen im Beziehungsmarketing: theoretische Grundlegung und Ergebnisse einer empirischen Studie im Automobilbereich. Nürnberg: GIM (3). Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=jiZqAAAACAAJ.

Czaja, L. (2009): Qualitätsfrühwarnsysteme für die Automobilindustrie. Wiesbaden: Gabler (Gabler Edition Wissenschaft).

Czichowsky, A. (2003): Netzwerke in Forschung und Entwicklung. In: Wissenschaftsmanagement 2 (5), S. 31–33.

Danneels, E. (2004): Disruptive Technology Reconsidered: A Critique and Research Agenda. In: Journal of Product Innovation Management (Volume 21, Issue 4), S. 246–258.

Denkena, B.; Rudizo, H.; Eikötter, M. et al. (2009): Totla Cost and Benefit of Onwership. Technologiebewrtung mittels Lebenszykluskosten- und Nutzenbetrachtung. In: Industrie-Management: Zeitschrift für industrielle Geschäftsprozesse (25), S. 35–38.

Diederichs, M. (2013): Risikomanagement und Risikocontrolling. 3rd ed. München: Franz Vahlen (Finance Competence).

Dombrowski, U.; Engel, C.; Schulze, S. (2011): Changes and challenges in the after sales service due to the electric mobility. Beijing.

Donovan, C.; Newman, D.; Nieuwenhuis, P. et al. (2013): ENEVATE WP3 Toolkit Development for Supporting the Implementation of Sustainable e-Mobility. Hg. v. ENEVATE.

Dyckhoff, H. (2006): Produktionstheorie. Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft ; mit 20 Tabellen. 5., überarb. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer (Springer-Lehrbuch).

Dyer, J.; Gregersen, H.; Christensen, C. (2013): The Innovator's DNA: Mastering the Five Skills of Disruptive Innovators: Perseus Books Group. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=ktYt-mVuETYC.

E.on (2014): Weltweit einmaliger modularer Batteriegroßspeicher entsteht in Aachen. Online verfügbar unter https://www.eon.com/de/presse/news/pressemitteilungen/2014/2/13/weltweit-einmaliger-modularer-batteriegrossspeicher-entsteht-in-aachen.html.

Edwards, R.; Hass, H.; Larivé, J. et al. (2014): Well-to-wheels Analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context. European Commission.

Ekekwe, N.; Islam, N. (2012): Disruptive Technologies, Innovation and Global Redesign: Emerging Implications: Information Science Reference. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=U-qS5fLG-9sC.

Feder, I. (1999): Customized job enrichment and its effect on job performance. [Parkland, Fla.]: Dissertation.com.

Feldmann, C. (2007): Strategisches Technologiemanagement. Eine empirische Untersuchung am Beispiel des deutschen Pharma-Marktes 1990 - 2010. Wiesbaden: Deutscher UniversitSts-Verlag GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden (Wirtschaftswissenschaft).

Felfe, J. (2008): Mitarbeiterbindung. Göttingen: Hogrefe Verlag. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=RxAoKnrSLsIC.

Felkai, R.; Beiderwieden, A. (2011): Projektmanagement für technische Projekte. Ein prozessorientierter Leitfaden für die Praxis. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden (Grundlagen Maschinenbau).

Flicker, A.; Thannhäuser, A. (2010): Wissensmanagement powered by "Wiki-Landschaft" der Rheinisch AG. Erlangen: PUBLICIS.

Fournier, S.; Dobscha, S.; Mick, D. G. (1998): PREVENTING THE PREMATURE DEATH OF RELATIONSHIP MARKETING. In: Harvard Business Review 76 (1), S. 42–51. Online verfügbar unter http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=16919&site=ehost-live.

Frauenfelder, P. (2000): Strategisches Management von Technologie und Innovation. Tools und principles. Zürich: Verlag Industrielle Organisation (Technology, innovation and management, Bd. 4).

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (2011): Strukturstudie BW e-mobil. Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität. Stuttgart.

Fredersdorf, F.; Glasmacher, B. (2010): Etappe 6: Weiterbildungsmanagement. In: M. T. Meifert (Hg.): Strategische Personalentwicklung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 244–289.

Frerichs, P.; Wiemert, H. (2002): "Ich gebe, damit Du gibst". Frauennetzwerke, strategisch, reziprok, exklusiv. Opladen: Leske + Budrich (Soziale Chancen, Bd. 2).

Füller, J.; Jawecki, G.; Bartl, M. (2009): Produkt- und Serviceentwicklung in Kooperation mit Online Communities. In: H. H. Hinterhuber und K. Matzler (Hg.): Kundenorientierte Unternehmensführung. Wiesbaden: Gabler, S. 449–468.

Gaitanides, M.; Ackermann, I. (2004): Die Geschäftsprozessperspektive als Schlüssel zu betriebswirtschaftlichem Denken und Handeln. Online verfügbar unter http://www.bwpat.de/spezial1/gaitanides-acker.shtml.

Ganguly, A.; Nilchiani, R.; Farr, J. V. (2011): IDENTIFICATION, CLASSIFICATION, AND PRIORITIZATION OF RISKS ASSOCIATED WITH A DISRUPTIVE TECHNOLOGY PROCESS. In: International Journal of Innovation and Technology Management 8 (2), S. 273–293.

Gassmann, O. (2013): Keine halben Sachen! In: Harvard Business Manager (2), S. 32–33.

Gassmann, O.; Kobe, C. (2006): Management von Innovation und Risiko. Quantensprünge in der Entwicklung erfolgreich managen. 2., überarbeitete Aufl. Berlin, New York: Springer.

Gathmann, S. (2013): Mehr Tempo und Qualität bei CFK-Werkstoffen. Hg. v. Presseportal News Aktuell. Online verfügbar unter http://www.presseportal.de/pm/13314/2420862/mehr-tempo-und-qualitaet-bei-cfk-werkstoffen-im-fokus-optimierte-verfahren-fuer-den-maschinen-und.

Gelbmann, U.; Vorbach, S. (2003): Strategisches Innovations- und Technologiemanagement. Wien: WUV Universitätsverlag.

Giffi, C.; Vitale, J.; Drew, M. et al. (2011): Unplugged: Electric vehicle realities versus consumer expectations. Deloitte Global Services Limited.

Glanz, A.; Jung, O. (2010): Machine-to-Machine-Kommunikation. 1. Aufl. Frankfurt am Main u.a.: Campus.

Gnann, T.; Plötz, P. (2011): Status Quo und Perspektiven der Elektro-mobilität in Deutschland. Hg. v. Fraunhofer ISI (Working Paper Sustainability and Innovation).

Götz, O.; Jensen, O.; Krafft, M. (2011): Kundenmanagement. Wiesbaden: Gabler Verlag. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=Ac7FZwEACAAJ.

Govindarajan, V.; Kopalle, P. K.; Danneels, E. (2011): The Effects of Mainstream and Emerging Customer Orientations on Radical and Disruptive Innovations. In: J Prod Innov Manag 28 (s1), S. 121–132. DOI: 10.1111/j.1540-5885.2011.00865.x.

Graf, N.; Edelkraut, F. (2014): Mentoring. Das Praxisbuch für Personalverantwortliche und Unternehmer. Wiesbaden: Imprint: Springer Gabler (SpringerLink : Bücher).

Grünig, M. (2011): Elektromobilität. Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung. Ecologic Institute. Studientage Dresden. Dresden, 2011.

Günter, B.; Helm, S. (2012): Kundenwert: Grundlagen - Innovative Konzepte - Praktische Umsetzungen. Wiesbaden: Gabler Verlag. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=hAxBRC9yjTEC.

Haag, C.; Schuh, G.; Kreysa, J. et al. (2011): Technologiebewertung. Berlin: Springer Verlag.

Haan, P. de; Zah, R.; Althaus, H. J. (2013): Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz. Zürich: Vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich (TA-SWISS / Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung, 59/2013).

Hamprecht, H. (2014): Innovativste Allianz der Welt schaffen. Hg. v. auto motor und sport. Online verfügbar unter

http://www.auto-motor-und-sport.de/news/porsche-vw-innovativste-allianz-der-welt-schaffen-871133.html.

Hardman, S.; Steinberger-Wilckens, R.; van der Horst, D. (2013): Disruptive innovations: The case for hydrogen fuel cells and battery electric vehicles. In: International Journal of Hydrogen Energy (Volume 38, Issue 35), S. 15438–15451.

Harhoff, D.; Henkel, J.; Hippel, E. von (2003): Profiting from voluntary information spillovers: how users benefit by freely revealing their innovations. In: Research Policy 32 (10), S. 1753–1769. DOI: 10.1016/S0048-7333(03)00061-1.

Hensley, R.; Knupfer, S.; Pinner, D. (2009): Electrifying cars: How three industries will evolve. In: McKinsey Quarterly (3), S. 87–96.

Herre, U.; Sandmann, T.; Wehking, J. und Winefeld, C. (2012): Risk-Management-Benchmarking 2011/12. Online verfügbar unter http://www.pwc.de/de/risiko-management/pwc-studie-risikomanagement-zu-wenig-verzahnt-mit-der-unternehmensstrategie.jhtml.

Hippel, E. von (1988): Lead Users: A Source of Novel Product Concepts. In: K. Gronhaug und G. Kaufmann (Hg.): Innovation: A cross-disciplinary perspective: Oslo; Norwegian University Press; distributed by Oxford University Press, New York, S. 387–406. Online verfügbar unter http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ecn&AN=0032988&site=ehost-live.

Hofbauer, G. (2013): Customer Integration: Prinzipen der Kundenintegration zur Entwicklung neuer Produkte. In: Arbeitsberichte - Working Papers (26).

Hofbauer, G.; Hellwig, C. (2012): Professionelles Vertriebsmanagement: Der prozessorientierte Ansatz aus Anbieter- und Beschaffersicht. Erlangen: PUBLICIS. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=229hPLU1dzMC.

Homburg, C.; Werner, H. (1998): Kundenorientierung mit System: mit Customer-Orientation-Management zu profitablem Wachstum. Frankfurt am Main: Campus-Verlag. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=2O8cPQAACAAJ.

Hönes, H.-P. (2006): Hilfsaggregate: Nur noch elektrisch! In: elektronik industrie 12, S. 76–78.

Horsch, J. (2003): Innovations- und Projektmanagement: Von der strategischen Konzeption bis zur operativen Umsetzung: Gabler Verlag. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=lyHAAAAACAAJ.

Hucho, W.-H. (2012): Aerodynamik der stumpfen Körper. Physikalische Grundlagen und Anwendungen in der Praxis ; mit 48 Tabellen. 2., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Braunschweig [u.a.]: Vieweg (Grundlagen und Fortschritte der Ingenieurwissenschaften).

Hugl, U. (1995): Qualitative Inhaltsanalyse und Mind-Mapping. Ein neuer Ansatz für Datenauswertung und Organisationsdiagnose. Wiesbaden: Gabler (Neue betriebswirtschaftliche Forschung, 151).

Hüttl, R. F.; Pischetsrieder, B.; Spath, D. (2010): Elektromobilität. Potenziale und wissenschaftlichtechnische Herausforderungen. Berlin, New York: Springer (Acatech Diskutiert).

Huy, R. (1993): Konstruktion und Entwicklung: Die Chance für das deutsche Auto. In: Automobile-Produktion (7), S. 136–140.

Jäggi, S.; Züger, R. M. (2011): Kommunikation und Information - Leadership-Basiskompetenz: theoretische Grundlagen und Methoden mit Beispielen, Praxisaufgaben, Repetitionsfragen und Antworten: Compendio Bildungsmedien. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=i5egQpmZIz0C.

Kaiser, O.; Meyer, S.; Schippl, J. (2011): Elektromobilität. ITA-Kurzstudie. Hg. v. Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH. Düsseldorf.

Kalmbach, R.; Bernhart, W.; Grosse Kleimann, P. et al. (2011): Automotive landscape 2025 Opportunities and challenges ahead. Hg. v. Roland Berger Strategy Consultants. München.

Kasperk, G.; Drauz, R. (2013): Geschäftsmodelle entlang der elektromobilen Wertschöpfungskette. In: D. Vallée und A. Schnettler (Hg.): Elektromobilität. Grundlagen einer Zukunftstechnologie. 2013. Aufl. Berlin: Springer Berlin, S. 103–147.

Keijzer, W. C. (2008): Wandlungsfähigkeit von Entwicklungsnetzwerken. Ein Modell am Beispiel der Automobilindustrie. 1. Aufl. München: Hut (Produktentwicklung).

Kersten, W. (2003): E-Collaboration. Prozessoptimierung in der Wertschöpfungskette. 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. (HAB-Forschungsbericht, 14).

Klenner, P. (2011): Die Bestimmung der Disruptionsreife von Märkten: Analyse der wirtschaftlichen Verwertung disruptiver

Innovationen: WiKu-Verlag. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=muggtwAACAAJ.

Klink, J. (2012): Elektromobilität in China – Förderpolitik und Modellregionen. In: mobilität morgen. Magazin zu Mobilität und Elektro (4).

Kneuper, R.; Wallmüller, E. (2009): CMMI in der Praxis. Fallstudien zur Verbesserung der Entwicklungsprozesse mit CMMI. 1. Aufl. Heidelberg: Dpunkt-Verl.

Kremin-Buch, B. (2007): Strategisches Kostenmanagement. Grundlagen und moderne Instrumente. 4., überarbeitete Aufl. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler (Gabler Lehrbuch).

Krieger, K. (2005): Customer Relationship Management und Innovationserfolg. Eine theoretisch-konzeptionelle Fundierung und empirische Analyse. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag (Betriebswirtschaftslehre für Technologie und Innovation, Band 47).

Kroeber-Riel, W.; Gröppel-Klein, A. (2013): Konsumentenverhalten. München: Vahlen. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=yal-AAAAQBAJ.

Kröll, M. (2007): Methode zur Technologiebewertung für eine ergenisorientierte Produktentwicklung. Stuttgart.

Krottmaier, J. (1995): Leitfaden Simultaneous Engineering. Kurze Entwicklungszeiten, niedrige Kosten, hohe Qualität. Berlin, New York: Springer-Verlag.

Kuijer, P.; Visser, B.; Kemper, H. C. (1999): Job roatation as a factor in reducing physical workload at a refuse collecting department. In: Economics 42 (9), S. 1167–1178.

Kukat, F.; Blümelhuber, C. (2005): Beschwerdemanagement in der Praxis. Kundenkritik als Chance nutzen. 1. Aufl. Düsseldorf: Symposion.

Lehner, F. (2012): Wissensmanagement. Grundlagen, Methoden und Technische Unterstützung. München: Hanser.

Littkemann, J. (2005): Innovationscontrolling: Vahlen. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=7sCEAAAACAAJ.

Lutz, M. (2008): Steuerung internationaler Forschungs- und Entwicklungsnetzwerke. Berlin: Logos-Verl.

Manyika, J.; Chui, M.; Bughin, J. et al. (2013): Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. McKinsey Global Institute.

Martensen, A.; Dahlgaard, J. J. (2009): Integrating business excellence and innovation management: Developing vision, blueprint and strategy for innovation in creative and learning organizations. In: Total Quality Management 10 (4-5), S. 627–635. DOI: 10.1080/0954412997613.

Meixner, O.; Haas, R. (2012): Wissensmanagement und Entscheidungstheorie: Theorien, Methoden, Anwendungen und Fallbeispiele: facultas.wuv Universitäts. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=wJCxx8UfUswC.

Menthe, T.; Sieg, M. (2013): Kundennutzen. Die Basis für den Verkauf : so verwandeln sie Leistungen un messbaren Mehrwert. Wiesbaden: Springer Gabler.

Mertins, K.; Finke, I.; Orth, R. (2009): Ein Referenzmodell für Wissensmanagement. In: K. Mertins und H. Seidel (Hg.):

Wissensmanagement im Mittelstand. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 15–22.

Meyer, J. U. (2012): Radikale Innovation: das Handbuch für Marktrevolutionäre: BusinessVillage. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=FJygpwAACAAJ.

Ministry of Economy, Trade and Industry (2006): Recommendations for the Future of Next-Generation Vehicle Batteries. Online verfügbar unter http://www.meti.go.jp/english/information/downloadfiles/PressRelease/060828VehicleBatteries.pdf.

Möhrle, M.; Isenmann, R. (2008): Grundlagen des Technologie-Roadmapping. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Müller, P.; Kasperk, G.; Kampker, A. (2014): Radikale Innovationen durch effiziente Netzwerke. Erkennntnisse des Aachener Projekts StreetScooter. In: H. proff (Hg.): Radikale Innovationen in der Mobilität. Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte. Wiesbaden: Imprint: Springer Gabler (SpringerLink : Bücher), S. 25–47.

Müller, S. (2006): Methodisches Erfinden im Personalmanagement. Erfolgreiche Anpassung TRIZ-basierter Werkzeuge. 1. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag (Gabler Edition Wissenschaft. Forschungs-, Entwicklungs-, Innovations-Management).

Nagl, A. (2013): Der businessplan. Geschftsplne professionell erstellen mit checklisten und fallbeispielen. [S.l.]: Gabler.

Nationale Plattform Elektromobilität (2012): Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Be-

richt). Hg. v. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung. Berlin.

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2011): Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Hg. v. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung. Berlin.

Noorden, R. (2014): Zukunft der Batterie. Der Akku wird neu erfunden. Hg. v. Spekrum der Wissenschaft. Online verfügbar unter http://www.spektrum.de/news/der-akku-wird-neu-erfunden/1280637.

North, K.; Reinhardt, K.; Sieber-Suter, B. (2013): Kompetenzmanagement in der Praxis. Mitarbeiterkompetenzen systematisch identifizieren, nutzen und entwickeln Mit vielen Fallbeispielen. 2., überarb. u. erw. Aufl. 2013. Wiesbaden: Gabler Verlag (SpringerLink : Bücher).

Orilski, S. (2012): Referenzmodell für ein entscheidungsorientiertes, datenbasiertes Technologie-Roadmapping. Aachen: Apprimus-Verl. (Edition Wissenschaft Apprimus, 30/2012).

Pander, J.; Bruhn, M. (2013): Elektroauto-Infrastruktur: Das Klagen beim Laden. Hg. v. Spiegel Online. Online verfügbar unter http://www.spiegel.de/auto/aktuell/elektroauto-infrastruktur-diverse-stecker-zahlreiche-bezahlsysteme-a-930582.html.

Park, Y. H. (2010): A study of risk management and performance measures on new product development. In: Asian Journal on Quality 11 (1), S. 39–48.

Petry, T. (2013): Prozesse bei der Ablauf- und Aufbauorganisation. In: Das Wirtschaftsstudium : wisu ; Zeitschrift für Aus-

bildung, Prüfung, Berufseinstieg und Fortbildung, ISSN 0340-3084, ZDB-ID 1202844 42 (5), S. 641–642.

Pfeifer, T.; Schmitt, R. (Hg.) (2014): Masing Handbuch Qualitätsmanagement. 6., überarbeitete Auflage. München: Hanser.

Pfeiffer, W.; Dögl, R. (1997): Das Technologie-Portfolio-Konzept zur Beherrschung der Schnittstelle Technik und Unternehmensstrategie. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=tt7MXwAACAAJ.

Pilkington, A.; Dyerson, R.; Tissier, O. (2002): The electric vehicle: Patent data as indicators of technological development. In: World Patent Information (Volume 24, Issue 1), S. 5–12.

Plötz, P.; Gnann, T.; Kühn, A. et al. (2013): Markthochlaufszenarien für Elektrofahrzeuge. Hg. v. Fraunhofer ISI. Online verfügbar unter http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Fraunhofer-ISI-Markthochlaufszenarien-Elektrofahrzeuge-Langfassung.pdf.

Porter, M. E. (1985): Technology and competitive advantage. In: Journal of Business Strategy 5 (3), S. 60–78.

Prefi, T. (2014): Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung. In: T. Pfeifer und R. Schmitt (Hg.): Masing Handbuch Qualitätsmanagement. 6., überarbeitete Auflage. München: Hanser.

Pregger, T.; Luca de Tena, D.; O'Sullivan, M. et al. (2012): Perspektiven von Elektro-/Hybridfahrzeugen in einem Versorgungssystem mit hohem Anteil dezentraler und erneuerbarer Energiequellen. DLR.

PricewaterhouseCoopers (Hg.) (2012): Charging forward. PwC's 2012 electric vehicle survey.

Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K. (2012): Wissen managen. Wie Unternehmen ihre wertvollste REssource optimal nutzen. Wiesbaden: Gabler.

proff, H. (2012): Dynamisches automobilmanagement. Strategien fr international ttige automobilunternehmen im… [S.l.]: Gabler.

proff, H. (Hg.) (2014): Radikale Innovationen in der Mobilität. Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte. Wiesbaden: Imprint: Springer Gabler (SpringerLink : Bücher).

Proff, H.; Kilian, D. (2012): Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles. Final Report. Duisburg.

proff, H.; Proff, H. (2012): Dynamisches Automobilmanagement. Strategien für international tätige Automobilunternehmen im Übergang in die Elektromobilität. 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag; Imprint: Gabler Verlag (SpringerLink : Bücher).

Regius, B. von (2006): Qualität in der Produktentwicklung: vom Kundenwunsch bis zum fehlerfreien Produkt: Hanser. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=6vDIQhVZHNwC.

Reichmann, T.; Richter, H. (2008): Risikomanagement undcontrolling in der Automobilindustrie. In: Controlling: Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung 20 (4), S. 185–191.

Reinmann, G. (2009): Wissensmanagement.

Rennhak, C. (2009): Die Automobilindustrie von morgen: wie Automobilhersteller und -zulieferer gestärkt aus der Krise her-

vorgehen können. Stuttgart: Ibidem-Verlag. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=IqvDPwAACAAJ.

Rezagholi, M. (2004): Prozess- und Technologiemanagement in der Softwareentwicklung: ein Metrik-basierter Ansatz zur Bewertung von Prozessen und Technologien: Oldenbourg. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=TR3-JwWn4qAC.

Romeike, F.; Hager, P. (2009): Erfolgsfaktor Risiko-Management 2.0. Methoden, Beispiele, Checklisten : Praxishandbuch für Industrie und Handel. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Gabler.

Rudolph, T.; Drenth, R.; Meise, J. N. (Hg.) (2007): Kompetenzen für Supply Chain Manager. Berlin: Springer.

Saad, K. N.; Roussel, P. A.; Tiby, C. (1993): Management der F & E-Strategie. 2. Aufl. Wiesbaden: Gabler (Management-Perspektiven).

Sauerwein, E. (2000): Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit. Reliabilität und Validität einer Methode zur Klassifizierung von Produkteigenschaften. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. (Gabler Edition Wissenschaft).

Schade, W.; Zanker, C.; Kühn, A. et al. (2014): Sieben Herausforderungen für die deutsche Automobilindustrie. Strategische Antworten im Spannungsfeld von Globalisierung, Produkt- und Dienstleistungsinnovationen bis 2030. Unter Mitarbeit von W. Schade, C. Zanker, A. Kühn, T. Hettesheimer, A. Jäger, S. Kinkel und T. Schmall. 1. Aufl. Berlin: edition sigma (Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, 40).

Schauenburg, J. (1999): Kundennutzenanalyse. Ein neues Verfahren zur Bestimmung und Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Investitionsgütern. Frankfurt am Main, New York: P. Lang (Europäische Hochschulschriften. Reihe V, Volks- und Betriebswirtschaft Publications universitaires européennes. Série V, Sciences économiques, gestion d'entreprise European university studies. Series V, Economics and management, vol. 2483).

Schewe, G.; Nienaber, A.-M. (2011): Explikation von implizitem Wissen: Stand der Forschung zu Barrieren und Lösungsansätzen. In: J Betriebswirtsch 61 (1), S. 37–84. DOI: 10.1007/s11301-011-0073-2.

Schindler, M. (2002): Wissensmanagement in der Projektabwicklung. Grundlagen, Determinanten und Gestaltungskonzepte eines ganzheitlichen Projektwissensmanagements. 3., durchges. Aufl. Lohmar, Köln: Eul (Reihe: Wirtschaftsinformatik, Bd. 32).

Schlegel, G. L.; Trent, R. J. (2012): Risk management: Welcome to the new. In: Logistics Management 51 (2), S. 42–45.

Schlick, T.; Hertel, G.; Hagemann, B. et al. (2011): Zukunftsfeld Elektromobilität. Roland Berger Strategy Consultants.

Schneider, A. (2012): Geschäftsmodellwandel durch disruptive Innovationen: Fallstudie zum Elektrofahrzeug in Automobilindustrie und Energiewirtschaft. Taunusstein: Driesen.

Schöler, A. (2009): Beschwerdeinformationen und ihre Nutzung. Wiesbaden: Gabler (Gabler Edition Wissenschaft. Focus Dienstleistungsmarketing).

Schömann, S. O. (2012): Produktentwicklung in der Automobilindustrie. Managementkonzepte vor dem Hintergrund gewandelter Herausforderungen. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler (Schriften zur Unternehmensentwicklung).

Schonert, T. (2008): Interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke in der deutschen Automobilindustrie. Die Ausgestaltung von Geschäftsbeziehungen am Beispiel internationaler Standortentscheidungen. In: Interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke in der deutschen Automobilindustrie.

Schreyögg, A. (2012): Coaching: Eine Einführung für Praxis und Ausbildung: Campus Verlag. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=fp37e9nrM-0C.

Schuh, G. (2008): Vernetzte Produktion. In: H. J. Bullinger, D. Spath, H. J. Warnecke und E. Westkämper (Hg.): Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung. 3., neu bearb. Aufl. Berlin: Springer Berlin (VDI), S. 317–407.

Schuh, G.; Klappert, S. (Hg.) (2011): Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Handbuch Produktion und Management, 2).

Schüler, D.; Buchert, M. (2011): Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for the Greens/EFA Group in the European Parliament. Öko-Institut e.V. Berlin.

Schulze, S. (2013): Effiziente Logistik durch Kooperation in der Produktentwicklung. In: I. Göpfert, D. Braun und M. Schulz (Hg.): Automobillogistik. Stand und Zukunftstrends. 2., akt. u. erw. Aufl. 2013. Wiesbaden: Springer Gabler (SpringerLink : Bücher), S. 179–190.

Schüppel, J. (1997): Wissensmanagement. Organisatorisches Lernen im Spannungsfeld von Wissens- und Lernbarrieren. Nachdr. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.

Schwarz, E. J. (2003): Technologieorientiertes Innovationsmanagement: Strategien für kleine und mittelständische Unternehmen: Gabler. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=Co0dBIZ1D3MC.

Schwesinger, B. (2007): Formulare gestalten. Das Handbuch für alle, die das Leben einfacher machen wollen. 1. Aufl. Mainz: Schmidt.

Seibert, M.; Preuss, S.; Rauer, M. (2011): Enterprise Wikis. Die erfolgreiche Einführung und Nutzung von Wikis in Unternehmen. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden (SpringerLink : Bücher).

Seibt, P. (2011): Lithium-Luft-Akku: Traum von der Superbatterie könnte wahr werden. Online verfügbar unter http://www.welt.de/wissenschaft/article13601451/Traum-von-der-Superbatterie-koennte-wahr-werden.html.

Shell Deutschland Oil GmbH (2009): Shell PKW-Szenarien bis 2030. Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität.

Specht, D. (1992): Technologiemangement. Grundgedanken zum Gegenstand und zugleich Sammelrezension. In: Die Betriebswirtschaft 52 (4), S. 547–566.

Specht, D.; Berntsen, G.; Braunisch, D. et al. (2009): Technologiefrühaufklärung am Beispiel einer Technologie- und Produktvorausschau für die Blechbearbeitung und -

verarbeitung. In: Forum der Forschung - Wissenschaftsmagazin der BTU Cottbus 22, S. 153–160.

Specht, D.; Mieke, C. (2006): Technologie-Management. In: WISU (5), S. 648–650.

Specht, G.; Beckmann, C.; Amelingmeyer, J. (2002): F- & -E-Management. Kompetenz im Innovationsmanagement. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel (UTB für Wissenschaft).

Specht, G.; Schmelzer, H. J. (1990): Qualitätsmanagement in Produktplanung und Produktentwicklung: eine empirische Studie im Funktionsbereich Entwicklung. Arbeitspapiere vom Fachgebiet Marketing 5. Darmstadt: Inst. für Betriebswirtschaftslehre, Fachgebiet Marketing. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=XC2RMwAACAAJ.

Spur, G. (2013): Produktionsinnovationen: Jahrbuch der inpro-Innovationsakademie 2012: Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=BLdPAgAAQBAJ.

Srivastava, M. K.; Gnyawali, D. R. (2011): When Do Relational Resources Matter? Leveraging Portfolio Technological Resources for Breakthrough Innovation. In: Academy of Management Journal 54 (4), S. 797–810. DOI: 10.5465/AMJ.2011.64870140.

Stahlecker, T.; Lay, G.; Zanker, C. (2011): Elektromobilität: Zulieferer für den Strukturwandel gerüstet? Status quo und Handlungsempfehlungen für den Automobilstandort Metropolregion Stuttgart. Hg. v. Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart.

Stauss, B.; Seidel, W. (2014): Beschwerdemanagement. Unzufriedene Kunden als profitable Zielgruppe. 5., vollst. überarb. Aufl. München: Hanser.

Stock-Homburg, R. (2011): Der Zusammenhang zwischen Mitarbeiterund Kundenzufriedenheit. Direkte, indirekte und moderierende Effekte. 5. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden (nbf, Neue betriebswirtschaftliche Forschung, 281).

Stummer, C.; Günther, M.; Köck, A. (2010): Grundzüge des Innovations- und Technologiemangaments. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.

Svantesson, I. (1996): Mind Mapping und Gedächtnistraining. 3. Aufl. Offenbach: GABAL.

Sydow, J. (2010): Management von netzwerkorganisationen. Beiträge aus der "Managementforschung". [S.l.]: Gabler.

Sydow, J.; Wirth, C. (2014): Organisation und Strukturation: Eine fallbasierte Einführung: Springer Fachmedien Wiesbaden. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=-ksiBAAAQBAJ.

Takeishi, A. (2002): Knowledge Partitioning in the Interfirm Division of Labor: The Case of Automotive Product Development. In: Organization Science 2002 (Vol. 13, No.3), S. 321–338.

Tatarczyk, B. (2009): Organisatorische Gestaltung der frühen Phase des Innovationsprozesses. Konzeptionen, Methoden und Anwendung am Beispiel der Automobilindustrie. Wiesbaden: Gabler (Gabler Edition Wissenschaft. Beiträge zur Produktionswirtschaft).

The Economist (2014): Elon Musk's gigafactory. Assault on batteries 2014, 12.06.2014. Online verfügbar unter http://www.economist.com/news/business/21604174-better-power-packs-will-open-road-electric-vehicles-assault-batteries.

Timm, H. (2010): Wo liegt der Bedarf für CFK im Automobilbau? Hg. v. Audi AG. Online verfügbar unter http://www.carbon-composites.eu/sites/carbon-composites.eu/files/anhaenge/gruppen/12/08/29/02_v_af_12_1.pdf.

Töpfer, A.; Günther, S. (2007): Six Sigma im Entwicklungsprozess. In: A. Töpfer (Hg.): Six Sigma. Konzeption und Erfolgsbeispiele für praktizierte Null-Fehler-Qualität. 4th, aktualisierte und erw. Aufl. Berlin, New York: Springer, S. 100–171.

Trojan, J. (2003): Status Quo Debriefing als Instrument zur Wissensbewahrung in Unternehmen. Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Wissensmanagement. München.

Trott, P. (2001): The role of market research in the development of discontinuous new products. In: European Journal of Innovation Management 4 (3), S. 117–126. DOI: 10.1108/14601060110390585.

Tschirky, H. (1998): Technologie-Management. Idee und Praxis. Zürich: Verl. Industrielle Organisation (Reihe Technology, Innovation und Management).

Vahrenkamp, R. (2007): Risikomanagement in Supply Chains: Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren: Schmidt. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=kAg4z1muM7gC.

Valentine-Urbschat, M.; Bernhart, W. (2009): Powertrain 2020 – The Future Drives Electric. Hg. v. Roland Berger Strategy Consultants.

Vallée, D.; Schnettler, A. (Hg.) (2013): Elektromobilität. Grundlagen einer Zukunftstechnologie. 2013. Aufl. Berlin: Springer Berlin.

Verband der Automobilindustrie (2014): Automotive SPICE. Online verfügbar unter http://vda-qmc.de/software-prozesse/automotive-spice/.

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (2014): Fahrzeugtechnik (Smart Car). Elektrofahrzeuge ermöglichen neue Fahrzeugformen und Mobilitätskonzepte. Hg. v. VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. Online verfügbar unter http://www.vde.com/de/E-Mobility/Fahrzeugtechnik/Seiten/default.aspx.

Verworn, B. (2009): Investitionen in die frühen Phasen der PRoduktentwicklung. Effizientere Prozesse durch Ausnutzung der Hebelwirkung. In: Industrie-Management: Zeitschrift für industrielle Geschäftsprozesse 25 (1), S. 16–18.

Vogt, C. H. (2008): Erfolg strategischer F & E-Kooperationen. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Voigt, K.-I. (2008): Industrielles Management. Industriebetriebslehre aus prozessorientierter Sicht. Berlin [u.a.]: Springer (Springer-Lehrbuch).

Völker, R.; Sauer, S.; Simon, M. (2007): Wissensmanagement im Innovationsprozess. Heidelberg: Physica Verlag.

Volkswagen (2014): Volkswagen stellt weltweiten Forschungsverbund zur Elektromobilität vor. Online verfügbar un-

ter
http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/de/themes/2010/07/Volkswagen_presents_worldwide_research_alliance_on_electric_mobility.html.

Wagner, M.; Thieler, W. (2007): Wegweiser für den Erfinder. Von der Aufgabe über die Idee zum Patent. 3., erw. und aktualisierte Aufl. Berlin, New York, NY: Springer.

Wang, J. und Yang, C.-Y. (2012): Flexibility planning for managing R&D projects under risk. In: International Journal of Production Economics 135 (2), S. 823–831.

Wang, J.; Lin, W.; Huang, Y.-H. (2010): A performance-oriented risk management framework for innovative R&D projects. In: Technovation 30 (11-12), S. 601–611.

Wangenheim, S. (1993): Controlling des Serienlaufs. Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Controlling der Universität Stuttgart (Forschungsbericht, 46).

Weber, T. (2006): Anreizsysteme für die betriebliche Forschung und Entwicklung: Deutscher Universitätsverlag. Online verfügbar unter
http://books.google.de/books?id=MWspxHJXIO0C.

Wellensiek, M.; Schuh, G.; Hacker, P. et al. (2011): Technologiefrüherkennung. Berlin u. a.: Springer Verlag.

Wiegandt, P. (2009): Value Creation of Firm-Established Brand Communities. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden (SpringerLink : Bücher).

Wiese, F. (2011): Mehrstufiges Marketing in Unternehmensnetzwerken: Eine Analyse am Beispiel der E-Mobility. 1., Aufl. Hamburg: Diplomica Verlag.

Wildemann, H. (1996): Koordination von Unternehmensnetzwerken. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 67 (4), S. 417–439.

Wildemann, H. (1999): Entwicklungsnetzwerke als strategischer Erfolgsfaktor. In: G. R. Wagner (Hg.): Unternehmungsführung, Ethik und Umwelt. Hartmut Kreikebaum zum 65. Geburtstag. Wiesbaden: Gabler, S. 252–270.

Wildemann, H. (2000a): Konzepte und Steuerungsprinzipien für das Produktionsmanagement in Unternehmensnetzwerken. In: B. Kaluza und T. Blecker (Hg.): Produktions- und Logistikmanagement in Virtuellen Unternehmen und Unternehmensnetzwerken. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 569–598.

Wildemann, H. (2000b): Organisation der Gründungs- und Betriebsphase von Unternehmensnetzwerken. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (2), S. 223–242.

Wildemann, H. (2001): Wandlungsfähige Netzwerkstrukturen als moderen Organisationsform. In: Industrie Management 17 (5), S. 53–57.

Wildemann, H. (2003a): Controlling im Total Quality Management. In: W. Hansen und G. Kamiske (Hg.): Qualitätsmanagement im Unternehmen: Grundlagen, Methoden und Werkzeuge, Praxisbeispiele, S. 1–29.

Wildemann, H. (2003b): Wissensmanagement. Ein neuer Erfolgsfaktor für Unternehmen. München: TCW-Verlag.

Wildemann, H. (2004a): Entwicklungspartnerschaften in der Automobil- und Zulieferindustrie. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 99 (3), S. 82–85.

Wildemann, H. (2004b): Entwicklungspartnerschaften in der Automobil-und Zulieferindustrie. Ergebnisse einer Delphi-Studie. München: TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologie-Management GmbH.

Wildemann, H. (2004c): Konzeptwettbewerb und Know-how-Schutz in der Automobil- und Zulieferindustrie. München: TCW Transfer-Centrum-Verl. (TCW-Report, 48).

Wildemann, H. (2006a): Grenzen von Unternehmensnetzwerken. In: T. Sommerlatte (Hg.): Handbuch der Unternehmensberatung. Organisationen führen und entwickeln, Bd. 3240. Berlin: E. Schmidt, S. 1–13.

Wildemann, H. (2006b): Risikomanagement und Rating. 1. Aufl. München: TCW, Transfer-Centrum (TCW / [TCW-Transfer-Centrum GmbH für Produktionslogistik und Technologie-Management], 25).

Wildemann, H. (2007): Innovation ist das Brot der Wirtschaft. In: Konzept Bayern (Innovation Spezial 1/2007), S. S.106-108.

Wildemann, H. (2008): Herausforderungen an die Entwicklungspartnerschaften. In: Controlling (4/5), S. 193–199.

Wildemann, H. (2009): Produkte und Services entwickeln und managen. Strategien, Konzepte, Methoden. 2. Aufl. München: TCW, Transfer-Centrum (27).

Wildemann, H. (2011): Der bayerische Qualitätspreis. 1993-2010 ; eine Initiative des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie. 1. Aufl. München: TCW, Transfer-Centrum.

Wildemann, H. (2014a): Änderungsmanagement. Leitfaden zur Komplexitätsbeherrschung. 22. Aufl. München: TCW, Transfer-Centrum-Verl.

Wildemann, H. (2014b): Conjoint-Analyse. Leitfaden zur kundenwertorientierten Produktentwicklung mittels Conjoint-Analysen. 10. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum (Leitfaden / TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologiemanagement, 91).

Wildemann, H. (2014c): Entwicklungspartnerschaften in der Automobil- und Zulieferindustrie. Leitfaden der methodengestützten Umsetzung von Entwicklungspartnerschaften. 12. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum.

Wildemann, H. (2014d): Entwicklungsprozess. Leitfaden für ein kundenorientiertes Redesign und Time to Market. 19. Aufl. München: TCW Transfer-Zentrum.

Wildemann, H. (2014e): FMEA - Präventive Fehlervermeidung für Konstruktions- und Geschäftsprozesse. 21. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum (Leitfaden, 40).

Wildemann, H. (2014f): Gruppenarbeit. Leitfaden zur Einführung von Gruppenarbeit in direkten und indirekten Bereichen. 22. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum-Verl. (Leitfaden, 9).

Wildemann, H. (2014g): Integrierte Managementinformationssysteme. Leitfaden zur Steuerung von Business Units. 12. Aufl. München: TCW-Verl.

Wildemann, H. (2014h): Kundenorientierung. Leitfaden zur Einführung eines Beschwerdenmanagements, einer Ausrichtung des Vertriebs, F & E sowie der Produktion und Mitarbeiter auf

Kundenbedürfnisse. 19. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum-Verl.

Wildemann, H. (2014i): Produktklinik. Leitfaden zur Steigerung der Lerngeschwindigkeit und Produktkostensenkung. 19. Aufl. München: TCW, Transfer-Centrum-Verl.

Wildemann, H. (2014j): Prozess-Benchmarking. Leitfaden zur Erreichung von Quantensprüngen in Geschäftsprozessen. 20. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum-Verl (Leitfaden / TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologie-Management, 19).

Wildemann, H. (2014k): Qualitätscontrolling. Leitfaden zur qualitätsgerechten Planung und Steuerung von Geschäftsprozessen. 20. Auflage. München: TCW-Verlag.

Wildemann, H. (2014l): Quality function deployment. Die Stimme des Kunden in Entwicklung, Produktion und Zulieferung ; QFD-Schulungsunterlage. 20. Aufl. München: TCW, Transfer-Centrum-Verl (TCW, 35).

Wildemann, H. (2014m): Roadmapping. Leitfaden zur Planung und Erschließung von Zukunftspotenzialen im Unternehmen. 12. Auflage. München: TCW-Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologie-Managemement.

Wiswede, G. (2000): Einführung in die Wirtschaftspsychologie. 3. überarb. und erw. Aufl. München: UTB.

Wolfrum, B. (1994): Strategisches Technologiemanagement: Gabler. Online verfügbar unter http://books.google.de/books?id=lQ-4AAAACAAJ.

Wong, H.-K.; Ellis, P. D. (2007): Is market orientation affected by the product life cycle? In: Journal of World Business 42 (2), S. 145–156. DOI: 10.1016/j.jwb.2007.02.001.

Yay, M. (2010): Elektromobilität. Theoretische Grundlagen, Herausforderungen sowie Chancen und Risiken der Elektromobilität, diskutiert an den Umsetzungsmöglichkeiten in die Praxis. Frankfurt am Main[u.a.]: Lang.

Zahn, E. (1995): Handbuch Technologiemanagement. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Zsilinsky, R.; Kainer, R.; Sklenar, J. et al. (2011): E-mobility in Central and Eastern Europe. Maturity and potential of electric vehicle markets in CEE. Roland Berger Strategy Consultants.

Zucker, B.; Schmitz, C. (2000): Wissen gewinnt. Innovative Unternehmensentwicklung durch Wissensmanagement. Düsseldorf [u.a.]: Metropolitan-Verl.

Zwicky, F. (1969): Discovery, Invention, Research: Through the Morphological Approach. Madison: Macmillan.

Zwicky, F.; Wilson, A. G. (2012): New methods of thought and procedure. Contributions to the symposium on. [S.l.]: Springer.

8 Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Behandlung der Problemstellung in Fremdstudien nach technologischen Clustern23
Abbildung 1-2: Empirische Basis und deren Verwendung.....25
Abbildung 1-3: Aufteilung der Grundgesamtheit der befragten Unternehmen nach Branche und Position entlang des Produktlebenszyklus.....26
Abbildung 1-4: Bewertung der Stärke der Auswirkungen der Elektromobilität auf verschiedene Unternehmensbereiche 28
Abbildung 1-5: Prozentuale Verteilung der abgegebenen Bewertungen für den Bereich Forschung.....29
Abbildung 1-6: Prozentuale Verteilung der abgegebenen Bewertungen für den Bereich Entwicklung...29
Abbildung 1-7: Bewertung der Herausforderungen der Elektromobilität.....31
Abbildung 1-8: Übersicht der am Forschungsvorhaben beteiligten Praxispartner.....34
Abbildung 1-9: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des ersten Workshops.....39
Abbildung 1-10: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des zweiten Workshops.....43
Abbildung 1-11: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des dritten Workshops.....47
Abbildung 1-12: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des vierten Workshops.....50
Abbildung 1-13: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des fünften Workshops 52

Abbildung 2-1: Entwicklungspotenzial der Akkumulatortechnologie 72
Abbildung 2-2: Eigenschaften der Technologien des Clusters Antrieb, Batterie und Leichtbau 91
Abbildung 2-3: S-Kurven der Akkutechnologien 98
Abbildung 3-1: Produktentwicklungsprozess in der Elektromobilität 138
Abbildung 4-1: Reifegradmesskonzept für F&E-Netzwerke am Beispiel E-Mobility 162
Abbildung 4-2: Prozessgebiete in den einzelnen Reifegradstufen des CMMI-Dev 165
Abbildung 4-3: Prozessdimensionen von Automotive SPICE 169
Abbildung 4-4: TRL-Reifegradmodell 174
Abbildung 4-5: Reifegradmodell im Rahmen der Elektromobilität 184
Abbildung 4-6: Definition von Quality Gates 185
Abbildung 4-7: Gestaltungsfelder und deren Bewertungsbereiche 189
Abbildung 4-8: Prozessuale Messzeitpunkte im Reifegradmodell 190
Abbildung 4-9: Messbereiche im Reifegradmodell 192
Abbildung 4-10: Exemplarische Darstellung des Reifegrad-Messkonzepts 192
Abbildung 5-1: Exemplarisches Netzdiagramm am Beispiel der Grundlagenforschung 284
Abbildung 5-2: Exemplarisches Scoreboard des Gestaltungsfelds Entwicklungsnetzwerke ... 286
Abbildung 5-3: Exemplarisches Netzdiagramm Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke 287

Abbildung 5-4: Exemplarisches Polaritäten-Profil Bewertungsbereich Netzwerkorganisation .. 288
Abbildung 5-5: Übersicht der Methoden in der Grundlagenforschung 290
Abbildung 5-6: Übersicht der Methoden in der Vor-, Konzept- und Serienentwicklung 291
Abbildung 5-7: Übersicht der phasenübergreifenden Methoden 292
Abbildung 5-8: Bewertung der Antriebstechnologie 373
Abbildung 5-9: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke 374
Abbildung 5-10: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Wissensmanagement 375
Abbildung 5-11: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Organisation & Prozesse .. 376
Abbildung 5-12: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Kundenorientierung 378
Abbildung 5-13: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Technologiemanagement . 380
Abbildung 5-14: Bewertung der Antriebstechnologie im Gestaltungsfeld Risikomanagement 381
Abbildung 5-15: Bewertung der Batterietechnologie 382
Abbildung 5-16: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke ... 383
Abbildung 5-17: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Wissensmanagement 385
Abbildung 5-18: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Organisation & Prozesse .. 386
Abbildung 5-19: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Kundenorientierung 387

Abbildung 5-20: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Technologiemanagement. 388
Abbildung 5-21: Bewertung der Batterietechnologie im Gestaltungsfeld Risikomanagement 390
Abbildung 5-22: Bewertung der Faserverbundtechnologie ... 391
Abbildung 5-23: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Entwicklungsnetzwerke ... 392
Abbildung 5-24: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Wissensmanagement..... 394
Abbildung 5-25: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Organisation & Prozesse.. 395
Abbildung 5-26: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Kundenorientierung 396
Abbildung 5-27: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Technologiemanagement. 399
Abbildung 5-28: Bewertung der Faserverbundtechnologie im Gestaltungsfeld Risikomanagement 400
Abbildung 6-1: Aufbau des IT-Tools 409
Abbildung 8-1: Startseite des IT-Tools..... 461
Abbildung 8-2: Bewertungshistorie des IT-Tools 461
Abbildung 8-3: Bewertungsinformationen Übersicht..... 462
Abbildung 8-4: Übersicht Reifegradbewertung..... 462
Abbildung 8-5: Exemplarische Reifegradbewertung..... 463
Abbildung 8-6: Exemplarische Übersicht Scoreboard..... 464
Abbildung 8-7: Exemplarische Reifegradauswertung Netzdiagramm 465
Abbildung 8-8: Exemplarische Reifegradauswertung Polaritätenprofil..... 465
Abbildung 8-9: Benchmarking Auswahl Referenzbewertung 466

Abbildung 8-10: Exemplarischer Benchmark Entwicklungsnetzwerke 466
Abbildung 8-11: Handlungsempfehlungen im IT-Tool 467

Beschreibung des Tools CMMDPD



Abbildung 8-1: Startseite des IT-Tools



Abbildung 8-2: Bewertungshistorie des IT-Tools

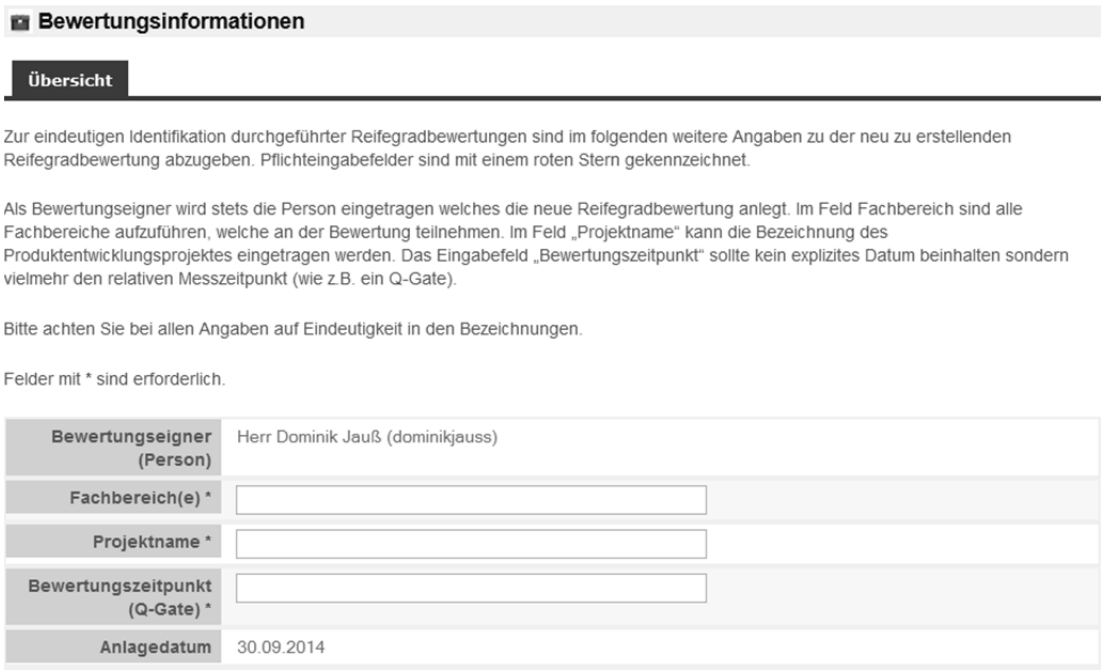


Abbildung 8-3: Bewertungsinformationen Übersicht

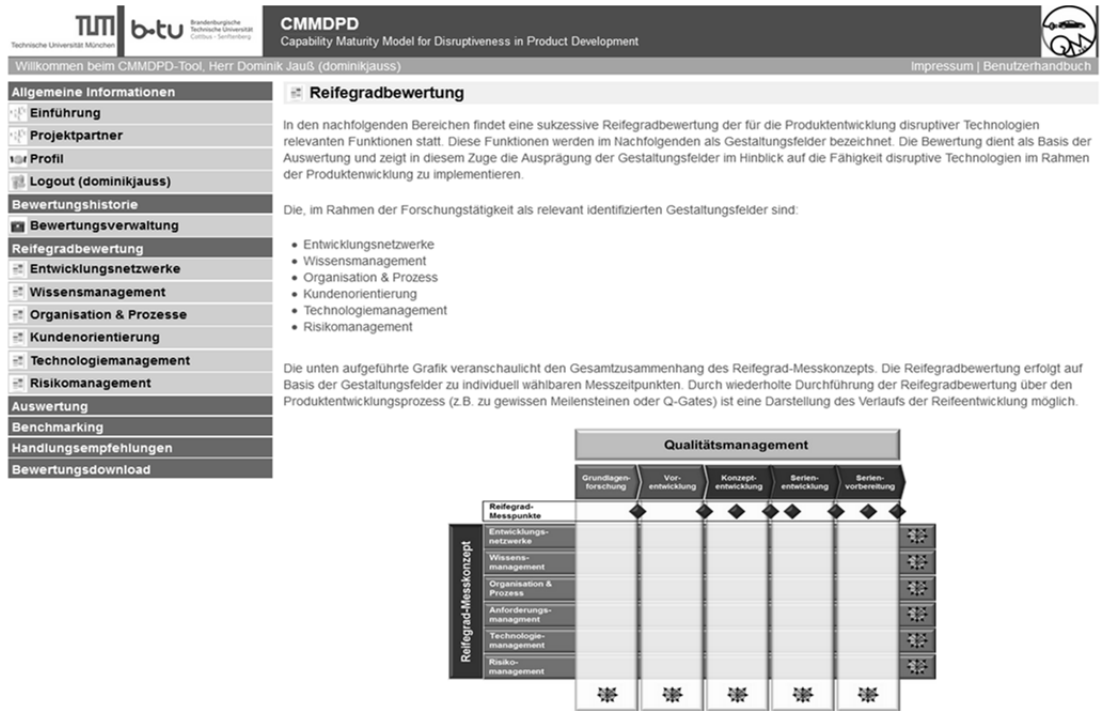


Abbildung 8-4: Übersicht Reifegradbewertung

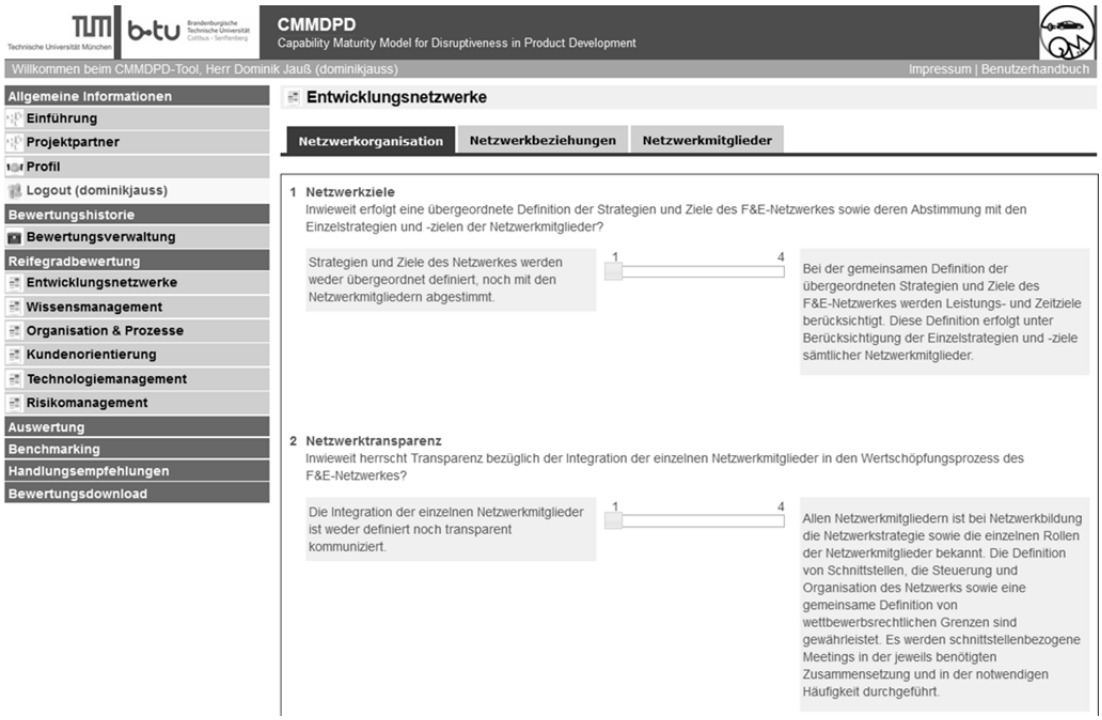
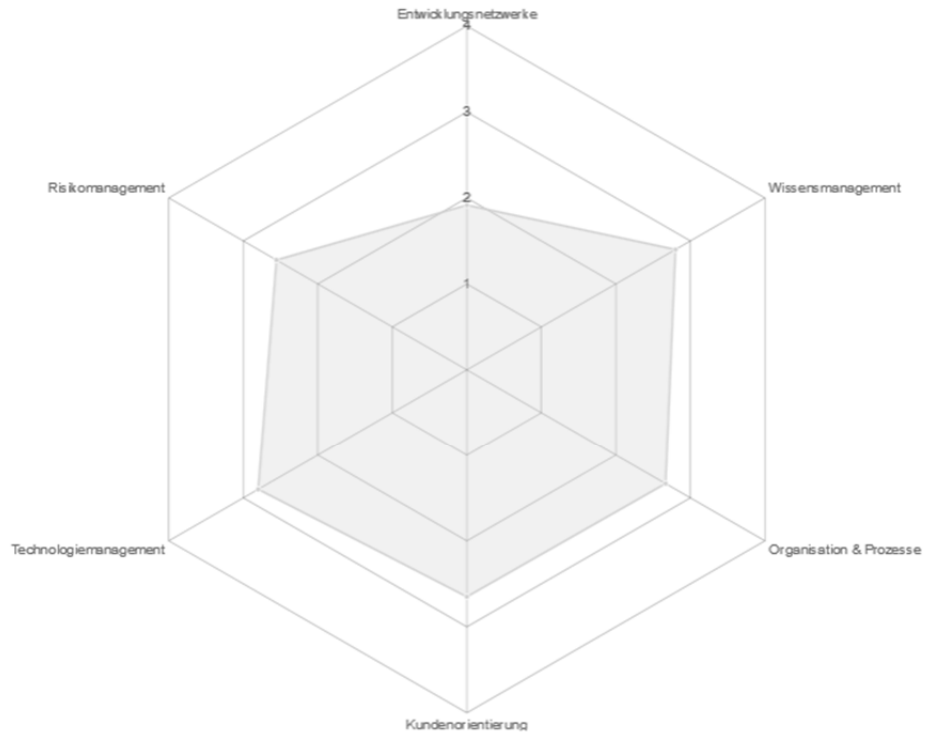


Abbildung 8-5: Exemplarische Reifegradbewertung

Scoreboard

Projekt	Punkte
Das Projekt (Mittelwert)	2,565



Entwicklungsnetzwerke (Mittelwert)	1,917
Wissensmanagement (Mittelwert)	2,8
Organisation & Prozesse (Mittelwert)	2,667
Kundenorientierung (Mittelwert)	2,65
Technologiemanagement (Mittelwert)	2,8
Risikomanagement (Mittelwert)	2,556

Abbildung 8-6: Exemplarische Übersicht Scoreboard

Auswertung – Entwicklungsnetzwerke

Scoreboard

Projekt	Punkte
Entwicklungsnetzwerke (Mittelwert)	1,917

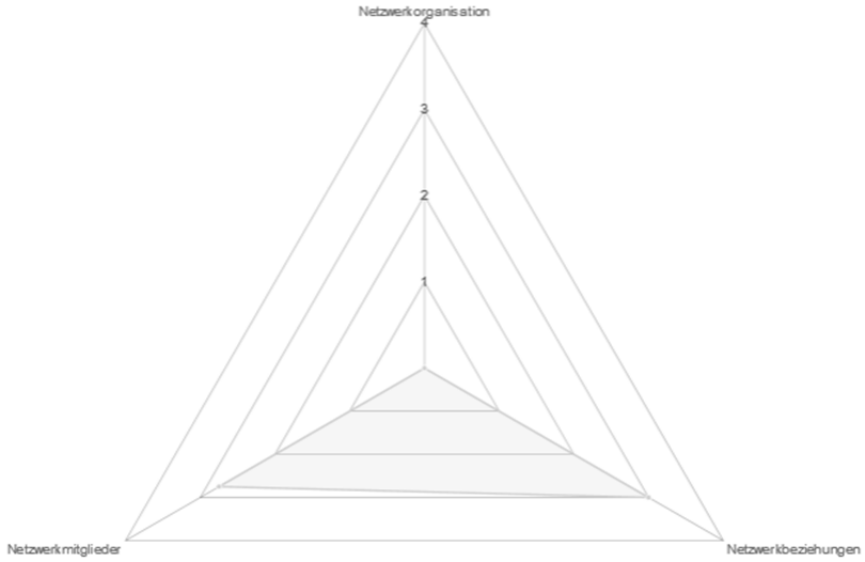


Abbildung 8-7: Exemplarische Reifegradauswertung Netzdiagramm

Netzwerkorganisation (Mittelwert)	0
Netzwerkbeziehungen (Mittelwert)	3
Punktzahl (Summe)	12
1. „Know-How"-Schutz (Einzelwert)	3
2. Informations- und Kommunikationsfluss (Einzelwert)	3
3. Vertrauensgrad (Einzelwert)	4
4. Netzwerkreziprozität (Einzelwert)	2
Netzwerkmitglieder (Mittelwert)	2,75

Abbildung 8-8: Exemplarische Reifegradauswertung Polaritätenprofil

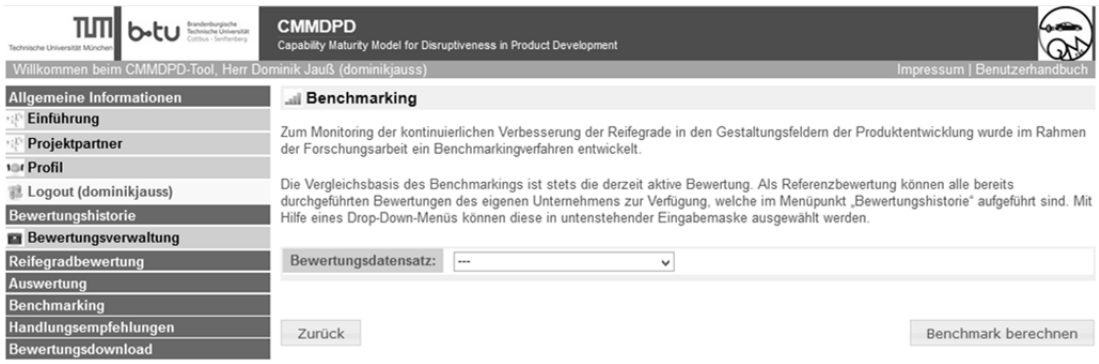


Abbildung 8-9: Benchmarking Auswahl Referenzbewertung

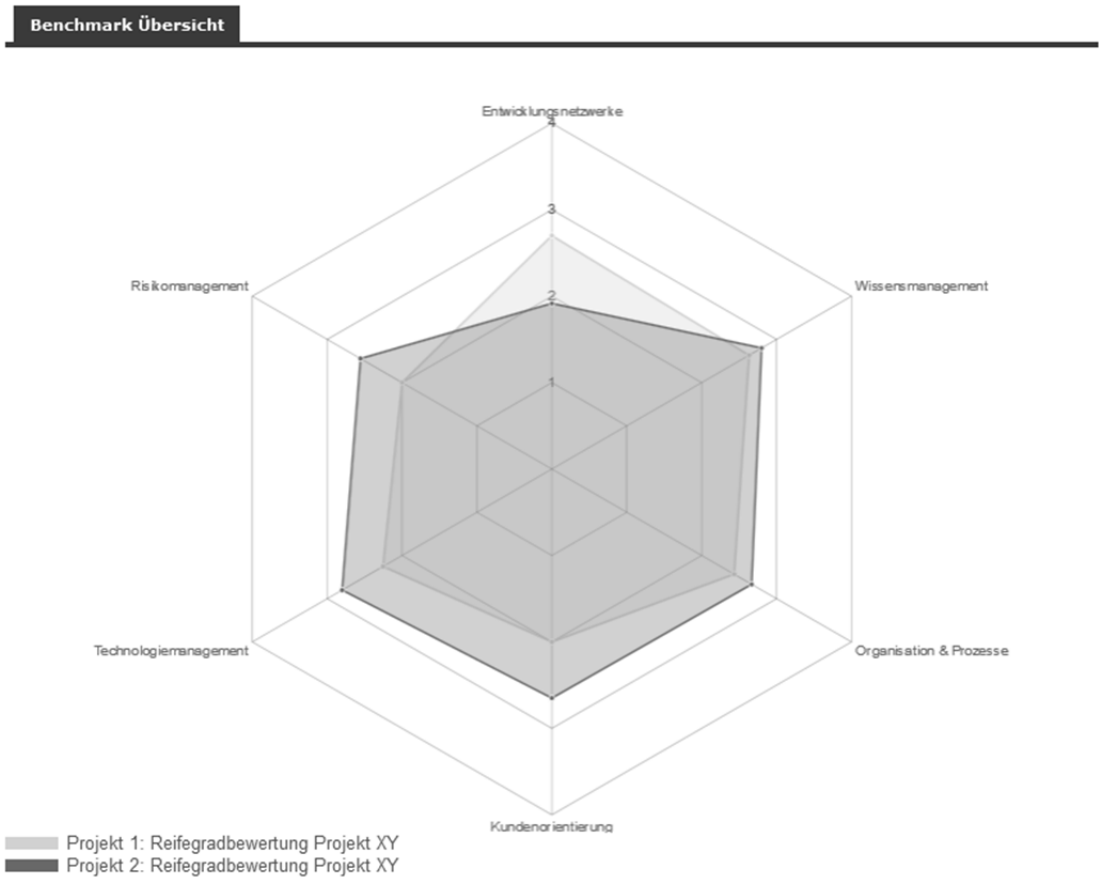


Abbildung 8-10: Exemplarischer Benchmark Entwicklungsnetzwerke



Abbildung 8-11: Handlungsempfehlungen im IT-Tool

Stichwortverzeichnis

A

Ablauforganisation 221, 231
Antriebsstrang 21, 57, 67, 94, 112, 155
Aufbauorganisation 228, 340
Automobilindustrie 16, 58, 72, 94, 104, 378

B

Batteriesystem 72, 94, 100, 120, 155, 393

E

Elektromobilität 15
Energieeffizienz 22, 80, 118, 263
Entwicklungskooperationen 108, 115, 143, 182
Entwicklungsnetzwerke 152, 186, 291, 395, 406

G

Gestaltungsfelder 35, 49, 180, 192, 411
Grundlagenforschung 40, 48, 124, 143, 192

H

Handlungsempfehlungen 195, 289, 293

I

Innovationsstrategie 244, 265, 266, 302

K

Kapazitätsplanung 203, 206
Kommunikationsfluss 135, 208, 277
Konzeptentwicklung 141, 153, 307, 382
Konzepttauglichkeit 49, 157
Kooperationen 16, 108, 202

Kundenanforderungen 161, 174, 328, 391
Kundenintegration 183, 306
Kundenmanagement 242
Kundennutzen 99, 103, 184, 401

L

Leichtbau 20, 87, 98, 124, 187, 401, 405

M

Messkonzept 51, 288
Mitarbeiterintegration 326

N

Netzwerkbeziehungen 197, 203, 305
Netzwerkerfahrung 212, 214
Netzwerkmitglieder 34, 133, 204
Netzwerkorganisation 202, 297, 345
Netzwerkreziprozität 208
Netzwerksteuerung 203, 207
Netzwerktransparenz 203
Netzwerkziele 132, 203

O

Open Innovation 134, 181, 222, 315

P

Produktentstehungsprozess 42, 175, 189, 400
Produktentwicklungen 243, 407
Produktentwicklungsprozess 42, 100, 109, 153, 194, 199
Produktinnovationen 232, 233
Produktlebenszyklus 21, 30, 42, 164, 260, 281, 388
Produktportfolio 98

Prozessdefinition 234, 369
Prozessinnovationen 143, 381
Prozessphasen 182
Prozessreife 64, 395
Prozesssicherheit 130, 395

Q

Qualitätsmanagement 19, 37, 44, 60, 165, 187, 402, 405
Qualitätsmanagements 18
Qualitätssicherung 63, 65, 101, 108, 138
Quality Gate 175, 189, 293

R

Recycling 26, 264, 347, 391
Reifegradmesspunkt 198
Reifegradmodell 18, 39, 54, 65, 291, 419
Ressourceneffizienz 152, 263, 264
Ressourcenverfügbarkeit 264, 281
Risikobewertung 342
Risikobewusstsein 274, 278, 312
Risikodiversifikation 215, 287
Risikohandhabung 274, 311
Risikoidentifikation 274
Risikokommunikation 277
Risikomanagement 25, 50, 181, 183, 328, 394
Risikoüberwachung 274, 276

S

Schlüsseltechnologien 16, 20, 42, 57, 94
Serienentwicklung 141, 191, 345
Serienvorbereitung 141, 345

Simulationsverfahren 284

T

Technologiebewertung 259, 298
Technologieentwicklung 78, 143, 268, 397
Technologiefrüherkennung 255, 383
Technologielebenszyklus 93, 272
Technologiemanagement 185, 392
Technologiestrategie 113, 149
Technologietiefe 268

U

Unternehmenskultur 218, 221, 224, 236, 239, 346

V

Vorentwicklung 141, 148, 192, 300

W

Wandlungsfähigkeit 186, 203, 205, 206, 399
Wertschöpfungsstufen 103
Wissensbewahrung 134, 223
Wissenserwerb 134, 379
Wissensmanagement 34, 50, 184, 397
Wissensnetzwerk 135
Wissenstransfer 134, 208, 221