
Erfolgsindikatoren in der technischen Produktentwicklung¹



Beate Bender und Marion Steven

Innovation, Produktentwicklung, Kennzahlen, Erfolgsmessung, Forschung und Entwicklung, Engineering, Controlling-Instrumente, Entwicklungsmanagement

innovation, product development, performance indicators, performance measurement, engineering, controlling instruments, design management



Innovationen werden durch erfolgreiche Produktentwicklungsprozesse hervorgebracht. Eine erfolgreiche Produktentwicklung ist somit von grosser strategischer Bedeutung für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Dennoch gibt es bisher in diesem Bereich keine allgemein akzeptierten Grössen für eine aussagekräftige Erfolgsmessung. Der interdisziplinär angelegte Beitrag fokussiert diese Problematik aus ingenieurwissenschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Perspektive. Ausgehend von den wesentlichen Fragestellungen in der Produktentwicklung werden Kennzahlen als Instrument der Erfolgsmessung zunächst diskutiert. Anschliessend wird ein Ansatz entwickelt, mit dem sich Produktentwicklungsaktivitäten so klassifizieren lassen, dass jeder Klasse geeignete Kennzahlen als Erfolgsindikatoren zugeordnet werden können. Dies wird an zwei praktischen Beispielen veranschaulicht.

Innovation is the result of successful product development processes. Therefore, successful product development is indispensable for future competitiveness of an enterprise and thus of strategic relevance. Still there is no generally agreed measurement for development success. The contribution focuses this problem from an interdisciplinary perspective combining engineering and economic points of view. Followed by an overview of what product development is and how its success can be defined, performance indicators are introduced as success measures. Subsequently an approach for classification of product development activities is presented. Based on this approach adequate performance indicators are attributed to each class. The use of the approach is illustrated by two practical examples.

1. Problemstellung

Innovationen und deren gelungene Umsetzung in marktfähige Produkte spielen eine zentrale Rolle für den Erfolg eines Unternehmens. Sie sind das Ergebnis von zielgerichteten

1 Die Autorinnen danken zwei anonymen Gutachtern, deren wertvolle Kommentare erheblich zur Verbesserung des Beitrags beigetragen haben.

Aktivitäten zur Entwicklung von neuen Produkten und von Methoden, um diese zu definieren und auszuarbeiten (DIN EN ISO 9000 (2014)). Daher werden Instrumente zur systematischen Planung, Steuerung und Kontrolle von Entwicklungsprozessen benötigt.

Technische Innovation kann im Unternehmen an unterschiedlichen Stellen stattfinden. Häufige Abteilungsbezeichnungen sind Forschung und Entwicklung (FuE), Vorentwicklung, Konstruktion oder auch Engineering. Die damit verbundene Aktivität wird im Folgenden als (technische) *Produktentwicklung* bezeichnet – der Begriff stellt die Kombination von Forschung und Entwicklung sowie Konstruktion dar, wie es im ingenieurwissenschaftlichen Sprachgebrauch üblich ist. Damit fokussiert er aus dem komplexen Prozess des Innovationsmanagements (vgl. z. B. Corsten *et al.* 2006, S. 163ff.) die eigentliche FuE-Phase.

Der Ruf betrieblicher Funktionen, in denen Produktentwicklung stattfindet, ist in Industrieunternehmen oft schlecht. Entwicklungsaktivitäten gelten als nicht planbar in Bezug auf Zeit, Kosten und Qualität. Statt konkret umsetzbare Lösungen zu liefern, werden häufig neue (technische) Probleme aufgeworfen, was wiederum die geringe Planungssicherheit bestätigt.

Auf der Basis langjähriger Industrierfahrung im Anlagenbau kombiniert mit der theoretischen Betrachtung der Ziele und Vorgehensweisen der Produktentwicklung einerseits (vgl. Bender *et al.* 2001) sowie der wissenschaftlichen und praktischen Auseinandersetzung mit Controlling-Methoden in der Produktionswirtschaft andererseits wird im Folgenden ein Vorschlag zur Klassifikation von Produktentwicklungsaktivitäten vorgestellt, der eine effektive Messung des Entwicklungserfolgs mithilfe von Kennzahlen erlaubt. Das Ziel des Beitrags besteht darin zu zeigen, wie sich die Erfolgsmessung jeweils an der spezifischen Entwicklungsaufgabe ausrichten kann.

Die interdisziplinäre Sichtweise spiegelt sich im Aufbau des vorliegenden Beitrags wider. Im zweiten Kapitel wird zunächst auf die spezifischen Problemstellungen, Vorgehensweisen und Arbeitsergebnisse der Produktentwicklung eingegangen. Insbesondere wird die Frage erörtert, wodurch sich eine erfolgreiche Produktentwicklung charakterisieren lässt. Kapitel 3 setzt sich mit Kennzahlen als Erfolgsindikatoren für die Produktentwicklung auseinander. In Kapitel 4 werden diese beiden Perspektiven zu einem Ansatz zusammengeführt, der Produktentwicklungsaktivitäten systematisiert und jeder Klasse geeignete Erfolgsindikatoren zuordnet. Dies wird mit praktischen Beispielen untermauert. Der Beitrag schliesst mit einem Ausblick auf weitere Forschungsfragen.

2. Erfolgreiches Management von Produktentwicklungsprozessen

Im Unterschied zum Innovationsmanagement, das sich allgemein auf die Initiative, die Prozessbegleitung und die Rahmengestaltung für Erneuerungsprozesse bezieht (Hauschildt/Salomo 2011), ist die Zielsetzung der technischen Produktentwicklung nicht zwangsweise die Installation eines Erneuerungsprozesses oder die Innovation – es kann hier auch um die konkrete Problemlösung bei der Umsetzung einer (vorgegebenen) Produktidee in ein technisches Produkt gehen. Die Erfolgsmessung technischer Produktentwicklungsprozesse erfordert somit spezifische Indikatoren.

Die Kernfrage für das erfolgreiche Management von Produktentwicklungsprozessen lautet, wo und wie man deren Erfolg messen kann und inwieweit vergleichbare Indikatoren aus anderen Bereichen übertragbar sind. Um eine befriedigende Antwort auf diese Frage zu finden, muss sie in zwei Teile untergliedert werden:

1. Was ist Produktentwicklung bzw. wie können deren *Aktivitäten* charakterisiert werden?
2. Woran ist der *Erfolg* von Produktentwicklungsaktivitäten messbar?

Beide Fragen sind schon vielfältig untersucht worden, jedoch bisher nicht in Kombination. Den Bedarf an allgemeingültigen Kenngrößen für den *Erfolg von FuE-Aktivitäten* verdeutlicht ein im Oktober 2014 vom Stifterverband für die deutsche Wissenschaft durchgeführter interdisziplinärer Methodenworkshop zur Operationalisierbarkeit des Erfolgs von Forschung und Entwicklung (Stifterverband 2014).

Die Untersuchung beispielsweise des Umsatzanteils neuer Produkte, der als outputbezogene Messgröße für den FuE-Erfolg in Frage kommt, zeigt uneinheitliche und unerwartete Ergebnisse. Bei der empirischen Analyse der vom Stifterverband jährlich deutschlandweit erhobenen FuE-Daten für die Jahre 2009 bis 2011 hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen dem Umsatzanteil neuer Produkte als Erfolgsmass und verschiedenen Einflussgrößen wurde im Einzelnen festgestellt:²

- Unternehmen mit weniger als 50 Beschäftigten haben einen höheren Umsatzanteil neuer Produkte als grössere Unternehmen.
- Der Umsatzanteil neuer Produkte steigt sowohl mit den FuE-Aufwendungen als auch mit dem Anteil des FuE-Personals an den Beschäftigten, allerdings nur bei Unternehmen mit weniger als 500 Beschäftigten.
- Der Umsatzanteil neuer Produkte steigt nur in Unternehmen mit weniger als 50 Beschäftigten mit dem Anteil der Grundlagenforschung an den FuE-Aufwendungen.

Dieser Befund verdeutlicht, dass die Messung des Erfolgs in der Produktentwicklung nicht nur an der Outputgröße *Umsatz* festgemacht werden darf, sondern auf anderen Indikatoren aufbauen muss. Darüber hinaus ist es offensichtlich erforderlich, das Untersuchungsobjekt Produktentwicklung näher zu analysieren und die Zusammenhänge zwischen FuE-Aktivitäten und FuE-Erfolg zu untersuchen.

2.1 Was ist Produktentwicklung?

Die *DIN EN ISO 9000 (2005)* definiert Entwicklung als einen Satz von Prozessen, der Anforderungen in festgelegte Merkmale oder in die Spezifikation eines Produkts, eines Prozesses oder eines Systems umwandelt. Bereits 1972 begannen *Pahl* und *Beitz* mit der Entwicklung der sogenannten *Konstruktionsmethodik*, die ausgehend von Erkenntnissen der Systemtheorie ein besseres Verständnis und eine effizientere Steuerung des Produktentwicklungsprozesses erlauben sollte (Beitz 1972). Die wesentlichen Inhalte haben bis heute Bestand und sind die Basis der deutschen Richtlinie *VDI 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“*, die zuletzt 1993 veröffentlicht wurde (VDI 1993) und sich aktuell in Überarbeitung befindet.

Der Grundgedanke einer allgemeingültigen systematischen Vorgehensweise für den Problemlöseprozess in der Produktentwicklung findet sich auch in anderen Vorgehensstrategien. Der Ansatz wurde teils neuinterpretiert, ergänzt oder angepasst (vgl. z. B. *Feldhusen/Grote 2013, Ehrlenspiel/Meerkamm 2013*), eine vergleichende Übersicht findet sich in *Schäppi et al. (2005)*. Dabei ist das grundlegende Paradigma erhalten geblieben, dessen

2 Die Autorinnen danken Frau Dr. Verena Eckl und Frau Dr. Barbara S. Grave vom Stifterverband für die Durchführung der Analysen in ihrer Datenbasis.

graphische Darstellung und charakteristische Auswirkungen auf den Ergebnisraum von Produktentwicklungsaktivitäten *Abbildung 1* zeigt (vgl. Ponn 2007, Roelofson et al. 2007 nach Rude 1998). Der *Lösungsraum* ist wie folgt beschrieben:

- In der vertikal dargestellten Dimension ist der *Konkretisierungsgrad* der gesuchten Lösung im Verlauf des Produktentwicklungsprozesses dargestellt. Ausgehend von abstrakten Anforderungen wird die Lösung schrittweise über die gezeigten Ebenen von oben nach unten konkretisiert. Dabei wird auf der Funktionsebene eine Funktionsstruktur, auf der Wirkebene eine Prinzipskizze und auf der Entwurfsebene das eigentliche Bau- modell (CAD-Modell) dargestellt.

Auf jeder Konkretisierungsebene können potenzielle Lösungen in den beiden folgenden Dimensionen der jeweiligen Bildebene weiter differenziert werden:

- Der *Integrationsgrad* beschreibt in der horizontalen Achse der Bildebene, inwieweit die Lösung auf der jeweiligen Konkretisierungsebene als einzelnes Element (monolithisch) oder das Gesamtsystem bestehend aus (modularen) Einzelementen betrachtet wird.
- Der *Variationsgrad* stellt auf der vertikalen Achse der Bildebene die Anzahl möglicher Lösungsvarianten dar. Erst wenn mehrere potenzielle Lösungsvarianten vorliegen, kann anhand der zu Beginn der Entwicklung definierten Anforderungen eine Entscheidung über die Auswahl der bestmöglichen Lösung getroffen werden.

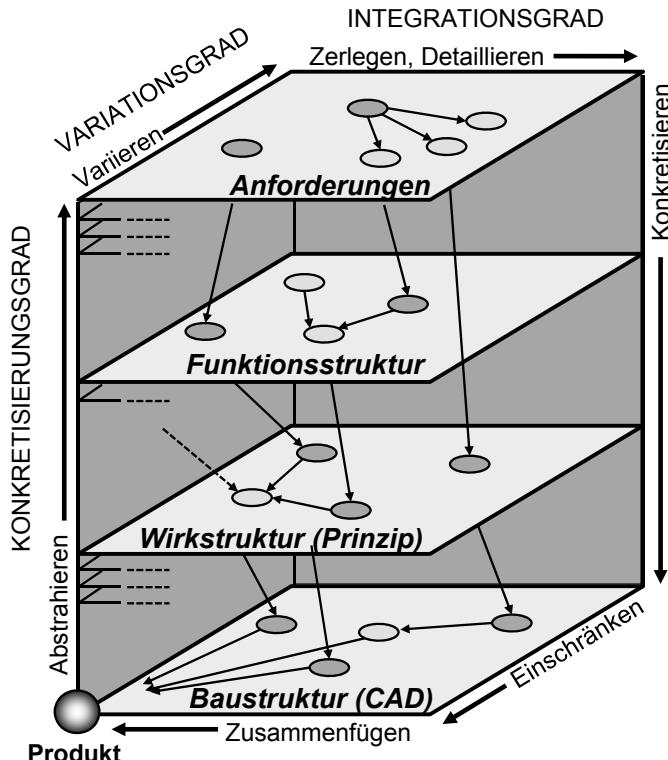


Abbildung 1: Lösungsraum für ein Produktentwicklungsproblem (Ponn 2007 nach Rude 1998)

Jeder Punkt des Lösungsraums in *Abbildung 1* gibt somit eine spezifische Produktentwicklungslösung auf einem definierten Konkretisierungsgrad an. Insgesamt enthält der Lösungsraum aus technischer Sicht sämtliche potenziellen *Lösungsvarianten* für ein Produktentwicklungsproblem. Die Auswahl der letztlich realisierten Lösung erfolgt nicht in einer Reihe von wohldefinierten Schritten (s. auch *Paetzold* 2004), sondern im Laufe des nicht-deterministischen Prozesses der Produktentwicklung unter Berücksichtigung konfliktärer Ziele. Letztlich stellt jede Produktentwicklungs Lösung einen Kompromiss aus konträren Anforderungen an das Produkt dar.

Aus ökonomischer Sicht besteht ein solcher *Zielkonflikt* zwischen den Zielen Termin, Kosten und Qualität. Für die Produktentwicklung bedeutet dies, dass ein Produkt nicht gleichzeitig minimale Entwicklungszeit beanspruchen, möglichst geringe Produktkosten verursachen und von höchster Qualität sein kann. Entsprechend muss auf strategischer Ebene eine Entscheidung über die Priorisierung dieser Zielsetzungen stattfinden. Daher existiert üblicherweise keine ideale ingenieurtechnische Lösung, denn jede Veränderung bei den strategischen Zielen führt zu einem anderen Pfad der Produktentwicklung und damit zur Veränderung der technischen Lösung.

Ein weiterer Aspekt, der bei der Beurteilung der Ergebnisse von Produktentwicklungsaktivitäten berücksichtigt werden muss, ist die Tatsache, dass über die Entwicklung konkreter Produkte hinaus FuE-Ergebnisse auch auf der *Prozessebene* erzielt werden. Diese umfassen die Entwicklung von spezifischen Kompetenzen des Unternehmens bzw. der Mitarbeiter bezüglich relevanter Technologien oder die Gestaltung von Entwicklungsmethoden sowie spezifischen Prozessen. Auch die Erarbeitung von strategischen Suchfeldern mit Bezug zu bestimmten Märkten oder Technologien kann in einer Entwicklungsabteilung – z.B. mithilfe der Szenario-Technik – den Kern des Produktentwicklungserfolgs ausmachen.

2.2 Wo und wie ist Erfolg in der Produktentwicklung messbar?

Die Aktivitäten und Ergebnisse der Produktentwicklung sind bereits vielfach untersucht worden (vgl. z. B. *O'Donnell/Duffy* 2005). Hierbei wird in der Regel die „product development performance“ adressiert, eine Messgröße, die zwar Aussagen z. B. über den Ressourcenverbrauch oder die Zeitdauer einzelner Phasen erlaubt, nicht aber über den eigentlichen Erfolg dieser Aktivitäten. In einer aktuellen Studie (*Fixson/Marion* 2012) wurden die Auswirkungen des CAD-Einsatzes auf Produktentwicklungsaktivitäten in unterschiedlichen Entwicklungsphasen untersucht. Sie liefert wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf den Methoden- bzw. Werkzeugeinsatz, jedoch nicht auf die für das Management wahrscheinlich interessanteste Frage nach der *Qualität* des eigentlichen Ergebnisses mit bzw. ohne CAD Einsatz.

Die Problematik der Bewertung von Produktentwicklungsergebnissen folgt aus dem in Abschnitt 2.1 beschriebenen, nicht-deterministischen Lösungsfindungsprozess der Produktentwicklung. Aufgrund der Tatsache, dass ein Lösungsraum mit einer unendlich grossen Anzahl potenzieller Lösungsvarianten auf unterschiedlichen Konkretisierungsebenen existiert, die jeweils spezifische Vor- und Nachteile im Hinblick auf konkurrierende Entwicklungsziele haben, ist die Beurteilung des FuE-Erfolgs allein anhand der vorliegenden Lösung nicht möglich.

Erschwerend kommen die grundsätzlich anderen Mechanismen der Erfolgsmessung von „blue collar“-Aktivitäten gegenüber „white collar“-Aktivitäten hinzu, da bei letzteren in der Regel kein physikalisch erfassbares Ergebnis produziert wird. Hier werden Indikatoren

wie Anzahl der Mitarbeiter, Dauer der einzelnen Entwicklungsphasen und Anzahl der erstellten Prototypen verwendet. Damit wird zwar erfasst, ob bzw. womit der einzelne Mitarbeiter beschäftigt ist. Das „Beschäftigt-Sein“ alleine lässt jedoch keine Aussage über die Effizienz und die Qualität der Ergebnisse zu. Der Forschungsbedarf auf diesem Gebiet wird insbesondere vor dem Hintergrund der Entwicklung effektiver Anreizsysteme diskutiert (Hopp *et al.* 2009).

Betrachtet man darüber hinaus die Organisationsstruktur eines Unternehmens, so stellt man fest, dass nicht nur die betrieblichen Einheiten, die sich explizit mit Innovation und Produktentwicklung beschäftigen – unabhängig von ihrer Bezeichnung – zum Erfolg der Produkte oder Dienstleistungen beitragen. Schröder (2003) betont beispielsweise den Unterschied der strategischen Perspektive zwischen Technologieentwicklung und Vorentwicklung als Quelle für solche Interpretationsspielräume. Da offensichtlich in beiden Bereichen Innovationen erzeugt werden, muss die Erfolgsmessung an die jeweils vorhandenen aussagekräftigen Messgrößen angepasst werden.

Ein Blick auf den Lebenszyklus eines Produkts zeigt weiter, dass der Markterfolg nicht alleine auf die Entwicklung der technischen Lösung zurückzuführen ist, sondern dass im Grunde sämtliche Funktionen des Unternehmens daran mitwirken. Um ein neues Produkt entwerfen zu können, muss in einer früheren Phase ein Markt- oder Kundenbedürfnis identifiziert werden. Dies kann im industriellen Kontext im Bereich Marketing oder Vertrieb, aber auch in der Service- und Wartungsabteilung erfolgen. Auch die Fertigung spielt eine Rolle für den Erfolg einer Produktentwicklung, denn der beste Entwurf ist wertlos, wenn die Produktqualität aufgrund mangelhafter Fertigung den Kunden nicht überzeugt.

Schliesslich hängt der Markterfolg eines Produkts nicht notwendigerweise mit der Qualität des Entwurfs zusammen. Es gibt zahlreiche Beispiele für „gute“ Produkte, die am Markt erfolglos bleiben, während umgekehrt einige „schlechte“ Produkte z. B. aufgrund von intensiven Marketingaktivitäten einen grossen Marktanteil erreichen. Zudem gibt es Ergebnisse der Produktentwicklung, die gar nicht marktfähig sind, z. B. die Entwicklung eines strategischen Suchraums, einer Vorgehensstrategie oder einer Kompetenz. Dennoch können diese Resultate aus einem erfolgreichen Entwicklungsprozess hervorgehen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Kriterien für die Bewertung des Erfolgs von Produktentwicklungsaktivitäten sowohl hinsichtlich der Qualität des eigentlichen Ergebnisses als auch dessen Beitrags zum (strategischen) Unternehmenserfolg nur im spezifischen Kontext diskutiert werden können. In einer Metastudie wurden alleine 236 verschiedene Kontextfaktoren identifiziert, die den Produktentwicklungsprozess beeinflussen (Gericke *et al.* 2013). Aber gerade aufgrund der komplexen Randbedingungen im Umfeld von FuE sind Planung, Steuerung und Kontrolle kritische Erfolgsfaktoren.

3. Kennzahlen für die technische Produktentwicklung

Controllingaktivitäten für Produktentwicklungsprojekte stehen vor der Herausforderung, dass durch die integrierte Leistungsplanung und -erstellung eine Verknüpfung von internem Controlling sowie technologiebezogenem und marktbezogenem Controlling über den gesamten Produktlebenszyklus stattfinden muss (Schäppi *et al.* 2005).

Es gibt in der ingenieurwissenschaftlichen Literatur eine Vielzahl von verschiedenen Kennzahlen und Kennzahlensystemen zur Unterstützung des Managements der Produktentwicklung (Linnhoff 1996, Schröder 2003, Schäppi *et al.* 2005, Hahn *et al.* 2013, Dziobczenski *et al.* 2013, Schabacker/Gröpper 2015 – einen Überblick geben Taylor/

Ahmed-Kristensen 2014). In diesem Kapitel erfolgen zunächst eine Definition sowie eine grundsätzliche Klassifikation dieser Kennzahlen. Weiter werden Beispiele für häufig in der Produktentwicklung verwendete Kennzahlen angegeben. Schliesslich werden die wesentlichen Probleme dieser Art der Erfolgsmessung diskutiert.

3.1 Definition und Klassifikation von Kennzahlen

Strategische und operative Kennzahlen sind ein wichtiges Instrument, um sowohl den Zustand als auch die Entwicklung der verschiedenen betrieblichen Subsysteme zu bestimmen und zu steuern (vgl. z. B. Franz 1999, Gladen 2014, Küpper 2005, Meyer 2011, Reichmann 2011). Zusätzlich zu ihrer Managementfunktion stellen sie den Entscheidungsträgern adäquate Informationen bereit. Die sorgfältige Auswertung, welche Ergebnisse mit der Planung erzielt wurden, ist ein wertvolles Hilfsmittel sowohl für zukünftige Entscheidungen als auch für die Vorgabe von Ergebniszielen. Darüber hinaus können strategische Kennzahlen als Massstab im Rahmen von Anreizsystemen genutzt werden.

Eine *Kennzahl* ist eine quantitative Grösse, die bestimmte betriebliche Zustände oder Tatsachen abbildet (Steven 2007). Kennzahlen sind für sämtliche betrieblichen Funktionen von Bedeutung, um deren Aktivitäten in Bezug zum Gesamtunternehmen planen, steuern und kontrollieren zu können. Dies gilt auch für Funktionen, die im Zusammenhang mit der Produktentwicklung stehen. Damit sie ihre Entscheidungsunterstützungsfunktion erfüllen können, müssen Kennzahlen eindeutig und im Zeitablauf konstant formuliert sein, regelmässig in nachvollziehbarer Weise bestimmt werden und auf möglichst aktuellen Daten basieren. Weiter müssen sie die zugrunde liegenden Tatsachen adäquat abbilden und schliesslich muss ihre Erhebung zu vertretbaren Kosten möglich sein.

Inhalt	Qualität	Mengen- größen	Zeit- größen	Wert- größen
Skalenniveau	Nominalskala	Ordinalskala	Kardinalskala	
Wertschöpfungs- phase	Input	Prozess	Output	
Planungs- horizont	langfristig	mittelfristig	kurzfristig	
Zeitbezug	Zukunft		Vergangenheit	
Adressat	intern		extern	
Aggregations- grad	strategisch		operativ	
Sicherheits- grad	Unsicherheit	Risiko		Sicherheit

Abbildung 2: Kriterien zur Klassifikation von Kennzahlen

Um die Auswahl aus der Fülle potenzieller Kennzahlen zu unterstützen, bietet es sich an, sie mithilfe eines morphologischen Kastens zu klassifizieren. Sowohl strategische als auch operative Kennzahlen lassen sich – wie in *Abbildung 2* gezeigt – anhand der Kriterien Inhalt, Skalenniveau, Wertschöpfungsphase, Planungshorizont, Zeitbezug, Adressat, Aggregationsgrad und Sicherheitsgrad (vgl. *Dellmann* 2002) unterscheiden.

3.2 Beispiele für Kennzahlen in der Produktentwicklung

Es gibt eine grosse Anzahl von Kennzahlen, die von Industrieunternehmen regelmässig im Rahmen der Produktentwicklung genutzt werden. Nachfolgend werden entsprechende Beispiele für die in *Abbildung 2* genannten Kriterien gegeben (vgl. *Brown/Svenson* 1998, *Gräf/Langmann* 2011).

1. *Inhalt:* Die mithilfe der Kennzahl beschriebenen Sachverhalte können in der Produktentwicklung die folgenden Ausprägungen aufweisen.

- Qualitätsbezogene Kennzahlen sind z. B. die Kundenzufriedenheit, die Konformität der Produkte und Prozesse mit gängigen Normen, die Anzahl der fehlerfreien Zeichnungen oder der Grad der Erfüllung von zuvor formulierten Anforderungen.
- Mengengrössen sind z. B. die Anzahl der erhaltenen Patente, die Anzahl der erzeugten Produktdesigns, die Anzahl der durchgeföhrten Projekte (*Brown/Svenson* 1998) oder die Anzahl der Angestellten in der Entwicklungsabteilung.
- Als Wertgrössen kommen das Entwicklungsbudget, die Entwicklungsausgaben oder die Endproduktkosten in Betracht.
- Sinnvolle Zeitgrössen sind die Entwicklungszeit bis zum Markteintritt (time to market), die durchschnittliche bzw. maximale Dauer der Projekte, die Zykluszeit der Produktentwicklung oder die Projektvorlaufzeit.

Diese Kennzahlen können entweder als Absolutzahlen oder als Verhältniszahlen aufgestellt werden. Beispiele für Verhältniszahlen sind die Patente pro Jahr, die Entwicklungsausgaben in Bezug auf den Umsatz oder die Rentabilität der Entwicklungsausgaben.

2. *Skalenniveau:* Die Kennzahlen können eine nominale Ausprägung haben (z. B. Qualität ist in Ordnung – Qualität ist nicht in Ordnung), ordinale Ausprägung (z. B. der Grad der Kundenzufriedenheit) oder kardinale Ausprägung (z. B. Erlöse aus Verkäufen der entwickelten Produkte). Der grösste Teil der verwendeten Kennzahlen ist kardinal definiert.

3. *Wertschöpfungsphase:* Nach diesem Kriterium unterscheidet man zwischen input-, prozess- und outputbezogenen Kennzahlen, um die Verantwortlichkeit für die verschiedenen Phasen der Produktentwicklung abzugrenzen.

- Inputbezogene Kennzahlen sind z. B. die Anzahl der in der Produktentwicklung Beschäftigten oder die Ausgaben für die Produktentwicklung.
- Als prozessbezogene Kennzahlen zur Steuerung der Produktentwicklung eignen sich Meilensteine in Bezug auf die Einhaltung von Entwicklungsphasen, z. B. gemäss der VDI Richtlinie 2221 (vgl. *VDI* 1993) oder aus anderen Vorgehensmodellen für die Produktentwicklung.
- Auf den Output beziehen sich Kennzahlen wie die Anzahl der Produktvarianten, die Anzahl der Patente oder die Anzahl neuer Produkte.

4. **Zeit:** Der Zeitaspekt von Kennzahlen weist zwei Dimensionen auf. In Bezug auf den *Zeithorizont* gilt, dass die Produktentwicklung in einer langfristigen Perspektive durchgeführt wird. Daher weisen die meisten hier verwendeten Kennzahlen einen Horizont von mehr als einem Jahr auf. Bezüglich des *Zeitbezugs* besteht eine deutliche Diskrepanz zwischen den Anforderungen an die Kennzahlen und den Möglichkeiten ihrer Bereitstellung. Die meisten in der Produktentwicklung eingesetzten Kennzahlen sind retrospektiv, da Vergangenheitsdaten einfach zu beschaffen sind. Allerdings wäre es wichtig, vermehrt zukunftsbezogene Kennzahlen bereitzustellen, denn diese haben eine weitaus grössere Bedeutung für die Erreichung spezifisch definierter Zielsetzungen. Aufgrund des komplexen Lösungsraums für Produktentwicklungsergebnisse ist es zudem schwer möglich, zukunftsorientierte Informationen durch einfache Interpolation von Vergangenheitsinformationen zu generieren.
5. **Adressat:** Kennzahlen können sich an interne oder externe Adressaten richten. Interne Kennzahlen wie die Anzahl der Prototypen, die Anzahl neuer Ideen oder das Entwicklungsbudget werden vorwiegend genutzt, um den Erfolg der Produktentwicklung im Zeitablauf zu beurteilen oder mit anderen betrieblichen Bereichen zu vergleichen. Extern verfügbare Kennzahlen wie der Marktanteil oder die Anzahl neuer Produkte pro Beschäftigtem erlauben einen Vergleich des Erfolgs der eigenen Produktentwicklung mit anderen Unternehmen im Rahmen eines Benchmarking.
6. **Aggregationsgrad:** Während auf der operativen Ebene eher detaillierte Kennzahlen bestimmt werden, dominieren auf der strategischen Ebene hoch aggregierte Schlüsselkennzahlen, die mit den kritischen Erfolgsfaktoren verbunden sind.
7. **Sicherheitsgrad:** Da die Produktentwicklung sich vorwiegend auf ein Potenzial in der Zukunft richtet (mindestens muss das Produkt erfolgreich gefertigt und vermarktet werden, oft aber auch noch lebenslang gewartet und instand gehalten), ist ein grosser Anteil der zugehörigen Kennzahlen durch einen hohen Grad an Risiko oder Unsicherheit gekennzeichnet.

Um den nachhaltigen Erfolg der technischen Produktentwicklung als einem wesentlichen Innovationstreiber sicherzustellen, müssen trotz der in Kapitel 2 diskutierten schwierigen Erfolgsbewertung geeignete Kennzahlen selektiert werden.

4. Erfolgsmessung mithilfe einer Klassifikation von Aktivitäten der Produktentwicklung

In Kapitel 3 wurden Kenngrössen zur Beschreibung von Produktentwicklungsaktivitäten diskutiert, deren Anwendbarkeit in vielen FuE-Projekten praktisch und erfolgreich erprobt ist. Jedoch wird der Controlling-Aufwand hauptsächlich im Hinblick auf die Effizienz der eingesetzten Mittel zur Umsetzung einer definierten Lösung betrieben, ohne die Sinnhaftigkeit der Lösung selbst oder gar deren Beitrag zum Unternehmenserfolg in den Fokus zu nehmen. Die Erfolgsplanung in der Produktentwicklung wendet typischerweise klassische Managementmethoden wie die Amortisationsrechnung oder die Erfolgsplanungsrechnung an (Schäppi et al. 2005, S. 286ff.).

Daher wird im folgenden Abschnitt eine Klassifikation von Produktentwicklungsaktivitäten im Hinblick auf deren potenzielle Ergebnisse in Abhängigkeit vom Gegenstand der Aktivitäten vorgeschlagen. Damit wird die Problematik der Erfolgsmessung (im Unterschied zur Performancemessung) zwar nicht grundsätzlich gelöst. Dennoch wird mindestens die Vergleichbarkeit der jeweils erhobenen Indikatoren ermöglicht. Diese Ergebnisse

wiederum bieten die Grundlage dafür, in weitergehenden Diskussionen und Forschungsprojekten die zielführende Erfolgsbewertung von FuE voranzutreiben.

4.1 Klassifikationsstrategie für die Erfolgsmessung

Betrachtet man die möglichen Ausprägungen der Ergebnisse der Produktentwicklungsaktivitäten, so lassen sich zwei Dimensionen unterscheiden:

1. **Anwendungsorientierung:** Diese Dimension stellt darauf ab, inwieweit die Produktentwicklung ein praktisches Problem löst oder im Bereich der Grundlagenforschung anzusiedeln ist. Die Grundlagenforschung geht der Anwendung zwar in der Regel voraus, jedoch können Unternehmen sich in einem der beiden Bereiche betätigen, ohne den jeweils anderen selbst zu besetzen. Bei der angewandten Produktentwicklung kann das Ergebnis der Produktentwicklung anhand der intern oder von Kundenseite definierten Anforderungen beurteilt werden, denn es lässt sich feststellen, ob die entwickelte Lösung zielführend ist oder nicht. In der Grundlagenforschung hingegen kann das Ergebnis der Produktentwicklung aus wissenschaftlicher Sicht bahnbrechend sein, ohne dass (bislang) eine praktische Anwendungsmöglichkeit existiert. Diese Art von Produktentwicklungsaktivitäten muss daher anhand ihres Markt- oder Innovationspotenzials beurteilt werden. Dabei ist keine exakte Messung möglich, sondern der Erfolg unterliegt häufig einer Interpretation.
2. **Objektorientierung:** Unabhängig von der Anwendungsorientierung kann der Gegenstand der Produktentwicklung entweder ein konkretes Produkt oder aber eine Strategie bzw. Kompetenz sein. Strategien als Gegenstand der Produktentwicklung sind z. B. mit Hilfe der Szenariotechnik erarbeitete Suchfelder, wohingegen die Entwicklung von Kompetenzen sich auf Berechnungsverfahren, aber auch auf die Entwicklung von Vorgehensmodellen oder -strategien beziehen kann. Der Erfolg der Entwicklung des konkreten Produkts kann wiederum anhand der zuvor formulierten Kundenanforderungen beurteilt werden, während die Beurteilung einer auf der Metaebene entwickelten Strategie oder Kompetenz zur grundsätzlichen Verbesserung des Produktentwicklungsfolgs deutlich schwerer zu beurteilen ist. Selbst die langfristigen Auswirkungen, die eine bestimmte Entwicklungsmethodik oder die zusätzlichen Kompetenzen der Mitarbeiter auf den Erfolg der Produktentwicklung haben, lassen sich angesichts zahlreicher weiterer Einflussfaktoren nur schwer bestimmen.

Anhand dieser beiden Dimensionen ist eine grobe Klassifikation von Produktentwicklungsaktivitäten mithilfe einer *Vier-Felder-Matrix* möglich. Die vier Quadranten in Abbildung 3 beziehen sich auf die folgenden Produktentwicklungsaktivitäten:

- **Quadrant I:** Grundlagenforschung zu Kompetenzen und Strategien für die Produktentwicklung
Beispiel: Entwicklung von allgemeinen oder spezifischen Vorgehensmodellen zur Erhöhung des Produktentwicklungsfolgs (Erarbeitung von Berechnungsverfahren für Normen und Richtlinien, Entwicklung allgemein anwendbarer Produktentwicklungsprozesse bzw. Teilprozesse)
- **Quadrant II:** Angewandte Forschung zu Kompetenzen und Strategien für die Produktentwicklung

Beispiel: unternehmensspezifische Berechnungsmethoden, Stufensprung einer Baureihenentwicklung für eine konkrete Produktanwendung

- *Quadrant III*: Angewandte Forschung auf der Ebene konkreter Produkte

Beispiel: Entwicklung eines einzelnen Werkzeugs, aber auch einer kompletten verfahrenstechnischen Anlage

- *Quadrant IV*: Grundlagenforschung auf der Ebene konkreter Produkte

Beispiel: Entwicklung neuer Werkstoffe oder eines neuen Fahrzeugantriebs

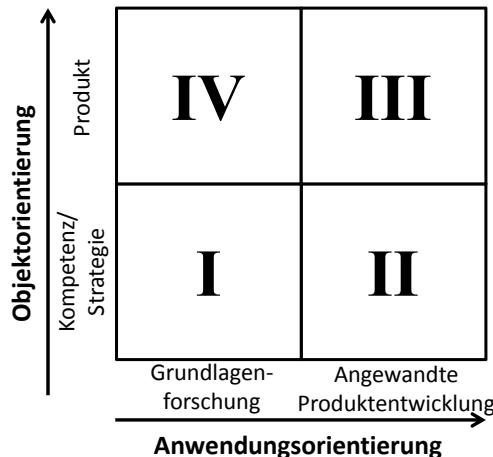


Abbildung 3: Vierfeldermatrix zur Klassifikation von Produktentwicklungsaktivitäten

Mithilfe dieser Einteilung können folgende Grundsatzaussagen getroffen werden: Separiert man die Matrix, wie in *Abbildung 4* gezeigt, diagonal von links oben nach rechts unten, so ergibt sich eine Einteilung der Messgrößen für den Erfolg von Produktentwicklungsaktivitäten nach der jeweiligen Zielsetzung.

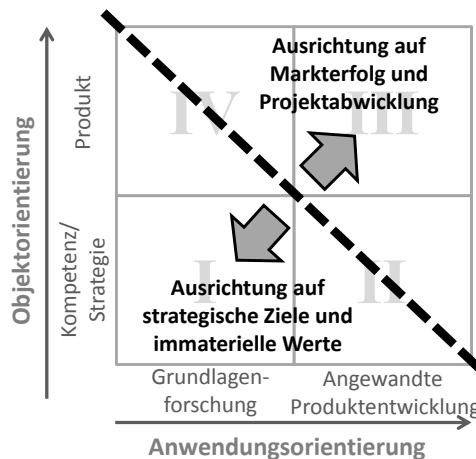


Abbildung 4: Zuordnung von Kennzahlenkategorien

Je weiter unten links die Ausprägungen einer Entwicklungsaktivität angesiedelt sind, desto mehr liegt der Fokus auf *strategischen Zielen* und der Integration immaterieller Größen. Daher kann der Erfolg der Produktentwicklung nicht ausschliesslich anhand von monetären, phasenorientierten Kennzahlen gemessen werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, immaterielle Aspekte über strategische, nicht-monetäre Kennzahlen in die Erfolgsmessung zu integrieren.

Umgekehrt gilt für eine Aktivität oberhalb der Diagonalen, dass ihr Schwerpunkt umso mehr auf der *operativen Ebene* liegt und Ziele wie marktfähige Lösungen und eine erfolgreiche Projektdurchführung dominieren, je weiter oben rechts sie angesiedelt ist. Die Erfolgsmessung erfolgt hier mit projektorientierten Kennzahlen, die z. B. Auskunft über die Durchführung bestimmter Aktivitäten und die Einhaltung von Zeitfenstern geben.

4.2 Anwendung der Klassifikationsmatrix

Um die Anwendung der in Abschnitt 4.1 eingeführten Klassifikationsmatrix zu verdeutlichen, wird in *Abbildung 5* für die besonders aussagekräftigen Quadranten I und III gezeigt, welche Ausprägungen der in *Abbildung 2* zusammengestellten Kennzahlentypen jeweils vorherrschen. Darauf aufbauend werden zwei anonymisierte Beispiele für Produktentwicklungsaktivitäten aus der Bahnindustrie (Anlagenbau) diskutiert, die den Ansatz veranschaulichen.

Kennzahlen für Quadrant I: Grundlagenforschung					Kennzahlen für Quadrant III: Angewandte Forschung			
Inhalt	Qualität	Mengen- größen	Zeit- größen	Wert- größen	Qualität	Mengen- größen	Zeit- größen	Wert- größen
Skalenniveau	Nominalskala	Ordinalskala	Kardinalskala		Nominalskala	Ordinalskala	Kardinalskala	
Wertschöpfungs- phase	Input	Prozess	Output		Input	Prozess	Output	
Planungs- horizont	langfristig	mittelfristig	kurzfristig		langfristig	mittelfristig	kurzfristig	
Zeitbezug	Zukunft		Vergangenheit		Zukunft		Vergangenheit	
Adressat	intern		extern		intern		extern	
Aggregations- grad	strategisch		operativ		strategisch		operativ	
Sicherheits- grad	Unsicherheit	Risiko	Sicherheit		Unsicherheit	Risiko	Sicherheit	

Abbildung 5: Beziehung der Kennzahlentypen zu den Quadranten I und III der Klassifikationsmatrix

4.2.1 Anwendungsbeispiel zu Erfolgsindikatoren für Quadrant I

Ein führendes Unternehmen der Bahnindustrie stellt fest, dass es nicht als innovativ wahrgenommen wird. In der Entwicklungsabteilung besteht ein gravierender Mangel an Kompetenzen auf dem Gebiet der Produktentwicklungsmethoden. Der Abteilungsleiter schlägt vor, Szenario-Techniken einzusetzen und das Vorgehensmodell nach der VDI 2221 anzuwenden, um die zukünftige Marktentwicklung besser prognostizieren zu können und sys-

tematischer nach potenziellen Entwicklungslösungen zu suchen. Die Unternehmensleitung lehnt ein entsprechendes Intensivtraining für alle Entwicklungingenieure wegen der hohen Kosten und des Zeiteinsatzes ab, denen kein unmittelbarer positiver Effekt auf den Erfolg gegenübersteht. Der Leiter der Entwicklungsabteilung nimmt daraufhin Kontakt mit einem Forschungsinstitut auf, um die Eignung der derzeit eingesetzten Entwicklungsmethoden zur Erfüllung der geltenden Zielsetzungen evaluieren zu lassen. Die in Abschnitt 4.1 entwickelte Klassifikationsstrategie kommt zu folgenden Ergebnissen:

- Die Aktivität „Entwicklung eines Forschungsdesigns zur Evaluation des Einsatzes von Entwicklungsmethoden“ wird anhand der Vier-Felder-Matrix in *Abbildung 3* klassifiziert:
 - Das Objekt der Entwicklungsaktivität ist eine Kompetenz.
 - Die Anwendungsebene der Entwicklungsaktivität ist die Grundlagenforschung, da in dem zugrunde gelegten Beispiel bislang kein solches Forschungsdesign verfügbar ist.
 - Ergebnis der Klassifikation: Zuordnung zu Quadrant I
- Es werden für diese in Quadrant I angesiedelte Aufgabenstellung geeignete Kennzahlen zusammengestellt. Dabei dient die Morphologie für Quadrant I in *Abbildung 5* als Ausgangspunkt.
 - Der Inhalt der Kennzahlen ist qualitätsorientiert, da die Wirkung einer Kompetenzsteigerung der Produktentwickler von strategischer Bedeutung ist und ihr Beitrag zum Entwicklungserfolg nicht isoliert anhand von quantitativen, wertbezogenen oder zeitbezogenen Effekten beurteilt werden kann. Ein Beispiel für eine solche Kennzahl ist die Lösungsqualität.
 - Der Erfolg der Entwicklungsaktivitäten sollte auf nominalem (ja = Ansatz ist sinnvoll oder nein = Ansatz ist nicht sinnvoll) oder ordinalem Niveau (Grad der Fertigstellung eines Projekts) gemessen werden. Eine kardinale Messung z. B. der daraus resultierenden Steigerung des Umsatzes wäre nicht eindeutig möglich.
 - Da die Verantwortung für den Entwicklungserfolg sich auf den Input konzentriert, sind inputorientierte Kennzahlen wie Personenstunden, Schulungsausgaben oder am Projekt beteiligte Mitarbeiter sinnvoll.
 - Der Zeithorizont der Erfolgsmessung muss langfristig sein, d. h. mehr als ein Jahr betragen.
 - Der Zeitbezug des Entwicklungserfolgs ist eindeutig zukunftsorientiert, z. B. die Qualität der Lösung.
 - Die Adressaten der Kennzahlen sind ausschliesslich unternehmensintern; eine sinnvolle Kennzahl wäre die Steigerung der Methodenkompetenz bei den Mitarbeitern.
 - Der Aggregationsgrad der einzusetzenden Kennzahlen ist hoch, denn die Messung des Erfolgs der Anwendung der Entwicklungsmethoden erfordert eine Reihe von strategisch relevanten Erfolgsgrössen.
 - Da es keine eindeutigen Ursache-Wirkungs-Beziehungen für diese Art von Aktivitäten gibt, handelt es sich um Kennzahlen mit einem hohen Grad an Unsicherheit.

4.2.2 Anwendungsbeispiel zu Erfolgsindikatoren für Quadrant III

Eine typische Aktivität in Quadrant III ist die Reduktion der Herstellungskosten eines Zuges um einen bestimmten Prozentsatz. Das Unternehmen hat in einer Ausschreibung ein

Angebot abgegeben und den Zuschlag erhalten. In den finalen Vertragsverhandlungen wurden die Zahlungsbedingungen zugunsten des Kunden geändert, so dass sich die Einzahlungen verringern und die Gewinnmarge des Unternehmens sinkt. Der Leiter der Entwicklungsabteilung muss nun eine innovative Lösung entwickeln, die die vertraglich vereinbarte Produktspezifikation zu geringeren Kosten liefert. Zusätzliche Kostensenkungspotenziale in anderen Unternehmensbereichen wie dem Einkauf sind nicht Gegenstand dieser Betrachtung.

- Die Entwicklungsaktivität „Kostensenkung um x% unter Einhaltung der vertraglich vereinbarten Produktspezifikation“ wird anhand der Vier-Felder-Matrix in *Abbildung 3* klassifiziert:
 - Das Objekt der Entwicklungsaktivität ist ein technisches Produkt.
 - Die Anwendungsebene der Entwicklungsaktivität ist die angewandte Forschung.
 - Ergebnis der Klassifikation: Zuordnung zu Quadrant III
- Es werden für diese in Quadrant III angesiedelte Aufgabenstellung geeignete Kennzahlen zusammengestellt. Dabei dient die Morphologie für Quadrant III in *Abbildung 5* als Ausgangspunkt.
 - Bezuglich des Inhalts der Kennzahlen kommen sämtliche Ausprägungen in Betracht, denn der Projekterfolg muss im Vergleich zu eindeutig definierten Zielen beurteilt werden. Beispiele sind die Anzahl der durchgeföhrten Kostensenkungsmassnahmen, die Reduktion der Gesamtkosten eines Zuges, die erzielten Kostenreduktionen je Zeiteinheit oder der Grad der Erfüllung der Kundenanforderungen.
 - Die Erfolgsbeurteilung anhand der Kosten eines Zuges erfolgt auf einer Kardinalsskala.
 - Die Wertschöpfungsphase, in der die Erfolgsbeurteilung anhand dieser Größen erfolgt, bezieht sich auf den Output.
 - Der Zeithorizont der Erfolgsmessung ist kurz- bis mittelfristig, d. h. er ist kürzer als ein Jahr.
 - Der Zeitbezug ist vergangenheitsorientiert, denn die Kosten sind zum Zeitpunkt der Erfolgsbeurteilung bereits festgelegt.
 - Die ermittelten Kostenkennzahlen sind sowohl unternehmensintern als auch für den Kunden relevant.
 - Der Aggregationsgrad ist gering, da es sich um operative Entscheidungen handelt.
 - Der Sicherheitsgrad der Kennzahlen ist relativ hoch, denn sie werden auf der Basis eines bereits angebotenen Produkts erhoben.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Innovationen sind das Ergebnis zielgerichteten Handelns, deren Erfolg ebenso wie der anderer unternehmerischer Aktivitäten geplant, gesteuert und kontrolliert werden muss. Ein wesentlicher Teil innovativer Aktivitäten findet im Unternehmen in der Produktentwicklung statt. Einschlägige Forschung zur Performancemessung sowie zu Methoden für die Abstimmung von Kennzahlen mit spezifischen strategischen und operativen Zielen erfolgt üblicherweise im direkten Vergleich zur Erfolgsmessung in anderen Unternehmensfunktionen. Dabei werden einfach zu ermittelnde Größen wie Entwicklungsbudget oder Anzahl der Mitarbeiter in Forschung und Entwicklung erhoben. Die Aussagekraft dieser Daten ist

jedoch gering, da die Informationen oft weder unternehmensintern mit anderen Funktionen noch extern mit anderen Unternehmen vergleichbar sind.

Bei genauerer Betrachtung charakteristischer Aktivitäten und Ergebnisse in der Produktentwicklung gibt es deutliche Potenziale, die Komplexität in diesem Themenfeld zu reduzieren. Die Differenzierung nach den beiden Dimensionen Objektbezug und Anwendungsbezug folgt dieser Logik. Die Objektorientierung unterscheidet zwischen Entwicklungsaufgaben, die sich auf ein konkretes Produkt beziehen, und solchen, die auf die Entwicklung einer Strategie oder Kompetenz gerichtet sind. Die Anwendungsorientierung hingegen bezieht sich auf die Marktängigkeit, d. h. die praktische Anwendbarkeit des Ergebnisses eines Produktentwicklungsprozesses. In dieser Dimension werden die Grundlagenforschung und die klassische auftragsbezogene Produktentwicklung (Konstruktion) unterschieden.

Diese beiden Dimensionen erlauben es, eine Beziehung zwischen üblichen Kennzahlen und der Messung des Entwicklungserfolgs herzustellen, indem sie sowohl für projekt- und marktbezogene Entwicklungsaktivitäten als auch für eher strategisch und immateriell ausgerichtete Entwicklungsaktivitäten, die nicht unmittelbar zu höheren Verkaufsvolumina oder einem höheren Ergebnis führen, die Auswahl geeigneter Kennzahlen unterstützen.

Der in diesem Beitrag vorgestellte Ansatz soll als Ausgangspunkt der Diskussion dienen und zu weiterer Forschung anregen. Zunächst müssen die vorgeschlagenen Zuordnungen von Kenngrößen zur Erfolgsmessung einer praktischen Überprüfung standhalten. Dies kann auf der Grundlage einer Metastudie oder anhand von konkreten Fallstudien erfolgen, bei denen auch Kennzahlen für Ergebnisse von Produktentwicklungsaktivitäten in den Quadranten II und IV untersucht werden sollten. Eine weitere interessante Fragestellung besteht darin, über die reine Erfolgsmessung hinauszugehen und zu untersuchen, inwieweit die problemspezifische Steuerung der Produktentwicklung mithilfe der vorgeschlagenen Kennzahlen zu einem höheren Produktentwicklungserfolg führt.

Literaturhinweise

- Beitz, W. (1972): Systemtechnik in der Konstruktion, in: *Rau, J. (Hrsg.): Systemtechnik. Vorträge und Diskussion in der Sitzung der Arbeitsgruppe Forschung und Technik der Arbeitsgemeinschaft für Rationalisierung des Landes NRW am 8. März 1972, Dortmund*, S. 6-21.
- Bender, B./Bender, B./Blessing L. T. M. (2001): How Missions Determine the Characteristics of Product Development Methodologies, in: *Culley, S. et al. (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 2001: Design Management. Process and Information Issues*, Trowbridge/Wiltshire, S. 313-320.
- Brown, M. G./Svenson, R. A. (1998): Measuring R&D Productivity, in: *Research-Technology Management*, Jg. 41, Nr. 6, S. 30-35.
- Corsten, H./Gössinger, R./Schneider, H. (2006): Grundlagen des Innovationsmanagements, München.
- Dellmann, K. (2002): Kennzahlen und Kennzahlensysteme, in: *Küpper, H.-U./Wagenhofer, A. (Hrsg.): Handwörterbuch Unternehmensrechnung und Controlling*, 4. Aufl., Stuttgart, Sp. 940-950.
- DIN EN ISO 9000(2005-12): Qualitätsmanagement – Grundlagen und Begriffe, Berlin.
- DIN prEN ISO 9000(2014-08): Qualitätsmanagement – Grundlagen und Begriffe (Entwurf), Berlin.

- Dziobczenski, P. R. N./Bernardes, M./Sato, K. (2013): Criteria for selection of design management indicators in product development companies, International Conference on Engineering Design, ICED 2013, Seoul/Korea.
- Ehrlenspiel, K./Meerkamm, H. (2013): Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit, 5. Aufl., München.
- Feldhusen, J./Grote, K.-H. (2013): Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung, 8. Aufl., Berlin/Heidelberg.
- Fixson, S. K., Marion, T. J. (2012): Back-loading: A Potential Side Effect of Employing Digital Design Tools in New Product Development, in: Journal of Product Innovation Management 29, S. 140-156.
- Franz, K.-P. (1999): Kennzahlensysteme für das Produktionsmanagement, in: Corsten, H./Friedl, B. (Hrsg.): Einführung in das Produktionscontrolling, München, S. 291-371.
- Gericke, K./Meißner, M./Paetzold, K. (2013): Understanding the context of product development, in: Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED 2013, Seoul/Korea.
- Gladen, W. (2014): Performance Measurement – Controlling mit Kennzahlen, 6. Aufl., Wiesbaden.
- Gräf, J./Langmann, C. (2011): Kennzahlen im F&E- und Innovations-Controlling, in: Gleich, R./Schimank, C. (Hrsg.): Innovations-Controlling, Freiburg, S. 69-86.
- Hahn, A./Häusler, S./Austing, S. (2013): Quantitatives Entwicklungsmanagement: Modellbasierte Analyse von Produktentwicklungsprozessen, Berlin.
- Hauschmidt, J./Salomo, S. (2011): Innovationsmanagement, München.
- Hopp, W. J./Iravani, S. M. R./Liu, F. (2009): Managing White-Collar Work: An Operations-Oriented Survey, in: Production and Operations Management 18, S. 1-32.
- Küpper, H.-U. (2005): Controlling, 4. Aufl., Stuttgart.
- Linnhoff, M. (1996): Eine Methodik für das Benchmarking von Entwicklungskooperationen, Berichte aus der Produktionstechnik, 24/96, Aachen.
- Meyer, C. (2011): Betriebswirtschaftliche Kennzahlen und Kennzahlen-Systeme, 6. Aufl., Sternenfels.
- O'Donnell, F. J./Duffy, A. H. B. (2005): Design Performance, London.
- Paetzold, K. (2004): Workflow-Systeme im Produktentwicklungsprozess, in: Meerkamm, H. (Hrsg.), 15. Symposium „Design for X“, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, S. 55-64.
- Ponn, J. (2007): Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte, München.
- Reichmann, T. (2011): Controlling mit Kennzahlen, 8. Aufl., München.
- Roelofsen, J./Baumberger, C./Lindemann, U. (2007): An approach towards situation specific planning of design processes, in: Proceedings of the International Conference in Engineering Design, ICED 2007, Paris.
- Rude, S. (1998): Wissensbasiertes Konstruieren, Berichte aus dem Maschinenbau, Aachen.
- Schabacker, M./Gröpper, M. (2015): Process Indicators for Process Engineering (PIPE), in: Schabacker, M./Gericke, K./Széligr, N./Vajna, S. (Hrsg.): Modelling and Management of Engineering Processes, Berlin/Heidelberg.
- Schäppi, B./Andreasen, M./Kirchgeorg, M./Radermacher, F.-J. (Hrsg.) (2005): Handbuch Produktentwicklung, München.
- Schröder, J. (2003): Benchmarking von Entwicklungsbereichen im Maschinenbau, Dissertation RWTH Aachen, Aachen.

Beiträge

- Steven, M. (2007): Handbuch Produktion, Stuttgart.
- Stifterverband (2014): http://stifterverband.info/veranstaltungen/archiv/2014_10_01_forschung_und_entwicklung_in_zahlen/index.html, Abfragedatum: 15.1.2015
- Taylor, T. P./Ahmed-Kristensen, S. A. (2014): The Applicability and Coherence of Key Performance Indicators in Global Product Development, in: Design Organization and Management, S. 1703-1712.
- Verein Deutscher Ingenieure (1993): VDI 2221 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Düsseldorf.

Beate Bender, Univ.-Prof. Dr.-Ing., wurde nach langjähriger Industrieerfahrung auf den Lehrstuhl für Produktentwicklung an der Ruhr-Universität Bochum berufen.

Anschrift: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum, Tel.: +49(0)234/32-22636, Fax: +49(0)234/32-14159, Mail: bender@lpe.rub.de

Marion Steven, Univ.-Prof. Dr., ist Inhaberin des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft an der Ruhr-Universität Bochum.

Anschrift: Lehrstuhl für Produktionswirtschaft, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum, Tel.: +49(0)234/32-28010, Fax: +49(0)234/32-14717, marion.steven@rub.de