

ZWVF

Zeitschrift für
wirtschaftlichen
Fabrikbetrieb

4/2020

HYBRIDE PRODUKTION

Urbane Mikrofabriken

TECHNOLOGIE- BEWERTUNG

Potenzialanalyse
von Technologien

MASS CUSTOMIZATION

Wettbewerbsstrategie

ASSISTENZSYSTEME

Problemmanagement

AFTER-SALES- STRATEGIE

Effizienzsteigerung

ELEKTROMOBILITÄT

E-Scooter

Batteriezellherstellung

ENERGIEBEDARF

Flexibilisierung

INTELLIGENTE BELEUCHTUNG

Verbesserung
der Energieeffizienz

INDUSTRIE 4.0

FABRIK DER ZUKUNFT

Qualitätssicherung

Digitale

Transformation

Digitale Plattformen

KMU-Leitfaden

FutureWork360

Die Arbeitswelt
der Zukunft erleben

Wie virtuell kann Forschung werden?



Fraunhofer
IAO

Fraunhofer
IPA

Deutschland
Land der Ideen

Hemminger

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Potenzialanalyse komplexer Technologien mit Technologienetzen

Stefan Trapp und
Joachim Warschat, Hagen

Analyse und Bewertung von Technologiepotenzialen

Neue Technologien, die als „Teillösungsprinzipien im Rahmen einer technischen Gesamtaufgabe“ [1, S. 20] definiert werden können, sind wichtige Treiber technologischer Innovationen. Daher sind die Analyse und Bewertung von Technologiepotenzialen im Rahmen von Technologiefrühaufklärung und Technologieplanung entscheidende Technologiemanagementaufgaben zur Wahrung und Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Technologieunternehmen.

Das Technologiepotenzial beschreibt die zukünftigen Erfolgsaussichten einer Technologie. „Determinanten des Erfolgspotenzials sind insbesondere die Weiterentwickelbarkeit der Technologie, der Zeitbedarf bis zur nächsten Entwicklungsstufe, der Anwendungsumfang sowie der Diffusionsverlauf der Technologie.“ [2, S. 376].

Die im Fokus dieses Beitrags stehenden langlebigen Sachgüter und ihre Produktionsprozesse können als Technologiesysteme angesehen werden. Technologiesysteme beschreiben „die Gesamtheit der genutzten Technologien zur Bedürfnisbefriedigung in einem Produkt-Prozess-System“ [3, S. 78], [4, S. 35]. Außer einer Fortentwicklung der aktuellen Technologien des Systems (Technologieoptimierung) kommen die Substitution, Addition oder Integration neuer Technologien in Betracht [5, S. 2]. Die Frage, wie sich diese Optionen der Technologieentwicklung auf den Kundennutzen auswirken oder wie die Technologieentwicklung erfolgen

Existierende Modelle zur Bewertung der Potenziale neuer Technologien werden der Komplexität von Technologien und der von Technologieunternehmen geforderten Applikationsorientierung der Technologieplanung nicht ausreichend gerecht. In diesem Beitrag wird gezeigt, dass Technologienetze mit quantitativ modellierten Beziehungen von Zweck- und Technologieattributen ergänzend zur bewährten hierarchischen Funktionenanalyse ein adäquates Instrument zur zukunftsorientierten Analyse und Bewertung der vielfältigen Entwicklungsoptionen komplexer Technologien sind.

sollte, um maximalen zusätzlichen Kundennutzen zu schaffen oder aussichtsreiche neue Applikationen zu erschließen, lässt sich bei umfangreichen Technologiesystemen nicht intuitiv beantworten, denn die Beziehungen zwischen den Technologien bzw. Technologieparametern und ihre Auswirkungen auf kundenrelevante Produkteigenschaften sind oftmals komplex, also kompliziert und dynamisch. ([6, S. 3 ff.], [7, Sp. 1064 f.]

Stand der Forschung – Defizite

Als mögliche Lösungsansätze zum Umgang mit dieser Problematik stehen den Unternehmen einerseits Methoden der Produktplanung zur Verfügung, beispielsweise das House of Quality (HoQ) des Quality Function Deployments (QFD) [8] oder andere matrixbasierte Ansätze. Jedoch wird in der Unternehmenspraxis bei der Produktplanung bezüglich der Technologieauswahl oft (zu) gegenwartsorientiert agiert, d. h. es erfolgt i. d. R. lediglich die Übertragung des aktuellen Technologiestandes in ein Produkt bzw. Produktkonzept [9], [10, S. 16]. Zukünftige technologische Lösungsmöglichkeiten, wachsende Leistungs- bzw. Technologiepotenziale oder die (unterschiedliche) Dynamik betrachteter Technologien werden nicht oder nur ungenügend berücksichtigt. Gründe hierfür sind Probleme bei der Identifikation innovativer Technologien und der mit ihnen verknüpften Chancen und Risiken sowie Probleme bei der Prognose der Technologieleistungsfähigkeit bzw. Technologiereife insbesondere hinsichtlich spezifischer Applikationen.

Für die Aufgabenstellung der Identifikation und Prognose aussichtsreicher Technologien stellt der Stand der Forschung des Technologiemanagements andererseits eine Reihe von Technologie-modellen bereit, über die Ardilo et al. einen Überblick geben [11, S. 1262], [12, S. 477]. Beispiele sind die Technologielebenszyklen (TLZ) von Ford/Ryan bzw. A. D. Little, das S-Kurven-Konzept von McKinsey, der Gartner Hype Cycle, oder Technology Readiness Levels (TRLs) [13–18]. Diese Technologiemodelle analysieren allerdings i. d. R. nur einzelne, isolierte Technologien auf hoher Aggregationsebene (z. B. auf Industrie- oder Branchenebene). Dies ist für die applikationsorientierte Technologieplanung unbefriedigend, weil die leistungsparameter- bzw. attributspezifischen (aktuellen oder zukünftigen) Anforderungen der Produkte (Applikationen) eines Unternehmens und die Kompliziertheit und Dynamik (Komplexität) vieler Technologien nicht adäquat berücksichtigt werden können.

Das Technologiereifegrad-Modell des Fraunhofer IAO [11, 12] vermeidet einige der oben aufgezeigten Schwächen. Es handelt sich um einen unternehmens- und applikationsspezifischen Ansatz zur Bewertung der Reife von Technologien, der (1) die konkreten (Technologie-)Anforderungen geplanter Applikationen in Form von Technologieeigenschaften bzw. -charakteristika (Technologieattributen) aus Kundensicht berücksichtigt, (2) eine hierarchische Funktionszerlegung von Technologien in Form eines Baumes gestattet und (3) die Technologieprognose

auf Basis der jeweiligen Technologieattribute propagiert. [11, S. 1265 f.] Eine Limitierung des Modells ergibt sich aus der Funktionszerlegung in Baumtopologie und dem Verzicht auf eine Funktions- oder Wirkstruktur (Systemstruktur): Ein Attribut aus Kundensicht kann nur durch die Technologie(n) genau einer Funktion beeinflusst werden. Beziehungen zwischen Technologieattributen und ihre demzufolge komplexen Einflüsse auf die Technologiereife für bestimmte Applikationen können somit nicht modelliert werden. [11, S. 1271], [12, S. 480]

Diese Defizite des Standes der Forschung und Praxis führen in der Konsequenz oft zu einer ungeeigneten, weil nicht applikationsspezifischen Technologiebewertung. [11, S. 1260 und 1265 f.] Es fehlt an Methoden, die komplexe Kombinationen von Produkt- und Produktionstechnologien und ihre Wirkungen auf Applikationen und Märkte systematisch miteinander verknüpfen und so Technologieunternehmen in Entscheidungssituationen eine wirksame Unterstützung bieten. [19, S. 38], [20, S. 32 f.]

Technologienetze zur Technologiepotenzialanalyse

Zur Erfüllung der Anforderung von Technologieunternehmen nach einer Unterstützung bei der applikationsorientierten Optimierung komplexer Technologiesysteme unter Berücksichtigung der Dynamik von Potenzial- und Bedarfssphäre wird hier ein neuartiger, integrierter Ansatz zur Technologie- und Applikationsplanung vorgeschlagen. Er richtet sich an Teams und Entscheidungsträger im technologischen Innovationsmanagement und im Business Development und soll diese bei der zukünftigen Ausrichtung technologieorientierter Unternehmen unterstützen. Der hier vorzustellende Ansatz zur Modellierung des Einflusses von Subtechnologien auf die Entwicklung von Technologiesystemen soll von technologieentwickelnden Unternehmen oder Institutionen (z. B. Forschungsinstituten) eingesetzt werden können. Er gilt jedoch nur für materielle Produkte mit auf Technologien beruhenden physikalisch-funktionalen Eigenschaften, nicht für Dienstleistungen oder digitale Produkte bzw. Software. Die Vorgehensweise wird im Folgenden teilweise an dem (fiktiven) Beispiel eines Herstellers von Bildschirmen auf Basis organischer Leuchtdioden (OLED-Displays) verdeutlicht, der innovative Produkte plant.

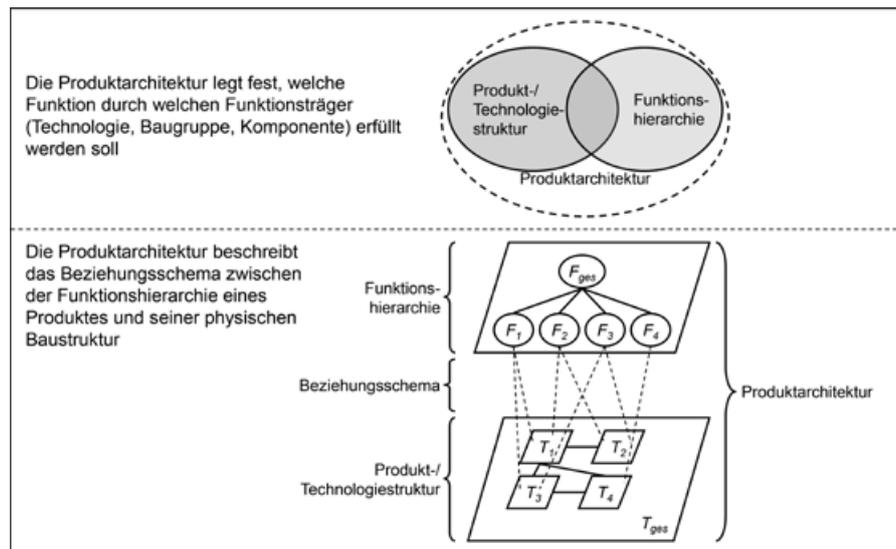


Bild 1. Produktarchitektur als Zusammenhang von Funktionen und Struktur (i. A. an [47, S. 8], [48, 49])

Die aus der Produktkonzipierung wohlbekannte Idee einer funktionalen und strukturellen Dekomposition [21–30] wird hier – wie in Bild 1 gezeigt – auf komplexe Technologien übertragen. Jede (Sub-)Funktion der Funktionshierarchie (des Funktionsbaumes) wird durch eine oder mehrere (Sub-)Technologien der Technologiestruktur realisiert.

Die funktionale Zerlegung führt beim Beispiel des OLED-Displays zu einer Baumstruktur mit Teilfunktionen, wie z. B. „Licht emittieren“, „Eintrag von Sauerstoff und Feuchtigkeit in die Emitterschicht reduzieren“. Es wird hier unterstellt, dass das OLED-Display gegenwärtig bereits die Anforderungen des Marktes für Smartphones erfüllt. Die Frage ist, welche Technologien des Technologiesystems auf welche Weise weiterentwickelt werden sollten, um zukünftig die eigene Wettbewerbsposition im gegenwärtigen Markt oder in weiteren Zukunftsmärkten optimal zu gestalten. Optionen könnten beispielsweise – neben der Weiterentwicklung für zukünftige Smartphone-Generationen – die Entwicklung biegsamer OLED-Displays für den Einsatz in sogenannten „Wearables“ oder in Kleidung sein, die Entwicklung alterungs- und temperaturstabilerer OLED-Displays zum Einbau in Automobile oder größere und langlebigere Displays für den Einsatz in Fernsehern. Jeder der genannten Märkte stellt unterschiedliche Anforderungen, die jeweils durch den Einsatz anderer, neuer oder fortentwickelter Technologieelemente im Vergleich zum aktuellen Technologiesystem erfüllt werden müssten.

Auch zwischen den (Sub-)Technologien bestehen – wie ebenfalls in Bild 1 angedeutet – vielfältige Beziehungen bzw. Abhängigkeiten, denn jede Technologie bringt neben ihrer/ihren erwünschten Systemfunktion(en) auch ihre sämtlichen anderen Systemfunktion(en) (unnötige bzw. unerwünschte/schädliche Funktionen oder benötigte Hilfsfunktionen) in das Technologiesystem ein.

Jedes Technologieelement des Technologiesystems kann durch seine In- und Outputs in Form von Material-/Stoff-, Energie- oder Informationsflüssen beschrieben werden [31, S. 81 ff.]. Dabei bleiben die internen Vorgänge zur Transformation der Inputs in Outputs zunächst unberücksichtigt (Blackbox-Betrachtungsweise) [32, S. 75]. Maßgeblich für die Performanz einer Technologie sind jedoch letztlich der/die für die Input-Output-Transformation verwendete(n) Prozess(e) (z. B. für Wandlung, Transport oder Speicherung) und das/die verwendete(n) Material(ien). Neue oder verbesserte Technologien ergeben sich durch die Kombination neuer Prozesse und/oder neuer Materialien [11, S. 1266]. Für das schon erwähnte Beispiel des OLED-Displays sind die verwendeten Materialien etwa das Substrat und das lichtemittierende Polymer, der Prozess des Beschichtens und im Ergebnis das polymerbeschichtete Substrat.

Ausgangspunkt der Vorgehensweise ist eine komplexe Technologie bzw. ein existierendes Referenz-Technologiesystem. Eine strenge Abgrenzung zwischen Produkt und (Gesamt-)Technologie als Referenzobjekt soll hier nicht vorgenommen werden. Eine solche Abgrenzung er-

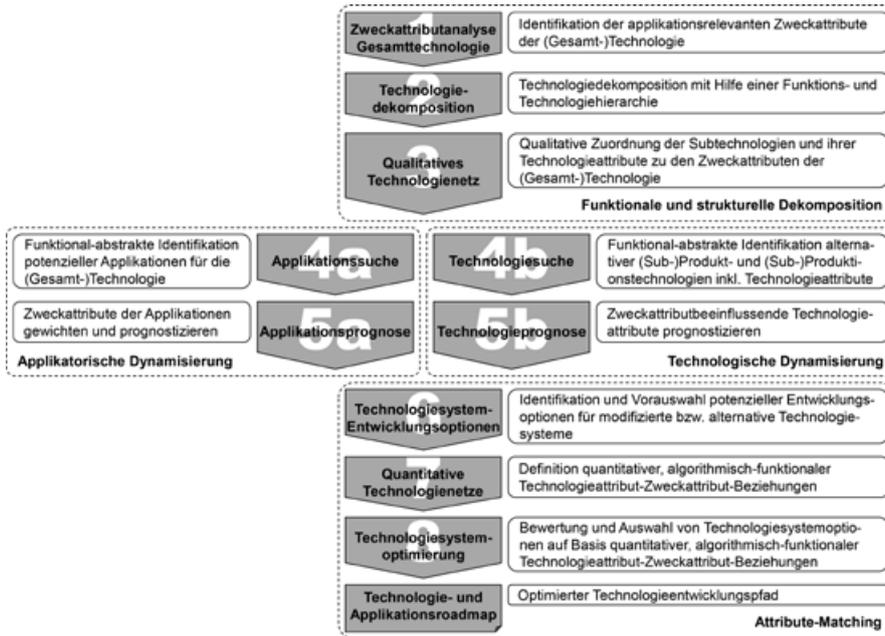


Bild 2. Phasenmodell zur Analyse des Einflusses von Subtechnologien auf die Technologieentwicklung mit Technologienetzen

scheint erstens nicht sinnvoll und es ist zweitens fraglich, ob sie überhaupt trennscharf vorgenommen werden könnten. Bei dem betrachteten Referenz-Technologiesystem kann es sich somit (1) um eine komplexe Technologie handeln, deren weitere Entwicklung und zukünftiger, potenzieller Einsatz in Produkten analysiert werden soll, (2) um ein aktuelles, fortzuentwickelndes Produkt des anwendenden Unternehmens oder auch (3) um das Produkt eines Mitbewerbers, dem das anwendende Unternehmen mit einem verbesserten eigenen Produkt entgegenzutreten möchte.

Bild 2 zeigt das Phasenmodell zur Analyse des Einflusses von Subtechnologien auf die Technologieentwicklung mit Technologienetzen. Die Phasen 1 bis 3 dienen der funktionalen und strukturellen Dekomposition der Gesamttechnologie. Es ergibt sich ein erstes Technologiennetz mit (vorläufig) qualitativen Technologiebeziehungen. In den Phasen 4 und 5 erfolgt eine Vorausschau (Prognose) einerseits hinsichtlich möglicher zukünftiger Applikationen der Gesamttechnologie und andererseits bezüglich möglicher alternativer Subtechnologien. Es werden eine „Applikatorische Dynamisierung“ (Phasen 4a und 5a) und eine „Technologische Dynamisierung“ (Phasen 4b und 5b) unterschieden, die parallel erfolgen können. In den Phasen 6 bis 8, dem „Attribute-Matching“, erfolgt schließlich die Identifikation, Bewertung und Auswahl

von Technologiesystemoptionen mithilfe quantitativer Technologiennetze. Diese bilden die relevanten Technologieattribut-Zweckattribut-Beziehungen algorithmisch-funktional ab. Die Ergebnisse des „Attribute-Matchings“ können in einer kombinierten Technologie-Applikations-Roadmap dokumentiert und kommuniziert werden. Die acht gezeigten Phasen werden in den nachfolgenden Unterabschnitten näher erläutert.

Phase 1: Zweckattributanalyse der komplexen (Gesamt-)Technologie

Im ersten Schritt werden die applikationsrelevanten Attribute des Technologiesystems aus Kundensicht, Zweckattribute genannt, ermittelt: Zweckattribute können definiert werden als die in Märkten oder Marktsegmenten aus Kundensicht für ein Produkt bzw. eine Technologie nachgefragten/geforderten physikalisch-technischen oder ökonomischen

und in der Regel einem zeitlichen Wandel unterliegenden, den Haupt- und Nebenfunktionen des Technologiesystems zugeordneten Soll-Leistungsparameter.

Bild 3 zeigt Beispiele von Zweckattributen eines OLED-Displays und deutet Mindest-Attributwerte für den Einsatz des Displays in einem Smartphone an.

In einer anderen Applikation als einem Smartphone, zum Beispiel beim Einbau des OLED-Displays in einen PKW, gelten aus Kundensicht zwar grundsätzlich die gleichen Zweckattribute für das OLED-Display, ihre Nutzensgewichtung und die nutzenstiftenden Mindest-, Soll- oder auch nicht mehr als nutzensteigernd wahrgenommenen Maximal- bzw. Idealwerte sind hier jedoch i. d. R. abweichend. So ist im PKW eine gegenüber dem Smartphone deutlich gesteigerte Lebensdauer von beispielsweise 15 Jahren zu fordern. Dagegen dürfte die Energieeffizienz des Displays im Vergleich zum Smartphone nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Phase 2: Funktionale und strukturelle Technologiedekomposition

Als nächster Schritt erfolgt in Phase 2 eine Dekomposition des Technologiesystems. Genauer gesagt, wird eine Funktionszerlegung in Baumstruktur (Funktionshierarchie) sowie eine erste Objekt/Strukturzerlegung vorgenommen, die vorerst ebenfalls eine hierarchische (Baum-)Struktur aufweist.

Bild 4 zeigt beispielhaft und schematisch solch eine Technologiesystem-Dekomposition für das OLED-Display und nimmt dabei bewusst die Darstellung im unteren Teil von Bild 1 wieder auf.

Neben den Produkttechnologien für die Lichtemission (Emitter) und die Verkapselung des Elementes (Barriere), die jeweils eine Entsprechung in der Funktionshierarchie besitzen, ist hier zusätzlich auch eine Produktionstechnologie, nämlich die verwendete Beschichtungs-

Bild 3. Ermittlung applikationsrelevanter Zweckattribute eines Technologiesystems am Beispiel eines Smartphone-Displays



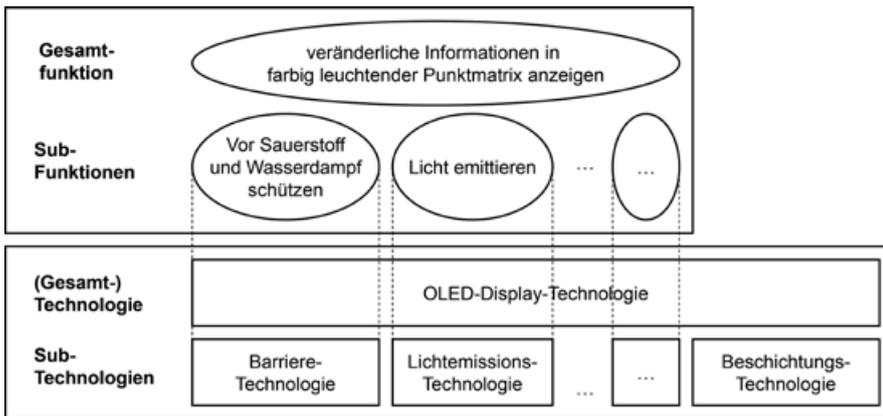


Bild 4. Erste hierarchische Technologiesystem-Dekomposition

technologie, im Technologiesystem enthalten. Die Technologiedekomposition für das OLED-Display könnte so zum Beispiel zu dem Ergebnis führen, dass die (Zweck-)Funktionserfüllung, aber auch die Herstellkosten maßgeblich von der Produktionstechnologie abhängen, mit der das lichtemittierende organische Polymer auf das verwendete Substrat aufgebracht wird. Konkurrierende (Sub-)Produktionstechnologien wären hier zum Beispiel Tintenstrahldruck (Inkjet Printing) und Rotationsbeschichtung (Spin Coating) [11, S. 1267].

Die Möglichkeit zur Berücksichtigung von Prozess- bzw. Produktionstechnologien auf der Ebene der Subtechnologien zusätzlich zu den Produkttechnologien ist ein großer Vorteil eines Technologiestrukturmodells gegenüber dem „klassischen“ Funktions- und Objektmodell der Produktkonzipierung zum Beispiel dann, wenn der Einfluss der Prozess- bzw. Produktionstechnologien auf (zweck-)funktionale Anforderungen oder die Produktkosten ihre Berücksichtigung notwendig bzw. wünschenswert macht.

Phase 3: Qualitatives Technologienetz

In der nun folgenden dritten Phase werden die Abhängigkeiten der Zweckattribute von den Subtechnologien näher analysiert. Wie schon in Bild 1 angedeutet, sind dabei Mehrfach-Abhängigkeiten der Zweckattribute von Subtechnologien möglich. Im Beispiel der OLED-Technologie wird die Helligkeit maßgeblich von der Lichtemissions-Technologie beeinflusst, ebenso aber auch durch die Transparenz der verwendeten Barriere-Technologie (Bild 5). Ähnliches gilt für die Lebensdauer, die einerseits von den Eigenschaften der organischen halbleitenden Materialien abhängt, andererseits aber

auch von deren Kapselung vor schädlichen Einflüssen durch die transparente Substratschicht der Barriere-Technologie.

Phase 4: Applikations- und Technologiesuche

Die Funktionshierarchie aus Phase 2 kann dazu genutzt werden, mögliche zukünftige Applikationen der (Gesamt-)Technologie (Phase 4a) oder Technologiealternativen auf den unterschiedlichen Technologiesystemebenen (Phase 4b) zu identifizieren. Dies geschieht auf Basis der von Wettengl skizzierten funktional-abstrakten Suche [33, S. 118 ff.] und schließt neben Produkttechnologien bei Bedarf auch Produktionstechnologien ein. Diese Vorgehensweise führt im Vergleich zur phänomenologisch-strukturorientierten Sichtweise zu einem erweiterten Suchfeld und -ergebnis. Die für eine Technologie als Inputs/Outputs zum Einsatz kommenden Stoffe/Materialien

und/oder der Prozess zu deren Wandlung, Speicherung oder Transport sind die entscheidenden Kennzeichen von Technologien und ihrer Leistungsfähigkeit [34, S. 84], [11, S. 1266]. Zur Identifikation derartiger beschriebener Technologiealternativen oder möglicher Applikationen der (Gesamt-)Technologie können neben dem Rückgriff auf Expertenwissen auch Methoden des Wissensmanagements, wie z.B. Informationsextraktion, Information Retrieval oder Text Mining, zum Einsatz kommen [35, S. 27 f.], [36].

Phase 5: Analyse und Prognose von Applikationen und Technologien

Applikationsanalyse und -prognose (Phase 5a)

Zur Gewichtung von Kundenanforderungen im Sinne einer angestrebten Nutzenmaximierung für verschiedene Märkte bzw. Marktsegmente existiert eine Reihe praktikabler Ansätze, beispielsweise die Conjoint-Analyse [37, S. 558], [38, S. 47 ff.] oder das Kano-Modell [39].

Auf Basis der in Phase 1 und evtl. zusätzlich in Phase 4a identifizierten Zweckattribute zur Beschreibung der technisch funktionalen und ökonomischen Anforderungen können in Phase 5a mithilfe geeigneter Prognosemethoden, wie z.B. Extrapolation oder Delphi-Methode [40, S. 11, S. 22 ff. und S. 27 ff.], für die in Phase 4a identifizierten Applikation für Gegenwart und Zukunft quantitative Soll-Anforderungsniveaus festgelegt bzw. prognostiziert werden. Diese können sich mit jeder Periode des Prognosezeitraums verändern und durch geänderte Gewichtungen auch unterschiedlichen Nutzen stiften. Dabei kann

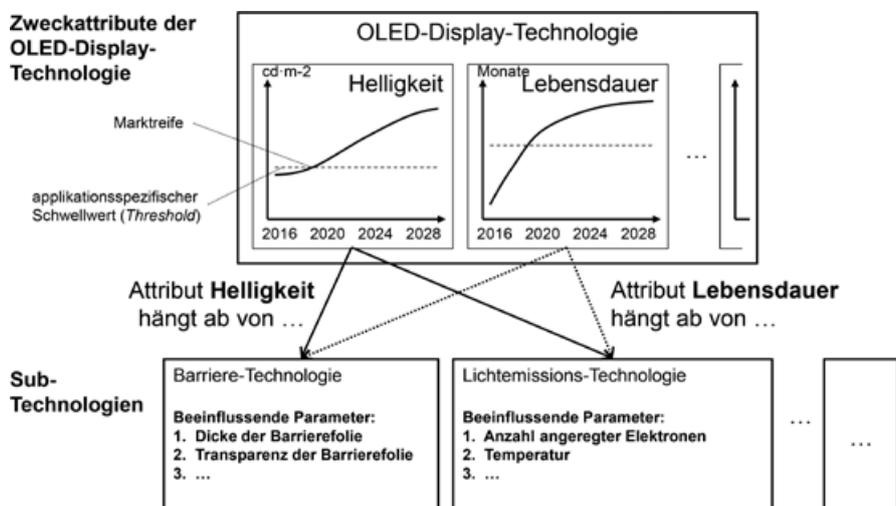


Bild 5. Identifikation der zweckattributbeeinflussenden (Sub-)Technologieparameter

das Kano-Modell zum Einsatz kommen, das zwischen Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen unterscheidet und von der „Reifung“ dieser Anforderungen von Begeisterungs- über Leistungs- hin zu Basisanforderungen im Zeitverlauf ausgeht.

Technologieanalyse und -prognose (Phase 5b)

In Phase 5b werden die physikalisch-technischen oder ökonomischen Technologieattribute identifiziert, die maßgeblich auf die Zweckattribute einwirken. Beispielhaft wurden in Bild 5 für die Barriere-Technologie von OLEDs die Schichtdicke des Substrats und seine Transparenz als relevante Attribute identifiziert, für das lichtemittierende organische Material die Anzahl angeregter Elektronen (bedeutsam für die Lichtausbeute) und die Temperatur (niedrige Temperaturen wirken lebensdauererhöhend).

Die gewählten Technologien des Technologiesystems beeinflussen über ihre Systemfunktionen letztlich ein oder mehrere Zweckattribute des Produkts/der Produktidee. Dabei ist ihre Wirkung auf die jeweilige(n) Zweckfunktion(en) unterschiedlich stark oder möglicherweise auch – wie bei der OLED-Barrierschicht – konfligierend. Tendenziell ist es zu erwarten, dass die Technologieoptimierung, -addition, -substitution oder -integration auf höherer Modellebene größeren Einfluss auf die Zweckfunktionserfüllung haben, als die auf niedriger Ebene, denn Technologieentwicklungen auf hoher Ebene haben eine höhere Reichweite (beeinflussen also eine größere Anzahl von Komponenten) und wirken stärker produktarchitekturverändernd als Änderungen auf niedrigerer Ebene. Anders ausgedrückt: Es ist zu erwarten, dass Entwicklungen der Technologien, die die Hauptfunktionen des Produkts/der Produktidee maßgeblich beeinflussen, tendenziell zu radikale(re)n Innovationen führen werden. Dagegen führt die Entwicklung untergeordneter Technologien, die lediglich Nebenfunktionen beeinflussen, tendenziell nur zu inkrementelle(re)n Innovationen. [33, S. 25 ff.]

Auf Basis der Gegenwartswerte der Technologieattribute ist – ähnlich wie für die Zweckattribute der Applikationen und wie in Tabelle 1 gezeigt – eine Prognose der Technologieattributwerte für die zukünftigen Perioden des Prognosezeitraums möglich. Mögliche Prognosemethoden sind hierbei Delphi-Expertenbefragungen, Experten-Workshops, Trendextrapolation (z. B. mit der logistischen Funktion [40, S. 111 ff.]), historische Analogiebildung, Relevanzbaummethode u. a. m. Ebenso können zugehörige Kostengrößen sowie notwendige Investitions- und spezifische Stückkosten ermittelt werden. Von der Prognose auf Basis einzelner Technologieattribute wird einerseits gegenüber einer Technologie-Pauschalbewertung ein zuverlässigeres, detaillierteres und damit wertvolleres Prognoseergebnis erwartet und andererseits ist diese Prognoseaufgabe für den Fall der Befragung von Technologieexperten wegen der „Nähe zu ihrer Denk- und Arbeitsweise“ leichter leistbar. [11, S. 1266], [41, S. 90 ff.]

Tabelle 1. Prognose der zukünftigen attributspezifischen Leistungsfähigkeit einer Technologie

Technologie X									
Funktion	Leistungsparameter (Technologieattribut)	Messgröße	Leistungsniveau						
			case	2020	2021	2022	2023	2024	2025
...	Bei Bedarf ist zur Reduktion der Komplexität eine Beschränkung auf eine Auswahl von Leistungsparametern möglich	Festlegung, wie das Niveau des Leistungsparameters gemessen werden soll, z. B. physikalisch-technische Größe, Prozent oder Geldeinheiten	best	...	...	...	...	...	...
			average	...	...	...	...	...	...
			worst	...	...	...	...	...	...
...

Sollte die Anzahl der zu prognostizierenden Daten eine praktikable Größenordnung übersteigen, muss eine Beschränkung auf die als kritisch erachteten Parameter erfolgen. Um die Handhabbarkeit der resultierenden Daten zu gewährleisten, ist eine Erfassung in einem Software-Tool vorteilhaft. Es kann außerdem – und dies gilt für die Zweckattributwertprognose in Phase 5a analog – sinnvoll sein, statt fixer Werte Bandbreiten oder Szenarien (z. B. Trendszenario/Average Case und Extremwertzenarien: Best Case, Worst Case) mit Wahrscheinlichkeitswerten anzugeben.

Sollte die Anzahl der zu prognostizierenden Daten eine praktikable Größenordnung übersteigen, muss eine Beschränkung auf die als kritisch erachteten Parameter erfolgen. Um die Handhabbarkeit der resultierenden Daten zu gewährleisten, ist eine Erfassung in einem Software-Tool vorteilhaft. Es kann außerdem – und dies gilt für die Zweckattributwertprognose in Phase 5a analog – sinnvoll sein, statt fixer Werte Bandbreiten oder Szenarien (z. B. Trendszenario/Average Case und Extremwertzenarien: Best Case, Worst Case) mit Wahrscheinlichkeitswerten anzugeben.

Phase 6: Identifikation und Vorausswahl von Entwicklungsoptionen

Inhalt dieses Verfahrensschrittes ist die Priorisierung der Elemente des hierarchischen Technologiemodells hinsichtlich ihres Einflusses auf die Zweckfunktionserfüllung. Außer dem Leistungspotenzial (technisch-funktionale Eignung: Funktionsumfang, Systemperformanz) können dabei auch andere Faktoren, zum Beispiel das Kostensenkungspotenzial (ökonomische Eignung) von Produktionstechnologien oder die produktbezogene Integrationseignung einer Technologie (z. B. vorhandene vs. notwendige Anwen-

derkenntnisse oder Umfang der notwendigen Anpassung des Nutzungsverhaltens), berücksichtigt werden. Bezogen auf das OLED-Display-Beispiel: Neue, alterungsbeständigere organische Halbleitermaterialien, die statt einer starren, schweren und zerbrechlichen Glasbarriere den Einsatz leichter, hochflexibler und unzerbrechlicher, aber weniger diffusionsdichter organischer Folien erlauben, würden eine Vielzahl neuer Applikationen für OLED-Displays ermöglichen (radikale Innovation). Eine OLED-Display-Fertigung durch Offsetdruck könnte die Stückkosten im Vergleich zu den etablierten Verfahren noch einmal erheblich senken und somit neue, preissensible Märkte bzw. Marktsegmente erschließen.

Phase 7: Definition quantitativer Technologienetze

Für das Ziel einer Optimierung des betrachteten Technologiesystems hinsichtlich seiner Zweckattribute ist eine intuitive Herangehensweise in der Regel nicht ausreichend. Die Gründe hierfür sind (1) die zugrunde liegenden vielfältigen physikalisch-technischen und ökonomischen Zusammenhänge mit (2) (auch oder sogar überwiegend) nicht-linearen Funktionen und (3) mögliche Zielkonflikte (Trade-offs) durch die gegenläufige Beeinflussung von Zweckattributen durch verschiedene Technologien bzw. deren Technologieattribute.

Inhalt von Phase 7 ist daher – wie in Bild 6 gezeigt – die Ableitung algorithmisch-funktionaler Beziehungen zwischen den Technologieattributen und den von ihnen beeinflussten Zweckattributen.

Ergebnis sind letztlich verschiedene ein- oder mehrdimensionale Funktionen, die je Zweckattribut (abhängige Größe) den Zusammenhang mit den Technologieattributen (unabhängige Größen) beschreiben. Die periodenabhängigen Werte der Technologieattribute determinieren

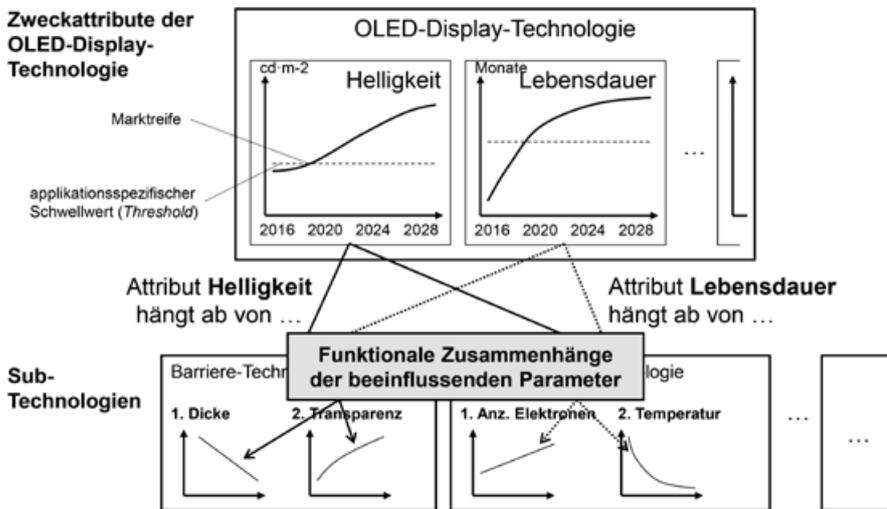


Bild 6. Ableitung algorithmisch-funktionaler Beziehungen zwischen (Sub-)Technologieattributen und von ihnen beeinflussten Zweckattributen

somit die ebenfalls periodenabhängigen Leistungsniveaus der Zweckattribute. Der resultierende Teil- oder Gesamtnutzen eines (potenziellen) Technologiesystems kann mithilfe des Kano-Modells [39] bewertet werden.

Phase 8: Technologiesystemoptimierung
In Phase 8 werden schließlich die Beziehungen von Technologie- und Zweckattributen analysiert und Ansätze zur Optimierung des Technologiesystems verfolgt. Mögliche Fragestellungen sind:

- Auf welche Attribute sollten Technologieentwicklungsaktivitäten konzentriert werden, um (über alle relevanten Attribute hinweg) den größten Nutzenzuwachs für das betrachtete Technologiesystem zu erzielen? (Technologieoptimierung)
- Wie wirken sich Prognosefehler auf die Optimalität von Entscheidungen aus? Wie stark dürfen beispielsweise Abweichungen von prognostizierten Zweckattribut- und/oder Technologieattributänderungen ausfallen, bis eine von der gewählten Option abweichende Entscheidung Optimalitätscharakter erhält? (Sensitivitätsanalyse)
- Wie sollte das Technologiesystem evtl. durch Technologiesubstitution, -addition oder -integration heute oder zukünftig (evtl. zu diversen verschiedenen Zeitpunkten) modifiziert werden?

Zur Beantwortung der letztgenannten Fragestellung müssen mögliche alternative Technologiesysteme identifiziert und bewertet werden. Für jedes betrachtete Technologiesystem entsteht ein ähnliches Netz miteinander verknüpfter Technolo-

gien. Es gilt, für alle potenziellen Technologiesysteme eine durchgängige Wirkungskette von den enthaltenen Subtechnologien mit ihren jeweiligen sich dynamisch entwickelnden, spezifischen, physikalisch-technischen oder ökonomischen Attributen zu den sich ebenfalls dynamisch fortentwickelnden quantitativen Anforderungen der Märkte an das Produkt (Zweckattribute bzw. Zweckattributwerte) zu modellieren. Durch diese mathematischen Beziehungen wird der Einfluss der unterschiedlichen Technologien auf die Anforderungserfüllung analysiert, indem den zu erfüllenden Zweckfunktionen mit ihren Zweckattributen die sie beeinflussenden Technologieattribute gegenübergestellt werden. So können „Top-down“ radikale und inkrementelle Innovationschancen identifiziert und selektiert werden.

Zu beachten ist, dass – wie bereits erwähnt – jede Technologie neben ihrer/ihrer erwünschten Systemfunktion(en) auch ihre sämtlichen anderen Systemfunktionen (unnötige oder unerwünschte/schädliche Funktionen oder benötigte Hilfsfunktionen) in das Technologiesystem einbringt. Beim Einfügen einer Subtechnologie in das Technologiesystem müssen die Einflüsse der zugehörigen Technologieattribute auf die Zweckattribute festgelegt (modelliert) werden. Diese sind als algorithmische Zusammenhänge der bestehenden physikalisch-technischen, wirtschaftlichen oder anderweitigen Beziehungen zu definieren und können vielfältige mathematische Funktionen (z.B. lineare, quadratische oder exponentielle) umfassen. So wird schließlich das Ziel erreicht, auch komplexe Beziehungen wie die bereits angesprochenen Trade-offs zwischen Attributen modellieren zu können.

Eine unerwünschte Systemfunktion des OLED-Display-Technologiesystems ist beispielsweise die Schädigung der organischen Halbleiterschichten durch Luftsauerstoff und Wasserdampf (Bild 7). Um die maßgeblich vom Markt vorgegebene Lebensdauer (Zweckattribut) zu erreichen, muss beim gegenwärtigen Stand der Technik das Eindringen von Sauerstoff und Wasserdampf i. d. R. durch eine anorganische Barrierschicht (Glas) minimiert werden. Ein auf diese Weise verbesserter Korrosionsschutz durch eine dickere oder diffusionsdichtere Barriere konkurriert allerdings wegen deren möglicherweise reduzierter Transparenz mit der Forderung nach einer hohen Leuchtdichte. Außerdem sorgt eine dickere Barrierschicht für ein unerwünscht höheres

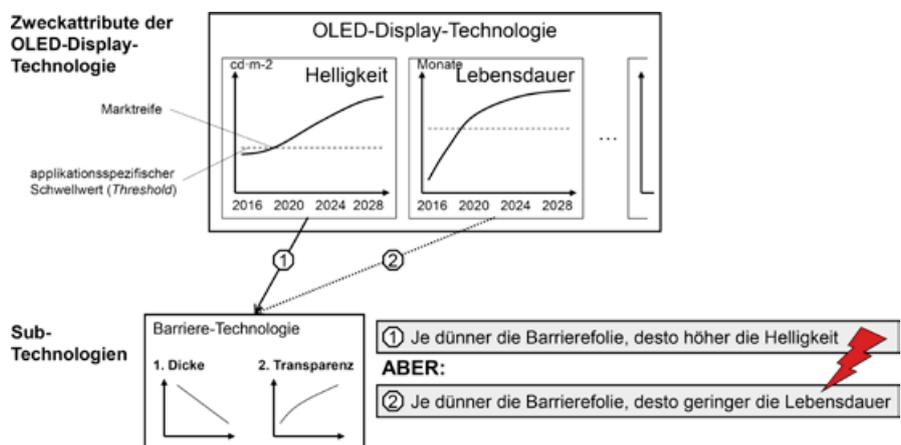


Bild 7. Analyse der Beziehungen von Technologie- und Zweckattributen sowie Optimierung des Technologiesystems

Gewicht des Produkts, erhöht den Ressourcenverbrauch und folglich auch die Produktkosten.

Wenn möglich, soll die Wirkungskette von den physikalisch-technischen und ökonomischen Attributen der Technologien bis zu den resultierenden Ausprägungen der Kundenanforderungen (Zweckattribute) auf Basis technischer oder wirtschaftlicher Zusammenhänge quantitativ modelliert werden. Können die Zusammenhänge ausnahmsweise nicht oder nicht mit vertretbarem Aufwand quantitativ modelliert werden, können hilfsweise qualitative bzw. nutzwertanalytische Methoden verwendet werden. Beispielsweise kann der Einfluss einer Technologie auf eine Anforderung auf einer Ordinalskala mit den Ausprägungen stark positiv (++), positiv (+), neutral (o), negativ (-) oder stark negativ (-) bewertet werden.

Werden unverzichtbare Leistungsanforderungen von einer Technologiealternative verfehlt (d.h. der „applikations-spezifische Schwellenwert/threshold“ nicht erreicht), soll dies zum Verwerfen der Alternative führen. Dies ist ein Gegensatz zur klassischen Nutzwertanalyse, da bei dieser durch die gewichtete Addition der Teilnutzen punktuelle Produktschwächen immer durch überlegene Eigenschaften in anderen Bereichen (über-)kompensiert werden können.

Ebenso wie „untere Schwellenwerte/thresholds“, die für die Marktfähigkeit des Produktes erreicht bzw. übertroffen werden müssen, sollten auch „obere Limits“ berücksichtigbar sein. Eine Übererfüllung der Parameter über diese Limits hinaus (Overengineering) ist aus Kundenperspektive nicht sinnvoll, da sie keinen zusätzlichen Nutzen bietet oder eine Akzeptanzgrenze im Markt überschritten wird. Beispiele solcher Limits sind die akzeptable maximale Größe für Fernsehgeräte im Wohnzimmer oder die vom Auge sinnesphysiologisch noch wahrnehmbare Punktdichte bei einer Bildschirm-Punktmatrix. Erreichen aus Nutzersicht wichtige Zweckattribute („Lead-Attribute“) solche Limits, ist eine Verschiebung des Nutzerinteresses hin zu anderen, neuen „Lead-Attributen“ wahrscheinlich.

Die Zweckattribute der Zweckfunktionen (nutzerbezogene Haupt- und Nebenfunktionen) haben – wie schon erläutert – unterschiedliche Bedeutung (unterschiedlichen Teilnutzen) für die Kunden. Zu diesen quantitativen Kundenanforde-

rungen können auch Kosten und Preise gehören, etwa der Produktpreis oder die „vom Markt erlaubten Kosten“ (allowable costs) einzelner Produktbestandteile, die zum Beispiel mithilfe des Target Costing (vgl. z.B. [42, S. 387 ff.], [43–45]) festgelegt werden können. Weiterhin ist – wie ebenfalls schon dargestellt – zu berücksichtigen, dass sich sowohl die Zweck- als auch die Technologieattributwerte dynamisch über der Zeit verändern (können). Somit kann sich auch die Technologiekombination, die die jeweiligen Kundenbedürfnisse am besten erfüllt, je Betrachtungsperiode (z.B. je Jahr) ändern. Können für beide Arten von Größen, also quantitative Kundenanforderungen einerseits und physikalische sowie wirtschaftliche Technologieattribute andererseits, innerhalb eines gewissen Zeithorizonts von zum Beispiel fünf Jahren die zukünftigen Werte durch geeignete Methoden prognostiziert werden, ist – wie in Bild 2 als Ergebnis der Phase 8 dargestellt – für diesen Zeitraum prinzipiell die Ableitung optimaler Technologie- und Produktentwicklungspfade (Strategien) möglich. Dabei müssen neben den strategischen Rahmenbedingungen allerdings evtl. auch finanzielle oder kapazitive Restriktionen beachtet werden, weil zum Beispiel mit einer gegebenen Ressourcenausstattung möglicherweise nicht sämtliche Technologiekombinationen realisiert werden können.

Hochgradige Innovationen erscheinen insbesondere dann möglich, wenn ein Technologieattribut ein aus Kundensicht hochrelevantes Zweckattribut stark beeinflusst und Verbesserungen dieses Technologieattributs möglich sind. Die Auswahl derartiger „doppelter Lead-Attribute“ zur Erzielung radikaler Innovationen kann in Anlehnung an Adams mit Hilfe eines Portfolios mit den Dimensionen „Einfluss der Technologieattribute“ und „Relevanz der Zweckattribute“ (Ausprägungen jeweils „gering“ oder „hoch“) erfolgen [46, S. 92]. Zusätzlich zu radikalen Innovationen – oder falls radikale Innovationen nach diesem ersten Schritt nicht möglich erscheinen – kann das Technologiesystem nach fallender Priorität sukzessive Top-down auf weitere, inkrementelle Optimierungs-/Innovationsmöglichkeiten hin durchsucht werden.

Bei einer Unter- bzw. Nicht-Erfüllung von Kundenanforderungen ist unter Bezugnahme auf das Kano-Modell folgende Priorisierung sinnvoll:

- Höchste Priorität erhalten wegen Gefährdung der Marktfähigkeit nicht erfüllte (Kano-)Basis-eigenschaften.
- Mittlere Priorität erhalten aussichtsreiche vorhandene Lösungsansätze mit moderatem Realisierungsrisiko der Technologien zur Erfüllung von vorrangig Begeisterungs- sowie nachrangig Leistungsanforderungen.
- Geringere Priorität wird dem Einholen und idealerweise dem Übertreffen von vorrangig Begeisterungs- sowie nachrangig Leistungsanforderungen der Wettbewerber eingeräumt, bei denen ein hohes Realisierungsrisiko durch fehlende eigene Vorarbeiten/Erfahrungen besteht.

Denkbar ist auch eine ABC-Klassifizierung von Zweck- und Technologieattributen, die eine grobe Einschätzung des durch Optimierung dieser Attribute erzielbaren Innovationsgrades für ein Produkt bzw. eine Produktidee ermöglicht.

Die Optimierung des Technologiesystems kann dabei in Abhängigkeit von der Wettbewerbsstrategie des Unternehmens beispielsweise kostengetrieben („Wo ist das höchste Einsparpotenzial?“) oder chancengetrieben („Welches sind die aussichtsreichsten Applikationen/Märkte/Marktsegmente zur Differenzierung?“) erfolgen. Für die Auswahl der Produkt-/Technologiealternativen können verschiedene Kriterien berücksichtigt werden:

- Kundendimension: Zunächst einmal ist diejenige Technologiealternative die beste in einer Betrachtungsperiode, die die Kundenanforderungen (relativer Kundenvorteil, Kompatibilität, Komplexität, Erprobbarkeit, Wahrnehmbarkeit/Sichtbarkeit) unter Berücksichtigung der Preis- bzw. Kostenanforderungen am besten erfüllt. Ein Vergleich der Anforderungs-Erfüllungsgrade von Technologiealternativen kann beispielsweise in Balkendiagrammen [34, S. 110] oder Netzdiagrammen erfolgen. Auch eine Aggregation zu einem einzigen (Gesamt-) Nutzwert kann – unter Inkaufnahme des damit verbundenen Informationsverlusts – erfolgen.
- Die Wettbewerbsdimension zielt auf die markt-, ressourcen- und kompetenzinduzierten Wettbewerbsvorteile der betrachteten Technologiealternativen. Eine mögliche Hilfsgröße zur Quantifizierung des Wettbewerbsvorteils einer Option ist das Produkt aus ihrem Innovationsgrad und der Dauerhaftigkeit, mit der der Produktvorteil

gegenüber den Mitbewerbern voraussichtlich aufrecht erhalten werden kann.

- Die unternehmensinterne Dimension bewertet beispielsweise die Synergien, den Aufbau strategischer Kompetenzen oder die Streuung bzw. Minimierung von Risiken, die mit Produkt-/Technologiealternativen verknüpft sind. Die Ressourcenstärke eines Unternehmens kann zum Beispiel durch die Nutzung eines Technologieattraktivitäts-Ressourcenstärke-Portfolios nach Pfeiffer berücksichtigt werden [33, S. 218].
- Es sollen Investitions-, Kapazitäts- und Risikorestriktionen berücksichtigbar sein, die möglicherweise der Realisierung einer Produkt-/Technologiealternative entgegenstehen. Eine Quantifizierung des Realisierungsrisikos kann in Anlehnung an Berger über die Hilfsgröße „Erreichbarkeit“, definiert als das Produkt aus Aufwand und technischem Risiko, erfolgen. [20, S. 100]
- Zur Gewährleistung der Konsistenz der Technologiesysteme ist wegen ihrer Modellierung als Strukturmodell im Gegensatz zu einem Hierarchiemodell in Baumstruktur lediglich eine paarweise Prüfung der direkt miteinander verknüpften Technologien notwendig und nicht wie für einen Baum, mangels genauer definierter Beziehungen, eine Konsistenzbewertung zwischen sämtlichen Knoten (d.h. Technologien). [19, S. 137 f.]
- Ferner sind eventuelle Pfadabhängigkeiten zu beachten: Ein einmal eingeschlagener Technologiepfad kann möglicherweise nicht beliebig zugunsten einer anderen Technologie wieder verlassen werden.

Die Prognosen der zukünftigen Kundenanforderungen und Technologiepotenziale sind, wie dargestellt wurde, mit Unsicherheiten behaftet. Ein Software-Tool erleichtert zur Abschwächung dieser Problematik die Betrachtung unterschiedlicher Szenarien (z. B. Worst-Case-, Best-Case- oder Trend-Szenarien) oder die Durchführung von Sensitivitätsanalysen und ist daher wünschenswert.

Aus der Technologiepotenzialanalyse ableitbare Ergebnisse

Aus der in den vorangehenden Abschnitten dargestellten Technologiepotenzialanalyse auf Basis von Technologienetzen lassen sich folgende drei wesentliche Ergebnisse ableiten:

Mithilfe der Technologiepotenzialanalyse auf Basis von Technologienetzen werden radikale und inkrementelle Innovationschancen identifiziert und priorisiert. Die Gesamtheit der selektierten, aussichtsreichen Applikationsideen für inkrementelle, kurzfristig orientierte Innovationen und radikale, langfristig orientierte Innovationen sowie ihrer zugehörigen fortentwickelten/neuen/alternativen Technologien kann in einer kombinierten Technologie- und Applikationsroadmap als „optimierter Technologieentwicklungspfad“ veranschaulicht werden (vgl. Bild 2). Die Vorgehensweise stellt dabei sicher, dass die Technologien auf der Roadmap einen klaren unternehmens- bzw. applikationsspezifischen Fokus zur Maximierung des Kundennutzens und des resultierenden Geschäftserfolges haben.

Entsprechend der Technologie- und Applikationsroadmap erfolgen für die weiterzuverfolgenden bzw. -zuentwickelnden Technologien Make-or-Buy-Entscheidungen. Für die „Make-Technologien und -Applikationen“ findet eine Planung der zu ihrer Realisierung notwendigen Technologie- und Produktentwicklungsprojekte statt. Ein wichtiger Punkt dieser Planung ist die Festlegung von Projekt-Meilensteinen und der zugehörigen Bewertungskriterien.

Werden durch die Vorgehensweise neue/alternative Technologien identifiziert, die zwar gegenwärtig die applikatorischen Leistungsanforderungen noch nicht erfüllen, aber nach Expertenmeinung weiteres Entwicklungspotenzial besitzen, sollten diese in das Technologie- und Produktmonitoring des Unternehmens aufgenommen werden. Die Dynamik der Technologie und ihre Nähe zur Anwendungsreife („Bereits 90 Prozent des geforderten Wertes erreicht oder erst 20 Prozent?“) sollten dabei die Intensität bzw. Häufigkeit des Monitorings bestimmen.

Zusammenfassung und Ausblick

In den vorangehenden Abschnitten wurde dargelegt, dass eine adäquate Applikations- und Technologieplanung für Technologieunternehmen entscheidend zur Verbesserung ihrer Wettbewerbsposition beitragen kann. Existierende Technologie- und Produktentwicklungsmodelle sind für diese Aufgabenstellung weitgehend ungeeignet, da sie Technologien zumeist als atomar ansehen und auf hoher Aggregationsebene

bewerten, sodass die Erfüllbarkeit (oder Nicht-Erfüllbarkeit) konkreter Produktanforderungen heute oder in der Zukunft nicht abgebildet werden kann. Die Methoden der Produktplanung lassen andererseits die Identifikation und Selektion der Weiterentwicklungsoptionen von Technologien oder einer Weiterentwicklungsstrategie von Technologien unter Berücksichtigung zukünftiger Kundenanforderungen weitgehend außer acht.

Es wurde daher in diesem Beitrag ein Modell zur Technologiedekomposition vorgestellt, das die bewährten Funktions- und Strukturmodelle aus Produktplanung und -konzeption auf komplexe Technologien überträgt. Das Modell verknüpft die quantitativ formulierten Attribute (Leistungsparameter) von Produktions- und Produkttechnologien mit den ebenfalls quantitativ formulierten Zweckattributen (Anforderungen) der Märkte bzw. Kunden. Durch die Prognose dieser Größen und ihre Verknüpfung mit ebenfalls prognostizierten Absatzmengen und -preisen auf zukünftigen Märkten ist prinzipiell die Ableitung optimaler Technologie- und Produktentwicklungspfade in Form einer kombinierten Roadmap möglich.

Die Anwendbarkeit und der Nutzen der beschriebenen Vorgehensweise für Technologieunternehmen soll im Rahmen einer Pilot-Anwendung untersucht werden. Außerdem ist eine softwaretechnische Unterstützung der Methode wünschenswert, da diese eine effizientere Implementierung der Methodik in Technologieunternehmen gestattet und einige Optionen – zum Beispiel die Betrachtung verschiedener Szenarien oder die Durchführung von Sensitivitätsanalysen – vermutlich überhaupt erst ermöglicht.

Literatur

1. Schneider, W.: Technologische Analyse und Prognose als Grundlage der strategischen Unternehmensplanung. Vandenhoeck & Ruprecht Verlag, Göttingen 1984
2. Specht, D.; Möhrle, M. G.: Gabler Lexikon Technologiemanagement – Management von Innovationen und neuen Technologien im Unternehmen. Gabler Verlag, Wiesbaden 2002
DOI: 10.1007/978-3-322-82367-0
3. Zotter, K.-A.: Modelle des Innovations- und Technologiemanagements. In: Strebel, H. (Hrsg.): Innovations- und Technologiemanagement. 2. Aufl., Facultas Verlag, Wien 2007, S. 53–93
4. Ardilio, A.: Eine Vorgehensweise zur strategischen Technologieentwicklungsplanung für Forschungseinrichtungen. Diss. Universität Stuttgart, Stuttgart: Fraunhofer, 2013

5. Spath, D.; Warschat, J.: Innovation durch neue Technologien. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Fokus Technologie, Chancen erkennen – Leistungen entwickeln. Carl Hanser Verlag, München, Wien 2008, S. 1–12
6. Richter, K.; Rost, J.-M.: Komplexe Systeme. Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt a. M. 2014
7. Luhmann, N.: Komplexität. In: Grochla, E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation. Poeschel Verlag, Stuttgart 1980, Spalte 1064–1070
8. Akao, Y.: Quality Function Deployment – wie die Japaner Kundenwünsche in Qualität umsetzen. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech 1992
9. Tschirky, H.; Koruna, S. (Hrsg.): Technologie-Management: Idee und Praxis. Verlag Industrielle Organisation, Zürich 1998
10. Kröll, M.: Methode zur Technologiebewertung für eine ergebnisorientierte Produktentwicklung, Jost-Jetter Verlag, Heimsheim 2007
11. Ardilio, A.; Warschat, J.; Spath, D.: Customized Technology Readiness – Introducing the Application Specific Technology Readiness Model. In: Kocaoglu, D. F. (Hrsg.): Portland International Center for Management of Engineering and Technology (PICMET), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): Proceedings of PICMET '12: Technology Management for Emerging Technologies, Conference, July 29, 2012 – Aug. 2, 2012, Vancouver, BC, Canada
12. Ardilio, A.; Seidenstricker, S.; Schmitz, M.: Measuring and Assessing Application-Specific Technology Readiness. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology 5 (2015) 6, S. 475–480
DOI: 10.18517/ijaseit.5.6.554
13. Ford, D.; Ryan, C.: Taking technology to market. Harvard Business Review 59 (1981) 2, S. 117–126
14. Gerpott, T. J.: Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement, 2. Aufl., Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart 2005
15. Linden, A.; Fenn, J.: Understanding Gartner's Hype Cycles, Strategic Analysis Report, Gartner, Inc. Online unter <http://www.ask-force.org/web/Discourse/Linden-HypeCycle-2003.pdf> [Abruf 04.02.2020]
16. Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: S-Kurven-Konzept, online im Internet: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/s-kurven-konzept-43411/version-266741>, Version vom 14.02.2018 – 17:32 [Abruf 04.02.2020]
17. Mankins, J. C.: Technology Readiness Levels: A White Paper, NASA, Office of Space Access and Technology, Advanced Concepts Office, April 6, 1995, Edited December 22, 2004, im Internet: http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf [Abruf 04.02.2020]
18. N.N.: ISO 16290:2013: Space systems – Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment.
19. Brink, V.: Verfahren zur Entwicklung konsistenter Produkt- und Technologiestrategien. Diss. Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, 2010
20. Berger, T.: Methode zur Entwicklung und Bewertung innovativer Technologiestrategien. Diss. Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, 2006
21. Akiyama, K.: Funktionenanalyse: Der Schlüssel zu erfolgreichen Produkten und Dienstleistungen Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech 1994
22. Birkhofer, H.: Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte. Diss. Technische Universität Braunschweig, VDI-Verlag, Düsseldorf 1980
23. Gehrke, M.: Entwurf mechatronischer Systeme auf Basis von Funktionshierarchien und Systemstrukturen, Diss. Universität Paderborn, 2005
24. Kallmeyer, F.: Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme. Dissertation, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, 1998
25. Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2007
DOI: 10.1007/978-3-540-37451-0
26. Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. 5. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2003
DOI: 10.1007/978-3-662-09186-9
27. Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D.: Product Design and Development. 5th Ed., New York: McGraw-Hill, 2012
28. Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Beuth Verlag, Berlin 2004
29. Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2222: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. VDI-Verlag, Düsseldorf 1997
30. Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2803 Blatt 1: 1996–10, Funktionenanalyse – Grundlagen und Methode. Beuth Verlag, Berlin 1996
31. Roth, K.: Konstruieren mit Funktionskatalogen – Band 1: Konstruktionslehre. 3. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2000
32. Ropohl, G.: Allgemeine Technologie – Eine Systemtheorie der Technik, 3. Aufl., Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009
DOI: 10.26530/OAPEN_422388
33. Wettengl, S.: Initiierung technologischer Systeminnovationen – Wege zur Vermeidung von Abwarteblockaden in Innovationsnetzwerken. Zugl. Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, Vanderhoeck & Ruprecht Verlag, Göttingen 1999
34. Pfeiffer, W.; Weiß, E.; Volz, T.; Wettengl, S.: Funktionalmarkt-Konzept zum strategischen Management prinzipieller technologischer Innovationen. Vandenhoeck und Ruprecht Verlag, Göttingen 1997
35. Schloen, J.; Schmitz, M.: Suche nach technologischen Entwicklungen. In: Warschat, J.; Schimpf, S.; Korell, M. (Hrsg.): Technologien frühzeitig erkennen, Nutzenpotenziale systematisch bewerten. Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2015, S. 23–45
36. Schmitz, M.: Ein Verfahren zur Formulierung von Suchstrategien für die Identifikation neuer Technologien. Diss. Universität Stuttgart, Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2017
37. Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung, 11. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2006
38. Lütjhe, C.: Methoden zur Sicherstellung von Kundenorientierung in den frühen Phasen des Innovationsprozesses. In: Herstatt, C.; Verworn, B. (Hrsg.): Management der frühen Innovationsphasen: Grundlagen – Methoden – Neue Ansätze. Gabler Verlag, Wiesbaden 2003, S. 35–56
DOI: 10.1007/978-3-322-96471-7_3
39. Kano, N.; Seraku, N.; Takahashi, F.; Tsuji, S.: Attractive Quality and Must-Be Quality. Quality – Journal of the Japanese Society for Quality Control 14 (1984) 2, S. 147–156
40. Hansmann, K.-W.: Kurzlehrbuch Prognoseverfahren. Gabler Verlag, Wiesbaden 1983
DOI: 10.1007/978-3-663-06906-5
41. Gomeringer, A.: Eine integrative, prognosebasierte Vorgehensweise zur strategischen Technologieplanung für Produkte. Jost-Jetter Verlag, Heimsheim 2007
42. Freidank, C.-C.: Kostenrechnung: Grundlagen des innerbetrieblichen Rechnungswesens und Konzepte des Kostenmanagements. Oldenbourg Verlag, München 2012
DOI: 10.1524/9783486717693
43. Horváth, P.: Target Costing. Schäffer Poeschel Verlag, Stuttgart 1993
44. Seidenschwarz, W.: Target Costing – Ein japanischer Ansatz für das Kostenmanagement. Controlling, 1991, S. 198–203
45. Seidenschwarz, W.: Target Costing: marktorientiertes Zielkostenmanagement. Vahlen Verlag, München 1993
46. Adams, M.: Produktorientierte Bewertung der Einsatzmöglichkeiten innovativer Technologien. Zugl. Dissertation RWTH Aachen, 1995, Hüffmeier Verlag, Hannover 1996
47. Hohnen, T.: Kennzahlbasierte Optimierung der Produktmodularität zur Reduktion der Produktkosten. Diss. RWTH Aachen, Shaker Verlag, Aachen 2014
48. Baumgart, I. M.: Modularisierung von Produkten im Anlagenbau. Verlag Mainz, Aachen 2005
49. Göpfert, J.: Modulare Produktentwicklung: Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 1998

Die Autoren dieses Beitrags

Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. oec. Stefan Trapp, geb. 1968, studierte Wirtschaftsingenieurwesen im hochschulübergreifenden Studiengang von Universität, HAW und TU Hamburg und ist außerdem Absolvent des Diplom-Studienganges Elektro- und Informationstechnik der FernUniversi-

tät in Hagen. Er ist als freiberuflicher Ingenieur tätig und berät Industrie- und Softwareunternehmen, wobei der Branchenfokus auf der Medizintechnik liegt. Seine Beratungsschwerpunkte sind das Innovations- und Technologiemanagement, die Optimierung von Produkt- und Softwareentwicklungsprozessen, die Softwarearchitektur und das Projektmanagement. Herr Trapp ist externer Doktorand bei Professor Joachim Warschat im Lehrgebiet Technologie- und Innovationsmanagement an der FernUniversität Hagen und am Fraunhofer IAO in Stuttgart.

Prof. Dr.-Ing. habil. Joachim Warschat, geb. 1949, leitet das Lehrgebiet Technologie- und Innovationsmanagement an der FernUniversität in Hagen und war bis zu seiner Pensionierung Institutsdirektor des Fraunhofer IAO in Stuttgart sowie Leiter des Geschäftsfelds Technologie- und Innovationsmanagement. Er studierte an der Universität Stuttgart Maschinenbau mit der Fachrichtung Fertigungstechnik gefolgt von einer Promotion zum Thema „Dynamische Optimierung technisch-ökonomischer Systeme“. Professor Warschat lehrt an der FernUniversität Hagen Technologie- und Innovationsmanagement, am Stuttgart Institute of Management and Technology (SIMT) Technologiemanagement

und an der Universität Stuttgart Projektmanagement und Simultaneous Engineering. Er ist seit vielen Jahren in unterschiedlichen Forschungsprojekten auf den Gebieten des Innovations- und Technologiemanagements, IP-Managements, Projekt- und Wissensmanagements sowie des Rapid Product Development aktiv.

■ Summary

Analyzing the Potential of Complex Technologies with Technology Meshes. New technologies are important drivers of technological innovation. Thus, technology intelligence and technology planning are crucial management tasks to maintain and enhance the competitiveness of technology companies. However, existing technology models do not adequately address the complexity (intricacy and dynamics) of technologies and the alignment of technology planning with potential applications. In this article it is shown that technology networks (meshes) for modeling the relationships of sub-technologies are, in addition to the well-known hierarchical function analysis, an adequate instrument for the future-oriented analysis and assessment of the diverse development options of complex technologies. For this purpose, the

quantitative, physical-technical or economic relationships of the attributes from customer or application perspective with the corresponding attributes of the sub-technologies are modeled by unidimensional or, if necessary, multidimensional algorithmic relations. In combination with a function-based identification of possible applications or alternative sub-technologies for the (overall) technology plus a multi-periodic prognosis of the future indemand attribute values and the influencing technology attribute values, an application-oriented assessment of the various technology development options is facilitated. The selected options can for example be documented in a combined technology-application-roadmap. Planned software support would also allow for the consideration of scenarios or sensitivity analyzes.

Bibliography

DOI 10.3139/104.112219

ZWF 115 (2020) 4; page 200–209

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG

ISSN 0947–0085