

Entwicklung und Konstruktion

K.-H. Grote
F. Engelmann
W. Beitz[†]
M. Syrbe[†]
J. Beyerer

1 Produktentstehung

1.1 Lebensphasen eines Produkts

1.1.1 Technischer Lebenszyklus

Ein technisches Produkt durchläuft einen Lebenszyklus, der Grundlage für Aktivitäten beim Produkthersteller und Produkthanwender ist.

Bild 1-1 zeigt die wesentlichen Lebensphasen eines Produkts in der Reihenfolge des Herstellungsfortschritts und der Anwendung. Der Lebenszyklus technischer Produkte ist verknüpft mit dem allge-

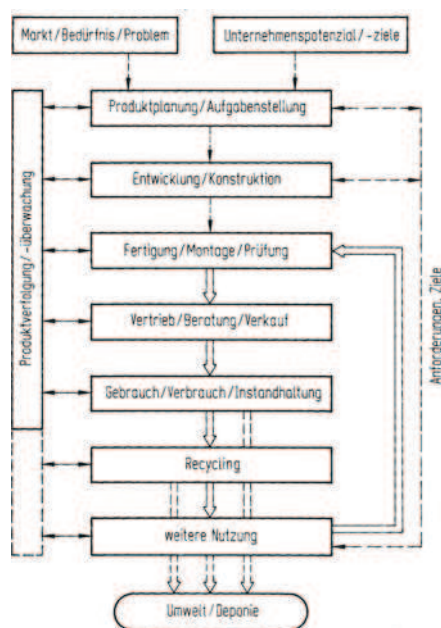


Bild 1-1. Lebensphasen eines technischen Produkts. In Anlehnung an [1, 2]

meinen „Materialkreislauf“, siehe Bild D 1-1. Der Zyklus beginnt bei einer Produktidee, die sich aus einem Markt- oder Kundenbedürfnis ergibt und im Zuge einer Produktplanung so weit konkretisiert wird, dass sie durch eine Entwicklung und Konstruktion in ein realisierbares Produkt umgesetzt werden kann. Es folgt der Herstellungsprozess mit Teilefertigung, Montage und Qualitätsprüfung. Der Ablauf beim Produkthersteller endet beim Vertrieb und Verkauf. Diese Phase ist die Schnittstelle zur Produkthanwendung, die sich als Gebrauch oder Verbrauch darstellen kann. Zur Verlängerung der Nutzungsdauer können zwischengeschaltete Instandhaltungsschritte dienen. Nach der Primärnutzung folgt das Produkt-Recycling, das zu einer weiteren Nutzung bei gleichbleibenden oder veränderten Produktfunktionen (Wieder- bzw. Weiterverwendung) oder zur Altstoffnutzung bei gleichbleibenden oder veränderten Eigenschaften der Sekundärwerkstoffe (Wieder- bzw. Weiterverwertung) führen kann. Nicht recyclingfähige Komponenten enden dann auf der Deponie oder in der Umwelt.

Dieser Lebenszyklus gilt sowohl für materielle Produkte des Maschinen-, Apparate- und Gerätebaus als auch, abgesehen von Recycling bzw. Deponierung, für Software-Produkte. Er wird in einem Unternehmen zweckmäßigerweise durch eine Produktverfolgung überwacht.

1.1.2 Wirtschaftlicher Lebenszyklus

Der Lebenszyklus eines Produkts kann nicht nur hinsichtlich der aufeinanderfolgenden Konkretisierungsstufen von Herstellung und Anwendung betrachtet werden, sondern auch hinsichtlich der wirtschaftlichen Daten, bezogen auf die jeweilige Phase des Produktlebens. Bild 1-2 zeigt den Bezug der Produktphasen auf Umsatz, Gewinn und Verlust.

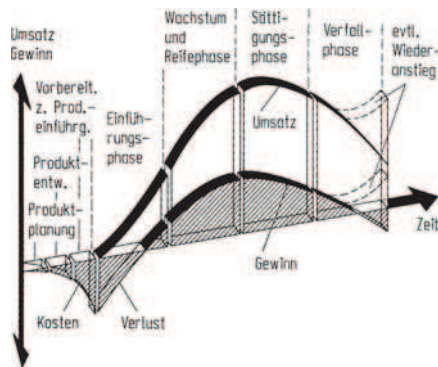


Bild 1-2. Lebenszyklus eines Produkts, gekennzeichnet durch Umsatz, Erlöse und Aufwendungen [3, 5]

Man erkennt, dass vor Umsatzbeginn Realisierungskosten vom Unternehmen aufgebracht werden müssen (Aufwendungen), die bei einsetzendem Umsatz zunächst ausgeglichen werden müssen, ehe das Produkt in die Gewinnzone kommt. Diese erlebt dann eine Wachstums- und Sättigungsphase am Markt, ehe ein Verfall durch Umsatz- und Gewinnrückgang erfolgt. Eine Wiederbelebung von Umsatz und Gewinn, z. B. durch besondere Vertriebs- und Werbemaßnahmen, ist meistens nur von kurzer Dauer, sodass es erfolversprechender ist, rechtzeitig durch Entwicklung neuer Produkte einen Ausgleich abfallender Lebenskurven alter Produkte durch ansteigende Lebenskurven neuer Produkte zu erreichen.

1.2 Produktplanung

1.2.1 Bedeutung

Die Planung und Entwicklung marktfähiger Produkte gehören zu den wichtigsten Aufgaben der Industrie. Wegen der unvermeidbaren Abstiegsphasen der vorhandenen Produkte oder Produktgruppen (siehe 1.1) muss eine systematische Planung neuer Produkte erfolgen, was auch als innovative Produktpolitik bezeichnet wird [5]. Strategien zur Produktplanung dürfen dabei gute Ideen von Erfindern und phantasie-reichen Unternehmern nicht abblocken, vielmehr sollen diese durch methodische Hilfsmittel unterstützt und in einen notwendigen Zeitrahmen eingeordnet werden.

1.2.2 Grundlagen

Grundlage einer Produktplanung sind die Verhältnisse am Absatzmarkt, im Umfeld des Unternehmens und innerhalb des Unternehmens. Diese können gemäß Bild 1-3 als externe und interne Einflüsse auf ein Unternehmen und insbesondere auf seine Produktplanung definiert werden.

Externe Einflüsse: Sie kommen

- aus der Weltwirtschaft (z. B. Wechselkurse),
- aus der Volkswirtschaft (z. B. Inflationsrate, Arbeitsmarktsituation),
- aus Gesetzgebung und Verwaltung (z. B. Umweltschutz),
- aus dem Beschaffungsmarkt (z. B. Zuliefer- und Rohstoffmarkt),
- aus der Forschung (z. B. staatlich geförderte Forschungsschwerpunkte),
- aus der Technik (z. B. Entwicklungen der Informationstechnik oder Lasertechnik) sowie
- aus dem Absatzmarkt.

Dabei sind die Verhältnisse des Absatzmarktes von entscheidender Bedeutung. Es wird unterschieden zwischen einem *Käufermarkt* und einem *Verkäufermarkt*. Beim ersten ist das Angebot größer, beim zweiten kleiner als die Nachfrage. Beim Verkäufermarkt ist also die Produktion der Engpass, beim

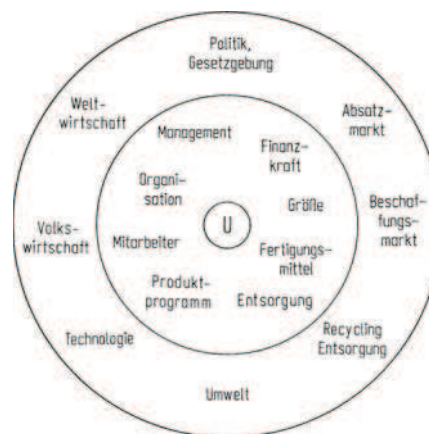


Bild 1-3. Externe und interne Einflüsse auf ein Unternehmen. In Anlehnung an [4]

Käufermarkt müssen dagegen Produkte geplant und entwickelt werden, die sich im Wettbewerb behaupten können.

Weitere Merkmale zur Kennzeichnung von Märkten sind:

- Wirtschaftsgebiete: Binnenmarkt, Exportmärkte.
- Neuheit für das Unternehmen: Derzeitiger Markt, neuer Markt.
- Marktposition: Marktanteil, strategische Freiräume des Unternehmens, technische Wertigkeit seiner Produkte.

Interne Einflüsse: Sie kommen, vgl. Bild 1-3,

- aus der Organisation des Unternehmens (z. B. produktorientierte Vertikal- oder aufgabenorientierte Horizontalorganisation),
- aus dem Personalbestand (z. B. Vorhandensein qualifizierten Entwicklungs- und Fertigungspersonals),
- aus der Finanzkraft (z. B. den Investitionsmöglichkeiten),
- aus der Unternehmensgröße (z. B. hinsichtlich des verkraftbaren Umsatzes),
- aus dem Fertigungsmittelpark (z. B. hinsichtlich bestimmter Fertigungstechnologien),
- aus dem Produktprogramm (z. B. hinsichtlich übernehmbarer Komponenten und Vorentwicklungen),
- aus dem Know-how (z. B. Entwicklungs-, Vertriebs- und Fertigungserfahrungen) sowie
- aus dem Management (z. B. als Projektmanagement).

Die aufgeführten Einflüsse werden auch als Unternehmenspotenzial bezeichnet.

1.2.3 Vorgehensschritte

Eine systematische Produktplanung ist durch einen Ablaufplan gekennzeichnet, dessen Inhalt die in 1.2.2 genannten internen und externen Einflüsse berücksichtigen muss. Der in Bild 1-4 vorgeschlagene Ablauf fasst Vorschläge mehrerer Autoren zusammen [6, 7].

Der Markt, das Umfeld (externe Einflüsse) und das Unternehmen (interne Einflüsse) bilden die Eingangsinformationen für eine Produktplanung.

Diese müssen zunächst nach mehreren Gesichtspunkten analysiert werden (Bild 1-4). Von besonderer Bedeutung ist dabei das Aufstellen einer Produkt-Markt-Matrix, aus der hervorgeht, in welche Märkte das Unternehmen seine derzeitigen Produkte mit welchem Umsatz, Gewinn und Marktanteil absetzt. Hieraus ergeben sich schon Stärken und Schwächen einzelner Produkte. Ergebnis dieses 1. Arbeitsschrittes ist die *Situationsanalyse*, die Grundlage zum Aufstellen von Suchstrategien ist. Diese sollen zum Erkennen strategischer Freiräume sowie von Bedürfnissen und Trends bei Berücksichtigung von Zielen, Fähigkeiten und Potenzialen des Unternehmens führen. So liefert z. B. die Produkt-Markt-Matrix nicht nur den Istzustand des Unternehmens, sondern zeigt auch Möglichkeiten auf, mit vorhandenen Produkten in neue Märkte, mit neuen Produkten in vorhandene Märkte und mit neuen Produkten in neue Märkte zu gehen. Die letztgenannte Strategie ist die am weitesten gehende, daher auch risikoreichste, aber in vielen Fällen auch die lohnendste. Ergebnis dieses 2. Arbeitsschrittes ist ein *Suchfeldvorschlag*, der denjenigen Bereich abgrenzt, in dem das Suchen nach neuen Produktideen lohnt und unter den einschränkenden Bedingungen möglich ist.

Der 3. Arbeitsschritt umfasst folgerichtig das Suchen und Finden von Produktideen. Dabei können neue Produktfunktionen (Aufgaben) und/oder neue Lösungsprinzipien gesucht werden (siehe 1.3 und 3). Es gibt zwei Vorgehensrichtungen bei der Innovation: Einmal eine neue Aufgabenstellung als neues Marktbedürfnis (Produktfunktion), die mit einem bekannten oder neuen Lösungsprinzip realisiert wird, oder ein bekanntes oder neues Lösungsprinzip, mit dem eine neue oder bekannte Aufgabenstellung (Produktfunktion) gelöst wird. Bei jeder Variante handelt es sich um eine Neuentwicklung oder Innovation. Ergebnisse dieser Phase sind neue *Produktideen*.

Diese müssen nun nach technisch-wirtschaftlichen Kriterien beurteilt werden, um die entwicklungswürdigen Ideen zu erkennen. Auswahlkriterien sind dabei die Unternehmensziele, die Unternehmensstärken und das Umfeld.

Die ausgewählten Produktideen werden schließlich in einem letzten Arbeitsschritt präzisiert, möglicherweise danach nochmals selektiert und als *Produktvorschläge* definiert.

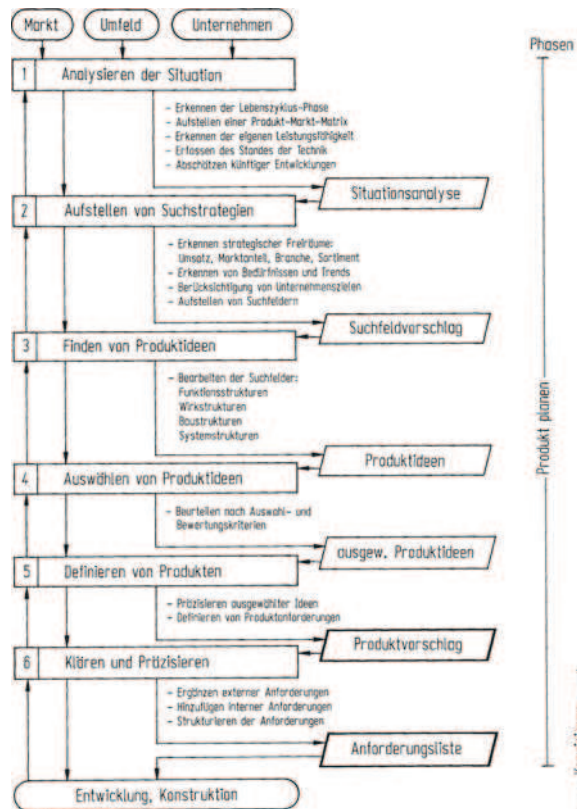


Bild 1-4. Vorgehensschritte einer Produktplanung [5-7]

Ein Produktvorschlag als Ergebnis der Produktplanung ist dann die Grundlage für die eigentliche Produktentwicklung und Konstruktion.

1.3 Produktentwicklung

1.3.1 Generelles Vorgehen

Auch für die Produktentwicklung haben sich Ablaufpläne mit aufeinanderfolgenden Arbeitsschritten eingeführt, die auf allgemeinen Lösungsmethoden bzw. arbeitsmethodischen Ansätzen (siehe 3.1) sowie den generellen Zusammenhängen beim Aufbau technischer Produkte (siehe 2) aufbauen. Trotz der Unterschiedlichkeit der Produktentwicklungen ist es möglich, einen einheitlichen branchenunabhängigen Ablaufplan aufzustellen, dessen Arbeitsschritte

natürlich für die speziellen Bedingungen jeder Aufgabenstellung modifiziert werden müssen, Bild 1-5.

Das Vorgehen beginnt mit dem Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung, was insbesondere bei neuen Konstruktionsaufgaben von großer Bedeutung ist. Der Konstrukteur muss aus der Fülle der vorgegebenen Anforderungen die wesentlichen zu lösenden Probleme erkennen und diese in der Sprache seines Konstruktionsbereiches formulieren. Ergebnis: *Anforderungsliste*.

Die lösungsneutralste, d.h. Lösungen mit nicht vorfixierender Definition von Aufgaben, erfolgt zweckmäßigerweise in Form von Funktionen, deren Verknüpfung zu Funktionsstrukturen führt (siehe 2.1). Solche Funktionsstrukturen stellen bereits eine abstrakte Form eines Lösungskonzepts dar und müssen an-

schließlich schrittweise realisiert werden. Ergebnis: *Funktionsstruktur*.

Die Erarbeitung von Wirkprinzipien für die einzelnen Teilfunktionen der Funktionsstruktur ist die Grundlage für die Generierung einer für die Lösung der Aufgabenstellung geeigneten Wirkstruktur. Bei mechanischen Produkten beruhen die einzelnen Wirkprinzipien im Wesentlichen auf der Nutzung physikalischer Effekte und deren prinzipieller Realisierung mithilfe der Festlegung geeigneter geometrischer und stofflicher Merkmale. Bei Software-Produkten dagegen sind es im Wesentlichen Algorithmen und Datenstrukturen. Die Beantwortung der Frage, welche physikalischen Effekte als Grundlage für die einzelnen benötigten Wirkprinzipien geeignet sind, kann mithilfe von z. B. intuitiv- oder diskursivbetonten Lösungsfindungsmethoden unterstützt werden. Die erarbeiteten Wirkprinzipien, i. d. R. 3 bis 4 für jede zu realisierende Teilfunktion, werden dann mithilfe des Ordnungsschemata *morphologischer Kasten* zu Wirkstrukturen verknüpft. Unter der Nutzung von Bewertungsverfahren erfolgt die Festlegung, welche Wirkstruktur für die weitere Bearbeitung freigegeben wird (siehe 2.2, 3.2, 3.6.2). Ergebnis: Prinzipielle Lösung, Konzept.

Das Aufgliedern der prinzipiellen Lösung in realisierbare Module soll zu einer Baustruktur führen (siehe 2.3), die zweckmäßige Entwurfs- oder Gestaltungsschwerpunkte vor der arbeitsaufwändigen Konkretisierung erkennen lässt sowie eine fertigungs- und montagegünstige, instandhaltungs- und recyclingfreundliche und/oder baukastenartige Struktur erleichtert. Ergebnis: *Modulare Struktur*.

Das Gestalten maßgebender Module der Baustruktur, d. h. zum Beispiel bei mechanischen Systemen das Festlegen der Gruppen, Teile und Verbindungen zum Erfüllen der für das Produkt wesentlichen Hauptfunktionen bzw. zum Konkretisieren der für diese gefundenen prinzipiellen Lösungen, umfasst vor allem folgende Tätigkeiten: Verfahrenstechnische Durchrechnungen, Spannungs- und Verformungsanalysen, Anordnungs- und Designüberlegungen, Fertigungs- und Montagebetrachtungen u. dgl. (siehe 3.3). Diese Arbeiten dienen in der Regel noch nicht fertigungs- und werkstofftechnischen Detailfestlegungen, sondern zunächst der Festlegung der wesentlichen Merkmale der Baustruktur, um diese

nach technisch wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimieren zu können. Ergebnis: *Vorentwürfe*.

Der nächste Arbeitsschritt umfasst das Gestalten weiterer, in der Regel abhängiger Funktionsträger, das Feingestalten aller Gruppen und Teile sowie deren Kombination zum Gesamtentwurf. Hierzu werden eine Vielzahl von Berechnungs- und Auswahlmethoden, Kataloge für Werkstoffe, Maschinenelemente, Norm- und Zukaufteile sowie Kalkulationsverfahren zur Kostenerkennung eingesetzt (siehe 4). Ergebnis: *Gesamtentwurf*.

Der letzte Arbeitsschritt dient dem Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben, d. h. der Werkstattzeichnungen, Stücklisten oder sonstigen Datenträger zur Fertigung und Montage sowie von Bedienungsanleitungen, Wartungsvorschriften u. dgl. (siehe 5). Ergebnis: *Produktdokumentation*.

In der Praxis werden häufig mehrere Arbeitsschritte zu Entwicklungs- bzw. Konstruktionsphasen zusammengefasst, z. B. aus organisatorischen oder tätigkeitsorientierten Gründen. So werden im Maschinenbau die ersten drei Abschnitte als *Konzeptphase*, die nächsten drei Abschnitte als *Entwurfsphase* und der letzte Abschnitt als *Ausarbeitungsphase* bezeichnet.

1.3.2 Produktspezifisches Vorgehen

Das generelle Vorgehen nach 1.3.1 muss bei Aufgabenstellungen bzw. Produkten modifiziert werden, bei denen *mehrere Fachgebiete* so beteiligt sind, dass die entsprechenden Fachaufgaben weitgehend unabhängig voneinander, aber koordiniert durchgeführt werden. Solche Verhältnisse liegen z. B. bei Anlagen der Energie- und Verfahrenstechnik vor, bei denen der Maschinenbau, das Bauingenieurwesen, die Technische Chemie und die Elektrotechnik beteiligt sind, z. B. Geräte für die Medizin oder Biomedizin, bei denen die Konstruktion des mechanischen Teils, die Entwicklung des elektrischen und elektronischen Schaltungs- und Steuerungsteils und die Entwicklung von Software zunächst weitgehend unabhängig von unterschiedlichen Spezialisten durchgeführt werden. Bei derartig interdisziplinär geprägten Projekten ist es aber erforderlich, genaue Schnittstellen zu definieren und festzulegen. Während das Aufstellen der Anforderungsliste und der Funktionsstruktur zweckmäßigerweise für das Gesamtprodukt erfolgt,

Arbeitsabschnitte	Arbeitsschritte	Beispiel
<p>1</p> <p>Aufgabe</p> <p>Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung</p> <p>Anforderungsliste</p>	<p>Ergänzen externer Anforderungen</p> <p>Hinzufügen interner Anforderungen</p> <p>Strukturieren der Anforderungen</p>	<p>Anforderungsliste Getriebe</p> <p>F/W</p> <p>F Eingangsleistung P</p> <p>F Übersetzung i</p> <p>F Wellenlage, -höhe</p> <p>W geräuscharm</p> <p>...</p>
<p>2</p> <p>Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen</p> <p>Funktionsstruktur</p>	<p>Erkennen wesentlicher Funktionen</p> <p>Verknüpfen zu Funktionsstrukturen</p>	
<p>3</p> <p>Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen</p> <p>prinzipielle Lösung, Konzept</p>	<p>Suchen nach phys./chem. Effekten</p> <p>Festlegen von geom. und stoffl. Merkmalen</p> <p>Verknüpfen zu Wirkstrukturen</p> <p>Auswählen und Bewerten</p>	<p>Hebeleffekt: $M_1 = F \cdot l$</p> <p>hydraul. Effekt: $M_1 = \frac{\Delta p \cdot V}{2\pi} = \frac{F \cdot v}{2\pi \alpha}$</p>
<p>4</p> <p>Gliedern in realisierbare Module</p> <p>modulare Struktur</p>	<p>Erkennen gestaltungsbestimmender Anforderungen</p> <p>Analysieren der prinzipiellen Lösung</p> <p>Strukturieren in gestaltungsbest. Hauptfunktionsträger</p>	<p>gestaltungsbestimmend:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eingangs- und Ausgangswellen - Zahnradstufen <p>abhängig:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gehäuse
<p>5</p> <p>Gestalten der maßgebenden Module</p> <p>Vorentwürfe</p>	<p>Grobgestalten, Berechnen und Anordnen der gestaltungsbest. Hauptfunktionsträger</p> <p>Auswählen geeigneter Entwürfe</p>	

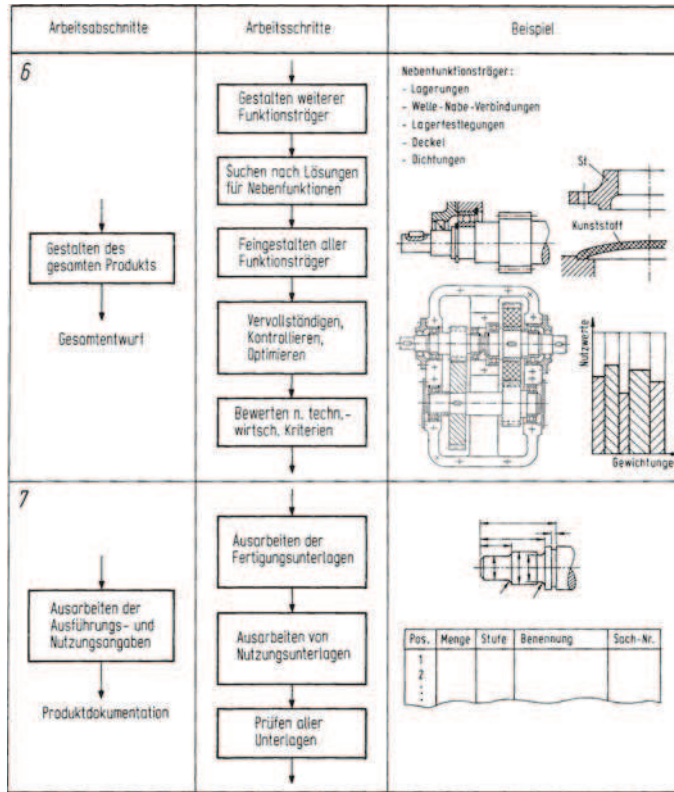


Bild 1-5. Vorgehensschritte einer Produktentwicklung: Arbeitsabschnitte nach VDI2221 [1], Arbeitsschritte nach [6]

verzweigen sich die weiteren Arbeitsschritte auf die parallelen Entwicklungspfade, natürlich in enger Abstimmung miteinander. Hierzu ist es hilfreich, nach größeren Konkretisierungssprüngen, z. B. nach Festlegen der modularen Baustruktur und nach Vorliegen der einzelnen Feinentwürfe, die Arbeitsergebnisse zusammengefasst zu dokumentieren (System-Baustruktur, Systementwurf), um fehlende Abstimmungen zu erkennen und ein homogenes Gesamtprodukt zu erhalten. Die Produktdokumentation erfolgt dann für das Gesamtprodukt.

Während bei *Neuentwicklungen* alle Arbeitsabschnitte durchlaufen werden müssen, fallen bei *Weiterentwicklungen* oft die Abschnitte 2 und 3 (Bild 1-5) oder bei *Anpassungskonstruktionen* zusätzlich die Abschnitte 4 und 5 weg. In vielen Fällen hat es sich aber als zweckmäßig erwiesen, auch diese Entwick-

lungsschritte nochmals zu kontrollieren bzw. nachzuvollziehen, um sie mit dem aktuellen Wissensstand zu vergleichen. Der dargestellte Entwicklungsablauf erfolgt bei Produkten in *Einzelfertigung* in der Regel nur einmal, wobei einzelne Arbeitsabschnitte bei unbefriedigendem Arbeitsergebnis erneut durchlaufen werden. Hierbei ist zu bemerken, dass der gesamte Produktentwicklungsprozess stark von einer iterativen Vorgehensweise geprägt ist (siehe auch 3.1.1. Bei Produkten mit *Serienfertigung*, z. B. Kraftfahrzeugen oder Haushaltsgeräten, wäre eine direkte Realisierung als Endprodukt zu risikoreich. Bei solchen Produkten ist es üblich, den Entwicklungs- und Fertigungsdurchlauf mehrmals durchzuführen, um nach Fertigung zunächst von Funktions- bzw. Labormustern und gegebenenfalls von zusätzlichen Prototypen bzw. Nullserien in zwischengeschalteten Versuchs-

und Erprobungsphasen Schwachstellen erkennen zu können, die dann in einem erneuten Konstruktions- und Fertigungsvorgang verbessert werden.

2 Aufbau technischer Produkte

Der Aufbau technischer Produkte ist durch mehrere generelle Zusammenhänge gekennzeichnet, die auch die unterschiedlichen Konkretisierungsstufen einer Produktentwicklung bestimmen (siehe 1.3).

2.1 Funktionszusammenhang

2.1.1 Allgemeines

Unter *Funktion* wird der allgemeine Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen, verstanden: Bild 2-1.

Bei technischen Produkten oder Systemen sind die Ein- und Ausgangsgrößen *Energie-* und/oder *Stoff-* und/oder *Signalgrößen*. Da ein Signal die physikalische Realisierung einer Informationsübertragung ist, wird statt des Signals auch häufig die *Information* als Ein- und Ausgangsgröße gewählt.

Die Soll-Funktion oder die Soll-Funktionen sind eine abstrakte, lösungsneutrale und eindeutige Form einer Aufgabenstellung. Sie ergeben sich bei der Entwicklung neuer Produkte aus der Anforderungsliste.

Entsprechend Bild 2-2 unterscheidet man zwischen

- der Gesamtfunktion zur Beschreibung einer zu lösenden Gesamtaufgabe eines Produkts oder Systems und
- Teilfunktionen, die durch Aufgliederung einer Gesamtfunktion mit dem Ziel einfacher zu lösender Teilaufgaben entstehen. Dabei ist der zweckmäßigste Aufgliederungsgrad abhängig vom Neuheitsgrad einer Aufgabenstellung, von der Komplexität des zu entwickelnden Produkts sowie vom



Bild 2-1. Definition einer Funktion in Black-box-Darstellung [1]

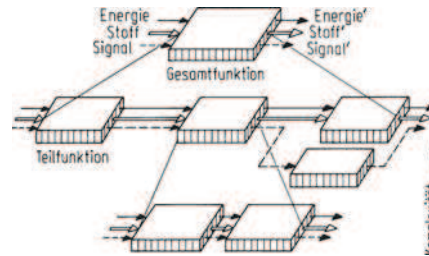


Bild 2-2. Funktionsstruktur eines technischen Produkts [1]

Kenntnisstand über Lösungen zur Erfüllung der Funktionen.

Teilfunktionen werden zu einer *Funktionsstruktur* verknüpft, wobei die Verknüpfungen durch logische und/oder physikalische Verträglichkeiten bestimmt werden (siehe 3.6.2).

Wesentlich ist dabei, dass eine oft sehr komplexe zu realisierende Gesamtfunktion mithilfe von einzelnen Teilfunktionen so strukturiert wird, dass die Erarbeitung von optimalen Lösungen möglich ist (siehe auch 3.1.3).

Zusammenfassend kann festgestellt werden: Es gibt keinen Stoff- oder Signalfluss ohne begleitenden Energiefluss, auch wenn die benötigte Energie sehr klein sein oder problemlos bereitgestellt werden kann. Ein Signalumsatz ohne begleitenden Stoffumsatz ist aber, z. B. bei Messgeräten, möglich. Auch ein Energieumsatz zur Gewinnung z. B. elektrischer Energie ist mit einem Stoffumsatz verbunden, wobei der begleitende Signalfluss zur Steuerung ein wichtiger Nebenfluss ist.

2.1.2 Spezielle Funktionen

Logische Funktion:

Beim Entwurf und bei der Beschreibung technischer Systeme spielen häufig zweiwertige oder „binäre“ Größen eine Rolle: Bedingungen (erfüllt – nicht erfüllt), Aussagen (wahr – falsch) und z. B. Schalterstellungen (ein – aus).

Der Entwurf von Systemen, die geforderte Abhängigkeiten zwischen binären Größen realisieren, heißt logischer Entwurf. Er bedient sich der mathematischen Aussagenlogik in Form der Boole'schen Algebra (A 1.3) mit den Grundverknüpfungen UND und ODER und der Negation.

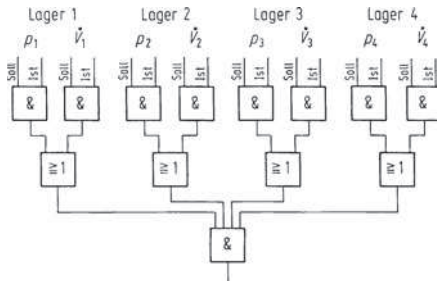


Bild 2-3. Logische Funktionen zur Überwachung einer Lagerölversorgung [1]. Druckwächter überwachen p , Strömungswächter überwachen \dot{V}

Mit Boole'schen Verknüpfungsgliedern können komplexe Schaltungen aufgebaut werden, die z. B. die Sicherheit von Steuerungs- und Meldesystemen erhöhen.

Bild 2-3 zeigt als Beispiel die Überwachung einer Lagerölversorgung, bei der die Soll- und Istwerte jeweils der Druckwächter und der Strömungswächter durch eine UND-Funktion verknüpft sind, während die Ausgangssignale der Druck- und Strömungswächter miteinander durch eine ODER-Funktion verknüpft sind. Alle Lager sind untereinander wieder durch eine

UND-Verknüpfung verknüpft, d. h. alle Lager müssen mindestens eine wirksame Ölüberwachung haben, damit die Maschine betriebsbereit ist.

Allgemein anwendbare Funktionen: Diese sind in technischen Produkten immer wiederkehrende Funktionen, die als Ordnungsmerkmale für Lösungskataloge, als Grundlage für Funktionsstruktur-Variationen und als Abstraktionshilfe bei der Analyse vorhandener Produkte nach ihren grundlegenden Funktionszusammenhängen dienen können.

In Bild 2-4 sind fünf derartige Funktionen zusammengestellt, die mithilfe einer Zuordnungsvariation von Eingang und Ausgang einer Funktion hinsichtlich Art, Größe, Anzahl, Ort und Zeit abgeleitet wurden. Weitere Vorschläge für allgemeine Funktionen siehe [1].

2.2 Wirkzusammenhang

Die Teilfunktionen und die Funktionsstruktur des Funktionszusammenhangs eines technischen Produkts müssen durch einen Wirkzusammenhang erfüllt werden. Dieser besteht dementsprechend aus *Wirkprinzipien* zur Erfüllung der Teilfunktionen und aus einer *Wirkstruktur* zur Erfüllung der

Merkmalsmerkmal Eingang E/Ausgang A	Allgemein anwendbare Funktionen	Symbole	Erläuterungen	Beispiele
Art	Wandeln		Art und Erscheinungsform von E und A unterschiedlich	Elektromotoren versch. Bauart Hebel
Größe	Ändern Vergrößern Verkleinern	 	$E < A$ $E > A$	Rädergetriebe Hebel
Anzahl	Verknüpfen Verzweigen	 	Anzahl von E > Anzahl von A Anzahl von E < Anzahl von A	 Rohrleitungen Mehrweggetriebe
Ort	Leiten Sperrn	 	Ort von E \neq Ort von A Ort von E = Ort von A	Rohrleitungen Sperrventil
Zeit	Speichern		Zeitpunkt von E \neq A	Schwungrad (Rot.) potenzielle Energie

Bild 2-4. Allgemein anwendbare Funktionen [2]

Funktionsstruktur. Die Wirkstruktur besteht also aus einer Verknüpfung mehrerer Wirkprinzipien. Ein Wirkprinzip wird durch einen physikalischen oder chemischen oder biologischen Effekt oder eine Kombination mehrerer Effekte sowie durch deren prinzipielle Realisierung mit geometrischen und stofflichen Merkmalen (wirkstrukturelle Merkmale) bestimmt.

Zur Realisierung von Funktions- und Datenstrukturen bei DV-Programmen (Software-Entwicklungen (siehe 1.3.2)) beinhalten Wirkprinzipien bzw. Wirkstrukturen Algorithmen zum Datentransfer zu und von Datenbanken, zum Erzeugen von Ausgangsdaten aus Eingangsdaten einer Funktion durch arithmetische und/oder logische Operationen sowie zur Kommunikation mit dem Programmbenutzer. Wirkstrukturelle Merkmale sind Strukturmerkmale, Leistungsmerkmale und Realisierungsmerkmale.

2.2.1 Physikalische, chemische und biologische Effekte

Bei stofflichen Produkten des Anlagen-, Maschinen-, Apparate- und Gerätebaus wird die Lösungsgrundlage durch Effekte vor allem aus der Physik aber auch aus der Chemie und/oder der Biologie gebildet. Effekte sind durch Gesetze, die die beteiligten Größen einander zuordnen, auch quantitativ beschreibbar. Zum Beispiel werden bei der Schaltkupplung in Bild 2-5 die Teilfunktion „Schalkkraft F_S in Normalkraft F_N ändern“ durch den physikalischen Hebeleffekt und die Teilfunktion „Umfangskraft F_U erzeugen“ durch den Reibungseffekt realisiert. Vor allem Rodenacker [3], Koller [4] und Roth [5] haben physikalische Effekte für Konstruktionen zusammengestellt.

Die Erfüllung einer Teilfunktion kann oft erst durch Verknüpfen mehrerer Effekte erzielt werden, wie

Zusammenhänge	Elemente	Struktur	Beispiel
Funktions-zusammenhang	Funktionen	Funktions- struktur	<p>zu entwickelndes techn. Gebilde</p>
Wirk-zusammenhang	physikalische Effekte sowie geometrische und stoffliche Merkmale ↓ Wirkprinzipien	Wirk- struktur	<p>Hebeleffekt: $F_S \cdot a = F_N \cdot b$ $F_S = F_N \cdot \frac{b}{a}$ $F_N = F_S \cdot \frac{a}{b}$</p> <p>Reibungseffekt: $R = F_N \cdot \mu$ $F_U = R$</p>
Bau-zusammenhang	Bauteile Verbindungen Baugruppen	Bau- struktur	
System-zusammenhang	techn. Gebilde Mensch Umgebung	System- struktur	

Bild 2-5. Zusammenhänge in technischen Systemen [1]