

## **1. Einleitung**

### **1.1 Einführung**

Gründe methodisches, systematisches Vorgehen:

- Erhöhung Planbarkeit
- Nachvollziehbare Vorgehensweise
- Verkürzen der Entwicklungszeit

Produktentstehungszyklus (PEP)

- Teil Produktlebenszyklus
- Nicht ex. Produkt wird geschaffen
- *Beginnt mit Produktidee endet mit Produktherstellung*
- Muss nicht mit Produktherstellung enden kann unterbrochen oder abgebrochen (wirtschaftliche/technische Schwierigkeiten etc.)
- Teil Geschäftsprozess und Produktlebenszyklus (-> Beginnt mit Produktidee und endet mit Wiederverwertung am Ende der Nutzungsdauer)

### **1.2 Produkt**

Definition: Ergebnis eines Prozesses materieller oder immaterieller Form

- Vier Kategorien
  - Hardware (materiell)
  - Verfahrenstechnische Produkte (materiell)
  - Software (immateriell)
  - Dienstleistungen (immateriell)
    - Kombinationen aller möglich
- Bildung Leistungsbündeln (kombinierte Sach- und Dienstleistungen als Produkt entlang der Wertschöpfungskette)
- Produktbeschreibung durch mehrere Dimensionen möglich
  - zeitliche (Lebensdauer, etc.)
  - personelle (Ergonomie, etc.)
  - technische (Leistung, etc.)
  - wirtschaftliche (HK, etc.)
  - ökologische (CO2-Bilanz, etc.)

### **1.3 Produktentstehung**

- vielfältige Methoden, Fähigkeiten und umfangreiches Wissen erforderlich
- interdisziplinär -> mehrere Personen nötig
- früher: Arbeitsteilung <-> heute: Teamarbeit zwischen Abteilungen
- spezielle Berufsbilder für ver. Qualifikationsanforderungen nötig
  - große UN -> Spezialisten + mehrere Abteilungen
  - kleine UN -> Generalisten

## 1.4 Erfolgskriterien in der Produktentstehung

### Magisches Dreieck

Zeit – Kosten – Qualität

-> wechselseitige Beeinflussung

### Festlegung von Produktmerkmalen

- Beeinflusst weitere Merkmale sowie Erfolgskriterien (Zeit-Kosten-Qualität)
- Durch Fehlentscheidungen werden Eigenschaften beeinflusst
  - Folgen:
    - Iterationsschleifen PEP
    - Ausschuss
    - Reklamationen/Rückruf
- Zeitpunkt Fehlerentstehung ≠ Zeitpunkt Fehlerbehebung
  - 75% Fehler werden in früher Phase PEP verursacht
  - 80% Fehler werden in später Phase PEP oder während Nutzung behoben

### Produktqualität

- Steigerung durch vermeiden und frühzeitiges Beheben von Fehlern

### Fehlerkosten und Zehnerregel

- Fehlerkosten sind anfallende Kosten für
  - Vermeidung
  - Entdeckung
  - Behebung
  - Ausgleich von Folgeschäden
- Zehnerregel
  - Änderungskosten erhöhen sich, in der Produktentwicklung pro Phase um den Faktor 10
  - Je später Fehler bearbeitet wird desto teurer

### Festgelegte und realisierte Kosten

- Frühe Phase PEP
  - Fehlerkosten relativ niedrig
  - Anteil festgelegter Kosten hoch
  - Anteil verursachter Kosten niedrig
    - Bsp. Konstruktion 70% festgelegt ca. 10% verursacht

### Wirkung von Entscheidungen

- Entscheidungen in nachfolgenden Schritten zu ändern führt zu erheblichem Mehraufwand

## 1.5 Produktentwicklungsprozess

- Prozessschritte:
  - Planen
  - Konzipieren
  - Entwerfen
  - Ausarbeiten

### Entwicklung und Konstruktion

- Nutzen Gesetze+Erkenntnisse u.a. der Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaft
- Bauen auf Erfahrungswissen auf
- Verarbeiten Informationen
- Nicht allgemeingültig abgrenzbar

### Entwickeln und Konstruieren

- Optimierungsprozesse
- Bei zeitlich verändernden Anforderungen d.h. optimale Lösung existiert nur temporär
- Wirtschaftliche und zeitliche Zielsetzung

### Entwicklungsprozess

- Unternehmerisches Vorgehen
- Beginnt mit bestimmen von Marktanforderungen
- Endet mit Abnahme des Entwicklungsergebnisses durch internen/externen Auftraggeber

### Produktentwicklung benötigt:

- Grundlagenwissen (nat.-; ingwissenschaften)
- Erfahrungswissen
- Methodenwissen
- Entschlusskraft
- Entscheidungsfreudigkeit
- Kommunikations- und Teamfähigkeit

## Aufgaben Ingenieur in Produktentwicklung

- Tätigkeiten in Forschung, Entwicklung, Konstruktion hauptsächlich
- Interdisziplinäre Aufgabenstellungen
- Fachliche Spezialisierungen möglich
- Zeitanteile Konstruktionstätigkeit
  - Entwerfen 9%
  - Berechnen 7%
  - Zeichnen 27%
- Aufgaben Tätigkeiten hängen ab von:
  - Aufgabenherkunft
    - Serienproduktion
    - Kleinserienproduktion
  - Organisation
    - Produktorientiert
    - Problemorientiert
  - Neuheit
    - Neukonstruktion
    - Anpassungskonstruktion
    - Variantenkonstruktion
  - Fertigung
    - Einzel-/Kleinserienfertigung
    - Serien-/Massenfertigung

## Grobstruktur der Konstruktionstätigkeit

- |                           |     |
|---------------------------|-----|
| • Konzipieren             | 3%  |
| • Entwerfen und Berechnen | 16% |
| • Ausarbeiten             | 40% |
| • Sonstiges               | 41% |

## **1.6 Methodische Produktentwicklung**

- Allgemein Bestandteile vieler Produktentwicklungen (Planen, Konzipieren, Entwerfen, Ausarbeiten)
- Ablauforganisation in Produktentwicklungsprozess
- Arbeitsschritte können übersprungen werden wenn Ergebnisse bereits bekannt
- Iteratives Arbeiten

## Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren

### **2. Produktentwicklung**

- Ziel von Produktentwicklungsstrategien: Erreichen langfristiger Ziele mit Hilfe von Prozessen, Vorgehensweisen und Methoden

- Produktentwicklungsstrategien
  - Integrierte Produktentwicklung
  - Simultaneous Engineering
  - Vorteile
    - Erhöhung Flexibilität
    - Steigerung Produktqualität

## **2.1 Vorgehensweisen in der Produktentwicklung**

- Vorgehensweisen -> Handlungsabfolgen zum systematisch strukturierten Entwickeln

### **2.1.1 VDI2221 Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte**

- Enthält allgemeingültige, branchenunabhängige Grundlagen methodischen Entwickelns und Konstruierens
- Untergliedert Entwicklungs-Konstruktionsaufgabe in 7 Arbeitsschritte -> dadurch wird Vorgehen überschaubar, rationell, branchenübergreifend
- Ziel:
  - Teamarbeit
  - Organisatorische Ausrichtung
  - Integration IT
  - Einheitliche Definition von Begriffen
- Herausforderungen dabei:
  - Wettbewerbssituation
  - Kostendruck
  - Termindruck

#### **Arbeitsschritte**

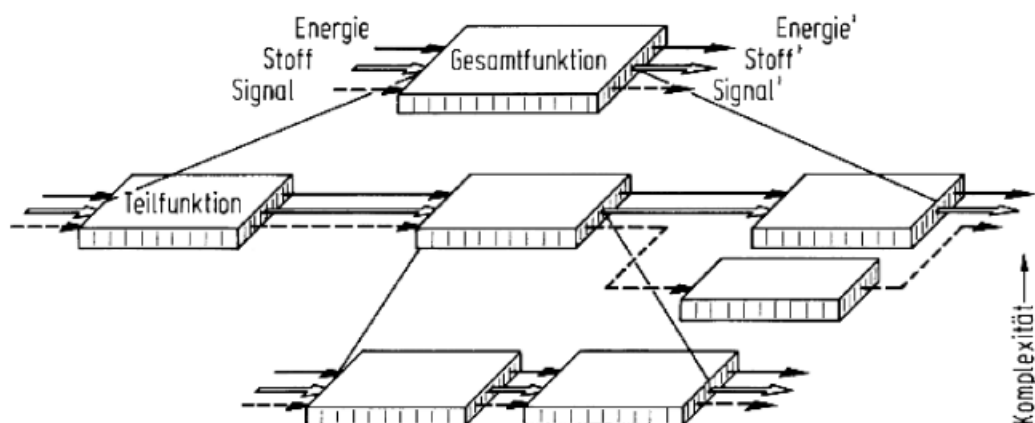
1. Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung
  - Anforderungsliste
2. Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen
  - Funktionsstruktur
3. Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen
  - Prinzipielle Lösung
4. Gliedern in realisierbare Module
  - Modulare Strukturen
5. Gestalten der maßgebenden Module
  - Vorentwürfe
6. Gestalten des gesamten Produkts
  - Gesamtentwurf
7. Ausarbeiten der Ausführung und Nutzungsangaben
  - Produktdokumentation

## Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung

- Überprüfen u./o. Ergänzen von Informationen
- Ergänzen UNinterner Anforderungen
- Formulieren der Aufgabenstellung  
→ Anforderungsliste

## Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen

- Hauptfunktionen definieren anschließen Nebenfunktionen
- Verbinden der Funktionen mit Energie-, Signal-, Stoffflüssen



→ Funktionsstruktur

## Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen

- Für jede Funktion Lösungsprinzip finden
- Zusammenfassen der Einzellösungen zu einer Wirkstruktur

## Gliedern in realisierbare Module

- Ausgangsunterlagen Wirkstruktur
- Daraus erarbeiten modulare Struktur  
→ Gliederung der Lösung in die für Realisierung notwendigen realen Gruppen, Elemente sowie deren Verknüpfungen

## Gestalten der maßgebenden Module

- Festlegen:
  - Geometrische Eigenschaften
  - Stoffliche Eigenschaften
  - Programmtechnische Eigenschaften

→ Vorentwürfe/Grobgestalt

## Gestalten des gesamten Produkts

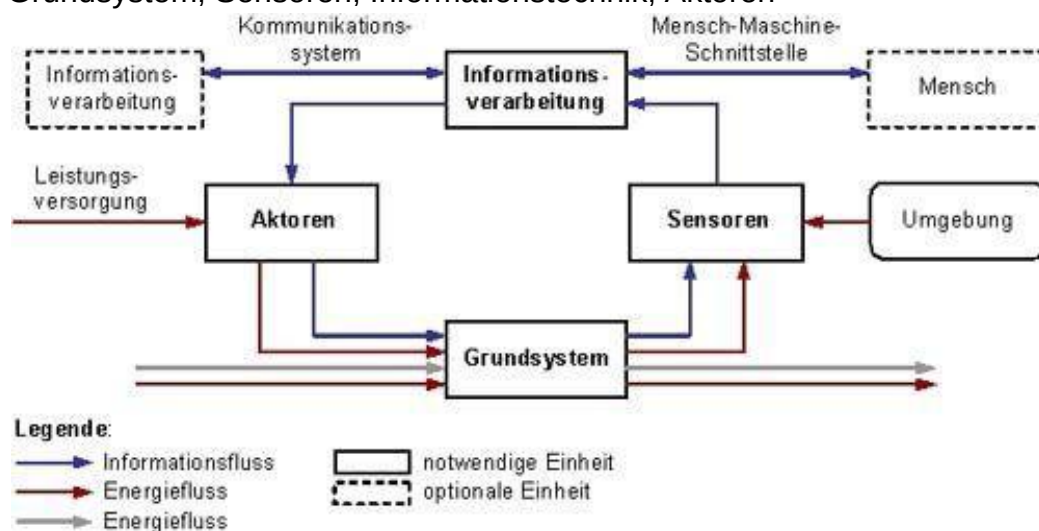
- Endgültig Festlegung durch Hinzufügen weiterer Teilangaben und durch Gestalten bzw. Ergänzen noch nicht bearbeiteter Gruppen/Elemente  
→ Gesamtentwurf/Feingestalt

## Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben

- Ausführungs- und Nutzungsangaben für die der Produktentwicklung nachgelagerten Phasen/Kunden
  - Zeichnungen
  - Vorschriften
  - Betriebsanleitungen/Benutzerhandbücher (Kunde)→ Produktdokumentation

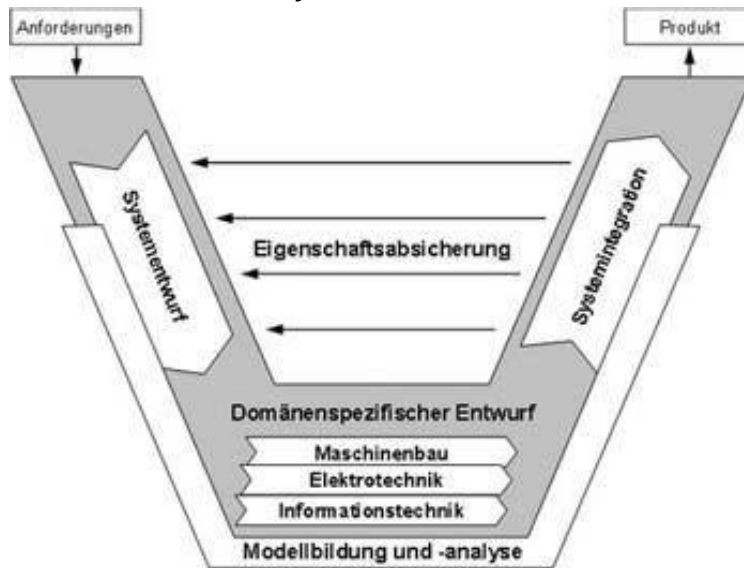
### **2.1.2 VDI2206 Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme**

- Eigene Fachdisziplin mit eigener Begriffswelt -> VDI2221 daher nicht durchgängig geeignet
- Entwicklungsprozess muss hoch flexibel sein
- Definition
  - Interdisziplinäres Gebiet
  - Folgende Disziplinen wirken zusammen: mechanische und mit ihnen gekoppelte Systeme. Dies können elektronische Systeme und/oder Informationstechniken sein.
  - Es überwiegt jedoch das mechanische System in der Funktion
- Mechanisches System = funktionale und/oder räumliche Interaktion von Grundsystem, Sensoren, Informationstechnik, Aktoren



## Vorgehen

- V-Modell als Makrozyklus



### Nutzenpotential der Mechatronik

- Innovationspotenzial
  - Hohe Entwicklungsdynamik elektronischer und softwaretechnischer Komponenten (*Steigerung Leistungsfähigkeit bei sinkenden Kosten*)
  - Neuartige Kombination bekannter Produkttechnologien

### Komplexität und Interdisziplinarität

- Einsatz ermöglicht neue Wirkprinzipien
- Fokus liegt dabei auf
  - Komplexität
  - Interdisziplinarität

## 2.2 Modelle in der Produktentwicklung

- Vorkommende Modelle
  - CAD-Modell
  - Funktionsstruktur
  - Wirkstruktur
  - Wirkprinzip
- Wesentlicher Bestandteil der Produktentwicklung
- (Stachowiak) Merkmale:
  - Verkürzungsmerkmal (Fehlen nicht-relevanter Eigenschaften)
  - Abbildungsmerkmal (Repräsentation von Originalen)
  - Pragmatisches Merkmal (Gekennzeichnet durch Nutzen/Zweck)

### **2.2.1 Technische Systeme**

- Besitzt innere und äußere Eigenschaften (z.B. Verhalten, Betriebseigenschaften, Fertigungseigenschaften, etc)
- Merkmale
  - Vom Menschen gemacht
  - Physisch greifbar
  - Erfüllen nützliche Funktion
- Ein Technisches System transformiert Eingangsparameter (Stoff, Energie, Signal) in Ausgangsparameter (Stoff', Energie', Signal')
- Beinhaltet (besteht) aus mehreren Strukturen
  - Prozessstruktur
  - Funktionsstruktur
  - Baustruktur
- Werden auf 2 Arten modelliert
  - Verhaltensmodell
  - Strukturmodell

### **2.2.2 Elementmodell**

- Wissenschaftlicher Ansatz zum analytischen Beschreiben und Untersuchen von Produkten
- Grundlage: bestehendes Produkt (Gestalt, Randbedingungen, etc.) -> nicht für Neukonstruktionen geeignet
- Verbindet Funktion und Gestalt eines Produkts
- Entwickelt um:
  - Technisches System zu analysieren
  - Technisches System zu verbessern (Synthese)
- Prinzipielles Vorgehen
  - Analyseprozess -> Syntheseprozess
- Ziele:
  - Umfassendes Systemverständnis
  - Grundlage für neue Lösungssuche
- Vorgehen bei Analyse
  1. Systemgrenzen definieren
  2. Ort der Funktionserfüllung ermitteln
  3. Beschreibung dynamischer Systeme mit dem Sequenzmodell
    - ➔ Beschreiben hinzukommender/wegfallender WFP/LSS über die Zeit
  4. Fraktalen Charakter erkennen und Auflösung anpassen (Kammvorgehen)
    - ➔ Erhöhung des Detaillierungsgrades im Ort der Funktionserfüllung

- Vorgehen bei Synthese (Verbesserung)
  - Voraussetzung: Gründliche Analyse des Systems
    1. Wirkflächenpaare/Leitstützstrukturen hinzufügen
    2. Wirkflächenpaare/Leitstützstrukturen entfernen
    3. Eigenschaften von Wirkflächenpaare/Leitstützstrukturen ändern

### Wirkflächen (WF)

- Feste Oberflächen von Körpern oder generalisierte Oberflächen von Flüssigkeiten, Gasen, Feldern
- Kontakt (dauernd/zeitweilige) anderen Wirkflächen
- Beteiligt am Energie-, Signal-, u./o. Stoffaustausch

### Begrenzungsflächen

- Feste Oberflächen von Körpern oder generalisierte Oberflächen von Flüssigkeiten, Gasen, Feldern
- Nie kontakt mit Wirkflächen
- Nicht beteiligt am Energie-, Signal-, u./o. Stoffaustausch

### Wirkflächenpaare (WFP)

- Genau 2 Wirkflächen
- Stehen zeitweise, ganz oder teilweise in Kontakt
- Findet Energie-, Stoff- u./o. Signalübertragung statt -> Funktionskontakt

### Leistungsstrukturen (LSS)

- Volumina von Körpern, Flüssigkeiten, Gase oder felddurchsetzte Räume
- Verbinden genau 2 Wirkflächen miteinander
- Ermöglichen die Leitung von Energie, Stoff und Signal zwischen zwei Wirkflächen (-> wenn nicht kein LSS)
- Menge aller LSS -> Tragstruktur

### Reststruktur (RS)

- Volumina von Körpern, Flüssigkeiten, Gase oder felddurchsetzte Räume die nie Tragstruktur werden
- Funktionslos

### Grundhypothesen

- Müssen gelten für Funktionen in technischen Systemen
- Grundhypothese I
  - Grundelemente in technischen Systemen erfüllen Funktion durch Wechselwirkung mit mindestens einem anderen
  - Funktion = Kontakt einer Fläche mit anderen
  - Flächen = Wirkflächen

- Grundhypothese II
  - Funktion besteht mindestens aus 2 Wirkflächenpaaren und einer sie verbindenden Leitstützstruktur
  - Funktion wird durch Eigenschaften von Wirkflächenpaaren und Leitstützstruktur bestimmt
- Grundhypothese III
  - Jedes System das Funktionen erfüllt besteht aus Wirkflächenpaaren und Leitstützstrukturen in beliebiger Anzahl

### **2.2.3 Modellieren mit Produktmerkmalen und –eigenschaften**

- Unterschied Merkmal und Eigenschaft
- Merkmal: erfasst Gestalt eines Produkts -> kann von Produktentwickler direkt beeinflusst werden
- Eigenschaften: beschreibt Verhalten eines Produkts -> kann nur indirekt beeinflusst werden
- Einem Produktmerkmal wird eine Ausprägung (Wert) zugewiesen wodurch seine Eigenschaften bestimmt werden
  - Radius  $r = 5\text{mm}$  – Kerbwirkung an der Welle
- Vorgehen: Analyseprozess mit anschließendem Syntheseprozess
- Analyse: Bestimmung des Verhaltens basierend auf bekannten Merkmalen (Experimente)
- Synthese: Bestimmen von Merkmalen auf Basis von bekannten Eigenschaften
  - Bestimmen = festlegen relevanter Merkmale

### **3 Allgemeingültige Methoden**

- Voraussetzung
  - Ziele definieren
  - Bedingungen (Rand-/Anfangsbedingungen)

#### **Allgemein anwendbare Methoden**

- **3.2 Analyse**
  - Informationsgewinnung durch zerlegen und aufgliedern sowie durch Untersuchen der Eigenschaften einzelner Elemente
  - Gewonnene Info werden zu einer Erkenntnis verarbeitet
- **3.3 Abstraktion**
  - Verallgemeinern, Vereinfachen durch Verzicht auf Einzelheiten
  - Finden übergeordneten Zusammenhang
  - Lässt wesentliche Merkmale erkennen
- **3.4 Synthese**
  - Verarbeiten Informationen aus Analyse
  - Bilden von Verbindungen, durch Verknüpfen von Elementen mit neuen Wirkprinzipien -> funktionsfähiges Gesamtsystem

- **3.5 Methode des gezielten Fragens**
  - Fragenkatalog/Cheklisten fördern diskursives Vorgehen
- **3.6 Methode der Negation und Neukonzeption**
  - bekannte Lösung in Teillösungen bzw. einzelne Aussagen/Begriffe zerlegen
  - Aussagen der Reihe nach / in Gruppen negieren -> neue Lösungsprinzipien
- **3.7 Methode des Vorwärtsschreitens**
  - Ausgehend von erstem Lösungsansatz
  - alle möglichen Alternativen die von Lösungsansatz wegführen in Betracht ziehen
- **3.8 Methode der Faktorisierung**
  - Komplexe Zusammenhänge/Systeme in weniger komplexe einzelne Elemente (Faktoren) zerlegen
  - Gesondert betrachten und Lösen -> Gesamtzusammenhang beachten
- **3.9 Methode des Systematisierens**
  - Systematisches Variieren kennzeichnender Merkmale
  - Erstellen einer vollständigen Lösungsübersicht
- **3.10 Methode der Analogie**
  - Analoges System wird als Modell für das beabsichtigte System genutzt
  - Zwei Arten zum Finden von Analogien
    - Analyse technischer Systeme
      - Gedankliches/stoffliches Zerlegen existierender Produkte/Systeme -> Lösungsfindung
    - Analyse natürlicher Systeme
      - Nutzen der in der Biologie gewonnenen Erkenntnisse für technische Lösungen
- **3.11 TRIZ-Methode**
  - Annahme
    - Erfindung liegt technischer/physikalischer Widerspruch zugrunde, der überwunden werden muss
  - Methode
    - Vier Säulen
      - Systematik
      - Wissen
      - Analogie
      - Vision
  - Vorgehen: Konkretes Problem -> (Abstrahieren) -> Abstraktes Problem (Widerspruchsmatrix) -> Abstrakte Lösung (Innovationsprinzip) -> (Konkretisieren) -> Konkrete Lösung
- **3.12 Brainstorming**
  - „Ideenflut“
  - Finden möglichst vieler intuitiver Ideen und Lösungsansätze in einer Gruppe

- 5-15 Mitglieder unterschiedlicher Fach- + Tätigkeitsbereiche
- 1 Moderator
  - soll Einhaltung Spielregeln achten
  - Protokollführer bestimmen
  - Problemstellung Erleutern
- Spielregeln
  - Keine Kritik
  - Realisierungsmöglichkeiten außer Acht lassen
- **3.13 Galeriemethode**
  - Ideenbildungsphase I
    - Gruppenmitglieder suchen für sich intuitiv und vorurteilslos Lösungen
  - Assoziationsphase
    - Ergebnisse werden wie in Galerie aufgehängt und Gruppenmitglieder diskutieren Ergebnisse
    - Ergänzungs- u./o. Verbesserungsvorschläge generieren
  - Ideenbildungsphase II
    - Jedes Gruppenmitglied entwickelt für sich gewonnenen Erkenntnisse und Einfälle weiter
  - Selektionsphase
    - Erfolgversprechendste Lösungsansätze werden ausgewählt
- **3.15 Methode 635**
  - 6 Teilnehmer
  - Jeder bringt 3 Lösungsansätze zu Papier
  - An Nachbarn weitergeben der weitere 3 Lösungen hinzufügt
  - Fortsetzen bis jeder Teilnehmer überall 3 Lösungsprinzipien ergänzt hat
- **3.16 Delphi-Methode**
  - Schriftliche Experten-Befragung in 3 Runden

#### **4 Produktplanung und Aufgabenklärung**

- Produktplanung
  - Produktidee -> Produktentwicklungsprozess
- Aufgabenklärung
  - Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung: letzter schritt der Produktplanung
  - Ergebnis: Anforderungsliste -> Übergabe von Produktplanung zu Konstruktion+Entwicklung

## 4.1 Arbeitsschritte beim Planen und Klären

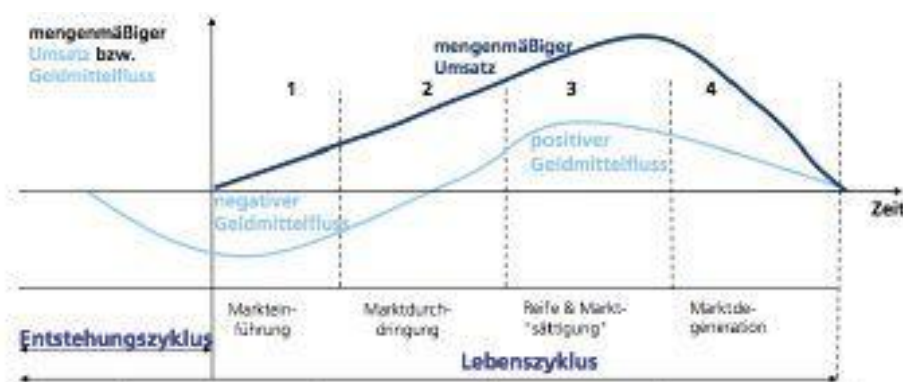
1. Analyse der Situation (input Markt, Umfeld, UN)
2. Aufstellen von Suchstrategien
3. Finden von Produktideen
4. 4 Auswählen von Produktideen
5. Definieren von Produkten
6. Umsetzungsplanung
7. Klären und Präzisieren

## 4.2 Produktplanung

- Mögliche Teilnehmer
  - unternehmensintern
    - Forschung
    - Konstruktion
    - Entwicklung
    - etc.
  - unternehmensextern
    - Dienstleister
    - Schlüsselkunde

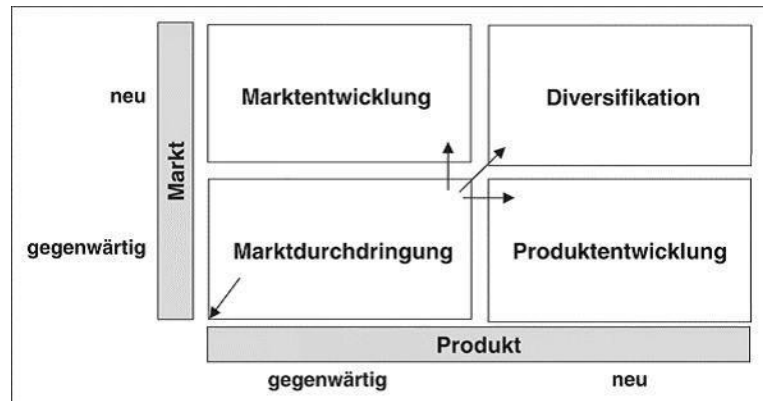
### 4.2.1 Analyse der Situation

- Impulse für Produktplanung kommen vom
  - Markt
    - Änderungen Marktwünsche
    - Kunde
    - Stellung eigenes Produkt am Markt
    - Lebenszyklus von Produkten
      - S-Kurve
      - Zykluszeit tendenziell immer kürzer



- Umfeld
  - Wirtschaftspolitische Ereignisse (Erdölverteuerung,...)
  - Substitution durch neue Technologie

- Unternehmen
  - Rationalisierungsmaßnahmen
  - Eigene Ideen und F&E-Ergebnisse
- Produkt-Markt-Matrix



- Portfolio-Analyse
  - Zweidimensionale Darstellung strategischer Geschäftsfelder oder sonstiger Zusammenhänge zur Beschreibung
    - Technologiesituation
    - Unternehmenssituation
    - etc.
  - Eine Achse: UN selbst beeinflussbare Variable (Stärken/Schwächen)
  - Andere Achse: UN Umwelt beeinflussbare Achse (Chancen/Risiken des Marktes)

#### **4.2.2 Aufstellen von Suchstrategien**

- Erkennen strategischer Lücken und Freiräume d.h. erkennen attraktiver Märkte oder Technologien
- Produktidee = Problemidee + zugehöriger Lösungs idee
- Szenario-Technik
  - 2 Arten
    - Vernetztes Denken -> berücksichtigen der Vernetzung von Einflussfaktoren
    - Multiple Zukunft -> mehr als eine Entwicklung eines Einflussfaktors ins Kalkül ziehen
  - Mit Hilfe verschiedener Szenarien werden mehrere alternative Zukunftsbilder erzeugt

- Phasen der Szenario-Erstellung:
  1. Szenariofeld-Vorbereitung -> Ist-Zustand
  2. Szenariofeld-Analyse -> Zusammenstellen der relevante Einflussfaktoren
  3. Szenariofeld-Prognostik -> (Kernphase) mehrere begründete Zukunftsprojektionen
  4. Szenario-Bildung -> Beschreiben von Szenarien
  5. Szenario-Transfer -> Handlungsanweisungen ableite

#### **4.2.3 Finden von Produktideen**

- Methoden/Hilfsmittel
  - Kreativitätstechniken basieren auf den grundlegenden Prinzipien der Assoziation, Abstraktion, Kombination oder Variation (Bsp. TRIZ, Brainstorming, etc.)
  - Systematische Lösungsfindungstechniken (Bsp. Morphologischer Kasten, Wirkflächenvariation, etc.)

#### **4.2.4 Auswahl von Produktideen**

- Ziel
  - Identifizieren erfolgsversprechende Ideen
- Vorgehen
  - Analyse vorhandene Produktideen und Bewerten
- Methoden
  - Quantitativ: Nutzwertanalyse
  - Qualitativ: ABC-Analyse
- Bewertungskriterien zweckmäßig gestalten
  - Produktvorteil
  - Kundenbedürfnisse
  - Realisierbar
  - Synergieeffekte

#### **4.3 Klären/Präzisieren der Aufgabenstellung**

- Eindeutiges, umfassendes, vollständiges klären und dokumentieren der Anforderungen in einer Anforderungsliste (vermeiden von Verschwendung)

#### **Von Kundenanforderung zur Anforderungsliste**

- Eingehende Aufgabenstellung bei Konstruktion enthält oft nicht alle benötigten Informationen
- Phase der Informationsgewinnung/Abstimmung mit Kunden notwendig
- Fragestellungen zur Präzisierung von Kundenforderungen
  - Zweck
  - Eigenschaften muss

- Eigenschaften darf nicht
- Behandelndes Problem
- ➔ Ergebnis ist Lastenheft (Gesamtheit aller Anforderungen des Auftraggebers an Leistungen des Auftragnehmers)
- Konstruktion erhält anschließend Pflichtenheft welches um Anforderungen des Herstellers ergänzt wurde

#### 4.3.1 Inhalt Anforderungsliste

- 2 Arten von Anforderungen
  - Forderungen
    - Müssen erfüllt werden
    - Ohne Lösung nicht akzeptabel
  - Wünsche
    - Sollen nach Möglichkeit erfüllt werden
- Forderungen und Wünsche möglichst mit quantitativen Angaben
  - Quantitativ (Anzahl, Stückzahl, etc.)
  - Qualitativ ( zulässige Abweichung, etc.)

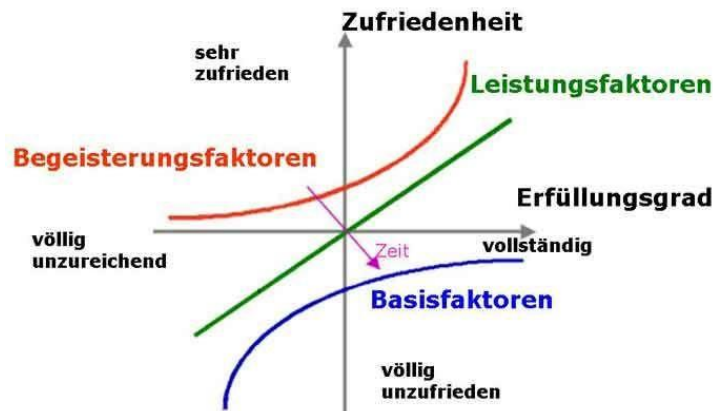
#### 4.3.2 Aufbau Anforderungsliste

| Anforderungsliste für |     |                                            |                                 |                     |               |
|-----------------------|-----|--------------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------|
| Firma:                |     | Proj.-Nr.:                                 |                                 | Ausgabe vom:        |               |
| Bearbeiter:           |     |                                            |                                 | Ers. Ausgabe vom:   |               |
| F/W                   | Nr. | Anforderungen<br>Forderung (F), Wunsch (W) | Beschreibung<br>Quantifizierung | Verantw./<br>Quelle | Ander-<br>ung |
|                       |     |                                            |                                 |                     |               |

- Gliederung der Anforderungen (F+W) nach Hauptmerkmal-Leitlinien
  - Geometrie
  - Kinematik
  - Kräfte
  - Energie
  - Stoff
  - Signal
  - Sicherheit
  - Ergonomie
  - Fertigung
  - Kontrolle
  - Montage
  - Transport
  - Gebrauch
  - Instandhaltung
  - Recycling
  - Kosten
  - Termin

### 4.3.3 Erarbeiten von Anforderungslisten

- Verarbeiten von Kundenanforderungen mit QFD-Methode
  - Kundenbedürfnisse werden dadurch in die einzelnen Bereiche des UN transportiert
- Aufgaben QFD
  - Kundenbedürfnisse werden gezielt erarbeitet und in Produktmerkmale umgewandelt
- Einteilung Produktmerkmale nach Kano-Modell



- Schrittweises Aufstellen von Anforderungen
  1. Anforderungen sammeln
    - i. Forderungen und Wünsche klar herausarbeiten
  2. Anforderungen sinnfällig ordnen
    - i. Hauptaufgaben
    - ii. Teilsysteme
  3. Anforderungsliste auf Formblättern erstellen
  4. Einwände und Ergänzungen prüfen und einarbeiten
  5. Änderungen berücksichtigen

## 5 Konzipieren

### 5.1 Arbeitsschritte beim Konzipieren

1. Abstrahieren zum erkennen des wesentlichen Problems
2. Aufstellen von Funktionsstrukturen Gesamtfunktion-Teilfunktion
3. Suchen von Wirkprinzipien zum Erfüllen der Teilfunktionen
4. Kombinieren der Wirkprinzipien zur Wirkstruktur
5. Auswählen geeigneter Kombinationen
6. Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten
7. Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien

#### 5.1.1 Abstrahieren zum bestimmen der lösungsbestimmenden Probleme

- Ziel
  - Vorurteile, Vorfixierungen, konventionelle Vorstellungen auflösen
  - Allgemeingültige und Wesentliche hervorheben

- Prinzipielles Vorgehen  
Technische Problemstellung –[Abstraktion]-> Problemmodell –[Lösungsideen aus anderen Bereichen]-> Lösungsidee –[Konkretisierung]-> technische Lösung
- Vorgehen bei Abstraktion anhand Anforderungsliste
  1. Schritt: Gedanklich Wünsche weglassen
  2. Schritt: Forderungen weglassen, die die Funktion und wesentlichen Bedingungen nicht unmittelbar betreffen
  3. Schritt: Quantitative in qualitative Aussagen umwandeln und auf wesentliche reduzieren
  4. Schritt: Erkanntes sinnvoll erweitern
  5. Schritt: Probleme lösungsneutral formulieren

### 5.1.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen

- Vorgehen
  1. Gesamtfunktion ermitteln
    - Stoff-/Signal-/Energiefluss als Hauptfluss
  2. Teilfunktionen ableiten
    - Hauptfunktionen durch Nebenfunktionen ergänzen
  3. Funktionsstruktur aufstellen
    - Teilfunktionen verknüpfen logische und oder zeitliche Zusammenhänge suchen
  4. Systemgrenzen festlegen
  5. Funktionsstruktur variieren
    - Reihenfolge der Teilfunktionen ändern
    - Schaltungsart ändern
    - Zerlegen oder Zusammenlegen einzelner Teilfunktionen
- Funktionen
  - Hauptfunktionen
    - Dienen unmittelbar Gesamtfunktion
  - Nebenfunktion
    - Tragen mittelbar zur Gesamtfunktion bei (Hilfsfunktion)
    - Unterstützenden ergänzenden Charakter
- 1 Gesamtfunktion
  - Gibt lösungsneutral, in Blockdarstellung, unter Bezug auf Energie-, Stoff-, Signalumsatz den Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße wieder
- 2 Teilfunktionen ableiten
  - Zielsetzung
    - ein für anschließende Lösungssuche erleichterndes Aufteilen der geforderten Gesamtfunktion in Teilfunktionen
    - Verknüpfen dieser Teilfunktionen zu einer einfachen und eindeutigen Funktionsstruktur

- Beispiele für allgemein anwendbare Funktionen
  - Energieumsatz
    - Energie wandeln (elektr. in mech. Energie)
    - Energie ändern (Drehmoment ändern)
    - Energie mit Signal verknüpfen (Elektrische Energie einschalten)
    - Energie leiten (Kraft übertragen)
    - Energie speichern (kinetische Energie speichern)
  - Stoffumsatz
    - Stoff wandeln (Luft verflüssigen)
    - Stoff ändern (Blech walzen)
    - Stoff mit Energie verknüpfen (Teile bewegen=
    - Stoff mit Signal verknüpfen (Dampf absperren)
    - Stoff leiten (Kohle fördern)
    - Stoff speichern (Stoffe lagern)
  - Signalumsatz
    - Signal wandeln (mech. in elektr. Signal wandeln)
    - Signal ändern (Ausschlag vergrößern)
    - Signal mit Energie verknüpfen (Messgröße verstärken)
    - Signal mit Stoff verknüpfen (Kennzeichnung vornehmen)
    - Signal leiten (Daten übertragen)
    - Signal speichern (Daten bereithalten)

### **5.1.3 Suchen von Wirkprinzipien**

- Prinzipiell: Teilstrukturen -> Wirkprinzipien -> Wirkstrukturen
- Suche nach Wirkprinzipien
  - Intuitive Methode
    - Brainstorming
    - Galeriemethode
    - etc.
  - Diskursive Methode
    - Ordnungsschemata
    - Konstruktionskatalog
- Ordnungsschema
  - Allgemeiner Aufbau
    - Lösungssuche erfolgt hierbei durch Analysieren und systematisches Variieren von physikalischen Größen und Gestaltungsmerkmalen, die als Ordnende Gesichtspunkte (OGP) für Ordnungsschemata genutzt werden
  - Vorgehen beim Erstellen
    - Parameter und ordnende Gesichtspunkte (OGP) suchen, die für die zu erfüllende Funktion Merkmale von Lösungen sein können
      - Merkmalliste benutzen
      - anderweitig gefundene Lösungen auf unterscheidende und gemeinsame Merkmale untersuchen

- gefundene Merkmale verallgemeinern, Parameter ergänzen, vervollständigen
  - Ord nende Gesichtspunkte und zugehörige Parameter überprüfen, ob sie zu Lösungen anregen können
  - "Lösungsträchtige" Parameter für die Zeilen und Spalten eines Schemas auswählen
  - Ordnungsschema aufstellen, Zeilen und Spalten benennen.
  - Physikalisch unmögliche Kombinationen von Zeilen- und Spaltenparametern kennzeichnen
- Konstruktionskataloge
  - Spezielle Art eines Ordnungsschemas
  - Bekannte, bewährte Lösungen
  - Anforderungen
    - Unabhängig Konstruktionsmethode anwendbar
    - Universell einsetzbar
    - Möglichst vollständigen Lösungsfeld
  - Grundsätzlicher Aufbau
    - Gliederungsteil
      - Enthält Ord nende Gesichtspunkte mit Systematisierenden Merkmalen
      - Bestimmt Aufbau
    - Hauptteil
      - Enthält Objekte/Lösungen (Skizzen, etc.)
    - Zugriffsteil
      - Auswählerleichternde Merkmale
      - Eigenschaften der Objekte/Lösungen
    - Anhang
      - Angaben Herkunft
      - Anmerkungen

#### **5.1.4 Kombinieren der Wirkprinzipien**

- Durch sinnvolle Kombination der für die Teilfunktionen gefundenen Wirkprinzipien ergeben sich unterschiedliche Wirkstrukturen
- Problem: Erkennen Verträglichkeit / Unverträglichkeit
- Vorgehensweise
  - Intuitive Methode
  - Diskursive Methode (Morphologischer Kasten)
- Morphologischer Kasten
  - Lösungen für Teilfunktionen aus Ordnungsschema gemäß ihrer Reihenfolge in Funktionsstruktur aufführen
  - Unverträglichkeit zwischen den Lösungen für die einzelnen Teilfunktionen festlegen

- Sinnvolle Kombination als Gesamtlösung suchen

### 5.1.5 Auswählen geeigneter Kombinationen

- Kriterien
  - Lösung mit Aufgabe und untereinander verträglich Kriterium A
  - Forderungen erfüllt Kriterium B
  - Realisierung möglich Kriterium C
  - Zulässiger Aufwand Kriterium D
  - Unmittelbare Sicherheitstechnik Kriterium E
  - Lösungsart im eigenem Betrieb bevorzugt Kriterium F

| Auswahlliste für einen Flaschenöffner |                                                                                                                                  |                    |   |   |   |                                                                                                                                                                 |   |   |                                      |   |              |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---|---|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------------------------|---|--------------|
| Firma: Saftmann                       |                                                                                                                                  | Projektnr.: p01090 |   |   |   | Ausgabe vom: 22.12.99                                                                                                                                           |   |   |                                      |   |              |
| Bearbeiter: Blerkopf                  |                                                                                                                                  |                    |   |   |   | Ers. Ausg. v.: 08.12.99                                                                                                                                         |   |   |                                      |   |              |
| Lösungsvariante (Lv) eintragen:       | Beurteilen der Lösungsvarianten (Lv):                                                                                            |                    |   |   |   | Entscheiden über Lösungsvarianten (Lv):                                                                                                                         |   |   |                                      |   |              |
|                                       | (+) Auswahlkriterium erfüllt<br>(-) Auswahlkriterium nicht erfüllt<br>(?) Informationsmangel<br>(!) Anforderungsliste überprüfen |                    |   |   |   | (+) Lösung weiter verfolgen<br>(-) Lösung scheitert aus<br>(?) Information beschaffen und Lösung erneut beurteilen<br>(!) Anforderungsliste auf Änderung prüfen |   |   |                                      |   |              |
|                                       | Mit Aufgabenstellung verträglich                                                                                                 |                    |   |   |   |                                                                                                                                                                 |   |   |                                      |   | Entscheidung |
|                                       | Forderungen der Anforderungsliste erfüllt                                                                                        |                    |   |   |   |                                                                                                                                                                 |   |   |                                      |   |              |
|                                       | Grundsätzliche Realisierungschance gegeben                                                                                       |                    |   |   |   |                                                                                                                                                                 |   |   |                                      |   |              |
|                                       | Zulässiger Aufwand zu erwarten                                                                                                   |                    |   |   |   |                                                                                                                                                                 |   |   |                                      |   |              |
|                                       | Unmittelbare Sicherheitstechnik gegeben                                                                                          |                    |   |   |   |                                                                                                                                                                 |   |   |                                      |   |              |
| Im eigenen Bereich bevorzugt          |                                                                                                                                  |                    |   |   |   |                                                                                                                                                                 |   |   |                                      |   |              |
| Lv                                    |                                                                                                                                  | A                  | B | C | D | E                                                                                                                                                               | F | G | Bemerkungen (Hinweise, Begründungen) |   |              |
| V <sub>1</sub>                        | 1                                                                                                                                | +                  | + | + | ? | +                                                                                                                                                               | + |   | Herstellkosten abschätzen            | + |              |
| V <sub>2</sub>                        | 2                                                                                                                                | +                  | ? | + | + | +                                                                                                                                                               | + |   | Prüfen: Handkraft ausreichend?       | + |              |
| V <sub>3</sub>                        | 3                                                                                                                                | +                  | - |   |   |                                                                                                                                                                 |   |   | Elektr. Energie nicht zulässig       | - |              |
| V <sub>4</sub>                        | 4                                                                                                                                | +                  | + | + | + | -                                                                                                                                                               |   |   | Quetschgefahr für Finger             | - |              |

- Vorgehen beim ausfüllen des Formulars
  1. Lösungsvarianten eintragen
  2. Lösungsvarianten einzeln nach Kriterien bewerten
    - i. + ja
    - ii. - nein
    - iii. ? Informationsmangel
    - iv. ! Anforderungsliste überprüfen
  3. Bei nein nicht weiter beurteilen
  4. Beurteilung hinsichtlich entscheidender Kriterien als Bemerkung näher kennzeichnen

5. Entscheidungen fällen und in Entscheidungsspalte eintragen
  - i. + Lösung weiterverfolgen
  - ii. – Lösung scheidet aus
  - iii. ? Informationen beschaffen, Lösung neu Bewerten
  - iv. ! Anforderungsliste auf Änderung überprüfen

#### **5.1.6 Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten**

- Vorgehen
  - Anforderungsliste analysieren, Forderungen und wichtigsten Wünsche auch quantitativ beachten
  - Prinzipielle Lösungen soweit konkretisieren dass die beurteilbar werden
- Hilfsmittel
  - Eigene Erfahrung
  - Befragung Fachleute
  - Berechnung, Simulation
  - Versuch
  - Literatur, Patente
  - Lieferant

#### **5.1.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien**

- Vorgehen
  1. Erkennen der entscheidungsrelevanten Eigenschaften
  2. Prüfen ihrer Bedeutung (Gewicht) für den Gesamtwert der Lösung
  3. Eigenschaften möglichst in quantitativen Kenngrößen beschreiben (Leistung, Verbrauch)
  4. Beurteilen der jeweiligen Eigenschaften der verschiedenen Varianten nach festzulegenden Wertvorstellungen
  5. Bestimmen des Gesamtwertes für jede Variante
  6. Vergleich der Varianten
  7. Abschätzung der Beurteilungsunsicherheiten
  8. Schwachstellenanalyse zur Verbesserung favorisierter Varianten
- Technische Wertigkeit
  - Unabhängige Bewertungskriterien
  - Vorzüge als Bewertungsgrundlage wählen

• Technische Wertigkeit: 
$$W_i = \frac{\sum p_k}{\sum p_{id}} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n \cdot p_{max}}$$

$p_k$  = Punktzahl für die jeweils bewertete Eigenschaft

$p_{max}$  = maximal zu erzielende Punktzahl

$n$  = Anzahl der bewerteten Eigenschaften

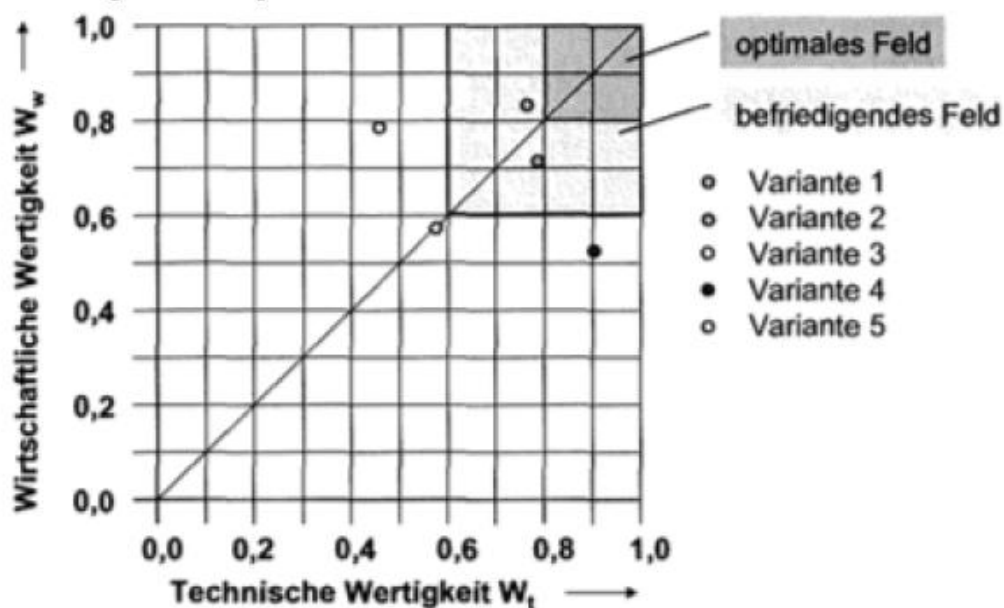
- Werteskala VDI2225
  - 0 unbefriedigend
  - 1 grade noch tragbar
  - 2 ausreichend
  - 3 gut
  - 4 sehr gut / ideal
- Falls nötig Gewichtung vornehmen
- Beurteilung
  - $W_t > 0,8$  recht gute Lösung
  - $W_t \approx 0,7$  gute Lösung aber Punktuell verbessern
  - $W_t < 0,6$  unbefriedigende Lösung, auf jeden Fall verbessern
- Wirtschaftliche Wertigkeit
  - HK alleiniger Maßstab

mit 
$$W_w = H_0 / H_{\text{Variante}}$$

$$H_0 = 0,7 \cdot H_{\text{zulässig}} \quad \text{oder} \quad H_0 = 0,7 \cdot H_{\text{Minimum}}$$

der billigsten Variante

#### ⇒ Wertigkeitsdiagramm



- Bewertungskriterien gewinnen aus
  - Anforderungsliste
    - Wahrscheinlichkeit Erfüllung Forderungen
    - Überschreitung Mindestanforderungen
    - Wünsche (erfüllt/nicht erfüllt)
  - Hauptmerkmalliste (allg. tech. Und wirt. Eigenschaften+Merkmale)
    - Funktion
    - Wirkprinzip

- Gestaltung
- etc.

## **6 Produktentwicklung nach VDI2221-Entwerfen**

- Entwerfen = konkrete Gestaltung der prinzipiellen Lösung
- Festlegen
  - Hauptabmessungen
  - Werkstoffe
  - Fertigungsverfahren
- Dimensionierung
- Suchen nach Teillösungen für Nebenfunktionen
- Grundsätzliches Vorgehen
  - Vom Qualitativen zum Quantitativen
  - Vom Abstrakten zum Konkreten
  - Von einer Grobgestaltung zu einer Feingestaltung
- Wichtige Bestandteile Entwerfen
  - Grundregeln zur Gestaltung
  - Gestaltungsprinzipien
  - Gestaltungsrichtlinien

### **6.2 Konstruktionsstrategien**

- 2 Vorgehensweisen möglich
  - Fricke -> Bereichsorientiertes Vorgehen
    - Es werden pro Funktion erst alle Konstruktionsschritte durchlaufen bevor mit der nächsten angefangen wird
  - Fricke -> Stufenweise ablauforientiertes Vorgehen
    - Es werden pro Konstruktionsschritt alle Funktionen bearbeitet
- 2 Strategien zur Lösungssuche
  - Dylla -> Generierende Lösungssuche
    - Ansatz: nebeneinander unterschiedliche Lösungsprinzipien/Gestaltungsvarianten erarbeiten
    - Bewerten und beste auswählen
  - Dylla -> Korrigierende Lösungssuche
    - Ausgangspunkt: existierende Idee/Lösungsprinzip
    - Schrittweise im Sinne der Aufgabenstellung anpassen/verbessern

### **6.3 Methodischer Entwurfsprozess**

1. Erkennen gestaltungsbestimmender Anforderungen
  - i. Voraussetzung: Kenntnis prinzipielle Lösung
  - ii. Bestimmenden Anforderungen können sein
    - Abmessung
    - Anordnung
    - Werkstoff
2. Klären der räumlichen Bedingungen
  - i. Geforderte Abstände
  - ii. Einzuhaltende Achsrichtungen
  - iii. Einbaubegrenzungen
  - iv. Darunter werden oft auch Bauraumuntersuchungen verstanden
3. Strukturieren in gestaltungsbestimmende Hauptfunktionsträger
  - i. Baustruktur der Hauptfunktionsträgern in Grobgestalt
  - ii. Gestaltungsprinzipien beachten
4. Grobgestalten der gestaltbestimmenden Hauptfunktionsträger
  - i. Vorgehen
    1. Schrittweises Vorgehen:  
Funktion -> Wirkprinzip -> Auslegung
    2. Ergebnisse in räumliche Bedingungen maßstäblich einfügen
    3. Vervollständigen bis alle maßgebenden Hauptfunktionen erfüllt sind
  - ii. Elemente nur in vereinfacht Darstellen
  - iii. Grundregeln der Gestaltung beachten (einfach, eindeutig, sicher)
5. Auswählen geeigneter Entwürfe
  - i. Beurteilen der bisher verfolgten vorläufigen Entwürfe mit Hilfe der Auswahlliste
6. Grobgestalten weiterer Hauptfunktionsträger
  - i. Untergeordnete Hauptfunktionsträger
  - ii. Nicht gestaltbestimmende Hauptfunktionsträger
7. Suchen von Lösungen für Nebenfunktionen
  - i. Feststellen welche Nebenfunktionen nötig
    - Stütz-/Haltefunktionen
    - Dicht-/Kühlfunktionen
8. Feingestalt der Hauptfunktionsträger unter beachten der Nebenfunktionsträger
  - i. Aufteilen in Baugruppen oder Zonen
  - ii. Alle notwendigen Einzelheiten endgültig festlegen
9. Feingestalt der Nebenfunktionsträgern und Vervollständigen der vorläufigen Entwürfe
  - i. Hinzufügen von Norm- und Zulieferteilen
  - ii. Alle Funktionsträger gemeinsam darstellen
10. Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien

- i. Technische und wirtschaftliche Bewertung analog zur Bewertung in der Konzeptphase
  - ii. Konkretisierung der Entwürfe nur soweit wie zur Bewertung der Entwurfsvarianten erforderlich ist
  - iii. Entwürfe unterschiedlicher Konkretisierungsstufe können nicht sachgerecht beurteilt werden
- 11. Festlegen des vorläufigen Gesamtentwurfs -> freigeben zum abschließenden Gestalten
  - i. Auf Basis Ergebnisse voriger Schritt
- 12. Optimierendes und abschließendes Gestalten
  - i. Schwachstellen beseitigen
  - ii. Parameteroptimierung
- 13. Kontrollieren auf Fehler und Störgrößeneinfluss
  - i. Erreichen der Zielsetzung hinsichtlich Kosten und Qualität sichern und nachweisen
- 14. Vervollständigen durch vorläufige Stückliste, Fertigungs- und Montageanweisung
  - i. Stückliste
  - ii. Fertigungsanweisung
  - iii. Montageanweisung
- 15. Festlegen des Gesamtentwurfs -> Freigeben zum Ausarbeiten

#### **6.3.3.1 Gestaltungsprinzipien**

- Können einander widersprechen und Anforderungen entgegenstehen
- Wichtige Prinzipien
  - Prinzip der Kraftleitung (häufig wiederkehrende Aufgaben, Kräfte, Momente leiten)
  - Prinzip der Aufgabenteilung (zuordnen Funktionen auf eine oder mehrere Funktionsträger)
  - Prinzip der Selbsthilfe (durch sinnvolle Verknüpfung von Teilfunktionen Ausnützen unterstützender Hilfswirkungen)
  - Prinzip der Stabilität und Bistabilität

#### **6.3.3.2 Prinzip der Kraftteilung**

1. Kraftfluss und Prinzip der gleichen Gestaltfestigkeit
  - i. Keine scharfen Umlenkungen
  - ii. Keine plötzlichen Änderungen der Kraftflussdichte durch schroffe Querschnittsänderungen
2. Prinzip der direkten und kurzen Kraftleitung
  - i. Kräfte/Momente bei möglichst großer Steifigkeit und geringem Werkstoffaufwand zu leiten
  - ii. Kleine Verformung
    - Kurze, direkte Wege
    - Zug-, Druckbeanspruchung bevorzugen

- iii. Große elastische Verformung
    - Lange Wege
    - Biege-, Torsionsbeanspruchung bevorzugen
- 3. Prinzip der abgestimmten Verformung
  - i. Komponenten so gestalten, dass unter Last gleichartige Verformung unter möglichst kleiner Relativverformung entsteht
  - ii. Bsp. Schäften
- 4. Prinzip des Kräfteausgleichs
  - i. Ausgangspunkt
    - Funktionsbedingte Hauptgrößen
      - Kräfte und Momente die direkter Funktionserfüllung dienen
    - Begleitende Nebengrößen
      - Kräfte und Momente die nicht direkt zu Funktionserfüllung beitragen sich aber nicht vermeiden lassen (z.B. Spannkkräfte -> reibschlüssige Verbindung)
  - ii. Nebengrößen belasten Krafteinleitungszonen zusätzlich
  - iii. Lösung: Ausgleichselemente oder symmetrische Anordnung

#### **6.3.3.3 Prinzip der Aufgabenteilung**

- 1. Zuordnen der Teilfunktionen
  - i. Zweckmäßige Wahl und Zuordnung der Funktionen zu den Funktionsträgern
  - ii. Wirtschaftliches Ziel: Viele Funktionen mit wenigen Funktionsträgern verwirklichen
  - iii. Alternativ: Prinzip der Aufgabenteilung (Je Funktion ein Funktionsträger)
    - Anwenden wenn bei gleichzeitiger Erfüllung mehrere Funktionen durch einen Funktionsträger Einschränkungen oder gegenseitige Behinderungen (Störungen) entstehen
- 2. Aufgabenteilung bei unterschiedlichen Funktionen
  - i. z.B. Festlagerung mit Trennung der Axialkraftübernahme (durch Rillenkugellager) und der Radialkraftübernahme (durch Rollenlager)
- 3. Aufgabenteilung bei gleicher Funktion
  - i. Wird infolge Leistungs- oder Größensteigerung eine Grenze erreicht -> Aufteilen der gleichen Funktion auf mehrere Funktionsträger -> Leistungsverzweigung
  - ii. Leistungsverzweigung problematisch sicherzustellen
    - Elemente müssen sich selbst einstellen können bzw. Nachgiebigkeit haben (elastische Torsionswelle bei Mehrweggetrieben)

### 6.3.3.4 Prinzip der Selbsthilfe

- Geschickte Wahl der Systemelemente und deren Anordnung im System lass sich eine sich gegenseitig unterstützende Wirkung erzielen die zu einer Funktionverbesserung führt
- 2 Situationen möglich
  - Normalsituation = Normallast
    - Mitwirken
    - Entlasten
    - Ausgleichen
  - Notsituation = Überlast
    - Schützen
    - Retten
- Selbsthelfende Konstruktion
  - Ursprungswirkung + Hilfswirkung = Gesamtwirkung
    - Ursprungswirkung U
      - Leitet Vorgang ein
      - Anfangssituation
    - Hilfswirkung H
      - Gewonnen aus funktionsbedingten Hauptgrößen und/oder aus deren begleitenden Nebengrößen

- Selbsthilfegrad

$$\kappa = \frac{\text{Hilfswirkung}}{\text{Gesamtwirkung}} = \frac{H}{G} = 0 \dots 1$$

- mit  $G = U + H$

- Selbsthilfegewinn

$$\gamma = \frac{\text{technische Kenngr[öße]e mit Selbsthilfe}}{\text{technische Kenngr[öße]e ohne Selbsthilfe}} = \frac{G}{U}$$

- bezüglich Wirkungsgrad, Lebensdauer, etc

#### 1. Selbstverstärkende Lösung

- Bei Normallast wird Hilfswirkung in fester Zuordnung aus einer funktionsbedingten Haupt- und/oder Nebengröße gewonnen
- Verstärkt Gesamtwirkung
- Bauteile werden mit zunehmender Hauptgröße entlastet

#### 2. Selbstausgleichende Lösung

- Bei Normallast wird Hilfswirkung in fester Zuordnung aus einer funktionsbedingten Haupt- und/oder Nebengröße gewonnen
- Hilfskraft wirkt Ursprungskraft entgegen (Ausgleich)
- Höhere Gesamtwirkung
- Konstruktion
  - Resultierende Beanspruchungen sich aufheben

#### 3. Selbstschützende Lösung

- Überlastfall soll Bauteil nicht zerstört werden

- Hilfswirkung aus zusätzlichem anderen Kraftleitungsweg (im allgemeinen durch elastische Verformung)
- Andere Kraftflussverteilung dadurch auch andere Beanspruchung
- Die funktionellen Eigenschaften unter Normallast werden dabei entweder geändert oder aufgehoben
- Ausnahmen: Sollbruchstelle

#### **6.3.3.5 Prinzip der Stabilität und Bistabilität**

- Gleichgewichtszustände
  - Stabil
    - System kehrt nach Störung von selbst in stabile Lage zurück (Kugel in Mulde)
  - Indifferent
    - System nimmt nach Störung neue Lage mit unveränderten Gleichgewichtszuständen ein (Kugel auf Ebene)
  - Labil
    - System nimmt nach Störung neue Lage mit neuen Gleichgewichtszuständen ein
- Prinzip der Stabilität
  - Gestaltung von Lösungen Einfluss von Störungen beachten
  - Stabiles Verhalten des Systems ist anzustreben
    - Störungen sollen resultierende Wirkung erzeugen, die der Störung entgegenwirkt und diese mildert oder aufhebt
  - Bsp. Kolben in Führung
- Prinzip der Bistabilität
  - Durch Erreichen eines Grenzzustandes wird neuer deutlich abgesetzter Zustand oder andere Lage erreicht
  - Zwischenzustände sind unerwünscht
  - Bsp.:
    - Sicherheits-/Alarmventil
    - Kippschalter

#### **6.3.4.1 Grundregeln der Gestaltung**

- Grundregeln können in jeder Phase angewendet werden
- Alle 3 müssen/können gleichzeitig betrachtet werden
- **6.3.4.2 Grundregel eindeutig**
  - Zielsetzung: Erfüllung tech. Funktion*
  - Wirkung und Verhalten zuverlässig vorhersagbar*
  - Bsp. Fest- und Loslagerung (F: Axialkräfte und L: Radialkräfte)*
    - Funktion
      - Klare Zuordnung der Teilfunktionen zu Funktionsstruktur (Ein- und Ausgangsgrößen)

- Wirkprinzip
  - Beschreibbare Zusammenhänge zwischen physikalischen Effekten und Ursache/Wirkung
- Auslegung
  - Eindeutig definierte Lastzustände
- Ergonomie
- Fertigung + Kontrolle
  - Eindeutige und vollständige Angabe in Zeichnungen, Stücklisten und Anweisungen
- Montage + Transport
  - Zwangsläufige und Irrtümer ausschließende Montagefolge
- Recycling
  - Eindeutige Trennstellen zwischen verschiedenen Werkstoffen
- Gebrauch + Instandsetzung
  - Betriebsergebnisse: übersichtlich und kontrollierbar
  - Inspektions & Wartungsmaßnahmen hinsichtlich Zeitpunkt und Umfang klar definieren
- **6.3.4.3 Grundregel einfach**
  - Zielsetzung: wirtschaftlich Realisierbar*
  - Geringe Anzahl Teile*
  - Einfache Gestaltungsform*
  - Funktion
    - Wenige Teilfunktionen
    - Übersichtliche und folgerichtige Verknüpfung
  - Wirkprinzip
    - Geringe Anzahl Vorgänge und Komponenten
    - Durchschaubare Gesetzmäßigkeit
  - Auslegung
    - Geometrische Formen zugrunde legen, die direkt für die mathematischen Ansätze in der Festigkeits- und Elastizitätslehre tauglich sind
  - Ergonomie
    - Sinnfällige Bedienvorgänge
  - Fertigung + Kontrolle
    - Wenige Fertigungsverfahren
  - Montage + Transport
    - Teile leicht erkennbar
    - Jeder Einstellvorgang nur einmal nötig
  - Gebrauch + Instandhaltung
    - Gebrauch ohne spezielle Einweisung möglich
  - Recycling
    - Einfache Demontagevorgänge

- **6.3.4.4 Grundregel sicher**

- setzt sich zusammen aus
  - zuverlässige Funktionserfüllung
  - Gefahrenminderung für Mensch und Umwelt
- Definition Zuverlässigkeit
  - Fähigkeit eines technischen Systems, innerhalb vorgegebener Grenzen während bestimmter Zeitdauer Verwendungszweck bedingten Anforderungen zu genügen



Zusammenhang zwischen Bauteil- und Funktionszuverlässigkeit einerseits und Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit andererseits

- Betriebssicherheit
  - Einschränkung von Gefährdungen beim Betrieb von technischen Systemen
- Arbeitssicherheit
  - Einschränkung von Gefährdungen des Menschen bei der Arbeit bzw. Benutzung oder Gebrauch technischer Systeme
- Umweltsicherheit
  - Einschränkung von Schäden im Umfeld technischer Systeme
- Schutzmaßnahmen
  - Schutzsysteme oder –einrichtungen haben Aufgabe bestehende Gefährdungen so einzuschränken, dass das Risiko auf vertretbares Maß reduziert wird
- **6.3.4.4.1 Drei-Stufen-Methode der Sicherheitstechnik DIN 31000**
  - Unmittelbar
    - Von vornherein und aus sich heraus keine Gefährdung entsteht
  - Mittelbar
    - Aufbau Schutzsysteme
    - Anordnung Schutzeinrichtungen
  - Hinweisend
    - Vor Gefahr warnen
    - Gefährdungsbereich durch Hinweise kenntlich machen

- **6.3.4.4.2 Prinzipien der Unmittelbaren Sicherheitstechnik**
    - Grundregeln eindeutig + einfach sowie Prinzip der Aufgabenteilung tragen besonderem Maße bei
      1. Prinzip des Sicheren Bestehens (safe-life)
        - Bauteile und Zusammenhang so beschaffen, dass während vorgegebener ihrer Einsatzzeit alle wahrscheinlichen oder möglichen Vorkommnisse ohne Versagen oder Störung überstanden werden können
        - Kenntnis aller Einflüsse
        - Erfordert einschlägige Erfahrungen oder Aufwand an Voruntersuchungen
      2. Prinzip des Beschränkten Versagens (fail-safe)
        - Lässt während Einsatzzeit Funktionsstörung und/oder Bruch zu ohne dass es dabei zu schwerwiegenden Folgen kommt
        - D.h. eine wenn auch eingeschränkte Funktion oder Fähigkeit muss erhalten bleiben
      3. Prinzip der redundanten Anordnung
        - Durch Mehrfachanordnung wird Sicherheit erhöht
        - D.h. Funktion ausfallendes Systemelement wird durch ein in Serie oder parallel Angeordnetes Systemelement teilweise oder komplett übernommen
    - Aktive Redundanz
      - Alles Komponenten sind aktiv an Aufgabe beteiligt
      - Ausfall = Leistungsminderung
    - Passive Redundanz
      - Reserve-Einheiten = werden bei Ausfall der aktiven Einheit zugeschaltet
    - Prinzipredundanz
      - Mehrfach-Anordnung mit gleicher Funktion aber unterschiedlichem Wirkprinzip
- **6.3.4.4.3 Prinzip der mittelbaren Sicherheitstechnik**
  - Schutzsysteme
    - Lösen bei Gefahr Schutzreaktion aus
    - Können beseitigend, begrenzend oder trennend wirken
    - Bsp.: Verriegelung mit Einschaltsicherung an Deckeln von Zentrifugen
  - Schutzeinrichtungen
    - Haben Schutzfunktion ohne Schutzreaktion
    - Wirkung: passive Rolle des Trennens, Fernhaltens, Schützens durch Anordnung durch Formgestaltende Stoffe
- Grundanforderungen
  - Zuverlässig wirkend
  - Zwangsläufig wirksam

- Nicht umgehbar
- **6.3.4.5 Leitlinien beim Gestalten**
  - Vorgehen Gestalten
    - Auslegen mit Werkstoffwahl -> Funktionserfüllung
    - Iteratives Vorgehen
    - Probleme früh erkennen und zuerst Lösen
  - Hauptmerkmale
    - Funktion
    - Wirkprinzip
    - Gestalt
    - Auslegung
    - Sicherheit
    - Ergonomie
    - Fertigung
    - Kontrolle
    - Montage
    - Gebrauch
    - Transport
    - Instandhaltung
    - Recycling
    - Kosten
    - Termin
- **6.3.4.6 Gestaltungsrichtlinien**
  - aus allgemeinen Leitlinien erben sich Gestaltungsrichtlinien -> **DfX**
  - methodische Hilfsmittel
    - Regeln
    - Gut-Schlecht-Beispiele
    - Checklisten
  - Grundlagenwissen zur Montage (Montageoperationen)
    - Speichern Sp
    - Werkstück handhaben Ha
    - Positionieren Po
    - Fügen Fü
    - Einstellen/Justieren Ei
    - Sichern Si
    - Kontrollieren Ko
  - Gestaltungsregeln für montagegerechtes Konstruieren
    - Baustruktur
      - Gliedern
      - Reduzieren
      - Vereinheitlichen
      - Vereinfachen
    - Der Montageoperationen

- Fügestellen
  - Reduzieren
  - Vereinheitlichen
  - Vereinfachen

## **7. Ausarbeiten**

### **7.1 Arbeitsschritte beim Ausarbeiten**

- Erstellen aller Daten (CAx) und Unterlagen für Herstellung, Montage, Vertrieb, Transport, Betrieb des Erzeugnisses (Gesamt- und Gruppenzeichnungen, Stücklisten, etc.)
- Erstellen Produktdokumentation (Funktionsbeschreibung, Sicherheitshinweise, etc.)
- Arbeitsschritte
  - Festlegen des endgültigen Entwurfs / Freigabe zum Ausarbeiten
    - Detaillieren und Festlegen von Einzelteilen / Erarbeiten der Einzelteilzeichnungen
    - Zusammenfassen durch Erarbeiten von Gruppen-Zeichnungen und einer Gesamt-Zeichnung sowie von Stücklisten
    - Vervollständigen der Fertigungsunterlagen durch Fertigungs-, Montage- und Transportvorschriften sowie Betriebsanleitungen
    - Prüfen der Fertigungsunterlagen auf Normanwendung, Vollständigkeit, Richtigkeit
  - Festlegen der Produktdokumentation / Freigabe zum Fertigen

## **7.2 Systematik der Fertigungsunterlagen**

### **7.2.1 Erzeugnisgliederung (bsp. für Schema Gozintograph)**

- Aufteilen des Erzeugnisses in kleinere Einheiten
- Wird stark durch Fertigungsfluss beeinflusst
- Kann zu funktions- oder fertigungs- bzw. montageorientierten Strukturen führen
- Spiegelt sich in Zeichnungs- und Stücklistensatz wieder (Erstellen Aufgabe Konstruktionsbereich)
- Firmen- und produktspezifisch d.h. nicht allgemeingültig festlegbar
- Wichtige Voraussetzung für rationelle Herstellung von Produktprogrammen mit Vielzahl von Varianten -> Baureihen- und Baukastensystem
- Hierarchische Gliederung
  - Gesamterzeugnis 0. Ordnung
  - Stufen 1., ... n. Ordnung (Bau-)Gruppen aus Einzelteilen
  - Unterste Stufe Einzelteile nicht weiter Zerlegbar
  - Evtl um noch tiefere Stufe Rohmaterialien ergänzen

## 7.2.2 Stücklistensysteme

- Stückliste
  - Datenbank/Tabellarische Aufstellung aller Einzelteile eines Produkts
  - Inhalte: Benennung der Einzelteile, Menge, Werkstoff, etc
  - Dient Informationsaustausch (Innerbetrieblich und zwischen UN und Lieferant und Kunde)
- Stücklistensatz
  - Gesamtheit aller zu einem Erzeugnis gehörenden Stücklisten
- Stücklistenarten
  - Gibt an wie sich Erzeugnisgliederung und Fertigungsstufen in Stücklistenaufbau widerspiegeln
- Stücklistendarstellung
  - Analytische Betrachtung
    1. Stücklisten i.e.S.
      - Mengenstückliste
        - Enthält Auflistung der Einzelteile mit ihren Sachnummern und Mengenangaben
        - Stufengliederung nicht erkennbar
        - Einfachste Form
      - Strukturstückliste
        - Gibt Erzeugnisstruktur wieder
        - Gliederung entspricht Fertigungsablauf
        - Vorteil: Gesamtstruktur erkennbar
        - Nachteil: viele Positionen -> unübersichtlich
      - Baukastenstückliste
        - Einstufige Auflösung
        - Enthält nur Gruppen und Teile der nächsttieferen Stufe
        - Vorteil: Wiederholbaugruppe muss nur einmal auf einem Stücklistenblatt dargestellt werden
        - Nachteil: kann nicht auf Gesamtbedarf geschlossen werden
    2. Varianten Stücklisten
      - Alle gleichbleibenden Teile eines Erzeugnisspektrums werden in einer sog. Grund-Stückliste zusammengefasst
  - Synthetische Betrachtung (Verwendungsnachweise)
    - Mengenverwendungsnachweis
    - Strukturverwendungsnachweis
    - Baukastenverwendungsnachweis

### 7.3.1 Kennzeichnung von Gegenständen

- Sinn und Zweck der Nummerungstechnik
  - Schnelles Auffinden von
    - Informationen
    - Dokumenten
    - Fertigungsmitteln etc.
  - Rationalisierung Fertigung und Lagerhaltung
- Allg. Anforderungen an Nummernsysteme
  - Identifizierung und Klassifizierung getrennt handhabbar
  - Erweiterungsmöglichkeiten
  - Betriebsin- und extern Verständlich
  - Merkbarkeit
  - Eindeutige Terminologie
- Identifizierung
  - Auftragsunabhängig
    - Teilenummer
    - Erzeugnisnummer
  - Auftragsabhängig
    - Auftragsnummer
    - Kundennummer
- Klassifizierung
  - Auftragsunabhängig
    - Teileart
    - Erzeugnisgruppe
  - Auftragsabhängig
    - Auftragsart
- Definition Nummernsystem nach DIN 6763
  - Nummer: bestimmten Regeln gebildete Folge von Zeichen, bezeichnen von Gegenständen dient
  - Nummerungsobjekt: Gegenstand dem Nummer zugeordnet werden soll oder ist
  - Identifizieren: Eindeutiges und unverwechselbares Erkennen anhand Merkmalen mit festgelegter Genauigkeit
  - Identnummer: Einem Nummerungsobjekt innerhalb eines Nummerungssystems so zugeordnet das zu einem Nummerungsobjekt nur eine Identnummer und umgekehrt gehört
  - Klassifizieren: Bildung von Klassen und/oder Klassifizierungssystemen (Klassen beschreiben Gleichheit aber nicht Identität)
  - Klasse: Wird festgelegt durch Anzahl ausgewählter Merkmale

- **Sachnummernsystem**

- Parallelnummer
  - Sachnummer setzt sich aus Identnummer und Klassifikationsnummer zusammen, dabei werden die beiden Nummern streng voneinander getrennt
    - Vorteil:
      - Einheitliche Nummerung
      - Änderung einer Klassifikation ohne Rückwirkung auf Identifikation
    - Nachteil:
      - Höhere Stellenzahl bei gleicher Aussagekraft relativ zu Verbundnummer
- Verbundnummer
  - Sachnummer setzt sich auch Klassifizierung und Identifizierung zusammen, dabei ist Klassifizierung ein Teil von Identifizierung
    - Vorteil:
      - Relativ geringe Stellenzahl
      - Ohne EDV-System aussagefähig
    - Nachteil:
      - Flexibilität eingeschränkt
      - Erweiterbarkeit eingeschränkt

### **7.3.2 Sachmerkmale**

- Definitionen:
  - Merkmale: bestimmte Eigenschaften
  - Sachmerkmale: Merkmal, das Gegenstände unabhängig vom Umfeld beschreibt
  - Gegenstandsgruppe: Gruppe artverwandter Gegenstände
- Sachmerkmal-Verzeichnis
  - Werden Sachmerkmal-Daten einer Gegenstandsgruppe gespeichert
  - Sachmerkmal-Liste (Kopfzeile eines Sachmerkmal-Verzeichnisses)
    - Zusammenstellen der für Gegenstandsgruppe relevanten Sachmerkmale
- Bei Normteil-Datenbanken werden Sachmerkmale als Grundlage zur Festlegung von Variationsparametern verwendet
- Sachmerkmale dienen auch als Kombinationshilfe für Bausteine eines Baukastensystems

## **8. Entwicklung von Baureihen und Baukästen**

- Definition Baureihe (bsp. Getriebemotoren)
  - Technische Gebilde, die die selbe Funktion
    - Mit der gleichen Lösung
    - In mehreren Größenstufen
    - Bei möglichst gleicher FertigungIn weitem Aufgabenfeld erfüllen
- Definition Baukasten (bsp. Büro- oder Küchenmöbel)
  - Technische Gebilde die als Bausteine mit unterschiedlichen Lösungen durch Kombination verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen

### **8.1 Baureihen**

- Vorteile
  - Hersteller
    - Weniger Konstruktionsarbeit
    - Wirtschaftliche Fertigung
  - Kunde
    - Preisgünstiges, qualitativ gutes Produkt
    - Kurze Lieferzeit
- Nachteile
  - Eingeschränkte Größenwahl mit nicht immer optimalen Betriebseigenschaften
- Baureihenentwicklung
  - Von einer Baugröße ausgehend weitere Baugrößen nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten ableiten
  - Ausgangsentwurf -> Grundentwurf Index 0
  - Abgeleitete Baugrößen -> Folgeentwürfe Index 1...k
  - Ähnlichkeitsgesetze sind zwingend

#### **8.1.1 Ähnlichkeitsgesetze**

- Verhältnis mindestens einer physikalischen Größe beim Grund und bei den Folgeentwürfen bleibt konstant (invariabel)
- Grundähnlichkeiten
  - Geometrische      Länge       $\varphi_L = L_1/L_0$ 
    - Invariante ist Stufensprung (Längenmaßstab)
    - Verhältnis aller jeweiligen Längen bei den Folgeentwürfen zum Grundentwurf bleibt stets konstant
  - Zeitliche      Zeit       $\varphi_t = t_1/t_0$ 
    - Invariante Zeitmaßstab
  - Kraft-      Kraft       $\varphi_F = F_1/F_0$ 
    - Invariante Kraftmaßstab
  - Elektrische      Elektrizitätsmenge       $\varphi_Q = Q_1/Q_0$

- |                 |             |                                                   |
|-----------------|-------------|---------------------------------------------------|
| ○ Temperatur-   | Temperatur  | $\varphi_{\vartheta} = \vartheta_1 / \vartheta_0$ |
| ○ Photometrisch | Lichtstärke | $\varphi_B = B_1 / B_0$                           |

#### 8.1.1.4 Spezielle Ähnlichkeiten

- Mehr als nur eine der Grundgrößenverhältnisse konstant
- Bsp. Verhältnis Länge und Kraft konstant

#### 8.1.1.5 Ähnlichkeit bei gleicher Beanspruchung

- Häufig auftretende Kräfte in maschinebaulichen Systemen
  - Trägheitskräfte
  - Elastische Kräfte ( $\sigma$ - $\varepsilon$ -Zusammenhang)
- Soll in Baureihe Beanspruchung überall gleich bleiben muss  
 **$\sigma = \varepsilon \cdot E = \text{konst}$**
- Stufensprung der Spannung  $\varphi \sigma = \frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \frac{\varepsilon_1 \cdot E_1}{\varepsilon_0 \cdot E_0} = 1$
- Durch Cauchy-Bedingung
  - Stufensprung einer elastischen Kraft
    - $\varphi_{FE} = \varphi_L^2$
  - Stufensprung der Trägheitskraft
    - $\varphi_{FT} = \varphi_L^2 / \varphi_t$
- Beachte: Werkstoffausnutzung und Istsicherheit sind nur dann konstant, wenn der Größeneinfluss auf die Werkstoffgrenzwerte vernachlässigbar ist

#### 8.1.2 Dezimalgeometrische Normzahlreihe

- Zweckmäßig für Baureihen: Stufung nach dezimalgeometrischer Reihe -> Normzahlreihe DIN 323
- Dabei geht jedes Glied aus dem vorhergehenden durch Multiplikation mit einem konstantem Faktor  $\varphi$ , dem Stufensprung, hervor  **$a_n = a_0 \cdot \varphi^n$**
- Stufensprung der Reihe ergibt sich aus  $\varphi = \sqrt[n]{\frac{a_n}{a_0}} = \sqrt[n]{10}$
- $n$  = Stufenzahl innerhalb der Dekade
- Reihen entsprechen dem psychophysischen Grundgesetz, wonach geometrisch gestufte Reize, arithmetisch gestufte Empfindungen hervorrufen
- Vorteile von Normzahlreihen
  - Reduzieren von Abmessungsvarianten -> geringer Aufwand in der Fertigung für Lehren, Vorrichtungen und Messwerkzeuge
  - Produkte und Quotienten von Reihengliedern sind wieder Glieder von Reihen -> Auslegung und Berechnung wird erleichtert

### 8.1.3 Wahl der Größenstufung

- Zweckmäßige Größenstufung
  - Richtet sich nach
    - Marktsituation
    - Konstruktion
    - Fertigung
  - Konstanter Stufensprung nicht immer Zweckmäßig
    - Verschiedenen Stufungscharakteristiken möglich
      - Typ A: strenge geometrische Ähnlichkeit
      - Typ B: degressiv-geometrisch -> gröbere Stufung bei kleineren Baugrößen
      - Typ C: progressiv-geometrisch -> gröbere Stufung bei großen Baugrößen
- Regel: Stufung umso feiner, je größer der Bedarf und je genauer technische Eigenschaften eingehalten werden müssen
- Stufung zwischen unabhängigen und abhängigen Größen unterscheiden
  - Aufgabenstellung bestimmt i.d.R. Abhängigkeit von Größen
    - Markt -> geom. Stufung der Leistung
    - Fertigung -> geom. Stufung der Abmessungen
  - **Halbähnliche Baureihen**
    - Teilbereiche mit mehreren Größenstufungen werden jeweils nur mit einer Größenstufung realisiert

### 8.1.4 Geometrisch ähnliche Baureihen

- Grundentwurf (Index 0) etwa im Mittelfeld der beabsichtigten Baureihe platzieren
- Technische Beziehung  $y=c \cdot x^p$
- Logarithmische Form  $\lg y = \lg c + p \cdot \lg x$
- Alle Abhängigkeiten als Geraden im doppeltlogarithmischen Diagramm darstellbar
- Abweichung von Normzahlreihen durch
  - Passungen und Toleranzen sind mit den Nennmaßen nicht geometrisch ähnlich gestuft
    - $i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D$
    - Stufensprung der Toleranz  $i = \varphi_L^{1/3}$
    - Kleinere Abmessungen bedingen höhere, größere Abmessungen erlauben eine niedrigere Qualitätsstufe
  - Technologische Einschränkungen (Bsp. minimale Gusswanddicke)
  - Übergeordnete Normen
  - Übergeordnete Ähnlichkeitsgesetze oder andere Anforderungen (-> halbähnliche Baureihen)

### **8.1.5. Halbähnliche Baureihen**

- Bedeutende Abweichungen von geometrischen Ähnlichkeit wegen
  - Übergeordneten Ähnlichkeitsgesetzen
  - Übergeordneter Aufgabenstellung
  - Übergeordneten wirtschaftlichen Forderungen der Fertigung

## **8.2 Baukästen**

- Definition Baukasten
  - Technische Gebilde die als Bausteine mit oft unterschiedlichen Lösungen durch Kombination, verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen
- Baukästen enthalten oft auch Baureihen
- Baukastenentwicklung
  - Kombination diskreter Funktionsbausteine -> Gesamtfunktion
  - Konzept- und Entwurfsphase stärker beeinflusst als bei reiner Baureihenentwicklung
  - Technisch-wirtschaftlich günstiger wenn das geforderte Spektrum durch wenige Grund- und Zusatzbausteine realisierbar ist

### **8.2.1 Baukastensystematik**

- Aus Bausteinen aufgebaut die lösbar oder unlösbar zusammengefügt sind
  - Funktionsbausteine sind unter Gesichtspunkt Erfüllung technischer Funktion festgelegt -> Erfüllung von sich aus oder in Kombination mit anderen möglich
  - Fertigungsbausteine (unabhängig von Funktion) rein nach fertigungstechnischen Gesichtspunkten festgelegt
- Grundfunktionen in einem Baukastensystem
  - Grundlegend
  - Immer wiederkehrend
  - Unerlässlich
  - Grundsätzlich nicht variabel
  - Grundfunktionen werden durch Grundbaustein verwirklicht (Baustuktur->“Muss-Bausteine“)
- Hilfsfunktionen in einem Baukastensystem
  - Verbinden und anschließend
  - Hilfsbausteine -> Verbindungs- und Anschlusselemente
  - Müssen entsprechend Größenstufen der Grundbausteine entwickelt werden (Muss-Bausteine)
- Sonderfunktionen in einem Baukastensystem
  - Besondere ergänzende, aufgabenspezifische Teilfunktionen
  - Sonderbausteine (spezielle Ergänzung / Zubehör)
  - Kann-Bausteine
- Anpassfunktionen in einem Baukastensystem
  - Anpassen des Systems an andere Randbedingungen
  - Anpassbausteine -> nur zum Teil maßlich festgelegt
- Auftragsspezifische Funktionen
  - Nicht im Baukastensystem vorgesehen
  - Werden mit Nichtbausteinen verwirklicht die für die konkrete Aufgabe als Einzelkonstruktion Entwickelt werden

### **8.2.2 Vorgehen beim Entwickeln von Baukästen**

- Klären der Aufgabenstellung
  - Forderungen und Wünsche an das Produktprogramm
  - Mehrere Gesamtfunktionen
  - Angabe über Häufigkeit der einzelnen Gesamtfunktionen
  - Ziel: Optimierung für häufigste Gesamtfunktion
- Aufstellen von Funktionsstrukturen
  - Aufgliedern Gesamtfunktion in Teilfunktionen Baustuktur des Systems weitgehend festgelegt
  - Ziel: wenige, gleiche wiederkehrende Teilfunktionen
  - Teilfunktionen müssen austausch-/kombinierbar sein
- Suche nach Wirkprinzip und Lösungsvariante
  - Lösungen suchen die bei Beibehaltung gleichen Wirkprinzips und der grundsätzlich gleichen Gestaltung Varianten ermöglichen
- Auswahl und Bewertung
  - Wirtschaftliche Wertigkeit von Bedeutung
  - Besonders kostengünstige Grundbausteine anstreben
  - Auslegung der Grundbausteine (bedingt Kosten) nach den umsatzstärksten Varianten
- Erstellen der Gesamtentwürfe
  - Wichtig: fertigungs- und montagegerechte Bausteine -> viele gleiche und wiederkehrenden Werkstücke
  - Gesamtfunktionsvarianten durch einfache Montage der Bausteine verwirklichen
- Ausarbeiten der Fertigungsunterlagen
  - Einfache, EDV-gestützte Zusammensetzung der Gesamtfunktionsvarianten
  - Variantenstücklisten

### **8.2.3 Vor- und Nachteile von Baukastensystemen**

- Vorteile
  - Hersteller
    - Konstruktionsaufwand nur für nicht vorhergesehene Zusatzeinrichtungen
    - Auftragsabwicklung durch bausteinbedingter Parallelfertigung stark beschleunigt
    - Schnelle Lieferbereitschaft
    - Einfache Kalkulation
    - Bausteine auftragsunabhängig in optimalen Losgrößen fertigbar
  - Anwender
    - Kurze Lieferzeit
    - Bessere Ersatzteildienste
    - Fehlermöglichkeiten durch ausgereifte Gestaltung fast ausgeschlossen

- Nachteile
  - Hersteller
    - Verlust von Flexibilität und Kundenorientierung
    - Hohe einmalige Entwicklungskosten
    - Erhöhter Montageaufwand nötig
    - Seltene Kombinationen können kostenmäßig ungünstiger sein als Einzelausführung
  - Anwender
    - Spezielle Wünsche schwer erfüllbar
    - Bestimmte Qualitätsmerkmale evtl. ungünstiger als bei Einzelausführung