# 2 Grundlagen

Die Bedeutung der Informationstechnologie im Produktentwicklungsprozess hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Die Auswirkungen in Bezug auf Prozesse und Methoden zeigen sich in einer Neuorientierung in fast allen Unternehmensbereichen. Ziel der VPE ist die Erstellung eines digitalen Produktmodells. Dessen Kern bildet das 3D-CAD-Modell, aus welchem die Modelle für alle weiteren Phasen der Produktentwicklung abgeleitet werden [KrWö01]. Virtuell bezeichnet hierbei die über alle Phasen durchgängig digitale Realisierung dieses Prozesses über alle Unternehmensgrenzen und –Standorte hinweg [SpKr97].

Ziel der VPE ist die möglichst vollständige Beschreibung eines realen Produkts mit all seinen Eigenschaften als Modell im Rechner und das Management der in allen Teilprozessen erzeugten Daten sowie der Prozesse und verwendeten IT-Werkzeuge, um eine lückenlose Dokumentation des Produkts und seiner Entstehungsgeschichte zu ermöglichen. Innerhalb der VPE nehmen Produktdatenmanagementsysteme eine herausragende Stellung ein. Sie sammeln, speichern und verwalten alle produktbezogenen Dokumente, bilden mit entsprechenden Workflow-Funktionalitäten Unternehmensprozesse wie Freigabe- und Änderungswesen ab und unterstützen das abteilungsübergreifende kooperative Arbeiten auch an verteilten Standorten.

Die 3D-Produktmodellierung eröffnet eine Vielzahl neuer Möglichkeiten. Bauteile können rechnerunterstützt analysiert und deren Verhalten simuliert werden. So sind z. B. kinematische Untersuchungen im Rahmen von Kollisionsprüfungen für Ein- und Ausbauuntersuchungen durchführbar. Somit ist es möglich, bereits in frühen Phasen der Produktenwicklung potentielle Fehlerquellen zu ermitteln und zu eliminieren. Auch kann die mechanische Beanspruchbarkeit sowie das thermische und strömungsmechanische Verhalten der digitalen Modelle mit Hilfe spezieller CAD-Anwendungsmodule auf der Basis von Finite-Elemente-Methoden simuliert werden [Bec07]. Der Einsatz dieser Simulationsmethoden erlaubt es dem Produktenwickler in einer frühen Entwicklungsphase Aussagen über das spätere Verhalten des Produkts treffen zu können, womit aufwändige Iterationen vermieden werden können. Damit ergeben sich Potentiale für die frühzeitige Verifikation einer Konstruktion, auf deren Basis dann Optimierungen durchgeführt werden können.

Für die erfolgreiche Umsetzung des zu entwickelnden Konzepts ist die detaillierte Kenntnis der wichtigsten Techniken im Anwendungsgebiet der VPE notwendig. Daher werden in den folgenden Abschnitten die entsprechenden Grundlagen der virtuellen Produktentwicklung herausgearbeitet.

## 2.1 Konstruktionsmethodik und Konstruktionsarten

Immer komplexer werdende Produkte erfordern die Anwendung strukturierter Methoden, um den Produktentwicklungsprozess überschaubar und somit auch steuerbar zu machen. In der Vergangenheit wurden daher in der Forschung diverse Konstruktionsmethoden entwickelt, die ein Vorgehensmodell für die jeweils identifizierten Phasen des Gesamtprozesses bilden. Im folgenden Kapitel

sollen jedoch nur die Konstruktionsmethoden vorgestellt werden, die heutzutage sowohl in der Forschung als auch in der industriellen Praxis – nicht zuletzt durch die Einarbeitung in eine entsprechende Richtlinie – ihre Anwendung finden. Im darauf folgenden Kapitel werden dann die Konstruktionsarten erläutert und die entsprechenden Phasen der dargestellten Konstruktionsmethoden zugeordnet.

### 2.1.1 Konstruktionsmethodik

In der VDI-Richtlinie 2221 wird ein generelles und branchenübergreifendes Vorgehen für die Entwicklung und Konstruktion technischer Produkte vorgeschlagen [VDI93]. Die dokumentierten Ergebnisse eines Arbeitsschritts dienen hierbei als Eingangsgröße für den nächsten Arbeitsschritt. Ausgehend von einer bestimmten Aufgabenstellung wird eine konkrete Anforderungsliste erstellt (Pflichtenheft), welche die wesentlichen Produktmerkmale dokumentiert. Daraufhin wird das Gesamtsystem in technisch sinnvolle Teilfunktionen untergliedert und so eine Funktionsstruktur aufgestellt. Für die Teilfunktionen werden Lösungsprinzipien gesucht, um anschließend ein System aus realisierbaren Modulen zu erstellen, die eine überschaubare Komplexität aufweisen und definierte Schnittstellen zu anderen Modulen aufweisen. Dadurch kann eine Parallelisierung des darauf folgenden Konstruktionsprozesses erreicht werden, der sowohl die Gestaltung der Module als auch die Ausarbeitung des Gesamtprodukts beinhaltet. Der Dynamik des Konstruktionsprozesses wird durch die Möglichkeit, iterativ zu vorangegangenen Arbeitsschritten zurückzukehren, Rechnung getragen.

Ein im allgemeinen Sprachgebrauch gebräuchlicheres Modell ist das von PAHL & BEITZ entwickelte 4-Phasen Modell für den Maschinenbau. Die vier Phasen der Konstruktion werden danach wie folgt definiert:

- Planen und Aufgabe klären (informative Festlegung)
- Konzipieren (prinzipielle Festlegung)
- Entwerfen (gestalterische Festlegung)
- Ausarbeiten (herstellungstechnische Festlegung).

Diese Konstruktionsphasen können den Arbeitsschritten der Konstruktionsmethodik nach [VDI93] direkt zugeordnet werden (Abbildung 2-1).

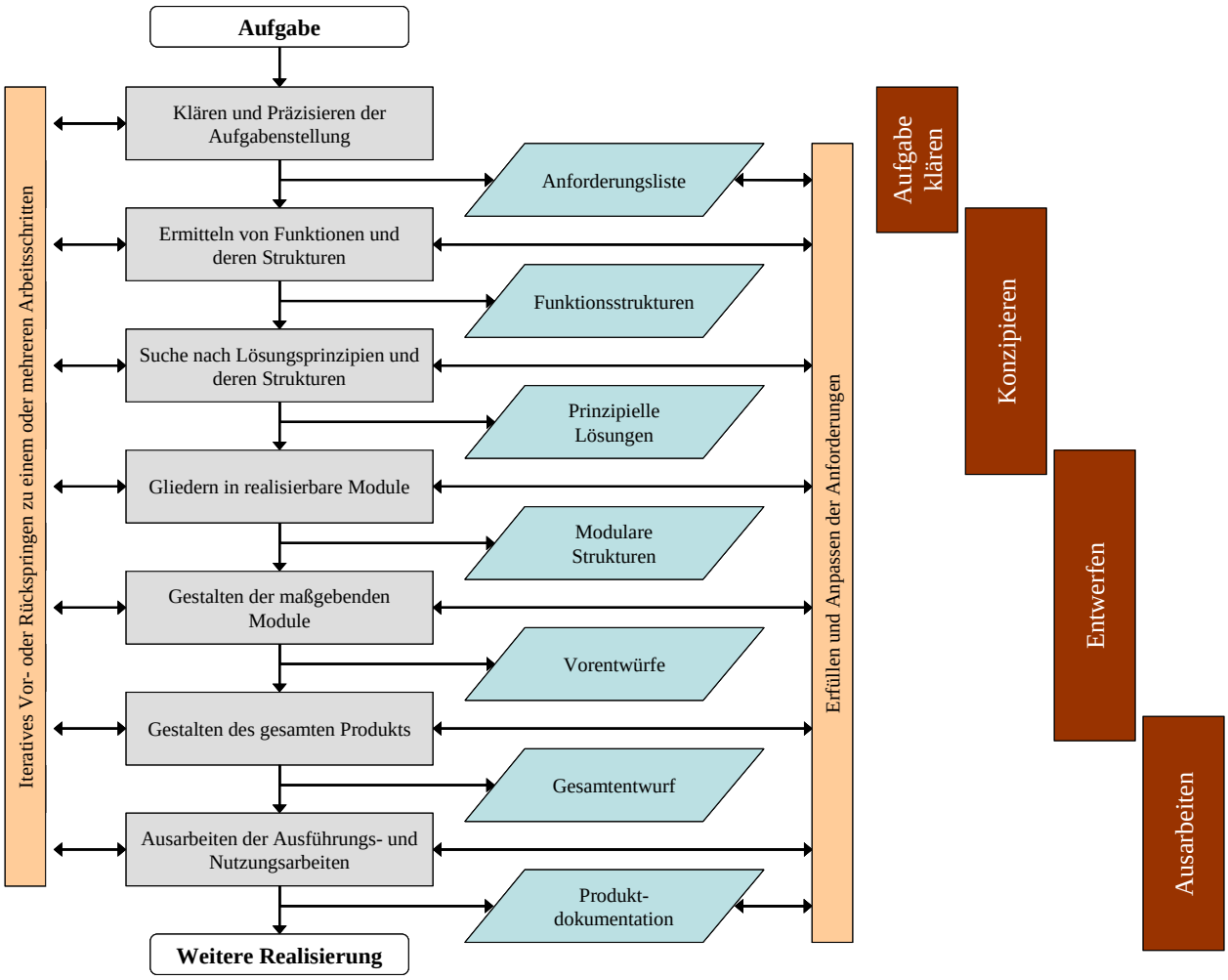


**Abbildung 2-1:** Vorgehensmodell für das Entwickeln und Konstruieren ([VDI93] und [PaBe07])

### 2.1.2 Konstruktionsarten

Je nach Innovationsgrad eines Produkts kann zwischen Neukonstruktionen, Anpassungskonstruktionen und Variantenkonstruktionen unterschieden werden. Nur im seltenen Fall der Neukonstruktion werden alle vier Phasen des Konstruktionsprozesses durchlaufen. Bei einer Anpassungskonstruktion hingegen werden bekannte und bewährte Lösungsprinzipien wiederverwendet. Lediglich die Gestaltung wird an die veränderten Randbedingungen angepasst. Bei dieser Aufgabenart stehen geometrische, festigkeitsrelevante und fertigungs- und werkstofftechnische Fragestellungen im Vordergrund [PaBe07]. Müssen aufgrund geänderter Randbedingungen die Produktabmaße geändert werden, ohne z. B. die Gestalt und den Werkstoff zu modifizieren, so spricht man von einer Variantenkonstruktion.

In der Praxis ist selten eine scharfe Abgrenzung zwischen den verschiedenen Konstruktionsarten vorzufinden. Dennoch lassen sich die zu durchlaufenden Phasen des Entwicklungsprozesses den einzelnen Konstruktionsarten grob zuordnen (Abbildung 2-2).

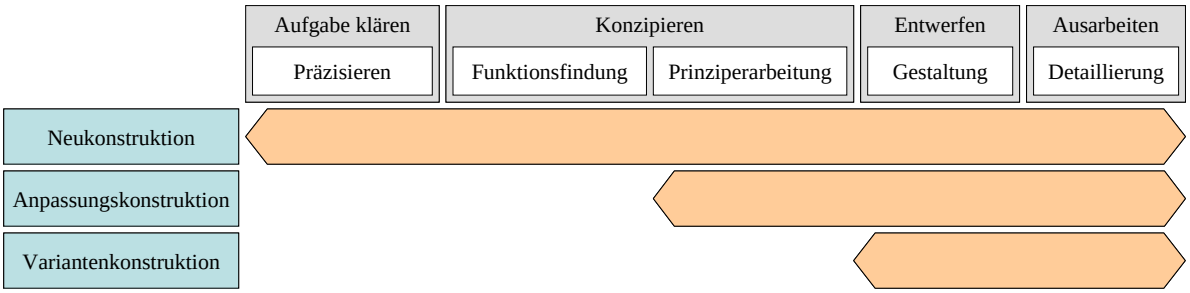


**Abbildung 2-2:** Zuordnung von Konstruktionsphasen zu Konstruktionsarten

## 2.2 Rechnergestütztes Konstruieren

Die Entwicklung von CAD-Systemen begann in den 1960er Jahren am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston mit der Entwicklung des Sketchpad durch SUTHERLAND [Sut03], mit dem es möglich war mit Hilfe eines Lichtstiftes und einer Tastatur interaktiv einfache technische Zeichnungen zu erstellen und zu manipulieren. Darauf aufbauend wurden durch ROSS erste Konzepte für 3D-Modelle entwickelt. Basis dieser 3D-Modelle bilden primitive Grundkörper, die zur Darstellung komplexerer Zusammenstellung verknüpft werden sollten [Ros60].

Im Jahr 1965 wurde dann erste Entwicklungsarbeiten für ein CAD-System für die Erstellung technischer Zeichnungen beim Flugzeughersteller LOCKHEED, USA begonnen [GaEb01]. Das System mit dem Namen CADAM (**C**omputer **A**ugmented **D**esign **A**nd **M**anufacturing) basierte auf IBM-Großrechnern und spezieller Hardware (Monitore) und wurde durch IBM vermarktet. Ende der 1960er Jahre begann dann auch der französische Flugzeughersteller AVIONS MARCEL DASSAULT (heute DASSAULT AVIATION) mit der Entwicklung eines Programms für die Erstellung technischer Zeichnungen, das im Jahr 1981 unter dem Namen CATIA V1 (**C**omputer-**A**ided **T**hree-Dimensional **I**nteractive **A**pplication) als eines der ersten kommerziellen Systeme auf den Markt gebracht wurde.

Die ersten 2D-CAD-Systeme waren ein digitaler Ersatz für sonst manuell am Zeichenbrett zu erstellende Zeichnungen. Durch die vielfältigen Möglichkeiten der Erstellung und Manipulation zweidimensionaler geometrischer Objekte war es möglich, innerhalb kürzester Zeit neue Zeichnungen zu erstellen oder bestehende Zeichnungen anzupassen.

Die Grundlage für die virtuelle Produktentwicklung wurde erst durch die Entwicklung dreidimensionaler CAD-Systeme geschaffen. Es existieren unterschiedliche rechnerbasierte Verfahren, um ein Produkt dreidimensional zu beschreiben [Abr05] (siehe Abbildung 2-3):

- Drahtmodelle
  Drahtmodelle beschreiben die Produktgeometrie durch 3D-Punkte, die mit 3D-Kurven verbunden sind. Diese Form der Geometrierepräsentation ist nicht eindeutig, da es keine explizite Flächen- und Volumenzuweisung gibt. Daher lassen sich keine Bauteilschnitte aus einem Drahtmodell herleiten, ebenso fehlt die Erkennung von Körperdurchdringungen.

- Flächenmodelle
  Flächenmodelle beschreiben die geometrische Gestalt des Produkts auf der Basis der Berandungsflächen. Flächenbasierte Modelliersysteme bieten zumeist umfangreiche Funktionalitäten, um sowohl analytisch beschreibbare als auch approximierende oder interpolierende Flächen zu erzeugen und zu manipulieren. Mit Hilfe sog. NURBS-Flächen (**N**on-**U**niform **R**ational **B**-**S**plines) kann prinzipiell jede technisch herstellbare Form beliebig genau dargestellt werden. Wie im Fall der Drahtmodelle kann auch mit Flächenmodellen keine Volumeninformation gespeichert werden. Somit sind keine Volumenoperationen oder Schnittflächenermittlungen möglich, auch erfolgt keine Konsistenzprüfung des Modells bezogen auf die Realisierbarkeit. Aufgrund der hohen Leistungsfähigkeit einiger kommerzieller Flächenmodellierer werden vor allem in ästhetisch sensiblen Bereichen (z. B. Karosseriedesign der Automobilbranche) immer noch Flächenmodelle eingesetzt.

- Volumenmodelle
  Volumenmodelle bieten im Gegensatz zu Draht- und Flächenmodellen eine eindeutige, widerspruchsfreie und genaue Körperbeschreibung. Auf der Basis eines Volumenmodells können automatisch Schnittkanten abgeleitet werden, ebenso lassen sich Baugruppenkonfigurationen auf Kollisionen überprüfen. Aus graphischer Sicht ergibt sich der Vorteil, dass sowohl verdeckte Kanten einfach ausgeblendet werden können als auch Schattierungen möglich sind. Weiterhin bilden Volumenmodelle eine detaillierte Informationsbasis für nachfolgende Prozesse wie z. B. Berechnungen und Simulationen. Aufgrund der hohen Komplexität von Volumenmodelliersystemen werden jedoch hohe Rechneranforderungen gestellt, ebenso sind für die Erstellung eines Volumenmodells andere Methoden als bei Draht- oder Flächenmodellen zu verwenden.

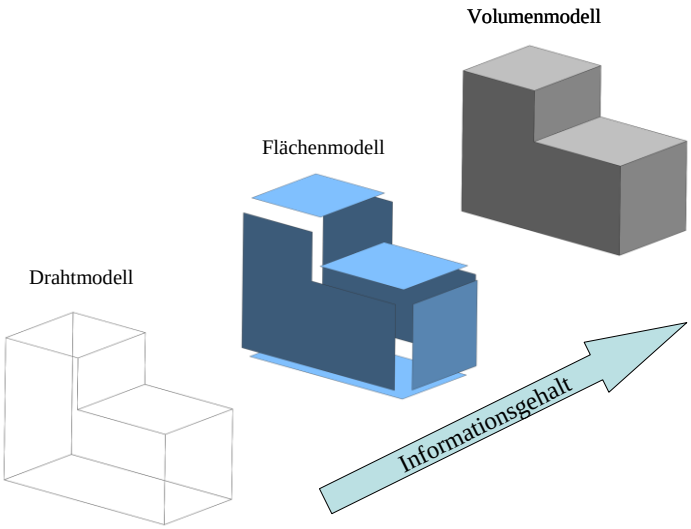


**Abbildung 2-3:** Geometriebeschreibung im CAD-System

### 2.2.1 Datenmodelle

Im Bereich der Konstruktion mechanischer Bauteile haben 3D-CAD-Systeme einen herausragenden Stellenwert eingenommen und sind vor allem in größeren Unternehmen zu einem De-facto-Standard für die Erzeugung digitaler Modelle in der VPE geworden.

Ein CAD-System basiert auf einem zumeist kommerziellen geometrischen Kernel, der eine Reihe von Basisfunktionen zur Erzeugung, Manipulation, Analyse und Visualisierung von 3D-Geometrie liefert, die auf einem rechnerinternen Datenmodell basiert. Im Bereich der Open-Source-Software hat sich dazu das SDK (**S**oftware **D**evelopment **K**it) Open CASCADE etabliert, um Anwendungsprogramme im Bereich CAD, CAM und CAE zu entwickeln [NN08a]. Die unterschiedlichen am Markt erhältlichen CAD-Systeme unterscheiden sich aufgrund der ähnlichen Grundfunktionalitäten daher zum größten Teil durch die Erweiterungen des bestehenden Kernel durch zusätzliche Funktionen. Die diversen geometrischen Kernel und ihre Datenmodelle sind zumeist nicht kompatibel, wobei es jedoch aufgrund der geschichtlichen Entwicklung grundlegende Gemeinsamkeiten in der Beschreibung geometrischer Modelle gibt.

Die rechnerinterne Beschreibung von Volumenmodellen kann auf der Basis multipler Ansätze erfolgen [SpKr97]. Grundsätzlich kann zwischen folgenden Beschreibungsformen unterschieden werden [Den04], die in Abbildung 2-4 nochmals unterteilt werden:

- Volumetrische Modelle (Punktmengenmodelle)
- Verknüpfungsmodelle
- Grenzflächenmodelle

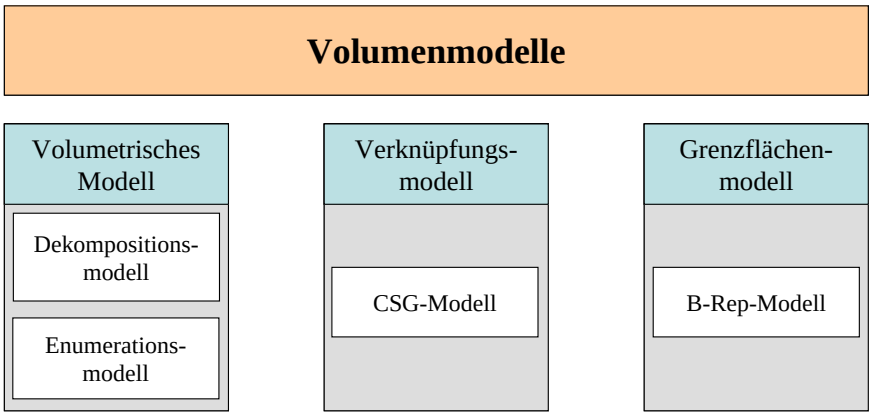


**Abbildung 2-4:** Arten von Volumenmodellen [Den04]

Da Volumetrische Modelle vor allem für diskrete Geometriemodelle im Bereich der Berechnung und Simulation verwendet werden und heutzutage im Bereich der Konstruktion nur eine unwesentliche Bedeutung haben wird in den folgenden Abschnitten detailliert nur auf die Verknüpfungs- und Grenzflächenmodelle nebst ihren Erweiterungen eingegangen.