

Product Lifecycle:

E portfolio	Machbarkeitsanalyse (Kosten <-> Markt, Anforderungen)
E design..	Produkt Planung (Programm, Projekt(Team/Budget), Anforderungsdef., Konzept)
E h engineering	Entwicklung (Design (mechanic, elektro, software), Simulation)
E H process e.	Prozess Planung (Tools, Herstellungsressourcen, Simulation)
H production e.	Produktion (Herstellung, Zusammenbau, Kontrolle)
maintenance	Betrieb (Distribution, Service, Maintenance)
repair&overhaul	Disposal (recycling)

E=Produkt-Entwicklung

Tätigkeiten um Produkt+Umfeld f. Produktion, Betrieb, Entsorgung zu beschreiben-->Produktdefinition

Konstruktion VDI 2221:

Planen, Aufgabe klären -> Konzipieren(funktion) -> Entwerfen(gestalt) -> Ausarbeiten(herstell.)
(anforderungsliste, funktionsstrukturen, prinzipielle lsg, modulare strukturem, vorentwürfe, entwurf, doku)

Änderungen im Maschbau:

Komplexität: +Elektronik, +Software – Mechanik

Haftung, Globalisierung (Standorte auf allen Kontinenten arbeiten zusammen), WWW

Zulieferer machen mehr Arbeit (**Engineering Collaboration**),

Zeit, Innovation, Kosten betrachtung: Entwickler verursacht 10% Kosten, legt aber 75% der Kosten fest!

Fehlerbehebungskosten zu Beginn gering, ab Fertigung: teuer, Auslieferung: sehr sehr teuer.

=> *administrativer Anteil nimmt zu!* (+Information, Dokumentation, Kommunikation - - kreativer Anteil)

Anforderungen: Kosten senken, Zeit reduzieren, Cross Enterprise, Innovation

=> **Frontloading:** mehr Ressourcen ganz zu Beginn, Virtual Engineering --> schneller!

=> **Frühe Bereitstellung des Produktwissen** (denn später kann nicht gut geändert/verbessert werden)

--> Prozessgesteuert statt Ergebnisgesteuerte Entwicklung (alle fangen gleichzeitig an, bevor Ergebnis der andren fertig)

=> Cross Enterprise Engineering: Zulieferer und Unternehmen Entwickeln gleichzeitig mit virtuellen Modellen, statt nacheinander aufeinander aufbauend, verschiedene Kompetenzen an verschiedenen Standorten (design, marketing, produktion) PDM stellt Daten überall bereit.

VPE: durchgehend rechnergestützte PE unter intensiver Anwendung von Simulations und Verifikationstechniken auf der Basis digitaler realitätsnaher Modelle

Entwicklungsstufen rechnergestütztes Produkt-Entwickeln:

VirtualProductEngineering (VP + Prozess Simulation, Entwicklungsprozesse, Produktionsprozesse)

VirtualPrototyping (DMU + Verhaltens, funktions, ergonomie, HW-SW - Simulation)

DigitalMockUp (3D-CAD + Einbauuntersuchungen, Kollisionsprüfungen)

3D-CAD (Konstruktion)

2D-CAD(Konstr.)

Digitales Produkt und Prozessmodell

Produktmodelle haben die Zielsetzung reale Produkte mit ihren f.d. gesamten Lebenszyklus relevanten Informationen in digitaler Form abzubilden

Grundobjekte **Projekt --> Artikel --> Dokumente**

Objektmodell: Objekt, Beziehung, Constraint, Interface, Attribut, Methode (beschrieben mit **UML**)

Prozessmodelle sind die Abbildungen von technisch-organisatorischen Geschäftsabläufen (digital)

Status1 -übergang-> Status2 --> Status3

(Create) --> inWork --> Approval --> Released --> in Change --> Inactive

+--> Approval2 --^

+--->(Create vers. 1) --> In Work --> ...

Geometriemodelle 2D (Punkt – Draht – Flächen) 3D (Draht – Flächen – Volumen)
 ----> Informationsgehalt nimmt mit Dimensionalität zu --- >

Kurven, analytisch beschreibbar (Polynom,ellipse,kreis...)

analytisch nicht beschreibbar: Bezier (approximation, interpolieren anfangs+endpkte,tangenten:
 +einfach,konvex hull,stetig; - kein lokalen Änderungen, grad von Anzahl Stützpkt abh.)

B-Spline: Knoten, Kontenvektor,Gewichtsvektor beeinflussen Form. 4 Knoten pro Segment (Anfang ü Ende je 3, jedes weitere Segment je 1 Knoten interpolation bei 3 knoten an gleicher stelle. C2-stetig).
 (+ lokale Änderung, interpolation erzwingbar, grad unabhängig von zahl der stützpunkte.)

NURBS (nonUniformRationalBspline)(+flexibler,exacter kegelschnitt ab grad 3; - speicheraufwand)

Beispiele Biegung bei zuvielen Lagern (4 stützstellen bekannt),

Splines : Biegung zwischen 2 Lagern durch Momente (tangenten bekannt)

3D: Koordinatensysteme: kartesisch, zylindrisch, kugel

Drahtmodelle: *analytisch beschreibbar*(Viereck,Kreis...)

nicht beschreibbar(interpolation,approximation,N urbs...)

Probleme: Drehung?bei Darstellung eines Zylinders. Darstellung von Schnitten,Körperdurchdringung
 mehrdeutigkeit, möglichkeit unsinniges darzustellen

Flächenmodellierung: Schalenobjekte,Hilfsmittel,NC-Werkzeugbahn

+Eindeutig,verdeckte Kanten verschwinden,sichtkanten,schnittkonturen

-komplexe objekte schwierig, rechenaufwand, keine logischen operationen, schnittflächen.

->*Analytisch beschreibbar*(Ebene Zylinder Kugel); *spezielle*(profilfl.(Leitkurve)/Verrundungsflächen),

nicht beschreibbar: Automobil,Flugzeug,Schiff,design,funktionalität. Überall:jede gewünschte form,

Wunsch: kurze antwortzeiten, leichte erzeugung und (lokale/globale) Modifikation

Interpolation: Patches,Regelflächen(verbindet Enden von Konturen durch Geraden)

Approximation: Bspline,Bezier,NURBS -> **Freiformflächen**

Prinzip: Vektoren $u, v[0..1]$ Höhenfeld.Eckpunkte,Tangenten, Twistvektoren(Ableitg. nach u dann v)

Bezier-Flächen:wie Kurven,konvex-Hull,Komplexe Übergangsbed., keine lokalen Änderungen.

B-Spline..: wie Kurven:knoten,gewichtsvektor,lokale änderungen, interpolation erzwingbar, mächtig.

NURBS: ähnlich bspline, Häufige verwendung, *nicht so genau* bei Kegelschnitt, viel speicher, mächtig

ERZEUGUNG von Freiformflächen:durch Kurve(parallel,kreuzend..), Punktmengen, Ebenen(approx)

Volumenmodellierung:Bewegungsimulation,realitätsnahe Vis.Kollisionsuntersuchungen

+vollständig,widerspruchsfrei, Infos für weitere Berechnungen, geometrie, komplexe objekte einfach

+schnitterzeugung,gute visualisierung

-schwer erlernbar(neues konzept), systemkomplexität, leistungsfähiger rechner nötig

akkumulativ: Zellmodell(Octree:+einfach,-keine Flächen,kanten,fertigungsinfos, speicher, eingabe),

B-Rep (+zugriff auf geometrieelemente,attribute,schnelle vis; -konsistenzprf.,keine historie)

generativ: CSG (Vereinigung, Durchschnitt, Differenz (+eingabe, speicher, konsistenz;

-evaluierung für vis, um ganze fläche/kante zu erhalten, attributierung))

Profilmodelle(Translations-,Rotationskörper)

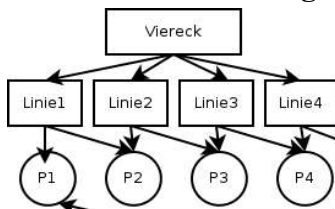
hybrid: generative Primärstruktur, akkumulative(b.rep) Sekundärstruktur liefert Rundungen, Nurbs...

Topologie:Lehre von Lage und Anordnugn im Raum (Nachbarschaftsbeziehungen). *Euler-Point-*

Careet-Formel: Ecken – Kanten + Flächen = 2 * (Oberflächen – VolDurchbrüche) + Löcher in Flächen

Rechnerinterne Darstellung: (beachte Unterschied Hierarchische Struktur <-> allg. Netzwerkstruktur)

2D



Flächenmodelle:

Fläche::Name Attribut Typ

Kurve: Name Attribut Typ

Eckpkt: Name Attribut

B-Rep:

Volumen--> Fläche 1

--> Fläche 2

v v v

Kante1 Kante2 Kante3 ...

Operator (erzeuge), Operand (Linie), Spezifikation((parallell)),

Dateneingabe (x1,y1), Positionieren, Identifizieren

Eingabemöglichkeiten: Befehl, Menü, Menütablet.

Eingabegeräte: Tablett,maus,spacemaus (operator, positionieren,identifizieren), tastatur(daten)

-> Standardausstattung: Tastatur + Maus, weils alles abdeckt)

Makro:z.B. GestaltMakro(vordefinierte Geometrieelemente, in Bibliothek): Erleichterung von wiederkehrenden Eingaben

Variantentechnik: Variable Geometriemodelle einer Elementfamilie. Maß- / Gestalt-Varianten.

Parametrische Modellierung:

Skizzen	Parameter	Constraint
Punkt / Linie / Kreis	Kordinaten / Winkel / Radius	Rechtwinklig,parallel,fixiert, vertikal, konzentrisch

*Feature:*komplexe CAD-Elemente mit Attributen(geometr./technol/funktional) beschrieben durch

Parameter. Z.B.: *Block,Extruded Body,Slot,Edge Blend,Edge Curve,Pocket,Ausrundung,Bohrung*

Klassifikation: Anwendung,Repräsentation,Struktur,Geometrie(volumen/fläche),Bezug(ebene/linie/pkt)

Baugruppen-zusammensetzen: Positionierung(absolut/relativ)+*Orientierung*(parallel/fluchtend/koaxial)

*Ableiten von Zeichnungen-*versch. Perspektiven, je Kontur, Bemaßung,Schraffur(Schnittflächen)

assoziativ: wird bei Änderung der Zeichnung mitgeändert.

Standartteile: konventionell: aus Katalog abtippen, besser: Teilebibliotheken,

--> Normteile(zukauf,makro,Din,Nummer,oft 2D),Wiederholteile(unternehmensspez,CADSys-spez.)

Implement.:Normen(werk/din/katalog)->CAD->Bib - zugriff(nummer/funktions/merkmalsorientiert)->

Subtraktiv(spanend, Fräsen) – *Formend*(Gießen) – *Additiv*(RP,schweißen)

2½-Achs-Drehbank,3,4,5-Achs Fräsen (mit schwenkbarer Fräse oder schwenkbarem Objekthalter)

Prozesskette Fräsen:

Fertigteil-geometrie(CAD), Rohteil, Spannvorrichtung (*gegeben in CAD*)

--> Bearbeitungsschritte erzeugen (dabei Auswahl der Fräse,Methode,Einspannung,Überlappung, schruppen<>schlichten, Geschwindigkeit etc durch Mensch) (*NC-Modul*)

==> Werkzeugbahnen erzeugen,visualisieren (*NC-modul*) und prüfen (*Mensch*)

--> Maschine-spezifische Programme (*Postprozessor*)

--> Fräsen

RapidPrototyping – Modelle:

Konzeptmodell, Ergonomiemodell, Designmodell, Funktionsmodell, Prototyp, Muster

(wachsender Detaillierungsgrad,Passgenauigkeit) (wachsende Fkt.,Detailierung,Genauigk)

entwicklung .. definition...entwurf,design ... konstruktion ... berechnung ... erprobung

Merkmale: Zeit, Qualität(Matrial,Genauigkeit), Kosten. Form, Function, Fit

Prozesskette: CAD-Modell,Vorgaben(Entwickler) --> RPT-Modell(Vereinfachung)

-->Ergänzung, Stützkonstruktion(Ingeneure) -- stl-Datei --> Prototyp-Herstellung(RPT-Software)

CAD-CAM: IDEE-->CAD--RP-technik-->Prototyp--technik-->Serie

>--experimente,auswertung-->manuelle Veränderung,Digitalisierung --> CAD (reverse Engeneering)

Verfahren:klassisch(Fräsen/Drehen); *Alternative zum Gießen nötig,Formbau(Sand,Wachs) aufwändig*

RP(Stereolithografie, LaserSintering, Fused Deposition, Laminated Object Manufacturing)

*Datenfluss:*3d-CAD-->STL(tesselieren: Analytisch --> Diskret umwandeln) *oder:* SLC(Schicht-Info)

--> RP-Verfahren(hilfskonstruktion...)>Geometriedaten --> RP-MODELL

STL-Format defakto-RP-Standart (triangulierte Oberflächen-Repräsentation)

+nur Dreiecke, Skalierbar(Größe), Ausgereift. - Größe<>Genauigkeit, keine Konstruktionsgeschichte.

*Slicing:*direct <-> local adaptive

STL:	SLS:	FDM:	LOM:
Flüssigkeit mit Laser aushärten--> temperaturbeständige und flexible Werkstoffe (Harze)	Selectives Aufschmelzen eines Pulvers --> andre Werkstoffe (Kunststoff, Metall, Gießsand)	aufbringen geschmolzener Kunststoff / Wachs-drähte	aufeinanderlaminiere n von Folien, reste abschneiden
+++Designmodell +Fkt.-modell	+ Designmodell +++ Funktionsmodell Prototyp,Muster	+ Ergonomie, Design ++Funktionsmodell Prototyp,Muster	+++Proportions, +Ergonomie-Modell

Heute: physische Prototypen werden durch digitale unterstützt, kaum Korrelation,
Morgen: digitale Prototypen werden durch physische unterstützt, stark Korrelation

Ziel: (Fast) nur Digitale Prototypen benutzen, bis physischer Prototyp zur Verifikation gebaut wird

Berechnungstypen, basierend auf *Geometriemodell*: Dimensionierg/Auslegung, Optimierg, Kontroll-Mathematische Verfahren: **Analytisch**; Näherungslsg: **FEM** (linear/nichtlinear) **MKS** (Mehrkörpersys)

FEM: für fast alle tech. Systeme geeignet, Statik: innere Kräfte, Auflagerreaktionen,
Prozesskette: CAD-Modell vereinfachen->Einlesen B-Rep(Step)->FE-Modell(NETZ)aufbauen->rechng
Ansatz: komplexe Objekte in einfache, kleine Finite Elemente zerlegen -> Finite Elemente Netz aus
1D (Stab), 2D(Fläche), 3D(Quader) -Elemente und Sonderelementen(RiB)
Geometriemodell -> Ersatzmodell -> Netzmodell -> Berechnungsmodell-> preProz.-> Berechng ->Vis

MKS: Fahrzeuge, Motoren, Mechanik: starre Körper Verformbar verbunden, Ziel *DYNAMIK*:
Bewegung + resultierende Belastung berechnen.

Komplexe Systeme mit FEM nicht wirtschaftlich -> Vereinfachen auf Massenpunkte mit Federn/
Balken verbunden -> in Aufschlagbereichen nicht geeignet -> FEM + MKS verknüpfen!

Anwendung: Kinematik von Mechanismus, Dynamik von Einzelteil, Fahrdynamik, Echtzeitmodelle
Prozesskette: Baugruppenstruktur(CAD) -nativ, Step-> MKS-Sys -RB->MKS-Modell->Berechng, Simu

NVH: *NoiseVibrationHarshness*. Luftgeräusche, Schwingungsgeräusche, Geräuschdesign
Shuffle(Ruckeln), Clonk(Schlag), Growl, Boom, Shudder, Gearwhine(Heuler), Rattle(Rasseln)

Simulation: Kinematik, Fahrmechanik, Einbau, Spritzguß, Dynamik, Crash, Akustik, Ergonomie, Festigkeit
Potential: physikalisch/mathematisch. Interaktion/Ergonomie. Modifikations-Hinweise
in Planung(Styling), Entwicklung(Tolerance), Bau(Einbau), Betrieb(Wartung..), Recycling einsetzbar!

HIL: elektronisch oder mechanische Teilkomponente mit Computersimulation verbunden zum Testen
*vollständige ***echtzeitfähige** Umgebung, Reaktion auf virtuelle Umwelteinflüsse wird getestet
Umgebung in Fzg z.B.: Kinematik, Lenkung, Antriebsstrang, Fahrdynamik(MKS), Reifen in
Echtzeitmodell, Zugriff auf Echtzeitmodell mittels PC über Ethernet, Verbunden mit Teilkomponente
z.B. Über CAN-Bus (oder Sensoren über Signalanpassung..)

Virtual Reality <--> Augmented (mixed) <--> Realität
DMU(Datenbanken), VR(Echtzeit), AR, Berechnung FEM, MKS

DMU: Digitale Attrappe (natürlicher Größe), zur Visualisierung, Kollisions/Bauraumuntersuchungen
aus genauen 3D-CAD-Modellen abgeleitet.

Motivation: komplexe Baugruppen, in unterschiedlichen Formaten, ...-> tessellierung, DMU-Modell
ableiten (und somit muss auch keine Interne Info an andre Firmen gegeben werden, da tesselierte Daten

DMU = wirklichkeitstgetreue Beschreibung im Rechner, auf Endprodukt bezogen ->
Kollisionsprüfungen oder Crashberechnungen möglich und:
Zusammenbauanalyse, Visualisierung, Toleranz, Ergonomie, Schnitte, Notizen, Flächenuntersuchungen
Unterschied zum PMU (mit Auftrag, Datenübertragung, Mustererzeugung): fällt weg,
schnelle Erzeugung direkt aus 3D-CAD-Daten

VR: Computergenerierte Umgebung, Benutzerschnittstelle mit *Immersion* (Einbezogenheit),
Interaktion (mit Umgebung in Echtzeit agieren), *Imagination* (des Vorhandenseins manipulierbare Obj.)
RE (real) AR (augmented) VR (virtual) VE (environment)
späte Entwicklung, Bau, Wartung: work with real Product ... frühe Entwicklung, Planung: with digital data
VR Anwendg: Präsentation, Marketing, Styling, DMU, Zusammenbau Simulation, Shop Floor (Werkstatt)
Technik: Projektion auf Ebene(n) (Wand/Tisch), Zylinder, Cave..., HMD

AR: *Anwendung:* Training, (Dis)Assembly, Maintenance. **Augmented Mock Up** (Optik eingeblendet,
Haptik durch reale Objekte). Vergleich zwischen Simulation und Realität --> Infos werden zusätzlich,
kontextabhängig zur Wirklichkeit eingeblendet
Technik: **Video-See-trough** (tracking – wo guckt der hin, wohin einblenden) <-> **Optical See trough** (billiger)

VRML: Makrosprache für interaktive 3D-Grafiken in Browser. Interaktion mit virtuellen Objekten ISO 14772

Nutzen virtueller Techniken: Vorverlagerung von Entwicklungstätigkeiten, parallel entwickeln

- Zeiteinsparung, da PMU nicht erst gebaut werden muss, stattdessen DMU
- Anfangs vollständige Tests durch Berechnungen aufgrund Produktdaten,
erst später, wenige physische Erprobungen --> **ZEITEINSPARUNG**

Reduzierung der Kosten durch: Validierung, bessere Problemerkennung, Visualisierung für bessere Entscheidungen (technisch, management).

Einsatz von IT in der frühen Phase der Entwicklung

Frontloading: nach der Konzeption, frühen Phase sind schon 70% der Kosten festgelegt, es gibt nur noch wenige Möglichkeiten zur Kostenreduktion. Nach der Detailkonstruktion sind 85% festgelegt!

Entwicklung nach VDI 2221, Vergleich Mechanik <-> ET:

Anforderungen (pflicht/last) -> fiktionaler Entwurf -> Wirkstruktur -> Gestalt -> Fertigungsunterlagen
Spezifikation, funktionaler Entwurf -> Schaltungslogik -> IC-Design -> Layout, physikal. -> Herstellungsdaten

Anforderungsmanagement durch IT:

- *Anforderungsmodellierung* (Konsistenz, Vollständigkeit, Formalisierung)
- Suche nach ähnlichen Problemen/Lösungen
- *Anforderungsmanagement* (Listen verwalten, Suche in Listen)

Für alle diese Fkt: Zugriff auf die *Formalisierten Anforderungsmodelle* und auf *Wissensmodelle*, die eingegeben werden müssen.

Wirkstrukturmodellierung: Funktions-hierarchie, Baumartig, 2D --> darunter sind in 3. Dimension Wirkprinzipien und Lösungen abgelegt.

Grundprinzip: Erfüllung der Teilfunktionen durch jeweilige Wirkprinzipien, dazu gibt es:
Funktionsmodell (Gesamtfunktionen werden durch Teilfunktionen (=Aufgaben) detailliert) -->
Effektmodell (Zuordnen geeigneter Physikalischer Effekte zu den Teilfunktionen, Aufgaben) -->
Wirkprinzipmodell (Konkretisieren der Effekte bzgl. Aufgabe, mehrere WP zu Modell verknüpft)

CAS ComputerAidedStyling:

konventionell: Skizzen -> 1:1 Plan -> Tonmodell -> einscannen mit 3D-Scanner. (Problem: mehrfache Dateneingabe, ZEIT)

Besser: vollständiges Rechnerunterstütztes Styling / digitalisierung der 2D-Tapes, Umwandlung zu 3D
--> Fräsen eines Plastilin-Modells

Technik: geeignete Design-werkzeuge zur Modellierung der Flächen im Rechner nötig (Ton schaber...)

Workflow: 2D-CAS-Skizze -> 3D-CAS-Formfindung, visualisierung -> Detailierung, visualisierung, evtl Modell fräsen -> Surfacing, Teil fräsen -> Konstruktion. *Jederzeit Einstieg aus konventioneller Vorgehensweise möglich. (Flächenrückführung)*

Ästhetischer Character: (sportlich, aggressiv, dynamisch, corporate Identity) auf ästhetische Eigenschaften abbilden. (Reflektionslinien, Schatten,...) daraus Geometrische Eigenschaften ableiten

Datenintegration Ansätze:

Dateischnittstellen/Konvertierungsprogs (Direktkonverter (n*n-1) / systemneutrale Schnittstelle (2n))

Teilintegration, integrierte Systeme (zumeist Schwachstellen in irgendeinem modul, aber bester ansatz)

(+geringere Datenredundanz, bessere konsistenz, zentrale Wartung und Sicherung der Daten, Einheitli)

Volle Integration auf standartisiertem Produktmodell (- Komplex, noch nicht anwendungsreif)

(+ Assoziativ, Sicherstellung der richtigen Interpretation der Daten)

Schnittstelle System von Bedinugen, Regeln, Vereinbarungen für Informationsaustausch 2er Systeme

IGES Initial Graphics Exange Spec.: techn. Zeichnungen mit sehr vielen Elementen

(Geometrie, FEM, CSG, B-Rep. Bemaßung, ... speichern

+standartisiert, verbreitet, international, Verfügbarkeit zahlreicher Prozessoren, unterstützt d. CAD;

-: komplex, Prozessoren fehlerhaft, voluminös

VDA-FS: Punkte, folgen, Vektoren, Polynomkurve/fläche -> einfacheres Format.

Probleme: geometrie/zeichnungsorientiert, Informationsverlust durch abb. des kleinsten Nenners.

STEP: Norm f. Produktmodelle und Schnittstellen, seit 1984, 20.000 Seiten.

Inhalte: Anwendungsdatenmodell, Prozessketten versch. Industrien -> techn. Zeichnung, 3D-Geometrie

Unabhängige Kernmodelle: Geometrie, Repräsentation, Struktur, Darstellung, ...

Anwendungs Kernmodelle: Zeichnung, Elektrik, Kinematik, ...

Produktdefinition(Name, Nummer,..) --> **Produktmodell** <--*Produktrepräsentation*(Brep, CSG, Feature)

v v

Produktpräsentation(Darstellung, Stückliste, Zeichnung)