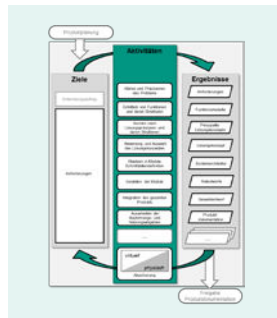
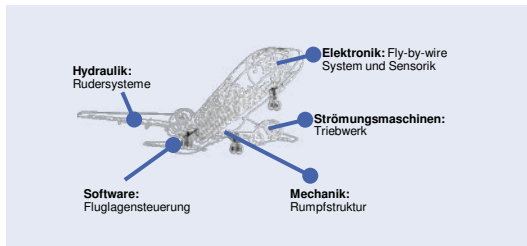


Maschinenkonstruktionslehre C – Produktentwicklung

Inhaltsverzeichnis



 Lernziele & Einführung

 Anforderungen & Ziele an ein Produkt

 Lösungskonzepte

 Gestaltung

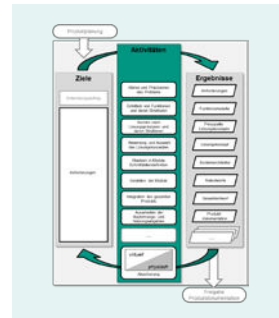
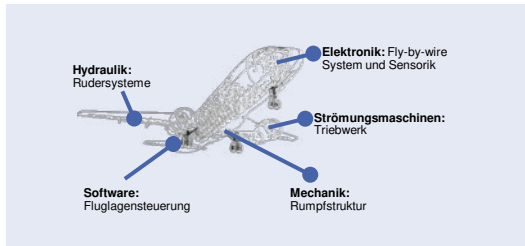
 Prozesse

 Zusammenfassung



Maschinenkonstruktionslehre C – Produktentwicklung

Inhaltsverzeichnis



Lernziele & Einführung

Anforderungen & Ziele an ein Produkt

Lösungskonzepte

Gestaltung

Prozesse

Zusammenfassung



Lernziele der Vorlesung

Produktentwicklung – Vom Entwicklungsauftrag bis zur Einführung des funktionierenden Produktes

Problem

Die Produktentwicklung startet nicht mit der Konstruktion sondern mit dem Entwicklungsauftrag. Ziele der Produktentwicklung müssen vom KonstruktionsingenieurIn erarbeitet und in technische Anforderungen überführt werden, um mit der Konstruktion beginnen zu können.

Ziele

- Die **Gestaltung** in die Aktivitäten des **Produktenwicklungsprozess** und **Produktentstehungsprozess** einordnen können.
- Die **Bestandteile einer Innovation** nennen und verknüpfen.
- **Prozessmodelle** und ihren Zweck nenne können.
- Verschiedene **Quellen für Bedarfe und Anforderungen** nennen können.
- Mehrere **Methoden zur Bedarfs- und Anforderungsermittlung** nennen können.
- (Sich widersprechende) **Anforderungen klassieren** und **gewichten** können.
- Die Unterschiede eines **Lasten-** und **Pflichtenheft** benennen können.

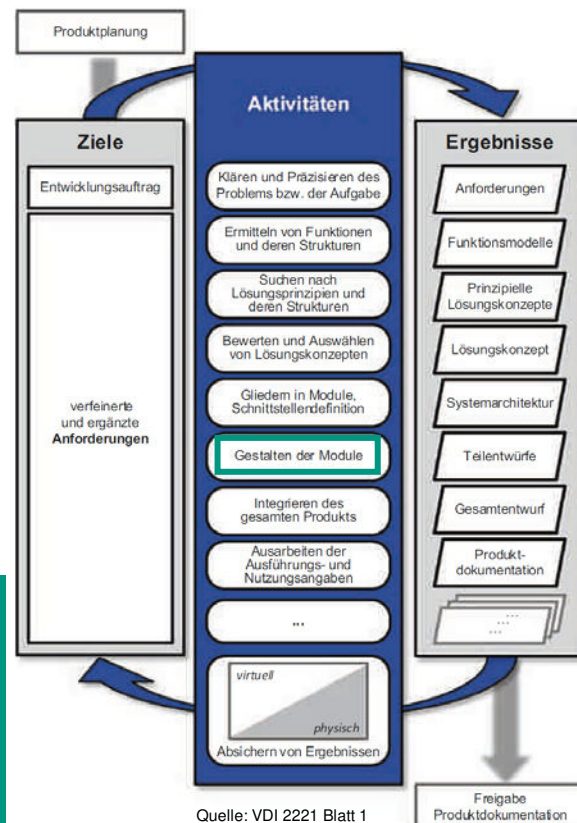
Fazit

Technische Anforderungen sind der notwendige **Input für die Konstruktion**. Diese Anforderungen können aus dem **geplanten Nutzen** für die **Kunden, Anwender und Anbieter** des **zu entwickelnden Produkts** auf Basis deren Bedarfe ermittelt werden. **Methoden unterstützen bei der Bedarfs- und Anforderungsermittlung** sowie bei der **Lösungskonzeptfindung**.

Einführung Produktentwicklung

Die **Konstruktion** ist der **zentrale Punkt der Gestaltung**, macht alleine jedoch nicht die Produktentwicklung aus

- Produktentwicklung startet auf Basis eines oft vagen Entwicklungsauftrages.
- Bevor mit der Konstruktion des Produktes begonnen werden kann, müssen aus dem Entwicklungsauftrag Ziele und Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt vom KonstruktionsingenieurIn erarbeitet werden.
- Die Konstruktion definiert die Gestalt des Produktes.
- Die Konstruktion ist ein iterativer Prozess aus Analyse und Synthese. Während der Konstruktion muss oft Wissen aufgebaut werden, um das Produkt erfolgreich gestalten zu können.
- Parallel zu Konstruktion sind viele weitere Aktivitäten in der Produktentwicklung notwendig um ein erfolgreiches Produkt zu erschaffen (z.B. Produktionssystementwicklung, Marktzugangskonzept, ...).



Quelle: VDI 2221 Blatt 1



Welche Aspekte machen eine Produktentwicklung erfolgreich?

Wie kann ich **verschiedenste Anforderungen** in ‚**Konstruktionsanforderungen**‘ übersetzen?

Was für Beispiele für **gelungene** oder **nicht gelungene Konstruktionen** bzw. **Innovationen** gibt es?



Einführung Produktentwicklung

Je mehr **Einzelteile**, **Wechselwirkungen** und beteiligte **Disziplinen** ein Produkt hat, desto **komplizierter** wird es. Eine **methodische Herangehensweise** ermöglicht **Übersicht**, **Struktur** und **Kreativität** bei der Produktentwicklung.



„einfache“ mechanische Produkte
→ Leitbeispiel Weihnachtsbaumständer



Boeing 737 Max 8

„komplizierte“ mechatronische Produkte
→ Leitbeispiel Flugzeug

Kompliziertheit steigt



Einführung Produktentwicklung am Leitbeispiel Flugzeugentwicklung

Defektes Einzelbauteil oder nicht gelungene Konstruktion?

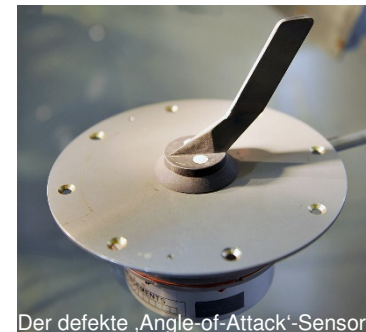


Crashes der Boeing 737-MAX8 (2018/2019)

LionAir 610 & Ethiopian 302



Die **direkte Unfallursache** ist ein **defekter Sensor** (Angle-of-Attack Sensor misst den Anströmwinkel der Luft auf die Tragfläche) und **Softwareschwächen** des MCAS (Maneuvering Characteristics Augmentation System) – ein softwarebasiertes **Flugzeugstabilisierungssystem**



Der defekte ‚Angle-of-Attack‘-Sensor



Was ist der Hintergrund dieser direkten Ursache – warum ist der Sensor notwendig geworden?



Einführung Produktentwicklung, Leitbeispiel – Entwicklungsziele an ein Flugzeug in den 60er-Jahren

Für ein erfolgreiches Produkt spielen die Ziele eine wichtige Rolle

Boeing Ende der 1960er Jahre: **Wir brauchen ein Flugzeug, das**

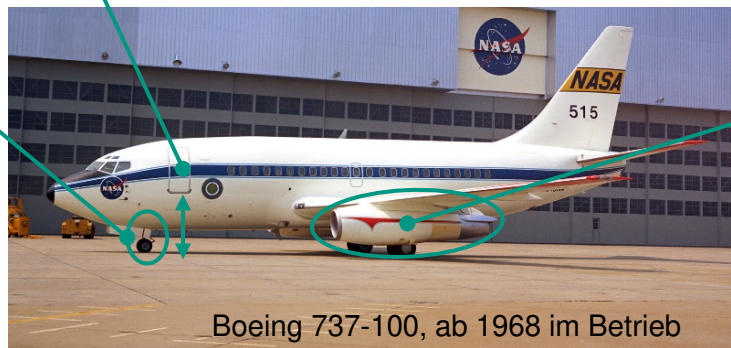
- ...den neuen Markt **kleiner Flugzeuge** mit **Strahltriebwerken** bedient
- ...**Kurzstrecken effizient** bedient
- ...möglichst **viele Flughäfen** anfliegen kann
- ...weitere Entwicklungsziele



Auf Basis dieser Ziele und der abgeleiteten Anforderungen entstand das Produkt Boeing 737-100

Tiefer Einstieg

- Vereinfachter Bodenbetrieb (Zustieg, Gepäckhandling)



„Ungewöhnlich“ kurzes Fahrwerk

- Gewichtersparnis
- Ermöglicht tiefen Einstieg

Tiefliegende Tragflächen „Tiefdecker“

- Schlanke Triebwerke ohne Tragestruktur direkt an den Flügeln

...

Boeing 737-100, ab 1968 im Betrieb



Einführung Produktentwicklung, Leitbeispiel – Aus den Zielen werden Anforderungen abgeleitet

Anforderungen aus unterschiedlichsten Quellen beeinflussen die Konstruktion

Airbus Anfang der 1980er Jahre: **Wir brauchen ein Flugzeug, das**

- ...die „**Volumenklasse**“ (ca. 100-200 Passagiere) **bedient** (zum Entwicklungszeitpunkt kürzlich besetzt durch die Boeing 737):

AIRBUS

Abgeleitete Anforderungen

Aus Kundensicht:

- 20% höhere Ladekapazität als 737-300
- Betriebskosten 50% niedriger als 727

Aus Anbietersicht:

- Flugzeug muss mit verschiedenen Rumpflängen lieferbar sein → Tragflächen müssen alle Längen „tragen“ können

Aus Politik:

- Endmontage eines Modells muss in Hamburg stattfinden

Aus Regularien:

- 4 Notausstiege

Aus Passagiersicht:

- Besonders komfortabel → größerer Rumpfdurchschnitt



Aus Vorausschau:

- Durchmesser Triebwerke nimmt in Zukunft zu → mehr Platz unter Tragflächen notwendig

KonstruktionsingenieurInnen erkannten und priorisierten diese Anforderung und setzten diese im Produkt um

Einführung Produktentwicklung, Leitbeispiel – Unterschiedliche Konzepte Boeing / Airbus

Die Konzeptentscheidung in der Vergangenheit beeinflusst bis heute das Triebwerkdesign. Vorausschau kann eine wertvolle Quelle für Anforderungen sein.



Konzept **niedriges** Fahrwerk:

- **Triebwerke** hatten zur Zeit der Entwicklung deutlich **kleinere Durchmesser**
- Vorteile im Vgl. zu Airbus: Beladung und Einstieg **ohne spezielles Equipment möglich**, mehr Flughäfen (auch ohne Infrastruktur) konnten dadurch von den Airlines angefliegen werden (damals größerer Kundennutzen)



AIRBUS

Konzept **hohes** Fahrwerk:

- KonstruktionsingenieurInnen haben durch **Vorausschau** den Trend zu immer **größeren Durchmessern der Triebwerke** (=höhere Effizienz) gesehen → Entwicklung eines ‚**future-proof**‘-Konzepts
- Zur Zeit der Entwicklung viel **Hohn & Spott** für Airbus mit den zu der Zeit noch kleinen Triebwerken: „Ein Flugzeug wie auf Stelzen“ (damals Nachteil)

- **Anpassung** der Konstruktion der **Grundform** aus den ~60-80er Jahren nur mit **hohem Aufwand** möglich
- Folgende **Produktgenerationen** werden daher nur **weiterentwickelt / adaptiert**



Boeing zwar mit Marktvorteil zum Zeitpunkt der Einführung, aber **großen Problemen** bei **folgenden Produktgenerationen** die größeren Triebwerke unterzubringen durch

unzureichende Berücksichtigung von Anforderungen durch die KonstruktionsingenieurInnen!

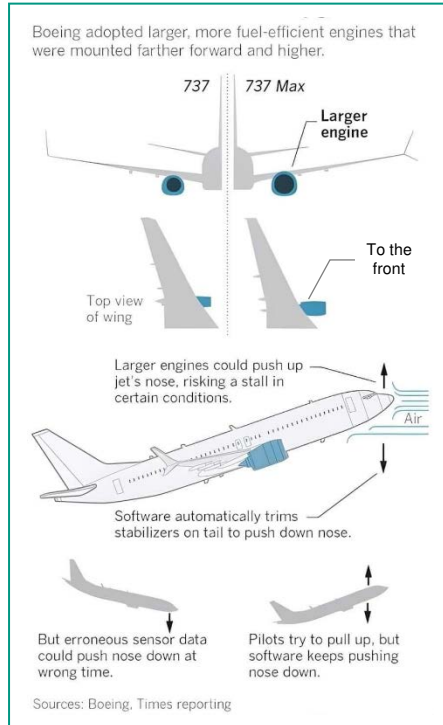


Einführung Produktentwicklung, Leitbeispiel – Unterschiedliche Konzepte Boeing / Airbus

Die Konzeptentscheidung in der Vergangenheit erfordert heute ein komplexes Zusammenspiel aus Hardware und Softwarekomponenten.

Entwicklung der neuesten Produktgeneration bei Boeing (737-MAX8):

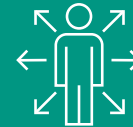
- Neues Triebwerk **erneut größer** (Energieeffizient) und **passt nicht mehr unter den Flügel** (selbst mit Abflachung auf der Unterseite!)
- **Triebwerk** wird am Flügel **nach vorne und oben** versetzt, dadurch **verschiebt sich der Schwerpunkt** des Flugzeugs
→ schwieriger zu fliegen
- Einführen eines **Stabilitätssystems** (MCAS) zum steuerungstechnischen **Ausgleich der Schwerpunktlage**, dieses führt später zum Absturz (durch Ausfall der zuständigen Software)



Die **Ursache** des Absturzes der MAX8 2018/19 liegt demnach in einer **Entscheidung für ein Konstruktionskonzept** vor ~50 Jahren!



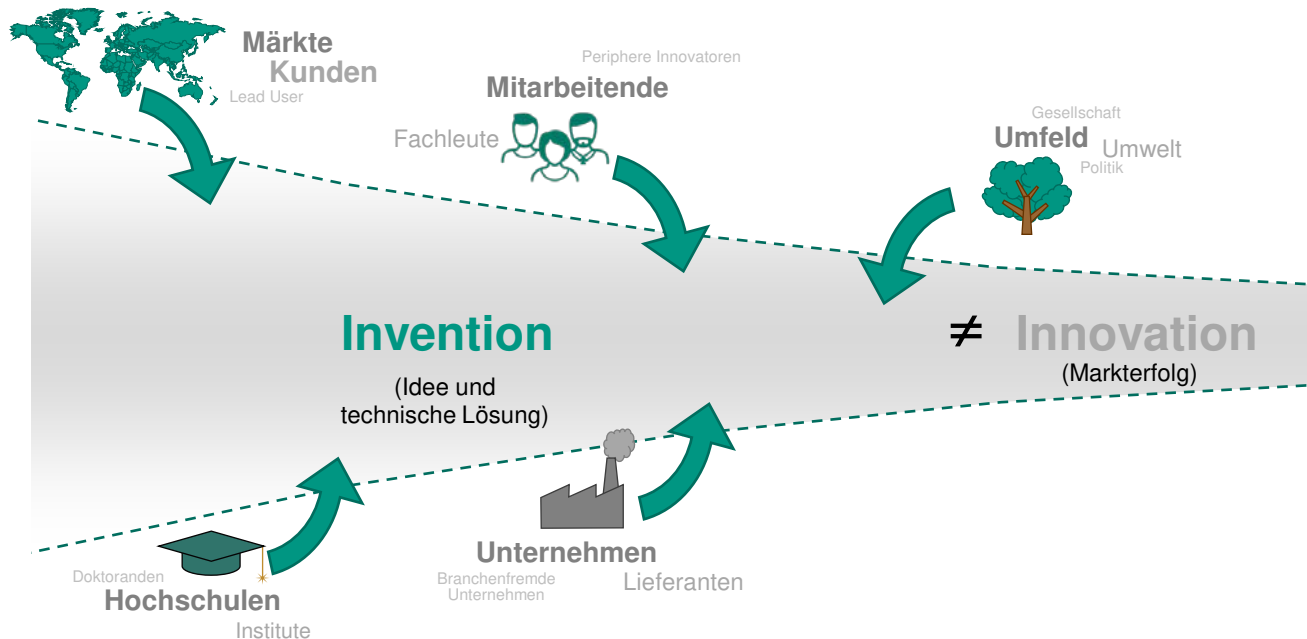
Mit ihren Entscheidungen tragen Produktentwickler große Verantwortung, geeignete Prozesse und Methoden unterstützen hierbei



Ein KonstruktionsingenieurIn kann nicht direkt mit der Konstruktion beginnen, sondern sollte zuvor im Detail die entsprechenden Anforderungen kennen

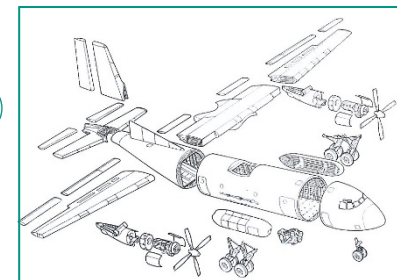
Einführung Produktentwicklung – Modell des Innovationsprozesses

Eine gute **Konstruktionsleistung** (Invention) allein macht noch keine Innovation



Invention

- Die Konstruktionsleistung spiegelt sich primär in der s.g. **Invention** wider
- Die **technische Lösung** und die **Gestalt** werden hierbei definiert

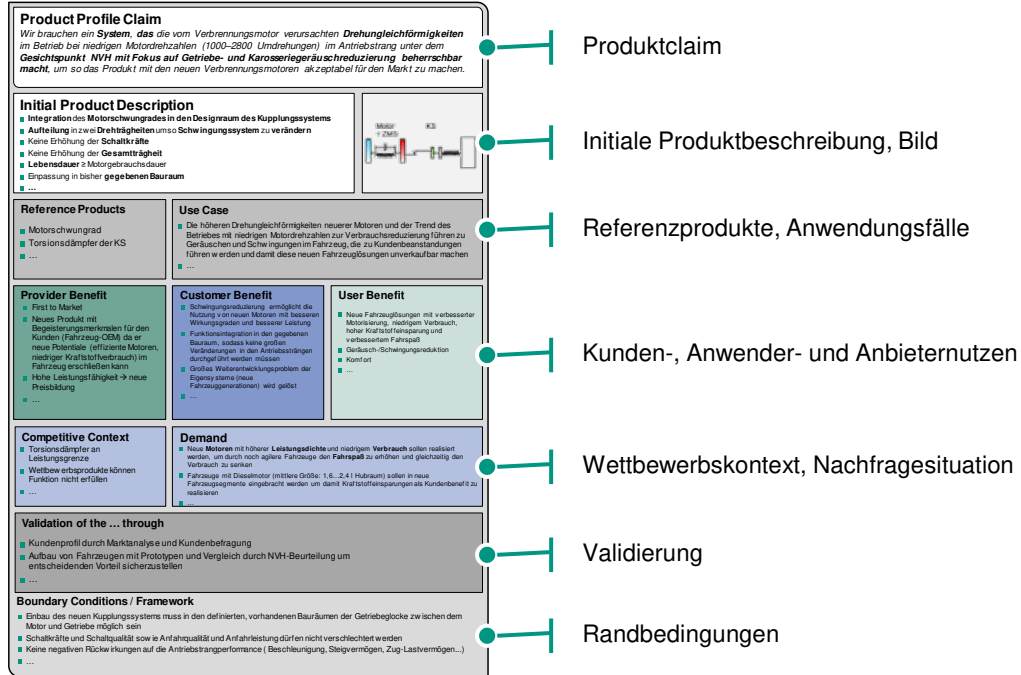


Für den **Markterfolg** (Innovation) ist die **technische Lösung** (Invention) allein kein Garant!

Einführung Produktentwicklung – Produktprofil

Das **Produktprofilschema** unterstützt Produktentwickelnde bei der Bestimmung des Produktprofils. Im Zentrum stehen die **erwarteten Nutzen**.

Aufbau des Produktprofilschemas



Beschreibung

- Mit dem Produktprofilschema kann das **Produktprofil** modelliert werden
- Es besteht aus **12 Modulen**, die jeweils unterschiedliche textuelle und visuelle **Informationen** zum Produkt enthalten
- Die Informationen beschreiben das Produkt **lösungsorientiert**

➔ **Weitere Details in Masterveranstaltungen des IPEK**

Quelle: Albers et al. (2018): Product Profiles: Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations




Leitbeispiel: Retrospektive Modellierung des Produktprofils der BOEING 737-100

Das Produktprofil kann im Produktprofilschema modelliert werden und stellt die angestrebten Nutzen ins Zentrum.



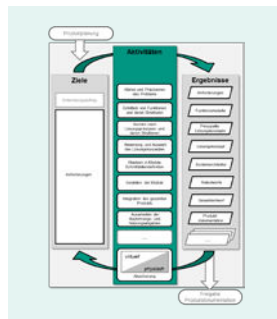
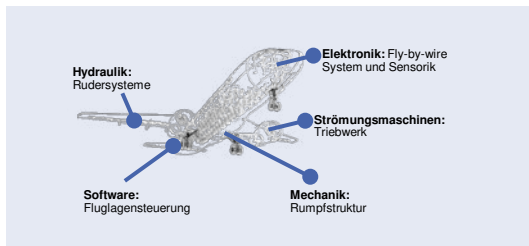
Boeing 737-100, ab 1968 im Betrieb

| | | |
|--|--|--|
| Produktclaim Wir brauchen ein Flugzeug, das den neuen Markt kleiner Flugzeuge mit Strahltriebwerken bedient...Kurzstrecken effizient bedient...möglichst viele Flughäfen anfliegen kann. | | |
| Initiale Produktbeschreibung <ul style="list-style-type: none"> Tiefer Zustieg Einfacher Zugang zum Gepäckraum ... | |  |
| Referenzprodukte <ul style="list-style-type: none"> Andere Boeing Flugzeuge ... | Anwendungsfälle <ul style="list-style-type: none"> Bedienung von kleinen weniger gut ausgestatteten Flughäfen ... | |
| Anbiaternutzen <ul style="list-style-type: none"> Strategische Besetzung Marktsegment Hohes Wachstum erwartet ... | Kundennutzen <ul style="list-style-type: none"> Flexibel einsetzbares Flugzeug Vorfeldposition möglich ... | Anwendernutzen <ul style="list-style-type: none"> Komfortabler Zustieg von Rollfeld Be-/Entladung ohne zusätzliche Systeme möglich ... |

| | |
|--|---|
| Wettbewerbskontext <ul style="list-style-type: none"> Eisenbahn ... | Nachfragesituation <ul style="list-style-type: none"> Mobilitätsbedürfnis der Menschen steigt stark Kleine Regionale Flughäfen gewinnen an Bedeutung |
| Validierung des ... durch <ul style="list-style-type: none"> Beobachtungsstudien und Befragungen der Fluggäste und des Servicepersonals ... | |
| Randbedingungen <ul style="list-style-type: none"> Boeing Qualitätsversprechen muss erfüllt werden Rechtliche Bestimmungen ... | |

Maschinenkonstruktionslehre C – Produktentwicklung

Inhaltsverzeichnis



 Lernziele & Einführung

 Anforderungen & Ziele an ein Produkt

 Lösungskonzepte

 Gestaltung

 Prozesse

 Zusammenfassung



Produktentwicklung – Ziele & Anforderungen

Bevor mit der Konstruktion begonnen werden kann, müssen **Eingangsgrößen** definiert werden.

Die Entwicklung eines neuen Produktes startet mit dem **Entwicklungsauftrag**. Dieser kann **unterschiedlich detailliert und konkret** sein. Je nach Konkretisierung können bereits (müssen aber nicht) initiale **Ziele**, **Randbedingungen** und **Anforderungen**, **Funktionen** oder **Produkteigenschaften** feststehen. Quellen dafür können z.B. sein:

... Kunden



... Vorgängerprodukte



... Anwender



... Gesetze und Regeln



... Anbieter



... Normen und Richtlinien



<https://techminds.de/jobprofile/cad-konstrukteur/>



Produktentwicklung – Ziele & Anforderungen

Bevor mit der Konstruktion begonnen werden kann, müssen **Eingangsgrößen** definiert werden.

Die Entwicklung eines neuen Produktes startet mit dem **Entwicklungsauftrag**. Dieser kann **unterschiedlich detailliert und konkret** sein. Je nach Konkretisierung können bereits (müssen aber nicht) initiale **Ziele**, **Randbedingungen** und **Anforderungen**, **Funktionen** oder **Produkteigenschaften** feststehen. Quellen dafür können z.B. sein:

... *Kunden*



- Fluggesellschaften
- Reiseveranstalter
- Privatkunden
- ...

... *Anwender*



- Pilot, Kabinencrew
- Bodencrew
- Fluggäste
- ...

... *Anbieter*



- Flugzeughersteller

Entwicklungsauftrag

Entwicklung eines neuen Flugzeuges



<https://techminds.de/jobprofile/cad-konstrukteur/>

... *Vorgängerprodukte*



Boeing 737-100, ab 1968 im Betrieb

... *Gesetze und Regeln*



- Z.B. Luftverkehrsgesetz (LuftVG)

... *Normen und Richtlinien*



- Z.B. DIN EN 9100



Produktentwicklung - Kunden- und Anwenderbedarfe

Kunden-/Anwenderanforderungen und -ziele zu ermitteln ist ganz schön **schwierig**. Um die Anforderungen ableiten zu können, müssen die **Bedarfe** ermittelt werden.

Meist müssen Anforderungen durch die Produktentwickelnden selbst aus den **teilweise impliziten Bedarfen und Wünschen der Kunden und Anwendenden** abgeleitet werden. Dazu müssen die relevanten Gruppen und deren Ziele und Bedarfe bekannt sein.

Kunden

Airline A:

Bedienen von kleinen Flughäfen ohne Infrastruktur



Airline B:

Bedienen von Flughäfen mit ausgebauter Infrastruktur



Anwender



Fluggast:

Bequemes Boarding

Bodencrew:

Leichtes Be- und Entladen



Produktentwicklung - Kunden- und Anwenderbedarfe

Die **Beobachtungsstudie** ist eine „einfache“ Methode um die Bedarfe der Kunden und Anwender zu ermitteln.

Durch die **Beobachtung** von Anwendern und Kunden in der **Interaktion mit dem Produkt** können **Probleme** und **Bedarfe** abgeleitet und später die zugehörigen **Anforderungen** ermittelt werden. So können auch Bedarfe ermittelt werden, die ein Kunde oder Anwender bei einer Befragung **nicht explizit** nennen würde.

Problem: Das Aufstellen und gerade ausrichten des Baumes dauert lange und ist mühsam. Es sind mehrere Personen notwendig, um den Baum gerade aufzustellen.



Welche Bedarfe können daraus abgeleitet werden?

Produktentwicklung - Kunden- und Anwenderbedarfe

Die **Beobachtungsstudie** ist eine „einfache“ Methode um die Bedarfe der Kunden und Anwender zu ermitteln.

Durch die **Beobachtung** von Anwendern und Kunden in der **Interaktion mit dem Produkt** können **Probleme** und **Bedarfe** abgeleitet und später die zugehörigen **Anforderungen** ermittelt werden. So können auch Bedarfe ermittelt werden, die ein Kunde oder Anwender bei einer Befragung **nicht explizit** nennen würde.

Problem: Das Aufstellen und gerade ausrichten des Baumes dauert lange und ist mühsam. Es sind mehrere Personen notwendig, um den Baum gerade aufzustellen.

...der Baum soll gerade stehen...

...der Baum soll sicher stehen...

...das Aufstellen soll schnell gehen...

...der Ständer soll leicht zu bedienen sein...

...der Baum soll alleine aufgestellt werden können...



Welche Bedarfe können daraus abgeleitet werden?

Bedarfe aus zusätzlicher Befragung:

- Der Ständer soll günstig sein
- Der Baum soll lange „frisch“ bleiben

Produktentwicklung – Entwicklungsauftrag

Sobald die **Bedarfe der Kunden und Anwendenden** ausreichend verstanden sind, kann aus dem Entwicklungsauftrag das **Produktprofil** entwickelt werden. Der erste Schritt ist der **Produktclaim**

Produktclaim:

- „**Wir brauchen ein Produkt das...**“
- Ist auf den adressierten **Kunden fokussiert**
- Berücksichtigt nach Möglichkeit **kundenrelevante Anwendungsfälle**
- Bringt die **Entwicklungsaufgabe** so konkret wie möglich in einem Satz auf den Punkt
- Dient dem Entwicklungsteam, seine Entwicklungsarbeit intern und extern zu **kommunizieren**.

*„Wir brauchen ein Produkt, das es **einer erwachsenen Person** ermöglicht einen **Weihnachtsbaum alleine aufzustellen**, diesen **gerade ausrichtet** und gewährleistet dass er **zwei Wochen grün** bleibt.“*

Wie kann ein Produktclaim formuliert sein?

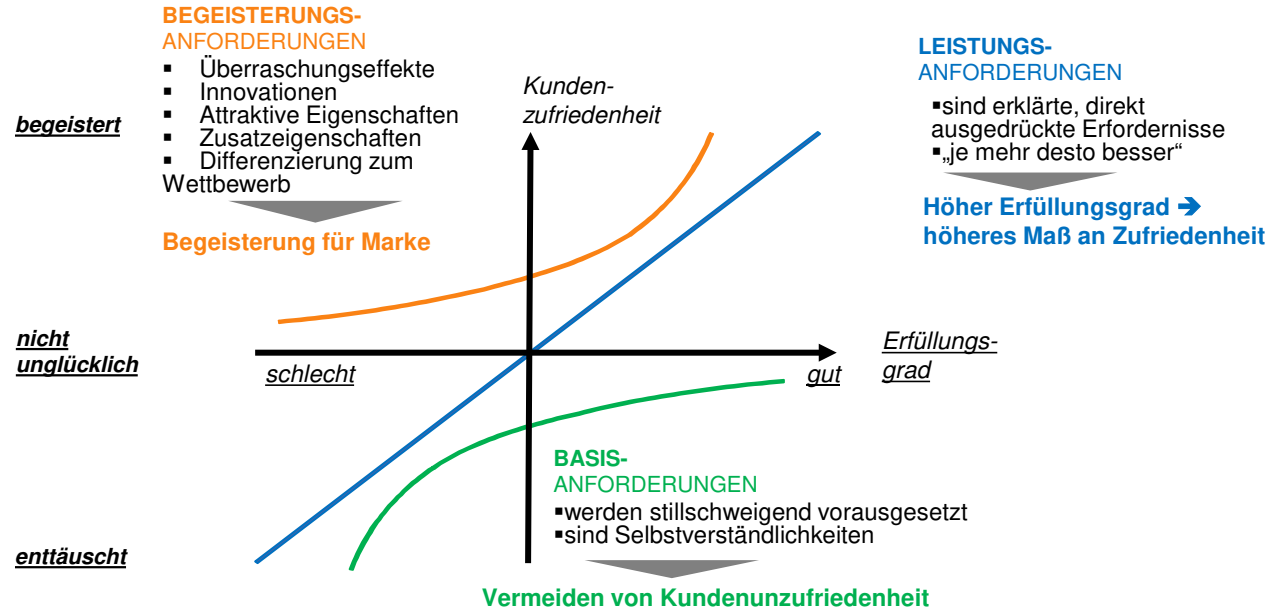


Produktentwicklung – Bewertung Kunden- und Anwenderanforderungen

Da sich **Anforderungen widersprechen** können und **Entwicklungsressourcen** (z.B. Zeit und Geld) **begrenzt** sind, müssen **Anforderungen priorisiert** werden. Das KANO-Modell unterstützt dabei.

KANO-Modell

Das Kano-Modell beschreibt den **Zusammenhang** zwischen dem **Erfüllungsgrad** der **Anforderungen** und der **erwarteten Kundenzufriedenheit**



Produktentwicklung – Bewertung Kunden- und Anwenderanforderungen

Da sich **Anforderungen widersprechen** können und **Entwicklungsressourcen** (z.B. Zeit und Geld) **begrenzt** sind, müssen **Anforderungen priorisiert** werden. Das KANO-Modell unterstützt dabei.

KANO-Modell

Das Kano-Modell beschreibt den **Zusammenhang** zwischen dem **Erfüllungsgrad** der **Anforderungen** und der **erwarteten Kundenzufriedenheit**



Produktentwicklung – Anbieteranforderungen

Neben den Bedarfen der Kunden und Anwender müssen die **Bedarfe und Anforderungen des Anbieters** berücksichtigt werden.

Typische Anforderungen des Anbieters:

- Produktionskosten verringern
- Gewinnmarge erhöhen
- Qualität erhöhen
- Ressourceneinsatz reduzieren
- Gewicht reduzieren
- Abmaße verkleinern
- Neue Kundensegmente erschließen
- ...

Neue Produkte werden **immer** auf Basis von **Referenzen** entwickelt. Aus **Vorgängergenerationen, weiteren Varianten, Produktionsanlagen, oder Lieferantenverträgen** ergeben sich weitere Anforderungen:

- Verwendung von Standardkomponenten (z.B. Rumpfmodule)
- Limitierung der äußeren Abmaße (z.B. Höhe Fahrwerk)
- Vorwärts-/Rückwärtskompatibel (z.B. Turbinen)
- Schnittstellendefinitionen
- ...



Boeing 737-100, ab 1968 im Betrieb



Boeing 737-300,



Boeing 737 Max 8

Produktentwicklung – Kunden-, Anwender- & Anbieternutzen

Um ein **passendes Produktprofil** zu entwickeln, ist es wichtig sowohl den **Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen** des Produktes klar herauszuarbeiten.

Anbiaternutzen

- Strategischer Einsatz
- Passt zu Unternehmensphilosophie, Marke, ...
- Erweiterung Produktportfolio
- Geschäftsmodell
- Ressourcen
- Nutzbare Kernkompetenzen

Kundennutzen

- Customer Pain – das Problem aus Sicht eines Kunden
- Wie wird das Produkt dem Kunden nutzen?
- Zielgruppe/ Marktsegment

Anwendernutzen

- User Pain – das Problem aus Sicht eines Anwenders
- Wie wird das Produkt dem Anwender nutzen?
- Zielgruppe

Kernaussage

Das Produktprofil muss den **erwarteten Nutzen** von **Kunden, Anwender und Anbieter** beinhalten.



Produktentwicklung – Kunden-, Anwender- & Anbieternutzen

Um ein **passendes Produktprofil** zu entwickeln, ist es wichtig sowohl den **Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen** des Produktes klar herauszuarbeiten.

Anbiiternutzen

- Strategischer Einsatz
- Passt zu Unternehmensphilosophie, Marke, ...
- Erweiterung Produktportfolio
- Geschäftsmodell
- Ressourcen
- Nutzbare Kernkompetenzen

Kundennutzen

- Customer Pain – das Problem aus Sicht eines Kunden
- Wie wird das Produkt dem Kunden nutzen?
- Zielgruppe/ Marktsegment

Anwendernutzen

- User Pain – das Problem aus Sicht eines Anwenders
- Wie wird das Produkt dem Anwender nutzen?
- Zielgruppe

Beispiel:

Hersteller Weihnachtsbaumständer

- Abgrenzung Wettbewerb
- Auslastung Produktionsanlagen
- Neue Produktgeneration zum Saisonstart
- ...

Käufer: Vater/ Mutter

- Kostengünstig
- Risikominimierung Kippen
- Stressreduktion
- ...

Familie

- Schnelles Aufstellen
- Leichte Ausrichtung
- Sicherer Stand
- Lange grün
- ...



Produktentwicklung – Entwicklungsauftrag

Produktclaim und geplanter **Nutzen der Kunden, Anwender** und des **Anbieters** bilden den **Kernbestandteil** des **Produktprofils**.

Productclaim

„Wir brauchen ein Produkt, das es **einer erwachsenen Person** ermöglicht einen **Weihnachtsbaum alleine aufzustellen**, diesen **gerade ausrichtet** und gewährleistet dass er **zwei Wochen grün** bleibt.“

Geplanter Nutzen

Anbiaternutzen

Hersteller Weihnachtsbaumständer

- Abgrenzung Wettbewerb
- Auslastung Produktionsanlagen
- Neue Produktgeneration zum Saisonstart
- ...

Kundennutzen

Käufer: Vater/ Mutter

- Kostengünstig
- Risikominimierung Kippen
- Stressreduktion
- ...

Anwendernutzen



Familie

- Schnelles Aufstellen
- Leichte Ausrichtung
- Sicherer Stand
- Lange grün
- ...



Produktentwicklung – Entwicklungsauftrag

Das **Produktprofil konkretisiert den Entwicklungsauftrag** und stellt den **Kunden- und Anwendernutzen ins Zentrum.**

| | | |
|--|--|---|
| Produktclaim „Wir brauchen ein Produkt, das es einer erwachsenen Person ermöglicht einen Weihnachtsbaum alleine aufzustellen, diesen gerade ausrichtet und gewährleistet dass er zwei Wochen grün bleibt.“ | | |
| Initiale Produktbeschreibung <ul style="list-style-type: none">■ Mechanische Fixierung des Baums■ Wassertank zur Befeuchtung■ ... | |  |
| Referenzprodukte  <ul style="list-style-type: none">■ ... | Anwendungsfälle <ul style="list-style-type: none">■ In der Vorweihnachtszeit ist das sichere Aufstellen des Weihnachtsbaums ein wiederkehrendes Ärgernis!■ ... | |
| Anbiaternutzen <ul style="list-style-type: none">■ Abgrenzung Wettbewerb■ Auslastung Produktionsanlagen■ Neue Produktgeneration zum Saisonstart■ ... | Kundennutzen <ul style="list-style-type: none">■ Kostengünstig■ Risikominimierung Kippen■ Stressreduktion■ ... | Anwieldernutzen <ul style="list-style-type: none">■ Schnelles Aufstellen■ Leichte Ausrichtung■ Sicherer Stand■ Lange grün■ ... |

| | |
|--|---|
| Wettbewerbskontext <ul style="list-style-type: none">■ Kunststoffbäume■ Wettbewerb■ ... | Nachfragesituation <ul style="list-style-type: none">■ Deutschland: Max. ca. 40 Mio. Haushalte |
| Validierung des ... durch <ul style="list-style-type: none">■ Kunden-/Anwieldernutzen: Durch Beobachtungsstudien und Befragungen■ Anbiaternutzen: Wettbewerbsanalyse | |
| Randbedingungen <ul style="list-style-type: none">■ Richtlinien Produktsicherheit■ Vorhandene Fertigungsverfahren und Produktionsanlagen■ ... | |



Produktentwicklung – Exkurs: Validierung vs. Verifikation

Das **Produktprofil** kann zur **Validierung des Produktes** herangezogen werden.

Validierung

- Zentrale Aktivität zur **Gewinnung** von **Erkenntnis** und **Wissen** (oft in Verbindung mit Kunden)
- Es werden sowohl eine fortlaufende **Eigenschaftsabsicherung** mit steigendem Reifegrad des Produktes als auch ein **kontinuierlicher Soll-Ist-Vergleich** von Prozessgrößen vorgenommen.
- Bestätigung, dass das gelieferte/geplante Produkt den **ihm zgedachten Sinn** und **Zweck** erfüllt.
- Validierung = „**Tun wir das Richtige?**“
- Validierung = „You built the right thing“



Verifikation

- Allgemein der **Nachweis der Wahrheit von Aussagen**
- Übertragung auf technische Systeme: Überprüfung, ob eine **Realisierung** (z.B. ein Software Programm) mit der **Spezifikation** (in diesem Fall mit der Algorithmenbeschreibung) **übereinstimmt**.
- Wird im Allgemeinen **formal realisiert**.
- Bestätigung/Nachweis, dass Arbeitsprodukte die für sie **spezifizierten Anforderungen** erfüllen.
- Verifikation = „**Tun wir es richtig?**“
- Verifikation = „You built the thing right“



Produktentwicklung – Exkurs: Validierung vs. Verifikation

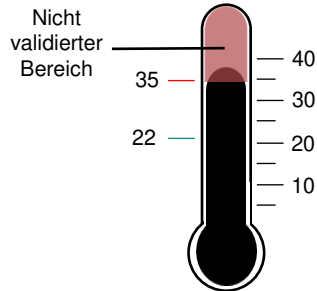
Das **Produktprofil** kann zur **Validierung des Produktes** herangezogen werden.

Testing zur Validierung

- Bestätigung, dass das gelieferte/ geplante Produkt den **ihm zugedachten Sinn** und **Zweck** erfüllt.
- Validierung = „**Tun wir das Richtige?**“
- Beispielsweise Kunden fragen, ob sie sich im auf 22°C klimatisierten Wagon wohlfühlen.

Testing zur Verifikation

- Bestätigung/ Nachweis, dass Arbeitsprodukte die für sie **spezifizierten Anforderungen** erfüllen.
- Verifikation = „**Tun wir es richtig?**“
- Beispielsweise prüfen, ob die Klimaanlage bei 35°C die Temperatur auf angenehme 22°C reduzieren kann.



Hitzeschläge 2010: Für die Klimaanlage des ICE war die Kühlung einer Außentemperatur von bis zu 35 °C auf eine als angenehm **validierte** Temperatur von 22 °C **verifiziert** (Grenztemperatur ~ 35 °C). Allerdings wurde nicht berücksichtigt, dass die Außentemperatur höher als 35°C sein kann. Die Klimaanlagen schafften es nicht, die Temperatur von 22°C bei höheren Außentemperaturen zu halten. Es fehlte eine entsprechende Validierung der Annahme.

Kernaussage

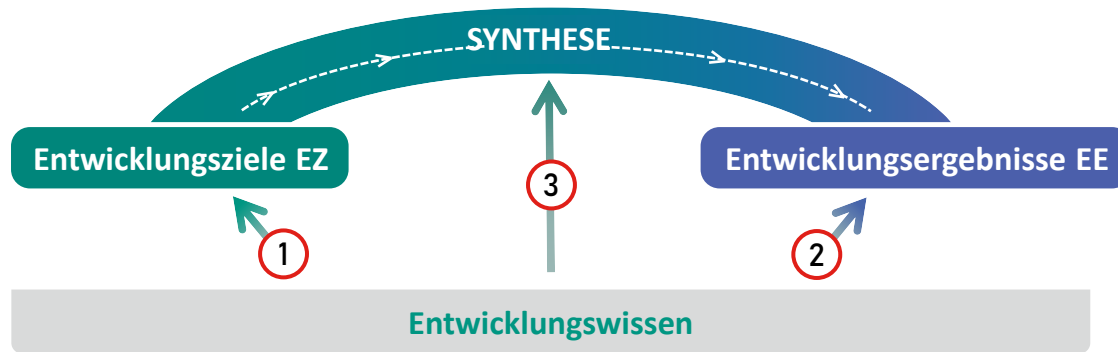
Das **Produktprofil** beinhaltet den **zugedachten Nutzen** eines Produktes aus Sicht der Kunden, Anwender und Anbieter. Damit ermöglicht dies die **Validierung** eines in **Entwicklung befindlichen Produktes**.

Eine **Anforderungsliste kann nur der Verifikation dienen!**



Produktentwicklung – Exkurs: Validierung vs. Verifikation

Das Testing zur Validierung und zur Verifikation baut auf dem **Entwicklungswissen** auf



Testing zur **Validierung**

- 1 Ist es das richtige Produkt?
→ Menschen in Zug fragen, ob die Temperatur im Sommer angenehm ist.
 - Geschlossene Fragestellung

Testing zur **Verifikation**

- 2 Ist das Produkt richtig entwickelt?
→ Kann bei 35 Grad Außentemperatur im Zug auf 22 Grad runtergekühlt werden
 - Geschlossene Fragestellung

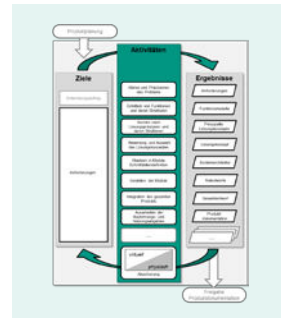
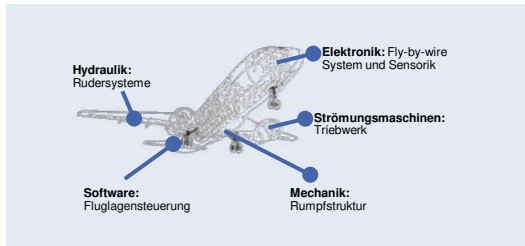
Testing zum **Zusammenhang** von Entwicklungszielen und Entwicklungsergebnissen

- 3 Wie hängen Entwicklungsziele und Entwicklungsergebnisse zusammen?
 - Offene Fragestellung



Maschinenkonstruktionslehre C – Produktentwicklung

Inhaltsverzeichnis



Lernziele & Einführung

Anforderungen & Ziele an ein Produkt

Lösungskonzepte

Gestaltung

Prozesse

Zusammenfassung

Produktentwicklung – Lösungskonzepte

Aus dem **Produktprofil** muss ein **technisches Lösungskonzept** erarbeitet werden

Produktprofil

Ein Produktprofil ist ein lösungsoffenes Modell für die geplanten **Nutzenbündel**.



Aus dem Produktprofil muss ein technisches Lösungskonzept abgeleitet werden!

Technisches Lösungskonzept

Ein technisches Lösungskonzept beschreibt **mögliche (technische) Lösungen** für die im Produktprofil definierten **Nutzenversprechen**.

Kernaussage

Ein **technisches Lösungskonzept** ist die **zielgerichtete geistige** und **schöpferische** Leistung des **Konstruktionsingenieurs**, als **Vorbereitung** eines später daraus zu gestaltenden **Produkts** oder **Systems**

Im Gegensatz zum Bündel von Nutzen (Produktprofil) ist ein Konzept **lösungs-spezifisch**



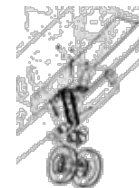
Wir brauchen ein Produkt, das es dem Bodenpersonal erlaubt, das Flugzeug ohne Nutzung von Hilfsmitteln (bspw. Rampen) zu beladen.



LÖSUNGSOFFEN



Wir brauchen ein Produkt mit einem kurzen Fahrwerk und zugängigen Bodenklappen



LÖSUNGSSPEZIFISCH

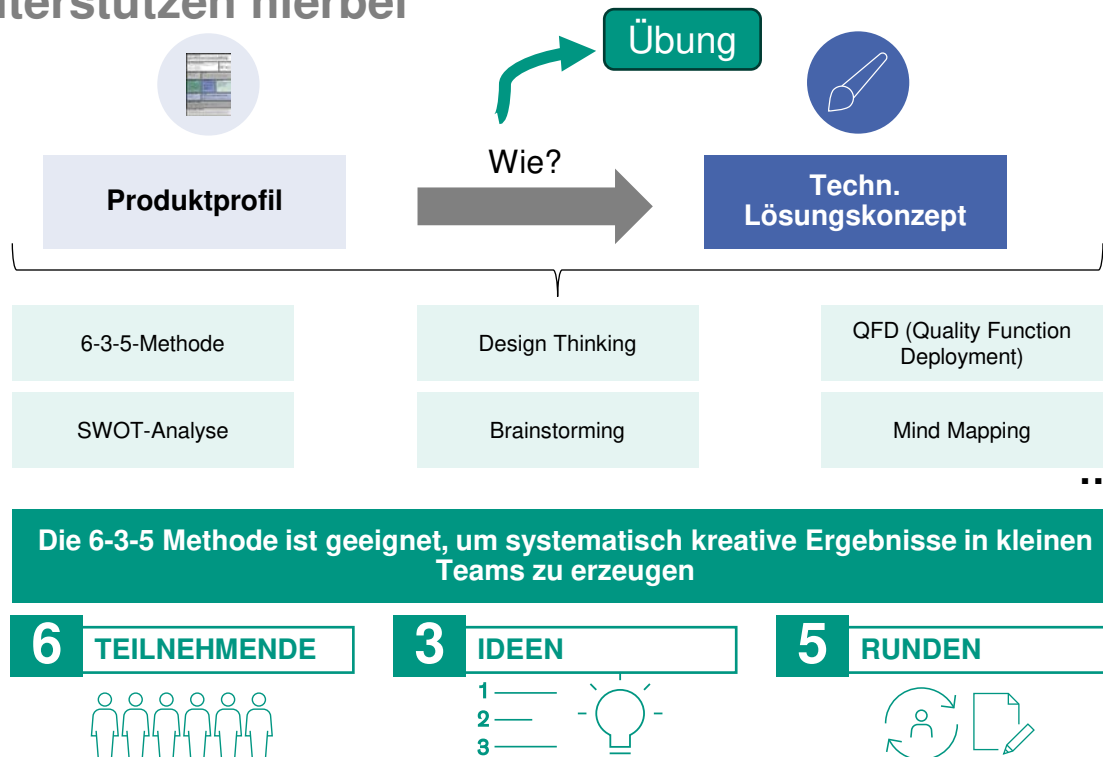


Produktentwicklung - Lösungskonzepte

Die Konzepterstellung ist ein **kreativer, nicht trivialer** Prozess.
 Verschiedene **Methoden** unterstützen hierbei



- Für die **Überführung** des **Produktprofils** in ein technisches **Konzept** ist **Kreativität** notwendig
- Kreativität** ist nicht angeboren, sondern kann **gezielt methodisch** unterstützt werden



Produktentwicklung - Lösungskonzepte

Konzepterstellung im Team gelingt besser, da auf die Ideen der anderen aufgebaut werden kann. Dabei unterstützt die **6-3-5 Methode**.



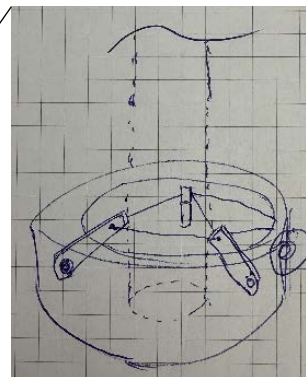
Referenzprodukt



„Wir brauchen ein Produkt, das es **einer erwachsenen Person** ermöglicht einen **Weihnachtsbaum alleine aufzustellen**, diesen **gerade ausrichtet** und gewährleistet dass er **zwei Wochen lang grün bleibt**.“

Produktprofil

| | Idee 1 | Idee 2 | Idee 3 |
|-------------------------|--------|--------|--------|
| Runde 1 (Name Person 1) | ... | ... | ... |
| Runde 2 (Name Person 2) | ... | ... | ... |
| Runde 3 (Name Person 3) | ... | ... | ... |
| Runde 4 (Name Person 4) | ... | ... | ... |
| Runde 5 (Name Person 5) | ... | ... | ... |
| Runde 6 (Name Person 6) | ... | | |



Ausgewähltes Lösungskonzept:

Durchgängiges **Drahtseil** zur **gleichmäßigen Kraftaufbringung** an allen Spannungspunkten.

Aufbringen der **Kraft über Fußtaste**

6 TEILNEHMENDE



3 IDEEN

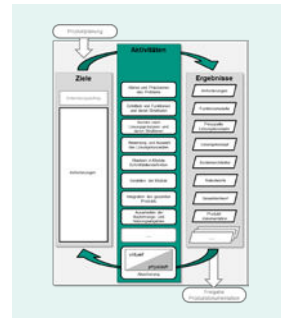
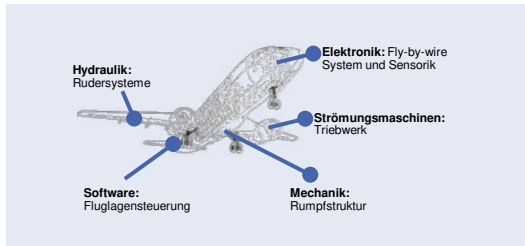


5 MINUTEN p. RUNDE



Maschinenkonstruktionslehre C – Produktentwicklung

Inhaltsverzeichnis



 Lernziele & Einführung

 Anforderungen & Ziele an ein Produkt

 Lösungskonzepte

 Gestaltung

 Prozesse

 Zusammenfassung

Produktentwicklung – Konkretisierung von Anforderungen

Mit Fachwissen und Erfahrung können KonstruktionsingenieurInnen die **beliebig vagen Kunden- und Anwenderbedarfe** passend zum **gewählten technischen Lösungskonzept konkretisieren**.

Für die Konstruktion sind **technische Anforderungen** notwendig.

Qualitätskriterien für Anforderungen:

- eindeutig: ohne Interpretationsspielraum
- gültig und aktuell: Freigegeben
- korrekt: inhaltlich richtig
- priorisiert: mindestens nach Wunsch oder Forderung („muss/kann“) klassifiziert
- realisierbar: technisch und wirtschaftlich machbar
- rückverfolgbar („traceable“): zum Stakeholder und zur Lösung
- vereinbart: freigegeben durch alle Stakeholder
- verifizierbar: testbare Merkmale durch Angabe messbarer Ausprägungen (z.B. Breite von 3 m +/- 0,01 m),
- verständlich: einfache Formulierung,
- vollständig: mit allen relevanten Zusatzinformationen (z.B. Randbedingungen)

Kernaussage

Um aus dem **Produktprofil** und den darin enthaltenen **Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen** zum **technischen Lösungskonzept** zu kommen ist die Übersetzung in **konkrete technische Anforderungen** notwendig.

Quelle: Pahl/ Beitz Konstruktionslehre 2021



Produktentwicklung – Externe vs. Interne Entwicklungsaufträge

Bei **externen Aufträgen** werden die Anforderungen meist in einem **Lastenheft** formuliert und in ein **Pflichtenheft** übertragen.

Definition **Lastenheft**:

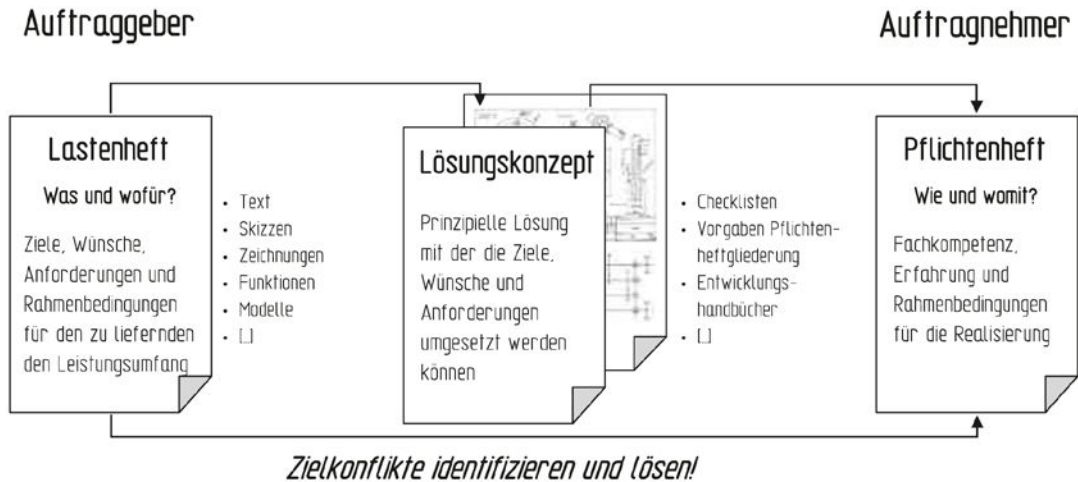
„Dokumentation der **vom Auftraggeber** festgelegte Gesamtheit der Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines Auftrags“ – VDI 2221 Blatt 1 basierend auf DIN 69901-5

Definition **Pflichtenheft**:

„Dokumentation der **vom Auftragnehmer** erarbeiteten Realisierungsvorgaben auf der Basis des vom Auftraggeber vorgegebenen Lastenhefts“ – VDI 2221 Blatt 1 basierend auf DIN 69901-5

Kernaussage

Bei der Erstellung des Pflichtenhefts muss die **Vollständigkeit**, **Konsistenz**, **Realisierbarkeit** und (wirtschaftliche) **Verhältnismäßigkeit** der Ziele und Anforderungen geprüft werden!



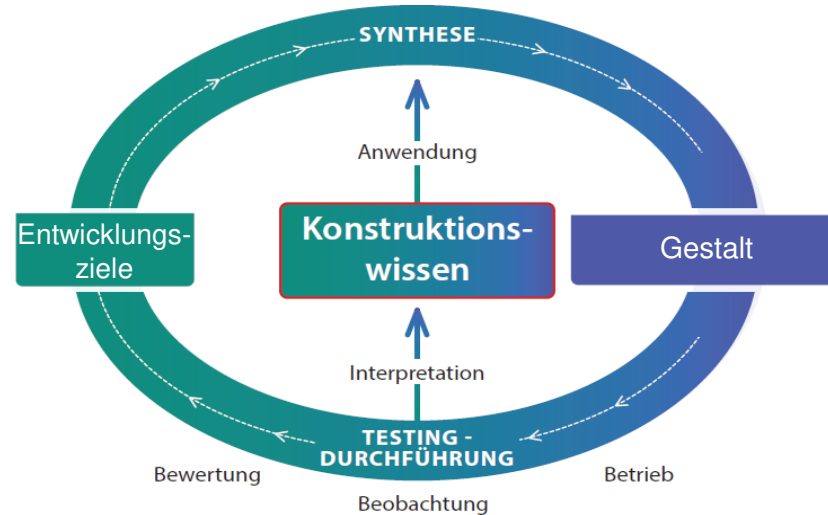
Quelle: Pahl/ Beitz Konstruktionslehre 2021

Produktentwicklung – Anforderungen vs. Konstruktion

Anforderungsdefinition und Konstruktion sind keine sequenziellen Schritte. Iterativ wird beides konkretisiert bis ein zufriedenstellender Stand vorliegt.

Die Anforderungen werden parallel zur Konstruktion konkretisiert. In mehreren Iterationen wechseln sich Analyse- und Syntheseaktivitäten ab, solange bis alle Anforderungen ausreichend spezifiziert sind und durch das finale Produkt erfüllt werden.

Initiales Zielsystem: Produktprofil

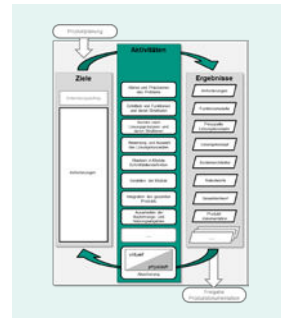
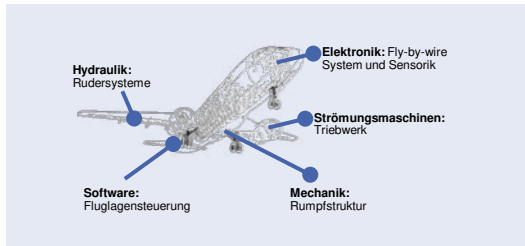


Finales Zielsystem:
Ausdetaillierte Anforderungen

Finales Produkt erfüllt alle Anforderungen

Maschinenkonstruktionslehre C – Produktentwicklung

Inhaltsverzeichnis



 Lernziele & Einführung

 Anforderungen & Ziele an ein Produkt

 Lösungskonzepte

 Gestaltung

 Prozesse

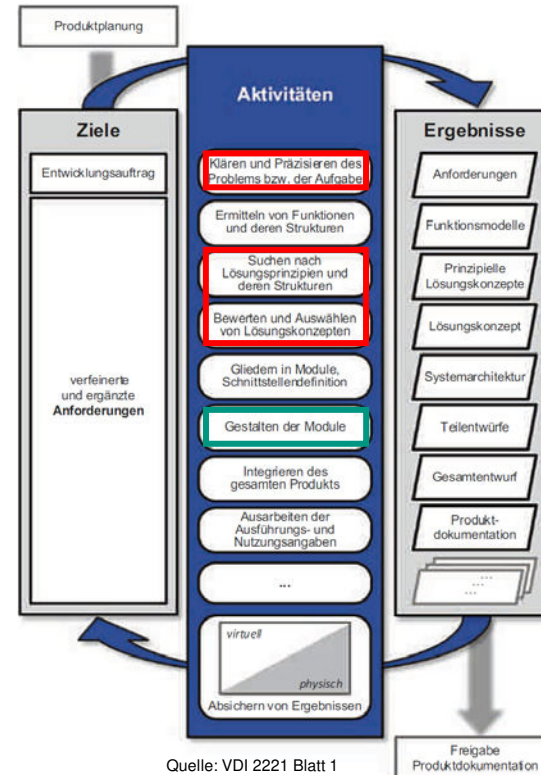
 Zusammenfassung

Produktentwicklung – Prozesse

Die gezeigten Aktivitäten gehören neben der Konstruktion zur **Produktentwicklung** – ein **iterativer Prozess** aus dem Wechselspiel von **Synthese- und Analyseschritten**.

Neben den Aktivitäten der **Konstruktion** gehören weitere Aktivitäten zur **Produktentwicklung**. Zentral dabei sind:

- **Zielsystem-/ Anforderungs-ermittlung**
- Entwicklung eines **Lösungskonzeptes**



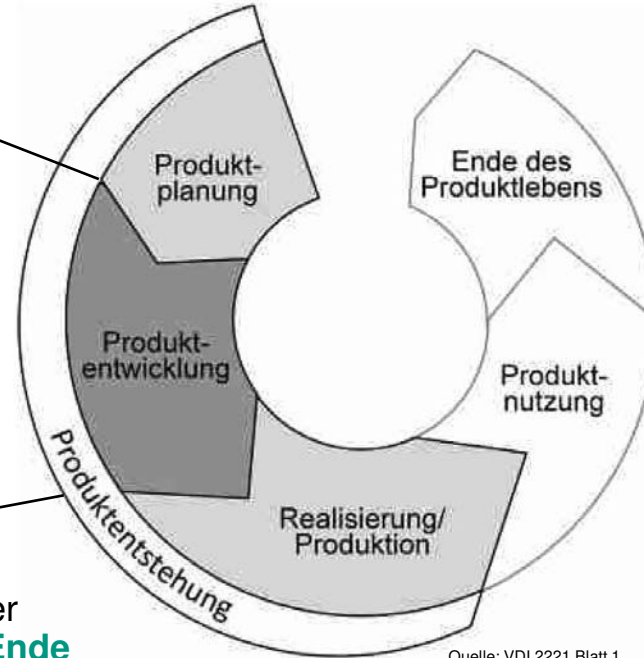
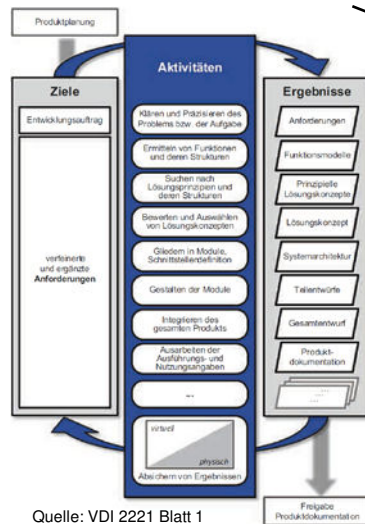
Quelle: VDI 2221 Blatt 1



Produktentwicklung – Prozesse

Produktentstehung beinhaltet neben der **Produktentwicklung** auch die **Produktplanung** und die **Produktion** des entwickelten Produktes.

Technischer Produktlebenszyklus



Der **technische Produktlebenszyklus** besteht aus der **Produktentstehung**, der **Produktnutzung** und dem **Ende des Produktlebens**.

Produktentwicklung - Beispiel eines Prozessmodells

Die **VDI2221** ist ein Prozessmodell, das den KonstruktionsingenieurIn dabei unterstützen soll, eine Übersicht über die verschiedenen **Aktivitäten der Produktentwicklung** zu gewinnen.



VDI 2221 - Blatt 1:

Allgemeingültige Grundlagen der methodischen Produktentwicklung

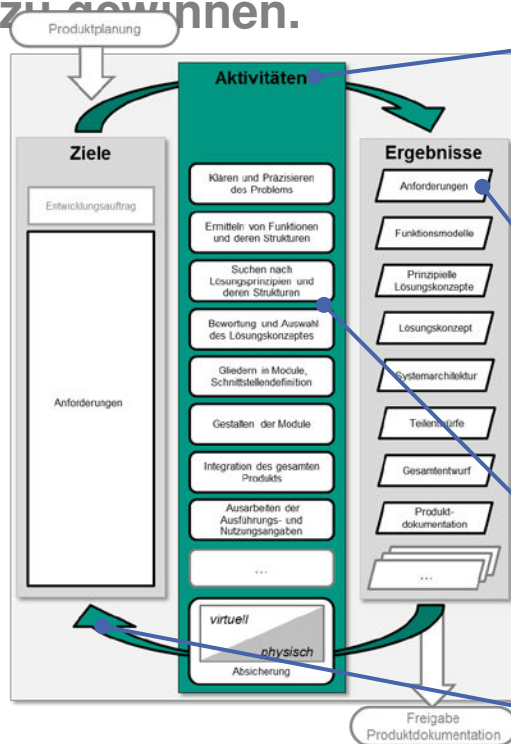
und

Definition von zentralen **Zielen**, **Aktivitäten** und **Arbeitsergebnissen**,

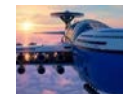
die wegen ihrer **generellen Logik** und **Zweckmäßigkeit** Leitlinien

für die

Anwendung in der Praxis darstellen



Die verschiedenen **Aktivitäten** überführen **Ziele** in konkrete **Ergebnisse**



Anforderungen als **zentrales Ergebnis**



Lösungsoffenheit



vs.



Kontinuierliche Iteration / Validierung



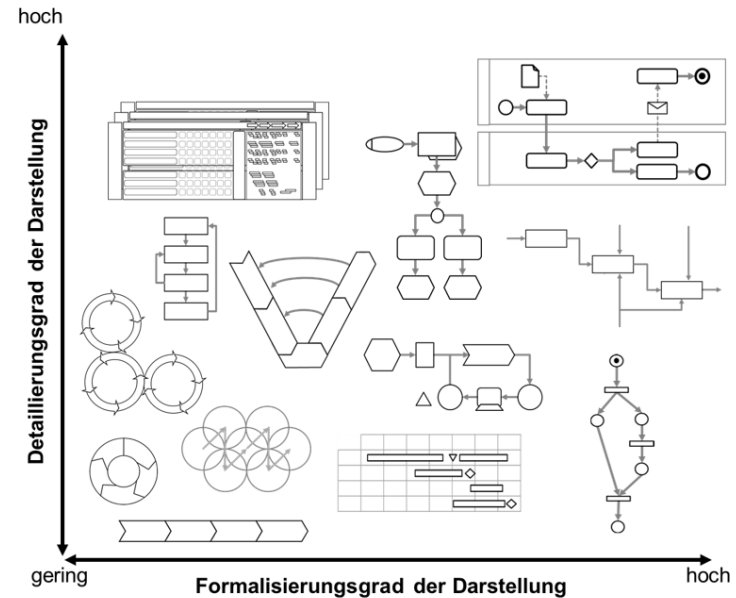
Produktentwicklung - Prozessmodelle

Es existiert eine Vielzahl an **verschiedenen Prozessmodellen**, die **verschiedene Aspekte der Produktentwicklung** besonders betonen.

- Prozessmodelle **formalisieren den Ablauf der Produktentwicklung** und **betonen unterschiedliche Aspekte der Produktentwicklung**
- Beispiele für **Prozessmodelle**:
 - iPeM des IPEK
 - VDI2221
 - V-Modell (VDI 2206)
 - Münchner Vorgehensmodell

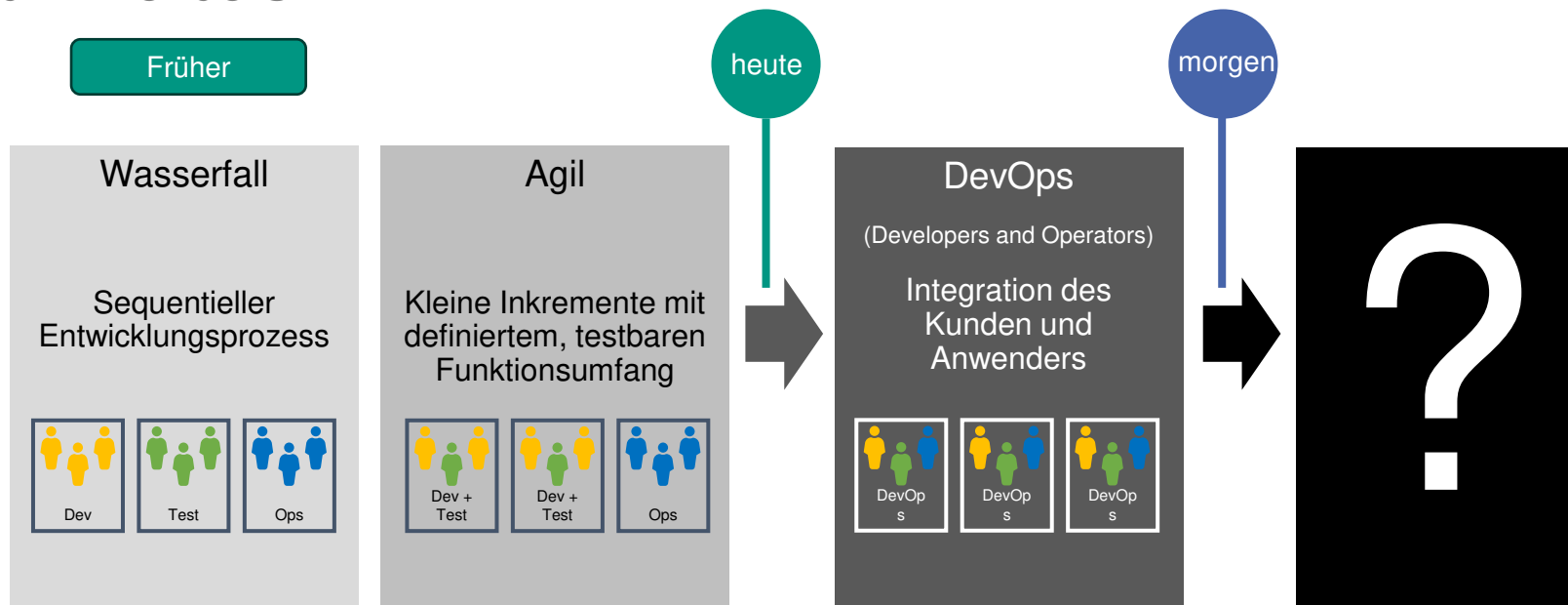


Übersicht Prozessmodelle



Produktentwicklung – Die Prozess-Evolution

Vom sequentiellen Ansatz zur Integration des Kunden und Anwenders



Dev (Product / System Development)



Test (Product / System Test)



Ops (Operations by Customer, User)



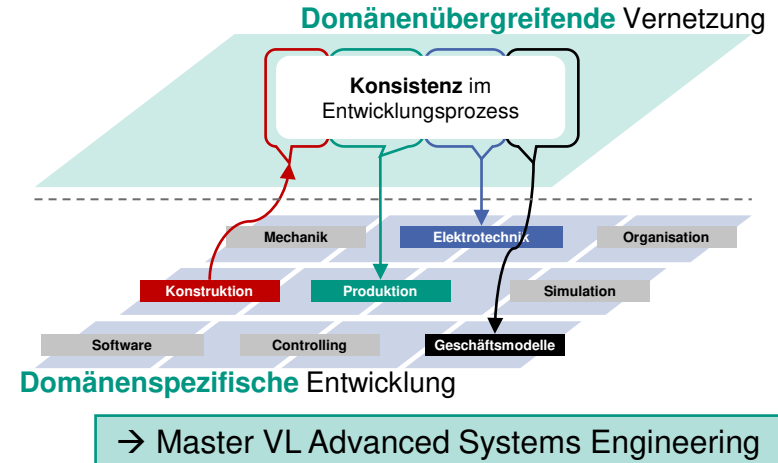
Produktentwicklung – Interdisziplinarität

Klingt alles machbar? **Komplizierte Produkte** werden von **großen, interdisziplinären Teams** entwickelt. Eine Herausforderung ist die **Kommunikation** zwischen diesen Teams und die **Konsistenz der Daten** die gleichzeitig in diesen Teams entstehen.

Advanced Systems Engineering hilft als Methode die **interdisziplinäre Produktentwicklung** zu **organisieren** und **Konsistenz der Modelle und Daten** während des **Entwicklungsprozesses** zu ermöglichen

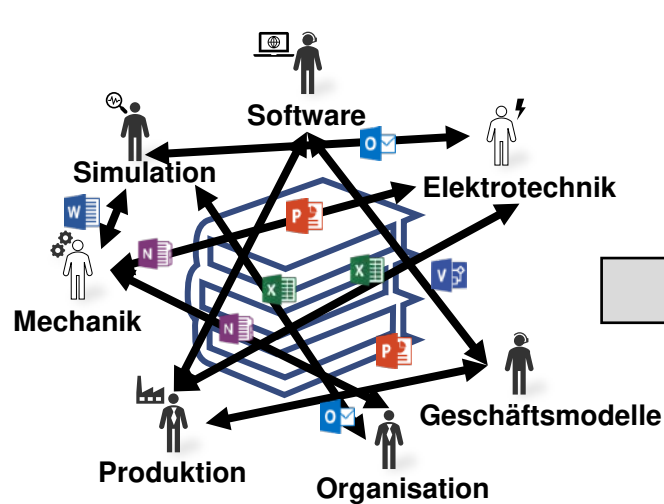
- Klare Definition von (Kommunikations-) **Schnittstellen**
- Gemeinsame **Anforderungen** über Subsysteme hinweg
- Gemeinsame **Sprache** und **Semantik**

...

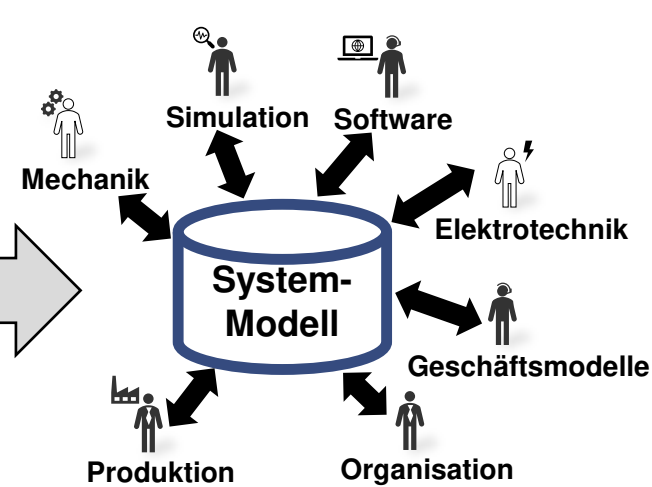
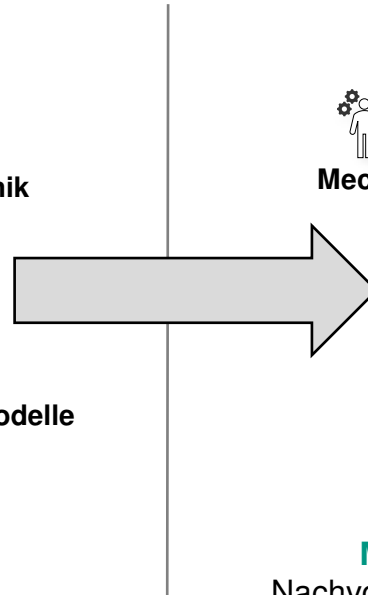


Produktentwicklung – Model-Based Systems Engineering (MBSE)

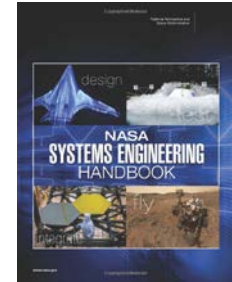
MBSE ist der zentrale Enabler für Advanced Systems Engineering



Dokumenten-Basiert: Implizite Abhängigkeiten zwischen Dokumenten

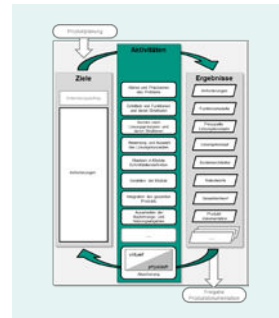
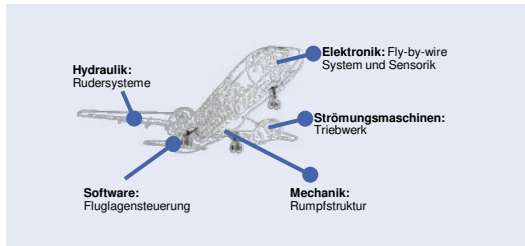


Model-Based: Verbesserung der Nachvollziehbarkeit Konsistenz, Verfügbarkeit und Wiederverwendbarkeit von Informationen



Maschinenkonstruktionslehre C – Produktentwicklung

Inhaltsverzeichnis



 Lernziele & Einführung

 Anforderungen & Ziele an ein Produkt

 Lösungskonzepte

 Gestaltung

 Prozesse

 Zusammenfassung

Leitfrage

Was gehört **außer der Konstruktion** noch zur **Produktentwicklung** und was ist hierbei die **Rolle der Konstruktion**?

Die Studierenden können ...

- die **Aktivitäten der Konstruktion** in den **Produktenwicklungsprozess** und **Produktentstehungsprozess einordnen**.
- die **Bestandteile einer Innovation** nennen und verknüpfen.
- **Prozessmodelle benennen** und deren Notwendigkeit begründen.
- verschiedene **Quellen für Anforderungen** nennen.
- mehrere **Methoden zur Anforderungsermittlung** nennen.
- (sich widersprechende) **Anforderungen klassieren** und **gewichten**.
- Die Unterschiede eines **Lasten-** und **Pflichtenheft** benennen.



Lernziele der Vorlesung

Produktentwicklung – Vom Entwicklungsauftrag bis zur Einführung des funktionierenden Produktes

Problem

Die Produktentwicklung startet nicht mit der Konstruktion sondern mit dem Entwicklungsauftrag. Ziele der Produktentwicklung müssen vom KonstruktionsingenieurIn erarbeitet und in technische Anforderungen überführt werden, um mit der Konstruktion beginnen zu können.

Ziele

- Die **Gestaltung** in die Aktivitäten des **Produktenwicklungsprozess** und **Produktentstehungsprozess** einordnen können.
- Die **Bestandteile einer Innovation** nennen und verknüpfen. F12-F13 F5, F35-F44
- **Prozessmodelle** und ihren Zweck nenne können. F45-F46
- Verschiedene **Quellen für Bedarfe und Anforderungen** nennen können. F17-F18 F20-F22
- Mehrere **Methoden zur Bedarfs- und Anforderungsermittlung** nennen können.
- (Sich widersprechende) **Anforderungen klassieren** und **gewichten** können. F24-F25
- Die Unterschiede eines **Lasten-** und **Pflichtenheft** benennen können. F40

Fazit

Technische Anforderungen sind der notwendige **Input für die Konstruktion**. Diese Anforderungen können aus dem **geplanten Nutzen** für die **Kunden, Anwender und Anbieter** des **zu entwickelnden Produkts** auf Basis deren Bedarfe ermittelt werden. **Methoden unterstützen bei der Bedarfs- und Anforderungsermittlung** sowie bei der **Lösungskonzeptfindung**.



Einführung Produktentwicklung

- **Produktentwicklung** ist mehr als die **reine Konstruktion**
- Eine **Innovation** braucht **Produktprofil, Invention** und **Markterfolg**



Anforderungen

- Um **konstruktionsfähig** zu werden, braucht man **technische Anforderungen** und muss ein **technisches Lösungskonzept** entwickeln
- **Methoden** und **Vorgehensweisen** um **Anforderungen** und **Bedarfe** zu **ermitteln**: Befragung, Gamification, Szenariotechnik, Benchmarking, Beobachtung
- Anforderungen können aus **Anwender-, Kunden-** und **Anbietersicht** erarbeitet werden



Lösungskonzepte

- **Produktprofile** sind **lösungsoffen**, **Lösungskonzepte** sind **lösungsspezifisch** und Basis für die spätere Konstruktion
- **Verschiedene Methoden** (wie die 6-3-5 Methode) unterstützen Produktentwickler bei der **Übersetzung von Produktprofilen in Lösungskonzepte**



Gestaltung

- Die **Konstruktion** definiert über den **Gestaltfunktionszusammenhang** die Gestalt des Produktes auf **Basis** der **Anforderungen** und dem **gewünschten funktionalen Verhalten**
- **Anforderungsdefinition** und **Konstruktion** sind keine sequenziellen Schritte - **iterativ** wird beides konkretisiert bis ein **zufriedenstellender Stand** vorliegt



Prozesse

- Es existiert eine **Vielzahl an verschiedenen Prozessmodellen** (bspw. VDI 2221), die verschiedene Aspekte der Produktentwicklung betonen
- **Iteratives, agiles Arbeiten** erhöht die **Reaktionsfähigkeit** bei sich **schnell verändernden Umfeldbedingungen**, indem alle Schritte in der Produktentwicklung validiert werden und dadurch ein belastbares Fundament entsteht. Dafür ist ein **kontinuierliches Testing notwendig**.

Die gezeigten Inhalte werden in Master VL weiter vertieft

