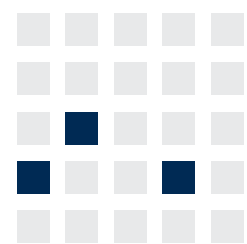


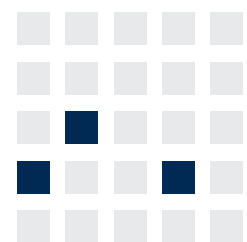


# Internet of Things / Industrial Internet Produktentwicklung



Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik  
Prozesse und Systeme

*Universität Potsdam*



Chair of Business Informatics  
Processes and Systems

*University of Potsdam*

M.Sc. Ravil Goetzke, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gronau  
*Research Assistent | Wiss. Mitarbeiter, Lehrstuhlinhaber | Chairholder*

*Mail* August-Bebel-Str. 89 | 14482 Potsdam | Germany  
*Visitors* Digitalvilla am Hedy-Lamarr-Platz, 14482 Potsdam  
*Tel* +49 331 977 3322

*E-Mail* [ngronau@lswi.de](mailto:ngronau@lswi.de)  
*Web* [lswi.de](http://lswi.de)



Definition und Einordnung in den Produktlebenszyklus

Vorgehensmodelle der Produktentwicklung

Entwicklungskosten

Methoden der Produktentwicklung

# Lernziele

---

- Ziele der Produktentwicklung und Verortung im Produktlebenszyklus verstehen
- Vor- und Nachteile der Digitalisierung bei der Produktentwicklung kennen
- Verstehen was FMEA bedeutet und welche Ziele mit Ihrer Anwendung verfolgt werden
- Verstehen in welcher Phase der Konstruktion FMEA verwendet wird
- Verhältnis von Herstellkosten und dem Kostenaufwand für Änderungen im Produktentstehungsprozess verstehen



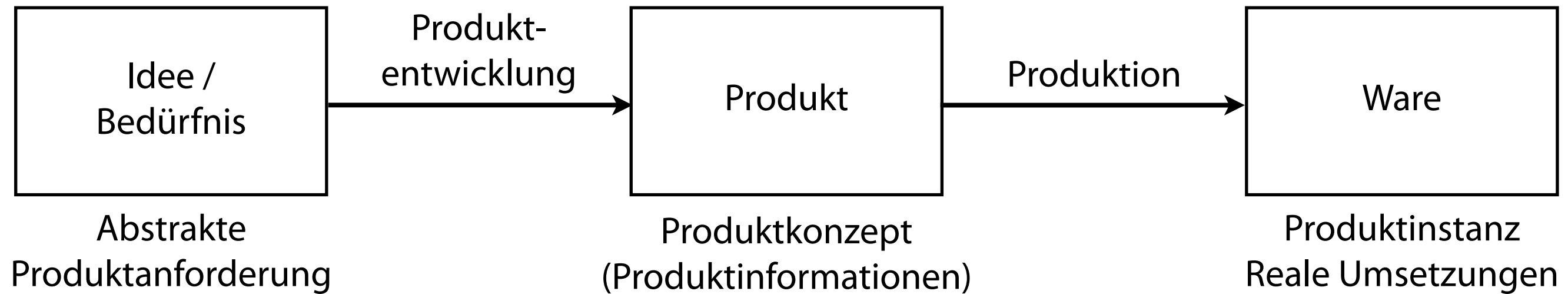
## **Definition und Einordnung in den Produktlebenszyklus**

Vorgehensmodelle der Produktentwicklung

Entwicklungskosten

Methoden der Produktentwicklung

# Zum Begriff der Produktentwicklung



- Produkt: Konzepte bzw. Produktinformationen
- Zweck von Produkten: Grundlage für die Herstellung von Waren
- Basis für Produktkonzepte: z. B. Test-/Prüfberichte, Materialauswahl, Softwarecode, Montageanleitungen, Corporate Design Anforderungen, Anforderungsanalysen, Auswahl von Fertigungsverfahren, Technologieauswahl, Eingabedaten für programmierbare Produktionsanlagen, Kostenanalysen, ...
- Produktentwicklung: systematische Anwendung (vgl. Vorgehensmodelle) von Methoden zur Erzeugung von Produktinformationen

„Die integrierte, multidisziplinäre Produktentwicklung umfasst alle Tätigkeiten und Disziplinen, die das Produkt und sein zur **Produktion, Betrieb** und **Entsorgung** benötigtes Umfeld (Werkzeuge, Vorrichtungen, Maschinen, Anlagen, ...) über den **Produktlebenszyklus**, alle beteiligten Disziplinen und die Zuliefererkette beschreiben. Das Ergebnis ist eine vollständige **Produktdefinition** („Intellectual Product“), die aus sichten- und phasenorientierten Produktstrukturen und allen zugehörigen Dokumenten und Konfigurationen besteht.“

# Wandel der Rahmenbedingungen für die Produktentwicklung

---

## Warum Entwicklungsplanung und -methoden?

Sättigung der angestammten Kernmärkte und Verschiebung der globalen Absatzschwerpunkte

Neue Produkthanforderungen (z. B. Nachhaltigkeit, Services)

Angleichende Leistungs- und Qualitätsstandards

Wertewandel und differenzierte Ansprüche der Kunden (Marktfragmentierung)

Gestiegene Innovationsdynamik

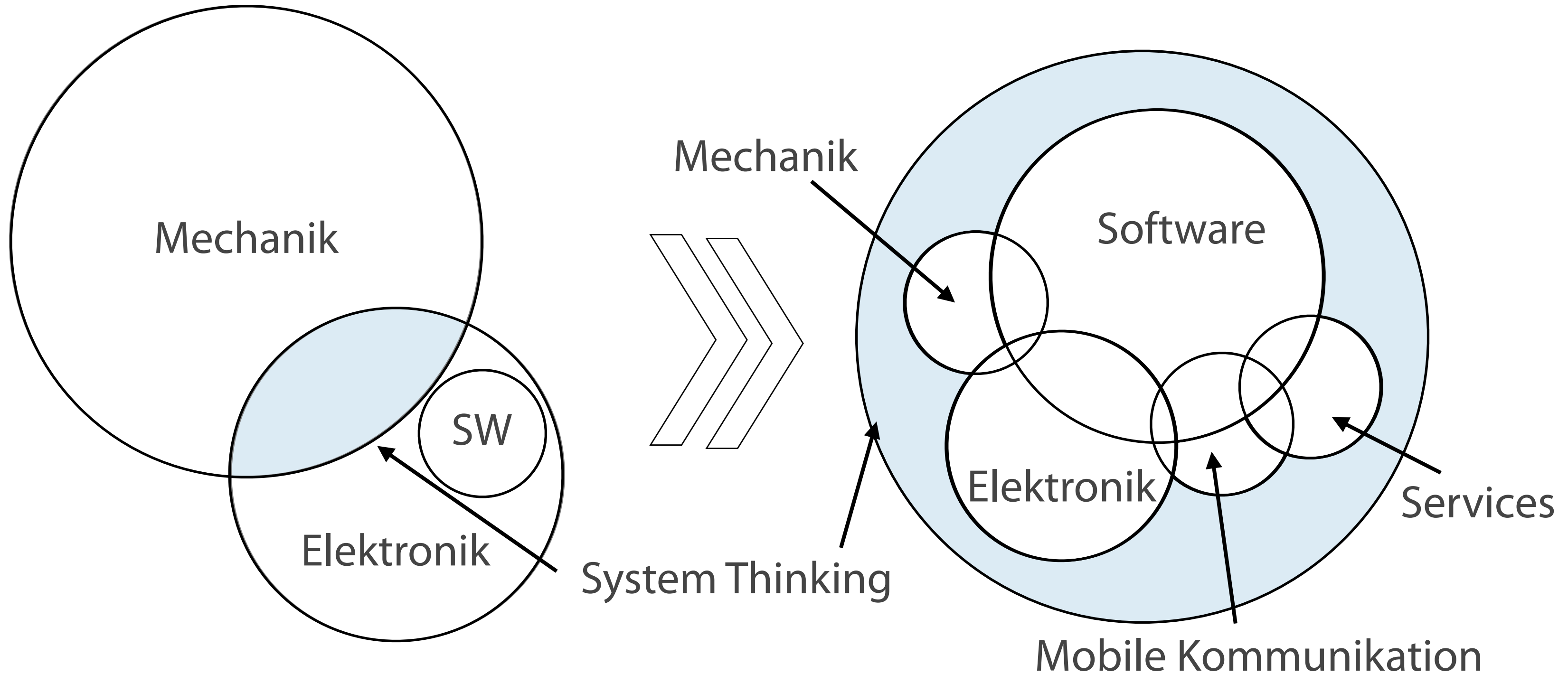
Systemintegration und Mechatronisierung

Outsourcing und Forschungs Kooperationen

Beispielhafte Trends im Bezug zur Automobilindustrie

**Die Rahmenbedingungen für die Produktentwicklung haben sich erheblich geändert.**

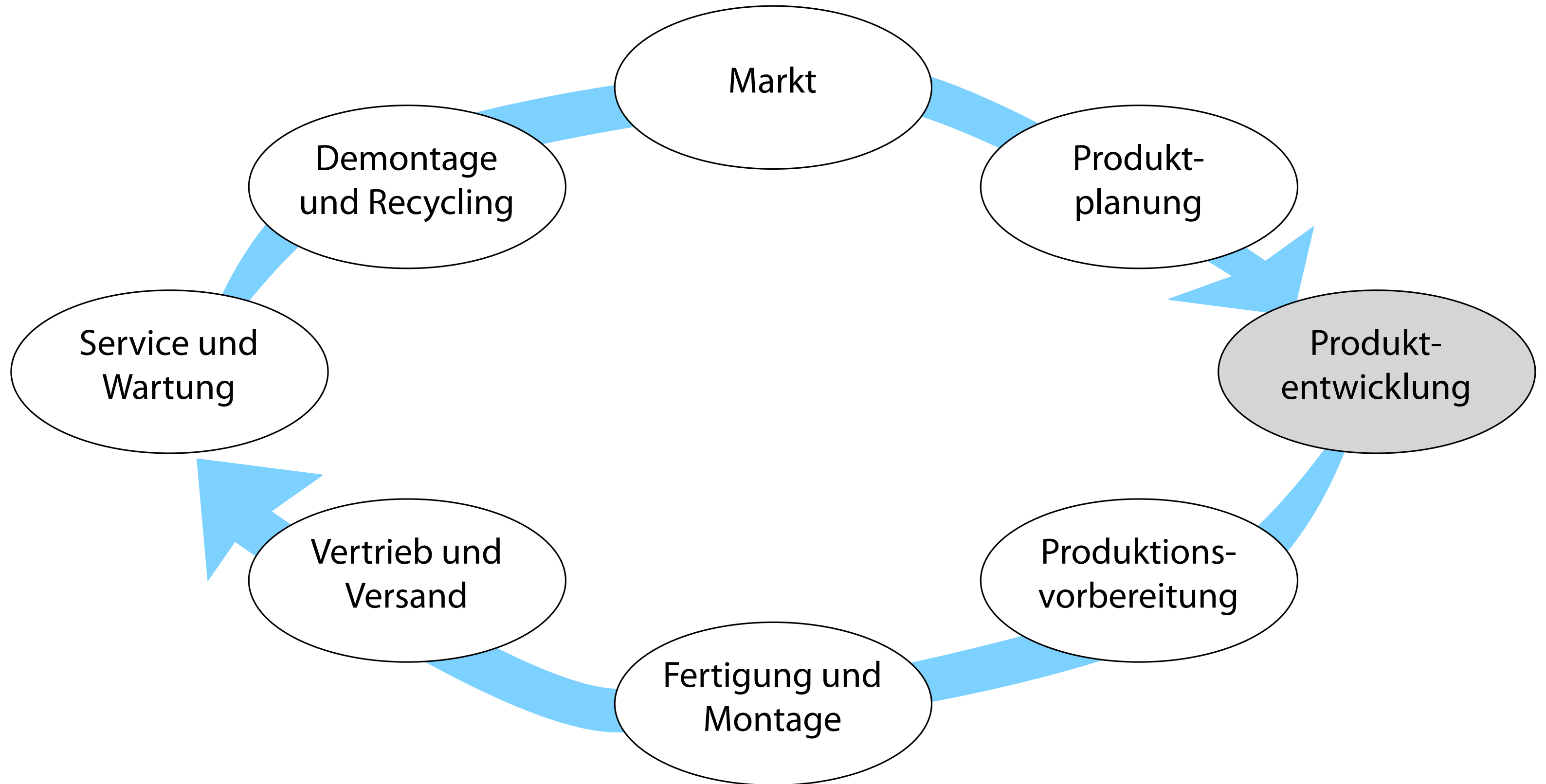
# Die Bedeutung der Informatik für die Produktentwicklung



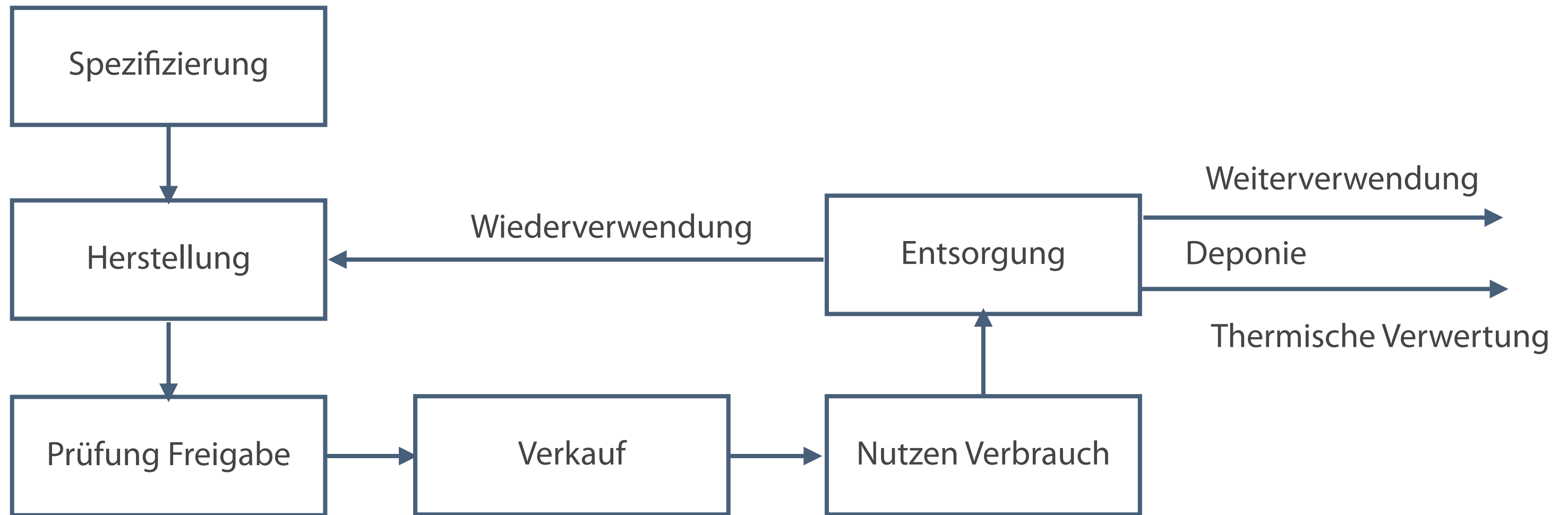
**Vom einfachen Produkt zur komplexen und integrierten Lösungen.**



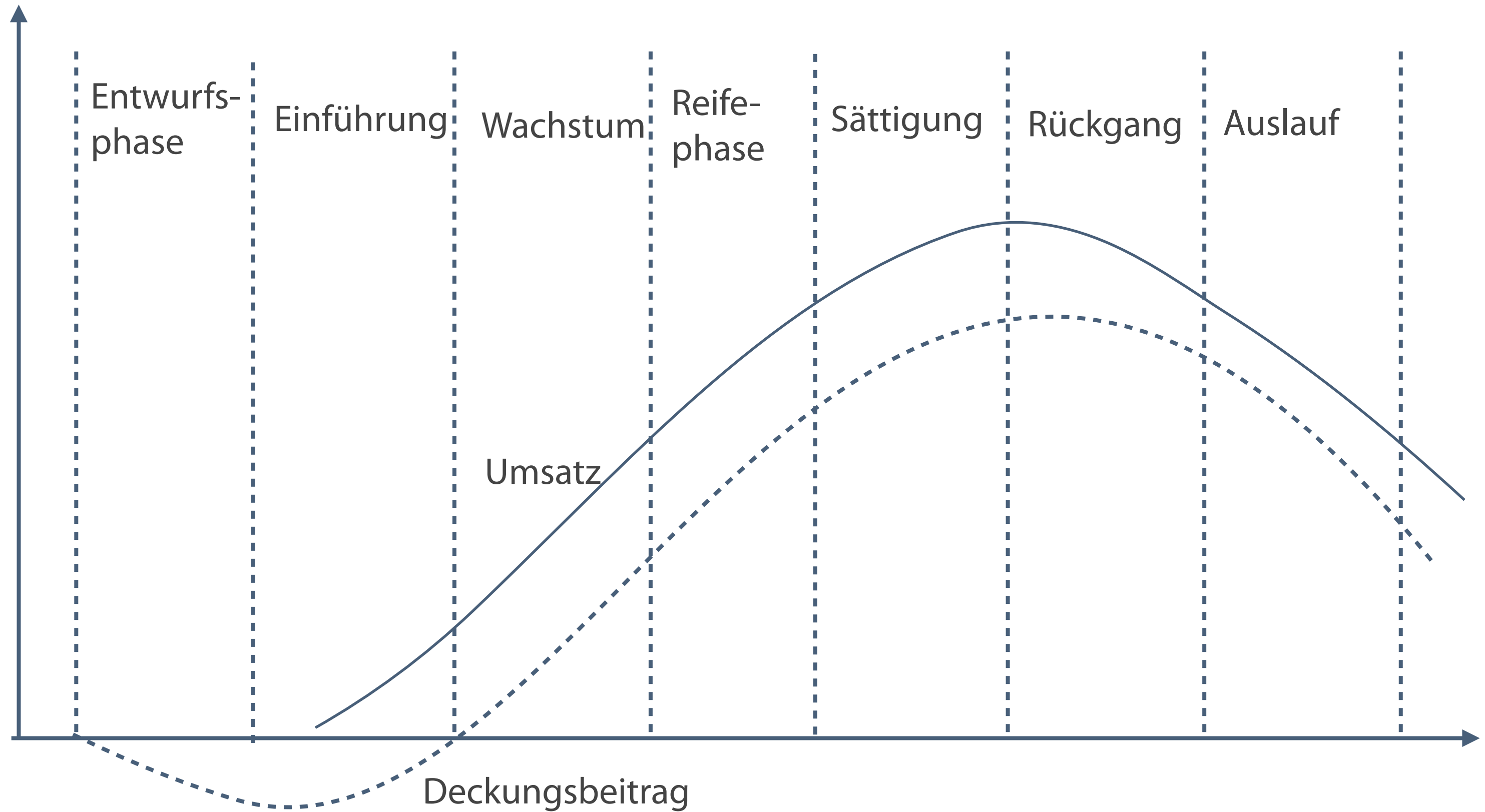
# Einordnung in den Produktlebenszyklus



# Technischer Produktlebenszyklus



# Wirtschaftlicher Produktlebenszyklus





Definition und Einordnung in den Produktlebenszyklus

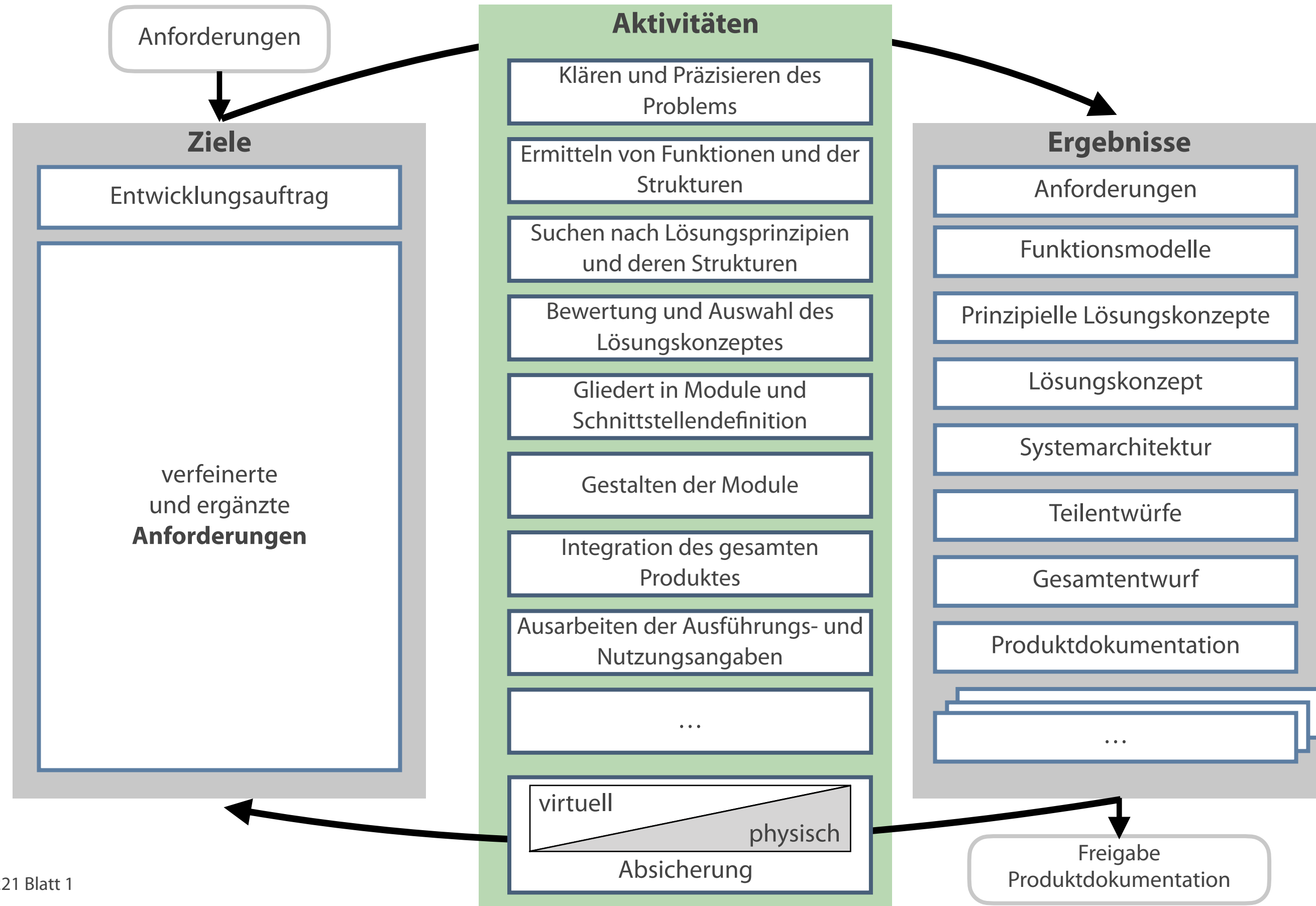
**Vorgehensmodelle der Produktentwicklung**

Entwicklungskosten

Methoden der Produktentwicklung

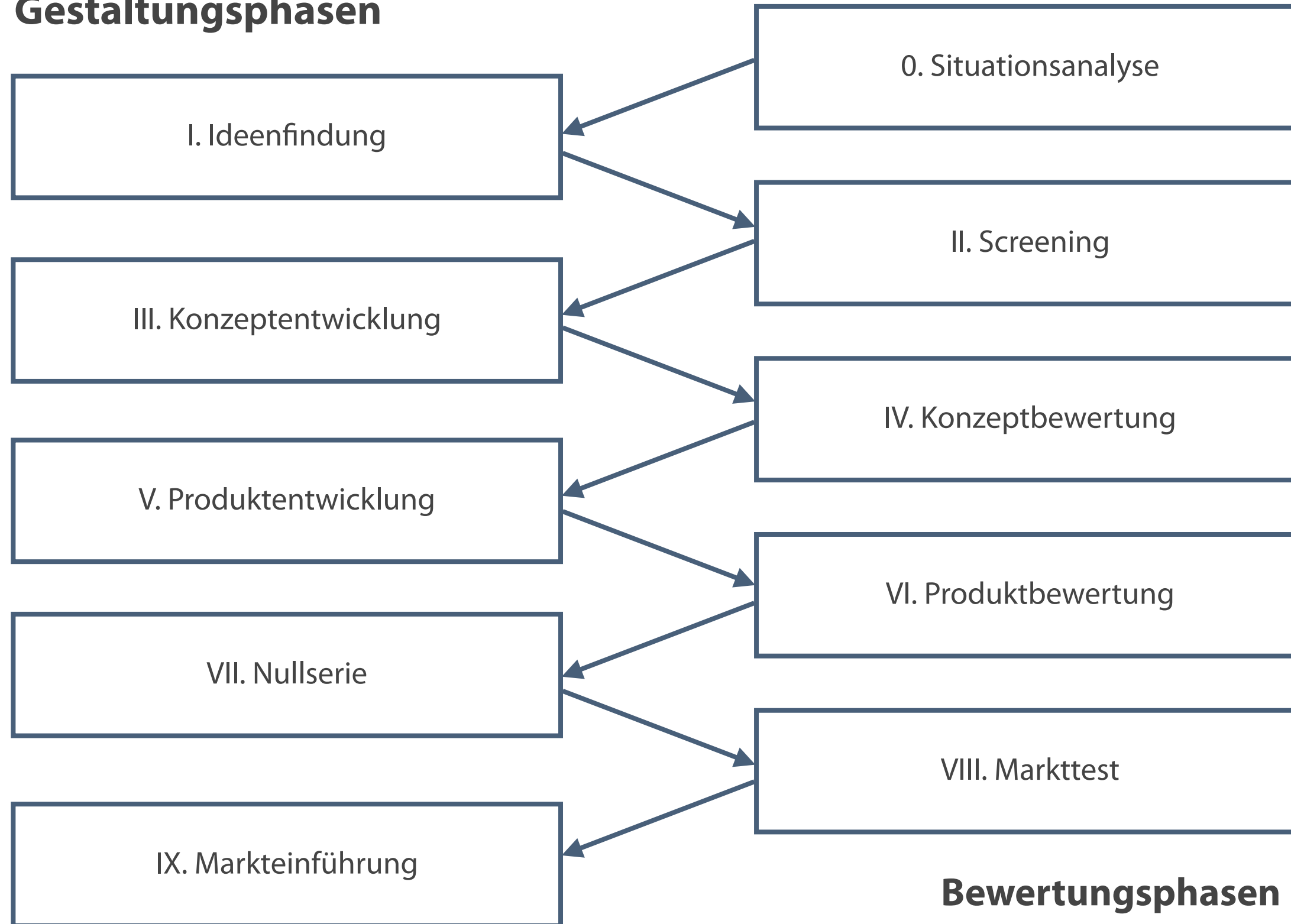
# Richtlinie VDI 2221 Blatt 1 – Entwicklung technischer Produkte und Systeme

## Modell der Produktentwicklung

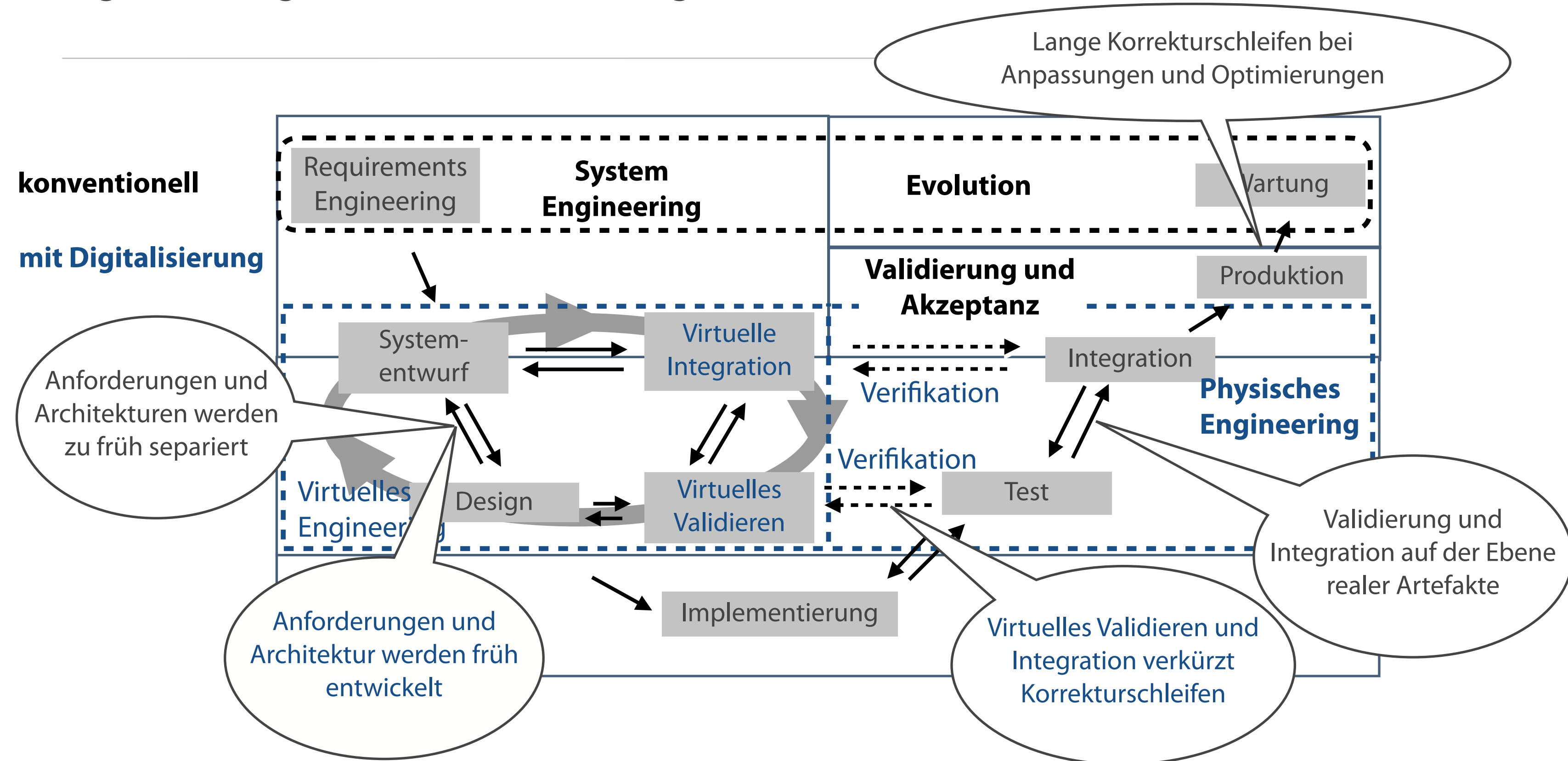


# Phasenmodell der Produktentwicklung

## Gestaltungsphasen



# Digitalisierung der Produktentwicklung



Während das konventionelle Vorgehen Nachteile wegen seiner Abhängigkeit von physischen Artefakten besitzt, ermöglicht die Virtualisierung einen vorgezogenen Erkenntnisgewinn.

# Digitalisierung der Produktentwicklung

---

## Vorteile

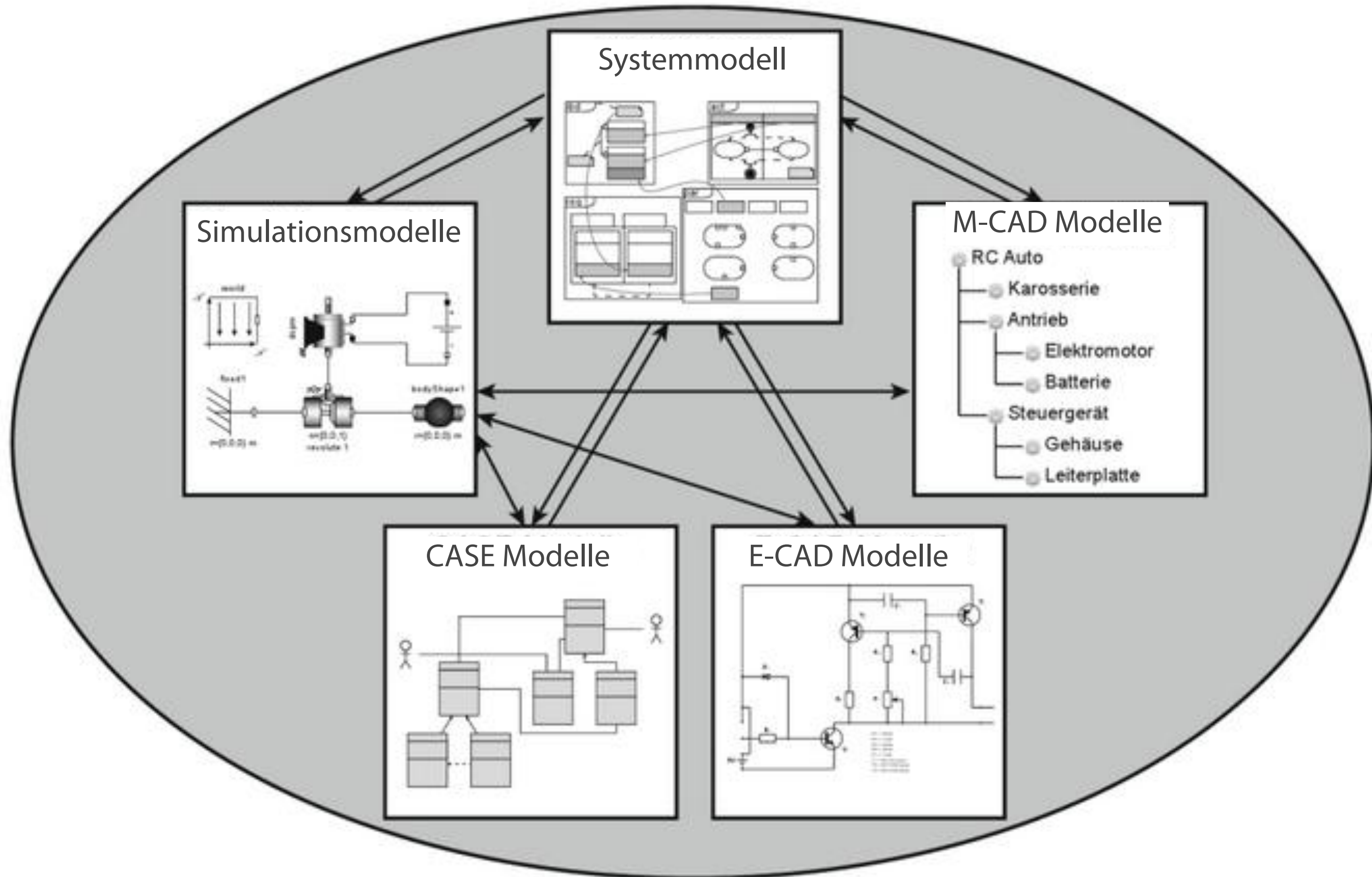
- mathematisch genaue, vielseitig einsetzbare Daten (Feasibility-Untersuchung, Simulation, Animation, Rapid Prototyping, Virtual Reality)
- unkomplizierter und schneller Datentransfer an andere Abteilungen und Lieferanten
- früher Beginn der Feasibility-Beurteilung  
→ kürzere Entwicklungszeiten
- zusätzliche/schnellere Variationsmöglichkeiten durch digitale Modelle
- höhere Effizienz der Designer

## Nachteile

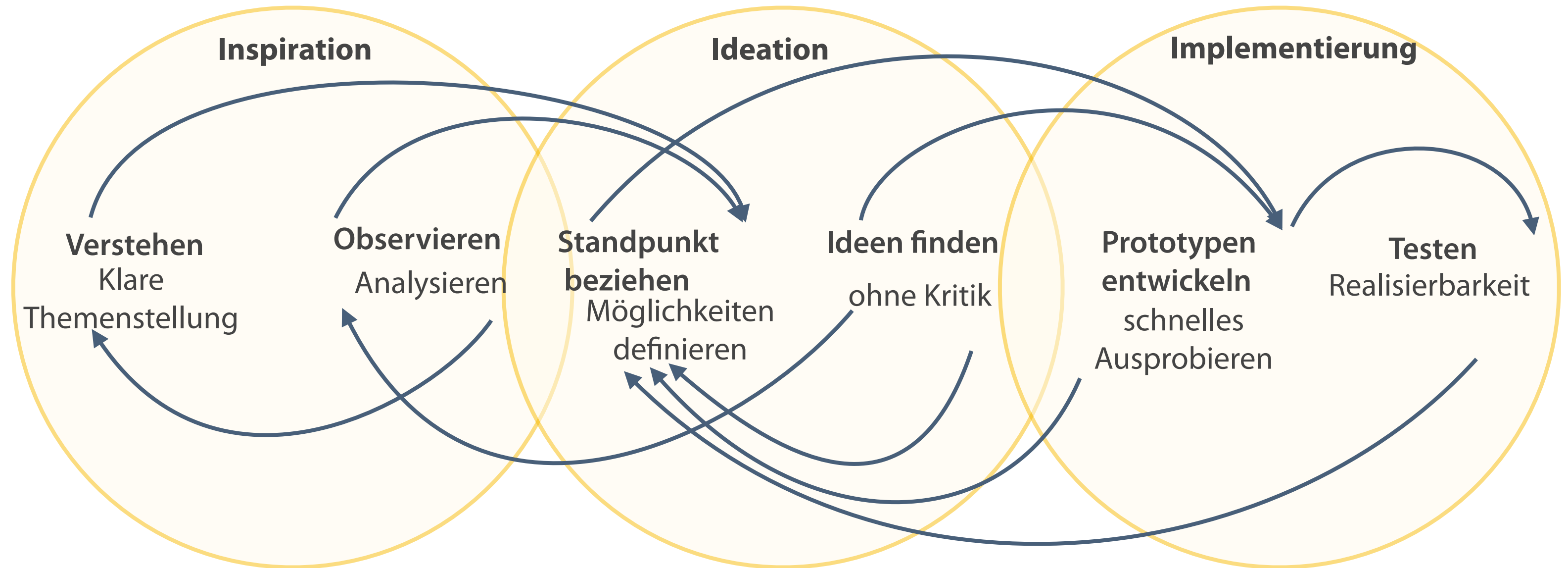
- schwierige Beurteilung digitaler Modelle (fehlende Haptik und Kontextsensitivität, z. B. Licht-/ Schatteneffekte)
- teure und aufwendige Infrastruktur



# Modellbasierte Produktentwicklung (MBSD)



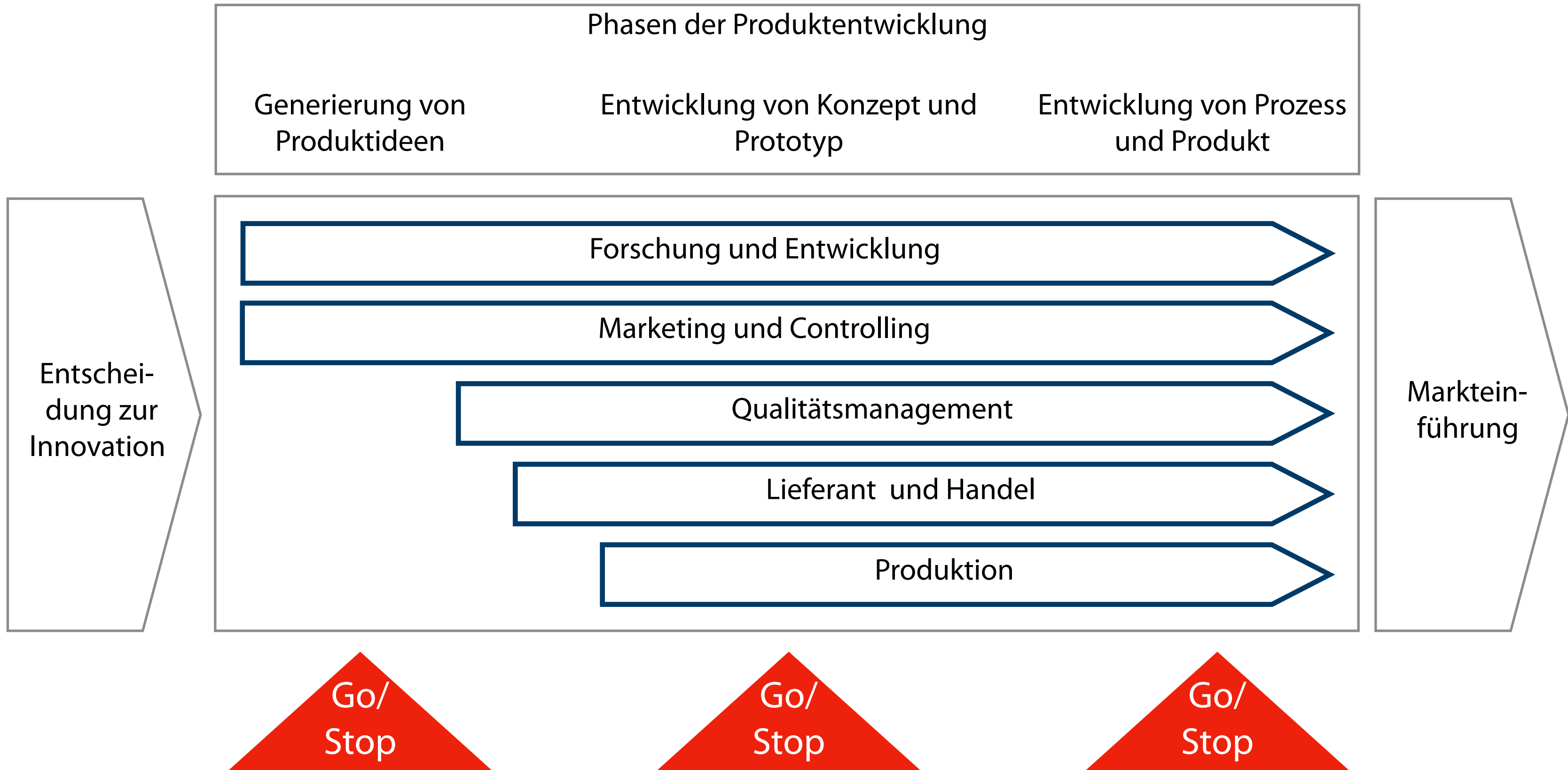
# Design Thinking



Ansatz zur nutzerorientierten Sichtweise in der Produktentwicklung

Prinzipien: Haptik, Empathie, Kreativität, Ideen-Sozialisation, Selbst-Reflektion, Prototyping

# Simultaneous Engineering (SE)



# Merkmale des Simultaneous Engineering

---

## Organisation der Arbeit

- Arbeiten im SE-Team
- Ablaufplan mit Meilensteinen, Zwischenversionen und Freigabebesprechung
- Parallelisierung von Produkt-, Fertigungs- und eventuell Vertriebsentwicklung

## Vorteile

- Wissenskonzentration/-austausch
- Frühzeitiges Erkennen und Lösen von Problemen
- Gegenseitiges Verständnis für Schwierigkeiten
- Weniger Anpassungs- und Änderungsbedarf nach Serienanlauf

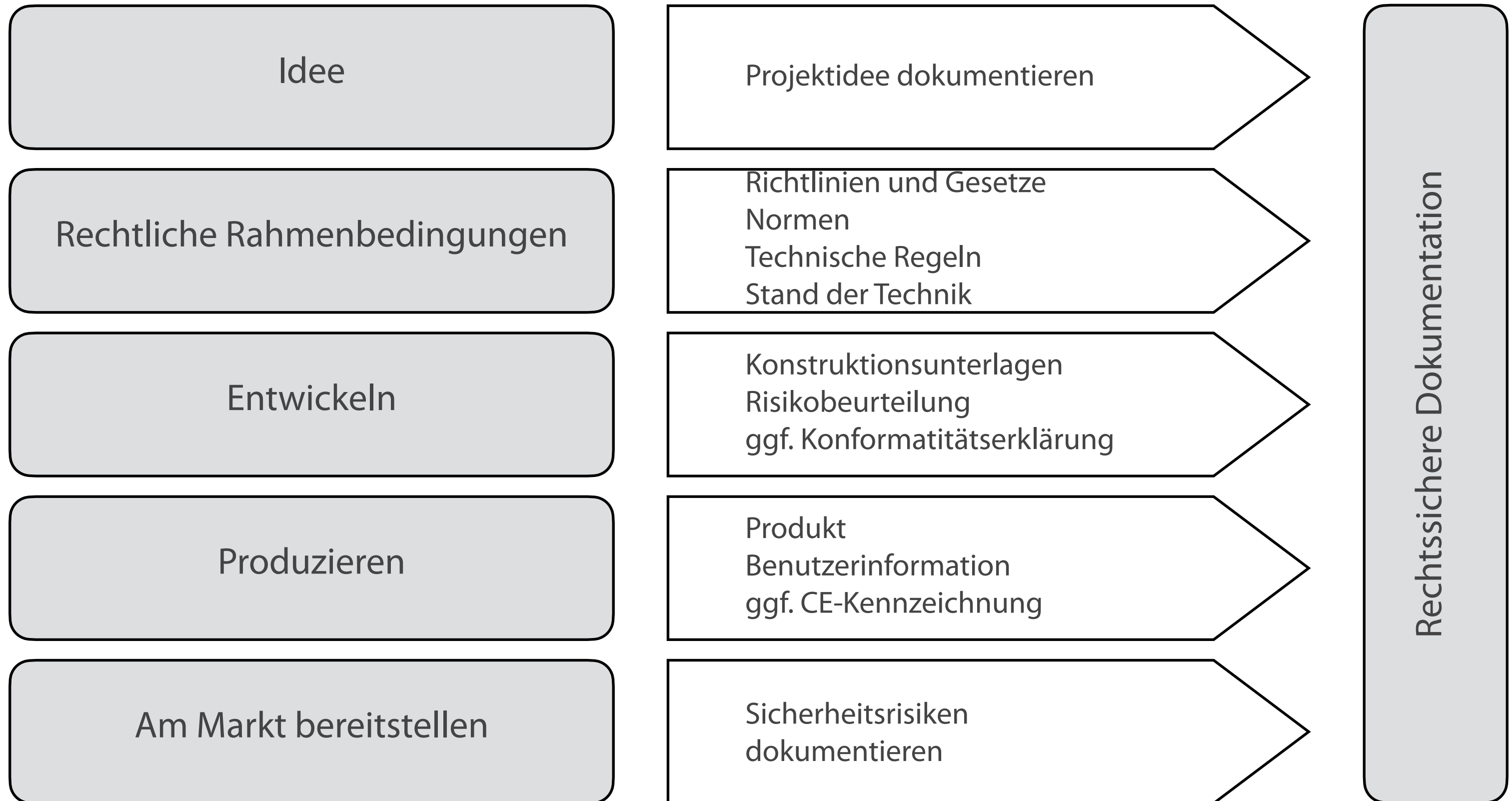
## Gestaltung der Arbeit

- Mehr Zeit für Aufgabenklärung und Konzeptphase auf Kosten der Realisierung
- Integration von Kunden und Lieferanten in das SE-Team Eigenschaftsfrüherkennung durch virtuelle Produktabbildung
- Einsatz effektiver Konstruktionswerkzeuge
- Reduzierung der Besprechungsdokumentation durch gute Kommunikation

## Nachteile

- Beginn neuer Phasen ohne abgeschlossene Information aus vorherigen Phasen
- Ständige Berücksichtigung der Fortschritte aus anderen Phasen
- Straffes Projektmanagement notwendig (insb. Informationskoordination, Zeit)

# Rechtssichere Dokumentation





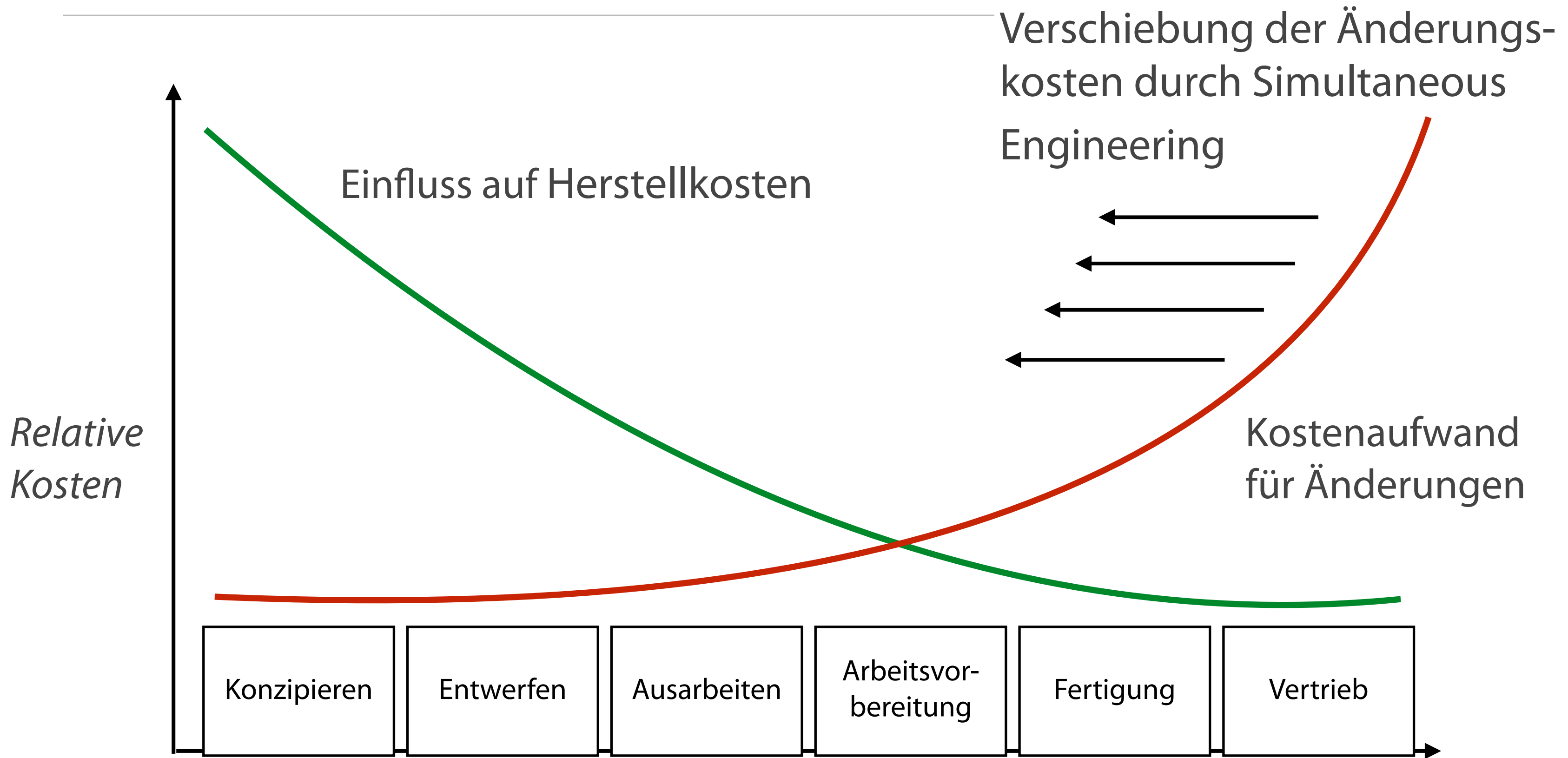
Definition und Einordnung in den Produktlebenszyklus

Vorgehensmodelle der Produktentwicklung

**Entwicklungskosten**

Methoden der Produktentwicklung

# Kostenbeeinflussung



# Komplexitätsmanagement

---

## Komplexitätsmanagement in der Produktentstehungsphase

- Komplexitätsvermeidung
- Vorfeldmarketing
  - Wertanalyse
  - Schaffung konstruktiver Optionen
- 

- Komplexitätsreduzierung
- Reduktion der Halbzeugvielfalt
  - Reduktion der Rohstoffvielfalt
  - Zahl der Gleichteile erhöhen
- 

- Komplexitätsbeherrschung
- Systematische Abstimmung der Projektgruppen, die unterschiedliche Varianten entwickeln
  - Substitution von Hardwarefunktionalität durch Software

## Komplexitätsmanagement in der Produktherstellungsphase

- Komplexitätsreduzierung
- Reduktion der Fertigungstiefe
  - Reduktion der Programmbreite
- 

- Komplexitätsbeherrschung
- Segmentorientierte Auftragsabwicklung
  - Fertigungssegmentierung
  - Verschiebung des Variantenbestimmungspunktes in Richtung Ende der Wertschöpfungskette



# Möglichkeiten der Komplexitätsreduzierung durch Produktmodularisierung

---

## Produktmodularisierung

- Minimierung der Kosten in der Produktherstellung
- Economies of scale eher aus den Bestandteilen von Produkten als aus den Produkten selbst generiert
- Maximierung der individuellen Kundenbedürfnisse
- Kundennähe durch die Vielzahl von konfigurierbaren Produkten
- Vorteil einer hohen Endproduktvielfalt mit begrenzter Innenwirkung

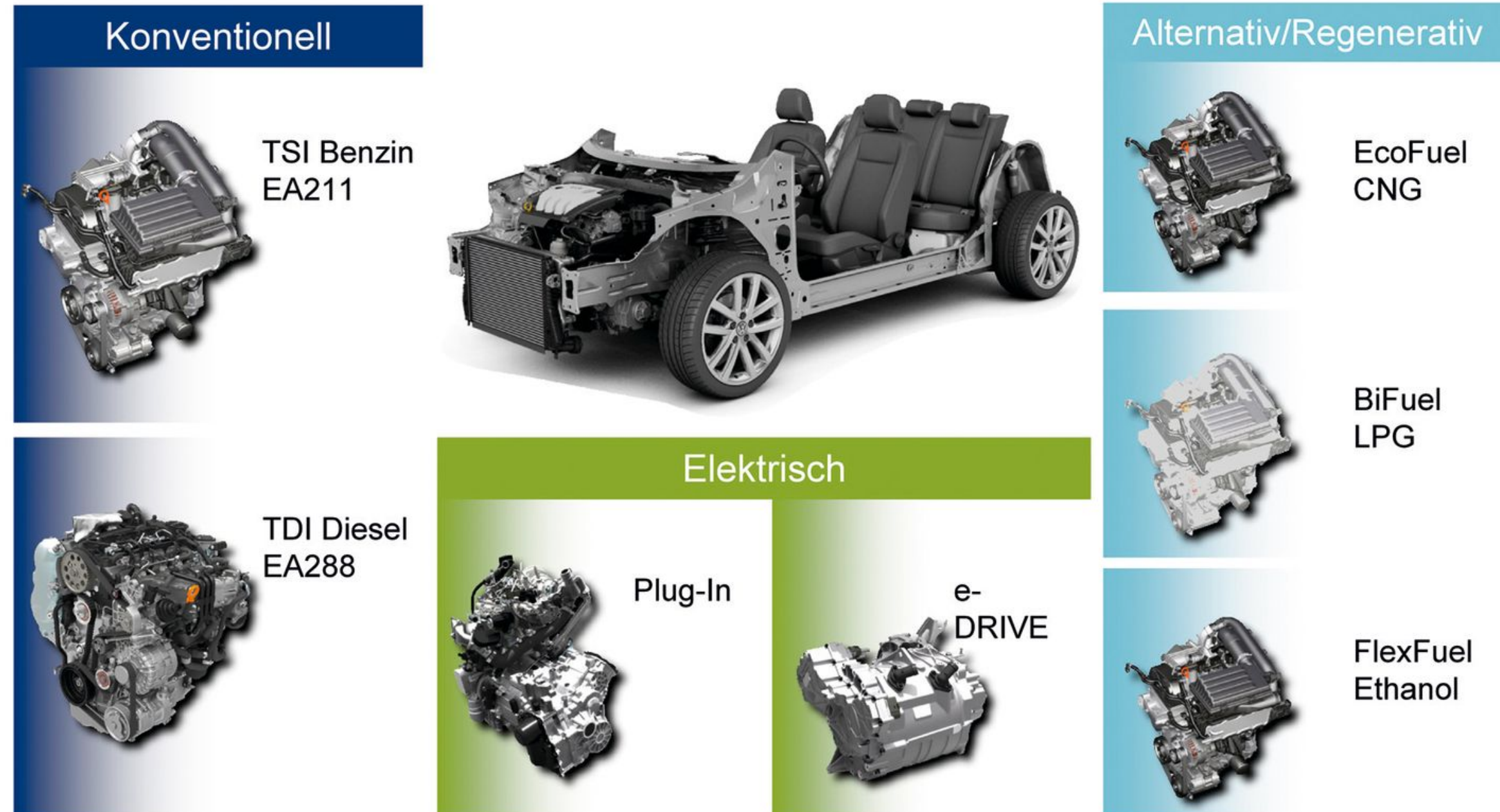
## Definition

Produktmodularisierung ist die geeignete Gliederung eines Produktes, indem die Abhängigkeiten zwischen den Elementen (Modulen) verringert bzw. die Schnittstellenvarianten reduziert werden.

**Die Vereinheitlichung von Produktkomponenten und ggf. Nutzung eines Modulbaukastens zur Erhöhung der Anzahl von Gleichteilen führt zur Komplexitätsreduktion und Kosteneinsparungen**

# Möglichkeiten der Komplexitätsreduzierung durch Produktmodularisierung

## Produktmodularisierung - Modularer Querbaukasten Volkswagen



Auf Basis der gegebenen Fahrzeugbaureihe bzw. -karosserie können entsprechend der Kundenanforderungen unterschiedliche Antriebe frei montiert werden

# Verkürzung der Time-to-Market durch Modularisierung

---

**Klassische Produktionsumgebungen ungenügend um marktwettbewerblichen Anforderungen an e.g. pharmazeutische Industrie zu bedienen**

## Benötigte Leistungsparameter

- Schnelle Reaktionsfähigkeit auf Marktbedürfnisse
- Anpassung an verkürzte Produkt-Lebenszyklen
- Anpassung an Spezialisierung von Produktpaletten

**Lösung: Verkleinerung der Produktions-Volumina. Diese geht einher mit Modularisierung der Anlagenbauweise**

## Beinhaltete Leistungsparameter

- Kurze Bauzeit an Produktionsstandort
- Schnelle Inbetriebnahme
- Hohe Verfügbarkeit durch Mobilität
- Schneller Umbau
- Zusammenstellung von Modulen anhand Spezifika des Kunden

# Verkürzung der Time-to-Market durch Modularisierung





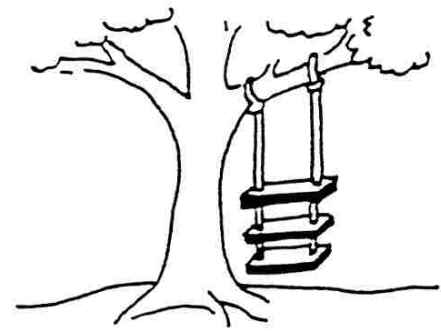
Definition und Einordnung in den Produktlebenszyklus

Vorgehensmodelle der Produktentwicklung

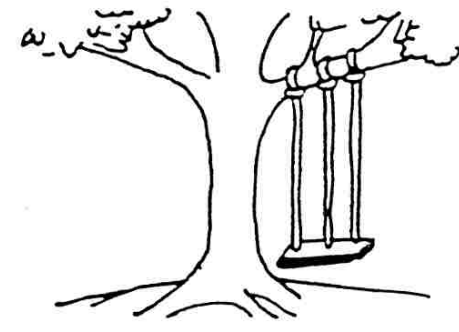
Entwicklungskosten

**Methoden der Produktentwicklung**

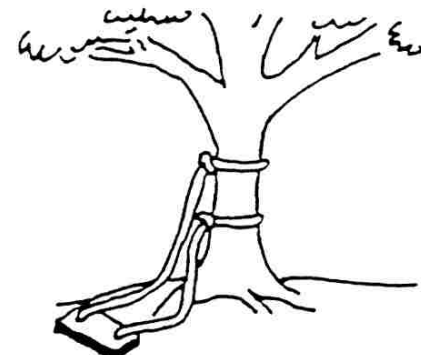
# Warum Entwicklungsplanung und -methoden?



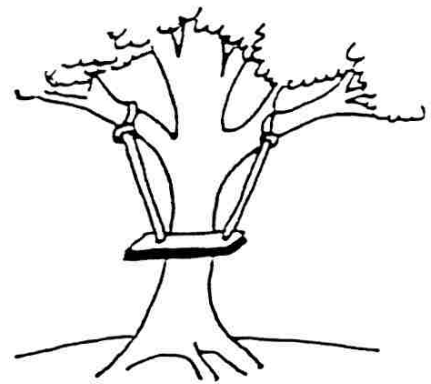
*As proposed by the project sponsors*



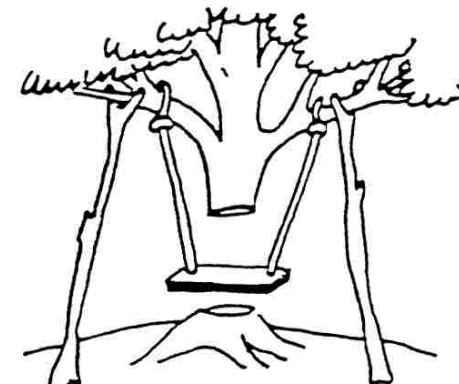
*As specified in the project request*



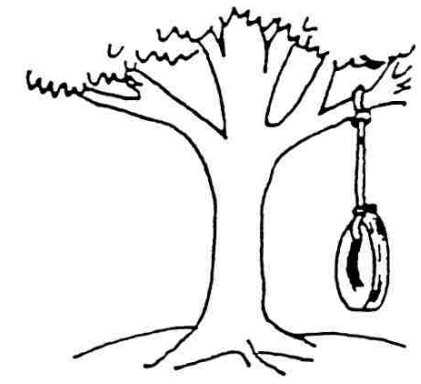
*As designed by the senior analyst*



*As produced by the programmers*



*As installed at the user's site*



*What the user wanted*

## Hilfestellung durch Entwicklungsmethoden

- Keine wichtigen Anforderungen vergessen
- Innovative Konzepte entwickeln und umzusetzen
- Entwicklungsrisiken erkennen und Komplexität zu beherrschen
- Die (Konzept-) Qualität sicherzustellen und Fehler vermeiden
- Produkt- und Entwicklungskosten senken
- Die richtigen Produkte zur richtigen Zeit auf den Markt bringen

Entwicklungsmethoden dienen der Bewältigung der zunehmenden Entwicklungskomplexität und machen das Entwicklungsrisiko beherrschbar.

# Produktplanung: Definition und Konzeption des Produktes

	<i>Ergebnisse</i>	<i>Methoden</i>
<b>Strategiefindung</b>	Markt- und Produktstrategie	SWOT-Analyse Szenarioanalyse Portfolioanalyse
<b>Kunden identifizieren</b>	Listen der Kunden Ggf. Periorisierung nach Wichtigkeit	ABC-Analyse der Kunden
<b>Kundenanforderungen identifizieren</b>	Kundenanforderungen Gewichtung nach Bedeutung für den Kunden	Kundenbefragungen Beschwerdenmanagement, Kano- Modell ABC-Analyse der Kundenanforderungen
<b>Kundenanforderungen übersetzen</b>	Kritische Designmerkmale (Qualitätskriterien)	<b>Quality Function Deployment (QFD)</b>
<b>Merkmalsausprägungen für Qualitätsbeurteilung festlegen</b>	Messgrößen & Messverfahren	

# Vorgehensweisen und Merkmale beim Konstruieren

<i>Phasen</i>	<i>Ergebnisse</i>	<i>Methoden</i>
<b>Klären und Präzisieren der Aufgabe/ des Problem</b>	Anforderungsliste	Checklisten, Technische Leitlinie, Fragebögen, Anforderungsmanagement
<b>Funktionen und Strukturen ermitteln</b>	Funktionsstrukturen/-modelle	Funktionsanalyse, Black-Box-Darstellung
<b>Lösungsprinzipien und deren Strukturen suchen</b>	Prinzipielle Lösungskonzepte	Kreativitätstechniken (z.B. <b>TRIZ</b> ), Konstruktionskataloge, morphologischer Kasten
<b>Bewerten und Auswählen von Lösungskonzepten</b>	Lösungskonzept	Nutzwertanalyse
<b>In realisierbare Module gliedern</b>	Systemarchitektur	Strukturierung nach funktionalen- und organisatorischen Gesichtspunkten
<b>Gestaltung der Module</b>	Teilentwürfe	Fehlerbaumanalyse, <b>FMEA</b> -Methode
<b>Integrieren des gesamten Produkts</b>	Gesamtentwurf Technische Spezifikation	Prototyping
<b>Ausführungs- und Nutzungsangaben ausarbeiten</b>	Produktdokumentation	Produktdokumentation



# Quality Function Deployment

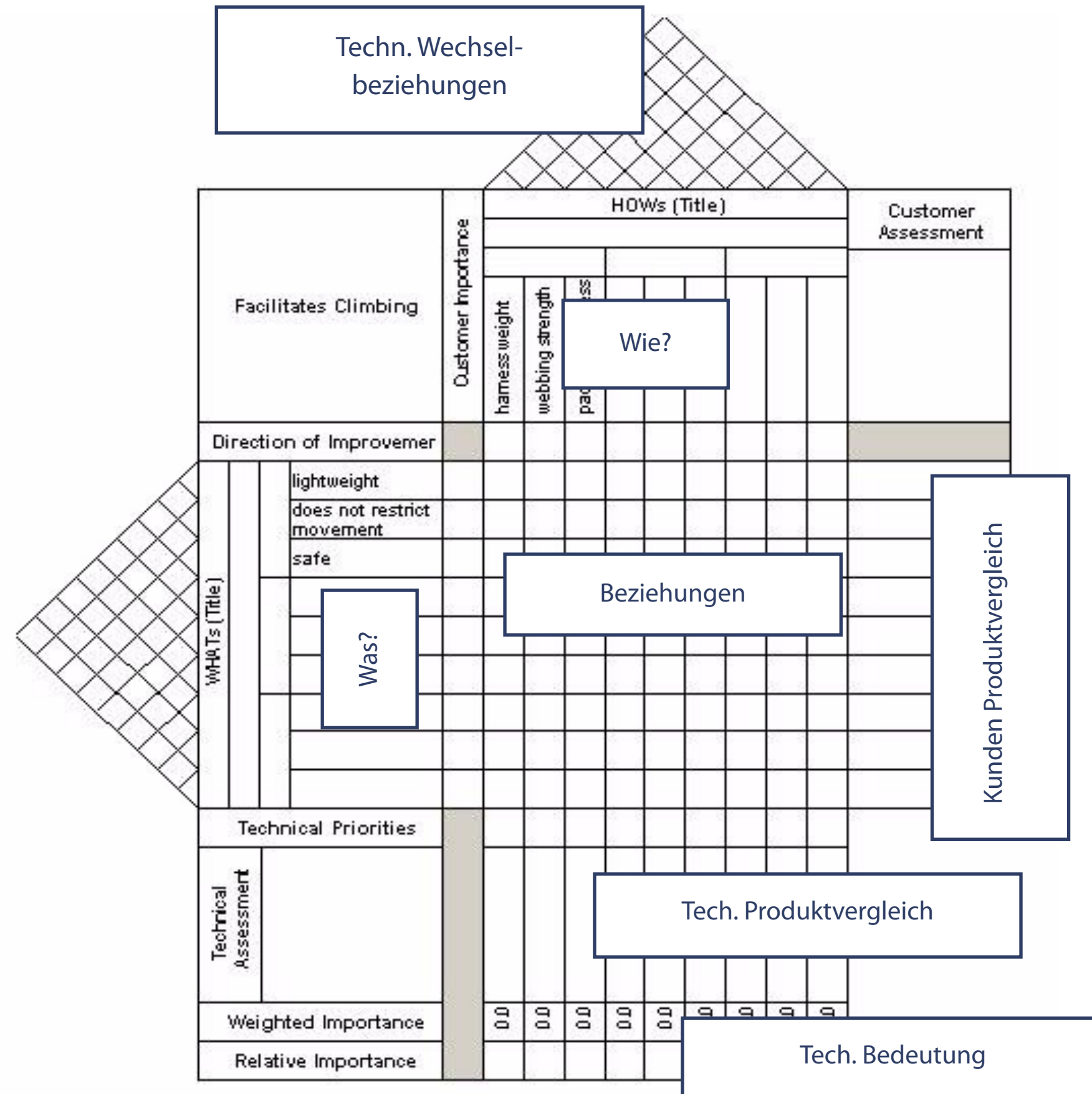
## Qualitätsplanungsteam

- Interdisziplinäres Team
- Erarbeitet gemeinsam das House of Quality (HoQ)

## Qualitätsplanungsteam

- Matrixartige Darstellung zur Unterstützung des systematischen Vorgehens bei der Qualitätsplanung
- Darstellung der Beziehungen zwischen Kunden- und Designanforderungen
- Ermöglicht Priorisierung der Designanforderungen und Vollständigkeitsprüfungen

QFD setzt die Kundenanforderungen in Designanforderungen um.



# Bewertung von QFD

---

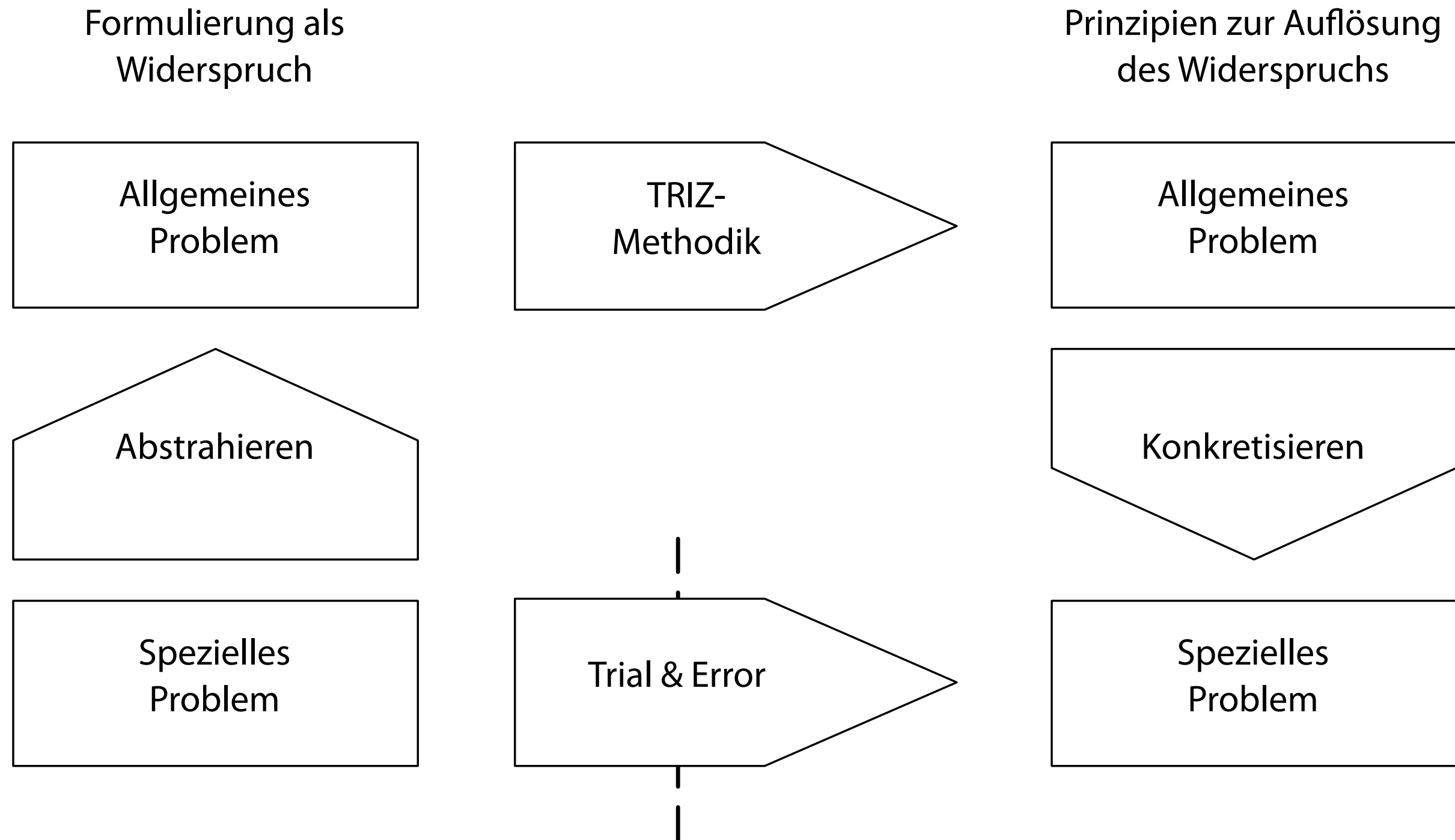
## Vorteile

- Systematische Berücksichtigung der Kundenanforderungen
- Vermeiden von Fehlern aufgrund unzureichender Planung, Entwicklung und Konstruktion
- Konzentration der Ressourcen auf wichtige Merkmale
- Transparentes Darstellen von Zielkonflikten
- Verbesserung der Kommunikation und Motivation

## Nachteile

- Größerer Arbeitsaufwand in der Entwicklungsphase
- Kosten der Methode sehr viel leichter quantifizierbar als der Nutzen
- Hohe Komplexität des QFD-Prozesses, rasch unüberschaubare Matrizen und Tabellen
- Hierarchische Unternehmensstrukturen müssen aufgebrochen werden
- Ergebnis hängt stark von der Eingabe der Kundenanforderungen ab

# TRIZ: Theorie des erfinderischen Problemlösens



**TRIZ ist eine Kreativitätstechnik mit hohem Grad an Systematik, deren Grundlage 40 Innovationsprinzipien bilden.**

# TRIZ -Matrix

## 40 Innovationsprinzipien

1. Zerlegung
2. Abtrennung
3. Örtliche Qualität
4. Asymmetrie
5. Kopplung
6. Universalität
7. Integration
8. Gegengewicht
9. Vorherige Gegenwirkung
10. Vorherige Wirkung
11. Prinzip des "vorher untergelegten Kissens"
12. Äquipotentialität
13. Funktionsumkehr (Inversion)
14. Kugelähnlichkeit (Sphäroidalität)
15. Dynamisierung
16. ....

		Sich verschlechternder Parameter									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zu verbessernder Parameter		Masse des beweglichen Objekts	Masse des unbeweglichen Objekts	Länge des beweglichen Objekts	Länge des unbeweglichen Objekts	Fläche des beweglichen Objekts	Fläche des unbeweglichen Objekts	Volumen des beweglichen Objekts	Volumen des unbeweglichen Objekts	Geschwindigkeit	Kraft
1	Masse des beweglichen Objekts			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 35		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38,	8, 10, 18, 37
2	Masse des unbeweglichen Objekts				10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2		8, 10, 19, 35
3	Länge des beweglichen Objekts	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8	17, 10, 4
4	Länge des unbeweglichen Objekts		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14		28, 10
5	Fläche des beweglichen Objekts	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2
6	Fläche des unbeweglichen Objekts		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39						1, 18, 35, 36
7	Volumen des beweglichen Objekts	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17				29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37
8	Volumen des unbeweglichen Objekts		35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14						2, 18, 37
9	Geschwindigkeit	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34			13, 28, 15, 19
10	Kraft	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	

# Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

---

- Systematische Vorgehensweise, um mögliche Fehlerursachen, Fehler und Fehlerfolgen bereits vor der Entstehung aufzuzeigen, zu bewerten und Maßnahmen zu deren Vermeidung festzulegen
- Kann auch zur Risikobeurteilung vorhandener Bauteile verwendet werden
- Unterschieden werden Produkt- und Prozess-FMEA
- Verwendung von Formblättern
- Risikobewertung durch Gewichtung von Bedeutung, Auftretenswahrscheinlichkeit und Entdeckungswahrscheinlichkeit

## Ziele und Nutzen

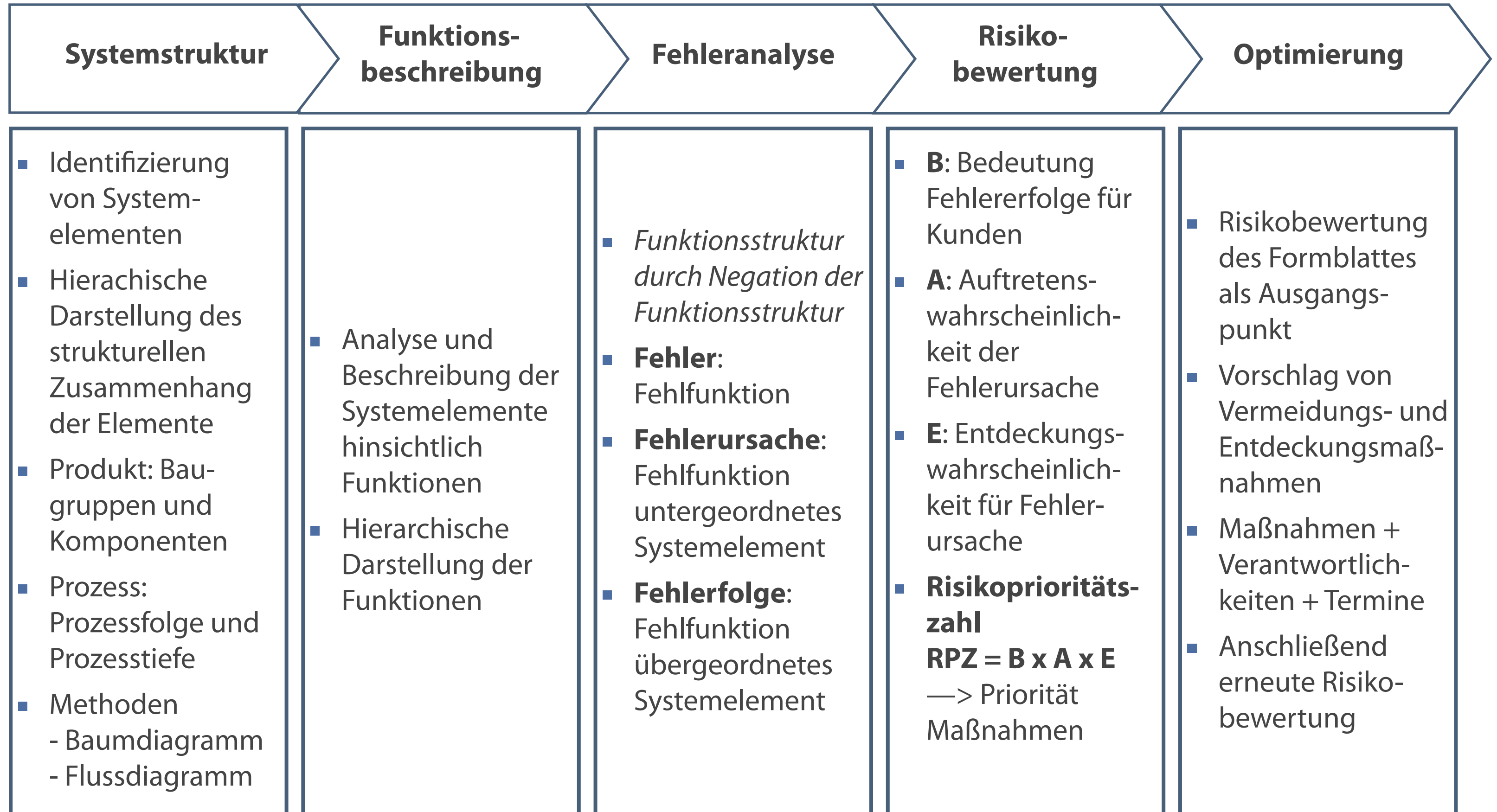
- Fehler und Fehlerursachen frühzeitig erkennen
- Kritische Produktkomponenten identifizieren
- Risiken abschätzen und beurteilen
- Prioritäten bei der Prävention von Fehlern setzen
- Kommunikation und Wissensweitergabe verbessern

## Anlässe zum Erstellen einer FMEA

- Neuentwicklung von Produkten und Prozessen
- Änderungen von Produkten und Prozessen
- Beurteilung von Sicherheits- und Problemteilen
- Risikobewertung
- Einsatz neuer Verfahren oder Methoden

**Durch frühzeitige Identifikation von Fehlerursachen können Fehler verhindert werden.**

# Durchführung der FMEA



# FMEA-Formblatt

				Objekt: Fahrzeugscharniere				
Verantwortliches Team: Montageteam Band 5				Datum:.....				
				Revisionsdatum: .....				
Mögliche Fehlerfolge	B	Mögliche Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ
Scharniere laufen unsauber	7	Einzelteile passen nicht genau ineinander	Material ist verzogen	Stichprobenartige Wareneingangsprüfung	6	Messkontrolle	8	336
			Material ist schlecht verarbeitet		5		6	210
			Deformation		2		2	28
		Kugellager sind fehlerhaft	Verunreinigung der Kugellager	Stichprobenartige Wareneingangsprüfung	3	Sauberkeitskontrolle	2	42
			Kugellager sind deformiert	Stichprobenartige Wareneingangsprüfung	2	Behebung	2	28
			Kugellager sind verzogen		4	Visuelle Kontrolle	3	84

# Vor- und Nachteile der FMEA

---

## Vorteile

- Identifizieren und Bewerten möglicher Fehler und Fehlerursachen vor deren Entstehung
- Prioritätenbildung bei der Behandlung potenzieller Fehler
- Methode zur Darstellung von Expertenwissen zu einzelnen Aspekten eines Produktes oder Prozesses

## Nachteile

- Größerer Arbeitsaufwand in der Entwicklungsphase
- Kosten der Methode sehr viel leichter quantifizierbar, als der Nutzen
- Durch vermeintlich exakte Berechnung des Risikos wird Objektivität der Methode vorgetäuscht



# Zum Nachlesen



## Kontakt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gronau  
*Lehrstuhlinhaber | Chairholder*

*Mail* August-Bebel-Str. 89 | 14482 Potsdam | Germany  
*Visitors* Digitalvilla am Hedy-Lamarr-Platz, 14482 Potsdam  
*Tel* +49 331 977 3322

*E-Mail* [ngronau@lswi.de](mailto:ngronau@lswi.de)  
*Web* [lswi.de](http://lswi.de)

Gronau, N.:  
Industrial Internet of Things – Grundlagen  
Berlin 2018, ISBN 978-3955452476 und 978-3955452612



# Literatur

---

Altschuller, G.; Seljuzki, A.: Flügel für Ikarus – Über die moderne Technik des Erfindens. Verlag MIR Moskau und Urania-Verlag, Moskau 1983.

Babick, F.: Eigenschaften von Stoffsystemen und Produktentwicklung, [https://tu-dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/fakultaet\\_maschinenwesen/ifvu/mvt/downloads/produktentwicklung/produktentwicklung\\_folien.pdf](https://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/ifvu/mvt/downloads/produktentwicklung/produktentwicklung_folien.pdf) (letzter Zugriff 26.04.2016), 2014.

Baumberg, C.: Vorlesung Entwicklungsplanung und -methoden, Einführung, [https://w3-mediapool.hm.edu/mediapool/media/fk09/fk09\\_lokal/03\\_die\\_fakultaet/personen\\_1/vorlesungsteaser\\_lb/Baumberger\\_Entwicklungsplanung\\_und\\_-methoden.pdf](https://w3-mediapool.hm.edu/mediapool/media/fk09/fk09_lokal/03_die_fakultaet/personen_1/vorlesungsteaser_lb/Baumberger_Entwicklungsplanung_und_-methoden.pdf) (letzter Zugriff: 26.04.2016).

Bender, K. (Hrsg.): Embedded Systems - qualitätsorientierte Entwicklung. Springer, 2004.

Braess, H.; Seifer, U.: Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 7., aktualisierte Auflage, Springer Vieweg, 2013.

Brown, T.: Design Thinking. In: Harvard Business Review. Juni 2008, S. 84–92.

Ebert, C.: Produktentwicklung im Zeitalter von Industrie 4.0, [www.ias.uni-stuttgart.de/lehre/vorlesungen/ringvorlesung/Produktentwicklung\\_VirtualEngineering\\_Trends\\_Keynote.pdf](http://www.ias.uni-stuttgart.de/lehre/vorlesungen/ringvorlesung/Produktentwicklung_VirtualEngineering_Trends_Keynote.pdf) (letzter Zugriff 26.04.2016), Stuttgart 2015.

Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit, Hanser, 2017.

Eigner, M.; Roubanov, D.; Zafirov, R. (Hrsg.): Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung, Springer, 2014.

Gausemeier, J.; Plass, C.; Wenzelmann, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung - Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Hanser, 2009.

Graner, M.: Methodeneinsatz in der Produktentwicklung: bessere Produkte, schnellere Entwicklung, höhere Gewinnmargen. Wiesbaden: Springer Gabler, 2015.

Gronau, N.: Wandlungsfähige Informationssystemarchitekturen - Nachhaltigkeit bei organisatorischem Wandel. Berlin, 2003.

Juran, J. M., Critical Evaluations in Business and Management, Edited by John C. Wood und Michael C. Wood, 1991.

Karlsson, C.; Ahlström, P.: The difficult path to lean product development, In: Journal of Product Innovation Management, Volume 13, Issue 4,

Köhler, P.: Rapid Prototypen (RP), [www.bs-wiki.de/mediawiki/images/Rapid\\_Prototyping-P.Köhler.pdf](http://www.bs-wiki.de/mediawiki/images/Rapid_Prototyping-P.Köhler.pdf) (letzter Zugriff 28.04.2016), Universität Duisburg-Essen Institut für Produkt Engineering.

Kühnl, C.: Software gibt den Takt vor. Megaphon. Eng. 2 , 2010 , S. 24-25.

# Literatur

---

Macht, M. A.: Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping, Dissertation Technische Universität München, 1999.

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhasen, J.; Grote, K.-H.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre, 7. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg, 2007

Peters, T.; Watermann, R.: Auf der Suche nach Spitzenleistung: Was man von den bestgeführten US-Unternehmen lernen kann. Landsberg, 1986.

Pfeifer, T.: Praxisbuch Qualitätsmanagement. Hanser, 2001.

Plattner, H.; Meinel, C.; Weinberg, U.: Design-Thinking. Innovation lernen – Ideenwelten öffnen. München, 2009.

Schuh, G.; Riesener, M.: Produktkomplexität managen. Auflage: 3. Hanser, 2018.

Schuh, G.: PLM (Product Lifecycle Management). In: Gronau, Norbert ; Becker, Jörg ; Kliwer, Natalia ; Leimeister, Jan Marco ; Overhage, Sven (Herausgeber): Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik – Online-Lexikon. Berlin : GITO, 2019. <https://wi-lex.de/index.php/lexikon/inner-und-ueberbetriebliche-informationssysteme/sektorspezifische-anwendungssysteme/plm-product-lifecycle-management/> (Abruf: 08.04.2025).

Schönsleben, P.: Integrales Logistikmanagement. Berlin, Heidelberg 2007.

Schulze, L.: Arbeitsmaterial zur Vorlesung Produktentwicklung. TU Dresden, Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design, 2013.

Spur, G.: Fabrikplanung. München, Wiens, Hanser Verlag, 1994.

Spur, G.: Fabrikbetrieb, Hanser Verlag, 1993.

Syska, A.: Produktionsmanagement, Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute, Wiesbaden, 2006.

VDI 2221 Blatt 1: Entwicklung technischer Produkte und Systeme - Modell der Produktentwicklung, 2019.

Volkswagen: <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/modularer-querbaukasten-3655>, 2013.