

Gerätekonstruktion und - fertigung in der Feinwerktechnik

Schinköthe/Burkard/Bobrowski
Kompetenzfeld/Pflichtfach/Kernfach
V 3/1 im WS

Prof. Dr. - Ing. W. Schinköthe



1. Einordnung der Lehrinhalte



Voraussetzungen für einen Entwickler / Konstrukteur

1. Grundkenntnisse, Fachwissen

„Handwerkszeug“

Technisches Darstellen
Toleranzen
Passungen
Zeichnungssatz
Festigkeitslehre
Statik
Werkstoffe
Fertigungsverfahren
Kosten

„bewährte
Lösungskomponenten“

Verbindungsverfahren, -elemente
mechanische Konstruktionselemente
(Federn, Lager, Wellen...)
mechanische Funktionsgruppen
(Kupplungen, Getriebe...)
optische Funktionsgruppen
elektromechanische Funktionsgruppen
messtechnische Funktionsgruppen



Voraussetzungen für einen Entwickler / Konstrukteur

2. Kenntnisse zum **Gesamtablauf** einer Entwicklung

3. **Methoden** für einzelne Lösungsschritte

- Ideenfindung
- Konzipieren
- Entwerfen, Gestalten
- Ausarbeiten

unter Betrachtung des gesamten Systems:

- Sicherheit für Mensch und System
- Schutz gegen äußere Einflüsse
- Wechselwirkung mit Umwelt (Wärme, Schwingungen, Geräusche)
- Zuverlässigkeit, Fehlverhalten

4. Kenntnisse konkreter **Beispiele**



Schwerpunkte der Vorlesung

GERÄT und UMWELT

Umwelt

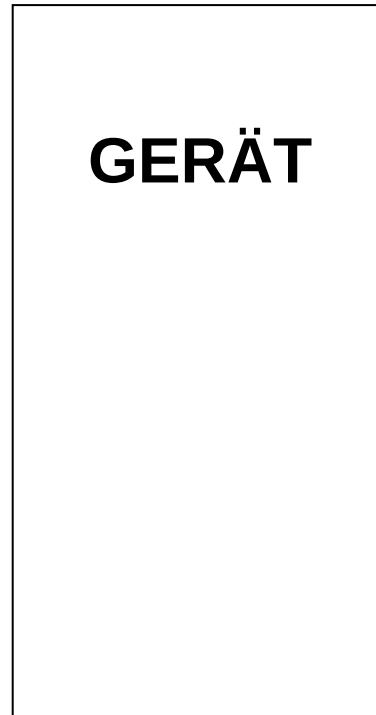


Klima
Fremdkörper
Staub
Wasser
Feuchte
Felder

Mensch



mechanische
Beanspruchung
Schwingungen
Lagerung
Transport
Einsatz-
bedingungen



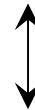
Umwelt

Felder
Wärme
Schwingungen



Mensch

Zuverlässigkeit
Sicherheit
Schutzklasse
Genauigkeit
Wärme
Felder
mechanische
Beanspruchung
Schwingungen
Geräusche
Ergonomie



Wärme
Felder
Schwingungen

Gerätekonstruktion und -fertigung in der Feinwerktechnik

Kompetenzfeld im Bachelor

Pflichtfach oder Kernfach in Diplom- bzw. Masterstudiengängen

Schinköthe/Burkard V 3/Ü1 im WS;

mittwochs und donnerstags 11.30 – 13.00 Uhr, V. 9.41

1. Einführung

Methodik der Geräteentwicklung, Denkweisen, Methoden

2. Genauigkeit und Fehlerverhalten in Geräten

Grundlagen, Störgrößen, Ableitung von Fehlerfaktoren

Maßnahmen zur Verbesserung des Fehlerverhaltens (invariante, innozente Anordnung, Justage, Kompensation)

3 DS Übungen zu Genauigkeit und Fehlerverhalten

3. Toleranzrechnung im Gerätebau

Grundlagen, Einführung, Toleranzbegriff, Toleranzangaben in Zeichnungen

Einführung in die Extremwertmethode, Statistische Toleranzrechnung, Statistische Toleranzrechnung am Beispiel, Erfassung statistischer Merkmale, Qualitätsregelkarten

2 DS Übungen zur Toleranzrechnung



4. Sicherheitstechnik im Gerätebau

Allgemeine Sicherheitstechnik (Methoden, sicherheitsgerechte Gestaltung)
Elektrische Sicherheit (Gefährdungspotentiale, Schutzgrade, Schutzklassen)
Gesetzliche Regelungen (CE-Kennzeichnung; GS-Zeichen, Produkthaftung)

5. Zuverlässigkeit im Gerätebau

Zuverlässigkeit, Definition, Verteilungen, Lebensdauer, Systemzuverlässigkeit

3 DS Übung zu Zuverlässigkeit im Gerätebau

6. Wechselwirkung Gerät und Umwelt

Thermischer Schutz in Geräten
Lärminderung im Gerätebau, Schall und seine Kenngrößen, Schallwahrnehmung,
-entstehung, -ausarbeitung, Mess- und Auswerteverfahren, Maßnahmen zur Lärminderung

7. Zugehörige Praktika:

Einführung in die 3D-Messtechnik
Zuverlässigkeitsuntersuchungen und Lebensdauertests
Geräusch-/Lärmmessung

2. Methodik der Geräteentwicklung



Literatur zu Abschnitt 2:

- /1/ VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.
- /2/ VDI/VDE 2422: Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik.
- /3/ Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1983.
- /4/ VDI 2222: Konstruktionsmethodik, Konzipieren technischer Produkte.
- /5/ VDI 2225: Technisch wirtschaftliches Konstruieren.
- /6/ VDI 2235: Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren.
- /7/ Roth, K.-H.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1982.
- /8/ VDI 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.

Methodik der Geräteentwicklung

DK 62.001.002:621:681:66.0
681.3.06(083.132) VDI-RICHTLINIEN Mai 1993

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte	VDI 2221
-----------------------------------	---	-----------------

Systematic approach
to the development and design
of technical systems and products

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
1 Zielsetzungen	2
2 Grundlagen der Methodik	3
3 Vorgehensstrategien	6
3.1 Entwicklungs- und Konstruktionsaufgaben	6
3.2 Generelles Vorgehen	7
3.3 Rechnerunterstütztes Vorgehen	13
4 Beispiele	17
4.1 Beispiele Maschinenbau	17
4.2 Beispiel Verfahrenstechnik	24
4.3 Beispiel Feinwerktechnik	27
4.4 Beispiel Software-Entwicklung	30
5 Methoden	32
6 Begriffe	39
Schrifttum	42

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb
Ausschuß Methodisches Konstruieren

VDI-Handbuch Konstruktion

NormCD - Stand 2004-03

Frühere Ausgabe 11.86
Zu beziehen durch Beuth Verlag GmbH, Berlin - Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1993
Lizenzrechte vorbehalten

Vervielfältigung - auch für innerbetriebliche Zwecke - nicht gestattet

ICS 03.100.40; 31.220 VDI-RICHTLINIEN Juni 2004

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme	VDI 2206
-----------------------------------	--	-----------------

Design methodology for
mechatronic systems

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.
The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
1 Einleitung	3	1 Introduction	3
1.1 Motivation	3	1.1 Motivation	3
1.2 Zielsetzung	8	1.2 Goal setting	8
1.3 Zielgruppe	8	1.3 Target group	8
1.4 Einordnung der Richtlinie	8	1.4 Classification of the guideline	8
1.5 Aufbau der Richtlinie	9	1.5 Structure of the guideline	9
2 Einführung in die Entwicklung mechatronischer Systeme	9	2 Introduction to the development of mechatronic systems	9
2.1 Charakterisierung des Begriffs Mechatronik	9	2.1 Characterization of the term mechatronics	9
2.2 Aufbau mechatronischer Systeme	14	2.2 Structure of mechatronic systems	14
2.2.1 Grundstruktur	14	2.2.1 Basic structure	14
2.2.2 Modularisierung und Hierarchisierung	16	2.2.2 Modularization and hierarchization	16
2.3 Nutzenpotenzial der Mechatronik	18	2.3 Beneficial potential of mechatronics	18
2.4 Besonderheiten bei der Entwicklung	22	2.4 Special aspects of the development	22
3 Entwicklungsmethodik Mechatronik	26	3 Development methodology of mechatronics	26
3.1 Vorgehen	26	3.1 Procedure	26
3.1.1 Problemlösungszyklus als Mikrozyklus	27	3.1.1 Problem-solving cycle as a micro-cycle	27
3.1.2 V-Modell als Makrozyklus	29	3.1.2 V model as a macro-cycle	29
3.1.3 Prozessbausteine für wiederkehrende Arbeitsschritte	32	3.1.3 Process modules for recurrent working steps	32
3.1.4 Integrativer Entwurf von Produkt und Produktionssystem	41	3.1.4 Integrative design of product and production system	41
3.2 Modellbasierter Systementwurf	46	3.2 Model-based system design	46
3.2.1 Modellbildung	50	3.2.1 Modeling	50
3.2.2 Modellanalyse	54	3.2.2 Model analysis	54
3.3 Werkzeuge	56	3.3 Tools	56
3.4 Organisation	67	3.4 Organization	67
3.4.1 Zusammenstellen eines Projektteams	67	3.4.1 Putting together a project team	67
3.4.2 Umsetzung technischer Ergebnisse	69	3.4.2 Implementation of technical results	69

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb (VDI-EKV)
Ausschuß Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme

VDI-Handbuch Konstruktion
VDI-Handbuch Mikro- und Feinwerktechnik

Frühere Ausgabe: 03.03 Entwurf deutsch
Former edition: 03.03 draft in German only
Zu beziehen durch / Available from Beuth Verlag GmbH, 10773 Berlin - Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2004

Vervielfältigung - auch für innerbetriebliche Zwecke - nicht gestattet / Reproduction - even for internal use - not permitted

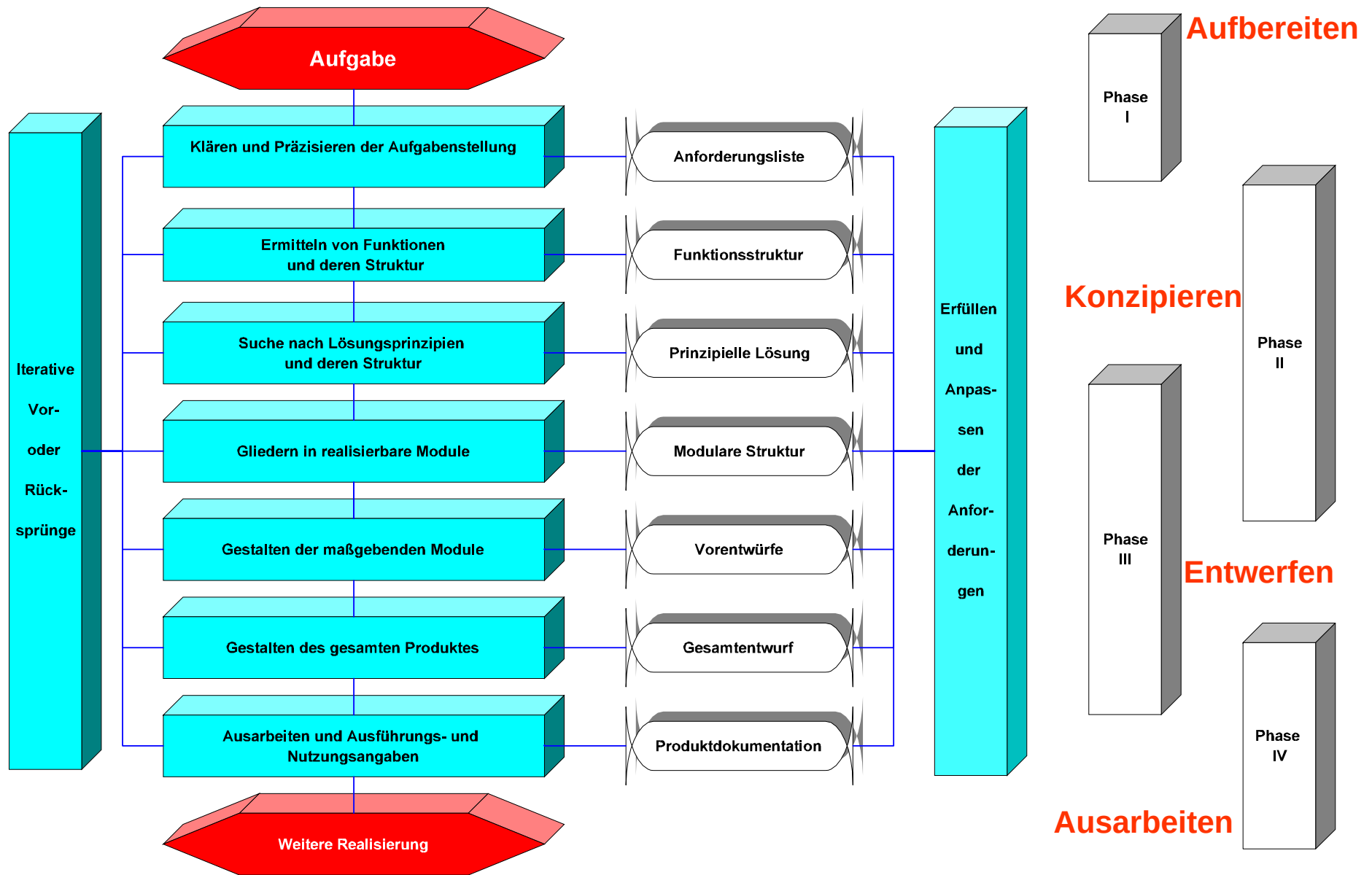


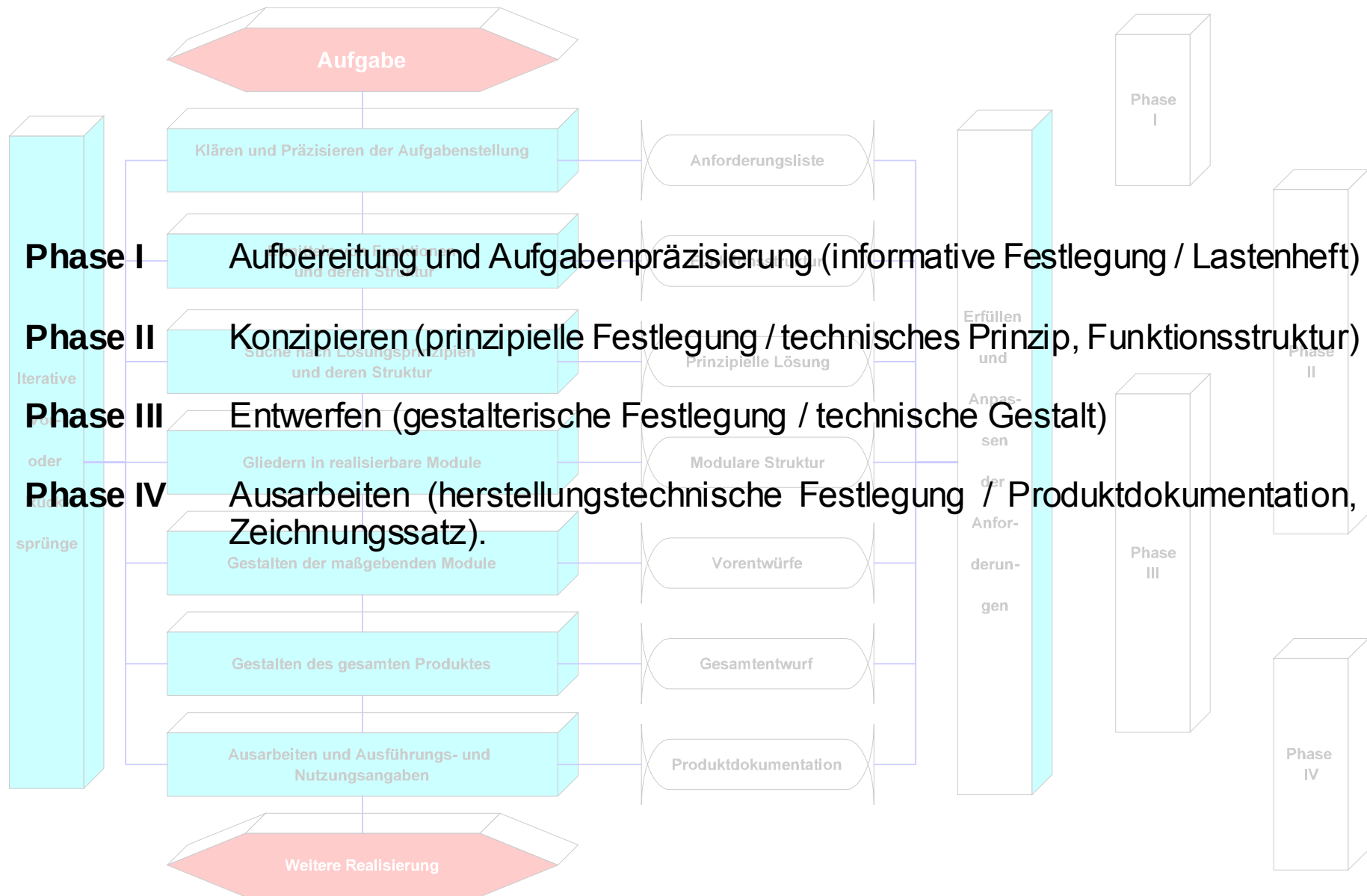
VDI 2221

Methodik

zum Entwickeln und Konstruieren
technischer Systeme und Produkte



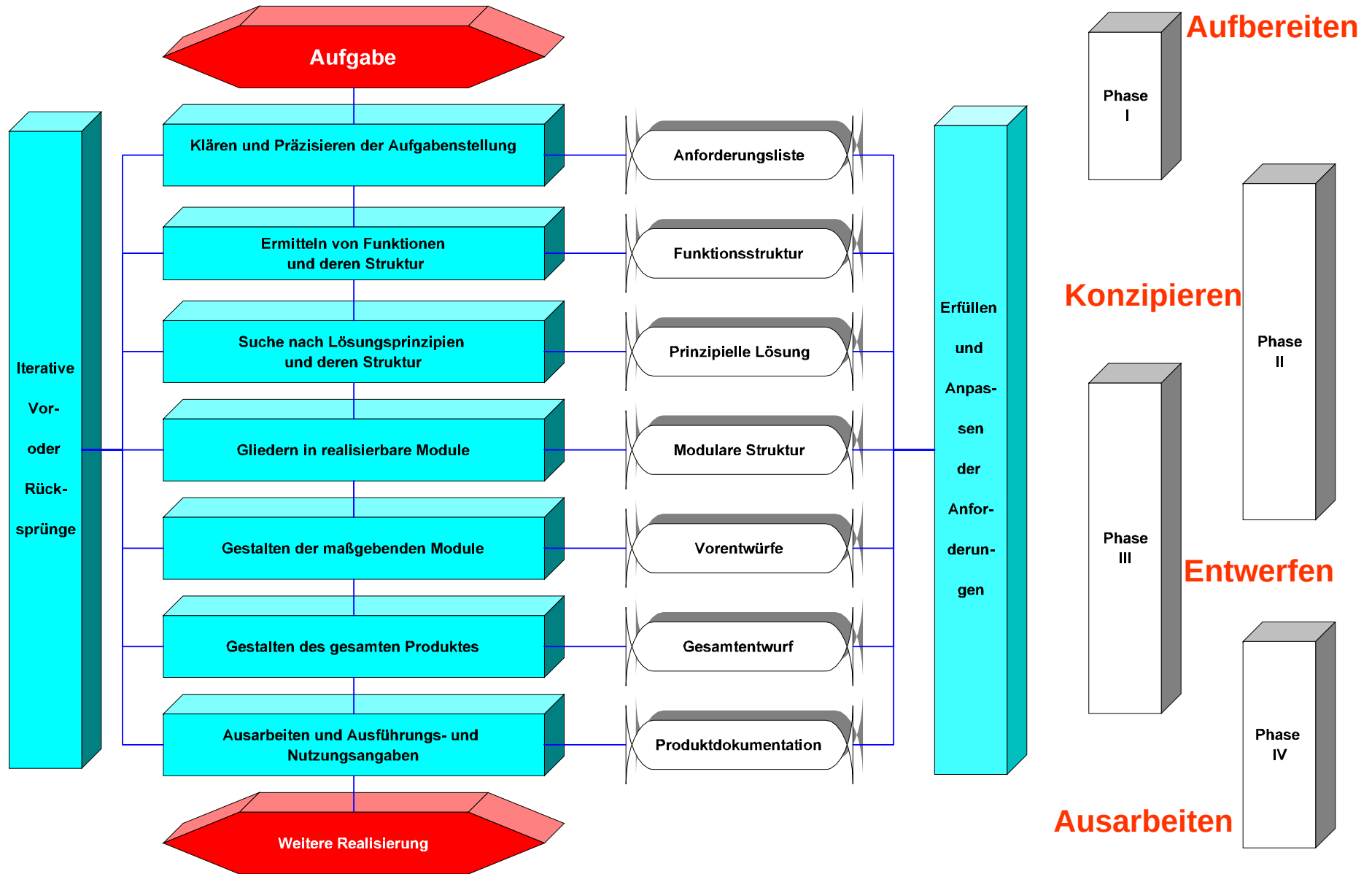




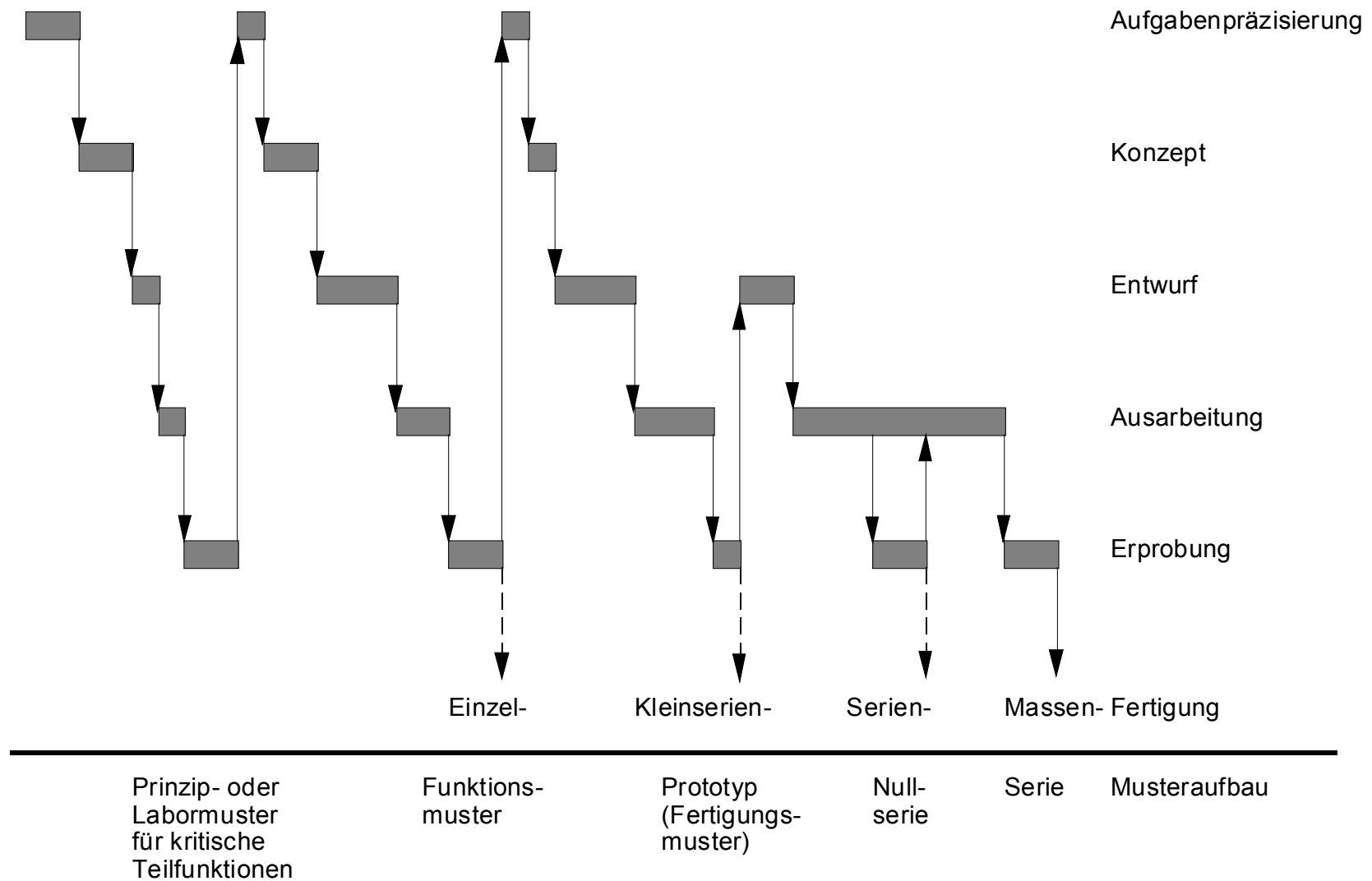
Hauptphasen einer Geräte- oder auch allgemein Erzeugnisentwicklung nach VDI 2221

Phase I	Aufbereitung und Aufgabenpräzisierung (informative Festlegung/Lastenheft)
Phase II	Konzipieren (prinzipielle Festlegung/ technisches Prinzip, Funktionsstruktur)
Phase III	Entwerfen (gestalterische Festlegung/ technische Gestalt)
Phase IV	Ausarbeiten (herstellungstechnische Festlegung/Produktdokumentation, Zeichnungssatz)

Häufig auch Meilenstein genannt.



Typischer zeitlicher Ablauf einer umfangreichen Entwicklung



2.1 Produktplanung



Produktplanung

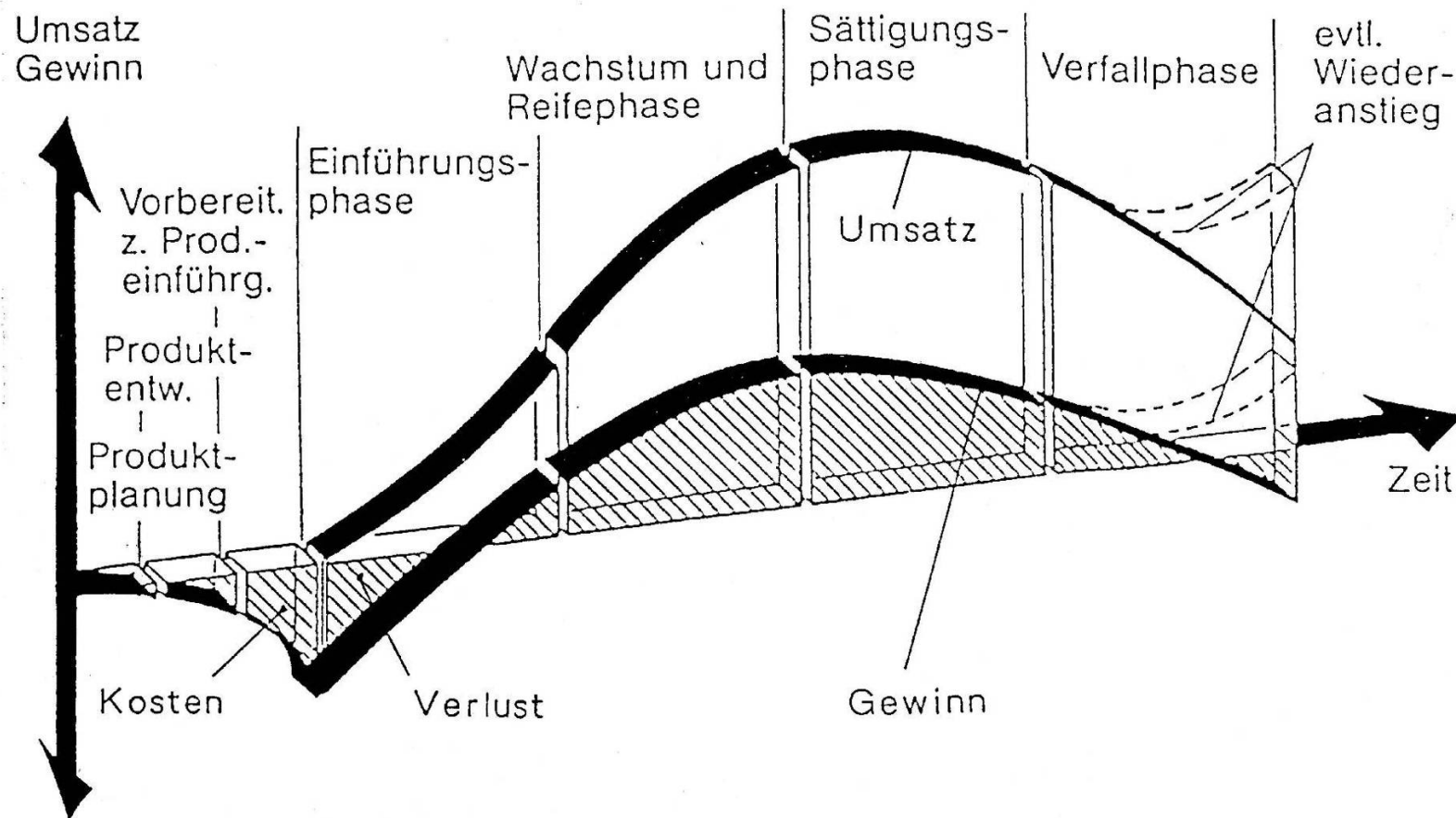
Produktplanung: Finden und Auswählen einer tragfähigen Produktidee

Nicht unmittelbar zur Geräteentwicklung zuzuordnen, jedoch mit erheblichen Auswirkungen auf diese.

Verschiedene Ausgangssituationen:

- a) Die Aufgabenstellung liegt als **Kundenauftrag** oder **innerbetrieblicher Auftrag** vor.
(Lastenheft sofort präzisierbar.)
- b) Eine Produktidee ist erst aus der systematischen **Analyse des Marktes**, des Unternehmens und des Umfeldes zu erarbeiten.
(Zunächst umfassende Analyse der Ist-Situation und Klärung möglicher Zielrichtungen erforderlich.)

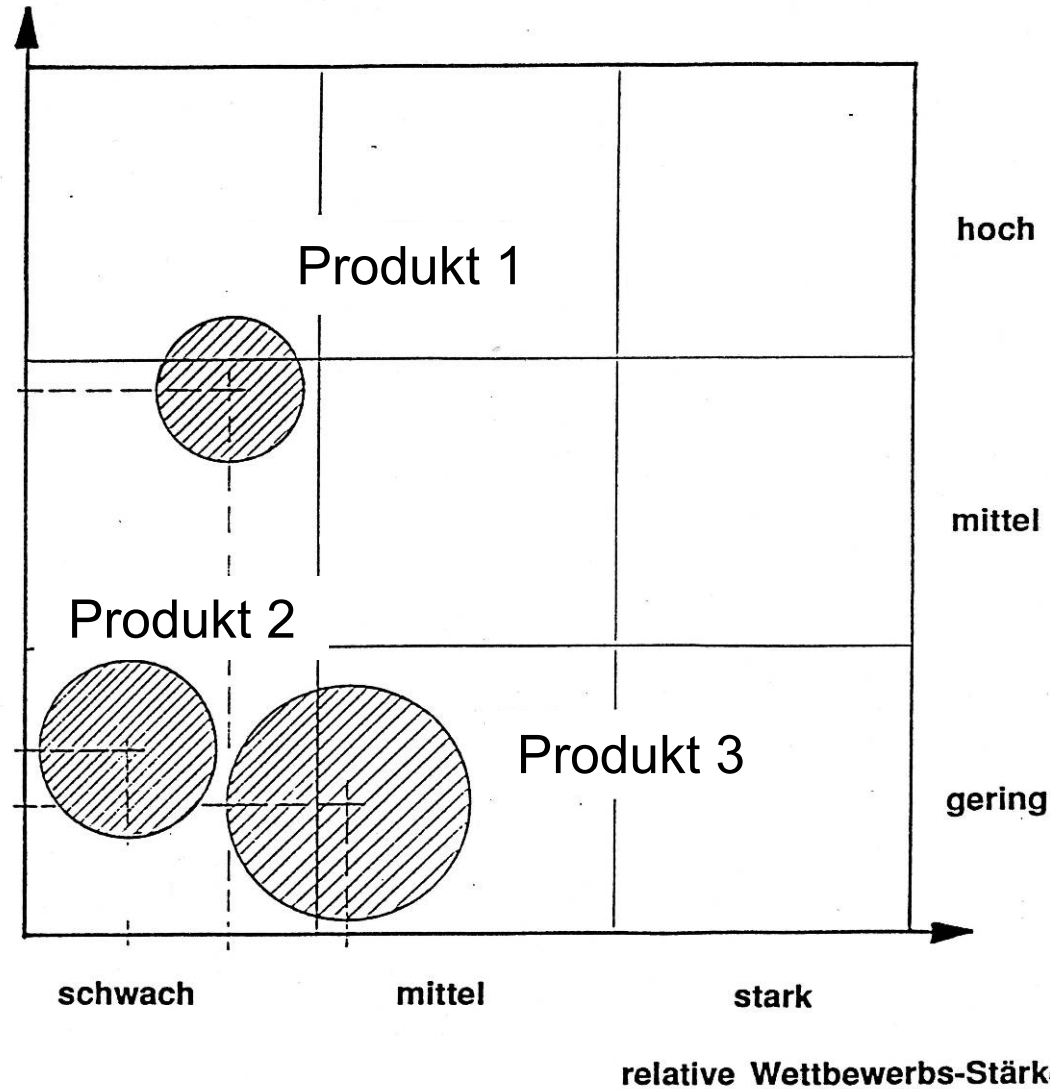
Lebenszyklus eines Produktes



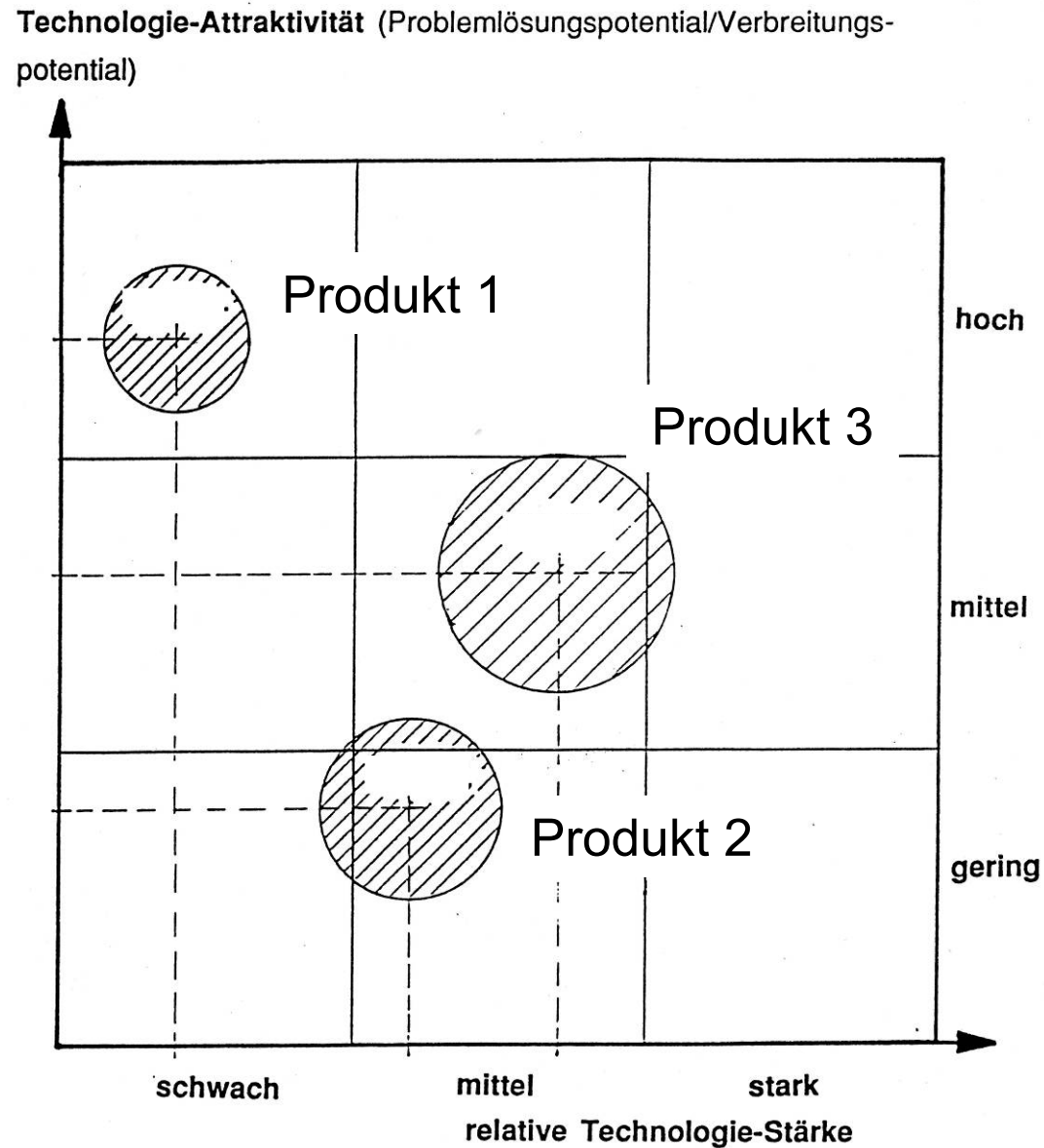
Quelle: Pahl; Beitz
Konstruktionslehre

Analyse von Markt, Unternehmen und Umfeldes – Markt-Portfolio

Markt-Attraktivität (Problemgenerierungspotential, Verbreitungspotential)



Analyse von Markt, Unternehmen und Umfeldes – Technologie-Portfolio



Analyse von Markt, Unternehmen und Umfeldes – Produkt-Markt-Matrix

Beispiel: Messgerätehersteller

		derzeitige Märkte				neue Märkte			
		Thermische Kraftwerke	Elektro-industrie	Installations-industrie	• • •	Wasserkraft	Radio Fernsehen	Haushalt	• • •
derzeitige Produkte	Elektr. Zähler								
	Wärme - M.		I					II	
	Mengen - M.								
	•								
neue Produkte	Zeitmesser								
	Druck - M.		III					IV	
	Temp. - M.								
	Mech. Leist.								
	•								

Quelle: Pahl; Beitz
Konstruktionslehre

Analyse von Markt, Unternehmen und Umfeldes – Bedürfnis-Stärken-Matrix

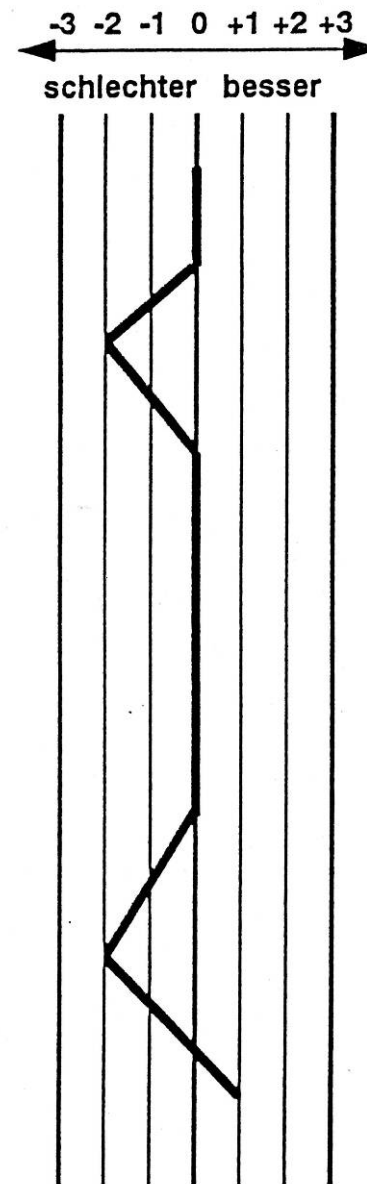
		Stärken und Fähigkeiten des Unternehmens in fallender Reihenfolge					
		Elektronisch Messen	Mechanisch Messen elektr. Arb.	Elektro- optische Erfassung	Beschich- tungs- technik	Verbund- technik	
Bedürfnisse des Kundenmarkts in fallender Reihenfolge	Programm. Regelung Mikroproz.	X			X	X	
	Wärme- steuerung	X	X				
	Fernüber- wachung	X		X			
	Verkehrs- zählung	X		X			
	Wind- richtung u. -stärke messen		X				

Quelle: Pahl; Beitz
Konstruktionslehre

Stärken-Schwächen-Analyse

PRODUKT-BEWERTUNG (2):

- Sicherheit der Signalübertragung
- Mechanische Stabilität der Meßhebel
- Variabilität des zu messenden Werkstückes
- Beständigkeit gegen Schleifemulsion
- Verarbeitbarkeit der Signale in der Schleifmaschine
- Austauschbarkeit der Anschlußbedingungen
- Kompatibilität der Signalverarbeitung
- Umfang des Zubehörs
- Dynamische Belastbarkeit



Analyse von Markt, Unternehmen und Umfeldes – Analyse Wettbewerber

Kriterien	Wettbewerber				
	A	B	C	D	.
Umsatz (DM)					
Marktanteil (%)					
Auftreten am Markt					
- Konditionen					
- Service					
- Liefertreue					
-					
Produktion					
Organisation					
Produkt-programm					

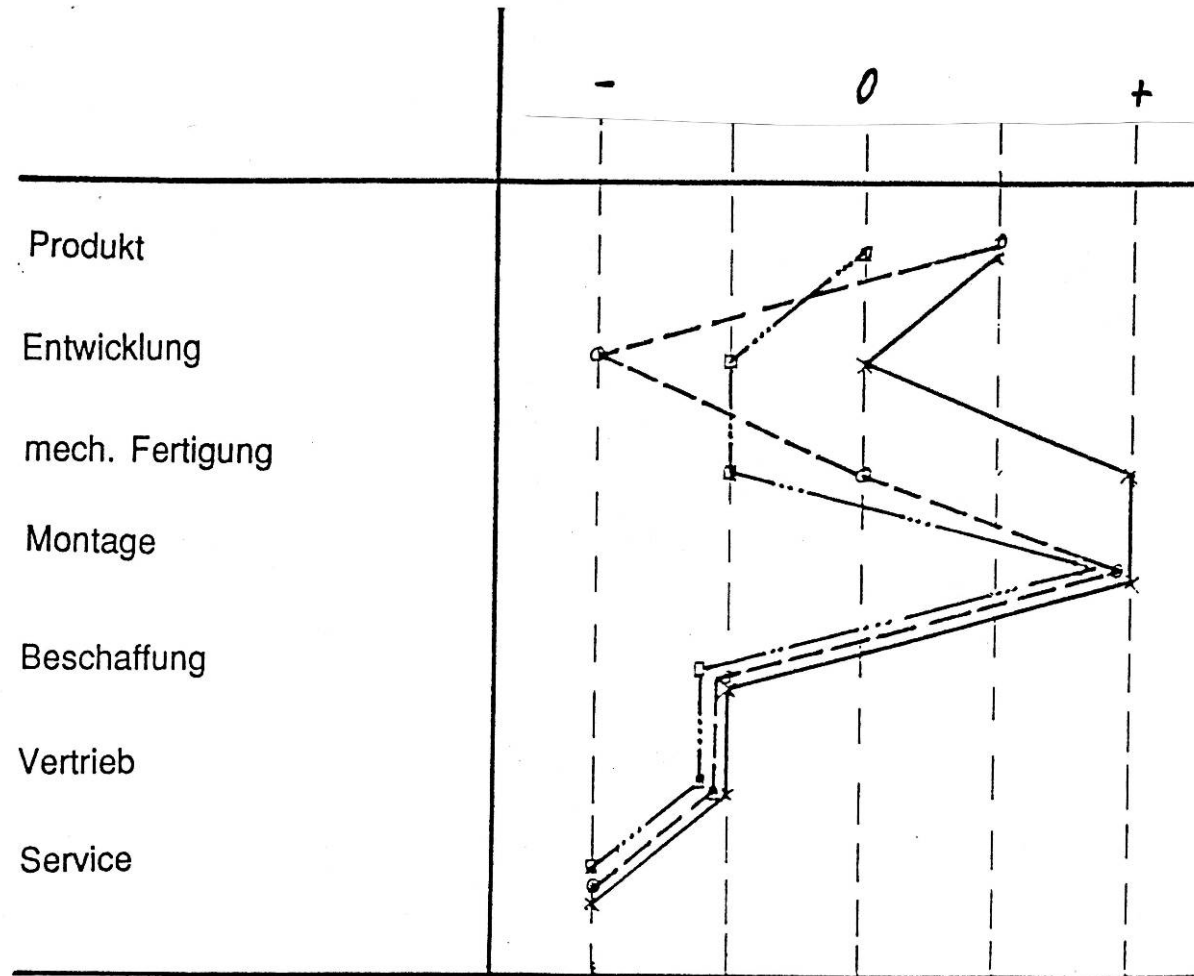
= wie wir; + besser; - schlechter

Quelle: Pahl; Beitz
Konstruktionslehre



Analyse von Markt, Unternehmen und Umfeldes – Analyse Wettbewerber

Relativ-Position gegenüber Wettbewerbern



2.2 Aufbereiten



Aufbereiten

Aufbereitungsphase zur **informativen Festlegung** der Aufgabenstellung in Form einer **Anforderungsliste**, eines **Lasten- / Pflichtenheftes**

Ausgangspunkt:

- Funktionsprinzip noch unklar, Geometrie unbekannt.
- Trotzdem Forderungen und Wünsche in Form von Leistungsdaten und Funktionsumfängen möglichst exakt festlegen.
- Zu starke Festlegung vieler Details schränkt Spielraum für nachfolgende Entwicklungsphasen stark ein.
- Zu offene, unverbindliche Festlegung kann zum Ausweichen und Abweichen von den geplanten Zielen führen.

Anforderungsliste:

- möglichst konkret, jedoch für notwendige Änderungen noch offen,
- wird erst im Laufe der Entwicklung abgeschlossen,
- enthält neben **Festforderungen** auch **Mindestwerte** und **Wünsche**, dazu **Prioritäten** festlegen.
- **must, want, nice**
 - **must** zwingend notwendig, Mindestanforderungen
 - **want** wird gebraucht, möglichst realisieren, mit Prioritäten
 - **nice** schön zu haben, aber nebensächlich

Nebenbedingungen für die Anforderungsliste:

- Fertigungsstückzahlen (Einzel-, Serien- oder Massenfertigung).
- Neuheitsgrad (Neuentwicklung, Weiterentwicklung, Anpassungskonstruktion).
- Branchenspezifika:

Feinwerktechnik mit Schwerpunkten auf Miniaturisierung, Funktionalität und Kosten

Großmaschinenbau mit Schwerpunkten Sicherheit, Energieeffizienz

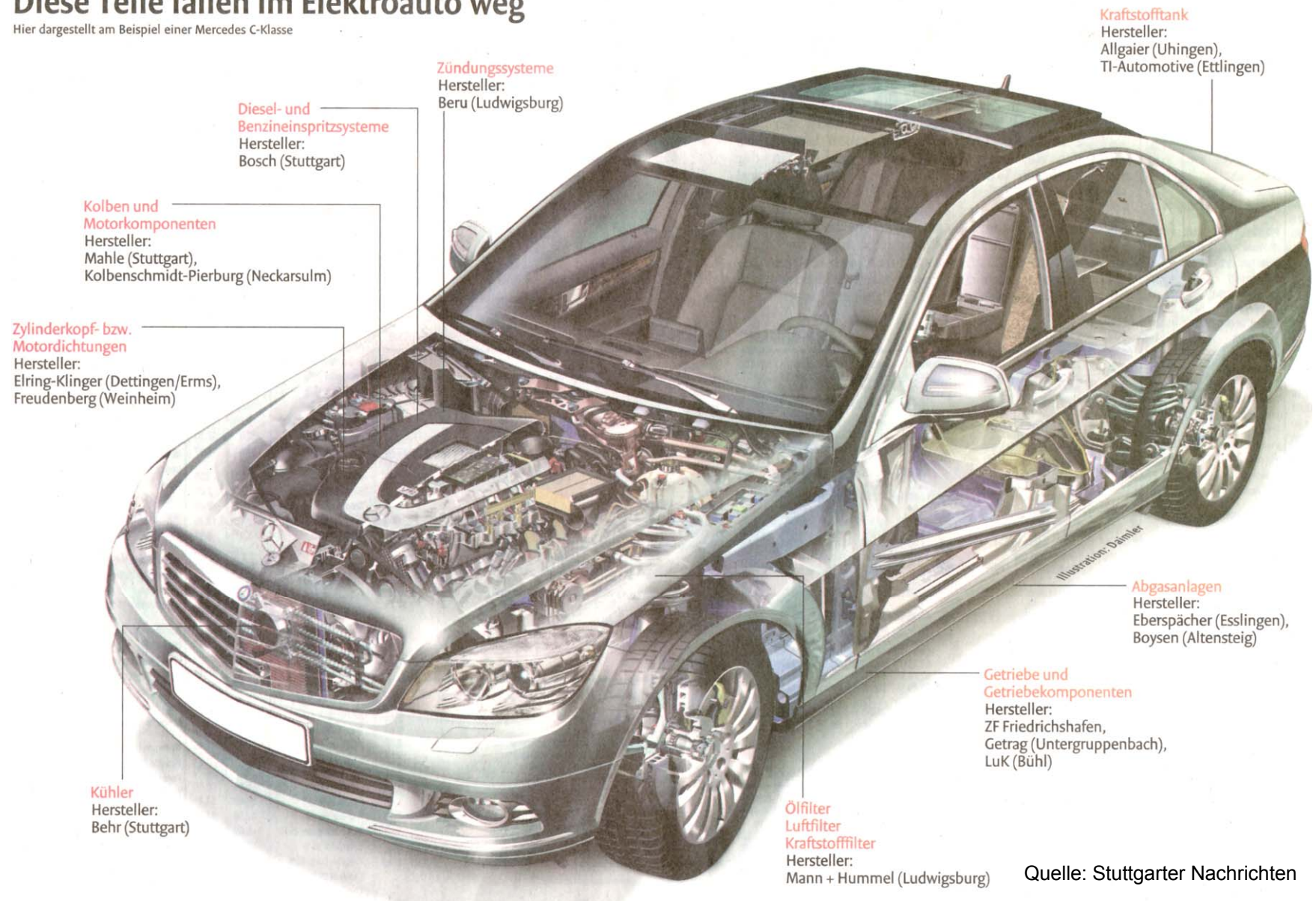
Werkzeugmaschinenbau mit Schwerpunkten Arbeitsgenauigkeit, Arbeitsgeschwindigkeit, Flexibilität

Fahrzeugbau mit Schwerpunkten Sicherheit, Kosten, Design.

Beispiel zum Neuheitsgrad

Diese Teile fallen im Elektroauto weg

Hier dargestellt am Beispiel einer Mercedes C-Klasse



Anforderungsliste

Benutzer		Anforderungsliste für Projekt, Produkt		Ausgabe: Identifikation Klassifizierung Blatt: Seite:	
Ander.	F W	Anforderungen			Verantw.
Datum der Änderung	Kennzeichnung nach F o. W	Gegenstand oder Eigenschaft mit Quantitäts- und Qualitätsangaben gegebenenfalls in Teilsysteme (Funktions- bzw. Baugruppen) oder nach Merkmalen der Leitlinie aufgegliedert			verantwortliche Konstruktionsgruppe
		Ersetzt Ausgabe vom			

Quelle: Pahl; Beitz
Konstruktionslehre

2.3 Konzipieren



Konzipieren

Konzeptionsphase zur **prinzipiellen Festlegung** (Erarbeitung prinzipieller Lösungsansätze für einzelne Funktionen und das Gesamtsystem).

Teilschritte:

- Zunächst erfolgt ein **Abstrahieren auf wesentliche Probleme auf funktionaler Ebene** (Teilfunktionen).
- Wesentliche Funktionen als **Funktionsstruktur** aufgliedern und dafür **prinzipielle Lösungen** erarbeiten.
- Finden geeigneter **physikalischer Effekte und Wirkprinzipie** für die **einzelnen Funktionen**.
- Für die einzelnen Teilfunktionen sind Wirkprinzipie und Wirkstrukturen zu finden.

Konzipieren

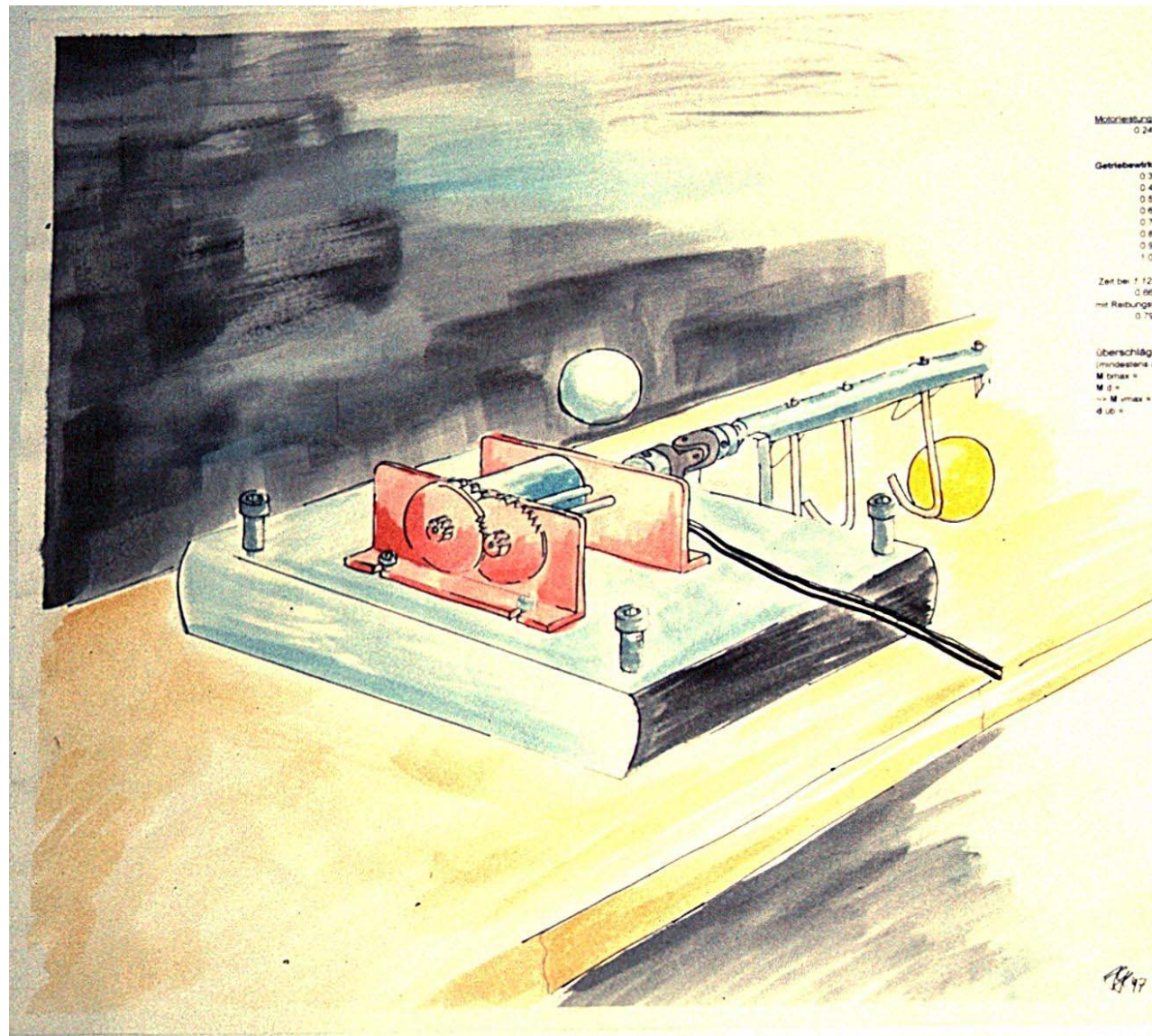
Weitere Teilschritte:

- Zuzuordnen sind **erste geometrische Beziehungen**, um orientierende Berechnungen vornehmen zu können und eine Auswahl der verschiedenen Lösungsansätze zu erleichtern.
- Es entsteht zunächst eine **breite Variantenvielfalt**.
- Variantenvielfalt durch **Bewertung** auf eine oder höchstens zwei Varianten **einschränken**.

Achtung:

Nachfolgende Entwicklungsphasen können grundlegende Mängel des Lösungsprinzipes nicht oder nur noch schwer ausgleichen

Beispiel geschickter Konzepte



Quelle: IKFF

Beispiel geschickter Konzepte



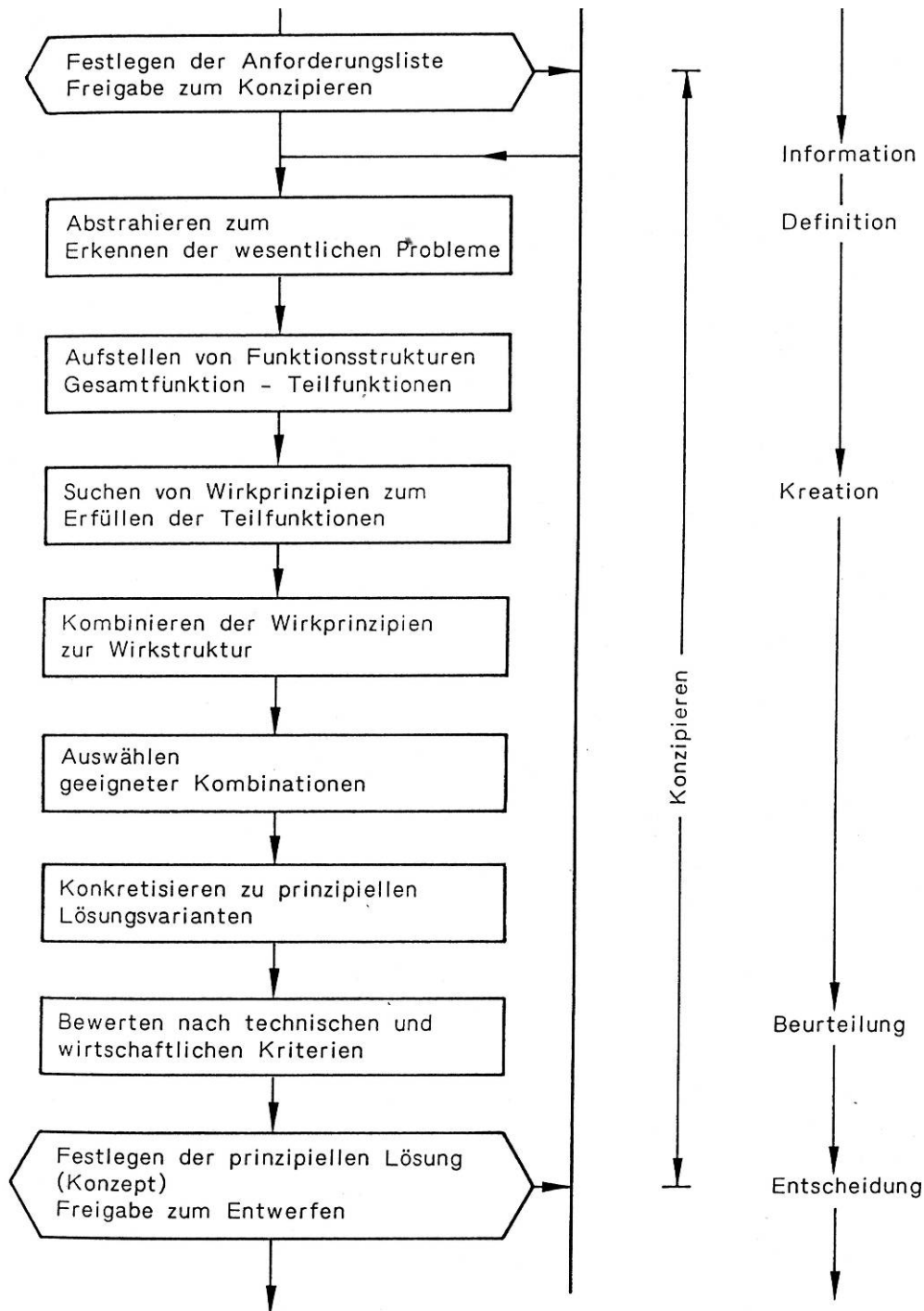
Quelle: IKFF



Institut für Konstruktion und Fertigung
in der Feinwerktechnik
Prof. Dr.-Ing. W. Schinköthe

Konstruktionswettbewerb1999

Ablauf beim Konzipieren



Quelle: Pahl; Beitz
Konstruktionslehre

Abschnitt 2.3 Konzipieren



Ablauf beim Konzipieren

- Pflichtenheft / Lastenheft als Basis
- Abstrahieren, Erkennen wesentlicher Probleme der Aufgabenstellung
- Erstellen einer **Funktionsstruktur**

Gesamtfunktion klären

Ableiten von Teilfunktionen

Energie-, Stoff- und Signalumsatz definieren

Blockdarstellung der Gesamtfunktion

- Aufgliedern in Teilfunktionen niedrigerer Komplexität

Aufgliedern in Hauptflüsse, Nebenflüsse und getrennt
bearbeitbare Teilfunktionen abgrenzen.

Ablauf beim Konzipieren

- Suche nach **Wirkprinzipien** für die Teilfunktion (physikalische Effekte für Teilfunktionen:
 - erforderlicher physikalischer Effekt,
 - geometrisch stoffliche Merkmale dazu
 - grobe Geometrievorstellung
- Kombinieren der Wirkprinzipie zu mehreren Gesamtfunktionen
- Konkretisieren, Bewerten, Einschränken
 - Bewertung der unterschiedlichen Lösungsansätze,
 - Einschränkung auf ein bis zwei weiter zu verfolgende Prinzipien.

Ablauf beim Konzipieren

- Ergebnis **Prinziplösung**

Konzept, Konkretisierung auf prinzipieller Ebene,
wichtigste Eigenschaften der vorgeschlagenen Wirkstruktur
qualitativ und grob quantitativ,
Raumbedarf, Gewicht,
Lebensdauer als Orientierung,
orientierende Berechnungen mit Vereinfachungen,
erste technologische Überlegungen zu Werkstoff und
Fertigungsverfahren,
skizzenhafte Anordnungen,
gegebenenfalls auch Modellversuche,
Anschauungsmodelle, Labormuster.

Problemlösungsmethoden

intuitiv

Primäre Kreativität
(einfallsbetont, von Vorerfahrungen
und jeweiligem Horizont geprägt)

- Brainstorming
- Galeriemethode
- Methode 635
- Synektik
(bewusstes Verfremden)

diskursiv

Sekundäre Kreativität
(Analysieren, Variieren,
Kombinieren)

- Literaturrecherche
- Analyse bekannter
technischer Systeme
- Ähnlichkeitsbetrachtungen
- Messungen, Modellversuche,
Simulation
- Variieren der physikalischen
Grundzusammenhänge
- Ordnungsschemata
(morphologischer Kasten)
- Konstruktionskataloge

Bewertung von Lösungskonzepten

Bewertungsmethoden zur Eingrenzung der Varianten

Generelle Hinweise:

- Festlegen von Bewertungskriterien und –zielen als Basis.
- Festlegen einer Wichtung (unter Umständen auch ohne).
- Beurteilung der Teillösungen hinsichtlich der Erfüllung der Bewertungskriterien; qualitativ oder quantitativ oder beides.
- Gesamtwert berechnen.
- Auswahl treffen (möglichst nicht formal aufgrund der höchsten Bewertungszahl)

Wichtig:

Ungeeignete Lösungen dürfen nicht in die Bewertung einbezogen werden.
K.O.-Kriterien dazu festlegen!

Qualitative Bewertung von Lösungskonzepten

Am Beispiel der
Auswahl
einer Wirkstruktur

TU Berlin KT		AUSWAHLLISTE für <i>Stoßprüfstand</i>							Blatt: 1 Seite:	
Lösungsvariante (Lv) eintragen:		Lösungsvarianten (Lv) nach AUSWAHLKRITERIEN beurteilen:							ENTSCHEIDEN	
		(+) ja (-) nein (?) Informationsmangel (!) Anforderungsliste überprüfen Verträglichkeit gegeben Forderungen der Anforderungsliste erfüllt Grundsätzlich realisierbar Aufwand zulässig Unmittelbare Sicherheitstechnik gegeben Im eigenen Bereich bevorzugt <i>Erkenntnisstand ausreichend</i> Bemerkungen (Hinweise, Begründungen)							Lösungsvarianten (Lv) kennzeichnen: (+) Lösung weiter verfolgen (-) Lösung scheidet aus (?) Information beschaffen (Lösung erneut beurteilen) (!) Anforderungsliste auf Änderung prüfen	
Lv	A	B	C	D	E	F	G		Entscheidung	
V ₁	1	+	?	+	+	?	-	-	<i>Auslegung steuerbarer Bremsen probl.</i>	+
V ₂	2	+	+	+	+	+	+	+		+
V ₃	3	+	+	+	+	+	+	+		+
V ₄	4	+	+	+	?	+	-	+	<i>Leistungshydraulik noch nicht eingesetzt</i>	+
V ₅	5	+	?	+	-	+	-	-	<i>Keine Erfahrungen mit Linear motoren</i>	-
V ₆	6	+	?	+	?	+	-	?	<i>Leistungsbedarf für Magnet zu groß</i>	-
V ₇	7	+	?	+	-	+	-	?	<i>Keine Erfahrungen mit Thyristorsteuerg</i>	-
	8									

Quelle: Pahl; Beitz
Konstruktionslehre



Bewertung von Lösungskonzepten

Bewertungsmethoden

Vorgehen	Nutzwertanalyse / Gebrauchswertanalyse	VDI 2225
Kriterien auch hierarchisch durchstrukturiert	$W_1 \dots W_n$	$p_1 \dots p_n$
Beurteilung der jeweiligen Kriterien mit einem Punktesystem	$W_i = 1 \dots 10$	$p_i = 0 \dots 4$
Wichtung mit Wichtungsfaktoren	q_i (ungewichtet $q_i = 1$)	q_i (ungewichtet $q_i = 1$)
	Oft werden q_i so gewählt, dass $\sum q_i = 1$ gilt.	
Gewichteter Wert	$q_i W_i$	$q_i p_i$
Gesamtwert	$G_W = \sum q_i W_i$	$G_W = \sum q_i p_i$
Wertigkeit / relativer Gesamtwert bezogen auf die Maximalpunktzahl.	$W = \frac{G_W}{\sum q_i W_{\max}} = \frac{\sum q_i W_i}{W_{\max} \sum q_i}$	$W = \frac{G_W}{\sum q_i p_{\max}} = \frac{\sum q_i p_i}{p_{\max} \sum q_i}$

2.4 Entwerfen



Entwerfen

Entwurfsphase zur gestalterischen Festlegung des oder der Lösungsprinzipe. Inhalte dieser Phase sind:

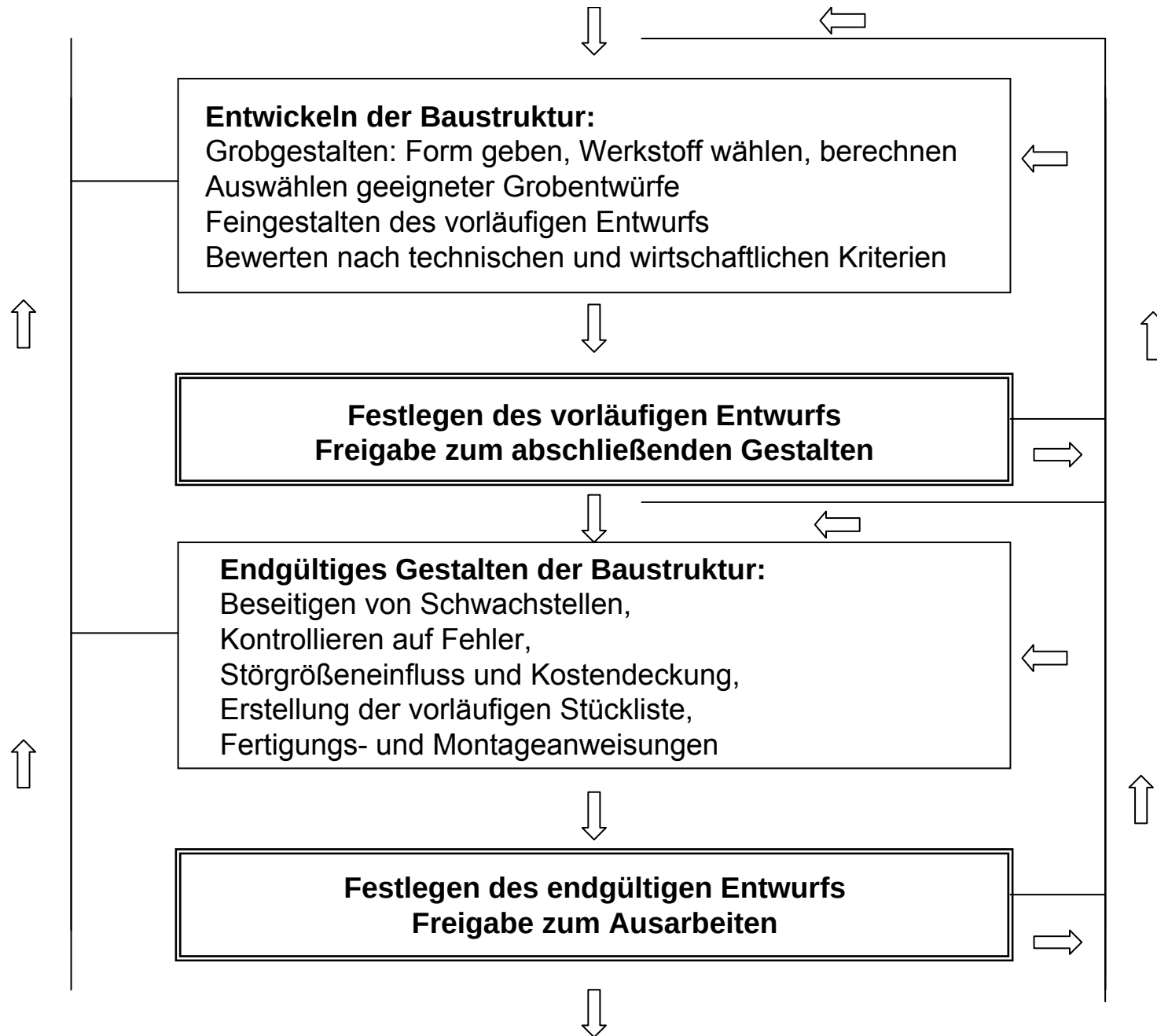
- Geometriefestlegung
- Werkstoffauswahl
- Berechnungen
- Montage-, Sicherheits-, Ergonomie- und Kostenkriterien sicherstellen
- Grob-Gestaltung der Hauptfunktionsträger und dessen Baustruktur und Gestalt
- Gestaltung der Nebenfunktionsträger

Entwurfsphase, weitere Aspekte:

- Nach **Grobgestaltung** der **Haupt- und Nebenfunktionsträger** erfolgt eine **Feingestaltung** des Gesamtentwurfs
- Technische und ökonomische Bewertungen zum Entwurf
- Abschluss ist ein Gesamtentwurf der Lösung.

Es folgt also ein Übergang

vom Qualitativen	→	zum Quantitativen
vom Abstrakten	→	zum Konkreten
von der Grobgestalt	→	zur Feingestalt



Ablauf eines Entwurfes:

1. Wesentliche gestaltbestimmende Anforderungen festlegen (Bewegungen, Funktionen, Leistung, Ergonomie, ...)
2. Räumliche Anordnung (Abstände, Einbaugrenzen)
3. Grobgestalt der Baustruktur (ausgehend von Hauptfunktionsträgern Bauraum klären, vorläufige Werkstoffwahl)
4. Grobgestaltung der Hauptfunktionsträger (räumlich, maßlich, Festlegen von Teilzonen für Teilfunktionen und Nebenfunktionsträger).
5. Beurteilung des vorläufigen Entwurfes / Eingrenzung auf einen.
6. Nebenfunktionen realisieren.
7. Feingestaltung der Hauptfunktionsträger (notwendige Einzelheiten festlegen, Berechnungen, Versuche, Vorschriften, Normen).
8. Feingestaltung der Nebenfunktionsträger.
9. Bewerten, Auswählen, bis ein einziger Gesamtentwurf entsteht.
10. Schwachstellen analysieren, optimieren, kontrollieren.
11. Erstellen einer vorläufigen Stückliste, vorläufige Fertigungs- und Montageanweisung für den Gesamtentwurf.
12. Freigabe des Gesamtentwurfs zum Ausarbeiten.

Problemfelder beim Entwerfen/Gestalten

- Funktion hat Primat, realisiere Funktion eindeutig, einfach und sicher.
- Minimiere die Kosten.
- Gestalte fertigungs-, werkstoff- und montagegerecht (Kraftfluss, Stabilität, Verformungen).
- Gewährleiste Sicherheit (für Mensch und Umwelt)
sowie Zuverlässigkeit (Lebensdauer, Verfügbarkeit, Reparaturmöglichkeit)
- Berücksichtige Genauigkeit und Federverhalten, Stabilität, Selbsthilfe;
fehlerarme Anordnung, Toleranzen, Wirkung von Verschleiß und Korrosion.
- Berücksichtige Design und Ergonomie.
- Berücksichtige Recycling und Transport.

Gerechtigkeiten

Funktion	Wird die vorgesehene Funktion erfüllt ? Welche Nebenfunktionen sind erforderlich ?
Wirkprinzip	Bringen die gewählten Wirkprinzipien den gewünschten Effekt, Wirkungsgrad und Nutzen ? Welche Störungen sind aus dem Prinzip zu erwarten ?
Auslegung	Garantieren die gewählten Formen und Abmessungen mit dem vorgesehenen Werkstoff bei der festgelegten Gebrauchszeit und unter der auftretenden Belastung ausreichende Haltbarkeit, zulässige Formänderung, genügende Stabilität, genügende Resonanzfreiheit, störungsfreie Ausdehnung, annehmbares Korrosions- und Verschleißverhalten ?
Sicherheit	Sind die Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit beeinflussenden Faktoren berücksichtigt ?
Ergonomie	Sind die Mensch-Maschine-Beziehungen beachtet ? Sind Belastungen, Beanspruchungen und Ermüdung berücksichtigt ? Wurde auf gute Formgebung (Design) geachtet ?
Fertigung	Sind Fertigungsgesichtspunkte in technologischer und wirtschaftlicher Hinsicht berücksichtigt ?
Kontrolle	Sind die notwendigen Kontrollen während und nach der Fertigung oder zu einem sonst erforderlichen Zeitpunkt möglich und als solche veranlaßt ?
Montage	Können alle inner- und außerbetrieblichen Montagevorgänge einfach und eindeutig vorgenommen werden ?
Transport	Sind inner- und außerbetriebliche Transportbedingungen und -risiken überprüft und berücksichtigt ?
Gebrauch	Sind alle beim Gebrauch oder Betrieb auftretenden Erscheinungen, wie z.B. Geräusch, Erschütterung, Handhabung in ausreichendem Maße beachtet ?
Instandhaltung	Sind die für eine Wartung, Inspektion und Instandsetzung erforderlichen Maßnahmen in sicherer Weise durchführ- und kontrollierbar ?
Recycling	Ist Wiederverwendung oder -verwertung ermöglicht worden ?
Kosten	Sind vorgegebene Kostengrenzen einzuhalten ? Entstehen zusätzliche Betriebs- oder Nebenkosten ?
Termin	Sind die Termine einhaltbar ? Gibt es Gestaltungsmöglichkeiten, die die Terminsituation verbessern können ?

Quelle: Pahl; Beitz
Konstruktionslehre

erfen



Institut für Konstruktive Fertigungstechnik
in der Feinwerktechnik
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. rer. oec. habil. Dr. rer. oec. habil.

2.5 Ausarbeiten



Ausarbeiten

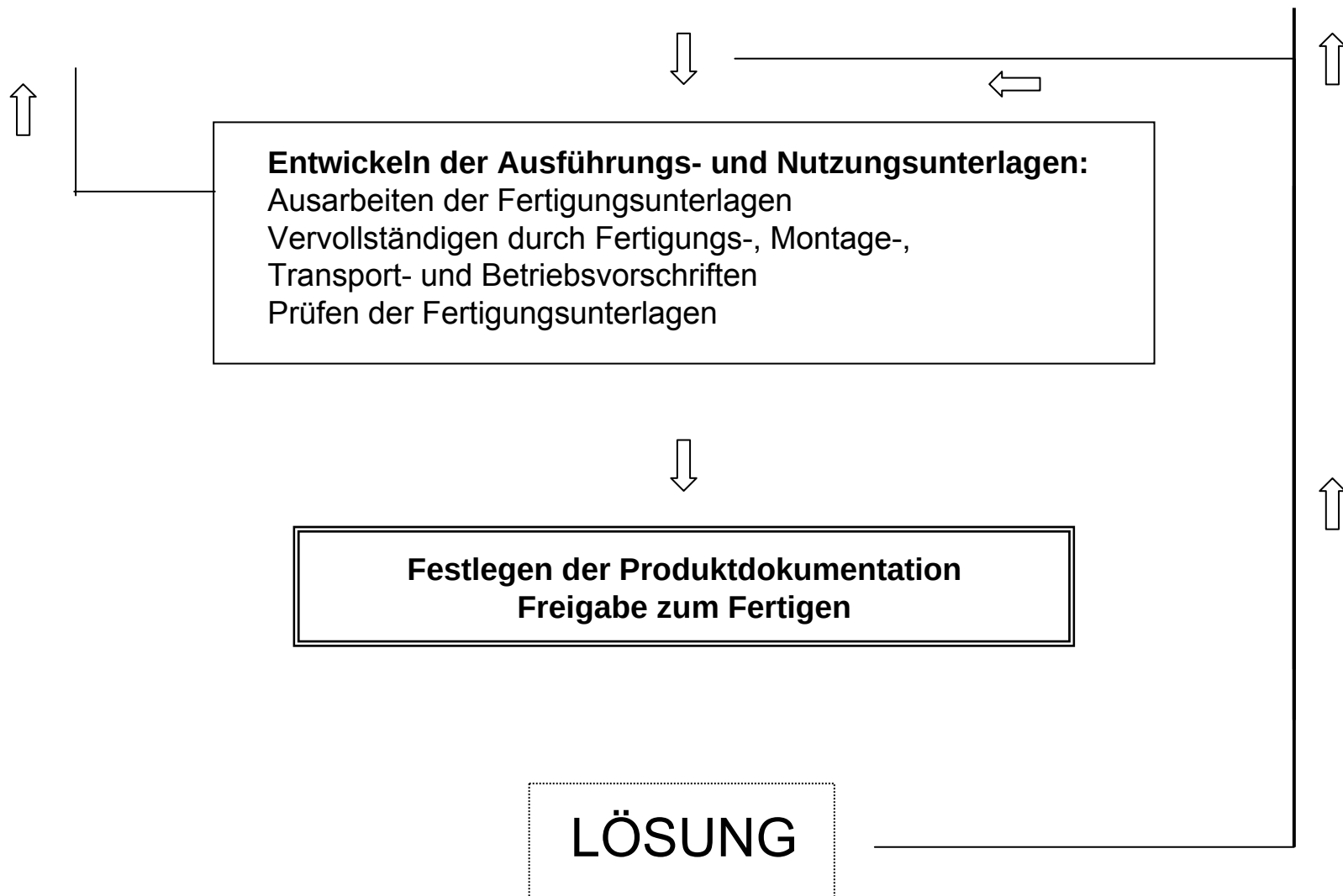
Ausarbeitungsphase zur endgültigen herstellungstechnischen Festlegung.

Ziel dieser Phase ist Festlegung aller Geometrien, Werkstoffe, Fertigungs-, Montage-, Prüfverfahren, Oberflächen und Toleranzen.

Ergebnis ist die **vollständige Fertigungsdokumentation** vom Zeichnungssatz bis zur Serviceanleitung:

- **Zeichnungssatz** (Einzelteil-, Gruppen-, Zusammenbauzeichnungen, Stücklisten)
- **Vorschriftensatz** (Fertigungs-, Montage-, Transport-, Prüfvorschriften)
- **Anleitungen** (Bedienungs-, Serviceanleitung)

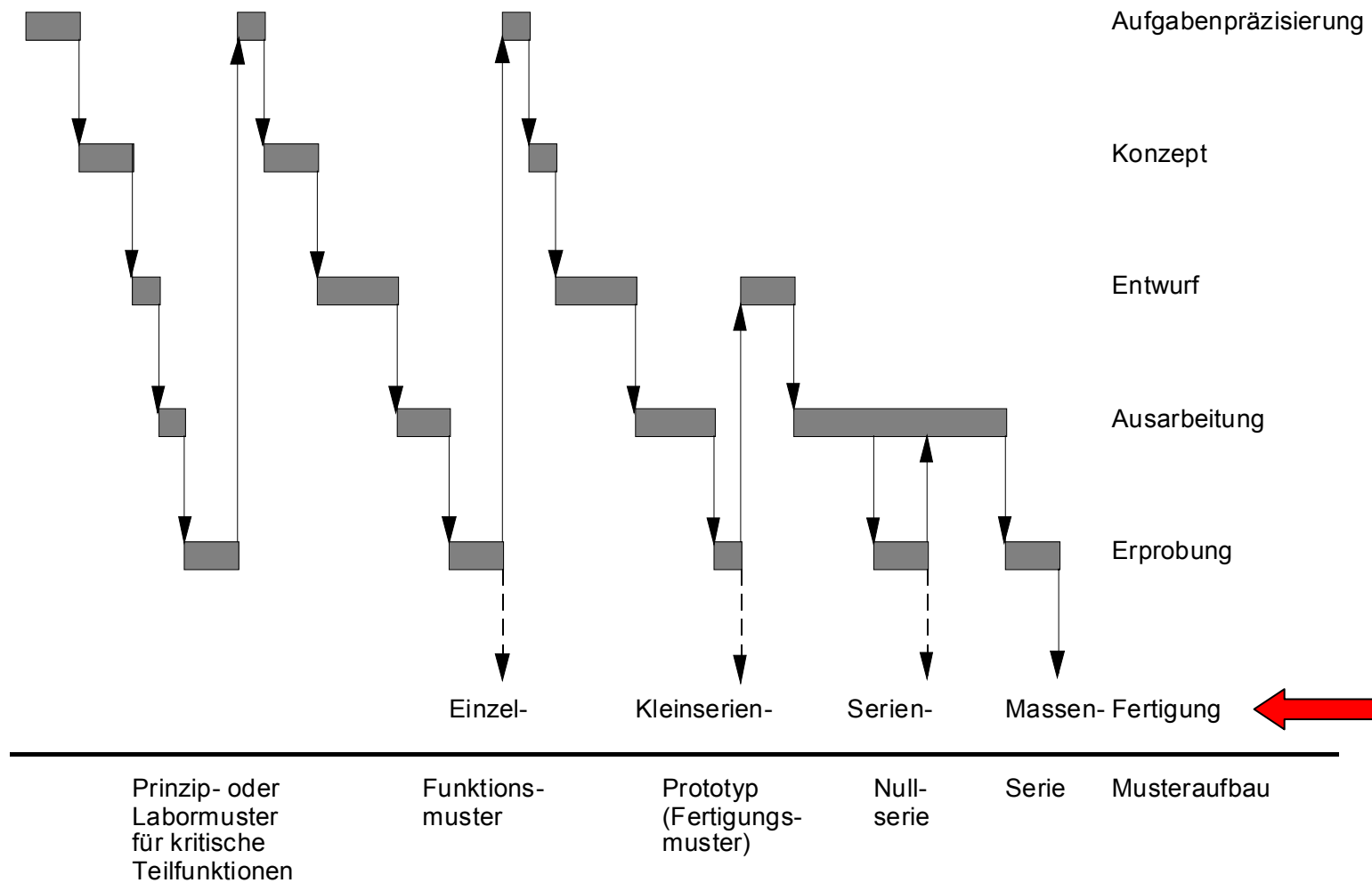
Abschließend erfolgt die **Freigabe zur Produktion**.



Betreuung der Konstruktion und Entwicklung

Wenngleich die Produktdokumentation den Abschluss der Entwicklung verdeutlicht, sollte nicht vergessen werden, dass auch die **Fertigungsbetreuung**, der ständige **Änderungsdienst** und damit verbundene Überarbeitungen von den jeweiligen Konstrukteuren mit zu vertreten sind.

Typischer zeitlicher Ablauf einer umfangreichen Entwicklung



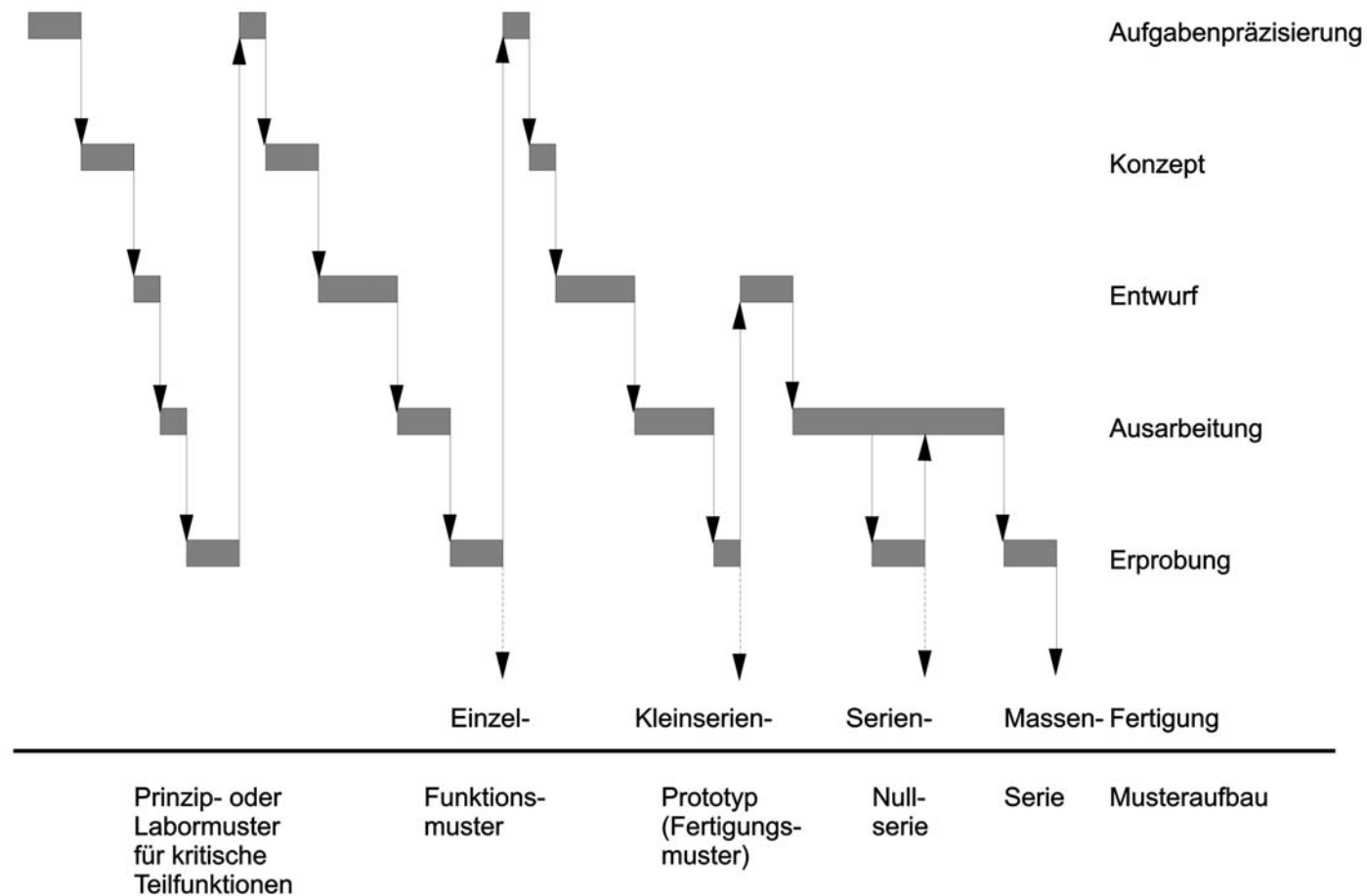
2.6 Ergänzende Hinweise



Ergänzende Hinweise

VDI 2221 zeigt eine lineare Abfolge der einzelnen Phasen. In der Realität sind Rücksprünge erforderlich und Erprobungsphasen. Ein typischer zeitlicher Ablauf einer Entwicklung sieht deshalb wie nachfolgend dargestellt aus:

Typischer zeitlicher Ablauf einer umfangreichen Entwicklung



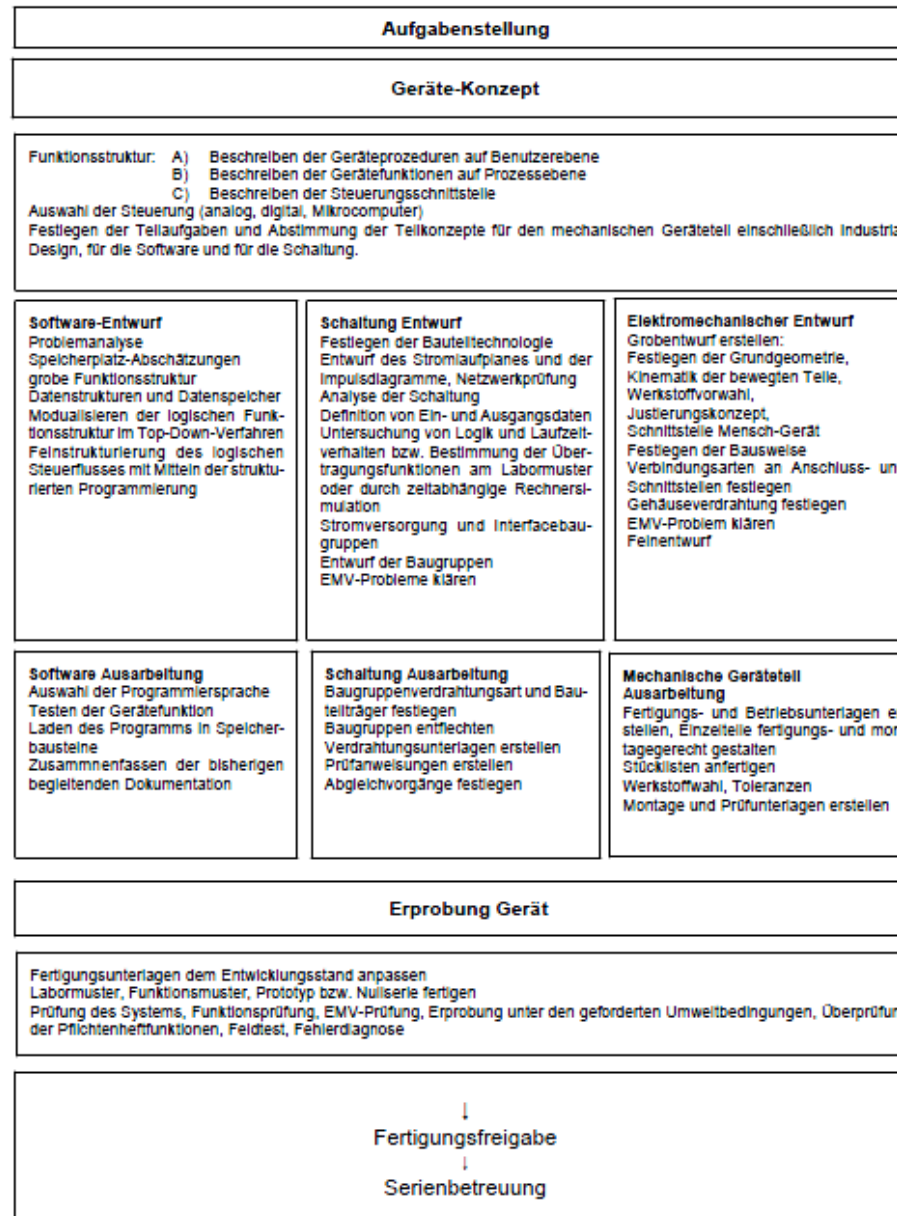
Weitere Richtlinien zur Entwicklungsmethodik

Neben der VDI Richtlinie 2221 haben sich etabliert:

- VDI / VDE Richtlinie 2422 Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik
- VDI 2206 Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme

Nachfolgend werden die wesentlichsten Aspekte beider Richtlinien dargestellt.

Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik



Aufgabenstellung

Geräte-Konzept

Funktionsstruktur: A) Beschreiben der Geräteprozeduren auf Benutzerebene
 B) Beschreiben der Gerätefunktionen auf Prozessebene
 C) Beschreiben der Steuerungsschnittstelle

Auswahl der Steuerung (analog, digital, Mikrocomputer)

Festlegen der Teilaufgaben und Abstimmung der Teilkonzepte für den mechanischen Geräteteil einschließlich Industrial Design, für die Software und für die Schaltung

Software-Entwurf

Problemanalyse
Speicherplatz-Abschätzungen
grobe Funktionsstruktur
Datenstrukturen und Datenspeicher
Modualisieren der logischen Funktionsstruktur im Top-Down-Verfahren
Feinstrukturierung des logischen Steuerflusses mit Mitteln der strukturierten Programmierung

Schaltungs-Entwurf

Festlegen der Bauteiltechnologie
Entwurf des Stromlaufplanes und der Impulsdiagramme, Netzwerkprüfung
Analyse der Schaltung
Definition von Ein- und Ausgangsdaten
Untersuchung von Logik und Laufzeitverhalten bzw. Bestimmung der Übertragungsfunktionen am Labormuster oder durch zeitabhängige Rechnersimulation
Stromversorgung und Interfacebaugruppen
Entwurf der Baugruppen
EMV-Probleme klären

Elektromechanischer Entwurf

Grobentwurf erstellen:
Festlegen der Grundgeometrie, Kinematik der bewegten Teile, Werkstoffvorwahl, Justierungskonzept, Schnittstelle Mensch-Gerät
Festlegen der Bauweise
Verbindungsarten an Anschluss- und Schnittstellen festlegen
Gehäuseverdrahtung festlegen
EMV-Problem klären
Feinentwurf

Software-Ausarbeitung

Auswahl der Programmiersprache
Testen der Gerätefunktion
Laden des Programms in Speicherbausteine
Zusammenfassen der bisherigen begleitenden Dokumentation

Schaltungs-Ausarbeitung

Baugruppenverdrahtungsart und Bauteilträger festlegen
Baugruppen entflechten
Verdrahtungsunterlagen erstellen
Prüfanweisungen erstellen
Abgleichvorgänge festlegen

Ausarbeitung mechanischer Geräteteil

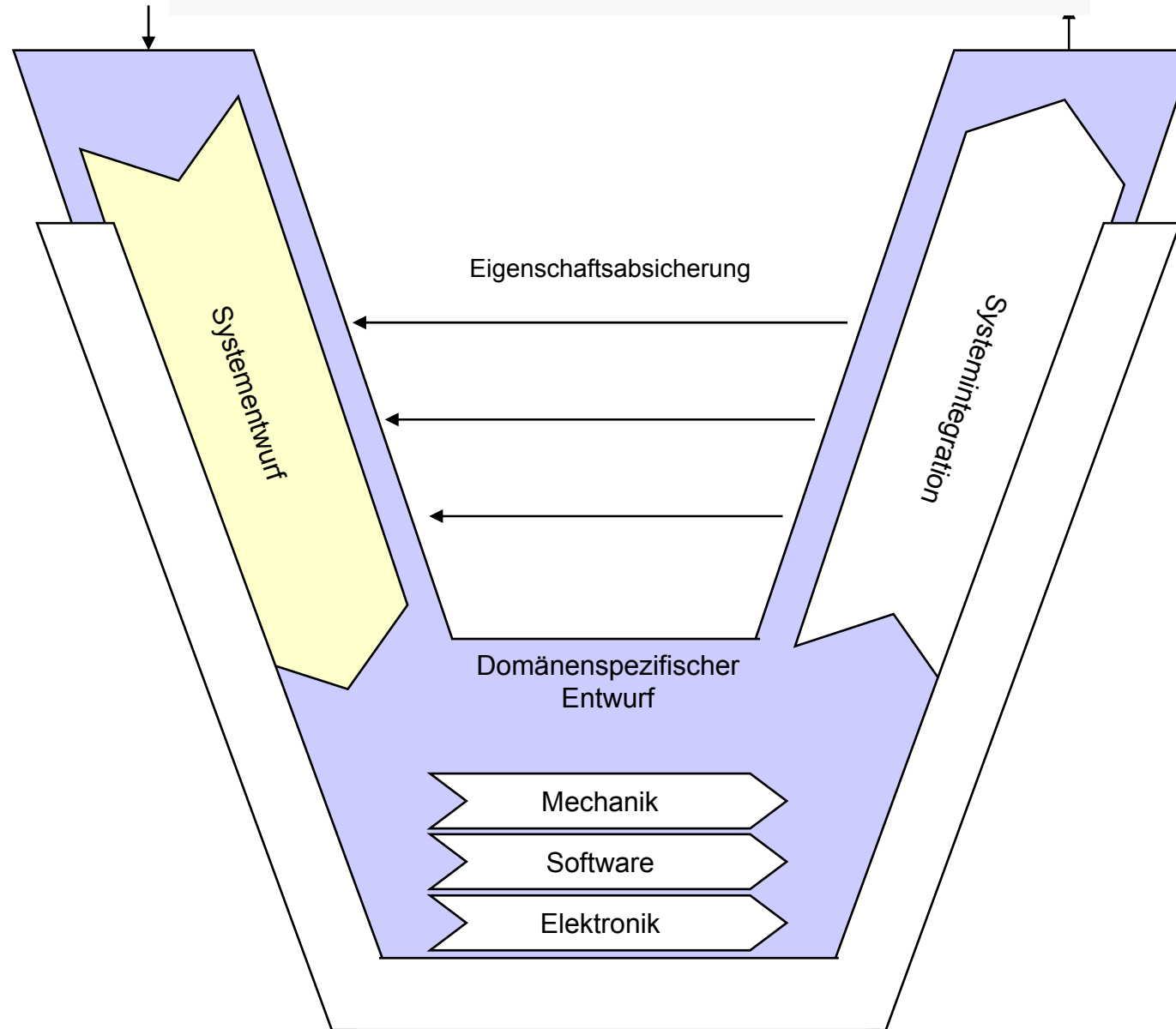
Fertigungs- und Betriebsunterlagen erstellen, Einzelteile fertigungs- und montagegerecht gestalten
Stücklisten anfertigen
Werkstoffwahl, Toleranzen
Montage und Prüfunterlagen erstellen

Erprobung Gerät

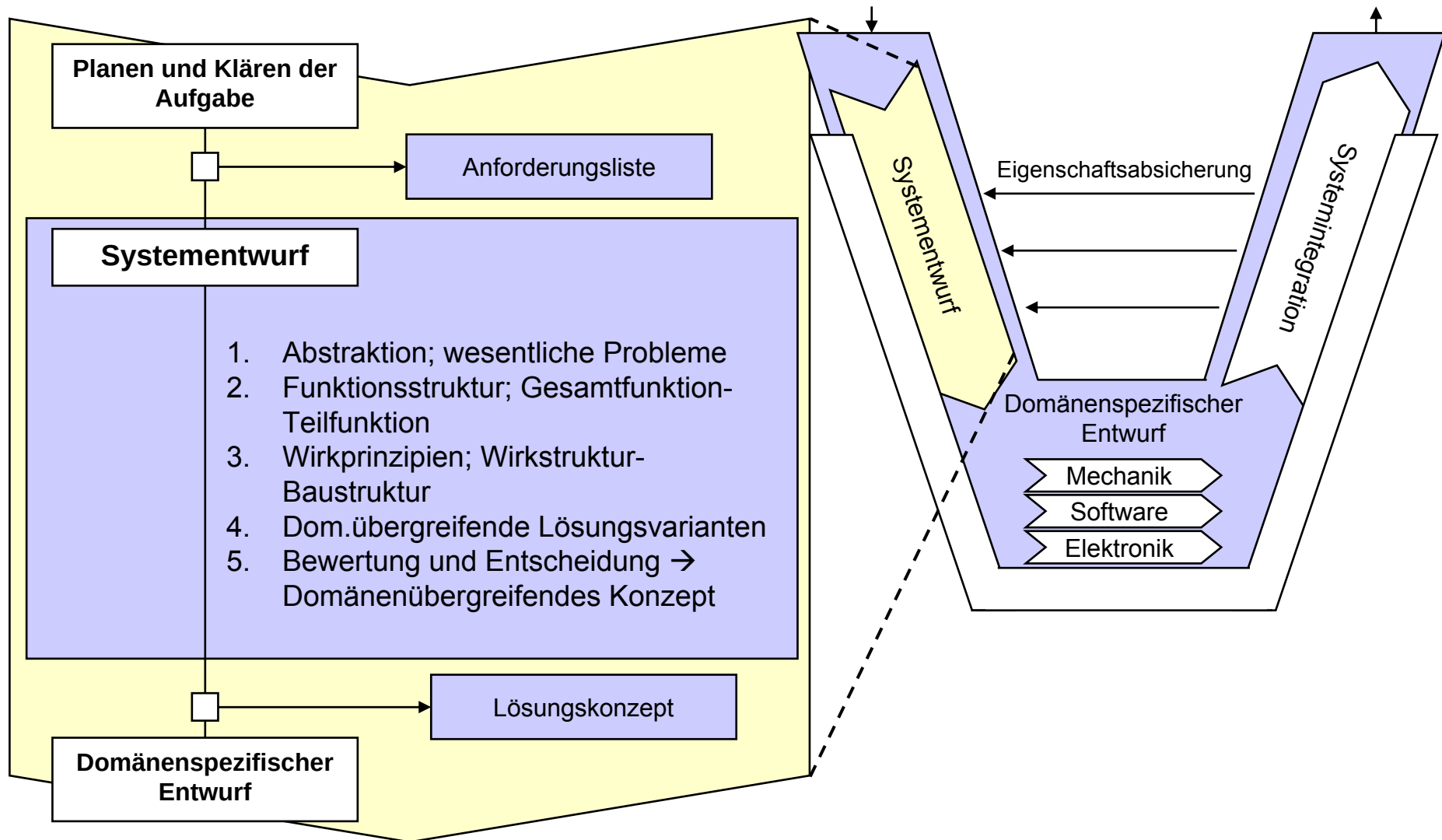
Fertigungsunterlagen dem Entwicklungsstand anpassen
Labormuster, Funktionsmuster, Prototyp bzw. Nullserie fertigen
Prüfung des Systems, Funktionsprüfung, EMV-Prüfung, Erprobung unter den geforderten Umweltbedingungen, Überprüfung der Pflichtenheftfunktionen, Feldtest, Fehlerdiagnose

↓
Fertigungsfreigabe
↓
Serienbetreuung

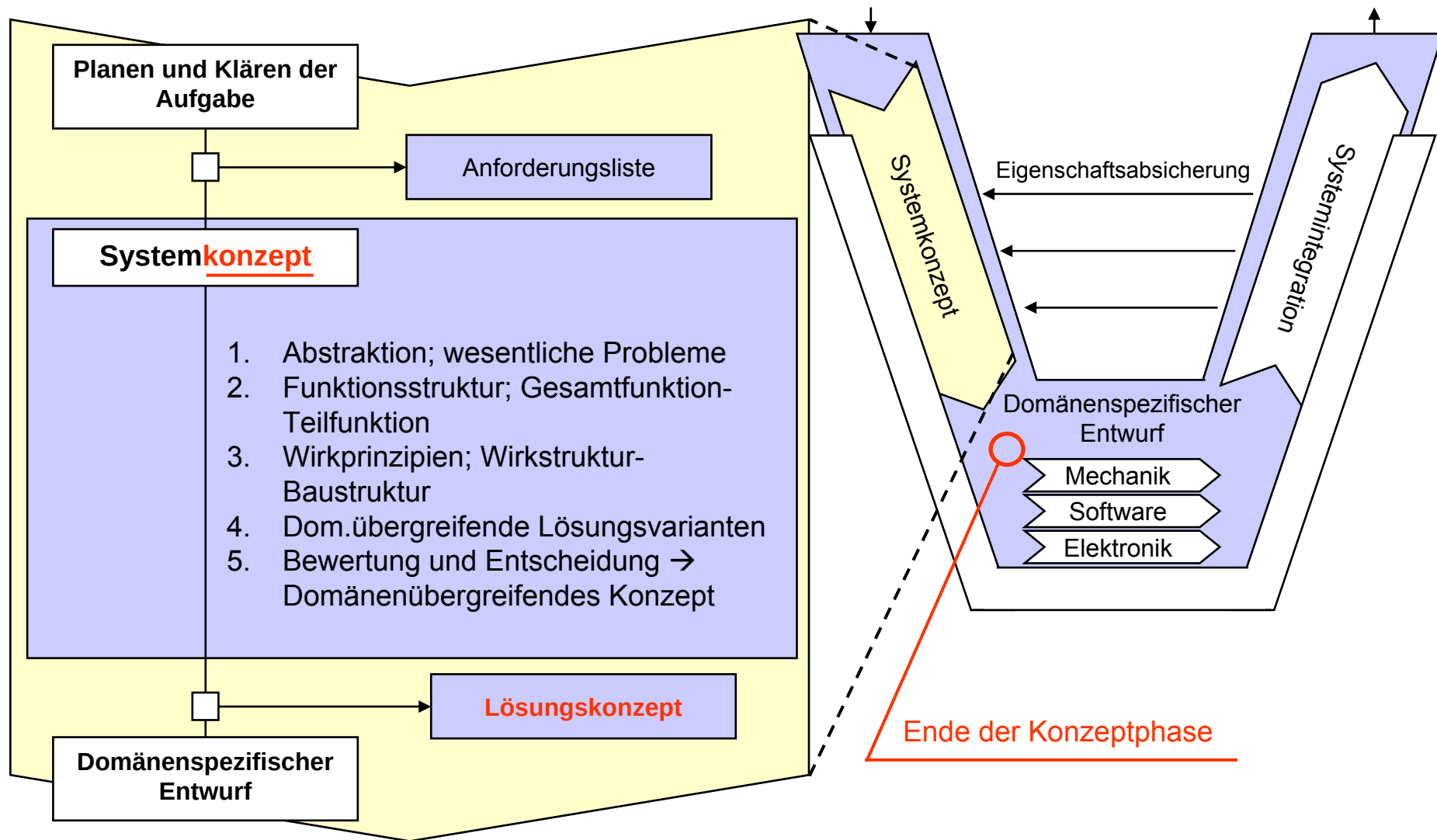
V-Modell nach VDI 2206



V-Modell nach VDI 2206



V-Modell nach VDI 2206



Zusammenfassung:

- Trotz methodischer Aufbereitung der Entwicklungen kommen von 100 Produktideen nur ca. 8 % bis zum Entwicklungsabschluss, nur 2 % führen zu gewinnbringenden Produkten.
- Nachfolgend sollen die einzelnen Maßnahmen und Inhalte in die verschiedenen Phasen der Entwicklung eingeordnet werden:
 - Beispielsweise sind Maßnahmen zum Fehlerverhalten in der Konzeptphase angeordnet
 - Maßnahmen zur Toleranzproblematik in der Ausarbeitungsphase
 - Maßnahmen zur Zuverlässigkeit häufig im Rahmen der Entwurfsphase