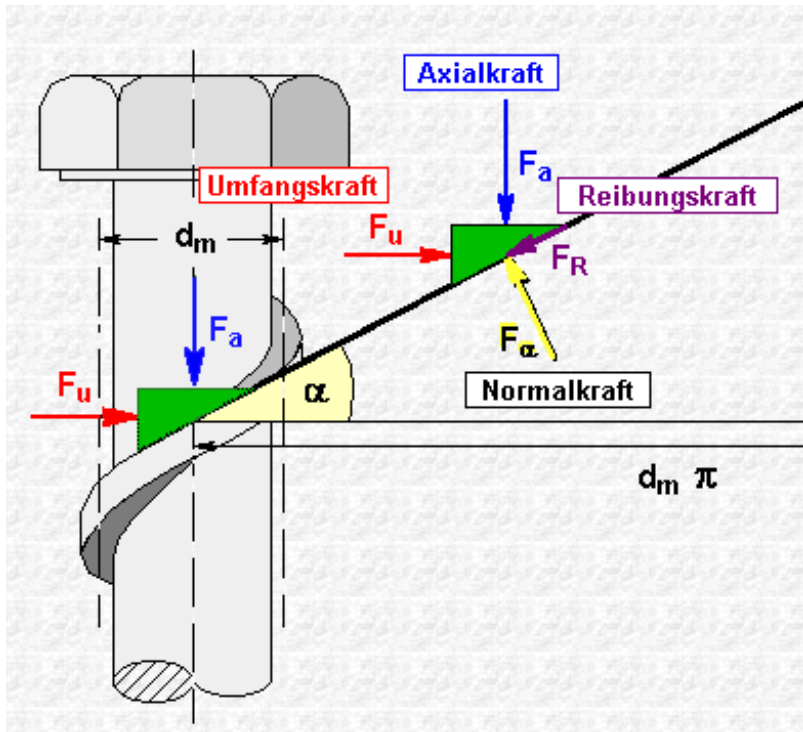
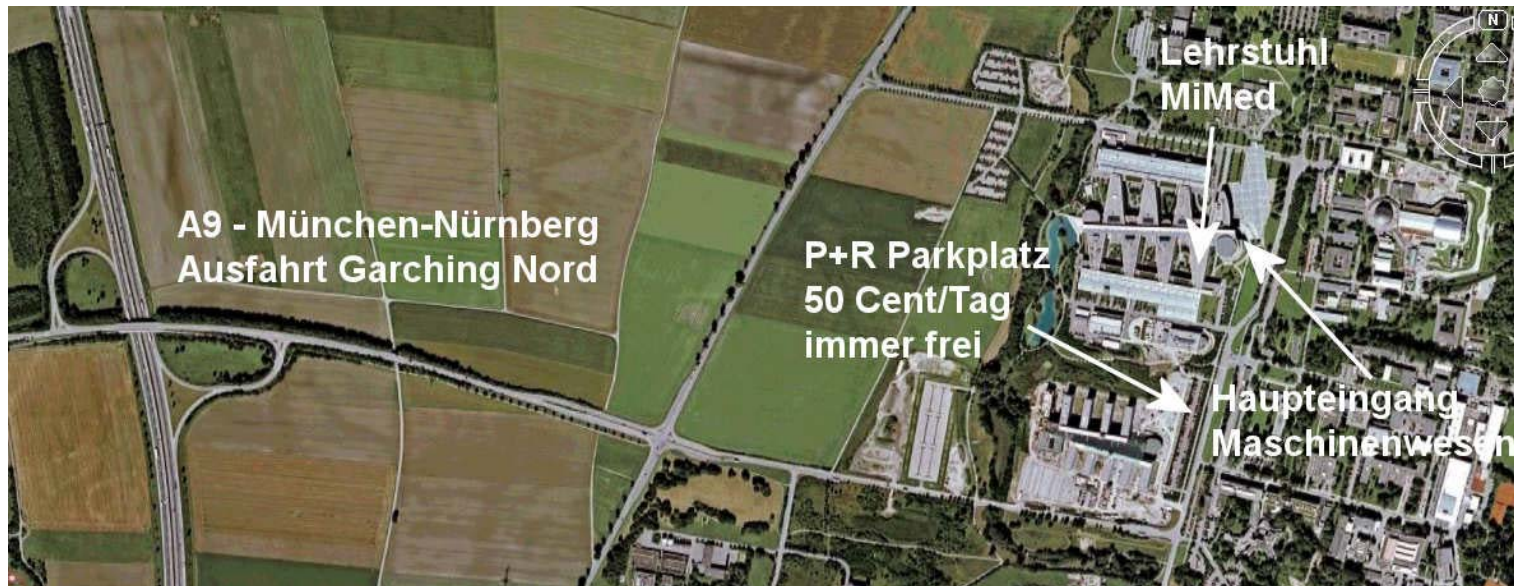


Technische Universität München
Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik
o.Prof. Dr. Tim Lüth



Vorlesung Dr.-Ing. F. Irlinger
Entwerfen und Gestalten
mechanischer Baugruppen

Kontakt zum Lehrstuhl



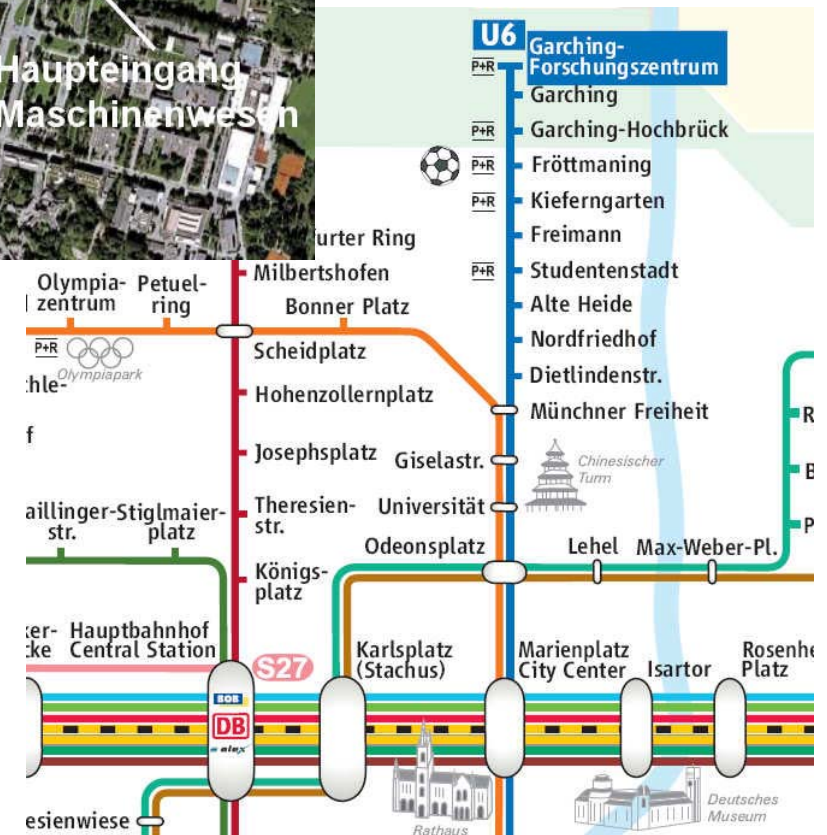
Dr. Franz Irlinger

Botzmannstr. 15, 85748 Garching

Gebäude 1 - 1. Stock - Zimmer 1106

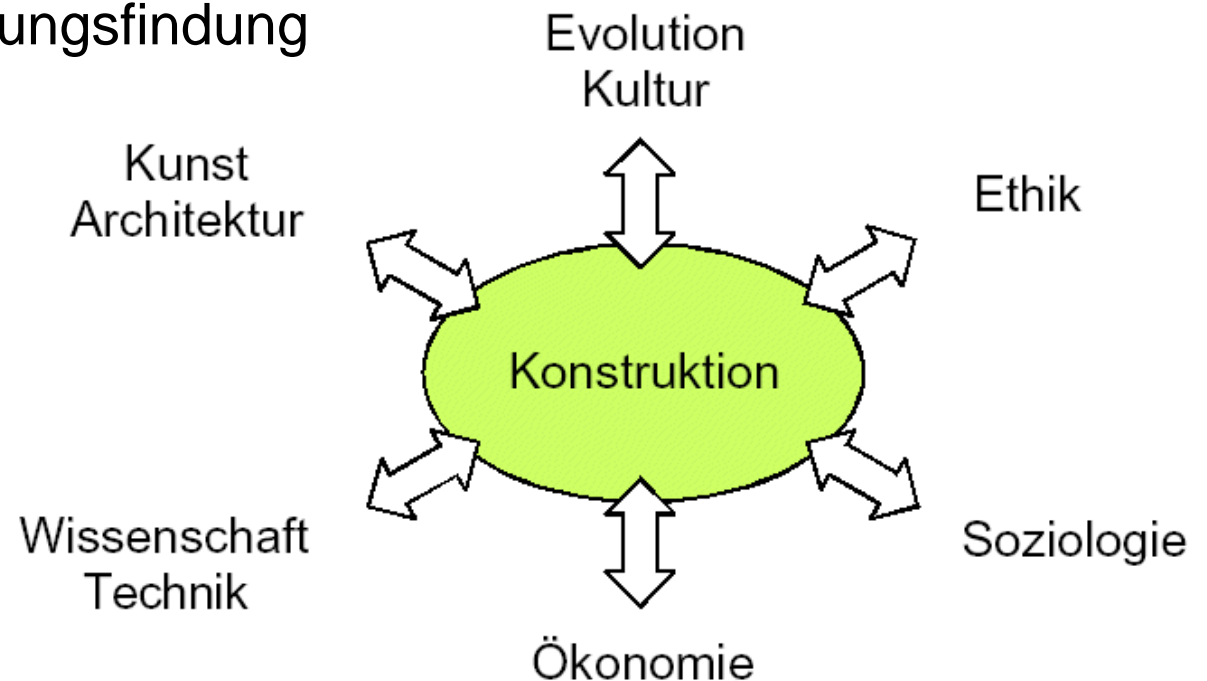
Tel.: 289-15188 - Fax: 289-15192

e-mail: irlinger@tum.de - internet: www.mimed.mw.tum.de



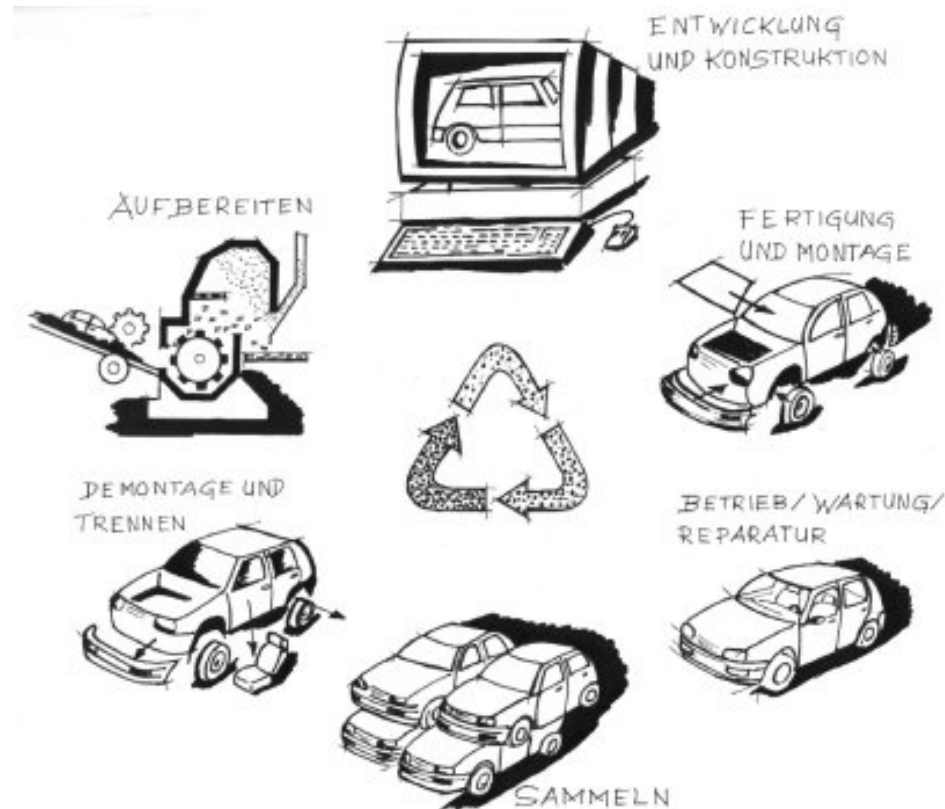
1. Konstruktionsmethodik

- Was ist Konstruieren: Arten von Konstruktionen
- Zweck der Konstruktionsmethodik
- Methodisches Vorgehen: VDI vs. Iteration
- Problemanalyse und Lösungsfindung



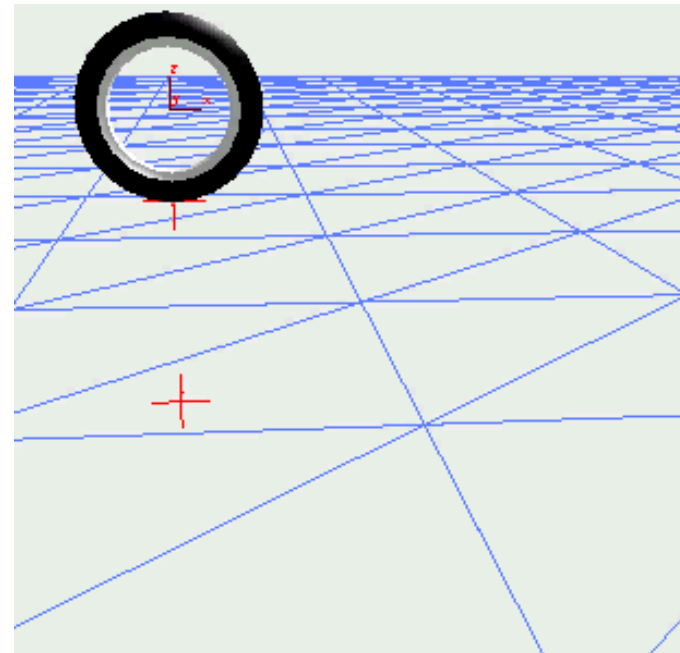
2. Anforderungen an die Konstruktion – Gestaltungsregeln

- Eindeutigkeit: Kraftfluß, Überbestimmung
- Belastungsgerecht
- Werkstoffgerecht
- Fertigungsgerecht
- Montagegerecht
- Wartungsgerecht
-



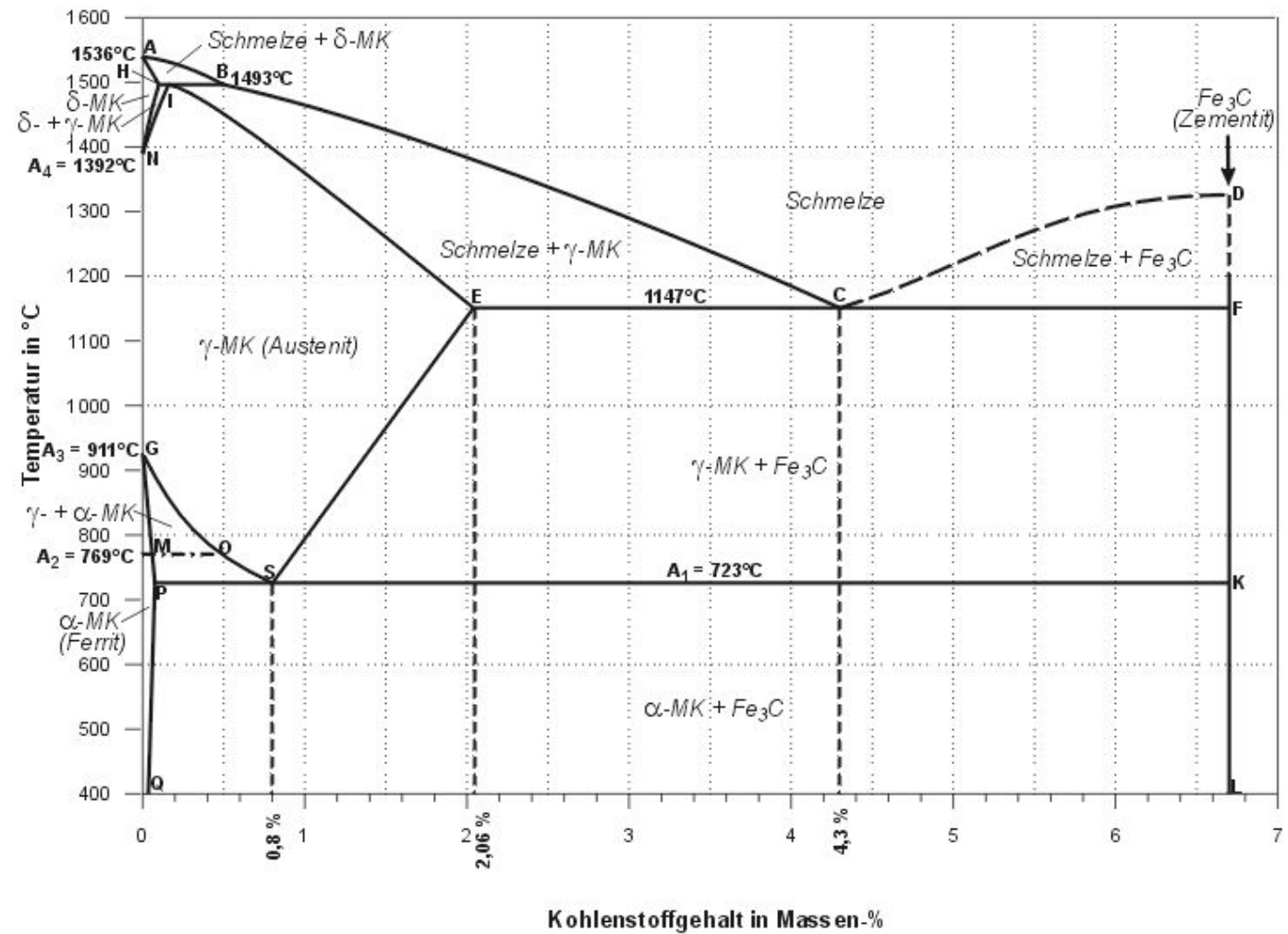
3. Hilfsmittel im Konstruktionsprozeß

- Zeichnerische Darstellung: Freihandzeichnung
- Lösungskataloge
- CAD, MKS
- Integrierte Systeme



4. Werkstoffe

- Eisenwerkstoffe
- Kunststoffe



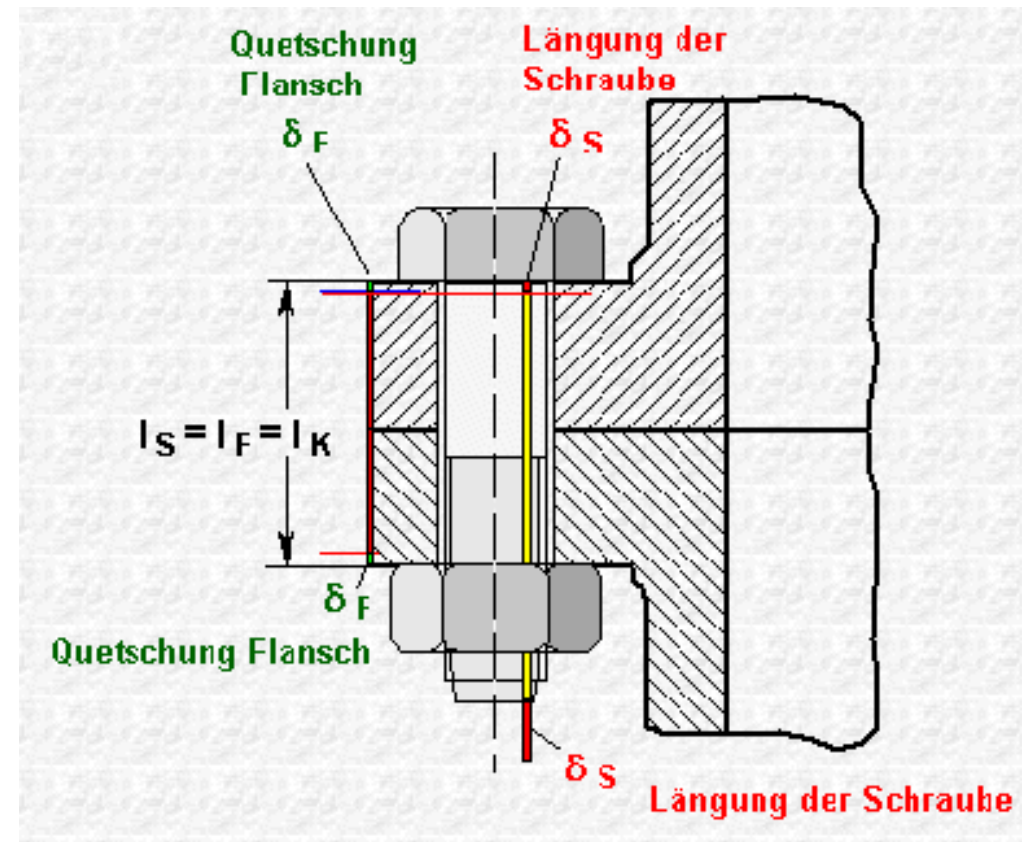
5. Fertigungstechnik

- Urformen
- Umformen
- Zerspanen, Schleifen



6. Maschinenelemente

- Lagerungen
- Kupplungen
- Federn, Schrauben



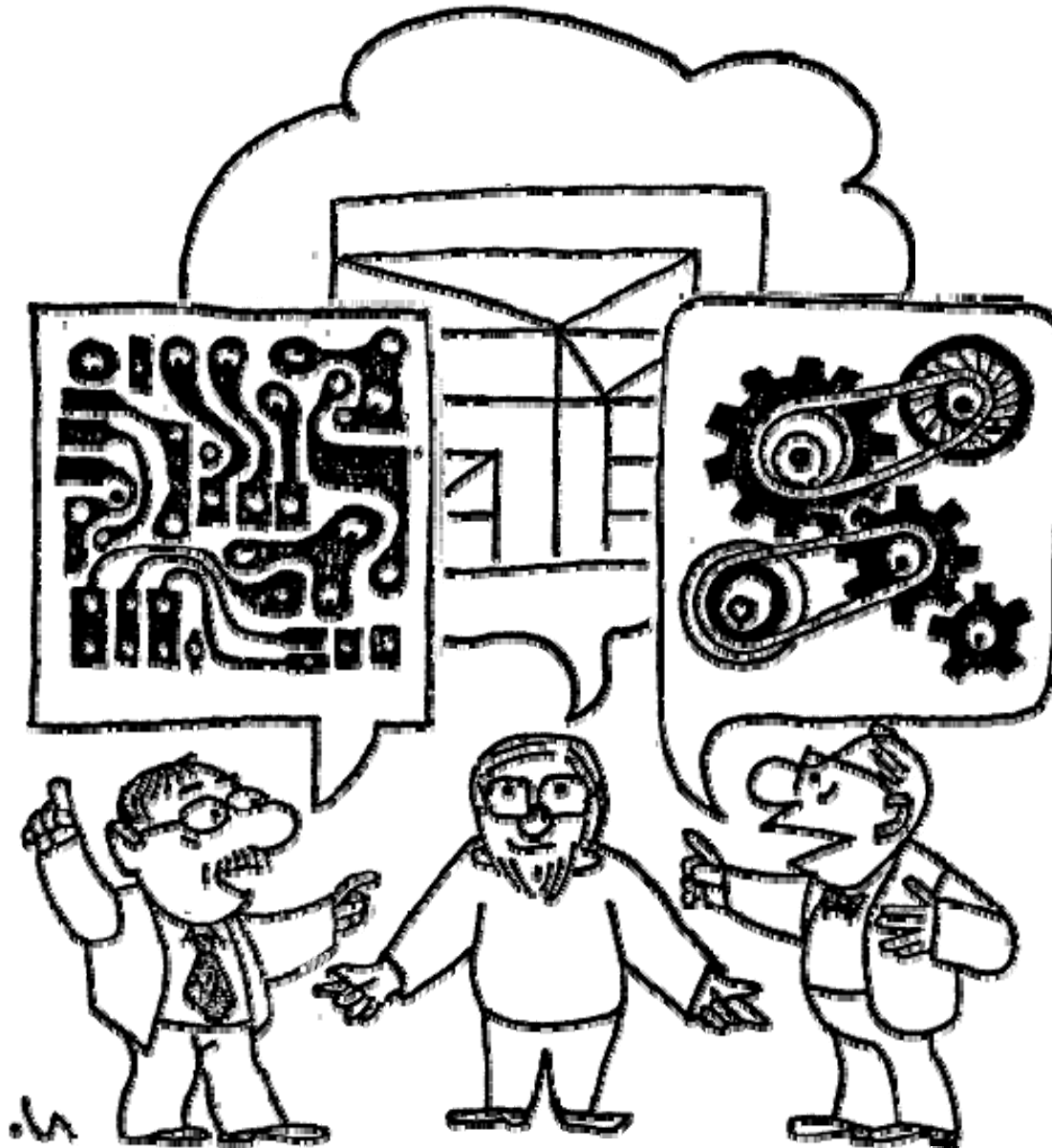
7. Getriebe

- Bewegungsaufgaben
- Getriebetypen
- Wälz, Zahnrad- und Koppelgetriebe
- Antriebe

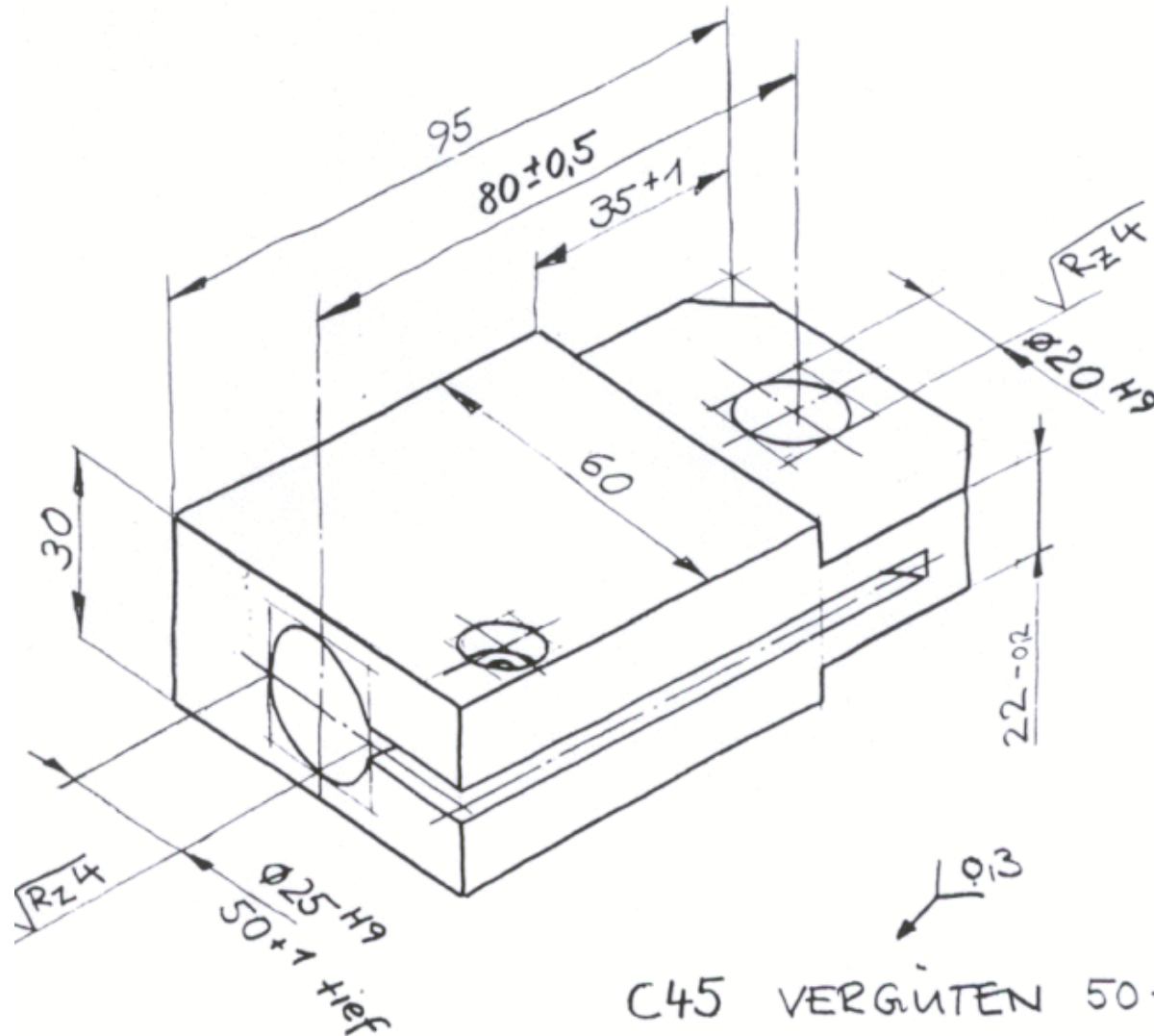


Ziele der Vorlesung

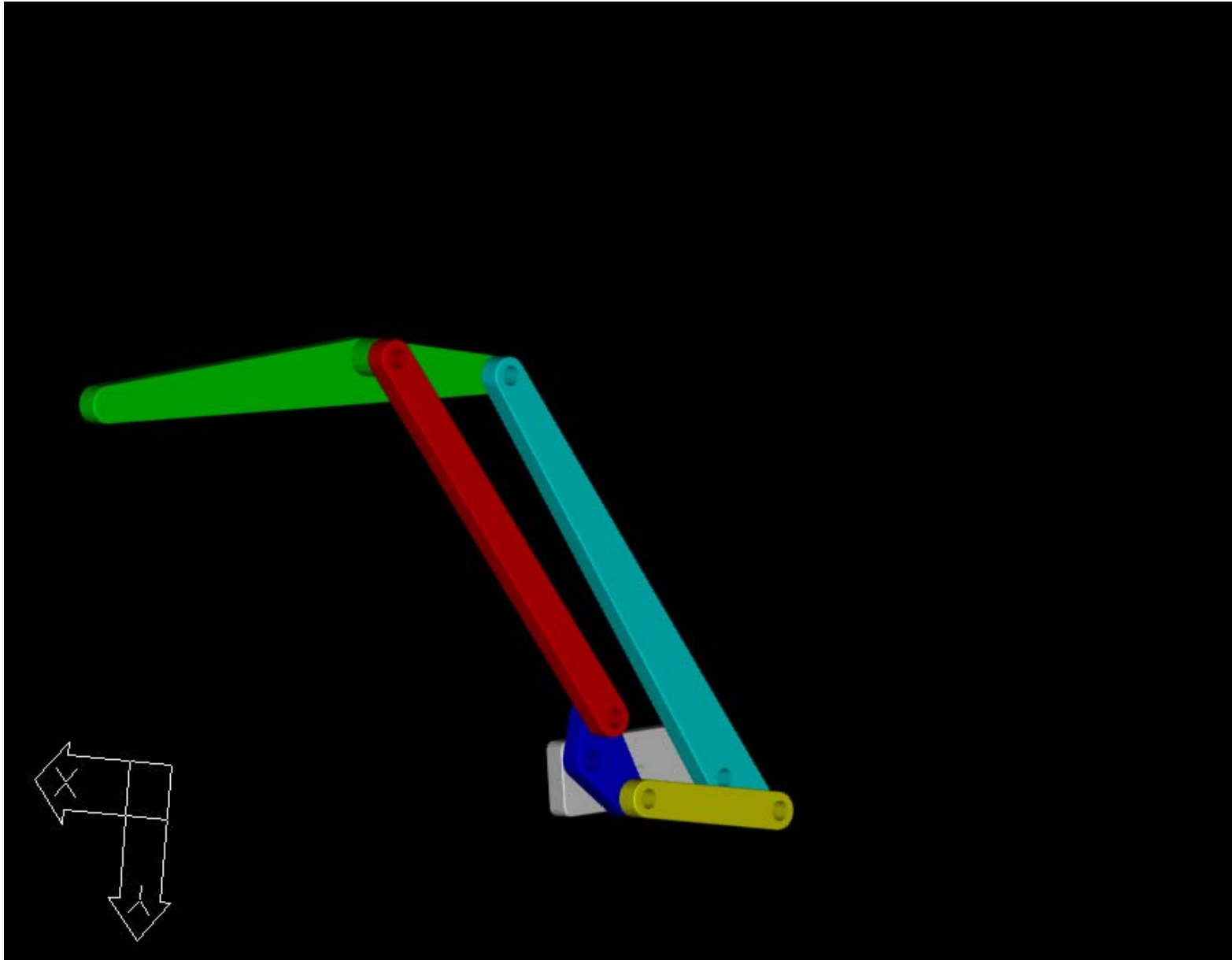
Integration
unterschiedlicher
Fachgebiete
und Verständnis
der verschiedenen
Sprachen



Ziele der Vorlesung

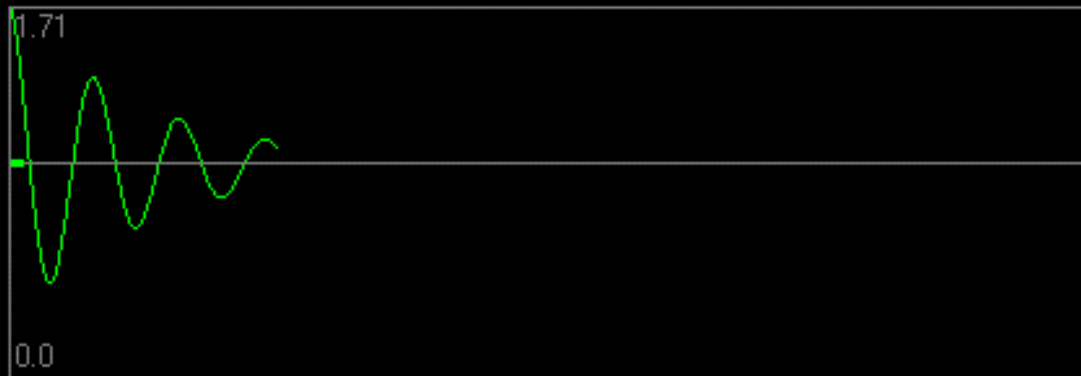


Ziele der Vorlesung

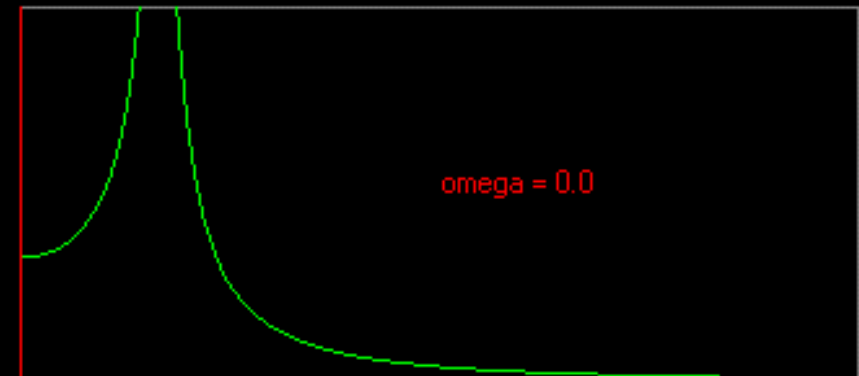


Ziele der Vorlesung

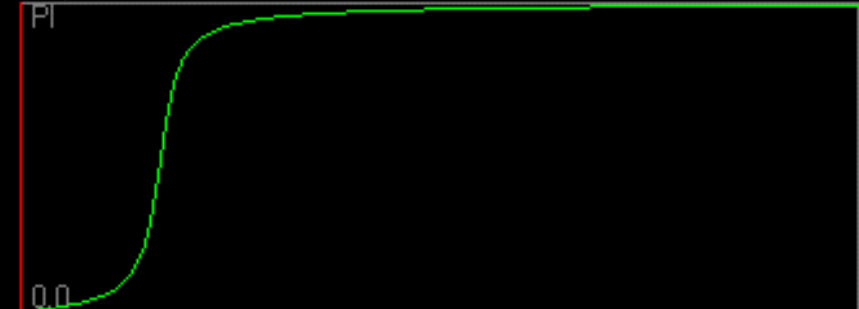
Einmassenschwinger



<http://www.zfm.ethz.ch/meca/applets/ems/ems.htm>



Amplifications



Phases

1.0

mass

0.1

damping factor

1.0

spring constant

0.75

initial displacement



nonlinear spring
(elastic collision)

0.0

frequency of
harmonic excitation

continue

reset

stop

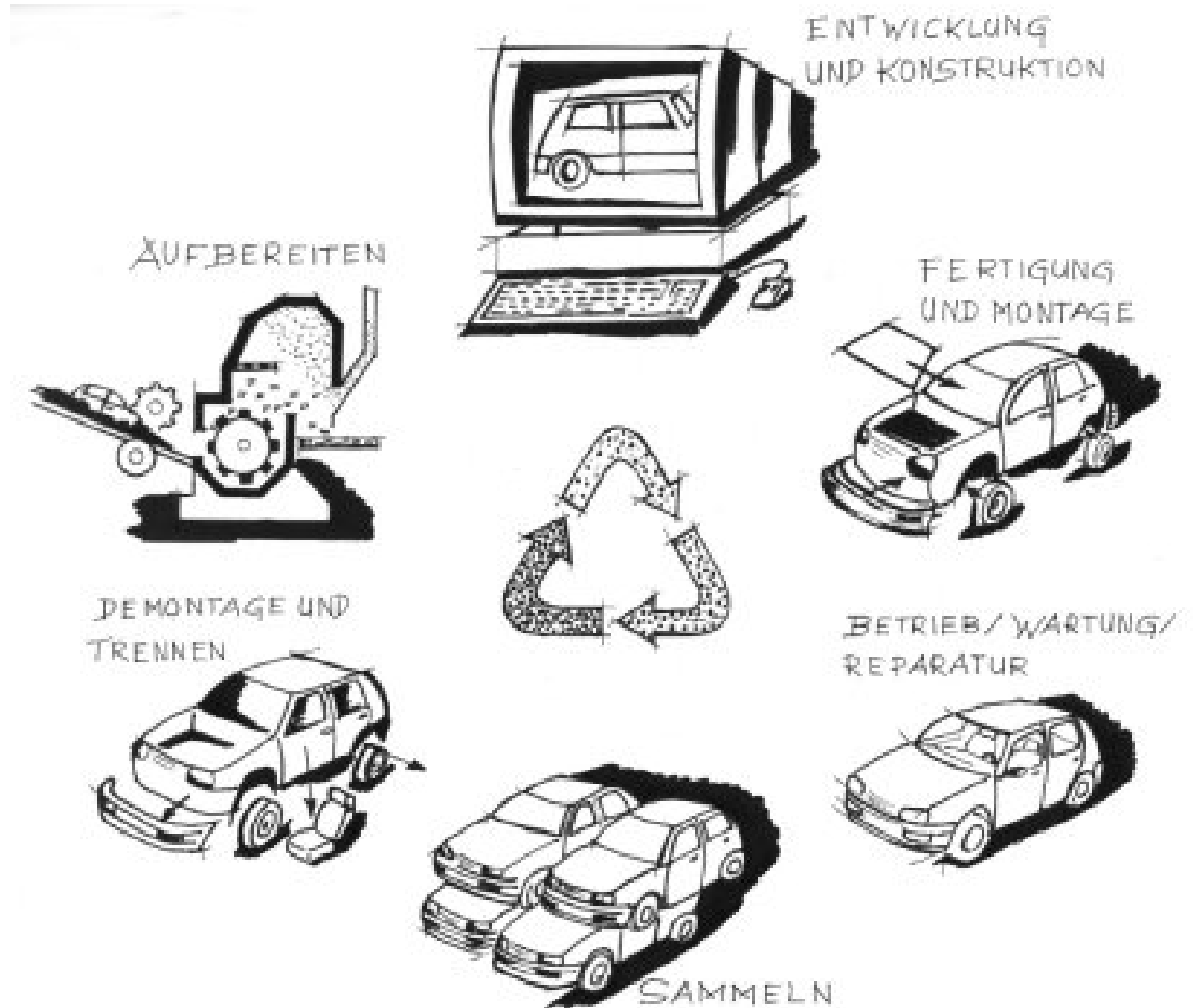
help

Bereiche der Technik

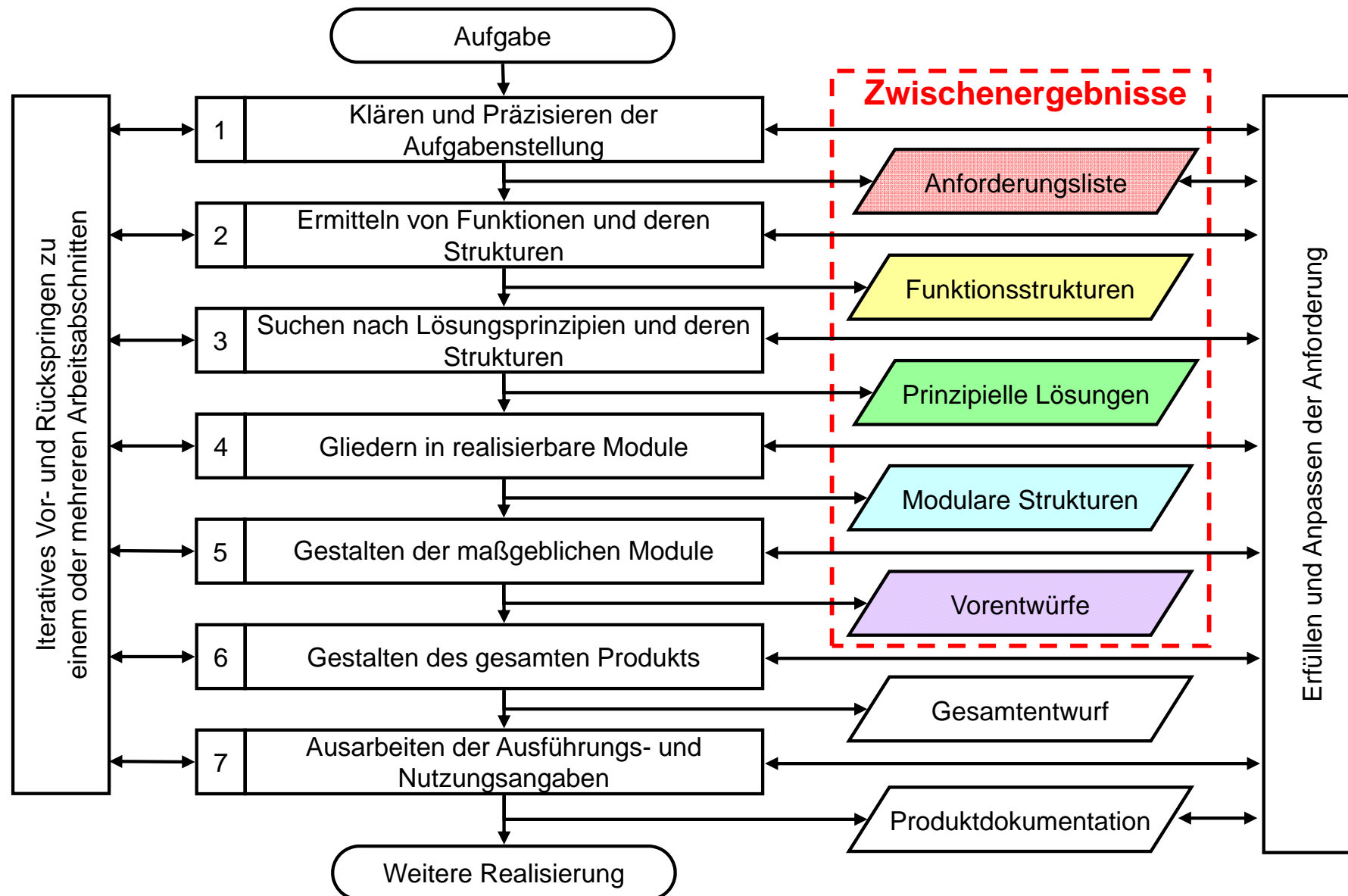
	Wandeln	Übertragen	Speichern	
Energie	Energiewandlungs- technik	Energieüber- tragungstechnik	Energiespeicher- ungstechnik	Maschinen
Stoff	Verfahrenstechnik Fertigungstechnik	Fördertechnik Verkehrstechnik	Lagertechnik	Apparate
Information	Meß-, Steuer- und Regelungstechnik Datenverarbeitung	Informationsüber- tragungstechnik	Informationsspei- cherungstechnik	Geräte

Lebensphasen eines Produkts

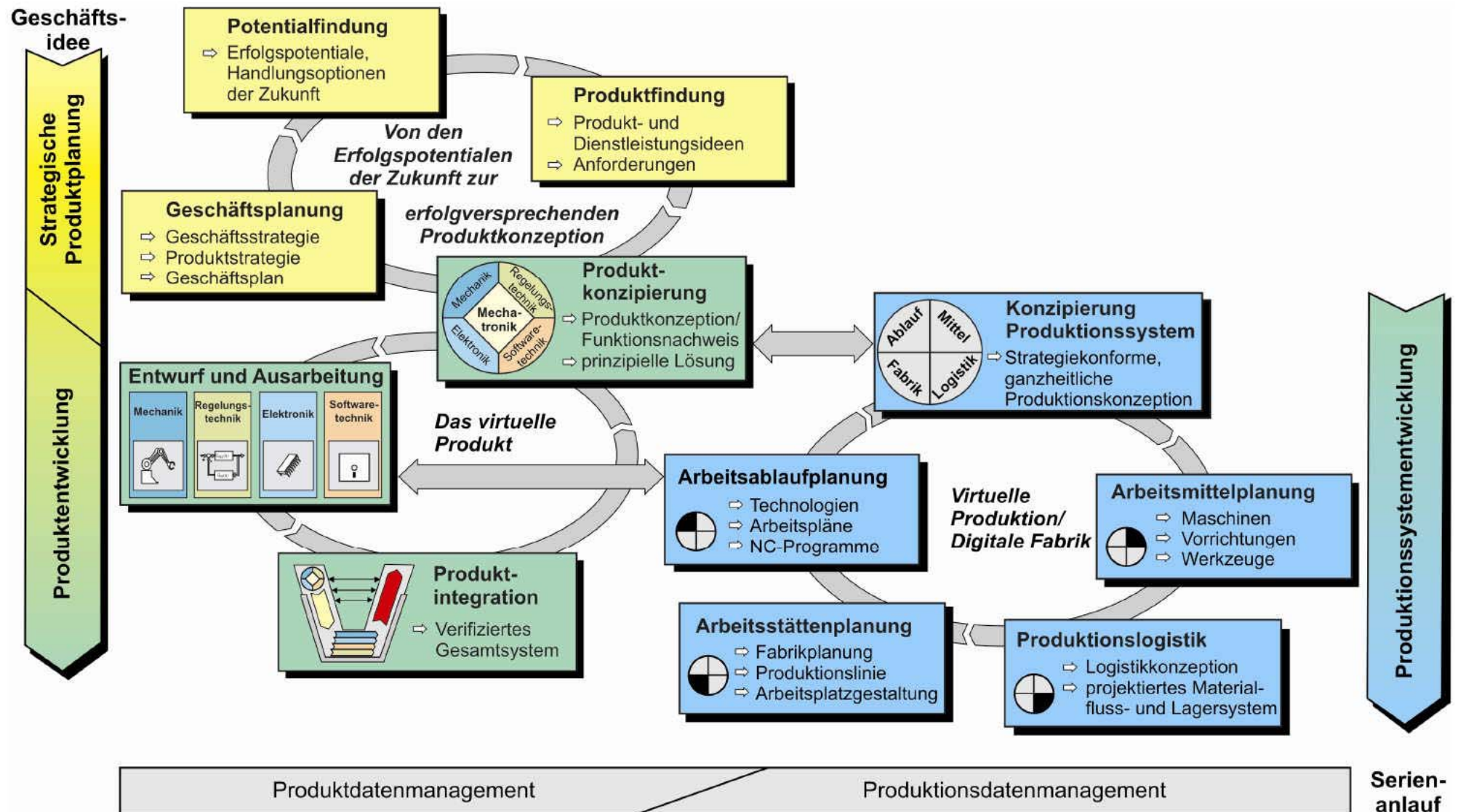
- Produktplanung
- Konstruktion
 - Aufgabenklärung
 - Konzept
 - Entwurf
 - Ausarbeitung
- Fertigung
- Vertrieb
- Benutzung des Produktes
- Entsorgung



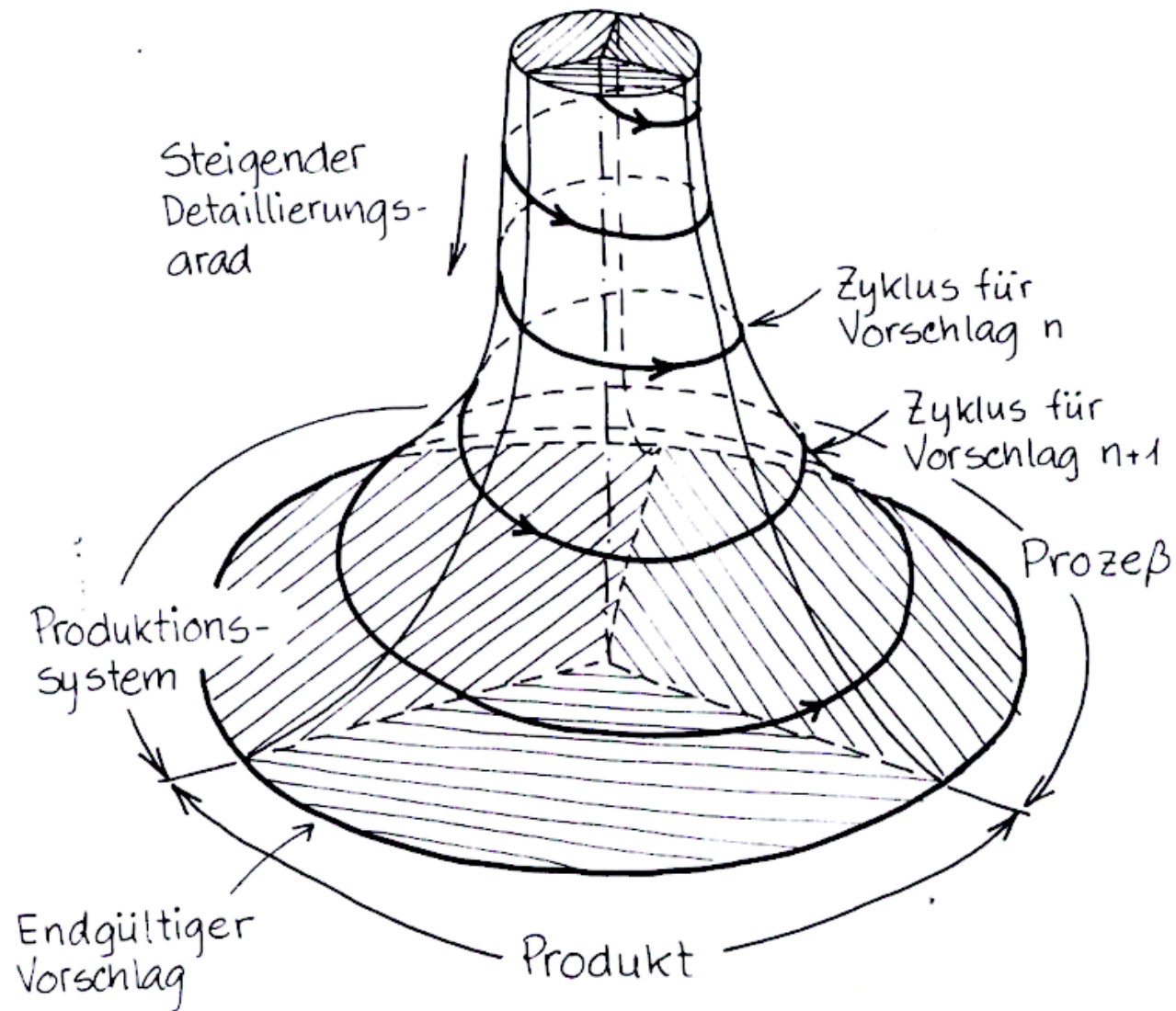
Der Konstruktionsprozess



Zyklen des Produktentstehungsprozesses



Der iterative Prozess



1. Technische Ziele

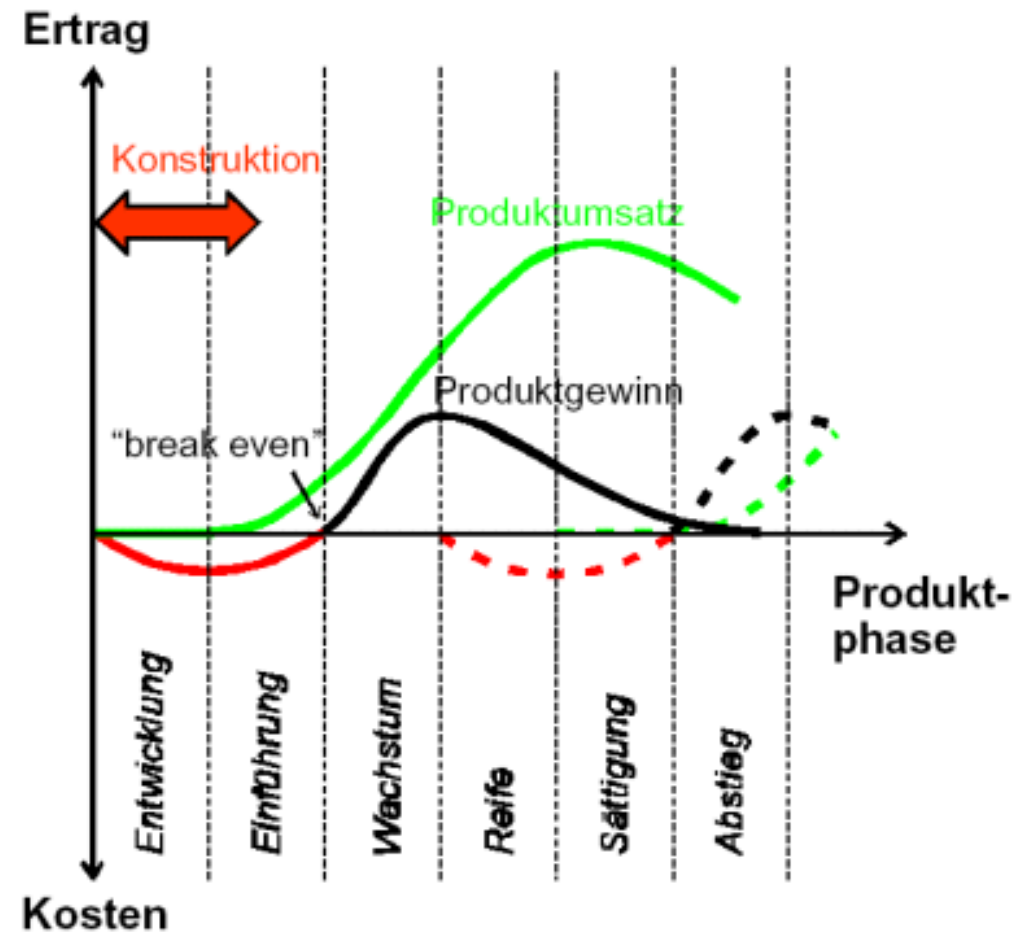
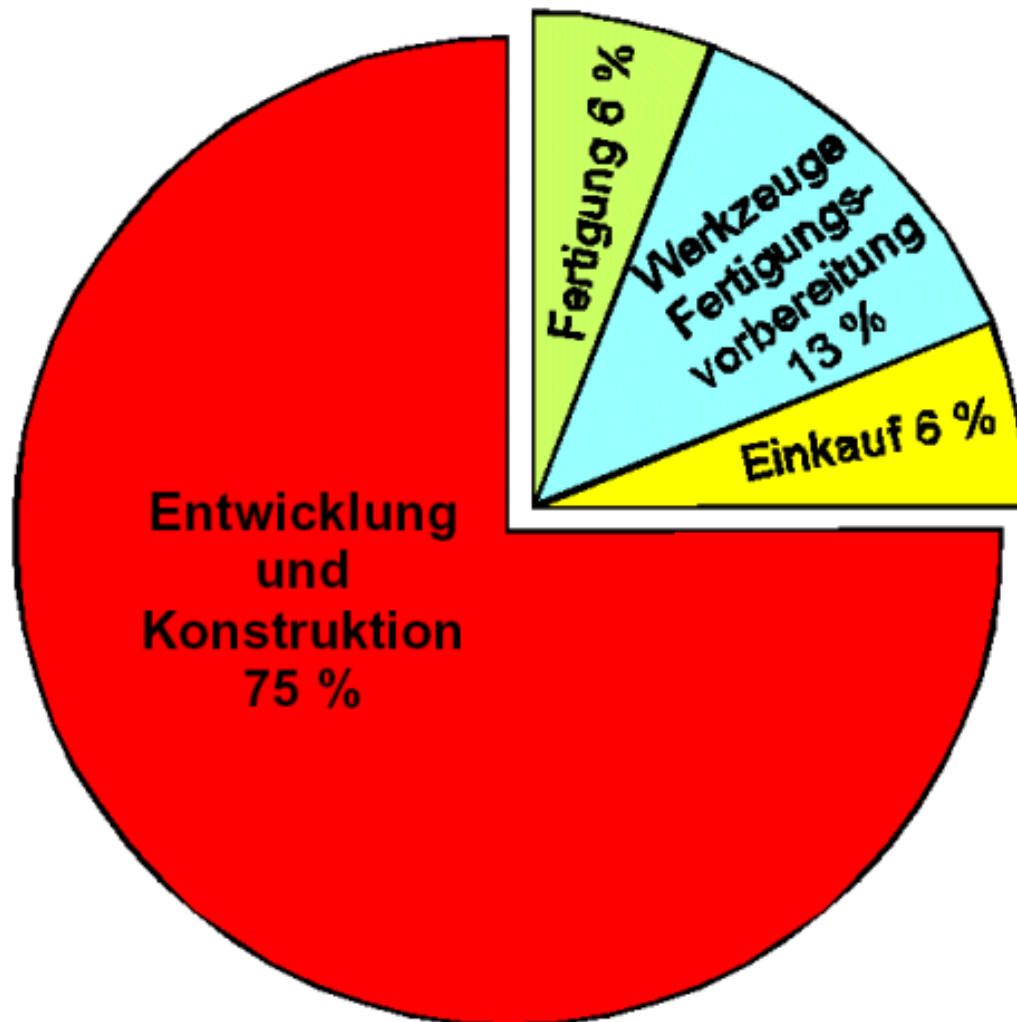
- z.B. Hilfestellung bei der Entwicklung neuartiger Produkte mit optimalem Kundennutzen / Kundenkostenabwägung

2. Organisatorische Ziele

- z.B. Rationalisierung der Konstruktionsarbeit, Verkürzung der Konstruktionszeit,
- Erleichterung des interdisziplinären Arbeitens (auch im Team)

3. Persönliche Ziele

- z.B. Steigerung der Kreativität, Hilfestellung bei neuartigen Situationen,
- Verbesserung der Präsentation des Produkts gegenüber dem Kunden
- Der Vorgehenszyklus zur Problemlösung



Methoden der Produktentwicklung



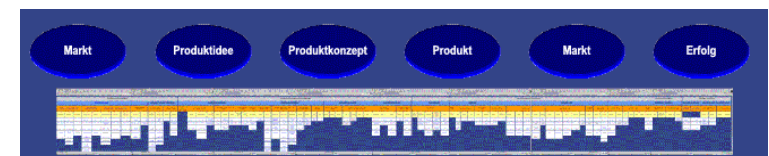
ABC-Analyse
 Abstraktion der Aufgabestellung
 Amortisationsrechnung
 Analogiebildung
 Analyse bekannter technischer Systeme
 Analyse möglicher Bearbeitungsverfahren
 Analytischer Hierarchieprozess
 Anforderungsliste
 Assessment Center
 Ausführungsplanung
 Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA)
 Benchmarking
 Beschwerdemanagement
 Betriebliches Vorschlagswesen
 Bewertungsmethoden in der Moderation
 Bildungsbedarfsanalyse
 Bionik
 Blitzlicht
 Brainstorming
 Chancen Risiko Analyse
 Checklisten zur Ideenbewertung
 Clusteranalyse
 Coaching (Mentoring)
 Conjoint-Analyse
 Corporate Intelligence
 Delphie Methode
 Der erweiterte Zielrahmen
 Design to Cost
 Durchlaufleistungsgrad
 Effizienzanalyse
 Erweiterter Zielrahmen
 Expertenbefragung
 FEM
 Fertigungsgerechte Konstruktion
 FMEA
 Fokusgruppenbefragung
 Formoptimierung

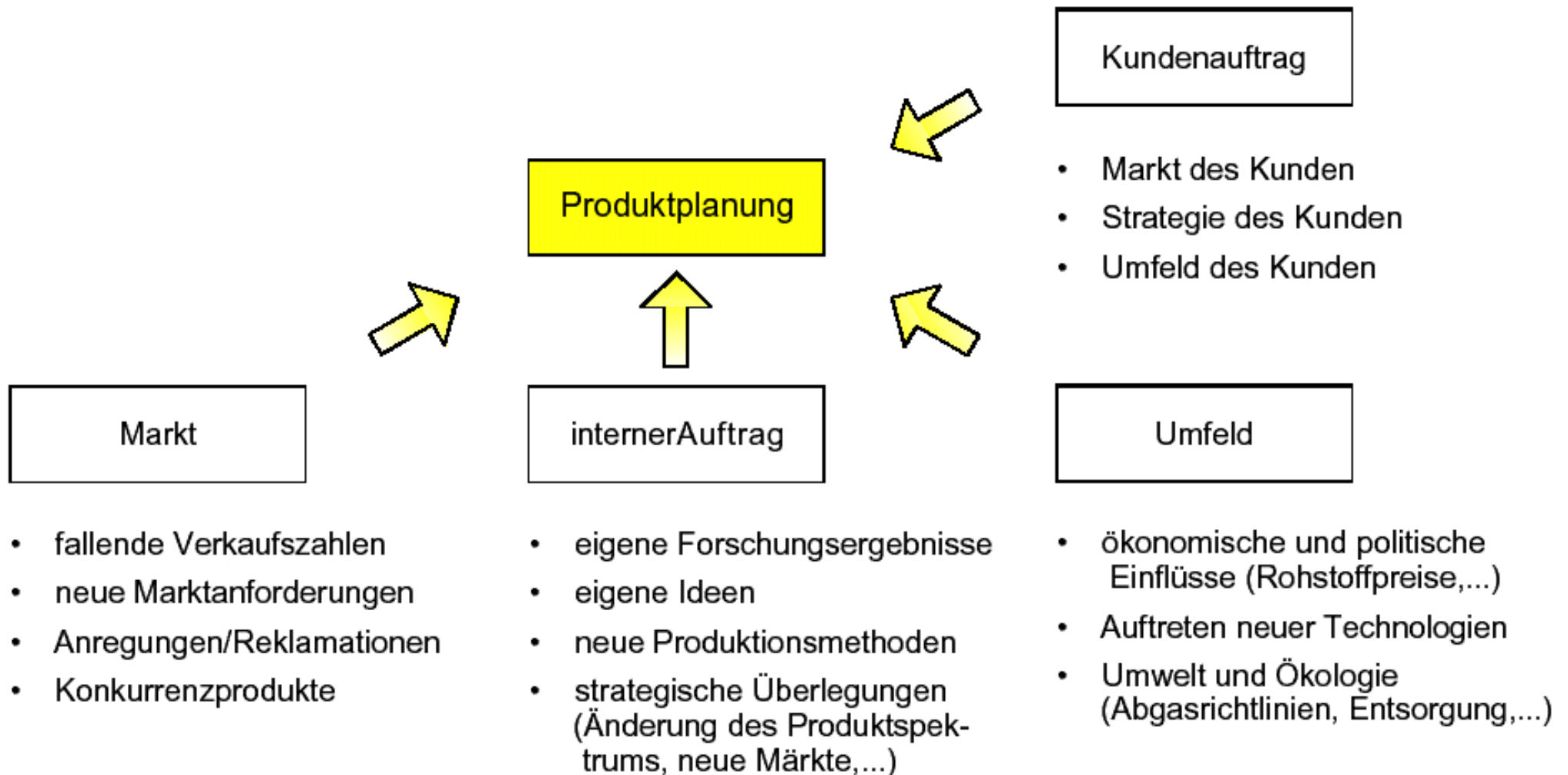
Führungskräfteentwicklung
 Funktionenanalyse
 Galerie-Methode
 Gestaltungsprinzipien
 Gesprächstechniken
 Gestaltungsprinzipien
 Gestaltungsrichtlinien
 Grundregeln der Gestaltung
 Gruppenarbeit (TAG)
 Gruppendiskussion
 Gruppendynamisches Training
 Informationen über Technologie-Transfer-Stellen
 Kanban
 Kano-Methode
 Kapitalwertmethode
 Kartenabfrage
 Kernkompetenzanalyse
 Klassische Konkurrenzanalyse
 Kommunikationstraining
 Konfrontationstreffen
 Konstruktionskataloge
 Konventionelle Literaturrecherche
 Konzepttest
 Kundenzufriedenheitsanalyse
 Lastenheft
 Laterales Denken
 Layoutplanung
 Lead-User-Analyse
 Leitbild
 Leitlinien beim Gestalten
 Marktanalyse
 Marktpotenzialanalyse
 Marktsegmentierung
 Markttest
 Maßnahmenplan
 Methode 635
 Mind-Mapping
 Mitarbeiterbefragung

Mitarbeitergespräch
 Mkl-Meta-Mind
 Moderation
 Montagegerechte Konstruktion
 Morphologische Methoden
 Morphologischer Kasten
 Multidimensionale Skalierung
 Näherungsverfahren
 Netzplantechnik
 Nutzwertanalyse
 Optimized Production Technology (OPT)
 Ordnungsschemata
 Organisationsdiagnose
 Paarweiser Vergleich
 Patentanalyse
 Pflichtenheft
 Präsentation
 Prioritätsregeln
 Primär- Sekundär- Analyse (PSA)
 Product Revers Engineering
 Produkttest
 Progressive Abstraktion
 Projektive Verfahren
 Prozesskostenrechnung
 Punktbewertung
 Qualitatives Interview
 Qualitätsworkshop
 Qualitätszirkel
 Quality Cost Deployment (QCD)
 Quality Function Deployment (QFD)
 Quantitative Interview
 Quantitative vs. Qualitative Methoden
 Rapid Prototyping
 Rechnergestützte Literaturrecherche
 Recyclinggerechte Konstruktion
 Retrograde Terminierung (RT)
 Schriftliche Befragung

Scratch-Line-Budgeting
 Sensitivitätsanalyse
 Shadowing
 Simulationsbudgetierung
 Stärken-Schwächen-Analyse
 Standardbudgetierung
 Strategische Gruppen
 Synektik
 Systematische Untersuchung des physikalischen Geschehens
 Systematische Variation vorhandener Merkmale
 Szenarioanalyse
 Szenariotechnik
 Target Budgeting
 Target Costing
 Target Investment
 Teamentwicklung
 Technologiekalender
 Technologieportfolio
 Trendforschung
 TRIZ (ARIS)
 T-Wand
 Umfeldanalyse
 Unternehmensanalyse
 Ursache Wirkungsanalyse
 Vorgesetztenbeurteilung
 Walt Disney Strategie
 Wertanalyse
 Zero-Base-Budgeting
 Zielkostenfestlegung
 Zielkostenspaltung
 Zielvereinbarungen
 Zurufliste

<http://www.uni-karlsruhe.de/~map/map.html>





Aufgabenanalyse:

- Systematische Klärung dessen, was erreicht werden soll Schwachstellen der gegenwärtigen Situation bzw. der bisherigen Lösung(en) erkennen.
- Erfassung aller relevanten Informationen
- Identifikation von Zielkonflikten
- Es ergeben sich die zu verwirklichenden Ziele und Anforderungen

Ist – Zustands - Analyse:

- System und Umwelt abgrenzen
- Analyse des bestehenden Systems und des Umfeldes
- Stärken – Schwächen - Analysen
- Ursachenanalysen

Problem strukturieren:

- Gliedern und Unterteilen eines Sachverhaltes nach Eigenschaften und Wichtigkeit
- Erstellen von Beziehungsdarstellungen von Funktionsbausteinen
- Klassifizieren nach Kompetenzen oder Teilgebieten

- Ist alles schon dagewesen!
- Das geht niemals!
- Haben wir noch nie gemacht!
- Ach du lieber Gott, mann braucht ja nur zu sehen,wer spricht!
- Unsere Konkurrenten machen das auch nicht!
- Wir haben das früher schon einmal versucht!
- Es wird auf keinen Fall funktionieren!
- Es ist zu teuer!
- Wir machen doch ohnehin schon Gewinn!
- Unsere Branche ist da anders als die anderen!
- Sie träumen ja!
- Ich finde meine Idee viel besser!
- Das ist Unsinn!
- Woher haben Sie denn das!
- Sie wissen nicht,wovon Sie reden!
- Mein 10jähriges Kind kann so etwas besser machen!

.....

Was muß im einzelnen getan werden?

- Erkennen des Hauptzwecks des Produktes, formulieren der Gesamtfunktion;
- Erkennen der abgrenzbaren Teilprobleme, formulieren der Teilfunktionen.

Wozu ist das gut?

- Mit der Formulierung der Gesamtfunktion soll klargestellt werden, worauf es hauptsächlich ankommt.
- Die Aufteilung in Teilfunktionen ermöglicht eine zunächst getrennte Bearbeitung von Teilproblemen und erleichtert damit die Lösungssuche.

Welche Methoden und Hilfsmittel gibt es?

- Formales Beschreibungsmittel der Funktionsstrukturen mit den drei Umsatzarten und elementaren Operationen.

Was muß im einzelnen getan werden?

- Suchen nach bestehenden Lösungen für die jeweilige Teilfunktion;
- Ggf.anpassen an die spezifischen Anforderungen;
- Suchen nach neuen Lösungen;
- Skizzieren der Lösungen;
- Varlieren und Kombinieren der Lösungen;
- Ordnen der Lösungen nach geeigneten Gesichtspunkten.

Wozu ist das gut?

- Bestehende Lösungen sind meist erprobt,ihre Eigenschaften sind weitgehend bekannt. Deshalb sollte man diese bei ausreichender Funktionserfüllung bevorzugen.
- Die Suche nach neuen Lösungen kann darüberhinaus zu einer unkonventionellen, vielleicht einfacheren und besseren Konstruktion führen.
- Handskizzen sind schnell zu erstellen und halten das Wesentliche fest.
- Durch Varlieren und Kombinieren läßt sich eine große Lösungsmenge erzeugen.
- Die geordnete Darstellung läßt Lücken im Lösungsfeld leichter erkennen und vermindert die Gefahr, wesentliche Lösungsmöglichkeiten zu vergessen.

Was muß im einzelnen getan werden?

- Auswählen der Lösungsprinzipien nach den Kriterien:
 - Mit der Aufgabe und untereinander verträglich?
 - Forderungen der Anforderungsliste, insbesondere Funktion zuverlässig erfüllt?
 - Realisierung vorstellbar (ausreichende Wirkung, eindeutiges Verhalten, ausführbar)?
 - Aufwand zulässig (einfache Fertigung, leichte Montage)?
 - Sicherheit (bei Gebrauch und Instandhaltung) gegeben?
- Zusammenstellen der ausgewählten Teillösungen in einer grob maßstäblichen Konzeptskizze (Handskizze), welche die qualitative Funktionserfüllung läßt.

Wozu ist das gut?

- Die Auswahl stellt sicher, dass nur erfolgversprechende Lösungen werden. Sie hilft damit, unnötige Arbeit zu vermeiden.
- Das Zusammenfügen der Teillösungen zu einer Konzeptskizze läßt zum ersten Mal das gesamte Produkt (in einem vorläufigen Stadium) erkennen. Dabei zeigt sich, ob die Teillösungen zusammenpassen und mit einiger Erfahrung läßt sich beurteilen, ob die geforderte Gesamtfunktion erfüllt werden kann.

Was muß im einzelnen getan werden?

- Festlegung von Abmessungen und Werkstoff
- Wahl der Produktionsverfahren
- Ermittlung der technisch- wirtschaftlichen Eigenschaften
- Kontrolle der Eigenschaften

Wozu ist das gut?

- Durch das Vorgestalten entsteht zum ersten Mal ein Modell des Produktes, welches de quantitativen Analyse (Berechnung) zugänglich ist. Dazu soll alles soweit wie nötig festgelegt sein. Unwesentliche Details sollen jedoch noch offen bleiben, um den Aufwand für etwaige Änderungen aufgrund von Berechnungsergebnissen gering zu halten.
- Durch das Fertiggestalten wird die endgültige Gestalt des Produktes weitgehend festgelegt.

Was muß im einzelnen getan werden?

- Festlegung von Abmessungen und Werkstoff
- Wahl der Produktionsverfahren
- Ermittlung der technisch- wirtschaftlichen Eigenschaften
- Kontrolle der Eigenschaften

Wozu ist das gut?

- Durch das Vorgestalten entsteht zum ersten Mal ein Modell des Produktes, welches de quantitativen Analyse (Berechnung) zugänglich ist. Dazu soll alles soweit wie nötig festgelegt sein. Unwesentliche Details sollen jedoch noch offen bleiben, um den Aufwand für etwaige Änderungen aufgrund von Berechnungsergebnissen gering zu halten.
- Durch das Fertiggestalteten wird die endgültige Gestalt des Produktes weitgehend festgelegt.

- Die Dauer einer Brainstorming-Sitzung beträgt etwa 20-40 Minuten und orientiert sich in erster Linie an der Dauer des Informationsflusses.
- Die 5-8 Teilnehmer sollten unterschiedliche Wissensgebiete vertreten, eine Zusammensetzung aus Fach- und Nichtfachleuten ist nicht nur möglich, sondern erwünscht.
- Während der Sitzung sind von allen Teilnehmern folgende **vier** Grundregeln einzuhalten:
 1. *Das Zurückstellen jeglicher Kritik,*
um langatmige Diskussionen zu unterbinden und den Informationsfluß nicht zu unterbrechen.
 2. *Das Aufgreifen, Kombinieren und Weiterentwickeln geäußerter Ideen,*
um die Synergien in der Gruppe zu nutzen.
 3. *Der freie Lauf der Ideen,*
um auch ungewöhnlichen Lösungsansätzen den Freiraum zur Entwicklung zu geben.
 4. *Quantität geht vor Qualität,*
um Spontaneität und Einfallsreichtum nicht zu begrenzen.

Aufgabe
(Funktion)

Variation der
Physik

Variation der
Wirk-
bewegung

Variation der
Wirkfläche

● Form

● Zahl

● Größe

● Lage

„lagern“
Kraftübertragung zwischen relativ bewegten Maschinenteilen

mechanischer
Energiebereich

hydraulischer (pneumatischer)
Energiebereich

magnetischer
Energiebereich

elektr.
Energie -
bereich

Rollen

Gleiten

statisch

dynamisch

statisch

dynamisch

statisch

Rotat.

Transl.

Rotat.

Transl.

Rotat.

Transl.

Rotat.

Transl.

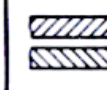
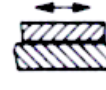
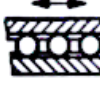
Rotat.

Transl.

Rotat.

Transl.

statisch



Wälzlager

Trocken-Gleitlager

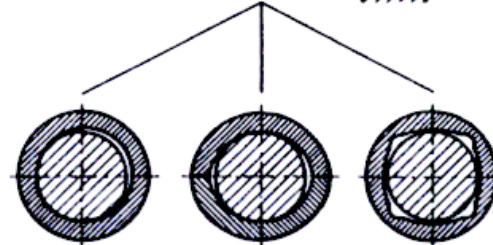
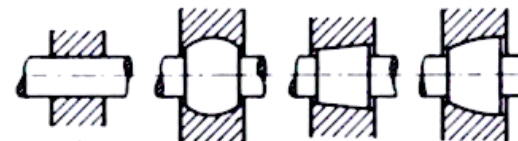
hydrostat. Lager


hydrodyn. Lager

Permanentmagnet-Lager

elektromagn. Lager

elektro-stat. Lager



 INSTITUT FÜR MASCHINEN- KONSTRUKTIONSLERHRE UND KRAFTFAHRZEUGE UNIVERSITÄT KARLSRUHE	Fehler-Möglichkeiten und Einfluß-Analyse								Teil-Benennung Kurvenzylinder					
	Konstruktions-FMEA <input checked="" type="checkbox"/> Prozeß-FMEA <input type="checkbox"/>								Erstellt durch (Name/Abt./Telefon) Hr. Wende					
	Name/Abteilung/Lieferant/Telefon Institut für Maschinenkonstruktion - Konstruktionstechnik													
Fehler- Ort/Merkmal	Fehler- Art	Fehler- Auswirkung	Fehler- Ursache	Derzeitiger Zustand				Empfohlene Maßnahmen	Verbesserter Zustand					
				Kontroll- Maßnahmen	A	B	E		RPZ	Getroffene Maßnahmen	A	B	E	RPZ
Welle	Bruch der Welle	Totalausfall	Belastungsart nicht korrekt erkannt		3	10	10	300	Auftretende Belastung durch geeigneten Berech- nungsansatz erfassen	Festigkeitsnach- weis der Welle	1	10	10	100
Lagerung	Spiel in der Lageran- ordnung	unexakte Funktionserfüllung	Lockern der Wellen- mutter im Betrieb (Stoßbeanspruchung)		3	8	10	240	Zusätzliche Sicherung der Wellenmutter		1	8	10	80
	Dichtung durchlässig	frühzeitiger Lagerverschleiß	Dichtung genügt nicht den Anforde- rungen		2	5	10	100	Radialwellendichtung nach DIN verwenden		1	5	10	50
Welle-Nabe-Verbindung (Flanschschraubverbin- dung)	Reibschluß nicht ausreichend	Querbeanspruchung der Schrauben	Auslegungsfehler (Nichtberücksichti- gung der Reibwerte)		2	8	10	120	Ausreichenden Sicherheits- beiwert berücksichtigen		1	6	10	60
	Passungsgenauigkeit	Fügen nicht möglich bzw. Zentrierung nicht ausreichend	Konstruktionsfehler		2	5	1	10	Toleranzrechnung überprüfen		1	5	1	5
	Bruch der Schrauben	Totalausfall	Belastungsart nicht korrekt erkannt		3	10	10	300	Geeigneten Berechnungs- ansatz für den vorliegenden Belastungsfall verwenden	dynamische Schraubenaus- legung	1	10	10	100
Kurvenzylinder	Flächenpressung zu groß	Pittings (Grübchen) in der Lauffläche	zu hohe Flächen- pressung durch den Hebel		7	8	10	560	Geeignete Werkstoffpaarung Angepaßte Geometrie		2	8	10	160

A: Auftreten

B: Bedeutung

E: Entdeckung

RPZ: Risiko-Prioritätszahl

Wahrscheinlichkeit des Auftretens
(Fehler kann vorkommen)

Auswirkungen auf den Kunden

Wahrscheinlichkeit der Entdeckung
(vor Auslieferung an Kunden)

unwahrscheinlich = 1
sehr gering = 2 - 3
gering = 4 - 6
mäßig = 7 - 8
hoch = 9 - 10

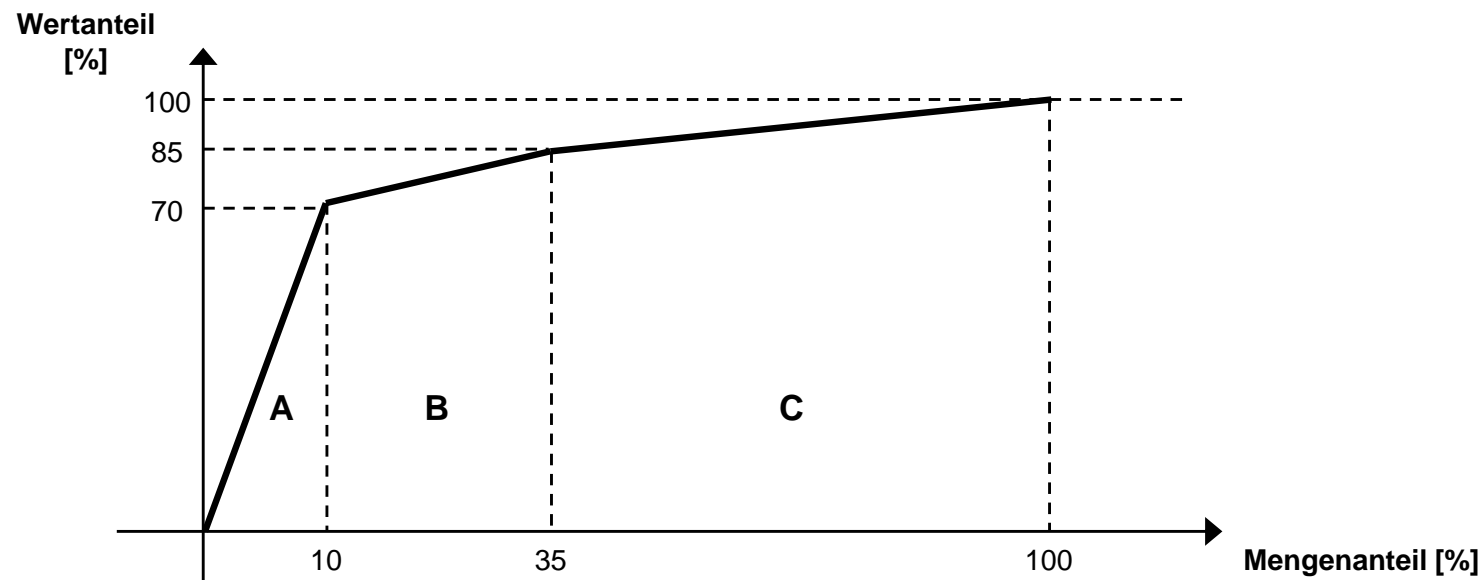
kaum wahrnehmbare Auswirkungen
unbedeutender Fehler (geringe Belästigung des Kunden)
mäßig schwerer Fehler
schwerer Fehler (Verärgerung des Kunden)
äußerst schwerwiegender Fehler

= 1
= 2 - 3
= 4 - 6
= 7 - 8
= 9 - 10

hoch = 1
mäßig = 2 - 5
gering = 6 - 8
sehr gering = 9
unwahrscheinlich = 10

hoch = 1000
mittel = 125
keine = 1

- Erstmals von der Firma General Electric im Jahre 1951 angewandte Methode
- Ordnungsverfahren zur Klassifizierung einer großen Anzahl von Daten, Erzeugnisse oder Prozesse
- Grobeinteilung der Erzeugnisse oder Prozesse in drei Klassen



- Konstruktive, gestalterische Ebene
- Ebene der physikalischen Effekte
- Ebene der Funktionen und Funktionsstrukturen

Gestalterische Suche

Physikalische Suche

Funktionelle Suche

Wirkfläche

Art : Punkt , Linie , Fläche . . .
Form : Ebene , Zylinder , Kugel . . .
Lage : axial , radial , vertikal . . .
Größe : schmal , breit , groß . . .
Zahl : eine , viele , mehrere . . .

Mechanisch : Gravitation , Trägheit , Normalkraft , Reibung
Fluidisch : hydro- , aero- , -stat. , -dyn.
elektrisch : induktiv , ohmisch , kapazitiv
magnetisch : permanent , elektromagnetisch
optisch : Reflexion , Brechung , Beugung , Polarisation
thermisch : Ausdehnung , Wärmespeicherung , -leitung . . .
nuklear : Strahlung , Isotopen , Energie
biologisch : Gärung , Zersetzung
chemisch : Oxidation , Reduktion , Lösen , Binden

Stoff , Energie , Signal
technisches System , „black box“ ,
Systemgrenze
Ein- , Ausgangsgrößen verknüpfen →
Funktion

Wirkbewegung

Art : ruhend , translatorisch , rotatorisch
Form : gleichförmig , oszillierend
Lage : eben , sphärisch , räumlich
Größe : Geschwindigkeit , Beschleunigung
Zahl : einfach , zusammengesetzt . . .

Zustand: fest , flüssig , gasförmig , starr
elastisch , plastisch . . .

Funktionsstrukturen:

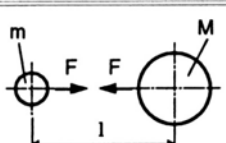

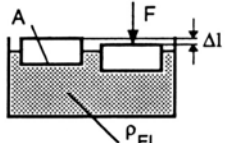
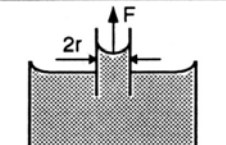
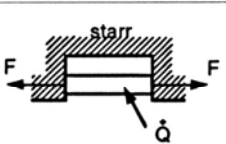
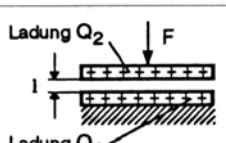
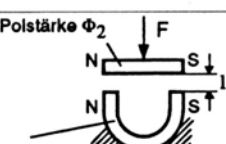
Reihen- , Parallel- , Kreis-Struktur,
Verzweigung , Vereinigung , Verknüpfung

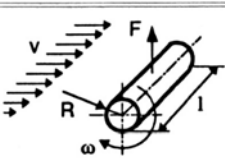
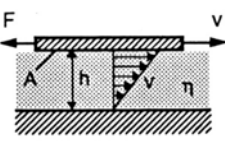
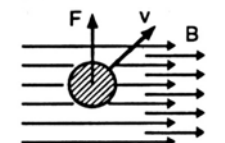
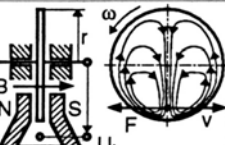
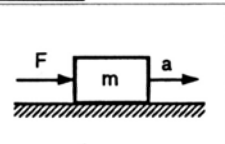
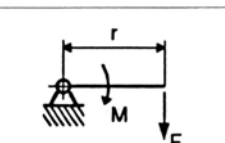
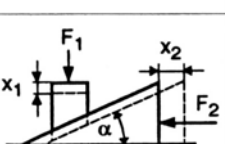
Physikalische Effekte

Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Kohäsion fester Körper $F_1 = f(F_2)$ 01.01-1		$F_1 = F_2$ für $D > d$	Formschluß
Hebel $F_1 = f(F_2)$ 01.01-2		$F_2 = \frac{r_1}{r_2} F_1$	Kraftübersetzung, Zahnrad, Hebelgetriebe [16]
Kniehebel $F_1 = f(F_2)$ 01.01-3		$F_2 = \frac{F_1}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2}$	Backenbrecher [15]
Keil ohne Reibung $F_1 = f(F_2)$ 01.01-4		$F = \tan \alpha F_Q$	Bewegungs- schraube [2]
Keil mit Reibung $F_1 = f(F_2)$ 01.01-5		$F = \frac{\tan(\alpha \pm \rho_2) \pm \tan \rho_1}{1 \mp \tan(\alpha \pm \rho_2) \tan \rho_3} F_Q$ für Heben und Senken	Schraubenverbin- dung [2]
Seileck $F_1 = f(F_2)$ 01.01-6		$F_3 = F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta$	Seilstatik [15]
Flaschenzug $F_1 = f(F_2)$ 01.01-7		$F = \frac{1}{n} F_Q$ $F_2 = F_1 + F_0$ n Anzahl der Rollen	Hebezeug [2]

Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Coulombsche Reibung $F_1 = f(F_2)$ 01.01-8		$F = \mu F_n$ μ Reibwert	Bremse, Reibschluß [16]
Rollende Reibung $F_1 = f(F_2)$ 01.01-9		$F_w = \mu_r F_Q$ $\mu_r = \tan \alpha = \frac{f}{r}$ (Reibwert)	Rollwiderstand [2]
Umschlin- gungsreibung $F_1 = f(F_2)$ 01.01-10		$F_{s2} = e^{\mu \alpha} F_{s1}$ $F_R = (e^{\mu \alpha} - 1) F_{s1}$ F_R Reibkraft μ Reibwert	Ankerspill, Schiffspoller, Bandbremse [2]
Adhäsion $F_1 = f(F_2)$ 01.01-11		$F_1 = F_2 < \tau_{zul} \cdot A$	Kleben, Löten (Stoffschluß)
Stoß $F_1 = f(F_2)$ 01.01-12		$F_2 = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} F_1$ für $F_1, F_2 = \text{konst.}$	Hammer [16]
Druckfort- pflanzung $F_1 = f(F_2)$ 01.01-13		$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$	Hydraulik, Pneumatik [16]
Trägheit $F = f(p_i)$ 01.02-1		$F = \frac{d}{dt} p_i$	Raketenantrieb [1]

Physikalische Effekte

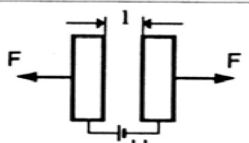
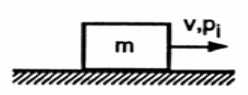
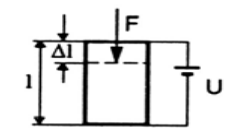
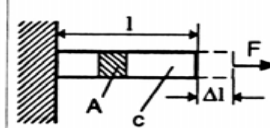
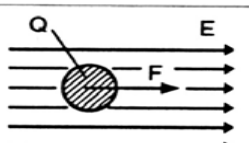
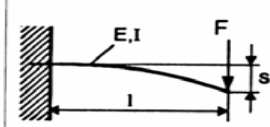
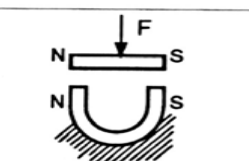
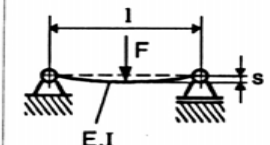
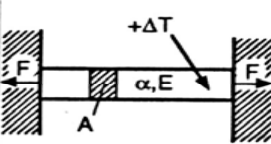
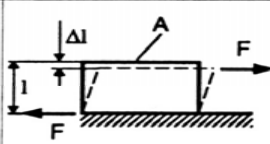
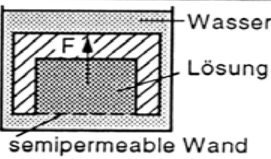
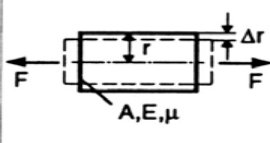
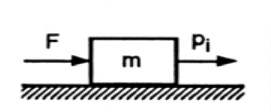
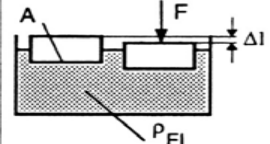
Name Nummer	Physikalischer Effekt (Prinzip) Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Gravitation $F = f(s)$ 01.03-8		$F = GmM \frac{1}{l^2}$ G Gravitationskonstante	Gewichtskräfte [1]
Zentrifugalkraft $F = f(s)$ 01.03-9		$F = mr\omega^2$	Zentrifuge [2]
Auftrieb $F = f(s)$ 01.03-10		$F = \rho_{Fl} g A \Delta l$	Schwimmerventil [6]
Kapillarwirkung $F = f(s)$ 01.03-11		$F = \sum_0 2\pi r$ \sum_0 Oberflächenspannung	Schwamm [15]
Wärme-dehnung $F = f(s)$ 01.03-12		$F = c(l_{T_1} - l_{T_0})$ $F = \alpha \Delta T E A$ α Wärmeausdehnungs-koeffizient	Schrumpfsitz [18]
Elektrostat. Anziehung (Abstoßung) $F = f(s)$ 01.03-13		$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{l^2}$	Photokopierer [6]
Magnetische Anziehung (Abstoßung) $F = f(s)$ 01.03-14		$F = \frac{1}{4\pi\mu_0\mu_r} \cdot \frac{\Phi_1 \Phi_2}{l^2}$	Magnetische Federung [6]

Name Nummer	Physikalischer Effekt (Prinzip) Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Magnus-Effekt $F = f(v)$ 01.04-7		$F = 2\pi R^2 \rho \omega l v$	Schiffsantrieb [6]
Viskose Reibung $F = f(v)$ 01.04-8		$F = A \eta \frac{dv}{dh}$ $\vec{F} \parallel \vec{v}$	Flüssigkeitsdämpfung [1]
Lorentz-Kraft $F = f(v)$ 01.04-9		$F = QBv$	Hallsonden [16]
Wirbelstrom $F = f(v)$ 01.04-10		$F = \kappa c B^2 v$ κ elektr. Leitwert B magnetische Induktion c Anordnungskonstante	Instrumenten-dämpfung, Wirbelstrom-bremse, Tachometer [6]
Trägheit $F = f(a)$ 01.05-1		$F = ma$	
Hebel $F = f(M)$ 01.06-1		$F = \frac{1}{r} M$	Drehmoment-schlüssel [18]
Keil $F = f(\varphi)$ 01.08-1		$F_2 = F_1 \tan \alpha$	

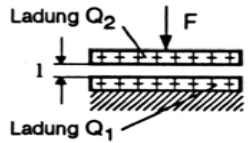
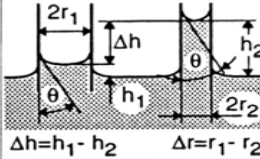
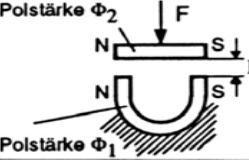
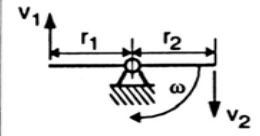
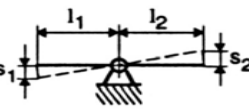
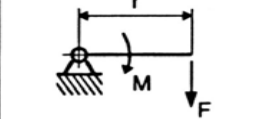
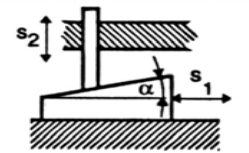
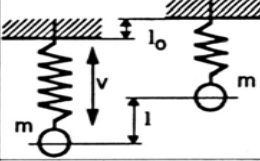
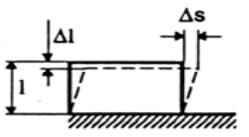
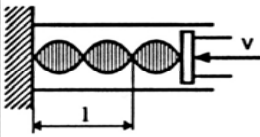
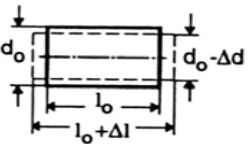
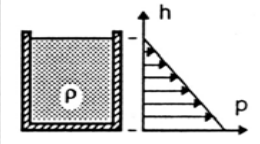
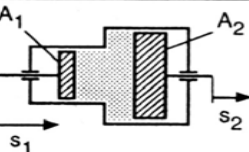
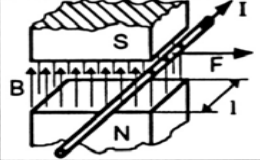
Physikalische Effekte

Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Seileck $F = f(\varphi)$ 01.08-2		$F_3 = F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta$		Gravitation $F = f(m)$ 01.14-1		$F = gm$ g Erdbeschleunigung	Waage
Umschlingungsreibung $F = f(\varphi)$ 01.08-3		$F_{s2} = F_{s1} e^{\mu \alpha}$ μ Reibwert	Seilbefestigung [2]	Gravitation $F = f(m)$ 01.14-2		$F = GmM \frac{1}{l^2}$ G Gravitationskonstante	Mondumlauf [1]
Zentrifugalkraft $F = f(\omega)$ 01.09-1		$F = mr\omega^2$		Elastischer Stoß $F = f(m)$ 01.14-3		$F_{\max} = \sqrt{\frac{c}{m}} mv$	Billardkugel [16]
Corioliskraft $F = f(\omega)$ 01.09-2		$F = 2m\omega v_r$		Zentrifugalkraft $F = f(m)$ 01.14-4		$F = \omega^2 rm$	Zentrifuge [2]
Magnus-Effekt $F = f(\omega)$ 01.09-3		$F = 2\pi R^2 \rho \omega l v$	Schiffsantrieb [16]	Corioliskraft $F = f(m)$ 01.14-5		$F_c = 2\omega v_r m$	
Druckkraft $F = f(p_d)$ 01.12-1		$F = A p_d$	Kolben [18]	Biot-Savart-Gesetz $F = f(s)$ 01.15-1		$F = B l I$	Elektromotor, Generator, Lautsprecher [2]
Auftrieb $F = f(V)$ 01.13-1		$F_A = \rho_f g V$ $F_G = mg$	Schiff [18]	Elektromagnetische Anziehung $F = f(s)$ 01.15-2		$F = \frac{\mu_0 w^2 A}{l^2} I^2$ w Windungszahl	Elektromagnet [16]

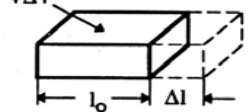
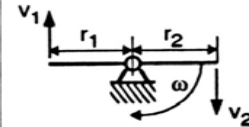
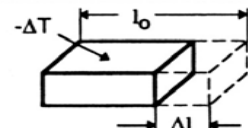
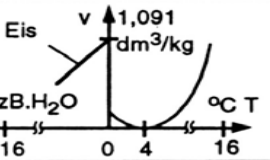
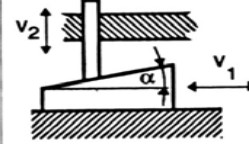
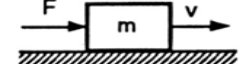
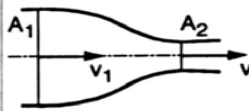
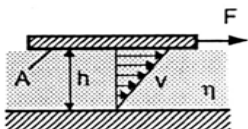
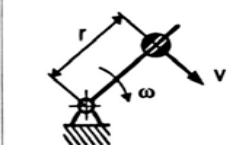
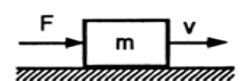
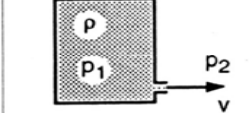
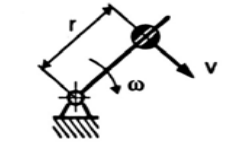
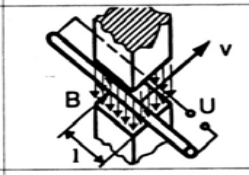
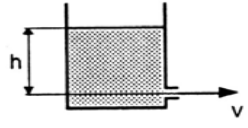
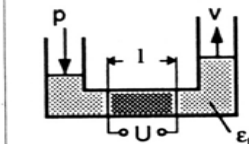
Physikalische Effekte

Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Elektrostat. Anziehung (Abstoßung) $F = f(U)$ 01.16-1		$F = \frac{1}{2} \frac{C}{l} U^2$ $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{l}$	Anziehung zweier Kondensator- platten (Kraftmessung) [10]	Trägheit $p_i = f(v)$ 02.04-1		$p_i = \int m dv$ [18]	Pumpen, Stoßvorgänge
Piezo-Effekt $F = f(U)$ 01.16-2		$F = \frac{c}{d} U$ $\frac{d}{c}$ Steilheit des Umformers	Piezoelektrischer Kraftgeber [4]	Elastische Dehnung $s = f(F)$ 03.01-1		$\Delta l = \frac{1}{c} F$ $\Delta l = \frac{l}{EA} F$ [2]	Federwaage
Coulombsche Kraft $F = f(E)$ 01.17-1		$F = QE$ [15]		Elastische Biegung I $s = f(F)$ 03.01-2		$s = \frac{l^3}{3EI} F$ [3]	Waage
Magnetische Anziehung (Abstoßung) $F = f(H)$ 01.18-1		$F = \frac{1}{2} \mu_0 A H^2$		Elastische Biegung II $s = f(F)$ 03.01-3		$s = \frac{l^3}{48EI} F$	
Wärme- dehnung $F = f(T)$ 01.19-1		$F = \alpha EA \Delta T$ α Wärmeausdehnungs- koeffizient	Schrumpfsitz [15]	Elastische Schub- verformung $s = f(F)$ 03.01-4		$\Delta l = \frac{l}{2} \left(\frac{F}{GA} \right)^2$ [3]	
Osmose $F = f(T)$ 01.19-2		$F = A \frac{v}{V} RT$ v Molzahl R molare Gaskonstante	Filter [15]	Quer- kontraktion $s = f(F)$ 03.01-5		$\Delta r = \frac{r\mu}{EA} F$ μ Querkontraktionszahl [3]	Zugstab
Trägheit $p_i = f(F)$ 02.01-1		$p_i = \int F dt$ [18]	Stoßvorgänge	Auftrieb $s = f(F)$ 03.01-6		$\Delta l = \frac{1}{\rho_f g A} F$ [6]	Schwimmerventil

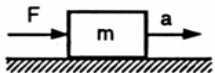
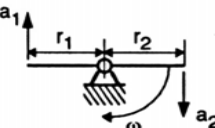
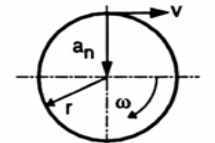
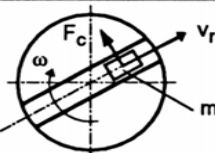
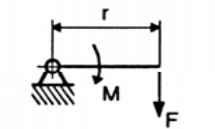
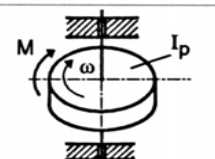
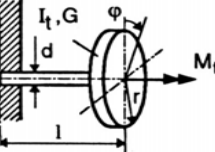
Physikalische Effekte

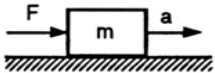
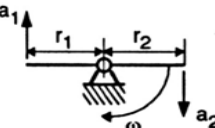
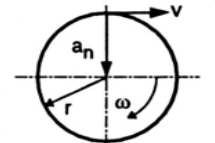
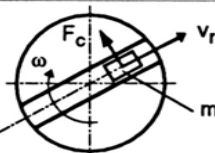
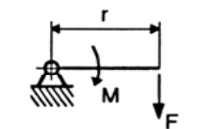
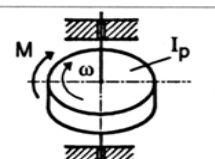
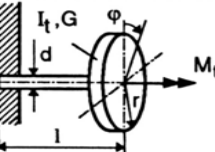
Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Elektrostat. Anziehung (Abstoßung) $s = f(F)$ 03.01-7		$l = \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{F}}$	[18]	Kapillar- wirkung $s = f(s)$ 03.03-6		$\Delta h = -\frac{2\kappa \cos \theta}{\rho g} \frac{\Delta r}{r_1^2 - r_1 \Delta r}$ κ Oberflächenspannung	[1]
Magnetische Anziehung (Abstoßung) $s = f(F)$ 03.01-8		$l = \sqrt{\frac{1}{4\pi\mu_0\mu_r} \frac{\Phi_1 \Phi_2}{F}}$	Magnetische Federung [19]	Hebel $s = f(v)$ 03.04-1		$r_2 = \frac{v_2}{v_1} r_1$	
Hebel $s = f(s)$ 03.03-1		$s_2 = \frac{l_2}{l_1} s_1$	Hebelgetriebe, Zahnräder [6]	Hebel $s = f(M)$ 03.06-1		$r = \frac{1}{F} M$	
Keil $s = f(s)$ 03.03-2		$s_2 = \tan \alpha s_1$	Kurvengetriebe, Schraube [6]	Resonanz $s = f(f)$ 03.11-1		$l = \frac{l_0}{1 - (f/\omega_0)^2}$ ω_0 Eigenfrequenz	Zungenfrequenz- messer [2]
Elastische Schub- verformung $s = f(s)$ 03.03-3		$\Delta l = \frac{\Delta s^2}{2l}$ $\Delta l = \frac{1}{2} \left(\frac{F}{GA} \right)^2 l$	[6]	Stehende Welle $s = f(f)$ 03.11-2		$l = \frac{c}{f}$ c Wellengeschwindigkeit	Kundtsches Rohr, Wellenlängen- messer [3]
Quer- kontraktion $s = f(s)$ 03.03-4		$\Delta d = \mu \frac{d_0}{l_0} \Delta l$ μ Querkontraktionszahl	Zugstab [6]	Gravitations- druck $s = f(p_d)$ 03.12-1		$h = \frac{1}{\rho g} p_d$	Hochbehälter [18]
Druck- fortpflanzung $s = f(s)$ 03.03-5		$s_2 = \frac{A_1}{A_2} s_1$	Hydraulik, Pneumatik [6]	Biot-Savart- Gesetz $s = f(I)$		$l = \frac{F}{BI}$	

Physikalische Effekte

Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Wärme- dehnung $s = f(T)$ 03.19-1	Wärmezufuhr 	$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T$ α Längenausdehnungs- koeffizient	Thermostat, Thermometer, Bimetall [19]	Hebel $v = f(v)$ 04.04-1		$v_2 = \frac{r_1}{r_2} v_1$	Hebelgetriebe [6]
Wärme- dehnungs- anomalie $s = f(T)$ 03.19-2	Wärmeabfuhr 	Eis  z.B. H ₂ O -16 0 4 16 °C T	Sprengen von Gestein mit Wasser [19]	Keil $v = f(v)$ 04.04-2		$v_2 = \tan \alpha v_1$	Kurvengetriebe, Exzenter, Schraube [6]
Trägheit $v = f(F)$ 04.01-1		$v = \frac{1}{m} \int F dt$	Stoßvorgänge [2]	Kontin- gleichung $v = f(v)$ 04.04-3		$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$	Hydraulik, Pneumatik, Düsen [6]
Viskose Reibung $v = f(F)$ 04.01-2		$v = \frac{h}{\eta A} F$	[6]	Hebel $v = f(\omega)$ 04.09-1		$v = \omega r$	
Trägheit $v = f(p_i)$ 04.02-1		$v = \frac{1}{m} p_i$	Stoßvorgänge [18]	Bernoulli- sches Gesetz $v = f(p)$ 04.12-1		$v = \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho}$	Düse, Turbine [7]
Hebel $v = f(s)$ 04.03-1		$v = \omega r$		Induktion $v = f(U)$ 04.16-1		$v = \frac{1}{Bl} U$	Drehzahlerhöhung eines Elektromotors durch Feld- schwächung [10]
Torricelli- Gesetz $v = f(s)$ 04.03-2		$v = \sqrt{2gh}$	[1]	Elektro- kinetischer Effekt $v = f(U)$ 04.16-2		$v = \frac{\xi \epsilon_r \epsilon_0 U}{l \eta}$ ξ elektrokinetisches Potential	Hydroelektrische Wasserpumpe, Elektrokinetischer Geschwindigkeits- geber [6]

Physikalische Effekte

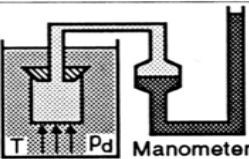
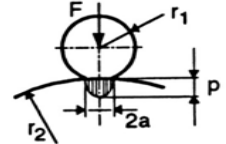
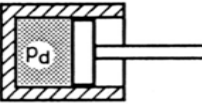
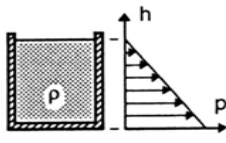
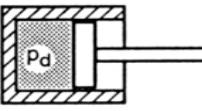
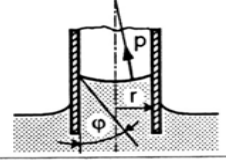
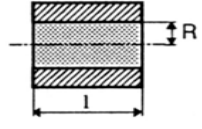
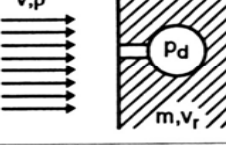
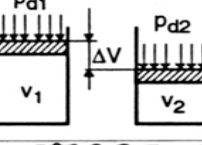
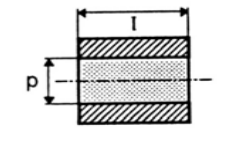
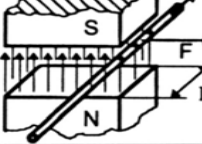
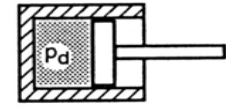
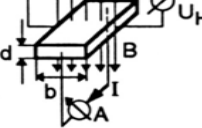
Name Nummer	Physikalischer Effekt (Prinzip) Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Trägheit $a = f(F)$ 05.01-1		$a = \frac{F}{m}$	
Hebel $a = f(a)$ 05.05-1		$a_2 = \frac{r_2}{r_1} a_1$	
Zentrifugal- beschleunigung $a = f(a)$ 05.09-1		$a_n = r\omega^2$	Fliehkraftregler [2]
Coriolis- beschleunigung $a = f(\omega)r$ 05.09-2		$a_c = 2v_r\omega$	Föttingerkupplung [2]
Hebel $M = f(F)$ 06.01-1		$M = rF$	Fahrtrieb, Drehmoment- schlüssel [18]
Trägheit $M = f(L)$ 06.07-1		$M = \frac{d}{dt}(L_i)$ $L_i = I_p\omega$	Gyrobuss [3]
Elastische Schub- verformung $M = f(\phi)$ 06.08-1		$M = \frac{GI_t}{l}\phi$ I_t Torsionsträgheitsmoment	Torsionsfeder [4]

Name Nummer	Physikalischer Effekt (Prinzip) Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Trägheit $a = f(F)$ 05.01-1		$a = \frac{F}{m}$	
Hebel $a = f(a)$ 05.05-1		$a_2 = \frac{r_2}{r_1} a_1$	
Zentrifugal- beschleunigung $a = f(a)$ 05.09-1		$a_n = r\omega^2$	Fliehkraftregler [2]
Coriolis- beschleunigung $a = f(\omega)r$ 05.09-2		$a_c = 2v_r\omega$	Föttingerkupplung [2]
Hebel $M = f(F)$ 06.01-1		$M = rF$	Fahrtrieb, Drehmoment- schlüssel [18]
Trägheit $M = f(L)$ 06.07-1		$M = \frac{d}{dt}(L_i)$ $L_i = I_p\omega$	Gyrobuss [3]
Elastische Schub- verformung $M = f(\phi)$ 06.08-1		$M = \frac{GI_t}{l}\phi$ I_t Torsionsträgheitsmoment	Torsionsfeder [4]

Physikalische Effekte

Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Präzessions- moment $M = f(\omega)$ 06.09-1		$M = I_p \omega \omega_p$ ω_p Winkelgeschwindigkeit der Präzession I_p pol. Trägheitsmoment	Kreisel [13]	Trägheit $\omega = f(L_i)$ 09.07-1		$\omega = \frac{L_i}{I_p}$ I_p pol. Trägheitsmoment	 [2]
Trägheit $M = f(\dot{\omega})$ 06.10-1		$M = I_p \dot{\omega}$ I_p pol. Trägheitsmoment	Schwungscheibe [2]	Trägheit $\dot{\omega} = f(M)$ 10.06-1		$\dot{\omega} = \frac{1}{I_p} M$ I_p pol. Trägheitsmoment	Schwungscheibe [2]
Eigen- frequenz $M = f(f)$ 06.11-1		$M = 4\pi^2 I_p \rho f^2$	Dynamische Bestimmung von Trägheitsmomen- ten [2]	Saite $f = f(F)$ 11.01-1		$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{1}{A\rho} F}$	Frequenzeinstel- lung bei Saiten- instrumenten [1]
Elastische Schub- verformung $\varphi = f(M)$ 08.06-1		$\varphi = \frac{l}{GI_t} M$ I_t Torsionsträgheitsmoment	Torsionsfeder [4]	Gravitation $f = f(s)$ 11.03-1		$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$	Pendeluhr [1]
Hebel $\omega = f(s)$ 09.03-1		$\omega = \frac{v}{r}$		Stick-Slip- Effekt $f = f(v)$ 11.04-1		$f = 1/T$ $\omega_0^2 = c/m$ $\omega_0 = 2\pi f$ Bed: 1. Schwingungs- fähiges System 2. $du/dv < 0$	Werkzeugmaschi- nenschlitten
Trägheit $\omega = f(M)$ 09.06-1		$\omega = \frac{1}{I_p} \int M dt$	Gyrobuss	Doppler- Effekt $f = f(v)$ 11.04-2		$f_E = f_s \frac{1 + v_E/c}{1 + v_s/c}$ c Schallgeschwindigkeit	Geschwindigkeits- messung [19]
Präzessions- moment $\omega = f(M)$ 09.06-2		$\omega_p = \frac{M}{I_p \omega}$ ω_p Winkelgeschwindigkeit der Präzession I_p pol. Trägheitsmoment		Eigen- frequenz $f = f(m)$ 11.14-1		$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$	Dynamische Bestimmung von Massen [2]

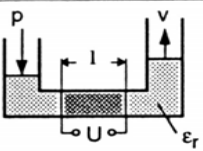
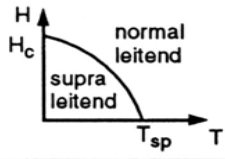
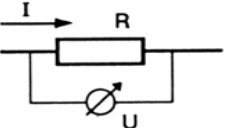
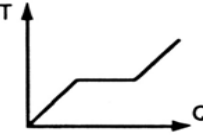

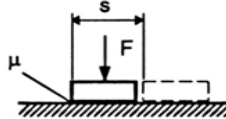
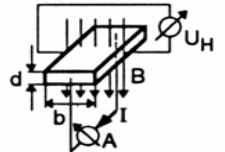
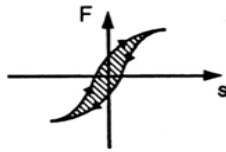
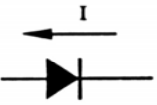
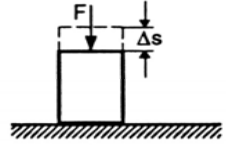
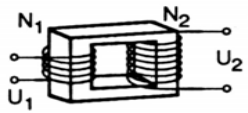
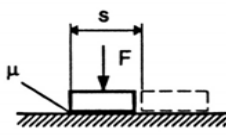
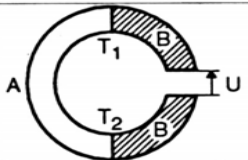
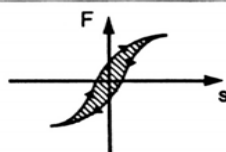
Physikalische Effekte

Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Eigen- frequenz Quarz $f = f(T)$ 11.19-1	Die Eigenfrequenz von Schwingquarzen ändert sich bei entsprechendem Kristallschnitt stark mit der Temperatur		Quarz- Temperatur- Sensoren	Osmotischer Druck $p_d = f(V)$ 12.13-2		$p_d = RTc$ R allg. Gaskonstante $c = \frac{n}{V}$ Naturkonstante	Manometer [19]
Elastische Druck- verformung $p_d = f(F)$ 12.01-1		$p_d = \sqrt{\frac{E^2}{r^2(1-\mu^2)^2}} F$ $\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$	Hertzsche Pressung	Gay-Lussac $p_d = f(T)$ 12.19-1		$p_d = \rho RT$ R allg. Gaskonstante	[2]
Gravitations- druck $p_d = f(s)$ 12.03-1		$p_d = \rho gh$	Hochbehälter [12]	Gay-Lussac $V = f(T)$ 13.12-1		$V = mRT \frac{1}{p_d}$	[19]
Kapillardruck $p_d = f(s)$ 12.03-2		$p_d = 2 \kappa \cos \varphi \frac{1}{r}$ κ Oberflächenspannung	Docht, Kapillare [1]	Hagen- Poiseuille $V = f(T)$ 13.12-2		$\dot{V} = \frac{\pi R^4}{8 \eta l} \Delta p_d$	Laminare Rohrströmung [8]
Staudruck $p_d = f(v)$ 12.04-1		$p_d = \frac{\rho}{2} v^2$	Düse, Turbinenleiträder, Wasserstrahl- pumpe	Kompressibi- lität (Boyle- Mariotte) $V = f(p)$ 13.12-3		$\Delta V = \left(1 - \frac{p_{d1}}{p_{d2}}\right) V_1$	Pneumatische Feder [1]
Druckabfall in einer Rohr- leitung $p_d = f(v)$ 12.04-2		$p_d = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} v^2$	[2]	Induktion $I = f(s)$ 15.03-1		$I = \frac{F l}{B l}$	Elektromotor, Lautsprecher, Drehspulmeßwerk [3]
Gay-Lussac $p_d = f(V)$ 12.13-1		$p_d = mRT \frac{1}{V}$	[19]	Lorentz-Kraft Hall-Effekt $I = f(s)$ 15.03-2		$I = \frac{U}{BR} d$ R Hallkonstante	Magnetfeld- messung, Hallmultiplikator [3]

Physikalische Effekte

Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Induktion $I = f(I)$ 15.15-1		$I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1$ N Windungszahl	Transformator [18]	Piezo-Effekt $U = f(F)$ 16.01-2		$U = \frac{d}{c} F$ $\frac{d}{c}$ Steilheit des Umformers	
Stoßionisation $I = f(I)$ 15.15-2	Tritt in einer Röhre mit geringem Gasdruck aus der Kathode ein Elektronenstrom I_K aus, so vervielfacht sich dieser in Abhängigkeit des Anoden-Kathoden-Abstands	$I = e^{ad} I_K$ α Ionisierungszahl d Anoden - Kathoden - Abstand I_K Elektronenstrom	[9]	Elektrische Ladung $U = f(s)$ 16.03-1		$U = \frac{F}{Q} d = \frac{Q}{\epsilon A} d$ $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$	Kondensator [6]
Ohmsches Gesetz $I = f(U)$ 15.16-1		$I = \frac{1}{R} U = \frac{A}{\rho l} U$ A Leiterquerschnitt	Spannungsteiler, Schiebewiderstand [11]	Piezo-Effekt $U = f(s)$ 16.03-2			Dehnungsmesser [17]
Vakuum-Entladung $I = f(U)$ 15.16-2		$I_a = K U_{ak}^{3/2}$ I_a Anodenstrom U_{ak} Spannung zwischen den Platten K Konstante	Elektronenstrahlröhre, Diode [10]	Induktion $U = f(v)$ 16.04-1		$U = Blv$	[10]
Lorentz-Kraft Hall-Effekt $I = f(U)$ 15.16-3		$I = \frac{U}{BR}$ R Hallkonstante	Magnetfeldmessung, Hallmultiplikator [3]	Elektrokinetischer Effekt $U = f(v)$ 16.04-2		$U = \frac{l \eta}{\xi \epsilon_r \epsilon_0} v$ ϵ elektrokinetisches Potential	[6]
Halbleiter $I = f(U)$ 15.16-4		$I = I_{SP} \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right)$ I_{SP} Sperrstrom e el. Elementarladung k Boltzmann - Konstante T Temp. des Halbleiters	Diode [8]	Wirbelstrom $U = f(v)$ 16.09-1		$U = k B \frac{d\omega}{dt}$ k Anordnungs - u. Materialkonstante	Gleichstromdynamo, Beschleunigungsmesser [14]
Elektrostatische Anziehung (Abstoßung) $U = f(F)$ 16.01-1		$U = \sqrt{\frac{2lF}{C}}$		Josephson-Effekt $U = f(v)$ 16.11-1	Berühren sich 2 Supraleiter unter Mikrowellenbestrahlung, so entsteht zwischen ihnen eine Gleichspannung U, die der Mikrowellenfrequenz ν proportional ist	$U = \frac{h}{2e} f$	Spannungsnormale [14]

Physikalische Effekte

Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Elektro- kinetischer Effekt $U = f(v)$ 16.12-1		$U = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 \xi}{\eta \kappa} p_d$ ξ elektrokin. Potential κ elektrische Leitfähigkeit		Supraleitung $H = f(T)$ 18.19-1	Bei Erreichen einer kritischen magnetischen Feldstärke H_c wird aus einem Supraleiter ein Normalleiter, wobei sich der el. Widerstand entsprechend erhöht.		[3]
Ohmsches Gesetz $U = f(I)$ 16.15-1		$U = RI = \frac{\rho l}{A} I$ A Leiterquerschnitt	Spannungsteiler, Schiebewider- stand	Änderung des Aggregat- zustands $T = f(Q)$ 19.20-1		$T = const.$ beim Phasenübergang	Temperatur- konstanthaltung
Vaku- umentladung $U = f(I)$ 16.15-2		$U_{ak} = K I_a^{2/3}$ I_a Anodenstrom U_{ak} Spannung zwischen den Platten K Konstante	Elektronenstrahl- röhre, Diode	Coulombsche Reibung $Q = f(F)$ 20.01-1		$Q = \mu F s$	Reibschweißen
Lorentz-Kraft Hall-Effekt $U = f(I)$ 16.15-3		$U = \frac{BR}{d} I$ R Hallkonstante	Magnetfeld- messung, Hallmultiplikator	Hysteresese bei elastischer Verformung $Q = f(F)$ 20.01-2		$Q_z = \oint F ds$ Q_z pro Zyklus erzeugte Wärmemenge	Ultraschall- schweißen
Halbleiter $U = f(I)$ 16.15-4		$U = \frac{kT}{e} \ln \frac{I + I_{sp}}{I_{sp}}$ I_{sp} Sperrstrom e elektr. Elementarladung k Boltzmann - Konstante T Temp. des Halbleiters	Diode	Plastische Verformung $Q = f(F)$ 20.01-3		$Q = \int F ds$	Schmieden
Induktion $U = f(U)$ 16.16-1		$U_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1$ N Windungszahl	Transformator, Übertrager	Coulombsche Reibung $Q = f(s)$ 20.03-1		$Q = \mu F s$	Reibschweißen
Thermo-Effekt $U = f(T)$ 16.19-1		$U = \alpha (T_2 - T_1)$ α Seebeck - Koeffizient	Temperaturmes- sung, Thermoelement, Thermomagnet	Hysteresese bei elastischer Verformung $Q = f(s)$ 20.03-2		$Q_z = \oint F ds$ Q_z pro Zyklus erzeugte Wärmemenge	Ultraschall- schweißen