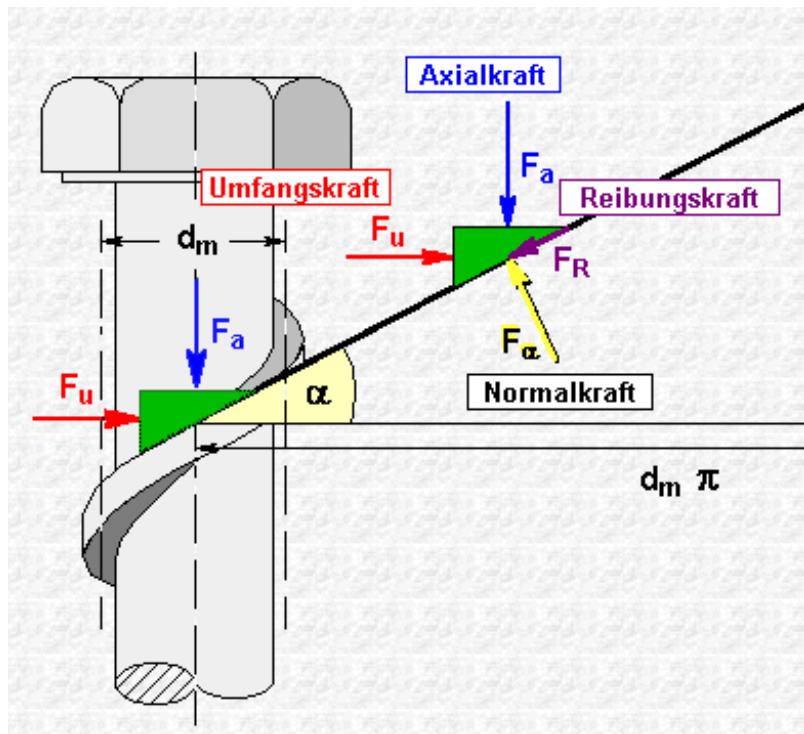


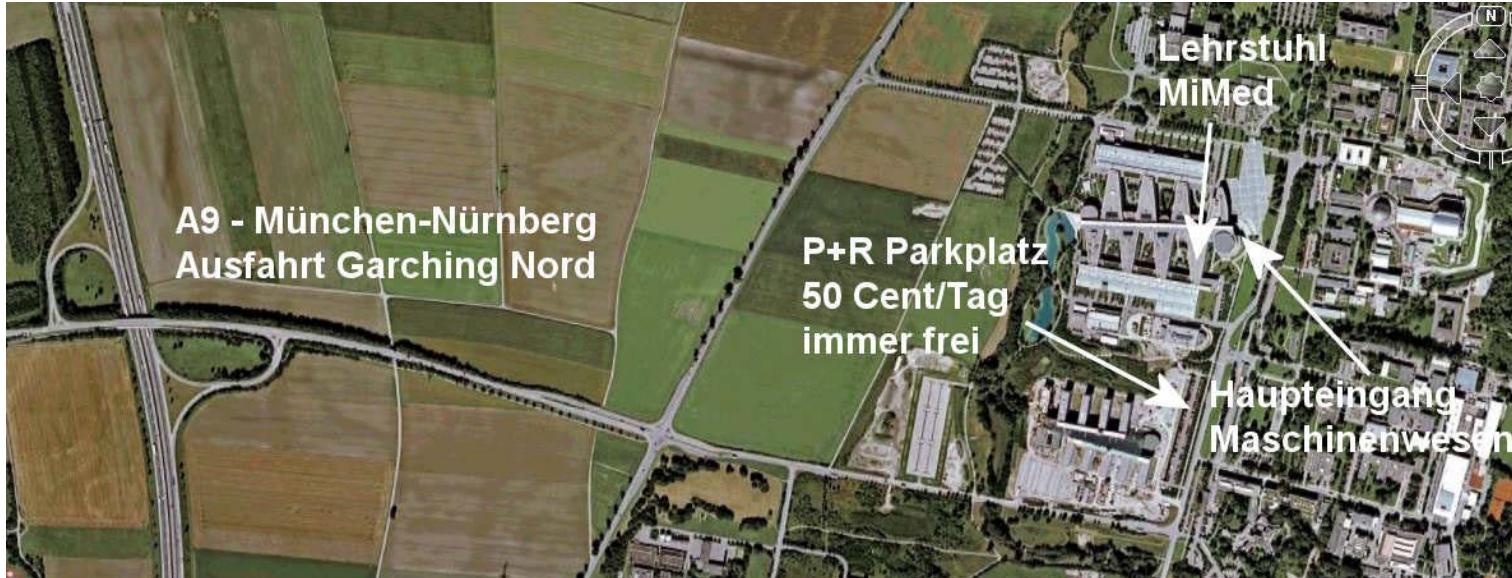
Technische Universität München
Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik
o.Prof. Dr. Tim Lüth



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

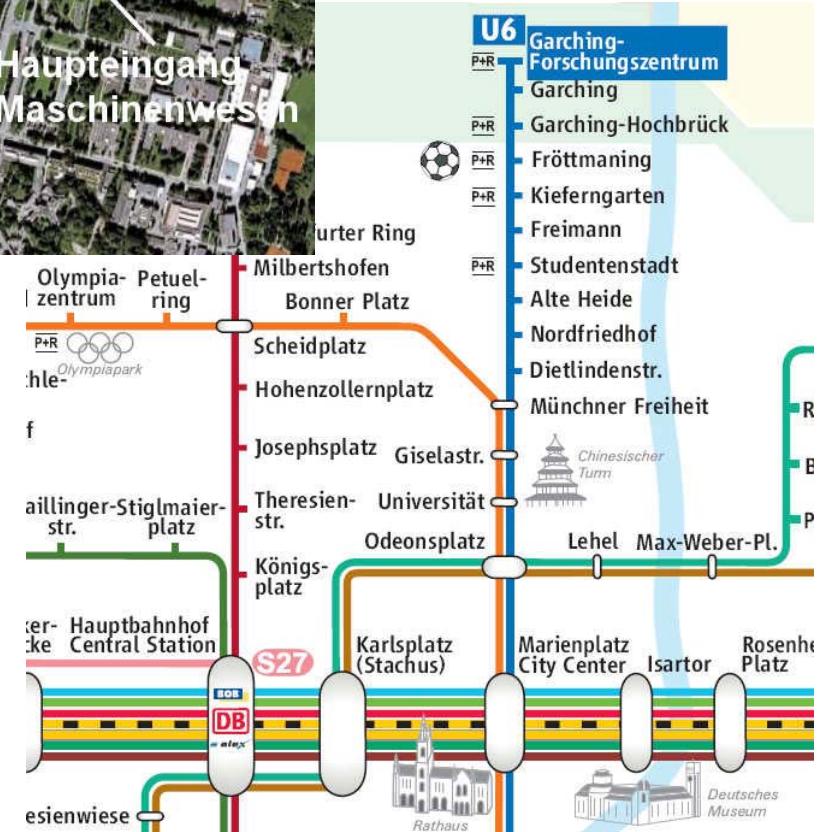
Kontakt zum Lehrstuhl

mimed



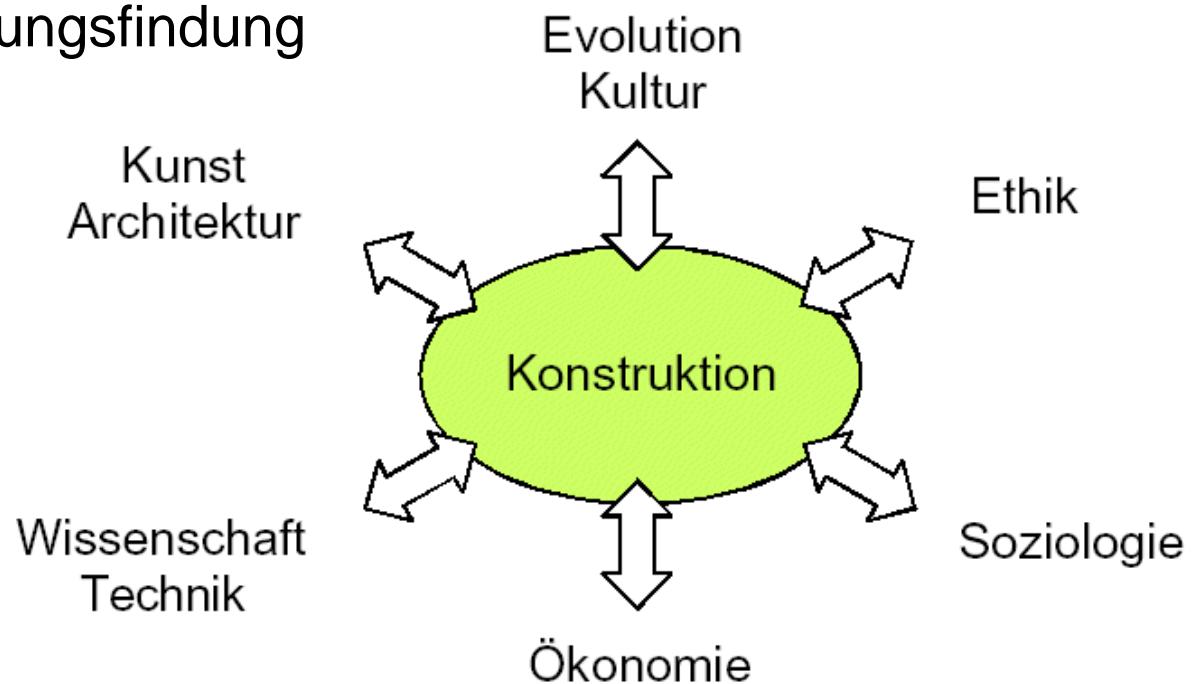
Dr. Franz Irlinger

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



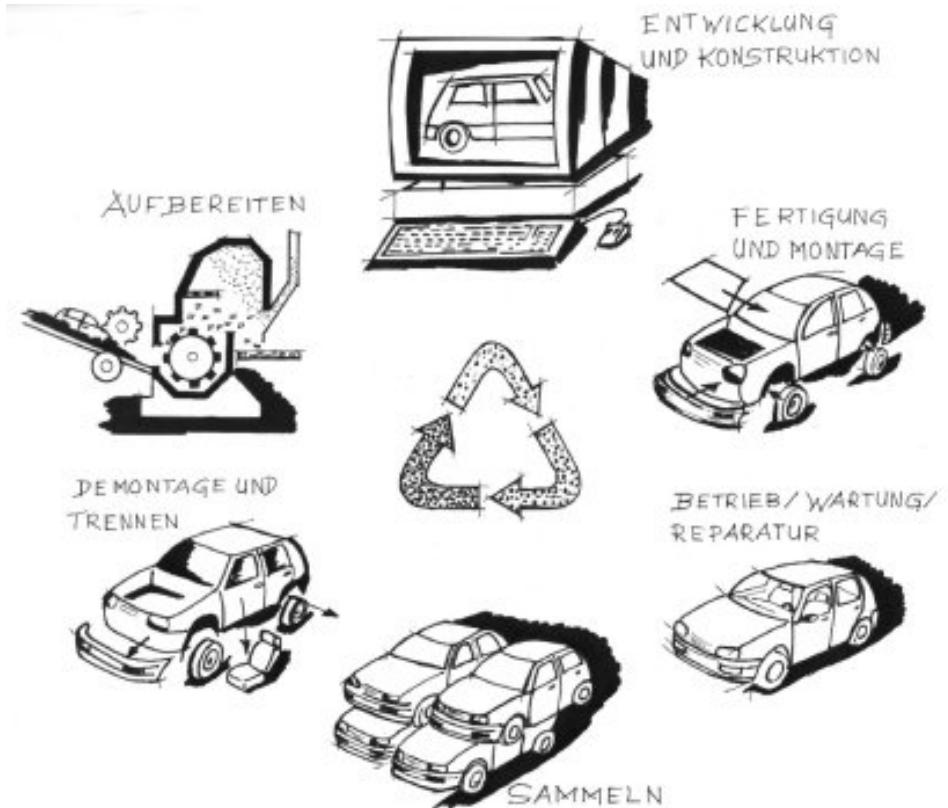
1. Konstruktionsmethodik

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



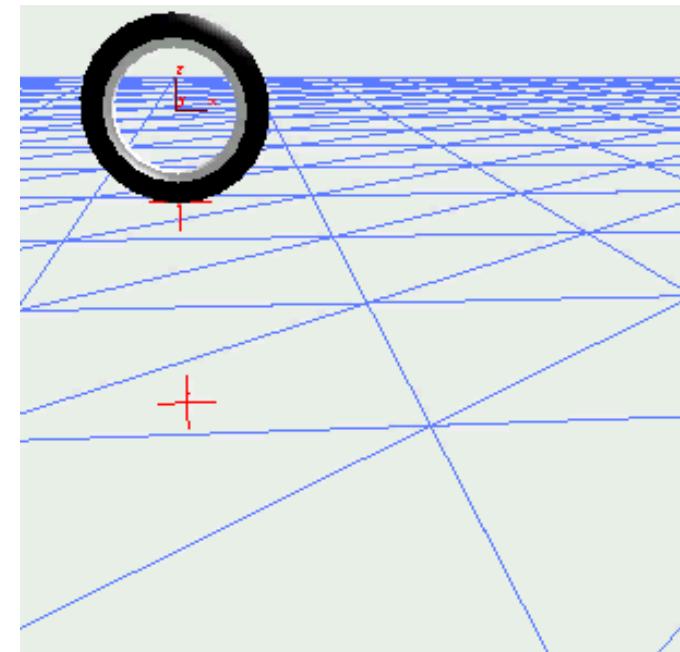
2. Anforderungen an die Konstruktion – Gestaltungsregeln

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



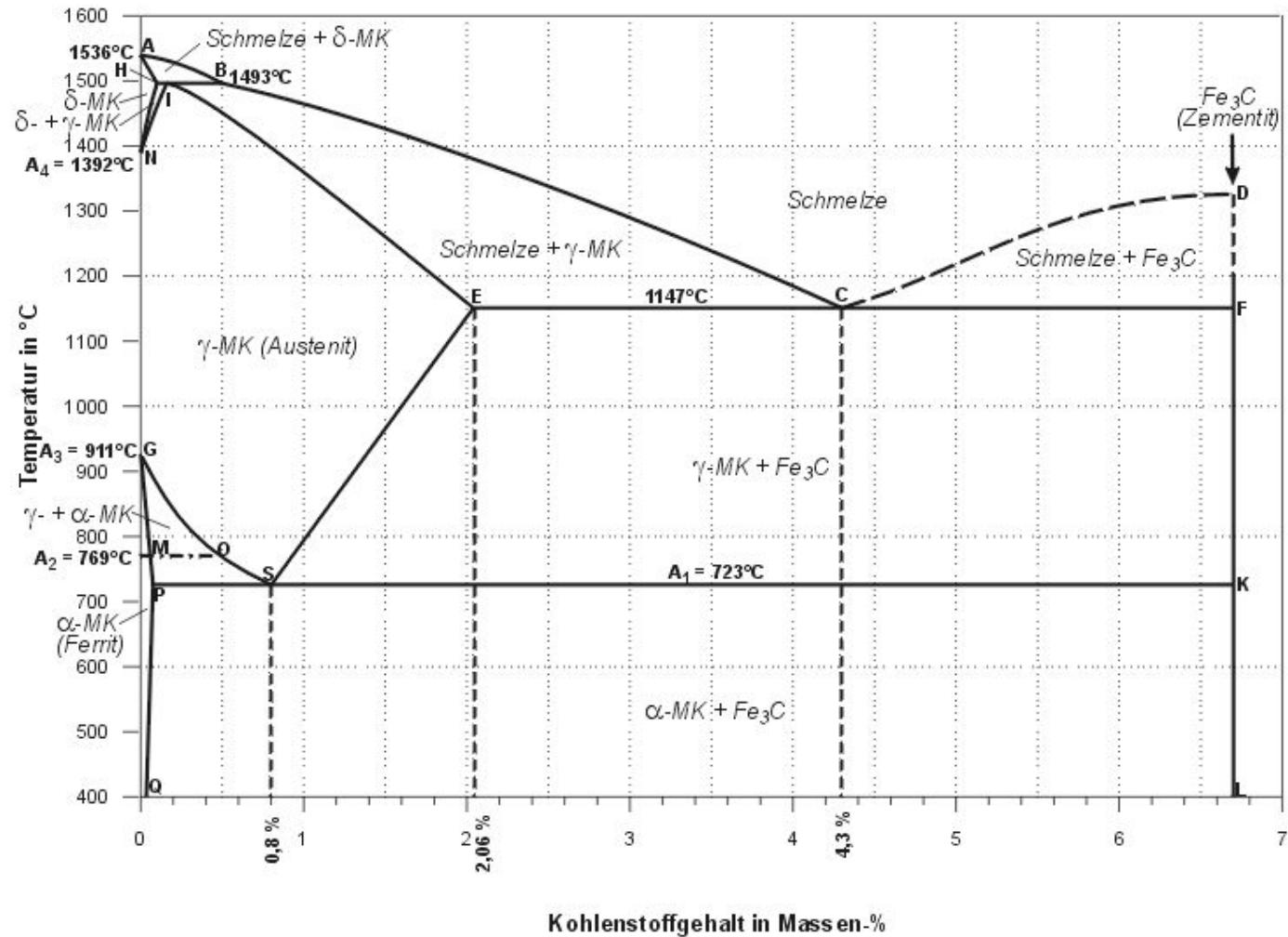
3. Hilfsmittel im Konstruktionsprozeß

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



4. Werkstoffe

- Eisenwerkstoffe
- Kunststoffe



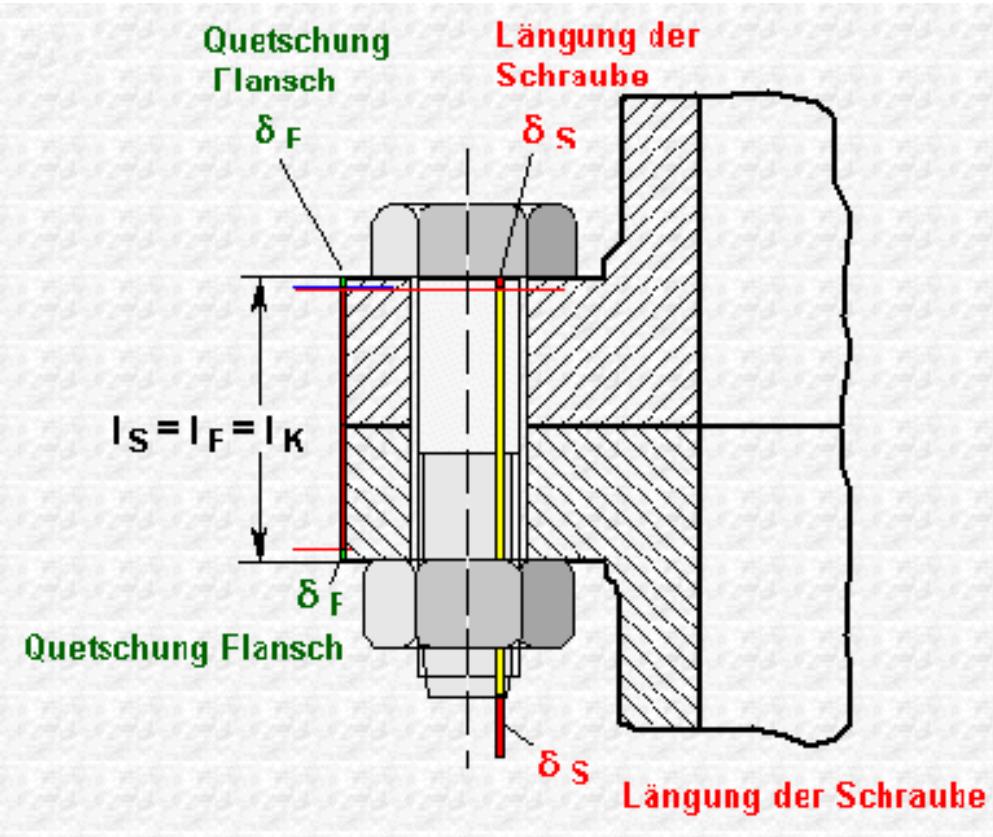
5. Fertigungstechnik

- Urformen
- Umformen
- Zerspanen, Schleifen



6. Maschinenelemente

- Lagerungen
- Kupplungen
- Federn, Schrauben



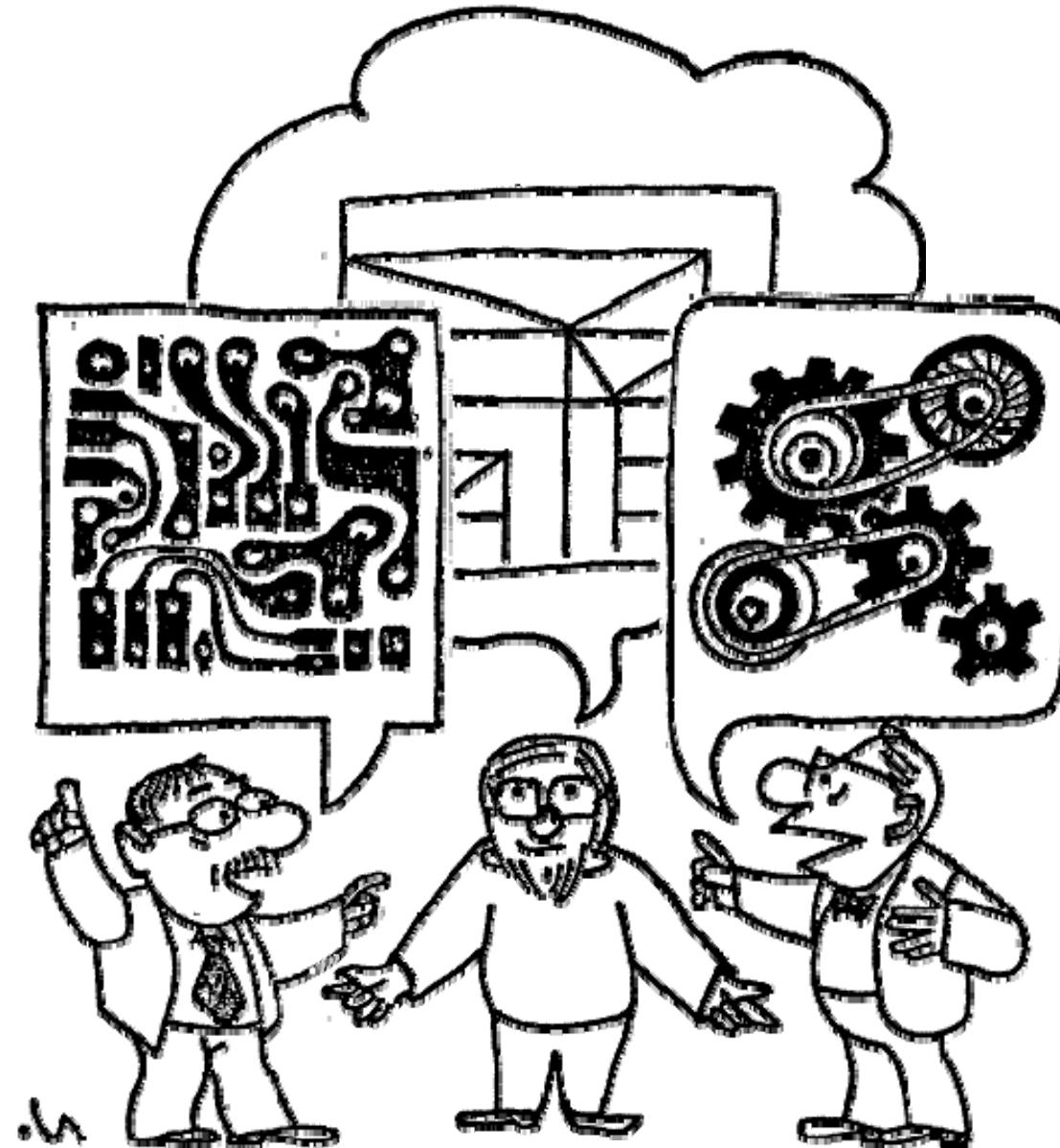
7. Getriebe



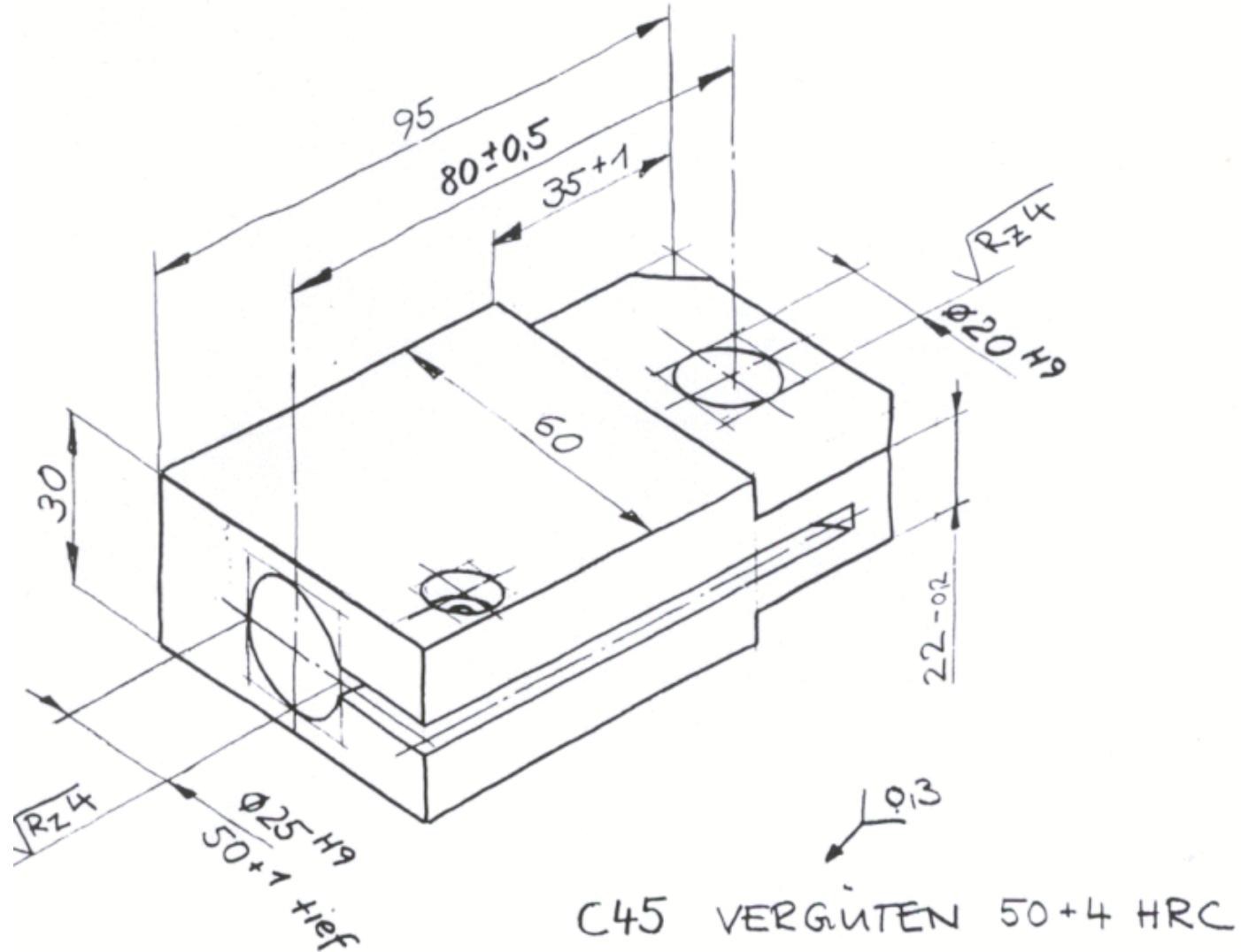
- Bewegungsaufgaben
- Getriebetypen
- Wälz, Zahnrad- und Koppelgetriebe
- Antriebe

Ziele der Vorlesung

Integration
unterschiedlicher
Fachgebiete
und Verständnis
der verschiedenen
Sprachen

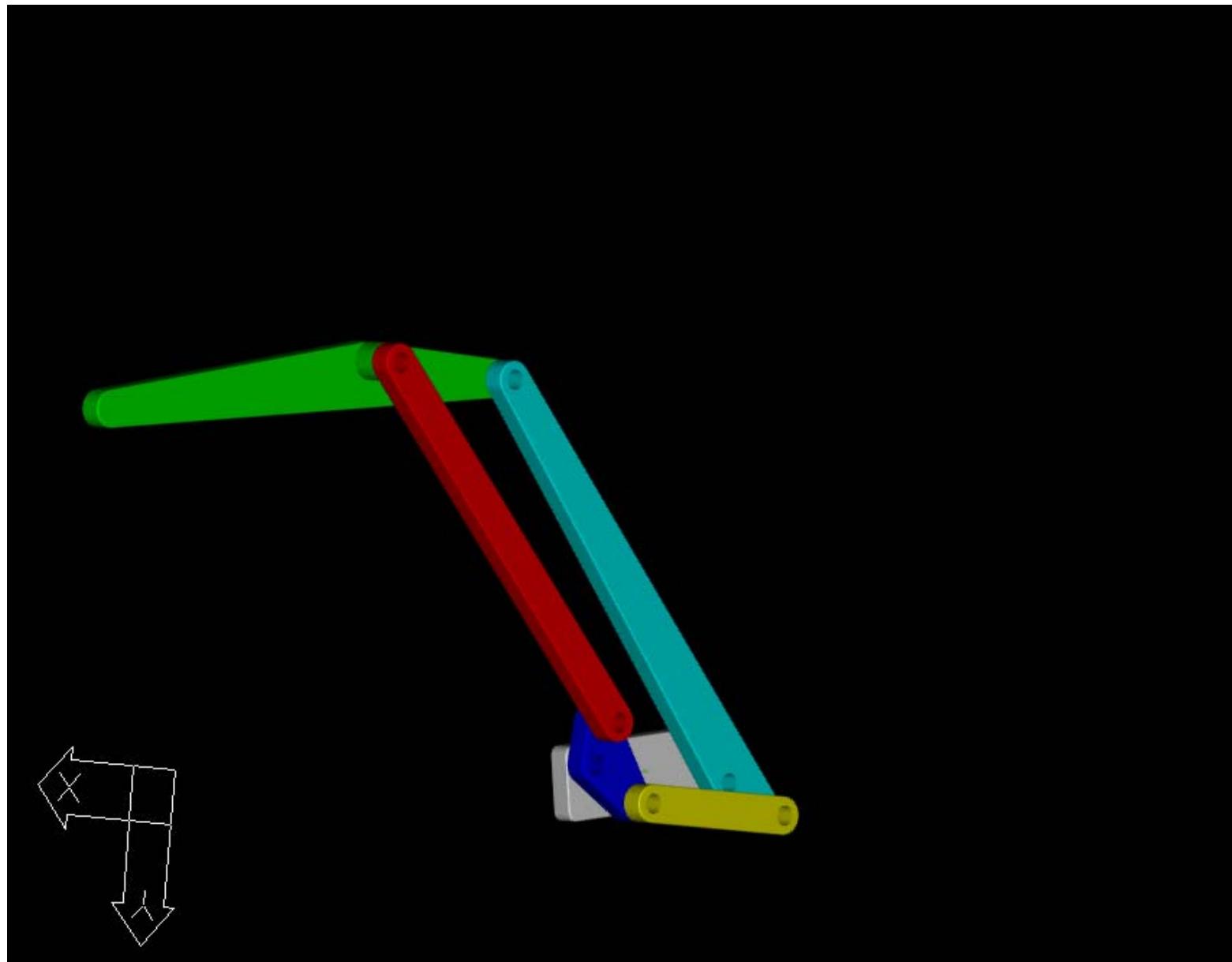


Ziele der Vorlesung



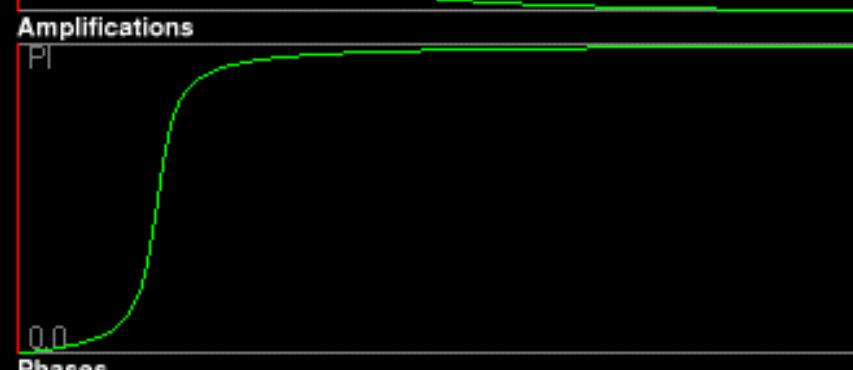
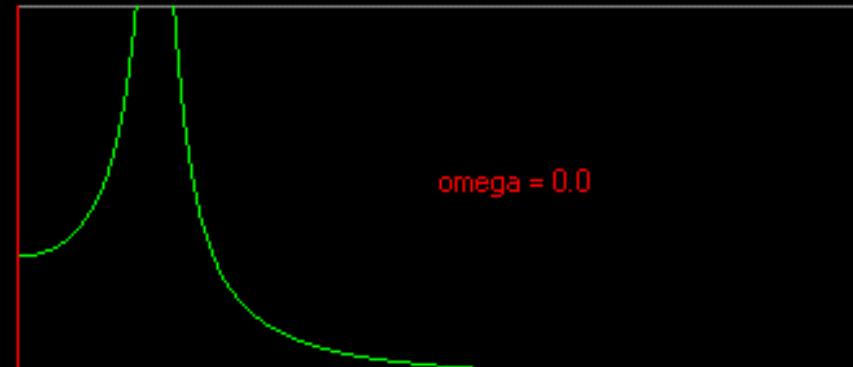
Ziele der Vorlesung

mimed



Ziele der Vorlesung

Einmassenschwinger



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

mass

spring constant

nonlinear spring
(elastic collision)

damping factor

initial displacement

frequency of
harmonic excitation

reset

Ziele der Vorlesung

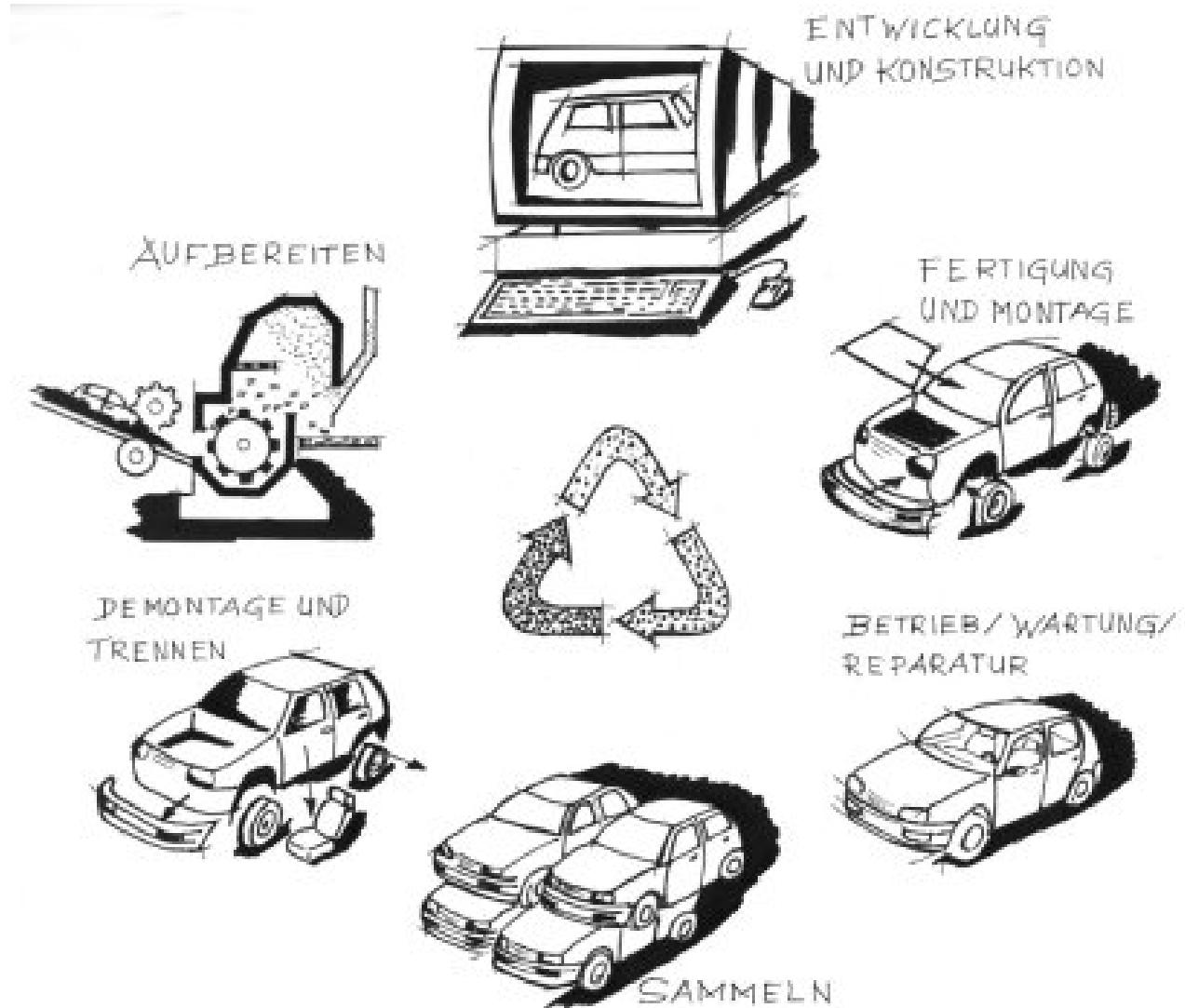
Bereiche der Technik

	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

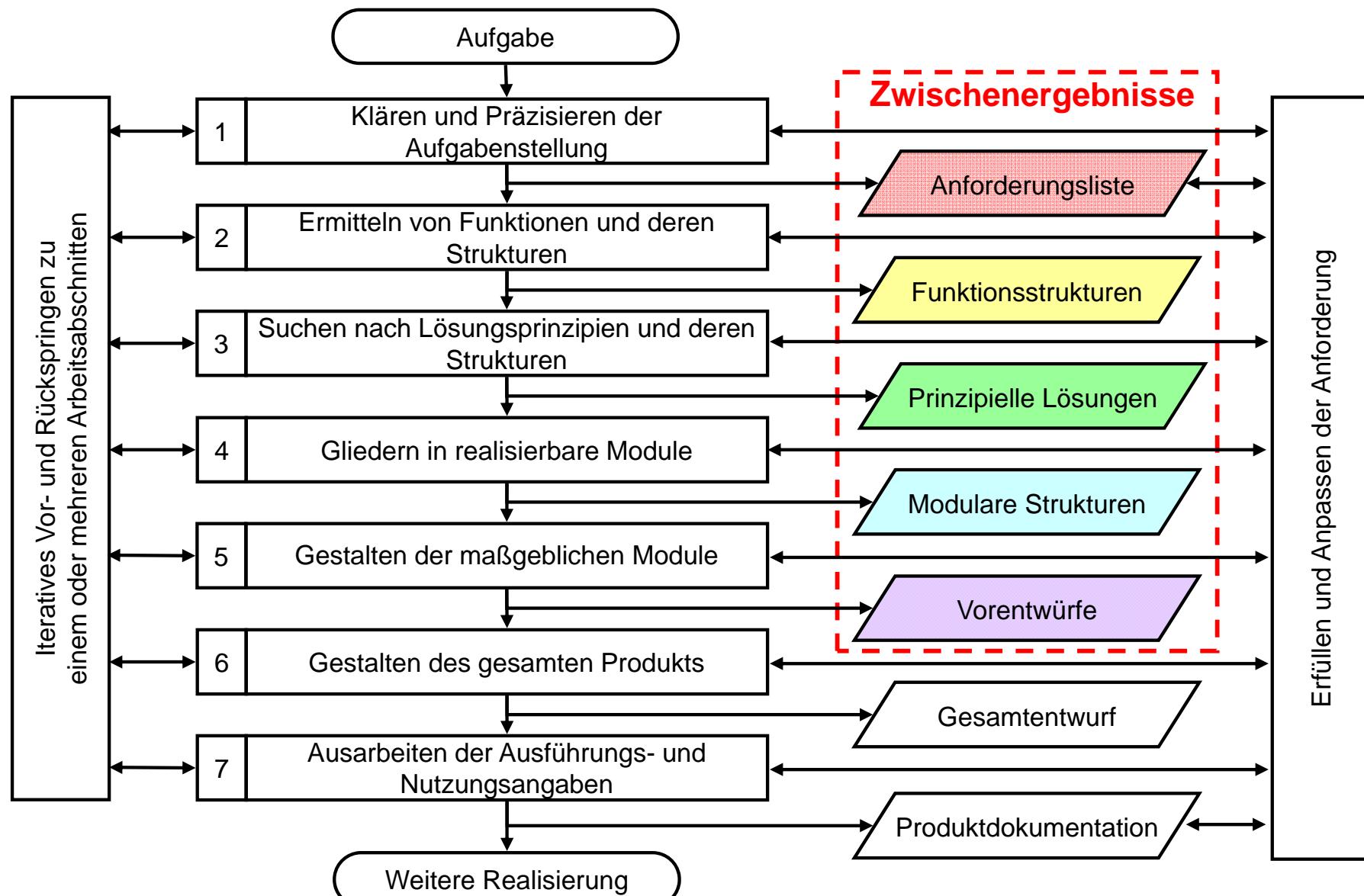
Lebensphasen eines Produkts

mimed

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

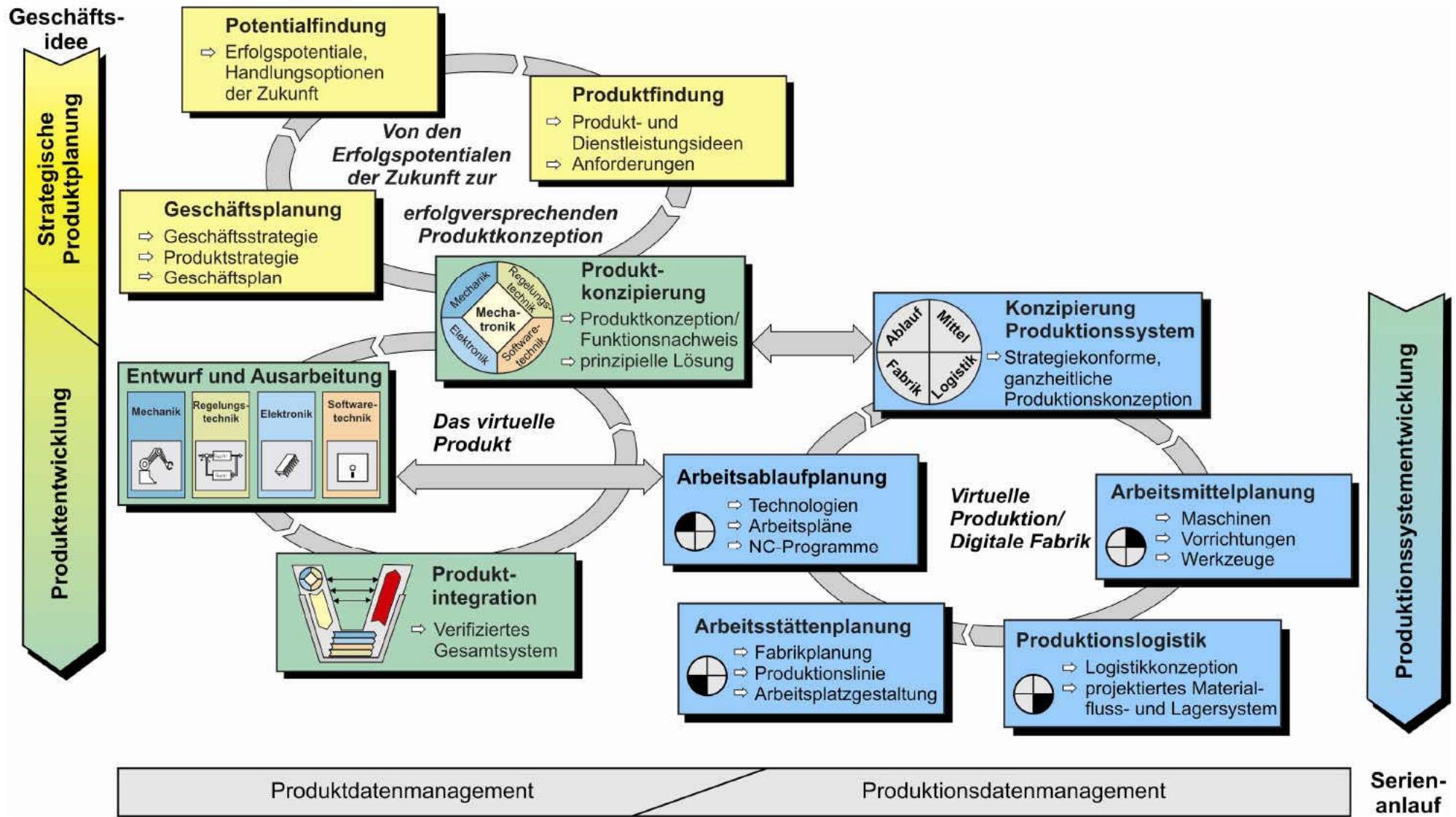


Der Konstruktionsprozess



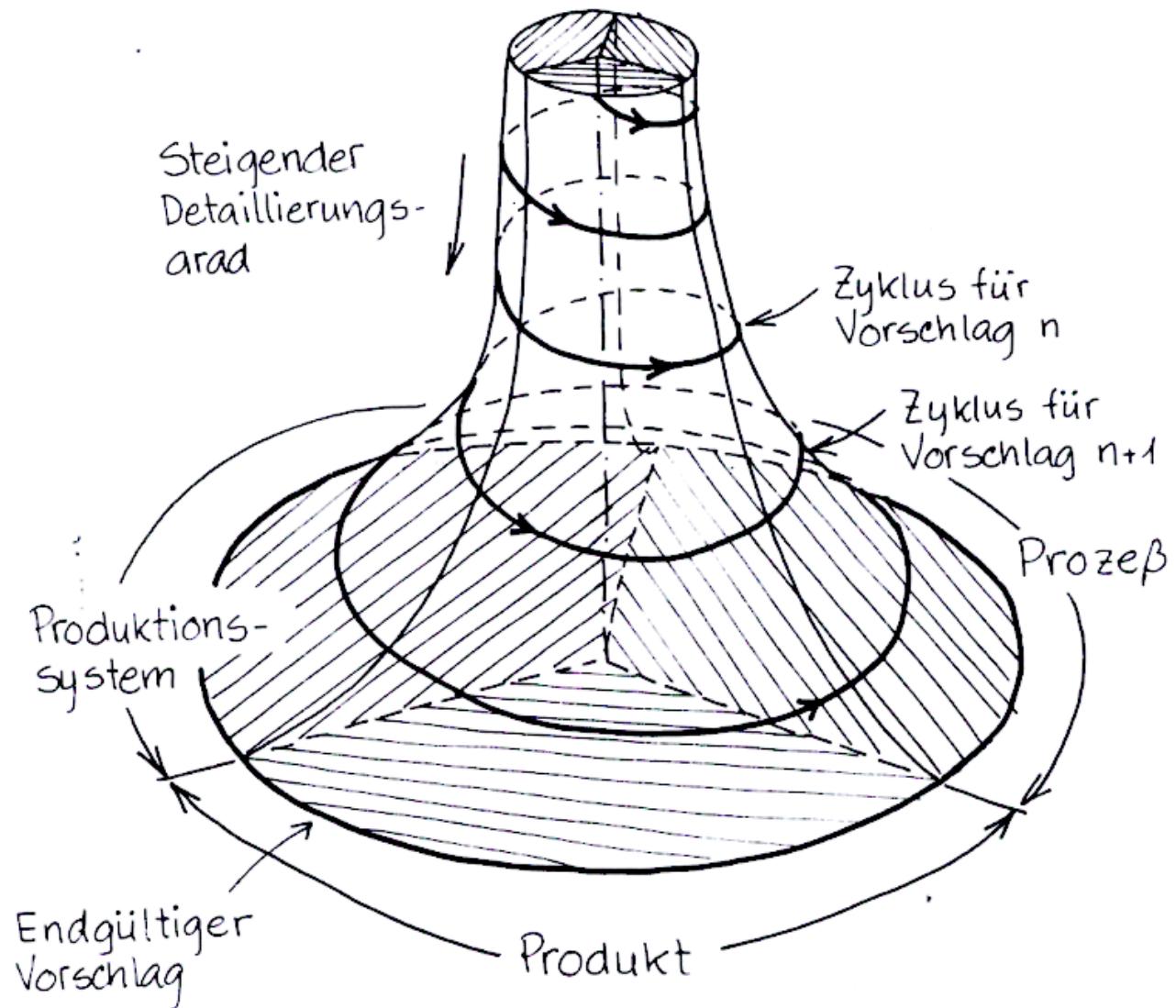
Zyklen des Produktentstehungsprozesses

mimed



Der iterative Prozess

mimed



1. Technische Ziele

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

2. Organisatorische Ziele

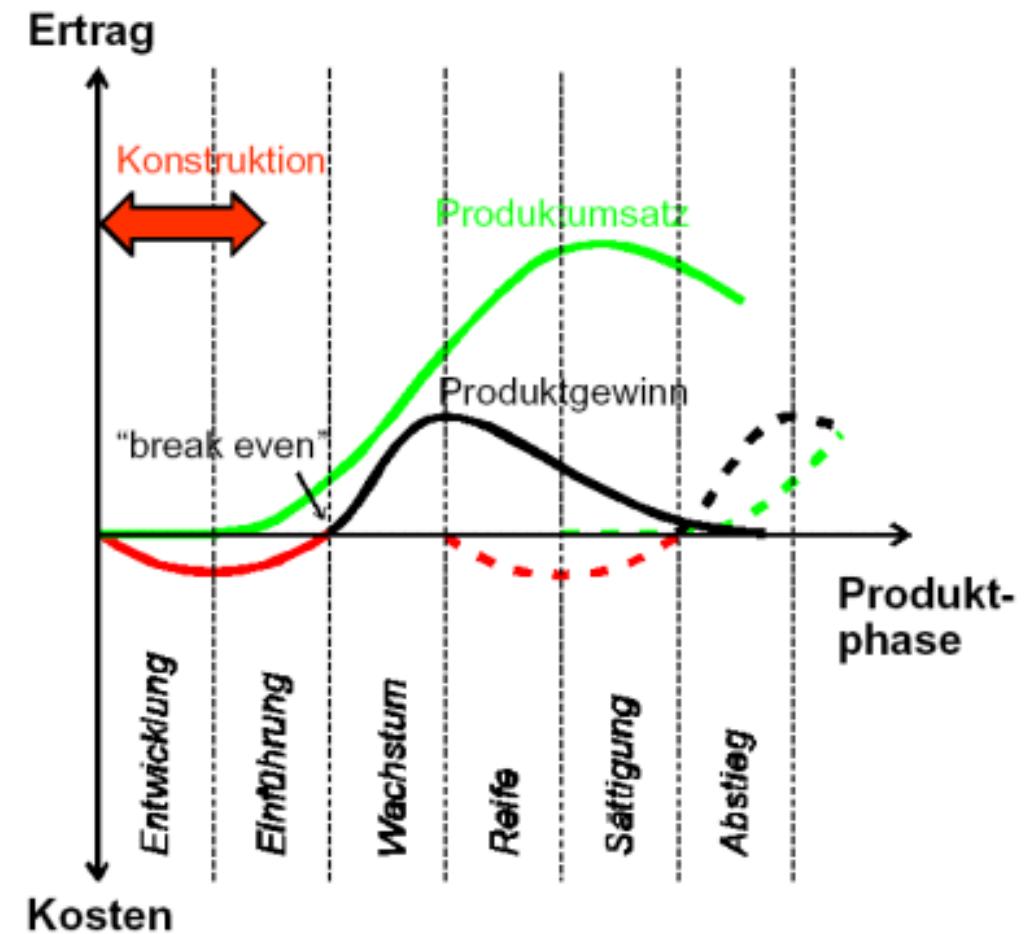
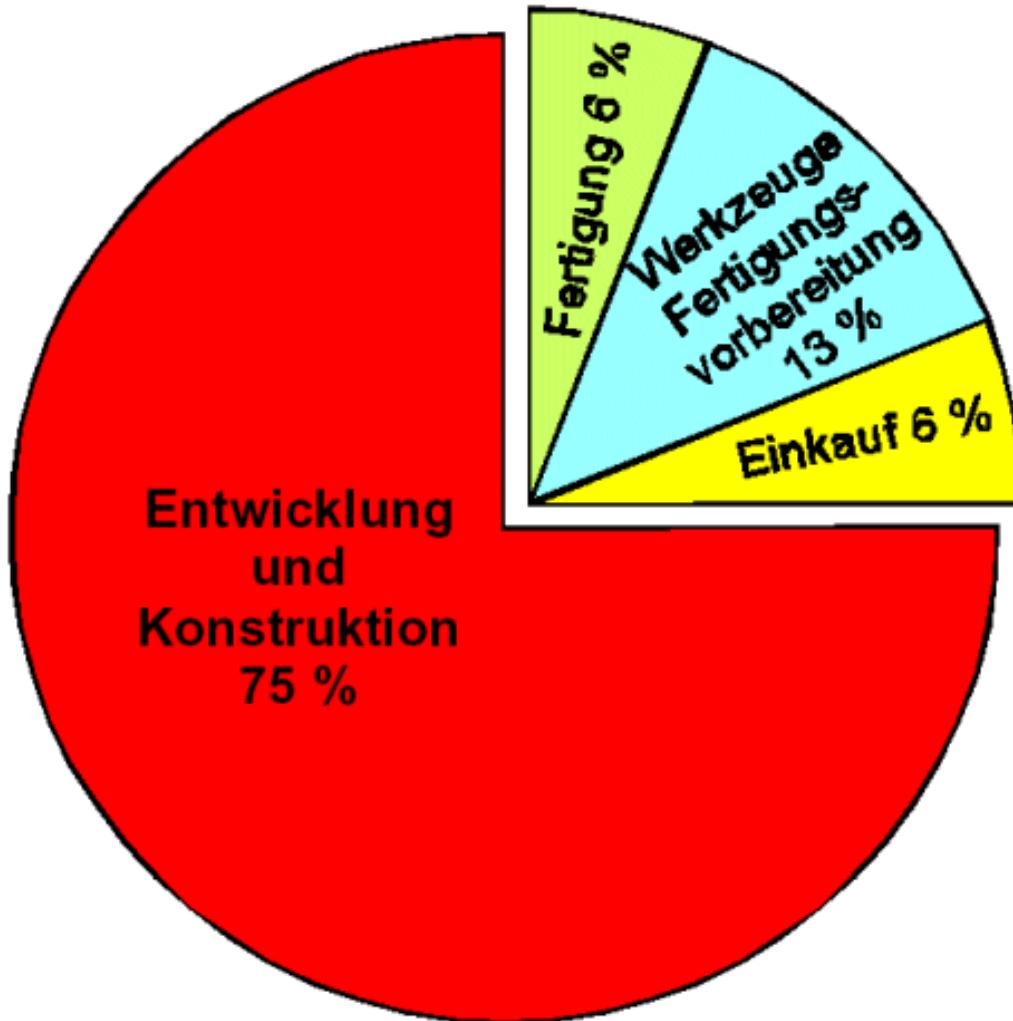
- z.B. Rationalisierung der Konstruktionsarbeit, Verkürzung der Konstruktionszeit,
- Erleichterung des interdisziplinären Arbeitens (auch im Team)

3. Persönliche Ziele

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

Stellung der Konstruktionsmethodik

mimed



Methoden der Produktentwicklung

mimed

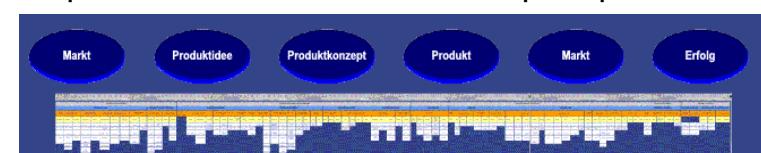
ABC-Analyse
Abstraktion der Aufgabestellung
Amortisationsrechnung
Analogiebildung
Analyse bekannter technischer Systeme
Analyse möglicher Bearbeitungsverfahren
Analytischer Hierarchieprozess
Anforderungsliste
Assessment Center
Ausführungsplanung
Belastungsorientierte
Auftragsfreigabe (BOA)
Benchmarking
Beschwerdemangement
Betriebliches Vorschlagwesen
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

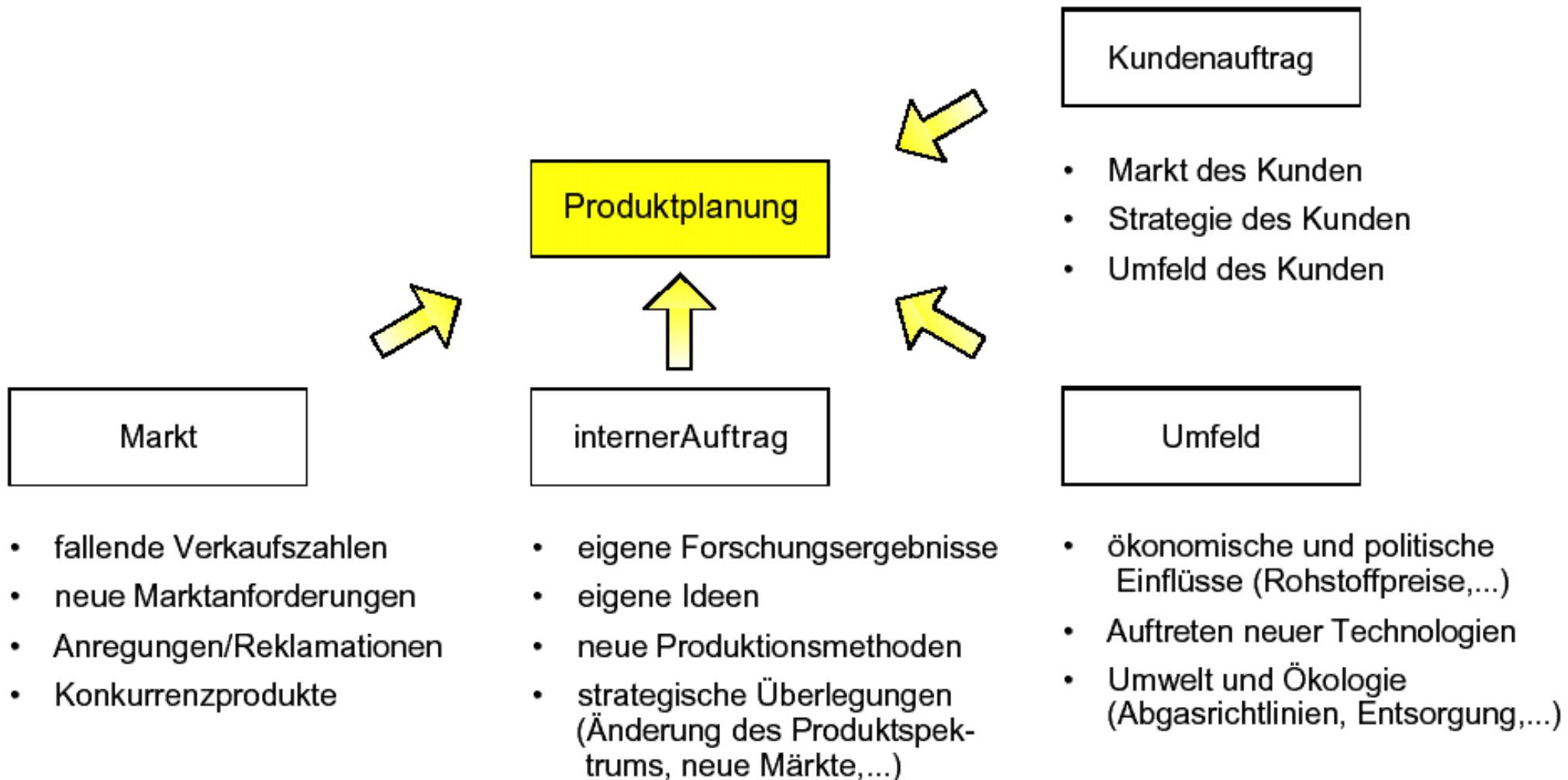
Scratch-Line-Budgeting
Sensitivitätsanalyse
Shadowing
Simulationsbudgetierung
Stärken-Schwächen-Analyse
Standardbudgetierung
Strategische Gruppen
Synektik
Systematische Untersuchung des physikalischen Geschehens
Systematische Variation vorhandener Merkmale
Szenarioanalyse
Szenariotechnik
Target Budgeting
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>



Produktplanung

mimed



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, man 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 darüber hinaus 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 Fertiggestahlten 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

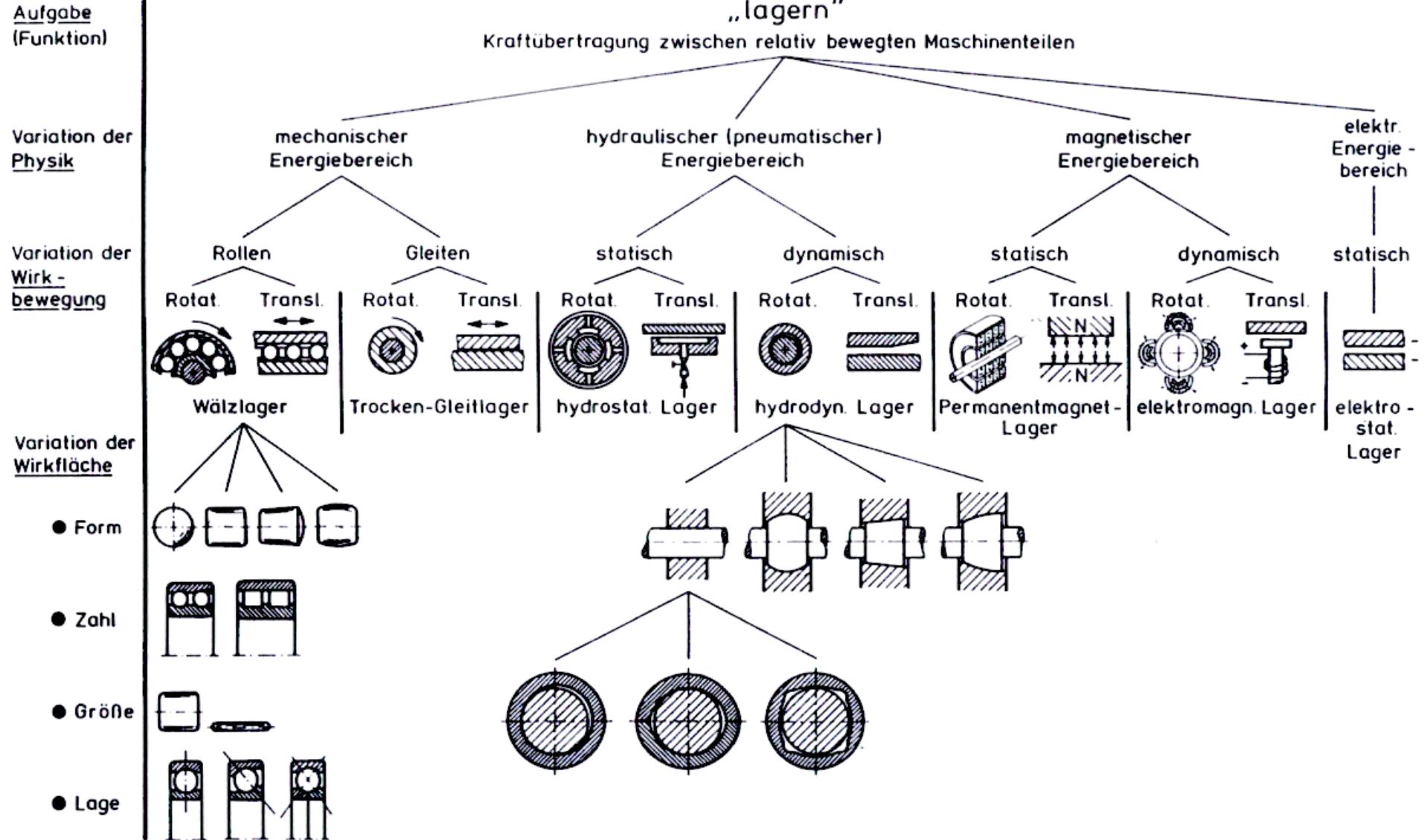
Wozu ist das gut?

- 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 Fertiggestahlten wird die endgültige Gestalt des Produktes weitgehend festgelegt.

Brainstorming



- 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.



mkLcc		Fehler-Möglichkeiten und Einfluß-Analyse						Teil-Benennung Kurvenzylinder						
		Konstruktions-FMEA <input checked="" type="checkbox"/> Prozeß-FMEA <input type="checkbox"/>												
Fehler-Ort/Merkmal	Fehler-Art	Fehler-Auswirkung	Fehler-Ursache	Derzeitiger Zustand				Empfohlene Maßnahmen	Verbesserter Zustand					
				Kontroll-Maßnahmen	A	B	E		Getroffene Maßnahmen	A	B	E	RPZ	
Welle	Bruch der Welle	Totalausfall	Belastungsart nicht korrekt erkannt		3	10	10	300	Auftretende Belastung durch geeigneten Berechnungsansatz erfassen	Festigkeitsnachweis der Welle	1	10	10	100
Lagerung	Spiel in der Lageranordnung	unexakte Funktionserfüllung	Lockern der Wellenmutter im Betrieb (Schlupfspannung)		3	8	10	240	Zusätzliche Sicherung der Wellenmutter		1	8	10	80
	Dichtung durchlässig	frühzeitiger Lagerverschleiß	Dichtung genügt nicht den Anforderungen		2	5	10	100	Radialwellendichtung nach DIN verwenden		1	5	10	50
Welle-Nabe-Verbindung (Flanschschraubverbindung)	Reibschlüssel nicht ausreichend	Querbeanspruchung der Schrauben	Auselegungsfehler (Nichtberücksichtigung der Reibwerte)		2	8	10	120	Ausreichenden Sicherheitsbeiwert berücksichtigen		1	6	10	80
	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		2	10	10	300	Geeigneten Berechnungsansatz für den vorliegenden Belastungsfall verwenden	dynamische Schraubenauslegung	1	10	10	100
Kurvenzylinder	Flächenpressung zu groß	Pitzings (Grübchen) in der Lauffläche	zu hohe Flächenpressung durch den Hebel		7	8	10	560	Geignete Werkstoffpaarung Angepaßte Geometrie		2	8	10	160

A: Auftreten

B: Bedeutung

E: Entdeckung

RPZ: Risiko-Prioritätszahl

Weahrscheinlichkeit des Auftretens
(Fehler kann vorkommen)

Auswirkungen auf den Kunden

Weahrscheinlichkeit der Entdeckung
(vor Auslieferung an Kunden)

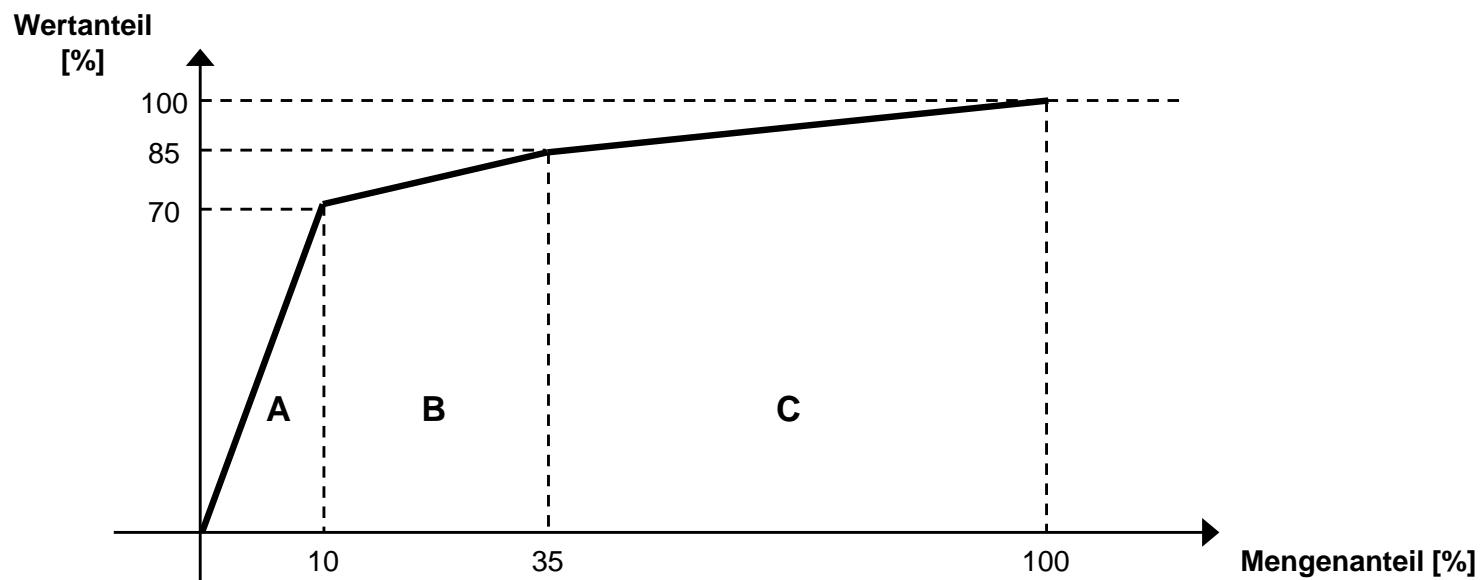
unwahrscheinlich = 1
sehr gering = 2 - 3
gering = 4 - 6
mäßig = 7 - 8
hoch = 9 - 10

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

= 1 hoch
= 2 - 5 mäßig
= 4 - 6 gering
= 7 - 8 sehr gering
= 9 - 10 unwehrscheinlich

= 1 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



Abstaktionsebenen

mimed

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

Gestalterische Suchebene

Wirkfläche

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

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 ...

Physikalische Suchebene

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

Funktionelle Suchebene

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

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

Physikalische Effekte

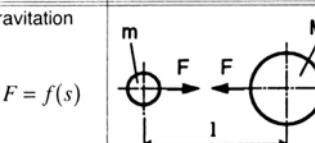
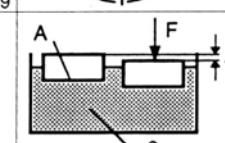
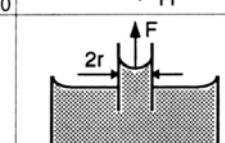
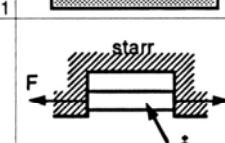
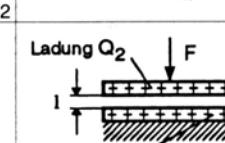
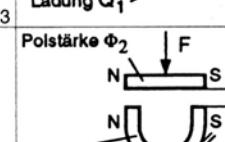
mimed

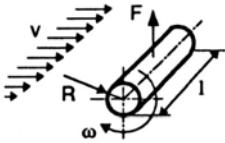
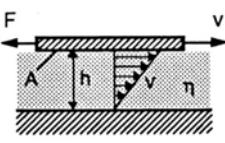
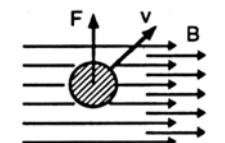
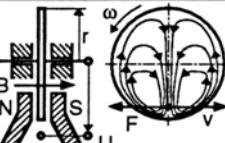
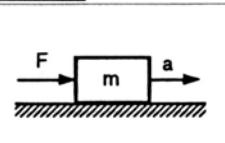
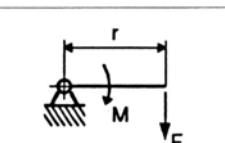
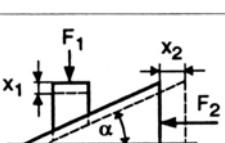
Name Nummer	Physikalischer Effekt (Prinzip) Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Kohäsion fester Körper 01.01-1		$F_1 = F_2$ für $D > d$	Formschluß
Hebel 01.01-2		$F_2 = \frac{r_1}{r_2} F_1$	Kraftübertragung, Zahnrad, Hebelgetriebe [16]
Kniehebel 01.01-3		$F_2 = \frac{F_1}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2}$	Backenbrecher
Keil ohne Reibung 01.01-4		$F = \tan \alpha F_Q$	Bewegungs- schraube [2]
Keil mit Reibung 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 01.01-6		$F_3 = F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta$	Seilstatik [15]
Flaschenzug 01.01-7		$F_1 = \frac{1}{n} F_Q$ $F_2 = F_1 + F_0$ n Anzahl der Rollen	Hebezeug [2]

Name Nummer	Physikalischer Effekt (Prinzip) Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Coulombsche Reibung 01.01-8		$F = \mu F_n$ μ Reibwert	Bremse, Reibschluß [16]
Rollende Reibung 01.01-9		$F_w = \mu_r F_Q$ $\mu_r = \tan \alpha = \frac{f}{r}$ (Reibwert)	Rollwiderstand [2]
Umschlun- gsreibung 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 01.01-11		$F_1 = F_2 < \tau_{zul} \cdot A$	Kleben, Löten (Stoffschluß)
Stoß 01.01-12		$F_2 = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} F_1$ für F_1, F_2 = konst.	Hammer [16]
Druckfort- pflanzung 01.01-13		$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$	Hydraulik, Pneumatik [16]
Trägheit 01.02-1		$F = \frac{d}{dt} p_i$	Raketenantrieb [1]

Physikalische Effekte

mimed

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]
Zentifugalkraft $F = f(s)$ 01.03-9		$F = mr\omega^2$	Zentrifuge [2]
Auftrieb $F = f(s)$ 01.03-10		$F = \rho_f l g A \Delta l$	Schwimmerventil [6]
Kapillarwirkung $F = f(s)$ 01.03-11		$F = \Sigma_0 2\pi r$ Σ_0 Oberflächenspannung	Schwamm [15]
Wärmedehnung $F = f(s)$ 01.03-12		$F = c(l_{T_i} - l_{T_o})$ $F = \alpha \Delta T E A$ α Wärmeausdehnungskoeffizient	Schrumpsitz [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		$F = A \eta \frac{dv}{dh}$ $\bar{F} \parallel \bar{v}$	Flüssigkeitsdämpfung [1]
Lorentz-Kraft $F = f(v)$ 01.04-9		$F = Q B v$	Hallsonden [16]
Wirbelstrom $F = f(v)$ 01.04-10		$F = \kappa c B^2 v$ κ elektr. Leitwert B magnetische Induktion c Anordnungskonstante	Instrumentendämpfung, Wirbelstrombremse, Tachometer [6]
Trägheit $F = f(a)$ 01.05-1		$F = ma$	
Hebel $F = f(M)$ 01.06-1		$F = \frac{1}{r} M$	Drehmomentschlüssel [18]
Keil $F = f(φ)$ 01.08-1		$F_2 = F_1 \tan \alpha$	

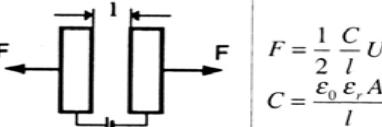
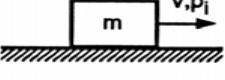
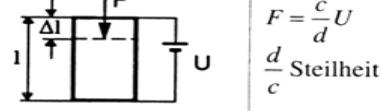
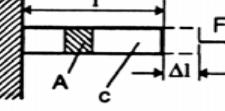
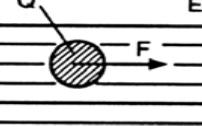
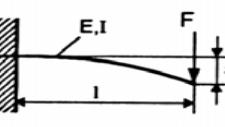
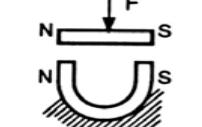
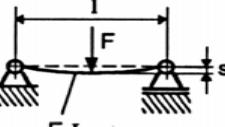
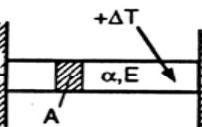
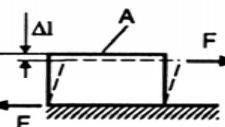
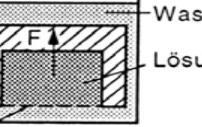
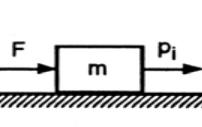
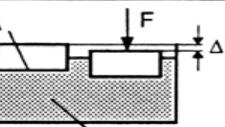
Physikalische Effekte

mimed

Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Seileck 01.08-2		$F_3 = F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta$		Gravitation 01.14-1		$F = gm$ g Erdbeschleunigung	Waage
Umschlingungsreibung 01.08-3		$F_{s2} = F_{s1} e^{\mu \alpha}$ μ Reibwert	Seilbefestigung [2]	Gravitation 01.14-2		$F = GmM \frac{1}{l^2}$ G Gravitationskonstante	Mondumlauf [1]
Zentrifugalkraft 01.09-1		$F = mr\omega^2$	[16]	Elastischer Stoß 01.14-3		$F_{max} = \sqrt{\frac{c}{m}} mv$	Billardkugel [16]
Corioliskraft 01.09-2		$F = 2m\omega v_r$	[2]	Zentrifugalkraft 01.14-4		$F = \omega^2 rm$	Zentrifuge [2]
Magnus-Effekt 01.09-3		$F = 2\pi R^2 \rho \omega l v$	Schiffsantrieb [16]	Corioliskraft 01.14-5		$F_c = 2\omega v_r m$	[6]
Druckkraft 01.12-1		$F = A p_d$	Kolben [18]	Biot-Savart-Gesetz 01.15-1		$F = BI I$	Elektromotor, Generator, Lautsprecher [2]
Auftrieb 01.13-1		$F_A = \rho_f g V$ $F_G = mg$	Schiff [18]	Elektromagnetische Anziehung 01.15-2		$F = \frac{\mu_0 w^2 A}{l^2} I^2$ w Windungszahl	Elektromagnet [16]

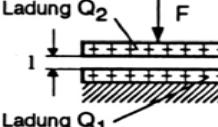
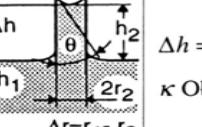
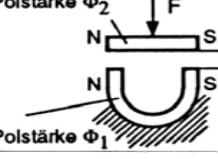
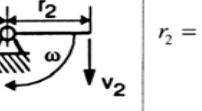
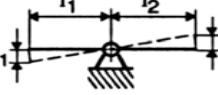
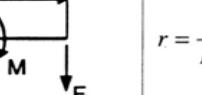
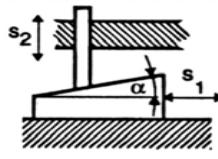
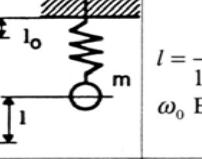
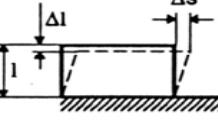
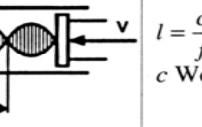
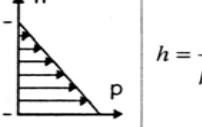
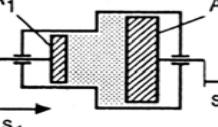
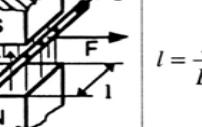
Physikalische Effekte

mimed

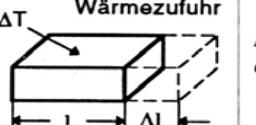
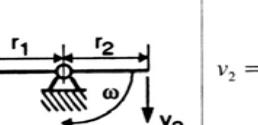
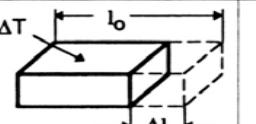
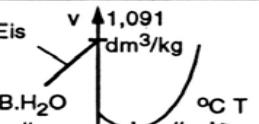
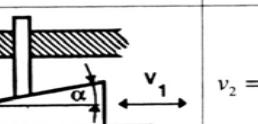
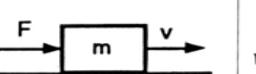
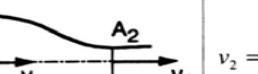
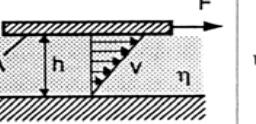
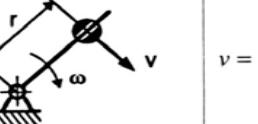
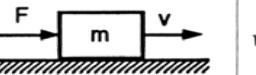
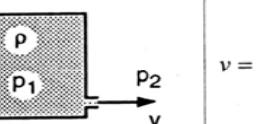
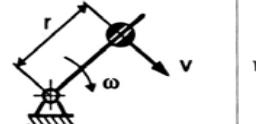
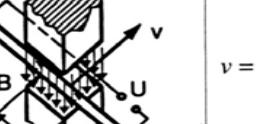
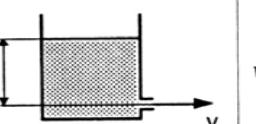
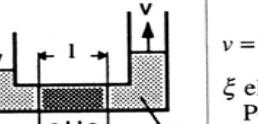
Name Nummer	Physikalischer Effekt (Prinzip) Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Physikalischer Effekt (Prinzip) Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Elektrostatis. Anziehung (Abstoßung) $F = f(U)$ 01.16-1		$F = \frac{1}{2} \frac{C}{l} U^2$ $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{l}$	Anziehung zweier Kondensatorplatten (Kraftmessung) [10]	Trägheit 02.04-1		$p_i = \int m dv$	Pumpen, Stoßvorgänge [18]
Piezo-Effekt $F = f(U)$ 01.16-2		$F = \frac{c}{d} U$ $\frac{d}{c}$ Steilheit des Umformers	Piezoelektrischer Kraftgeber [4]	Elastische Dehnung 03.01-1		$\Delta l = \frac{1}{c} F$ $\Delta l = \frac{l}{EA} F$	Federwaage [2]
Coulombsche Kraft $F = f(E)$ 01.17-1		$F = QE$	[15]	Elastische Biegung I 03.01-2		$s = \frac{l^3}{3EI} F$	Waage
Magnetische Anziehung (Abstoßung) $F = f(H)$ 01.18-1		$F = \frac{1}{2} \mu_0 A H^2$	[15]	Elastische Biegung II 03.01-3		$s = \frac{l^3}{48EI} F$	
Wärmedehnung $F = f(T)$ 01.19-1		$F = \alpha EA \Delta T$ α Wärmeausdehnungskoeffizient	Schrumpfsitz	Elastische Schubverformung 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]	Querkontraktion 03.01-5		$\Delta r = \frac{r \mu}{EA} F$ μ Querkontraktionszahl	Zugstab [3]
Trägheit $p_i = f(F)$ 02.01-1		$p_i = \int F dt$	Stoßvorgänge [18]	Auftrieb 03.01-6		$\Delta l = \frac{1}{\rho_f g A} F$	Schwimmerventil [6]

Physikalische Effekte

mimed

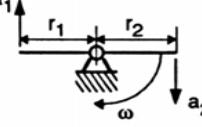
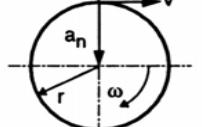
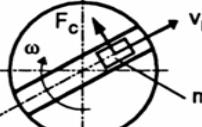
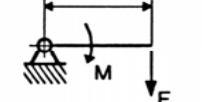
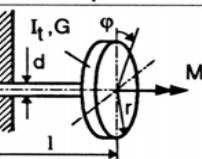
Name Nummer	Physikalischer Effekt (Prinzip) Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Physikalischer Effekt (Prinzip) Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Elektrostatis. Anziehung (Abstoßung) $s = f(F)$ 03.01-7		$l = \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{F}}$	[18]	Kapillarwirkung $s = f(s)$ 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		$s_2 = \tan \alpha s_1$	Kurvegetriebe, Schraube [6]	Resonanz $s = f(f)$ 03.11-1		$l = \frac{l_0}{1 - (f/f_{\omega_0})^2}$ ω_0 Eigenfrequenz	Zungenfrequenz- messer [2]
Elastische Schubverformung $s = f(s)$		$\Delta l = \frac{\Delta s^2}{2l}$ $\Delta l = \frac{1}{2} \left(\frac{F}{GA} \right)^2 \ell$	[6]	Stehende Welle $s = f(f)$ 03.11-2		$l = \frac{c}{f}$ c Wellengeschwindigkeit	Kundtsches Rohr, Wellenlängen- messer [3]
Querkontraktion $s = f(s)$ 03.03-4		$\Delta d = \mu \frac{d_0}{l_0} \Delta l$ μ Querkontraktionszahl	Zugstab [6]	Gravitationsdruck $s = f(p_d)$ 03.12-1		$h = \frac{1}{\rho g} p_d$	Hochbehälter [18]
Druckfortpflanzung $s = f(s)$ 03.03-5		$s_2 = \frac{A_1}{A_2} s_1$	Hydraulik, Pneumatik [6]	Biot-Savart- Gesetz $s = f(I)$		$l = \frac{F}{BI}$	

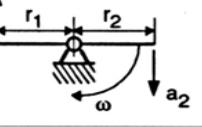
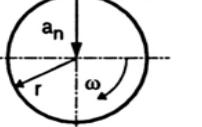
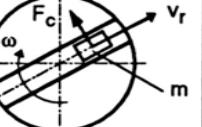
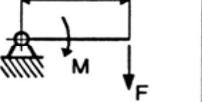
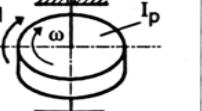
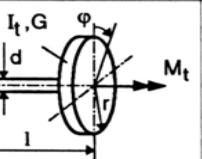
Physikalische Effekte

Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Wärmedehnung 03.19-1		$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T$ α Längenausdehnungskoeffizient	Thermostat, Thermometer, Bimetall [19]	Hebel 04.04-1		$v_2 = \frac{r_2}{r_1} v_1$	Hebelgetriebe [6]
Wärmedehnungs-anomalie 03.19-2		 Eis z.B. H ₂ O 1,091 dm ³ /kg -16 0 4 16 °C T	Sprengen von Gestein mit Wasser [19]	Keil 04.04-2		$v_2 = \tan \alpha v_1$	Kurvengetriebe, Exzenter, Schraube [6]
Trägheit 04.01-1		$v = f(F) \quad v = \frac{1}{m} \int F dt$	Stoßvorgänge [2]	Kontigleichung 04.04-3		$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$	Hydraulik, Pneumatik, Düsen [6]
Viskose Reibung 04.01-2		$v = f(F) \quad v = \frac{h}{\eta A} F$		Hebel 04.09-1		$v = \omega r$	
Trägheit 04.02-1		$v = f(p_i) \quad v = \frac{1}{m} p_i$	Stoßvorgänge [18]	Bernoulli-sches Gesetz 04.12-1		$v = \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho}$	Düse, Turbinenrad [7]
Hebel 04.03-1		$v = f(s) \quad v = \omega r$		Induktion 04.16-1		$v = \frac{1}{Bl} U$	Drehzahlerhöhung eines Elektromotors durch Feldschwächung [10]
Torricelli-Gesetz 04.03-2		$v = f(s) \quad v = \sqrt{2gh}$		Elektro-kinetischer Effekt 04.16-2		$v = \frac{\xi \epsilon_r \epsilon_0}{l \eta} U$ ξ eletrokinetisches Potential	Hydroelektrische Wasserpumpe, Elektrokinetischer Geschwindigkeitsgeber [6]

Physikalische Effekte

mimed

Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Trägheit 05.01-1		$a = \frac{F}{m}$	
Hebel 05.05-1		$a_2 = \frac{r_2}{r_1} a_1$	
Zentrifugalbeschleunigung 05.09-1		$a_n = r\omega^2$	Fliehkraftregler [2]
Coriolisbeschleunigung 05.09-2		$a_c = 2v_r \omega$	Föttingerkupplung [2]
Hebel 06.01-1		$M = rF$	Fahrantrieb, Drehmomentschlüssel [18]
Trägheit 06.07-1		$M = \frac{d}{dt}(L_i)$ $L_i = I_p \omega$	Gyrobot [3]
Elastische Schubverformung 06.08-1		$M = \frac{G I_t}{l} \varphi$ I_t Torsionsträgheitsmoment	Torsionsfeder [4]

Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Trägheit 05.01-1		$a = \frac{F}{m}$	
Hebel 05.05-1		$a_2 = \frac{r_2}{r_1} a_1$	
Zentrifugalbeschleunigung 05.09-1		$a_n = r\omega^2$	Fliehkraftregler [2]
Coriolisbeschleunigung 05.09-2		$a_c = 2v_r \omega$	Föttingerkupplung [2]
Hebel 06.01-1		$M = rF$	Fahrantrieb, Drehmomentschlüssel [18]
Trägheit 06.07-1		$M = \frac{d}{dt}(L_i)$ $L_i = I_p \omega$	Gyrobot [3]
Elastische Schubverformung 06.08-1		$M = \frac{G I_t}{l} \varphi$ I_t Torsionsträgheitsmoment	Torsionsfeder [4]

Physikalische Effekte

mimed

Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Präzessions- moment 06.09-1		$M = I_p \omega \omega_p$ ω_p Winkelgeschwindigkeit der Präzession I_p pol. Trägheitsmoment	Kreisel [13]
Trägheit 06.10-1		$M = I_p \dot{\omega}$ I_p pol. Trägheitsmoment	Schwungscheibe [2]
Eigen- frequenz 06.11-1		$M = 4\pi^2 I_p \rho f^2$	Dynamische Bestimmung von Trägheitsmomenten [2]
Elastische Schub- verformung 08.06-1		$\varphi = \frac{l}{G I_t} M$ I_t Torsionsträgheitsmoment	Torsionsfeder [4]
Hebel 09.03-1		$\omega = \frac{v}{r}$	
Trägheit 09.06-1		$\omega = \frac{1}{I_p} \int M dt$	Gyrobotus
Präzessions- moment 09.06-2		$\omega_p = \frac{M}{I_p \omega}$ ω_p Winkelgeschwindigkeit der Präzession I_p pol. Trägheitsmoment	
Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Trägheit 09.07-1		$\omega = \frac{L_i}{I_p}$ I_p pol. Trägheitsmoment	
Trägheit 10.06-1		$\dot{\omega} = \frac{1}{I_p} M$ I_p pol. Trägheitsmoment	Schwungscheibe [2]
Saite 11.01-1		$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{1}{A_p \rho}}$	Frequenzeinstellung bei Saiteninstrumenten [1]
Gravitation 11.03-1		$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$	Pendeluhr [1]
Stick-Slip- Effekt 11.04-1		$f = 1/T$ $v_1 = \text{const}$ $c = m$ $v_1 < v_2$ μ T $\omega_0^2 = c/m$ $\omega_0 = 2\pi f$ Bed: 1. Schwingungsfähiges System 2. $du/dv < 0$	Werkzeugmaschinen- schlitzen [1]
Doppler- Effekt 11.04-2		$f_E = f_s \frac{1 + v_E/c}{1 + v_S/c}$ c Schallgeschwindigkeit	Geschwindigkeitsmessung [19]
Eigen- frequenz 11.14-1		$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$	Dynamische Bestimmung von Massen [2]

Physikalische Effekte

mimed

Physikalischer Effekt (Prinzip)				Physikalischer Effekt (Prinzip)			
Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur	Name Nummer	Prinzipskizze	Gleichung	Anwendung Literatur
Eigenfrequenz 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 12.13-2		$p_d = RTc$ R allg. Gaskonstante $c = \frac{n}{V}$ Naturkonstante	Manometer [19]
Elastische Druckverformung $p_d = f(F)$ 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 12.19-1		$p_d = \rho RT$ R allg. Gaskonstante	[2]
Gravitationsdruck $p_d = f(s)$ 12.03-1		$p_d = \rho gh$	Hochbehälter	Gay-Lussac 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 13.12-2		$\dot{V} = \frac{\pi t R^4}{8 \eta l} \Delta p_d$	Laminare Rohrströmung [8]
Staudruck $p_d = f(v)$ 12.04-1		$p_d = \frac{\rho}{2} v^2$	Düse, Turbinenleitrad, Wasserstrahlpumpe	Kompressibilität (Boyle-Mariotte) 13.12-3		$\Delta V = \left(1 - \frac{p_{d1}}{p_{d2}}\right) V_1$	Pneumatische Feder [1]
Druckabfall in einer Rohrleitung $p_d = f(v)$ 12.04-2		$p_d = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} v^2$	[2]	Induktion 15.03-1		$I = \frac{F}{B l}$	Elektromotor, Lautsprecher, Drehspulmeßwerk [3]
Gay-Lussac 12.13-1		$p_d = mRT \frac{1}{V}$	[19]	Lorentz-Kraft Hall-Effekt 15.03-2		$I = \frac{U}{BR} d$ R Hallkonstante	Magnetfeldmessung, Hallmultiplikator [3]

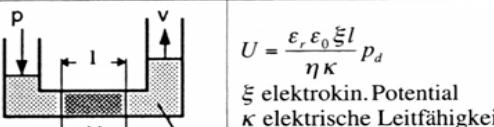
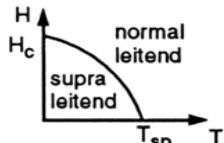
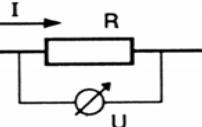
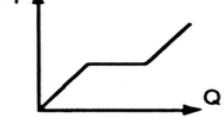
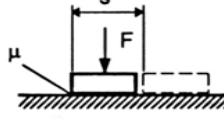
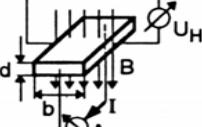
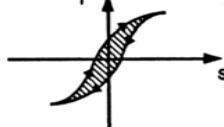
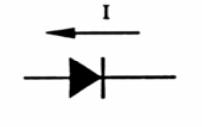
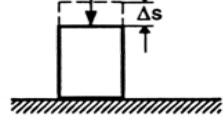
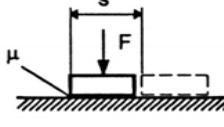
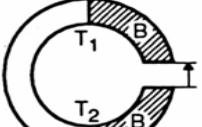
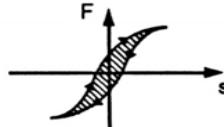
Physikalische Effekte

mimed

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	$I = e^{\alpha d} I_k$ 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		$U = Blv$	
Lorentz-Kraft Hall-Effekt $I = f(U)$ 15.16-3		$I = \frac{U}{BR} d$ R Hallkonstante	Magnetfeldmessung, Hallmultiplikator [3]	Elektro-kinetischer 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	Gleichstrom-dynamo, Beschleunigungs-messer [14]
Elektrostatische Anziehung (Abstoßung) $U = f(F)$ 16.01-1		$U = \sqrt{\frac{2IF}{C}}$		Josephson-Effekt $U = f(v)$ 16.11-1	Berühren sich 2 Supraleiter unter Mikrowellenbe-strahlung, so entsteht zwischen ihnen eine Gleichspannung U , die der Mikrowellenfrequenz v proportional ist	$U = \frac{h}{2e} f$	Spannungsnormall

Physikalische Effekte

mimed

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		$U = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 \xi l}{\eta \kappa} p_d$ ξ elektrokin. Potential κ elektrische Leitfähigkeit		Supraleitung 18.19-1			[3]
Ohmsches Gesetz $U = f(I)$ 16.15-1		$U = RI = \frac{\rho l}{A} I$ A Leiterquerschnitt	Spannungsteiler, Schiebewider- stand [11]	Änderung des Aggregatzustands 19.20-1		$T = \text{const.}$ beim Phasenübergang	Temperatur- konstanthaltung
Vakuum- entladung $U = f(I)$ 16.15-2		$U_{ak} = K I_a^{2/3}$ I_a Anodenstrom U_{ak} Spannung zwischen den Platten K Konstante	Elektronenstrahl- röhre, Diode [10]	Coulombsche Reibung 20.01-1		$Q = \mu F s$	Reibschweißen [2]
Lorentz-Kraft Hall-Effekt $U = f(I)$ 16.15-3		$U = \frac{BR}{d} I$ R Hallkonstante	Magnetfeld- messung, Hallmultiplikator [3]	Hysterese bei elastischer Verformung 20.01-2		$Q_z = \oint F ds$ Q_z pro Zyklus erzeugte Wärmemenge	Ultraschall- schweißen [1]
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 [8]	Plastische Verformung 20.01-3		$Q = \int F ds$	Schmieden [5]
Induktion $U = f(U)$ 16.16-1		$U_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1$ N Windungszahl	Transformator, Übertrager [3]	Coulombsche Reibung 20.03-1		$Q = \mu F s$	Reibschweißen [2]
Thermo-Effekt $U = f(T)$ 16.19-1		$U = \alpha (T_2 - T_1)$ α Seebeck - Koeffizient	Temperaturnes- sung, Thermoelement, Thermomagnet [5]	Hysterese bei elastischer Verformung 20.03-2		$Q_z = \oint F ds$ Q_z pro Zyklus erzeugte Wärmemenge	Ultraschall- schweißen [1]