

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Konstruktionsmethodik und Konstruktionssystematik</b>	<b>7</b>	2.2.2.3 Prinzip der konstanten Wandstärke .....	78
1.1 Einleitung.....	7	2.2.2.4 Prinzip der Kraftleitung – Der Kraftfluss .....	80
1.1.1 Begriffe, Definitionen.....	7	2.2.2.5 Wirkung von Kerben auf den Kraftfluss .....	81
1.1.2 Geschichtliche Entwicklung .....	10	2.2.2.6 Berücksichtigung der Gefügestruktur bei Umformverfahren.....	85
<b>1.2 Vorgehensplan beim systematischen Konstruieren .....</b>	<b>14</b>	<b>2.3 Gestaltungsrichtlinien.....</b>	<b>86</b>
<b>1.3 Analyse der Aufgabenstellung.....</b>	<b>16</b>	2.3.1 Festigkeitsgerechtes Gestalten .....	86
1.3.1 Anforderungsliste .....	18	2.3.1.1 Gestaltung bei Zugbeanspruchung .....	88
1.3.2 Kern der Aufgabe, Problemkern, Gesamtfunktion.....	21	2.3.1.2 Gestaltung bei Druckbeanspruchung.....	88
1.3.3 Aufgliedern der Gesamtfunktion in Teilstrukturen .....	23	2.3.1.3 Gestaltung bei Biegebeanspruchung.....	89
1.3.4 Darstellung des Problemkerns.....	23	2.3.1.4 Gestaltung bei Schubbeanspruchung .....	90
<b>1.4 Systematische Lösungssuche .....</b>	<b>24</b>	2.3.1.5 Gestaltung bei Torsionsbeanspruchung.....	90
1.4.1 Bemerkungen zur Methodik und zum Denkprozess.....	24	2.3.1.6 Gestaltung bei zusammengesetzter Beanspruchung .....	91
1.4.2 Methoden zur Ideenfindung .....	27	2.3.2 Werkstoffgerechtes Gestalten .....	93
1.4.3 Problemlösungs-Sitzungen.....	28	2.3.2.1 Allgemeines .....	93
1.4.4 Einzelne Methoden.....	28	2.3.2.2 Einteilung der Werkstoffe .....	95
1.4.4.1 Brainstorming.....	28	2.3.2.3 Metallische Werkstoffe .....	96
1.4.4.2 Brainwriting-Methoden .....	30	2.3.2.4 Polymere.....	99
1.4.4.3 Morphologischer Kasten.....	33	2.3.2.5 Keramiken und Gläser.....	101
1.4.4.4 Verwendung von Katalogen.....	35	2.3.2.6 Verbundwerkstoffe .....	102
<b>1.5 Bewertung und Auswahl .....</b>	<b>39</b>	2.3.2.7 Werkstoffe für den Leichtbau .....	104
1.5.1 Allgemeines zum Wertbegriff .....	39	2.3.2.8 Praktische Werkstoffwahl .....	105
1.5.2 Bewertungskriterien .....	42	2.3.3 Fertigungsgerechtes Gestalten .....	106
1.5.3 Bewertungsverfahren .....	43	2.3.3.1 Gussgerechtes Gestalten .....	110
1.5.3.1 Rangfolgeverfahren.....	43	2.3.3.2 Schweißgerechtes Gestalten .....	122
1.5.3.2 Klassenbildung, Notengebung.....	43	2.3.3.3 Lötgerechtes Gestalten .....	139
1.5.3.3 Punktebewertungen .....	43	2.3.3.4 Klebegerechtes Gestalten .....	145
1.5.3.4 Punktebewertungen nach Wertefunktionen ..	45	2.3.3.5 Schmiedegerechtes Gestalten .....	149
1.5.3.5 Nutzwertanalyse.....	45	2.3.3.6 Zerspangerechtes Gestalten .....	156
1.5.3.6 Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225.....	47	2.3.3.7 Vorrichtungsgerechtes Gestalten .....	164
<b>1.6 Darstellung von Lösungsideen während der Lösungssuche.....</b>	<b>50</b>	2.3.3.8 Gestalten von Blechteilen .....	167
<b>1.7 Übungen und Beispiele zur Lösungssuche ..</b>	<b>53</b>	2.3.4 Konstruieren mit Kunststoffen .....	173
<b>1.8 FMEA – Failure Mode And Effekt Analysis ..</b>	<b>59</b>	2.3.4.1 Allgemeines .....	173
1.8.1 Die Auswirkungen von Fehlern .....	59	2.3.4.2 Werkstofftechnische Gesichtspunkte .....	176
1.8.2 Durchführung einer Konstruktions-FMEA....	60	2.3.4.3 Gestaltung .....	177
<b>1.9 Von der Konstruktion zur Fertigung.....</b>	<b>63</b>	2.3.4.4 Werkzeugkonstruktion .....	183
1.9.1 Stücklisten und Erzeugnisgliederung .....	64	2.3.5 Kostengerechtes Gestalten .....	191
1.9.2 Erzeugnisstrukturierung.....	67	2.3.5.1 Allgemeines .....	191
1.9.3 Teileverwendungsnachweis .....	68	2.3.5.2 Kostenbegriffe .....	192
1.9.4 Nummernsysteme .....	69	2.3.5.3 Relativkosten .....	193
1.9.5 Sachmerkmale und Relationsmerkmale .....	70	2.3.5.4 Konstruktionskosten .....	195
<b>2 Entwerfen und Gestalten</b>	<b>71</b>	2.3.5.5 Materialkosten .....	195
<b>2.1 Prinzipielles Vorgehen.....</b>	<b>71</b>	2.3.5.6 Fertigungskosten .....	196
<b>2.2 Allgemeine Gestaltungsgrundlagen.....</b>	<b>72</b>	2.3.6 Automatisierungsgerechtes Gestalten .....	197
2.2.1 Gestaltungsgrundregeln .....	72	2.3.6.1 Allgemeines .....	197
2.2.2 Allgemeine Gestaltungsregeln.....	76	2.3.6.2 Automatisierungsgerechte Gestaltung .....	198
2.2.2.1 Grundforderungen bei der Gestaltung .....	76	2.3.7 Montagegerechtes und demontagegerechtes Gestalten .....	200
2.2.2.2 Einfache Gestaltungselemente und Formelemente .....	76	2.3.7.1 Allgemeines .....	200
		2.3.7.2 Montage .....	200
		2.3.7.3 Demontage .....	202
		2.3.7.4 Rationalisierung .....	202
		2.3.7.5 Gestaltung .....	203
		2.3.8 Ergonomische Gestaltung .....	205
		2.3.8.1 Der Mensch ist das Maß .....	205
		2.3.8.2 Methodik zur Ergonomie .....	209
		2.3.8.3 Gestaltung von Griffen, Stellteilen und Bediengeräten .....	210
		2.3.8.4 Projektbeispiel PHG .....	212
		2.3.9 Sicherheitsgerechtes Gestalten von Maschinen .....	213
		2.3.9.1 Bauteilversagen und mangelnde Stabilität ..	214
		2.3.9.2 Ungeschützt bewegte Maschinenteile .....	217
		2.3.9.3 Teile mit gefährlicher Oberfläche .....	220
		2.3.9.4 Transportmittel und bewegte Arbeitsmittel ..	220
		2.3.9.5 Geprüfte Sicherheit .....	220

2.3.9.6	EU-Maschinenrichtlinie .....	221	3.6.4	Technische Grundlagen .....	320
2.3.9.7	Europäische Sicherheitsnormen .....	224	3.6.4.1	Schraubenfedern .....	320
2.3.10	Umweltgerechtes Gestalten .....	227	3.6.4.2	Tellerfedern .....	321
2.3.10.1	Lärm .....	227	3.6.4.3	Blattfedern .....	322
2.3.10.2	Vibration .....	233	3.6.4.4	Drehstabfedern .....	322
2.3.10.3	Recyclinggerechte Konstruktion .....	236	3.6.4.5	Spiralfedern .....	322
2.3.11	Transportgerechtes und lagergerechtes Gestalten .....	239	3.6.4.6	Ringfedern .....	323
2.3.12	Formgerechtes und ästhetisches Gestalten .....	241	3.6.4.7	Gasdruckfedern .....	323
<b>3</b>	<b>Maschinenelemente</b>	<b>243</b>	3.6.4.8	Lufffedern .....	324
3.1	<b>Einführung</b> .....	<b>243</b>	3.6.4.9	Gummifedern, Elastomerfedern .....	324
3.2	<b>Achsen und Wellen</b> .....	<b>244</b>	3.6.4.10	Memory-Metallfedern .....	325
3.2.1	Übersicht .....	244	3.6.4.11	Integration einer Federfunktion .....	325
3.2.2	Formgebung .....	248	<b>3.7</b>	<b>Schrauben</b> .....	<b>326</b>
3.3	<b>Naben und Verbindungen zu Wellen</b> .....	<b>251</b>	3.7.1	Einführung .....	326
3.3.1	Die Nabe .....	251	3.7.2	Kenngrößen und Ausführungsformen .....	327
3.3.2	Welle-Nabe-Verbindungen (WNV) .....	252	3.7.3	Sicherung von Schraubverbindungen .....	331
3.3.2.1	Kraftschlüssige WNV .....	253	3.7.4	Verschraubung von Blechen .....	333
3.3.2.2	Formschlüssige WNV .....	258	3.7.5	Schraubenmontage .....	334
3.3.2.3	Stoffschlüssige WNV .....	262	3.7.6	Festigkeitsgerechte Verschraubung .....	335
3.4	<b>Drehlager und Führungen</b> .....	<b>263</b>	3.7.7	Berechnungen .....	338
3.4.1	Wälzlager .....	264	3.7.7.1	Vorspannung .....	338
3.4.1.1	Einführung .....	264	3.7.7.2	Dynamische Belastung .....	345
3.4.1.2	Bezeichnungen .....	265	3.7.7.3	Scherbelastung von Passschrauben .....	346
3.4.1.3	Lagerarten (Auswahl) .....	267	<b>3.8</b>	<b>Kupplungen</b> .....	<b>347</b>
3.4.1.4	Einsatz .....	270	3.8.1	Allgemeines .....	347
3.4.1.5	Reibung und Schmierung .....	270	3.8.2	Nichtschaltende Kupplungen .....	348
3.4.1.6	Einbau und Ausbau .....	273	3.8.2.1	Starre Kupplungen .....	348
3.4.1.7	Passungen beim Einsatz von Wälzlagern .....	274	3.8.2.2	Ausgleichende Kupplungen .....	349
3.4.1.8	Gestaltung .....	275	3.8.3	Schaltende Kupplungen und Bremsen .....	356
3.4.1.9	Lagerluft und Betriebsspiel .....	277	3.8.3.1	Selbsttätige Schaltkupplungen .....	356
3.4.1.10	Steifigkeit .....	278	3.8.3.2	Fremdbetätigte Kupplungen .....	357
3.4.1.11	Lebensdauer und Tragfähigkeit .....	279	<b>3.9</b>	<b>Getriebe</b> .....	<b>359</b>
3.4.1.12	Lebensdauerberechnung .....	280	3.9.1	Allgemeine kinematische Eigenschaften .....	360
3.4.2	Hydrodynamische Lager .....	285	3.9.2	Zugmittelgetriebe .....	365
3.4.2.1	Einführung .....	285	3.9.2.1	Allgemeines .....	365
3.4.2.2	Werkstoffe und Bauformen .....	286	3.9.2.2	Riementriebe .....	366
3.4.2.3	Normung, Ausführungsformen und Einbau .....	287	3.9.3	Stufenlos verstellbare Getriebe .....	370
3.4.2.4	Wartungsfreie Trockenlaufgleitlager .....	289	3.9.3.1	Umschaltungsgetriebe .....	370
3.4.3	Hydrostatische Gleitlager .....	291	3.9.3.2	Reibradgetriebe .....	371
3.4.4	Aerostatische Lager (Luftlager) .....	292	3.9.3.3	Wälzgetriebe .....	371
3.4.5	Magnetlager .....	293	3.9.3.4	Hydrodynamische Wandler .....	372
3.4.6	Führungen .....	294	3.9.4	Zahnräder und Zahnradgetriebe .....	373
3.4.6.1	Allgemeine Anforderungen .....	294	3.9.4.1	Zahnräder und Zahnräderpaarungen .....	373
3.4.6.2	Wälzführungen .....	295	3.9.4.2	Zahnradgeometrie geradverzahnter Stirnräder .....	373
3.4.6.3	Hydrodynamische Führungen .....	297	3.9.4.3	Schrägverzahnungen .....	377
3.4.6.4	Hydrostatische Führungen .....	299	3.9.4.4	Schneckenverzahnungen .....	378
3.4.6.5	Aerostatische Führungen .....	302	3.9.4.5	Kegelradverzahnung .....	379
3.4.6.6	Magnetische Führungen .....	302	3.9.4.6	Innenverzahnung .....	380
<b>3.5</b>	<b>Dichtungen</b> .....	<b>303</b>	3.9.4.7	Schraubradverzahnung .....	382
3.5.1	Allgemeines .....	303	3.9.4.8	Zahnradwerkstoffe und ihre Behandlung .....	382
3.5.2	Statische Dichtungen .....	304	3.9.4.9	Belastungen am Zahnfuß und Modulauswahl .....	383
3.5.2.1	Unlösbare und bedingt lösbare Dichtungen .....	304	3.9.4.10	Getriebestufung und Zähnezahl auswahl .....	384
3.5.2.2	Lösbare Berührtdichtungen .....	305	3.9.4.11	Getriebeart und Konstruktion .....	385
3.5.3	Dynamische Dichtungen .....	309	3.9.4.12	Schaltgetriebe .....	388
3.5.3.1	Berührungsdiichtungen .....	309	3.9.4.13	Getriebebeispiele .....	389
3.5.3.2	Berührungslose Dichtsysteme .....	313	3.9.5	Getriebe mit ungleichförmigen Bewegungen .....	393
3.5.3.3	Hermetische Abdichtungen .....	315	3.9.5.1	Kurbelgetriebe .....	393
<b>3.6</b>	<b>Technische Federn</b> .....	<b>316</b>	3.9.5.2	Getriebe mit aussetzender Bewegung .....	394
3.6.1	Physikalische Grundlagen .....	316	3.9.6	Getriebe für Linearbewegungen .....	395
3.6.2	Einteilung .....	318	3.9.6.1	Lineare Zugmittelgetriebe .....	395
3.6.3	Anwendung .....	319	3.9.6.2	Zahnstange-Ritzel-Trieb .....	396
			3.9.6.3	Gewindetrieb .....	397
			3.9.6.4	Schnecke-Zahnstange-Trieb .....	401

<b>4 Antriebe</b>	<b>402</b>	<b>Anhang 1: Kleine Festigkeitslehre</b>	<b>471</b>
4.1 Einführung und Übersicht .....	402	1 Aufgaben und Ziele .....	471
4.1.1 Fluidtechnik .....	402	2 Grundbelastungsfälle .....	472
4.1.2 Elektrische Antriebstechnik.....	402	3 Beanspruchung auf Zug .....	472
4.2 Pneumatik .....	403	3.1 Zugspannung .....	472
4.2.1 Drucklufterzeugung .....	403	3.2 Zugversuch .....	473
4.2.2 Druckluftnetz .....	404	3.3 Zulässige Zugspannung .....	475
4.2.3 Ventile .....	404	4 Beanspruchung auf Druck .....	476
4.2.4 Aktoren .....	405	4.1 Druckspannung .....	476
4.3 Hydraulische Anlagen .....	408	4.2 Druckversuch .....	476
4.3.1 Physikalische Grundlagen .....	409	4.3 Zulässige Druckspannung .....	477
4.3.1.1 Hydrostatik .....	409	4.4 Knickung .....	477
4.3.1.2 Hydrodynamik .....	410	4.5 Flächenpressung .....	479
4.3.2 Komponenten.....	411	5 Beanspruchung auf Biegung .....	480
4.3.3 Aktoren.....	412	5.1 Biegespannung .....	480
4.3.4 Hydrospeicher .....	414	5.2 Biegemoment .....	481
4.4 Elektrische Antriebe .....	415	5.3 Zulässige Biegespannung .....	482
4.4.1 Rechnerische Grundlagen .....	415	6 Beanspruchung auf Schub .....	483
4.4.2 Erste Orientierung .....	417	6.1 Schubspannung .....	483
4.4.3 Drehstromantriebe am Drehstromnetz.....	419	6.2 Schubmodul .....	484
4.4.3.1 Allgemeines .....	419	6.3 Zulässige Schubspannung .....	484
4.4.3.2 Drehstrom-Asynchronmotoren (ASM) .....	421	7 Beanspruchung auf Torsion .....	485
4.4.3.4 Energieeffizienz .....	422	7.1 Torsionsspannung .....	485
4.4.4 Getriebemotoren .....	423	7.2 Torsionsmoment .....	486
4.4.5 Drehstromantriebe mit Umrichter .....	425	7.3 Zulässige Torsionsspannung .....	487
4.4.6 Direktantriebe, Linearmotoren .....	427	8 Dynamische Beanspruchung .....	488
4.4.7 Kleinmotoren .....	428	8.1 Schwingende Beanspruchung .....	488
<b>5 Computer und Konstruktion</b>	<b>429</b>	8.2 Spannungsermittlung .....	488
5.1 CAD-Systeme .....	429	8.3 Zug-Druck-Wechselsfestigkeit .....	489
5.1.1 Entwicklung .....	429	8.4 Dauerschwingfestigkeit .....	490
5.1.2 Der CAD-Arbeitsplatz .....	430	8.5 Zulässige Spannung .....	492
5.1.3 Arten von CAD-Systemen .....	431	9 Kerbwirkung .....	493
5.1.4 Werkzeuge und Begriffe .....	433	9.1 Spannungskonzentration .....	493
5.2 Konstruktionsautomatisierung .....	436	9.2 Statische Beanspruchung .....	493
5.2.1 Knowledge Based Engineering .....	436	9.3 Formzahl .....	494
5.2.2 Eltern-Kind-Beziehungen .....	437	9.4 Festigkeitsverhalten unter Kerbwirkung .....	495
5.3 Produktdatenmodell .....	438	9.5 Kerbschlagbiegeversuch .....	496
5.4 Schnittstellen .....	438	10 Wärmespannungen .....	497
5.5 Baugruppe .....	442	10.1 Wärmeausdehnungskoeffizient .....	497
5.6 Top- Down und Bottom- Up .....	444	10.2 Wärmedehnung .....	497
5.7 Bionik .....	445	10.3 Einachsiger Spannungszustand .....	498
5.7.1 Topologieoptimierung .....	446	10.4 Mehrachsiger Spannungszustand .....	498
5.7.2 Gestaltoptimierung .....	447	10.5 Eigenspannungen .....	498
5.8 Simulationswerkzeuge .....	449	11 Allgemeiner Spannungs- und Verformungszustand .....	499
5.9 Virtualisierung .....	451	11.1 Spannungen an schrägen Schnitten .....	499
5.9.1 Stereoskopische Betrachtung .....	451	11.2 Mohr'scher Spannungskreis .....	500
5.9.2 Virtual Environments (VE) .....	451	11.3 Verallgemeinertes Hooke'sches Gesetz .....	502
5.9.3 Anwendungen von VE-Systemen .....	454	11.4 Festigkeitshypothesen .....	503
5.10 Rapid Prototyping .....	455	11.4.1 Normalspannungshypothese (NH) .....	504
5.10.1 Allgemeines .....	455	11.4.2 Schubspannungshypothese (SH) .....	504
5.10.2 Prototypen .....	455	11.4.3 Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH) .....	504
5.10.3 Konstruktion .....	457	12 Aufgaben zur Festigkeitslehre .....	505
5.10.4 Additive Fertigungsverfahren .....	461		
5.10.4.1 Allgemeines .....	461		
5.10.4.2 Einteilung der Verfahren .....	462		
5.10.4.3 Prozesse und Verfahren .....	464		
5.11 Produktdatenmanagement (PDM) .....	469		
5.12 Product Lifecycle Management (PLM) .....	470		

<b>Anhang 2: Werkstoffvorauswahl</b>	<b>509</b>
1 Vorbemerkungen .....	509
2 Wärmeleitfähigkeit – Temperaturleitfähigkeit .....	511
3 Dichte .....	515
4 Elastizitätsmodul .....	516
5 Versagensspannung .....	519
6 Bruchzähigkeit .....	524
7 Verlustsfaktor .....	530
8 Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient .....	532
<b>Fachwörterbuch Deutsch – Englisch,</b>	
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	534
<b>Quellenverzeichnis .....</b>	543