

Inhaltsverzeichnis

1	Konstruktionsmethodik und Konstruktionssystematik	9
1.1	Einleitung	9
1.1.1	Begriffe, Definitionen	9
1.1.2	Geschichtliche Entwicklung	12
1.2	Vorgehensplan beim systematischen Konstruieren	16
1.3	Analyse der Aufgabenstellung	18
1.3.1	Anforderungsliste	20
1.3.2	Kern der Aufgabe, Problemkern, Gesamtfunktion	23
1.3.3	Aufgliedern der Gesamtfunktion in Teilfunktionen	25
1.3.4	Darstellung des Problemkerns	25
1.4	Systematische Lösungssuche	26
1.4.1	Bemerkungen zur Methodik und zum Denkprozess	26
1.4.2	Methoden zur Ideenfindung	29
1.4.3	Problemlösungs-Sitzungen	30
1.4.4	Einzelne Methoden	30
1.4.4.1	Brainstorming	30
1.4.4.2	Brainwriting-Methoden	32
1.4.4.3	Morphologischer Kasten	35
1.4.4.4	Verwendung von Katalogen	37
1.5	Bewertung und Auswahl	41
1.5.1	Allgemeines zum Wertbegriff	41
1.5.2	Bewertungskriterien	44
1.5.3	Bewertungsverfahren	45
1.5.3.1	Rangfolgeverfahren	45
1.5.3.2	Klassenbildung, Notengebung	45
1.5.3.3	Punktebewertungen	45
1.5.3.4	Punktebewertung nach Wertefunktionen	47
1.5.3.5	Nutzwertanalyse	47
1.5.3.6	Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225	49
1.6	Darstellung von Lösungsideen während der Lösungssuche	52
1.7	Übungen und Beispiele zur Lösungssuche	55
1.8	Die Geometrische Produktspezifikation GPS	61
1.8.1	Einleitung	61
1.8.2	Aufbau des ISO-GPS-Normensystems	62
1.8.2.1	Hintergrund	62
1.8.2.2	Zielsetzung	63
1.8.2.3	Spezifikation und Verifikation	63
1.8.2.4	GPS-Normenmatrix	63
1.8.2.5	Rechtsverbindlichkeit von Normen	64
1.8.3	Konzepte, Prinzipien und Regeln	64
1.8.3.1	Grundsatz des Aufrufens	64
1.8.3.2	Grundsatz der Normenhierarchie	64
1.8.3.3	Grundsatz der bestimmenden Zeichnung	65
1.8.3.4	Grundsatz des Geometrieelementes	65
1.8.3.5	Grundsatz der Unabhängigkeit	66
1.8.3.6	Grundsatz der Dezimaldarstellung	66
1.8.3.7	Grundsatz der Standardfestlegung	66
1.8.3.8	Grundsatz der Referenzbedingungen	67
1.8.3.9	Grundsatz des starren Werkstücks	67
1.8.3.10	Grundsatz der Dualität	67
1.8.3.11	Grundsatz der Funktionsbeherrschung	68
1.8.3.12	Grundsatz der allgemeinen Spezifikation	68
1.8.3.13	Grundsatz der Verantwortlichkeit	68
1.8.4	Dimensionelle Bauteiltolerierung	69
1.8.4.1	Lineare Größenmaße	69
1.8.4.2	Winkelgrößenmaße	73
1.8.4.3	Abstände	74
1.8.5	Geometrische Bauteiltolerierung	76
1.8.5.1	Grundlagen der Form- und Lagetolerierung	76
1.8.5.2	Merkmale der Toleranzzone	80
1.8.5.3	Toleriertes Geometrieelement	81
1.8.5.4	Bezüge und Bezugssysteme	82
1.9	FMEA – Failure Mode and Effect Analysis	89
1.9.1	Die Auswirkungen von Fehlern	89
1.9.2	Durchführung einer Konstruktions-FMEA	90
1.10	Von der Konstruktion zur Fertigung	93
1.10.1	Stücklisten und Erzeugnisgliederung	94
1.10.2	Erzeugnisstrukturierung	97
1.10.3	Teileverwendungsnachweis	98
1.10.4	Nummernsysteme	99
1.10.5	Sachmerkmale und Relationsmerkmale	100
2	Entwerfen und Gestalten	101
2.1	Prinzipielles Vorgehen	101
2.2	Allgemeine Gestaltungsgrundlagen	102
2.2.1	Gestaltungsgrundregeln	102
2.2.2	Allgemeine Gestaltungsregeln	106
2.2.2.1	Grundforderungen bei der Gestaltung	106
2.2.2.2	Einfache Gestaltungselemente und Formelemente	106
2.2.2.3	Prinzip der konstanten Wandstärke	108
2.2.2.4	Prinzip der Kraftleitung – Der Kraftfluss	110
2.2.2.5	Wirkung von Kerben auf den Kraftfluss	111
2.2.2.6	Berücksichtigung der Gefügestruktur bei Umformverfahren	115
2.3	Gestaltungsrichtlinien	116
2.3.1	Festigkeitgerechtes Gestalten	116
2.3.1.1	Gestaltung bei Zugbeanspruchung	118
2.3.1.2	Gestaltung bei Druckbeanspruchung	118
2.3.1.3	Gestaltung bei Biegebeanspruchung	119
2.3.1.4	Gestaltung bei Schubbeanspruchung	120
2.3.1.5	Gestaltung bei Torsionsbeanspruchung	120
2.3.1.6	Gestaltung bei zusammengesetzter Beanspruchung	121
2.3.2	Werkstoffgerechtes Gestalten	123
2.3.2.1	Allgemeines	123
2.3.2.2	Einteilung der Werkstoffe	125
2.3.2.3	Metallische Werkstoffe	126

2.3.2.4	Polymere (Kunststoffe)	129	2.3.10.5	Geprüfte Sicherheit	252
2.3.2.5	Keramiken und Gläser	131	2.3.10.6	EU-Maschinenrichtlinie	253
2.3.2.6	Verbundwerkstoffe	132	2.3.10.7	Europäische Sicherheitsnormen	256
2.3.2.7	Werkstoffe für den Leichtbau	134	2.3.11	Umweltgerechtes Gestalten	259
2.3.2.8	Praktische Werkstoffwahl	135	2.3.11.1	Lärm	259
2.3.3	Fertigungsgerechtes Gestalten	136	2.3.11.2	Vibration	265
2.3.3.1	Gussgerechtes Gestalten	140	2.3.11.3	Recyclinggerechte Konstruktion	268
2.3.3.2	Schweißgerechtes Gestalten	152	2.3.12	Transportgerechtes und lager- gerechtes Gestalten	271
2.3.3.3	Lötgerechtes Gestalten	169	2.3.13	Formgerechtes und ästhetisches Gestalten	273
2.3.3.5	Schmiedegerechtes Gestalten	179			
2.3.3.6	Zerspangerechtes Gestalten	186	3	Maschinenelemente	275
2.3.3.7	Vorrichtungsgerechtes Gestalten	194	3.1	Einführung	275
2.3.3.8	Blechgerechtes Gestalten	197	3.2	Achsen und Wellen	276
2.3.3.9	Korrosionsschutzgerechtes Gestalten	203	3.2.1	Übersicht	276
2.3.4	Kunststoffgerechte Gestaltung	205	3.2.2	Formgebung	280
2.3.4.1	Allgemeines	205	3.3	Naben und Verbindungen zu Wellen	283
2.3.4.2	Grundregeln	207	3.3.1	Die Nabe	283
2.3.4.3	Belastungsgerecht und werkstoffgerecht	208	3.3.2	Welle-Nabe-Verbindungen (WNV)	284
2.3.4.4	Integralbauweise	210	3.3.2.1	Kraftschlüssige WNV	285
2.3.4.5	Funktionsintegration	211	3.3.2.2	Formschlüssige WNV	290
2.3.4.6	Multimaterialbauteile	214	3.3.2.3	Stoffschlüssige WNV	294
2.3.4.7	Werkzeuge	216	3.4	Drehlager und Führungen	295
2.3.4.8	Fügeverfahren	217	3.4.1	Wälzlager	296
2.3.4.9	Maßhaltigkeit	218	3.4.1.1	Einführung	296
2.3.4.10	Recyclinggerecht	220	3.4.1.2	Bezeichnungen	297
2.3.5	FVK-gerechte Gestaltung	221	3.4.1.3	Lagerarten (Auswahl)	299
2.3.5.1	Werkstoffeigenschaften	221	3.4.1.4	Einsatz	302
2.3.6	Kostengerechtes Gestalten	223	3.4.1.5	Reibung und Schmierung	302
2.3.6.1	Allgemeines	223	3.4.1.6	Einbau und Ausbau	305
2.3.6.2	Kostenbegriffe	224	3.4.1.7	Passungen beim Einsatz von Wälzlagern	306
2.3.6.3	Relativkosten	225	3.4.1.8	Gestaltung	307
2.3.6.4	Konstruktionskosten	227	3.4.1.9	Lagerluft und Betriebsspiel	309
2.3.6.5	Materialkosten	227	3.4.1.10	Steifigkeit	310
2.3.6.6	Fertigungskosten	228	3.4.1.11	Lebensdauer und Tragfähigkeit	311
2.3.7	Automatisierungsgerechtes Gestalten	229	3.4.1.12	Lebensdauerberechnung	312
2.3.7.1	Allgemeines	229	3.4.2	Hydrodynamische Lager	317
2.3.7.2	Automatisierungsgerechte Gestaltung	230	3.4.2.1	Einführung	317
2.3.8	Montagegerechtes und demontage- gerechtes Gestalten	232	3.4.2.2	Werkstoffe und Bauformen	318
2.3.8.1	Allgemeines	232	3.4.2.3	Normung, Ausführungsformen und Einbau	319
2.3.8.2	Montage	232	3.4.2.4	Wartungsfreie Trockenlaufgleitlager	321
2.3.8.3	Demontage	233	3.4.3	Hydrostatische Gleitlager	323
2.3.8.4	Rationalisierung	233	3.4.4	Aerostatische Lager (Luftlager)	324
2.3.8.5	Gestaltung	234	3.4.5	Magnetlager	325
2.3.9	Ergonomiegerechtes Gestalten	237	3.4.6	Führungen	326
2.3.9.1	Der Mensch ist das Maß	237	3.4.6.1	Allgemeine Anforderungen	326
2.3.9.2	Methodik zur Ergonomie	241	3.4.6.2	Wälzfürungen	327
2.3.9.3	Gestaltung von Griffen, Stellteilen und Bediengeräten	242	3.4.6.3	Hydrodynamische Führungen	329
2.3.9.4	Projektbeispiel PHG	244	3.4.6.4	Hydrostatische Führungen	331
2.3.10	Sicherheitsgerechtes Gestalten von Maschinen	245	3.4.6.5	Aerostatische Führungen	334
2.3.10.1	Bauteilversagen und mangelnde Stabilität	246	3.4.6.6	Magnetische Führungen	334
2.3.10.2	Ungeschützt bewegte Maschinenteile	249	3.5	Dichtungen	335
2.3.10.3	Teile mit gefährlicher Oberfläche	252	3.5.1	Allgemeines	335
2.3.10.4	Transportmittel und bewegte Arbeitsmittel	252	3.5.2	Statische Dichtungen	336

3.5.2.1	Unlösbare und bedingt lösbare Dichtungen	336	3.9.4.2	Zahnradgeometrie geradverzahnter Stirnräder	405
3.5.2.2	Lösbare Berührdichtungen	337	3.9.4.3	Schrägverzahnungen	409
3.5.3	Dynamische Dichtungen	341	3.9.4.4	Schneckenverzahnungen	410
3.5.3.1	Berührungsdichtungen	341	3.9.4.5	Kegelradverzahnung	411
3.5.3.2	Berührungslose Dichtsysteme	345	3.9.4.6	Innenverzahnung	412
3.5.3.3	Hermetische Abdichtungen	347	3.9.4.7	Schraubradverzahnung	414
3.6	Technische Federn	348	3.9.4.8	Zahnradwerkstoffe und ihre Behandlung	414
3.6.1	Physikalische Grundlagen	348	3.9.4.9	Belastungen am Zahnfuß und Modulauswahl	415
3.6.2	Einteilung	350	3.9.4.10	Getriebestufung und Zähnezahlauswahl	416
3.6.3	Anwendung	351	3.9.4.11	Getriebeart und Konstruktion	417
3.6.4	Technische Grundlagen	352	3.9.4.12	Schaltgetriebe	419
3.6.4.1	Schraubenfedern	352	3.9.4.13	Getriebebeispiele	420
3.6.4.2	Tellerfedern und Wellenfedern	353	3.9.5	Getriebe mit ungleichförmigen Bewegungen	423
3.6.4.3	Blattfedern	354	3.9.5.1	Kurbelgetriebe	423
3.6.4.4	Drehstabfedern	354	3.9.5.2	Getriebe mit aussetzender Bewegung ..	424
3.6.4.5	Spiralfedern	354	3.9.6	Getriebe für Linearbewegungen	425
3.6.4.6	Ringfedern	355	3.9.6.1	Lineare Zugmittelgetriebe	425
3.6.4.7	Gasdruckfedern	355	3.9.6.2	Zahnstange-Ritzel-Trieb	426
3.6.4.8	Luftfedern	356	3.9.6.3	Gewindetrieb	427
3.6.4.9	Gummifedern, Elastomerfedern	356	3.9.6.4	Schnecken-Zahnstangen-Trieb	431
3.6.1.10	Memory-Metallfedern	357			
3.6.1.11	Integration einer Federfunktion	357			
3.7	Schrauben, Bolzen, Stifte	358	4	Antriebe	432
3.7.1	Schrauben	358	4.1	Einführung und Übersicht	432
3.7.1.1	Einführung	358	4.1.1	Fluidtechnik	432
3.7.1.2	Kenngrößen und Ausführungsformen ..	359	4.1.2	Elektrische Antriebstechnik	432
3.7.1.3	Sicherung von Schraubenverbindungen	362	4.2	Pneumatik	433
3.7.1.4	Verschraubung von Blechen	364	4.2.1	Drucklufterzeugung	433
3.7.1.5	Schraubenmontage	365	4.2.2	Druckluftnetz	434
3.7.1.6	Festigkeitsgerechte Verschraubung	366	4.2.3	Ventile	434
3.7.1.7	Die Vorspannung	368	4.2.4	Aktoren	435
3.7.1.8	Dynamische Belastung	374	4.3	Hydraulische Anlagen	438
3.7.1.9	Scherbelastung von Passschrauben	375	4.3.1	Physikalische Grundlagen	439
3.7.2	Bolzen	376	4.3.1.1	Hydrostatik	439
3.7.3	Stifte	378	4.3.1.2	Hydrodynamik	440
3.8	Kupplungen	379	4.3.2	Komponenten	441
3.8.1	Allgemeines	379	4.3.3	Aktoren	442
3.8.2	Nichtschaltende Kupplungen	380	4.3.4	Hydrospeicher	444
3.8.2.1	Starre Kupplungen	380	4.4	Elektrische Antriebe	445
3.8.2.2	Ausgleichende Kupplungen	381	4.4.1	Rechnerische Grundlagen	445
3.8.3	Schaltende Kupplungen und Bremsen ..	388	4.4.2	Erste Orientierung	447
3.8.3.1	Selbsttätige Schaltkupplungen	388	4.4.3	Drehstromantriebe am Drehstromnetz ..	449
3.8.3.2	Fremdbetätigte Kupplungen	389	4.4.3.1	Allgemeines	449
3.9	Getriebe	391	4.4.3.2	Drehstrom-Asynchronmotoren (ASM) ..	452
3.9.1	Allgemeine kinematische Eigenschaften	392	4.4.3.3	Energieeffizienz	453
3.9.2	Zugmittelgetriebe	397	4.4.4	Drehstromantriebe mit Umrichter	454
3.9.2.1	Allgemeines	397	4.4.5	Direktantriebe, Linearmotoren	456
3.9.2.2	Riementriebe	398	4.4.6	Kleinmotoren	459
3.9.3	Stufenlos verstellbare Getriebe	402	4.4.7	Schrittmotoren	460
3.9.3.1	Umschlingungsgetriebe	402	4.4.8	Piezoaktoren	460
3.9.3.2	Reibradgetriebe	403			
3.9.3.3	Wälzgetriebe	403	4.5	Thermische Aktoren	462
3.9.3.4	Hydrodynamischer Wandler	404			
3.9.4	Zahnräder und Zahnradgetriebe	405			
3.9.4.1	Zahnräder und Zahnradpaarungen	405			

5	Computer und Konstruktion	463	5.2	Biegemoment	515
			5.3	Zulässige Biegespannung	516
5.1	CAD-Systeme	463	6	Beanspruchung auf Schub	517
5.1.1	Entwicklung	463	6.1	Schubspannung	517
5.1.2	Der CAD-Arbeitsplatz	464	6.2	Schubmodul	518
5.1.3	Arten von CAD-Systemen	465	6.3	Zulässige Schubspannung	518
5.1.4	Werkzeuge und Begriffe	467	7	Beanspruchung auf Torsion	519
5.2	Konstruktions-automatisierung	470	7.1	Torsionsspannung	519
5.2.1	Knowledge Based Engineering (KBE)	470	7.2	Torsionsmoment	520
5.2.2	Eltern-Kind-Beziehungen	471	7.3	Zulässige Torsionsspannung	521
5.3	Produktdatenmodell	472	8	Dynamische Beanspruchung	522
5.4	Schnittstellen	472	8.1	Schwingende Beanspruchung	522
5.5	Baugruppe	476	8.2	Ermittlung der Lastgrößen	522
5.6	Top-Down und Bottom-Up	478	8.3	Zug-Druck-Wechselhaftigkeit	523
5.7	Bionik	479	8.4	Langzeitfestigkeit	524
5.7.1	Topologieoptimierung	480	8.5	Zulässige Spannung	526
5.7.2	Gestaltoptimierung	481	9	Kerbwirkung	527
5.8	Simulationswerkzeuge	483	9.1	Spannungskonzentration	527
5.9	Virtualisierung	485	9.2	Statische Beanspruchung	527
5.9.1	Stereoskopische Betrachtung	485	9.3	Formzahl	528
5.9.2	Virtual Reality mit VR-Brille	485	9.4	Festigkeitsverhalten unter Kerbwirkung	529
5.9.3	Virtual Environments (VE)	485	9.5	Kerb Schlagbiegeversuch	530
5.9.4	Anwendung von VE-Systemen	488	10	Wärmespannungen	531
5.10	3D-Druck – Additive Fertigung	489	10.1	Wärmeausdehnungskoeffizient	531
5.10.1	Körperliche Modelle (Rapid Prototyping)	489	10.2	Wärmedehnung	531
5.10.2	Endprodukte (Rapid Manufacturing)	490	10.3	Einachsiger Spannungszustand	532
5.10.3	Werkzeuge und Vorrichtungen (Rapid Tooling)	491	10.4	Mehrachsiger Spannungszustand	532
5.10.4	Innovation in der Konstruktionstechnik	491	10.5	Eigenspannungen	532
5.10.5	Additive Fertigungsverfahren	495	11	Allgemeiner Spannungs- und Verformungszustand	533
5.10.5.1	Allgemeines	495	11.1	Spannungen an schrägen Schnitten	533
5.10.5.2	Einteilung der Verfahren	496	11.2	Mohr'scher Spannungskreis	534
5.10.5.3	Prozesse und Verfahren	498	11.3	Verallgemeinertes Hooke'sches Gesetz	536
5.11	Produktdatenmanagement (PDM)	503	11.4	Festigkeitshypothesen	537
5.12	Product Lifecycle Management (PLM)	504	11.4.1	Normalspannungshypothese (NH)	538
			11.4.2	Schubspannungshypothese (SH)	538
			11.4.3	Gestaltsänderungsenergiehypothese (GEH)	538
			12	Aufgaben zur Festigkeitslehre	539
				Anhang 2: Werkstoffvorauswahl	543
			1	Vorbemerkungen	543
			2	Wärmeleitfähigkeit – Temperaturleitfähigkeit	545
			3	Dichte	549
			4	Elastizitätsmodul	550
			5	Versagensspannung	553
			6	Bruchzähigkeit	558
			7	Verlustfaktor	564
			8	Linearer Wärme-ausdehnungskoeffizient	566
				Sachwortverzeichnis	568