

Die thermische Berechnung von Verbrennungsmotorenkolben mit der Methode der Finiten Elemente

J. Altenbach, H. Horeschi, G. Widdecke

1. Einleitung und Zielstellung

Die großen Fortschritte auf dem Gebiet der elektronischen Datenverarbeitung und der damit verbundenen Möglichkeit, umfangreiche und komplizierte mathematische Probleme einer Lösung zuzuführen, haben auch für den Entwicklungsingenieur bisher nur schwer zugängliche Bauteile berechenbar werden lassen. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich wissenschaftlich anspruchsvolle Modellierungen, technische Objekte und Prozesse bei weitgehender Erfassung der realen Objekt- und Prozesseigenschaften realisieren.

Im Verbrennungsmotorenbau wie auch in anderen Bereichen der Technik kommt der Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit der einzelnen Anlagen und Bauteile eine besondere Bedeutung zu. Aus ökonomischer Sicht ist der Aufwand, der zur Gewährleistung eines geforderten Sicherheitsniveaus notwendig ist, so klein wie möglich zu halten. Die Untersuchung von Bauteilen auf experimenteller Basis und ihre Erprobung auf Versuchsanlagen ist im allgemeinen sehr zeitaufwendig und kostenintensiv. Diese Aussage gilt insbesondere immer dann, wenn mehrere Belastungsarten gleichzeitig wirken.

Durch den Einsatz von geeigneten Berechnungsverfahren besteht heute die Möglichkeit, bereits im Entwurfsstadium eines Bauteiles durch gezielte Voruntersuchungen Einfluß auf die konstruktive Gestaltung zu nehmen. Hierzu ist das zu untersuchende Bauteil in ein Berechnungsmodell zu überführen, welches neben den geometrischen zugleich die physikalischen Randbedingungen des Problems beschreibt.

Mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) steht heute ein Berechnungsverfahren zur Verfügung, welches sich als überaus wirkungsvoll bei der Durchführung von Spannungs- und Verformungsanalysen und bei der Bestimmung des Temperaturfeldes von kompliziert geformten Bauteilen erwiesen hat. Die Anwendung dieser Methode auf Bauteile des Verbrennungsmotors setzte verstärkt zu Beginn der siebziger Jahre ein und stützte sich vorrangig auf die Nutzung vorliegender FEM-Programmsysteme. Vorzugsweise wurden Untersuchungen an solchen Bauteilen durchgeführt, für die ein ebenes beziehungsweise rotationssymmetrisches Modell gefunden werden konnte ([1] bis [3]). Die damit gesammelten Erfahrungen und die Verfügbarkeit von hochleistungsfähigen Rechenanlagen führten zum Übergang zu einer echt dreidimensionalen Betrachtungsweise.

Bereits Mitte der siebziger Jahre wurden erste Ergebnisse von räumlichen Untersuchungen an Bauteilen von Verbrennungsmotoren in der Fachliteratur vorgestellt ([4], [5]). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden die vorhandenen Programmsysteme nicht ausschließlich passiv ge-

nutzt. Die Entwicklungsingenieure haben es auch gelernt, durch das Einbringen eigener Routinen die Programmsysteme an spezielle Anforderungen anzupassen und flexibler zu gestalten [6].

Der effektive Einsatz der FEM setzt eine rationelle Datenaufbereitung voraus. Diese Aufgabe bereitet erfahrungsgemäß erhebliche Schwierigkeiten. Deshalb wurden und werden verstärkt Anstrengungen unternommen, den Prozeß der Datenbereitstellung so rationell wie möglich zu gestalten. Das erfordert die Entwicklung von Datengeneratoren, die ausgehend von einer minimalen Anzahl von Basiswerten das rechnerinterne Modell des zu untersuchenden Bauteils erzeugen.

Das Ziel dieses Beitrages besteht darin, eine Methodik der Strukturfindung und deren Applikation auf die Dieselmotorenbauteilberechnung vorzustellen und die Effektivität anhand der Temperaturfeldberechnung für einen Dieselmotorenkolben zu demonstrieren.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Vorbemerkungen und Grundgleichungen der stationären Wärmeleitung

Bei einem Verbrennungsmotor unterliegen die den Brennraum umgebenden Teile in Abhängigkeit von der Drehzahl einer über das Arbeitsspiel zeitlich veränderlichen mechanischen und thermischen Belastung. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache erfolgt die Ableitung der problembeschreibenden Differentialgleichungen der Thermoelastizität für ein stationäres Temperaturfeld.

Voraussetzung für die Ermittlung der aus der thermischen Belastung resultierenden Beanspruchung ist die Kenntnis des Temperaturfeldes, welches eine Funktion der Zeit und des Ortes ist. Dieses Temperaturfeld wird durch die Wärmeleitungsgleichung

$$D_x^T K D_x T(x, t) - Q - \rho c \dot{T}(x, t) = 0 \quad (2.1)$$

mit den dazugehörigen Rand- und Anfangsbedingungen beschrieben. Eine analytische Lösung dieser Gleichung unter Berücksichtigung der Randbedingungen ist nur für Sonderfälle möglich. Für die Näherungslösung wird der Interpolationsansatz

$$T(x_1, x_2, x_3, t) = G(x_1, x_2, x_3) T^e(t) \quad (2.2)$$

gemacht, der auf der Elementebene auf ein gekoppeltes System von Differentialgleichungen erster Ordnung führt. Die Überführung der Elementbeziehungen (2.2) in die Systemgleichungen (2.3) wird mit Hilfe einer Zuordnungsmatrix realisiert.

$$C \dot{T}(t) + K T(t) = f(t) \quad (2.3)$$

Die Lösung des linearen Gleichungssystems für jeden Zeitpunkt t liefert das gesuchte Temperaturfeld des stationären Wärmeleitungsproblems.

2.2. Das geometrische Modell

Das geometrische Modell stellt eine Idealisierung des Bauteils dar, bei dem jene konstruktiven Details weggelassen werden, die keinen oder nur einen geringen Einfluß auf die zu berechnenden Ergebnisse haben. Die FEM würde es zwar erlauben, ein weitgehend originalgetreues Modell zu berechnen, praktisch sind dem jedoch Grenzen gesetzt, die sich aus Kapazitätsgrenzen (Speicherplatz, Rechenzeit) des zur Verfügung stehenden Rechners ergeben. Hier liegt es in der Erfahrung des Berechnungsingenieurs, ein solches Modell zu finden, das praxisrelevante Ergebnisse mit minimalem Aufwand liefert.

Bezogen auf den Einmetallkolben sind hinsichtlich der Geometrie des Kolbenbodens, des Kolbenmantels und der Kolbennabe keine nennenswerten Vereinfachungen erforderlich. Um den Berechnungsaufwand und die Zahl der Eingabedaten zu reduzieren, sollten Symmetrieeigenschaften unbedingt berücksichtigt werden. Für den Kolben bedeutet das die Berechnung eines 90° -Segmentes. Das auf dieser Basis entstandene Modell ist im Bild 1 zu sehen.

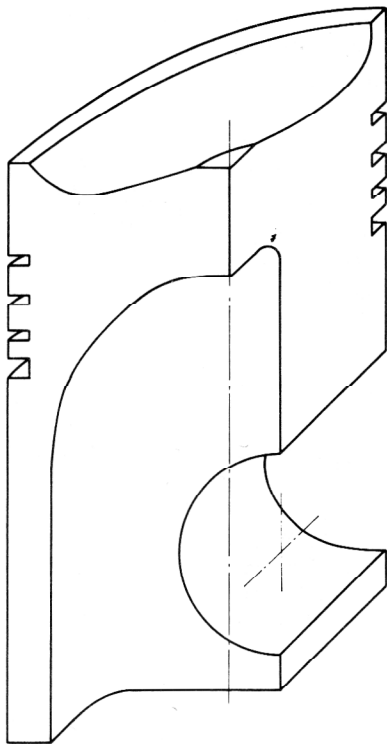


Bild 1
90° - Segment des Einmetallkolbens

2.3. Das thermische Berechnungsmodell

Messungen haben nachgewiesen, daß bei einem konstanten Lastregime des Motors über einen längeren Zeitschnitt sich im Kolben ein quasistationäres Temperaturfeld einstellt. Die Kolbenbodentemperatur wird infolge

des Arbeitsspiels um einen Mittelwert schwanken, die jedoch mit wachsendem Abstand von der Oberfläche schnell abklingt. Die Größe der Eindringtiefe der Temperaturschwankungen beträgt bei schnellaufenden Motoren maximal einen, bei Langsamläufern mehrere Millimeter. Da die reale Kolbenbodendicke ein vielfaches dieses Wertes beträgt, könnte man den Einfluß dieser Temperaturschwankungen auf das Temperaturfeld des Gesamtkolbens für eine erste Rechnung vernachlässigen. Ähnlich ist der Einfluß örtlicher Temperaturdifferenzen im Brennraum einzuschätzen. Geht man weiterhin von der Überlegung aus, daß die Anfahrphase des Motors aus der Sicht der Herstellung des Wärmestromgleichgewichtes abgeschlossen ist, kann ein näherungsweise stationäres Temperaturfeld im Kolben vorausgesetzt werden. Damit vereinfacht sich dessen Berechnung ganz wesentlich.

3. Die Eingabewerte des rechnerinternen Modells

3.1. Allgemeine Erläuterungen

Ausgehend von den Vorüberlegungen sollen die Eingabedaten in inhaltlich zusammenhängenden Blöcken zusammengefaßt werden. Man unterscheidet zweckmäßig zwischen

- strukturbeschreibenden,
- belastungsbeschreibenden und
- materialbeschreibenden Daten.

Im folgenden sollen nicht explizit Eingabewerte aufbereitet werden, es wird vielmehr angestrebt, auf einige grundlegende industriezweigspezifische Aspekte aufmerksam zu machen, die aus der Sicht des Motorenbauers besonders zu beachten sind.

3.2. Die strukturbeschreibenden Daten

Diese Eingabedaten nehmen bei allen FEM-Programmsystemen einen zentralen Platz ein. Für ihre Bereitstellung wird der größte Teil der Zeit benötigt, die für die Bereitstellung der Eingabewerte erforderlich ist. Wesentliche Zeiteinsparungen lassen sich an dieser Stelle erreichen, wenn Standardstrukturkataloge gekoppelt mit einer dialogorientierten Eingabe zur Verfügung stehen. In diesem Fall bedeutet das den Einsatz des Strukturkataloges „Dieselmotor“, aus dessen Standardstrukturen sich mit geringem Aufwand die Bauteile des Dieselmotors modellieren lassen. Eine Vorstellung von dieser Aussage vermittelt Bild 2, welches eine Modellierung des Kolbensegmentes des Bildes 1 aus Standardstrukturen darstellt.

Die strukturbeschreibenden Daten gliedern sich in eine topologische und eine geometrische Beschreibung und bilden das Bauteil auf dem Rechnerniveau ab. Sie werden späterhin zur Berechnung des Temperaturfeldes, der Spannungen und Verschiebungen, aber auch zur Steuerung der grafischen Darstellung benötigt.

3.3. Die belastungsbeschreibenden Daten

Unter dieser Überschrift sollen hier nur jene Daten betrachtet werden, die zur Berechnung des Temperaturfeldes erforderlich sind. Die zur Lösung des Wärmestromproblems notwendigen Belastungsgrößen stehen in den der Gleichung 2.1 zugehörigen Randbedingungen. Im

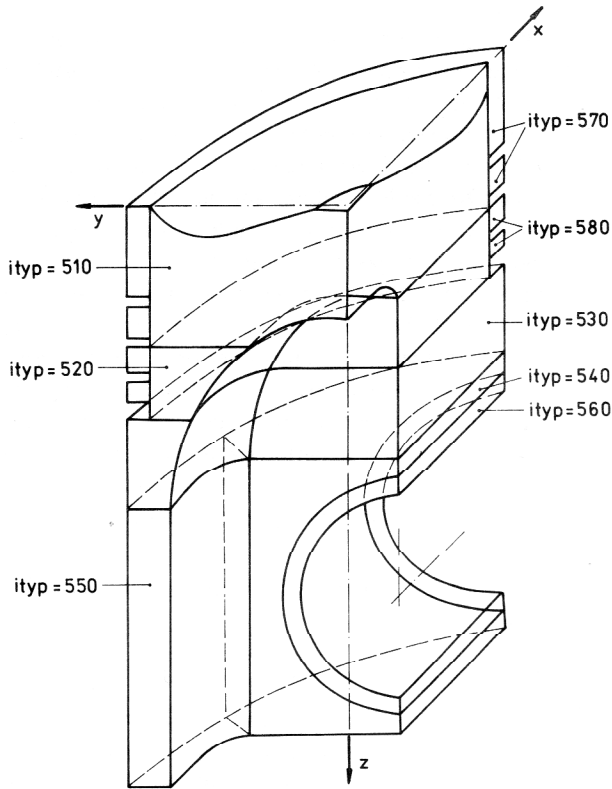


Bild 2
Einteilung des 90° - Segmentes in Standardstrukturen

einzelnen sind das Wärmequellen, Wärmeströmungen und Wärmeübergänge, von denen die letztere im Motorenbau die dominierende Rolle spielt. Das Temperaturfeld ist damit eindeutig berechenbar, wenn die Wärmeübergangskoeffizienten und die Umgebungstemperaturen der gesamten Oberfläche des Bauteils vorliegen. Die Ermittlung der genannten Größen für Bauteile des Verbrennungsmotorenbaus gestaltet sich in der Praxis als äußerst diffizil, zumal allgemeingültige Berechnungsverfahren dafür nicht vorliegen. Alle abgeleiteten Beziehungen basieren auf Annahmen und stützen sich im wesentlichen auf Meßwerte an ausgeführten Motoren. Eine Übertragung der auf diesem Wege ermittelten Werte ist deshalb stets kritisch zu beurteilen. Eine Möglichkeit der Berechnung der Gastemperatur $\vartheta_G(\varphi)$ im Arbeitszylinder besteht in der Untersuchung des Arbeitsprozesses, eine andere in der Messung des Druckverlaufes. Über die Zustandsgleichung kann dann wiederum die Gastemperatur in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel bestimmt werden.

Hinsichtlich der Festlegung der Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha_G(\varphi)$ wurden gute Erfahrungen mit dem in [7] vorgeschlagenen Ansatz gemacht. Für die Berechnung des stationären Temperaturfeldes wird zweckmäßig mit Mittelwerten

$$\alpha_{Gm} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_G(\varphi_i)}{n}; \quad \vartheta_{Gm} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_G(\varphi_i) \vartheta_G(\varphi_i)}{\alpha_{Gm}} \quad (3.1)$$

gerechnet. Für die übrigen Oberflächen des Kolbens werden die Werte für die Wärmeübergangskoeffizienten und die Umgebungstemperatur experimentell ermittelt.

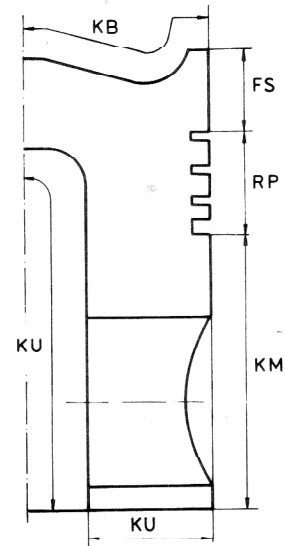


Bild 3
Flächeneinteilung des Kolbensegmentes

Grundlage hierfür sind die gemessenen Bauteiltemperaturen. Da diese Werte auf der gesamten Oberfläche des Kolbens stark variieren, sollte man diese in Gebiete mit jeweils konstanten Werten einteilen. Im vorliegenden Fall wird mit der im Bild 3 dargestellten Einteilung in

- brennraumseitige Kolbenbodenoberfläche (KB)
- zylindrische Fläche des Feuersteiges (FS)
- Fläche des Ringfeldes ohne Kolbenringe (RP)
- zylindrische Gleitfläche des Kolbenmantels (KM)
- Kolbenunterseite (KU)

gearbeitet.

Die den einzelnen Flächen zugeordneten Größen wurden mittels eines elektrolytischen Troges [8] für einen effektiven Mitteldruck von $p = 1.08 \text{ MPa}$ und eine Drehzahl von $n = 1000 \text{ 1/min}$ bestimmt. Die ermittelten Werte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1
Wärmeübergangszahlen und Umgebungstemperaturen

	α_{G_i} [W/mm K]	ϑ_{u_i} [K]
KB	587.0E+06	783.0
FS	256.0E+06	783.0
RP	1756.0E+06	375.0
KM	829.0E+06	365.0
KU	1210.0E+06	342.0

3.4. Die materialbeschreibenden Daten

Zu den materialbeschreibenden Daten werden üblicherweise alle für die Rechnung benötigten physikalischen Werkstoffkennwerte gezählt. Dabei muß unterschieden werden, ob es sich um einen Werkstoff mit isotropem, orthotropem oder anisotropem Verhalten handelt.

Für den hier betrachteten Kolben aus der Legierung AlSi12CuNiMg und den Kolbenbolzen aus 16MnCr5 darf ein isotropes Materialverhalten vorausgesetzt werden. Für die Berechnung des Temperaturfeldes wird da-

mit nur die Wärmeleitfähigkeit der Bauteile benötigt. Die verwendeten Werte stehen in Tabelle 2.

Tabelle 2
Wärmeleitzahlen

Bezeichnung	λ [W/mmK]
Kolben	14.65E+02
Kolbenbolzen	5.23E+02

4. Temperaturfeldberechnung und Ergebnisdiskussion

4.1. Realisierung der FEM-Rechnung

Für die FEM-Rechnung stand das universelle Programmsystem COSAR [9] zur Verfügung, welches auf einer Rechenanlage ES-1040 generiert war. Die geometrische Modellierung des Kolbens für das rechnerinterne Modell erfolgte durch 11 Standardstrukturen des Strukturkataloges [10] und eine Hyperstruktur. Damit konnte die Vernetzung ausschließlich der vorliegenden Software auf der Grundlage von Basiswerten übertragen werden. Hierdurch ergab sich eine erhebliche Senkung der Zahl der Eingabedaten und der Fehlerhäufigkeit. Bereits nach zwei Rechnerläufen lag ein fehlerfreier Eingabedatensatz vor. Eine Übersicht über die eingesetzten Strukturen und die Feinheit der Vernetzung ist in der Tabelle 3 gegeben.

Tabelle 3
Kolbensegmentstrukturierung

Nr.	Strukturtyp	Anzahl der	
		Elemente	Knoten
1	510	60	364
2	570	3	44
3	570	3	44
4	520	36	264
5	580	3	44
6	580	3	44
7	530	18	108
8	540	8	89
9	550	8	81
10	560	16	113
11	570	16	155
12	0	11	235
Summe	—	185	1585

Dabei wurde ein Verhältnis der Anzahl der Eingabedaten zur Zahl der generierten Daten von 1 : 6 bis 1 : 8 erreicht. Das entspricht einer durchschnittlichen Reduktion der Eingabedatenmenge um 85 %. Bei einer feineren Vernetzung würde diese Zahl noch günstiger ausfallen.

4.2. Das Temperaturfeld des Einmetallkolbens

Im Bild 4 sind die berechneten Temperaturen für ausgewählte Knoten eingetragen. Um eine Aussage über die Brauchbarkeit der erzielten Ergebnisse treffen zu können, wurde mit experimentell ermittelten Temperaturmesswerten verglichen [11]. Dabei konnte eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt werden. Die maximale Abweichung tritt an der Kolbenkrone auf und beträgt 1,8 %. Dieser Fehler ist bei der Kompliziertheit des Problems akzeptabel. Ursachen für diese Abweichung können sein:

- Fehler bei der Temperaturmessung,
- Fehler bei der Flächeneinteilung für die Wärmeübergangszahlen,
- Fehler bei der Bestimmung der Belastungsgrößen.

Das nunmehr vorliegende und als brauchbar erkannte Temperaturfeld wurde späterhin für die Berechnung der Verformungen des Kolbens als Belastungsgröße eingesetzt.

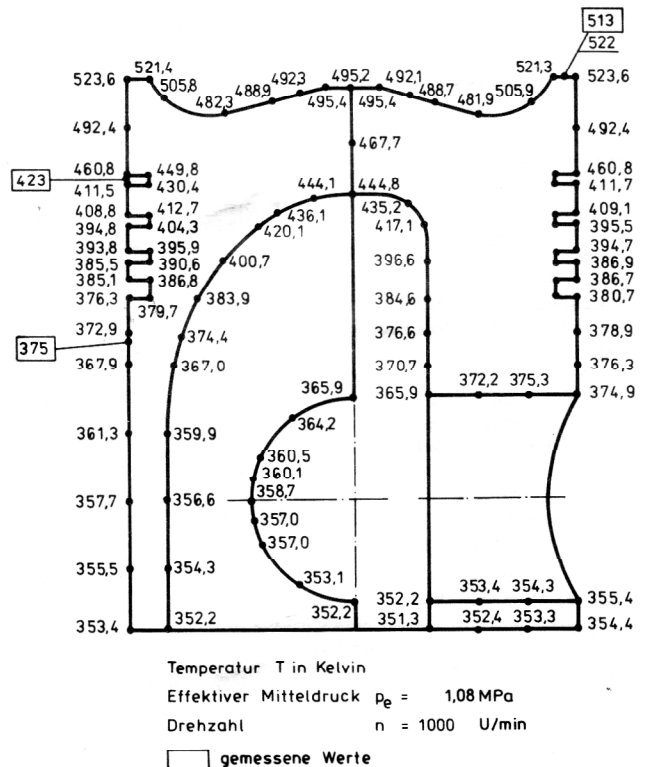


Bild 4
Ermitteltes Temperaturfeld für ausgewählte Punkte

LITERATUR

- [1] Burow, G.; Frost, F.; Menze, I.; Tilch, G.: Probleme der thermischen und mechanischen Belastung von Zylinderlaufbuchsen. Dieselmotorenachrichten 2 (1974), S. 8 – 15.
- [2] Kleimola, M.; Holengren, H.: Verwendung der Finite-Elemente-Methode bei der Entwicklung von Dieselmotoren. Motortechnische Zeitschrift 37 (1976), S. 231 – 234.
- [3] Newton, D.; Scholes, A.: Computer Aided Optimisation of Diesel Engine Pistons. ASME-Publikation 70-DGP-6, 1971, S. 1 – 8.

- [4] Svoboda, M.; Kern, G.: Finite-Elemente-Programme zur Berechnung der Temperaturverteilung und der thermischen Beanspruchung von Verbrennungsmotoren. Motortechnische Zeitschrift 36 (1975), S. 39 – 42.
- [5] Affenzeller, J.: Deformationsuntersuchungen an Hubkolbenmaschinen mit trockener Nutschmittel mittels Finiter Elemente. Motortechnische Zeitschrift 39 (1978), S. 115 – 119.
- [6] Schroeder, H.: Biegebeanspruchung von Kurbelwellen langsamlaufender Schiffsdieselmotoren. Motortechnische Zeitschrift 44 (1983), S. 97 – 102.
- [7] Woschni, G.: Beitrag zum Problem des Wärmeüberganges im Verbrennungsmotor. Motortechnische Zeitschrift 31 (1970), Heft 12.
- [8] Kaiser, K.: Ein Beitrag zur Bestimmung der thermischen Belastung von Kolben mittelschnelllaufender hochaufgeladener Dieselmotoren. TH Magdeburg, Dissertation A, 1979.
- [9] Nutzerhandbuch COSAR/84. MDZ „Finite Elemente“, TH Magdeburg 1984.
- [10] Widdecke, G.: Strukturkatalog Einmetallkolben. TH Magdeburg, Sektion DPV 1982.
- [11] Klos, W.; Schmidt, H.-D.; Ihde, D.: Dieselmotoren 6 VD 26/20 Al-1 für Schiffs- und Landanlagen. Dieselmotoren-nachrichten 1970, Heft 1, S. 15 – 22.

Anschrift der Verfasser:
 Prof. Dr.-Ing. techn. Johannes Albersatz
 Dr.-Ing. habil. Hans-Joachim
 Sektion Konstruktion
 Dr.-Ing. Günter Widdecke
 Sektion Dieselmotoren, Pumpen und Verdichter
 TU „Otto von Guericke“
 Post 134
 Magdeburg
 30110

Fortsetzung von Seite 21

Delery, J.: Turbulent Shear-Layer/Shear-Flow Interactions. IUTAM Symposium, Palaiseau, France, September 7-12, 1985. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, 1986. ISBN 3-540-15784-4

Der Band enthält die des Planar- und 3D-Dilatationsbeitrag eines vierjährigen Symposiums des International Union of Theoretical and Applied Mechanics (IUTAM) über die Wechselwirkungen von Turbulenzen mit turbulenten Strömungen. Die Vorträge wurden in Palaiseau, Frankreich, veranstaltet wurde über 100 Wissenschaftler aus 14 Ländern nahmen an der Veranstaltung teil. Der Inhalt wird in folgende 4 Problemkreise unterteilt:

1. Wechselwirkungen in zwei-dimensionalen stationären Strömungen
2. Wechselwirkungen in drei-dimensionalen stationären Strömungen
3. Instationäre Aspekte des Wechselwirkungsmechanismus
4. Grundlegender Stoß/Turbulenz-Wechselwirkungsmechanismus

Im Plenarvortrag zum Teil 1 beschäftigen sich H. Albersatz und J. Widdecke mit der Modellierung von kompressiblen turbulenten Strömungen, deren experimenteller Möglichkeiten und Perspektiven vor. Die 8 Beiträge dieses Abschnittes geben einen Überblick über numerische Möglichkeiten bei zweidimensionalen Problemstellungen. Im Teil 2 nimmt die Arbeit von Smith und Roggiano eine zentrale Stellung ein. Die Autoren geben einen Einblick auf dreidimensionale Stoßwellen/Turbulenz-Grenzschicht Wechselwirkungen. 10 Einzelbeiträge erläutern die Aussagen und stellen unterschiedliche Einstellungen vor.

Dallag gibt im Plenarvortrag zum Teil 3 einen Überblick über die zeitliche Abhängigkeit von Grenzschichtablösungen infolge Stoßwellen. In seinen und den vier zusätzlichen Beiträgen werden die Probleme bei der Behandlung instationärer Problemstellungen deutlich. Im abschließenden vierten Teil liefern von G. Katsanos und J. Albersatz

Anwendungen noch nicht ausreichend bearbeitet werden. So stellt der vorliegende Band durch eine zeitliche Verschiebung der Arbeiten zu kompressiblen turbulenten Strömungen dar. Die verstärkte Zuwendung zu den mathematischen und strömungsmechanischen, so entsprechenden Problemen der Wechselwirkung zwischen turbulenten Schichten und Stoßwellen und dem damit verbundenen theoretischen Fortschritt ist belagte Fortschritt auch bei der praktischen Analyse kompressibler Strömungen vorzuziehen.

Die inhaltliche Zusammenstellung neuester Forschungsergebnisse kann nicht nur den Aerodynamikern zur Lektüre empfohlen werden. M. Albersatz

CAD-Ausbildung für die Konstruktionstechnik. Teil 1: CAD-2-D-Einführung in der Konstruktionstechnik. Konstruktion, Carl Hanser Verlag München Wien 1986, 200 S.

Der effektive Einsatz von CAD-Systemen hängt in ganz entscheidendem Maße von der Qualifikation der Anwender ab. Der vorliegende erste Band einer Lehrmaterialreihe richtet sich daher an solche Personen, die bei ihrer Tätigkeit in Zukunft an Rechner arbeiten müssen für die Konstruktion und die Zeichnungserstellung 1986 sein werden. Das gilt sowohl für technische Zeichner als auch für Konstrukteure, Ingenieure und Studenten. Das vorliegende Handbuch ist daher als Informationsquelle zum Selbststudium oder als kurzweiliges Lehr- und Arbeitsbuch gedacht.

Als Einführung in die Vermittlung des CAD-Grundwissens erhält dieser Band eine Beschreibung der prinzipiellen Funktionsweise von Hard- und Software. Die Anwendungsmöglichkeiten, gerichtet nach Geometrieerstellung, Elementeneigenschaften und Änderungen, Hilfsfunktionen sowie die Zeichnungserstellung bilden den Hauptteil dieses Handbuchs.

Der Bezug zur Praxis wird durch drei Systembeispiele sowie dazugehörige Konstruktionsbeispiele aus dem Bereich der mechanischen Konstruktion konkretisiert. Letztere

erläutert, wie mit den aufgeführten Werkzeugen (CAD-Funktionen) gearbeitet wird. Am Ende des Abschnittes sind außerdem Kontrollfragen angehängt, mit deren Hilfe der Lernprozess im Selbststudium kontrolliert werden kann. Dazu werden auch die richtigen Antworten am Ende des Bandes beigegeben.

Im Rahmen des Baustatus-Systembeispiels wird die Konstruktion eines sternförmigen Winkelhebels durchgeführt. Dabei gelangen nacheinander ein Personalcomputer (Nixdorf) ein Microcomputer (Hewlett Packard) und ein Großrechner (Control Data) mit dem entsprechenden CAD-System zum Einsatz. Das Leser werden die einzelnen Arbeitsschritte in jedem System demonstriert, eine Wertung beziehungsweise ein Vergleich der Systeme erfolgt jedoch nicht.

Allgemein wird das Handbuch durch zwei Übergangsaufgaben größerer Art und eines Überblick über die verwendeten Fachbegriffe. Hervorzuheben ist ebenfalls die gute grafische Gestaltung und eine dem angestrebten Denken entsprechende, reichhaltige Verwendung von Zeichnungen.

M. Horvath

Rechen, H.: Industriepraktikum Maschinenbau. Ein Leitfaden für Studierende an Technischen Universitäten. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1986, 125 S., ISBN 3-540-15911-3

Für Studierende des Maschinenbaus ist im allgemeinen unabhängig von der speziellen Gliederung des Studienganges an der jeweiligen Technischen Universität oder Hochschule, das Industriepraktikum wichtiger Bestandteil des Studiums.

Der Autor dieser Broschüre ist Mitarbeiter des Praktikantenamtes der Fakultät für Maschinenwesen der TU München und vermittelt Erfahrungen für die richtige Gestaltung dieses Studienschrittes aus der Sicht der Wirtschafts- und Hochschulstruktur der BRD. Viele der beispielhaft gegebenen Hinweise für die inhaltliche Gestaltung dieses Studienschrittes haben jedoch allgemei-

statischen Beschreibung turbulenter Strömungsvorgänge. Wenigstens in einigen Bereichen die Gesichtspunkte der praktischen

schaffen, Darstellungshilfen, Berechnung, Schraffur, Text, Makros. Im Rahmen eines Baustatus wird dem Lernenden anschaulich

Fortsetzung auf Seite 23