

## BOOK REVIEW — BUCHBESPRECHUNG

IMRE VÖRÖS : Maschinenelemente III (Zahnräder). Tankönyvkiadó, Budapest 1956, 515 Seiten, 384 Abbildungen und 44 Tabellen.

Das im Jahre 1956 erschienene Lehrbuch »Zahnräder« von Professor Dr. I. Vörös, Kossuth-Preisträger, Leiter des Lehrstuhles für Maschinenelemente an der Budapester Technischen Hochschule ersetzt einen alten Mangel in der ungarischen technischen Literatur. Obwohl Ungarn eine große Anzahl vorzüglicher Fachleute besitzt, die sich mit Zahnrädern befassen, verfügte die ungarische Fachliteratur bis jetzt über kein zusammenfassendes Werk dieser Art.

Nach einer langjährigen Werkstatt- und Konstruktionspraxis übernahm Professor Dr. I. Vörös im Jahre 1940 den Unterricht des Lehrfaches »Maschinenelemente« an der Budapester Technischen Hochschule. In den Jahren 1943 und 1944 hielt er im Fortbildungsinstitut für Ingenieure eine Reihe von Vorlesungen über die Geometrie und Festigkeitsberechnungen der Zylinderräder von Außenverzahnung, Geradverzahnung und Schrägverzahnung, weiterhin der Kegelräder von Geradverzahnung und Kreisbogenverzahnung. Diese Vorträge sind auch im Druck erschienen. Die von der Maschinenhauptkommission der Klasse für Technik der Ungarischen Akademie der Wissenschaften veranstaltete »Zahnräderkonferenz«, deren Material ebenfalls veröffentlicht wurde, übte auf die ungarische Fachliteratur über die Zahnräder eine große Wirkung aus. Auf der Zahnräderkonferenz wurde im Rahmen der Ungarischen Akademie der Wissenschaften die sogenannte »Zahnräderfachkommission« gebildet, die während ihrer ungefähr vierjährigen Tätigkeit die ungarische Zahnräderforschung wirksam förderte. Aus der Feder sowohl der älteren als auch der jüngeren Fachleute erschienen zahlreiche Studien sowie Teilprobleme umfassende Werke, die entweder die Verlagsserie des Fortbildungsinstitutes für Ingenieure bereicherten oder in den ungarischen und ausländischen Fachzeitschriften veröffentlicht wurden.

Bei der Rezension eines Fachwerkes ist die Feststellung des Vorangehenden äußerst

wichtig. Professor Vörös verwendete bei der Verfassung seines Buches offensichtlich sowohl seine praktischen Resultate als Konstrukteur als auch die Erfahrungen seiner zwei Jahrzehnte umfassenden Lehrtätigkeit und die Forschungsergebnisse des unter seiner Leitung stehenden Lehrstuhles sowie anderer ungarischer Institute und Fabriken und die Endresultate des umfangreichen Materials der Diskussionen, deren Forum die schon erwähnte »Zahnräderkommission« der Akademie war. So enthält sein Buch nicht nur die Einzelheiten, die in verschiedenen hervorragenden fremdsprachigen Fachwerken vorzufinden sind, sondern es gibt auch ein treues Bild der diesbezüglichen Tätigkeit der ungarischen Wissenschaft, was dem Buch einen besonderen Wert verleiht.

Da die bisher in irgendeiner Weltsprache veröffentlichten Werke der ungarischen Fachleute im allgemeinen Erfolg hatten und die ausländischen Kritiken aus dem Inhalt der betreffenden Bücher fast immer die Forschungen der ungarischen Verfasser — oder im allgemeinen die Ergebnisse der ungarischen Forschungen — hervorheben und dem Leser empfehlen, könnte das Werk von Professor Vörös in englischer, deutscher oder russischer Übersetzung auf dasselbe Interesse Anspruch erheben.

Einteilung des Buches. Der Verfasser bespricht das umfangreiche Material in 130 Abschnitten. Abschnitte 1—63 befassen sich mit Zylinderrädern von Außen- und Innenverzahnung. Innerhalb dieser führen die Abschnitte 1—17 in die Grundbegriffe ein und gelangen nach Erörterung verschiedener Zahnformen zur Kreisevolvente als gebräuchlichste Zahnform. Die Abschnitte 18—33 machen den Leser mit den die Bereichsgrenzen der Evolventenverzahnung bestimmenden Parametern bekannt. Solche Parameter sind: Grenzzähnezahl der Unterschneidung, der Eingriffswinkel, die Zahnausspitzung, das relative Gleiten und die Interferenz. Selbstverständ-

lich erfordert die Behandlung dieser Parameter eine Erörterung der Zahnräderzeugung mit Profilverschiebung, d. h. die Erweiterung der normalen Verzahnung. Notwendigerweise müssen im Rahmen der korrigierten Verzahnung die verschiedenen Verzahnungsverfahren erwähnt werden (die ungarische Verzahnung »Hungaria« von Vidéky, die Schweizer Verzahnung von Maag, die deutsche AEG, die sowjetische Diker, die ungarische Botka-Verzahnung, usw.). Der besondere Wert des in diesen Abschnitten behandelten Materials besteht im Folgenden: 1. die Behandlung ist durch die Einheit der geometrischen und betriebstechnologischen gegenseitigen Wirkung gekennzeichnet; 2. der Leser lernt eine Methode kennen, mit deren Hilfe er selbständig, ohne Tabellen, mittels Berechnungen mit dem Rechenschieber und einfachen Konstruktionen Zahnräderpaare mit korrigierter Verzahnung zum ausgeglichenen Schlupfen berechnen kann.

Die Abschnitte 34—39 befassen sich mit den geometrischen Verhältnissen der Innenverzahnung, mit besonderer Rücksicht auf die kompensierte und korrigierte Innenverzahnung sowie auf die bei dem Zahnfuß und dem Zahnkopf auftretenden Interferenzen.

Abschnitt 40 faßt die gewöhnlichen (vor allem in Ungarn gebräuchlichen) Zahnrad-Werkstoffe zusammen. Die Abschnitte 41—56 enthalten die Verzahnungsberechnungen, und zwar die Berechnungen für die beim Zahnfuß auftretende höchste Spannung, für die beim Kopfpunkt bzw. beim Anfangspunkt des Einzeleingriffes auftretende Oberflächenspannung, schließlich die gegen die infolge von lokaler Erhitzung auftretende Einfresung. Nach ausführlicher Behandlung der einzelnen Belastungen versucht der Verfasser im Abschnitt 56 mit Rücksicht auf die Geometrie und die Festigkeit der Räder die wirtschaftlichsten Abmessungen der Zahnräderpaare zu bestimmen.

Die Abschnitte 57—61 erläutern die Feinbearbeitung der Zahnoberflächen (Polieren, Schleifen) und beschäftigen sich mit der Modifikation der Zähne als mit einer, die allmähliche Belastungsaufnahme verwirklichenden Lösung, anstatt der plötzlichen Belastungsaufnahme des im Eingriff tretenden Zahnräderpaares. Im Abschluß folgt die Darstellung von zwei besonderen Verzahnungen, und zwar die Zykloiden- und Triebstockverzahnung.

Die Abschnitte 64—98 geben eine Zusammenfassung über die Zahnräder mit Schrägverzahnung, Schraubenrädern und Kegeln. Daß diesen speziellen Verzahnungen verhältnismäßig weniger Platz zugeteilt wurde, kann damit erklärt werden, daß nach Behandlung der Geometrie der Verzahnungen die Eigenschaften der Nullräder, kompensierten und winkelkorrigierten Verzahnungen, weiterhin

die Kennzeichen dieser Verzahnungen, ja sogar die Abmessungen, überall auf ähnliche Begriffe der Stirnräder zurückgeführt sind. Auf diese Weise war es möglich, nur die Unterschiede zu erörtern.

Die Abschnitte 66—79 befassen sich mit den Zylinderrädern mit Schrägverzahnung (Nullräder, kompensierte und winkelkorrigierte Schrägverzahnung, Unterscheidung, Herstellung, Überdeckungsgrad und Abmessungen). Die Ableitung des zwischen der Oberflächenspannung und dem axialen Überdeckungsgrad bestehenden Zusammenhanges muß separat betont werden. Unter diesen Abschnitten findet auch die Beschreibung der inneren Schrägverzahnung und der Pfeilverzahnung ihren Platz.

Abschnitte 80 befaßt sich kurz mit den Schraubenrädern, darauf folgt mit Anwendung der relativen Bewegung der Schraubenräder, nachträglich die Schilderung der Feinbearbeitung der Oberflächen mittels Schaben.

Die Abschnitte 82—95 befassen sich mit der Geometrie und den Abmessungen der Kegeln. Die Behandlung beginnt wiederum mit der Feststellung der Hauptkennzeichen unter den veränderten Verhältnissen. Dies wird durch die TREDGOLDSche »Ersetzung« erleichtert. Im Laufe der Erläuterung der Betriebstechnologie weist das Buch auf den Begriff des annähernden Planrades sowie darauf hin, daß nur die Bilgram-Maschine auf dem Prinzip des wirklichen Planrades beruht, während die Heidenreich—Harbeck- und die Gleason-Maschinen auf dem Prinzip des annähernden Planrades funktionieren. Nach der Behandlung der Geradverzahnung folgt die Erörterung der Schrägverzahnung und Kreisbogenverzahnung (Abschnitt 86). Danach werden die Verzahnungen Gleason, Klingenberg-Paloid und Oerlikon-Fiat erörtert, wobei auch die speziellen Zerol- und Formate Verzahnungen sowie das einheitliche Grundprinzip der Korrektur der Kegeln mit Kreisbogenverzahnung behandelt werden. Abschnitt 96 befaßt sich mit den hyperbolischen Zahnrädern, die Abschnitte 97—98 mit den Hypoidrädern.

Die Abschnitte 99—106 enthalten die konstruktive Ausbildung der in den vorhergehenden Punkten behandelten Zahnräderpaare, weiterhin den Leitfaden zur Konstruktion der aus Zahnräderpaaren zusammengesetzten Zahnradgetriebe, mit vollständigen Zeichnungen (Durchschnitten und Ansichten), mehreren Getrieben sowie deren Beschreibungen. Abschnitt 106 befaßt sich mit den Planetenrädern.

Die Schneckengetriebe wurden vom Verfasser gesondert behandelt. Er verwendete dabei das Material der Kandidaturredaktion des ungarischen Ingenieurs L. SZENICZEI und erörterte ausführlich die Geometrie der

Schneckenoberflächen, indem er nach der Gestaltung des Stirnrisses der Schneckenoberflächen einen Unterschied zwischen archimedischen, konvoluten und involuten (evolventen) Schnecken macht. Im weiteren erörtert er die Lösung des Problems, auf welche Weise mit einem geradkantigen Werkzeug Schnecken und mit den so verfertigten Schnecken zusammenarbeitende Schneckenräder hergestellt werden können. Nach Behandlung der Hauptdimensionen der elementaren und korrigierten Schneckengetriebe und ihres Wirkungsgrades werden die hogenförmig verzahnten Schnecken (Schnecken mit Hohlprofil) und die globoiden Schnecken als besondere Schneckengetriebetypen erörtert. Im Laufe der Besprechung der Berechnungsmethoden wird erst das ältere Verfahren beschrieben, d. h. die Berechnungsmethode des Moduls aus der Biegespannung und in einem besonderen Abschnitt wird die Berechnung des Schneckengetriebes gegen Erhitzung behandelt. Bei diesem Verfahren kann nämlich mittels Verwendung der NIEMANNschen Versuche der Achsenabstand des Schneckengetriebes in Abhängigkeit der Leistung des Triebwerkes, der Korrektur und der Drehzahl der Antriebswelle — unter einer gewissen Einschränkung der Wahl des Werkstoffes und der Zähnezahls des Rades — berechnet werden.

Die Erörterung der Schneckengetriebe mit vielen Konstruktionsabbildungen und Beschreibungen ist der obererwähnten ausführlichen Behandlung der Zahnrad-Gehäuse ähnlich.

Die Abschnitte 120—130 fassen schließlich die Prüfungsverfahren der Zahnräder zusammen. Hier werden die verschiedenen Bemessungen der Zahndicken, die Mehrzahnweite, die Untersuchung der Teilung, des Rundlauffehlers und des Ausschlages, die Kontrolle der Profilvervolvente, die Prüfung des Achsenabstandes und der Zahnrichtung und die ungarischen Toleranznormen in bezug auf die Zahnäder besprochen.

Zum Schluß folgt eine kurze Zusammenfassung der einschlägigen Literatur.

Im Laufe der Erläuterung des Buches sind die einzelnen Teile, die das Werk besonders wertvoll machen, schon betont worden. Seine weiteren Vorteile sind: 384 klare und übersichtliche Abbildungen, die nach den einzelnen Zahnradtypen folgenden Zahlenbeispiele, die den Konstrukteuren unterstützenden 44 Tabellen. Das schon erwähnte Erörterungsverfahren verdient eine besondere Aufmerksamkeit. Die Methode der Fachwerke für Zahnäderkonstruktion kann im allgemeinen in zwei Kategorien geteilt werden. Die eine hält ausschließlich die theoretischen, geometrischen Gesichtspunkte vor Augen, in der anderen überwiegen die technologischen Standpunkte der Herstellung auf Kosten der theo-

retischen Überlegungen. Das Buch von Prof. VÖRÖS vereint die zwei Methoden in vorteilhafter Weise. Die eine gewinnt kein Übergewicht über die andere, darin besteht der große Vorteil und der besondere Wert des Werkes.

Wie bei einem jeden Buch kann auch bei demjenigen des Prof. VÖRÖS etliches bemerkt werden, was der Verfasser im Laufe der weiteren Auflagen berücksichtigen könnte. Diese Bemerkungen sind die folgenden:

Bei der Schilderung der Abmessungen der Zahnäder ist es neuerdings üblich, anstatt des Ausdrucks von Kubikinhalte-Meßeinheiten mittels Aufnahme der Verhältniszahl der Zahnlänge und des Achsenabstandes (bei Kegelrädern mit Aufnahme der Verhältniszahl der Zahnlänge und des mittleren Radius vom Planrad) nur eine einzige Länge (Achsenabstand bzw. den mittleren Radius des Planrades) auszudrücken.

Die der Innenverzahnung besondere Herstellungsprobleme auf, die das Buch nicht behandelt. Die Zähnezahls des Schneidrades beeinflusst nämlich den Wert der spezifischen Profilverschiebung.

In der Erörterung der im Abschnitt 56 behandelten »Wirtschaftlichen Berechnung der Zahnäder« wäre es richtiger, anstatt der Gleichheit der Ausdrücke der Kubikinhalte-Meßeinheiten, die Quantitäten der Rauminhalte-Meßeinheiten, die aus den zwei Rechnungsprinzipien ableitbar sind, gesondert als Funktion der Zähnezahls des Ritzels zu untersuchen. So erhalten wir nämlich die Grenzgebiete der Abmessungen, während die im Buch erwähnte Gleichheit nur einer ihrer besonderen Fälle ist.

Es drängt sich auch der Gedanke auf, ob es nicht richtiger wäre, sämtliche Zahnädergetriebe einheitlich nach der Behandlung der Schneckengetriebe zu erörtern. Die Trennung der zwei Systeme ist schon deshalb nicht begründet, da es z. B. auch mit Schneckenrädern kombinierte Planetenädergetriebe gibt.

Was die Form des Buches anbelangt, vermischen wir ein Namen- und Sachverzeichnis, weiterhin eine ausführliche Zusammenfassung der Literatur.

Alles in allem füllt das Buch eine alte Lücke der ungarischen Fachliteratur aus. Es ist eine nützliche Hilfe für den Maschinenbauingenieur, der Zahnäder konstruiert, den Betriebsingenieur, der die schadhafte gewordenen alten Elementpaare auszutauschen hat, den Werkstätten, der Zahnäder herstellt, den Forscher in der Suche nach neuen Verfahren, den über Zahnäder vortragenden Professor sowie den heranwachsenden Nachwuchs neuer ungarischer Maschineningenieure.