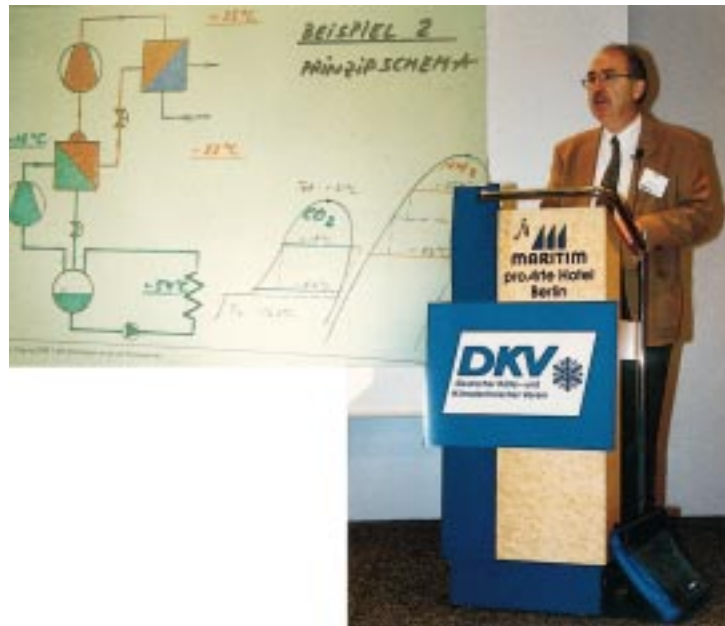


Deutsche Kälte-Klima-Tagung 1999

Forum Industriekälte

Mit einem Übersichtsreport der Eröffnungsveranstaltung der Deutschen Kälte-Klima-Tagung, die vom 17.–19. November 1999 in Berlin stattfand, wurde die Berichterstattung der KK in ihrer Januar-Ausgabe eingeleitet („Ötzi“ war das „Highlight“), es folgt jetzt eine Querschnitts-Berichterstattung über Vorträge, die erstmals unter einer neuen Themengliederung „Forum Industriekälte“ in Berlin angeboten wurden. Insgesamt wurden fast 100 Vorträge parallel in fünf Arbeitsabteilungen gehalten.



Holm E. Gerhardt stellt die Tengelmann-Strategie zur Kältemittelverwendung vor

Die Sitzungen der DKV-Arbeitsabteilung AA II.2 begannen unter dem gemeinsamen Motto „Forum Industriekälte“. Dieses Forum sollte die Aktivitäten zur Industriekälte zusammenfassen und in gewisser Weise auch eine verbindenden Funktion

zwischen den einzelnen vorgestellten Lösungen übernehmen. Es wurde von Thies Hachfeld von GEA Grasso Berlin während der DKV-Tagung 1999 in Verbindung mit dem Obmann des AAII.2 Dr.-Ing. Frank Rinne moderiert und spannte den Bogen

über 8 Vorträge von der Supermarktkühlung bis zur Verdichterentwicklung, wobei entsprechend der Zielstellung der Anwendernutzen im Mittelpunkt stand. Das wurde auch ausdrücklich von den Moderatoren betont.

Den Reigen eröffnete **Holm E. Gerhardt** mit seinem Vortrag zur **Kältemittelstrategie eines Lebensmittelproduzenten**. Er ging dabei davon aus, daß das weltweit tätige Unternehmen Nestlé AG 430 Kälteanlagen betreibt, und daß bei den ca. 180 nicht mit Ammoniak betriebenen Anlagen seit 1989 Handlungsbedarf bestand. Dabei sollte eine für das Gesamtunternehmen einheitliche Strategie verfolgt werden, um ODP- und GWP-Kriterien optimal zu berücksichtigen. Die Ergebnisse wurden in einer Technischen Instruktion den einzelnen Werken vorgegeben.



Thies Hachfeld rechts und Dr. Frank Rinne moderierten gemeinsam das Forum Industriekälte

Das Kältemittel Ammoniak ist wegen der umfassenden Erfahrungen damit (250 Anlagen in Betrieb) auch für die umzurüstenden Anwendungsfälle das Kältemittel Nr. 1 und wird durch weitere zukunftsorientierte Lösungen ergänzt. Das sind Wasser-Li-Br-Absorptionsanlagen, aber auch CO₂-NH₃-Kaskadenanlagen für Verdampfungstemperaturen unterhalb -35 °C und Kaltluftkälteanlagen für unter -60 °C. Kohlenwasserstoffe sind nicht relevant. Dabei sind die länderspezifischen Vorschriften zu beachten, so sind z. B. in Frankreich nur 1,5 t NH₃ als Füllmenge je Anlage zulässig. Das CO₂ kommt auch als verdampfender Kälteüberträger zur Anwendung, wodurch sehr wirtschaftliche Lösungen entstehen. Grundsätzlich werden Saugdrücke über dem Umgebungsdruck verwirklicht. Das Investitionsvolumen ist erheblich, deshalb wird nicht nur nach einem gleichwertigen Ersatz gesucht, sondern auch eine Verbesserung des energetischen Gütegrades um 5 bis 10 % angestrebt. Beispielfhaft wurden zwei Umrüstungsobjekte mit CO₂-NH₃-Kaskaden vorgestellt, woraus zu erkennen war, daß das Unternehmen nicht nur plant, sondern auch handelt.

Aus diesem anspruchsvollen Programm folgen natürlich Wünsche an die Lieferanten des Bereiches Industriekälte, wobei die Bereitstellung von leistungsfähigen und zuverlässigen ölgeschmierten Verdichtern für CO₂ ganz vorn auf der Wunschliste steht. Gegenwärtig muß mit den verfügbaren Standardkomponenten eine Lösung versucht werden. Ein anderer Wunsch bezieht sich auf eine absolute innere Dichtheit der Kaskadenwärmeübertrager, um Salzbildung bei Kontakt der beiden Medien mit allen nachteiligen Folgen für die Anlagen zu verhindern.

Anschließend sprach **H. Weilhardt** vom Verband Deutscher Kühlhausbetreiber VDKL über die **Veränderungen in der Kältekette** und deren Auswirkungen auf die Kälteanlagen. In Deutschland werden 498 Kühlhäuser mit einer durchschnittlichen Kälteleistung von 280 kW betrieben. Die Tendenz des Warenumschlages ist steigend, wobei die Langzeitlagerung zu Gunsten einer als Puffer genutzten Kurzzeitlagerung abnimmt. Das erfordert zukünftig flexiblere Lagerungstechniken, um schnellere Ein- und Auslagerungen zu gewährleisten. Mit geschlossenen gekühlten Rampen versucht man der Tendenz zu größerer Kühllast infolge der häufigeren Türöffnungen entgegenzuwirken. Tiefere Lagertemperaturen sollen dafür sorgen, daß die zulässigen Temperaturen trotz der

größeren Temperaturschwankungen beim Umschlagsprozeß nicht überschritten werden.

Zur Optimierung der Kältebereitstellung gehört die Nutzung der Direktverdampfung, wobei der Vorteil des preiswerten und energetisch günstigen natürlichen Kältemittels Ammoniak ohne globalen Umweltnachteil deutlich zum Tragen kommt und man die höheren Investitionskosten damit ausgleichen kann. Unerlässlich ist aber nach Weilharts Meinung ein eigenes sach- und fachkundiges Service-

eindeutig auf eine bessere Anlagenautomatisierung und auf einen reduzierten Wartungsaufwand gerichtet ist.

Der **energetischen Optimierung bei der Kälteerzeugung** widmete sich auch **W. Neumann** von Boehringer Ingelheim Pharma KG für den Bereich dieses Industriezweiges am Beispiel des Werkes Biberach. Diese Aufgabe ist für die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung im Komplex zu lösen. Es sind die Bereiche Forschung, Gebäudetechnik mit dem Schwerpunkt Reinraumtechnik und Tierzucht zu



H. Weilhardt vom VDKL analysiert den Energieverbrauch im Kühlhausbetrieb

personal, da seitens der frei verfügbaren kältetechnischen Servicefirmen die erforderliche Qualifikation nicht gegeben ist. Man kann aber mit den dadurch bedingten höheren Personalkosten Schadensfälle, deren Auswirkungen gegenüber anderen Kältemitteln (z. B. R 22) größer sind, wirksamer verhindern.

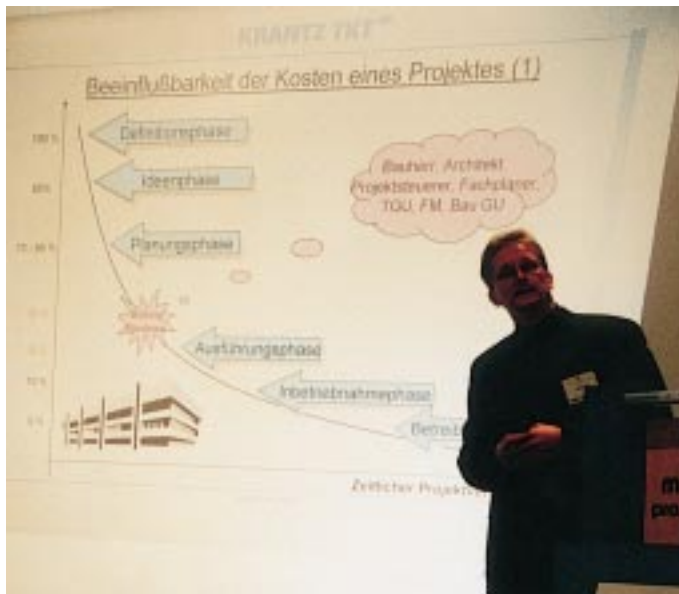
Etwa die Hälfte des Energieverbrauches eines Kühlhauses fällt für die Antriebe der Kältemittelverdichter an, was wiederum für das Ammoniak mit seiner hohen spezifischen Kälteleistung spricht. Andererseits benötigen Umschlagslager fast den doppelten Energieaufwand gegenüber Blocklagern. Beim VDKL liegen dazu aussagefähige Analysen vor. Diese Ausgangsdaten ermöglichen auch die weitere Optimierung unter dem Gesichtspunkt der zukünftig sinkenden Energiekosten, die

berücksichtigen. Der gesamte Energiebedarf liegt bei 4000 bis 9000 kW, wobei die Grundlast von 4000 kW aus der eigenen Gasturbinenanlage gedeckt wird und der darüber hinausgehende Bedarf durch Fremdbezug. Der Kältebedarf ist sehr außentemperaturabhängig und liegt zwischen 1 und 10 MW. Dafür sind immerhin 14 MW installiert, und zwar 1 MW-Turbo-Kältesätze für die Grundlast und darüber hinausgehend Spitzenlastabsorber. Der Energieverbund im Werk ist in seiner Komplexität vorbildlich für so manche andere Anwendung. Gemeinsam mit der Gasturbine wird ein Abhitzekeessel betrieben, der u. a. den Dampfbedarf für die Absorberkälte liefert. Die gegenwärtige Kostenoptimierung führt zu einem Anteil von 30 bis 40 % der Kälteleistung, die durch Kompressionskältetechnik gedeckt wird. Zukünftig wird sich dieser Anteil bis auf 70 % ausdehnen. Wichtig ist eine gute Analyse der Kostenstruktur, woraus die kostenoptimale Fahrweise der verschiedenen Anlagen (Grundlastturbo, Turbogruppe, einstufige und zweistufige Absorber) festgelegt werden kann. Auf Grund der ho-

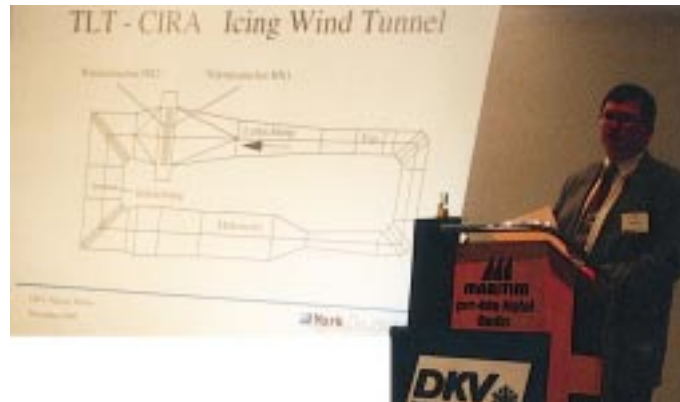
hen notwendigen Produktionssicherheit muß auch eine gewisse Redundanz gesichert werden und wie schon von Weilhart eingeschätzt, ist die eigene Wartungskapazität entscheidend für die Gewährleistung der Zuverlässigkeit der Anlagen.

Eine Auseinandersetzung mit der kritikwürdigen Vergabepaxis bei der Errichtung von **Anlagen zur Komfortklimatisierung** hatte sich **A. Wokittel** von Krantz TKT GmbH vorgenommen. Er ging davon aus, daß in der Industrie die Anwendung des Kältemittels NH₃ weitgehend selbstverständlich ist und daß dabei die Energieeffizienz eine entscheidende Rolle spielt. In vielen Verträgen werden z. B. dem Planer die Energiemehrkosten gegenüber der Planungsgröße in Rechnung gestellt. Bei der Komfortklimatisierung dagegen gelingen NH₃-Lösungen nur, wenn der Kunde ausdrücklich auf höchster Energieeffizienz besteht. Im allgemeinen ist aber der Kunde bei der Planungsphase, in der die Weichen gestellt werden, noch weit weg und der Anbieter mit den niedrigsten Investitionskosten bekommt

A. Wokittel analysierte den Prozeß der Entscheidungsfindung bei der Anlagenplanung



vorzugsweise den Auftrag. Damit ist die Entscheidung für das Kältemittel R 407C programmiert. Die Architekten haben sich auf die Forderungen der aktuellen Klimatechnik durchaus noch zu wenig eingestellt, immer mehr „olympische“ Bauten, nämlich schneller, leichter, billiger, wer-



Der Klimawindkanal in Capua wurde von J. Rohmann vorgestellt

den errichtet. Die entscheidende und aufwendige Schnittstellenabstimmung, die sich am Ende immer auszahlt, ist schwierig und kommt gewöhnlich zu kurz.

Der mit umfangreichen Erfahrungen gewürzte engagierte Vortrag fand auch viel Beifall bei den Kälte- und Klimatechnikern, als die Probleme des Planers mit den Komponenten dargestellt wurden, als daß auch die im Raum stehen gebliebene

Als Fazit ergibt sich in der Praxis, daß man mit hohen Betriebskosten rechnen muß, wenn die Schnittstelle für die Verantwortlichkeiten entsprechend der heute überwiegend üblichen Praxis bei der Baufertigstellung liegt. Daraus leitet sich die aktuelle Forderung nach einer integrierten Planung und Bauabwicklung ab, nach einem partnerschaftlichen Bauen und schließlich nach einem intelligenten Wartungsprotokoll, das die Betriebskosten entsprechend minimieren kann.

Ein spezielles Thema der Kälteanwendung in der Industrie wurde im Vortrag von **J. Rohmann** und **C. Winkler** von York International GmbH behandelt. Sie sprachen nacheinander zu **Projektierung eines Windkanals** und der dazu erforderlichen Kältetechnik. Der erdbebensichere Klimawindkanal, der u. a. der Untersuchung der Eisbildung an Flugzeugen dient, wurde für einen Luftmengenstrom von 880 kg/s mit einer Machzahl bis zu 0,7 und einen Temperaturbereich von -40 bis +40 °C bei einer Kältelast von 4,3 MW mit einer Anlage der Leistung 7 MW ausgerüstet, um den Abkühlprozeß zu beschleunigen. Weitere Auslegungsparameter sind die Luftfeuchte bis zu 100 % und der Innendruck von 0,4 bis 1,4 bar.

Zur Kälteerzeugung dient ein zweistufiger Kompressionskreislauf, der aus 4 elektronisch gesteuerten Schraubenverdichtern besteht, deren Leistungsfähigkeit durch ein auf 3600 U/min übersetzendes Getriebe entsprechend gewährleistet wird. Aus dem Vergleich der verschiedenen Kältemittel ergab sich die optimale Lö-

Frage nach dem Auftreten des Komponentenlieferanten auf dem Bau gestellt wurde sowie die Bedeutung und gleichzeitige Unterschätzung der Inbetriebnahmephase mit Leistungs- und Schallnachweis, mit Funktionsnachweis der MSR-Kopplung und ggf. der Rückkühlung als Angspunkte der Inbetriebnahmemannschaft angesprochen wurden. Beim Betrieb ist auch im Komfortbereich der funktionierende Service für NH₃ ein absoluter Schwerpunkt, da es Anwendungsfälle mit höchstens einer Stunde Servicezeit gibt.

sung mit dem Azeotrop R 507, das immer im Überdruckbereich bleibt und das die Umweltkriterien erfüllt. Bei NH_3 wären z. B. 9 Verdichter erforderlich gewesen und R 22 ist nicht zukunftsfähig. Um am Wärmeübertrager auf der kalten Seite eine geringe Temperaturdifferenz zu erreichen, kam überflutete Verdampfung mit Kupfer-rippenrohren zur Anwendung. An diesem speziellen Beispiel wurde erneut das Anliegen dieses Forums Industriekälte deutlich, nach optimalen Lösungen bei größtmöglicher Erfüllung der konkreten Bedingungen, auch in außergewöhnlichen Fällen, zu streben.

In ähnlicher Weise war die von **A. Erhard** und **E. Gantner**, Sulzer Escher-Wyss GmbH behandelte **Prozeßintegration von Kälteanlagen** ein Lehrbeispiel für die Suche nach energetisch und kostenmäßig optimierten Anlagen. Die Regelungsstrategien spielen dabei eine wichtige Rolle, da sie abgestimmt für den Prozeßablauf und für die Kältetechnik erarbeitet werden müssen. Am Anfang stehen gewöhnlich viele Fragezeichen und wie schon bei den vorausgehenden Vorträgen

Bei der Planung der Prozeßintegration der Kältetechnik stehen am Anfang viele Fragezeichen



den wurde deutlich herausgearbeitet, wie wichtig die Fragestellungen und zugehörigen Antworten in der Planungsphase sind. Es geht um Schnittstellen und Zeitregime, um Lastverhalten und Anfahrregime, um Kälteausfallverhalten und Wiederanlaufbedingungen und schließlich um die gesamte Dynamik und die Redundanz. Nur ein erfahrenes Team kann der Vielfalt der Anforderungen gerecht werden. Der Häufigkeitsverlauf der Kälteleistung muß sich dem Anlagenbedarf unterordnen und ist mitunter sehr stark schwankend, nicht selten dominiert der Teillastbetrieb.

So ist es mitunter sinnvoll, nur 80 % der Kälteleistung durch die Auslegungslast abzudecken und die restlichen 20 % durch die für die Redundanz erforderliche Ausrüstung. Andere Parameter zur Leistungssteigerung ohne Maschinenaufstockung sind zu nutzen. Dazu gehören Economiserbetrieb, Unterkühlung, mehrstufige Verdichtung und Entspannung und möglichst geringe Temperaturdifferenz am Verdampfer. Vorzugsweise kommen zur Er-



Die Sitzungen der Arbeitsabteilung AA II.2 hatten während der gesamten Kältetagung eine gute Resonanz gefunden

nicht verzichten soll, sind auf Einsparpotentiale einzustellen. Die zulässigen Regeltoleranzen sind unter dem alten Motto „so grob wie möglich und so fein wie nötig“ anzustreben. Die frei programmierbaren Steuerungen haben sich für derartige Einmalaufgaben als optimale Hardware für die Regelungsaufgaben erwiesen. Beispiele aus verschiedenen Prozessen, von der Chlorwasserstoffproduktion bis zur Brauerei, ergänzten die allgemeinen Aus-

führungen. Spezielle Lösungsbeispiele zeigten die Vielfalt der konkreten Varianten. So kann es günstig sein, die Umschaltung von einer wassersparsamen Fahrweise auf eine energiesparende Fahrweise vorzusehen oder auf eine Vi-Regelung für den einzelnen Schraubenverdichter zu verzichten.

In ähnlicher Weise versuchte **T. Helmke** von der Linde AG die Bedingungen für eine optimale Auslegung von **Schraubenverdichter-Verbundansätzen** für Ammoniak darzustellen, wobei es sich in seinem Fall um Wiederholungen für Klima-, Normal- und Tiefkühlanwendungen handelt. Die Randbedingungen sind dabei natürlich ganz anders zu bewerten. Er geht davon aus, daß die Verbundanlagen mit mehreren kleineren Schraubenverdichtern gegenüber einer Einzelverdichteranlage für die gleiche Leistung die günstigere Lösung darstellt, weil die kleinen Kompaktverdichter viel rationeller hergestellt werden können, so daß damit keine erhöhten Investitionskosten auftreten. Bei der Verwendung von 3 bis 6 Verdichtern je Kreislauf, ggf. auch durch Auswahl unterschiedlich große Verdichter, kann die Leistungsanpassung durch Verdichterabschaltung und die verdichterinterne Regelung sehr feinstufig erfolgen. Damit erreicht man für fast jeden Lastpunkt die günstigsten Werte für die Betriebssicherheit und die Betriebs- bzw. Energiekosten. Die Erweiterungsfähigkeit läßt sich auf einfache Weise von vornherein vorsehen,

wenn der Kunde solch einen Wunsch hat. Eine Wärmerückgewinnung aus dem Ölkühler (3,5 bis 33 %) und der Druckgasenthitzung (bis 7,5 %) verbessert die Wirtschaftlichkeit weiter. Eine leicht erfüllbare Pflicht ist der versetzte Verdichteranlauf, um den Anfahrstrom in Grenzen zu halten. Die Ersatzteilkhaltung ist in die Überlegungen ebenso einzubeziehen wie die Entscheidung zur Kompaktheit der Anlagen unter Wartungsgesichtspunkten.

Ob in diese Überlegungen die Anwendung von energetisch günstigen Zweiverdichterverbundanlagen als evtl. günstigere Variante einbezogen worden ist, wie sie mit ebenfalls feinstufiger Drehzahlanpassung auf dem Markt sind, blieb nach einer konkreten Fragestellung im Anschluß an diesen Vortrag ohne überzeugende Antwort. Klar sind aber die besseren Redundanzbedingungen bei mehreren kleinen Verdichtern. Es sollte auch nicht unberücksichtigt bleiben, daß man im Schadensfall mit kleineren Verdichtern leichter und schneller zur Wiederherstellung kommt, besonders wenn man in der Größenordnung der durch Handwerksbetriebe handhabbaren Verdichter bleibt. Die Praxis jedenfalls nimmt diese Lösungen an und verweist die großen Maschinen in die industrielle und Prozeßkühlung. Außerdem sind neben den objektiven Optimierungskriterien noch eine ganze Reihe von Gesichtspunkten zu berücksichtigen, die zahlenmäßig schwer zu fassen sind und Spielraum für subjektive Einschätzungen bieten. Aber das ist für erfahrene Planer kein Nachteil, denn diese können im Sinne der eingangs genannten Zielstellung des Forums Industriekälte damit durchaus umgehen. Die sieben gehaltenen



G. Bastiaansen sprach begeistert über die Entwicklungsergebnisse des RC 12 E von Grasso

und hier besprochenen Vorträge machen das jedenfalls deutlich.

Der Vortrag von **G. Bastiaansen** (Grasso Products B.V.) über **innovative Technologien bei großen Hubkolbenverdichtern** wurde zwar abschließend im Forum Industriekälte gehalten, gehört

aber inhaltlich unbedingt in die Thematik der Verdichterentwicklung. Natürlich handelt es sich dabei um Verdichter für die Industriekälte, und deshalb braucht man das nicht so eng zu sehen.

Es ist erstaunlich, welches Entwicklungspotential bei der vorgestellten Lösung noch vorhanden war und ausgeschöpft wurde, um eine bekannte und bewährte Verdichterbaureihe zu verbessern. KK berichtete bereits im Vorfeld in einem Fachaufsatz darüber, siehe KK 9/99, S. 18–22, und konnte auch schon im IKK-Bericht darauf eingehen. Die Fortschritte bei den geschweißten Hubkolbenverdichtern liegen in der günstigen thermischen Ausführung durch direkte Einleitung des Sauggases in die Zylinderköpfe und auch das Druckgas wird auf kürzestem Wege wieder abgeführt. Damit wird die innere Überhitzung kleiner als bei konventionellen Verdichtern, was sich steigend auf den inneren Gütegrad auswirkt, und eine Zylinderkopfkühlung oder Ölkühlung sind nicht erforderlich. Das ist besonders bei der Verwendung des Kältemittels Ammoniak mit seinem an sich höheren Temperaturniveau vorteilhaft. Viel Aufmerksamkeit wurde der Verbesserung des Schwingungsverhaltens bei gleichzeitiger Drehzahlsteigerung gewidmet. Das wurde u. a. durch Massereduzierung der Pleuel-Kolben-Baugruppe erreicht. Die Arbeitsverluste in den Ventilen wurden reduziert, indem man den Ventilhub vergrößerte, aber durch die gleichzeitige Umstellung der Ventilplatten auf Kunststoffmaterial mit guter innerer Dämpfung konnten auch hierbei die Folgen der Drehzahlerhöhung kompensiert werden.

U. A.
(wird fortgesetzt)