

*Stenzel*

BMFT-FB-T 81-195

BMFT-FB-T 81-195

**Bundesministerium für Forschung und Technologie**

**Forschungsbericht T 81-195**

**Technologische Forschung und Entwicklung  
– Nichtnukleare Energietechnik –**

**Untersuchung und Entwicklung eines regelbaren  
Wärmepumpenverdichters für die Beheizung von  
Wohnungen**

von

**A. Stenzel**

**Bayerische Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft AG  
Bayreuth**

**November 1981**

# Berichtsblatt

1. Berichtsnummer <b>BMFT FB T 81-195</b>	2. Berichtsart Abschlußbericht	3. Nichtnukleare Energietechnik
4. Titel des Berichts Untersuchung und Entwicklung eines regelbaren Wärmepumpenverdichters für die Beheizung von Wohnungen		
5. Autor(en) (Name, Vorname(n))  Stenzel, Adalbert	6. Abschlußdatum Dezember 1979	
7. Veröffentlichungsdatum November 1981		9. Ber. Nr. Auftragnehmer
8. Durchführende Institution (Name, Adresse)  Bayerische Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft AG Kanalstraße 2  8580 Bayreuth		10. Förderungskennzeichen 03E5079A/ETS8001I
11. Seitenzahl 37		13. Literaturangaben
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) Postfach 200706  5300 Bonn 2		14. Tabellen
15. Abbildungen  14		16. Zusätzliche Angaben
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung  Gegenstand des Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines effizienten, regelbaren, elektrisch angetriebenen Wärmepumpenverdichters zur Beheizung von Wohnräumen.  Ausgehend von dem Prinzip des Rollkolbenverdichters wurde eine Baureihe regelbarer Wärmepumpenverdichter in Hermetikbauweise entwickelt. Es wurden Prototypen mit 16 und 21 m <sup>3</sup> /h Fördervolumen erprobt.  Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen eine deutliche Überlegenheit dieser neuen Verdichter gegenüber den bisher auf dem Markt befindlichen hermetischen Hubkolbenverdichtern hinsichtlich Bauvolumen, Motoranschlußleistung und Heizleistungsverlauf.  Die Anwendung dieser Verdichter ist besonders vorteilhaft in Kompaktwärmepumpen von Ein- und Zweifamilienhäusern für bivalente und auch, aufgrund der Regel- und Fördercharakteristik, für monovalente Betriebsweise.		
19. Schlagwörter  Effizienter, regelbarer, elektrisch angetriebener Wärmepumpenverdichter, Prinzip Rollkolbenverdichter Hermetikbauweise. Vorteile Bauvolumen, Motoranschlußleistung, Heizleistungsverlauf. Einsatz Kompaktwärmepumpen, bivalente und monovalente Betriebsweise.		
20.	21.	22. Preis DM 8,00 + MwSt

Vertrieb und Verkauf nur durch Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik GmbH, Karlsruhe, D-7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2

## Document Control Sheet

1. Report No. <b>BMFT-FB-T 81-195</b>	2. Type of Report Final Report	3. Non-nuclear energy technology
4. Report Title Examination and development of adjustable heat pumps for the heating of dwellings		
5. Author(s) ( Family Name, First Name(s)) Stenzel, Adalbert	6. Report Date December 1979	
8. Performing Organization (Name, Address) Bayerische Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft AG Kanalstraße 2 8580 Bayreuth		7. Publication Date November 1981
12. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) Postfach 200706 5300 Bonn 2		9. Originator's Report No. 10. BMFT-Reference No. 03E5079A/ETS8001I 11. No. of Pages 37 13. No. of References 14. No. of Tables 15. No. of Figures 14
16. Supplementary Notes		
17. Presented at (Title, Place, Date)		
18. Abstract <p>Subject of the research project was the development of an efficient, controllable electric heat pump compressor for the heating of rooms.</p> <p>Proceeding from the principle of rotating piston compressors, a line of controllable heat pump compressors of semihermetic design have been developed. Prototypes with a volumetric displacement of 16 and 21 m<sup>3</sup>/h have been tested.</p> <p>As far as volume, motor connection capacity and heating capacity are concerned, the results obtained up to now show an evident advantage of these new compressors compared with the hermetic piston compressors on the market at present.</p> <p>The application of these compressors is very favourable especially in compact heat pumps of single-family and two-family houses for bivalent, and, due to the control and delivery characteristic line, also for monovalent operation methods.</p>		
19. Keywords Efficient controllable electric heat pump compressor principle rotating piston compressor, hermetic design. Advantages volume, motor connection capacity, heating capacity. Application compact heat pumps, bivalent and monovalent operating methods.		
20.	21.	22. Price DM 8,00

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung
2. Anforderungen und Zielsetzungen
3. Ausgangsbasis der Entwicklung
4. Beschreibung der Neuentwicklung
  - 4.1 Motorkühlung und grundsätzlicher Aufbau
  - 4.2 Anzahl der Trennschieber
  - 4.3 Leistungsregelung
  - 4.4 Motoranschlußleistung
  - 4.5 Schmierstoffeinspritzung
5. Ergebnisse von Vergleichsuntersuchungen
  - 5.1 Untersuchte Verdichter
  - 5.2 Versuchsdurchführung
  - 5.3 Leistungszahlverhalten
  - 5.4 Förderverhalten
  - 5.5 Zusammenfassung der Vergleichsversuche
6. Ergebnisse der Neuentwicklung
  - 6.1 Förderverhalten
  - 6.2 Leistungszahlverhalten
  - 6.3 Einbaumotor und Anschlußleistung
  - 6.4 Lebensdauerversuche und Verschleißverhalten
  - 6.5 Schmierverhalten
  - 6.6 Laufruhe und Gesamtverhalten
  - 6.7 Bauvolumen
7. Angemeldete Schutzrechte
8. Vorträge und Veröffentlichungen
  - 8.1 Veröffentlichungen
  - 8.2 Vorträge
9. Zusammenfassung
10. Prinzipdarstellungen und Diagramme

1. Problemstellung

Der Energiebedarf in der Bundesrepublik Deutschland wird zur Zeit vorzugsweise durch importierte Heizöle gedeckt. 40 % der notwendigen Nutzenergie wird für Raumheizzwecke, etwa 36 % für Prozeßwärme und der Rest für alle anderen Energieumsetzungen benötigt. Die Raumheizung erfordert Wärme auf relativ niedrigem Temperaturniveau. Bei entsprechender Ausbildung der Wärmeverteilungsanlagen in einem Wohnhaus kann mit Vorlauftemperaturen um etwa 50°C gearbeitet werden. Wärme auf diesem niedrigen Temperaturniveau kann jedoch mit der elektrisch angetriebenen Wärmepumpe aus der Umwelt, d.h. dem Grundwasser, dem Erdbereich oder der Außenluft bei einer mittleren Jahresleistungszahl von  $\epsilon_{mp} \approx 3$  bis 4 gewonnen werden, so daß drei- bis viermal mehr Nutzwärme abgegeben wird, als elektrische Antriebsarbeit aufgewendet werden muß.

Die zur Zeit verfügbaren Kältemaschinen sind den Anforderungen, die an eine Wärmepumpe gestellt werden müssen, nur unvollkommen gewachsen.

Die Hauptmängel sind:

- 1.1 Sie nutzen die gewonnene Wärme in keiner Weise rationell aus, weil bei dem bisherigen Einsatz der Maschinen als Kühlaggregate die Wärme ein Abfallprodukt war. So gehen z.B. die Verdichterzylinder, die die wärmsten Anlagenteile darstellen, unkontrolliert Wärme an die Umgebung ab.
- 1.2 Die Wirkungsgrade der heute verfügbaren Verdichter sind auch deshalb schlecht, weil sich die Verdichter nur im Ein-/Ausverfahren steuern lassen. Besser wäre eine entsprechend dem Wärmebedarf stufenlose oder vielstufige Leistungssteuerung des Verdichters.

1.3 Die heute verfügbaren Verdichter benötigen hohe Anschlußleistungen, da der Antriebsmotor für die Maximalbedingungen bei Vollast ausgelegt ist. Die Folge davon ist ein hoher Anlaufstrom und damit entsprechende Rückwirkungen auf das Anschlußnetz.

## 2. Anforderungen und Zielsetzungen

2.1 An Verdichter, die speziell für den Wärmepumpenbetrieb konzipiert sind, werden besondere Anforderungen gestellt:

Ein wartungsarmer Betrieb, möglichst geräuscharm und robust, bei einer langen Lebensdauer.

Der Verdichter muß mit einem Minimum an Antriebsenergie, ein Maximum an Energie aus der Umwelt transportieren können.

Eine Anpassung der Wärmedarbietung des Aggregats an den zwischen 0 und 100 % schwankenden Wärmebedarf muß weitgehend verlustarm möglich sein; zumal der Heizbetrieb über den größten Teil der Heizperiode als Teillastbetrieb abläuft.

Niedriger Preis durch geringen Materialaufwand sowie einfache und seriengerechte Konstruktion.

2.2 Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Wärmepumpenverdichters, der die aufgeführten Anforderungen weitgehend erfüllt.

Der Verdichter soll als kompakter, vollhermetischer Wärmepumpenverdichter mit elektrischem Antriebsmotor ausgeführt werden. Die angestrebte Heizleistung soll zwischen 7,5 bis 25 kW betragen. Der Verdichter soll außerdem mit einer quasi stufenlos regelbaren Leistungsregelung ausgerüstet sein. Als Basis der Entwicklung dient das Prinzip des Rollkolbenverdichters.

### 3. Ausgangsbasis der Entwicklung

Rollkolbenverdichter gehören zu der Gruppe der Drehkolbenmaschinen und sind in der Kältetechnik schon seit langem bekannt. In den dreißiger Jahren wurden offene Rollkolbenverdichter für die gewerbliche Kühlung produziert, später dann Hermetikverdichter mit kleinerer Leistung für Kühlschränke und Kühltruhen. Moderne Fertigungsverfahren und neue Erkenntnisse über verschleißfeste Materialien ermöglichen heute auch die Herstellung von Rollkolbenverdichtern größerer Leistung.

#### 3.1 Vorteile von Rollkolbenverdichtern

Rollkolbenverdichter bieten einige Vorteile gegenüber Hubkolbenverdichtern.

- 3.1.1 Das Bauvolumen von Rollkolbenverdichtern ist bei gleicher Leistung und Antriebsdrehzahl kleiner als das von Hubkolbenverdichtern.
- 3.1.2 Die Massenkräfte eines Rollkolbenverdichters lassen sich bis auf die oszillierende Bewegung des Trennschiebers voll ausgleichen.
- 3.1.3 Das Förderverhalten von Rollkolbenverdichtern ist wesentlich günstiger als das von Hubkolbenverdichtern, da saugseitig keine Arbeitsventile erforderlich sind und der Schadraum vergleichsweise sehr klein gehalten werden kann.

### 4. Beschreibung der Neuentwicklung

Aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen wurde ein neuer Rollkolbenverdichter für den Betrieb in Wärmepumpen entwickelt. Es handelt sich dabei um einen

Rollkolbenverdichter in Hermetikbauweise mit 2poligem Drehstrom-Asynchronmotor. Das theoretische Fördervolumen der bisher vorliegenden Prototypen beträgt 16 und 21 m<sup>3</sup>/h bei 2900 min<sup>-1</sup>. Die beiden ausgeführten Prototypen sind weitgehend aus Gleichteilen aufgebaut und bilden die Basis einer Baureihe, die nach oben und unten erweiterbar ist.

Die Ölversorgung des Triebwerkes erfolgt, ähnlich wie bei 2poligen Hubkolben-Hermetikverdichtern, durch eine Zentrifugalölpumpe.

Die Neuentwicklung zeichnet sich durch folgende Besonderheiten gegenüber bisherigen Konstruktionen aus:

#### 4.1

##### Motorkühlung und grundsätzlicher Aufbau

Bisher bekannte Rollkolbenverdichter in Hermetikbauweise für die Kälte- oder Wärmepumpenanwendung sind als sogenannte Druckgaskapseln ausgeführt. Der Kältemitteldampf wird direkt von dem Verdichterteil angesaugt und dann, nach dem Verdichten, über den Druckauslaß in das Innere des Verdichters und das dem Antriebsmotor umgebende Gehäuse abgegeben. Der Antriebsmotor wird dabei von dem unter hohen Druck stehenden Kältemittel gekühlt. Die Kühlung kann jedoch nur insoweit erfolgen, als bestimmte Temperaturgrenzen des mit dem Kältemittelgas transportierten Schmiermittels als auch der Motorisolerstoffe nicht überschritten werden. Um dies zu vermeiden, ist häufig eine Vorkühlung des Druckgases oder eine zusätzliche Einspritzung vom flüssigen Kältemittel zur Kühlung erforderlich. Es ist zudem bei diesen Konstruktionen nachteilig, daß beim Start des Wärmepumpenverdichters die Masse des Antriebsmotors erst aufgeheizt werden muß, ehe eine Wärmeabgabe erfolgen kann, d.h. die Wärmedarbietung erfolgt verzögert.

Die Neukonstruktion ist demgegenüber als sauggasgekühlte Kapsel ausgeführt, d.h. das durchströmende



Sauggas kühlt erst den Antriebsmotor, welcher gleichzeitig als saugseitiger Abscheider fungiert, wird dann vom Verdichterteil angesaugt und anschließend zur direkten Wärmeabgabe druckseitig ausgestoßen (Abb. 1). Die mögliche Volumenvergrößerung des Sauggases, bedingt durch die Motorkühlung, wirkt sich, wie später noch beschrieben wird, nicht negativ aus. Außerdem muß man bei Wärmepumpenbetrieb davon ausgehen, daß in der Regel der Saugdampf mit sehr geringer Überhitzung oder sogar mit unverdampften Kältemittelanteilen aus dem Verdampfer austritt und die Wärmezufuhr durch den Antriebsmotor den Saugdampf "aufbereitet", was sich positiv auf den Liefergrad auswirkt.

Ein wesentlicher Vorteil dieser sauggasgekühlten Ausführung ist, daß der oder die Trennschieber von außen her nicht unter Druckgas-, sondern unter Sauggasdruck stehen. Bei den bisher bekannten Bauweisen belastet dieser Gasdruck der Ausstoßseite die Schieber zusätzlich in Richtung auf den Rollkolben, was zeitweilig zu extrem hohen Anpreßdrücken an den linienförmigen Berührungsstellen zwischen Kolben und Trennschieber führt.

Bei der Neukonstruktion beträgt die Belastung an dieser Stelle, bedingt durch den Wegfall der Druckbeaufschlagung und einer speziellen Dichtkantenausführung, nur  $\sim 10$  % dieses Wertes (Abb. 2).

#### 4.2 Anzahl der Trennschieber

Im Gegensatz zu bisherigen Ausführungen mit einem Trennschieber, ist die Neuentwicklung mit min. 2 Trennschiebern ausgeführt (Abb. 3). Die Laufruhe des Verdichters verbessert sich dadurch ganz wesentlich. Außerdem ermöglicht diese Ausführung die Installation einer wirksamen Leistungsregelung.

#### 4.3 Leistungsregelung

Der neuentwickelte Verdichter ist mit einer Einrichtung zur Regelung der Leistung ausgeführt (Abb. 4). Mit Hilfe eines Klinkenbolzens und einer Feder kann ein Trennschieber exakt im oberen Totpunkt gestoppt und arretiert werden. Die Verdichterleistung der im Normalbetrieb durch diesen Trennschieber begrenzten Verdichterkammer wird bei angehobenem Schieber auf Null reduziert. Mit Hilfe eines Hubmagneten kann der Klinkenbolzen wieder aus der Schieberbahn zurückgezogen werden. Dies erfolgt, bedingt durch eine spezielle Ausführung des Bolzens, jedoch wiederum nur in einer Kolbenstellung in der Nähe des oberen Totpunktes, so daß der Trennschieber unmittelbar nach der Freigabe vom Kolben geführt wird. Der Schieber kann damit weder mit hoher Geschwindigkeit auf den Kolben auftreffen noch verkanten. Das Arretieren und Lösen des Trennschiebers ist in sehr kurzen Zeitabständen möglich.

Beide Trennschieber des neuen Verdichters können mit einer darartigen Einrichtung versehen werden. Bei einer unsymmetrischen Aufteilung der Verdichterkammern, wie bei den Prototypen ausgeführt, kann die Leistung in den Abstufungen  $1/3$ ,  $2/3$  und Vollast geregelt werden. Da eine Schaltung der einzelnen Stufen in kurzen Intervallen erfolgen kann, ist damit eine quasi stufenlose Leistungsanpassung der Heizleistung möglich, ohne den Antriebsmotor vom Netz zu trennen.

Die gleiche Einrichtung ist auch als Anlaufentlastung wirksam, d.h. bei Abschaltung vom Netz und damit Entregung der Haltemagnete der Klinkenbolzen werden diese durch Federkraft in Richtung Trennschieber bewegt und arretieren diese in der oberen Totpunktlage. Beim Wiederanlauf des Verdichters können die Trennschieber dann mit Hilfe der Hubmagnete verzögert freigegeben werden.

#### 4.4 Motoranschlußleistung

Der neu entwickelte Verdichter kann, bedingt durch Leistungsregelung und Anlaufentlastung, mit kleineren Antriebsmotoren und deshalb mit einer geringeren Motorenanschlußleistung betrieben werden. Diese Motoren benötigen außerdem ein geringeres Anzugsmoment als bisher übliche Wärmepumpenverdichter, wodurch eine Reduzierung des Anlaufstromes möglich ist.

#### 4.5 Schmierstoffeinspritzung

Die auf dem Markt befindlichen Rollkolbenverdichter sind in der Regel mit einer Schmierstoffeinspritzung in den Zylinder ausgerüstet, die so angeordnet ist, daß der Schmierstoff erst eingespritzt wird, wenn der Saugkanal geschlossen ist. Bei der Neuentwicklung hingegen erfolgt die Schmierstoffeinspritzung in die Saugkanäle der beiden Zylinderkammern, wobei (Abb. 5) die Einspritzstelle injektorartig ausgebildet ist. Mit Hilfe dieser Einrichtung ist eine Aufladung der Zylinderfüllung möglich, bzw. kann die Rückströmung des Sauggases aus dem Zylinder zum Saugkanal verhindert werden. Dieser Effekt ist im Zusammenhang mit der Ausführung des Verdichters mit mehr als einem Trennschieber interessant, da das Volumen der einzelnen Zylinderkammern während des Kolbenumlaufes zeitweilig größer ist als das geometrische Hubvolumen eines Rollkolbenverdichters mit einem Trennschieber gleicher Abmessungen.

## 5. Ergebnisse von Vergleichsuntersuchungen

Zur Beurteilung der Neuentwicklung wurden umfangreiche Vergleichsuntersuchungen an auf dem Markt befindlichen Kälteverdichtern durchgeführt, die auch in Wärmepumpenanlagen eingesetzt werden. Die Untersuchungen bezogen sich im wesentlichen auf das Leistungsverhalten dieser Verdichter.

### 5.1 Untersuchte Verdichter

Es wurden Hubkolbenverdichter unterschiedlicher Konstruktion und Ausführung mit einem theoretischen Fördervolumen von 16 bis 30 m<sup>3</sup>/h untersucht. Darunter befanden sich ein offener Verdichter älterer Bauart für niedere Drehzahlen und eine neuere Konstruktion für hohe Drehzahlen, zwei Halbhermetikverdichter mit 4poligem Antriebsmotor, drei verschiedene Hubkolben-Hermetikverdichter mit 2poligem Antriebsmotor sowie ein neu auf den Markt gekommener Rollkolbenverdichter mit 2poligem druckgasgekühlten Antriebsmotor.

### 5.2 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden mit den Kältemitteln R 12, R 22 und R 502 in einem Verdampfungstemperaturbereich von  $t_o = +15^\circ\text{C}$  bis  $-30^\circ\text{C}$  und einem Kondensationsdruckbereich von  $t_c = +30^\circ\text{C}$  bis  $+60^\circ\text{C}$  durchgeführt.

Die Versuchsanlage bestand aus einem Meßkalorimeter als Verdampfer und einem wassergekühlten Verflüssiger sowie entsprechenden Meßgeräten zur Erfassung der Versuchswerte (Abb. 6). Die Auswertung erfolgt über ein Rechnerprogramm.

Bei der Messung wurde durch entsprechende Meßgeräte die Klemmenleistung des Antriebsmotors sowie die Verdampferleistung festgestellt. Die Verflüssigerleistung wurde aus diesen beiden Leistungen

errechnet, ohne Berücksichtigung von Abstrahlungen. Die Leistungszahlangaben basieren auf diesen Werten, ebenfalls ohne Berücksichtigung von möglichen Verlusten. Offene Verdichter wurden über Keilriemen und handelsübliche IEC-Normmotoren angetrieben. Auch hier wurde die Klemmenleistung zugrunde gelegt. Basis für die Liefergraderrechnung waren die Zustände am Eintritt (Saugabsperrentil) und am Austritt (Druckabsperrentil) des jeweiligen Verdichters.

### 5.3 Leistungszahlverhalten

Der Leistungszahlverlauf der untersuchten Verdichter ist aus Abb. 7 zu ersehen. Um die Übersichtlichkeit zu erhalten, wurde hier nur der Verlauf der Höchst- und Tiefstwerte eingetragen. Interessant ist, daß die Unterschiede der untersuchten Verdichter mit ca. 10 % zwischen den besten und schlechtesten Werten verhältnismäßig klein sind. Erwähnenswert ist es sicher auch, daß die bei diesem Test untersuchte älteste Verdichterkonstruktion zum Teil bessere Leistungszahlen aufweist als "moderne" Verdichter. Bei den Versuchen konnte auch die Abhängigkeit der Leistungszahl vom verwendeten Kältemittel ermittelt werden. (Abb. 8)

Die Kältemittel R 12 und R 22 ergeben einen praktisch gleichen Verlauf der Leistungszahl. Mit dem Kältemittel R 502 werden im hohen Verdampfungstemperaturbereich etwas geringere Werte erzielt, im Bereich niedriger Verdampfungstemperaturen dagegen zumeist höhere Leistungszahlen. Der Einfluß des Kältemittels, bezogen auf die drei gebräuchlichen Kältemittel, ist somit in der Praxis auch zu vernachlässigen.

#### 5.4 Förderverhalten

Ein wesentliches Kriterium für die Leistungszahl einer Wärmepumpe ergibt sich aus dem Förderverhalten des Wärmepumpenverdichters. Die Wärmedarbietung von Wärmepumpen ist in der Regel dem Bedarf gegenläufig. Dies ergibt sich aus den Temperaturen von Wärmequelle und Wärmesenke, den Stoffwerten der verwendeten Kältemittel, als auch aus der Fördercharakteristik und damit dem Liefergradverhalten des Verdichters.

Der Liefergradverlauf der unterschiedlichen Kolbenverdichterkonstruktionen ist für das Kältemittel R 22 in Abb. 9 dargestellt. Die höchsten Liefergradwerte wurden erwartungsgemäß mit einem langsam laufenden offenen Verdichter erzielt. Moderne offene Verdichter mit einer Drehzahl von 1450 Upm zeigen einen ähnlichen Verlauf, ebenso moderne Halbhermetikverdichter. Stärkere Abweichungen im Liefergradverlauf wurden dagegen generell bei den Hubkolben-Hermetikverdichtern mit 2poligem Antriebsmotor festgestellt. Die Werte der drei untersuchten Fabrikate weichen stark voneinander ab. Alle drei Hermetikverdichter zeigen aber einen verhältnismäßig steilen Liefergradverlauf. Das ist bei kleinen Druckverhältnissen, wie sie z.B. im Klimabereich vorherrschen, unkritisch. Für eine Luft/Wasser-Wärmepumpe zur Beheizung von Wohnräumen ist dagegen bei einem Auslegungspunkt von z.B.  $-3^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur ein Druckverhältnis von  $p_c/p_o = 7$  erforderlich, bei einer Auslegungstemperatur von  $-15^{\circ}\text{C}$  ein Druckverhältnis von  $p_c/p_o = 10$ . Der Liefergradabfall der gemessenen Vollhermetikverdichter mit 2poligem Antrieb beträgt bei diesen Druckverhältnissen gegenüber den offenen und halbhermetischen Verdichtern z.T. über 50 %. Diese Tendenz zeigt sich im verstärkten Maße auch bei dem Kältemittel R 502. (Abb. 10)

Mit dem untersuchten Rollkolbenverdichter wurden vergleichsweise bessere Werte erzielt. Jedoch verglichen mit den Liefergradwerten des langsam laufenden offenen Verdichters ergaben sich keine Vorteile. (Abb. 11)

#### 5.5 Zusammenfassung der Vergleichsversuche

Die vergleichenden Untersuchungen haben gezeigt, daß die am Markt befindlichen Verdichterkonstruktionen sich sehr wesentlich durch das Förderverhalten unterscheiden. Bei den Hubkolbenverdichtern werden die günstigsten Werte mit langsam laufenden offenen Verdichtern erreicht. Dem gegenüber haben Hermetikverdichter Vorteile hinsichtlich der kompakten Bauweise und der Laufruhe. Die Ergebnisse zeigen aber auch, daß mit einem Rollkolbenverdichter eine Optimierung in beiden Richtungen möglich ist.

### 6. Ergebnisse der Neuentwicklung

Die Entwicklungsarbeiten konnten mit Ablauf des geförderten Zeitraumes noch nicht abgeschlossen werden, da die Fertigungsentwicklung von einigen Details noch aussteht. Es kann daher nur über Teilergebnisse noch nicht optimierter Verdichter berichtet werden, die aber schon recht interessant sind und den Entwicklungszielen sehr nahe kommen.

#### 6.1 Förderverhalten

Die Versuche wurden wie unter Punkt 5.2 durchgeführt. Der neue Wärmepumpenverdichter ist im Förderverhalten erwartungsgemäß den auf dem Markt bisher vorherrschenden Hubkolbenverdichtern deutlich überlegen. Insbesondere im Vergleich mit Hubkolben-Hermetikverdichtern

ergibt sich ein deutlicher Liefergrad-Vorteil des Rollkolbenverdichters, insbesondere bei größeren Druckverhältnissen und damit im Auslegungspunkt einer Heizwärmepumpe. (Abb 12)

Diese bessere Fördercharakteristik ermöglicht die Auswahl von Rollkolbenverdichtern mit kleinerem Hubvolumen für die gleiche Heizleistung im Gleichgewichtspunkt.

Bei höheren Umgebungstemperaturen haben diese Verdichter dann im Vergleich zu Hubkolbenverdichtern eine geringere Heizleistung, was sich positiv auf die Leistungszahl sowie auf die Auswahl der Wärmeaustauscher auswirkt.

Der Vergleich mit dem untersuchten druckgasgekühlten Rollkolbenverdichter zeigt, daß die Neukonstruktion trotz Sauggaskühlung auch bessere Liefergrade erreicht, bezogen auf das gleiche geometrische Hubvolumen (Abb. 11). Dazu ist noch zu bemerken, daß die Vergleichsversuche bisher nur mit deutlich überhitztem Sauggas durchgeführt wurden, entsprechend der seither gültigen Normung. Bei geringer Sauggasüberhitzung, entsprechend den tatsächlichen Praxisbedingungen einer kompakten Wärmepumpe, dürfte sich der "Aufbereitungseffekt", bedingt durch die Durchströmung und Kühlung des Antriebsmotors, noch günstiger auswirken.

Bei den dargestellten Versuchsergebnissen wurde auch die mögliche Liefergradverbesserung durch die unter Abschnitt 4.5 beschriebene mögliche Schmierstoffeinspritzung zur Aufladung bzw. Sperrung der Rückströmung aus den Zylinderkammern noch nicht berücksichtigt, da über den gesamten Bereich noch keine Ergebnisse unter vergleichbaren Bedingungen vorliegen. Die vorhandenen Teilergebnisse bestätigen aber im Prinzip die Wirksamkeit dieser Ausführung. Es wurden damit Füllungsgrade über 100 % erreicht.



## 6.2 Leistungszahlverhalten

Mit den Prototypen der neuentwickelten Rollkolbenverdichter konnten die Leistungszahlen der auf dem Markt befindlichen Hubkolbenverdichterkonstruktionen erreicht werden (Abb. 13). Verbesserungen sind hier sicherlich noch zu erwarten, da die Optimierung der Konstruktion noch nicht abgeschlossen ist. Bei der Beurteilung muß auch berücksichtigt werden, daß die vorliegenden Ergebnisse mit nicht serienmäßig gefertigten Prototypen erreicht wurden, die hinsichtlich der möglichen Spielpalte keinesfalls optimal ausgeführt waren.

In der Abb. 13 ist auch der Verlauf der Leistungszahl mit eingeschalteter Leistungsregulierung dargestellt. Der Abfall der Leistungszahl gegenüber dem Vollastbetrieb ist gering und beweist die Wirtschaftlichkeit des gewählten Reguliersystems.

## 6.3 Einbaumotor und Anschlußleistung

Bedingt durch die Einbeziehung einer Anlaufentlastung in das Entwicklungskonzept, konnten die Einbaumotoren mit kleinen Anlaufmomenten und dementsprechend mit niederen Anlaufströmen gewählt werden. Die Prototypen haben ein Verhältnis zwischen Anlaufstrom und Betriebsstrom  $I_A/I_N = 5$ .

Bisher auf dem Markt vorhandene Hermetikverdichter benötigen höhere Anlaufströme. Das bei vergleichbaren Verdichtergrößen festgestellte Verhältnis beträgt  $I_A/I_N = 7$ .

Bezieht man bei dieser Betrachtung das bessere Förderverhalten des Rollkolben-Wärmepumpenverdichters und den dadurch möglichen Einsatz eines Verdichters mit kleinerem Hubvolumen und entsprechend auch

kleinerer Antriebsleistungen mit ein, so ergibt sich eine noch geringere Netzbelastung beim Anlauf.

Am Beispiel kann das erläutert werden. Der Prototypverdichter mit 21 m<sup>3</sup>/h theoretischen Fördervolumen hat einen Anlaufstrom von 50 Ampere. Die Heizleistung dieses Verdichters entspricht bei einem Auslegungspunkt von -3°C der eines Hubkolben-Hermetikverdichters von 30 m<sup>3</sup>/h theoretischer Förderleistung mit einem Anlaufstrom von 90 Ampere. Bei einem Auslegungspunkt von -15°C entspricht die Heizleistung des Rollkolbenverdichters sogar der eines Hubkolben-Hermetikverdichters von 40 m<sup>3</sup>/h Fördervolumen mit einem Anlaufstrom von 120 Ampere.

In Verbindung mit der Leistungsregelung kann die Anschlußleistung der neu entwickelten Verdichter weiter reduziert werden, wenn im Bereich höherer Umgebungstemperaturen nur Teillastbetrieb zugelassen wird. Die Auslegung des Antriebsmotors erfolgt dann entsprechend den gewählten Umschaltpunkten der Leistungsregelung. Es ist damit eine weitgehend gleichmäßige Auslastung des Antriebsmotors über den gesamten Einsatzbereich möglich.

#### 6.4 Lebensdauerversuche und Verschleißverhalten

Bei der Auslegung des Verdichters wurde eine Lebensdauer von 35000 Betriebsstunden, entsprechend einer zehnjährigen Betriebszeit mit je 3500 Betriebsstunden, zugrunde gelegt.

Die wesentlichen verschleißbeanspruchten Teile des Verdichters sind die beiden Hauptlager der Exzenterwelle, das Kolbenlager und die kolbenseitige Trennschieberkante. Die darüber hinaus vorhandenen Gleitflächen des Verdichters wie Kolbenseitenfläche, Zylinderwand, Schieberseitenfläche usw. können wegen der sehr geringen spezifischen Belastung vernachlässigt werden.

Sämtliche Lager des Verdichters sind als Wälzlager ausgeführt und wurden, entsprechend den für diese Lager ausreichend bekannten Kriterien, für die gewünschte Lebensdauer ausgelegt. Dabei erwies sich das Konzept mit zwei Trennschiebern als besonders vorteilhaft, da sich die bei Einschieber-Rollkolbenverdichtern auftretende sehr hohe Spitzenbelastung reduziert bzw. auf zwei Sektoren aufteilt.

Eine große Zahl von Verschleißversuchen wurden mit den Prototypen über mehrere tausend Betriebsstunden bei unterschiedlichen Bedingungen in Simulationskreisläufen durchgeführt. Es zeigte sich dabei kein kritischer Verschleiß an den wesentlichen Teilen. Die Beurteilung der Wälzlager ergab, daß die erwartete Lebensdauer zu erreichen ist.

Die kolbenseitige Trennschieberkante und der Kolbenmantel als Gegenfläche zeigten nach wiederholten Testläufen über 3000 bis 5000 Betriebsstunden lediglich eine Glättung der Berührungsflächen und bei Weiterführung der Versuche keinen meßbaren Verschleiß. Dieses Ergebnis ist die Folge der bei diesem Verdichter auftretenden sehr geringen Belastung der Trennschieberkante durch die Saugdruckbeaufschlagung, entsprechend Abschnitt 4.1.

Im Zusammenhang mit den Verschleißversuchen erfolgte auch die Überprüfung der biegebeanspruchten Bauelemente, wie Ventilsfedern und Trennschieber-Rückholfedern. Auch hier konnte der Eignungsnachweis geführt werden.

## 6.5

### Schmierverhalten

Das gesamte Triebwerk des Verdichters wird durch eine Zentrifugalölpumpe mit Schmieröl aus dem saugseitig im Motorraum angeordneten Ölsumpf versorgt. Der Schmiermittelbedarf des Triebwerkes ist gering, da

alle belasteten Lagerstellen als Wälzlager ausgebildet sind.

Das Schmiermittel hat bei einem Rollkolbenverdichter außerdem eine Dichtfunktion der Spielpalte. Bis zu einem Druckverhältnis von  $p_c/p_o = 4$  genügt dazu das üblicherweise aus der Anlage zurückkommende Öl, mit einem Gewichtsanteil von 3 - 5 % im umlaufenden Kältemittel. Bei größeren Druckverhältnissen muß der Ölanteil auf etwa 10 % erhöht werden. Bei nicht angepaßten Kreisläufen kann diese Ölmenge durch einen Ölabscheider dem Verdichter über eine gezielte Einspritzung zur Verfügung gestellt werden, ohne den Ölanteil im gesamten Kältekreislauf zu erhöhen.

#### 6.6 Laufruhe und Gesamtverhalten

Die Laufruhe des neuentwickelten Verdichters ist sehr gut, da die Massenkräfte bis auf die oszillierenden Schieber und Schieberfedern voll ausgeglichen werden können.

Das Geräuschverhalten der Prototypen ist dagegen noch nicht voll zufriedenstellend, insbesondere hinsichtlich der Ausstoßgeräusche. Hier ist noch ein wirksamer Schalldämpfer zu entwickeln.

Das Verhalten des Verdichters gegenüber Flüssigkeitsschlägen und unverdampften Kältemittelanteilen aus der Anlage ist unkritisch, da der Einbaumotor, einschließlich rotierendem Rotor, als Abscheider und Austreiber vorgeschaltet ist.

#### 6.7 Bauvolumen

Das Bauvolumen der vorliegenden Prototypen ist kleiner als das vergleichbarer Hubkolbenverdichterkonstruktionen (Abb. 14). Im Verlaufe der Weiterentwicklung sind hier weitere Reduzierungen bis zur Serienfertigung möglich.

7. Angemeldete Schutzrechte

Im Zusammenhang mit den Entwicklungsarbeiten wurden folgende Schutzrechte angemeldet:

1. "Rollkolbenverdichter", P 2946 198.3  
Anmeldung am 30.10.1979
2. "Rollkolbenverdichter", P 2946 906.5  
Anmeldung am 24.11.1979
3. "Verfahren und Vorrichtung zur Einbringung eines Schmier- und Dichtmittels in Roll- oder Drehkolben-Verdichtungsmaschinen",  
P 2947 479.1  
Anmeldung am 22.11.1979

8. Vorträge und Veröffentlichungen

Über das Forschungsvorhaben erfolgten folgende Vorträge und Veröffentlichungen.

8.1 Veröffentlichungen:

"Liefergrad- und Gütegradverhalten von Kälteverdichtern im Hinblick auf die Anwendung in Wärmepumpen"

Tagungsbericht des Deutschen Kältetechnischen Vereins Würzburg, 1979/1

"Der Rollkolben-Wärmepumpenverdichter"

Tagungsbericht der VDI-Tagung Elektrowärmepumpe 79

8.2 Vorträge:

"Liefergrad- und Gütegradverhalten von Kälteverdichtern im Hinblick auf die Anwendung in Wärmepumpen"

DKV-Jahrestagung 1979 in Würzburg

"Der Rollkolben-Wärmepumpenverdichter"  
VDI-Tagung am 8. und 9.11.1979 in Düsseldorf

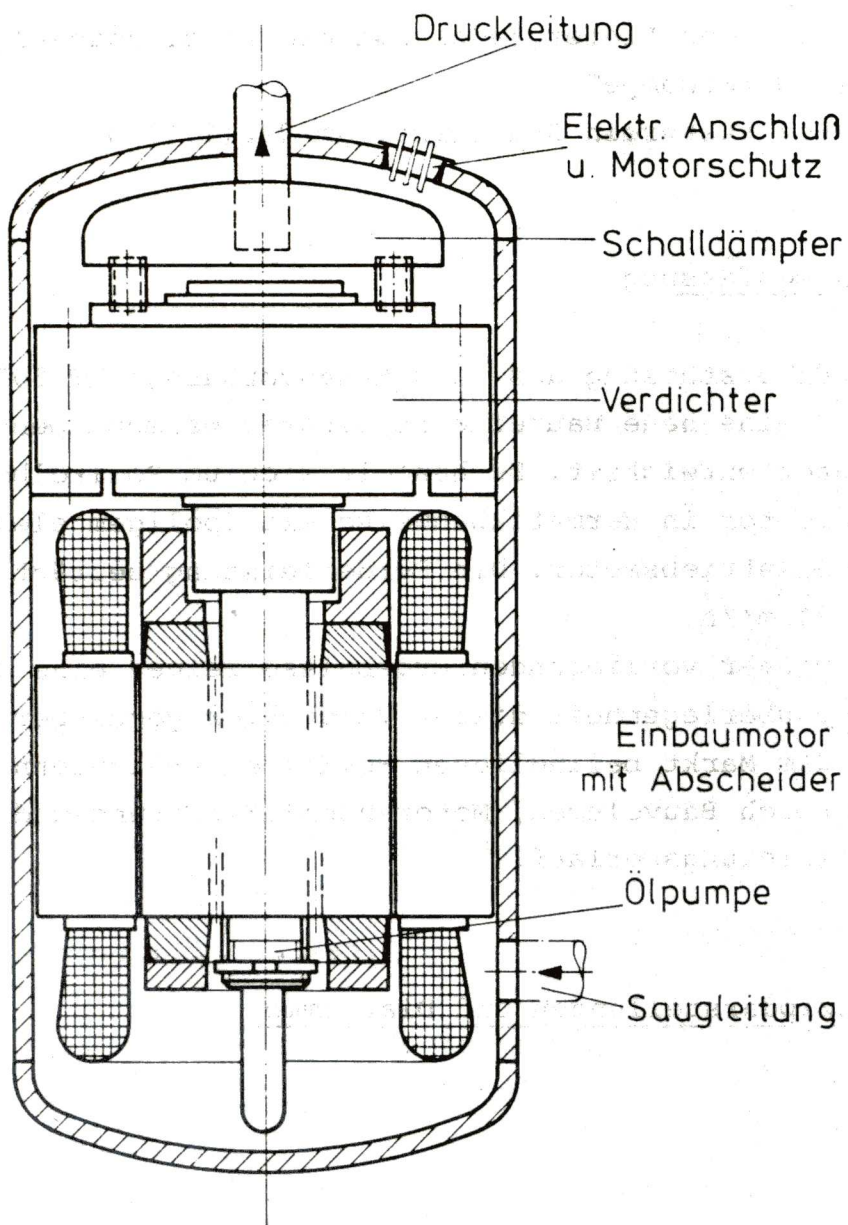
"Einfluß des Liefergrades auf die Leistungszahl  
einer Wärmepumpe"  
DKV-Bezirksverein Stuttgart, am 22.11.1979

9. Zusammenfassung

Mit Unterstützung des Forschungsvorhabens ET 5079 A wurde eine neue Baureihe regelbarer Wärmepumpenverdichter entwickelt. Es handelt sich um Rollkolbenverdichter in Hermetikbauweise mit 2poligem elektrischen Antriebsmotor. Die Förderleistung beträgt 16 und 21 m<sup>3</sup>/h.

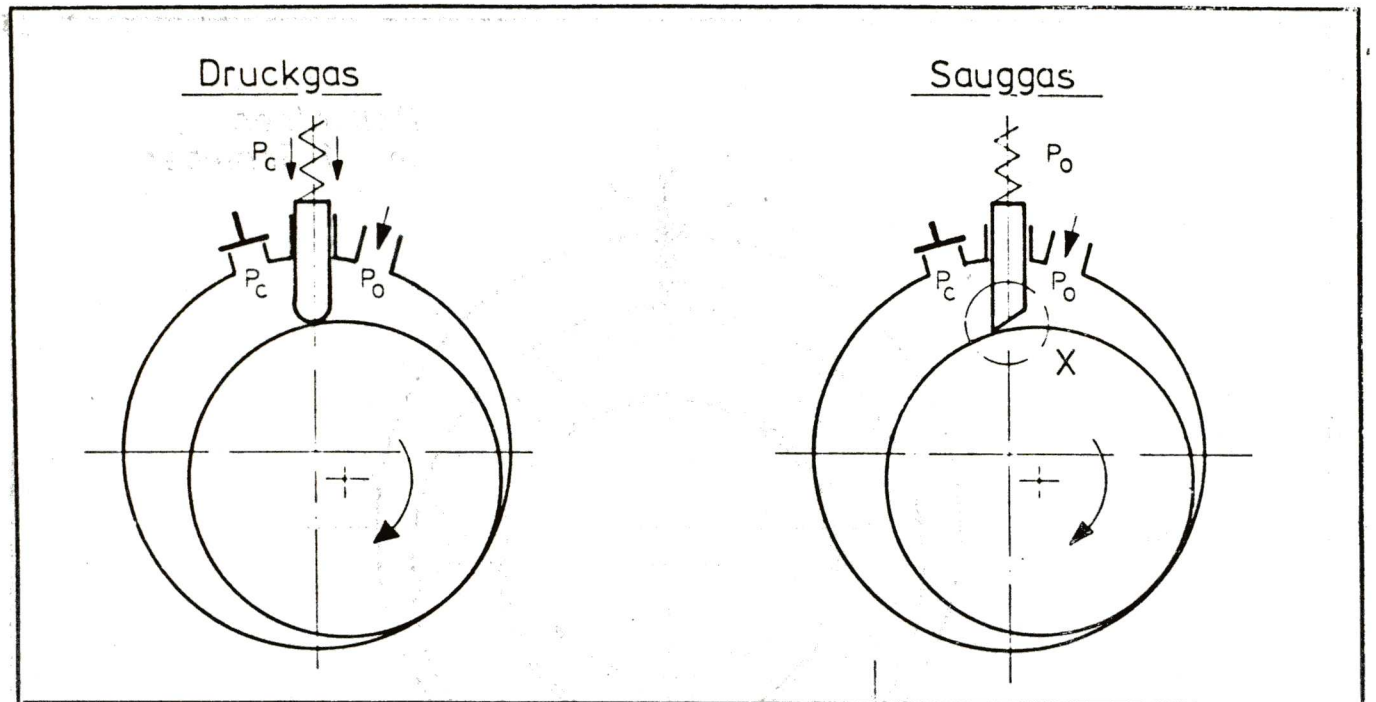
Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen eine deutliche Überlegenheit dieser Verdichter gegenüber den auf dem Markt befindlichen Hubkolbenverdichtern hinsichtlich Bauvolumen, Motoranschlußleistung und Heizleistungsverlauf.

10. Prinzipdarstellungen und Diagramme

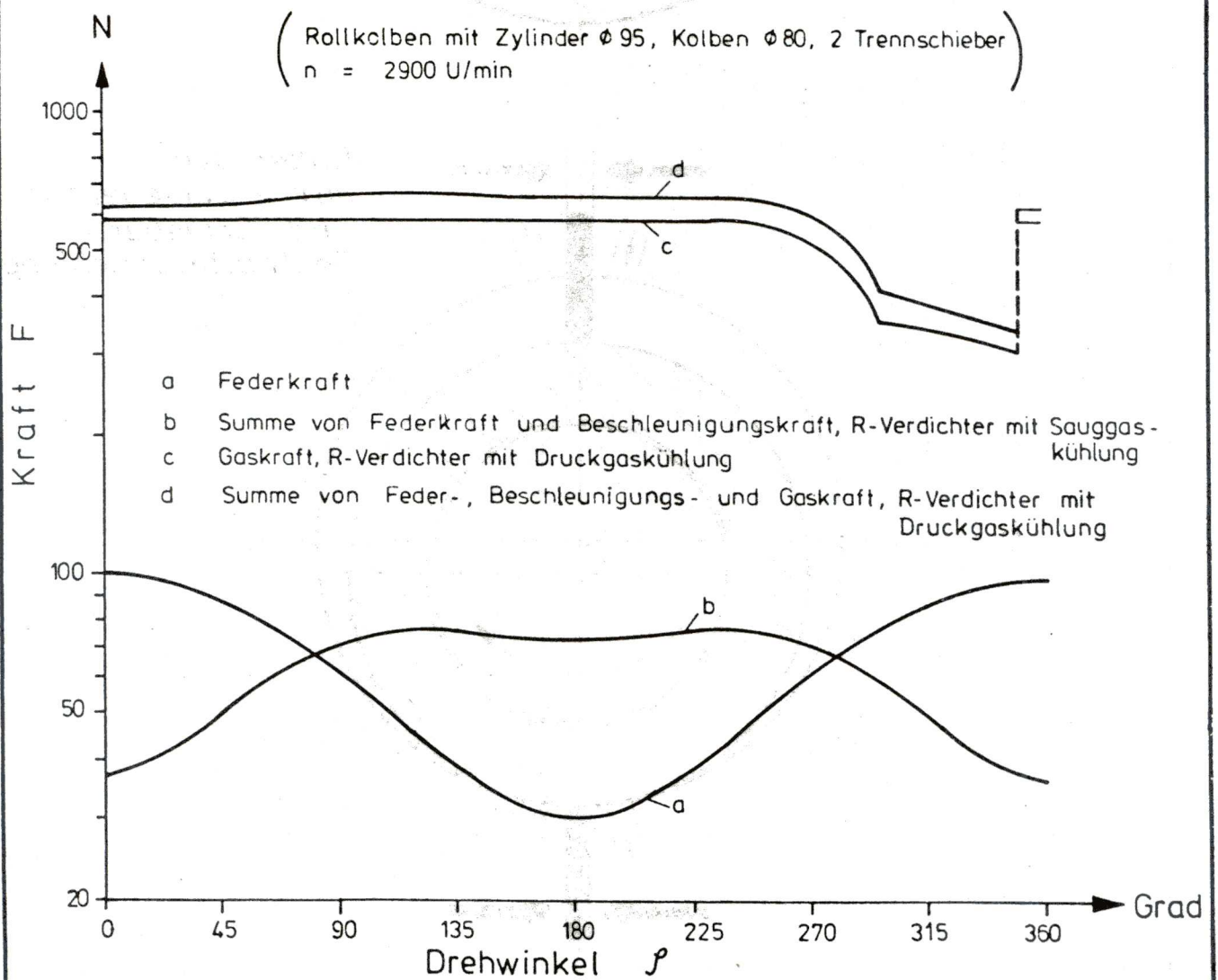


Bitzer - Rollkolbenverdichter

Abb. 1



Kräfte auf den Trennschieber



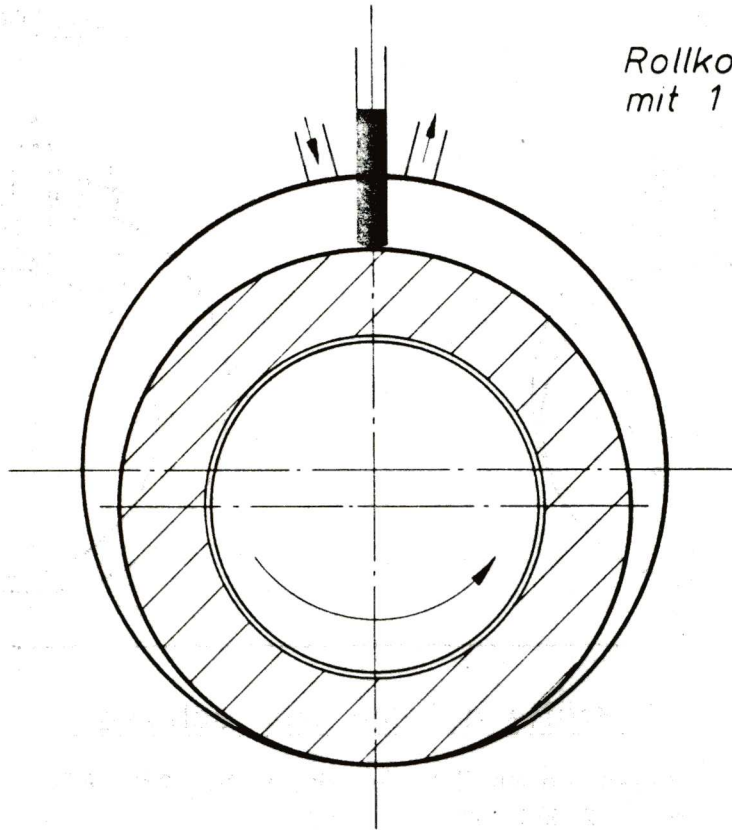
Belastung der Trennschieber

Abb. 2



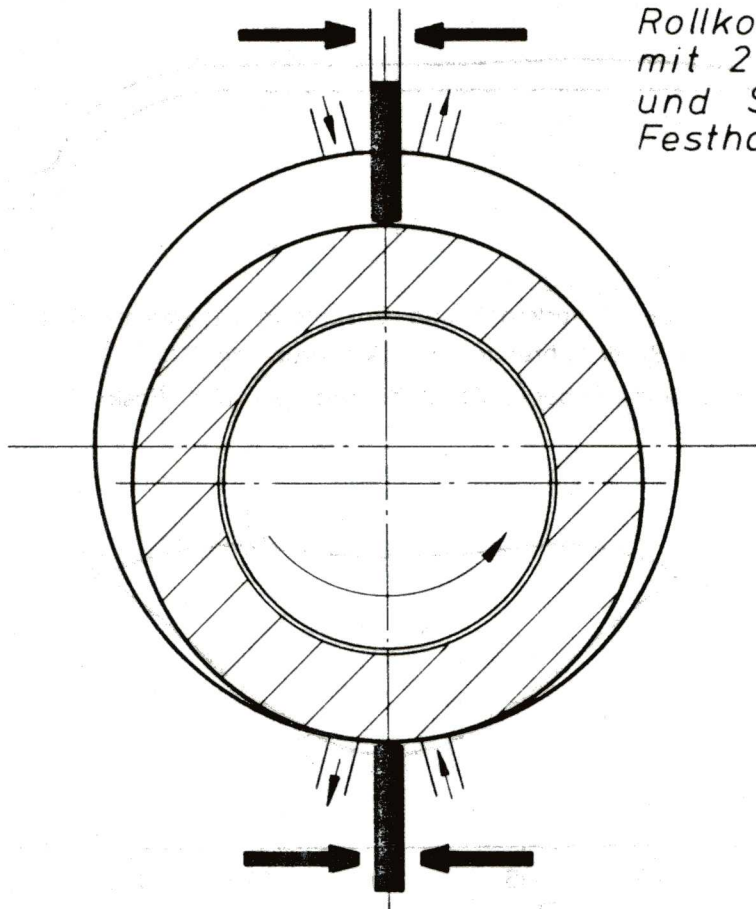
*Rollkolben  
mit 1 Schieber*

*a*



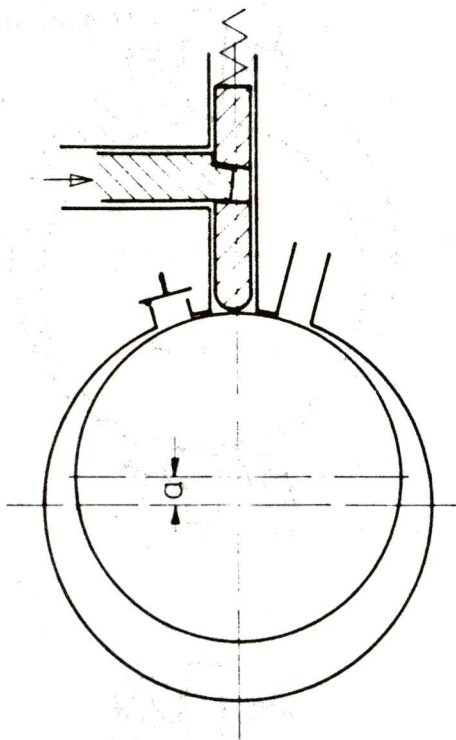
*Rollkolben  
mit 2 Schiebern  
und Schieber -  
Festhaltevorrichtung*

*b*

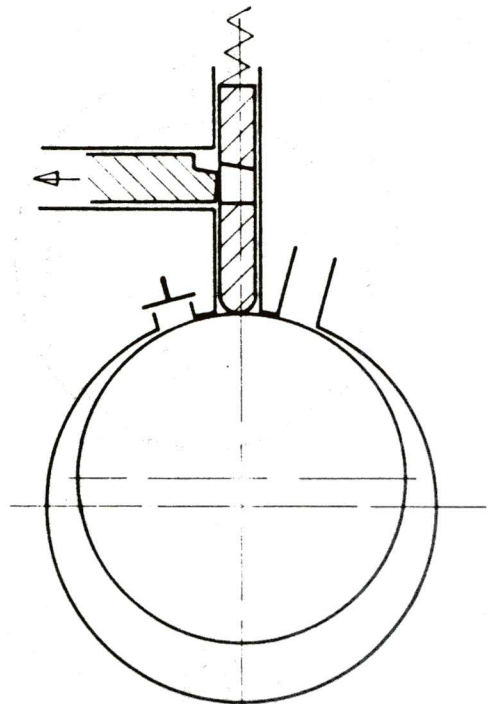


Prinzipskizze  
Rollkolben - Verdichter

Abb. 3



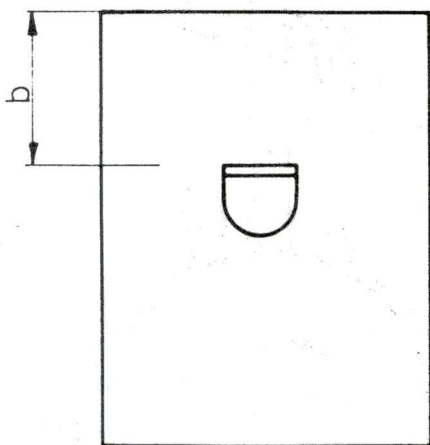
Leistungsregelung  
eingerastet



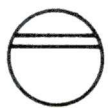
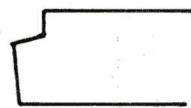
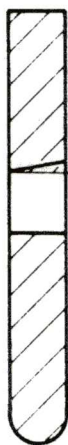
Leistungsregelung  
ausgerastet

Schieber

Klinkerbolzen



$$b \cong 2 \times a$$

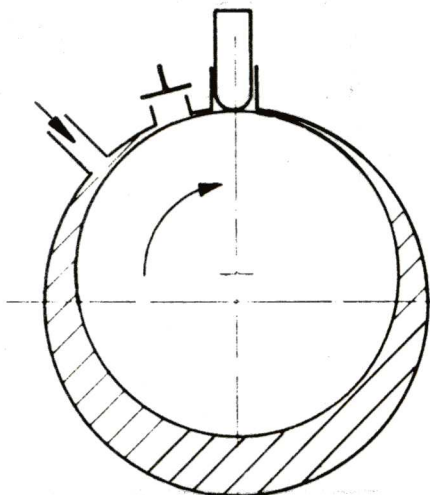
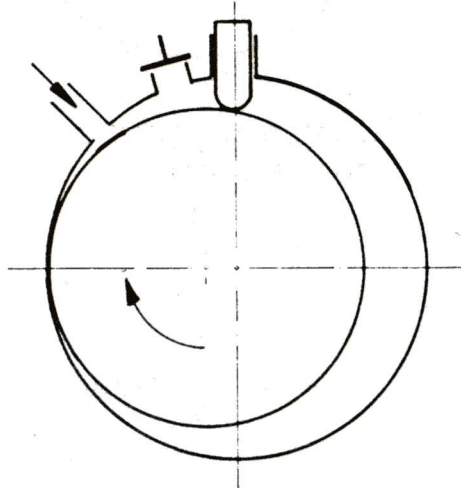
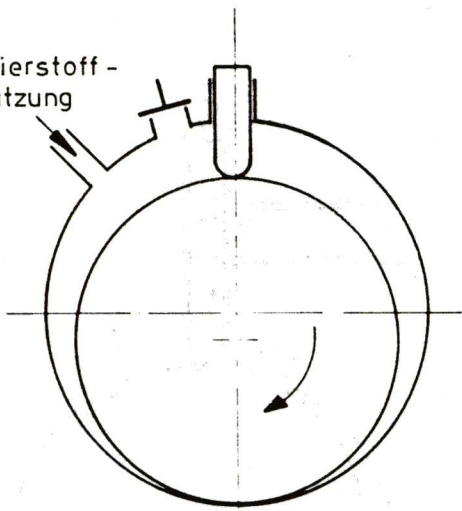


Leistungsregelung

Abb. 4

Einschieber-Rollkolben-  
verdichter

Schmierstoff-  
einspritzung



$$V_0 \text{ max.} = V_0$$

Zweischieber-Rollkolben-  
verdichter

Schmierstoff-  
einspritzung

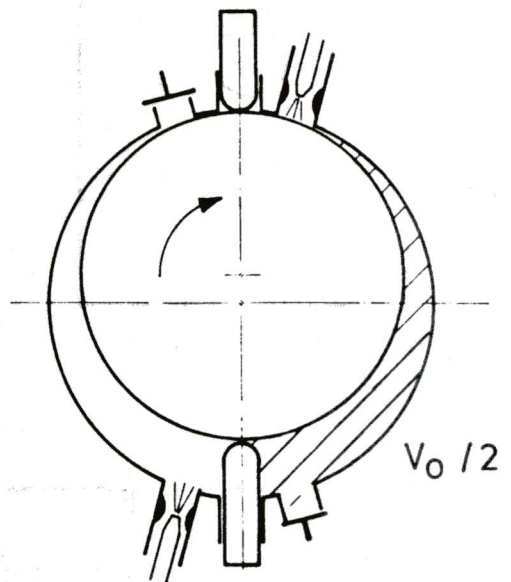
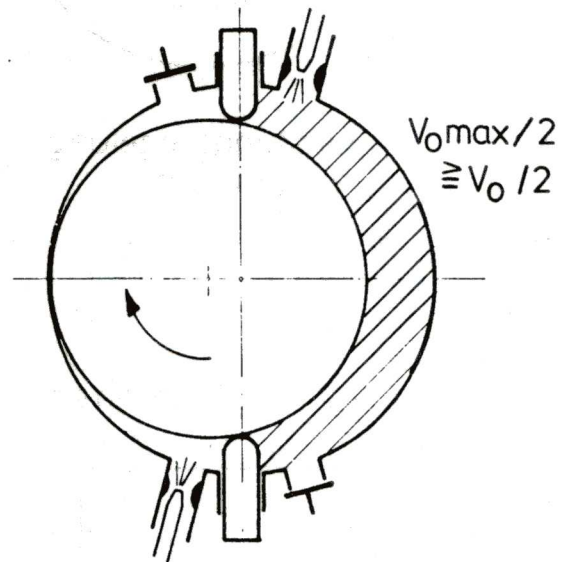
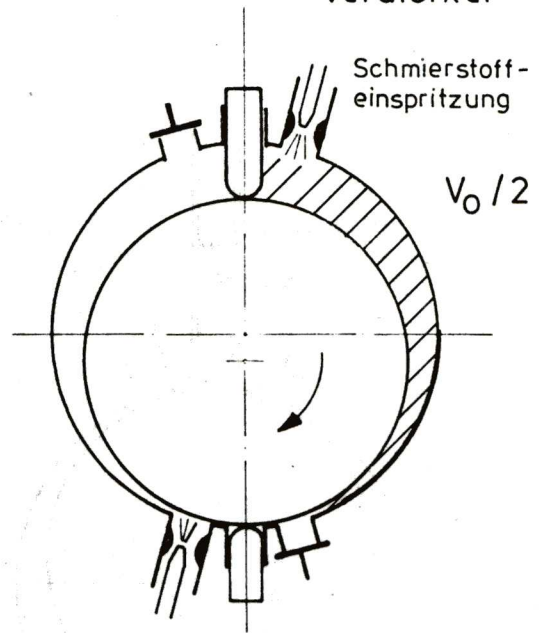
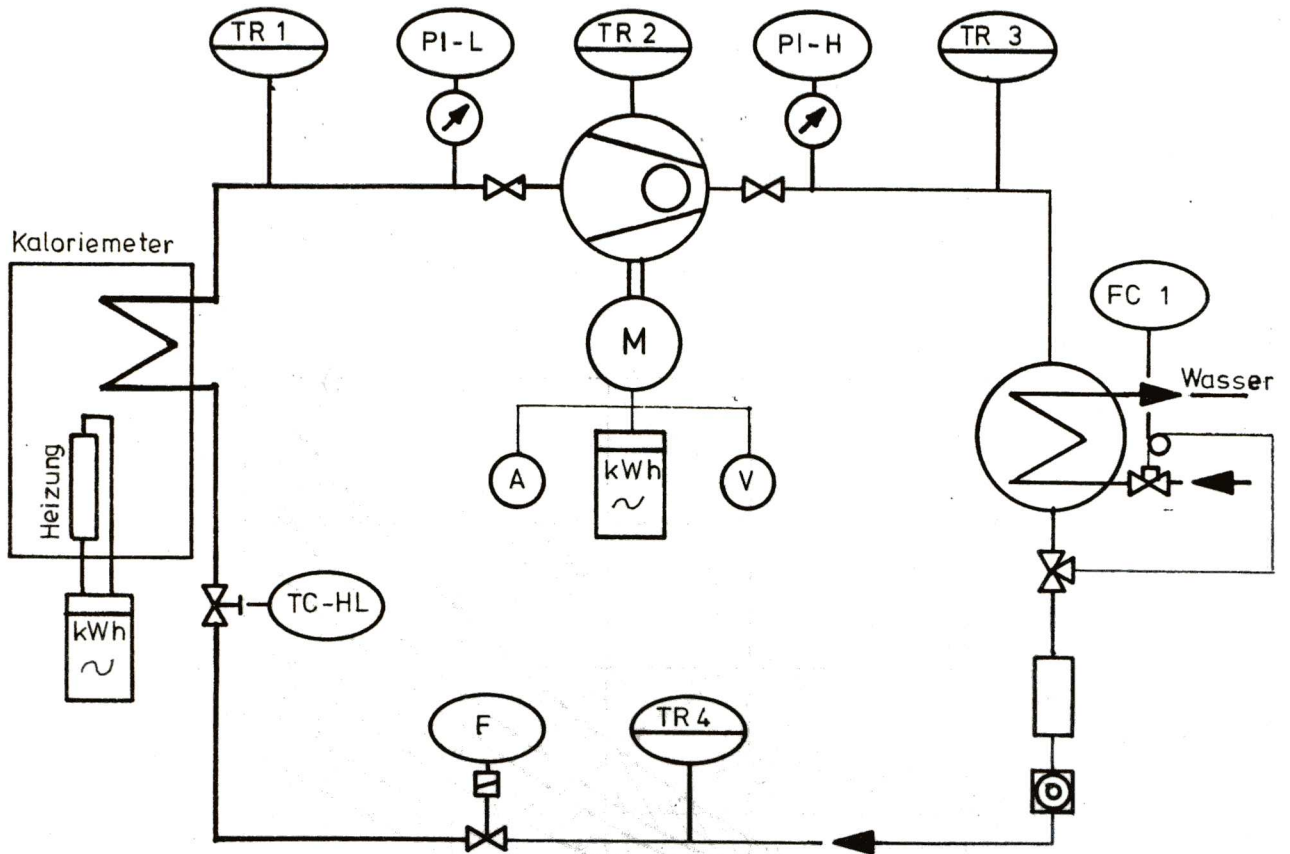


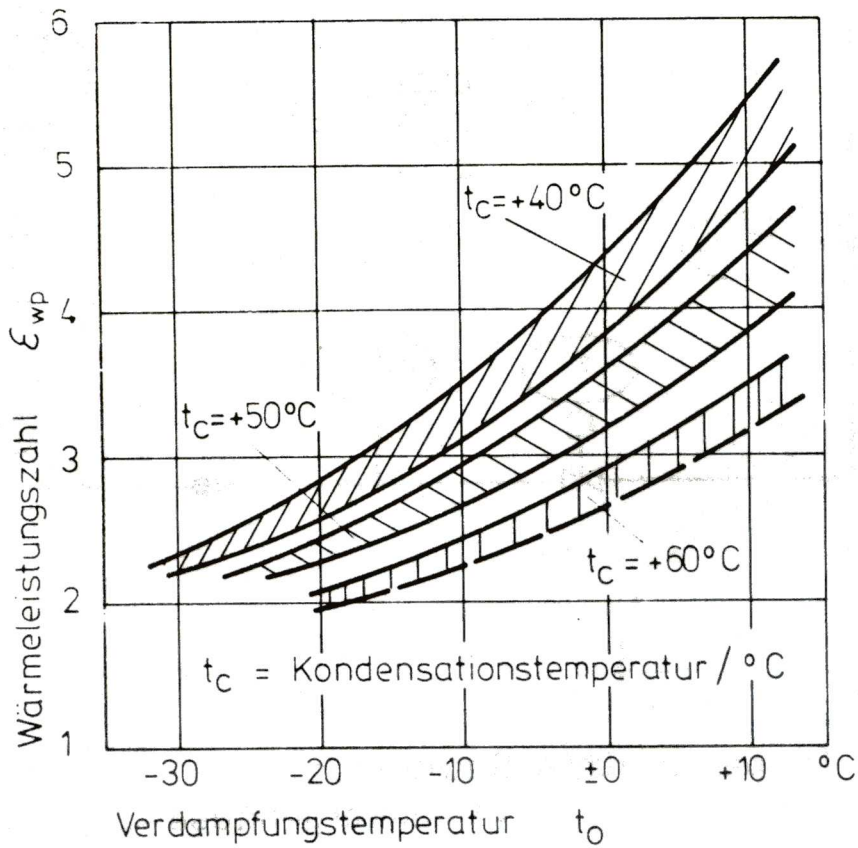
Abb. 5



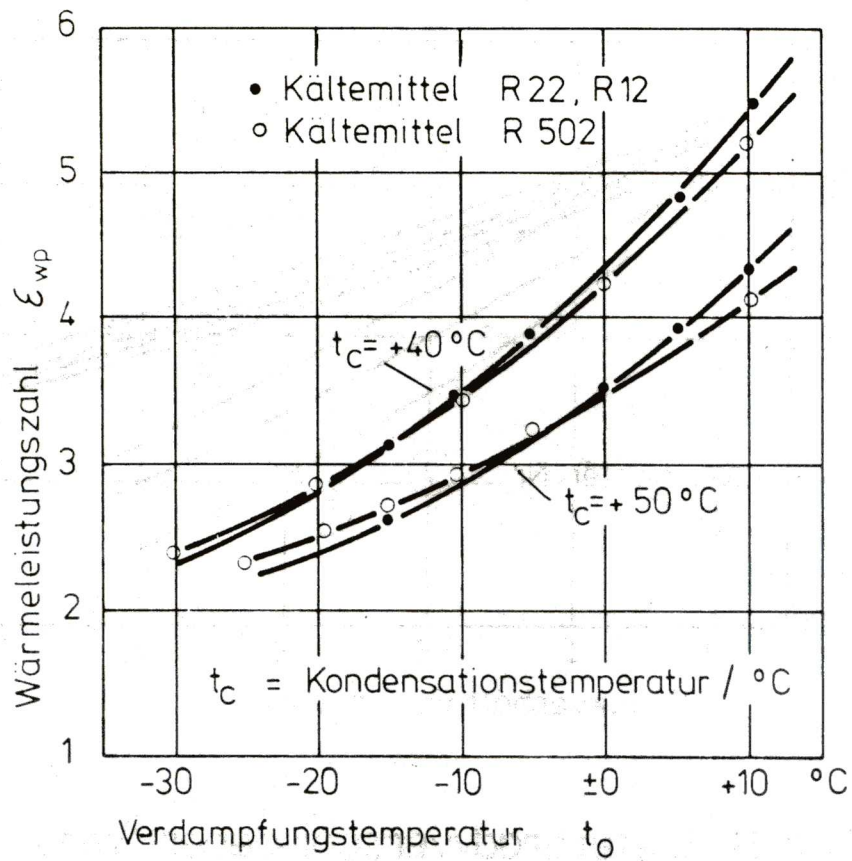
- TR 1    Temperaturfühler Saugleitung
- TR 2        "     Verdichtergehäuse
- TR 3        "     Heißgasleitung
- TR 4        "     Flüssigkeitsleitung
- PI-L    Manometer Saugleitung
- PI-H        "     Heißgasleitung
- FC-1.   Wasserventil
- F        Magnetventil Flüssigkeitsleitung
- TC-HL   Expansionsventil
- A        Amperemeter
- V        Voltmeter
- kWh     Stromzähler

Kalorimeterkreislauf

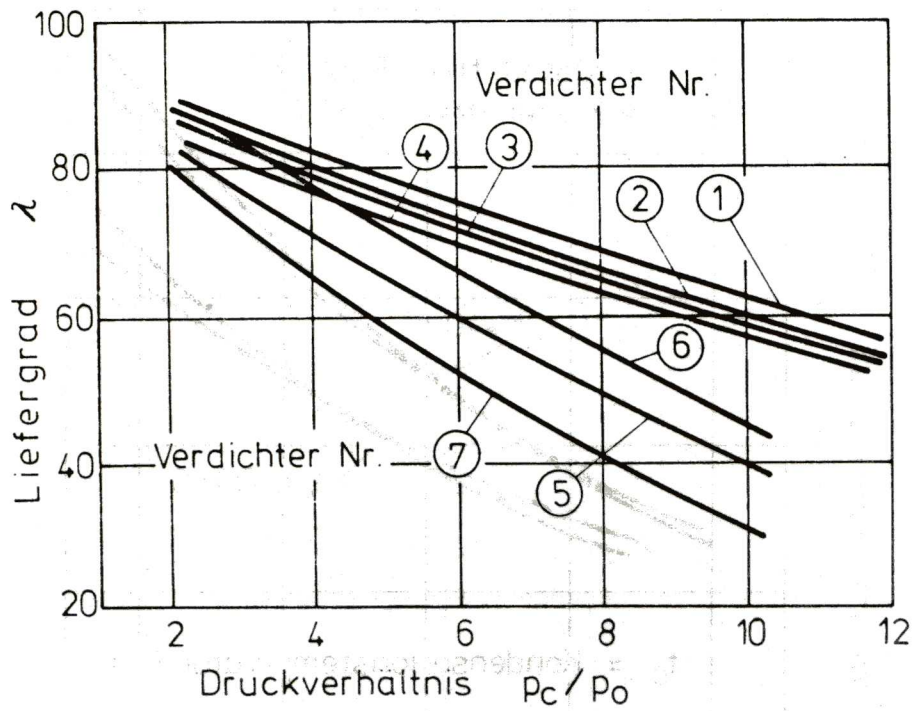
Abb. 6



**Abb. 7** Leistungszahlcharakteristik  
Verdichter 1-7, Kältemittel R 22

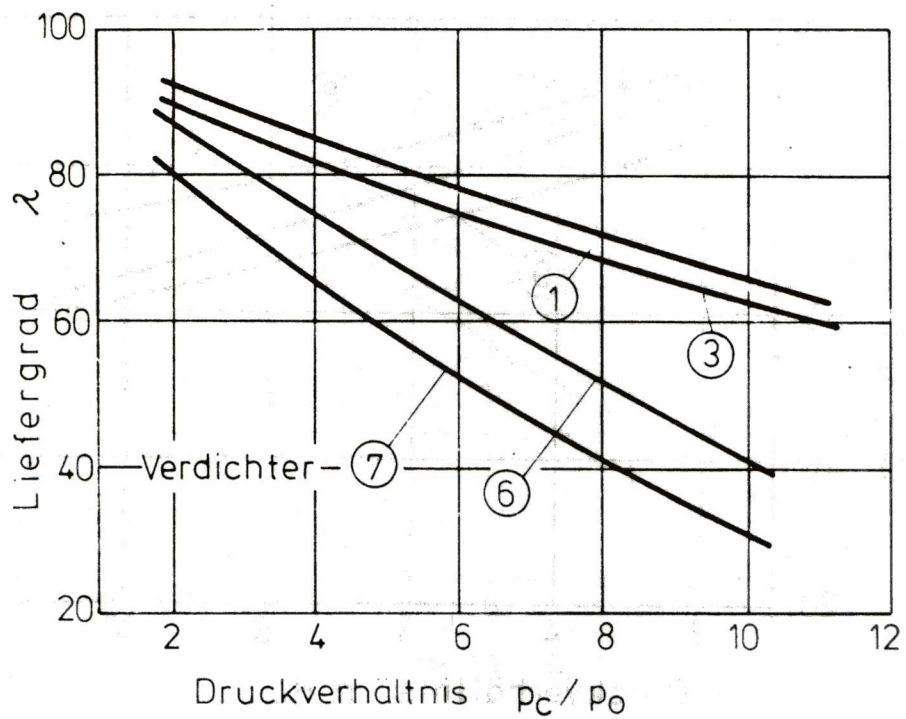


**Abb. 8** Vergleich der Leistungszahl der Kältemittel R 22, R 12, R 502



**Abb. 9** Liefergrad verschiedener Verdichter mit dem Kältemittel R 22

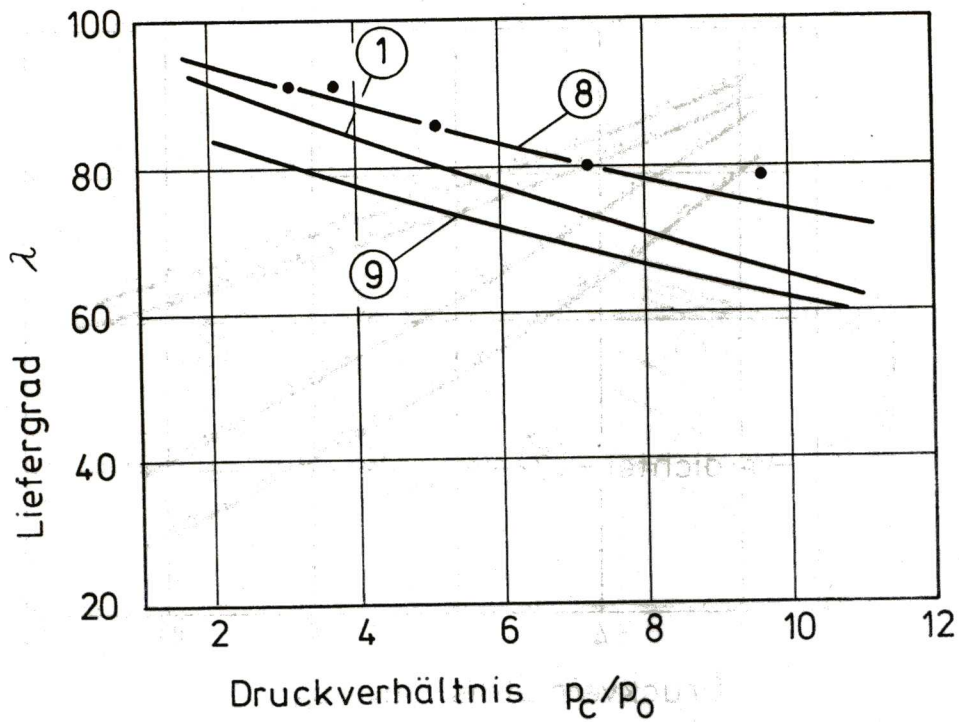
- Nr. 1      offener Verdichter,     $n = 475 \text{ min}^{-1}$
- Nr. 2      offener Verdichter,     $n = 1450 \text{ min}^{-1}$
- Nr. 3 u. 4    Halbhermetikverdichter,    Motor 4 - polig
- Nr. 5 - 7    Hermetikverdichter,        Motor 2 - polig



**Abb.10** Liefergrad verschiedener Verdichter mit dem Kältemittel R 502

- Nr. 1 = offener Verdichter ,  $n = 475 \text{ min}^{-1}$
- Nr. 3 = Halbhermetikverdichter
- Nr. 6 u. 7 = Hubkolben - Hermetikverdichter





**Abb.11** Liefergrad verschiedener Verdichter mit dem Kältemittel R 502

- Nr. 1 = offener Verdichter,  $n = 475 \text{ min}^{-1}$
- Nr. 8 = neu entwickelter Wärmepumpenverdichter mit zwei Trennschiebern, saugasgekühlt
- Nr. 9 = Rollkolbenverdichter mit einem Trennschieber, druckgasgekühlt

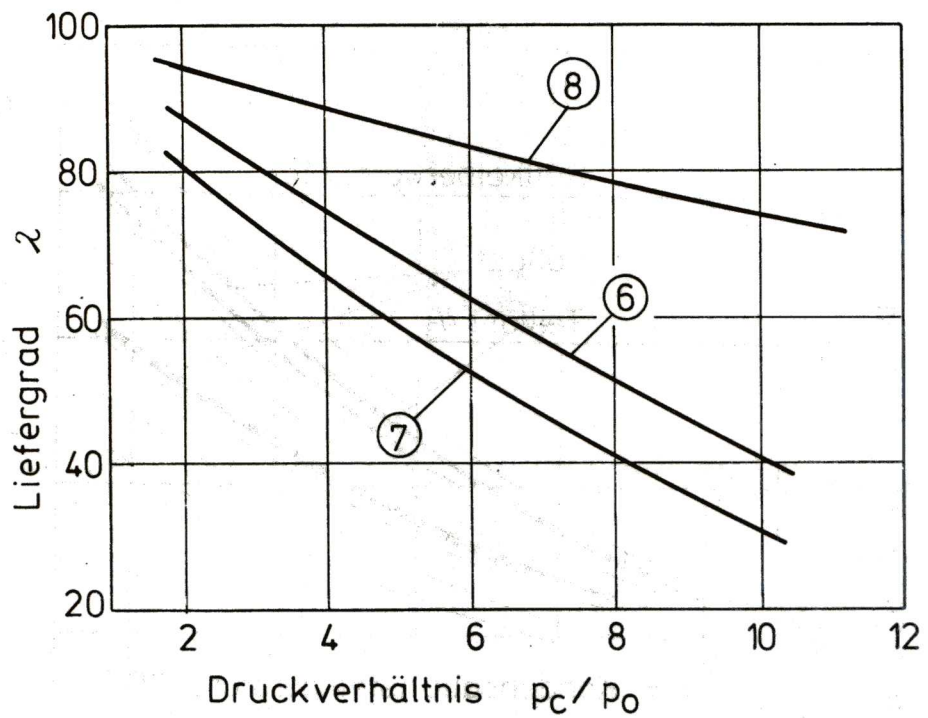
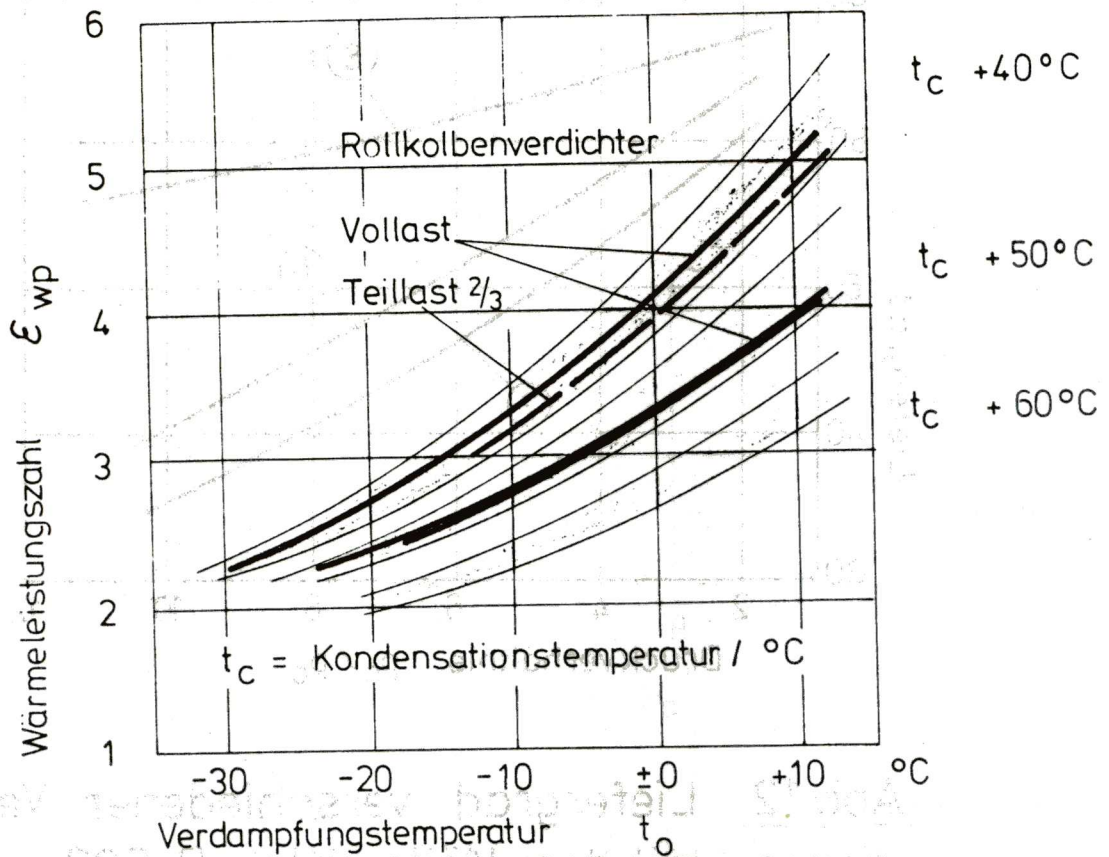


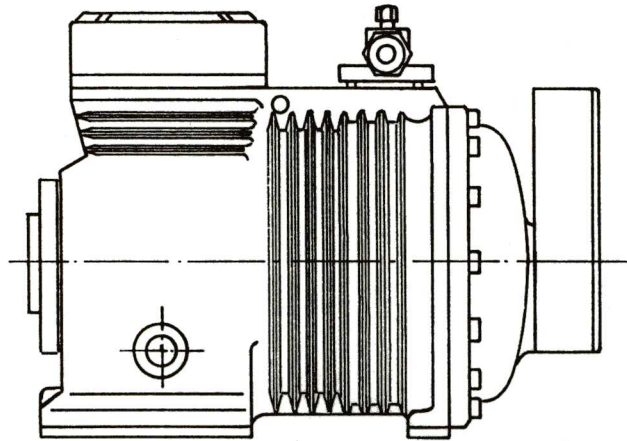
Abb.12 Liefergrad verschiedener Verdichter mit dem Kältemittel R 502

- Nr. 6 = Hubkolben - Hermetikverdichter
- Nr. 7 = Hubkolben - Hermetikverdichter
- Nr. 8 = Neuentwicklung - Rollkolbenverdichter

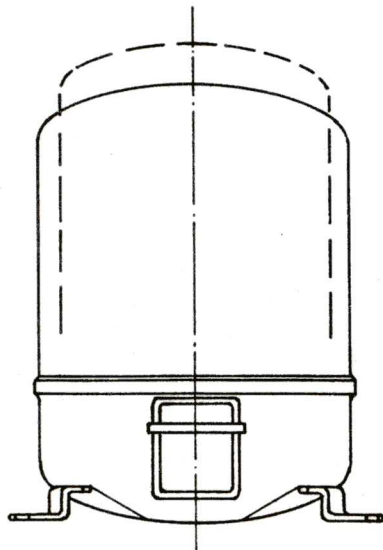


**Abb. 13**

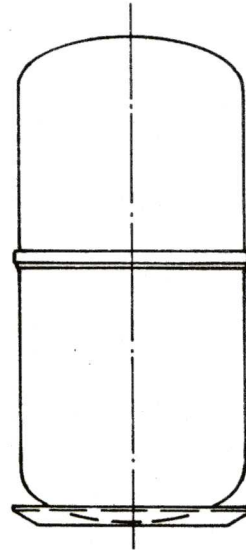
Leistungszahlcharakteristik verschiedener Verdichter [1] im Vergleich zu den Prototypen ( $V_{th} = 16 - 22 \text{ m}^3/\text{h}$ )



*Halbhermetikverdichter Antr.-Motor 4-polig*



*Hermetik-Hubkolbenverdichter  
Antr. - Motor 2-polig*



*Neuer Rollkolben Wärme-  
pumpenverdichter*

**Größenvergleich :**

Vierpoliger Halbhermetik Verd. und 2poliger  
Hermetik Hubkolbenverd. mit neuem Roll-  
kolben - Wärmepumpenverd.

**Abb. 14**