

Schraubenmaschinenanlage bei Desy Hera in einem Helium-Kreislauf

Dipl.-Ing. R. Herz, Winterthur (CH)

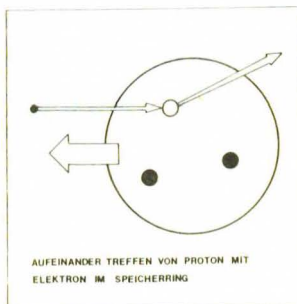
Zusammenfassung

Es wird am Beispiel der Helium-Kompressoranlage, der bei DESY HERA in Hamburg, mit 14 grossen oeleingespritzten Schraubenkompressoren aufgezeigt, wie variantenreich die Planung einer Anlage dieser Grössenordnung ($80'000 \text{ m}^3/\text{h}$) sein kann und welche technischen Fragen zu berücksichtigen sind, um einen sicheren Betrieb gewährleisten zu können.

Anwendung

Wie elementar sind die als Urbausteine der Materie angesehenen Quarks ? Besitzen sie eine innere Struktur ? Welche Gesetzmässigkeiten liegen dem Aufbau der Quarks zu Grunde ?

Dies sind Fragen, die man im Deutschen Elektronen-Synchrotron "DESY" in Hamburg untersucht.



SPEICHERRING VON DESY UNTER DER STADT HAMBURG

Mit HERA (Hadron-Elektron-Ring-Anlage) werden unter der Stadt 2 Speicherringe in einem unterirdischen Tunnel von 6,3 Kilometer Länge gebaut in denen man Elektronen bzw. Protonen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und sie dann in dicht gebündelten Paketen von je 100 Milliarden in entgegengesetzter Richtung aufeinanderprallen lässt. Die Zusammenstösse werden mit komplexen Nachweisapparaturen beobachtet; dabei lassen sich Strukturen der Materie bis zu einer Grösse von 10^{-16} mm sichtbar machen. Mit Hilfe von starken Elektromagneten werden die beschleunigten Teile in den Speicherringen auf einer Kreisbahn gehalten.

Es ist bekannt, dass bei einigen Metallen der elektrische Widerstand verschwindet, wenn sie eine Temperatur wenige Grade über dem absoluten Nullpunkt annehmen. Man spricht dann von Supraleitung. Durch supraleitende Drähte können etwa 10'000 mal höhere Ströme als durch einen Kupferdraht gleichen Querschnitts fliessen.

Diese Technologie wird für die Magnete im Speicherring Hera angewandt; sie werden durch flüssiges Helium auf 4,2 Kelvin oder -269 Grad Celsius gekühlt. Hierfür ist eine grosse leistungsfähige Kälteanlage erforderlich, die in der Lage ist, diese tiefen Temperaturen zu erzeugen.

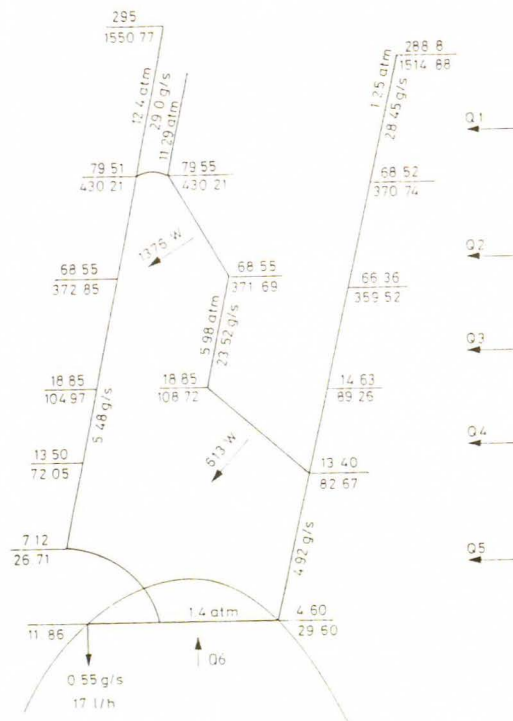
Eine Kälteanlage funktioniert bekanntlich nach dem Prinzip, dass man ein Gas komprimiert, ihm die zugeführte Wärme auf einem höheren Temperaturniveau entzieht und dann wieder expandieren lässt; dabei kühlt es sich ab. In der Anlage DESY-HERA wird Helium als Kältemittel verwendet. Es wird in 2 Stufen von 1 auf 18,7 bar verdichtet und dann in einem komplizierten Prozess mittels Expansionsturbinen entspannt.



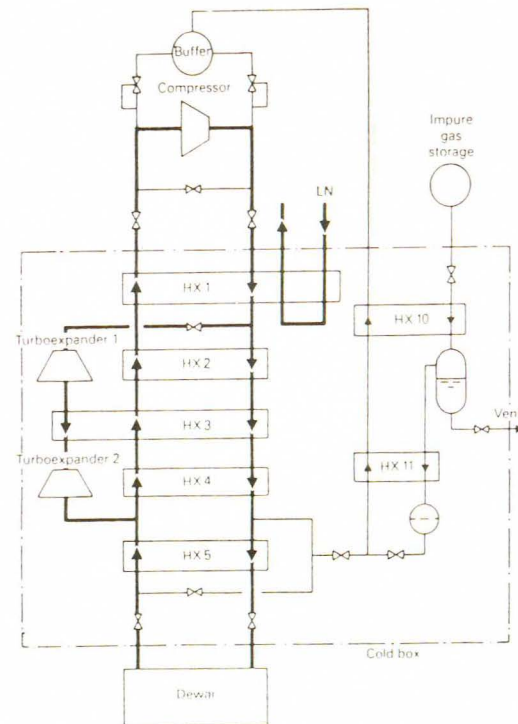
VERGLEICH SUPRALEITUNG MIT KUPFERKABEL

4,2 K
- 269°C

KÜHLTEMPERATUR FÜR
SUPRALEITUNG



TIEFTEMPERATUR PROZESS EINER
HELIUM - KÜHLANLAGE



SCHEMA EINER HELIUM-KÄLTEANLAGE

Komprimiert wird eine Gasmenge von 2760 g/s. Die gesamte Ansaugmenge der 14 Kompressoren beträgt 80'000 m³/h.

Für diese Kompressionsarbeit wird eine elektrische Leistung von etwa 10'000 kW benötigt. Die Anlage bei DESY HERA ist wahrscheinlich die grösste Kompressoranlage mit oeleingespritzten Schraubenkompressoren, die je in Europa gebaut wurde.

Technische Daten der
SULZER Schraubenkompressor-
anlage bei DESY-HERA

Anzahl Kompressoren 14; Typ VMY 536
Totales Saugvolumen 80785 m³/h
Installierte Motorleistung 12000 KW
Saugdrücke 1,0 u. 2,2 bar
Zwischendruck 4,8 bar
Enddruck 18,7 (max. 21 bar)
Oelkühlerleistung 8350 KW
Luftmenge für Oelkühler 5,8 Mio m³/h
Oelpumpenleistung 468'000 l/h

Folgende Kriterien wurden bei der Konzeption der Anlage berücksichtigt:

- Kompressorgrösse
- Anzahl Kompressoren
- Unterteilung in Strassen
- Wirkungsgrade
- Wahl des Zwischendruckes
- Standby-Konzepte
- Oelsysteme (für jeden Kompressor eigenes od. kombinierte Systeme)
- Oelkühlung (Wasser oder Luft)
- Schränke für elektrische Installationen
- Platzbedarf, Aufstellung
- Leitungsgrössen
- Kosten

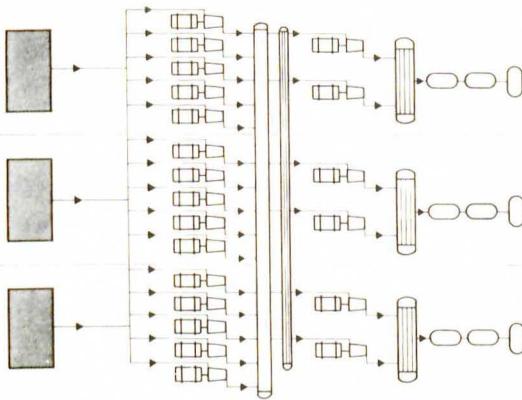
Varianten in der Planung

Es soll nicht im Detail dargelegt werden, wie man zu der nun realisierten Lösung gekommen ist.

Es kann jedoch anhand von drei Varianten aufgezeigt werden, wie vielfältig doch die Möglichkeiten sind, eine Kompressorenanlage dieses Ausmasses zu konzipieren mit dem Ziel, eine betriebssichere Anlage mit guten Wirkungsgraden bei minimalen Investitions- und Platzkosten zu erhalten.

Bei allen drei Varianten ist eine Unterteilung der Gesamtkapazität auf drei Kompressorstrassen vorgenommen worden.

Bei der Variante 1 mit einem Total von 21 Kompressoren war vorgesehen, in der Niederdruckstufe fünf in der Hochdruckstufe zwei Kompressoren einzusetzen. Es bestand die Möglichkeit, für jede Kompressorengruppe ein eigenes Oelsystem zu konzipieren, wie dies im allgemeinen bei eingespritzten Kompressoren üblich ist oder aber, alle Kompressoren mit einem gemeinsamen Oelsystem zu versehen.

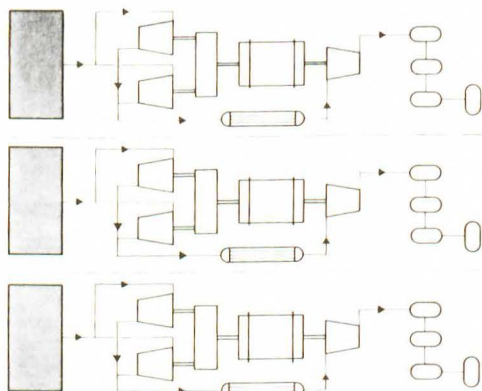


PLANUNGS-VARIANTE 1 MIT 21 KOMPRESSOREN

Die von uns gezeigte Variante 1 stellt eine Mischlösung dar, bei der die Niederdruckkompressoren mit gemeinsamen, die Hochdruckkompressoren mit individuellen Oelsystemen versehen werden.

Mit der Variante 2 wurde versucht, mit einer minimalen Anzahl Kompressoren auszukommen und zwar mit den Grössten auf dem Markt verfügbaren oeleingespritzten Schraubenkompressoren (Fördermenge $8000 \text{ m}^3/\text{h}$). 9 Kompressoren für die ganze Anlage sollten von nur total 3 Elektromotoren mit je 3500 kW angetrieben werden.

Es war vorgesehen, dass pro Strasse ein Elektromotor mit 2 Wellenenden gleichzeitig 2 Niederdruckstufen über ein Zwischengetriebe mit 2 Abgängen u. die Hochdruckstufe direkt antreiben würde.



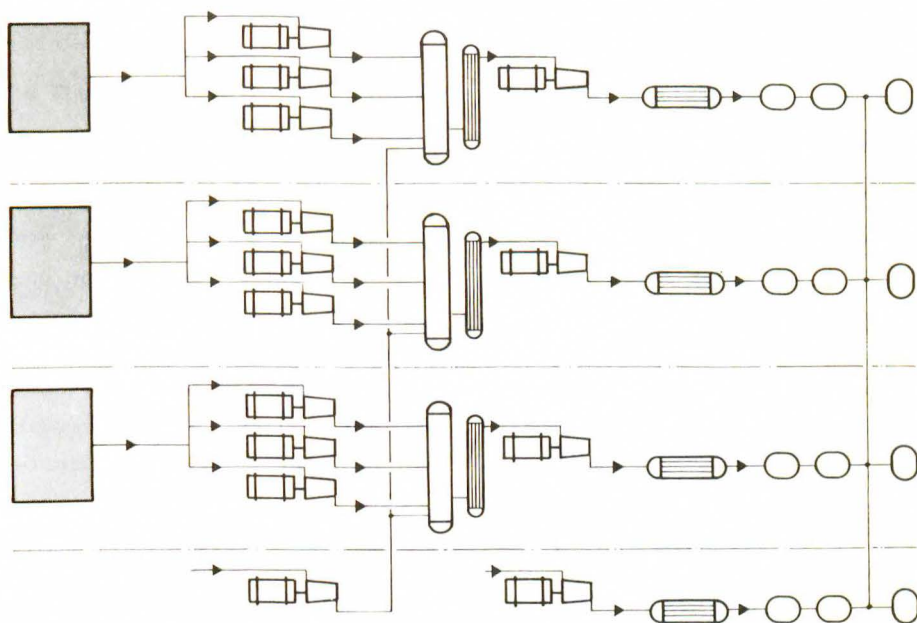
PLANUNGS-VARIANTE 2 MIT 9 KOMPRESSOREN

Man hatte sich vorgestellt, mit dieser Lösung die minimalsten Investitionskosten zu erreichen, insbesondere dann, wenn man auch die Kosten für die elektrische Ausrüstung mit in die Betrachtung hinein nimmt. Eine detaillierte Kostenrechnung zeigte jedoch, dass sich diese Annahme nicht bestätigte.

Realisiert wurde die Lösung mit 14 Kompressoren, drei Strassen à je 4 Kompressoren; alles Maschinen des gleichen Typs. Im weiteren wurden je 1 Niederdruck- und eine Hochdruckmaschine als Redundanz installiert, die bei Ausfall eines Kompressors sofort zugeschaltet wird. Um Ausfälle des Systems möglichst klein zu halten, wurden die Oelsysteme mit zusätzlichen Ölpumpen ausgerüstet, die automatisch einschalten, sobald der Öldruck einen vorgeschriebenen Wert unterschreitet. Selbstverständlich ist die Anlage mit doppelten Ölfiltern ausgerüstet, die während des Betriebes umgeschaltet werden können.

Öelkühlung

Der grösste Teil der zugeführten Energie (10 Megawatt) wird über eine immense Öelkühleranlage abgeführt, welche im Freien steht. 486'000 Öel/h werden durch eine Luftmenge von 5,8 Mio. m³/h von 80 auf 45 °C gekühlt. Um das Lärmniveau während dem grössten Teil des Jahres auf einem Minimum zu halten, sind die Ventilator-Motoren mit 3

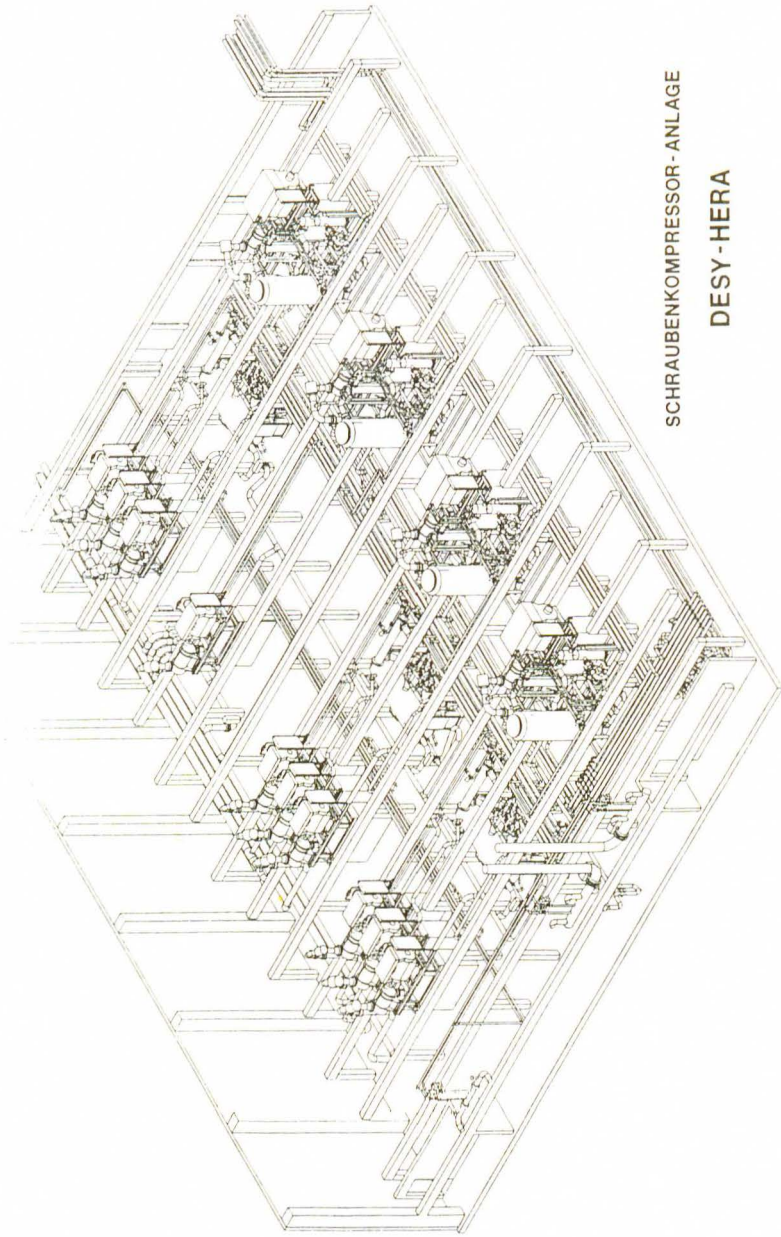


AUSFÜHRUNGS VARIANTE MIT 14 KOMPRESSOREN

Drehzahlen gewählt worden. Nur bei max. Aussentemperatur und gleichzeitig max. Kälteleistung fahren mehrere Motoren auf der max. Drehzahl; eine entsprechende Steuerung sorgt für einen optimalen Sequenz-Ablauf. In einer späteren Ausbauphase ist vorgesehen, die Oelkühlerwärme in einem Heizsystem zu nutzen.

Oelsorte

Die richtige Auswahl des Schmieröls für Schraubenkompressoren setzt für extreme Bedingungen spezielle Kenntnisse über das Öl voraus. So sind auch für Helium bei Enddruck 18,7 bar Viskosität, Tragfähigkeit, Einfluss des Gasanteils im Öl, Dampfdruckverhalten sowie die Toxizität und Wasseraufnahmefähigkeit entscheidende Parameter für die Bestimmung der richtigen Oelsorte und seiner Vorbehandlung.



SCHRAUBENKOMPRESSOR - ANLAGE
DESY - HERA

Oelabscheidung

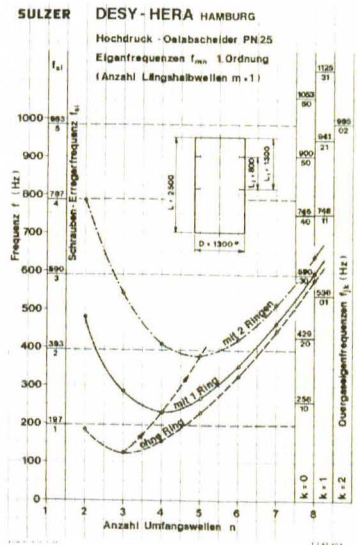
Die Ansprüche an die Oelabscheidung sind extrem.

So dürfen die Gewichtsanteile Oel im Helium nach der dritten Filterstufe nicht mehr als 0,1 ppm betragen. In einer ähnlichen Anlage bei CERN in Genf liegen Langzeitmessungen vor, bei denen Werte von 0,09 ppm erreicht wurden.

Der Oelanteil nach der vierten Abscheidestufe, dem Absorber, ist so gering, dass er mit den heutigen verfügbaren Messmethoden nicht mehr nachweisbar ist. Geeignete Sicherheitssysteme sorgen dafür, dass ein Oeldurchbruch durch einen Filter sofort festgestellt wird.

Pulsationen

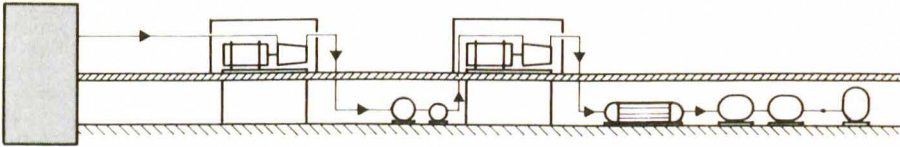
Bei Anlagen dieser Grössenordnung muss auch mit Pulsationen in Gasleitungen und Abscheidern gerechnet werden. Erfahrungen mit anderen Anlagen zeigen, dass bei bestimmten Randbedingungen Schwingungen entstehen können, bei denen Schweissnähte reißen oder Komponenten aus Halterung und Fundamenten gerissen werden. Um solche Probleme zu vermeiden, wurden Behälter und Rohrleitung auf Eigenfrequenzen und Quergasfrequenzen berechnet und die Resultate in der Konstruktion entsprechend berücksichtigt. Als ein Beispiel einer Auswertung zeigen wir die Resultate der Eigenfrequenzrechnung des Oelabscheiders in der Hochdruckstufe.



Rohrleitungen

Die langen und schweren Leitungen mussten richtig abgestützt, die Fixpunkte der Lagerungen geeignet gewählt und die Längenausdehnungen durch Erwärmung in horizontaler und auch in vertikaler Richtung berücksichtigt werden.

Für die Führung der Rohrleitungen wurde ein interessantes Konzept gewählt. Die Maschinenhalle wurde mit einem Zwischenboden versehen. Sämtliche Rohrleitungen mit Sammelleitungen bis



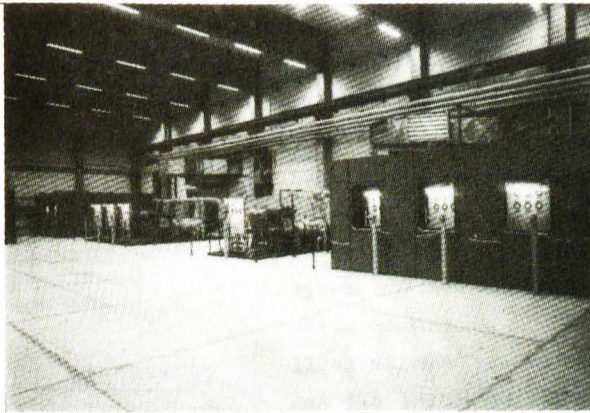
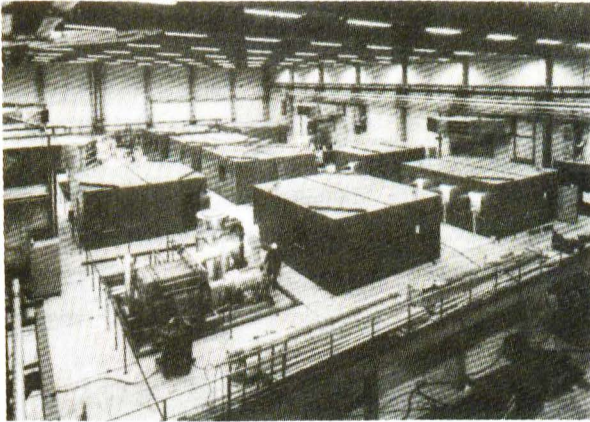
AUFSTELLUNGS-KONZEPT FÜR KOMPRESSOR-ANLAGE BEI DESY-HERA

zum Durchmesser von 400 mm, wurden unterhalb des Zwischenbodens installiert; die Oelsysteme wurden ebenfalls im Untergeschoss aufgestellt, während die eigentlichen Kompressor-Motor-Module auf hohen Fundamenten auf der Höhe des Zwischenbodens angeordnet wurden.

Lärmschutz

Die Anordnung mit dem Leitungssystem im "Untergeschoss" erlaubt eine ausgezeichnete Lärmdämmung im Obergeschoss; durch diese Konzeption wird der Lärm in den Rohrleitungen, der bei diesen Massenströmen beachtlich sein kann, auf das Untergeschoss beschränkt.

Die Kompressorengruppen im oberen Teil wurden in Schallhauben gepackt, je 3 Niederdruckkompressoren zusammen und die Hochdruckkompressoren separat. Diese Schallhauben sind grosszügig dimensioniert, leicht begehbar und können für den Fall, dass an den Kompressoren Reparaturen notwendig sein sollten, einfach mit dem Kran abgehoben werden.



Dichtheit

Ein ganz besonderes Problem stellt bei Helium-Kompressoren-Anlagen die Dichtheit aller Komponenten u. Verbindungen dar. Helium ist enorm flüchtig und auch sehr teuer. Für die ganze Anlage, bei der 360'000 Nm³ Helium gespeichert und umgewälzt werden, dürfen pro Tag 30 Nm³ oder 0,08 ‰ verloren gehen.

Dies führt dazu, dass für einzelne Komponenten extreme Dichtheitsgrenzen spezifiziert werden, so z.B. für die

Kompressoren < 10⁻¹⁰ bar m³/s

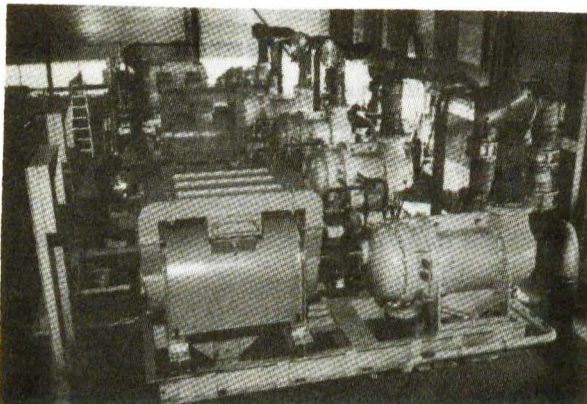
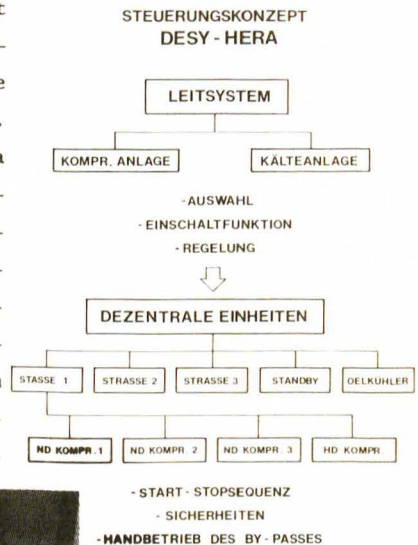
Ventile < 10⁻⁹ bar m³/s

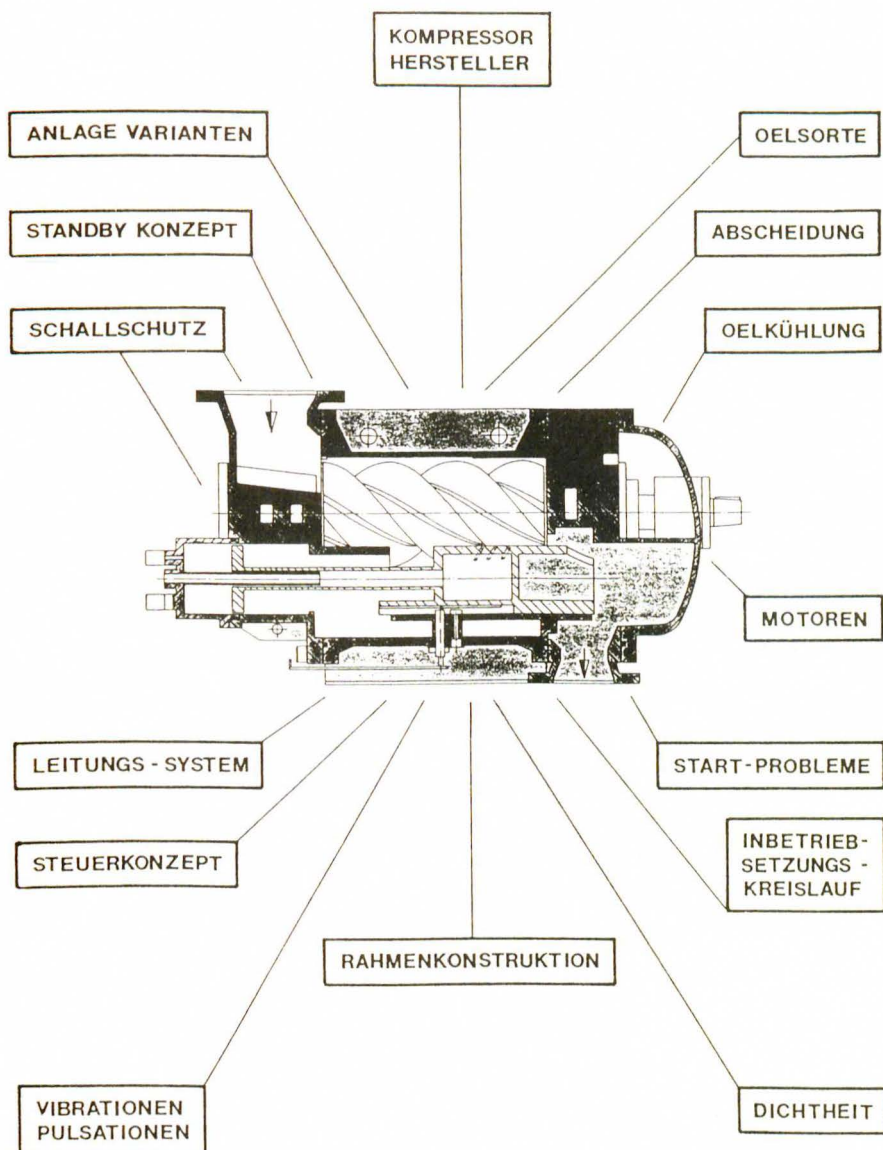
Klappen < 10⁻⁸ bar m³/s

Komponenten, die diesen Anforderungen genügen, sind eher schwierig zu beschaffen und Testmethoden, um die Qualität zu überprüfen, sind aufwendig und teuer. Es wurde angestrebt, die Zahl der Flanschverbindungen auf einem Minimum zu halten und wo immer möglich, Rohrleitungsverbindungen zu schweißen. Bei Flanschverbindungen selbst wurden Spezialdichtungen eingesetzt, die jedoch nur richtig funktionierten, wenn die Dichtflächen einwandfrei bearbeitet waren; kleinste Kratzer führen dazu, dass Helium verloren geht.

Steuerung

Die Steuerung der ganzen Anlage erfolgt mit einem frei programmierbaren Leitsystem, welches analoge Regelvorgänge wie auch binäre Steuerfunktionen übernimmt. Am Bildschirm sind die ganzen Schemata der Anlage dargestellt und mit Hilfe eines Farbcodes kann am Monitor dargestellt werden, welche Maschinen in Betrieb stehen oder welche Ventile geöffnet oder geschlossen sind. Für die Kompressoranlage übernimmt das Leitsystem nur Einschalt-, Ausschalt- und Regelfunktionen, während 17 freiprogrammier-





bare Steuerungen die Verarbeitung der insgesamt 1200 binären Signale garantieren, die für die Anfahr- und Stopsequenz sowie die Sicherheit der einzelnen Kompressoren und Oelsystemen notwendig sind.

Mit dem abschliessenden Bild soll noch einmal zusammengefasst und verdeutlicht werden, wieviele wichtige technische Grundsätze beim Bau einer Schraubenkompressorenanlage zu berücksichtigen sind, um diese sicher betreiben zu können.