

## Diagnose an Schraubenkompressoren

Ing. **W. Bolender**, Oberhausen

Vor mehr als zehn Jahren bot M.A.N.-GHH den Betreibern von GHH-Schraubenkompressoren in der vorbeugenden Wartung den M.A.N.-GHH-Diagnosedienst an.

Die anfänglichen Vorstellungen über ein Wartungssystem, das einerseits die Stillstandszeiten der Anlagen auf ein Minimum reduziert und andererseits durch den Einsatz geeigneter Meßgeräte ein objektives Bild der Maschinenanlagen vermittelt, haben sich mehr als erfüllt.

Folgende Meßgeräte werden eingesetzt:

- Starre AVIASKOPE, gerade und abgewinkelte Ausführungen, mit verschiedenen Blickrichtungen
- Frequenzspektrometer, Echt-Zeit-Analysemeßgeräte
- XY-Schreiber, Digitalplotter und Linien-schreiber
- Feinmeßmanometer und geeichte Widerstands-thermometer
- sowie eine Vielzahl von Nebengeräten wie Tonband, Schallpegelmeßgerät, Drehzahlmesser Stroboskope etc.

Die Anwendung im einzelnen:

## 1.0 Endoskopie

Die technischen Endoskope ermöglichen ohne mühevollen Zerlegung:

- die Kontrolle empfindlicher Konstruktionsteile
- die Feststellung von Schäden verschiedener Art
- die Überwachung des Fortschreitens von Schäden
- die Entscheidung über den Zeitpunkt ihrer Behebung.

Mit Erfolg verwenden wir im M.A.N.-GHH-Diagnosedienst starre "Kaltlicht-AVIASKOPE" mit einem Fixfokussystem.

Oft stellt sich die Frage, ob Endoskope mit einem Fixfokussystem oder mit einem verstellbaren Okularteil zur Bildschärfeneinstellung verwendet werden sollen. In der Regel ist in der technischen Endoskopie einem Fixfokussystem der Vorzug zu geben, da die zeitraubende Bildschärfeneinstellung entfällt.

Wir haben den starren Endoskopen den Vorzug gegeben, da die optische Qualität eines Flexiskops nicht die einer starren Endoskopsonde mit konventioneller Linsenoptik erreicht. Ein Flexiskop stellt auf keinen Fall ein "Universal-Endoskop" dar. Als Regel sollte gelten, der Einsatz von Flexiskopen lohnt nur dort, wo das Prüfobjekt mit anderen Mitteln nicht zu erfassen ist.

Die Endoskopie an Schraubenkompressoren läßt sich in zwei Bereiche aufteilen:

- Maschinenteile, wie Getriebe, Lager, etc.
- Gasführende Räume

Maschinenteile:

- Beurteilung der Zahnflanken von Antriebs- und Gleichlaufgetriebe (Bild 1)
- Visuelle Begutachtung der Lager und Maschinenverbindungen (Bild 2)
- Überprüfen der Maschinenräume nach Ablagerungen und Abrieb etc.

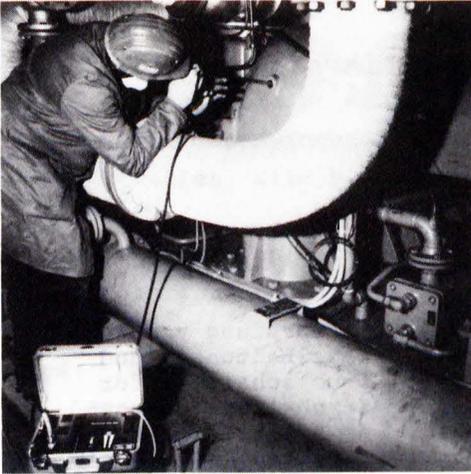


Bild 1:  
Beurteilung der  
Zahnflanken von einem  
SKT-Antriebsgetriebe

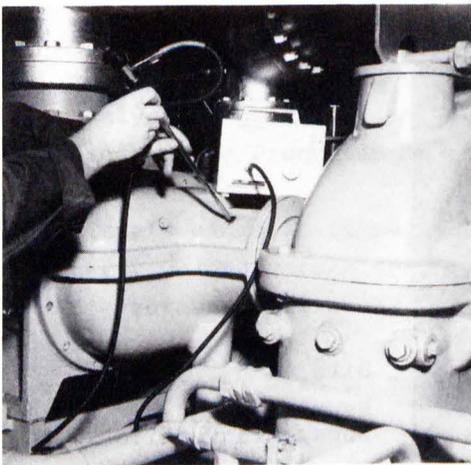


Bild 2:  
Visuelle Begutachtung  
von Lager und Torsions-  
wellen einer SK-Anlage

Gasführende Räume:

- Überprüfen der Gasräume auf Korrosion und Ablagerungen
- Beurteilen der Rotoren (Bild 3)
- Beurteilung des Rückschlagventils (Bild 4)

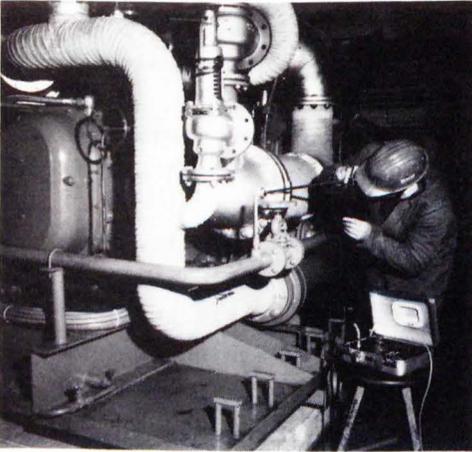


Bild 3:

Überprüfung von Rotoren, Leitungen und Druckschalldämpfer durch eine Bohrung am Schalldämpfer.

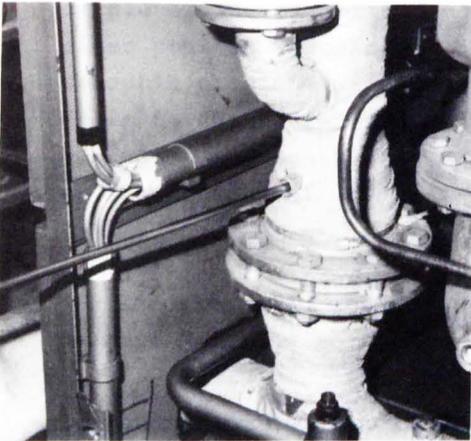


Bild 4:

Beurteilung des Rückschlagventils

## 2.0 Schwingungsmessungen:

Nach der Durchführung der Endoskopie wird die Anlage angefahren und das Laufverhalten unter normalen Betriebsbedingungen überprüft.

An den Kompressoranlagen, abgesehen von SKT-Kompressoren, werden drei Arten von Schwingungsmessungen durchgeführt:

- Lagerbockschwingungsmessungen, Bild 5 u. 6
- Beschleunigungsmessungen, Bild 7 u. 8
- Wellenschwingungsmessungen an den Torsionswellen, Bild 9.

An SKT-Anlagen entfällt die Wellenschwingungsmessung an den Torsionswellen, da diese direkt gekuppelt sind.

## 2.1 Lagerbockschwingungsmessungen:

Mit einem Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer werden von Hand alle Lagerstellen in drei Ebenen abgetastet.

Das Schwingungssignal wird einem Frequenzspektrometer zugeführt. Das Ausgangssignal wird zu einem Echt-Zeit-Analysator geleitet, um mittels der Echtzeitanalyse eine genaue Frequenzbestimmung durchzuführen.

Mittels eines XY-Schreibens oder eines Digitalplotters, werden verschiedene Schwingwerte aufgezeichnet, die zur Verdeutlichung des Laufverhaltens beitragen.

Die Meßgröße wird in mm/s Spitzenwert angegeben.

Alle Schwingwerte werden in ein spezielles Meßblatt eingetragen. Schwingwerte  $< 2.0$  mm/s werden als völlig harmlos betrachtet und nur als Gesamtpegel der Schwingschnelle ( $V_G$ ) erfaßt. Bei Schwingwerten  $> 2.0$  mm/s wird eine Frequenzanalyse durchgeführt.

Als Bewertungsgrundlage dient die VDI 2056 Maschinen-  
gruppe T bzw. G.

Aus Erfahrung empfehlen wir eine Revision der Kom-  
pressoranlage bei Überschreiten folgender Werte:

- bei einfacher Drehfrequenz  
Spitzenwert  $> 8.0$  mm/s, entspricht  $5.7$  mm/s  $V_{eff}$
- bei vierfacher Drehfrequenz  
Spitzenwert  $> 12.0$  mm/s, entspricht  $8.5$  mm/s  $V_{eff}$

Höhere Schwingwerte können anlagenbedingt zugelassen werden, wenn über einen längeren Zeitraum die Schwingwerte konstant bleiben. Eine Entscheidung wird von Fall zu Fall unter Berücksichtigung der jeweiligen Umstände getroffen.

Diagnosen werden normalerweise regelmäßig durchgeführt, so daß jeweils ein Vergleich mit den voraus-  
gegangenen Meßwerten durchgeführt werden kann. Eine augenfällige Veränderung auch unter den angegebenen Richtwerten können Revisionsarbeiten bzw. Nachmes-  
sungen empfehlenswert machen.

Nach unseren Erfahrungen ist die Schwingung bei ein-  
facher Drehfrequenz höher zu bewerten, da sie Verän-  
derungen des Wuchtzustandes, Ausrichtungsversatz  
und vergrößerte Lagerspiele anzeigt.

Die vierfache Hauptläuferdrehfrequenz ist dagegen eine für Schraubenkompressoren mit vier Hauptläuferprofilzähnen typische Ausstoßfrequenz.



Bild 5:

Schwingungsmessung in vertikaler Richtung an einer Kompressor-Stufe SK 16

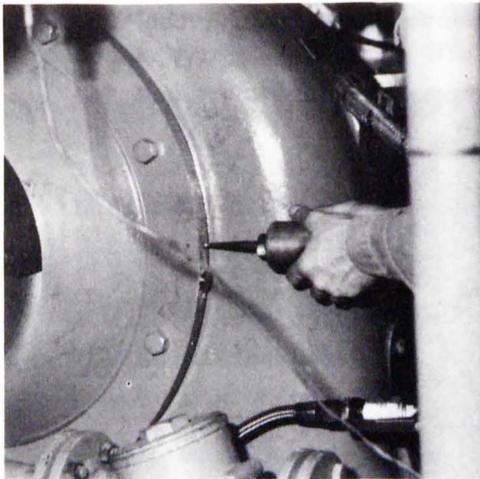


Bild 6:

Schwingungsmessung an einem SKT-Antriebsgetriebe in horizontaler Richtung

## 2.2 Beschleunigungsmessungen:

Das hochfrequente Schwingverhalten, speziell an wälzgelagerten Kompressoren und Motoren, sowie die Zahneingriffsfrequenz der Antriebs- und Gleichlaufgetriebe, erfassen wir mit einem "Piezoelektroquarz-Beschleunigungsaufnehmer" (Accelerometer) Meßgröße "G".

Da es keine einheitlichen Richtlinien zur Beurteilung von Wälzlagern gibt, vergleichen wir das Schwingverhalten über mehrere Diagnosen.

Da nicht jede Maschine, bedingt durch Wälzlagergüte, Fertigungstoleranzen, Bauweise, Aufstellungsort etc ein gleich gutes Schwingverhalten in Neuzustand aufweist, hat sich in der Praxis folgendes bewährt: Liegen die Schwingwerte bei der Erstmessung  $< 2.0$  "G", empfehlen wir Revisionsarbeiten ab Faktor 3.

Bei Erstmessungen mit einem Schwingwert  $> 2.0$  "G" bestimmt das niederfrequente Schwingverhalten den Grenzwert mit.

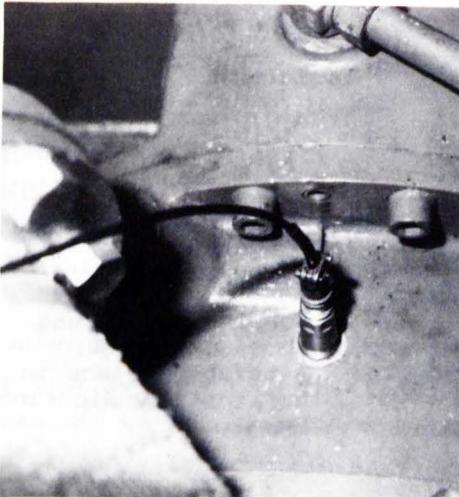


Bild 7:

Wälzlagerbeurteilung  
einer SKT-Anlage  
Meßrichtung: Vertikal

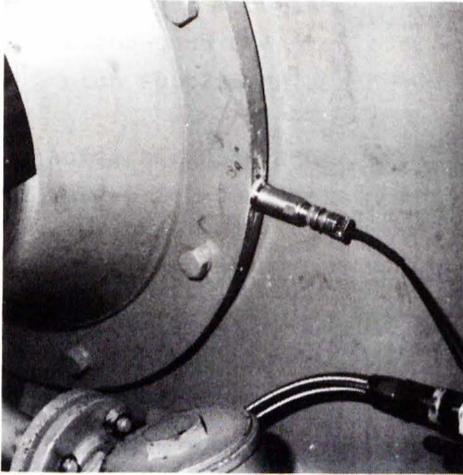


Bild 8:  
Schwingungsmes-  
sung in horizon-  
taler Richtung an  
einem SKT-Getriebe

### 2.3 Wellenschwingungsmessungen an Torsionswellen

Eine zusätzliche Messung des Schwingungsverhaltens der Torsionswelle erhöht in Verbindung mit der Lagerbockschwingungsmessung die Aussagefähigkeit über das Laufverhalten der Anlage.

In Anlehnung an VDI 2059 haben wir aufgrund unserer Erfahrungen die Grenzwerte für die freilaufenden Torsionswellen folgend festgelegt.

100 mikron bei Drehzahlen < 5.000	<sup>1</sup> /min
80 mikron bei Drehzahlen < 10.000	<sup>1</sup> /min
60 mikron bei Drehzahlen < 15.000	<sup>1</sup> /min
40 mikron bei Drehzahlen < 20.000	<sup>1</sup> /min

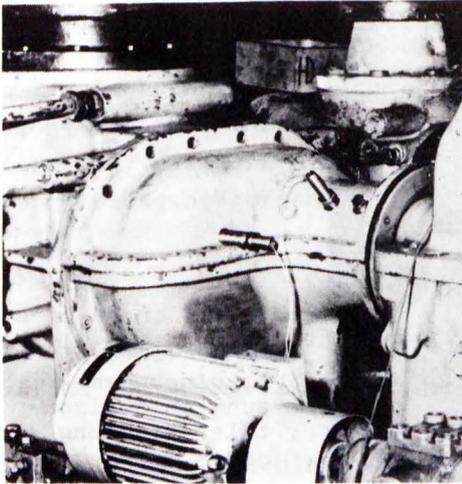


Bild 9:  
Wellen-  
schwingungsmessung  
an einer Torsions-  
welle mit einer  
Wirbelstromsonde

### 3.0 Schwingungsanalyse

Zweck einer Schwingungsanalyse ist die bessere Beurteilung einer Maschine.

Gemessene Schwingwerte setzen sich immer aus verschiedenen Frequenzen mit unterschiedlichen Amplituden zusammen. Zur Bestimmung der einzelnen Verursacher ist eine Frequenzanalyse notwendig.

Mit einem "Echt-Zeit-Analysator" kann das Schwingverhalten als Momentaufnahme sowie mehrere Momentaufnahmen hintereinander festgehalten und aufgezeichnet werden.

Nachfolgende Frequenzen und deren Vielfache können bei einem Schraubenkompressor auftreten, u.a. Drehfrequenz der Antriebsmaschine, Drehfrequenz von

Haupt- und Nebenläufer, Zahneingriffsfrequenz von Antriebs- und Gleitlaufgetriebe, Frequenzen verursacht durch Kupplungen und Ölpumpen

Aufgezeichnete Schwingungsanalysen, Bild 10 und 11, werden mit den theoretischen Frequenzen verglichen.

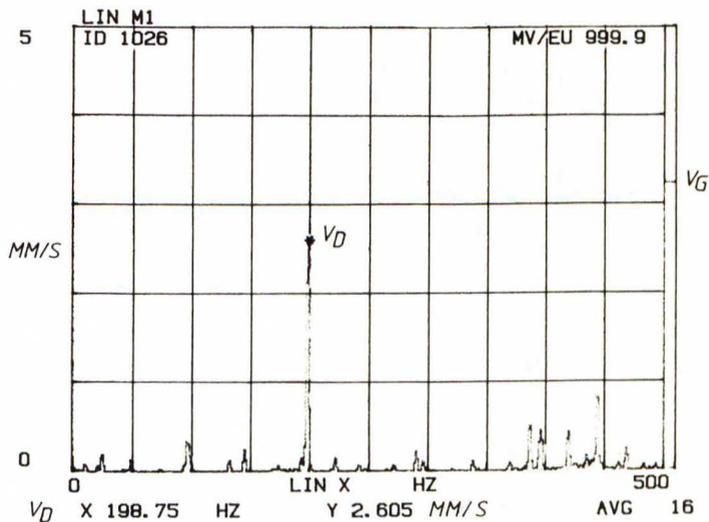


Bild 10

Schwingungsanalyse der Meßstelle HD-Stufe Druckseite horizontal,  $n = 11.925 \text{ }^1/\text{min}$   $V_G = 3,2 \text{ mm/s}$   $V_D = 2,6 \text{ mm/s}$  bei 198.75 Hz (einfache Drehfrequenz HL)

Zeichenerklärung:

- LIN M1: Lineare Aufzeichnung Y Achse
- LIN X : Lineare Aufzeichnung X Achse
- ID : Meßstellenangabe
- MV/EU : Faktor mm/s
- AVG 16: Mittelwertbildung aus 16 Rechnungen

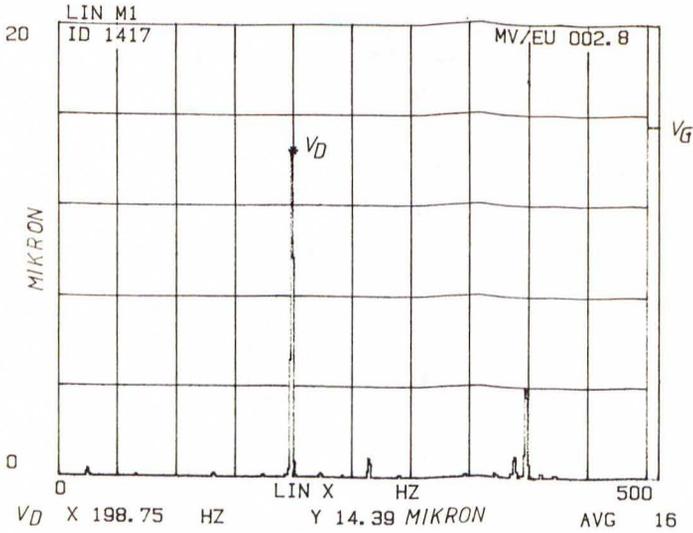


Bild 11

Analyse der Wellenschwingung der HD-Stufe  $V_G$   
 = 15,8 mikron,  $V_D$  = 11,4 mikron bei 198.74 Hz

Zeichenerklärung, siehe Bild 10.

#### 4.0 Überprüfen der Betriebswerte:

Das Druck- und Temperaturverhalten des Kompressors wird mit geeichten Meßgeräten überprüft und mit den Auslegungswerten verglichen bzw. bei abweichenden Betriebsverhältnissen nachgerechnet. Gleichzeitig erfolgt die Überprüfung der Betriebs-Meßinstrumente.

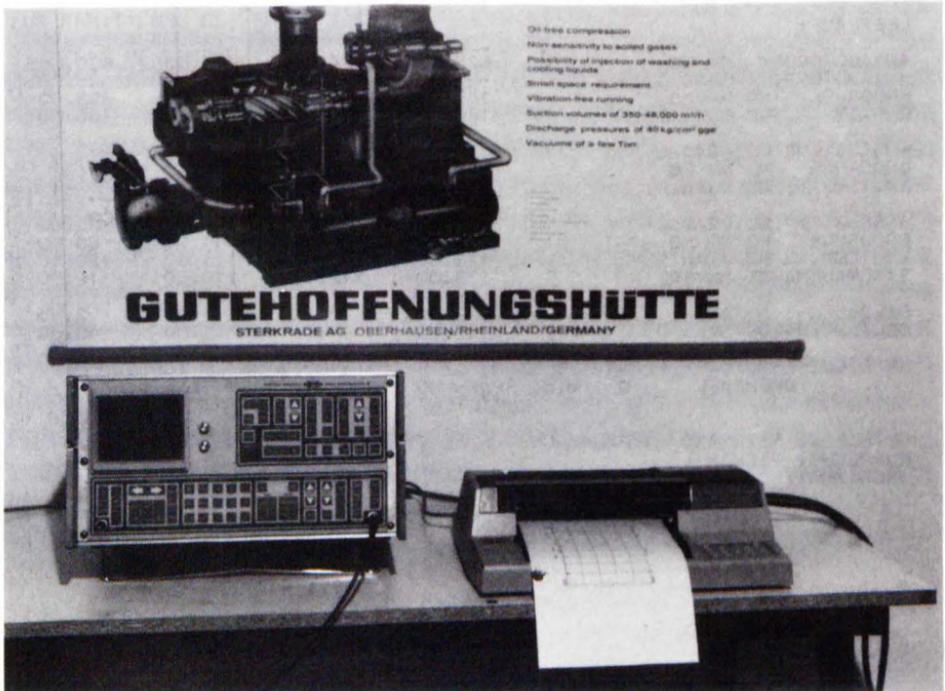
## 5.0 Langzeitbeurteilung:

Nach Abschluß der Diagnose werden mit dem Betriebs-Ingenieur bzw. Betriebs-Personal die Ergebnisse besprochen und falls erforderlich erste Maßnahmen und deren Zeitpunkt festgelegt.

Ein detaillierter Bericht - siehe Anlage - mit allen Meßergebnissen und Empfehlungen wie z.B. Verbesserungen, anstehende Wartungen, Ersatzteilbeschaffung, wird dem Kunden anschließend zugestellt und dient bei der nächsten Diagnose als Beurteilungshilfe.

An Hand der über Jahre erstellten Diagnoseberichte lassen sich Tendenzen über Laufverhalten, Verschleiß etc. erkennen.

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich Revisionsintervalle festlegen.



## DIAGNOSE VON GHH-SCHRAUBENVERDICHTER-ANLAGEN

AUFTRAG: 466999 KENNWORT: TESTLU 4 SK T 204/T 128  
 IN BETRIEB SEIT: 1978 LAUFSTUNDEN: 31250 DATUM: 19.07.84

## DIAGNOSE-MUSTERBERICHT

TEL.: 0208/6922670 KUNDEN-NR.: 299990434 VERTRETER: HERR VOIGT  
 TB: HAMBURG

VERDICHTER: GHH 5 HALLE: KRAFTWERK MASCH.-NR. 31060/31061/

MEDIUM: LUFT R: 29.27 K: 1.40 MENGE: 2800 KBM/H  
 VERDICHTER: SK T 204 L/D: 1.6 PI: 3.00 DREHZAHL: 5971 1/MIN  
 T 128 1.6 2.50 7425

## AUSLEGUNG BETRIEBSDATEN:

LASTBETRIEB: 05.07.79 09.03.80 21.09.80 19.07.84

		05.07.79	09.03.80	21.09.80	19.07.84
ANSAUGEDRUCK	MM HG	5.00-	9.00-	10.00-	10.00-
ANSAUGTEMP.	GRAD C	25.00	21.00	15.00	20.00
ENDDRUCK	ND ATA	3.25	3.30	3.35	3.20
ENDTEMP.	ND GRAD C	176.00	179.00	181.00	178.00

ANSAUGTEMP.	MD GRAD C
ENDDRUCK	MD ATA
ENDTEMP.	MD GRAD C

		05.07.79	09.03.80	21.09.80	19.07.84
ANSAUGTEMP.	HD GRAD C	35.00	40.00	41.00	39.00
ENDDRUCK	HD ATA	7.60	7.60	7.60	7.55
ENDTEMP.	HD GRAD C	158.00	154.00	157.00	159.00
STROMAUFNAHME	AMPERE		425.00	430.00	420.00

## LEERLAUF:

		05.07.79	09.03.80	21.09.80	19.07.84
ANSAUGEDRUCK	MM HG	628.00-	634.00-	630.00-	630.00-
ANSAUGTEMP.	GRAD C	22.00	17.00	22.00	26.00
ENDDRUCK	ND MM HG	386.00-	392.00-	393.00-	398.00-
ENDTEMP.	ND GRAD C	146.00	141.00	138.00	136.00

ANSAUGTEMP.	MD GRAD C
ENDDRUCK	MD MM HG
ENDTEMP.	MD GRAD C

		05.07.79	09.03.80	21.09.80	19.07.84
ANSAUGTEMP.	HD GRAD C	35.00	34.00	31.00	32.00
ENDDRUCK	HD MM HG	85.00	82.00	81.00	80.00
ENDTEMP.	HD GRAD C	112.00	111.00	114.00	120.00
STROMAUFNAHME	AMPERE	108.00	112.00	110.00	110.00

		05.07.79	09.03.80	21.09.80	19.07.84
OELDRUCK	ATA	2.50	2.50	2.45	2.45
OELTEMPERATUR	GRAD C	48.00	49.00	41.00	45.00

ANTRIEB: E-MOTOR FABR.: SIEMENS TYP: TS 573293 NR: M 209632  
 DREHZAHL 0 1/MIN, SPANNUNG 380 V, STROM 556 A,  
 LEISTUNG 480KW, COS.PHI 0.91

GETRIEBE: STIRNRAD FABR. GHH TYP: D 500 NR. 6621

KUPPLUNG: TSCHAN

SICHERHEITSEINRICHTUNG: NORMAL PS/FS

## SCHWINGUNGSMESSUNG:

BEURTEILUNG: 30

21.09.80

19.07.84

ZEICHENERKLÄRUNG	MESSPUNKT:	21.09.80			19.07.84		
		VG MM/S	VD MM/S	FD HZ	VG MM/S	VD MM/S	FD HZ
VG: GESAMTPEGEL DER SCHWING- SCHNELLE	1V Q A	2.1 1.9 2.3	1.7	25	2.2 2.0 2.3	1.7	25
VD: DOMINIERENDER PEGEL DER SCHWINGSCHNELLE	2V Q A	2.0 2.0 1.9			2.0 2.2 2.2	1.8 1.6	25 25
FD: FREQUENZ DES DOMINIEREN. PEGELS DER SCHWINGSCHN.	3V Q A	2.3 2.1 1.7	1.9 1.8	25 227	2.3 2.0 1.9	1.9	25
MESSRICHTUNG:	4V Q A	2.1	1.7	25	2.4	2.0	25
V=VERTIKAL							
Q=HORIZONTAL (QUER)	5V Q	2.6 2.0		121	2.5 2.0	2.1	121
A=AXIAL	A	1.6			1.6		
BEWERTUNGSGRUNDLAGE GEMAESS VDI 2056	6V Q A	2.4 1.7 1.9	2.1	227	2.4 1.9 2.0	2.0	227
MESSTELLENANORDNUNG SIEHE ANLAGE NR.: 2	7V Q A	2.5	2.3	25	2.7	2.4	25
MASCHINENGRUPPE: T							
	8V Q A	2.7 2.3 2.0	2.4 1.9	121 121	2.6 2.5 2.0	2.4 2.0	121 121
ZUR ERMITTLUNG DER EFFEKTIVEN SCHWINGSCHNELLE SIND NEBEN- STEHENDE MESSWERTE ZU MULTIPLIZIEREN MIT 0.70711	9V Q A	2.0 2.7 2.1	2.4 1.7	910 227	2.0 2.7 2.2	2.4 1.9	910 227
30 DAS SCHWINGVERHALTEN IST GUT	10V Q A	3.3 2.7 2.3	2.9 2.4 1.8	227 227 227	3.5 2.8 2.6	2.9 2.6 2.1	227 227 227
31 DAS SCHWINGVERHALTEN IST BRAUCHBAR	11V Q	4.1 2.7	3.6 2.3	121 121	3.9 2.7	3.5 2.3	121 121
32 DAS SCHWINGVERHALTEN IST NOCH ZULAESSIG	A	2.0			2.2	1.9	121
33 DAS SCHWINGVERHALTEN IST UNBRAUCHBAR	12V Q	2.7 2.3	2.5 2.1	121 121	2.7 2.4	2.4 2.1	121 121
34 MOTOR-LAUFVERHALTEN BEOBACHTEN	A	1.6			1.6		
35 AUSRICHTKONTROLLE VORNEHMEN	13V Q						
36 LAGERSPIELE MESSEN	A						
37 DOMINIERENDE FREQUENZ MOTORDREHZAHL	14V Q A						
	15V						

EMPFOHLENE UEBERPRUEFUNGEN, VOM KUNDEN AUSZUFUEHREN:

SCHMIEROEL DURCH ANALYSE: OELSTANDSKONTROLLE:  
 OELFILTER: OELSAUGSIEBE: ANSAUGFILTER:  
 KUEHLER WASSERSEITIG: KONDENSATABSCHEIDER:

WASSERKAMMERN IN REGELMAESSIGEN ABSTAENDEN REINIGEN,  
 D.H. ABLAGERUNGEN DUERFEN DIE MANTELKUEHLUNG NICHT BEEINFLUSSEN

DELTA P ZWISCHENKUEHLER: 0.10 AT

VOM GHH-SERVICE UEBERPRUEFT:

TORSIONSSTABVERBINDUNG:  
 KUPPLUNG: O.K.  
 DRUCKENTLASTUNG: O.K.  
 SICHERHEITSEINRICHTUNG: O.K.  
 SAUGSIEBE: O.K.

ZEICHENERKLAERUNG:

1 SKF-MUTTER ND BEFESTIGT	2 SKF-MUTTER HD BEFESTIGT
3 GEWEBEBRUCH	4 SCHUHE BESCHAEDIGT
5 SAUGDROSSEL KLEMMT	6 O-RINGE AUSWECHSELN
7 VENTILTELLER UNDICHT	8 LEERLAUFD RUCKVERH. NEU EINST.
9 TIS ND DEFEKT	10 TIS HD DEFEKT
11 TIS HD DEFEKT	12 FS WASSER DEFEKT
13 PS WASSER DEFEKT	14 PS OEL DEFEKT
15 PS UNTERDRUCK DEFEKT	16 BETRIEBSINSTRUMENTE DEFEKT
17 OHNE D/P ANZEIGE	18 ABDICHTUNG STUFEN DEFEKT
19 LEITUNGEN REINIGEN	20 SAUGDROSSEL REINIGEN
21 DICHTUNGEN AUSWECHSELN	22 RUECKSCHLAGVENTIL AUSWECHSELN
23 D/P ZWISCHENKUEHLER	24 MAGNETVENTIL DEFEKT
25 IMPULSLTG. MAGNETV. REIN.	26 PS ENDRUCK DEFEKT
27 LEITUNG OELBENETZT	28 ENTWASSERUNG ZW-KUEHLER DEF.
	29 ZW-KUEHLER LUFTSEITIG REINIGEN

ENDOSKOPIE:

OELRAEUME:		DRUCKSTUTZEN/SCHALLDAEMPFER:
METALLABRIEB:	NEIN	SICHTB. KORROSION: NEIN
GAS-U. SCHMUTZBEL.:	NEIN	SICHTB. RUECKSTE.: NEIN
SCHRAUBENSICHRGN.:	O.K.	LAEUFERBERUEHRUNG: NEIN

GETRIEBE:		SAUGLEITUNG:
METALLABRIEB:	NEIN	SICHTB. KORROSION: NEIN
ZAHNFLANKEN:	O.K.	SICHTB. RUECKSTE.: NEIN

ZWISCHENDRUCKLEITUNG:		DRUCKLEITUNG/RUECKSCHLAGVENTIL:
SICHTB. KORROSION: NEIN		SICHTB. KORROSION: NEIN
SICHTB. OELBENTG.: NEIN		SICHTB. ABLAGERG.: NEIN
SICHTB. RUECKSTE.: NEIN		KORR. RUECKSCHLAGV: (22)

BEMERKUNGEN: 1. DAS RUECKSCHLAGVENTIL IST KORRODIERT  
 BITTE DEN EINSATZ AUSWECHSELN  
 2. DAS SCHWINGVERHALTEN DER KOMPRESSOR-  
 ANLAGE HAT SICH SEIT DER LETZTEN  
 DIAGNOSE UNWESENTLICH VERAENDERT  
 XX

NAME: BOLENDER

M.SM.AF/ER TEL.: 0208/692670