

20. Workshop Kolbenverdichter 2016

26. / 27. Oktober

Vortrag 07

Revision an einem NH₃ Worthington Kompressor

Jörg Patten

Lanxess AG

Dipl.-Ing. Robert Missal

KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG





Revision an einem NH3 Worthington Kompressor

Jörg Patten, LANXESS
Dipl.-Ing. Robert Missal, KÖTTER Consulting Engineers

20. Workshop Kolbenverdichter 26./27.10.2016



Agenda

1. Aufgabenstellung
2. Maschine
3. Betriebszustand
4. Festlegung des Arbeitsumfangs
5. Erfordernis einer messtechnischen Überwachung von Testlauf und Inbetriebnahme mit Prozessgas
6. Messtechnische Untersuchung durch KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG

1. Aufgabenstellung

Der Verdichter sollte nach der Revision folgenden Ansprüchen entsprechen:

- 1) Optimierte Dichtigkeit nach heutigem Stand der Technik
- 2) Vermeidung immer wieder entstehender Schäden durch ein zu hohes Schwingungsniveau
- 3) Der Verdichter sollte für die nächsten 15 Jahre störungsfrei weiter betrieben werden können, ohne die bisher immer wieder unvorhergesehenen Reparaturarbeiten. Normale Wartungsarbeiten und Standardrevisionen sollten alle 3 Jahre ausreichen.

3



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor



2. Maschine - Originalzustand

Worthington Kompressor, Typ BDO-2 / OF 14, Baujahr 1962

Ursprünglich für den 3-stufigen Ethylenbetrieb konstruiert und betrieben



4



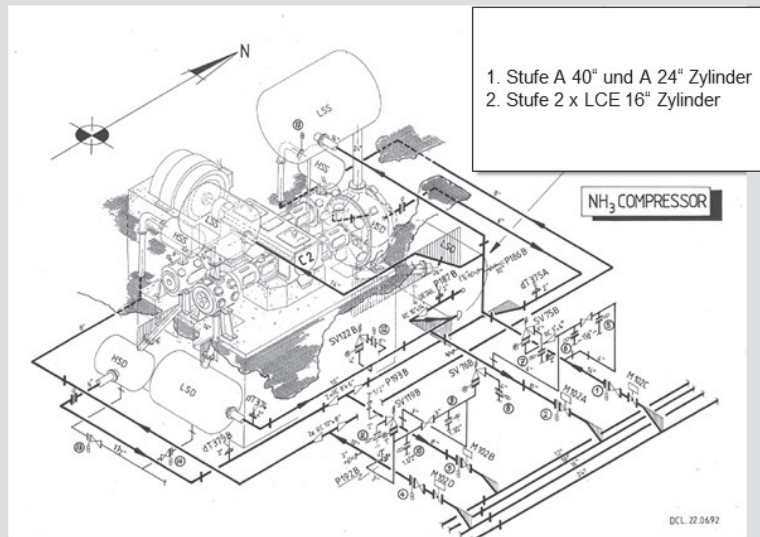
Revision an einem NH3 Worthington Kompressor



2. Maschine im heutigen Betrieb

Worthington Kompressor, Typ BDO-2 / OF 14, Baujahr 1962

Wurde von Dresser-Rand übernommen und fährt heute im 2-stufigen NH3-Betrieb



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor



5

3. Betriebszustand

	stage 1	stage 2
Gasanalysis	NH3 (100%)	NH3 (100%)
Mole weight	17,03	17,03
No of cylinders	2	2
Rel. humidity	0%	0%
Polytropic exponent (Vol)	1,301	1,279
Polytropic exponent (temp)	1,312	1,304
Capacity	9338 kg/h	10081 kg/h

	A40	A24	LCE16
Stage	stage 1	stage 1	stage 2
No of cylinders	1	1	2
Cylinder bore (mm)	990,6	644	450
Piston diameter	989,5	643,1	449,65
Stroke (mm)	355,6	355,6	355,6
single or double acting	double	double	double
Piston speed (m/s)	3,9	3,9	3,9
Rod diameter (mm)	80	80	80
Piston displacements (m3/h)	10 791	4 540	4 398
Capacity (actual) m3/h	7 262	3 171	3 436
Capacity (std cond.) nm3/h	8 485	3 705	13 160
Suction pressure (barg)	0,1	0,1	2,8
Discharge pressure (barg)	3,5	3,5	11,5
Suction temperature (°C)	-30	-30	20
Discharge temperature (°C)	80	80	110
Volumetric efficiency	67,3	69,84	78,13
Cylinder clearance	13,5	12,2	9,13
No. of suction valves	6	8	4
No. of discharge valves	6	8	4

Motor: Schorch, 1.300 KW, 50 Hz, 6.000 V, cos phi 0,78, 329 U/min



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor



6

4. Festlegung des Arbeitsumfangs

Wurde durch folgende Maßnahmen ermittelt:

- 1) Ermittlung des derzeitigen Schwingungsniveaus
- 2) Messung der vorhandenen NH3-Emissionen
- 3) Betrachtung der vorhandenen Unterlagen / Schadensberichte
- 4) Mehrfache ausgiebige Informations-Veranstaltungen mit dem internen Instandhaltungs-Team, der Projektleitung, dem Supervisor sowie dem ausgewählten Dienstleister für dieses Projekt
- 5) Unter Berücksichtigung des vorhandenen Ersatzteilbestandes
- 6) Genehmigung durch den Lenkungsausschuss



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor

LANXESS

7

4. Festlegung des Arbeitsumfangs

Fester Arbeitsumfang - Komplette Demontage vor Ort

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. Pulsationsdämpfer | 11. Kreuzkopfbahnen |
| 2. Ventile | 12. Triebwerkabdeckungen |
| 3. Kolben | 13. Hauptlager |
| 4. Kolbenstangen | 14. Alle Stehbolzen |
| 5. Alle Schmierölleitungen | 15. Alle Stützen für die Pulsationsdämpfer |
| 6. Zylinder | 16. Alle Stützen für die Zylinder |
| 7. Zwischenstücke | 17. Anfahrentlastungen |
| 8. Kreuzköpfe | 18. E-Motor |
| 9. Kreuzkopfbolzen | |
| 10. Schmierölpumpen | |



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor

LANXESS

8

4. Festlegung des Arbeitsumfangs

Fester Arbeitsumfang

1. **Reinigung und Begutachtung aller demontierten Teile vor Ort**
2. **Vermessung der Wangen-Atmung (vor und nach dem Abkoppeln des Motors)**
3. **Detaillierte Vermessung und Schadensanalyse aller demontierten Teile für die Festlegung weiterer Maßnahmen in der Werkstatt**
4. **Alle Ventile neu aufarbeiten**
5. **Alle Dichtflächen sollten restlos egalisiert werden**
6. **Kolben-Tragringe (Weißmetall Tragsattel) erneuern**
7. **Kolbennuten nacharbeiten (neue Kolbenringe vorausgesetzt)**
8. **Alle Stehbolzen erneuern**
9. **Alle Kolbenstangen prüfen und ggf. neu beschichten**
10. **Alle Lager prüfen und ggf. erneuern**
11. **Kurbelwelle vermessen, auf Risse prüfen und ggf. nacharbeiten**



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor



9

4. Festlegung des Arbeitsumfangs

Fester Arbeitsumfang

12. **E-Motor demontieren, reinigen, prüfen und ggf. nacharbeiten (weiterer externer SP)**
13. **Schmierölpumpen prüfen und ggf. reparieren**
14. **Alle Schmierölleitungen für die Zylinderschmierung erneuern**
15. **Alle Kolbenstangenabdichtungen (kompl. Packungen neues Design) austauschen**
16. **Triebwerk, Filtersystem und Rohrleitungen reinigen**
17. **Alle Dichtungen austauschen**
18. **Reparatur aller Anfahrentlastungen**
19. **Remontage der aufgearbeiteten Teile, Komplettierung des Verdichters**
20. **Detaillierte Vermessung- Wangen-Atmung; Ausrichtung; Kolbenspiel; Run-rod out**
21. **Mechanischer Probelauf, anschließend Probelauf unter Prozessbedingung**
22. **Schwingungsmessungen und Emissionsmessungen**



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor



10

4. Festlegung des Arbeitsumfangs

Optionaler Arbeitsumfang

1. Laservermessung des Triebwerks in der ursprünglichen Position
2. Laservermessung der Lagergasse
3. Demontage des Triebwerks
4. Entfernen des Epoxidharz-Vergusses (Verbindung Triebwerk zum Fundament)
5. Ausbohren aller Zugstangen (Verbindung Triebwerk zum Fundament)
6. Neuanfertigung der Zugstangen
7. Konstruktion und Anfertigung von 4 Stahlaufgaben für die Kreuzkopfbahnen
8. Rissprüfungen und Vermessung aller Kolben
9. Aufbohren der Lagergasse
10. Neubeschichtung aller 4 Zylinder
11. Einbringen einer zusätzlichen O-Ring Nut in der Zylinderbuchse des Zylinders A40
12. Alle Kreuzkopfsattel neu beschichten (Weißmetall)

11



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor



4. Festlegung des Arbeitsumfangs

Optionaler Arbeitsumfang

13. Beschichtung der Kolbenträgerringe (Weißmetall) aller 4 Kolben
- 14.3 Kolbenstangen neu beschichten
15. Schleifen und polieren der Kurbelwellenlager
16. Konstruktion und Anfertigung von neuen Ventildeckeln für den Zylinder A40; Gewichtsreduktion für Montageerleichterung
17. Fundament neu vergießen
18. Überprüfung aller Fundamente für die Zylinderstützen

12



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor



5. Erfordernis einer messtechnischen Überwachung von Testlauf und Inbetriebnahme mit Prozessgas

- Nach zunächst vorgefundenen Fehlern bei Testläufen (Schwingungs-Aufkommen) wurde durch das Projektteam beschlossen
 - auf Grund der nur generischen, vorhandenen Schwingungsüberwachung des Kompressors
 - und zur Vermeidung von iterativem Vorgehen beim Adjustieren der Mechanik
- eine aussagekräftige, temporäre Überwachung der Maschine – in Form der Services der Fa. KÖTTER hinzuzuziehen.

6. Messtechnische Untersuchung

Aufgabenstellung

Ziel der Untersuchung war die Lokalisierung des Bauteils, welches für die erhöhten Schwingungen verantwortlich war. Auf dieser Basis sollten im Anschluss Maßnahmen für einen sicheren Betrieb der Anlage aufgezeigt werden.

Vorgehensweise

Da die Ursache für die erhöhten Schwingungen nicht bekannt war, wurden an den kritischen Bauteilen der Maschine Messsensoren installiert. Beim Betrieb der Maschinen wurden die Messsignale kontinuierlich erfasst und für weitere Analysen abgespeichert.

6. Messtechnische Untersuchung

Lage der Messpunkte

Schwinggeschwindigkeit und Beschleunigung

Measuring point	Measurement parameter	Position
v_M1_x	Vibration velocity	Bearing house motor
v_M1_y		Bearing house motor
v_M1_z		Bearing house motor
v_LP_y		Crank case close to fix installed sensor on the low pressure side
v_HP_y		Crank case close to fix installed sensor on the high pressure side
v_C1_x		Crank case close to fixation bolt of the foundation, drive end side
v_C1_y		Crank case close to fixation bolt of the foundation, drive end side
v_C2_x		Crank case close to fixation bolt of the foundation, non-drive end side
v_C2_y		Crank case close to fixation bolt of the foundation, non-drive end side
v_F1_x		Foundation close to v_C1 drive end side
v_F1_y		Foundation close to v_C1 drive end side
v_F2_x		Foundation close to v_C2 non-drive end side
v_F2_y		Foundation close to v_C2 non-drive end side
a_CLPN_y		Acceleration
a_CLPS_y	Cylinder head "low pressure south" (A24)	
a_CHPN_y	Cylinder head "high pressure north" (LCE16)	
a_CHPS_y	Cylinder head "high pressure south" (LCE16)	
a_CHLPN_z	Crosshead "low pressure north"	
a_CHLPS_z	Crosshead "low pressure south"	
a_CHHPN_z	Crosshead "high pressure north"	
a_CHHPS_z	Crosshead "high pressure south"	

6. Messtechnische Untersuchung

Lage der Messpunkte

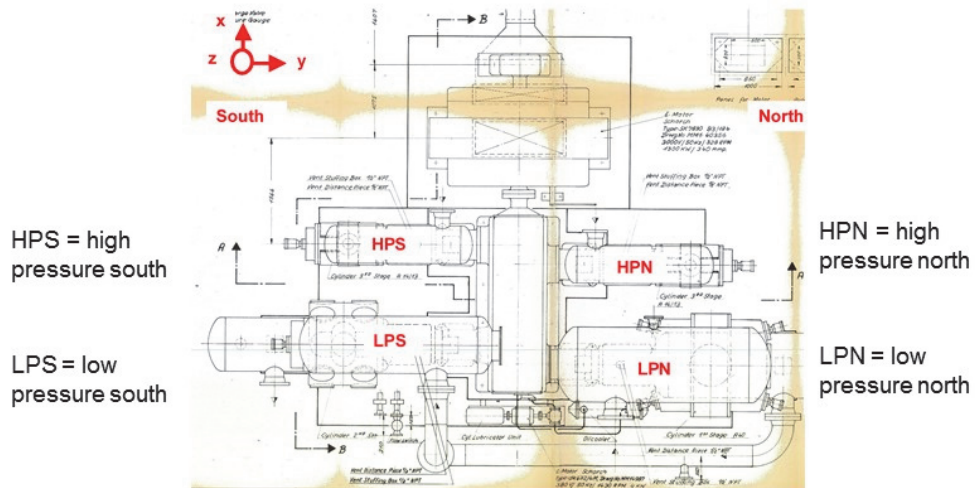
Verschiebung und Druck

Measuring point	Measurement parameter	Position
s_DE_z	Displacement	Shaft displacement compressor shaft drive end (north)
s_DE_y		Shaft displacement compressor shaft drive end (south)
s_C1_x		Coupling
s_C2_x		Coupling
s_RDLPN		Rod drop "low pressure north" (A40), sensor fix installed
s_RDLPS		Rod drop "low pressure south" (A24), sensor fix installed
s_RDHPN		Rod drop "high pressure north" (LCE16), sensor fix installed
s_RDHPS		Rod drop "high pressure south" (LCE16), sensor fix installed
s_NDE_z		Crankshaft non-drive end, sensor fix installed
s_NDE_y		Crankshaft non-drive end, sensor fix installed
Trig	Motor shaft, signal one time per revolution, sensor fix installed	
p_LPN_HE	Pressure	"Low pressure north" (A40) head end
p_LPN_CE		"Low pressure north" (A40) crank end
p_LPS_HE		"Low pressure south" (A24) head end
p_LPS_CE		"Low pressure south" (A24) crank end
p_HP_N_HE		"High pressure north" (LCE16) head end
p_HP_N_CE		"High pressure north" (LCE16) crank end
p_HPS_HE		"High pressure south" (LCE16) head end
p_HPS_CE		"High pressure south" (LCE16) crank end

6. Messtechnische Untersuchung

Lage der Messpunkte

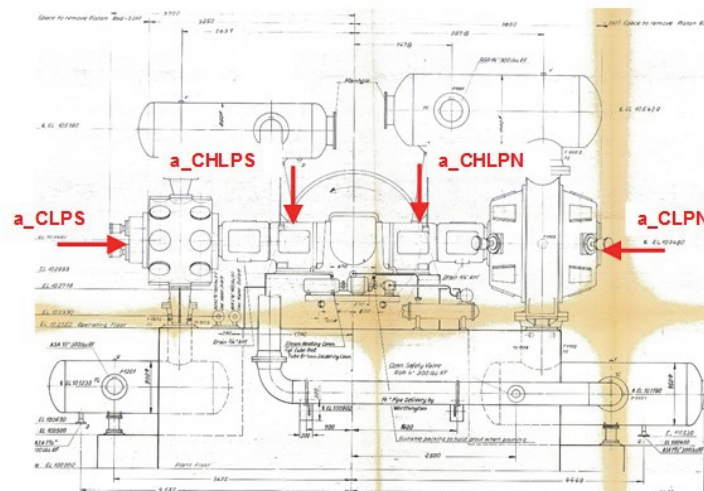
Position der Zylinder



6. Messtechnische Untersuchung

Lage der Messpunkte

Position der Messsensoren am Kreuzkopf (CH) und am Zylinder (C)



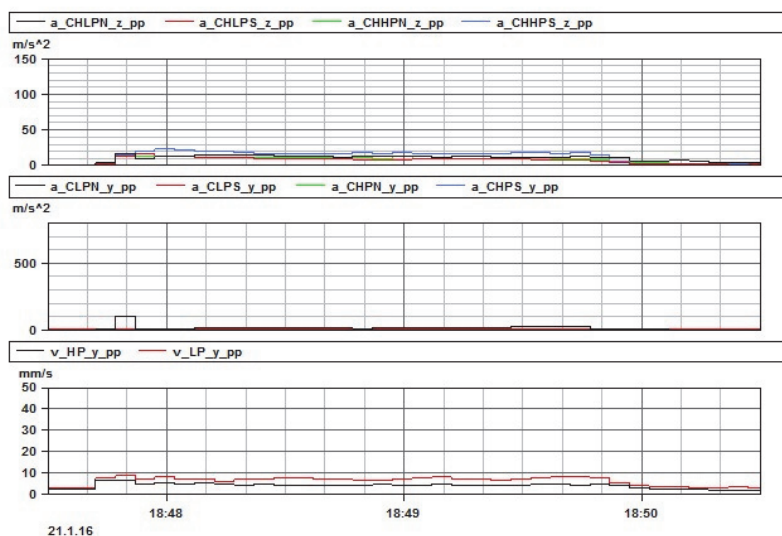
6. Messtechnische Untersuchung

Prozedur beim Anfahren des Verdichters:

- Start und Stopp des Verdichters zur Überprüfung von groben mechanischen Fehlern
- Start des Verdichters für 2 Minuten, danach Kontrolle der Temperaturen an diversen Stellen
- Start des Verdichters für 5 Minuten, danach Kontrolle der Temperaturen an diversen Stellen
- Start des Verdichters für 10 Minuten, danach Kontrolle der Temperaturen an diversen Stellen
- Start des Verdichters für 30 Minuten, danach Kontrolle der Temperaturen an diversen Stellen

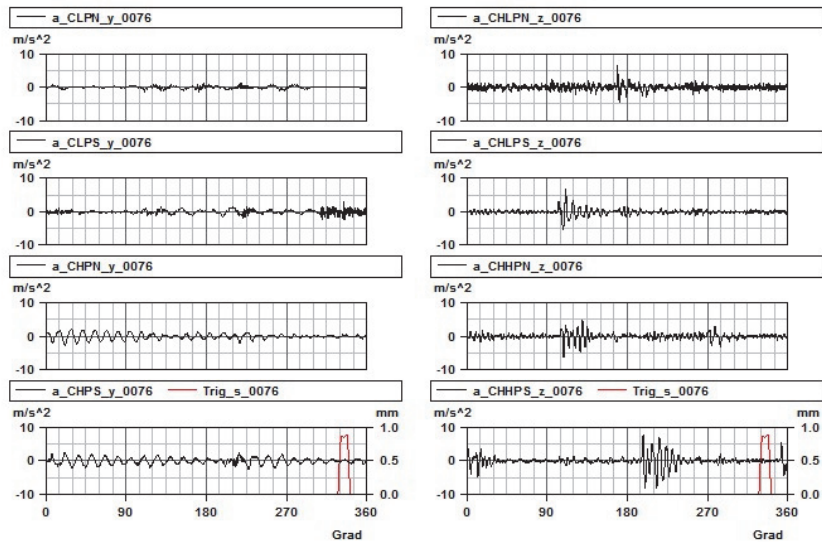
6. Messtechnische Untersuchung

Zweiter Start



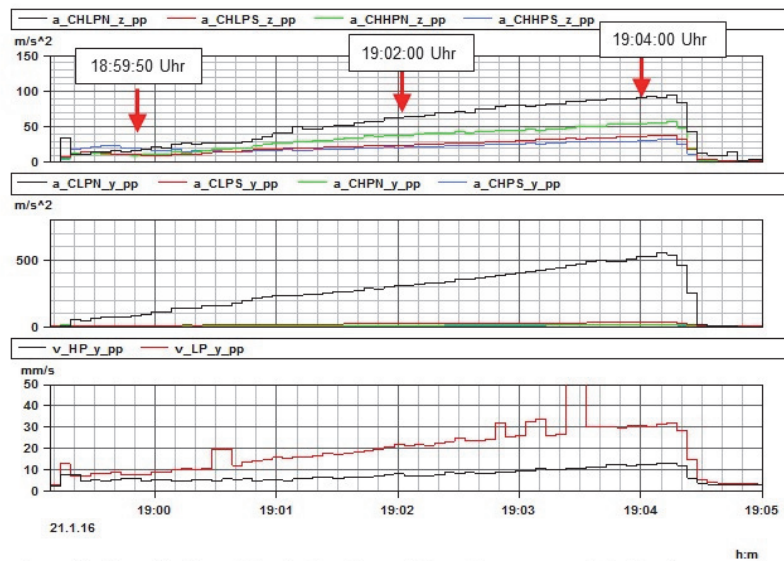
5 Sekunden Spitze-Spitze-Wert der Beschleunigung und Schwinggeschwindigkeit

6. Messtechnische Untersuchung Zweiter Start



Beschleunigungssignale an den Zylindern (links) und Kreuzköpfen (rechts)

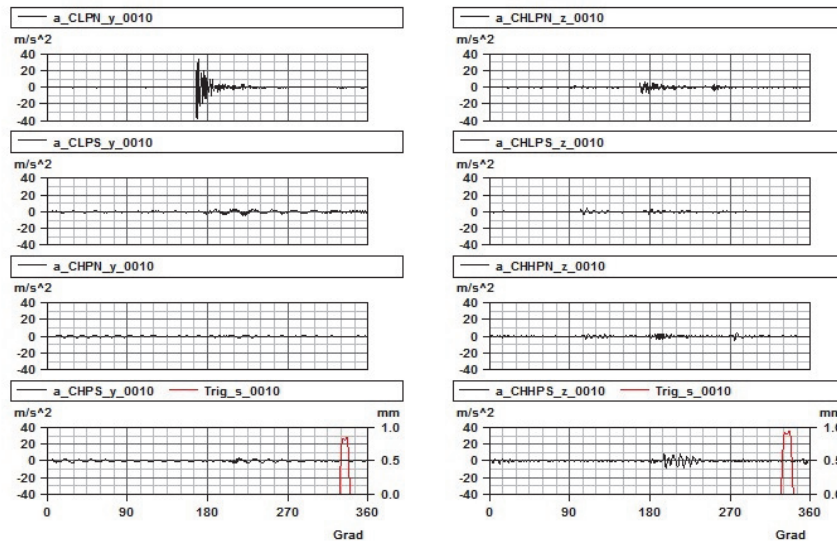
6. Messtechnische Untersuchung Dritter Start



5 Sekunden Spitze-Spitze-Wert der Beschleunigung und Schwinggeschwindigkeit

6. Messtechnische Untersuchung

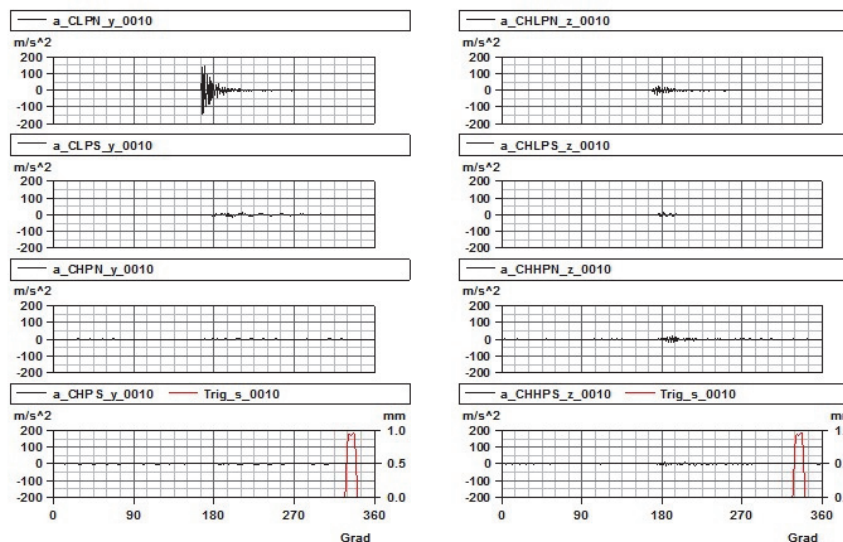
Dritter Start (18:59:50 Uhr)



Beschleunigungssignale an den Zylindern (links) und Kreuzköpfen (rechts)

6. Messtechnische Untersuchung

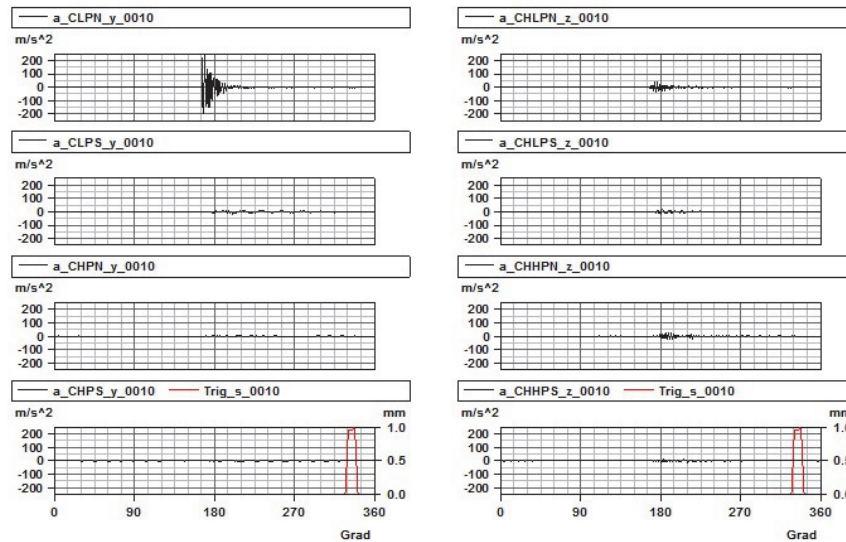
Dritter Start (19:02:00 Uhr)



Beschleunigungssignale an den Zylindern (links) und Kreuzköpfen (rechts)

6. Messtechnische Untersuchung

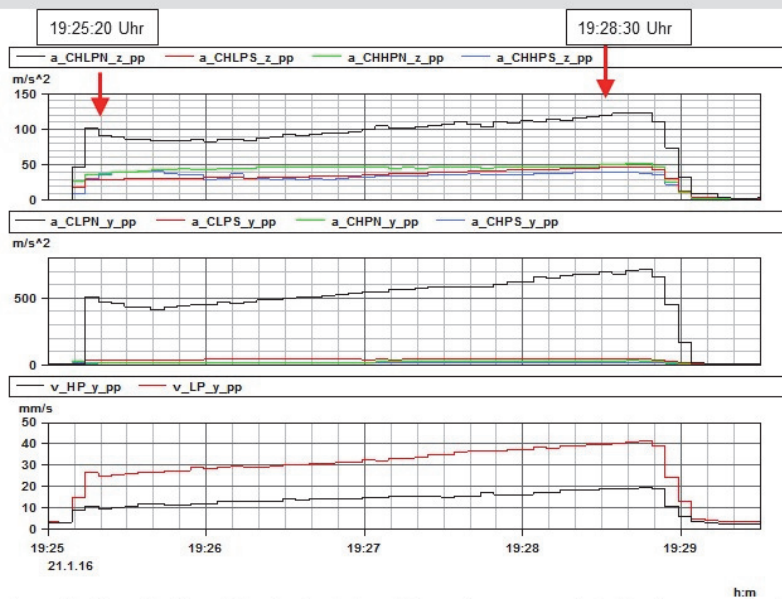
Dritter Start (19:04:00 Uhr)



Beschleunigungssignale an den Zylindern (links) und Kreuzköpfen (rechts)

6. Messtechnische Untersuchung

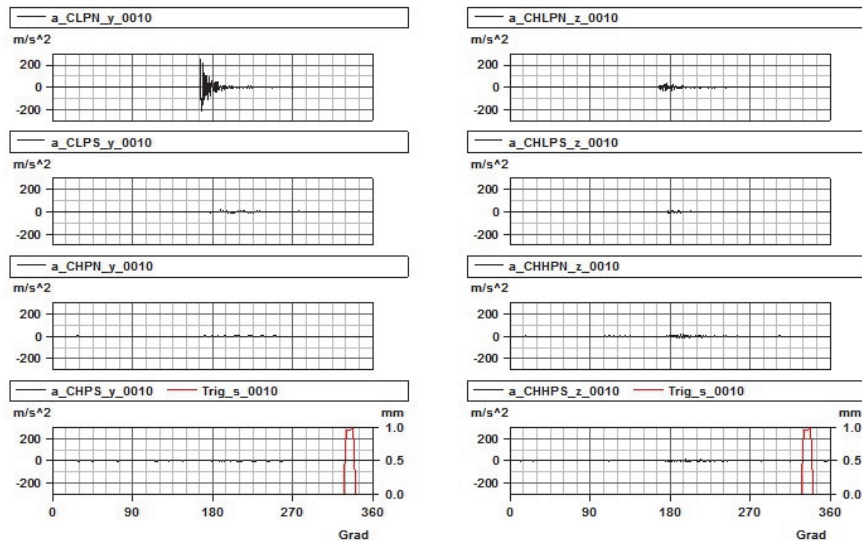
Vierter Start



5 Sekunden Spitze-Spitze-Wert der Beschleunigung und Schwinggeschwindigkeit

6. Messtechnische Untersuchung

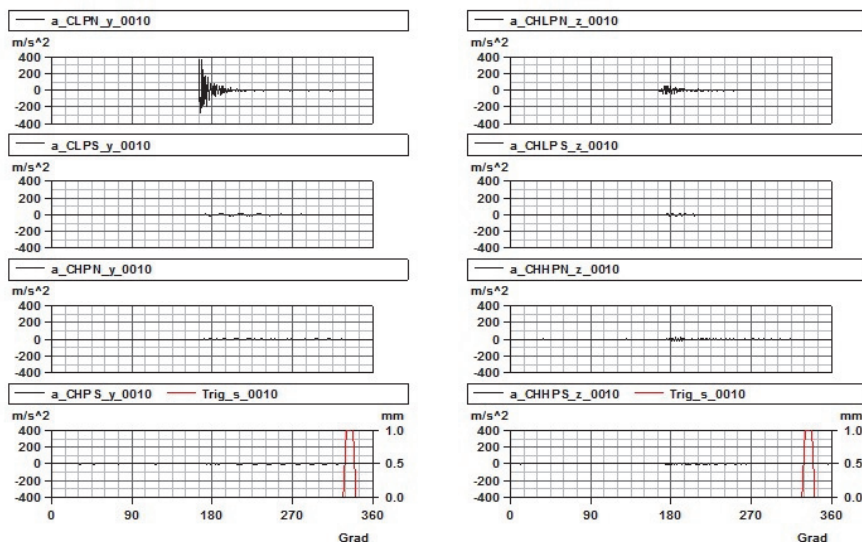
Vierter Start (19:25:20 Uhr)



Beschleunigungssignale an den Zylindern (links) und Kreuzköpfen (rechts)

6. Messtechnische Untersuchung

Vierter Start (19:28:30 Uhr)



Beschleunigungssignale an den Zylindern (links) und Kreuzköpfen (rechts)

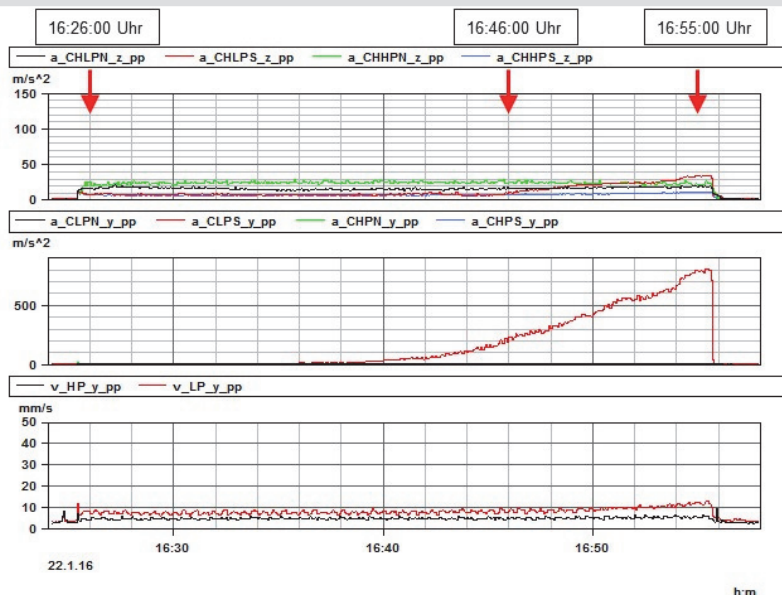
6. Messtechnische Untersuchung

Die Messungen haben gezeigt, dass die gemessenen Schwingbeschleunigungen an dem Zylinder „low pressure north“ (a_CLPN) mit zunehmender Betriebszeit stark anstiegen. Die Ursache hierfür war ein Schlagen, welches bereits unmittelbar nach dem ersten Start des Verdichters bei einem Kurbelwinkel von ca. 170 °KW erkennbar war. Bei diesem Kurbelwinkel befindet sich der Kolben des deckelseitigen Verdichtungsraumes dieses Zylinders in der OT-Position. Es wurde daher vermutet, dass das Spiel zwischen dem Kolben und dem Zylinderkopf zu gering war. Bei der Erwärmung des Verdichters wuchs die Kolbenstange schneller als das Verdichtergehäuse, wodurch das vorhandene Spiel zwischen Kolben und Zylinderkopf aufgezehrt wurde und der Kolben anschlug.

Zur Verbesserung der Situation wurde der Kolben um 1,3 mm in Richtung Kurbelwelle versetzt.

6. Messtechnische Untersuchung

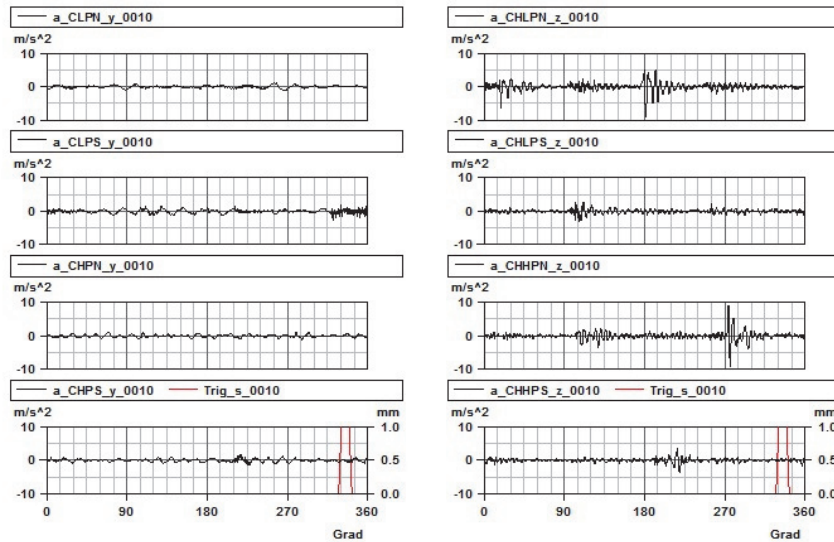
Fünfter Start



5 Sekunden Spitze-Spitze-Wert der Beschleunigung und Schwinggeschwindigkeit

6. Messtechnische Untersuchung

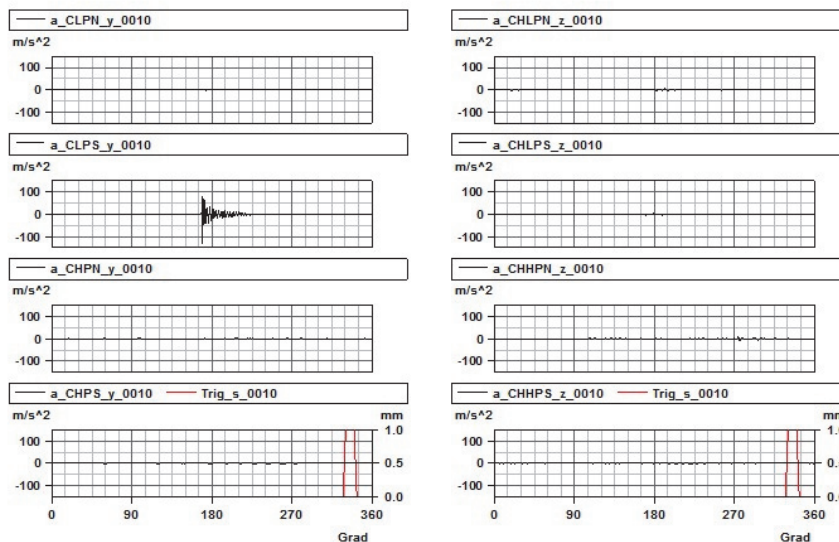
Fünfter Start (16:26:00 Uhr)



Beschleunigungssignale an den Zylindern (links) und Kreuzköpfen (rechts)

6. Messtechnische Untersuchung

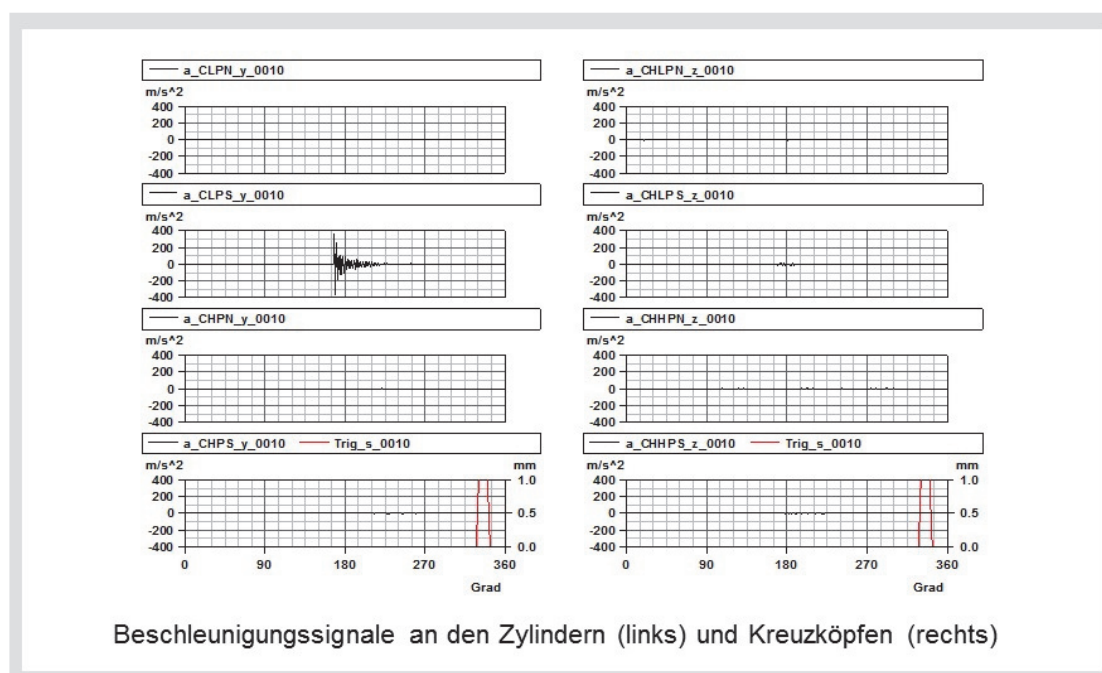
Fünfter Start (16:46:00 Uhr)



Beschleunigungssignale an den Zylindern (links) und Kreuzköpfen (rechts)

6. Messtechnische Untersuchung

Fünfter Start (16:55:00 Uhr)



6. Messtechnische Untersuchung

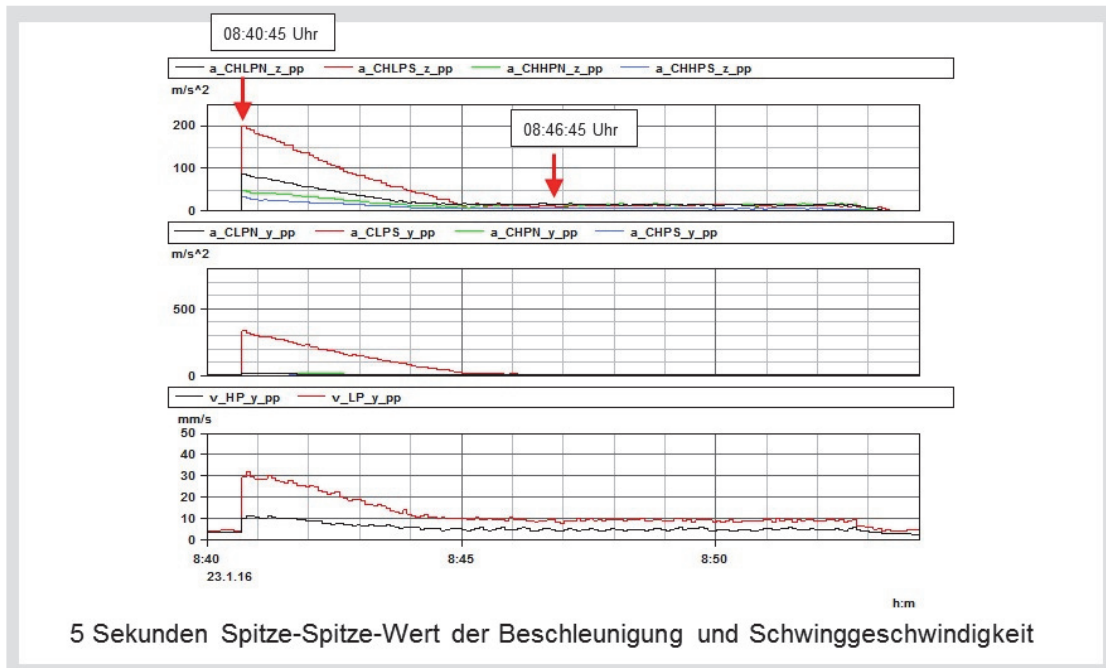
Durch die Verschiebung des Kolbens vom Zylinder „low pressure north“ in Richtung Kurbelwelle konnte ein Anschlagen des Zylinders am Zylinderkopf nicht mehr beobachtet werden. Allerdings wurde jetzt bei längerer Betriebszeit (30 Minuten Testlauf) ein Anschlagen des Zylinders „low pressure south“ bei identischem Kurbelwinkel von ca. 170 °KW festgestellt.

Da dieser Zylinder in Bezug auf das Trigger-Signal um 180 °KW versetzt angeordnet war und auch die Kurbelkröpfung der beiden Zylinder der 1. Stufe um 180 °KW versetzt war, waren beide Zylinder der 1. Stufe zur gleichen Zeit im deckelseitigen OT.

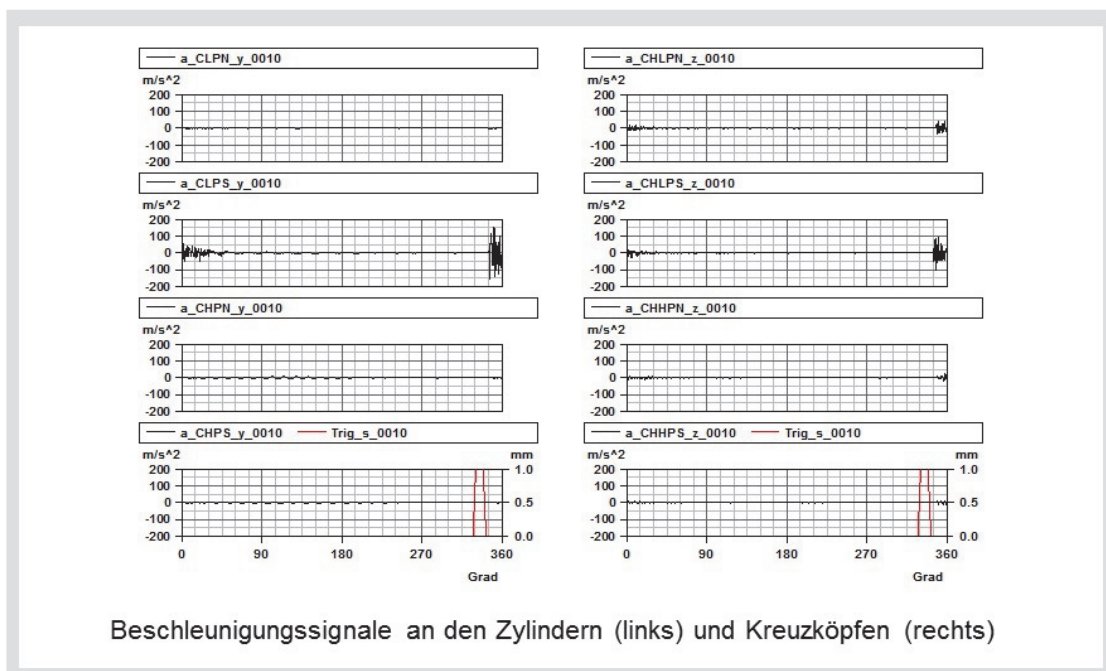
An dem Zylinder „low pressure south“ kam es also ebenfalls zu einem Anschlagen des Kolbens in der Position des deckelseitigen OT.

Zur Verbesserung der Situation wurde der Kolben um 0,8 mm in Richtung Kurbelwelle verschoben.

6. Messtechnische Untersuchung Erster Start

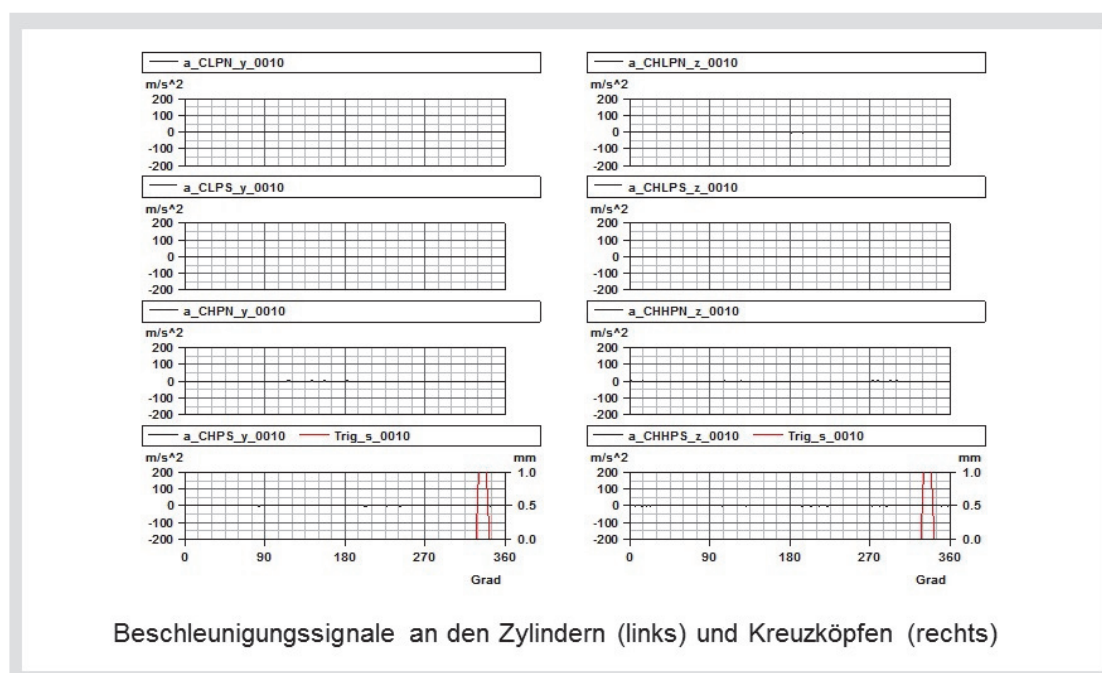


6. Messtechnische Untersuchung Erster Start (08:40:45 Uhr)



6. Messtechnische Untersuchung

Erster Start (08:46:45 Uhr)



6. Messtechnische Untersuchung

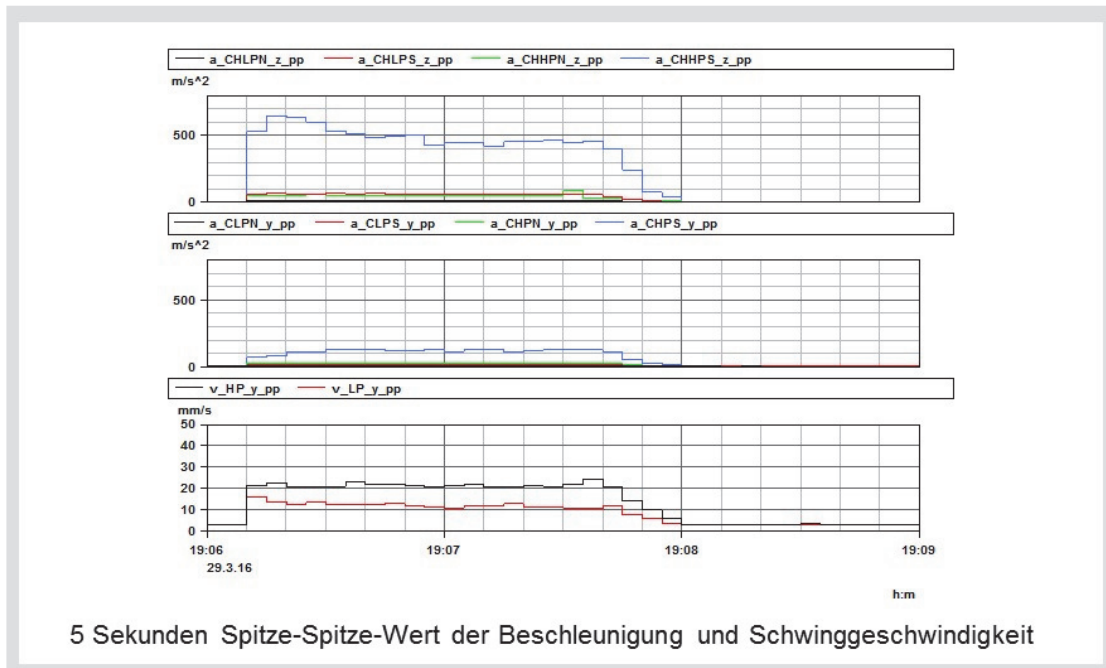
Die Verschiebung des Kolbens vom Zylinder „low pressure south“ in Richtung Kurbelwelle war offensichtlich zu groß. Im kalten Zustand traten jetzt Schläge in der OT-Position Kurbelseite auf. Durch die thermische Ausdehnung der Kolbenstange wurde das Spiel in der kurbelseitigen OT-Position größer und das Anschlagen verschwand.

Da diese Anschläge nur im kalten Zustand auftraten, wurde beschlossen, die Position des Kolbens nicht weiter zu verändern und die Anlage mit Ammoniak in Betrieb zu nehmen.

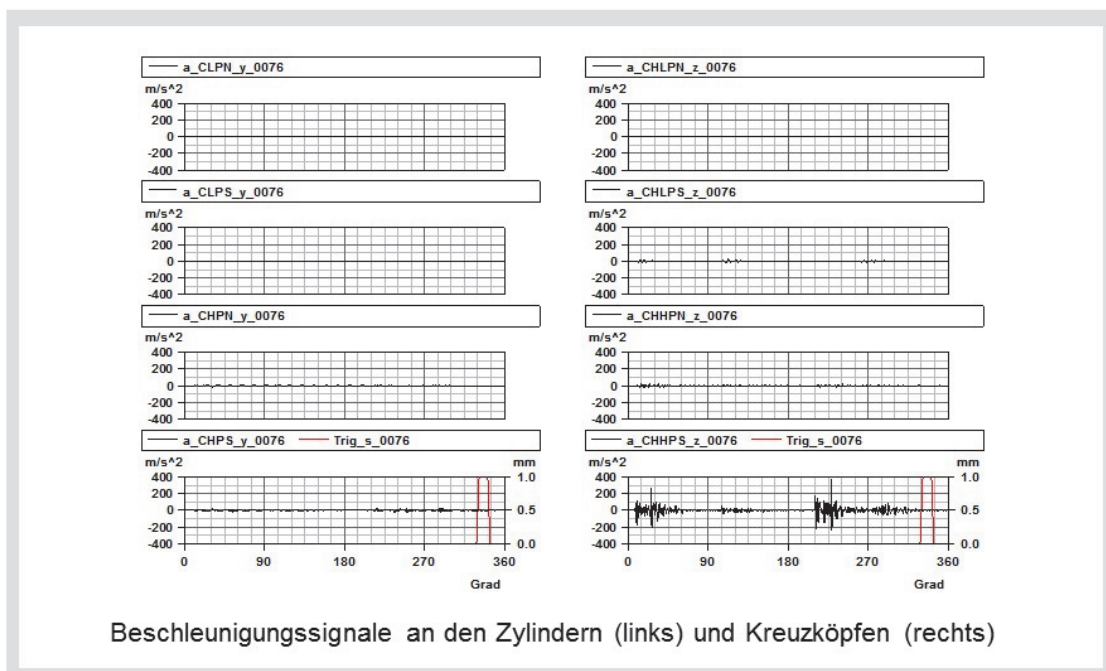
Nach nur einer Woche Betrieb wurde der Verdichter inspiziert. Aufgrund von erhöhter Leckage von Ammoniak sowie starkem Verschleiß der Tragringe wurde der Verdichter erneut geöffnet.

Die Beschichtung der Zylinder sowie weiterer Bauteile des Verdichters wurde überarbeitet. Im März 2016 erfolgte dann ein weiterer Versuch, den Verdichter wieder in Betrieb zu nehmen.

6. Messtechnische Untersuchung Erster Start



6. Messtechnische Untersuchung Erster Start



6. Messtechnische Untersuchung

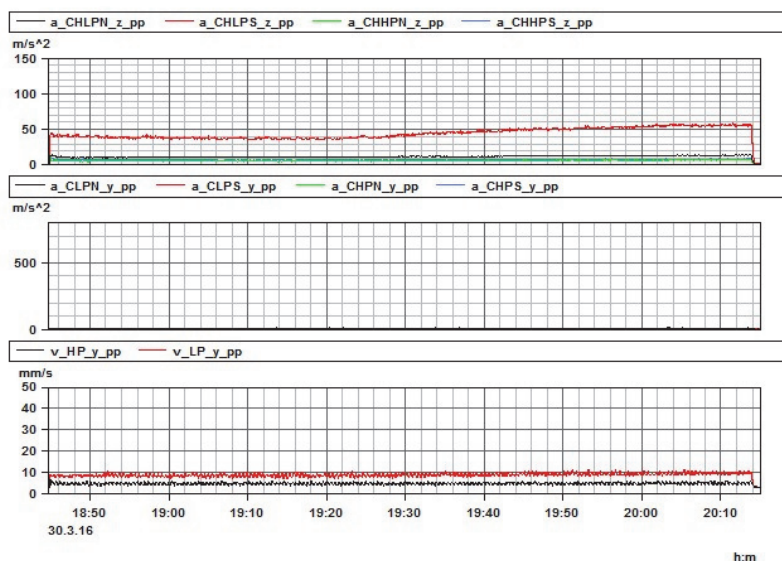
Die aufgezeichneten Schwingungssignale an dem Verdichter waren weiterhin durch starke Schläge gekennzeichnet. Diese Schläge traten jetzt allerdings an dem Messpunkt an der Kreuzkopfbahn des Zylinders „high pressure south“ auf und zwar zweimal pro Umdrehung bei Kurbelwinkeln von ca. 10 °KW und ca. 210 °KW.

Als Ursache für diese Schläge wurde ein zu großes Spiel am Kreuzkopf vermutet, da die Schläge zum Zeitpunkt der Richtungsumkehr der Normalkraft auftraten. Die Überprüfung der Spiele ergab, dass offensichtlich Shims zur Einstellung des Spiels beim Einbau vergessen worden waren.

Die Shims wurden installiert und das Spiel im Kreuzkopf entsprechend der Vorgaben des Herstellers eingestellt. Danach wurde der Verdichter wieder gestartet.

6. Messtechnische Untersuchung

Zweiter Start



5 Sekunden Spitze-Spitze-Wert der Beschleunigung und Schwinggeschwindigkeit

Zusammenfassung

Durch die Messung der Schwingungen an den „kritischen“ Bauteilen des Verdichters konnte der Entstehungsort für die beobachteten Schläge schnell lokalisiert werden.

Indem die Schwingungssignale nicht wie sonst üblich als Effektivwert über die Zeit sondern als Zeitsignal über den Kurbelwinkel dargestellt wurden, konnte der Zeitpunkt der Schläge dem Bewegungsablauf der Kolben und Kreuzköpfe zugeordnet und mögliche Ursachen aufgezeigt werden.

Die Umsetzung von Minderungsmaßnahmen war durch die gute Zusammenarbeit zwischen dem Betriebspersonal vor Ort und dem Dienstleister, der den Umbau des Verdichters durchgeführt hat, innerhalb kurzer Zeit möglich. Eine weitere Verzögerung der Inbetriebnahme des Verdichters konnte hierdurch vermieden werden.

43



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

44



Revision an einem NH3 Worthington Kompressor

