Linde GmbH / HERMETIC Pumpen GmbH

HERMETISCHE PUMPEN: AUFBAU, INSTALLATION UND HERAUSFORDERUNG IN EINEM HOCHEFFIZIENTEN AMMONIAKPROZESS

Michael Rieger / Achim Surber
Graz, 06.09.2021

1

Agenda

1.	Anlage Linde LLC Linde Azot Togliatti	5′
2.	Design dichtungslose Pumpen, Flüssiggas	5′
3.	Inbetriebnahme der Pumpen	4′
4.	Wesentliche Herausforderung Pumpe / RCA	18′
5.	Systematische Fehlersuche Anlage	8′
6.	Zusammenfassung	3′

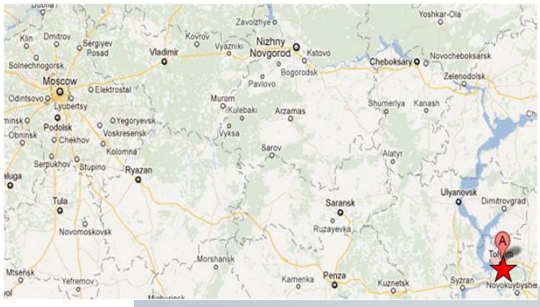
2

LLC Linde Azot Togliatti / Erstellung und Ort

Vorstellung der Anlage

Bilder, Location, lokaler Partner, Herausforderung

- 1000 km südöstlich von Moskau, viele russische Firmen modernisieren ihre Anlage.
- Joint venture Linde Azot Togliatti mit KuibyshevAzot, einer der größten russischen Chemiekonzerne.
- 280 Mio.€ Investition, ca. sieben Millionen Arbeitsstunden auf der Baustelle ohne nennenswerte Zwischenfälle.
- Größtes Referenzprojekt auf dem Gebiet der Ammoniakproduktion.
- Jeden Schritt im Projektlebenszyklus gemeistert - vom Engineering über die Beschaffung bis zum Bau.
- Wir haben dieses Projekt aufgrund unserer Synergie gewonnen, die sowohl den Anlagenbau als auch die Gasproduktion verbindet.



3

LLC Linde Azot Togliatti

Leistungsdaten der Anlage & Ammoniak

- Ammoniak (NH3) ist eine der wichtigsten und am häufigsten hergestellten Grundchemikalien. Jährlich werden weltweit rund 146 Millionen Tonnen produziert. Russland ist nach China der zweitgrößte Produzent.
- Der größte Teil des Ammoniaks (85 Prozent) wird zur Herstellung von Düngemitteln verwendet.
- Es ist jedoch auch ein Schlüsselbestandteil von Polyamidkunststoffen (PA).
- Der Produktionsprozess der Anlage basiert auf dem Linde Ammonia Concept (LAC). Dies ist eine besonders effiziente Methode zur Herstellung von Ammoniak. Es wandelt Stickstoff, der von einer Luftzerlegungsanlage erzeugt wird, und Wasserstoff, der aus Erdgas durch Dampfreformierung gewonnen wird, in Ammoniak um.
- Die Anlage hat eine Kapazität von 1340t NH3 / Tag, und 8000 Nm3 Wasserstoff pro Stunde.

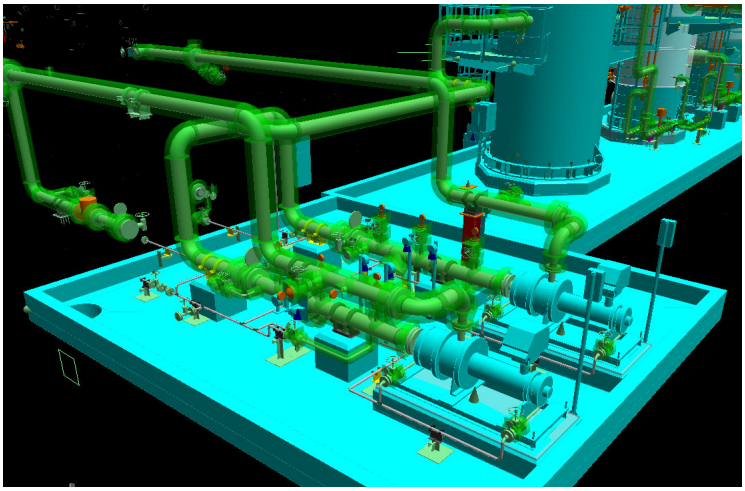
Beides kann der Endkunde KuibyshevAzot zur Herstellung von Caprolactam, einem Vorläufer für Polyamidkunststoffe, sowie Stickstoffdünger und Ammoniumsalze verwenden.

4

LLC Linde Azot Togliatti

Pumpen Einbauort und Funktion

Die Aufgabe der Pumpe ist das durch den Linde LAC Prozess gewonnene Ammoniak an die Anlagengrenze zu fördern. Um das Endprodukt spezifikationsgerecht an den Kunden übergeben zu können müssen die Pumpen eine Förderhöhe von 350m bei einer Fördermenge von 90 m³/h erbringen. Aufgrund der Tatsache, dass Ammoniak giftig ist, sowie die vorliegenden physikalischen Eigenschaften für eine Pumpe herausfordernd sind (geringe Viskosität und Dichte, niedrige Temperatur), haben wir uns für eine dichtungslose Pumpenlösung entschieden.



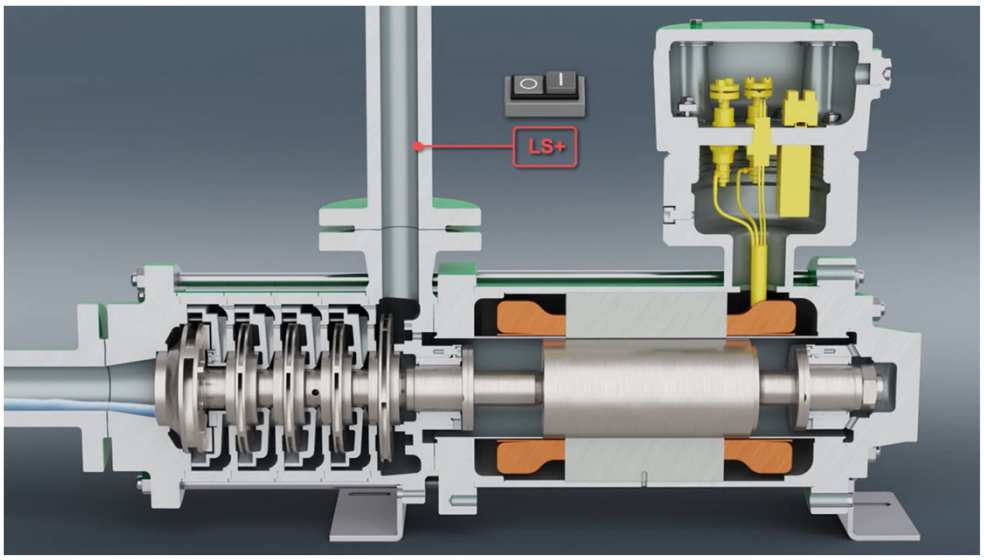
5

Agenda

1. Anlage Linde LLC Linde Azot Togliatti — 5′
2. Design dichtungslose Pumpen, Flüssiggas — 5′
3. Inbetriebnahme der Pumpen — 4′
4. Wesentliche Herausforderung Pumpe / RCA — 18′
5. Systematische Fehlersuche Anlage — 8′
6. Zusammenfassung — 3′

6

Aufbau & Funktion einer mehrstufigen Spaltrohrmotorpumpe

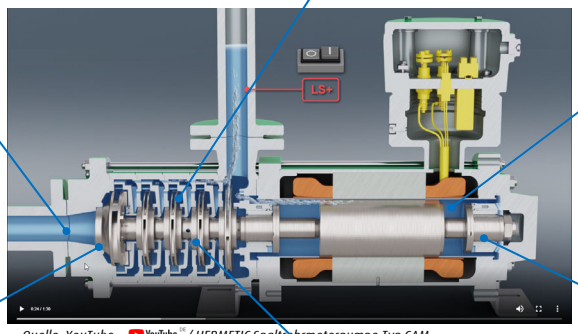


Flüssiggase, tiefe Temperaturen – Herausforderungen bei dichtungslosen Pumpen

Druckabfall Laufrad Eintritt
NPSH, Verdampfung

Wärmeeintrag hydraulische Einheit:
Erhöhung Dampfdruck

Wärmeeintrag Antrieb:
Flüssigkeit neigt zum Verdampfen



Quelle: YouTube / HERMETIC Spaltrohrmotorpumpe Typ CAM

Rückströmung Ringspalt
Erwärmung, NPSH, Verdampfung

Druckdifferenz Laufräder
Axiale Schubkräfte

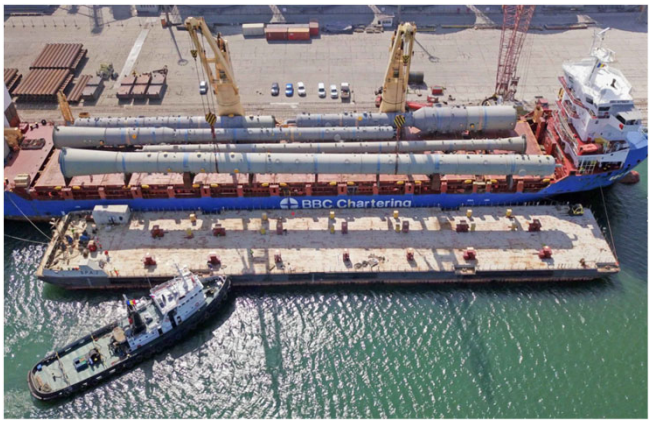
Hydrodynamische Gleitlager:
Trennungsdruck zwischen Gleitflächen

Agenda

1. Anlage Linde LLC Linde Azot Togliatti — 5′
2. Design dichtungslose Pumpen, Flüssiggas — 5′
3. Inbetriebnahme der Pumpen — 4′
4. Wesentliche Herausforderung Pumpe / RCA — 18′
5. Systematische Fehlersuche Anlage — 8′
6. Zusammenfassung — 3′

Logistik / Inbetriebnahme

- Die Ausrüstung wurde an Produktionsstandorten auf der ganzen Welt hergestellt.
- Das hat eine komplexe Logistik zur Folge. (Verschiffung der Großbauteile auf der Wolga, entfernte Lage der Ammoniakfabrik)
- Ursprünglich Start-up im Sommer geplant. Temperatur für Team und Equipment einfacher, einfache Dampfreinigung der Komponenten, keine spezielle Kälteschutzkleidung etc.
- Kleine Verzögerungen von Bauteilen können in der Lieferkette zu größerer Gesamtverzögerung führen.
- Anstelle des ursprünglichen Start-ups im Sommer hat sich dieser auf Januar verschoben.
- Auf den nächsten Sommer zu warten, war keine Option.
- Start-up bei -28°C (Dampfreinigung etc.) erwies sich als zusätzliche Herausforderung.



Inbetriebnahme Flüssiggaspumpe

Inbetriebnahme durch Service Engineer, Januar 2017

Starkes Vibrieren

Keine äußerlichen Schäden

Entscheidung Demontage

Schäden:

Axial: hydrodynamische Gleitlager

Radial: Steuerscheibe Entlastungsringe

Ausfall

axiale Steuerung und hydrodynamische Gleitlager

Axial

Bild 01 / Lagerbuchse

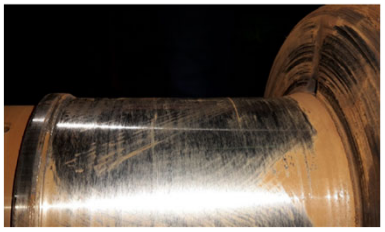


Bild 02 / Lagerhülse

Radial

Bild 03 / Steuerscheibe

Quelle / HERMETIC Service Report

Notfall / Plan

Emergency Action Plan:

Option 1: Vorhandene Pumpen im Lager des Endkunden
Eventueller Umbau und Eignung geprüft
=> Nicht verwendbar

Option 2: Reparatur in der Anlage Linde Azot Togliatti
=> Schaden zu groß

Option 3: Reparatur in Deutschland
=> Logistik lösbar
=> Verzollung wenig beherrschbares zeitliches Risiko

Option 4: Lokale Reparatur mit Servicepartner
=> Sankt Petersburg
=> Transport per Lastwagen ca. 1800 km
=> Vor Ort Monitoring Linde & HERMETIC Team

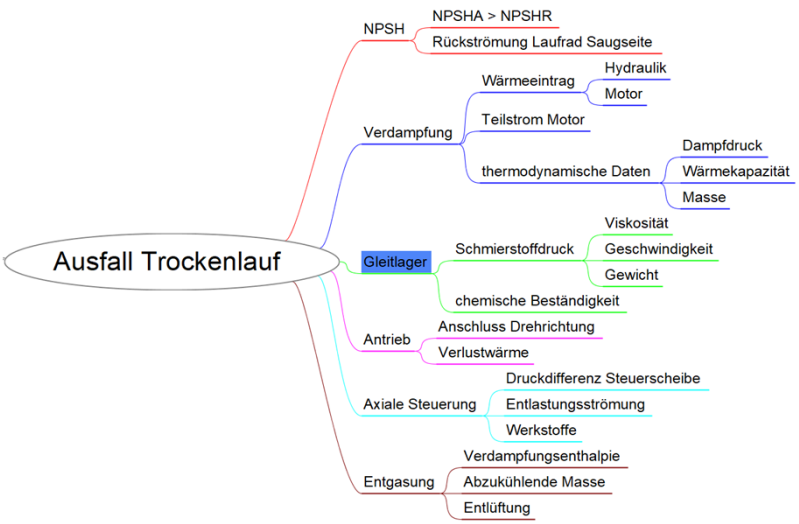
AUSFALLURSACHE ?

Quelle: HERMETIC Service Partner

Agenda

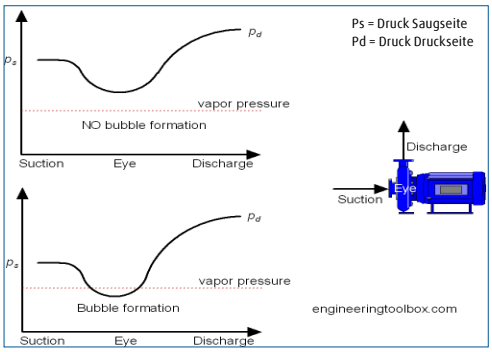
1. Anlage Linde LLC Linde Azot Togliatti — 5′
2. Design dichtungslose Pumpen, Flüssiggas — 5′
3. Inbetriebnahme der Pumpen — 4′
4. Wesentliche Herausforderung Pumpe / RCA — 18′
5. Systematische Fehlersuche Anlage — 8′
6. Zusammenfassung — 3′

Ausfall Pumpe RCA – Root Cause Analysis



NPSH

NPSHr = erforderlicher NPSH Wert der Pumpe
Beim Eintritt in das Laufrad erfährt das Fördermedium eine Beschleunigung, die lokal zu einer Druckabsenkung unter den Siedepunkt führen kann.



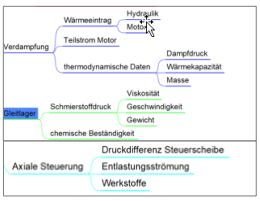
Quelle/engineeringtoolbox.com

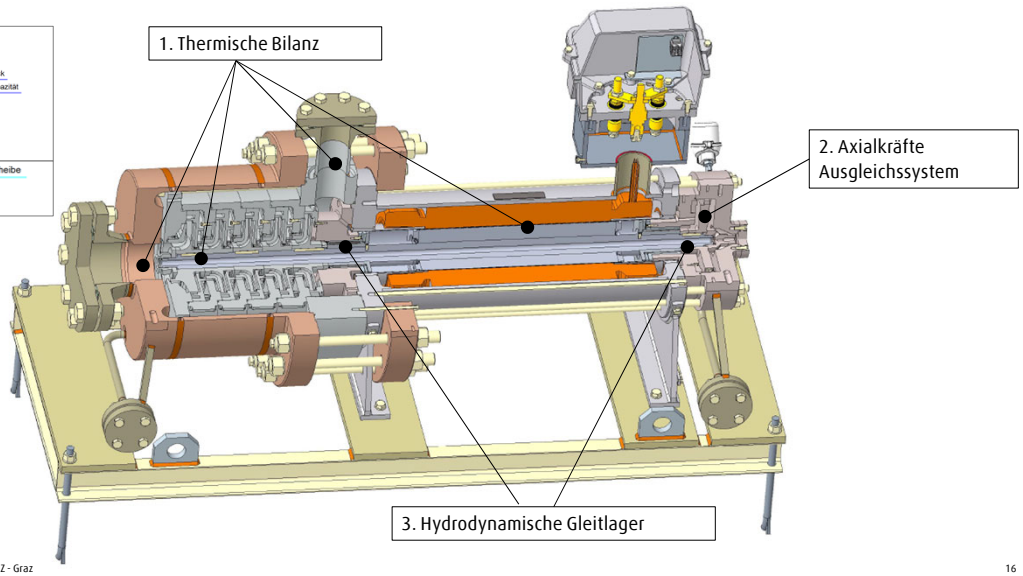
Pump rated data			allowable operating range $Q_{min,ad}$	Q_r	$Q_{max,ad}$	
Flow rate	Q		20,0	90,0	100,0	m3/h
Head	H			349,0		m
Power input	P			100,00	106,00	kW
Differential pressure	$p_{1\text{-}2}$	on density		23,50		bar
Net pos. suction head req. NPSHR			1,80	2,50	3,20	m
Impeller diameter	Ø	Perform. curve	240,0			mm
Suction head	$z_{A1\text{-}1}$					m
Suction lift	$z_{1\text{-}A1}$					m
Installation inlet pressure	p_{A1}					bar
Net pos. suction head avail. NPSHA		available	4,4 m			m

Quelle: HERMETIC Pump data sheet

15

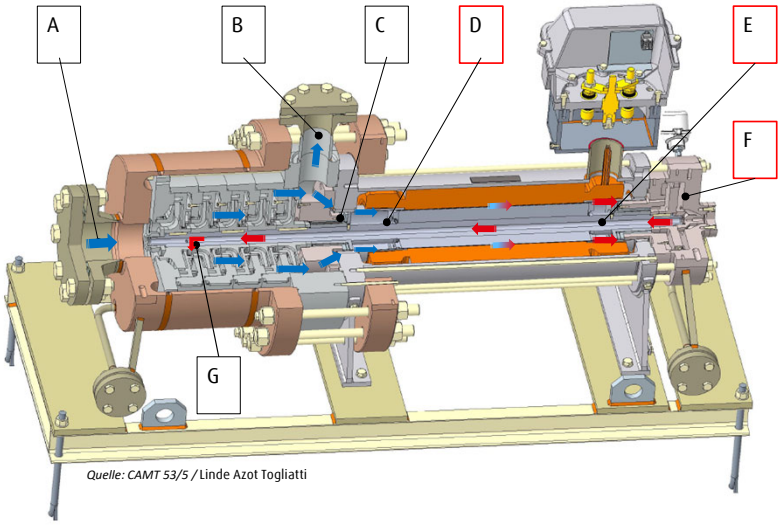
Thermodynamik / Steuerung / Gleitlager



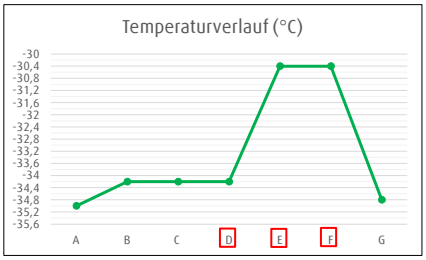


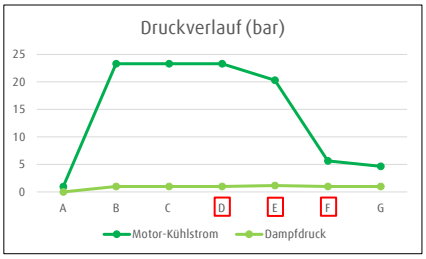
16

Thermodynamik



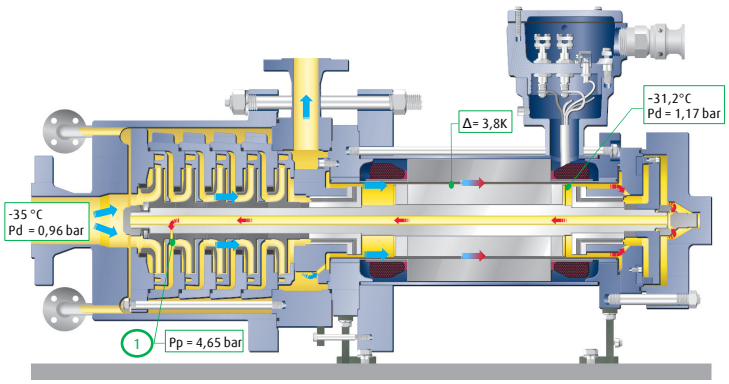
Quelle: CAMT 53/5 / Linde Azot Togliatti





17

Thermodynamik



Heat balance of canned motor pumps

Customer:	Linde AG		
Order/quote:	4110019004		
Pos.-No.:	10		
Customer-Item-No.:	5003 P01 A+B		
Pump:	CAMT 52/5		
Q_{BEP}	120	[m3/h]	
No. of stages	5		
Reentry after stage	1		
Motor:	N81W-2h ATEX		
No load losses	P0	17.44	[kW]
Load parameter	A1	0.00041	
Loss coefficient	B1	4.1	
Cooling flow	Q9	3.3	[m3/h]
Fluid:	NH3		
Temperature	-35	[°C]	

Performance curve for water

Q [m3/h]	0	60	120
H [m]	437	400	270
P [kW]	81.7	120	160
NPSH [m]	2.5	2.8	4.3

1

Delta Temp. Delta Dampd. | Geringste Drucküberlagerung | Sicherheit Hmin-DHT

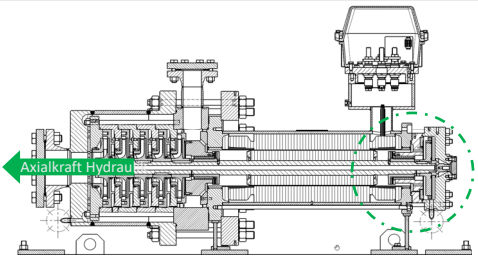
Results:

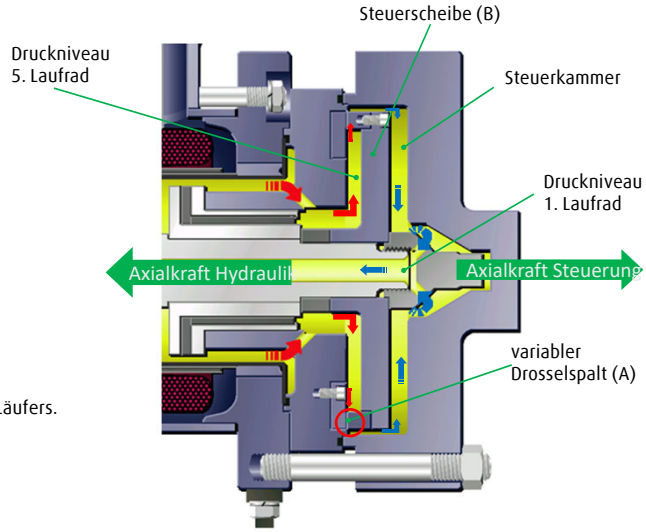
Q [m3/h]	H [m]	P [kW]	N1 [kW]	N2 [kW]	QT [m3/h]	DT [K]	DHT [m]	Hmin [m]	S [m]	DTges [K]	DTS [K]	NPSH* [m]
20.0	435.0	64.5	48.3	19.1	9.2	6.5	5.0	87.0	82.0	4.0	0.2	2.6
30.0	430.1	68.8	44.8	19.4	9.2	5.1	3.8	86.0	82.2	2.5	0.1	2.6
40.0	422.7	73.2	41.7	19.6	9.1	4.4	3.3	84.5	81.3	1.8	0.0	2.6
50.0	412.6	77.6	39.2	19.9	9.0	4.0	3.0	82.5	79.5	1.4	0.0	2.7
60.0	400.0	82.1	37.3	20.2	8.8	3.9	2.8	80.0	77.2	1.1	0.0	2.8
70.0	384.8	86.6	36.4	20.5	8.7	3.8	2.8	77.0	74.2	1.0	0.0	3.0
80.0	367.0	91.1	36.4	20.8	8.5	3.8	2.8	73.4	70.6	0.8	0.0	3.2
90.0	346.6	95.6	37.5	21.2	8.2	3.8	2.8	69.3	66.5	0.8	0.0	3.4
100.0	323.7	100.2	39.9	21.6	7.9	3.9	2.9	64.7	61.8	0.7	0.0	3.7

Ergebnis:
Drucküberlagerung 4,65bar > Dampfdruck(max) 1,17bar

18

Axialschubausgleich Mehrstufige Pumpe CAMT 52/5





Quelle: HERMETIC Academy / Axial Balance

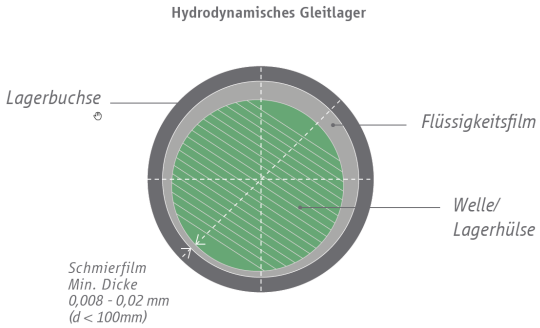
- Axialkraft der Hydraulik zur Saugseite
  => variable Drossel (A) schließt
- Ventilwirkung des Drosselspaltes
  => Druck vor Steuerscheibe öffnet den Drosselspalt
- Der Druck in der Steuerkammer ändert sich mit der axialen Position des Läufers.
- Die axiale Stellung regelt sich im Betrieb automatisch
  => kraftneutraler Gleichgewichtszustand

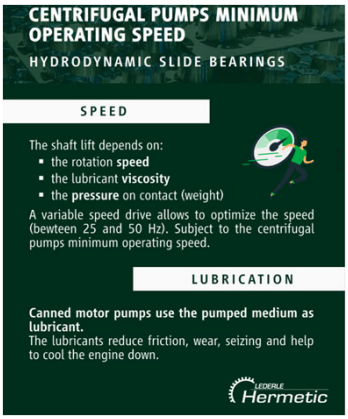
---- Axial thrust ----		
SV	MS	PS
mm	kg	kg
0,12	121	1002
0,10	115	1029
0,10	129	1048
0,09	126	1023
0,09	116	1136

Gleitlager

Funktion: **Verringerung von Verschleiß und Reibung zwischen zwei sich zueinander bewegenden Bauteilen**

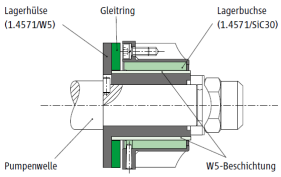
- ⇨ Geeigneter Schmierstoff und Schmierverfahren
- ⇨ Die Flüssigkeit wird durch die relative Bewegung der Kontaktflächen in den Schmierspalt gefördert.
- ⇨ Der Druck im Schmierstoff ist so hoch, dass die Kontaktflächen sich voneinander abheben.





Quelle: HERMETIC LinkedIn.com
https://www.linkedin.com/posts/

Hydrodynamische Lagerung Berechnung und Grenzen



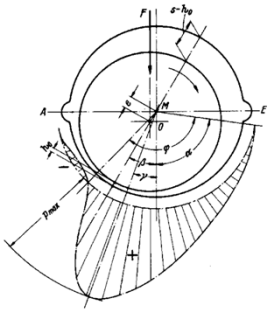
Quelle: HERMETIC Produktion Gleitlager

Ergebnis:

Viskosität vorhanden	0,21 cP
Mindestens erforderliche Viskosität	0,09 cP

Journal bearing capacity

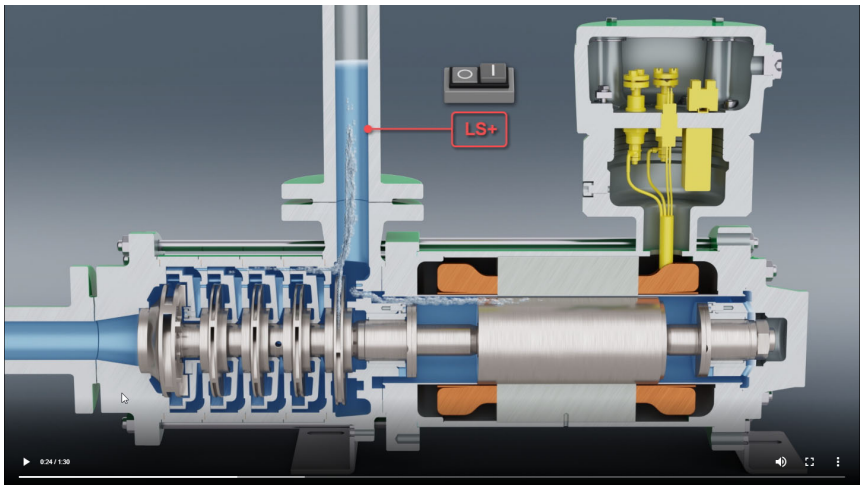
Customer:	Linde AG	
Order/quote:	4110019004	
Pos.-No.:	10	
Customer-Item-No.:	5003 P01 A+B	
Pump:	CAM52/5	
Density	1	[kg/l]
Cycles	2900	[1/min]
Impeller weight	8.5	[kg]
No. of stages	5	
Length of impeller hub	80	[mm]
Motor:	N81W	
Distance impeller - pump side bearing	105	[mm]
Dist. center of rotor - pump side bearing	695	[mm]
Bearing distance	1098	[mm]
Bearing diameter	80	[mm]
Rotor weight	86.2	[kg]



Results:

Q/Q_{BEP} [-]	R [kg]	A [kg]	B [kg]	K [kg]	η_{min} [cP]
0.00	0.00	84.40	44.30	84.40	0.09
0.20	0.00	84.40	44.30	84.40	0.09
0.40	0.00	84.40	44.30	84.40	0.09
0.60	0.00	84.40	44.30	84.40	0.09
0.80	0.00	84.40	44.30	84.40	0.09
1.00	0.00	84.40	44.30	84.40	0.09

Entgasung mehrstufige Dichtungslose Pumpe



Quelle: YouTube / HERMETIC Spaltrohrmotorpumpe Typ CAM

Befüllung über Druckstutzen

1

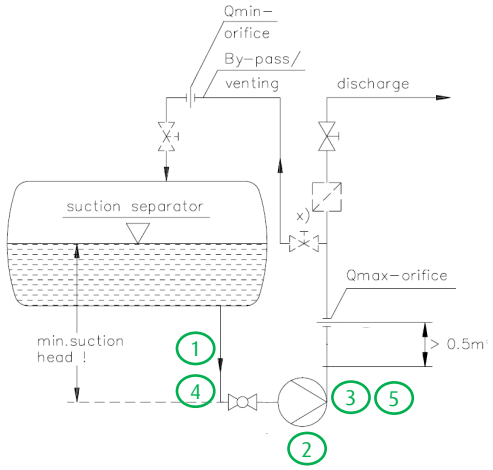
Luftpolster im Bereich der Laufräder, Motor und Gleitlager entgasen während des Befüllvorgangs oder kurz danach vollständig

2

System selbstentlüftend

Herausforderung bei Flüssiggasen
- Temperatur Flüssigkeit & Bauteile
- Differenz Dampfdruck
- Installation

Korrekte Entlüftung und Start Temperatur bei Flüssiggasen



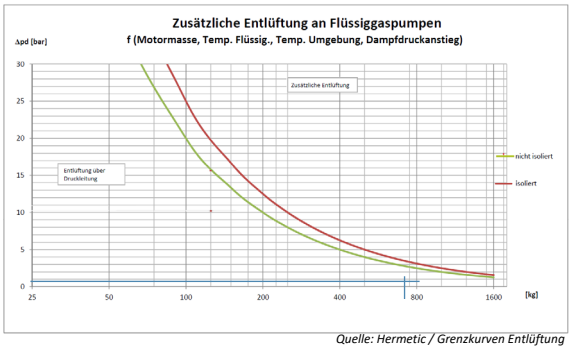
Prinzip automatisches Entlüften bei Flüssiggasen:

1. Kalte Flüssigkeit fließt in die Pumpe
2. Flüssigkeit verdampft
3. Pumpe entgast und kühlt durch Verdampfungsenthalpie stetig ab
4. Kalte Flüssigkeit fließt in die Pumpe nach
5. Bei T Pumpe = T Flüssigkeit Behälter:
   - Druckausgleich Pumpe / Saugbehälter
   - Pumpe entgast
   - Start der Pumpe

Grenzen automatisches Entgasen

Bewertungskriterien f (abzukühlende Masse, Temperatur Flüssigkeit, Temperatur Umgebung, Dampfdruckanstieg)

- Energieeintrag über das Motorgehäuse bzw. über die Wicklung so groß ist, dass die Selbstentgasung über den Druckstutzen nicht mehr ausreicht, also etwa beim Abstellen der Pumpe oder bei intensiver Sonneneinstrahlung.
- Das Kriterium ist: abzukühlende Motormasse x Dampfdruckdifferenz darf eine kritische Größe nicht überschreiten.
- Grenzkurven für Aufstellung im Raum und/oder isolierte Pumpen sowie Aufstellung mit Eintrag Strahlungswärme Bsp. Sonneneinstrahlung



Quelle: Hermetic / Grenzkurven Entlüftung

Dp Dampfdruck Flüssigkeit - Atmosphäre

Ergebnis:

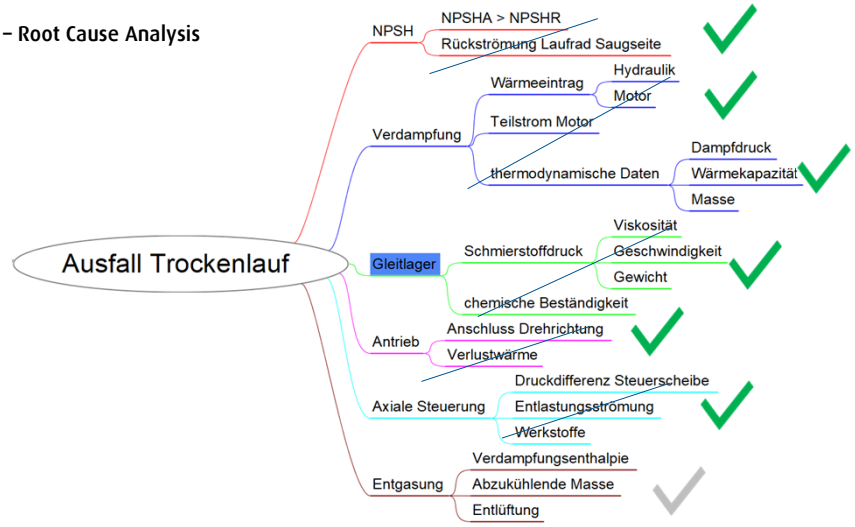
Umgebung	pd NH3	-20°C	2bar
Flüssigkeit	pd NH3	-40°C	0,8bar
Delta pd			1,2bar

Masse Motor: 700kg

Ergebnis: Schnittpunkt unterhalb Grenzkurve

Zusammenfassung RCA Pumpe

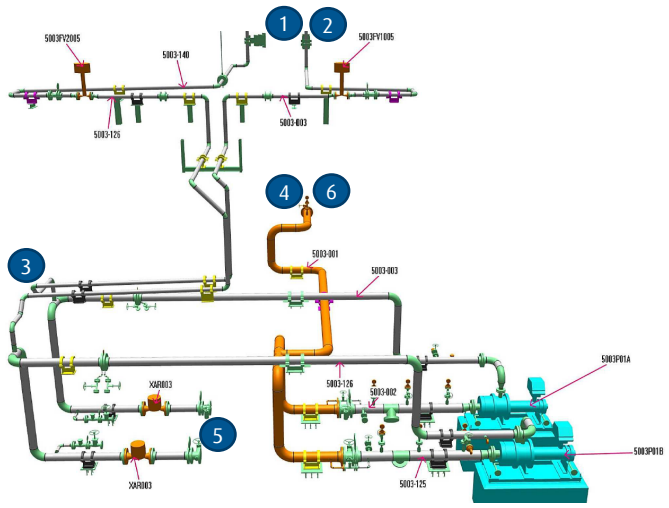
Ausfall Pumpe RCA – Root Cause Analysis



Agenda

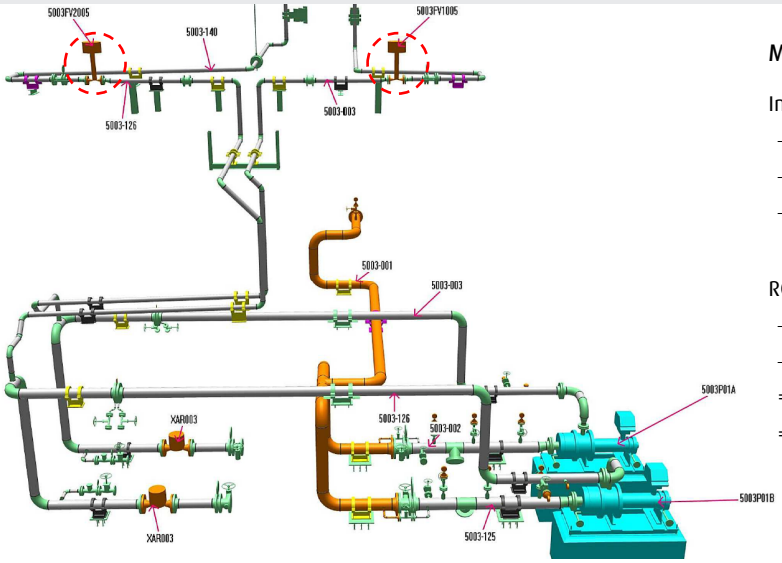
1. Anlage Linde LLC Linde Azot Togliatti — 5′
2. Design dichtungslose Pumpen, Flüssiggas — 5′
3. Inbetriebnahme der Pumpen — 4′
4. Wesentliche Herausforderung Pumpe / RCA — 18′
5. Systematische Fehlersuche Anlage — 8′
6. Zusammenfassung — 3′

RCA Anlage



1 Füllstand NH3 Tank	NPSH (Vergasung Eintritt Pumpe) Trockenlauf (keine Flüssigkeit)	✓
2 Temperatur & Druck-absenkung NH3 Tank	NPSH (Eintritt Pumpe) NPSH (Verdampfung SMP)	✓
3 Q min Leitung	Abkühlung Masse Pumpe / Motor Min flow zu klein, Verdampfung Entgasung Pumpe / Motor	✓
4 Saugleitung Widerstände	Axialer Schub Ausgleich Hydraulik NPSH (Verdampf. Eintritt Pumpe)	✓
5 Druckleitung	Axialer Schub Ausgleich Hydraulik Entgasung Pumpe/ Motor	✓
6 Flüssigkeit	Öl - Viskosität Wasser - Eiskristalle Feststoffe	✓

RCA Anlage



Min. Flow Leitung:

Installation:

- Reinigen der Leitungen mit Heißdampf
- Trocknen der Leitungen mit Stickstoff
- Installation im Winter bei Temperuren bis zu -28°C

RCA weist auf fehlerhafte Entlüftung hin

- Entlüftung über Min. flow Leitung
- Wasseranteile in den Ventilen der min Leitung

=> Min. flow nicht gewährleistet

=> Vollständige Entgasung nicht möglich

Agenda

1. Anlage Linde LLC Linde Azot Togliatti — 5′
2. Design dichtungslose Pumpen, Flüssiggas — 5′
3. Inbetriebnahme der Pumpen — 4′
4. Wesentliche Herausforderung Pumpe / RCA — 18′
5. Systematische Fehlersuche Anlage — 8′
6. Zusammenfassung — 3′

Finale Steps

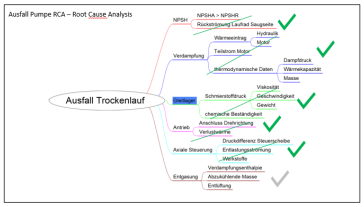
– Benötigte Ersatzteile im „fast Track“ produziert und nach St Petersburg geliefert	Feb.2017
– Reparatur in Sankt Petersburg mit Supervisor HERMETIC & Linde repariert	Feb. 2017
– Ventile auf Funktion geprüft und zusätzlich enteist	Feb. 2017
– Transport LKW von Sankt Petersburg nach Togliatti	März 2017
– Einbau der Pumpen	März 2017
– Inbetriebnahme mit HERMETIC Supervisor und techn. Fachleiter	März 2017

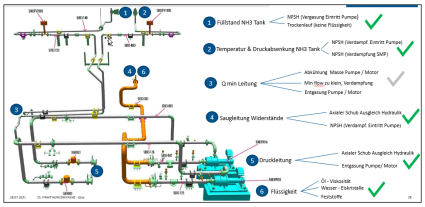
Betrieb der Anlage mit geplanter Kapazität von ca. 1340 t Ammoniak / Tag

Conclusion

Ein Bauteil kann den kompletten Anlagenstillstand verursachen.

- Das ausgefallene Equipment ist nicht zwingend die Ursache des Fehlers.
- Eine isolierte Betrachtung des Equipment Fehlers und Reparatur wäre nicht zielführend.
- Die strukturiere ganzheitliche Betrachtung in einer Root Cause Analyses mit einer systematischen Fehlersuche ist in komplexen Anlagen für Equipment und Anlage unumgänglich.





Die schnelle Einbindung von professionellen Expertenteams seitens Betreiber und Lieferanten führt zur analytischen Lösungsfindung.

Die Anlage läuft seit Inbetriebnahme, bis heute wurden störungsfrei ca. 2 Mio. Tonnen NH3 produziert

Thank you for your attention

Besonderer Dank
- *Matthias Nestler / Numatek Mokau*
- *HPZ Nasosremmontazh St. Petersburg*
- *Simon Lang / Hermetic Pumpen GmbH*
- *Jochen Zeyher / Hermetic Pumpen GmbH*
- *Andreas Rinker / Hermetic Pumpen GmbH*
- *Dr. Matthias Müller / Rotating Equipment Linde GmbH*
- *Clemens Prunner / Head Rotating Equipment Linde GmbH*