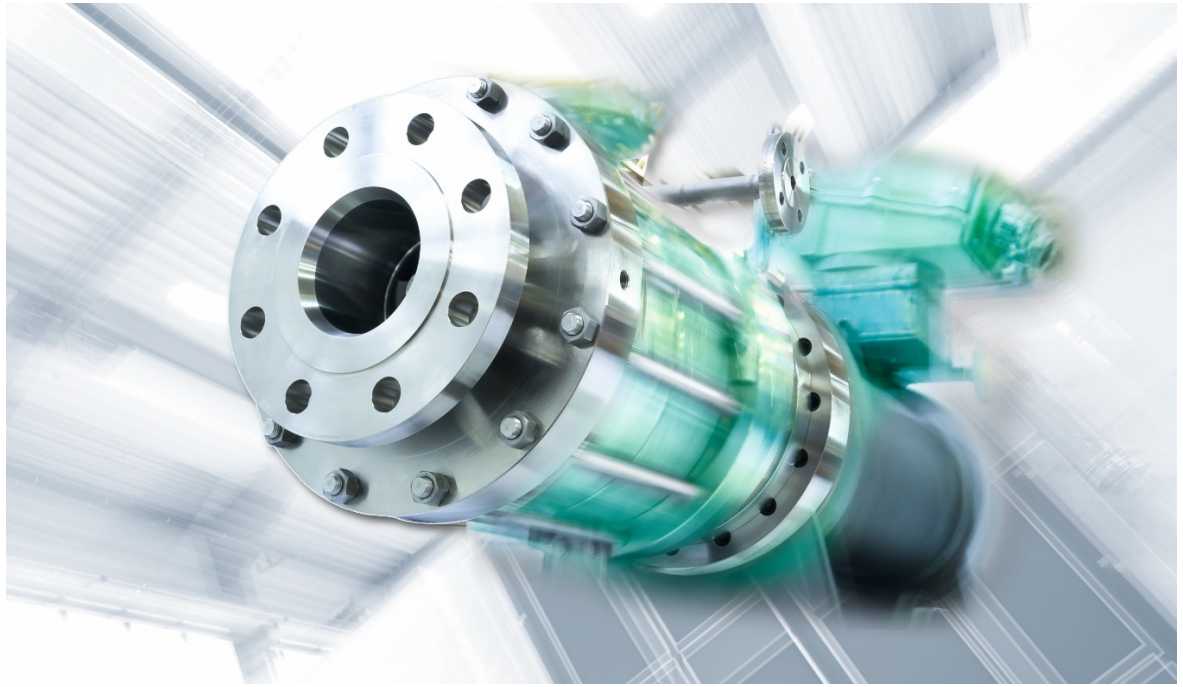
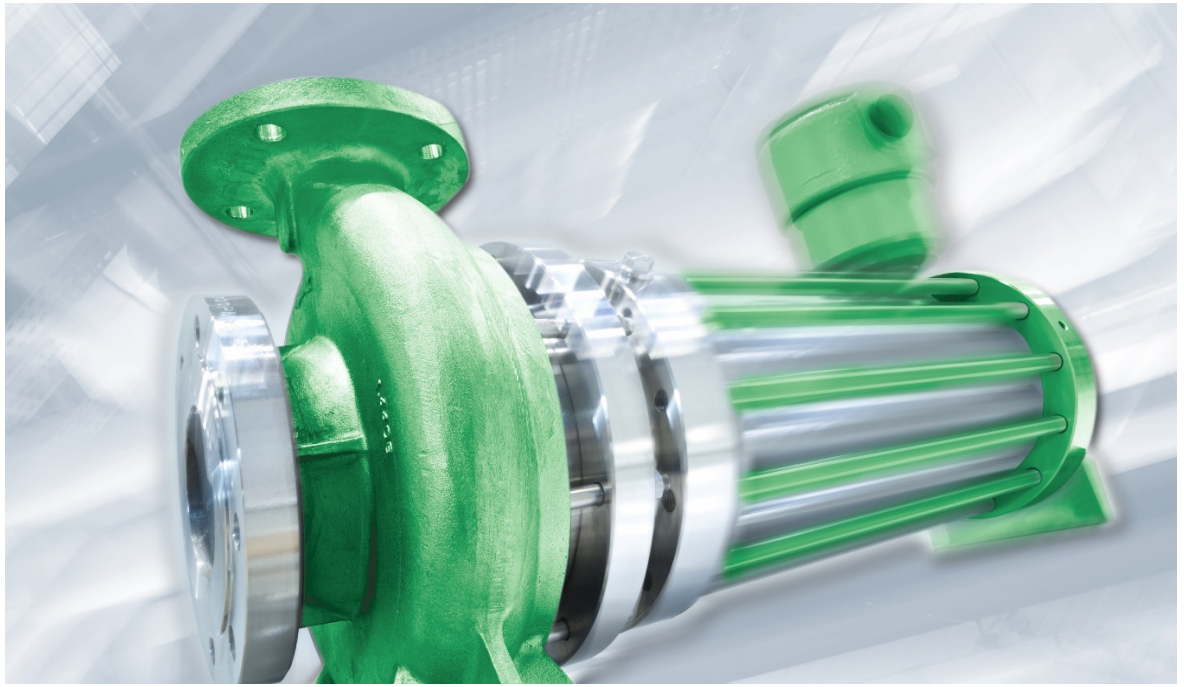




HERMETIC Pumpen GmbH

Die Spaltrohrmotorpumpe aus Hersteller- und Betreibersicht

Sealless Technology Unlimited

LEDERLE Hermetic

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

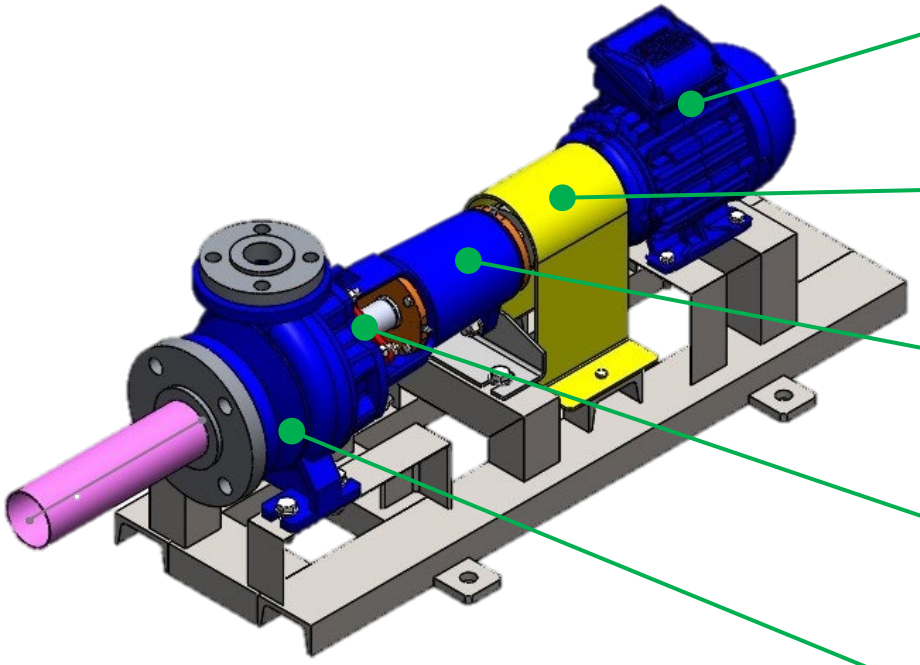
Michael Maier, Leitung Projektteam und Dokumentation, Hermetic-Pumpen GmbH
Christoph Wittmann, Bereichsleitung Technik, Hermetic-Pumpen GmbH

Die Spaltrohrmotorpumpe aus Hersteller- und Betreibersicht

- Vergleich der Kreiselpumpe mit Gleitringdichtung (GLRD) mit der Spaltrohrmotorpumpe (SMP)
- Lagerung und Antrieb
- Einfluss auf die Anlagenparameter
- Spezifische Merkmale bei der Auslegung einer Spaltrohrmotorpumpe
- Fertigungstechnische Fragestellungen anhand von Beispielen
- Typische Schadensbilder bei fehlerhaftem Betrieb

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

PRINZIPIELLER AUFBAU DER PUMPENTYPEN



Quelle: Juan Ramos, Grabcad

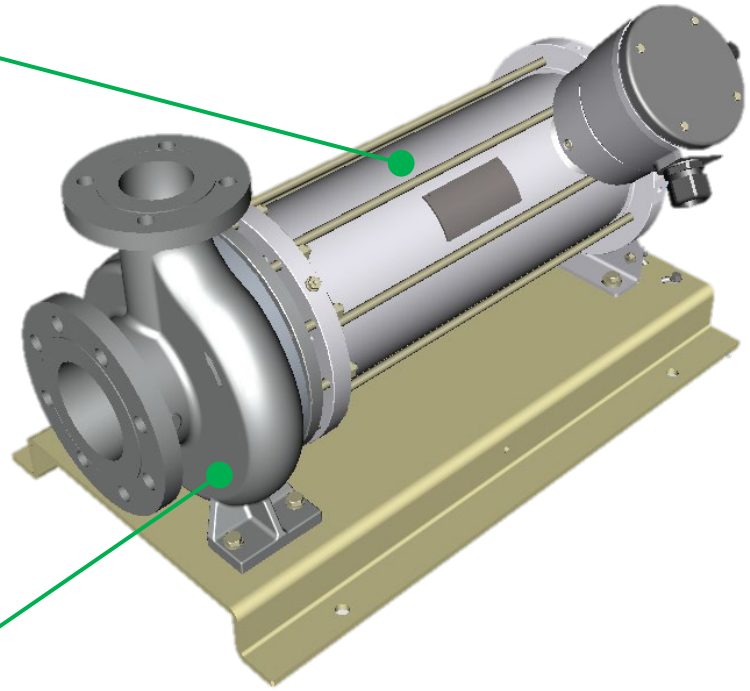
Antriebsmotor

Kupplung

Lagerträger

Wellenabdichtung

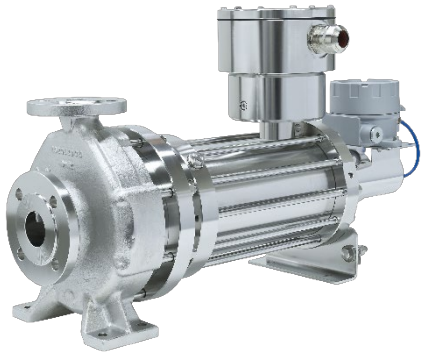
Pumpenhydraulik



LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

AUFBAU IM EINSATZGEBIET DER SMP

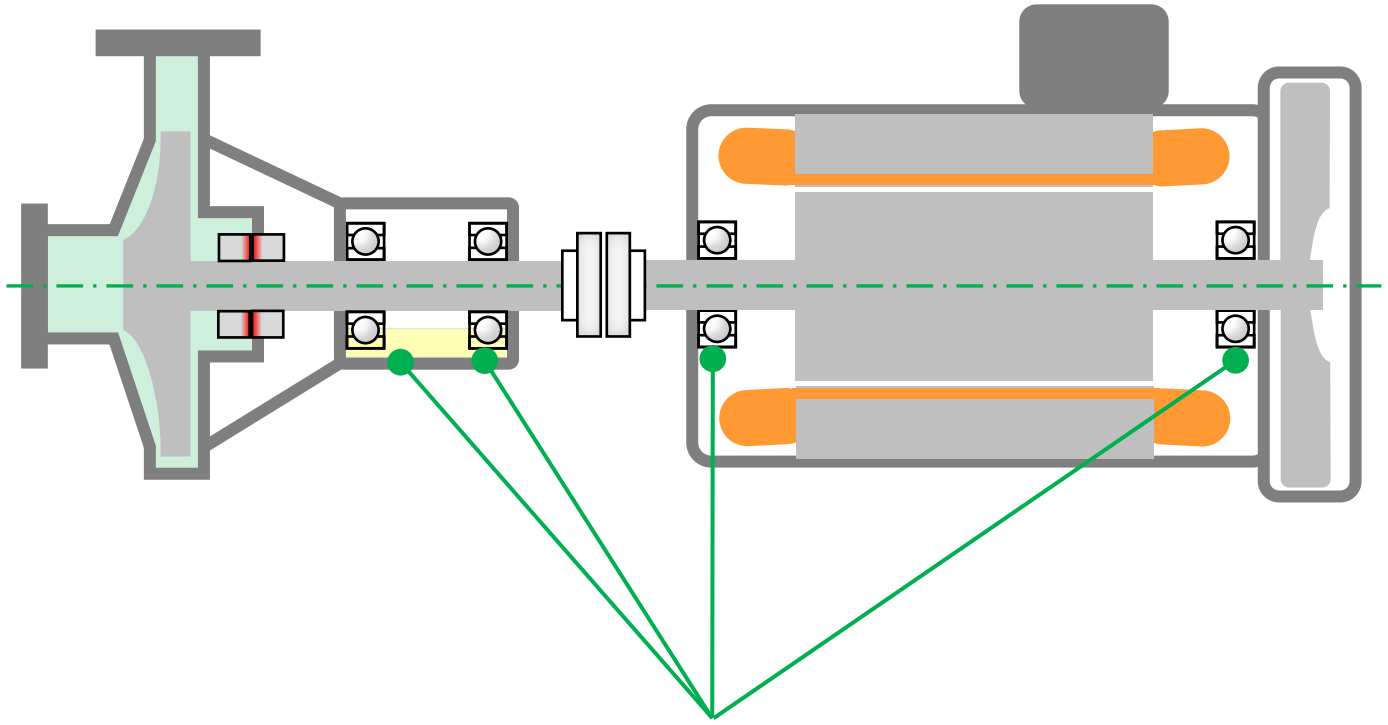
Quelle: Amarinth



- Das Einsatzgebiet der Spalrohrmotorpumpe sind Förderaufgaben mit hohen Anforderungen an die Dichtheit.
- Beide Pumpen sind für den gleichen Einsatz konzipiert.
- Auf der linken Seite eine konventionelle Pumpe mit doppelwirkender Gleitringdichtung (Wellenabdichtung)
- und auf der rechten Seite eine Spaltrohrmotorpumpe

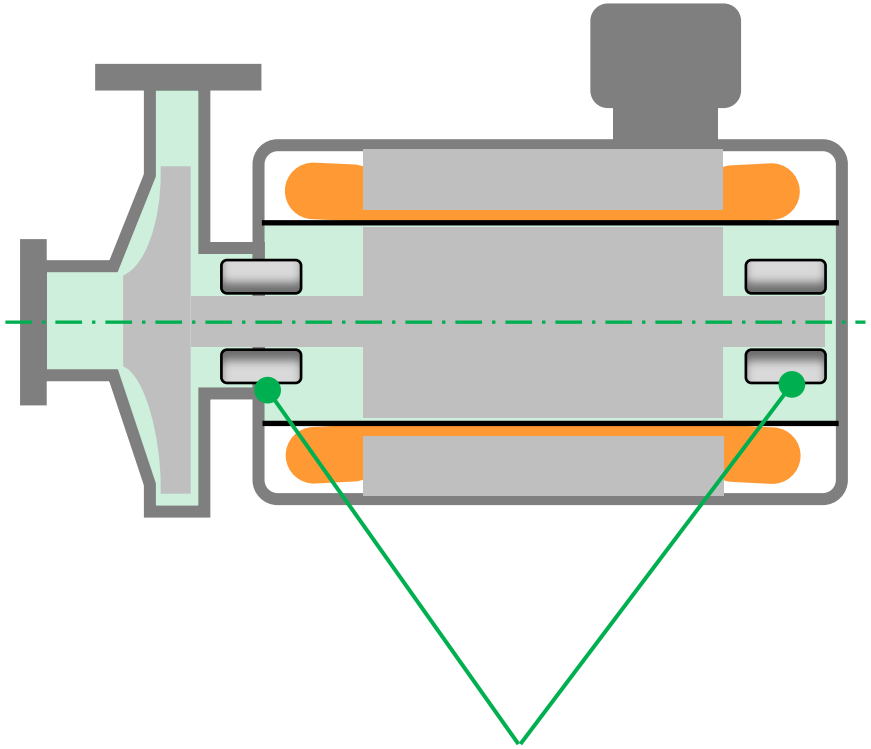
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

ART UND ANZAHL DER LAGERSTELLEN



4 Wälzlager

Kombinationen mit Gleitlagern kommen vor.



2 Gleitlager

LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

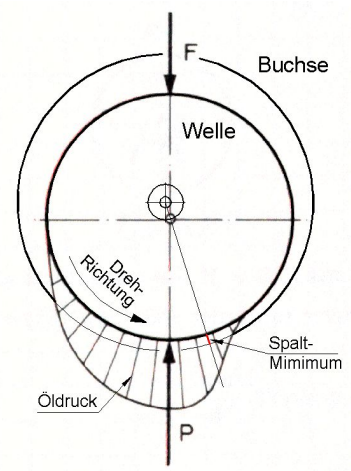
„Wer gut schmiert, der gut fährt.“

Wälzlager im Lagerträger

Quelle: Haberkorn

- Schmierung durch speziell geeignete Schmierstoffe
- Tragkraft unabhängig von der Förderflüssigkeit der Pumpe

Gleitlager in der Spaltrohrmotorpumpe

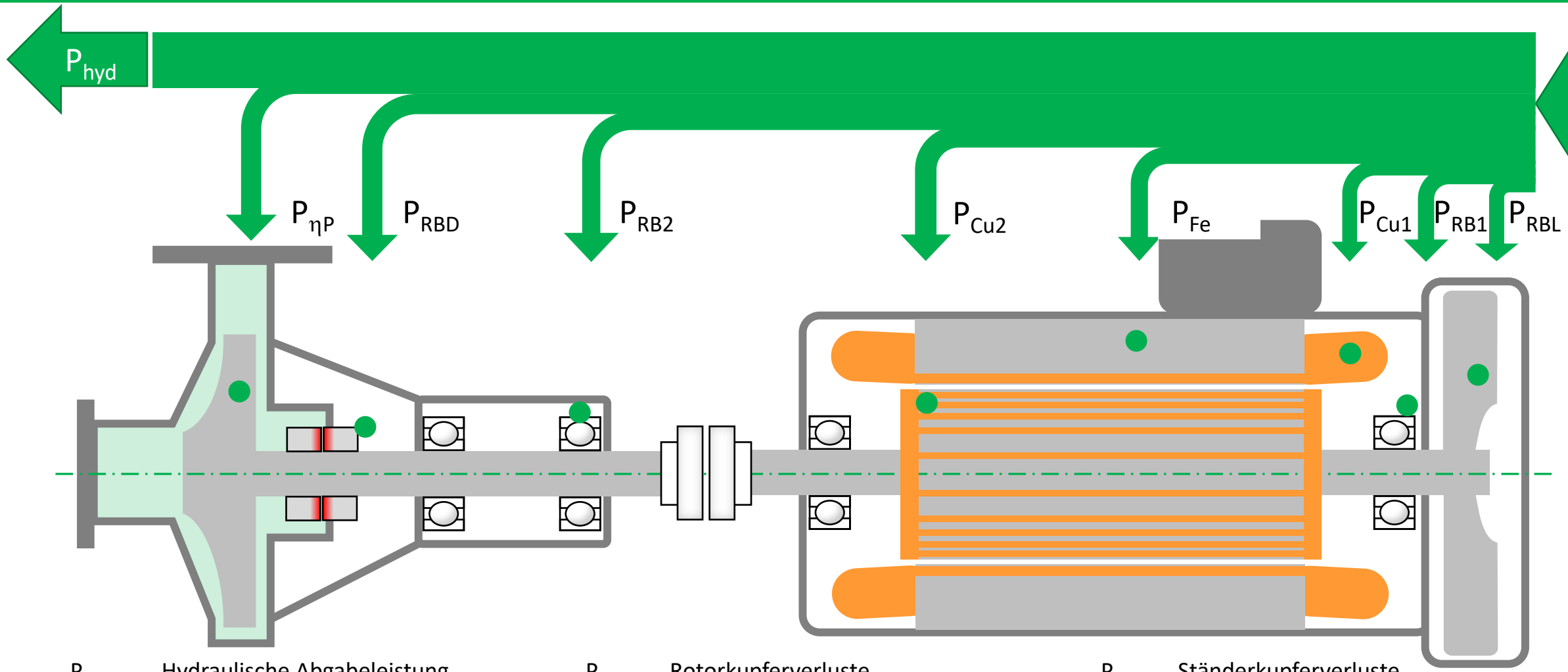


Quelle: Wikipedia

- Schmierung durch Fördermedium → gesamtes chemisches Spektrum an Fluiden
- Tragkraft und Verhalten variiert mit den Parameter der Förderflüssigkeit und ist bei der Auslegung unbedingt zu beachten

LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

ÜBERSICHT DER RELEVANTEN VERLUSTE PUMPE MIT GLRD



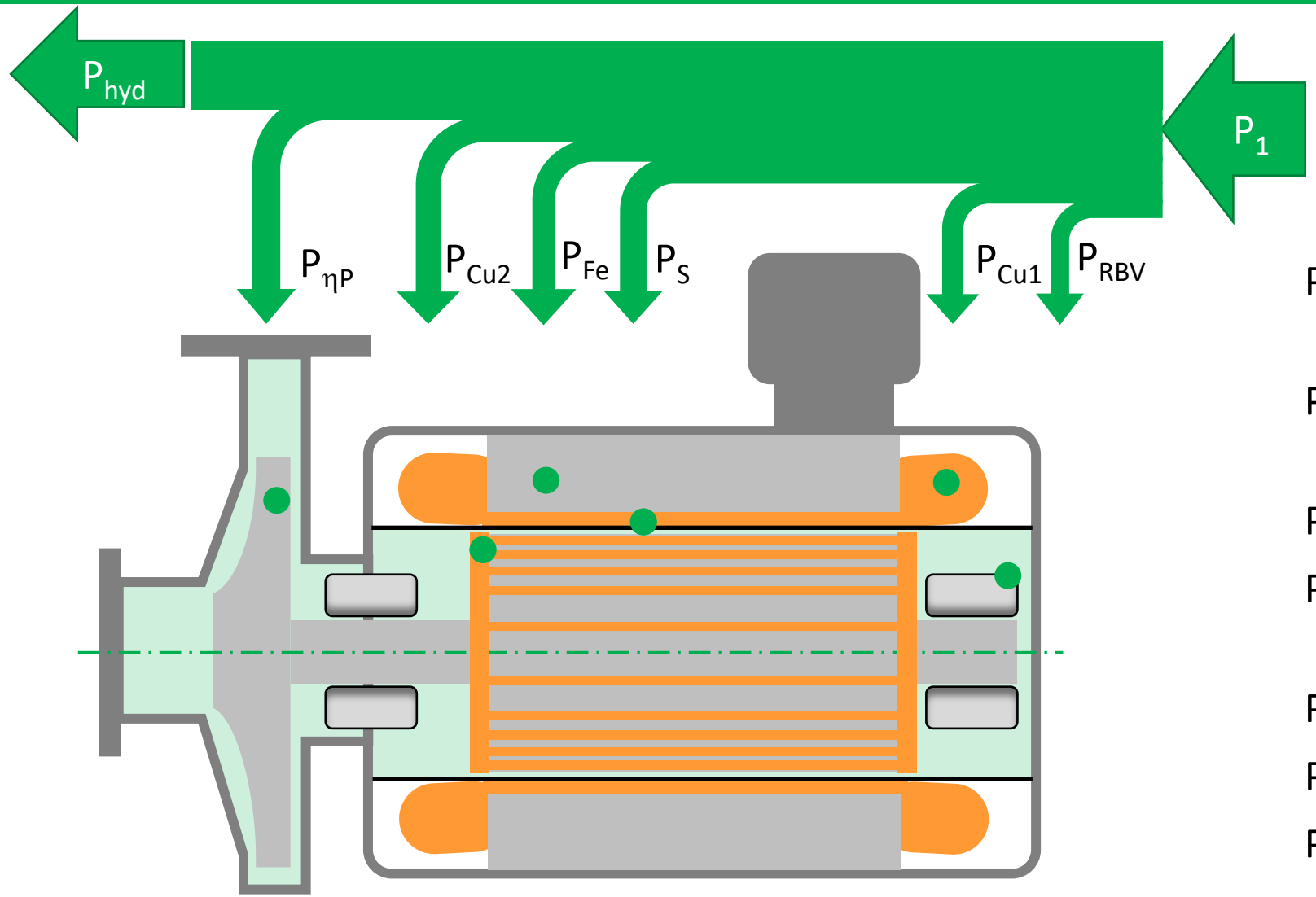
P_{hyd}	Hydraulische Abgabeleistung	P_{Cu2}	Rotorkupferverluste	P_{Cu1}	Ständerkupferverluste
$P_{\eta P}$	Verlustleistung Pumpe	P_{Fe}	Eisen- und Leerlaufzusatzverl.	P_1	Elektrisch aufgenommene Leistung
P_{RBL}	Reibungsverluste im Motorlüfter	$P_{RB1/2}$	Reibungsverluste in den Lagern	P_{RBD}	Reibungsverluste Wellenabdichtung

Sealless Technology Unlimited

LEDERLE Hermetic

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

ÜBERSICHT DER RELEVANTEN VERLUSTE SMP

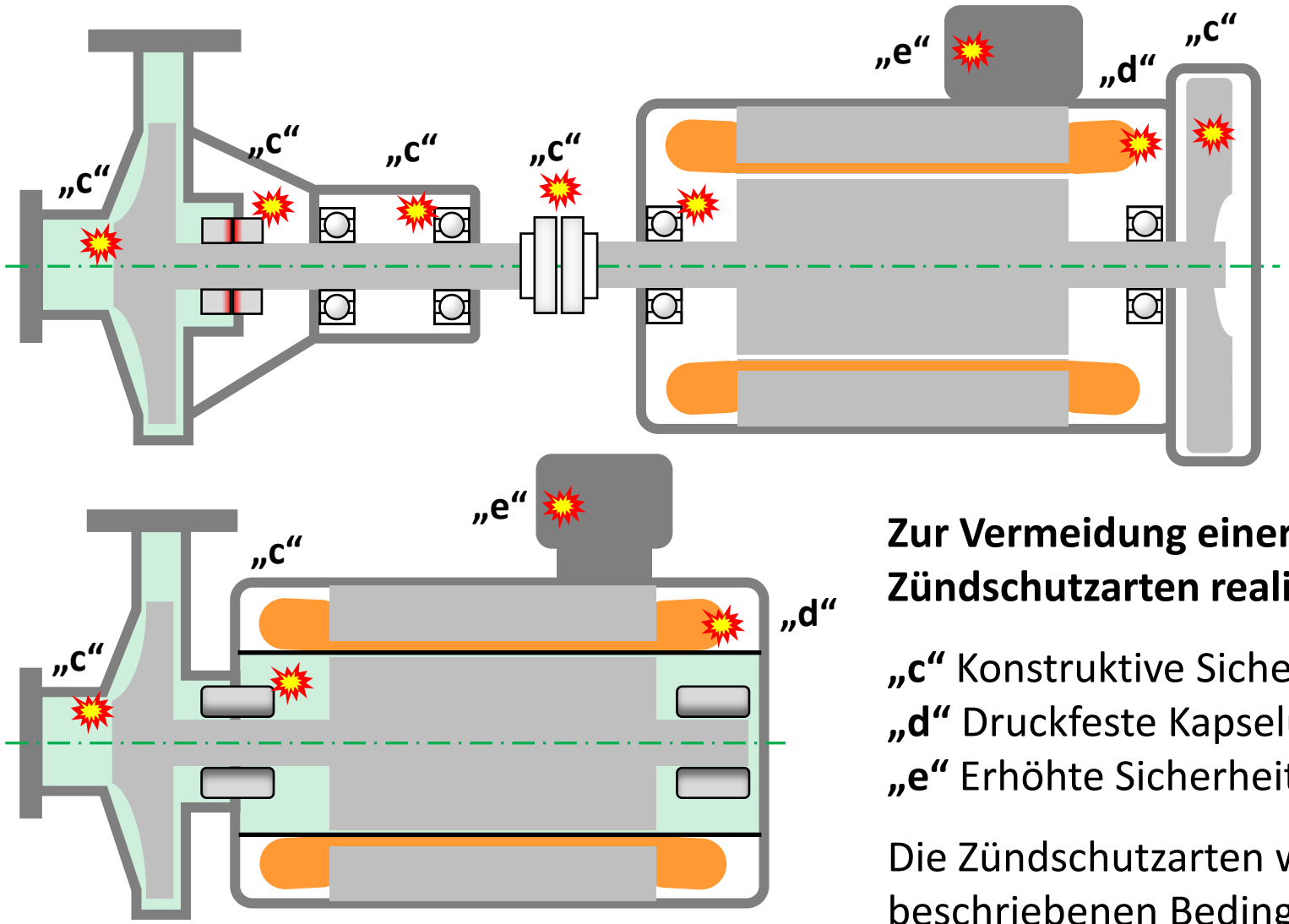


P_1	Elektrisch aufgenommene Leistung
P_{RBV}	Flüssigkeits-Reibungsverluste in den Gleitlagern und dem Rotor
P_{Cu1}	Ständerkupferverluste
P_S	Wirbelstromverluste im Spaltrohr
P_{Fe}	Eisen- und Leerlaufzusatzverl.
P_{Cu2}	Rotorkupferverluste
$P_{\eta P}$	Verlustleistung Pumpe
P_{hyd}	Hydraulische Abgabeleistung

Sealless Technology Unlimited

LEDERLE Hermetic

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH



Die für beide Pumpenarten in Betracht kommenden Zünd-quellenarten nach EN 1127-1 sind:

- Heiße Oberflächen
- Mechanisch erzeugte Funken
- Statische Elektrizität

Zur Vermeidung einer Zündgefahr werden entsprechende Zündschutzarten realisiert:

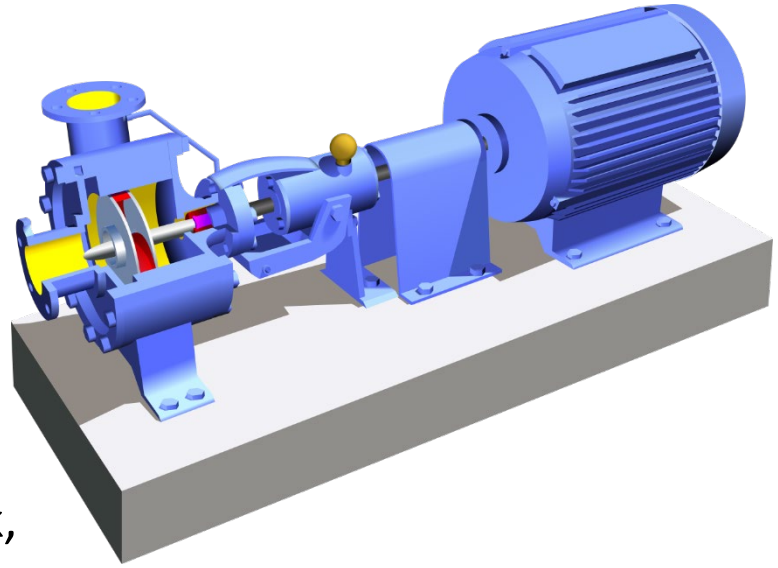
„c“ Konstruktive Sicherheit nach ISO 80079-37
„d“ Druckfeste Kapselung nach IEC 60079-1
„e“ Erhöhte Sicherheit nach IEC 60079-7

Die Zündschutzarten wirken nur, wenn die in der Betriebsanleitung beschriebenen Bedingungen eingehalten bzw. überwacht werden.

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

ÜBERWACHUNG AN PUMPEN MIT GLRD

- Füllstand (Trockenlaufschutz) Ex
- Drehrichtung, Drehzahl
- Motortemperatur Ex
- Medientemperatur Ex
- Fördermenge, -druck
- Axialspiel, Verschleiß
- Sperrmedium (Füllstand, Druck, Durchfluss, Temperatur) Ex

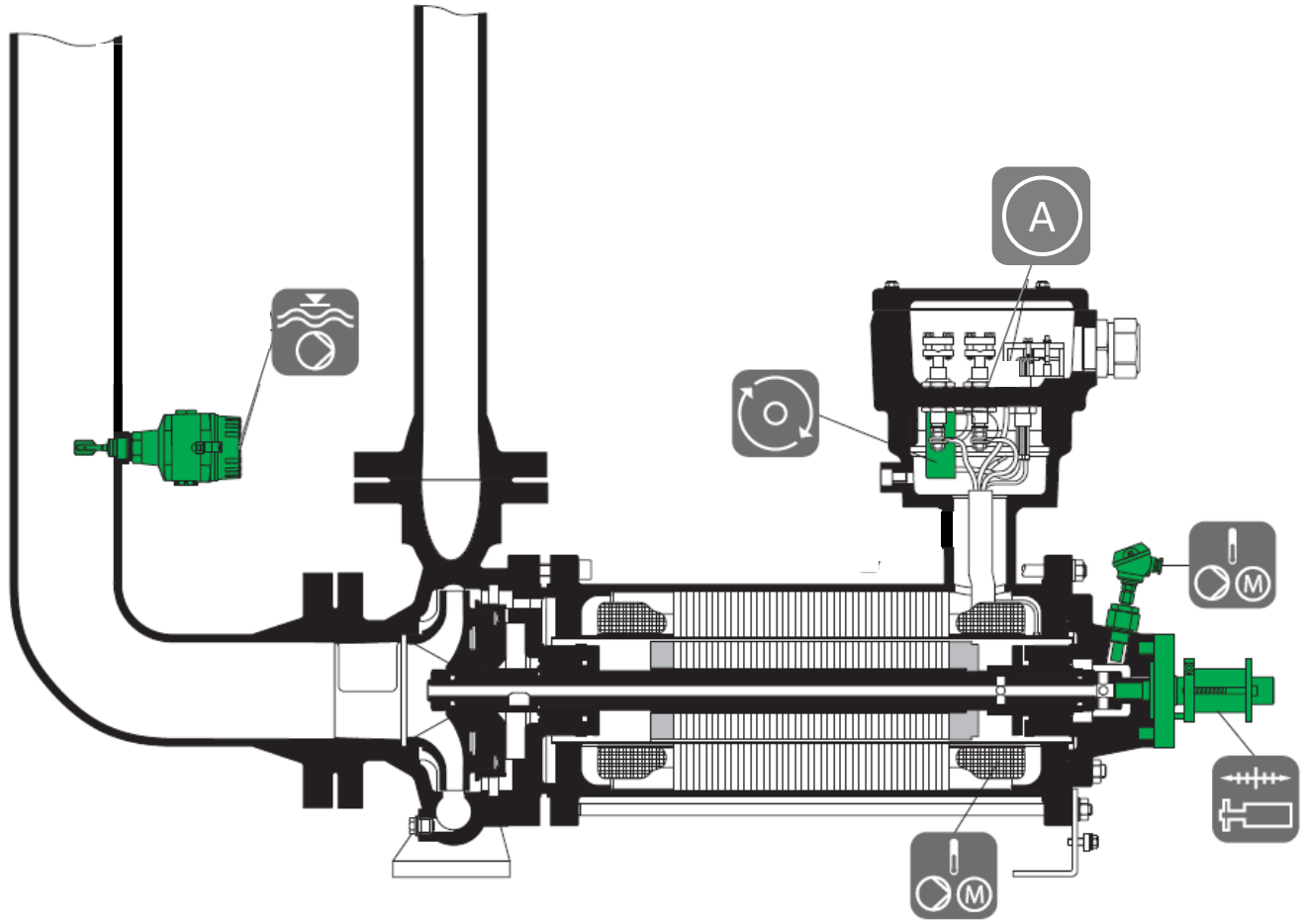


- Maschinenschwingungen, Schall
- Strom- Leistungsaufnahme, cosφ Ex
- Lagerzustand (Schwingung)
- Lagertemperatur Ex
- Ölstand, -qualität
- Leckage, Durchfluss, Temperatur)

LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

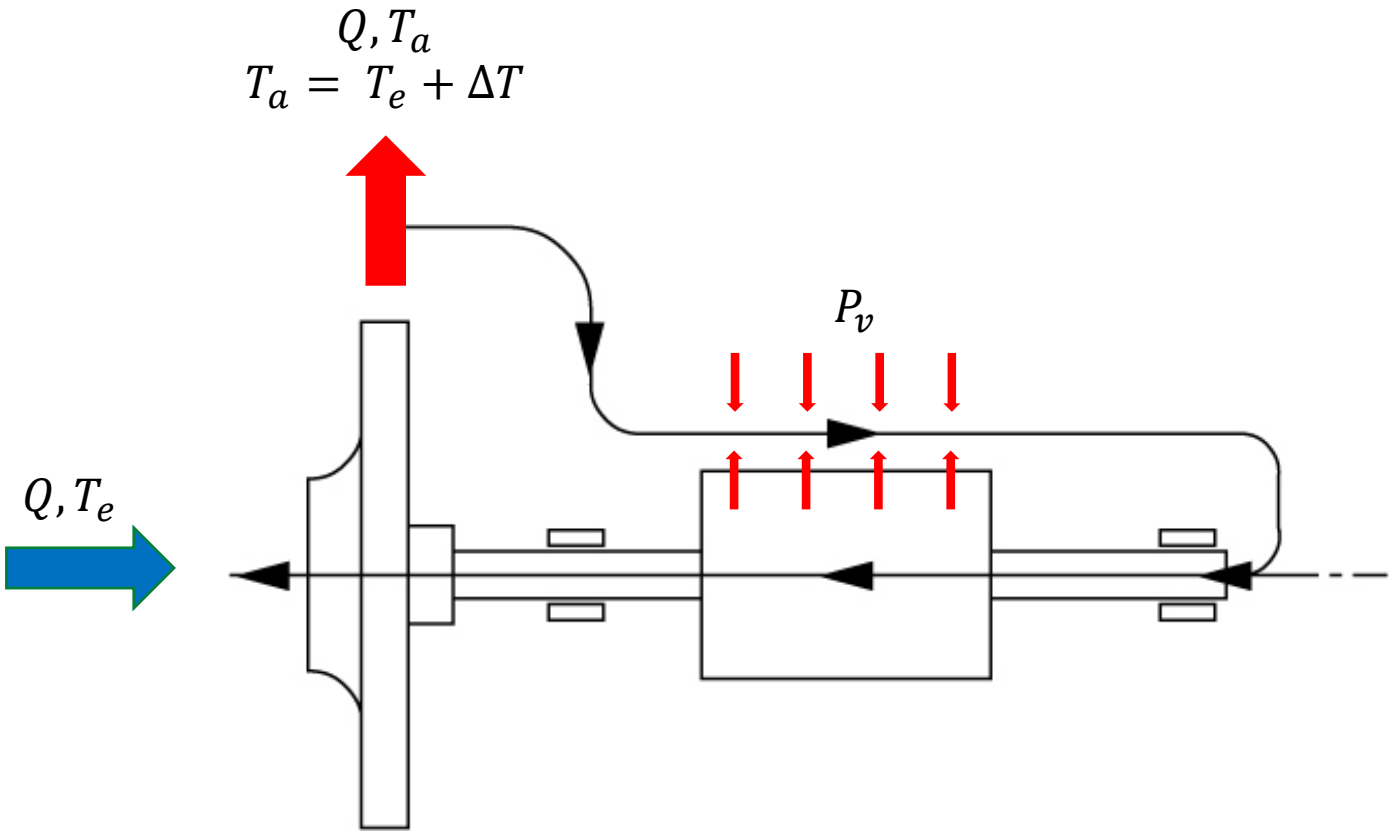
ÜBERWACHUNG AN SPALTROHRMOTORPUMPEN

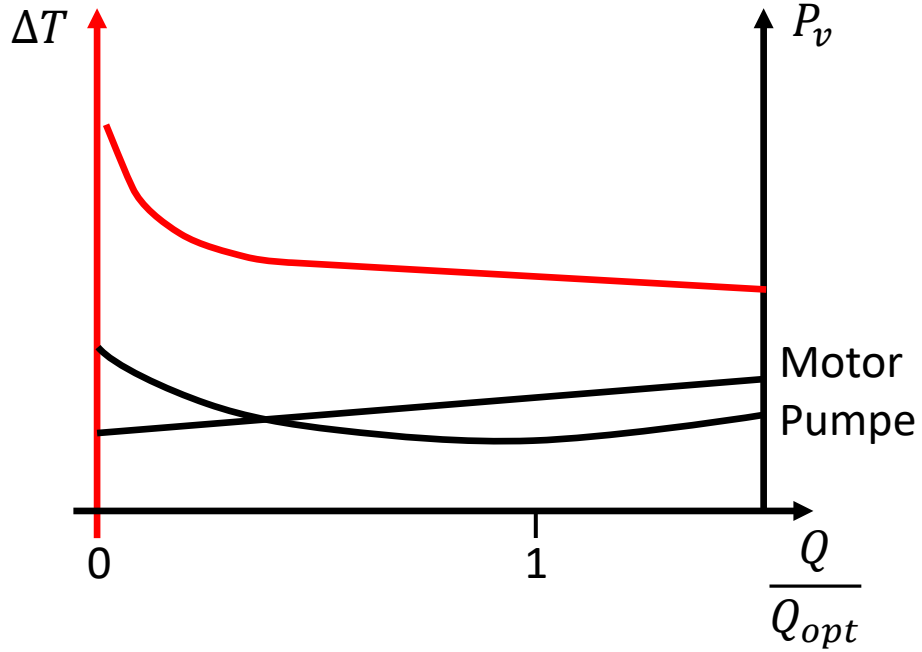
- Füllstandsüberwachung Förderflüssigkeit
- Temperatur Motorkühlstrom
- Rotor-Positions-Überwachung
- Motordrehrichtungskontrolle
- Stromaufnahme



LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

EINFLUSS AUF ANLAGENPARAMETER (ERWÄRMUNG FÖRDERMEDIUM)

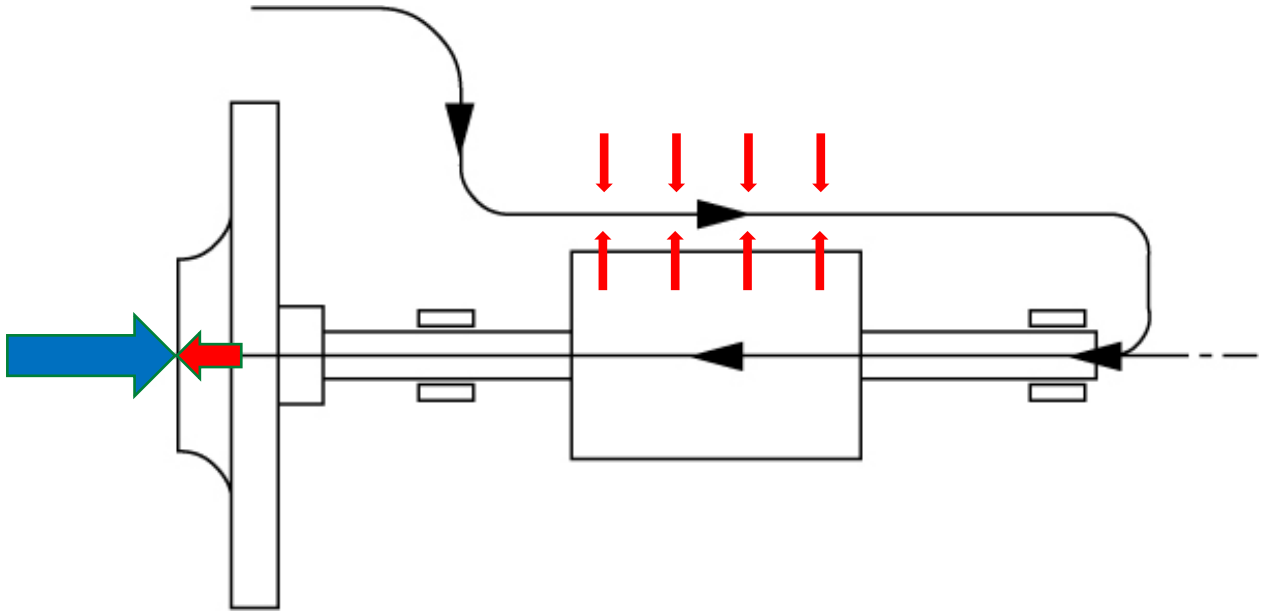


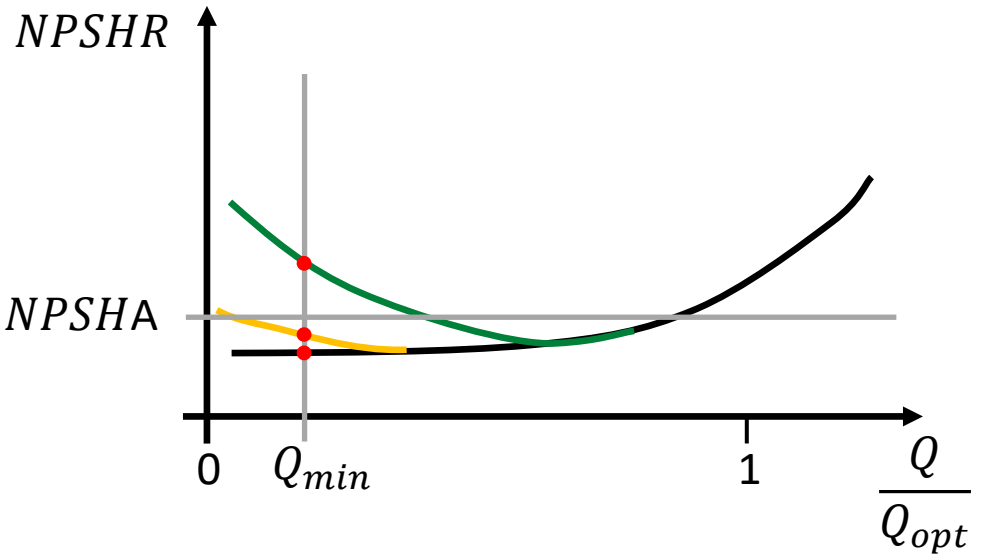


Q	Fördermenge	P_v	Verlustleistungen	$T_{e/a}$	Temperatur Eintritt / Austritt
Q_{opt}	Verlustleistungen	ΔT	Erwärmung Förderstrom	P_v	Verlustleistungen

LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

EINFLUSS AUF ANLAGENPARAMETER (NPSH)



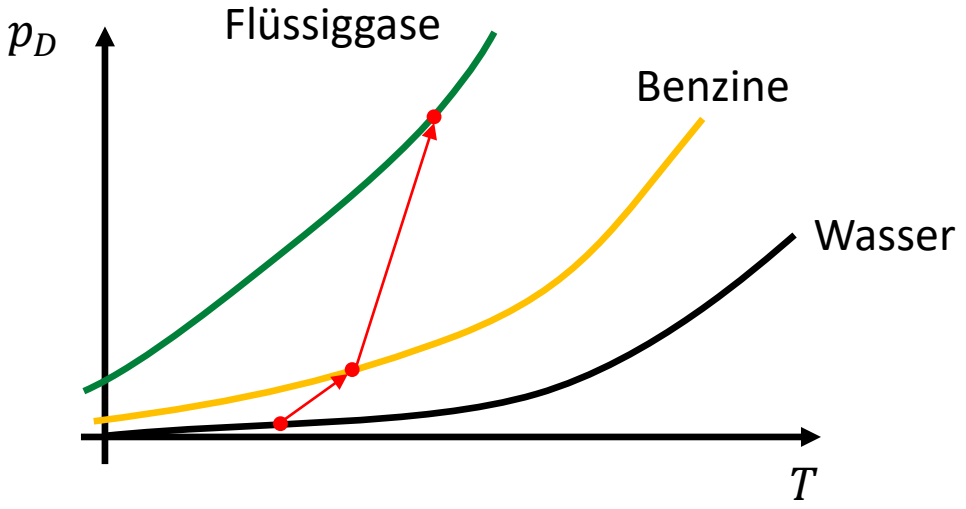


$$NPSH_{vorhanden} = \frac{p_e - p_D}{\rho g} + \frac{{c_e}^2}{2g} + z_e - z_S - H_v$$ vgl. DIN EN ISO 17769-1

Fluide mit hohen Dampfdrücken haben in der Regel eine schlechtere Wärmekapazität.

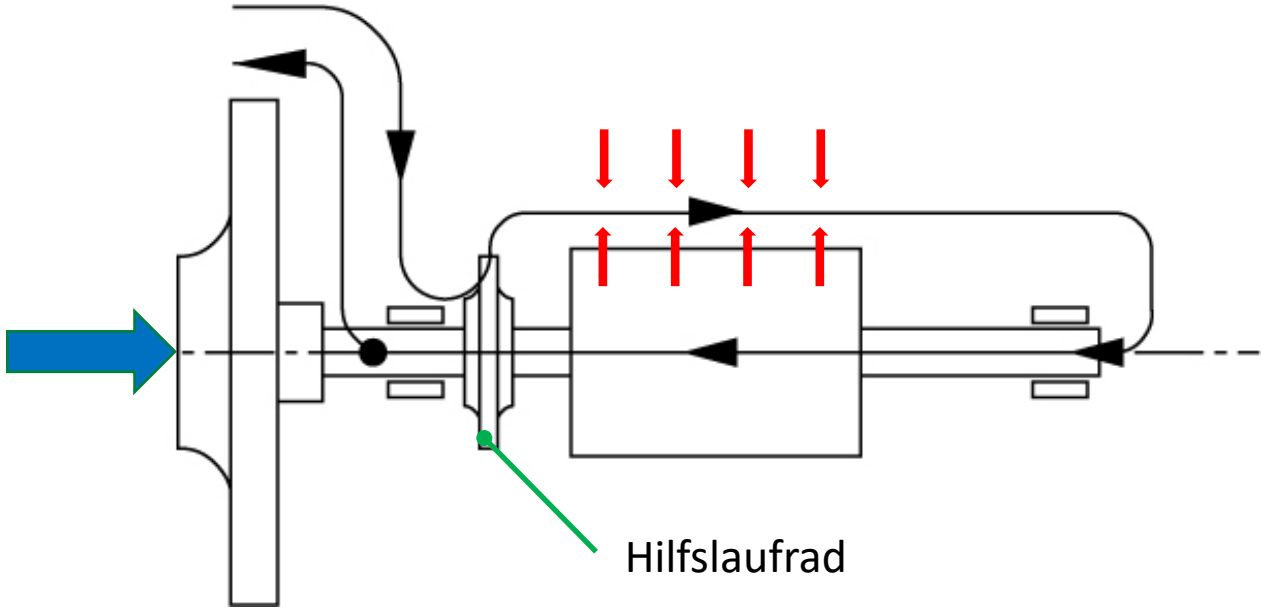
→ Die Erwärmung, der Dampfdruckanstieg und damit die NPSH Verschlechterung nimmt bei sonst gleichem Betriebszustand zu.

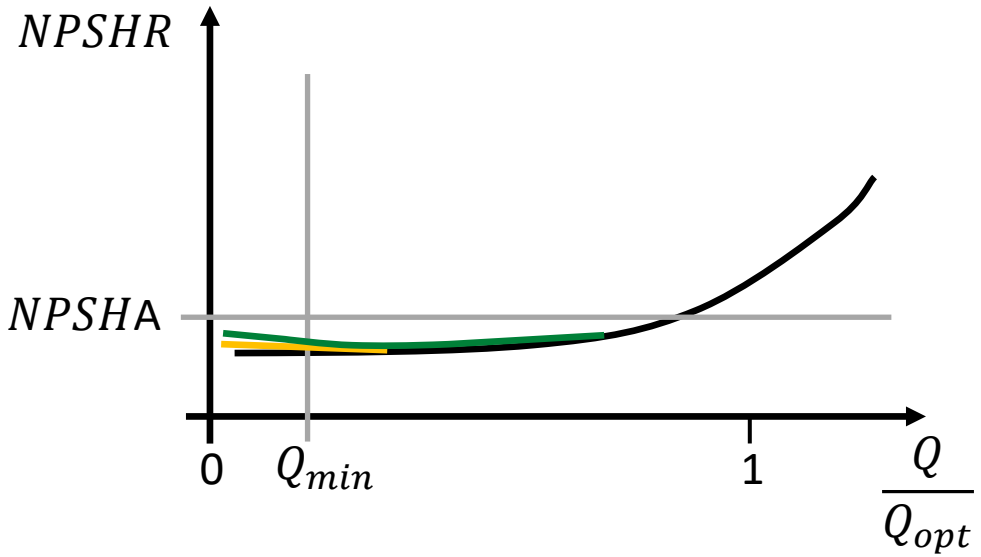
Die Ermittlung und Korrektur des Dampfdruckanstiegs erfolgt durch den Hersteller und Angabe des korrigierten NPSHR der Pumpe.



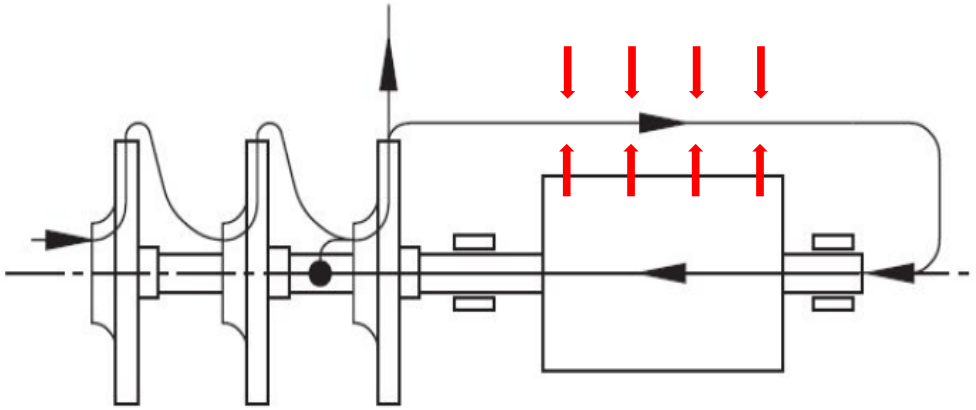
LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

EINFLUSS AUF ANLAGENPARAMETER (NPSH FLÜSSIGGASAUSFÜHRUNG)



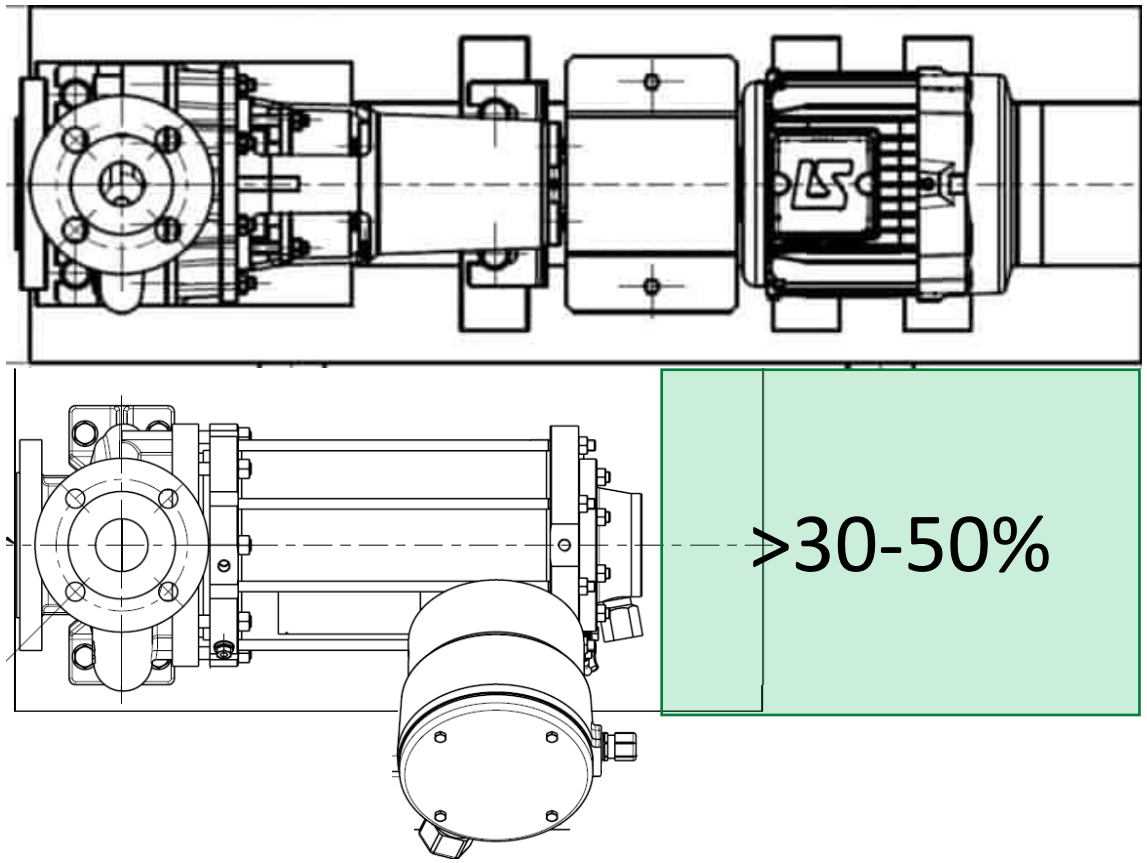


Der Einbau eines Hilfslaufrades ermöglicht eine Zirkulation zurück zur Druckseite. Der NPSHR Anstieg ist wieder „normal“. Bei mehrstufigen Pumpen erhalten die Laufräder nach dem Sauglaufrad die Zirkulation des Motorkühlstroms.



LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

EINFLUSS AUF ANLAGENPARAMETER (PLATZBEDARF IN DER ANLAGE)

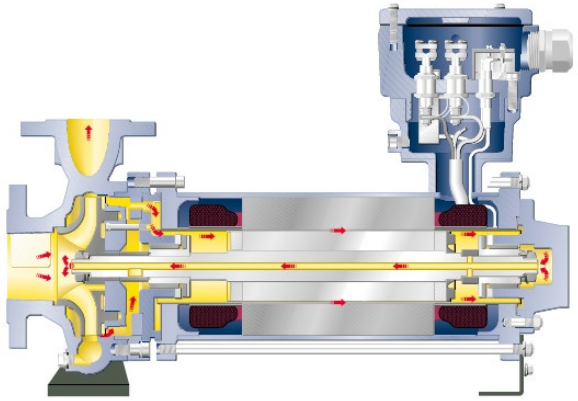


- Der Platzbedarf ist durch die kompakte Bauweise stark reduziert.
- Da keine präzise Ausrichtung von Pumpe und Motor über die Grundplatte erfolgen muss, sind bestehen geringe Anforderungen an die Grundplatte
- In vielen Fällen kann die Pumpe auch fundamentlos auf Schwingungsdämpfer aufgestellt werden.

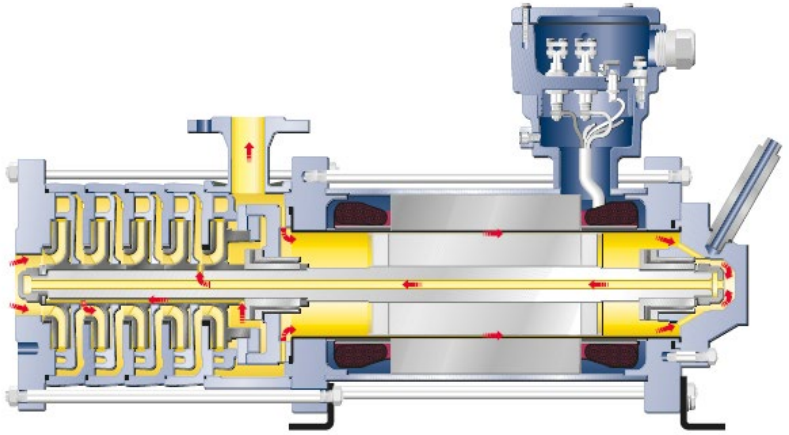
LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

TYPISCHE BAUFORMEN

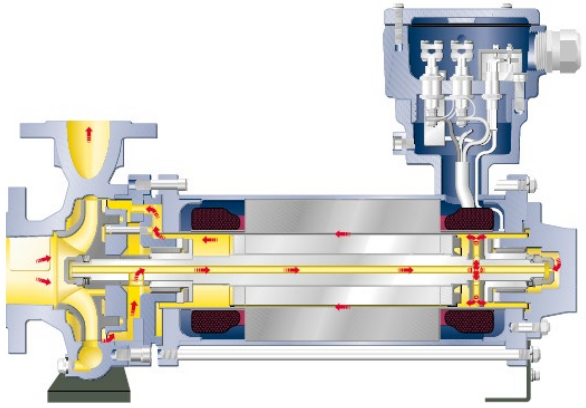
Einstufige Normalausführung



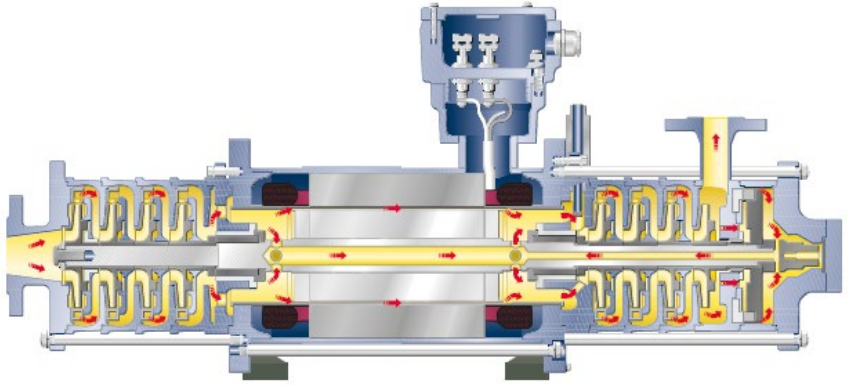
Mehrstufige Ausführung



Einstufige Flüssiggasausführung



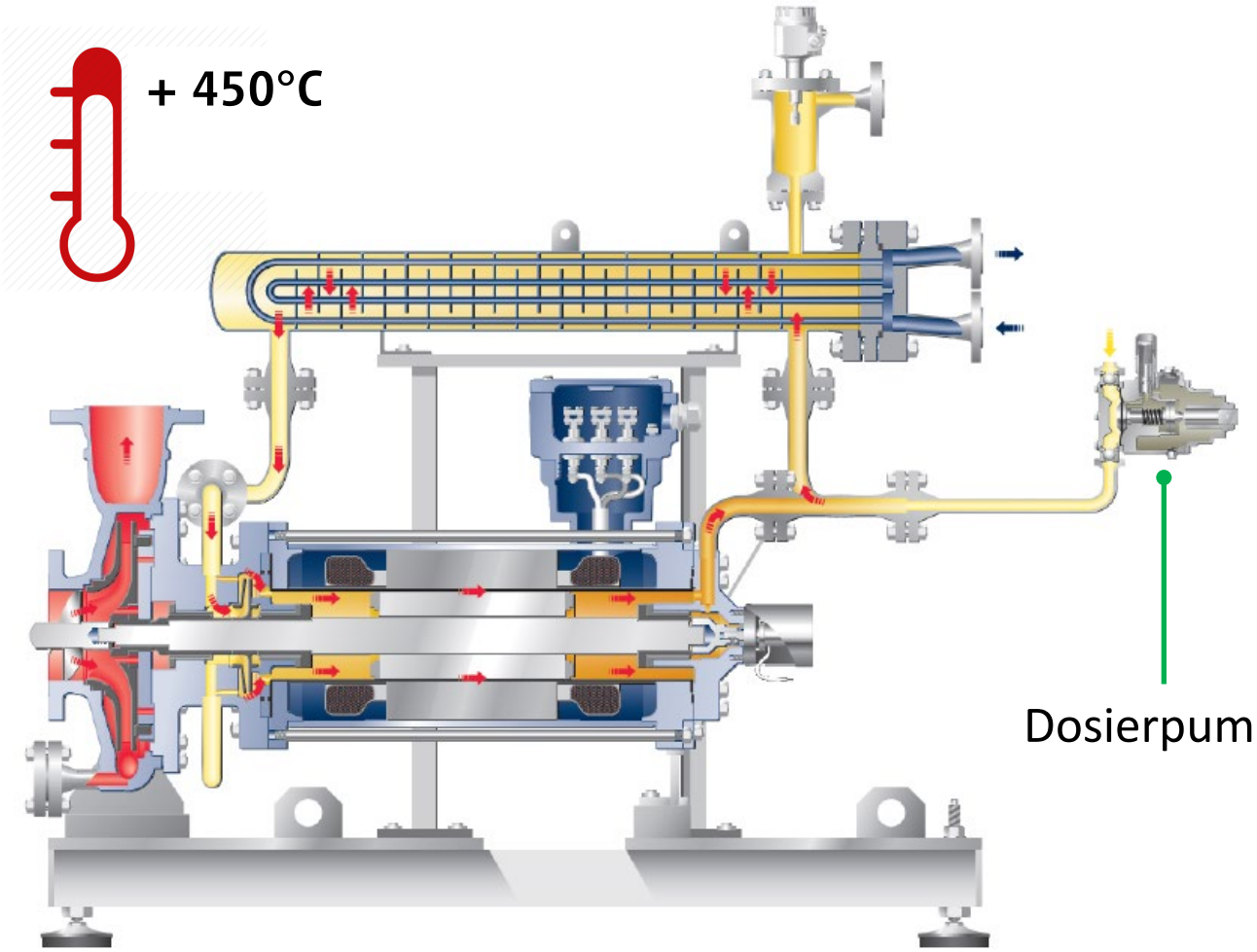
Mehrstufige Tandem-Ausführung



© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

GEKÜHLTE AUSFÜHRUNG

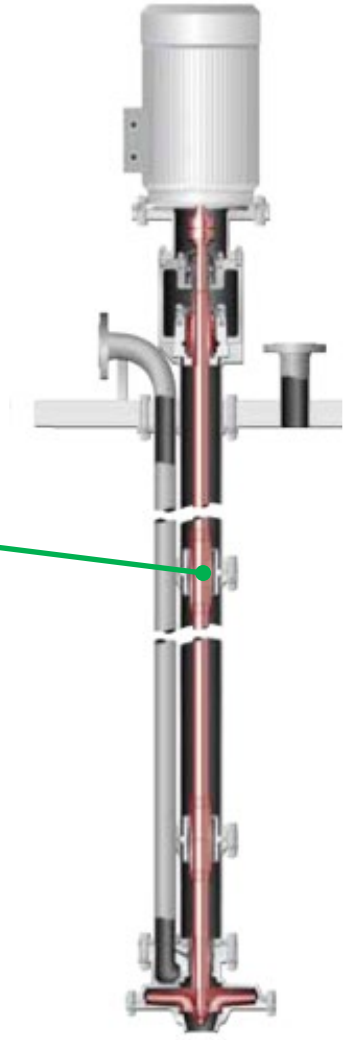
- Durch Separieren des Motorkühlstroms von der Pumpe mit externer Kühlung, können besonders heiße Medien gefördert werden.
- Diese Anordnung kann auch dienen, wenn das Fördermedium wg. Stockpunkten oder Polymerisation nicht erwärmt werden darf.
- Um feststoffbeladene Medien fördern zu können wird diese Ausführung um eine Dosierpumpe ergänzt.



© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

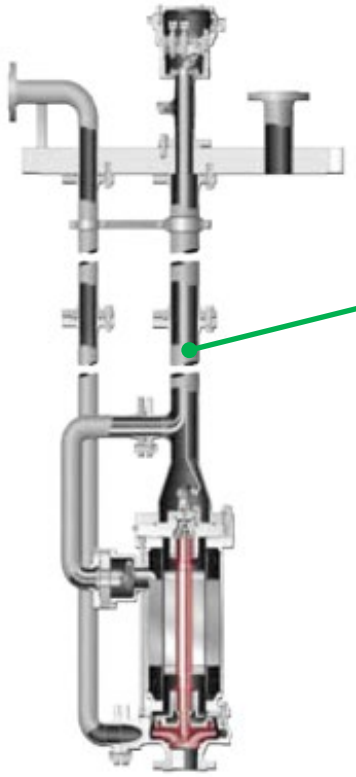
GETAUCHTE AUSFÜHRUNG

Pumpe mit GLRD



Durchgehende Welle mit Lagerstellen

Spaltrohrmotorpumpe



Rohr zur Kabelführung und Haltefunktion

LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

AUSLEGUNG AXIALSCHUBAUSGLEICH

Die Entwicklung von hermetischen Spaltrohrmotorpumpen war von der Lösung eines zentralen Problems, dem Eliminieren der axialen Kräfte am Rotor, abhängig.

Aufgrund der unterschiedlichen Stoffeigenschaften der Medien und der daraus resultierenden schlechten Schmiereigenschaften scheiden mechanische und dynamische Entlastungslager aus.

Daher kann die Lösung nur in der hydraulischen Entlastung des Läufers liegen.

Als Hauptverursacher der Kräfte stellt sich das Laufrad dar.

Klassische Entlastungseinrichtungen:

- druckseitiger Spaltring mit Bohrungen in der Laufradnabe
- Laufradrückenschaufeln
- Im Pumpengehäuse feststehende Rippen

Quelle: NGZ

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

AUSLEGUNG AXIALSCHUBAUSGLEICH „DOPPELSCHLEIFRING“

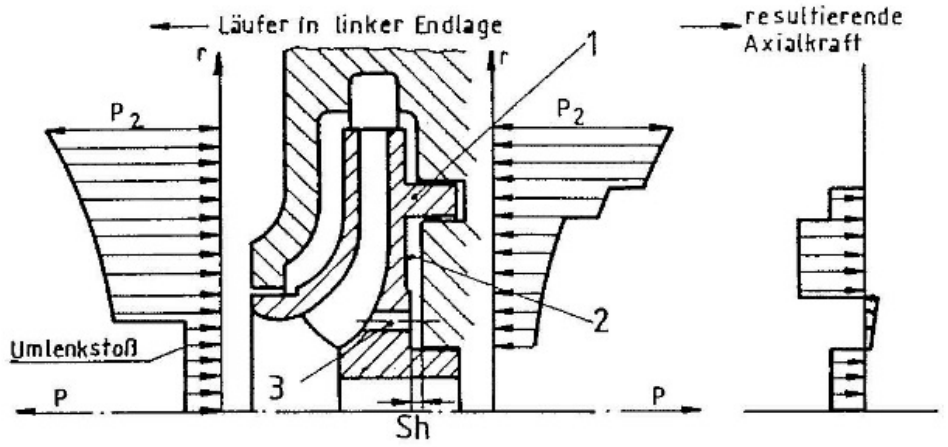
Funktionsprinzip einer hydraulischen Entlastungseinrichtung:

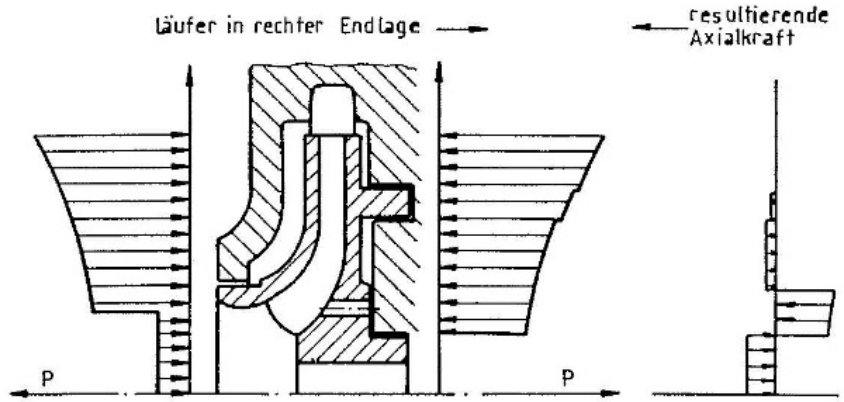
Zusammenwirken einer festen Drosseleinrichtung (Labyrinthspalt) am Außendurchmesser des Laufrades und einer axial variablen Drossel im Bereich der Laufradnabe.

Der Druck auf der Rückseite des Laufrades verändert sich mit der axialen Position des Läufers.

Die axiale Stellung der Pumpenwelle regelt sich automatisch, wodurch sich keinerlei Berührung mit den axialen Endlagen der Welle ergibt.

Neben diesem Ausgleichsprinzip bestehen weitere Varianten. Allen gemein sind die Rückstellkräfte abhängig von der Wellenposition, welche einen kontaktlosen Betrieb ermöglichen.

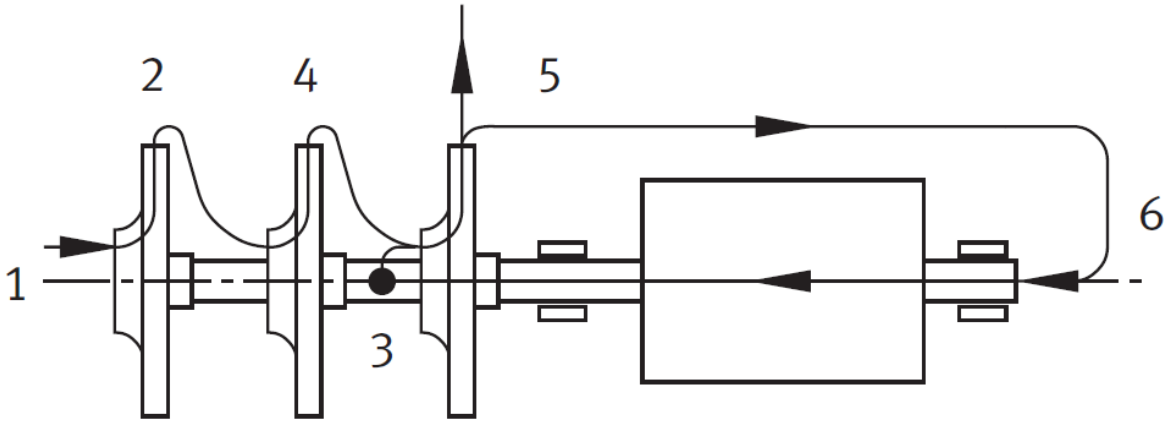


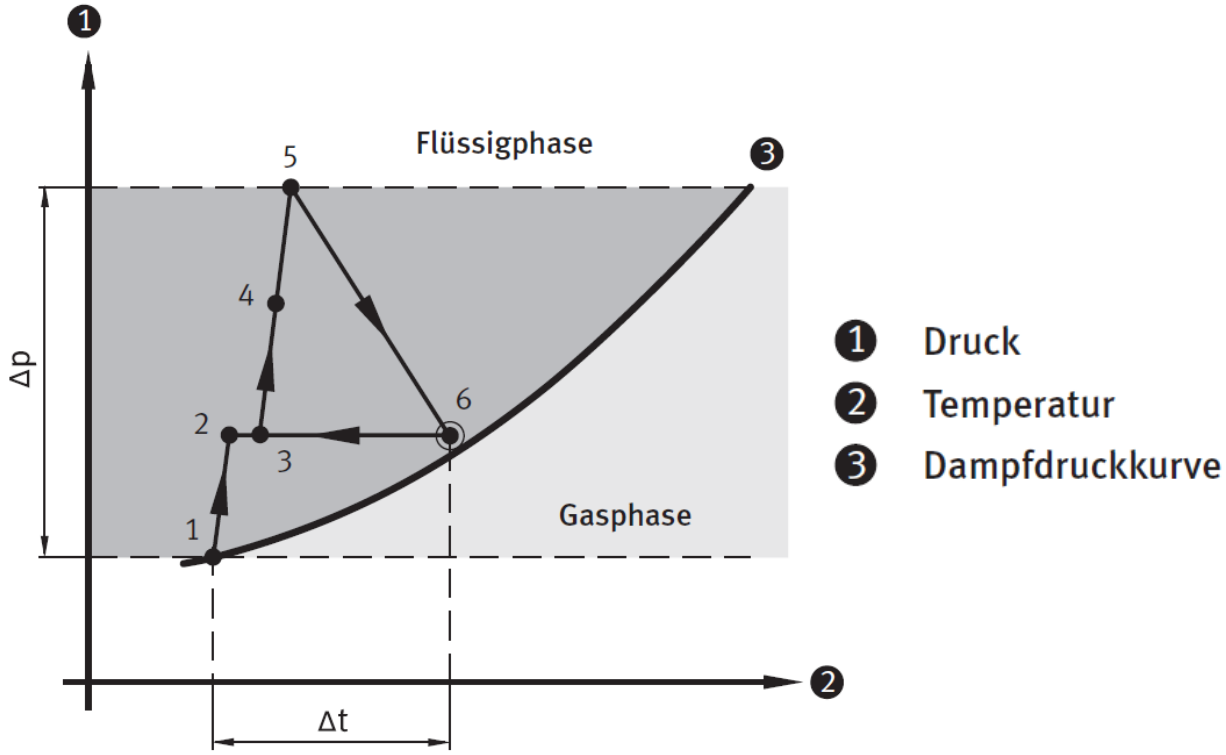


LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

AUSLEGUNG WÄRMEBILANZ

Beispiel: Teilstromführung mehrstufige Pumpe





- Für jede Spaltrohrmotorpumpe für leicht siedende Medien ist eine Wärmebilanzrechnung zu erstellen, welche jederzeit flüssiges Fluid in allen Pumpenbereichen sicherstellt.

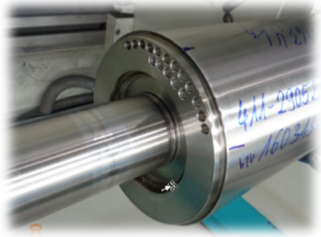
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

FERTIGUNGSTECHNISCHE THEMEN

An drei ausgewählten Beispielen von Bauteilen, die in Spaltrohrmotorpumpen Verwendung finden, sollen fertigungstechnische Fragestellungen vorgestellt werden

Folgende Bauteile werden betrachtet:

- Laufräder nach Umstellung auf neuen Lieferanten



- Unwuchten an Rotorpaketen

- Entstehende Reaktionsprodukte nach thermischer Einwirkung auf Statorpakete

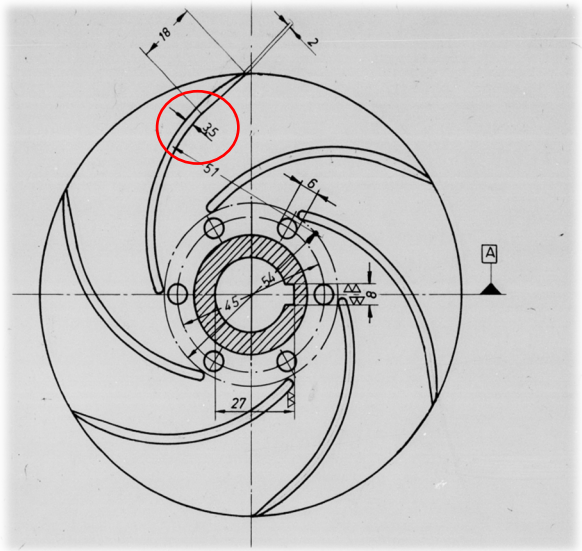
Ausgangslage, durchgeführte Untersuchungen sowie die Abstell- / Optimierungsmaßnahme inklusive der Wirksamkeitsprüfung werden nachfolgend aufgezeigt

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

BEISPIEL LAUFRÄDER MIT ABWEICHENDER KENNLINIE

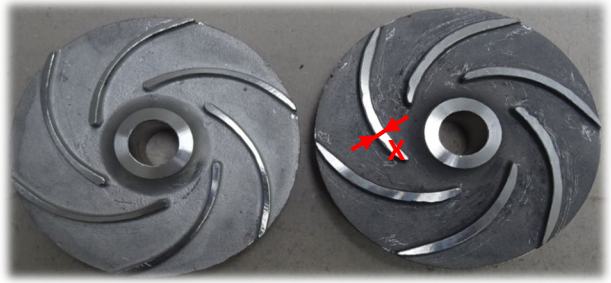
Ausgangslage

- Aufgrund des Alters der Modellvorrichtung und der weiter vorangeschrittenen Gießtechnik musste das Guss-Modell grundlegend überarbeitet werden
- Das Bauteil wurde neu an verschiedene Gießereien neu ausgeschrieben
- Den Zuschlag hat ein neuer Gießer erhalten



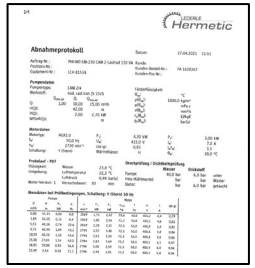
Auszug Zeichnung Laufrad

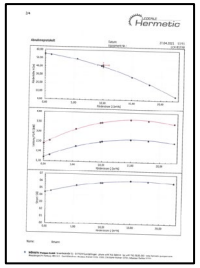
Fehlerbild / Untersuchungen



Alte bzw. neue Ausführung mit abgedrehten Deckscheiben

Die Erstmusterprüfung ergab, dass die Schaufelstärke (ist: X = ca. 5 mm) der Schaufeln des neuen Laufrads erhöht und damit der Kanalein- bzw. Austritt gegenüber der alten Ausführung reduziert wurde
Die Messung der Laufräder in einer Pumpe hat eine Reduzierung von ca. 5% der Förderhöhe gegenüber der ursprünglichen Ausführung ergeben => zu große Abweichung





Datenblatt der gemessenen Pumpe mit neuem Laufrad

Abstellmaßnahme

- Die Erstmuster wurden abgelehnt
- Eine Überarbeitung des Modells beim Lieferanten wurde eingeleitet
- Neue Erstmuster wurden vorgestellt

Wirksamkeitsprüfung

- Die Stegbreite wurde vermessen und als i.O. bewertet
- Die Kennlinien der Pumpe liegen im Rahmen der zulässigen Abweichungen
- Freigabe für die Produktion ist erfolgt

… Lessons Learned

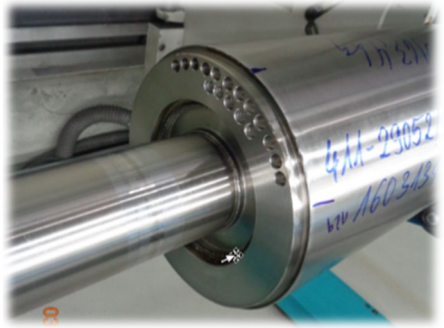
- Bestehende und erprobte Systeme lassen sich nicht einfach kopieren
- Ein systematisches Vorgehen im Freigabeprozess erspart spätere Ursachenforschung

LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

BEISPIEL UNWUCHTEN AN ROTORPAKETEN

Ausgangslage

- Die Montage kam auf die Konstruktion mit der Frage zu, ob es für das Wuchtergebnis nach der Abbildung eine Erklärung gibt



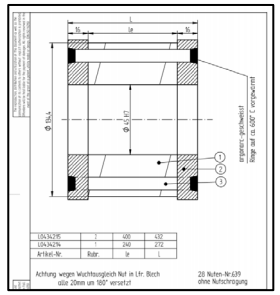
Rotorwelle nach dem Wuchtprozess

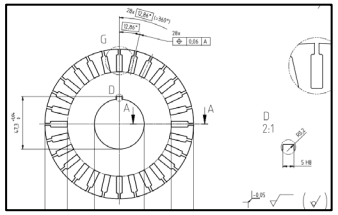
Rotor-Rohling

- Hintergrund: Rotorpaket ist ein Zukaufteil, Welle und Rotormantel werden in der Einzelmontage hergestellt, mit dem Rotor-Rohling zusammengefügt und vorgewuchtet
- Der finale Wuchtprozess findet in der Endmontage mit den entsprechenden Hydrauliken (Laufrädern) statt
- Für den Rotor-Rohling lag zu Beginn keine Zeichnung / Spezifikation vor

Fehlerbild / Untersuchungen

1. Schritt: Beschaffung Unterlagen beim Lieferanten





Auszüge Rotor-Rohlingzeichnung bzw. Stanzschnitt

- Überprüfung der Zeichnungsunterlagen
- Abgleich mit vorliegenden Teile
- Nut im Stanzblech wird in Baugruppe des Rotor-Rohlings nicht dargestellt

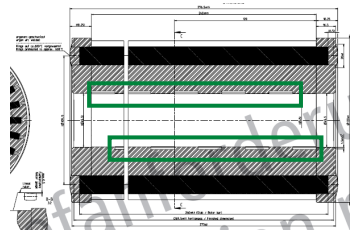
n.i.O. **i.O.**

ausgeführte Ausrichtung der Nut im Rotor

Ergebnis: die gleichsinnig ausgerichtete Nut erzeugt eine Unwucht, die zum dargestellten Bohrbild passt

Abstellmaßnahme

- Erstellung eigener Zeichnungen für die Rotor-Rohlinge mit der erforderlichen Ausrichtung der Nuten



Auszug HERMETIC-Zeichnung

- Intensive Diskussion mit dem Lieferanten
- Einführung einer Wareneingangskontrolle in der Qualitätssicherung

Wirksamkeitsprüfung

- Überprüfung der Nutenausrichtung bei Wareneingangskontrolle
- Überprüfung des Wuchtergebnisses in der Produktion

… Lessons Learned

- Eine hinreichend genaue Abbildung des Produkts über die Spezifikation ist notwendig
- Kontrolle der Bauteile im Wareneingang gemäß Spezifikation (Vereinbarung Lieferant/Abnehmer)

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

Ausgangslage

- Beim Öffnen von Spaltrohrmotorpumpen fanden sich Rückstände am Boden der Klemmenkästen

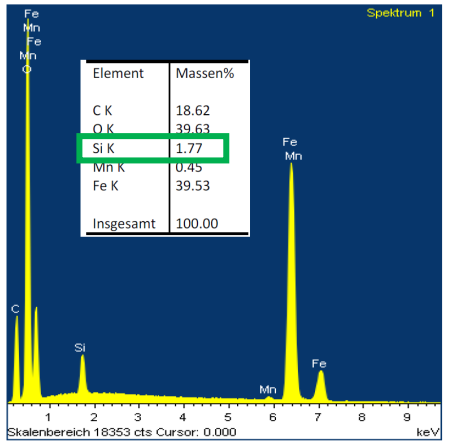
Klemmenkasten mit Rückstand

- Diese Rückstände fanden sich bei der Freigabeprüfungen von neuen Lieferanten von Statorpaketen

Anmerkung: durch das hermetisch ☺ geschlossene System verhält sich das Statorpaket anders als in offenen Systemen

Fehlerbild / Untersuchungen

- Es bestand der Verdacht, das es sich bei den Rückständen um Zersetzungsprodukte des Tränk- bzw. Aushärtungsprozesses handelt
- Eine Analyse der Rückstände wurde veranlasst
- Ergebnis:

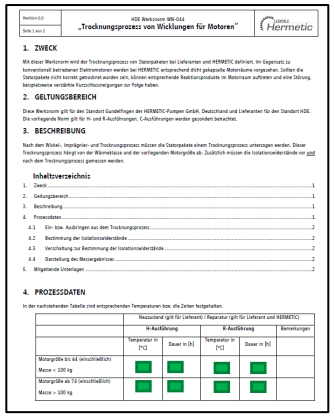


Quelle Fraunhofer-Institut Freiburg: Rückstandsanalyse mit hohen Sauerstoffanteilen und Silizium

- Bei den Tränkharzen für die Elektromotoren handelt es sich überwiegend um Sauerstoffgebundene Verbindungen auf Silikonbasis. Dies erklärt den hohen Sauerstoffanteil mit den Siliziumanteilen in den gefundenen Rückständen

Abstellmaßnahme

- Entwicklung eines Trocknungsprozesses für die unterschiedlichen Wärmeklassen
- Erstellung einer Lieferspezifikation für den Trocknungsprozess


HOE Werknorm WN-022
„Trocknungsprozess von Wicklungen für Motoren"
Hermetic
1. ZWECK
2. GELTUNGSBEREICH
3. BESCHREIBUNG
Inhaltsverzeichnis
4. PROZESSDATEN

Auszug aus der erarbeiteten Spezifikation

Wirksamkeitsprüfung

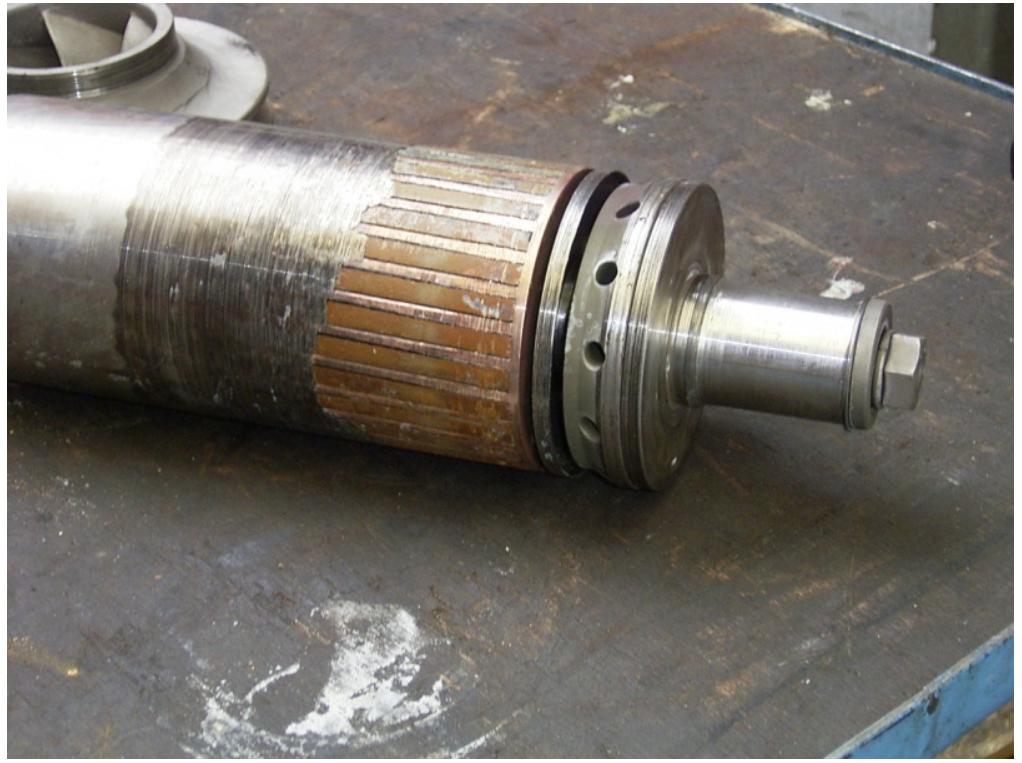
- Nachweis über die visuelle Prüfung von Rückständen im Klemmenkasten nach dem Test
- Entwicklung eines Verfahrens zur Änderung des Isolationswiderstand vor bzw. nach dem Trocknungsprozess

… Lessons Learned

- Bestehende und erprobte Systeme lassen sich nicht einfach auf neue Lieferanten übertragen
- Für den Nachweis bedarf es einer Expertise, die nicht immer im eigenen Haus verfügbar ist

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

TYPISCHE SCHADENSBILDER BEI FEHLERHAFTEM BETRIEB



- Trockenlauf / Verdampfung im Motor führte zum Auslaufen der Gleitlager
- Der Rotor touchiert mit dem Stator und beide Teile Verschleißen
  → Betriebsbereich einhalten. Stoffdaten einhalten. Pumpe vor Inbetriebnahme entgasen.

LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

TYPISCHE SCHADENSBILDER BEI FEHLERHAFTEM BETRIEB

- Faserstoffe oder harte metallische Teile / Partikel im Fördermedium
- Das Laufrad und Teilstromführungen verstopfen. Die Folgen sind Unterschreitung der Mindestmenge, Erwärmung der Teilströme und Ausfall des Axialschubausgleichs
  → Anfahrsieb verwenden.

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

- Vergleich der Kreiselpumpe mit Gleitringdichtung (GLRD) mit der Spaltrohrmotorpumpe (SMP)
- Lagerung und Antrieb
- Einfluss auf die Anlagenparameter
- Spezifische Merkmale bei der Auslegung einer Spaltrohrmotorpumpe
- Fertigungstechnische Fragestellungen anhand von Beispielen
- Typische Schadensbilder bei fehlerhaftem Betrieb

© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH

„Die wirklichen Wunder der Technik gehen nie kaputt.“

Heiko Stang (*1963), Regisseur und Autor

Danke!

LEDERLE Hermetic
© 2021 by HERMETIC-Pumpen GmbH