



Verschleiß und Verstopfungen in Abwasserhydrauliken

27. Praktikerkonferenz Graz

"Pumpen in der Verfahrenstechnik, Kraftwerks- und
Abwassertechnik"

8.-10. April 2024 | Congress Graz

Praktikerkonferenz
Graz



Verschleiß und Verstopfungen in Abwasserhydrauliken

- 1. Zusammenhänge**
- 2. Verstopfungen - Ursachen**
- 3. Verschleiß**
- 4. Betriebsbereiche**
- 5. Rohrleitungen**
- 6. Bauwerk**
- 7. Laufräder**
- 8. Abwasserregeln**
- 9. Planungshilfen**

Erfahrungen aus der Praxis: immer
das gesamte System betrachten

	Verschleiß	Verstopfungen
	Größere Radialkräfte	
	Verstopfungen / Festbrennungen	
	Minderung der Förderleistung	
	Schwingungen	
	Lagerschäden	
	Dichtungsschäden	
	Materialverlust	
	Unwucht	
	Ausfall durch Blockgange	
	Wirkungsgrad	
	Rückströmungsverluste	
	Personalkosten + Zeitaufwand	



	Verschleiß	Verstopfungen
Ursache	Einleiter, Zusammensetzung Fördergut, sinkender Verbrauch	
	Kommunal, Gewerbe, Industrie, Baustellen	Kommunal, Krankenhäuser, Raststätten, Altenheime, Gefängnisse
	Prozessbedingt	Fasern + Vliestücher , die sich verknüpfen
	Feststoffe, Steine, Sand	... und auf die Schaufeleintrittskante legen
	Fasern die Sand einlagern	Textilien
	chemische Zusammensetzung	
	Lufteintrag	
	Betriebsweise / Regelung / Steuerung	
	Betriebspunkt Einsatzgrenzen	
	Strömungs-/Umfangsgeschwindigkeiten	
	Bauwerksplanung / Kosteneinsparung / Auslegung / Strömungsprofile	
	Bauwerksgestaltung / Sumpfgestaltung/-größe / Zulaufverhältnisse	
	Anlagenbau / Pumpenaufstellung / Ausführung Rohrleitungssystem speziell der Saugleitung / Armaturen	
	Pumpen / Betriebspunkt / Hydraulik / Leistungsbedarf / Motorreserve / Drehzahl	

	Verschleiß	Verstopfungen
Lösungen	Einleiter	
	Rechen, Trennsysteme	
	Regelung (Rampen, Rücklauf, Spülstoß, Standzeiten)	
	Überwachung (veff, °C, H, Q, R...)	
	Drehzahlerhöhung → Strömungsgeschwindigkeit	
	Regelmäßige Wartung	
	Konstruktive Gestaltung	
	härtere Materialien	Kugeldurchgang
	Chemisch beständige Materialien	andere Hydraulik
	Beschichtungen	Spaltweiten
	Rohrleitungsdurchmesser	Schneidsysteme, Mazeratoren

Wasser-/Abwassertrend

- Verbrauch sinkt (150 auf 125 Liter)
- Fortschreitende Trennung von Regen- und Abwasser
- Steigender Preis

Kosteneinsparungen

- Einlaufrechen
- Bauwerksgröße
- Pumpengrößen
- Energiebilanz
- Wartung



Zusammensetzung des Abwassers

- Konsistenz des Abwassers wird „dicker“
- Feststoffanteil nimmt weiter zu
- Zusammensetzung der Feststoffe:
 - nicht lösliche Bestandteile,
 - Putztücher, Lappen, Windeln etc.,
 - Feuchtes Hygienepapier,
 - einzelne Stofffasern,
 - Hygieneartikel,
 - Kleidung,
 - ...

→ Zopfbildung durch faserhaltige Bestandteile, bereits vor dem Laufrad



Verschleiß & Verstopfung

2. Verstopfung - Ursachen

Einleiter

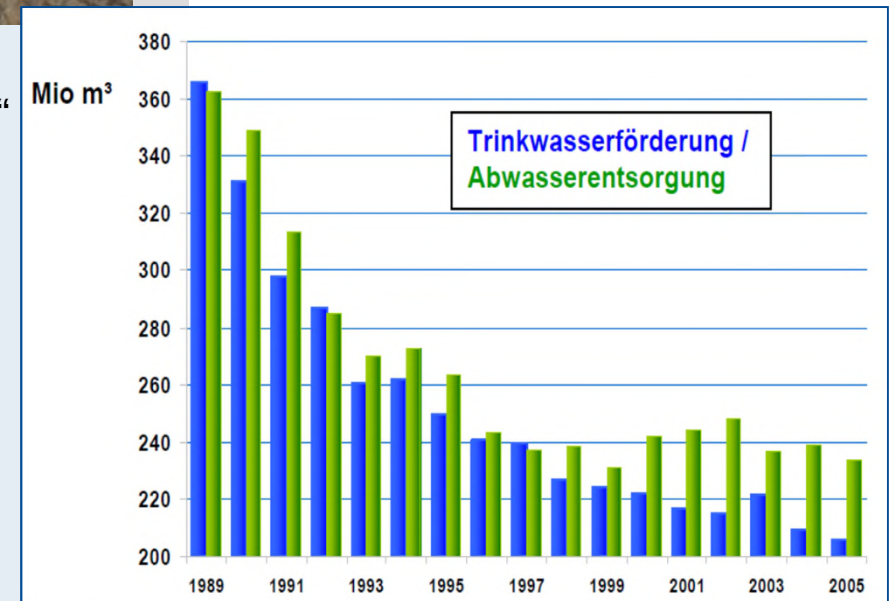


Bild 1: Wasser und Abwasser in Berlin

(Quelle: Berliner Wasserbetriebe / Thamsen TU Berlin)



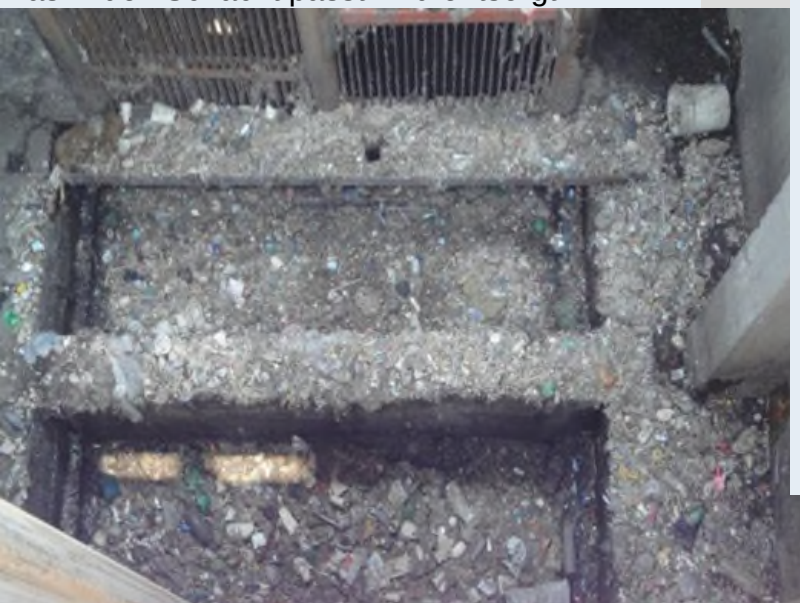
Verschleiß & Verstopfung 2. Verstopfung - Ursachen

Einleiter

■ Einleiter

- landwirtschaftliche Einleiter
- häusliche Einleiter
- kommunale Einleiter (Krankenhäuser/
Altenheime/Haftanstalten/Raststätten)
- gewerbliche Einleiter
- industrielle Einleiter (gesonderte Rechtsverordnung für
Fahrzeugwerkstätten, Waschanlagen, Chemie-, Textil-,
Druckindustrie...)

as in den Schacht passt wird entsorgt.



üllentsorgung; Mangelhafte Rechenanlage



- **Dimensionierung**
 - Größe,
Pumpensumpf,
Bermen, Totzonen
- **Zulauf**
 - Fallhöhe,
Lufteintrag, Wirbel,
Bögen
- **Rohrleitungen**
 - Armaturen,
Einbauten, Bögen,
Erweiterungen,
Hochpunkte
- **Betriebsweise**
 - Überdeckung,
Schaltkoten,
Anfahrprozesse,
Regelbereiche,
Strömungsgeschwin-
digkeiten

Verschleiß & Verstopfung

2. Verstopfung - Ursachen

Anlagenverhältnisse

→ Strömungsverhältnisse



Verschleiß & Verstopfung 2. Verstopfung - Ursachen

Pumpenauswahl

Früher

- große Pumpen, große freie Durchgänge, große Fördermengen, moderate Drehzahlen,

Heute

- kleinere Pumpen, größere Förderhöhen und Drehzahlen, kleinere Fördermengen, weniger Pumpwerke, dickeres Abwasser

Pumpentyp

- Aufstellung Nass oder Trocken, Rohrgehäuse,

Lauftradform

- E, K, D, F, Kugeldurchgang, Wirkungsgrad, Vor- und Nachteile

Material, Oberflächen



Vliesstoffe spül- und nichtspülbar auf dem Vormarsch



Bild 15: Umfrage TUB/DWA

EUROPEAN NONWOVENS PRODUCTION



Verschleiß & Verstopfung 2. Verstopfung - Ursachen

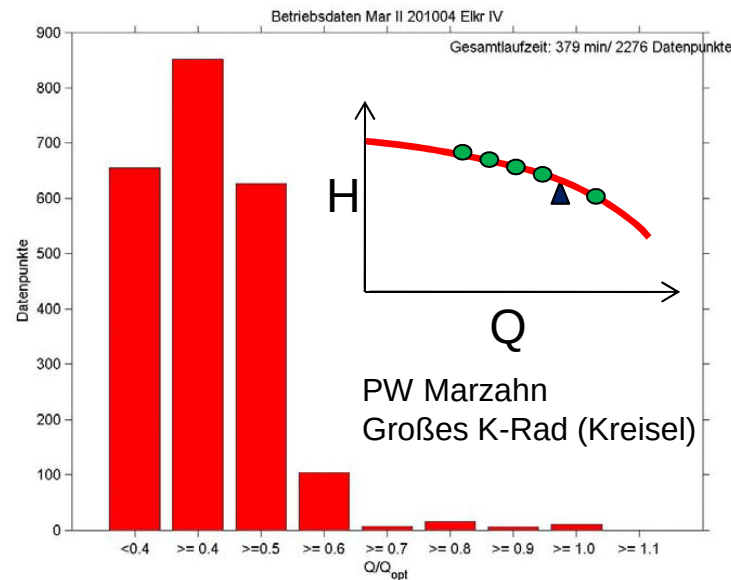
Untersuchungen

TUB / DWA / BWB / AUCOTEAM / KSB

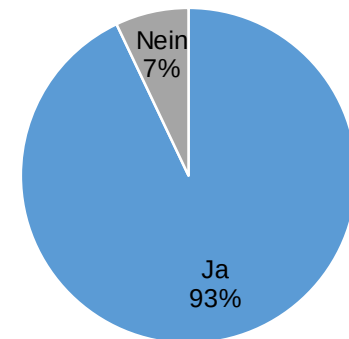
Analyse von Pumpenzöpfen in Berliner Abwasserpumpen

Nach

- Fahrweise der Pumpen
→ Q/Q_{opt} , Drehzahl
- Bauart und Hydraulik der Pumpen
- Auslegung der Pumpen
- Fördergut
- Wo verstopft?



Verursachen Feuchttücher Probleme in Ihrem Abwasserbetrieb?

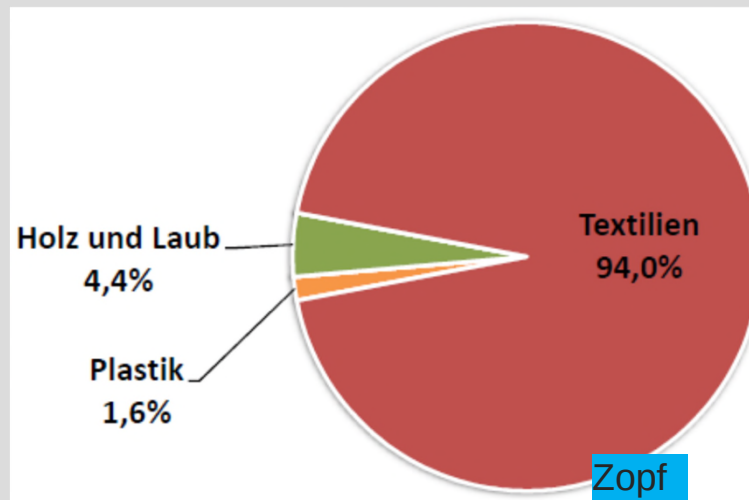
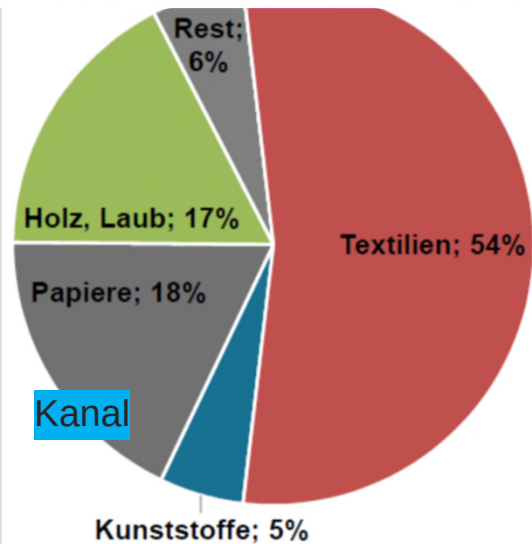


HÄUFIGKEITSVERTEILUNG, TEILNEHMER (N) = 226



- Spinnvliese (Babytücher etc.)
→ **Hausmüll**
- Stapelfaservliese (feuchtes Toilettenpapier)
→ **als spülbar verkauft!**
- Nassvliesstoffe (Küchenpapier)
→ **Hausmüll**
- Damenhygieneprodukte
→ **Hausmüll**
- Verknoteter Rest
→ hauptsächlich Spinnvliesstücke

Quelle: TU Berlin



Verschleiß & Verstopfung 2. Verstopfung - Ursachen

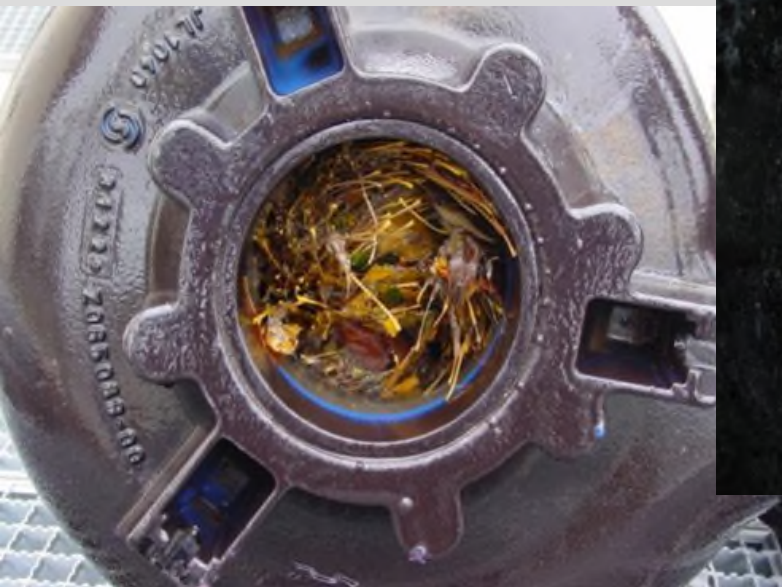
Untersuchungen

TUB / DWA / BWB / AUCOTEAM / KSB

Analyse von

- Feststoffen im Abwasserkanal
- Pumpenzöpfen





Verschleiß & Verstopfung

2. Verstopfung - Ursachen

Untersuchungen

→ **Verschleiß**

Spaltweiten

- 0,3-0,4 mm GUT
- 0,4-0,7 mm GEHT
- 0,7-3mm GEHT NICHT
- ab 3 mm könnte GEHEN

- *Kennlinie sackt massiv ab*
- *Wirkungsgrad sehr schlecht*
- *Pumpe fördert im Kreis*
- *Verschleiß sehr hoch*

3. Verschleiß

**Tribologie = Reibung,
Verschleiß, Schmierung**

Komplexbelastung

Verschleiß

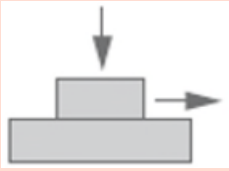
Mechanischer
Abbauprozess

fest-flüssig-gasförmig

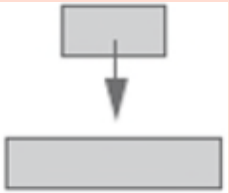
Korrosion

Chemische,
elektrochemische oder
metall-physikalische
Reaktion

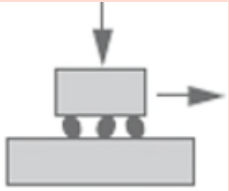
**Korrosion beschleunigt hierbei den
Verschleiß und andersherum.**



Gleitverschleiß



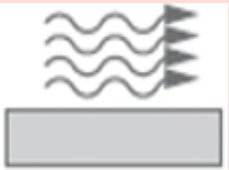
Stoß-/Prall-
verschleiß



Korngleit-
verschleiß



Spülverschleiß
(Erosionsverschleiß)



Werkstoff-
kavitation
Kavitations-
erosion

Korrosion mit



und ohne mechanische Beanspruchung



Verschleiß & Verstopfung 3. Verschleiß

Verschleiß und Korrosion

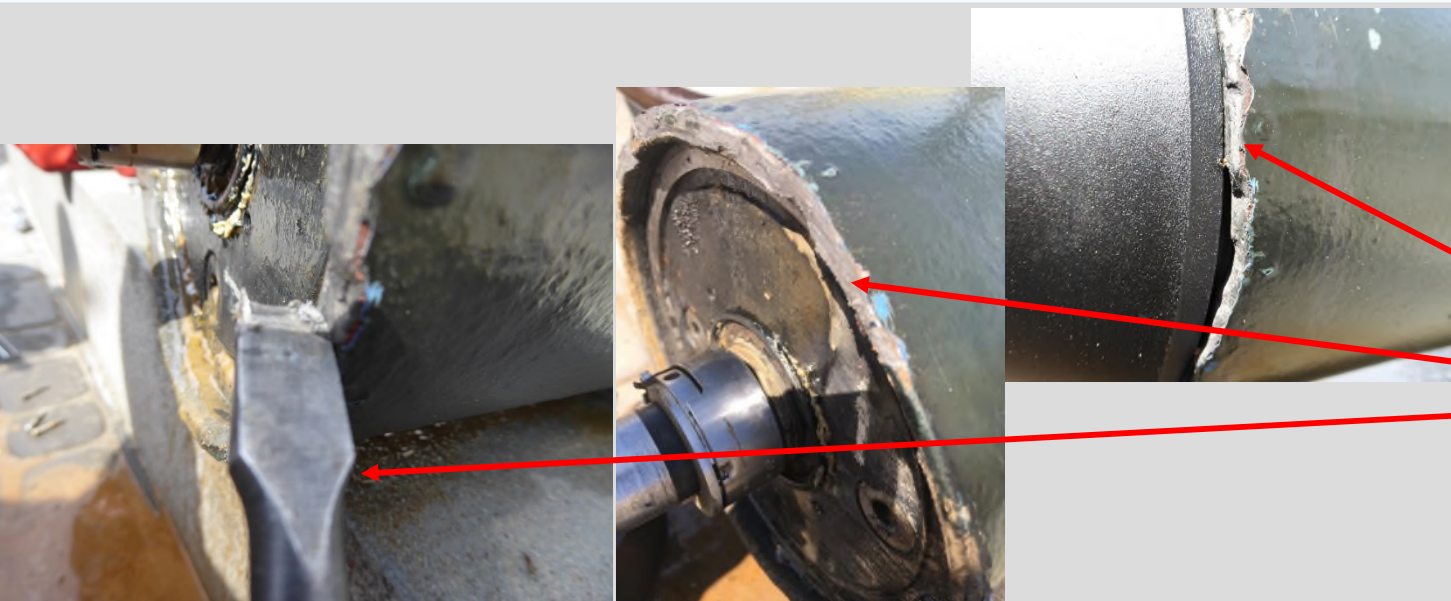
- Spongiose = selektiver Korrosionsangriff an Graugußteilen
 - Ferrit- und Perlitanteile lösen sich auf (Anode), Graphit bleibt als weiches, schwammartiges Gerüst (Kathode) zurück → das Schwarze an den Fingern
 - Insbesondere bei sauren/brackigen Abwässern (pH 4-5,5)
 - Mit Wasser + Feststoffe + Gas wird dieses Gerüst weggespült und die typischen Wellenformen bleiben zurück
- daher wird Graphitierung auch als Spongiose bezeichnet (lat. Spongius = Schwamm)
- (Bei niedrigem O₂-Gehalt, jedoch nicht O₂-frei (0,02 und 0,2 mg/l))

Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

Korrosionsarten

Selektive Korrosion – Graphitierung - Spongiose



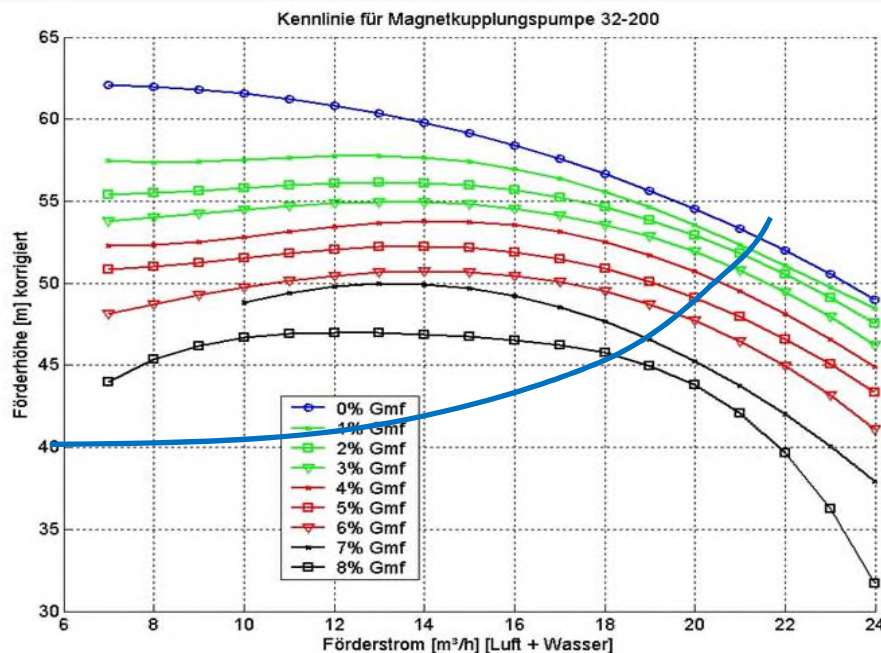
Beispiel Mischer:
Graphitlamellen bleiben als
weiches, schwamm-artiges
Gerüst zurück, was
weggespült wird oder leicht
abgekratzt werden kann

- neben Materialabtrag kann ein gasbeladenes Fördergut das gesamte Betriebsverhalten einer Pumpe beeinflussen
- → Vergrößerung von $NPSH_{\text{erf}}$ + früherer Eintritt von Kavitation
- Kennlinie sinkt mit zunehmendem Gasanteil, kann bis zum Zusammenbruch der Kennlinie führen
- Kennlinienverlauf wird instabil und es können verstärkt Schwingungen durch unterschiedliche **Gaskonzentrationen** auf einzelnen Schaufeln auftreten
- Schwingungen → Schäden an Dichtung und Lagern

Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

Gasgehalt im Fördermedium





Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

Selektive- und Erosionskorrosion

Gebiete mit hohen
Konzentrationen → tiefe
Einschnitte

Schaum, noch an der
Pumpe

Typisch das
Fischschuppenmuster





Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

Selektive- und Erosionskorrosion

Erosionskorrosion/
Selektive Korrosion/
Spongiose

Teilchen + Gas + pH +
Chloride

Nitrifikation

Ammonium $\rightarrow$ Nitrat



Denitrifikation

Nitrat $\rightarrow$ Stickstoff N_2

bakterielle Oxidation von Ammoniak zu Nitrat

- Säurebildung H^+
 - pH Wert sinkt
 - Salpersäurebildung
- $\rightarrow$ Sauerstoff wird zugeführt

wird hier noch Eisenoxid (Eisen(II) zu Eisen(III)-oxid) zur Fällung eingesetzt...

Umwandlung/Eliminierung von Nitrat zu Stickstoff N_2 unter anoxischen Bedingungen
 $\rightarrow$ kein Sauerstoff

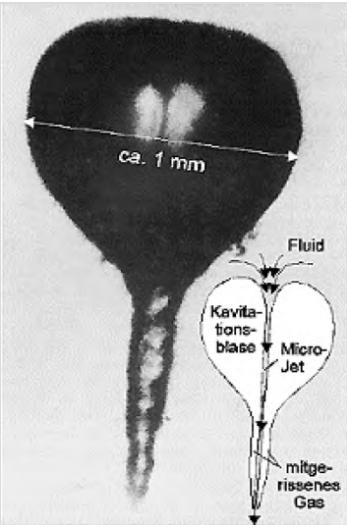
Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

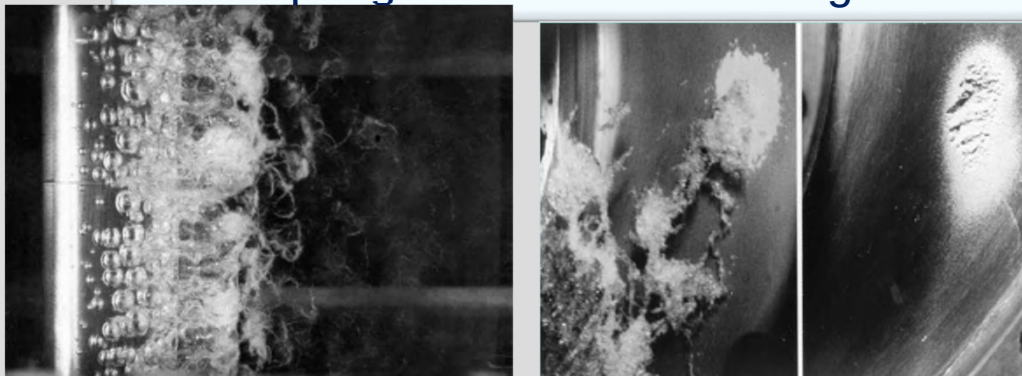
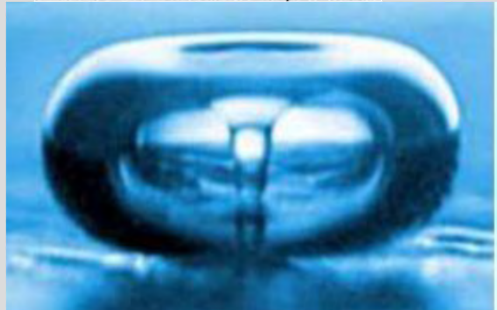
Selektive- und Erosionskorrosion

Beispiel: Amaline Pumpe

- von Feststoffen gereinigtes Abwasser
- eingesetzt im Belebungsbecken
- Wellenformationen / Schuppenmuster
- aufgelöste Zinkbeschichtung



- Bildung von Dampfblasen in Flüssigkeiten unter niedrigem Druck
- der Siedepunkt einer Flüssigkeit verhält sich umgekehrt proportional zum Druck
- bei entsprechend niedrigem Druck kann bspw. der Siedepunkt von Wasser unterhalb der **Wassertemperatur** sinken
- dabei entstehen spontan Dampfblasen
- bei Druckanstieg zerfallen (implodieren) diese Blasen wieder
- → Knallgeräusch
- → Materialschäden am Laufrad, im Pumpengehäuse + Rohrleitungen

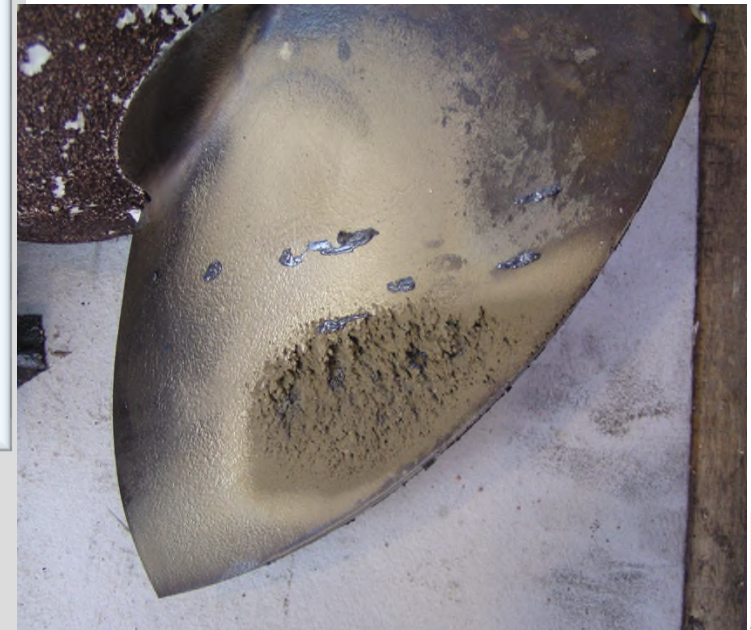


Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

Kavitation

lat. Cavitare → Loch



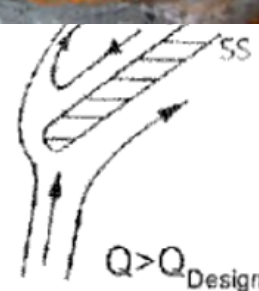
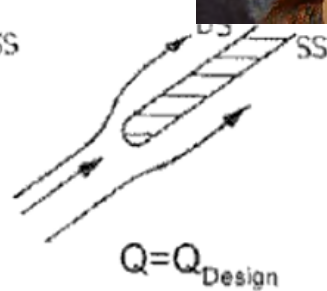
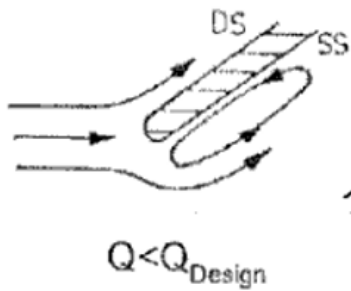
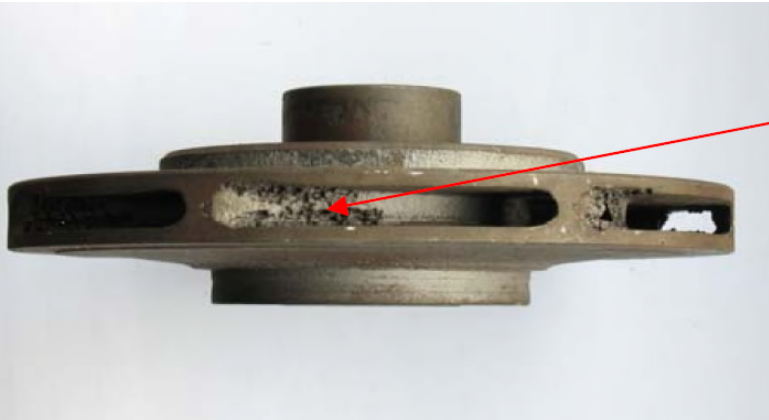
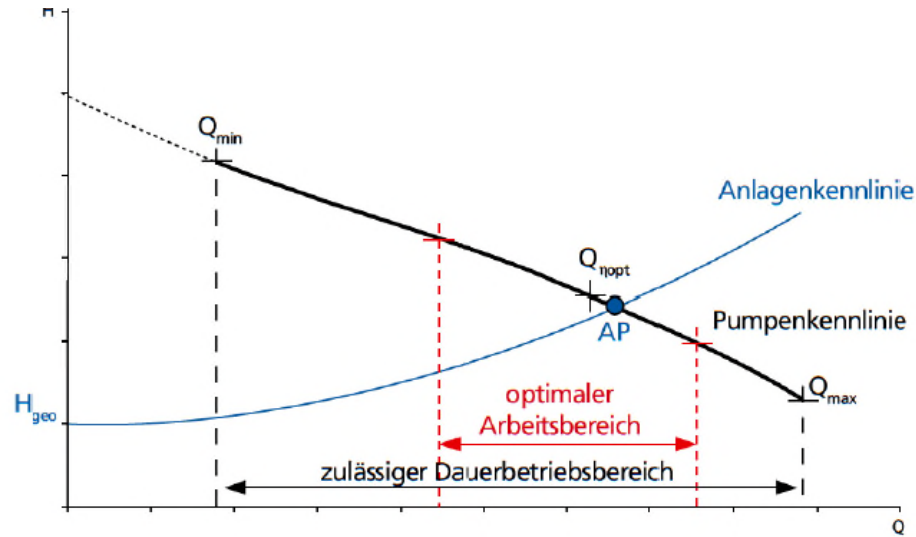
3. Verschleiß

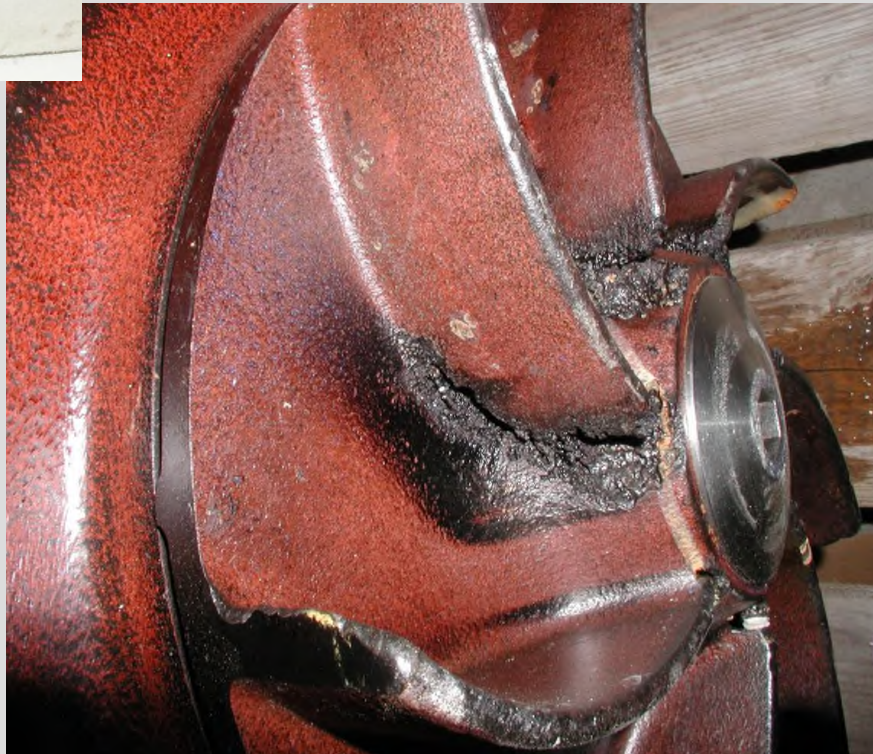
Kavitation

Betriebspunkt

→ Teillast oder

→ Überlast

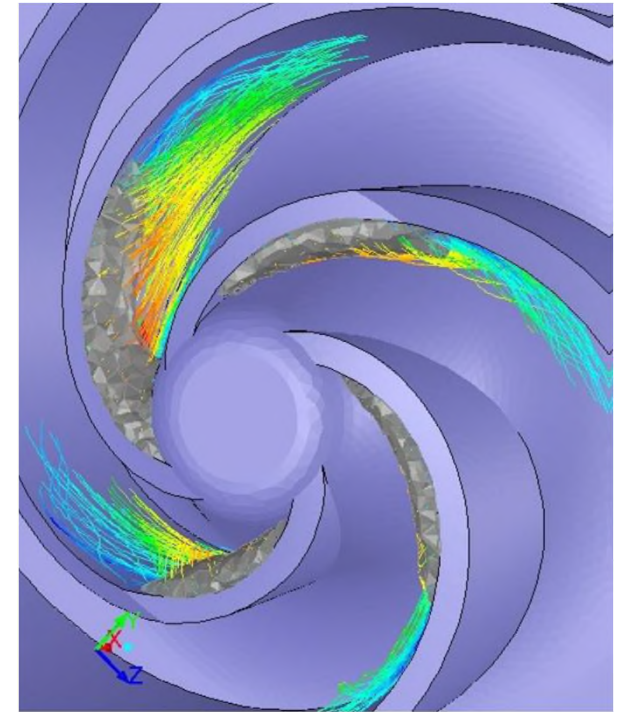




Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

Kavitation F-Rad





Schiff-
propeller



neue Generation
Kavitationsfrei

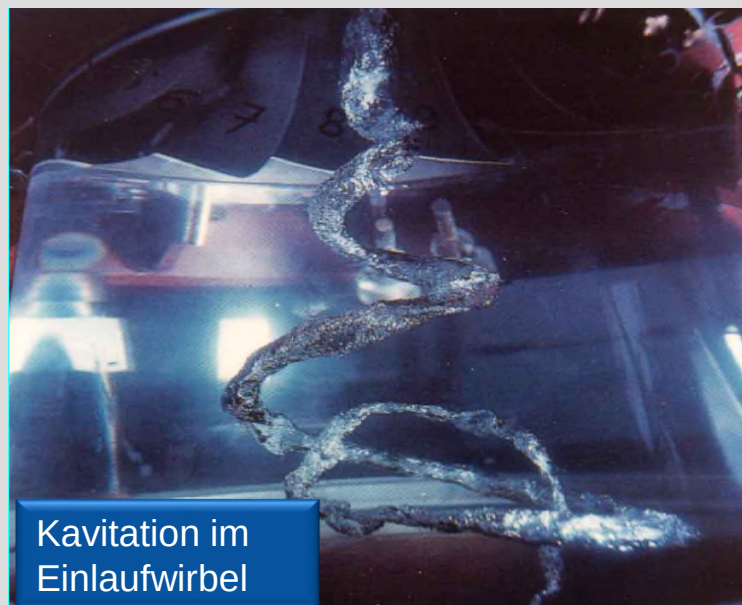
Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

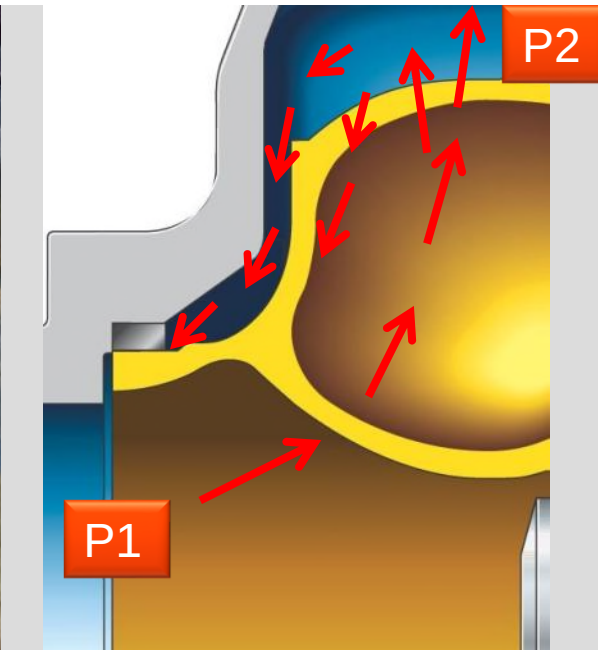
Kavitation



Projektile unter
Wasser



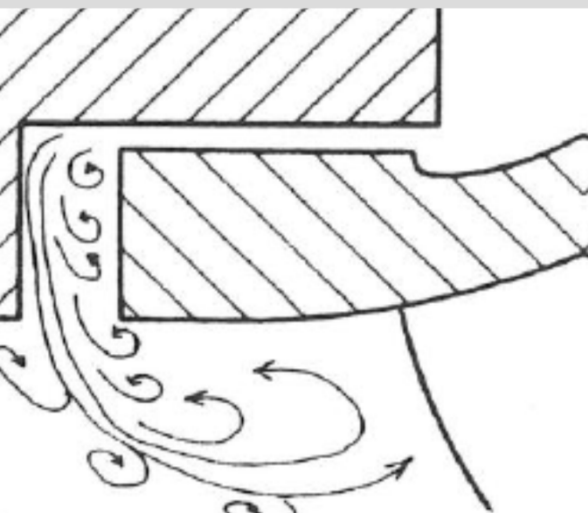
Kavitation im
Einlaufwirbel



Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

Kavitation im Spaltring





Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

Sand, Feststoffe

Strömungsgeschwindigkeit
(Rohrleitung, vertikal)

1,5 bis 2,5 m/s

und

Umfangsgeschwindigkeit
am Laufrad

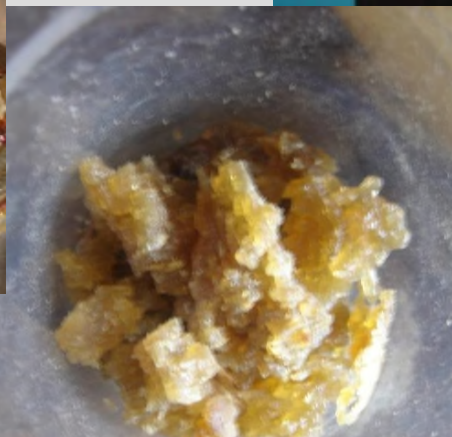
14 bis 18 m/s



Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

Sand, Feststoffe



Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

Lager

„ausgeblutetes Fett“

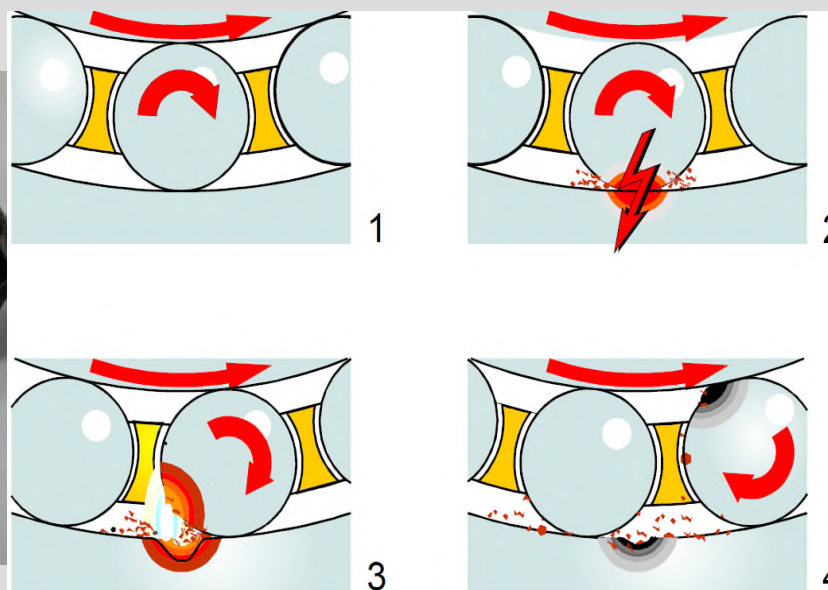


Verschleiß & Verstopfung

3. Verschleiß

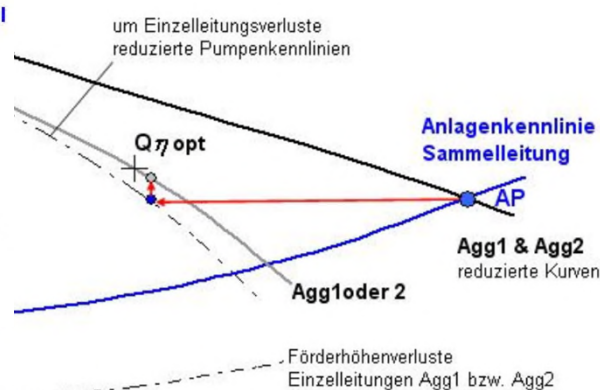
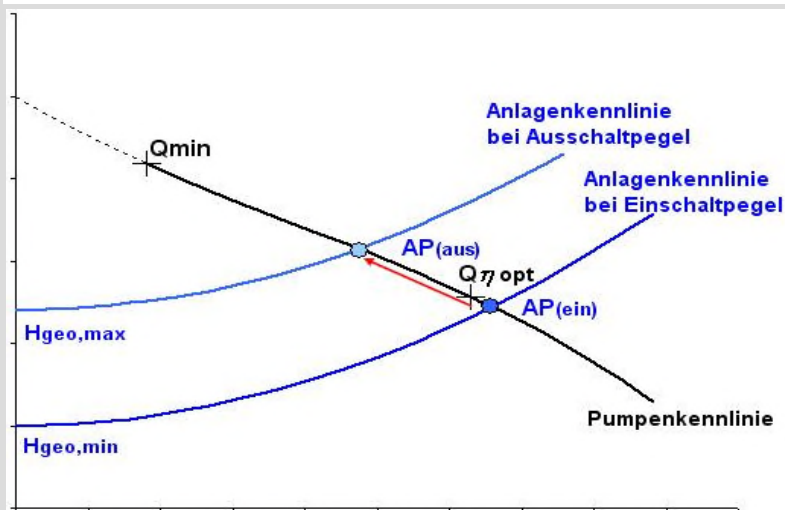
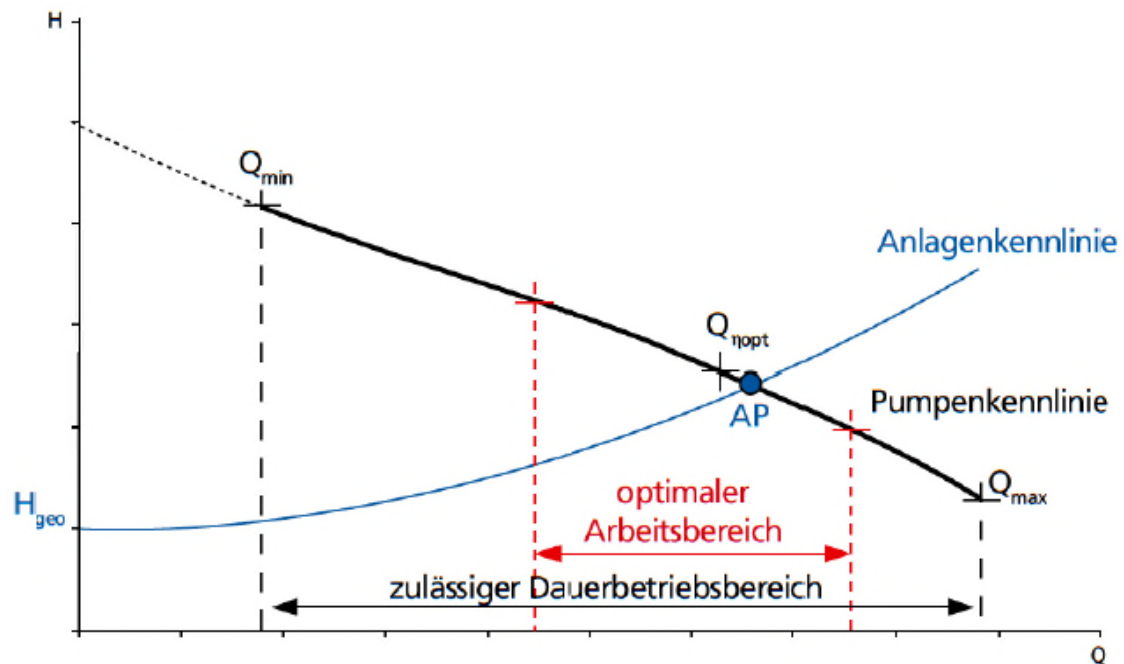
Lager

Stromdurchfluss



+ weiter Verschleißteile
alles was sich bewegt oder
der Flüssigkeit ausgesetzt
ist, wie

- Gleitringdichtungen
- O-Ringe



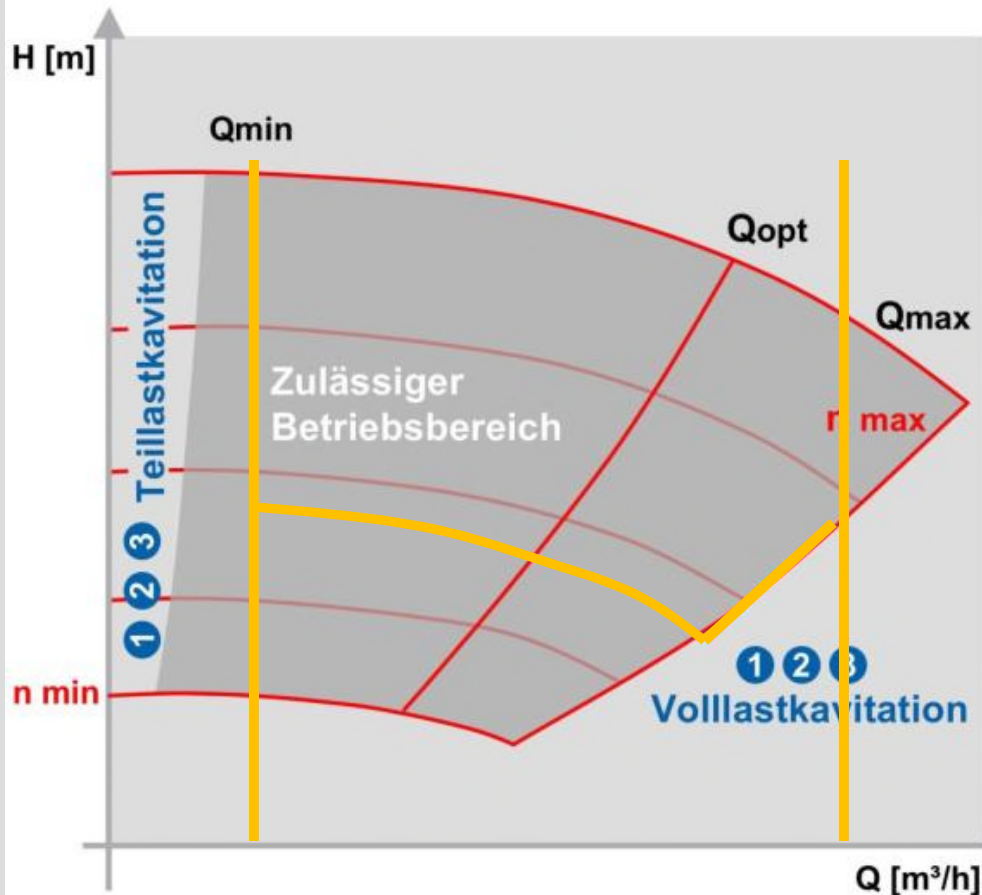
Verschleiß & Verstopfung 4. Betriebsbereiche

optimal oder zulässig

- Betriebsgrenzen $Q_{\max}$ und $Q_{\min}$
- Optimaler Arbeitsbereich ist -0,8 bis 1,2 von Q_{opt}
- Teil- oder Überlast
- Betriebs- und Arbeitspunkt

$$H_{\text{ges}} = (H_D + v^2/2g) - (H_S + v^2/2g) + y$$

- H_{geo} bei EIN und AUS
- Parallelbetrieb



- ① Lagerschäden
- ② Laufradschäden
- ③ Dichtungsschäden

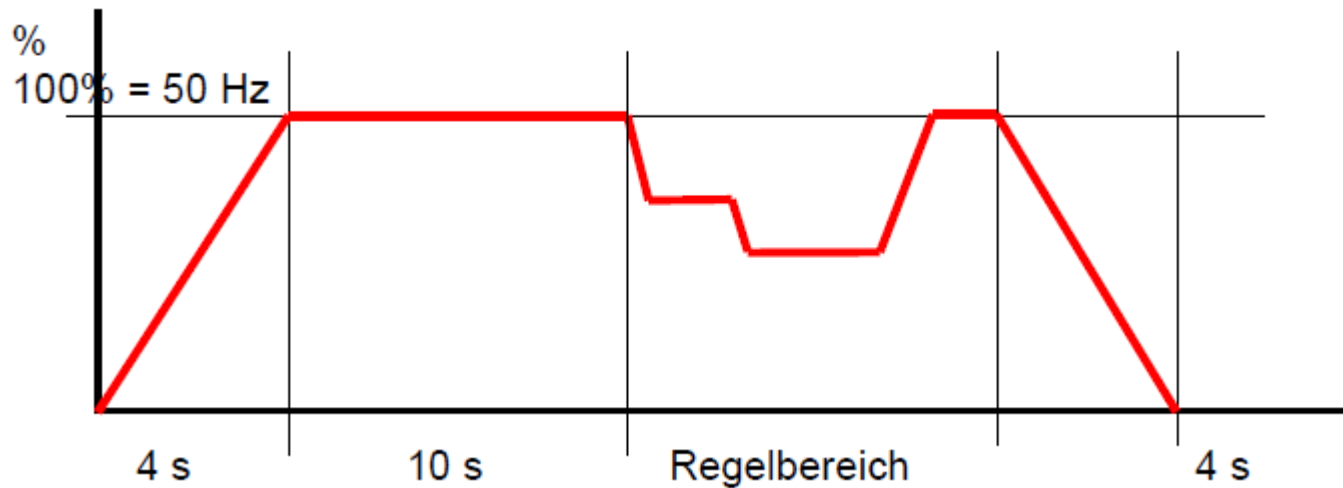


Verschleiß & Verstopfung 4. Betriebsbereiche

Betriebsgrenzen

Prüfung des Arbeitsbereiches nach:

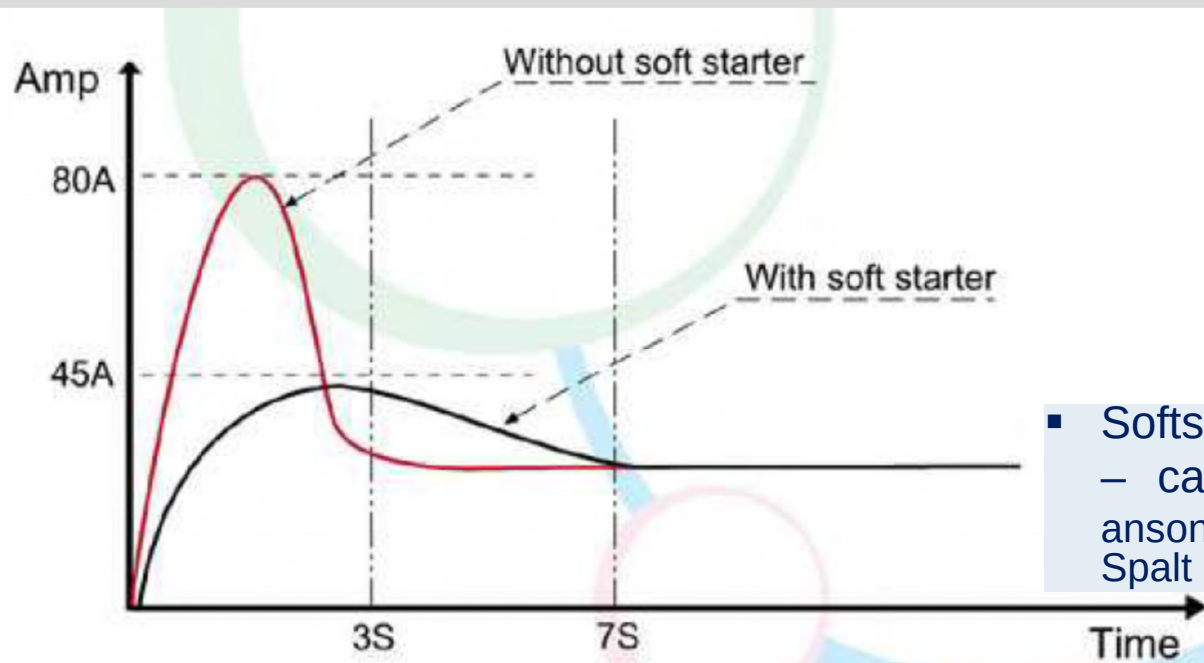
- NPSH vorhanden
- Kavitation
- Strömungsgeschwindigkeiten in der vertikalen Rohrleitung
 - v_{min}
 - 1,5 m/s bei Sand
 - 2,5 m/s bei Splitt
- Strömungsgeschwindigkeiten in der Saugleitung → v_{max}
- Umfangsgeschwindigkeit am Laufrad → n_{min}
 - 15-18 m/s



Verschleiß & Verstopfung 4. Betriebsbereiche

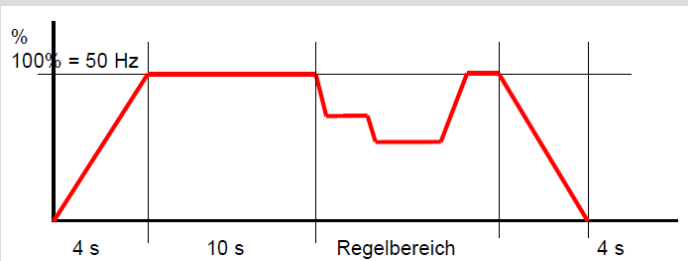
An- und Abfahrrampen

- Frequenzumrichter
 - Anfahrrampe in 4s auf 100%
 - Spülstoß
 - Regelbereich
 - Spülstoß
 - Abfahrrampe mit 4s



- Softstarter
 - ca. $3 \times I_{\text{Nenn}}$,
ansonsten Gefahr bei Faserstoffen im Spalt

- **Schritt 1 - Drehzahl hoch/runter**
 - Wenn die Pumpe nicht gestoppt werden kann
 - Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit auf der Schaufel
- **Schritt 2 – Spülstoß**
 - Stopp und Start auf 100%
- **Schritt 3 – Rückwärtslauf (am FU direkt Einstellbar)**
 - langsam Stoppen (15 s)
 - Pumpe steht kurz (10 s)
 - **Anlauf der Pumpe in umgekehrter Drehrichtung** mit einer Rampenzeit von 5 Sekunden auf 25 Hz und 10 Sekunden laufen lassen,
 - langsam Stoppen (15 s)
 - nach kurzem Stand (10 s) Sekunden Stand wieder normal anfahren
- **Schritt 4 - externe Spülung/manuelle Reinigung**



Verschleiß & Verstopfung

4. Betriebsbereiche

Regelungsvorschläge

(Rückwärtslauf: Prof. Thamsen/TU Berlin)

Ausgelöst über

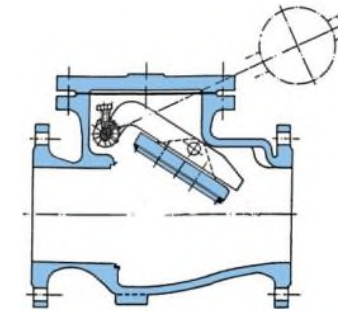
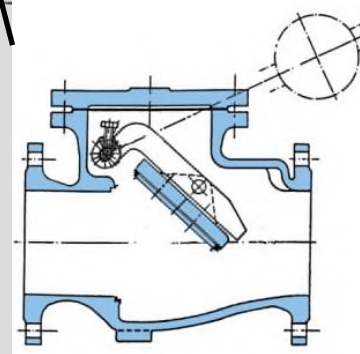
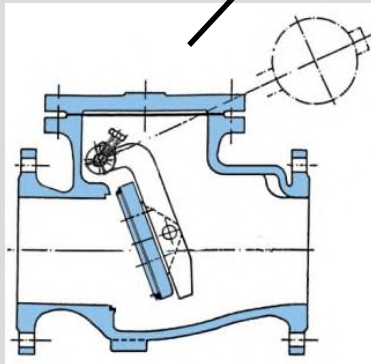
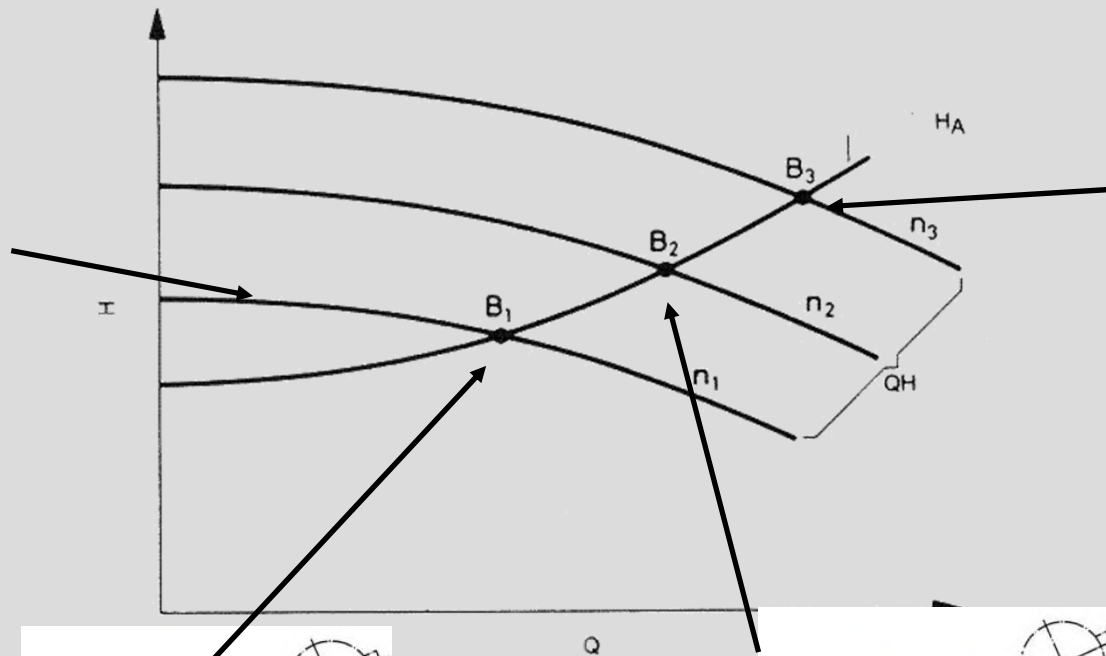
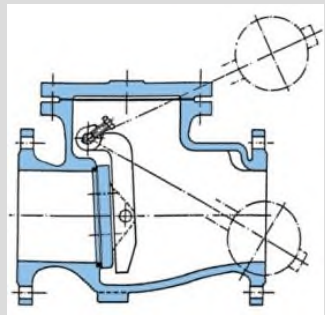
- Fördermengenrückgang
- Anstieg Leistungsaufnahme
- Schwingungen
- Temperaturen

Strömungsgeschwindigkeiten
und Zulaufbedingungen
wurden bereits geprüft?

Verschleiß & Verstopfung

4. Betriebsbereiche

Öffnung einer Rückschlagklappe



- Öffnungswinkel der Rückschlagklappe ist abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit
- Empfehlung ~ 1,5 m/s



Beispiele



Verschleiß & Verstopfung 4. Betriebsbereiche

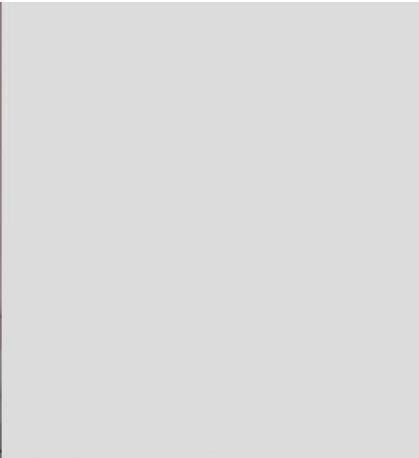
- Regelweise
- Standzeiten
- Reservepumpe
- Ablagerungen
- Bauwerksgröße
- Strömungsgeschwindigkeiten



Verschleiß & Verstopfung 5. Rohrleitungen

Gestaltung Saugleitung

- Länge
- Bögen
- T-Stücke
- Einbindungen
- Reduzierungen
- Gasansammlungen
- Ablagerungen
- Strömungsprofile
- Strömungsgeschwindigkeit
- Verluste reduzieren
- Drall

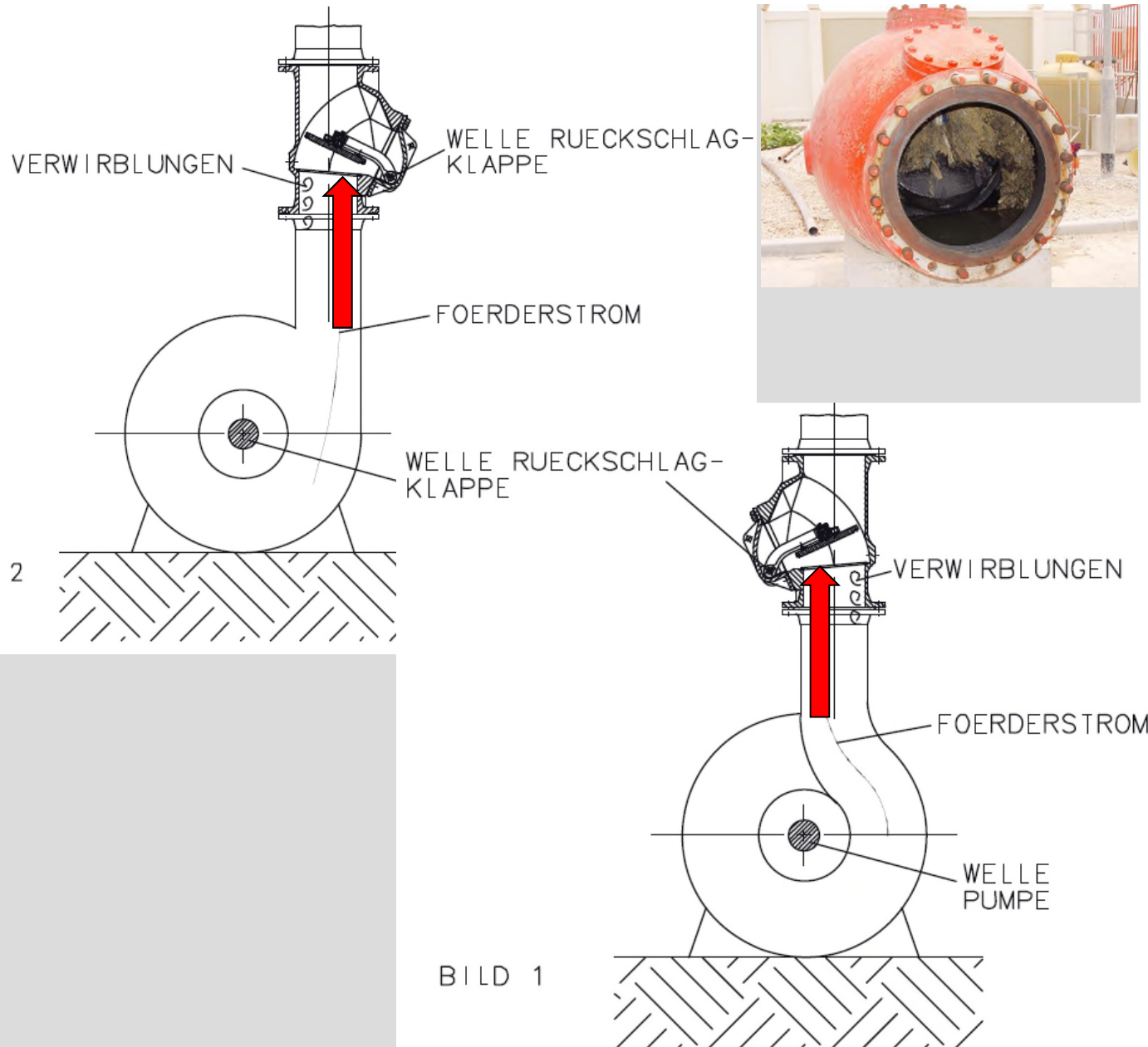


Verschleiß & Verstopfung 5. Rohrleitungen

Gestaltung Druckleitung

- Strömungsgeschwindigkeit
- Befestigungen/Impulse
- Verluste
- Kompensatoren
- Einbindungen
- Erweiterungen
- Bögen



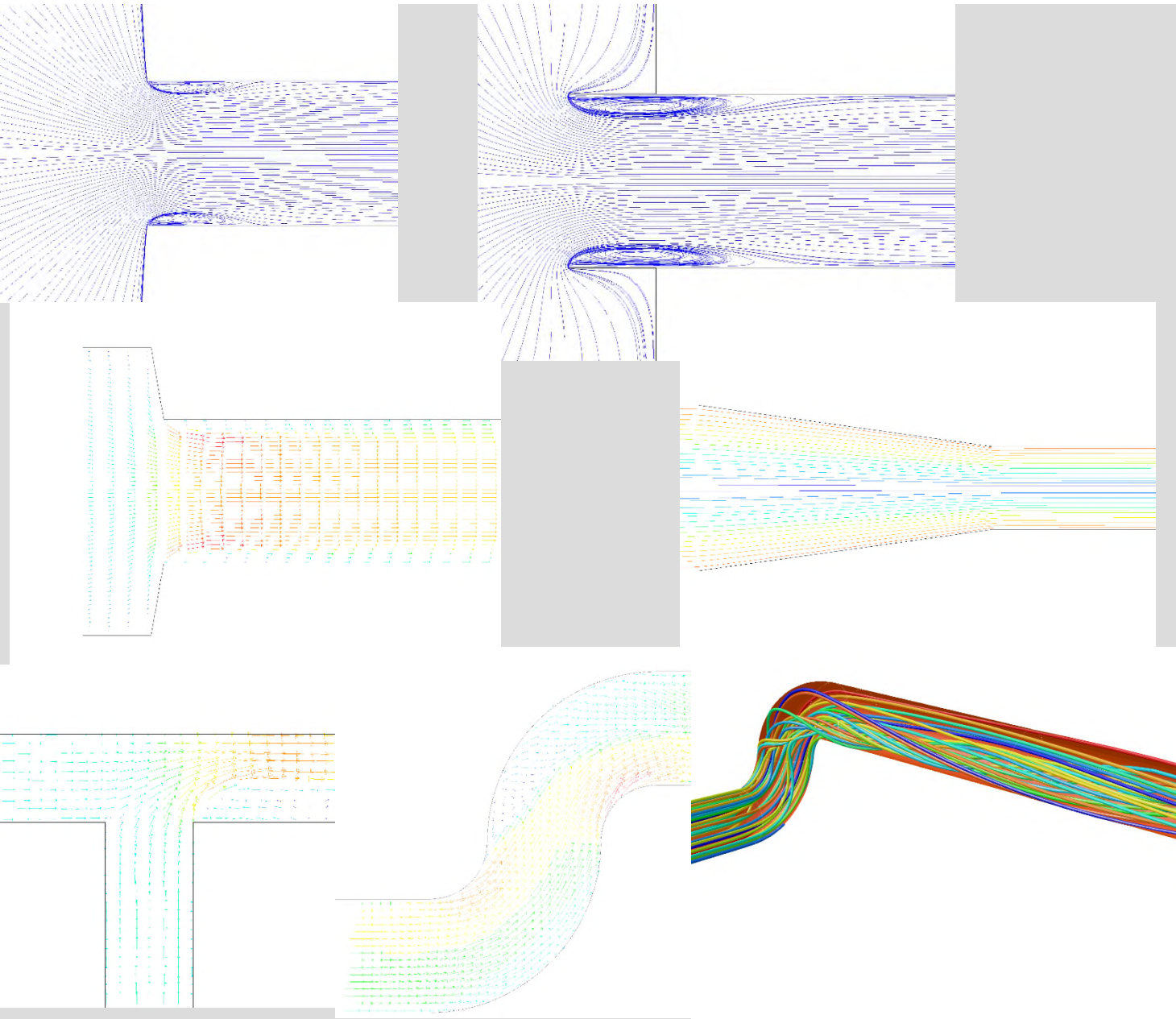


Verschleiß & Verstopfung 5. Rohrleitungen

Gestaltung Druckleitung

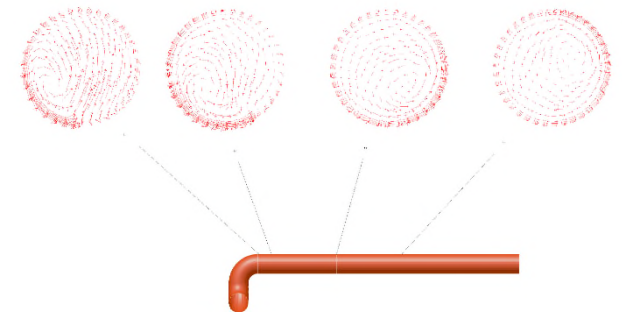
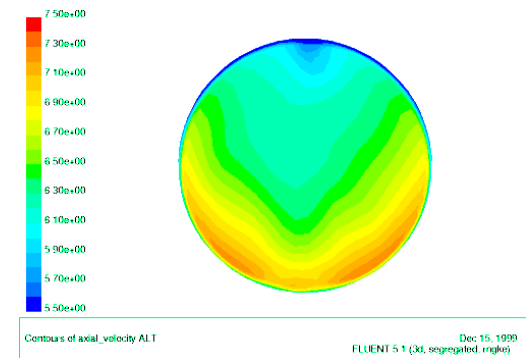
Rückflussverhinderer

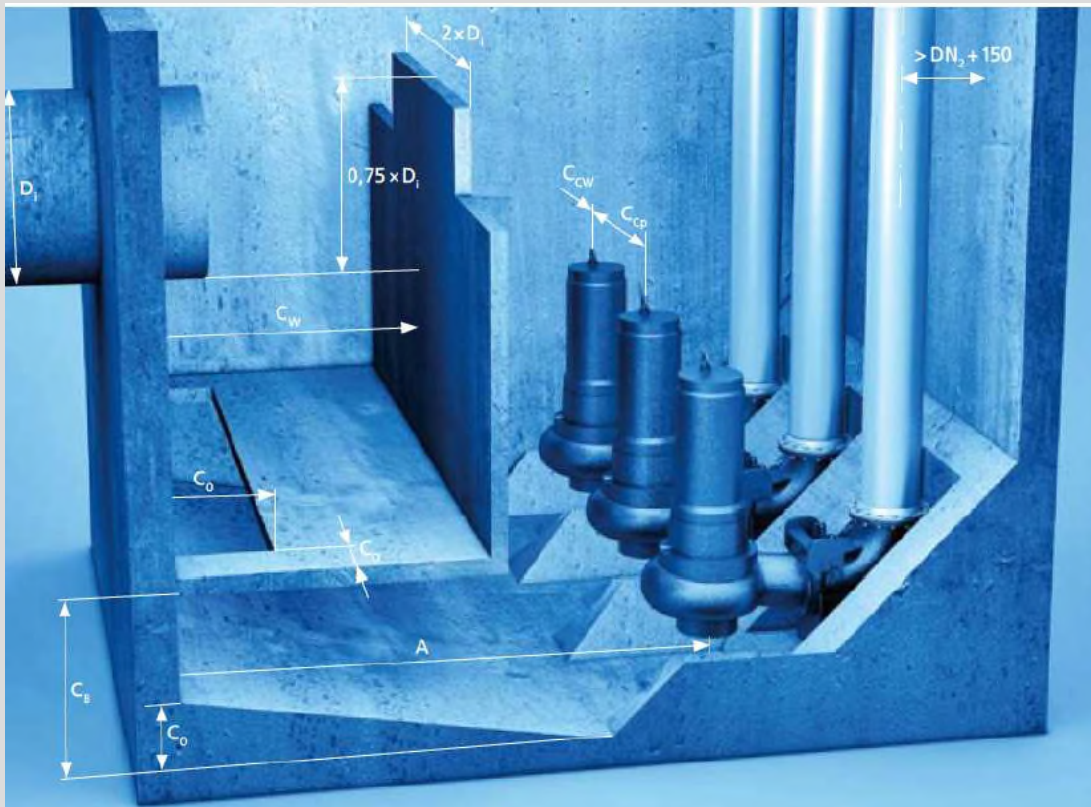
- Abwassergerecht
- richtige Ausrichtung
- richtigen Position



Verschleiß & Verstopfung 5. Rohrleitungen

Strömungsprofile





Verschleiß & Verstopfung

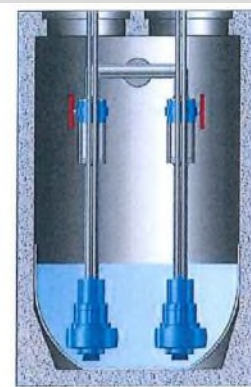
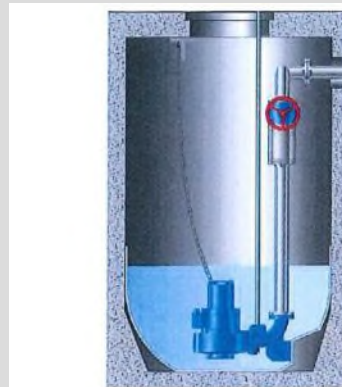
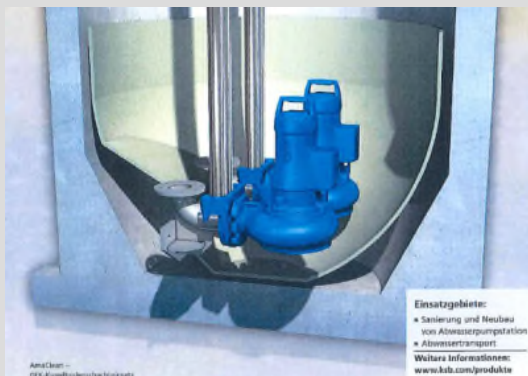
6. Bauwerk

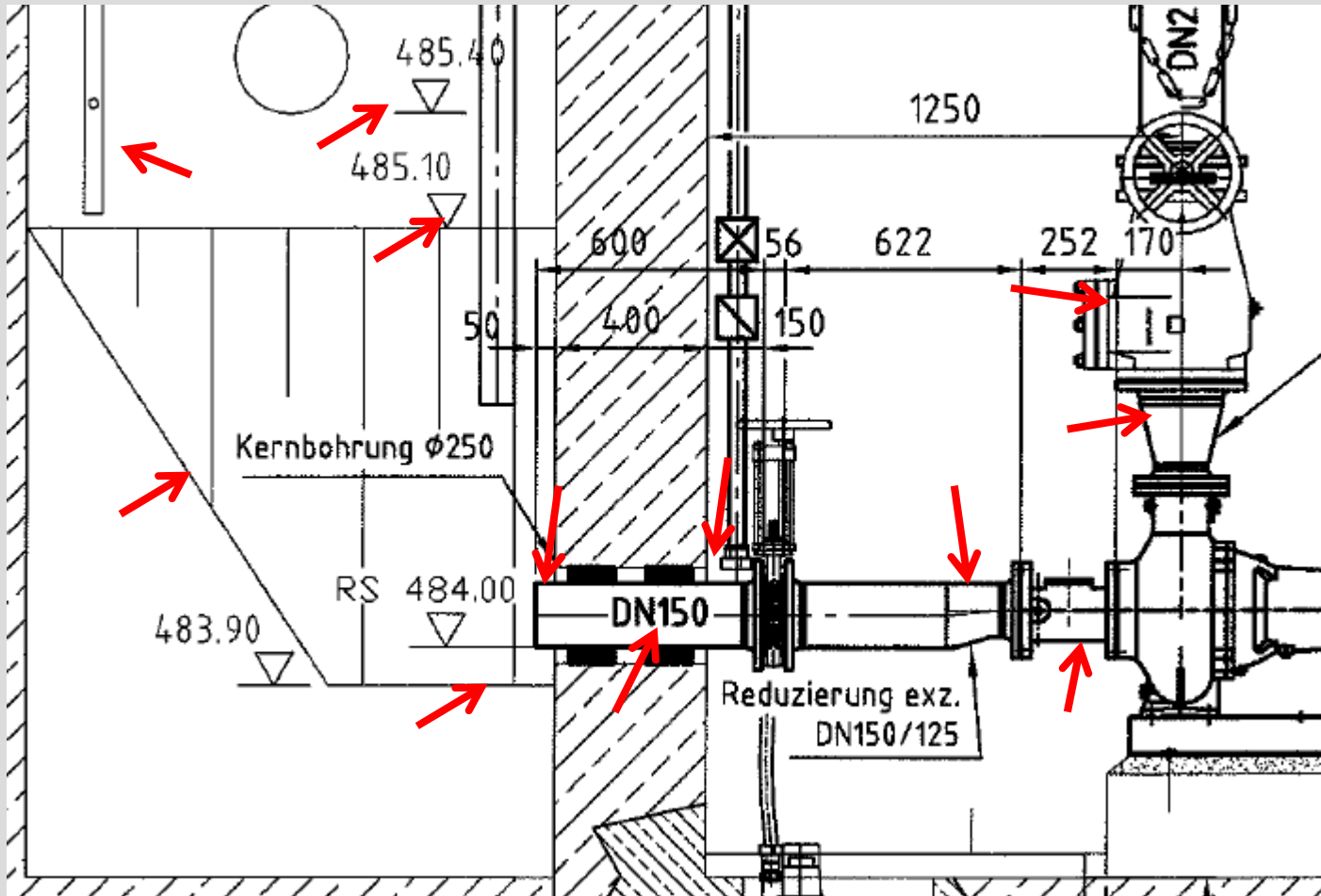
Gestaltung Pumpensumpf (Nassaufstellung)

- Zulauf
- Fallhöhe
- Lufteintrag
- Bermen
- Sumpfgröße
- Totgebiete
- Bodenabstände
- Wandabstände
- Abstand zu anderen Pumpen
- Rohrleitung (Erweiterung/Führung)
- Trennwände
- Rippen
- ...

© Copyright KSB SE & Co. KGaA

All Rights Reserved
Strictly Confidential



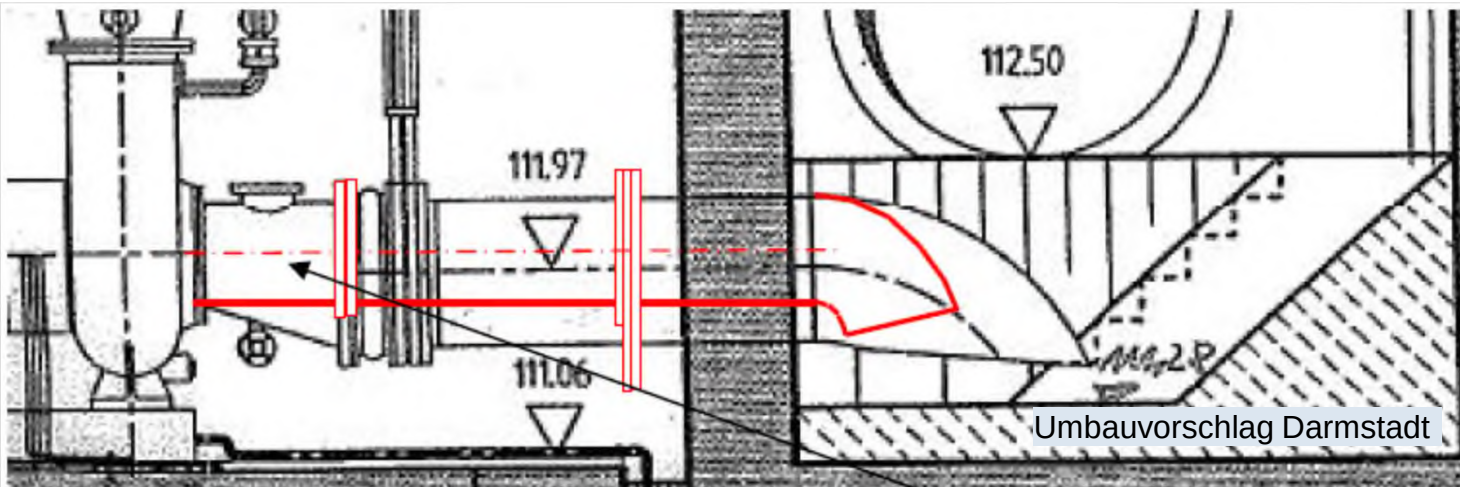


Verschleiß & Verstopfung

6. Bauwerk

Gestaltung Pumpensumpf (Trockenaufstellung)

- Zulauf, Bermen, Sumpfgröße, Schaltkoten,
- Saugleitung Eintritt, Saugleitung Größe, Ausrücksicherung, Reduzierung, Beruhigung,
- Druckleitung Erweiterungen, Leitungsgröße,
- RSK, Schieber

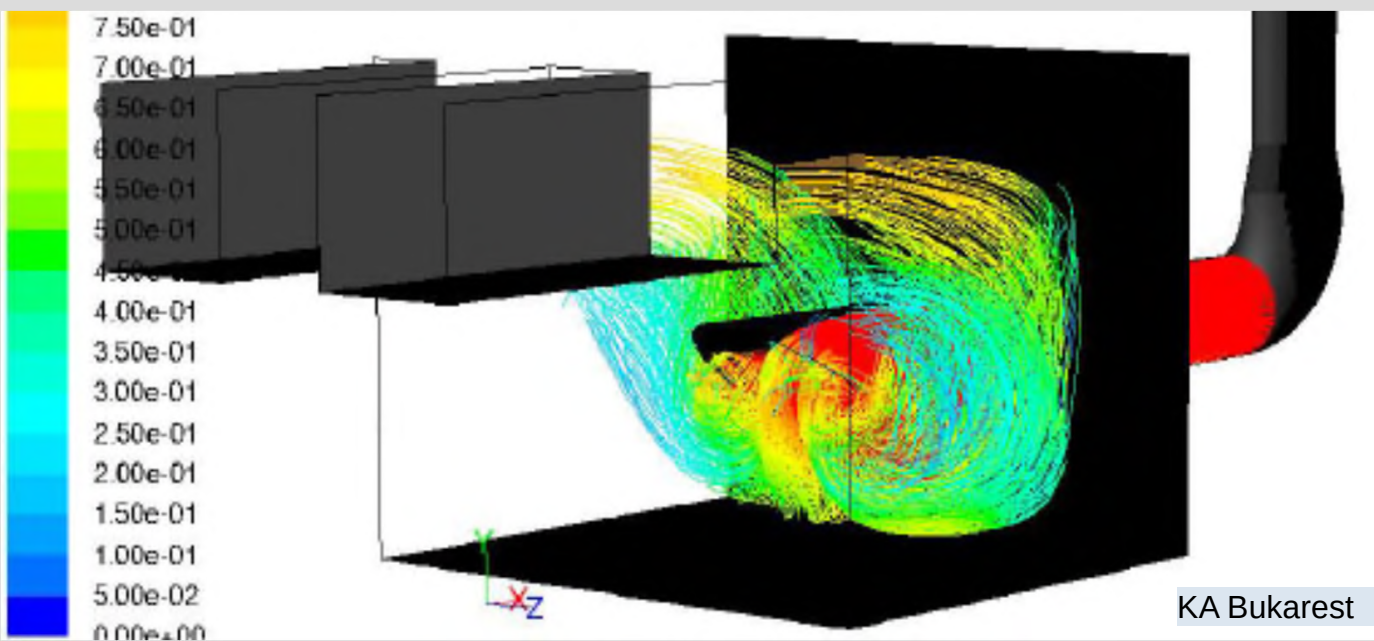


Verschleiß & Verstopfung

6. Bauwerk

Gestaltung Pumpensumpf (Trockenaufstellung)

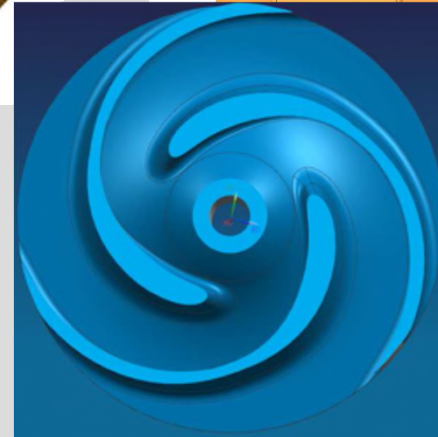
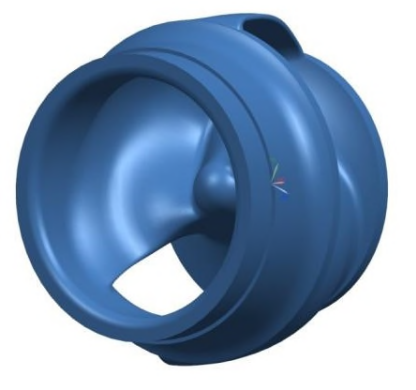
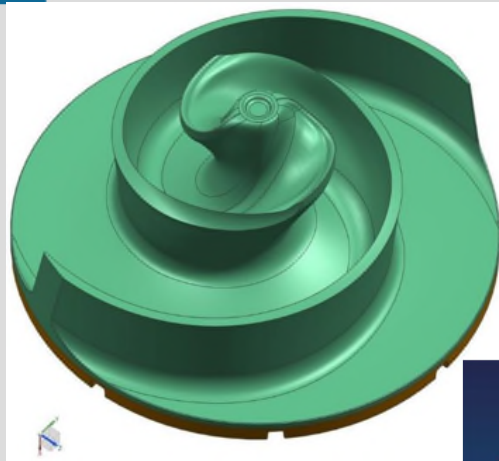
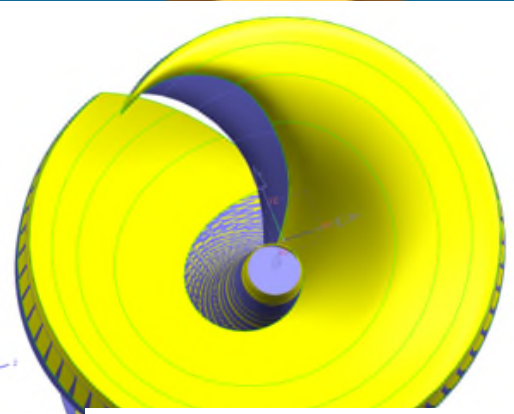
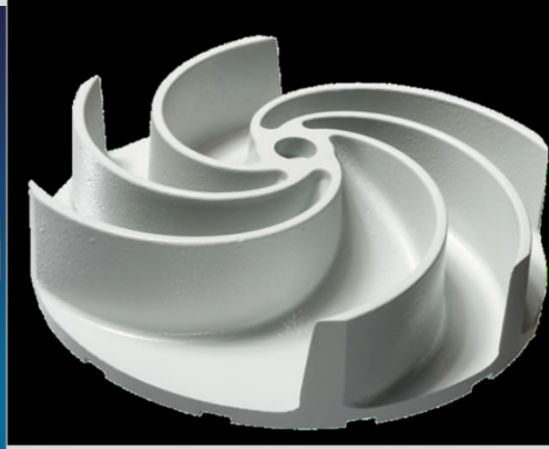
- Umbauvorschläge:
 - Lufteintrag
 - Wirbelbildung
 - Ablagerungen
 - Strömungsgeschwindigkeiten



Verschleiß & Verstopfung

6. Laufräder

neuere Hydrauliken

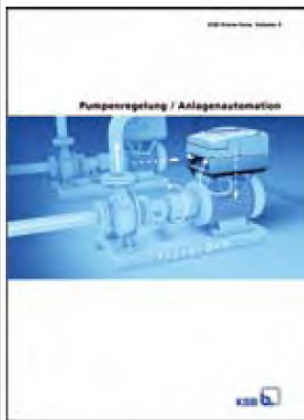


Verschleiß & Verstopfung 7. Abwasserregeln

1. **Abwasser** Zusammensetzung, Einleiter
2. **gesamte System** betrachten
3. **richtige Pumpe/Hydraulik** auswählen
4. **Richtige Werkstoffauswahl** um Verschleiß zu reduzieren
5. Der richtige **Betriebspunkt**, Qopt
6. **Betriebsweise**, Regelung, FU-Betrieb, Softstarter, Standzeiten, Schalzhäufigkeit, Pumpenwechsel, **Rückwärtslauf**
7. **Strömungs- und Umfangsgeschwindigkeiten**
8. **Zulaufverhältnisse**, Lufteintrag, Strömungsverhältnisse, Einlaufrechen, Geröllfang, Pumpensumpfgestaltung, Aufstellung, Überdeckung, Schaltkoten, Saugleitung
9. **Rohrleitung**, Größe, Einbauten, Bögen, Reduzierungen, Erweiterungen, Befestigungen, E-Rad Spezifika (Kompensatoren, Kugel RSV, Impulse)
10. **Mischen**
11. **Regelmäßiger Service**

Verschleiß & Verstopfung

8. Planungshinweise



KSB Know-how, Band 04

Planungshinweise
Drehzahlregelung



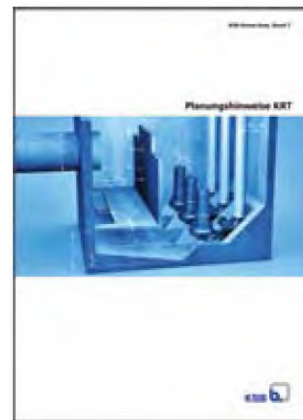
KSB Know-how, Band 05

Planungshinweise
Druckerhöhung



KSB Know-how, Band 06

Planungshinweise
Rohrschachtpumpen



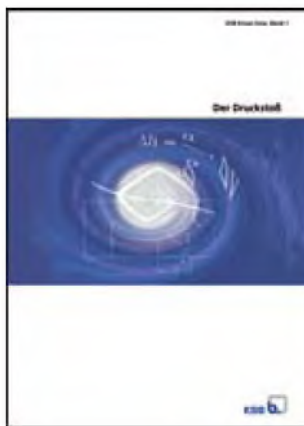
KSB Know-how, Band 07

Planungshinweise
KRT



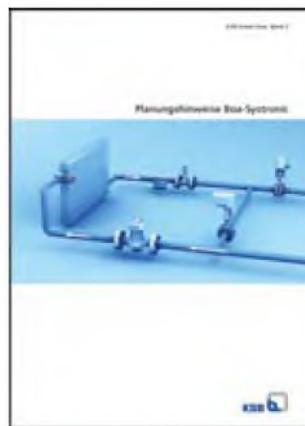
KSB Know-how

Auslegung von
Kreispumpen
erhältlich in:



KSB Know-how, Band 01

Der Druckstoß
erhältlich in:



KSB Know-how, Band 02

Boa-Systronic®
erhältlich in:



KSB Know-how, Band 03

Planungshinweise
Entwässerung
erhältlich in:

Verschleiß & Verstopfung

Fragen?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit