

## Pumpenpopulationen und -ausfallursachen in der Verfahrenstechnik

Dipl.-Kff. Britta Kohlmann  
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik  
Abteilung Instandhaltungslogistik  
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4  
44227 Dortmund  
E-Mail: [britta.kohlmann@iml.fraunhofer.de](mailto:britta.kohlmann@iml.fraunhofer.de)

Dr.-Ing. Simon Schneider  
BASF  
Robert-Bosch-Straße 36  
67056 Ludwigshafen  
E-Mail: [simon.schneider@basf.com](mailto:simon.schneider@basf.com)

### Ausgangssituation

Prozess- und verfahrenstechnische Anlagen sind heute untrennbar mit fast allen Erzeugnissen verbunden. In diesen Anlagen bilden Pumpen die Motoren der Prozesse und beeinflussen als treibende Kräfte die gesamte Produktion. Aufgrund ihrer einfachen und robusten Bauweise sind insbesondere Kreiselpumpen weit verbreitet. Sie kommen zur Förderung, häufig auch zur Dosierung und Umwälzung von Flüssigkeiten, zum Einsatz. Ein Pumpensystem besteht aus einer Vielzahl von Systemkomponenten wie bspw. Behältern (z. B. Tanks oder Becken), Rohrleitungen, Armaturen, Mess- und Regelungstechnik und Einbauten wie Wärmetauschern, Filtern oder verschiedensten verfahrenstechnischen Apparaten. Dabei ist die Pumpe mit ihrem Antrieb das Herz der Anlage. Ihre Aufgabe ist es, neben der Erzeugung des Förderstroms, durch den Aufbau von Druckunterschieden Höhendifferenzen und Druckverluste durch Reibung in Behältern, Rohrleitungen und Apparaten zu überwinden.<sup>1</sup>

Aber die Arbeit von Pumpen hat ihren Preis. Die Pumpe muss die notwendige Energie in das System einbringen, damit das Fördermedium von einem Ort zum anderen transportiert werden kann. Der Energiebedarf von Pumpensystemen hängt von der zu bewältigenden Förderaufgabe und den Wirkungsgraden der einzelnen Systemkomponenten ab. In den Rohrleitungen wird das Fördermedium je nach Anforderungen des Prozesses beschleunigt, abgebremst, umgelenkt oder in Armaturen (Ventilen) von einem höheren Druck auf einen niedrigeren entspannt. Hinzu kom-

---

<sup>1</sup> Website Initiative Energieeffizienz [1] 2008.

men bspw. die Reibung der Pumpenwelle in Lagern und Dichtungen und des Fördermediums an der Rohrleitungswand. So entstehen an vielen Stellen im Prozess Energieverluste, die den Wirkungsgrad der Systemkomponenten beeinflussen und den Energiebedarf erhöhen.<sup>2</sup> Pumpen verbrauchen demnach viel elektrische Energie. Realistische Schätzungen gehen davon aus, dass fast 20 % des weltweit erzeugten Stroms von Pumpen verbraucht werden, wobei davon mehr als 25 % des Energieverbrauchs in Anlagen der Prozess- und Verfahrenstechnik anfallen.<sup>3</sup>

Die Pumpe ist die mechatronische Schlüsselkomponente, die in hohem Maße die Verfügbarkeit der gesamten Anlage bestimmt. Die zunehmende Globalisierung und der wachsende internationale Markt fordern immer speziellere Produkte mit kürzeren Lieferzeiten und hoher Termintreue. Entsprechend den wachsenden Anforderungen werden Pumpensysteme bei zunehmenden Anlagenlaufzeiten näher an ihrer Belastungsgrenze betrieben. Dies führt zu einer erhöhten Fehleranfälligkeit.

Der Ausfall einer Pumpe kann den Stillstand der gesamten Anlage zur Folge haben. Die dadurch entstehenden Produktionsausfallkosten (quantitativ bewertbar über Deckungsbeitragsverluste) können den Wert der Pumpe schnell übersteigen.<sup>4</sup> Diese Kosten sind in der Lebenszykluskostenbetrachtung von Pumpen ein wichtiger Faktor (vgl. Abb. 1).

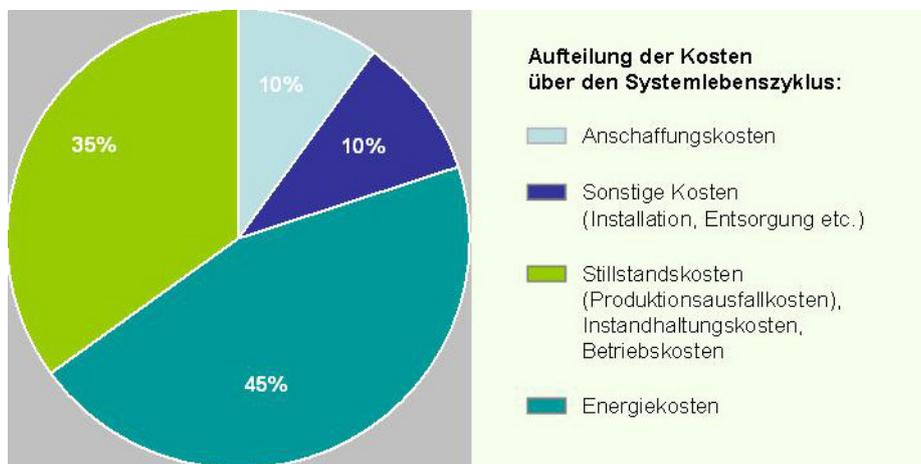


Abb. 1: Lebenszykluskosten eines Pumpensystems<sup>5</sup>

In vielen Industriebetrieben sind redundant ausgeführte Pumpensysteme daher das Mittel der Wahl, um Anlagenstillstände und Produktionsausfälle weitgehend zu vermeiden und Deckungsbeitragsverluste zu reduzieren. Redundante Ausführungen von Pumpen und die damit verbunde-

<sup>2</sup> Website Initiative Energieeffizienz [1] 2008.

<sup>3</sup> Hydraulic Institute et al. 2001.

<sup>4</sup> Website Initiative Energieeffizienz [2] 2008.

<sup>5</sup> In Anlehnung an Website Initiative Energieeffizienz [3] 2008.

ne Installation von zusätzlichen Rohrleitungen, Mess- und Regelungstechnik etc. sind jedoch mit einem hohen finanziellen und anlagentechnischen Mehraufwand verbunden. Nach einer Abschätzung des VCI (Verband der Chemischen Industrie) entfallen 9 % der Gesamtkosten beim Bau einer verfahrenstechnischen Anlage auf die Redundanz von Pumpensystemen. Durch den Verzicht auf redundante Pumpen könnten die befragten VCI-Mitglieder am Standort Deutschland jährlich 500 Mio € Investitionskosten einsparen.<sup>6</sup>

Zudem kann durch redundante Pumpen die Ausfallwahrscheinlichkeit der Anlagen vielfach nicht wunschgemäß reduziert werden. Redundanz ist vorteilhaft, wenn der Ausfall der Primärpumpe durch zufälliges Versagen verursacht wird. Viele Ausfälle resultieren jedoch aus einem nicht bestimmungsgemäßen Betrieb (z. B. Trockenlauf, Kavitation oder Betrieb bei zu großer Fördermenge). Wird dieser als Ausfallursache für die Primärpumpe nicht erkannt, kann der Ausfall der redundanten Pumpe nur kurze Zeit später erfolgen.

Neben dem Produktionsausfall ist auch die Instandhaltung der Pumpen sehr kostenintensiv. Während die Anschaffungs- und Investitionskosten einer Pumpe nur einen geringen Prozentsatz der Lebenszykluskosten ausmachen, verursachen die Instandhaltungskosten einen weit höheren Teil der Gesamtkosten (vgl. Abb. 1). Die Infracor, Service-Dienstleister und Standortbetreiber des Chemieparks in Marl und verantwortlich für die Instandhaltung von rund 15.000 Pumpen, hat insbesondere die Instandsetzung der Pumpen als einen der größten Kostenblöcke im Lebenszyklus der Systeme identifiziert.

Der Zuverlässigkeit von Pumpensystemen kommt also unter Kostengesichtspunkten ein ganz besonderer Stellenwert zu. Zudem ist insbesondere für produzierende Unternehmen der Prozess- und Verfahrenstechnik ein Höchstmaß an Sicherheit, Verfügbarkeit und Qualität unerlässlich. Die Wahl der Instandhaltungsstrategie ist daher für den effizienten und kostenoptimierten Betrieb eines Pumpensystems von großer Bedeutung. Die Mehrzahl der Pumpeninstandhalter bzw. -betreiber praktiziert Strategien der zeit- oder ausfallbasierten Instandhaltung. Diese Strategien erzielen meist jedoch nicht die gewünschte Verfügbarkeit der Systeme, bezogen auf ungeplante Anlagenstillstände und den wirtschaftlichen Einsatz von Ressourcen (bspw. Redundanz, Personal, Ersatzteile). Während bei der zeitbasierten Instandhaltung im Rahmen präventiver Maßnahmen der Austausch kritischer Anlagenteile in der Regel zu früh erfolgt, reagiert die ausfallbasierte Instandhaltung immer zu spät. Auf längere Sicht können die Anforderungen an die Instandhaltung nur durch einen zustandsabhängigen, vorausschauenden Ansatz erfüllt werden,

---

<sup>6</sup> Website Verband der Chemischen Industrie 2005.

der auf die wesentlichen ausfallkritischen Bauteile und Ausfallursachen abgestimmt werden muss.

Die Instandhaltung der Pumpen ist folglich eine wichtige Größe in der Wertschöpfungskette und ein strategischer Erfolgsfaktor für Unternehmen in der Prozessindustrie. Die Realisierung einer zustandsabhängigen, vorausschauenden Instandhaltungsstrategie bietet ein hohes Einsparpotenzial. Ein Verfahren für eine kostengünstige Zustandsdiagnose und Restlebensdauerprognose der Prozesspumpen rückt daher zunehmend in den Interessenbereich der Betreiber und Instandhalter. Nach einer konservativen Schätzung befragter Pumpenbetreiber und -instandhalter der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie (Mitglieder des ReMain-Arbeitskreises) können mindestens 25 % aller Pumpenausfälle durch ein Diagnosesystem verhindert werden. In einer Studie der TU Kaiserslautern zu diesem Thema wurde ermittelt, dass der Betreiber einer Pumpe bereit ist, 15 % des Pumpenanschaffungspreises in ein Diagnosesystem zu investieren, welches unzulässige Betriebszustände mit einem Fehler von max. 10 % erkennt. Ein zuverlässiges Überwachungssystem kann in Verbindung mit einer restlebensdauerbezogenen Betriebs- und Instandhaltungsstrategie ungeplante Stillstände vermeiden und die Installation redundanter Pumpen teilweise überflüssig machen. Der Betreiber hat die Möglichkeit, basierend auf dem technischen Zustand der Pumpe die erforderlichen Instandhaltungstätigkeiten zu planen, ohne in den Prozess eingreifen zu müssen. Gleichzeitig kann der Betreiber durch Korrektur der Betriebsweise den Verschleiß der Pumpe reduzieren und damit seine Kostenfaktoren über den Lebenszyklus der Pumpe senken.

### **ReMain-Betreiberumfrage**

Für die Entwicklung eines praxistauglichen Diagnose- und Prognoseverfahrens müssen zunächst sowohl die Anforderungen der Betreiber und Instandhalter an ein Verfahren als auch die Anforderungen, die aus den Prozessen resultieren, ermittelt werden. Gleichzeitig muss die Ist-Situation hinsichtlich der in den prozess- und verfahrenstechnischen Anlagen verbauten Kreiselpumpentypen (Pumpenpopulation) bekannt sein und die wesentlichen ausfallkritischen Bauteile und Ausfallursachen identifiziert werden.

Mit der Entwicklung eines Fragebogens auf Basis dieser Parameter hat das Verbundprojekt ReMain<sup>7</sup> eine Möglichkeit geschaffen, herstellerübergreifend die erforderlichen Informationen zu

---

<sup>7</sup> Siehe ReMain-Projektinformation.

ermitteln. Befragt wurden Unternehmen unterschiedlicher Branchen, die als erweiterter Arbeitskreis in das Projekt eingebunden sind. Dazu gehören unter anderem

- Unternehmen der Großchemie wie BASF, Bayer und Wacker,
- Betreiber aus dem Anlagen- und Maschinenbau wie MAN und R&M sowie
- Wasserver- und -entsorger,

die insgesamt mehr als 100.000 Pumpen betreiben.

Die Streuung der Bereiche, aus denen die Befragten stammen, und der große verwertbare Anteil des Rücklaufs der Befragung bildeten eine gute Datenbasis für die Auswertung.

Erste Ergebnisse der Umfrage wurden bereits im Februar 2007 auf einer Sitzung des Forum Vision Instandhaltung (FVI) im Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik in Dortmund präsentiert. Der vorliegende Beitrag stellt die aktualisierten Ergebnisse der nun abgeschlossenen Umfrage vor.

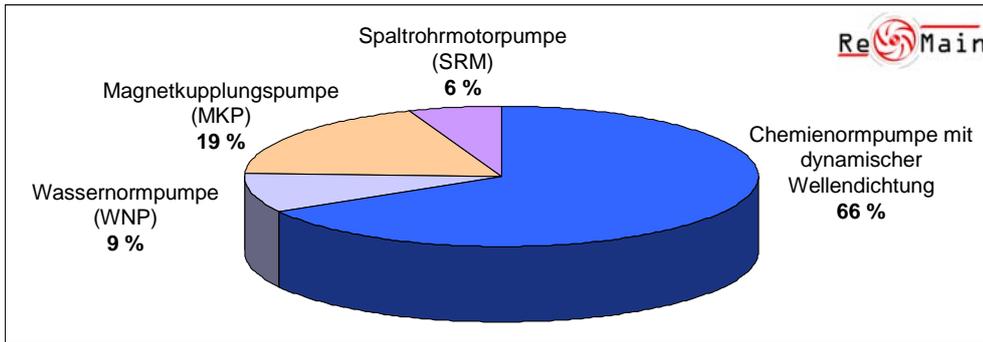
Der Fragebogen bestand aus drei Frageteilen:

- 1. Teil:** Pumpenpopulation in Häufigkeitsverteilungen (hinsichtlich Bauart, Dichtungsart, Hydraulikgrößen, Antriebsart),
- 2. Teil:** Einsatzbedingungen (Betriebsart, Redundanz), Instandhaltung (Informationen zu Wartung/Inspektion und durchschnittlichen Ausfallzeiten), ausfallrelevante Bauteile und Schadensursachen,
- 3. Teil:** Anforderungen an Diagnosesysteme (hinsichtlich überwachungsrelevanter Bauteile und Ausfallursachen).

### **Teil 1: Pumpenpopulationen**

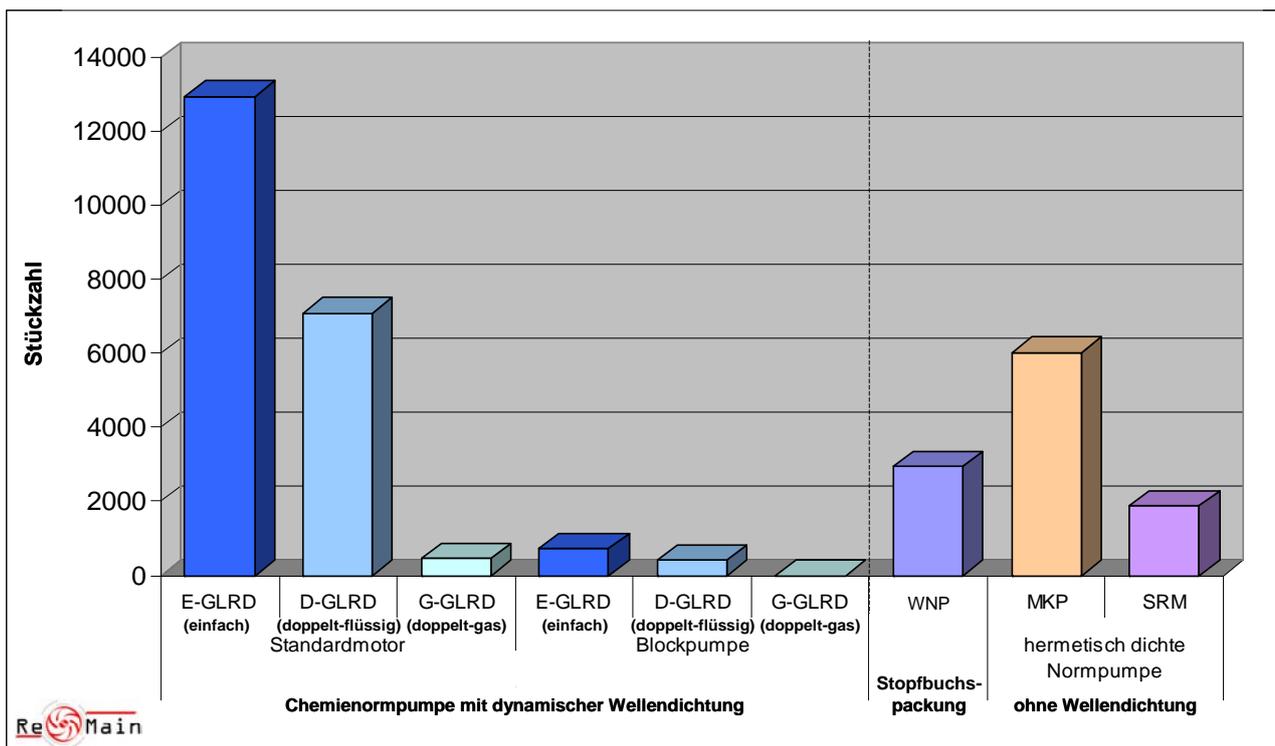
Aus der Zusammenfassung der Umfrageergebnisse ergab sich eine Datenbasis von insgesamt 32.508 Kreiselpumpen. Die Unterteilung wurde zunächst vorgenommen in Chemienormpumpen (mit dynamischer Wellendichtung), Spaltrohrmotorpumpen (SRM), Magnetkupplungspumpen (MKP) und Wassernormpumpen. Wassernormpumpen weichen durch andere Baugrößenreihen in der Normung und durch die verwendeten Werkstoffe, Druckstufen und Wellendichtungen ab, wobei hier die Stopfbuchspackung zunehmend durch einfachwirkende Gleitringdichtungen verdrängt wird.

Den größten Anteil der erfassten Pumpentypen nehmen die Chemienormpumpen ein. Bei der erhobenen Gesamtheit wurden 21.637 (66 %) Chemienormpumpen erfasst (vgl. Abb. 2).



**Abb. 2: Pumpenpopulation: Unterteilung hinsichtlich Bauart**

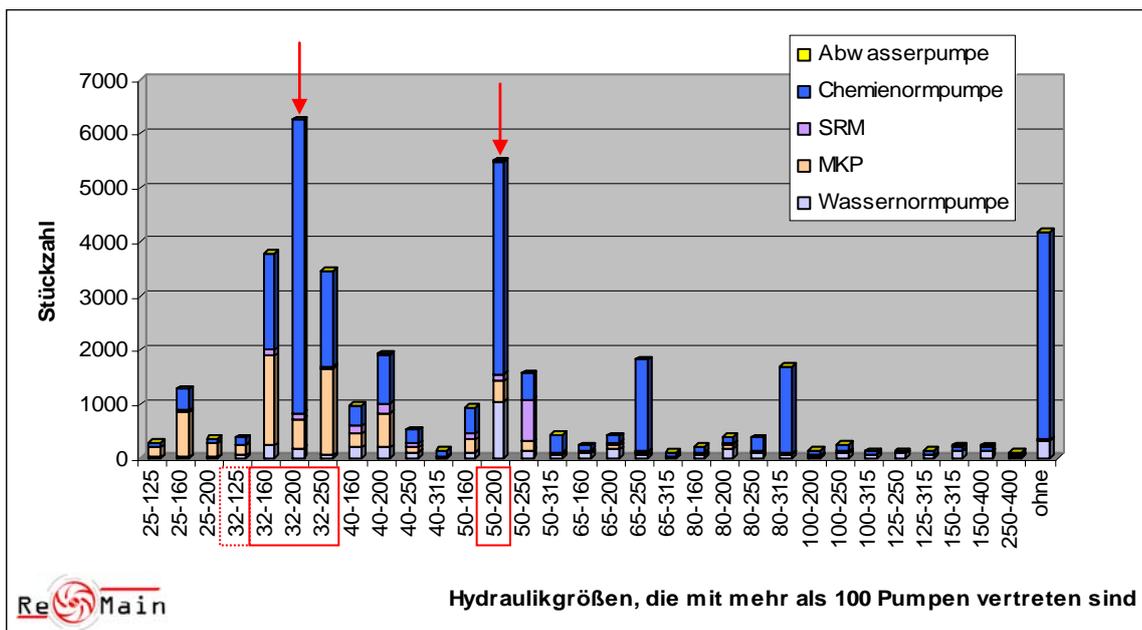
Im Bereich der Chemienormpumpen kommen als Wellendichtung in der Regel Gleitringdichtungen (GLRD) zum Einsatz: Von den insgesamt 21.637 Chemienormpumpen sind 13.667 (63 %) Pumpen mit einfachwirkenden und 7.970 (37 %) mit doppeltwirkenden GLRD ausgestattet. Bei letzteren überwiegt der Anteil der flüssigkeitsgeschmierten GLRD (7.497 Pumpen - 94 %); gasgeschmierte GLRD finden bisher nur geringfügig Verwendung (473 Pumpen - 6 %) (vgl. Abb. 3).



**Abb. 3: Pumpenpopulation: Unterteilung hinsichtlich Bauart und Dichtungsart**

Die zusätzliche Unterscheidung in Blockpumpe und Standardmotor erbrachte einen nur geringen Anteil von Maschinen ohne Wellenkupplung (ca. 5 %) unter den Chemienormpumpen, die meisten Aggregate sind demnach auf einer Grundplatte mit einer Kupplung zwischen Antriebseinheit und Hydraulik aufgestellt.

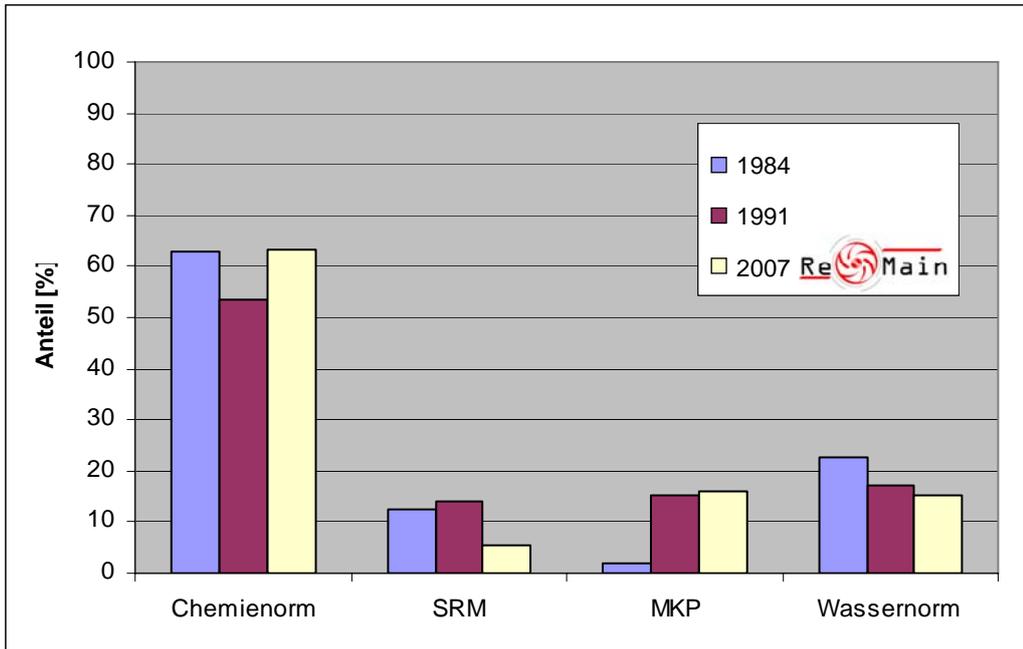
Für die Auswertung der Fragebögen in Hinblick auf die Verteilung der Hydraulikgrößen lag eine Datenbasis von 39.553 Pumpen zugrunde. Bei dieser Gesamtheit sind ca. 16 % der Pumpen mit einer Größe von 32-200 mm stark verbreitet, es folgt die Baugröße 50-200 mm mit einem Anteil von ca. 14 %. Insgesamt ist die 32er Rohrweite mit 35 % die stärkste Fraktion, ein weiterer Peak liegt bei der Größe 50-200 mm. Damit wird annähernd die Hälfte der erhobenen Pumpenpopulation mit diesen Hydraulikgrößen erfasst (vgl. Abb. 4).



**Abb. 4: Pumpenpopulation: Unterteilung hinsichtlich Hydraulikgrößen**

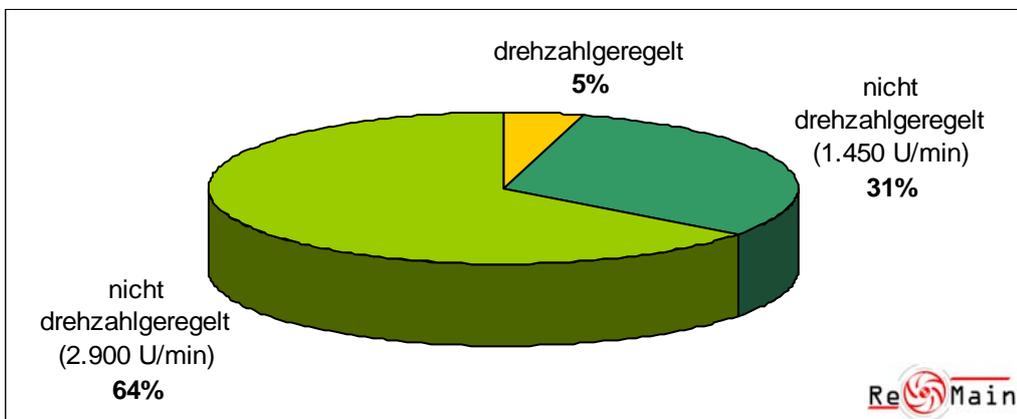
Die Verteilung der Baugröße entspricht den Ergebnissen anderer Untersuchungen: Kleine Nennweiten sind – insbesondere in der Chemiebranche und damit in Hinblick auf Chemienormpumpen – stärker repräsentiert. Dabei ist jedoch zu beachten, dass größere Aggregate auch überproportional höhere Investitionskosten bedeuten und auch überproportional mehr Leistung umsetzen, daher kann die Betrachtung des reinen Summenwertes irreführend sein.

Am Lehrstuhl SAM der TU Kaiserslautern wurden im Laufe jahrelanger Forschungstätigkeiten unterschiedliche Umfragen durchgeführt. Der Summenvergleich in Abb. 5 zeigt zwei vorangegangene Untersuchungen aus den Jahren 1984 und 1991 im Vergleich zur aktuellen. Klar zu erkennen ist, dass der Anteil der Wassernormpumpen abnimmt, wohingegen der Anteil der MKP als hermetisch dichter Normpumpenersatz zunimmt. Die Chemienormpumpe hält sich auf einem konstanten Niveau.



**Abb. 5: Historie**

Einen weiteren interessanten Aspekt bilden die Antriebskonzepte. Hier wurde unterschieden zwischen drehzahlgeregelten sowie netzstarreren zwei- und vier-poligen Maschinen. Netzsynchrone Antriebe überwiegen stark. Die damit verbundene Drosselregelung stellt eine einfache und sehr variable Art der Regelung dar. Allerdings ist sie mit teilweise großen hydraulischen Verlusten behaftet. In Zeiten steigender Energiepreise wird zunehmend über das Einsparpotenzial von drehzahlgeregelten Antrieben nachgedacht. Hier zeigt der kleine Anteil von 5 % (vgl. Abb. 6) deutlich die aktuelle Hemmnis der Betreiber auf. Zum einen müssen Regelkonzepte oder ganze Verfahren komplett umgestellt werden, zum anderen ist die Rückwirkung der Frequenzumrichter auf das Speisernetz derart, dass eine deckende Anwendung die Netzqualität stark senken würde.



**Abb. 6: Pumpenpopulation: Unterteilung hinsichtlich Antriebsart**

Der Anteil von Pumpen mit vier-poligem Motor hat natürlich entsprechenden Einfluss auf die Lebensdauer der Pumpenbauteile. Gerade bei kleinen Aggregaten, den Serienprodukten, werden identische Lagerträger und Laufräder eingesetzt. Zwar nimmt die hydraulische Leistung in dritter Potenz mit der Drehzahl ab, die Lebensdauer der rotierenden Teile steigt aber. Werden die Aggregate größer, bleibt dieser Effekt durch angepasste Konstruktionen mehr und mehr aus.

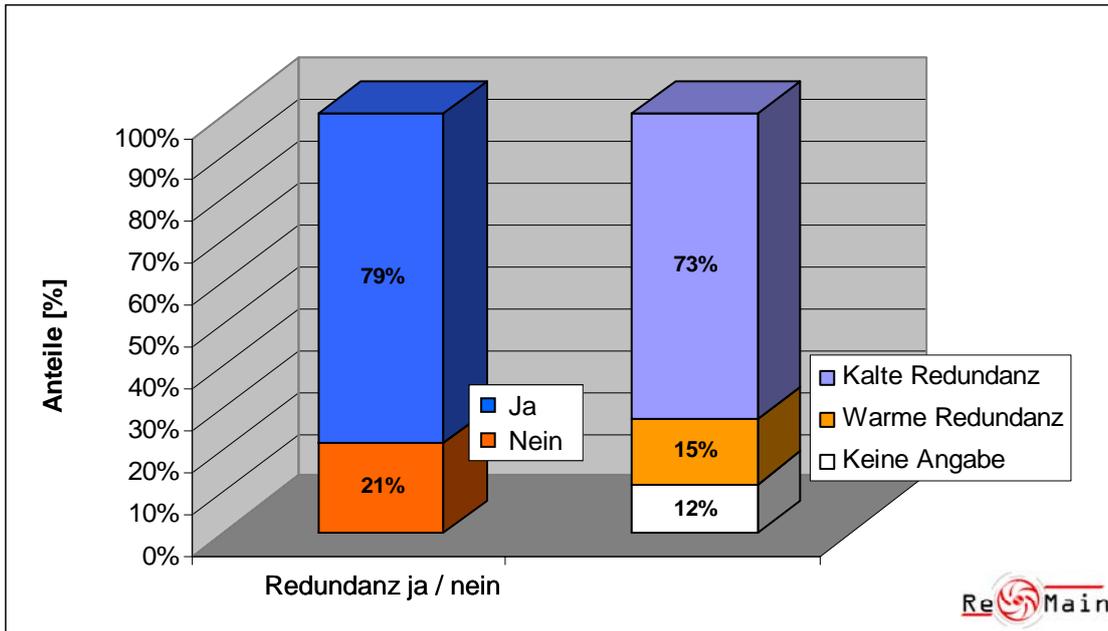
## **Teil 2: Einsatzbedingungen, Instandhaltung, ausfallrelevante Bauteile und Schadensursachen**

Im zweiten Teil der Umfrage wurden die Betreiber gebeten, jeweils drei repräsentative Pumpen auszuwählen. Für diese Pumpen wurden unter anderem Informationen zu Wartungs- und Inspektionsvorgängen, Betriebsart, Redundanz, durchschnittlichen Ausfallzeiten, ausfallrelevanten Bauteilen und Schadensursachen abgefragt.

Für die ausgewählten Pumpen gilt im Schnitt: Bei fast allen Befragten liegen Betriebsvorschriften und Arbeitsanweisungen für Wartung und Inspektion vor, in denen Zeitpunkt und Umfang der Kontroll- und Pflegearbeiten festgelegt sind. Inspektionen erfolgen in der Regel wöchentlich, Wartungen überwiegend monatlich. Dabei werden die erforderlichen Instandhaltungstätigkeiten zu 100 % selbst durchgeführt; eine Vergabe der Instandhaltung an externe Dienstleister findet nicht statt. In 64 % der Fälle werden das Instandhaltungs- und Bedienungspersonal in der Aufgabe der Wartung und Inspektion separat geschult.

Bei der Betriebsart überwiegt der Dauerbetrieb, Kurzzeitbetrieb ist in einem Drittel der Fälle anzutreffen, Tagesbetrieb kommt vergleichsweise selten vor. Gerade der Kurzzeitbetrieb stellt hohe Ansprüche an die Pumpen: In Druckerhöhungsanlagen bspw. werden Pumpen mit einem Druckschalter betrieben. Je nach Dimensionierung des Behälters und der Entnahmemenge können auf diese Weise schnell wechselnde Lasten durch viele Schaltvorgänge entstehen. Der Dauerbetrieb, bestimmungsgemäße Betriebsart vorausgesetzt, stellt das geringste Problem dar.

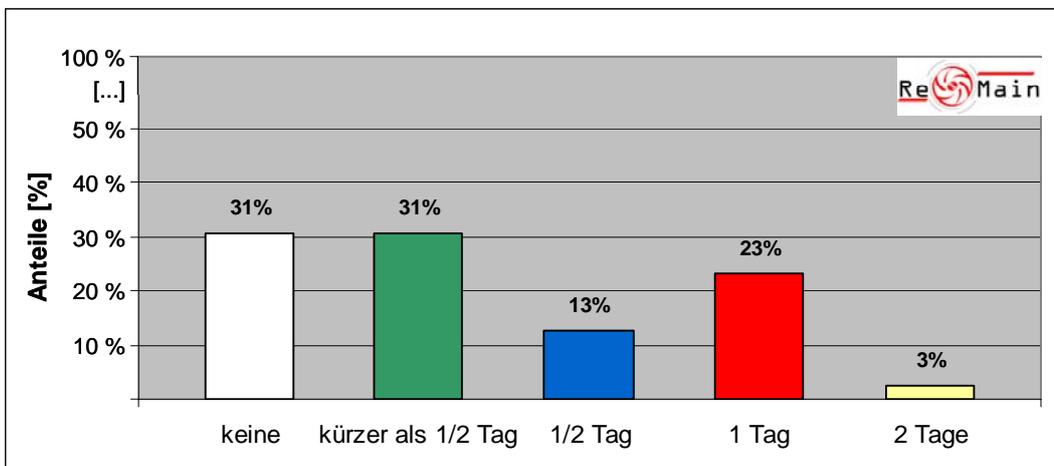
Redundanzen überwiegen eindeutig (vgl. Abb. 7). Bei Betreibern, die eine Produktion direkt oder indirekt mit den Pumpenaggregaten sichern müssen, ist die Verfügbarkeit ein wichtiges Kriterium. Ebenso bei Betreibern, die bspw. aus versicherungstechnischen Gründen einen bestimmten Druck auf einem Löschwassernetz halten müssen.



**Abb. 7: Angaben zur Redundanz**

In der Umfrage überwiegen kalte Redundanzen. Das liegt daran, dass der Prozess oft keine wechselnde Schaltung erlaubt, weil bspw. das Medium auskristallisiert und die abgeschaltete Pumpe evtl. nicht mehr angefahren werden könnte. Eine Demontage zur Instandsetzung ist dann ohnehin notwendig. Kalte Redundanzen können aber auch zu Problemen führen: Wird das Aggregat nicht regelmäßig "bewegt", können Standschäden dazu führen, dass im Bedarfsfall die Pumpe gar nicht erst anfährt.

Entsprechend den Redundanzverteilungen führen bei der Mehrzahl der befragten Betreiber Pumpenschäden zu keinem Prozess- bzw. Produktionsausfall. Lediglich für 3 % der Betreiber bedeutet ein Pumpenschaden einen Prozessstillstand von zwei Tagen (vgl. Abb. 8).



**Abb. 8: Angaben zu Prozess-Ausfallzeiten**

Als häufigste Ausfallursache, betreffend die Bauteile einer Pumpe, wurde von den Befragten die GLRD genannt (vgl. Abb. 9). Die dynamische Wellendichtung ist das empfindlichste Bauteil der modernen Pumpe, gefolgt von den Lagern und dem Spaltverschleiß. Interessant war die Angabe unter "sonstige", die viele Betreiber intuitiv mit Fehlbedienung ausgefüllt haben. Tatsächlich werden viele Pumpen durch Fehlbedienung (menschlich und/oder aus dem Verfahren) geschädigt.

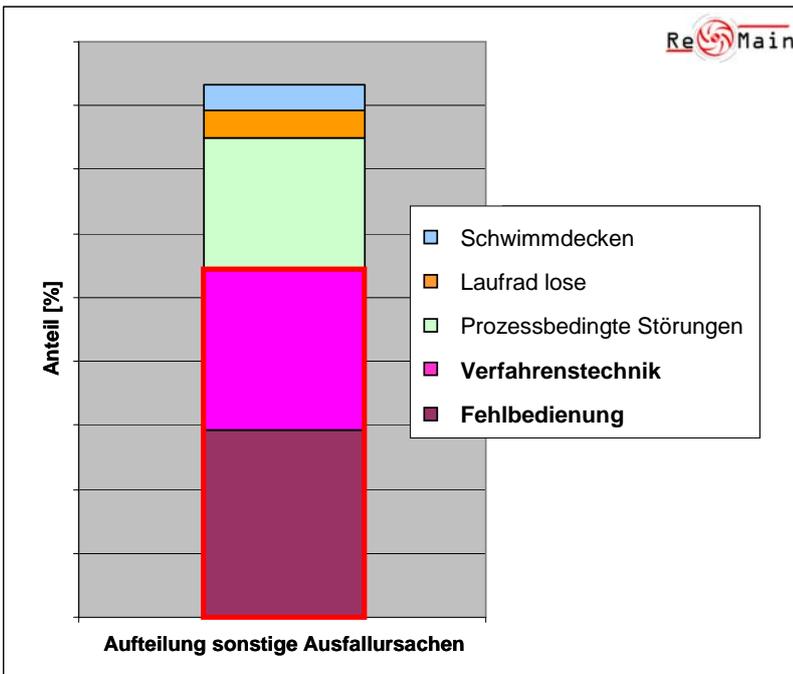
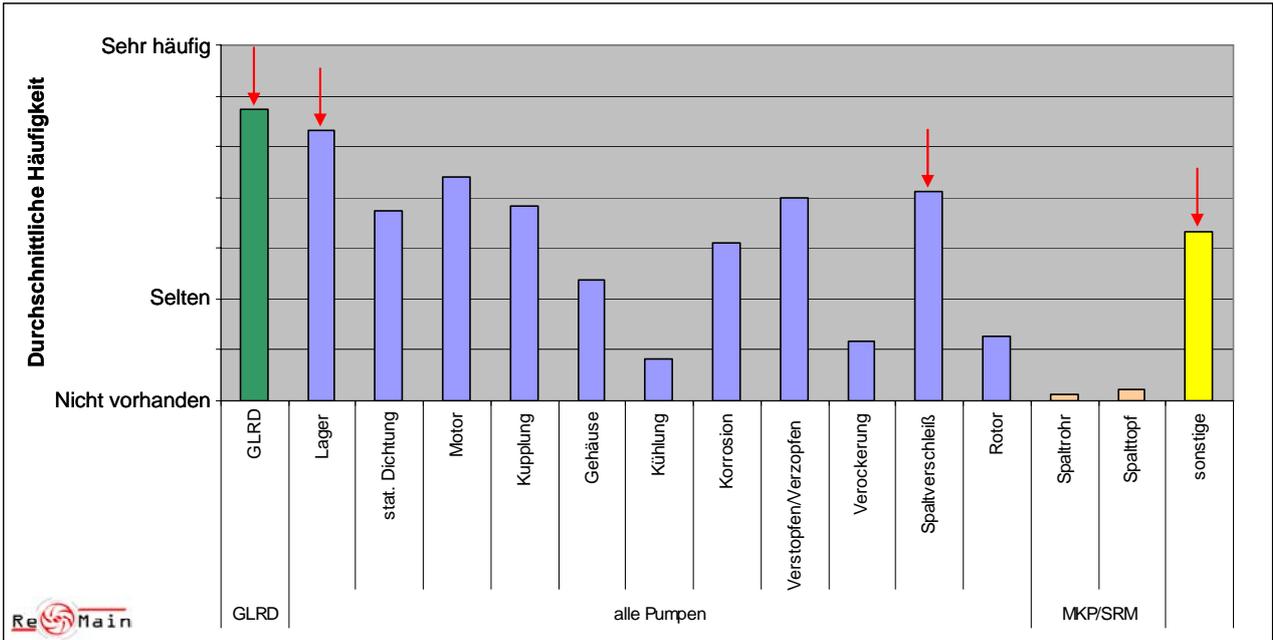


Abb. 9: Angaben zu Ausfallursachen und ausfallgefährdeten Bauteilen

### Teil 3: Anforderungen an Diagnosesysteme

Im dritten Teil der Betreiberumfrage wurde eine Anforderungsliste für Diagnosesysteme abgefragt. Diese wurde unterteilt in überwachungsrelevante Bauteile und Ausfallursachen.

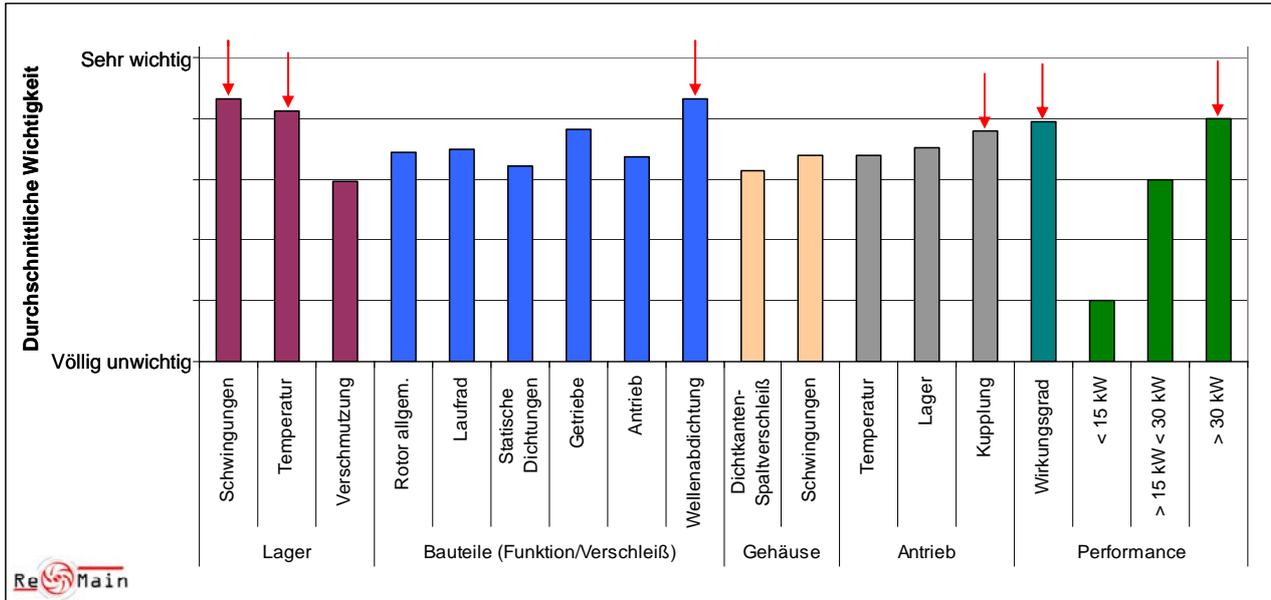
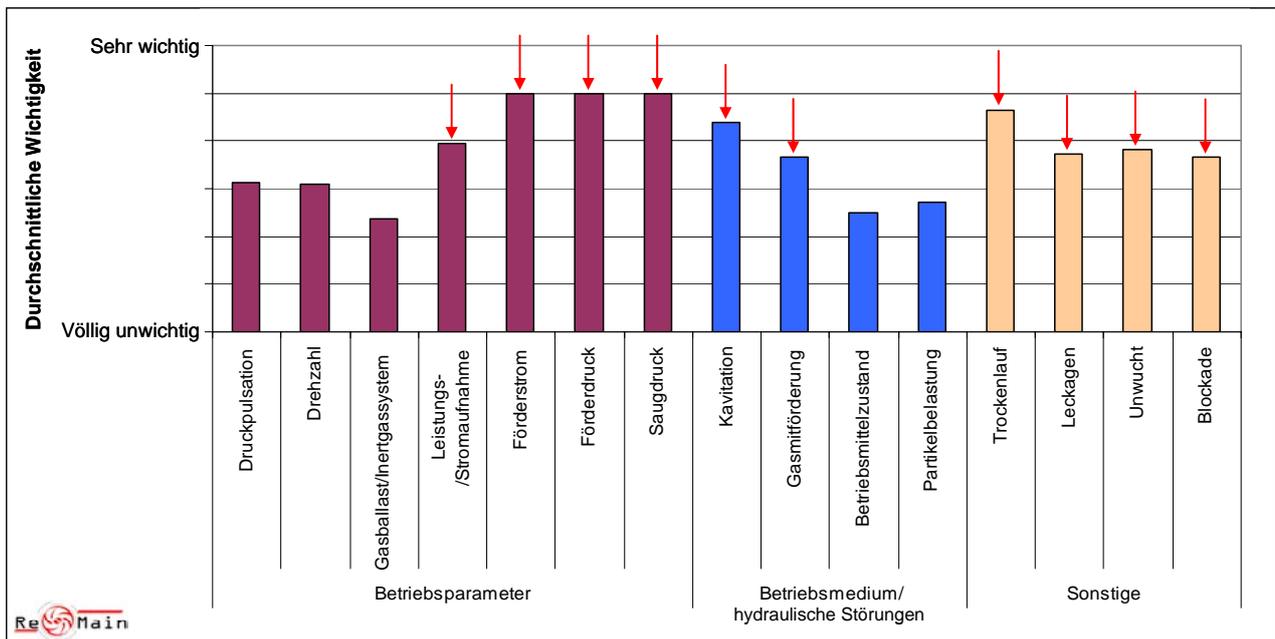


Abb. 10: Bauteilüberwachung

Bei den zu überwachenden Bauteilen überwiegt deutlich die Lagerüberwachung, insbesondere die Schwingungen und die Temperatur (vgl. Abb. 10). Für die Wälzlagerüberwachung ist die Schwingungsanalyse in Form der Erfassung und Beurteilung von Maschinengeräuschen über definierte Schadensfrequenzen bereits ein zielführendes Mittel zur Zustandsbeurteilung. Weiterhin wird die Überwachung der Wellenabdichtung als relevant angesehen, die durch Sichtkontrollen von Leckage oder Füllstands- bzw. Sperrdrucküberwachung vielfach auch online vorgenommen wird. Die Kupplung sowie der Wirkungsgrad werden ebenso häufig überwacht, wobei gerade bei großen Aggregaten (> 30 kW) die Bedeutung der Performance überwiegt. So sind bspw. die Betriebskosten bei Großpumpen von Wasserversorgern stark abhängig vom Wirkungsgrad des Betriebspunktes.



**Abb. 11: Überwachung von Ausfallursachen**

Die Anforderungen der Betreiber hinsichtlich der Überwachung der Ausfallursachen zeigte deutlich die bisher häufig fehlende Kenntnis der Betriebsparameter der Pumpen in vielen Anlagen auf. Insbesondere kleinere Aggregate, die in der Anzahl aber überwiegen (vgl. Abb. 4), sind in der Regel eher wenig instrumentiert.

Hydraulische Störungen zeigen deutlich die Kavitationsschädigung bei bspw. abfallendem Saugdruck auf. Wirkt diese länger auf das Material ein, werden Lauf- und Leitrad mit entsprechenden Wirkungsgradverlusten geschädigt, bis die Förderaufgabe nicht mehr erfüllt werden kann. Gasmitförderung hat zunächst nur Einfluss auf das Betriebsverhalten, kann aber bei steigender Intensität zu Trockenlauf führen. Bereits vor dem Abriss der Förderung wird die Luftphase um die Welle auszentrifugiert und führt zu einem Trockenlauf der sensiblen dynamischen Wellenabdichtung.

Leckagen, die aus vorangegangenen Schädigungen entstehen, sind aus sicherheitstechnischen Gründen oft nicht zulässig. Ebenfalls wurde Unwucht als überwachungsrelevante Störung genannt. Geschädigt werden hierdurch vor allem die Lager und bei stärkerer Ausprägung das Fundament sowie das Aggregat und die angeschlossenen Rohrleitungen, die entsprechende Wechsellastzahlen erfahren.

Schließlich sei noch die Blockade genannt, die bei vielen Medien der chemischen Industrie nicht zulässig ist, da das eingeschlossene Medium hierbei stark erwärmt wird. Dieser Fall führt zu

schneller Schädigung der dynamischen Wellendichtung durch mangelnde Kühlung bzw. Kavitation und Trockenlauf. Häufig sind diese Aggregate mit Zwangsbeipässen versehen.

**Zusammenfassung der ReMain-Umfrageergebnisse:** 

***Pumpenpopulation***

Die am häufigsten eingesetzten Pumpen haben

- ↻ Gleitringdichtungen (einfach- und doppeltwirkend)
- ↻ Ausführung mit Standard IEC Normmotor und Wellenkupplung
- ↻ Keine Drehzahlregelung
- ↻ Antrieb mit 2.900 U/min

***Ausfallgefährdete Bauteile***

- ↻ Gleitringdichtung
- ↻ Lager (Wälzlager)
- ↻ Laufrad (Spaltverschleiß)

***Ausfallursachen***

- ↻ Störungen aus der Betriebsweise (z. B. Betrieb außerhalb des Optimums)
- ↻ Störungen aus dem Betriebsmedium (z. B. Kavitation, Gasmitförderung)
- ↻ Mechanische Störungen (z. B. Unwucht, Ausrichtungsfehler)
- ↻ Verschleiß (z. B. Lagerschäden)

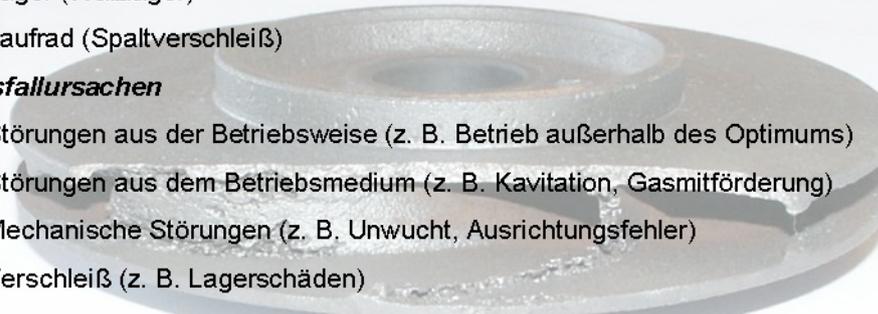
A close-up photograph of a pump component, likely a sliding ring seal or a similar mechanical part, showing its circular shape and metallic texture.

Abb. 12: Zusammenfassung der ReMain-Umfrageergebnisse

## Literatur

Website Initiative Energieeffizienz [1], Download Informationsblätter zu Pumpensystemen: Systemkomponenten und Energiebedarf von Pumpen und Pumpensystemen, Hrsg.: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, URL: <http://www.system-energieeffizienz.de/>, Zugriff im Juli 2008.

Website Initiative Energieeffizienz [2], Download Informationsblätter zu Pumpensystemen: Überwachung und Diagnose von Pumpen und Pumpensystemen, Hrsg.: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, URL: <http://www.system-energieeffizienz.de/>, Zugriff im Juli 2008.

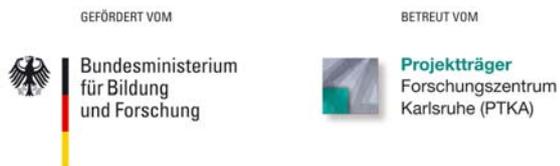
Website Initiative Energieeffizienz [3], Download Informationsblätter zu Pumpensystemen: Lebenszykluskosten von Pumpen und Pumpensystemen, Hrsg.: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, URL: <http://www.system-energieeffizienz.de/>, Zugriff im Juli 2008.

Website Verband der Chemischen Industrie, Download Informationsbroschüre: Chemiewirtschaft in Zahlen, Ausgabe 2005, URL: <http://www.vci.de/>, Zugriff im Juli 2008.

Hydraulic Institute, Europump, U.S. Department of Energy: Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems, 2001.

## ReMain-Projektinformation

Das Verbundprojekt *ReMain – Zuverlässigkeitsoptimierung von Pumpensystemen* versucht eine Lösung zu erarbeiten, um den Betrieb und die Instandhaltung von Kreiselpumpen vorausschauend zu gestalten. Vorrangiges Ziel ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Zustandsdiagnose und Restlebensdauerprognose, das auf die in der Industrie gebräuchlichsten Kreiselpumpensysteme anwendbar ist und die wesentlichen ausfallverursachenden Schädigungsmechanismen und kritischen Bauteile einer Pumpe berücksichtigt.



Das Projekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzepts „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA) betreut. Weitere Informationen zu ReMain finden Sie auf der Projekthomepage unter [www.remain.server.de](http://www.remain.server.de).