

## Zahnradpumpen für Sonderanwendungen in der chemischen Industrie

Dipl.-Ing. Holger Kremer, Technical Services Manager

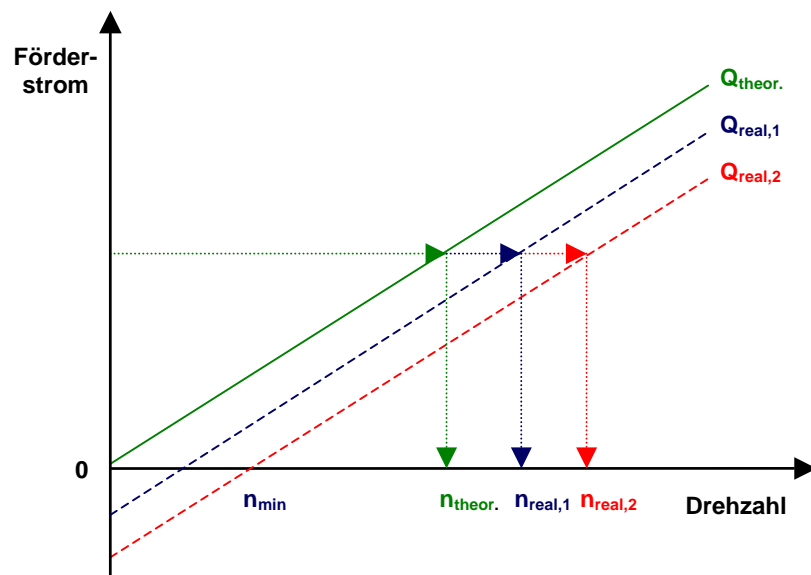


Zahnradpumpen, wie in Abbildung 1 dargestellt, werden in der chemischen Industrie für eine Vielzahl unterschiedlicher Prozesse eingesetzt. Durch ihr lineares und nahezu pulsationsfreies Förderverhalten eignen sie sich für ein weites Anwendungsspektrum, das vom einfachen Umpumpen, Druckaufbau und Dosieren bis hin zum Austragen von Flüssigkeiten reicht. Die Bandbreite möglicher Fördermedien erstreckt sich von niedrigviskosen Lösungsmitteln bis hin zu hochviskosen Polymerschmelzen.

**Abb. 1: Chemie-Zahnradpumpe**

Zahnradpumpen sind rotierende Verdrängerpumpen und fördern mit jeder Wellendrehung eine genau definierte Produktmenge. Abbildung 2 zeigt qualitativ das Q-n-Diagramm für Zahnradpumpen. Theoretisch ergibt sich eine Gerade durch den Ursprung, bedingt durch die internen Rückstromverluste verschiebt sich die reale Förderkurve parallel nach rechts. Der Abstand zwischen der theoretischen und der realen Linie ist ein Maß für den Wirkungsgrad der Pumpe und hängt im Wesentlichen von der Viskosität, dem Differenzdruck und den Spielen in der Pumpe ab.

Während bei hohen Viskositäten und / oder geringen Differenzdrücken die Linien nahezu übereinstimmen, muß die Pumpe bei niedrigviskosen Medien mit einer bestimmten Mindestdrehzahl betrieben werden, damit überhaupt Produkt gefördert wird.

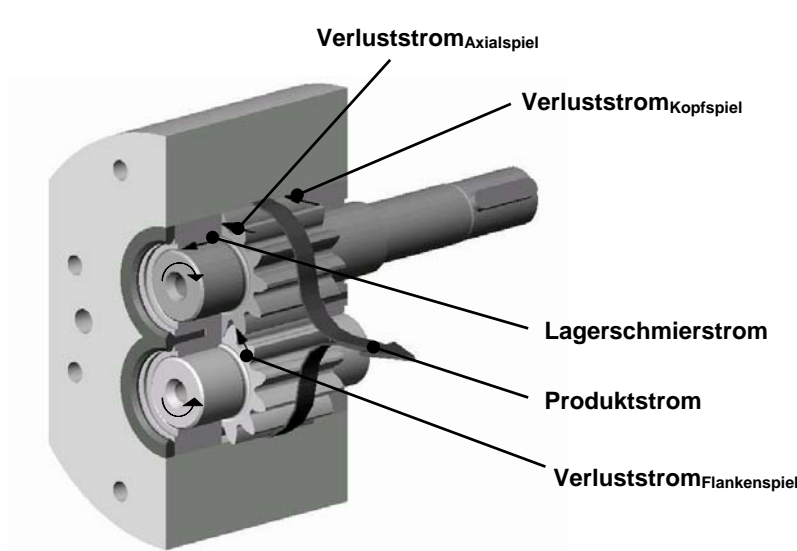


**Abb. 2: Q-n-Diagramm der Zahnradpumpe**

Der Fördervorgang in der Zahnradpumpe kann wie folgt beschrieben werden: Das Fördermedium gelangt durch die Eintrittsöffnung in die Kammer zwischen zwei Zahnflanken einer Welle. Der eigentliche Fördervorgang geschieht dabei durch die Drehung der Wellen und findet in den produktgefüllten Kammern zwischen den Zähnen und dem

Pumpengehäuse statt. Auf der Druckseite wird das Medium durch die ineinandergreifenden Zähne an der Innenseite wieder aus dem Spalt verdrängt. Das (spielfreie) Ineinandergreifen der Zähne an der Innenseite sorgt für die notwendige Abdichtung zwischen Saug- und Druckseite.

Jeder der vier Wellenzapfen ist auf einem separaten Gleitlager gelagert. Die Schmierung der Gleitlager erfolgt dabei durch einen Teilstrom des Fördermediums, dessen Größe

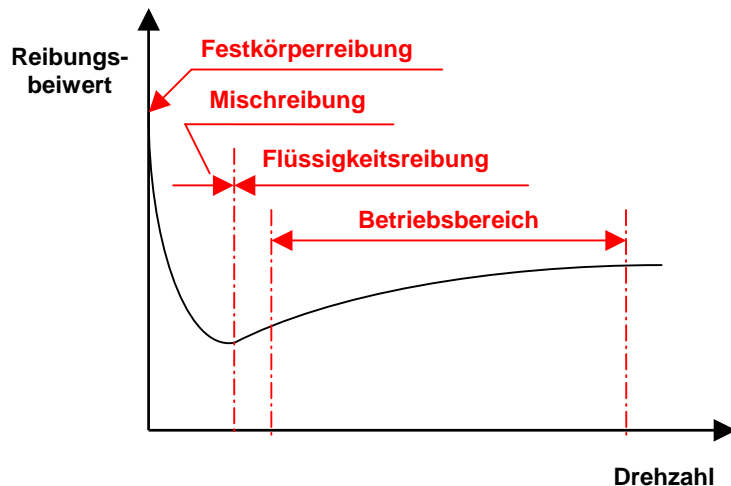


maßgeblich vom Radialspiel, der Viskosität und dem Differenzdruck abhängt. Um eine ausreichende Schmierung zu gewährleisten, sollte der Differenzdruck während des Betriebs im Allgemeinen mindestens 0,5 bis 1,0 bar betragen. In Abbildung 3 sind die Produkt- und Verlustströme in der Zahnradpumpe dargestellt.

**Abb. 3: Produkt- und Verlustströme in einer Zahnradpumpe**

Die Gleitlager von Zahnradpumpen sind produktgeschmiert, so daß der Ausbildung eines tragfähigen hydrodynamischen Schmierfilms eine besondere Bedeutung zukommt. Die verschiedenen Reibungszustände zwischen Lager und Welle lassen sich mit der Stribeck-Kurve (Abbildung 4)

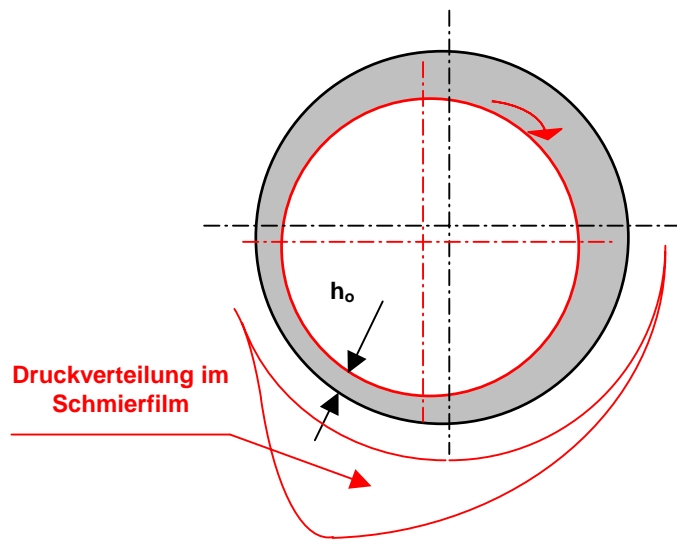
beschreiben. Ausgehend vom Festkörperkontakt beim Stillstand der Pumpe nimmt die Reibung im Mischreibungsbereich (Festkörper- und Flüssigkeitsreibung) ab. Im Bereich der reinen Flüssigkeitsreibung erhöht sich mit steigender Drehzahl die Reibung wieder.



**Abb. 4: Stribeck-Kurve**

Die Ausbildung des Schmierfilms geschieht dabei wie folgt:

Unter dem Einfluß der Festkörperreibung wandert die Welle entgegen der Drehrichtung am



Lager nach oben. Durch die Drehbewegung wird unter dem Einfluß der Haftung Schmiermedium in den sichelförmigen Spalt gedrückt. Je größer die Drehzahl ist, umso mehr Medium staut sich in diesem Spalt, gleichzeitig erhöht sich der Druck im Schmierfilm. In Abbildung 5 ist die Druckverteilung im Schmierfilm dargestellt. Durch das Aufstauen des Schmiermediums steigt der Druck bis zur engsten Stelle  $h_0$  zwischen Welle und Lager an, danach fällt er wieder ab.

**Abb. 5: Schmierfilmverlauf im Gleitlager**

Für den Großteil der Zahnradpumpenanwendungen in der chemischen Industrie, niedrig- bis mittelviskose, feststofffreie und gut schmierende Flüssigkeiten, braucht man der Schmierfilmproblematik nur geringe Aufmerksamkeit schenken. Kritisch sind vielmehr niedrigstviskose Medien, oftmals schlecht schmierende Lösungsmittel o.ä. mit Viskositäten unter 1 mPas. Zum Vergleich, Wasser hat bei 20°C eine dynamische Viskosität von 1 mPas. Es muß auf jeden Fall sichergestellt werden, daß die Schmierfilmdicke größer ist als die maximal auftretenden Oberflächenrauigkeiten der beiden Gleitpartner. Bei der Auslegung der Pumpe bzgl. spezifischem Fördervolumen und Drehzahl müssen die Vor- und Nachteile genau abgewogen werden. Da sich mit steigender Drehzahl ein stärkerer Schmierfilm ausbildet, sollte eigentlich eine möglichst hohe Betriebsdrehzahl angestrebt werden. Andererseits steigt mit der Drehzahl aber auch die Reibungswärme und die Gefahr, daß das Medium in den Lagern verdampft. Ferner darf nicht vergessen werden, daß die Pumpe bei zu niedrigen Drehzahlen im Mischreibungsbereich betrieben wird.

Sehr wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die Wahl geeigneter Werkstoffpaarungen. Aufgrund der sehr geringen Oberflächenrauigkeiten und der Härte sind keramische Gleitlager metallischen Werkstoffen oder Kunstkohle vorzuziehen. Bei den gebräuchlichen technischen Keramiken müssen die jeweiligen Vor- und Nachteile genau unter Berücksichtigung der konkreten Betriebsbedingungen abgewogen werden. In Tabelle 1 sind für die Zahnradpumpenauslegung wichtige Stoffeigenschaften von Siliziumcarbid, Zirkonoxid und Aluminiumoxid gegenübergestellt.

**Tabelle 1: Werkstoffeigenschaften von technischen Keramiken**

	SiC	ZrO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
max. Einsatztemperatur [°C]	1.500	1.000	1.700
Wärmeleitfähigkeit [W/m K]	100 - 140	2,5	25 - 30
Ausdehnungskoeffizient [ $10^{-6}$ mm/mm K]	3,5	10 - 11	8,5
Härte [HV]	2.600	1.200	2.100

Auf den ersten Blick scheinen die Oxidkeramiken aufgrund des größeren Ausdehnungskoeffizienten besser geeignet. Gerade bei höheren Betriebstemperaturen ergeben sich dadurch kleinere Betriebsspiele als bei SiC. Als nachteilig wirkt sich aber die sehr geringe Wärmeleitfähigkeit aus. Wie zuvor bereits beschrieben, strebt man aufgrund der Schmierfilmproblematik möglichst hohe Drehzahlen an. Da die entstehende Reibungswärme nur unzureichend aus den Lagern abgeführt werden kann, besteht die Gefahr, daß das Produkt in den Lagern verdampft und der Schmierfilm zusammenbricht. Insbesondere wenn das Fördermedium leichtflüchtige Komponenten enthält, sollte auf Zirkonoxidkeramiken zu Gunsten von Siliziumcarbid verzichtet werden.

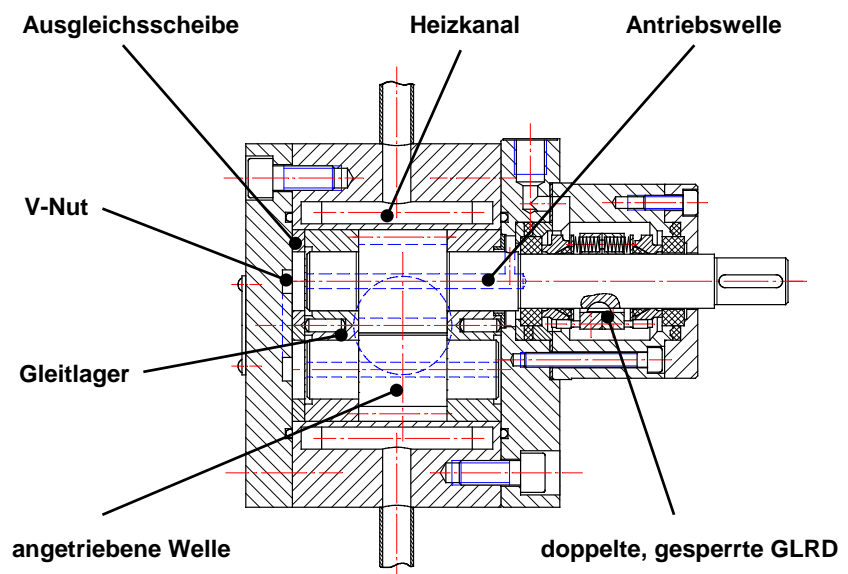
Auch wenn Einbußen im Wirkungsgrad zu befürchten sind, ist Siliziumcarbid in diesem Fall die eindeutig bessere Wahl. In einem konkreten Anwendungsfall wird beispielsweise mit SiC-Gleitlagern bei einer Viskosität von wenigen mPas erfolgreich ein Druck von 25 bar aufgebaut, nachdem es zuvor mit anderen Gleitlagerwerkstoffen zu Pumpenausfällen gekommen ist. Sämtliche Versuche, angefangen bei Lagerbronze und NiAg (Nickel-Silber-Legierung) bis hin zu Zirkonoxid sind erfolglos geblieben.

Selbstverständlich hat auch die Wahl des Wellenwerkstoffs bzw. der Oberflächenbehandlung maßgeblich Einfluß auf die Betriebssicherheit und den Verschleiß an Wellen und Lagern.

Neben den äußerst geringen Oberflächenrauigkeiten besteht ein weiterer Vorteil in der sehr großen Härte. In Kombination mit keramischen Gleitlagern kann dadurch bei abrasiven Medien – unter bestimmten Voraussetzungen - der Verschleiß reduziert werden. In diesem Zusammenhang sei noch einmal darauf hingewiesen, daß Zahnradpumpen nur sehr begrenzt für

feststoffhaltige Medien geeignet sind.

Ein anderer wichtiger Aspekt des Zahnradwerkstoffs ergibt sich aus der Funktionsweise der Zahnradpumpe. Zur Erläuterung ist in Abbildung 6 eine Schnittzeichnung einer Chemie-Zahnradpumpe dargestellt. Da das für den Druckaufbau notwendige Drehmoment ausschließlich über die



**Abb. 6: Schnitt durch eine Chemie-Zahnradpumpe**

Zahnflanken von der Antriebs- auf die kurze Welle übertragen wird, muß die maximale mechanische Belastbarkeit des Wellenwerkstoffs beachtet werden. Bei den Chemie-Zahnradpumpen hat sich der martensitische Chromstahl 1.4112 bewährt, der sowohl die notwendige Festigkeit als auch eine gute allgemeine chemische Beständigkeit aufweist. Bei stark korrosiven Medien kann alternativ Hastelloy oder Ferralium eingesetzt werden. Nachteilig wirkt sich allerdings bei diesen Werkstoffen die geringe Festigkeit aus. Selbst mit einer zusätzlichen Beschichtung kann mit diesen Sonderwerkstoffen nur in stark begrenztem Maße Druck aufgebaut werden.

Abbildung 7 zeigt einen Schaden an titannitrierten Zahnrädern aus Hastelloy. Deutlich ist der starke Materialabrieb sowohl an den Zahnflanken als auch den Wellenzapfen zu erkennen. Das ursprüngliche Evolventenprofil der Verzahnung ist an den jeweils belasteten Zahnflanken kaum noch vorhanden. Auffällig ist, daß die Zapfen an der kurzen Welle wesentlich stärker beschädigt sind als an der Antriebswelle. Der Grund liegt in der im Durchschnitt um 20% höheren Belastung der kurzen Welle im Betrieb.

An der Tatsache, daß mit der Pumpe „nur“ ein Differenzdruck von 5 bis 6 bar aufgebaut wurde, läßt sich die geringe mechanische Belastbarkeit von Hastelloy erkennen. Eine ausreichende Viskosität vorausgesetzt, kann dagegen mit Zahnrädern aus 1.4112 problemlos ein Differenzdruck von 100 bis 120 bar aufgebaut werden.



**Abb. 7: Durch Überlastung verschlissene Zahnräder aus Hastelloy**

Dieses Beispiel verdeutlicht eindrucksvoll, wie wichtig die richtige Werkstoffwahl für die zuverlässige Funktion von Zahnradpumpen ist. Generell können für eine nahezu unendliche Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungen geeignete Zahnradpumpen geliefert werden. Für die allermeisten Anwendungen können dabei Standardausführungen und –werkstoffe eingesetzt werden. Für die Wellendichtung sind Gleitringdichtungen verschiedenster Hersteller erhältlich, jedoch führen die gestiegenen Anforderungen im Umwelt- und Arbeitsschutz in jüngster Zeit zum vermehrten Einsatz von Magnetkupplungen. Bei nicht trivialen Anwendungen ist eine genaue Berücksichtigung der vorliegenden Betriebsparameter umso wichtiger. Hier können schon kleinste Details über einen zuverlässigen und wirtschaftlichen Betrieb entscheiden. Durch Verbesserungen und Weiterentwicklungen – gerade auf dem Gebiet der Werkstofftechnologie – erschließt sich ein immer größer werdendes Anwendungsgebiet für Zahnradpumpen. Auch wenn eine Anwendung oftmals mit anderen Pumpentypen realisiert werden kann, bringt mitunter der Einsatz von Zahnradpumpen entscheidende Vorteile und Prozessverbesserungen. Als wesentlicher Unterschied zu anderen Verdrängerpumpen ist besonders das nahezu pulsationsfreie Fördern für viele Anwendungen von nicht zu unterschätzender Bedeutung.