**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse
**Herausgeber:** Electrosuisse
**Band:** 100 (2009)
**Heft:** 2

**Artikel:** Energieeffiziente Pumpenantriebstechnik
**Autor:** Huth, Gerhard / Urschel, Svel
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-856355

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 15.08.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Energieeffiziente Pumpenantriebstechnik

## Permanentmagneterregte Pumpenantriebe

**Zu den zentralen Komponenten einer Pumpenanlage gehören die mechanische Pumpe sowie der Pumpenantrieb, der aus der antreibenden elektrischen Maschine mit zugehöriger Netzanschaltung bzw. Umrichterspeisung besteht. Die an Pumpen gestellten Anforderungen hinsichtlich Fördermenge und Förderhöhe werden von den verschiedenen Pumpenbauarten abgedeckt. In der überwiegenden Mehrzahl kommen Kreiselpumpen zum Einsatz, etwa in der Wasserwirtschaft oder der chemischen Industrie. In Anbetracht dessen beziehen sich die nachfolgenden Betrachtungen auf Kreiselpumpen für das Stückzahlsegment bis etwa 15 kW.**

Die Bedeutung der Pumpenantriebstechnik lässt sich anschaulich über den Energiebedarf für die installierten Pumpenantriebe beschreiben: Rund 20% der in der europäischen Industrie eingesetzten elektrischen Energie entfällt auf Pumpenantriebe.

*Gerhard Huth, Sven Urschel*

Die Pumpenantriebstechnik ist damit ein herausragendes Segment innerhalb der elektrischen Antriebstechnik mit einer entsprechenden Hebelwirkung bei der Umsetzung der Bemühungen zur Steigerung der Energieeffizienz [1].

Die konstruktive Anordnung von Pumpe und Motor ist von der konkreten Applikation abhängig. Bei der klassischen Antriebsanordnung nach Bild 1 werden Motor und Pumpe über eine Kupplung mechanisch verbunden. Die Pumpe muss bei dieser Anordnung über eine Wellendichtung verfügen, welche die Standzeit der Pumpe im Wesentlichen bestimmt und für eine einwandfreie Funktion eine geringe Leckage zur Schmierung benötigt. Wird eine sichere Trennung von Fördermedium und Umwelt gefordert, so kommen wellendichtungslose Pumpen zum Einsatz. Zu diesen leckagefreien Pumpen gehören die Magnetkupplungspumpe sowie die Spaltrohrmotorpumpe.

Unabhängig von der Notwendigkeit einer sicheren Trennung von Fördermedium und Umwelt haben wellendichtungslose Pumpen den Vorteil einer deutlich geringeren Störanfälligkeit. Bei der Magnetkupplungspumpe sind Motor und Pumpe über eine Magnetkupplung verbunden, bei der ein zusätzlicher Spalttopf das Fördermedium sicher von der Umwelt trennt. Ein nächster Konstruktionsschritt ist die Integration der Motorfunktion in die Pumpe in Form eines Einbaumotors. Bei der so entstehenden Spaltrohrmotorpumpe (Bild 2) werden Ständeraktivteil und Umwelt durch ein im Luftspalt angeordnetes Spaltrohr vom Fördermedium getrennt. Bei dieser Integration des Motors ist es zusätzlich von Vorteil, dass Ständer und Läufer über das Fördermedium gekühlt werden können.

Die Steigerung der Energieeffizienz von Pumpenanlagen bedarf stets einer Systembetrachtung, dabei müssen sowohl die Anlagenkomponenten als auch die Prozessführung einer Optimierungsbetrachtung hinsichtlich der Energieeffizienz unterzogen werden [1].

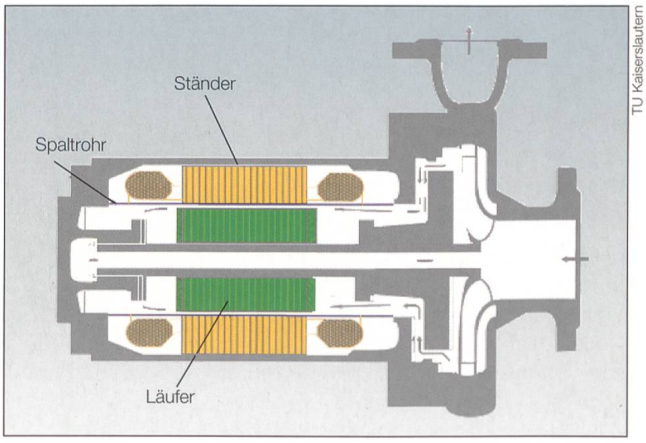
### Möglichkeiten der Volumenstromänderung

Als Standardpumpenantrieb ist nach wie vor der am starren Drehstromnetz betriebene Asynchronmotor im Einsatz. Die Drehzahl ist, bis auf einen kleinen lastabhängigen Schlupf, praktisch konstant. Verlangt die Applikation eine Einstellung der Fördermenge, so kann das über ein Regelventil in der Ausführung als Drosselventil (Bild 3) oder als Bypassventil erfolgen.

Durch den Strömungswiderstand des Drosselventils wird die Anlagenkennlinie so

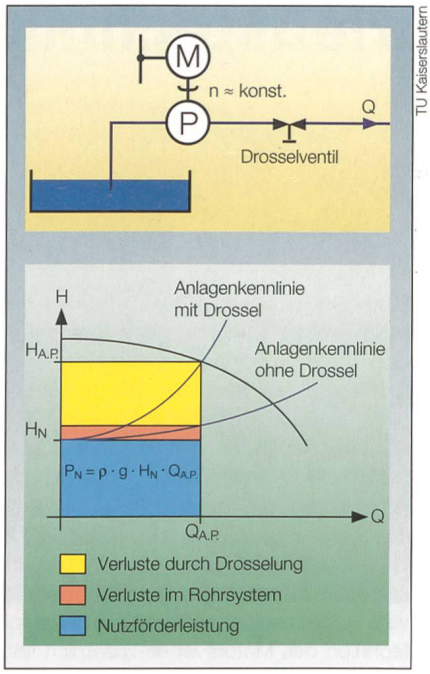
KSB

Bild 1 Klassische Motor-Pumpe-Anordnung.



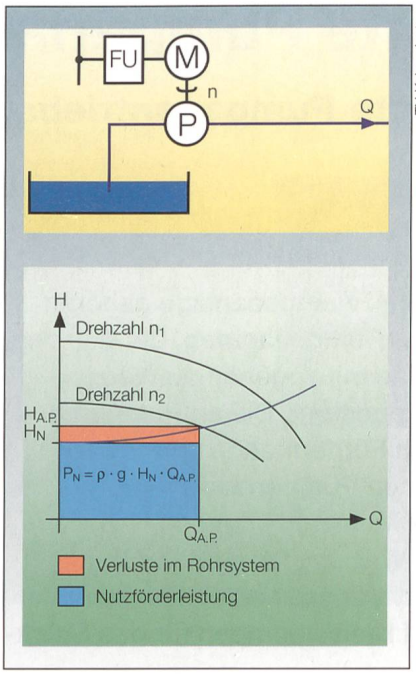

TU Kaiserslautern

Bild 2 Prinzip der Spaltrohrmotorpumpe.




TU Kaiserslautern

**Bild 3 Volumenstromänderung über ein Drosselventil.**




TU Kaiserslautern

**Bild 4 Volumenstromänderung durch Drehzahländerung.**

verlagert, dass sich mit der Pumpenkennlinie ein neuer Arbeitspunkt beim gewünschten Förderstrom einstellt. Die Drosselung ist ein noch sehr verbreitetes Verfahren, das jedoch deutlich verlustbehaftet ist, wie dem H-Q-Diagramm nach Bild 3 zu entnehmen ist.

Deutlich energieeffizienter ist der Einsatz eines drehzahlveränderbaren Pumpenantriebs nach Bild 4. Bei fester Anlagenkennlinie wird nun die Pumpenkennlinie über die Antriebsdrehzahl verlagert, sodass der Arbeitspunkt für den gewünschten Förderstrom in einem weiten Bereich kontinuierlich eingestellt werden kann.

Im Vergleich zur Drosselung ist die Förderstromstellung über die Pumpendrehzahl entsprechend dem H-Q-Diagramm nach Bild 4 deutlich geringer verlustbehaftet. Je nach Anlagenkonstellation kann die Energieeinsparung bis zu 60% betragen [3]. Die Energieeffizienz kann weiter gesteigert werden, wenn ein Pumpenantrieb mit entsprechendem Wirkungsgrad gewählt wird. Die Möglichkeiten hierzu werden im Folgenden betrachtet.

## Klassische Motor-Pumpe-Anordnung

Beim klassisch gekuppelten Pumpenaggregat hat sich der am Frequenzumrichter betriebene Asynchronmotor etabliert. Neben dem Vorteil einer energieeffizienten und kontinuierlichen Förderstromänderung entfallen die Aufwendungen für das Drosselventil sowie für die eventuell notwendige Stern-Dreieck-Einschaltung. Auf der Basis dieses Antriebskonzepts ist eine weitere Verbesserung der Energieeffizienz möglich, wenn im Wirkungsgrad gesteigerte Asynchronmotoren zur Anwendung kommen. Im Rahmen der verfügbaren Normmotoren bedeutet das im besten Fall den Einsatz von Motoren der Effizienzklasse «Eff. 1». Die verbesserten Motorwirkungsgrade werden einerseits durch gezielte Überdimensionierung des Aktivteils und andererseits durch den Einsatz verlustärmerer Elektrobleche sowie durch Verwendung von Kupfer anstelle von Aluminium bei der Käfigläuferproduktion erreicht. In Abhängigkeit der Motorbaugrösse kann durch diese konstruktiven Massnahmen der Motorwirkungsgrad um einige Prozentpunkte gesteigert werden.

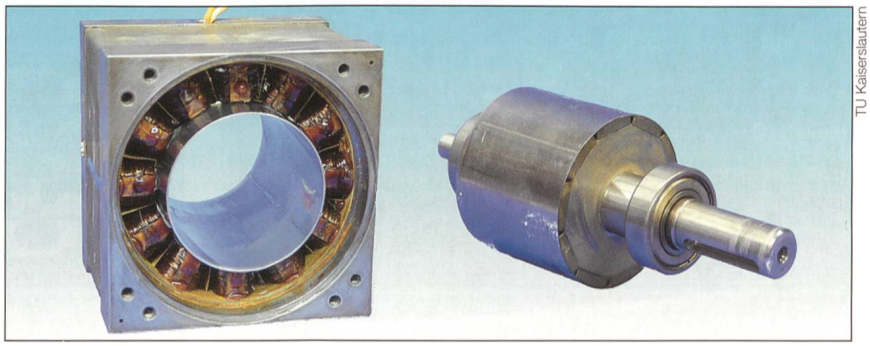
Da das Wirkungsprinzip der Asynchronmaschine die Existenz der Stromwärmeverluste im Läufer bedingt, ist eine weitere Wirkungsgradsteigerung nur durch den konsequenten Übergang auf den permanentmagneterregten Pumpenantrieb (PM-Pumpenantrieb) möglich. Der PM-Pumpenantrieb funktioniert nach dem Prinzip des AC-Servoantriebs in Sinusstromtechnik [1]. Bei der Sinusstromtechnik wird der PM-Pumpenmotor so ausgelegt, dass das vom Läuferluftspaltfeld induzierte Spannungssystem einen möglichst sinusförmigen Verlauf aufweist. Ferner wird das sinusförmige Ständerstromsystem in Abhängigkeit der Rotorlage über einen stromgeregelten U-Zwischenkreis-Pulswechselrichter derart eingeprägt, dass die Drehmomentausbeute maximal ist. Dieser Punkt maximaler Drehmomentausbeute ist gegeben, wenn eingeprägtes Ständerstromsystem und induziertes Strangspannungssystem in Phase sind.

### PM-Pumpenmotor

Der Läufer des PM-Pumpenmotors wird vorzugsweise mit am Luftspalt angeordne-

| | *PM-Pumpenmotor* | *IEC-Normmotor (Eff. 2)* |
|---|---|---|
| Achshöhe | 63 | 90 |
| Wärmeklasse | F | F |
| Kühlung | Selbstkühlung | Eigenkühlung |
| Bemessungsleistung | 2,0 kW | 2,2 kW |
| Bemessungsdrehzahl | 3000 $min^{-1}$ | 2880 $min^{-1}$ |
| Polzahl | 10 | 2 |
| Stator-Aussendurchmesser | 126 mm | 135 mm |
| Blechpaketlänge | 60 mm | 100 mm |

**Tabelle I Vergleich PM-Pumpenmotor (Funktionsmuster) und Asynchronmotor.**



TU Kaiserslautern

**Bild 5 Ständer und Läufer eines PM-Pumpenmotors in Zahnspulentechnik (Funktionsmuster).**

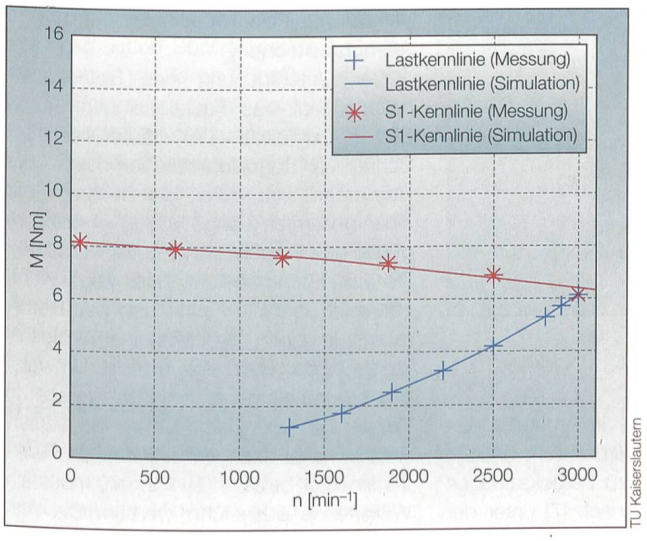



**Bild 6**
**M(n)-Kennlinienfeld des Funktionsmusters.**

ten Seltenerdmagneten ausgeführt. Die Läuferbestückung mit Magnetplättchen oder Magnetschalen sowie deren Sicherung und Magnetisierung sind bei Serienfertigung gut automatisierbar. Der Ständer des PM-Pumpenmotors wird vorzugsweise in Zahnspulentechnik ausgeführt. Zahnspulenwicklungen [4, 5] bestehen aus Einzelspulen, die jeweils genau einen Ständerzahn umfassen (Bild 5). Sie weisen damit einen besonders kleinen Wickelkopf und somit kleine Wickelkopfverluste auf, sie können kompakt gewickelt werden und benötigen ein vergleichsweise einfaches Isoliersystem. Zahnspulenwicklungen besitzen allerdings nicht nur Vorteile, da sie prinzipbedingt auf ein breiteres Luftspaltfeldspektrum führen. Mögliche Parasitärwirkungen hieraus lassen sich durch einen grossen magnetisch wirksamen Luftspalt, wie das bei PM-Pumpenmotoren mit am Luftspalt angeordneten Seltenerdmagneten der Fall ist, sowie durch eine geeignete Wahl von Ständernutzahl und Polzahl wirksam vermeiden. Aufgrund der Wicklungsgesetzmässigkeiten [4] führen Zahnspulenwicklungen auf höhere Grundpolpaarzahlen p als bisher eingesetzte Asynchronmaschinen gleicher Baugrösse, was allerdings wegen der Umrichterspeisung kein Problem darstellt.

Obgleich der PM-Pumpenantrieb nach dem Prinzip des AC-Servoantriebs funktioniert, bestehen bei der Motorauslegung doch deutliche Unterschiede. Während der PM-Pumpenmotor hinsichtlich eines hohen Wirkungsgrads über einen weiten Drehzahlstellbereich zu optimieren ist, ist beim AC-Servomotor insbesondere auf ein hohes Stillstandsmoment und eine hohe Überlastfähigkeit zu achten. Beim PM-Pumpenantrieb ist die Arbeitskennlinie der Pumpe massgebend. Bei Kreiselpumpen verläuft das Drehmoment im oberen Drehzahlbereich parabolisch über der Drehzahl, womit der PM-Pumpenmotor für das maximale Pumpenmoment unter Beachtung einer geringen Überlast zu dimensionieren ist.

Das Funktionsmuster nach Bild 5 mit den in Tabelle I zusammengestellten technischen Daten ist in AH 63 ausgeführt, was unter Berücksichtigung der Bemessungsdrehzahl auf einen Ständer mit N = 12 Nuten und der Grundpolzahl 2p = 10 führt. Die Lochzahl der Ständerwicklung beträgt bei dieser Wahl $q = 2/5$, und der Grundfeldwicklungsfaktor ergibt sich, ohne Berücksichtigung der Nutschlitzbreite, zu $\xi_p = 0{,}933$. Zur einfachen Bewicklung des Ständers mit vorkonfektionierten Spulen sind die Ständernuten komplett offen ausgeführt.

Im M(n)-Kennlinienfeld wird der PM-Pumpenmotor entlang der S1-Kennlinie stets entsprechend der ausgeführten Wärmeklasse F beansprucht. Bei Belastung mit der Kreiselpumpenkennlinie wird der Motor hingegen nur im Bemessungspunkt mit dem S1-Drehmoment beaufschlagt, alle weiteren Lastpunkte unterhalb der Bemessungsdrehzahl liegen im Teillastbereich. In Bild 6 ist das M(n)-Kennlinienfeld des Funktionsmusters im direkten Vergleich von Simulation und experimenteller Erprobung dargestellt.

### Vergleich mit der aktuellen Asynchrontechnik

Die Vorteile der PM-Synchrontechnik sollen im Vergleich zur aktuellen Asynchrontechnik betrachtet werden. Zur Schaffung vergleichbarer Verhältnisse sind Asynchronmotor und Pulsumrichter leistungsgleich gegenüber dem PM-Pumpenantrieb zu wählen. Tabelle I gibt einen Überblick über die wichtigsten Motordaten.

Die Wirkungsgradbestimmung erfolgt entlang der typischen Kreiselpumpenkennlinie, für alle Messpunkte gilt der thermisch stationäre Betrieb. Wie der Vergleich nach Bild 7 zeigt, liegt der Wirkungsgrad des PM-Pumpenmotors in allen Betriebspunkten deutlich über dem des Asynchronmotors. Im Bemessungspunkt ergibt sich ein Wirkungsgradvorteil von rund 11%, im betrachteten Teillastbereich steigt er auf über 20% an.

## Spaltrohrmotorpumpe

Auch bei der Spaltrohrmotorpumpe wird aktuell der Asynchronmotor eingesetzt. Verglichen mit der klassischen Motor-Pumpe-Anordnung liegt der Wirkungsgrad allerdings um bis zu 10% niedriger [6]. Diese Einbusse ergibt sich insbesondere durch das in die Ständerbohrung eingepresste metallische Spaltrohr. Im Spaltrohr entstehen einerseits Wirbelstromverluste, zum anderen muss der Luftspalt der Asynchronmaschine zur Aufnahme des Spaltrohrs deutlich vergrössert werden, was sich negativ auf den Wirkungsgrad auswirkt. Um die Vorteile der Spaltrohrmotorpumpe zu nutzen sowie gleichzeitig die

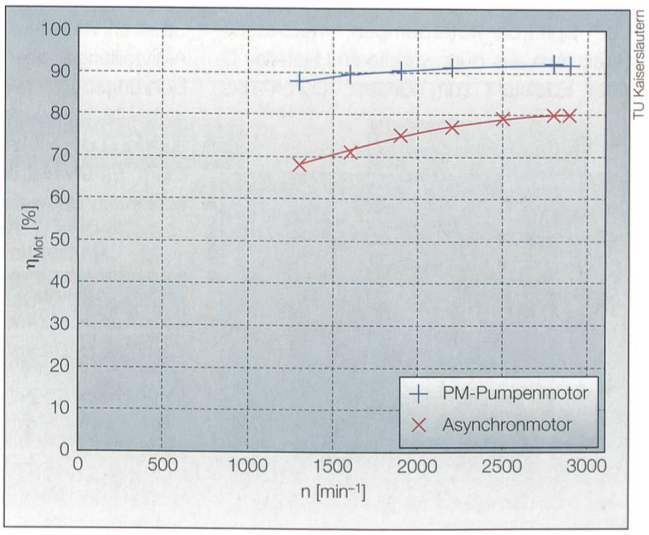
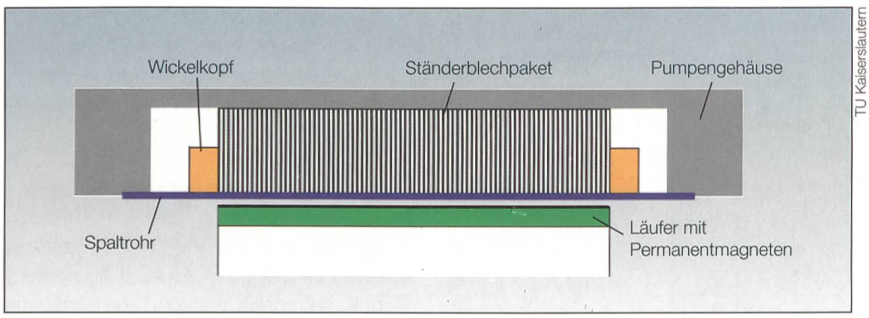



**Bild 7**
**Wirkungsgradvergleich PM-Pumpenmotor und Asynchronmotor.**




TU Kaiserslautern

**Bild 8 Prinzipieller Aufbau des PM-Spaltrohrmotors.**

Energieeffizienz des Aggregats zu verbessern, ist auch hier der Einsatz der PM-Synchrontechnik angezeigt [7].

### PM-Spaltrohrmotor

Der PM-Spaltrohrmotor wird als Einbaumotor ausgeführt (Bild 8), wobei die Aktivteile von Ständer und Läufer grundsätzlich wie beim PM-Pumpenmotor ausgeführt werden. Die Abdichtung des benetzten Rotorraums gegen die Umwelt erfolgt durch ein im Luftspalt angeordnetes amagnetisches Spaltrohr, das ebenfalls den eingebauten Ständer schützt. Der PM-Läufer wird zum Schutz der Magnete vor dem Fördermedium entsprechend gekapselt, ebenso sind für Rotorjoch und Rotorwelle geeignete Massnahmen gegen korrosive Beanspruchungen zu treffen.

Die konstruktive Ausführung des Spaltrohrs hat einen grossen Durchgriff auf den Motorwirkungsgrad, da der Luftspalt zwischen Ständer- und Läuferaktivteil je nach notwendiger Spaltrohrwandstärke ausgeführt werden muss. Bei der Auswahl des Spaltrohrwerkstoffs sind die Anforderungen an die Druck- und Temperaturfestigkeit sowie die Korrosionsbeständigkeit zu erfüllen. Neben keramischen Werkstoffen und Kunststoffen kommen aufgrund der guten Werkstoffeigenschaften hinsichtlich der prozessbedingten Beanspruchungen bei der überwiegenden Mehrzahl der Spaltrohrmotorpumpen metallische Spaltrohre aus dünnwandigem Hastelloy C oder Edelstahl zum Einsatz. Durch das Luftspaltfeld entstehen im metallischen Spaltrohr zusätzliche Wirbelstromverluste, die bei der Auslegung zu berücksichtigen sind. Sie ergeben sich nach [7] unter der Voraussetzung üblich breiter Spaltrohrüberstände – diese sind erforderlich, da das Spaltrohr an seinen Enden mit den Motorlagerschilden verschweisst oder anderweitig abgedichtet werden muss – für die Polpaarzahl $\nu$ des Luftspaltfeldes zu:

$$P_{V\nu} \approx \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\hat{B}_\nu^2 \cdot D^3 \cdot l \cdot S}{\rho} \cdot \frac{\omega_\nu^2}{\nu^2} \qquad (1)$$

In Gleichung (1) bedeuten: $\hat{B}_\nu$ = Luftspaltfeldamplitude; D = mittlerer Spaltrohrdurchmesser; l = Blechpaketlänge; s = Spaltrohrwandstärke; $\rho$ = spezifischer Widerstand des Spaltrohrmaterials; $\omega_\nu$ = Kreisfrequenz des betrachteten Luftspaltfeldes.

Die Summation von Gleichung (1) über alle Drehfeldpolpaarzahlen $\nu$ führt auf die gesamten Spaltrohrverluste:

$$P_V = \sum_{(\nu)} P_{V\nu} \qquad (2)$$

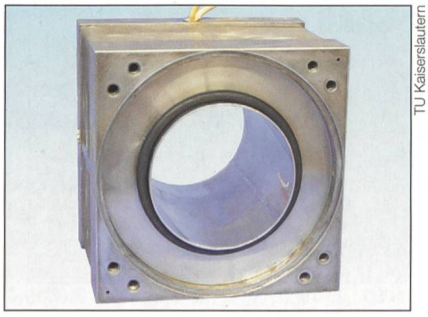
Während die Motorleistung proportional der Aktivteillänge und dem Quadrat des Bohrungsdurchmessers ist, steigen die Spaltrohrverluste ebenfalls proportional der Aktivteillänge, aber mit der 3. Potenz des Bohrungsdurchmessers an. Ähnliche Verhältnisse zeigen sich auch für die Verluste aufgrund der Flüssigkeitsreibung im Rotorraum. Es erweist sich somit die Wahl einer schlanken Bauweise als vorteilhaft.

### Vergleich mit der aktuellen Asynchrontechnik

Der Untersuchung des Betriebsverhaltens liegt das Funktionsmuster nach Bild 5 zugrunde. Der Läufer ist zum Schutz vor Korrosion nun vergossen, der Rotorraum wird durch ein Spaltrohr mit einer gesamten Länge von L = 122 mm gegen den Ständer sicher getrennt (Bild 9). Der vom Fördermedium abgezweigte Kühlstrom ist über die Einbindung des Rotorraums in einen geschlossenen Wasserkreislauf, der über eine externe Umwälzpumpe und ein geregeltes Kühlaggregat in Temperatur und Durchflussmenge variiert werden kann, nachgebildet. Um das Funktionsmuster belasten zu können, muss ein Wellenende ausgeführt werden. Die Abdichtung der ausgeführten Welle wird über den Einsatz eines Simmerrings realisiert. Dessen Einfluss auf die Verlustleistungsbilanz ist nach der Messung entsprechend zu korrigieren.

Wie der PM-Pumpenmotor wird auch der PM-Spaltrohrmotor mit der typischen Arbeitskennlinie einer Kreiselpumpe belastet. Aufgrund des durch den Rotorraum geführten Kühlstroms kann bei entsprechenden Fördertemperaturen und der Verwendung metallischer Spaltrohre auch der Ständer entwärmt werden. Dies führt zu einer beträchtlichen Steigerung der Motorausnutzung. Neben der Ständerentwärmung über das Spaltrohr beeinflussen die im Spaltrohr entstehenden Wirbelstromverluste das Betriebsverhalten des Funktionsmusters massgeblich. Die Spaltrohrverluste lassen sich nach Gleichung (1) durch entsprechende Materialwahl und Ausführung mit einem möglichst dünnen Spaltrohr beherrschen.

Das Funktionsmuster wurde mit einem 0,3 mm dicken Hastelloy-Spaltrohr ausgeführt. Bei einem typischen Kühlstromdurchfluss von Q = 2,4 l/min mit einer Temperatur von $T_{med}$ = 40 °C erhöht sich beim Funktionsmuster das S1-Drehmoment im Bemessungspunkt n = 3000 $min^{-1}$ um rund 50% im Vergleich zum selbstgekühlten Funktionsmuster. Der Motorwirkungsgrad beträgt im Bemessungspunkt rund 87% (Bild 10). Im Teillastbereich ist der Wirkungsgrad in einem weiten Bereich auf praktisch gleich hohem Niveau.



TU Kaiserslautern

**Bild 9 Ständeraktivteil mit Spaltrohr vor der Montage (Funktionsmuster).**

| | *Spaltrohrmotor in Asynchrontechnik* | *Spaltrohrmotor in PM-Synchrontechnik* | |
|---|---|---|---|
| Bemessungsleistung | 3,2 kW | 2,9 kW | |
| Motorwirkungsgrad (Bemessungspunkt) | 73,0% | 87,0% | +19% |
| Essonsche Ausnutzungsziffer | 1,9 kW·min/m³ | 2,9 kW·min/m³ | +53% |

**Tabelle II Vergleich Asynchrontechnik und PM-Synchrontechnik (Funktionsmuster).**

Wird das Funktionsmuster mit einem leistungsgleichen Spaltrohrmotor in Asynchrontechnik verglichen (Tabelle II), so zeigt sich im Bemessungspunkt bei gleicher Fördertemperatur ein Wirkungsgradvorteil von 14%. Im Teillastbereich besteht prinzipbedingt ein noch grösserer Wirkungsgradvorteil. Zudem verringert sich durch die höhere Aktivteilausnutzung der PM-Synchrontechnik das Aktivteilvolumen im Vergleich zum herkömmlichen Spaltrohrmotor in Asynchrontechnik um fast 60%.

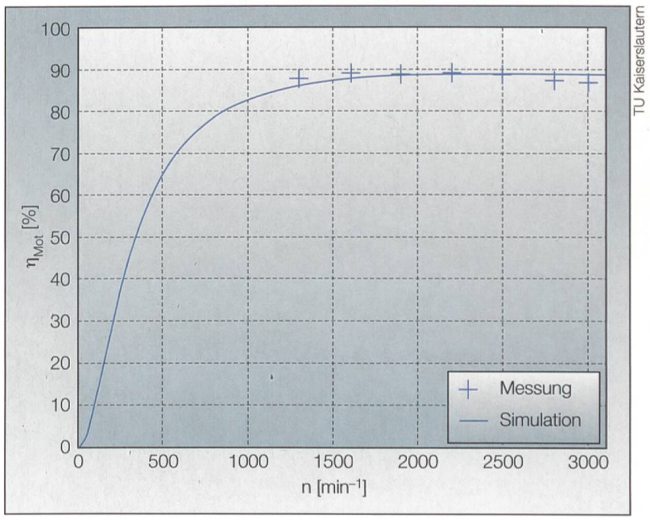



**Bild 10**
**Motorwirkungsgrad des Funktionsmusters mit Hastelloy-Spaltrohr (0,3 mm) und einem Kühlmitteldurchfluss von Q = 2,4 l/min mit $T_{med}$ = 40 °C.**

## Zusammenfassung

Die Antriebe klassisch gekuppelter Motor-Pumpe-Anordnungen, aber auch die für kritische Anwendungen eingesetzten Spaltrohrmotorpumpen sind aktuell in Asynchrontechnik ausgeführt. Eine deutlich höhere Energieeffizienz lässt sich in beiden Fällen durch den Übergang auf die permanentmagneterregte Synchrontechnik erzielen. Die Auslegung der Pumpenmotoren muss im Gegensatz zu AC-Servomotoren jedoch hinsichtlich eines hohen Wirkungsgrads bei möglichst niedrigen Produktkosten erfolgen, eine hohe Überlastfähigkeit wird nicht gefordert. Als vorteilhaft hat sich die Ausführung der Motoren in Zahnspulentechnik erwiesen. An Funktionsmustern konnte das Betriebsverhalten des PM-Pumpenmotors und des PM-Spaltrohrmotors in Abhängigkeit möglicher Auslegungsparameter diskutiert werden. Es hat sich gezeigt, dass bei einer entsprechenden Projektierung der Motorwirkungsgrad im Vergleich zu den aktuellen Lösungen deutlich gesteigert werden kann, zudem können die Motoren kompakter gebaut werden.

## Referenzen

[1] Moderne Pumpenantriebstechnik, Haus der Technik, Seminar 26.–27. Februar 2008 in Bad Dürkheim.

[2] G. Huth; S. Urschel: Drehzahlveränderbare Pumpenantriebe in permanenterregter AC-Technik. Antriebstechnik 2006, Heft 6, S. 56–61.

[3] B. Köhler; C. Emde: Innovative Antriebskonzepte bei Pumpensystemen. ETG-Fachtagung 2002 in Dresden, S. 483–487.

[4] G. Huth: Zahnspulenwicklungen für permanenterregte AC-Servo- und Linearmotoren. Bulletin SEV/VSE 2006, Heft 17, S. 36–40.

[5] G. Huth: Permanent-Magnet-Excited AC Servo Motors in Tooth-Coil Technology. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 20, No. 2, June 2005, S. 300–307.

[6] H. Schreyer: Weiterentwicklungen bei Magnetkupplungs- und Spaltrohrmotorpumpen. Industriepumpen und Kompressoren, Heft 2, Mai 2003, S. 67–73.

[7] G. Huth; S. Urschel: Betriebsverhalten von permanenterregten Spaltrohrpumpenmotoren. VDI/ ETG-Fachtagung 2006, Böblingen, S. 577–591.

*Résumé*

**Technique d'entraînement des pompes à économie d'énergie**

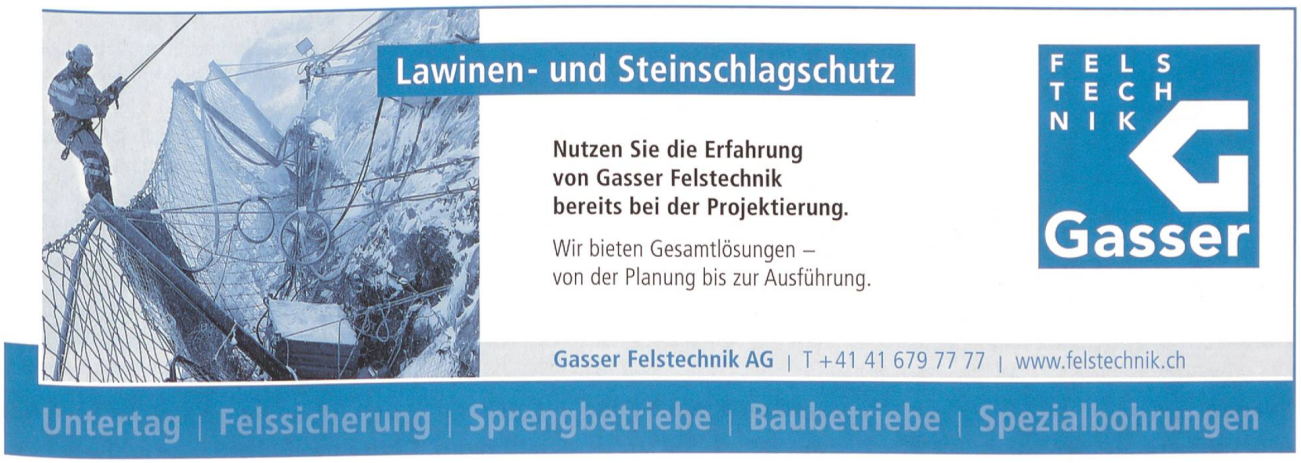
*Entraînement de pompes à excitation par aimant permanent.* La pompe mécanique et l'entraînement de pompe, comprenant la machine électrique avec raccordement au réseau et alimentation par onduleur, comptent parmi les composants essentiels d'une installation de pompage. Les exigences posées aux pompes au niveau du débit et de la hauteur de refoulement sont satisfaites au moyen de différents modèles de construction. Dans la plupart des cas, on a recours à des pompes centrifuges, comme dans la gestion des eaux ou l'industrie chimique. Aussi les explications ci-dessous concernent-elles les pompes centrifuges de la gamme jusqu'à 15 kW environ.

## Angaben zu den Autoren

Prof. Dr.-Ing. *Gerhard Huth* hat seit 2001 den Lehrstuhl für Mechatronik und Elektrische Antriebssysteme der Technischen Universität Kaiserslautern.
*TU Kaiserslautern, D-67663 Kaiserslautern, huth@eit.uni-kl.de*

Dr.-Ing. *Sven Urschel* war Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mechatronik und Elektrische Antriebssysteme der Technischen Universität Kaiserslautern und ist seit kurzer Zeit Mitarbeiter der Firma KSB.
*KSB Aktiengesellschaft, D-67227 Frankenthal, sven.urschel@ksb.com*





**Wir sind immer nah dran am Geschehen, damit Sie's beim Lesen auch sind.**

© WYLER WERBUNG Foto: Keystone

Die Schweizer Zeitungen und Zeitschriften sind dort, wo es passiert. Und bringen Ihnen das Was, Wie und Warum näher. Kompetent aufbereitet von Redaktionen, denen Sie vertrauen können. Blättern Sie in Ihrer Lieblingslektüre, überfliegen oder studieren Sie sie, wann und wo Sie wollen, mit Interesse und Lust. Am besten jetzt gleich Abo bestellen und vielleicht Preise im Gesamtwert von CHF 125'000.– gewinnen: www.presseabo.ch

SCHWEIZER PRESSE
PRESSE SUISSE | STAMPA SVIZZERA | SWISS PRESS