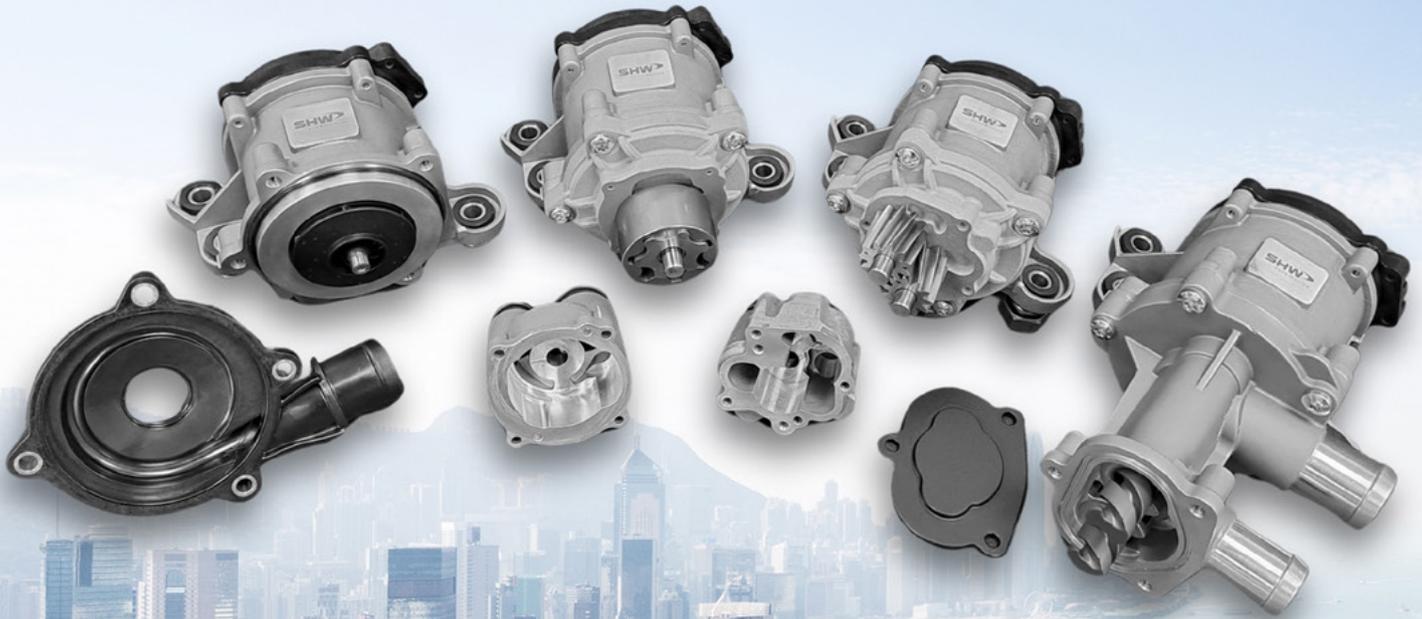


# MTZ extra



THERMOMANAGEMENT  
**Kühlmittelpumpen**  
unterschiedlicher Bauart  
für Elektrofahrzeuge im Vergleich

**SHW**

# Konzeptvergleich elektrisch angetriebener Kühlmittelpumpen für batterieelektrische Fahrzeuge



© SHW Automotive

Die Temperierung der Batteriezellen ist eine zentrale Voraussetzung für hohe Schnellladeraten und lange Lebensdauern von Traktionsbatterien. Durch eine direkte Umströmung mit dielektrischen Kühlmedien lassen sich Zellen effektiver kühlen als bei der Verwendung von Bodenplatten, die von Wasser-Glykol-Gemischen durchströmt werden. Die physikalischen Eigenschaften der Kühlmedien und die hohen Anforderungen an die Energieeffizienz erfordern eine abweichende Auslegung der Kühlmittelpumpen. Dies nahm SHW zum Anlass, mögliche Alternativen zu den bisher eingesetzten Kreiselpumpen zu untersuchen und zu bewerten.

## VERFASST VON



**Dr. Uwe Meinig**  
ist Leiter der Grundlagenentwicklung bei der SHW Automotive GmbH in Bad Schussenried.



**Dominik Baur, M. Eng.**  
ist Entwicklungsingenieur in der Grundlagenentwicklung bei der SHW Automotive GmbH in Bad Schussenried.

Bei verbrennungsmotorischen, aber auch bei batterie- und brennstoffzellenelektrischen Fahrzeugen müssen wesentliche Wärmemengen über den Kühlkreislauf an die Umgebung abgeführt und/oder zur Temperierung der Traktionsbatterie und der Fahrzeugkabine gefördert werden. Wegen verhältnismäßig großer Förderströme und begrenzten Förderdrücken kommen hierfür überwiegend einstufige, inzwischen praktisch ausnahmslos drehzahlvariabel elektrisch angetriebene Kreiselpumpen (KP) zum Einsatz. Mit Blick auf ihre vorteilhaften Eigenschaften unter anderem bezüglich Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und Dichte haben sich Wasser-Glykol-Mischungen als Kühlmittel für Verbrennungsmotoren und nun auch für

batterieelektrische Fahrzeuge bewährt.

Um die Dauer für das Schnellladen von Batterien weiter zu verringern und eine beschleunigte Alterung der Traktionsbatterien durch Übertemperaturen zu vermeiden, beschäftigen sich Hersteller von Elektrofahrzeugen mit alternativen Konzepten zur Temperierung der Zellen. Eine Möglichkeit ist, die Zellen nicht mehr durch die Ankopplung an eine von einem Kühlmedium durchströmte Bodenplatte der Batterie (Ableiterkühlung) zu kühlen, sondern durch eine direkte Umströmung der Zellen mit Kühlmedium (Tauchkühlung/ Immersion Cooling).

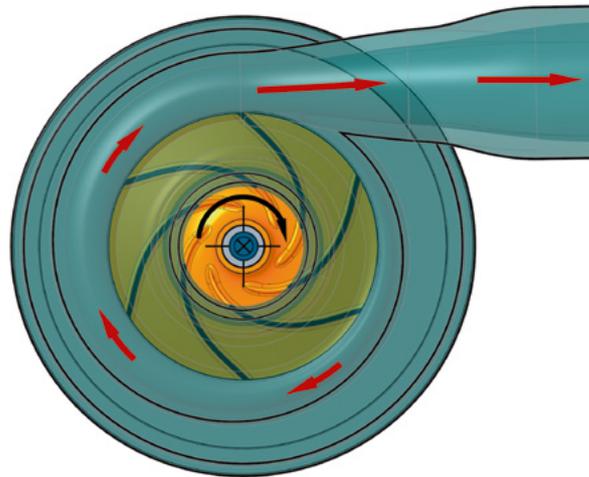
Voraussetzung für die praktische Umsetzung dieses Direktkühlkonzepts ist die Verwendung dielektrischer (nichtlei-

tender) Flüssigkeiten (Wärmeträgeröle). Dabei handelt es sich um niedrigviskose Kohlenwasserstoffverbindungen, die im Vergleich zu Wasser-Glykol-Mischungen eine um bis zu 30 % geringere Dichte sowie wesentlich niedrigere Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten aufweisen. Hieraus resultiert, dass der Volumenstrom – bezogen auf die angestrebte Kühlleistung – etwa verdoppelt werden muss [1].

Abweichend von den Verhältnissen bei Verdrängerpumpen (Zahnrad-, Schnecken- oder Flügelzellenpumpen) besteht bei Kreiselpumpen ein linearer Zusammenhang zwischen der Dichte des zu fördernden Fluids und dem bei einer jeweiligen Pumpendrehzahl erreichbaren Förderdruck. Aus diesem Grund erreicht eine für Wasser-Glykol-Mischungen ausgelegte KP bei der Förderung dielektrischer Kühlmedien bei gleicher Drehzahl nur etwa zwei Drittel des Förderdrucks. Dieser Sachverhalt und die bei drehzahlvariabel elektrisch angetriebenen Verdrängerpumpen im Vergleich zu KP größere Unabhängigkeit zwischen dem Förderdruck und dem Fördervolumenstrom machen deren Einsatz insbesondere zur Förderung von Kühlmedien niedriger Dichte interessant. Dieser Beitrag stellt beispielhaft verschiedene E-Pumpenkonzepte für den Einsatz zur Temperierung von Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen vor und präsentiert, erläutert und bewertet die Ergebnisse der hydraulischen Vermessung ausgeführter Pumpen am Prüfstand.

## KREISELPUMPEN

In Automotive-Anwendungen werden als Kühlmittelpumpen aktuell praktisch ausnahmslos Kreiselpumpen eingesetzt. KP sind Strömungsmaschinen, bei denen die kinetische Energie des rotierenden Laufrads in hydraulische Energie (Geschwindigkeits- und Druckenergie) der zu fördernden Flüssigkeit umgewandelt wird. Gemäß den für KP gültigen Ähnlichkeitsbeziehungen steigen der Förderdruck beziehungsweise die Förderhöhe sowie das Pumpendrehmoment quadratisch und die Antriebsleistung in der dritten Potenz mit der Pumpendrehzahl [2]. Die üblichen einstufigen KP, **BILD 1**, die zur Förderung von Kühlmedien in Pkw eingesetzt werden, erreichen – be-



**BILD 1** Illustration Kreiselpumpe (© SHW Automotive)

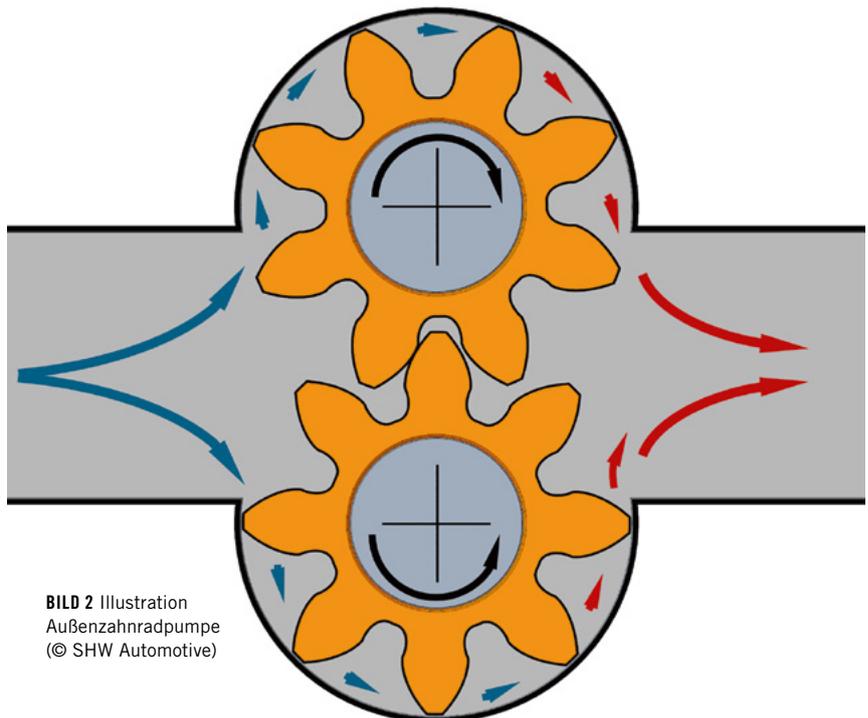
zogen auf die mechanische Antriebsleistung – Wirkungsgrade im Nennauslegungspunkt ( $n_{\text{nenn}}$ ,  $V_{\text{nenn}}$ ) von circa 70 %.

Bei der Förderung von Medien niedriger Dichte und/oder hohen geforderten Förderdrücken ist es auch möglich, KP mehrstufig auszuführen, allerdings bei größeren Abmessungen, höheren Kosten und möglichen Wirkungsgradeinbußen.

## ZAHNRADPUMPEN

Zahnradpumpen sind Verdrängerpumpen, die entweder als Außenzahnradpumpen (AZP), **BILD 2**, oder als Innenzahnradpumpen (IZP), **BILD 3**, ausgeführt

werden und bei entsprechender Auslegung über weite Drehzahlbereiche hohe Wirkungsgrade aufweisen. Der Fördervolumenstrom ist abgesehen von Leckageverlusten und Kavitationseinflüssen im Grundsatz proportional zur Antriebsdrehzahl und verglichen mit KP wesentlich weniger abhängig vom Förderdruck. Lediglich bei niedrigen Drehzahlen und hohen Förderdruckdifferenzen nehmen die Leckageverluste in Relation zum Förderstrom größere Anteile ein. Dadurch sinken die volumetrischen Wirkungsgrade – das Verhältnis zwischen der tatsächlichen durch Leckageverluste reduzierten zur theoretischen Durchfluss-

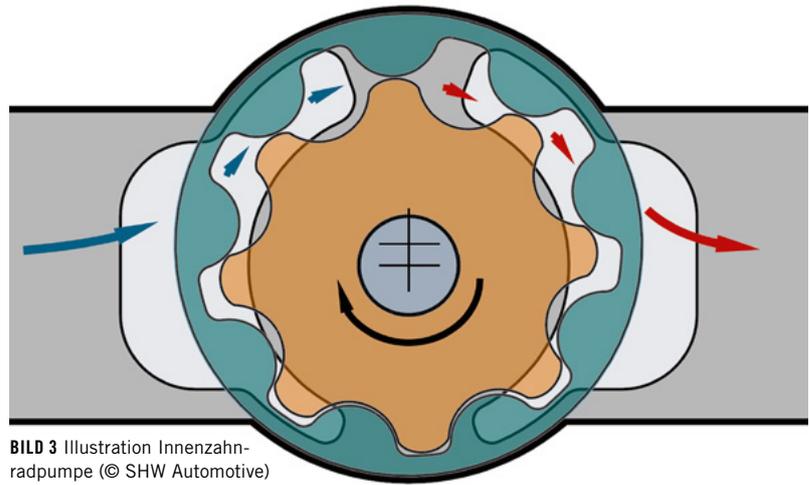


**BILD 2** Illustration Außenzahnradpumpe (© SHW Automotive)

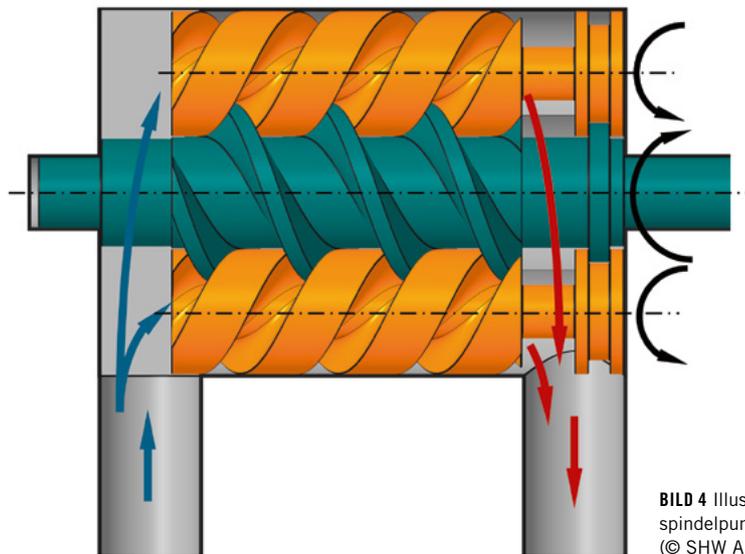
menge – mehr oder weniger stark ab.

Gegenüber Flügelzellenpumpen ist die tribologische Wechselwirkung zwischen den beweglichen Komponenten günstiger, sodass mit Zahnradpumpen bei entsprechender Auslegung im Grundsatz auch Medien mit vergleichsweise schlechter Schmierfähigkeit gefördert werden können, etwa niedrigviskose Kühlmedien. IZP wie AZP weisen zwei oder mehrere im Eingriff stehende Zahnräder auf, die mit engen Spielen zu den Gehäusewandungen in einem mit Druck- und Saugstutzen versehenen Gehäuse drehbar gelagert sind. Durch Drehung der Pumpenwelle werden die durch die Zahnücken der Zahnräder und die Gehäusewandungen gebildeten, mit Fördermedium gefüllten Förderzellen von der Saug- zur Druckseite bewegt. Dabei verhindert der Zahneingriff ein Rückströmen des Fluids von der Druck- zur Saugseite.

Bei IZP sind wegen der axialen Befüllung der Förderzellen über Saugnieren zur Vermeidung von Kavitation die axialen Baulängen beziehungsweise die maximalen Betriebsdrehzahlen begrenzt. Bei AZP lässt demgegenüber die radiale Befüllung der Förderzellen insbesondere bei schräg verzahnten Stirnrädern eine erheblich größere axiale Baulänge und damit eine schlanke Bauart zu.



**BILD 3** Illustration Innenzahnradpumpe (© SHW Automotive)



**BILD 4** Illustration Schraubenspindelpumpe (dreispindlig) (© SHW Automotive)

## SCHRAUBENSPIDEL PUMPEN

Schraubenspindelpumpen (SSP), **BILD 4**, bilden eine Sonderbauform der AZP. Bei diesen weisen die im Eingriff stehenden Stirnräder, bezogen auf die Drehachse, eine starke Schrägung auf, sodass diese die Form von mehrgängigen Schrauben annehmen. Die durch die Schrägverzahnung entstehenden Axialkräfte werden entweder durch eine Axiallagerung der Spindeln zueinander und/oder durch Axiallager zum Pumpengehäuse abgestützt. Die Fluidförderung erfolgt sehr kontinuierlich und ohne wesentliche Pulsation in axialer Richtung. SSP lassen sich mit zwei und drei Spindeln ausführen, wobei die schlanke Bauart der Spindeln mit kleinen Reibradien sowie gute tribologische Verhältnisse hohe mechanische Wirkungsgrade und im Grundsatz auch hohe Gesamtwirkungsgrade ermöglichen. Die langen, linienberührenden Dichtlinien zwischen den Förderzellen

stellen jedoch sehr hohe Anforderungen an die geometrische Präzision der Spindeln und die Bauteiltoleranzen von Spindeln und Gehäuse, was bezogen auf einen Großserieneinsatz wesentliche Kostennachteile bedingt.

### VERMESSUNG UNTERSCHIEDLICHER PUMPENKONZEPTE AM PRÜFSTAND

Die für den Antrieb erforderliche mechanische Leistung und der Wirkungsgrad der Pumpe bestimmen im Wesentlichen das Gewicht, die Abmessungen sowie die Kosten der Gesamtpumpe und im Falle von Elektropumpen auch die Abmessungen des Elektromotors sowie der Leistungselektronik. Diese Betrachtung bildet den Ausgangspunkt für die Vermessung einer Auswahl verschiedener,

für die Förderung von dielektrischen Fluiden infrage kommender Pumpen mit vergleichbarer Förderleistung am Prüfstand. Die Auswahl umfasst eine AZP, eine IZP, eine SSP und eine KP.

Die Pumpen wurden nacheinander am Pumpenprüfstand adaptiert und unter gleichen Bedingungen vermessen. Im Anschluss wurden jeweils bei 3 bar die Förderströme und die Antriebsdrehmomente in Abhängigkeit von der Antriebsdrehzahl ermittelt. **BILD 5** zeigt exemplarisch den Prüfaufbau zur Vermessung der untersuchten KP am Prüfstand.

Die Förderdruckdifferenz wird über in Saug- und Druckstutzen angeordnete Ringsonden, der Förderstrom über einen druckverlustarmen Coriolis-Massenstromsensor erfasst. Der Prüfstand verfügt über eine Medientemperierung von 20 bis 130 °C und eine präzise



BILD 5 Versuchsaufbau zur Vermessung der Pumpen am Prüfstand (© SHW Automotive)

Drehmoment- und Drehzahlerfassung. Die Sensorsignale werden mittels Messdatenerfassungssystem von einer Software aufgezeichnet, visualisiert und anschließend entsprechend der gewünschten Darstellung ausgewertet und analysiert.

**BILD 6** zeigt die Ergebnisse der Vermessung der Pumpen bei 30 °C und 3 bar Förderdruck. Die untersuchten Verdrängerpumpen (AZP, IZP SSP) erreichen bei niedrigen Drehzahlen durchweg hohe Gesamtwirkungsgrade, die aber mit Ausnahme der SSP wegen steigender Reibleistung und dem Erreichen der Kavitationsgrenze bei höheren Drehzahlen stark absinken. Bei der SSP verbleiben offensichtlich wegen der erheblich kleineren Reibradien der schlanken Spindeln die Gesamtwirkungsgrade bis 8000/min auf einem hohen Niveau von über 65 %.

Die auf die Förderung von Wasser-Glykol-Mischungen ausgelegte KP weist bei niedrigen Drehzahlen im Vergleich zu den Verdrängerpumpen sehr niedrige Gesamtwirkungsgrade

auf, die mit steigender Drehzahl stetig auf einen Maximalwert von 55 % bei 7500/min ansteigen. Die maximale Förderdruckdifferenz bei 8000/min beträgt wegen der niedrigen Dichte des Fördermediums lediglich 2 bar.

Eine Steigerung des Druckniveaus auf 3 bar könnte durch eine geänderte Auslegung erreicht werden, etwa durch einen Impeller mit niedriger spezifischer Drehzahl ( $n_q$ ) oder eine zweistufige Bauart. Dadurch ist allerdings keine Steigerung der Gesamtwirkungsgrade zu erwarten. Solange mit der jeweiligen Pumpe die Kavitationsgrenze nicht erreicht wird, liegt die Höhe der Druckpulsation der vier untersuchten Pumpen auf einem akzeptablen Niveau.

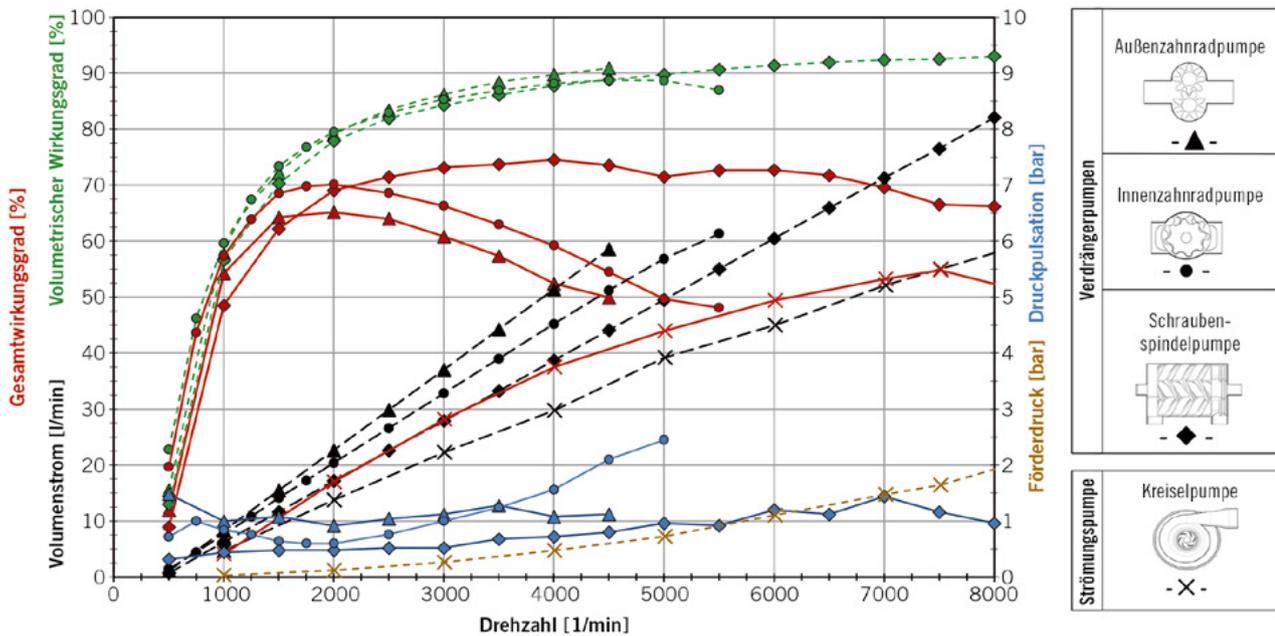
#### ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Um sehr kurze Schnellladezeiten für die Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen zu erreichen, befassen sich viele Automobilhersteller mit der Direktkühlung der Batteriezellen mittels Wärme-

trägeröl. Aus den gegenüber Wasser-Glykol-Mischungen wesentlich niedrigeren Dichten und den besseren Schmiereigenschaften von dielektrischen Fluiden resultieren veränderte Randbedingungen für die Konzeptauswahl und die Auslegung elektrischer Kühlmedienpumpen.

Prinzipbedingt werden mit (einstufigen) Kreiselpumpen höhere Drücke und Wirkungsgrade erst bei hohen Drehzahlen, also bei Annäherung an den Nennauslegungspunkt, erreicht. Im Gegensatz hierzu liefern Verdrängerpumpen bereits bei niedrigen Drehzahlen hohe Drücke bei gleichzeitig hohen Gesamtwirkungsgraden. Je nach Konzept und Auslegung fallen jedoch insbesondere bei Zahnradpumpen die Wirkungsgrade mit steigenden Drehzahlen mehr oder weniger ausgeprägt ab.

Vergleichsweise hohe Gesamtwirkungsgrade über einen weiten Drehzahlbereich bei guten akustischen Eigenschaften lassen sich mit Schraubenspindelpumpen erreichen. Die Gründe hierfür liegen insbesondere in den kleinen Reibradien aufgrund kleiner Spindeldurchmesser und



**BILD 6** Vergleich der Förderkenndaten bei einer Förderdruckdifferenz von 3 bar; Fördermedium: Wärmeträgeröl: 2,8 cSt und 30 °C; Dichte: 778 kg/m<sup>3</sup> (© SHW Automotive)

einer stetigen Förderung des Mediums. Gewichtige Nachteile dieser Bauart sind allerdings die schlechte Skalierbarkeit dieser Pumpen bezüglich der Fördervolumenströme und die sehr hohen Präzisionsanforderungen an die Geometrien (Toleranzen) der Spindeln zueinander sowie zu dem die Spindeln umgebenden Gehäuse. Dies ergibt sich aus den langen linienförmigen Dichtstrecken zwischen den Spindeln und erschwert die Verwendung kostengünstiger Kunststoffteile erheblich.

Unter der Voraussetzung, dass Automobilhersteller beim Einsatz dielektri-

scher Fluide Förderdrücke fordern, bei denen einstufige Kreiselpumpen ihre konzeptionellen Grenzen erreichen, ist es lohnend, die Optimierungspotenziale konventioneller Verdrängerpumpen näher zu untersuchen. Es ist geplant, über die Ergebnisse dieser Optimierungsschritte in einem Folgebeitrag zu berichten.

#### LITERATURHINWEISE

- [1] Azzouz K.: Novel Thermal Management Module for Batterie Immersive Cooling. European EV Thermal Management Summit, Frankfurt am Main, 2023
- [2] Gülich, J. F.: Kreiselpumpen – Handbuch

für Entwicklung, Anlagenplanung und Betrieb. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013

[3] Tschöke, H.; Gutzmer, P.; Pfund, T. (Hrsg.): Elektrifizierung des Antriebsstrangs Grundlagen – vom Mikro-Hybrid zum vollelektrischen Antrieb. Berlin: Springer Vieweg, 2019

[4] Liebl, J.; Lederer M.; Rohde-Brandenburger, K.; Biermann, J.; Roth, M.; Schäfer, H.: Energiemanagement im Kraftfahrzeug. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014

[5] Meinig, U. et al.: Energieeffiziente Nebenaggregate – Schlüsselkomponenten für energetisch optimierte Fahrzeuge. Expert-Verlag, 2017

#### IMPRESSUM

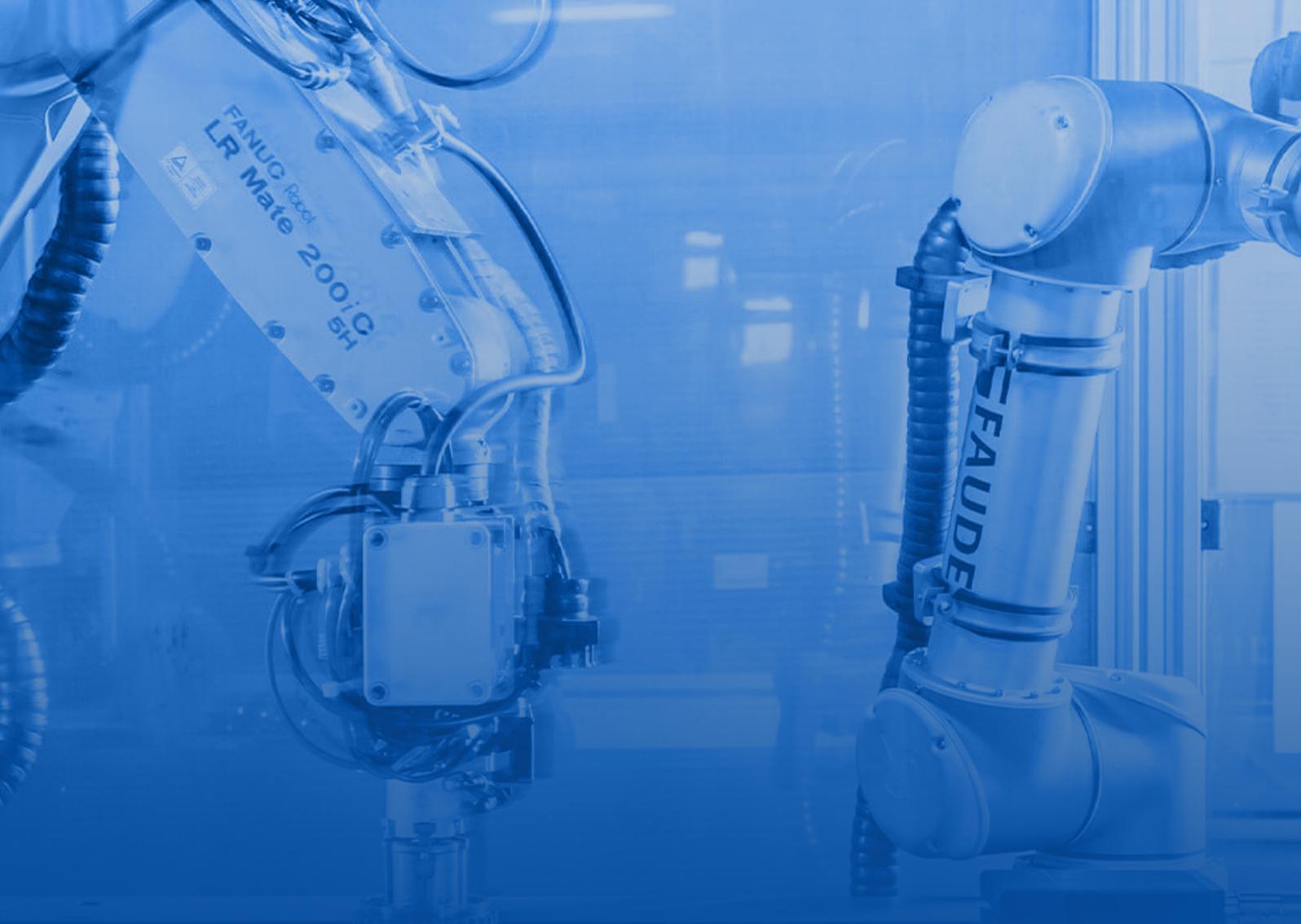
Sonderausgabe 2024 in Kooperation mit SHW Automotive GmbH, Enzisholzweg 11, 88427 Bad Schussenried; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE81148419

#### GESCHÄFTSFÜHRER:

Stefanie Burgmaier | Andreas Funk | Joachim Krieger

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabus

TITELBILD: © stock.adobe.com, zhu difeng | SHW Automotive



## **SHW Automotive GmbH**

A member of the Pankl Group

Enzisholzweg 11

88427 Bad Schussenried

Telefon: +49 7361 502-1

E-Mail: [info@shw.de](mailto:info@shw.de)

**[www.shw.de](http://www.shw.de)**

Finden Sie uns auf Social-Media

