



© Fuchs Schmierstoffe

Auswirkungen effizienter Schmierfette auf die BEV-Reichweite

Der Einsatz von Schmierfetten in teil- (HEV) oder vollelektrifizierten Pkw (BEV) kann einen positiven Einfluss auf deren Reichweite nehmen. Die Priorisierung einzelner Fahrzeugkomponenten beim Thema Reibungsminimierung, die Vorteile effizienter Schmierfette sowie die speziellen Anforderungen, die elektrifizierte Fahrzeuge an diese Betriebsstoffklasse stellen, werden hier von Fuchs Schmierstoffe erklärt.

Um einzelne fettgeschmierte Komponenten in batterieelektrischen Fahrzeugen (Battery Electric Vehicles, BEVs) oder in Hybridfahrzeugen (Hybrid Electric Vehicles, HEVs) klassifizieren zu können, nahm Fuchs Schmierstoffe eine Analyse vor und vergab darin

wirkungsgradrelevante Prioritätsgrade. Diese definieren sich über die Dauer der Versorgung der einzelnen Komponenten mit Strom von der Fahrzeugbatterie. Je länger eine Komponente auf die Energie der Batterie zugreift, desto höher ist deren Stromverbrauch.

AUTOREN



Julian Zschippig, B. Sc. ist Anwendungstechniker für Schmierfette bei der Fuchs Schmierstoffe GmbH in Mannheim.



Thomas Litters ist Senior-Experte für Schmierfette bei der Fuchs Schmierstoffe GmbH in Mannheim.

Eine effiziente sprich reibungsarme Schmierung kann den Wirkungsgrad verbessern, dadurch den Energiebedarf reduzieren und somit einen konstruktiven Beitrag zur Verlängerung der Fahrzeugreichweite leisten. Demnach besitzen Komponenten mit einem höheren Stromverbrauch auch ein größeres Potenzial zur Erhöhung der Reichweite durch Effizienzsteigerung. Im Sinne einer optimierten Fettschmierung wurden drei wirkungsgradrelevante Prioritäten definiert, die im Folgenden vorgestellt werden.

ERSTE PRIORITÄT: ANTRIEBSSTRANG

Der Priorität im Bereich Antriebsstrang werden Komponenten zugeordnet, die entweder Teil des Antriebsstrangs oder direkt mit ihm verbunden sind. Sie agieren während des Fahrzeugbetriebs permanent als direkter oder indirekter Stromverbraucher der Fahrzeugbatterie. Für die erste Priorität sind beispielsweise die fettgeschmierten Lager im Traktionselektromotor, die Radlager oder die Gelenkwellen einberechnet. Bei diesen Komponenten ist die potenzielle Energieeinsparung durch die Erhöhung des Wirkungsgrads groß, da für deren Betrieb der größte Anteil der Batterieenergie benötigt wird. Daher kann eine Effizienzsteigerung dieser Komponenten am stärksten zur Verlängerung der Reichweite beitragen. Komponenten der ersten Priorität stehen mittlerweile besonders bei der Entwicklung reibungsarmer Schmierfette im Fokus.

ZWEITE PRIORITÄT: PERMANENT SERVO-UNTER- STÜTZENDE KOMponentEN

Zur zweiten Priorität zählen Komponenten, die zwar ebenfalls permanent in den Fahrbetrieb eingebunden sind, allerdings nur unterstützend mitwirken. Dazu gehören beispielsweise die Lenkung, der Bremskraftverstärker oder der Kühlerventilator. Ein optimierter Wirkungsgrad dieser Komponenten, der durch reibungsarme Schmierfette realisiert werden kann, hat nicht mehr so umfassende Auswirkungen auf die Reichweite des Fahrzeugs wie eine Verbesserung im Antriebsstrang nach erster Priorität. Dennoch sind auch bei diesen Komponenten Potenziale zur Energieeinsparung durchaus vorhanden.

DRITTE PRIORITÄT: TEMPORÄR SERVO-UNTER- STÜTZENDE KOMponentEN

Als dritte Priorität eingestuft werden Komponenten, die nur zeitlich begrenzt genutzt und somit nur temporär mit Energie der Fahrzeugbatterie gespeist werden. Dazu zählen zum Beispiel die Parkbremse oder die Sitzverstellung. Da diese Bauteile nur zeitweise als elektrische Verbraucher agieren, ist ihr Potenzial zur Verlängerung der Reichweite wesentlich geringer als bei Komponenten der beiden anderen Prioritäten. Jedoch können auch Komponenten der dritten Priorität durch den Einsatz effizienter Schmierfette einen positiven Einfluss auf die Reichweite des Pkws nehmen. Dies wird vor allem durch synthetische Schmierfette erreicht, die zu geringeren Losbrech- und Antriebsmomenten auch bei tiefen Temperaturen (bis zu -40 °C) führen und somit eine niedrigere elektrische Bereitstellungsleistung erfordern.

BETRACHTUNG UND VORTEILE DER WIRKUNGSGRAD- RELEVANTEN PRIORITÄTEN

Die beschriebene Einstufung in die drei genannten Prioritäten führt zu einer fokussierten Betrachtung der Schmierfettanwendungen in HEVs und BEVs. **TABELLE 1** ordnet den drei Prioritäten die fettgeschmierten Komponenten im Automobil zu.

Die Reibungsminimierung einer Fettschmierung kann durch eine geringe Grundölviskosität sowie spezielle, optimierte Verdickersysteme und Additivtechnologien erreicht werden. Eine Rei-

bungsreduzierung ist vor allem für Komponenten der wirkungsgradrelevanten ersten Priorität von Bedeutung. Durch geringere Leistungsverluste im Antriebsstrang, die auch auf eine niedrigere Reibung in diesen Komponenten zurückzuführen sind, kann der Stromverbrauch des Fahrzeugs gesenkt werden. Die Reibungszahl μ beschreibt unter anderem die innere Reibung des Schmierstoffs, die im Bereich der hydrodynamischen Schmierung erhebliche Auswirkungen auf den Wirkungsgrad der Komponenten haben kann.

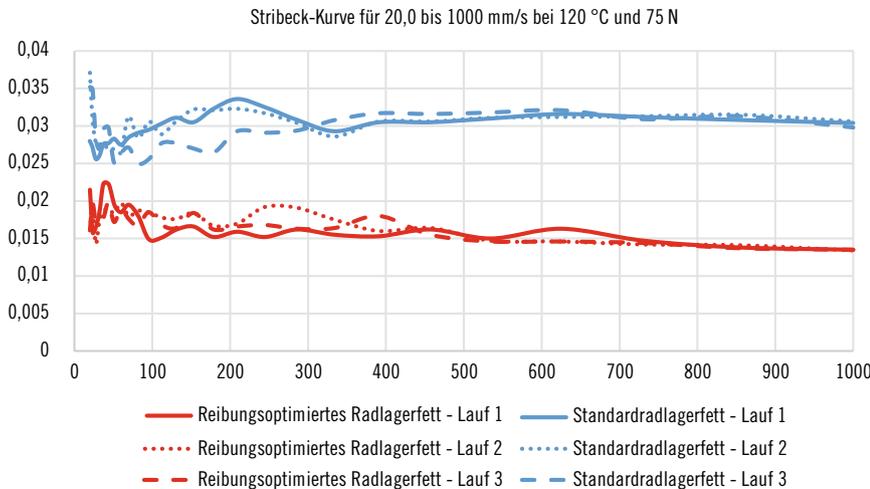
Die Entwicklung effizienter Schmierfette erfordert eine präzise Messung der schmierfettabhängigen Reibung in Modell- oder Komponentenprüfständen unter möglichst praxisnahen Belastungsbedingungen. Eine Möglichkeit hierzu bietet die sogenannte Mini Traction Machine (MTM) von PCS Instruments. **BILD 1** beinhaltet die Messergebnisse eines MTM-Prüflaufs und zeigt deutlich den Reibungsunterschied zwischen einem Standard- und einem reibungsoptimierten Radlagerschmierfett. Es wird deutlich, dass die Reibungszahl des optimierten Schmierfetts verglichen mit dem Standardradlagerschmierfett um 50 % reduziert wurde ($\mu = 0,015$ statt $0,030$) und somit ein positiver Einfluss auf den Wirkungsgrad der Komponente genommen werden kann.

In den meisten Fällen werden reibungsarme Schmierfette mit dünnen Basisölviskositäten formuliert. Dies kann jedoch zu einem vorzeitigen Ausfall von Wälzlagern durch Verschleiß oder Ermüdung führen. Um dem entgegenzuwirken, bedarf es einer ausgeklügelten Auswahl an Basisölytypen und Schmierfettadditivierung. Fuchs Schmierstoffe verfügt über

Erste Priorität	Zweite Priorität	Dritte Priorität
Traktionselektromotor	Lenkung	Parkbremse
Radlager	Bremskraftverstärker	Sitzversteller
Gelenkwelle	Kühlerventilator	Lenksäulenhöhenversteller
Kardanwelle	Bremssattel	Spiegelversteller
Radnabenmotor	Elektromechanische Bremse	Türschloss
Zweimassenschwungrad*	Kunststoffgetriebe	Fensterheber
-	Scheibenwischermotor	Schiebedach
-	Klimaanlage	-

TABELLE 1 Schmierfettanwendungen nach Prioritäten und Komponenten (*nur für HEVs relevant) © Fuchs Schmierstoffe

BILD 1 Vergleich der Stribeck-Kurven eines reibungsoptimierten (rot) und eines Standardradlagerfett (blau) – eine Reibungsminimierung um 50 % wird möglich (© Fuchs Schmierstoffe)



einen modifizierten FE8-Prüfstand (Basis nach DIN 51819), mit dem die Ermüdungslebensdauer von Wälzlagern bei kritischen Last- und Drehzahlbedingungen geprüft werden kann. Dabei wird das Lager vibrationsüberwacht und die Prüfung bei einer Grenzüberschreitung abgebrochen. Somit kann beurteilt werden, ob das Schmierfett die Eintrittswahrscheinlichkeit eines vorzeitigen Lagerausfalls durch Verschleiß oder Ermüdung verringern kann.

Neben der Reibwertreduzierung haben effiziente Schmierfette weitere Eigenschaften, die sich positiv auf die Reichweite eines BEV oder HEV auswirken können. So kann beispielsweise die spezifische Belastbarkeit eines Bauteils deutlich erhöht werden. Wird dies bereits in der Konstruktionsphase des Fahrzeugs berücksichtigt, kann das Bauteil bei gleichbleibendem Leistungsvermögen kleiner und leichter entwickelt werden. Die dadurch erzielte Gewichtseinsparung kann helfen, die Reichweite zu verbessern.

Der Effekt der höheren spezifischen Belastbarkeit ist primär auf Komponenten der ersten und zweiten Priorität anwendbar. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Gelenkwelle. Dieses als Downsizing bekannte Prinzip wird bereits in zahlreichen Verbrennungsmotor-Modellen praktiziert. Wie bereits beschrieben können optimierte synthetische Schmierfette die erforderliche elektrische Bereitstellungsleistung re-

duzieren. Im günstigsten Fall erlaubt dies einen verringerten Durchmesser elektrischer Leitungen und führt somit zu einer Gewichtseinsparung. **BILD 2** fasst die beschriebenen Vorteile optimierter Schmierfette zusammen.

EINE WEITERE ANFORDERUNG AN SCHMIERFETTE: PARTIKELREINHEIT

Neben der bereits beschriebenen Reibungsoptimierung werden bei Fuchs Schmierstoffe für den Bereich Elektromobilität drei weitere Hauptanforderungen an Schmierfette gestellt. Dabei handelt es sich um Geräuscharmheit, lange Fettgebrauchsdauer und hohe

Drehzahlgrenzwerte sowie die Eignung für Wälzlager, die elektrischen Strom führen. Jede der genannten Eigenschaften kann dank moderner Prüfverfahren überwacht und untersucht werden. Dadurch können qualifizierte Aussagen über die Eignung eines Schmierfetts getroffen werden.

Hintergrund der Anforderung an die Geräuscharmheit ist nicht allein die Minimierung der Eigengeräusche einer Fahrzeugkomponente, da die Geräusche der abrollenden Reifen und des Fahrtwinds die Vorteile einer leiseren Fettschmierung bereits bei erhöhten Geschwindigkeiten nicht mehr zur Geltung kommen lassen [1]. Viel bedeutsamer ist, dass das Geräuschverhalten von Schmierfetten hauptsächlich durch deren Sauberkeit (chemische Reinheit) beeinflusst wird. Bereits der Einsatz geräuscharmer beziehungsweise mechanisch hochreiner Schmierfette führt zu einer höheren rechnerischen Lebensdauer von Wälzlagern [2]. Dank der Partikelfreiheit geräuscharmer Schmierfette können dünnere Basisöle mit niedrigerem Reibwert zur Verbesserung des Wirkungsgrads von Wälzlagern und Gleitpaarungen eingesetzt werden, ohne dabei deren Lebensdauer zu reduzieren.

Daher wird bei Fuchs Schmierstoffe das Geräuschverhalten von Wälzlagerschmierfetten mit den Verfahren BeQuiet+ und MoreQuiet geprüft. **BILD 3** zeigt Auszüge einer MoreQuiet-Geräuschprüfung zweier Schmierfette. Das optimierte Wälzlagerschmierfett weist gegenüber einem moderat ge-

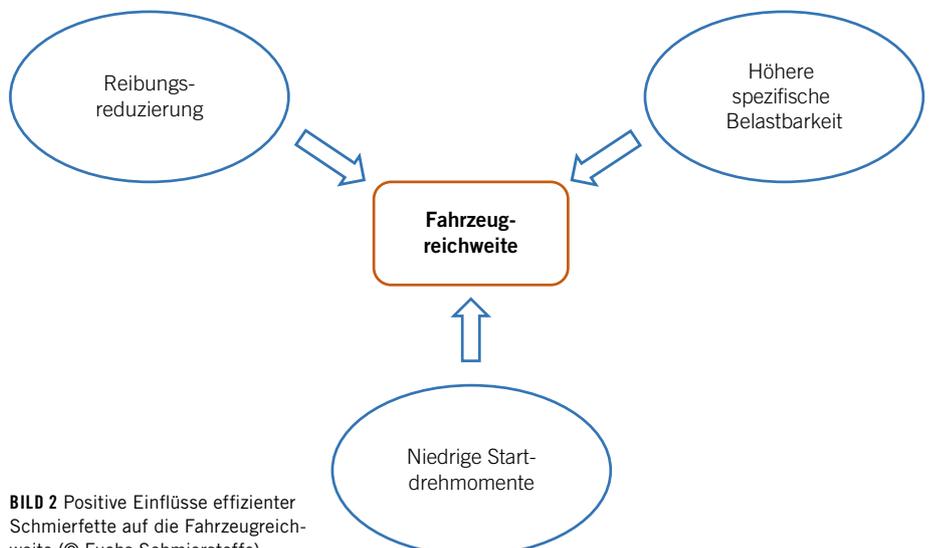


BILD 2 Positive Einflüsse effizienter Schmierfette auf die Fahrzeugreichweite (© Fuchs Schmierstoffe)

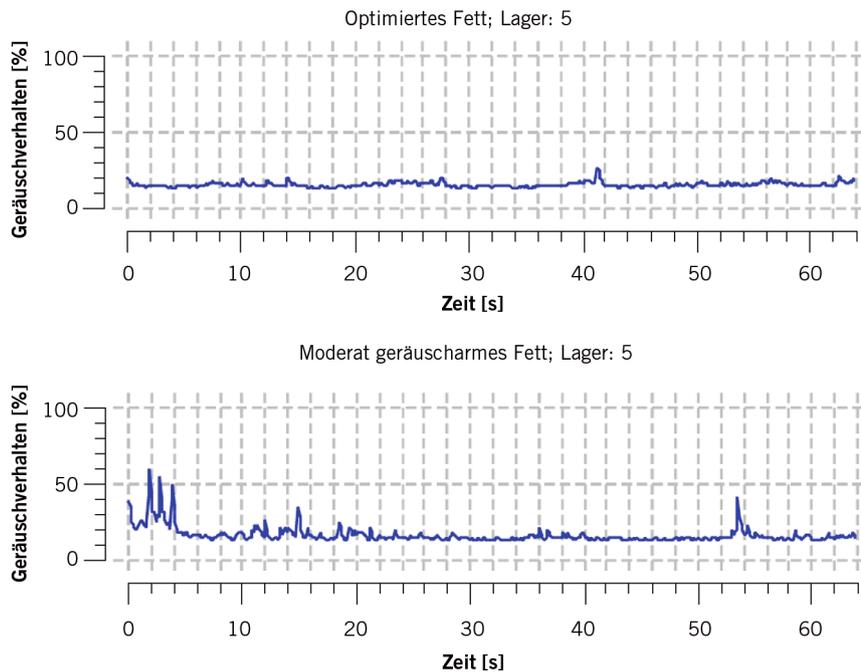


BILD 3 Gegenüberstellung eines geräuschoptimierten (oben) und eines moderat geräuscharmen (unten) Schmierfette (© Fuchs Schmierstoffe)

geräuscharmen Schmierfett ein deutlich ruhigeres Geräuschverhalten auf, was in einer besseren Geräuschklasse (II/1 statt II/2) resultiert.

Eine hohe Drehzahl- und Temperatureignung bei möglichst langer Gebrauchsdauer sind Kernanforderungen für die Fettschmierung der Wälzlager in Traktionselektromotoren. Fettgebrauchsdauerprüfungen führt Fuchs Schmierstoffe mit seinen Prüfständen SKF ROF+ und FAG FE9 bei bis zu +180 °C durch. Die Dreh-

zahlleistung beziehungsweise der obere Drehzahlgrenzwert wird mit der Prüfmaschine FAG WS 22 bestimmt.

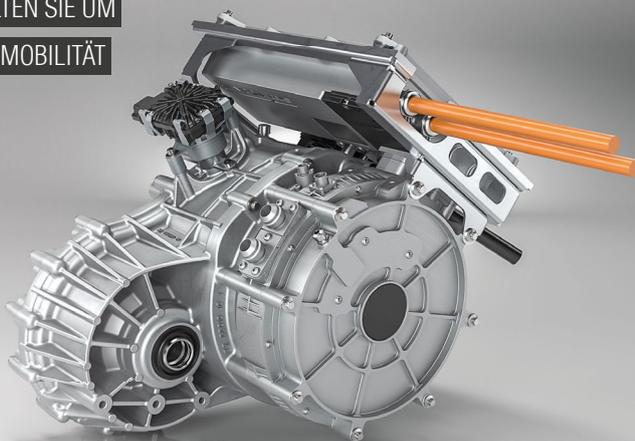
STROMFÜHRENDE LAGER UND IHRE FETTE

Zu den bislang weniger betrachteten Eigenschaften von Schmierfetten zählt die Eignung für stromführende Wälzlager. Aufgrund des vergleichsweise hochdynamischen Betriebs von frequenzgesteu-

ten Traktionselektromotoren gewinnt sie jedoch zunehmend an Bedeutung, da die Wälzlager dabei oft schädlichem Stromdurchgang ausgesetzt sind und dadurch schneller verschleifen. Welche Eigenschaften ein Schmierfett haben muss, um auch bei diesen Bedingungen ausreichend zu schmieren, ist noch nicht abschließend erforscht. Eine dabei häufig diskutierte Eigenschaft ist die spezifische elektrische Leitfähigkeit des Schmierfettes, die zum Beispiel mittels leitfähiger Additive oder Basisöle beeinflusst werden kann. Mit einer möglichst hohen elektrischen Leitfähigkeit des Schmierfettes wird bezweckt, dass die Höhe der elektrischen Durchschlagsenergie auf das Schmierfett und das Lager möglichst gering ausfällt. Dadurch sollen Schäden am Schmierstoff und am Lager verringert werden. Ob dies der richtige Ansatz ist, wird sich noch zeigen und bedarf weiterer interdisziplinärer Forschung.

Mit dem Dielectro-Rheological Device (DRD) von Anton Paar verfügt Fuchs Schmierstoffe über ein modernes Prüfgerät, um diese elektrischen Eigenschaften frischer und bereits beanspruchter Schmierfette charakterisieren zu können. Die Kombination eines Rotationsrheometers mit dem Messaufbau eines Platte-Platte-Kondensators, gepaart mit einem Impedanzspektrometer, erlaubt Messungen des spezifischen elektrischen Widerstands sowie der Leitfähigkeit und der Permittivität. Die Prüfbedingungen sind über einen breiten Temperaturbereich von -40 bis 150 °C und einen Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 MHz frei wähl-

SCHALTEN SIE UM
AUF E-MOBILITÄT



Wir unterstützen Sie durch unsere Expertise bei der Entwicklung von kompakten, elektrischen Antriebseinheiten.

FEV Getriebeösungen für Elektrofahrzeuge und P4-Hybride:

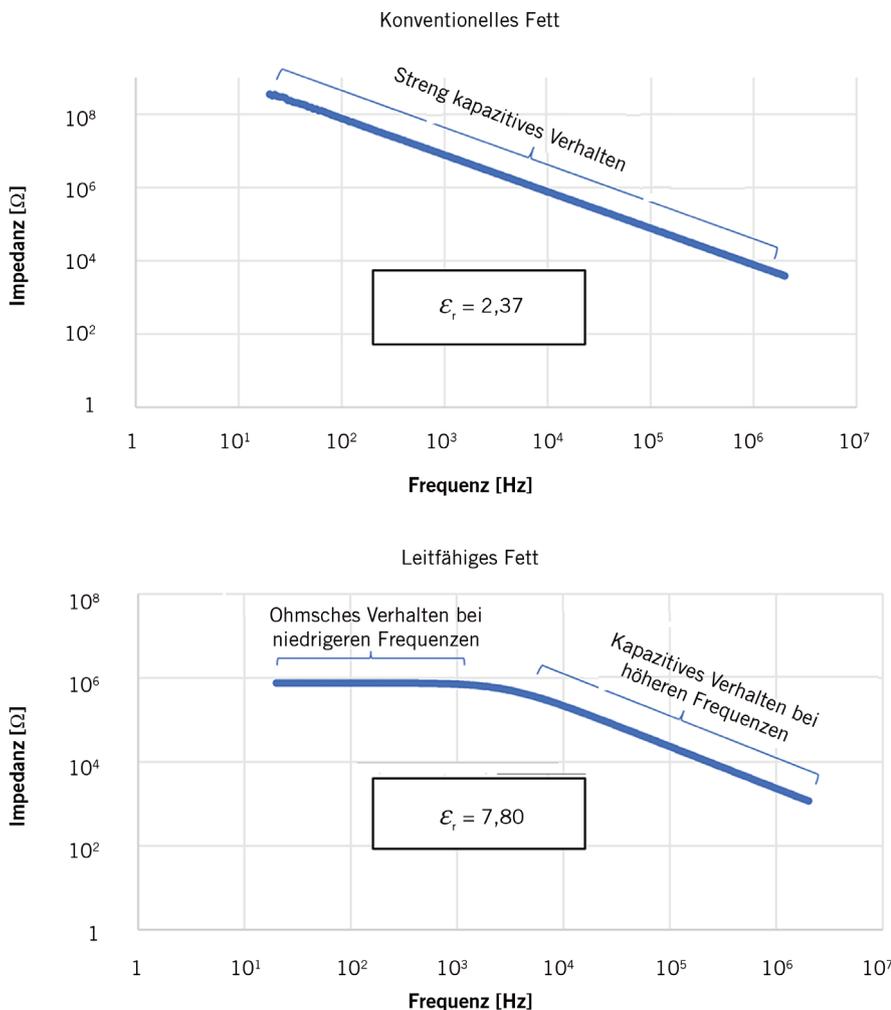
- > Kompakte 1-Gang und lastschaltfähige Mehrganggetriebe
- > Skalierbare Konstruktionen für einen großen Drehmoment-/Leistungsbereich
- > Kurzfristige Markteinführung durch Verwendung erprobter Bauteilgruppen
- > Park-by-wire System optional
- > Anbau-Steuergerät mit umfangreichen Softwarefunktionen
- > Rekuperations- und Segelfunktion

Weitere Informationen
www.fev.com



Merkmal/Fett	Konventionelles Schmierfett	Leitfähiges Schmierfett
Eigenschaften	Zeigt rein kapazitives Verhalten	Ohmsches Verhalten bei niedrigen Frequenzen Kapazitives Verhalten bei höheren Frequenzen Zusätzliche elektrische Leitung durch Ladungstransport
Vergleichbares Ersatzschaltbild		
Formel für Impedanz	$ Z = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f \epsilon_r C_0}$ $\varphi = -90^\circ$	$\frac{1}{ Z ^2} = \frac{1}{(\frac{1}{\omega C})^2} + \frac{1}{R^2} = (2\pi f \epsilon_r C_0)^2 + \frac{1}{R^2}$ $\varphi = 0^\circ$

TABELLE 2 Vergleich eines konventionellen Schmierfetts mit einem elektrisch leitfähigen Schmierfett hinsichtlich ihrer Impedanz Z (© Fuchs Schmierstoffe)



bar. Der Versuchsaufbau ermöglicht zudem die Untersuchung eines Schmierfetts bei Scherbeanspruchung. TABELLE 2 stellt die elektrischen Eigenschaften von konventionellen und leitfähigen Schmierfetten gegenüber, während BILD 4 dazu die Impedanzkurven zeigt.

FAZIT

Die Anforderungen der Elektromobilität an die eingesetzten Schmierfette sind nicht neu. Jedoch hat sich deren Priorisierung verändert. Der Fokus hat sich weiter auf die Reibungsreduzierung und die damit verbundene Erhöhung des Wirkungsgrads verschoben. Zudem gewinnen Geräuscharmheit sowie die Eignung für bestromte Wälzlager zunehmend an Bedeutung. Werden diese Anforderungen bei der Entwicklung effizienter Schmierfette berücksichtigt, können sie einen spürbaren positiven Einfluss auf die Reichweite von Elektrofahrzeugen nehmen.

LITERATURHINWEISE

- [1] Umweltministerium NRW: Leise fahren. Online: <https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/umwelt-und-gesundheit/laerm/strassen-und-schienenverkehrs-laerm/leise-fahren>, aufgerufen: 13. Juli 2021
- [2] GfT e. V.: Arbeitsblatt 3. Wälzlagerschmierung. Kap. 3, Jülich: September 2006

BILD 4 Impedanzkurve und Permittivitätswert ε_r eines konventionellen (oben) und eines leitfähigen (unten) Schmierfetts bei 20 Hz bis 2 MHz Rotationsfrequenz (© Fuchs Schmierstoffe)



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
Test now for 30 days free of charge:
www.atz-worldwide.com