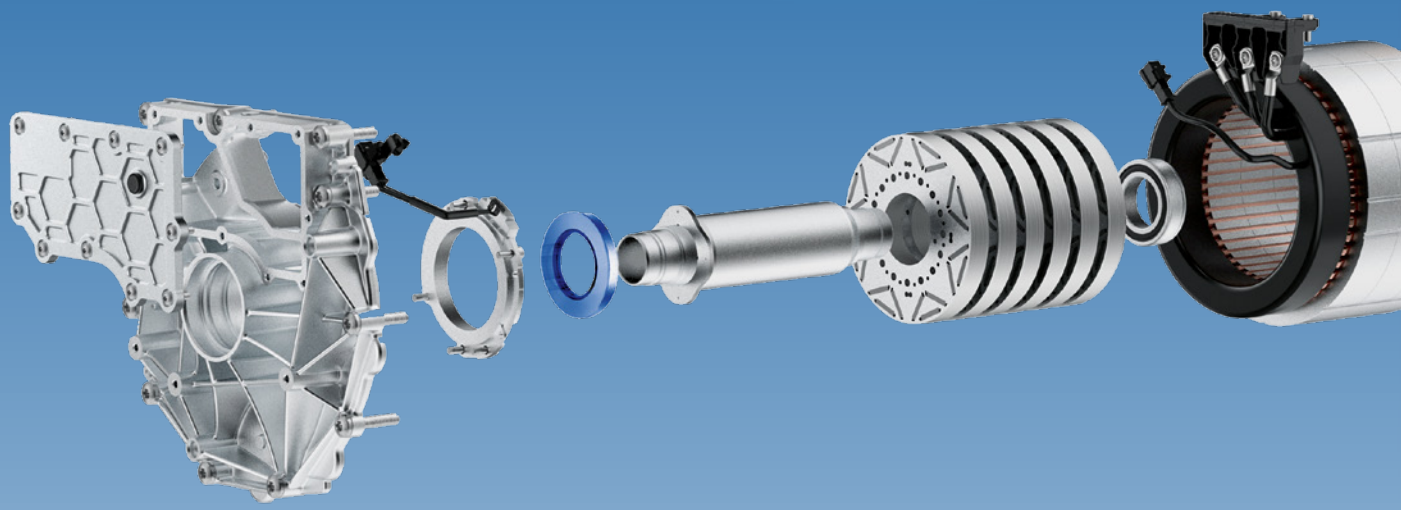
Springer Vieweg

MTZ extra



ElroSeal™ E-Wellendichtring

Prüfung für extreme Anforderungen

elringklinger Kunststofftechnik

Prüfung von Radialwellendichtringen für extreme Anforderungen

© ElringKlinger Kunststofftechnik

Die deutlich höheren Drehzahlen von Elektromotoren am Übergang zum mit Schmierstoff gefüllten Getriebe und die daraus resultierende Belastung des Dichtsystems führten zur Entwicklung einer einzigartigen Dichtungslösung, dem ElroSeal-E-Wellendichtring. Testverfahren von ElringKlinger Kunststofftechnik und deren Aussagekraft bezogen auf das reale Fahrzeugleben sollen anhand von Untersuchungen an ElroSeal E in Bezug gesetzt werden.

AUTOREN

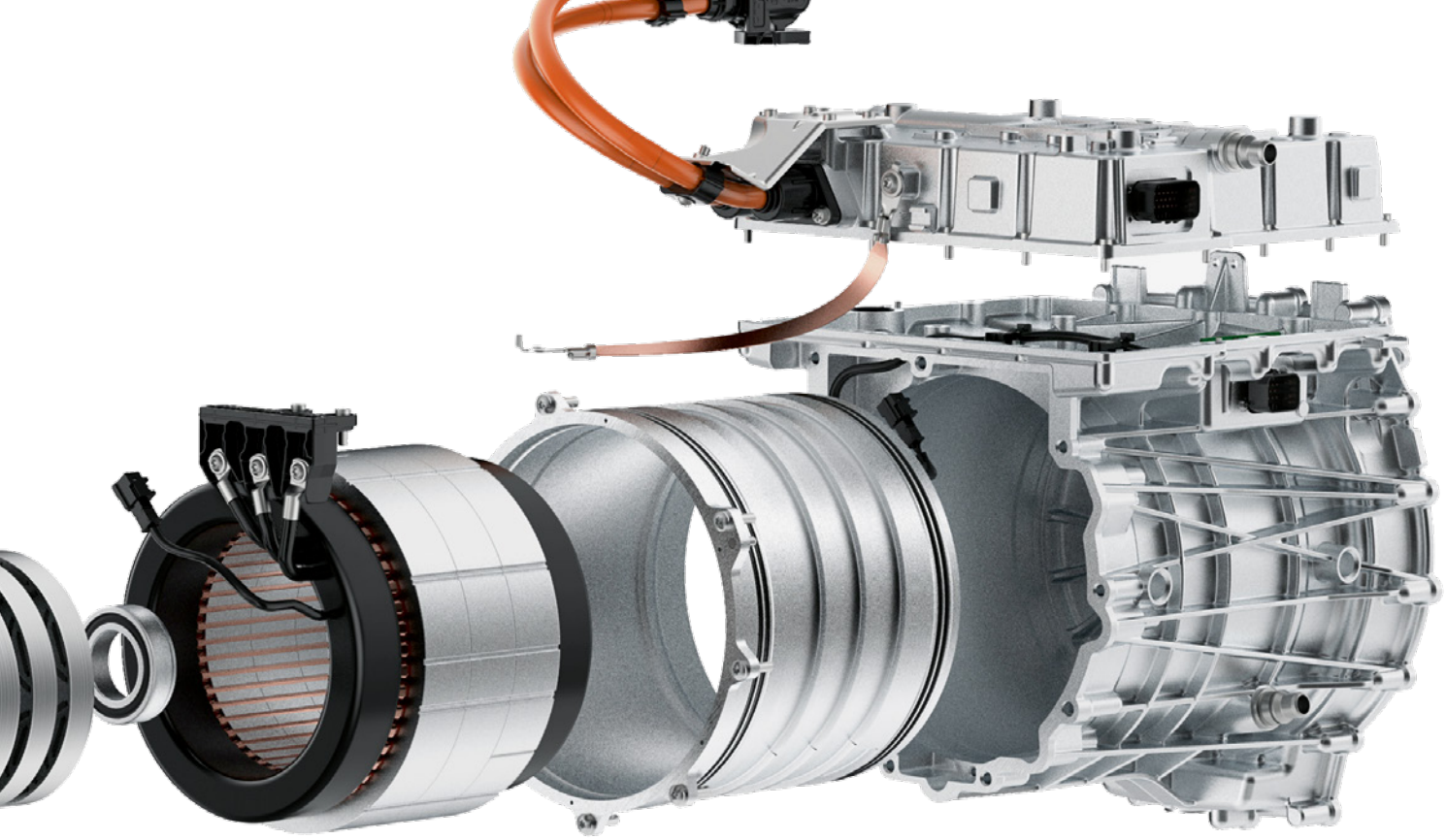
Dipl.-Ing. (FH) Uwe Koch
ist Produktverantwortlicher für Radialwellendichtringe in e-Antrieben bei der ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH in Bietigheim-Bissingen.

Dr.-Ing. Uwe Wallner
ist der Leiter der Produktentwicklung bei der ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH in Bietigheim-Bissingen.

Durch den in vielen Ländern bereits beschlossenen Ausstieg aus der Verbrennungsmotortechnologie werden alternative Antriebe in der Automobilindustrie immer wichtiger. Bei vielen kommt eine Electric Drive Unit (EDU) zum Einsatz, bei der eine Elektromotor-Getriebe-Einheit direkt an der Achse befestigt ist. Ein Schmierstoffeintritt in den Elektromotor ist dabei auch unter Höchstdrehzahlen zu verhindern.

Basis der ElroSeal E-Technologie ist eine optimale Kombination aus Werkstoff, Geometrie und Funktionseigenschaften, beispielsweise durch besondere Drallstrukturen. Im Mittelpunkt steht hierbei die Dichtlippe aus einem speziellen, besonders verschleißfesten Polytetrafluorethylen(PTFE)-Compound. Darüber hinaus wird über eine patentierte Oberflächenstruktur der Dichtlippe eine einzigartige, drehrichtungsunabhängige Abdicht- und Rückförderfunktion auch bei sehr hohen Drehzahlen erreicht. Verifiziert wurde dieses Dichtverhalten in Prüfstandversuchen mit speziellen Prüfprogrammen, die sich an aktuellen Dichtungsanforderungen orientieren. Hierbei können auch jederzeit weitere Sonderfunktionen der Dichtung, wie das Erdungsverhalten, integriert und abgeprüft werden.

Eine spezielle Oberflächenstruktur auf der Dichtlippe sorgt bei Ölabdichtung für die gleichmäßige Ausbildung eines Schmierfilms zwischen Dichtlippe und Welle, wodurch auch bei Mangelschmierverhältnissen ein sehr verschleißarmer Betrieb der Dichtlippe möglich ist. Ebenso sorgt die Strukturierung der Dichtlippenoberfläche im hochdynamischen Betrieb für eine hydrody-



namische Förderwirkung (Pumpwirkung), die drehrichtungsunabhängig das dynamische Öldichtverhalten weiter verbessert. Vorteil ist, dass dies bei sehr geringer radialer Anpressung der Dichtlippe und niedriger Reibleistung möglich ist.

Bei Trockenlaufbetrieb kann auf eine Oberflächenstrukturierung der Dichtlippe verzichtet werden, da die Trockenlaufeigenschaften des PTFE-Dichtlippencompounds auch für diesen Einsatzfall optimiert wurden.

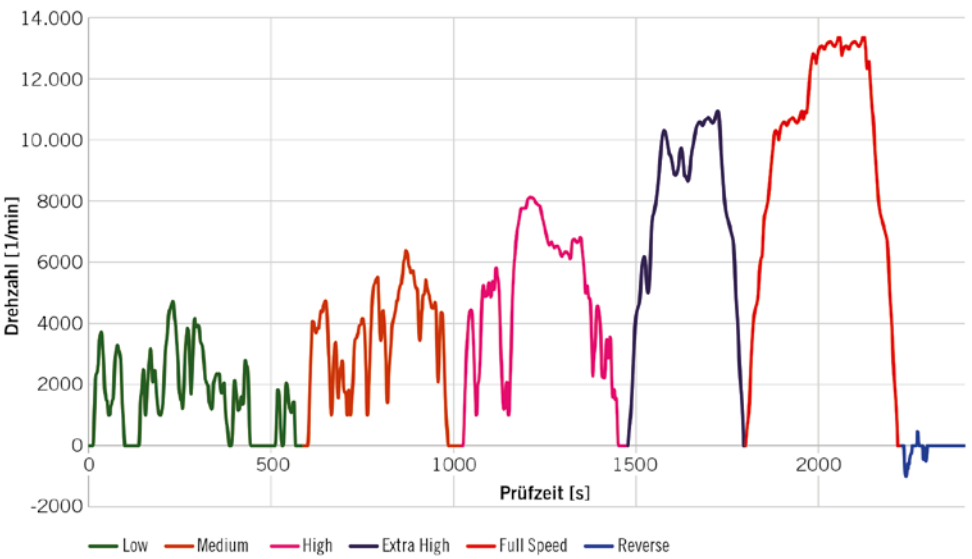
EKT-WLTP-PLUS-ZYKLUS

Beim Nachweis der Eignung von Dichtungen gibt es einen Zielkonflikt [1]. Zum einen soll das reale Fahrzeugleben abgebildet werden, zum anderen soll dieser Test in möglichst kurzer Zeit erfolgen, um schnell Aussagen zur Leistungsfähigkeit zu erhalten und dadurch Optimierungen in überschaubarer Zeit zu validieren. Doch ein Nachstellen des realen Fahrbetriebs auf dem Prüfstand, um dadurch Aussagen über die Lebensdauer der eingesetzten Radialwellendichtringe zu gewinnen, ist schwierig. Anders als für Getriebe von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren gibt es keine langjährige Erfahrung von rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen mit hohen Laufleistungen. Weiterhin wird durch Anhebung der Drehzahl und damit der Umfangsgeschwindigkeit das Dichtsystem in EDUs deutlich höher belastet.

Der WLTP-Fahrzyklus für ein Klasse-3-Fahrzeug besteht aus den vier Teilen Low, Medium, High und Extra High Speed, aus dem praxisnah Verbrauchsdaten auch für Elektrofahrzeuge ermittelt werden. Der Zyklus ist bezüglich gefahrener Geschwindigkeit genau definiert. Um ihn als drehzahlgeführten Zyklus für einen Radialwellenprüfstand zu nutzen, sind einige Annahmen zu treffen. So wurden zum Zeitpunkt der Prüfprogrammerstellung verfügbare Informationen zu Getriebeübersetzungen und Bereifung bestehender Elektrofahrzeuge ausgewertet.

Auf diesen Informationen basierend, wurde als Gesamtübersetzung, bestehend aus Getriebeübersetzung und Reifengröße, zur Umrechnung auf die Dreh-

BILD 1 Drehzahldiagramm des EKT-WLTP-Plus-Testzyklus (© ElringKlinger Kunststofftechnik)



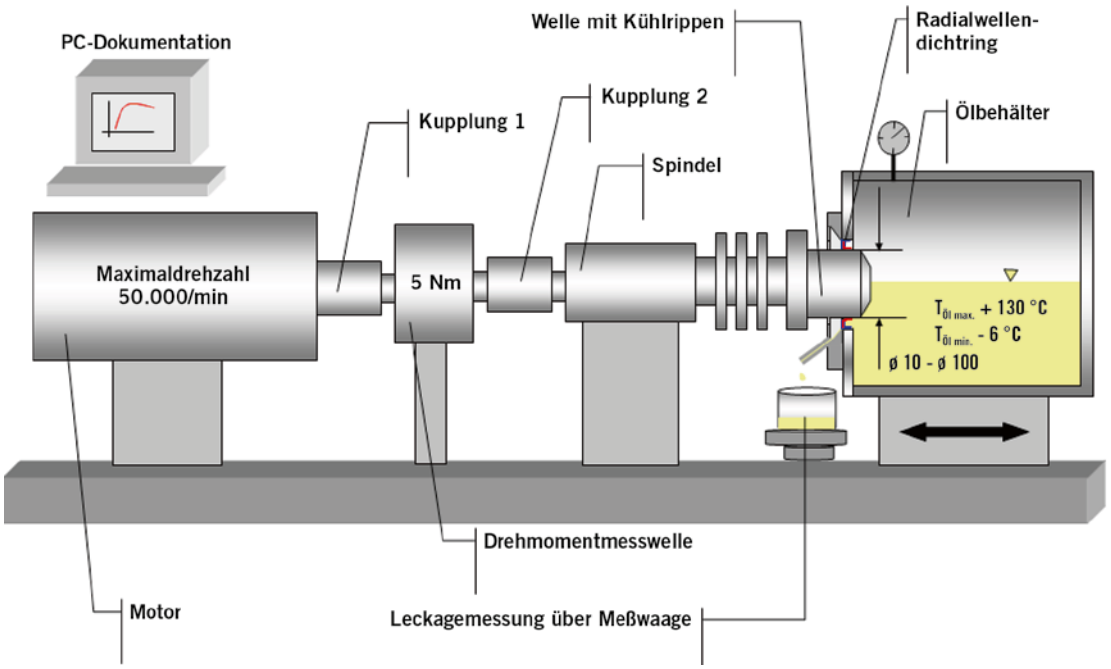


BILD 2 Schematischer Prüfstandsaufbau für Radialwellendichtringe (© ElringKlinger Kunststofftechnik)

zahl der Wert 0,2 definiert. Somit lassen sich die durch den WLTP-Zyklus vorgegebenen Geschwindigkeiten in realitätsnahe Drehzahlen umrechnen.

Gerade in Bezug auf Verschleiß haben Vollgasphasen einen großen Einfluss. Während diese international durch die gültigen Geschwindigkeitsbegrenzungen nicht so dominieren, stellen sie in Deutschland durchaus einen signifikanten Einflussfaktor dar.

Ein weiterer, für die Bewertung wichtiger Faktor sind Rückwärtsfahrten. Diese sind im WLTP-Zyklus ebenfalls nicht enthalten, da es in Bezug auf den Verbrauch unerheblich ist, ob das Fahrzeug rückwärts oder vorwärts fährt. Für die Abdichtung ist das jedoch anders. Dichtsysteme mit Einfachdrall können hier durchaus eine Pumpwirkung erzeugen, die Leckagen verursachen können. Aus diesem Grund wurde eine patentierte Oberflächenstruktur mit drehrichtungsunabhängiger Abdicht- und Rückförderfunktion auch bei Rückwärtsfahrten entwickelt.

Beide Fahrzustände, Vollgas (Full Speed; bis V_{max} = 160 km/h) und die Rückwärtsfahrt (Reverse) wurden als weitere Teile dem bestehenden Prüfzyklus hinzugefügt, sodass auch ein Drehrichtungswechsel und eine Belastung der Dichtung bei hoher Drehzahl abgeprüft werden kann. Dadurch entsteht ein praxisbezogener EKT-WLTP-Plus-Prüfzyklus, der für die Erprobung der ElroSeal-E-Wellendichtungen verwendet wurde.

Das genutzte Drehzahldiagramm des EKT-WLTP-Plus-Prüfzyklus ist in **BILD 1** dargestellt. Im Unterschied zum WLTP-Verbrauchszyklus, mit einer Prüfdauer von 30 min, hat der gesamte EKT-WLTP-Plus-Prüfzyklus eine Prüfdauer von 2400 s, also 40 min. Für die Verschleißtests wurde dieser Zyklus bis zu 1500 Mal durchlaufen, was einer Prüfdauer von 1000 h und unter den gegebenen Annahmen einer vergleichbaren Kilometerleistung von 55.608 km entspricht. Um den auftretenden Verschleiß abhängig von der Laufzeit zu bestimmen, wurden auch Testläufe mit 125, 250 und 500 h Dauer durchgeführt. Für die Erprobung der ElroSeal E-Wellendichtung

Dichtung	ElroSeal E	Abmessung: 42 × 60 × 8 mm
Welle	Innenring	Abmessung: 35 × 42 × 36 mm
	Drallfrei im Einstich geschliffen	
	Rautiefe (Rz)	≤ 2 µm
Testbedingungen	Medium	Öl (Castrol BOT 350 M3)
	Öltemperatur	90 °C
	Ölstand	3-5 mm über Wellenunterkante (Einstellung Ölstand bei 90 °C)
	Vorfettung der Wechseldrallstruktur	
	Statische Exzentrizität	≤ 0,1 mm
	Dynamischer Wellenrundlauf	≤ 0,05 mm

TABELLE 1 Prüfstandsparameter für EKT WLTP Plus (© ElringKlinger Kunststofftechnik)

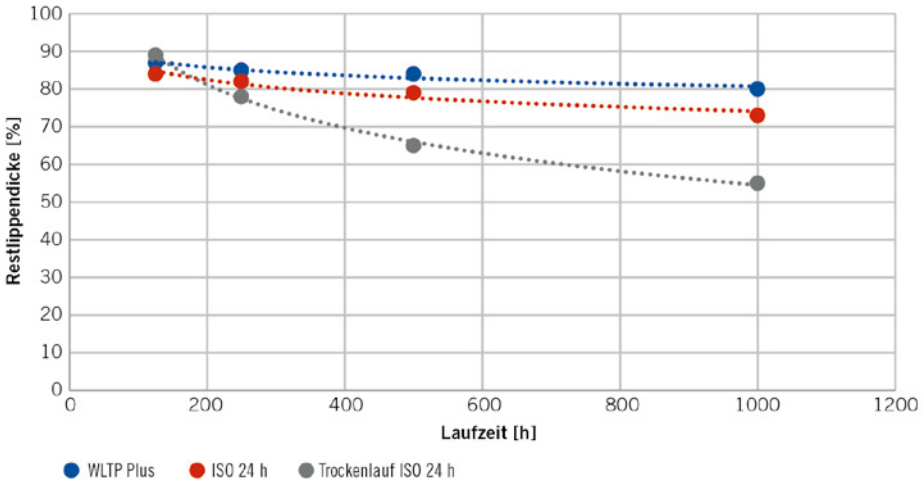


BILD 3 Verschleißkurve von ElroSeal E-Wellendichtringen und verschiedenen Prüfzyklen (© ElringKlinger Kunststofftechnik)

werden speziell gefertigte Prüfstände eingesetzt die für Drehzahlen bis zu 50.000/min ausgelegt sind, **BILD 2**. Die Prüfstandsparameter sind in **TABELLE 1** zusammengefasst. Die Ergebnisse der Testläufe sind in **BILD 3**, WLTP-Plus, aufgezeigt. Aufgetragen sind hier die Testläufe mit dem maximalen Verschleiß. Es lässt sich deutlich erkennen, dass der Verschleiß in der Einlaufphase am stärksten ist – circa 13 % nach 125 h – sich im weiteren Verlauf aber nur noch geringfügig ändert. Bei 1000 h wurde eine maximale Restlippendicke von 80 % (20 % Verschleiß) ermittelt.

Durch eine Vielzahl unterschiedlicher Versuche konnte ermittelt werden, dass die Funktion der Drallstruktur erst bei einer Verschleißrate von über 50 % merklich leidet. Was allerdings nicht zwangsläufig zum Ausfall führt. Extrapoliert man die Ergebnisse, so sind unter den im Test gegebenen Bedingungen rein rechnerisch Laufleistungen von über 1 Million km möglich.

BILD 4 zeigt einen Ausschnitt aus dem Prüfprotokoll eines solchen Prüfstandversuchs. Er zeigt neben den EKT-WLTP-Plus-Drehzahlstufen auch das sehr gute Leckageverhalten der ElroSeal E-Radialwellendichtung. Die dabei ermittelte Reibleistung der Dichtung ist, wie erwartet, von der gefahrenen Drehzahl abhängig. So bewegt sich die Reibleistung im Bereich von durchschnittlich 11 W im Bereich Low, bis hin zu durchschnittlich 125 W im Bereich Full Speed. Die Ergebnisse decken sich sehr gut mit Informationen von Feldrückläufern im Serieneinsatz.

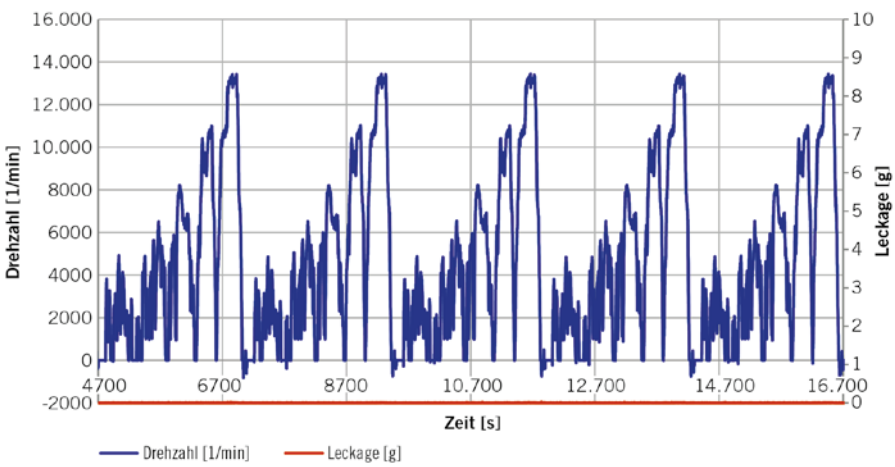


BILD 4 Ausschnitt eines Testprotokolls von ElroSeal E-Wellendichtringe im EKT-WLTP-Plus-Zyklus (© ElringKlinger Kunststofftechnik)

EKT-ISO-24-H-ZYKLUS

Testverfahren, wie der oben ausgeführte EKT-WLTP-Plus-Zyklus stellen zwar einen direkten Bezug zu realitätsnaher Beanspruchung dar, für die Entwicklungstätigkeit und statistisch wiederholbare Prüfungen müssen die Testzeiten stark verkürzt und die Prozedur vereinfacht werden. Dafür wird die ISO 16589-4 herangezogen. Basierend auf diesen Vorgaben ist ein Versuch entstanden, der für die dynamische Dichtung eine extreme Beanspruchung darstellt, **BILD 5**.

Dieser Prüfzyklus wird im Unterschied zum realitätsnäheren EKT-WLTP-Plus-Zyklus nicht mit permanenter Beschleunigung und Verzögerung gefahren. Allerdings zeichnet sich dieser Prüfzyklus dadurch aus, dass sowohl im Vorwärts- als auch Rückwärtsbetrieb lange mit konstanten, sehr hohen Drehzahlen gefahren wird. Ähnlich wie der EKT-WLTP-Plus-Test wird auch dieser Test mehrfach durchlaufen, um vergleichbare Ergebnisse zu ermitteln. Standardmäßig werden zehn Zyklen – das entspricht einem Zeitraum von 240 h – absolviert. Zur Ermittlung von Vergleichswerten wurden aber auch 1000-h-Tests (42 Zyklen) durchgeführt. Ziel ist es, in vergleichsweise kurzer Zeit Ergebnisse verschiedener Dichtungsausführungen zu erhalten, die Aussagen über das Verhalten über die Lebenszeit erlauben

VERSCHLEISSVERHALTEN IM ISO-24-H-ZYKLUS

Neben den bereits genannten Prüfprogrammen werden spezielle Prüfbedingungen für Dauerlaufversuche zugrunde gelegt. **TABELLE 2** zeigt die wichtigsten Kriterien.

Die Ergebnisse sind in **BILD 3** zu finden. Man sieht, dass hier die Verschleißkurve deutlich unterhalb der EKT-WLTP-Plus-Kurve liegt, es ist also ein höherer Verschleiß bei gleicher Laufzeit festzustellen. Dies zeigt, dass die Belastung auf das Dichtsystem im ISO-24-h-Test klar höher ist. Das Verschleißniveau des WLTP-Plus-Zyklus nach 1000 h wird im ISO-24-h-Zyklus bereits nach etwa 240 h erreicht. Dieser Test eignet ich deshalb gut für statistisch abgesicherte Belastungstests auf EKT-Mehrspindelprüfständen.

Interessant ist hierbei, dass der Verschleiß nach 240 h bei Wellen mit

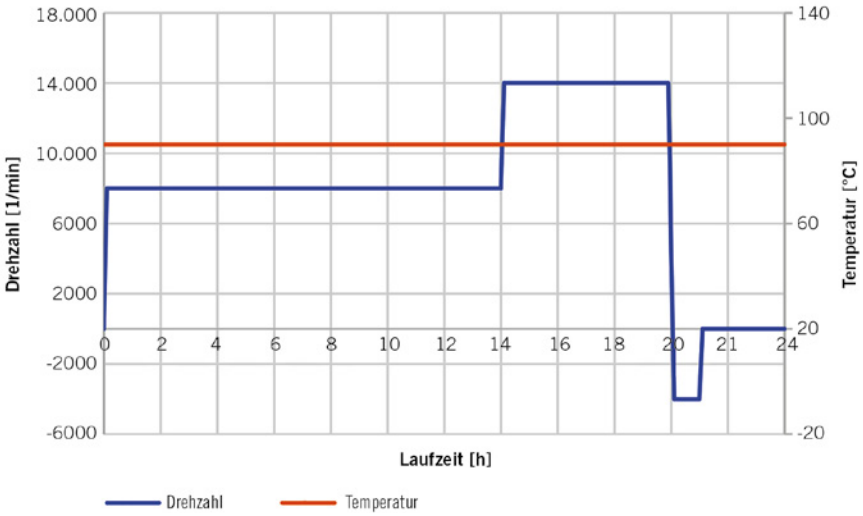


BILD 5 EKT-ISO-24-h-Zyklus (© ElringKlinger Kunststofftechnik)

Rz ≤ 2 µm nahezu gleich ist, wie bei Wellen in vergleichbaren Versuchen mit Rz = 2-3 µm. Der optimierte Werkstoff scheint in der Lage zu sein, die Oberfläche der Welle an der Kontaktstelle sehr gut zu glätten, ohne dabei übermäßig zu verschleißen. Gerade für Anwendungen, die mit höheren Rauheitswerten auskommen müssen, ist dies ein wichtiges Ergebnis.

Die bereits genannten Ergebnisse gelten für den ölgeschmierten Zustand. Zusätzlich ist in **BILD 3** auch ein Versuch im absoluten Trockenlauf angegeben. Dazu wird die Dichtung initial gefettet. Hier ist das Verschleißverhalten der PTFE-Dichtlippe anfänglich höher als im Vergleich zum geschmierten Betrieb. Nach der Einlaufphase flacht die Kurve ebenfalls ab und zeigt auch hier ein geeignetes Verschleißniveau. Wie schon beschrieben ist für Dichtungen im Trockenlauf die hydrodynamische Rückförderung nicht zwingend notwendig. Dementsprechend ist hier die Grenze der Funktionstüchtigkeit eher bei 80 % Verschleiß zu sehen. Extrapoliert sind somit auch hier Laufleistungen über 1 Million km möglich. In der Realität ist absoluter Trockenlauf eher die Ausnahme. Daher ist davon auszugehen, dass evtl. auftretendes Spritzöl den Dichtlippenverschleiß positiv beeinflusst.

Dichtung	ElroSeal E	Abmessung: 42 × 60 × 8 mm
Welle	Durchmesser	42 mm
	Gehärtet, drallfrei im Einstich geschliffen	
	Rautiefe (Rz)	≤ 2 µm
Testbedingungen	Medium	Öl (Castrol BOT 350 M3)
	Öltemperatur	90 °C
	Ölstand	Maximal Wellenmitte
Ausrichtung Prüfstand	Statische Exzentrizität	≤ 0,1 mm
	Dynamischer Wellenrundlauf	≤ 0,05 mm

TABELLE 2 Prüfstandsparameter für EKT ISO 24 h (© ElringKlinger Kunststofftechnik)

FAZIT

Die Versuche zeigen sehr geringe Verschleißraten der ElroSeal E-Radialwellendichtringe im praxisnahen EKT-WLTP-Plus-Zyklus. Vergleiche zeigen auch, dass der 1000-h-EKT-WLTP-Plus-Zyklus mit dem 240-h-ISO-24-h-Zyklus korreliert.

Die Extrapolation der gewonnenen Daten lässt unter den gegebenen Bedingungen Laufleistungen von über 1 Million km erwarten. Zusammen mit dem niedrigen Reibniveau und der sehr geringen Leckage, sowie der Trockenlaufeignung ist der ElroSeal-E-Radialwellendichtring bestens für hochbelastete Anwendungen in E-Antrieben geeignet. Die Versuche zeigen auch, dass mit einem gestrafften 240-h-Test vergleichbare Aussagen in kürzerer Zeit getroffen werden können. Dies dient der statistischen Absicherung und liefert schneller Aussagen zu geänderten Fragestellungen, wie höheren Drehzahlen, größeren Durchmessern oder hohen Umfangsgeschwindigkeiten.

LITERATURHINWEISE

[1] Koch, U.; Wallner, U.: ElroSeal E – Der neue Standard für Elektroantriebe. In: MTZ 80 (2019), Nr. 10, S. 64-67

Folgen Sie ElringKlinger Kunststofftechnik

click here

IMPRESSUM:
Sonderausgabe 2021 in Kooperation mit ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH, Etzelstr. 10, 74321 Bietigheim-Bissingen; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE811484199

GESCHÄFTSFÜHRER:
Stefanie Burgmaier I Andreas Funk I Joachim Krieger

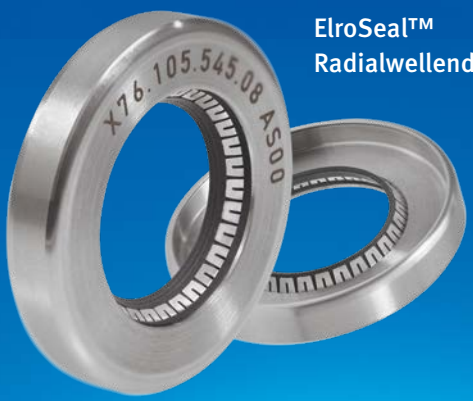
PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabusch

TITELBILD: © ElringKlinger Kunststofftechnik

Hochleistungs-Kunststoffe für e-Mobility.

Konsequente Weiterentwicklung der **Radialwellendichtring Produktfamilie ElroSeal™.**
Ausgelegt für hohe Rotations-Bewegungen von über 100 m/s erfüllen sie zuverlässig hohe Anforderungen an die Leckagesicherheit, Drücke, Temperaturen, Drehzahlen und Trockenlauf.

Beschleunigen Sie mit uns in die Zukunft



ElroSeal™
Radialwellendichtring

automotive@elringklinger.com
Fon +49 7142 583-192
www.ek-kt.de/elroseal

elringklinger
Kunststofftechnik