

9 Zusammenfassung

Diese Arbeit analysiert die RWDR/Welle/Fluid-Paarung aus der Perspektive des Fluids. Der komplexen Vorgänge in der RWDR-Dichtzone wird durch die versuchstechnische und theoretische Betrachtung der tribologischen Vorgänge bis in den Sub- μm -Bereich Rechnung getragen. Um speziell das Verhalten der makromolekularen Bestandteile von Schmierfluiden zu untersuchen, wird für die Versuche ein unadditiviertes Basisöl mit nur einem polymeren Additiv in verschiedenen Konzentrationen eingesetzt. Durch wechselnde Betriebsmodi (Normalbetrieb, Förderbetrieb), Variation des Schmierfluids bei gleichzeitiger Messung von Reibmoment und Dichtzonentemperatur gelingt es, wesentliche Aussagen über die tribologischen Zustände in der Dichtzone herauszuarbeiten:

- Abschätzung der Fluidfilmdicke (Abschnitt 4.2 u. 4.3):
Ausgehend von Reibmoment- und Dichtzonentemperaturmessungen wird eine Abschätzungen der Fluidfilmdicken für den Normal- und Förderbetrieb durchgeführt. Wird von einer rein viskosen Fluidreibung ausgegangen, resultieren Fluidfilmdicken im Bereich von 10-80 nm im Normalbetrieb und 17-140 nm im Förderbetrieb. Um diese sehr kleinen Werte bewerten zu können, wird der Viskositätseinfluss untersucht.
- Viskositätseinfluss (Abschnitt 4.4):
Der Einfluss der Fluidviskosität auf die gemessenen Reibmomentwerte zeigt, dass nicht nur die Volumenviskosität des Schmierfluids die Größe des Reibmomentes bestimmt, sondern dass vielmehr mindestens ein weiterer Reibanteil wirkt.
- Fluidfilmdicke – Molekülgröße (Abschnitt 5.1):
Die makromolekularen Bestandteile des eingesetzten Additivs liegen gelöst im Basisöl vor. Eine Abschätzung der Größe dieser Bestandteile ergibt, dass die Moleküle typischer polymerer Additive in vergleichbarer Größenordnung mit der Fluidfilmdicke liegen. Aus dieser Kenntnis heraus kann der Reibungszustand in der Dichtzone besser verstanden werden, denn speziell im Bereich von Rauheitsspitzen wird sich eine Dünnschichtreibung ausbilden (Abschnitt 5.2). In diesen Bereichen besitzt das Fluid eine effektive Viskosität, die deutlich größer als die Volumenviskosität ist, was die Reibmomentwerte erklärt. Das Kennzeichen von Dünnschichtreibung ist eine Fluidfilmdicke, die nur wenige molekulare Durchmesser misst. Hieraus folgt, dass mögliche Grenzschichten auf der Metall- bzw. Elastomeroberfläche berücksichtigt werden

müssen (Abschnitt 5.4), da sie einen signifikanten Beitrag zur gesamten Fluidfilmdicke und Reibungssituation leisten können.

- Oberflächenschichten (Abschnitt 5.5):

Bei einem Fluidwechsel in der RWDR-Dichtzone, der künstlich durch Zugabe eines anderen Fluids (z. B. niederviskoser) auf der Bodenseite herbeigeführt werden kann, ergeben Reibmomentauswertungen Hinweise für die Ausbildung einer Oberflächenschicht auf der elastomeren Dichtlippe. Diese Ergebnisse werden durch Beobachtungen gestützt, die das Eindringen von Schmierstoff in das Elastomer zeigen, was durch die elementare Ähnlichkeit des Elastomers mit dem Schmierstoff gegeben ist (Abschnitt 5.4.3).

Aus diesen Betrachtungen wird als Ergebnis das 3-Schichtmodell abgeleitet, welches neben einer Fluidschicht ebenfalls die Oberflächenschichten auf den Reibpartnern berücksichtigt, um einen Erklärungsansatz für die auftretenden tribologischen Zustände in der Dichtzone von RWDR zu liefern (Abschnitt 5.6). Die anschließend vorgestellte allgemeine Reibungskurve zeigt qualitativ die Einteilung der auftretenden Größenordnungen der Schubspannungen in Abhängigkeit der Fluidfilmdicke, die sich aus bis zu drei Schichten zusammensetzen kann (Abschnitt 5.7.1).

Ausgehend von der RWDR-Funktionshypothese von *Oliveira*, welche die Viskoelastizität des Fluids nutzt, um die Dicht- und Schmierungsfunktion von RWDR zu erklären, wird aufgrund der bisherigen Ergebnisse eine genaue Betrachtung des Verhaltens der makromolekularen Bestandteile im Fluid durchgeführt (Abschnitt 7.3). Aus dem Bereich der Verarbeitung von Polymerlösungen ist bekannt, dass sich polymere Bestandteile/Makromoleküle in einer Scherströmung durch die auftretenden Belastungen deformieren, in Fließrichtung ausrichten und zu Aggregaten ansammeln. Darüber hinaus treten bei Molekülen über einer bestimmten Größe Verschlaufungen zwischen den Kettensegmenten auf, welche die Elastizität des Fluids stark erhöhen. Mögliche Querbewegungen des Fluids in der RWDR-Dichtzone entscheiden über Dichtheit bzw. Dichtfähigkeit des Systems.

Geometriebedingt existiert in der RWDR-Dichtzone und an ihren Rändern ein Scherratengradient, der eine ungleichmäßige Scherbelastung der makromolekularen Bestandteile hervorruft (Abschnitt 7.4). Die Auswirkung eines Scherratengradienten auf die Zusammensetzung einer polymeren Lösung wird versuchstechnisch untersucht. Die Ergebnisse aus dem Scherversuch deuten auf eine Konzentrationserhöhung der polymeren Bestandteile im Bereich der höchsten Scherraten hin (Abschnitt 7.6). Dieses Ergebnis kann als ein Indiz für die Gültigkeit der RWDR-Funktionshypothese von *Oliveira* gesehen werden [OLA95]. Analog zu diesen Ergebnissen wird das Papierstapelmodell von *Hentschel* [HNT87] in ein Folienmodell überführt, welches die Eigenschaften der viskoelastischen Scherebenen anschaulich darstellt (Abschnitt 7.6.6).

In Verbindung mit der in Kapitel 6 durchgeführten Betrachtung der radialen Pressung, den wirksamen Belastungsparametern, die den Verschleiß bestimmen und der Verzerrung der Elastomeroberfläche, welche sich allesamt mit auftretendem Verschleiß ändern, stellt diese Arbeit die tribologischen Vorgänge in der Dichtzone von RWDR unter der besonderen Beachtung des schmierenden Fluids dar.