

2 Motivation und Zielsetzung

2.1 Motivation

Reibdauerermüdung wurde seit der Beschreibung der elementaren Zusammenhänge der Schwingfestigkeit vor über 100 Jahren ebenfalls über lange Zeit durch empirische Methoden erkundet. Die frühen deutschsprachigen Bezeichnungen „Reibrost“, „Passungsrost“ oder „Bluten einer Pressverbindung“, die zum Teil bis in die Gegenwart überdauert haben, deuten auf den Ursprung dieses Phänomens hin. Die Passungsflächen von Press- sowie Passfeder- und Keilverbindungen wurden mit der zunehmenden Leistung der Antriebs- und Arbeitsmaschinen zum Beobachtungsort von Korrosionsprodukten, die selbst unter trockenen bzw. geschmierten Bedingungen aus der Fügeverbindung austraten. Die erste schriftliche Erwähnung der Phänomene findet sich nach Angaben von Nowell [3] in einem Beitrag von Eden et al. über die Dauerhaltbarkeit von Metallen aus dem Jahr 1911, [4]. Die erste systematische Abhandlung zum Thema Reibverschleiß bzw. Reibkorrosion zeigt Versuche an Hertzschen Kontakten aus Stahl bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen sowie Belastungen, [5]. Eine quantitative Beschreibung des Festigkeitsabfalls infolge von Reibkorrosion wurde dann 30 Jahre nach dem ersten Bericht veröffentlicht, [6]. Bereits wenige Jahre später zeigten Sakmann und Rightmire in [7] Aufzeichnungen von Hysteresekurven, die bei Experimenten an Hertzschen Kontakten aufgenommen wurden. Die Hysteresekurve entsteht dabei durch das Auftragen der im Kontakt entstehenden Reibkraft über die Relativbewegung der beiden Proben, den sog. Schlupf. Sie bildet somit auch die energetischen Vorgänge des Reibkontakts ab.

Wie dieser kurze historische Exkurs zeigt, waren die ersten Arbeiten stark von experimentellen Analysen und Beobachtungen dominiert. Die Komplexität des Schädigungsmechanismus sowie die zahlreichen Einflussgrößen wurden jedoch erkannt und bildeten den Antrieb für die nachfolgenden Arbeiten. Diese entwickelten mit dem zunehmenden Fortschritt auf dem tribologischen sowie werkstoffmechanischen Gebiet diverse Ansätze zur Vorhersage sowie Vermeidung von Schäden infolge von Reibdauerermüdung. Wie in der klassischen Materialermüdung können auch hier unterschiedliche Denkrichtungen beobachtet und verfolgt werden. Durch die Einführung von numerischen Berechnungsmethoden hat sich im Laufe der Zeit nicht nur die Genauigkeit und zeitliche Effektivität der Prädiktion verbessert, sondern zugleich auch die Anzahl von verfügbaren Kriterien vervielfacht. Somit ist die Entscheidungslage für den nach einer Problemlösung suchenden Anwender nicht übersichtlicher geworden, zumal die vielen Berechnungsvorschläge für den betrachteten Fall zum Teil auch deutlich unterschiedliche Urteile über die Schadensentwicklung fällen können. Nicht nur deswegen bleibt der hohe Stellenwert der experimentellen Nachweis-

führung erhalten, zugleich aber auch die relativ hohen Aufwendungen für ihre Durchführung.

Die Ursachen für diese nicht zufriedenstellende Situation liegen in der relativ großen Spannweite der relevanten Einflussparameter [8] und der konkurrierenden Ermüdungs- und Verschleißmechanismen. Somit können sich bei ähnlichen Anwendungen durch relativ kleine Veränderung von sensiblen Variablen sehr unterschiedliche Schadensbilder ergeben. Dementsprechend sind auch die Versagenskriterien bei ihrer Anwendung bzw. Übertragung auf neue Problemfälle kritisch auf ihren Gültigkeitsbereich zu hinterfragen. Um dieser Unsicherheit vor allem in der Auslegungsphase entgegenwirken und eine sichere Dimensionierung durchführen zu können, ist der Praktiker oft zur Anwendung von hohen Sicherheitsfaktoren gezwungen. Diese können sich jedoch in einer Überdimensionierung widerspiegeln und somit die Effizienz im Betrieb sowie den wirtschaftlichen Erfolg des Systems gefährden. Da im Bereich der mobilen und stationären Antriebstechnik die Mehrheit der form- und reibschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen (WNV) ein hohes Gefährdungspotenzial gegenüber Reibdauerermüdung ausweist, sind vor allem mittelständische Unternehmen von diesem Wissenszustand betroffen. Auf Grund ihrer eingeschränkten personellen Ressourcen insbesondere im Bereich der numerischen Berechnung sind solche Praktiker auf klar und einfach handhabbare Normwerke und anwendungsnahe Richtlinien, d.h. Stand der Technik angewiesen. Diesbezüglich ist die Reibdauerermüdung trotz der intensiven und tiefgehenden Forschungsarbeiten nur sehr schwach präsent, was sicher auch mit der bereits erwähnten Komplexität der Schädigungsvorgänge zusammenhängt. Eine ähnliche Situation war lange Zeit auch in Bezug auf den Einfluss von korrosiven Umgebungsmedien auf die Ermüdungsfestigkeit vorhanden. Erst vor kurzer Zeit ist es mit aufwendigen synthetisierenden Arbeiten gelungen, aus dem umfangreichen Wissensfundus ein vereinfachtes und somit leicht anwendbares Bewertungskonzept zu formulieren, [9]. Dies soll nun auf für die Reibdauerbeanspruchung angestrebt werden.

2.2 Zielsetzung der Arbeit

Wie aus dem obigen Beispiel ersichtlich wird, besteht die übergeordnete Aufgabe der akademischen Forschungsgemeinde zunehmend auch in der Um- bzw. Übersetzung der erzielten hochwertigen bzw. anspruchsvollen Ergebnisse in eine Form, die einem möglichst breiten Kreis von Anwendern verständlich wird. Dies gilt in besonderem Maße auch für die Reibdauerermüdung. Basierend auf dieser Erkenntnis wird **im ersten Teil** der vorliegenden Arbeit eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Aufbauend auf dem Bericht der Arbeitsgruppe „Reibrissskorrosion“ [10] von 1991 (mit über 140 analysierten Quellen) wird der aktuelle Stand der Forschung dar-

gestellt und die große Vielfalt von Ergebnissen und Erkenntnissen systematisiert. Die im o.g. Bericht aufgezeigten Lücken im Wissenstand behalten auch nach über 20 Jahren ihre Gültigkeit und Aktualität:

- *Es existieren keine einheitlichen Prüfvorschriften oder Prüfapparaturen zur Untersuchung des Reibkorrosionsverhaltens von Werkstoffen. Die vorhandenen Prüfstände sind meist für individuelle Anwendungen konzipiert und lassen keine oder nur unzureichende Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu.*
- *Obwohl der Mechanismus der Reibkorrosion phänomenologisch bekannt ist, fehlen nach wie vor Untersuchungen und Ergebnisse über das grundlegende Werkstoffverhalten unter Reibkorrosionsbeanspruchung. Dies hat zur Folge, dass die Werkstoffoptimierung hinsichtlich der Reibkorrosionsbeständigkeit häufig empirisch erfolgt.*
- *Über die optimierende Beeinflussung der Werkstoffoberfläche liegen meist nur empirisch ermittelte Kenntnisse vor, deren Übertragbarkeit auf ähnlich gelagerte Problematiken nur unzureichend möglich ist. [10]*

Die Recherche wird um eine ganzheitliche Charakterisierung reibdauerbeanspruchter Systeme innerhalb der tribologischen Systematik ergänzt. Diese für alle nachfolgenden Überlegungen und Handlungen essenzielle Basis ist bis dato in der analysierten Literatur nur ansatzweise vorhanden und wird deswegen grundlagenorientiert aufgearbeitet.

Als **Zweites** werden rechnerische Methoden zur Versagensvorhersage unter Reibdauerbeanspruchung betrachtet. Dies beinhaltet an erster Stelle eine umfassende Analyse von vorhandenen Ansätzen und Berechnungskriterien, welche es zu strukturieren und hinsichtlich ihrer Treffsicherheit zu bewerten gilt. Eventuelle Lücken bzw. Potenziale zur Weiterentwicklung sollen aufgezeigt und möglichst zu einem universellen und zugleich praxisorientierten Verfahren zusammengefasst werden. Hier liegt der primäre Fokus auf dem örtlichen Ermüdungsfestigkeitsnachweis der FKM-Richtlinie [11], der das am weitesten verbreitete Werkzeug für dynamisch beanspruchte Bauteile darstellt. In einem zweiten Schritt erfolgt dann die Erstvalidierung der formulierten Methode am Beispiel von praxisnahen Fügeverbindungen, deren Schwingfestigkeit anhand der experimentellen Ergebnisse numerisch mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) untersucht wird.

Das dritte Kernelement der Arbeit bildet die experimentelle Untersuchung des Ermüdungsverhaltens von reibdauerbeanspruchten Werkstoffpaarungen. Hierzu wird ein universelles Versuchskonzept erstellt, das Modellebenen mit unterschiedlichen Abstrahierungsgraden des reibdauerbeanspruchten Tribosystems beinhaltet und somit die Übertragung der Ergebnisse aus dem Forschungslabor in die Praxis sicherstellen soll. Weiterhin wird anhand einer Analyse der in zahlreichen Publikatio-

nen vorgestellten Prüfapparaturen eine neue Anlage konzipiert, die den essenziellen Schritt zur Erfüllung der o.g. Forderung nach einem universellen und übertragbaren Prüfverfahren darstellt. Die im Weiteren vorgestellten Ergebnisse der zahlreichen Versuche an Stählen, Guss- und Aluminiumlegierungen sollen einerseits die Möglichkeiten der breiten Parametervariation bestätigen und somit den Anspruch auf die Allgemeingültigkeit der Prüfmethode untermauern. Zugleich werden aber auch die Grenzen des mechanischen Aufbaus sowie der Aktuatorik und der verwendeten Mess- und Steuerungstechnik diskutiert und mögliche zukünftige Verbesserungen der Anlage vorgeschlagen.

Das primäre Ziel der vorliegenden Arbeit besteht somit in der Formulierung einer geeigneten praxisnahen Methode bzw. Vorgehensweise für den Festigkeitsnachweis von reibdauerbeanspruchten Fügeverbindungen. Diese soll die relevanten physikalischen Einflussgrößen der dabei wirkenden tribologischen Schädigungsmechanismen berücksichtigen. Zugleich soll der Algorithmus auch die Ermüdungsfestigkeit des Werkstoffs auf dem aktuellen Stand der Technik bewerten können. Aus dieser Aufgabenstellung leiten sich folgende drei Themenbereiche ab, die im Rahmen der Arbeit in je zwei Kapitel gegliedert werden: **Grundlagen** (Anwendungsüberblick und Tribologische Systematik), **Methodenentwicklung** (Berechnungskriterien und Experimentelle Analyseverfahren) und **Umsetzung** (Versuchsergebnisse und Festigkeitsnachweis). Diese drei bzw. sechs aufeinander folgenden thematischen Arbeitsetappen bauen auf dem Hintergrund der ingenieurstechischen Lösungsmethodik auf und werden auf dem Lösungsweg von einem engen Bezug zu antriebstechnischen Anwendungen begleitet, **Bild 1**.

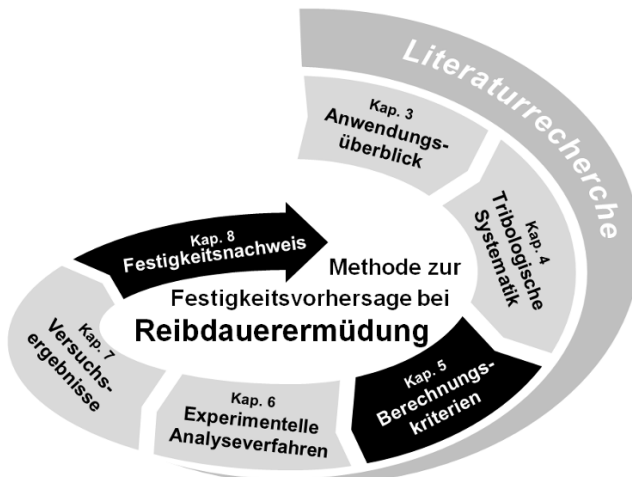


Bild 1: Zielstellung der Arbeit und Aufbau des Lösungswegs

In einem abschließenden Ausblick werden die offen gebliebenen, nicht vollständig gelösten sowie neu dazugekommenen Fragenstellungen diskutiert und das Potenzial weiterführender Forschungsarbeiten aufgezeigt. Denn obwohl die fokussierte Thematik der Reibdauerermüdung äußerst sorgfältig und mit einem hohen Anspruch auf wissenschaftliche Qualität und inhaltliche Vollständigkeit bearbeitet wird, ist eine nachhaltige Aktualität bereits auf Grund der hierfür benötigten Zeitspanne und der erscheinenden Neuveröffentlichungen nur schwer erreichbar. In dieser Hinsicht sollte der Leser den nachfolgenden Abhandlungen ergänzend stets aktuelle Forschungsergebnisse heranziehen.

Methode zur Bewertung der Ermüdungsfestigkeit von
reibdauerbeanspruchten Systemen

Vidner, J.

2016, XXV, 222 S. 87 Abb., 19 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-15964-1