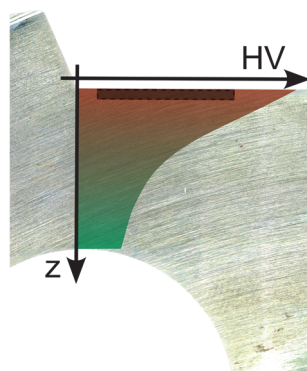


## Klemmrollenfreiläufe im Hochlastbereich

Duchâteau, F.; Lohrengel, A.

Die Forschung an Klemmrollenfreiläufen mit Hartmetalleinlagen bzw. mit unterschiedlichen Einhärtetiefen soll fortgeführt werden. Ein Folgevorhaben ist geplant, um die offenen Fragen bezüglich der oberflächennahen Materialparameter Einhärtetiefe und E-Modul sowie der auftretenden Ausfallmechanismen Ermüdung und plastische Verformung an Klemmrollenfreiläufen im hochbelasteten Bereich zu klären. Es sollen die Übergänge der jeweiligen Ausfallmechanismen und die Lagen der Wöhlerlinien in hohen Lastbereichen ermittelt und so der Einfluss auf die Lebensdauer analysiert werden. Begleitend werden Simulationen durchgeführt, um Werkstoffbeanspruchungen zu analysieren und Auslegungsparameter für ein Berechnungsmodell ableiten zu können.

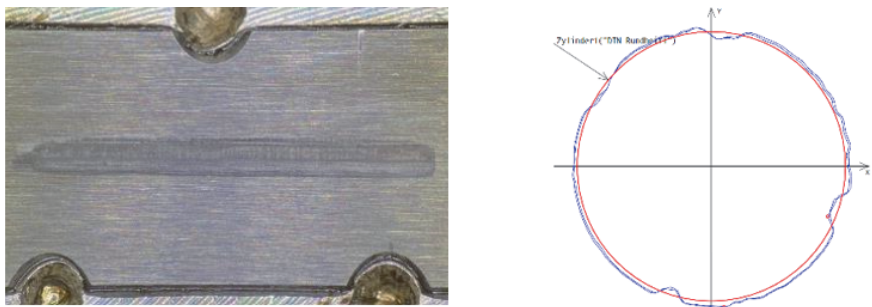


Research into roller clutches with carbide inserts and different hardening depths is to be continued. A follow-up project is planned to clarify the open questions regarding the near-surface material parameters of hardening depth and modulus of elasticity as well as the failure mechanisms of fatigue and plastic deformation that occur on roller clutches in the highly loaded area. The transitions of the respective failure mechanisms and the positions of the S-N-curves in high load ranges are to be determined and thus the influence on the lifetime analysed. Simulations will also be carried out in order to analyse material stresses and derive design parameters for a calculation model.

### Einleitung und Problemstellung

Selbsttätig schaltende Freilaufkupplungen lassen sich in den Betriebszuständen „Sperrern“ und „Leerlauf“ betreiben. Während in Leerlaufrichtung ein reibungsarmer Betrieb angestrebt wird, ist in Last- bzw. Sperrichtung eine drehmomentabhängige Lebensdauerabschätzung gefordert. Freiläufe mit Hartmetalleinlagen im Wälzbereich der Innenringe und Freiläufe mit erhöhter Einhärtetiefe sind speziell für hohe Lastbereiche konzipiert, ohne dass im Vergleich zu konventionellen Rollenfreiläufen die Baugröße erhöht werden muss. Die höhere Leistungsdichte und damit einhergehenden sehr hohen ertragbaren Hertzschen Pressungen werden durch höhere Widerstandsfähigkeit der Innenringe erzielt. Ein anwendbares Lebensdauermodell für Freiläufe im Hochlastbereich existiert bisher nicht, sodass Hersteller weiterhin auf Erfahrungswissen und die damit oft einhergehende Überdimensionierung angewiesen sind.

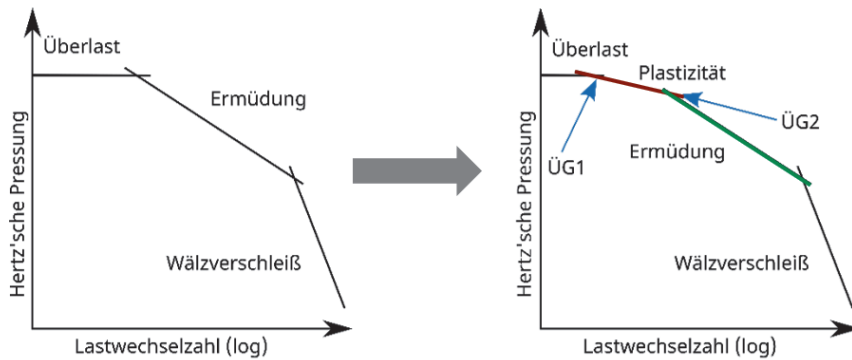
Im Schaltbetrieb sind in Abhängigkeit der Betriebslast die Ausfallmechanismen Gewaltbruch infolge von Überlast, die klassische Werkstoffermüdung und der Wälzverschleiß bekannt, wie in /1, 2, 3, 4/ beschrieben. Im Vorgängervorhaben FVA 776 I /5/ konnte erstmals ein Ausfall durch plastische Verformung bei Rollenfreiläufen im Hochlastbereich nachgewiesen werden, wie in Abbildung 1 die Konturmessung einer Klemmrolle in Kombination mit der zugehörigen Wälzfläche eines Freilaufes mit Hartmetalleinlagen zeigt. Die Einordnung und die genauen Übergänge zwischen den unterschiedlichen Ausfallmechanismen sind nicht genau bekannt, eine Berechnungsgrundlage steht nicht zur Verfügung. Durch die ersten Untersuchungen im Vorgängervorhaben konnte die bisher unbekannt neue Ausfallursache „Plastizität“ erstmals bei Freiläufen analysiert werden.



**Abbildung 1:** Schadensbild einer Klemmfläche und Rollenkontur von einem Freilauf mit Hartmetalleinsatz nach Versuchsende aus /5/

### Ziel des Vorhabens

Das übergeordnete Ziel ist die Ableitung einer Berechnungsgrundlage für die Freilauflebensdauer im Hochlastbereich unter Berücksichtigung der betrachteten oberflächennahen Parameter Einhärtetiefe und E-Modul (Hartmetall). Als Basis soll an die vorhandene und viel verwendete Berechnung der Ermüdungslebensdauer nach Welter /7/, Deppenkemper /8, 9/ und Lohregel /10, 11/ angeknüpft werden. Der bisherige Stand der Technik bezüglich Ausfallmechanismen bei Freiläufen zeigt Abbildung 2 links. Durch die Verwendung der Rollenfreiläufe im Hochlastbereich unter Ausnutzung der oberflächennahen Parameter treten höhere Belastungen bzw. Hertzische Pressungen im Freilaufkontakt auf, als es bei Standardfreiläufen der Fall ist. Hierbei zeigt sich der Ausfall der Klemmrollen durch plastische Verformung, sodass das bekannte Schaubild angepasst und erweitert werden muss, wie in Abbildung 2 rechts angedeutet. Zur Erreichung der Ziele wird an das Vorgängervorhaben angeknüpft und die bereits gewonnenen Erkenntnisse aus den durchgeführten Simulationsrechnungen und Versuchen verwendet.



**Abbildung 2:** li.: Ausfallmechanismen von Standard-Freiläufen nach Stand der Technik; re.: Verlauf der Ausfallmechanismen im Hochlastbereich

Auf Basis der Vorarbeiten sind weiterführende umfangreiche experimentelle Untersuchungen und Simulationen geplant, welche sich durch folgende Teilziele definieren lassen:

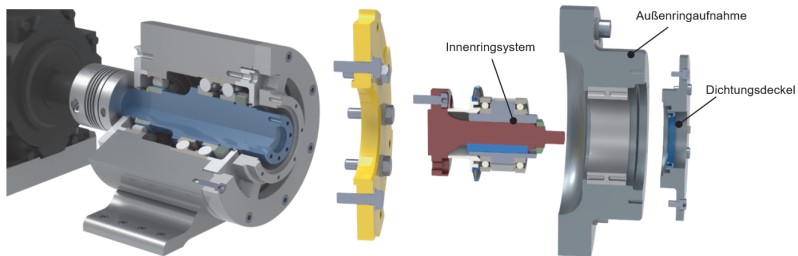
- Ermittlung der Übergangsgrenzen zwischen den Ausfallmechanismen Gewaltbruch und Plastizität (ÜG1) sowie zwischen Plastizität und Ermüdung (ÜG2) bei Klemmrollenfreiläufen gemäß Abbildung 2 rechts.
- Identifizierung der Einflüsse auf die Lebensdauer (Lage der farbigen Linien in Abbildung 2 rechts) von Einhärtetiefe und E-Modul (Hartmetall), differenziert nach den jeweiligen Ausfallmechanismen
- Erweiterung des Ermüdungs-Lebensdauermodells zu einem Ermüdungs-Plastizitäts-Lebensdauermodell unter Berücksichtigung der beiden oberflächennahen Einflussparameter

Die Versuche im Vorgängervorhaben zeigten große Streuungen, sodass statistische Absicherungen durch weitere Versuche und bei anderen Einhärtetiefen notwendig sind. Zusätzlich wurde im Vorgängervorhaben die Rauheit variiert und untersucht, welches im geplanten Vorhaben zurückgestellt wird, sodass zunächst eindeutige Erkenntnisse hinsichtlich Einhärtetiefe und E-Modul (Hartmetalleinlagen) abgeleitet werden können. Primär soll der Ausfallmechanismus der Plastizität genau quantifiziert und eingegrenzt werden, damit eine adäquate Berücksichtigung in einem Lebensdauermodell gelingt.

### Versuch und Simulation

Basis des Vorhabens ist die Vielzahl der geplanten experimentellen Untersuchungen, wobei jeweils Versuchsreihen an Freiläufen mit Hartmetalleinlagen und an Freiläufen mit unterschiedlichen Einhärtetiefen durchgeführt werden. Untersucht wird der Einfluss der oberflächennahen Parameter durch Vergleich mit

Standardfreiläufen sowie die lastabhängige Ausfallursache. Konkret sollen Versuche zum Einsatz von Hartmetalleinlagen und mit drei unterschiedlichen Einhärtetiefen (0 mm/ 0,6 mm/ 1,2 mm) in Anlehnung und Ergänzung zu den Versuchen des Vorgängervorhabens in /5/ durchgeführt werden. Verwendet wird der in Abbildung 3 dargestellte Versuchsaufbau.

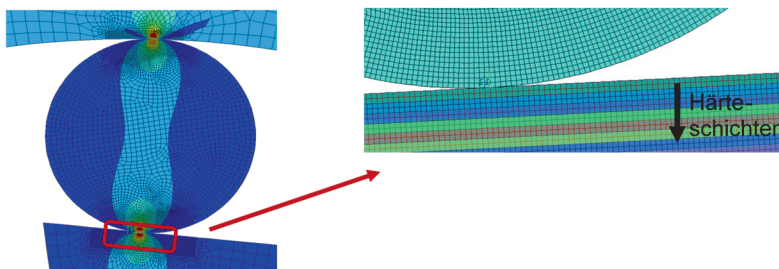


**Abbildung 3:** Detailansicht des Prüfaufbaus aus /5/

Nach Ermittlung der Übergangsgrenzen kann der Einflussbereich der Ausfallmechanismen durch geeignete Kombinationen aus Perlenschnur- und Horizontenverfahren in Form von Wöhlerlinien eingeordnet werden. Anhand der Untersuchungen mit den unterschiedlichen Einhärtetiefen von 0 mm bis 1,2 mm kann abgeschätzt werden, ob es eine minimal und maximal nutzbare Einhärtetiefe bezüglich der ertragbaren Lebensdauer gibt. Durch den Vergleich zu herkömmlichen Klemmrollenfreiläufen kann der Einfluss durch die genannten oberflächennahen Parameter definiert werden und in ein entsprechendes Berechnungsmodell einfließen.

Den zweiten großen Baustein des Projektes bilden die versuchsbegleitend durchgeführten Simulationen. Hieran können die Werkstoffbeanspruchungen in den Freilaufkontakten betrachtet werden. Durch die Betrachtung umfangreicher Parametervariationen in Abgleich zu den experimentellen Erkenntnissen wird ein allgemeingültiges Lebensdauermodell abgeleitet. Umgesetzt wird dieses Vorgehen durch Weiterentwicklung der beiden im Vorgängervorhaben verwendeten Simulationsmodelle, wo sowohl ein Mikrokontaktmodell als auch ein FE-Modell aufgebaut wurden. Das Mikrokontaktmodell dient der Bestimmung der Materialbeanspruchung im Mikrokontakt unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Hartmetalls und der real vorliegenden Oberflächenrauheit. Mit dem FE-Modell, skizziert in Abbildung 4, kann der Beanspruchungszustand im Allgemeinen unter Berücksichtigung mehrerer Abrollvorgänge nachgebildet werden, indem die Verformungen der Kontaktbereiche betrachtet werden. Durch die Erweiterung und Ausarbeitung der bestehenden Modelle zu vollwertigen elastisch-plastischen Simulationsmodellen können die Einflüsse auf die Ausfallmechanismen Ermüdung und Plastizität simulativ über mehrere Abrollvorgänge abgebildet werden. Eine Verknüpfung der Ergebnisse von Mikro-Kontaktmodell und Makro-FE-Modell ermöglicht zudem eine hochpräzise Ergebnisbetrachtung. Hierfür werden die im Mikrokontakt ermittelten, von den oberflächennahen Materialparametern

abhängigen Belastungen im FE-Modell implementiert, sodass der Abrollvorgang detailgetreu abgebildet werden kann. Die Simulationsmodelle stärken das Verständnis der Vorgänge beim Schaltvorgang im Hochlastbereich unter Einfluss der oberflächennahen Parameter.



**Abbildung 4:** Ausschnitt des FE-Modells mit unterschiedlich definierten Härteschichten aus /5/

Anhand der Erkenntnisse aus den experimentellen Untersuchungen und den Simulationen wird ein erweitertes, auf bekanntem Vorgehen basierendes, Lebensdauermodell abgeleitet. In Abhängigkeit der in diesem Vorhaben ermittelten Versagensmechanismen werden Parameteranpassungen und -erweiterungen vorgenommen, sodass ein spezifisch anwendbares, bimodulares Ermüdungs-Plastizitäts-Lebensdauermodell für Klemmrollenfreiläufe in Form eines eigenständigen Methodenträgers zur Verfügung steht.

### Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieses geförderten FVA-Vorhabens zum Einfluss der oberflächennahen Parameter an Klemmrollenfreiläufen ist die Erstellung eines erweiterten Lebensdauermodells, welches die Ausfallmechanismen, speziell im Hochlastbereich, berücksichtigt. Nach bisherigem Stand können Lebensdauern für Standard-Freiläufe bei Versagen durch reine Ermüdung treffsicher abgeschätzt werden. Ein Ausfall durch plastische Verformung konnte erstmals im Vorgängervorhaben erkannt werden. Diese Ausfallursache gilt es im weiteren Vorhaben systematisch zu analysieren und in ein Lebensdauermodell zu überführen. Umfangreiche experimentelle Untersuchungen und aufwendige Simulationen werden hierfür angestrebt.

Nach erfolgreicher Umsetzung des Vorhabens bezüglich der Ausfallmechanismen Ermüdung und Plastizität bei Klemmrollenfreiläufen im Hochlastbereich, besteht weiterer Forschungsbedarf bezüglich des noch verbleibenden oberflächennahen Parameters Rauheit. Erste Erkenntnisse weisen darauf hin, dass eine erhöhte Rauheit sich positiv auf die Freilauflebensdauer auswirken könnte. Ein Folgevorhaben hierzu wird ebenfalls angestrebt.

## Danksagung

Der Autor bedankt sich bei der beteiligten Forschungsstelle (MSE der RWTH Aachen) für die bisherige und zukünftige Zusammenarbeit sowie bei der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) und ihren Mitgliedern für die inhaltliche Betreuung sowie beim Projektträger DLR für die finanzielle Unterstützung des Projekts „HaerteprofilFreilauf“ (FVA 776 II).

## Literatur

- /1/ Jorden, W.: Gebrauchsdauer von Klemmfreilaufkupplungen. Konstruktion 24 (1972), S. 485–491
- /2/ Jorden, W., Dittrich, O. u. Schumann, R. (Hrsg.): Freilaufkupplungen, Anwendungen der Antriebstechnik. Band II; Krauskopf-Verlag 1974
- /3/ Ringspann GmbH: Freiläufe- Rücklaufsperrn, Überholfreiläufe, Vorschubfreiläufe. Katalog, Bad Homburg 2022
- /4/ Schlattmann, J. u. Jorden W.: Lebensdauerberechnung von Klemmrollenfreiläufen auf Grund von Werkstoff-verformung, -ermüdung und Wälzverschleiß. Abschlussbericht 66 I, FVA-Heft 218. Frankfurt am Main: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. 1985
- /5/ Sous, C.; Lohrengel, A.; Guzman, G.; Martinewski, V.; Dreiseidler, S.: Abschlussbericht zum FVA-Projekt 776 I Freilauf Härteprofil; RWTH Aachen, Technische Universität Clausthal; 2022
- /6/ Duchâteau, F.; Lohrengel, A.; Mitteilungen aus dem Institut für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal Nr. 47; 2022
- /7/ Welter, R., Peeken, H.: Lebensdauer von Klemmkörperfreiläufen im Schaltbetrieb. Abschlussbericht 137 I, FVA Heft 319. Frankfurt am Main: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. 1990
- /8/ Deppenkemper, P., Peeken, H., Gold, P.W.: Lebensdauer von Klemmkörperfreiläufen im Schaltbetrieb. Abschlussbericht 137 II, FVA-Heft 383. Frankfurt am Main: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. 1993
- /9/ Deppenkemper, P., Lohrengel, A., Gold, P.W.: Lebensdauer von Klemmkörperfreiläufen im Schaltbetrieb. Abschlussbericht 137 III, FVA-Heft 551. Frankfurt am Main: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. 1999
- /10/ Lohrengel, A., Gold, P.W.: Lebensdauer von Klemmkörperfreiläufen im dynamischen Schaltbetrieb. Abschlussbericht 137 IV, FVA-Heft 552. Frankfurt am Main: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. 1999
- /11/ Lohrengel, A., Gold, P.W.: Freilauflebensdauer-Klemmrollen. Abschlussbericht 287, FVA-Heft 614. Frankfurt am Main: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. 2000
- /12/ Lohrengel, A.: Lebensdauerorientierte Dimensionierung von Klemmrollenfreiläufen. Dissertation. 2001