

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	XV
Abstract.....	XXV
1 Einleitung.....	1
2 Motivation und Zielsetzung	3
2.1 Motivation	3
2.2 Zielsetzung der Arbeit.....	4
3 Reibdauerbruchgefährdete Anwendungen	9
3.1 Literaturübersicht.....	9
3.2 Automobiltechnik	10
3.3 Antriebstechnik.....	14
3.3.1 Allgemeines	14
3.3.2 Pressverbindung.....	14
3.3.2.1 Übertragungsverhalten	14
3.3.2.2 Gestaltfestigkeit.....	16
3.3.2.3 Festigkeitsvorhersage.....	19
3.3.2.4 Bruchmechanik.....	22
3.3.2.5 Betriebsfestigkeit	23
3.3.2.6 Reibdauerfestigkeit.....	23
3.3.2.7 Lagersitze	24
3.3.3 Formschlüssige Verbindungen	25
3.3.3.1 Polygonverbindung.....	25
3.3.3.2 Keil- und Zahnwellen-Verbindungen.....	27
3.3.3.3 Schaufel-Scheibe-Verbindung	28
3.3.3.4 Passfederverbindung.....	29
3.4 Weitere Anwendungsbereiche	32
3.5 Synthese der anwendungsbezogenen Recherche	34
4 Tribologische Systematik.....	35
4.1 Begriffsklärung und Abgrenzung.....	35
4.2 Aufbau von tribologischen Systemen.....	37
4.3 Skalenebenen und Mechanismen.....	39
4.4 Reibdauerbeanspruchtes Tribosystem	42

4.4.1	Allgemeines	42
4.4.2	Struktur	43
4.4.2.1	Makroskopische Kontaktgeometrie	43
4.4.2.2	Werkstoff	44
4.4.2.3	Oberflächeneigenschaften	46
4.4.2.4	Zwischenstoffe und Umgebungsmedium	47
4.4.3	Beanspruchungskollektiv	49
4.4.3.1	Temperatur	49
4.4.3.2	Bewegung	51
4.4.3.3	Belastung	57
4.4.4	Reibungskenngrößen	63
4.4.4.1	Reibungszahl	63
4.4.4.2	Verschleißkenngrößen	66
4.4.4.3	Ganzheitliche thermodynamische Analyse	68
5	Berechnungsansätze zur Festigkeitsbewertung	71
5.1	Allgemeines	71
5.2	Bewertung der reinen Ermüdungsbeanspruchung	71
5.2.1	Nennspannungen	71
5.2.2	Mehrachsige örtliche Kerbspannungen	73
5.2.2.1	FKM-Richtlinie	73
5.2.2.2	Schubspannungsbasierte Hypothesen	74
5.2.2.3	Methode der kritischen Schnittebene	76
5.2.2.4	Methode der integralen Anstrengungen	78
5.2.3	Bruchmechanik	79
5.2.3.1	Allgemeines	79
5.2.3.2	Rissinitiierung	80
5.2.3.3	Rissfortschritt	81
5.2.3.4	Kombinierte bzw. generalisierte Verfahren	82
5.2.4	Weitere ermüdungsmechanische Kriterien	85
5.2.5	Ausblick	87
5.3	Kombinierte Ansätze mit tribologischer Schädigungskomponente	88
5.3.1	Funk-Kriterium	88
5.3.2	Oldendorf-Kriterium	89
5.3.3	Ruiz-Kriterium	90

5.3.4	Reibungsenergetische Bewertung	91
5.3.5	Weitere tribomechanische Kriterien	95
5.4	Erkenntnissynthese und Weiterentwicklung	97
5.4.1	Experimenteller Lebensdauerbezug	97
5.4.2	Lebensdauerdiagramm für Reibdauerermüdung	99
5.4.3	Mathematische Beschreibung der Reibdauerermüdungsgrenzfläche.....	101
5.4.4	Experimentelle Charakterisierung der Reibdauerermüdungsgrenzfläche	104
5.4.5	Kombinierte Kriterien im Lebensdauerdiagramm	106
5.4.6	Ermüdungsfestigkeitsnachweis unter Reibdauerermüdung	109
5.5	Anwendungsorientierte Bewertung der Versagenskriterien	111
5.5.1	ABC-Methode	111
5.5.2	Bewertungsmethode	112
5.5.3	Kriterienbewertung	114
5.6	Resümee	116
6	Universelles Prüfverfahren.....	119
6.1	Überblick	119
6.2	Analyse bestehender experimenteller Verfahren	119
6.2.1	Kategorisierung der Prüfverfahren	119
6.2.2	Standardisierung	121
6.2.3	Werkstoffprüfung mit Labormodell	122
6.2.3.1	Unterscheidungsmerkmale	122
6.2.3.2	Prüfanlagen mit Kraftableitung	124
6.2.3.3	Schwebende Reibklötze	126
6.2.3.4	Schwebende Reibkufen	127
6.2.3.5	Feststehende Reibklötze	128
6.2.3.6	Bewegte Reibklötze	129
6.2.4	Systemprüfung mit Bauteilmodell	131
6.2.5	Vergleich der Prüfverfahren	133
6.3	Anforderungen an ein universelles Prüfverfahren	134
6.3.1	Ziele der experimentellen Untersuchungen	134
6.3.2	Werkstoffprüfung	135
6.3.3	Systemprüfung	137
6.4	Labormodell-Prüfstand	137
6.4.1	Probengeometrie	137

6.4.2	Mechanischer Aufbau	139
6.4.3	Messtechnik.....	142
6.4.4	Regelung und Vorversuche	144
6.4.5	Leistungsbeschreibung	148
6.5	WNV-Prüfstand	149
6.5.1	Allgemeines	149
6.5.2	Probengeometrie	149
6.5.3	Mechanischer Aufbau	150
6.6	Pleuel-Prüfstand	151
6.6.1	Probengeometrie	151
6.6.1.1	Anforderungen	151
6.6.1.2	Geometriedefinition.....	152
6.6.2	Mechanischer Aufbau	153
6.6.3	Regelung und Betrieb	154
7	Experimentelle Untersuchungen	155
7.1	Werkstoffe.....	155
7.2	Ermittlung der Festigkeitskennwerte am Labormodell	156
7.2.1	Vorgehensweise	156
7.2.2	Bewertung der Treppenstufenversuche	157
7.2.3	Variation der tribologischen Beanspruchung	160
7.3	Ermittlung der Gestaltfestigkeit am Bauteilmodell.....	162
7.3.1	Allgemeines	162
7.3.2	Bewertung der Ergebnisse	162
7.4	Zwischenresümee.....	164
8	Rechnerischer Festigkeitsnachweis.....	167
8.1	Allgemeiner Aufbau	167
8.2	Numerische Analyse der örtlichen Kontaktbeanspruchung	168
8.2.1	Ermüdungsprobe	168
8.2.2	Pleuellager.....	172
8.2.3	Pressverbindung.....	174
8.3	Festigkeitsnachweis gemäß FKM-Richtlinie	177
8.3.1	Ermüdungsprobe	177
8.3.2	Pleuellager.....	179
8.3.3	Pressverbindung.....	180

8.4	Nachweiserweiterung für reibdauerbeanspruchte Bauteile.....	181
8.4.1	Anmerkungen zur Vorgehensweise	181
8.4.2	Rückwärtsrechnung am Labormodell	182
8.4.3	Vorwärtsrechnung am Idealmodell	183
8.5	Methode zur Festigkeitsbewertung unter Reibdauerermüdung	184
9	Zusammenfassung.....	189
10	Ausblick	193
	Literaturverzeichnis	195