

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation	1
2	Aufgabenstellung und Vorgehensweise	3
2.1	Aufgabenstellung	3
2.2	Vorgehensweise	5
3	Stand der Technik und Forschung	9
3.1	Aufbau und Funktion der Versuchsmaschinen	9
3.2	Keramische Tribosysteme	11
3.2.1	Grundlagen	11
3.2.2	Tribologisches Verhalten keramischer Werkstoffsysteme	15
3.3	Keramische Bauteile in hydrostatischen Axialkolbenmaschinen	19
3.4	Festigkeit keramischer Bauteile	20
3.4.1	Inertfestigkeit	20
3.4.2	Lebensdauer	22
4	Verwendete keramische Werkstoffe	25
4.1	Werkstoffdaten	25
4.2	Anforderungen an die Oberflächenqualität	25
4.3	Anwendungsnahe Bestimmung der Festigkeitskennwerte	29
4.3.1	Versuchseinrichtung und Probekörper	29
4.3.2	Charakteristische Festigkeit und effektives Volumen	30
4.3.3	Risswachstumsparameter	35
4.4	Zusammenstellung der Festigkeitskennwerte	38
5	Arbeitskolben und Laufbuchsen von Axialkolbenmaschinen	40
5.1	Mechanische Beanspruchung der Bauteile	40

5.1.1	Finite-Elemente-Modelle	40
5.1.2	Ergebnisse der FEM-Berechnungen	42
5.1.2.1	Maschine A4VSO 40	42
5.1.2.2	Maschine 90/075	45
5.2	Bauteilfestigkeit	46
5.3	Bauteillebensdauer	48
5.4	Presssitz von Buchse und Zylinderblock	50
5.4.1	Verfahren zur rechnergestützten Auslegung des Presssitzes	50
5.4.2	Auslegung des Presssitzes	55
5.4.3	Nachrechnung des Presssitzes mit FEM	58
5.4.4	Flächenpressungsverteilung im Pressverband	60
5.4.5	Innenkontur der gefügten Keramikbuchsen	62
5.5	Keramische Prototypen	64
5.6	Zusammenfassung	67
6	Entwicklung eines Proof-Tests für keramische Arbeitskolben	68
6.1	Konzept des Proof-Tests	68
6.2	Im Proof-Test abzubildende Belastungen	70
6.3	Proof-Test-Diagramme	71
6.4	Prüfstandsbeschreibung	75
6.5	Durchführung und Ergebnisse der Proof-Tests	78
6.5.1	Durchführung der Proof-Tests	78
6.5.2	ZrO ₂ -Kolben, Maschine A4VSO 40	79
6.5.3	RBAO-Kolben, Maschine A4VSO 40	80
6.5.4	Si ₃ N ₄ -Kolben, Maschinen A4VSO 40 und 90/075	82
6.6	Zusammenfassung	83
7	Bauteilerprobung	85
7.1	Versuchsplan	85
7.1.1	Maschine A4VSO 40	85
7.1.2	Maschine 90/075	88
7.2	Versuchseinrichtungen	90
7.2.1	Verspannungsprüfstand	90
7.2.1.1	Prüfstandsbeschreibung	90

7.2.1.2	Wirkungsgradberechnung	91
7.2.2	Schwungradprüfstand	94
7.2.2.1	Prüfstandsbeschreibung	94
7.2.2.2	Wirkungsgradberechnung	95
7.3	Versuchsergebnisse	96
7.3.1	Variation der Werkstoffe	97
7.3.2	Variation des Lagerspiels	97
7.3.3	Einlaufverhalten	102
7.3.3.1	Verschleiß	102
7.3.3.2	Wirkungsgrade	108
7.3.4	Langzeiterprobung	113
7.3.4.1	Verschleiß	113
7.3.4.2	Wirkungsgrade	117
7.4	Zusammenfassung	120
8	Zusammenfassung und Ausblick	122
A	Messfehler	125
A.1	Verspannungsprüfstand	125
A.2	Schwungradprüfstand	128
B	Maschinenkennfelder	131
C	Weiterführende Untersuchungen	136
C.1	Erprobung von Keramik-Metall-Paarungen	136
C.1.1	Keramik-Kolben und Metall-Buchsen	137
C.1.2	Stahl-Kolben, Keramik-Buchsen	145
D	Kontinuierliche Kennfeldaufzeichnung	146
D.1	Festlegung der Druckanstiegsrate	146
D.2	Abhängigkeit der Wirkungsgrade von der Betriebstemperatur	149
D.2.1	Ungekühlter Betrieb	149
D.2.2	Konstante Zulauftemperatur	151
E	Technische Daten wesentlicher Prüfstandskomponenten	153
	Literatur	157