INHALTSVERZEICHNIS

1 Motivation und Zielsetzung 1

2 Stand der Wissenschaft und Technik 3

2.1 Die Scheibenbremse 3

2.1.1 Aufbau der Scheibenbremse 3

2.1.2 Anforderungen an eine Bremsscheibe 9

2.1.3 Auswirkungen der Elektrifizierung auf den Einsatz des Scheibenbremssystems und abgeleitete Anforderungen an eine Aluminium-Bremsscheibe 13

2.2 Tribologische Grundlagen des Systems Bremsscheibe-Bremsbelag 16

2.2.1 Reibung und Verschleiß 16

2.2.2 Transferfilme 23

2.3 Herstellungsverfahren und Eigenschaften ausgewählter Aluminium-Bremsscheibenkonzepte 25

2.3.1 SiC-partikelverstärkte Aluminiummatrix Verbundwerkstoffe 26

2.3.2 Verschleißschutzschichtsysteme 38

3 Experimentelle Methoden und Durchführung 43

3.1 Bremsenprüfstandsversuche 43

3.1.1 Schwungmassen-Bremsenprüfstand 43

3.1.2 Bremsscheiben-Prüflinge 44

3.1.3 Messmethoden 46

3.1.4 Prüfprogramme 48

3.2 Ermittlung der Werkstoffeigenschaften 51

3.2.1 Mikrostrukturelle Charakterisierung 51

3.2.2 Mechanische Eigenschaften 52

3.2.3 Thermophysikalische Eigenschaften 53

3.2.4 Elektrochemische Eigenschaften 53

3.3 Analysemethoden 54

3.3.1 Mikroskopie 54

3.3.2 Röntgenographische Analysemethoden 54
3.3.3 Glimmentladungsspektroskopie 55

4 Untersuchte Werkstoffsysteme und deren grundlegende Eigenschaften 57

4.1 Übersicht und Vorauswahl der untersuchten Bremsscheibenkonzepte 57

4.2 Werkstoffliche Charakterisierung der favorisierten Bremsscheibenkonzepte 63

4.2.1 Keramische Verschleißschutzschicht (PEO) 63
4.2.2 SiC-partikelverstärkte AlSi-Gusslegierungen 71

4.3 Werkstoffliche Charakterisierung der Bremsbeläge 83

4.3.1 Mikrostruktur und chemische Zusammensetzung 84
4.3.2 Thermogravimetrische Analyse 90

5 Tribologisches Verhalten und Schädigungsmechanismen 93

5.1 Übersicht der tribologischen Paarungen 93

5.2 SiC-partikelverstärkte AlSi-Bremsscheibe 94

5.2.1 Einlaufverhalten und Transferfilmbildung 94
5.2.2 Schädigungserscheinungen im SAE J2522 Reibwerttest 124
5.2.3 Korrosive Schädigung der SiC-partikelverstärkten AlSi-Gusslegierungen 136

5.3 Aluminium-Bremsscheibe mit keramischer Verschleißschutzschicht 141

5.3.1 Einlaufverhalten und Transferfilmbildung 141
5.3.2 Schädigungserscheinungen im Belastungstest 150
5.3.3 Korrosive Schädigung des PEO-Beschichtungskonzepts 162

6 Übergeordnete Diskussion der Ergebnisse 169

6.1 Der Transferfilm auf einer SiC-partikelverstärkten AlSi-Bremsscheibe 169

6.1.1 Abgleich Stift-Scheibe-Tribometer und Bremsenprüfstand 169
6.1.2 Bildungsmechanismus und Einflussgrößen auf einer abgedrehten Reibfläche 172

6.1.3 Bildungsmechanismus und Einflussgrößen auf einer geätzten Reibfläche 180

6.2 Einfluss und Bedeutung des Transferfilms 183

6.3 Technische Bewertung und Potentialabschätzung 186

6.3.1 Bewertung und Abhilfemaßnahmen auftretender Schadenserscheinungen 186

6.3.2 Potentialabschätzung 188

7 Zusammenfassung 193

8 Literaturverzeichnis 195

9 Anhang 209

9.1 Experimentelle Methoden und Durchführung 209

9.2 Untersuchte Werkstoffsysteme 210

9.3 Tribologisches Verhalten und Schädigungsmechanismen 212