



INHALT

DANKSAGUNG	III
INHALTSVERZEICHNIS	V
SYMBOL- UND ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
1 EINLEITUNG	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2 Lösungsweg	3
2 BREMSSCHEIBEN - STAND DER TECHNIK	6
2.1 Bremsscheibenwerkstoffe	6
2.1.1 Gusseisen mit Lamellengrafit (GJL)	6
2.1.2 Metallische Verbundwerkstoffe auf Aluminiumbasis (Al-MMC)	8
2.1.3 Keramische Verbundwerkstoffe (CMC)	11
2.2 Bauweisen von Scheibenbremsen	22
2.2.1 Massive und einteilige Bremsscheiben	22
2.2.2 Bremsscheiben mit Innenkühlung	23
2.2.3 Mehrteilige Bauweisen	24
3 ANALYSE DES HERSTELLUNGSPROZESSES	26
3.1 Herstellung der Referenzvariante	26
3.1.1 Bremsscheibenring	27
3.1.2 Bremsscheibentopf und Verbindungselemente	30
3.1.3 Montage und Endbearbeitung	30
3.1.4 Schwachstellen	30
3.2 Alternative Herstellungsvarianten	31
3.2.1 Ausgangsmaterialien	31
3.2.2 Mischungs- und Grünkörperherstellung	36
3.2.3 Pyrolyse	38
3.2.4 Fügeprozess	39
3.2.5 Silizierung	39
3.2.6 Oxidationsschutz	39
3.2.7 Herstellung Bremsscheibentopf und Verbindungselemente	40
3.2.8 Bearbeitung, Verbindungstechnik und Endbearbeitung	40
3.2.9 Vorauswahl Herstellungsvarianten	41
4 ANALYSE DES BREMSSYSTEMS	42
4.1 Identifikation grundlegender Anforderungen	42
4.2 Gesetzesanforderungen	42
4.2.1 Zulassung und Prüfung	42
4.2.2 Recyclingfähigkeit	43
4.3 Fahrzeugspezifische Auslegung und Bauraumvorgaben	43
4.3.1 Vorfestlegung der Bremsscheibenabmessungen	43
4.3.2 Thermische Auslegung	45
4.4 Betriebssichere Konstruktion	49
4.4.1 Festigkeit	49
4.4.2 Thermoschockbeständigkeit	51
4.4.3 Oxidation von C/SiC	52
4.4.4 Korrosion von Metall	52
4.5 Reibwert- und Verschleißanforderungen	53



4.6	Komfortanforderungen.....	55
4.7	Leichtbau und Optik.....	55
4.8	Produktionssicherheit und Wirtschaftlichkeit.....	56
5	ENTWICKLUNG ALTERNATIVER BREMSSCHEIBENKONZEPTE.....	57
5.1	Bremsscheibenring.....	58
5.1.1	Alternative Bauweisen des Bremsscheibenrings.....	61
5.1.2	Werkstoffvarianten Tragkörper.....	67
5.1.3	Werkstoffvarianten Reibschicht.....	72
5.2	Bremsscheibentopf.....	74
5.2.1	Werkstoffvarianten.....	74
5.2.2	Herstellungsverfahren und Legierungsauswahl.....	75
5.2.3	Integration Feststellbremse Hinterachse.....	79
5.3	Verbindungstechnik.....	81
5.3.1	Konzepte mit direkter Auflage.....	81
5.3.2	Konzepte mit Beabstandung.....	83
6	ANALYSEN UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN.....	86
6.1	Konstruktive Gestaltung von Bremsscheibentopf und Verbindungstechnik.....	86
6.1.1	Bewertung und Variantenauswahl zur prototypischen Herstellung.....	86
6.1.2	Herstellung ausgewählter Varianten.....	89
6.1.3	Mechanische Eigenschaften.....	93
6.1.4	Temperaturbelastung.....	94
6.1.5	Korrosionsuntersuchungen.....	96
6.2	Werkstoffeigenschaften Bremsscheibenring.....	100
6.2.1	Gefügeuntersuchungen.....	101
6.2.2	Mechanische Kennwerte.....	106
6.2.3	Thermophysikalische Kennwerte.....	111
6.2.4	Oxidationsverhalten.....	114
6.3	Reibwertcharakteristik.....	117
6.3.1	Einlaufverhalten.....	117
6.3.2	Druckabhängigkeit.....	118
6.3.3	Temperaturabhängigkeit.....	118
6.3.4	Modellvorstellung zur Reibwertcharakteristik.....	119
6.4	Verschleißverhalten.....	120
6.4.1	Faserhaltige Reibschichtvariante.....	120
6.4.2	Faserarme Reibschichtvariante.....	124
6.4.3	Verschleißmodell.....	124
6.5	Bauteilfestigkeit Bremsscheibenring.....	127
6.5.1	Festigkeit im Neuzustand.....	127
6.5.2	Konstruktive Einflussfaktoren.....	128
6.5.3	Festigkeit nach bremsenspezifischer Belastung.....	132
6.6	Gesamtkonzept und Diskussion.....	135
6.6.1	Entwickeltes Gesamtkonzept.....	136
6.6.2	Funktionalität.....	138
6.6.3	Herstellungsaspekte.....	140
6.6.4	Wirtschaftlichkeit.....	141
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	143
8	SUMMARY.....	146
9	LITERATURVERZEICHNIS.....	149
	LEBENS LAUF.....	164
	PUBLIKATIONEN.....	165