

Inhaltsverzeichnis

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis.....	V
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Behandelte Arbeitspakete und deren Abfolge.....	2
2 Aktueller Kenntnisstand zu Mo-Si-basierten Legierungen	4
2.1 Turbinenwerkstoffe und Eingliederung von Mo-Si-B in aktuelle Legierungskonzepte	4
2.1.1 Technischer Hintergrund.....	4
2.1.2 Derzeitige Flugzeugtriebwerkswerkstoffe und neue Lösungskonzepte.....	5
2.2 Stand der Technik Mo-Si-B-basierter Legierungen	9
2.2.1 Das ternäre Legierungssystem Mo-Si-B und die Auswahl der Referenzlegierung Mo ₉ Si ₈ B	9
2.2.2 Herstellrouten	13
2.2.3 Mechanische Eigenschaften des In-situ-Verbundwerkstoffs Mo ₉ Si ₈ B.....	14
2.2.4 Oxidative Eigenschaften des In-situ-Verbundwerkstoffs Mo ₉ Si ₈ B	15
2.3 Stand der Technik Mo-Si-B-Ti-basierter Legierungen	20
2.3.1 Legierungsstrategien durch Makrolegieren mit Ti.....	20
2.3.2 Mechanische Eigenschaften von Mo-Si-B-Ti-Legierungen	21
2.3.3 Oxidative Eigenschaften der Silizide Ti ₅ Si ₃ und Mo ₅ Si ₃	23
2.3.4 Thermische Expansionsanisotropie der Silizide Ti ₅ Si ₃ und Mo ₅ Si ₃	26
2.4 Grundlagen der chemischen Thermodynamik im Mo-Si-B-Ti-Fe-System.....	29
2.4.1 SGTE-Modell zur Beschreibung reiner Elemente und stöchiometrischer Verbindungen	30
2.4.2 Modelle zur Beschreibung von Lösungsphasen.....	31
2.4.3 Modell der regulären Lösungen und Redlich-Kister-Formalismus.....	32
2.4.4 Untergittermodelle	33
2.4.5 Magnetischer Beitrag zur Freien Enthalpie.....	34
2.5 Kinetische Grundlagen im Mo-Si-basierter Legierungen	35
2.5.1 Triebkräfte der Diffusion: Konzentrationsgradienten und chemische Potentiale	38
2.5.2 Modifikationen von SiO ₂ und Diffusion	39
2.5.3 Einfluss von Metalloxiden auf die Viskosität von SiO ₂	41
2.6 Dichtefunktionaltheorie.....	43
3 Werkstoffe, experimentelle Methoden und Rechendetails	45

3.1	Werkstoffe.....	45
3.2	Materialherstellung.....	46
3.2.1	Schmelzmetallurgie (SM).....	46
3.2.2	Pulvermetallurgie (PM).....	46
3.2.3	Probenpräparation.....	47
3.3	Experimentelle Untersuchungsmethoden.....	47
3.3.1	Dichtemessungen.....	47
3.3.2	Platin-Marker-Experimente.....	48
3.3.3	Thermogravimetrie (TGA).....	48
3.3.4	Mikrostrukturelle und morphologische Untersuchungsmethoden.....	49
3.4	Rechenspezifikationen.....	53
3.4.1	Dichtefunktionaltheorie.....	53
4	Ergebnisse und Diskussion.....	55
4.1	Theoretische Vorüberlegungen zur Legierungsentwicklung.....	55
4.1.1	Überarbeitung des kommerziell erworbenen Mo-Si-B-Datensatzes.....	55
4.1.2	Evaluation thermodynamischer Parameter im Mo-Si-B-Ti-System und Erkenntnisse für die Legierungsentwicklung.....	61
4.1.3	Erweiterung des Mo-Si-B-Ti-Datensatzes um das Element Fe.....	65
4.1.4	Einfluss von Ti auf die thermische Expansionsanisotropie von T1.....	75
4.1.5	Einfluss relevanter Oxide auf die Viskosität von SiO ₂	82
4.2	Einfluss von Ti und Fe auf die Oxidationsbeständigkeit einzelner Phasen im Mo-Si-B-System.....	87
4.2.1	Einfluss von Ti auf das Oxidationsverhalten der Phase T1.....	87
4.2.2	Einfluss von Ti auf das Oxidationsverhalten der Phase T2.....	104
4.2.3	Einfluss von Ti auf das Oxidationsverhalten der Phase A15.....	112
4.2.4	Einfluss von Fe auf die Mikrostruktur und Oxidationsbeständigkeit der Phase T1.....	112
4.3	Experimenteller Nachweis zum Einfluss von Ti auf die thermische Expansionsanisotropie von Mo ₅ Si ₃	119
4.4	Einfluss von Fe und B auf die zweiphasige Legierung Mo _{MK} und T1.....	127
4.5	Charakterisierung der Oxidationsbeständigkeit von In-situ-Verbundwerkstoffen.....	140
4.5.1	Oxidationsverhalten mehrphasiger Mo-Si-B-Ti-Legierungen.....	140
4.5.2	Oxidationsverhalten mehrphasiger Mo-Si-B-Ti-Fe-Legierungen.....	151
4.6	Methode zur Separation der Masseänderung (MCS-Methode).....	160
4.6.1	Grundzüge der MCS-Methode.....	162
4.6.2	Experimentelle Vorarbeiten zur Charakterisierung von Mo ₉ Si ₈ B.....	166

4.6.3	Ergebnisse der Methode zur Charakterisierung der Oxidationskinetik	171
4.6.4	Verifikation des Ansatzes mittels FIB-Markerschnitten	173
5	Übergeordnete Zusammenfassung und Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse.....	178
5.1	Mittels thermodynamischer Berechnungen gewonnene Erkenntnisse zum Beitrag von Ti und Fe zur Legierungsentwicklung.....	180
5.2	Einfluss von Ti auf die Oxidationsbeständigkeit von Mo-Si(-B)-Legierungen.....	183
5.2.1	Einphasige Legierungen	183
5.2.2	Zweiphasige Legierungen	187
5.2.3	Drei- bis vierphasige Legierungen	189
5.3	Einfluss von Fe auf die Oxidationsbeständigkeit von Mo-Si(-B-Ti)-Legierungen....	190
5.3.1	Einphasige Legierungen	190
5.3.2	Zweiphasige Legierungen	191
5.3.3	Dreiphasige Legierungen	192
5.4	Aktueller Entwicklungsstand von Mo-Si-Ti-Basislegierungen	195
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	197
	Literaturverzeichnis.....	200
7	Anhang – Parameter des thermodynamischen Datensatzes	214