

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Aufbau der Arbeit	4
2. QUANTUS – Mit Quantengasen auf dem Weg zum Test des freien Falls	5
2.1. Die QUANTUS-Projekte	5
2.2. Projektstatus zu Beginn dieser Arbeit	6
2.2.1. Das Vorgängerprojekt	6
2.2.2. Die nächsten Schritte / Ziele	8
2.3. Die Apparatur QUANTUS-2	9
2.3.1. Experimentierkammer	12
2.3.2. Elektronik	13
2.3.3. Kapselinfrastruktur	13
2.4. Resümee	14
3. Ein kompaktes robustes Lasersystem für QUANTUS-2	15
3.1. Funktionale Anforderungen	15
3.1.1. Erzeugung kalter Atome: Kühlung	15
3.1.2. Kohärente Manipulation kalter Atome: Interferometrie	17
3.1.3. Detektion kalter Atome	22
3.1.4. Zusammenfassung der funktionalen Anforderungen	24
3.2. Anforderungen für den Einsatz auf dem Katapult	25
3.2.1. Integration in die Katapultkapsel	25
3.2.2. Betrieb in der Katapultkapsel	26
3.2.3. Einsatz auf dem Katapult	26
3.2.4. Zusammenfassung der äußeren Anforderungen	27
3.3. Konzept des QUANTUS-2-Lasersystems	28
3.4. Systemdesign	30
3.5. Schlüsselkomponenten	34
3.5.1. Neu entwickelte Opto-Mechanik	34
3.5.2. Referenzlaser	36
3.6. Resümee der Entwicklung des kompakten robusten Lasersystems für QUANTUS-2	37
4. Eine kompakte schmalbandige Strahlquelle hoher Leistung	39
4.1. Anforderungen	39
4.2. Konzept der MOPA-Lasermodule	40
4.2.1. Halbleiterlaser	40
4.2.2. Das MOPA-Konzept	41

4.2.3.	Auswahl des Master Oszillators (MO)	42
4.2.4.	Auswahl des Verstärkers (PA)	44
4.3.	Lasermoduleentwicklung	45
4.3.1.	Verwendete Halbleiterkomponenten	45
4.3.2.	Mechanischer Aufbau	46
4.3.3.	Das optische System	47
4.3.4.	Mikro-optische Integration	48
4.4.	Elektro-optische Charakterisierung	51
4.4.1.	Messmethoden / -technik	51
4.4.2.	MO: DFB-Diodenlaser	52
4.4.3.	MOPA	54
4.5.	Mechanischer Test	60
4.5.1.	Durchführung der Vibrationstests	60
4.5.2.	Ergebnis der Vibrationskampagne	61
4.6.	Resümee der Entwicklung einer kompakten schmalbandigen Strahlquelle hoher Leistung	64
5.	Die spektrale Charakterisierung der Strahlquellen	65
5.1.	Spektrale Stabilität bzw. Linienbreite	65
5.1.1.	Phasenrauschen	67
5.1.2.	Linienbreite	67
5.2.	Messkonzepte	68
5.2.1.	Zugang im Frequenzbereich - Klassische HF-Analyse	70
5.2.2.	Zugang im Zeitbereich - Quadraturkomponenten	74
5.2.3.	Unterdrückung der Frequenzdrift	75
5.3.	Analyse auf Basis der in Phase / Quadratur (IQ)-Daten	80
5.3.1.	Erzeugung der IQ-Daten	80
5.3.2.	Frequenzrauschen	82
5.3.3.	Amplitudenrauschen	86
5.3.4.	Hochfrequenz (HF)-Spektren	87
5.3.5.	Breite des HF-Spektrums ohne das HF-Spektrum	88
5.4.	Umsetzung des Messverfahrens	90
5.4.1.	Experimenteller Aufbau	90
5.4.2.	Softwareimplementierung	92
5.4.3.	Beispielmessungen	94
5.5.	Resümee der Arbeiten zur spektralen Charakterisierung	95
6.	Mechanische und funktionale Qualifikation des Lasersystems	97
6.1.	Mechanischer Test - Katapultkampagnen	98
6.1.1.	Die Berliner Lasersystem-Testkapsel	98
6.1.2.	Die Kampagnen	99
6.2.	Nachweis der Funktionalität	103
6.3.	Resümee der mechanischen und funktionalen Qualifikation des Lasersystems	104

7. Zusammenfassung und Ausblick	105
7.1. Zusammenfassung	105
7.2. Ausblick	107
A. Mathematische Hilfsmittel	109
A.1. Umformungen	109
A.1.1. Zusammenhang Frequenz- und Phasenrauschen	109
A.1.2. PSD eines elektrischen Feldes mit weißem Frequenzrauschen	110
A.2. Endliche Messzeit mit diskreten Punkten	110
A.3. Reihenentwicklungen	111
B. Zusätzliche Daten	113
B.1. Vibrationstests	113
Literaturverzeichnis	115
Abbildungsverzeichnis	128
Tabellenverzeichnis	131
Liste der Abkürzungen	133
Liste der Symbole	136
Eigene Publikationen	137
Danksagung	141
Selbständigkeitserklärung	143