



Sven Cierullies (Autor)

## **Abstimmbarkeit und Schaltverhalten kaskadierter Raman-Faserlaser**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2317>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Der Raman-Effekt in Glasfasern</b>	<b>5</b>
2.1. Geschichtliche Entwicklung	5
2.2. Quantentheoretische Beschreibung des Raman-Effekts	6
2.3. Stimulierte Raman-Streuung und Raman-Verstärkung in Glasfasern	7
2.4. Einfluss der Polarisierungen von Pump- und Signallicht	9
2.5. Abhängigkeit des Verstärkungsparameters von Faserdotierung und Pumpwellenlänge	10
2.6. Beschreibung des Raman-Effekts im Zeitbereich	10
<b>3. Der stationäre Zustand von Raman-Faserlasern</b>	<b>13</b>
3.1. Modellierung von einstufigen und kaskadierten Raman-Lasern	13
3.1.1. Aufbau und mathematische Beschreibung von Raman-Lasern	13
3.1.2. Berechnung einstufiger und kaskadierter Raman-Laser	16
3.1.3. Leistungsverteilung in einem einstufigen Raman-Laser und Beispielrechnungen	18
3.2. Analytische Näherungslösung für kaskadierte Raman-Laser	21
3.2.1. Motivation	21
3.2.2. Eigenschaften der einen RFL beschreibenden Differentialgleichungen	21
3.2.3. Berechnung der integrierten Laserleistungen	22
3.2.4. Schwellenleistung eines kaskadierten Raman-Lasers	25
3.2.5. Berechnung der Laserausgangsleistung und der Randwerte	26
3.2.6. Vergleich von numerischen und genäherten analytischen Lösungen	27
3.3. Numerische Berechnung und Optimierung von Multiwavelength-Raman-Lasern	31
3.3.1. Modellierung	32
3.3.2. Analyse von Multiwavelength-Laseranordnungen	33
3.3.3. Entwurf eines Multiwavelength-Raman-Lasers	34
3.3.4. Optimierung eines Multiwavelength-Raman-Lasers auf maximale Ausgangsleistung	36
3.3.5. Einfluss effektiver Reflektivitäten auf die Stabilität von MW-RFLs	37
3.4. Analytische Näherungslösung für MW-RFLs	40
3.4.1. Bestimmung aktiver Laserlinien	43
3.5. Spektrales Verhalten von Raman-Lasern	47
3.5.1. Folgerungen aus der Umlaufbedingung	47
3.5.2. Messergebnisse am Beispiel eines kaskadierten vierstufigen Raman-Lasers	47

3.5.3.	Zusammenfassung veröffentlichter Untersuchungen des spektralen Verhaltens von Raman-Faserlasern . . . . .	51
3.6.	Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	51
<b>4.</b>	<b>Das Schaltverhalten von Raman-Faserlasern</b>	<b>53</b>
4.1.	Bedeutung des Schaltverhaltens von Raman-Lasern . . . . .	53
4.2.	Experimentelle Untersuchungen des Schaltverhaltens von Raman-Lasern . . .	54
4.2.1.	Messaufbau . . . . .	54
4.2.2.	Schaltverhalten eines einstufigen Raman-Lasers . . . . .	55
4.2.3.	Schaltverhalten eines vierstufigen Raman-Lasers . . . . .	57
4.2.4.	Einfluss der Reflektivität des Ausgangsgitters . . . . .	58
4.2.5.	Einfluss von Pumplaserleistung und -anstiegszeit . . . . .	59
4.2.6.	Einfluss des Raman-Verstärkungskoeffizienten und der Faserlänge . . .	62
4.3.	Simulation des Schaltverhaltens . . . . .	64
4.3.1.	Numerisches Modell . . . . .	65
4.3.2.	Abhängigkeit des Schaltverhaltens von den Pumpparametern . . . . .	68
4.3.3.	Abhängigkeit des Schaltverhaltens von der Ausgangsgitterreflektivität und einer Reflexion residueller Pumpleistung am Faserende . . . . .	70
4.3.4.	Abhängigkeit des Schaltverhaltens von der Faserlänge . . . . .	72
4.3.5.	Optimierung des Schaltverhaltens durch Verwendung spezieller Fasern	73
4.4.	Analytische Abschätzung der minimalen Startzeit von Raman-Faserlasern . . .	78
4.4.1.	Berechnung der Laserleistung im Schwellenbereich . . . . .	79
4.4.2.	Vereinfachung und Berechnung der inhomogenen Lösung . . . . .	80
4.4.3.	Erweiterung auf Raman-Laser mit Pumpreflexion am Faserende . . . . .	81
4.4.4.	Beispielrechnungen und Vergleich verschiedener Fasertypen . . . . .	82
4.5.	Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	86
<b>5.</b>	<b>Abstimmbare Raman-Faserlaser</b>	<b>87</b>
5.1.	Motivation und Ausgangslage . . . . .	87
5.1.1.	Einsatzgebiete abstimmbarer Raman-Laser . . . . .	87
5.1.2.	Entwicklungsstand abstimmbarer cw-Raman-Faserlaser . . . . .	88
5.2.	Aufbau und Bestandteile abstimmbarer Faserlaser . . . . .	89
5.2.1.	Abstimmelemente . . . . .	89
5.2.2.	Konzepte für abstimmbare Faserlaser . . . . .	96
5.2.3.	Hilfsresonatoren zur Erweiterung des Abstimmbereichs . . . . .	98
5.3.	Freistrahloptisch abgestimmte Raman-Laser . . . . .	99
5.3.1.	Einstufiger freistrahloptisch abstimmbarer Laseraufbau . . . . .	100
5.3.2.	Freistrahloptisch abstimmbarer Laser mit Hilfsresonatoren . . . . .	107
5.4.	Rein faseroptisch abstimmbarer Raman-Laser . . . . .	111
5.4.1.	Motivation . . . . .	111
5.4.2.	Entwurf . . . . .	111
5.4.3.	Laserbetrieb und Ausgangscharakteristik . . . . .	113
5.4.4.	Ausblick auf mögliche Modifikationen . . . . .	115
5.5.	Theoretische Betrachtung abstimmbarer Raman-Faserlaser . . . . .	115
5.5.1.	Entstehung von Abstimmücken . . . . .	116

5.5.2. Überlegungen zur spektralen Positionierung von Hilfsresonatoren . . .	117
5.6. Simulation abstimmbarer Raman-Laser . . . . .	119
5.6.1. Simulationsmodell . . . . .	119
5.6.2. Simulationsergebnisse . . . . .	119
5.7. Berechnung des rein faseroptischen Laseraufbaus . . . . .	123
5.7.1. Simulationsmodell . . . . .	123
5.7.2. Simulationsergebnisse . . . . .	128
5.8. Zusammenfassung des Kapitels . . . . .	132
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>135</b>
<b>A. Eigenschaften der verwendeten Komponenten</b>	<b>139</b>
A.1. Pumplaser . . . . .	139
A.2. Glasfasern . . . . .	140
A.2.1. Standardfaser . . . . .	141
A.2.2. Hoch-germaniumdotierte Glasfaser . . . . .	141
A.3. Sonstige Komponenten . . . . .	142
A.3.1. Optische Komponenten . . . . .	142
A.3.2. Spektrumanalysator . . . . .	143
<b>B. Messungen des Reflexionsfaktors im Sagnac-Laseraufbau</b>	<b>145</b>
<b>C. Herstellung von Faser-Bragg-Gittern mit einem Lloyd-Interferometer</b>	<b>147</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>153</b>