

V60

# **Der Diodenlaser**

Ben Werner Grobecker  
ben.grobecker@tu-dortmund.de

Sebastian Rüßmann  
sebastian.ruessmann@tu-dortmund.de

Durchführung: 25. April 2022

Abgabe: 19. Mai 2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Grundlagen Laser Physik . . . . .	3
2.2 External Cavity Diode Lasers (ECDL) . . . . .	4
2.3 Laserabstimmung . . . . .	5
2.4 Mode Hops . . . . .	6
<b>3 Durchführung</b>	<b>7</b>
3.1 Lasergranulation . . . . .	7
3.2 Aufnahme des Transmissionsspektrums von Rubidium . . . . .	7
<b>4 Auswertung</b>	<b>8</b>
4.1 Schwellenstrom . . . . .	8
4.2 Rubidiumfluoreszenz und das Transmissionsspektrum . . . . .	9
<b>5 Diskussion</b>	<b>10</b>
<b>Literatur</b>	<b>11</b>

# 1 Zielsetzung

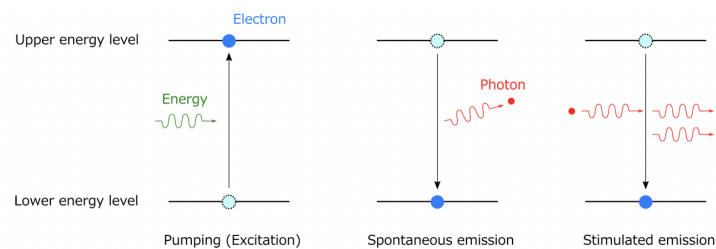
Im Versuch V60 wird mit einem Diodenlaser das Absorptionsspektrum von Rubidium bestimmt. Im Vordergrund steht dabei das Justieren des Lasers sowie das Einrichten des Versuchsaufbaus.

## 2 Theorie

### 2.1 Grundlagen Laser Physik

Das englische Synonym Laser steht für *light amplification by stimulated emission of radiation* und bezeichnet den physikalischen Effekt, mit dem Laserstrahlen erzeugt werden. Im Unterschied zu anderen Lichtquellen emittieren Laser Licht der gleichen Wellenlänge, Phase, Polarisation und Richtung. Daher stellen Sie in der Experimentalphysik ein wichtiges Instrument, zum Beispiel bei der Untersuchung von Materialien, dar.

Ein Laser besteht typischerweise aus drei Bauteilen: das *aktive Medium*, die *Pumpe* und der *Resonator*. Im aktiven Medium werden durch Quantensprünge von Elektronen auf niedrigere Energie Niveaus Photonen emittiert. Dieses Abfallen auf niedrigere Niveaus kann verschieden ablaufen (vgl. Abbildung 1). Um monochromatische, kohärente



**Abbildung 1:** Absorption spontane Emission und stimulierte Emission [4]

Strahlung zu emittieren, ist besonders die stimulierte Emission von Bedeutung, da bei der spontanen Emission, Richtung und Phase des emittierten Photons zufällig auftreten. Bei der stimulierten Emission hingegen fällt das Elektron erst durch die Stimulation eines Photons auf das niedrigere Energieniveau. Dabei wird ein Photon mit exakt denselben Eigenschaften wie die des stimulierenden Photons erzeugt. Das so entstandene zweite Atom kann nun selber andere Elektronen stimulieren, sodass es zu einer Kettenreaktion kommt. Durch den Resonator, welcher meist aus zwei Spiegeln besteht, die mit passendem Abstand zur Wellenlänge positioniert sind, sodass sich eine stehende Welle bildet, durchlaufen die Photonen das Lasermedium mehrmals. Dadurch wird die Chance, ein weiteres Elektron zu stimulieren, erhöht. Einer der beiden Spiegel ist lichtdurchlässig, wodurch die Photonen zur Nutzung austreten können. Um das Prinzip der stimulierten Emission nutzen zu können, muss im aktiven Medium ein Zustand der Besetzungsinversion hergestellt werden. Also, dass der energiereichere Zustand mit höherer Wahrscheinlichkeit besetzt ist als der Energie niedrigere. In einem zwei Zustand System kann eine solche

Besetzungsinversion nicht hergestellt werden, da sich Absorption und stimulierte Emission gerade ausgleichen. Erst mit einem dritten Energieniveau (vgl. Abbildung 2) ist eine Besetzungsinversion möglich. Die Elektronen werden vom System von Niveau 1 auf

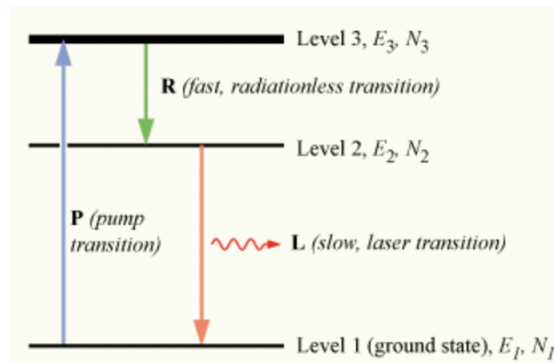


Abbildung 2: Besetzungsinversion im drei-Zustandssystem [8]

Niveau 3 gepumpt. Dort gehen sie weitgehend strahlungsfrei in Niveau 2 über, um dann durch stimulierte Emission wieder in Niveau 1 zu fallen. Da der Pumpvorgang nicht das mittlere Niveau anspricht, kann dort eine höhere Besetzungszahl erzeugt werden.

## 2.2 External Cavity Diode Lasers (ECDL)

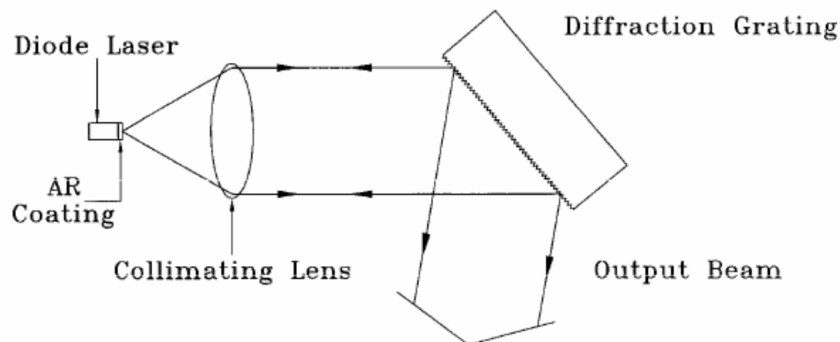


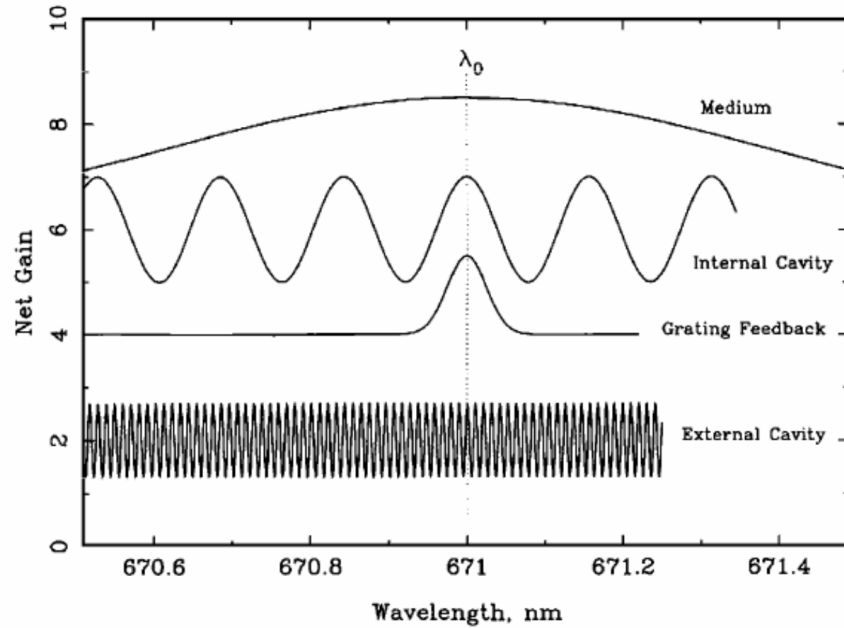
Abbildung 3: Schematischer Aufbau eines ECDL [1]

In der Abbildung 3 ist ein schematischer Aufbau des verwendeten Diodenlasers zu sehen. Der eigentliche Diodenlaser besteht jeweils aus einer p- und n-dotierten Schicht. Der pn-Übergang bildet das aktive Medium, welches nach dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Prinzip Photonen emittiert, die wie ebenfalls in Kapitel 2.1 beschrieben im (internen) Resonator eine stehende Welle bilden. Der durch den halbdurchlässigen Spiegel austretender Anteil wird durch eine Kollimator-Linse gelenkt und trifft anschließend auf ein optisches Gitter (Diffraction Grating), das gerade so justiert ist, dass das Beugungsmaximum nullter Ordnung aus dem Laser gelenkt wird. Höhere Ordnungen werden wieder zur Diode

hin reflektiert, wodurch sich eine weitere stehende Welle bildet zwischen dem Gitter und dem undurchlässigen Spiegel. Dies ist der externe Resonator.

### 2.3 Laserabstimmung

Die einzelnen Komponenten tragen abhängig von der Wellenlänge  $\lambda$  zur Nettoleistung bei. In Abbildung (4) sind die verschiedenen Beiträge der Komponenten aufgetragen. Das



**Abbildung 4:** Anteile der verschiedenen Komponenten. Zu Gunsten der Lesbarkeit sind die Graphen versetzt zueinander aufgetragen [1]

aktive Medium hat sein Maximum gerade bei der Größe der Bandlücke des Halbleiter-Materials. Da sich die Elektronen nicht in diskreten Energien, sondern in Energiebändern aufhalten, ist das Maximum des Mediums ebenfalls nicht diskret. Strom und Temperatur beeinflussen ebenfalls den Beitrag des aktiven Mediums, indem sie den Peak, also die emittierte Wellenlänge, verschieben. Das optische Gitter besitzt, wie zu erwarten, nur ein Peak, da andere Wellenlängen in andere Richtungen gestreut werden. Die beiden stehenden Wellen der Resonatoren sind ebenfalls zu erkennen. Es werden gerade die Wellenlängen verstärkt, deren ganzzahliges Vielfaches die Resonatorlänge  $L$  ergibt

$$L = \frac{\lambda}{2}N.$$

Durch die unterschiedlichen Resonatorlängen ergeben sich auch die verschiedenen Frequenzen in der Abbildung.

Addiert man die verschiedenen Nettoleistungen ergibt sich eine Gesamt-Nettoleistung wie in Abbildung 5.

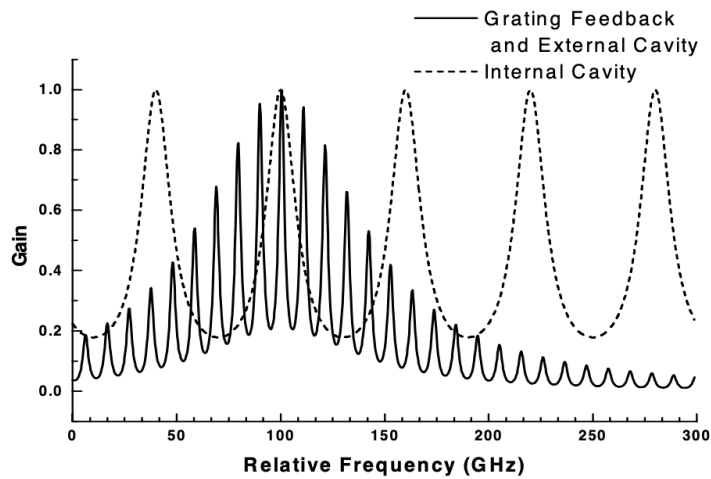


Abbildung 5: Einfluss der beiden Resonatoren und des Gitters [1]

## 2.4 Mode Hops

Da es für die weitere Verwendung des Lasers wichtig ist, dass das Laserlicht nur eine Wellenlänge besitzt, gilt es sogenannte *Mode Hops* zu verhindern. Sie entstehen, wenn der externe und der interne Resonator so aufeinander eingestellt sind, dass zwei verschiedene Wellenlängen verstärkt werden (vgl. Abbildung 6). In Darstellung **A** ist erkennbar, dass sowohl der externe wie auch der interne Resonator eine Wellenlänge deutlich verstärken. Verschieben sich die Verhältnisse wie in den Abbildungen **B** bis **D** dargestellt, addieren sich zwei verschiedene Wellenlängen. Zur Folge hat dies einen willkürlichen Sprung zwischen den beiden Wellenlängen in der Nettoleistung. Daher ist bei der Einstellung der Resonatoren besonders auf die Vermeidung solcher Mode Hops zu achten.

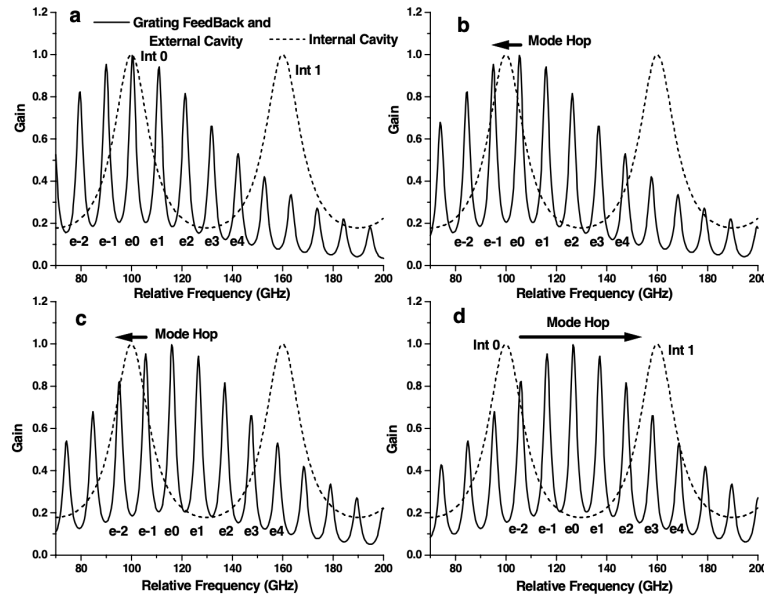


Abbildung 6: Darstellung verschiedener Mode Hops [1]

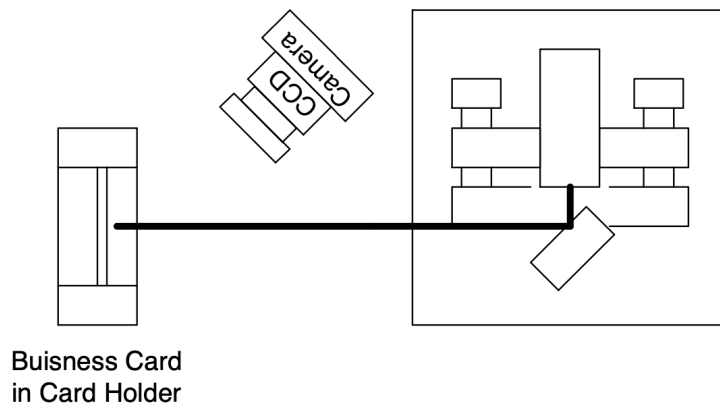
## 3 Durchführung

### 3.1 Lasergranulation

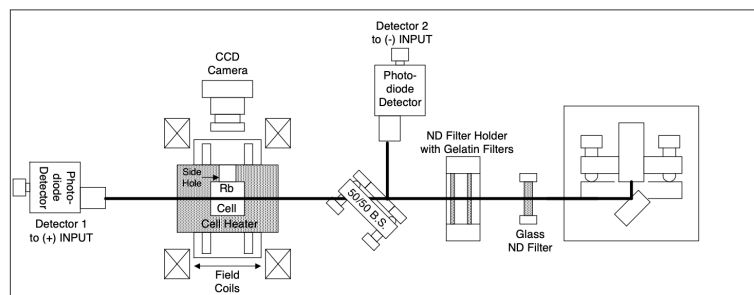
Um den Schwellenstrom zwischen LED (light emitting diode) und Laserlicht zu bestimmen, wird der Effekt der Lasergranulation verwendet. Lasergranulation tritt auf, wenn Laserlicht auf eine unebene Fläche trifft und dort reflektiert wird. Nach dem Huygen'schen Prinzip entsteht dabei an jeder Unebenheit eine neue Kugelwelle. Trifft nun monochromatisches Licht auf diese Streuzentren entsteht ein zufälliges Interferenzmuster, welches als körnige Lichtflecke zu erkennen sind. Um diesen Schwellenstrom zu bestimmen, wird eine unebene Oberfläche in den Laserstrahl gebracht (vgl. Abbildung 7). Strom und Winkel des Lasers werden so eingestellt, dass Lasergranulation beim kleinstmöglichen Strom auftritt. Die CCD Kamera dient als Detektor für das Infrarotlicht, da dieses mit bloßem Auge nicht zu erkennen ist.

### 3.2 Aufnahme des Transmissionsspektrums von Rubidium

Im nächsten Schritt wird der Laser, wie in Abbildung 8, durch eine Rubidium Zelle gelenkt. Die CCD-Kamera wird Richtung Rubidium Zelle ausgerichtet, um ein optisches Feedback zu erlangen. Zunächst wird ohne die Filter und den 50/50-Strahlteiler der Laser so eingestellt, dass in der Rubidium Zelle Ionisierung auftritt. Zu erkennen ist dies durch einen Lichtstrahl auf dem Bildschirm der CCD-Kamera. Zur Einstellung stehen neben dem optischen Gitter ebenfalls ein Piezo-Kristall, der sein Volumen abhängig von der Stromstärke ändert. Der Kristall bietet den Vorteil einer genaueren Justierung, als mit dem Gitter. Anschließend werden der Strahlteiler und die Filter dem Versuchsaufbau



**Abbildung 7:** Aufbau Lasergranulation [2]



**Abbildung 8:** Aufbau zum Ermitteln der Emissionslinien von Rubidium [2]

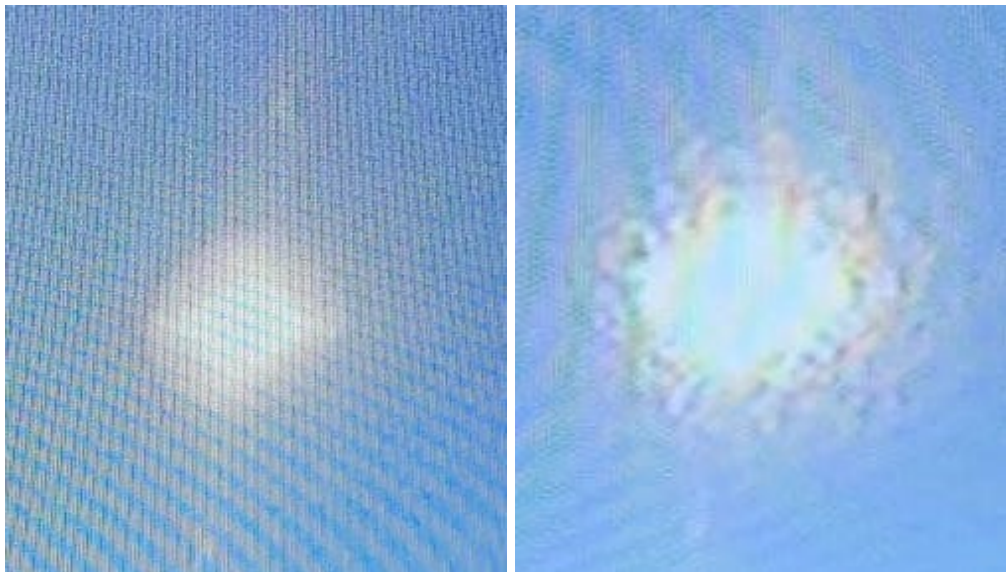
hinzugefügt. Der Strahlteiler und der zweite Detektor dienen dazu, den Hintergrund herauszufiltern. Die Filter werden eingebaut, um die Fotodiode zu schonen. Wichtig ist bei der Arbeit mit den Fotodioden, dass der Raum abgedunkelt ist, um die Messung nicht zu verfälschen. Der Aufbau ist nun so zu justieren, dass im gemessenen Spektrum keine Mode Hops mehr auftreten. Diese erkennt man an plötzlich abfallender Lichtintensität im Messgraphen. Treten Mode Hops auf, können die verschiedenen Peaks nicht mehr eindeutig zugeordnet werden.

## 4 Auswertung

### 4.1 Schwellenstrom

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, wird der Schwellenstrom mithilfe der Lasergranulation bestimmt. Der Übergang tritt bei einem Schwellenstrom von 34.5mA ein und ist in Abbildung 9 dargestellt.





**Abbildung 9:** Übergang von LED zu Laser Licht

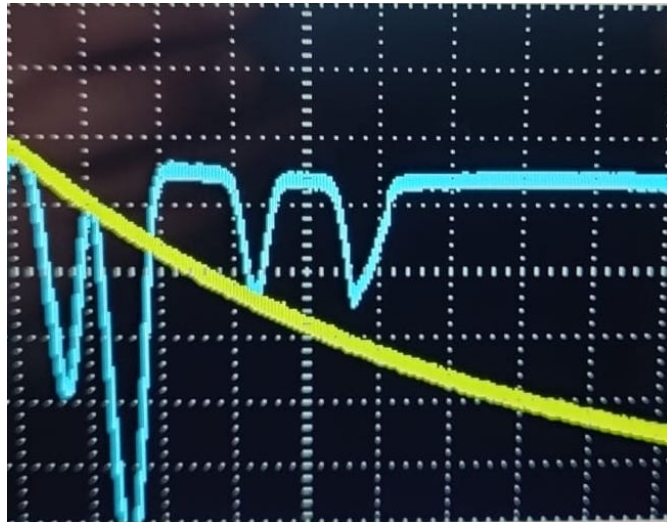
## 4.2 Rubidiumfluoreszenz und das Transmissionsspektrum

Die beim Einstellen des Aufbaus erforderliche Rubidiumfluoreszenz ist in Abbildung 10 dargestellt. Nach dem eliminieren der auftretenden Mode Hops ergibt sich der in



**Abbildung 10:** Rubidiumfluoreszenz

Abbildung 11 dargestellte Graph. Es sind deutlich die vier zu erwartenden Peaks zu erkennen. Von Links nach rechts die Übergänge 87a, 85a, 85b, 87b.



**Abbildung 11:** Transmissionsspektrum von Rubidium

## 5 Diskussion

Die Messung entspricht im Großen den Erwartungen. Sowohl die Lasergranulation tritt auf, als auch das erwartete Transmissionsspektrum. Allerdings sind trotz sorgfältiger Konfiguration einige Fehlerstellen zu erkennen, welche sich vermutlich auf Mode Hops zurückführen lassen. Beheben lässt sich dies durch eine noch gewissenhaftere Einstellung und etwas Erfahrung. Desweiteren kam es im Laufe des Versuches zu einer Verschiebung der Rubidium-Zelle mit der Folge von falschen Messergebnissen. Es gilt daher besonders bei optischen Versuchen auf einen genauen Aufbau zu achten, sodass alle Instrumente im Strahlengang des Lasers stehen und selbigen nicht ungewollt verfälschen. Insgesamt eignet sich der Versuch gut für Studenten um die Konfiguration von optischen Aufbauten zu üben, da sehr reliable Ergebnisse gemessen werden.

## Literatur

- [1] Tu Dortmund. *DIODE LASER SPECTROSCOPY LASER PHYSICS*.
- [2] Tu Dortmund. *GETTING STARTED, OVERVIEW of the INSTRUMENT, INITIAL SETUP, FIRST EXPLORATIONS*.
- [3] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [4] FiberLabs Inc. *Spontaneous and stimulated emission*. [Online; Stand 2. Mai 2022]. 2021. URL: <https://www.fiberlabs.com/glossary/spontaneous-and-stimulated-emission/>.
- [5] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [6] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [7] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.
- [8] Wikipedia contributors. *Population inversion* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Online; accessed 2-May-2022]. 2021. URL: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Population\\_inversion&oldid=1061495803](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Population_inversion&oldid=1061495803).