

# Mit Stickstoff geht ein Licht auf – Laser in der Schule

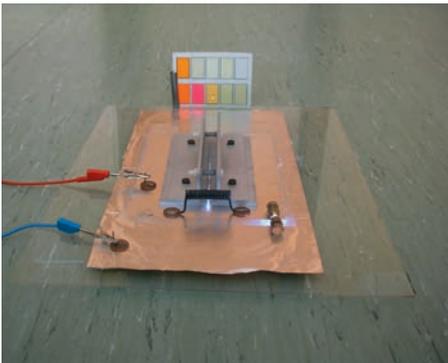
FLORIAN KARSTEN

Laser schneiden Metall, weisen die Richtung beim Tunnelbau und vermessen die Ozonschicht. Ohne Laser gäbe es keine DVD, keinen Laserdrucker und kein Hologramm. Aber so interessant die Anwendungen des Lasers in verschiedenen Bereichen unserer technisierten Welt auch sein mögen – das eigentlich Faszinierende ist das physikalische Prinzip, das hinter jedem Laser steckt.

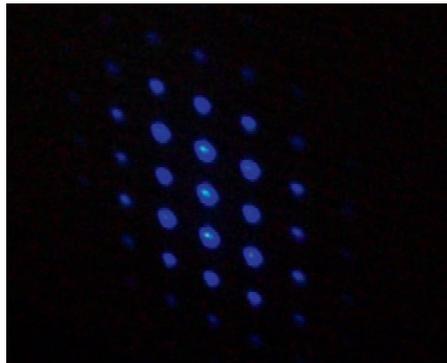
Dennoch bleibt den meisten Schülerinnen und Schüler dieses Prinzip verborgen. Denn in der Schule wird der Laser meist nur als geeignete Lichtquelle für Experimente verwendet, bei denen ein gebündelter Lichtstrahl benötigt wird. Die Funktionsweise des Lasers ist in der Regel kein Pflichtthema und wird – wenn überhaupt – ganz am Ende der Schulzeit besprochen. Ein Grund ist, dass man den Standard-Laser einer jeden Physiksammlung, den Helium-Neon-Laser, in der Schule nur schwer erklären kann. Man benötigt zu seiner Beschreibung unter anderem vier Energieniveaus, metastabile Niveaus, Gasröhren, Stoßprozesse, stehende Wellen und halbdurchlässige Spiegel. Es ist fast unmöglich, den Helium-Neon-Laser zu verstehen, ohne zuvor Grundlagen der Atom- und Quantenphysik kennengelernt zu haben. Dabei muss allerdings viel trockenes Vorratswissen angehäuft werden – ein nicht sehr motivierendes Verfahren. Kann man auch den Schülerinnen und Schülern, die das Fach Physik nicht bis zum Abitur fortführen, beibringen, wie ein Laser funktioniert? Ja, mit Hilfe eines einfachen Modells und eines raffinierten Experiments: dem Stickstoff-Laser. Er ist übersichtlich aufgebaut und kommt ohne Spiegel und Gasröhren aus. Außerdem fasziniert er durch die Einfachheit der verwendeten Bauteile wie Münzen, Schrauben und Alufolie. Man könnte ihn sogar in kurzer Zeit aus Haushaltsartikeln zusammenbauen, die man in der Küche und im Keller findet – vom Hochspannungsnetzteil abgesehen. Und man kann seine Funktionsweise auch verstehen, ohne vorher Atom- und Quantenphysik gelernt zu haben. Dadurch ist es sogar möglich, die grundlegenden Prinzipien des Lasers schon in der Mittelstufe zu behandeln.

Anhand des Stickstoff-Lasers kann man im Unterricht nach und nach folgende Fragen beantworten:

1. Welche Eigenschaften hat Laserlicht?
2. Erzeugt der Stickstoff-Laser wirklich Laserlicht?
3. Wie funktioniert der Stickstoff-Laser?
4. Wie entsteht das Laserlicht?
5. Wird Licht von Atomen tatsächlich absorbiert und emittiert?
6. Warum ist die Energie in Atomen quantelt?



Der Stickstoff-Laser



Interferenz an einem Gitter

Anschließend kann man den Weg zurück verfolgen und mit Hilfe des erarbeiteten Wissens die kompliziertere Funktionsweise des Helium-Neon-Lasers untersuchen.

Zu Beginn des Unterrichts vergleichen die Schülerinnen und Schüler in einer Reihe von Experimenten das Licht eines Laserpointers mit dem einer gewöhnlichen Lichtquelle und leiten daraus die Eigenschaften des Laserlichtes ab: Laserlicht ist einfarbig, gebündelt, intensiv und kohärent.

### Der Stickstoff-Laser

Im nächsten Schritt wird der Stickstoff-Laser demonstriert; man hält einen grauen, ungebleichten Karton in den Laserstrahl; es knallt zwar laut, aber ein Laserstrahl ist nicht zu sehen. Dies liegt daran, dass der Stickstoff-Laser ultraviolettes Licht emittiert. Hält man weißes, gebleichtes Papier in den Strahl, erscheint bei jedem Knall

ein kleiner blauer Punkt. Mit Hilfe eines Gitters können Einfarbigkeit und Kohärenz gezeigt werden. Die Bündelung des Laserlichts kann man zeigen, indem man einen blauen Punkt an der mehrere Meter entfernten Zimmerwand erzeugt.

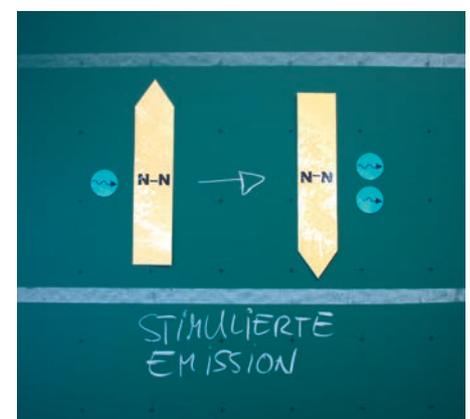
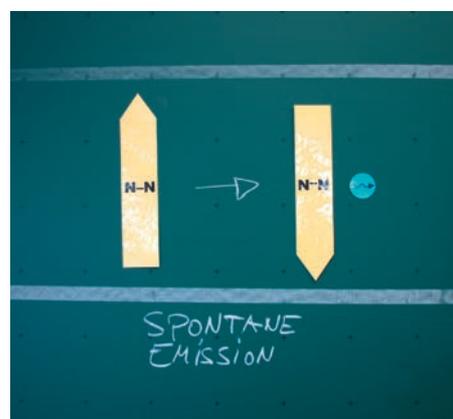
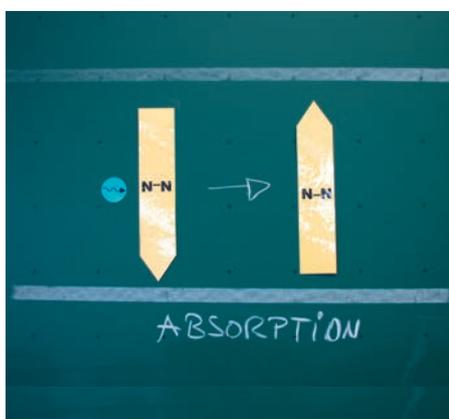
So einfach der Stickstoff-Laser auf den ersten Blick auch aussieht, so kompliziert ist es, seine elektrische Funktionsweise genau zu verstehen: Mit Hilfe des Hochspannungsnetzteils und eines Kondensators erzeugt man eine Serie von Überschlügen entlang des gesamten Laserkanals, die die Stickstoffmoleküle im Laserkanal auf ein höheres Energieniveau „heben“. (Die genaue Untersuchung der elektrischen Funktion kann man in der Mittelstufe überspringen.)

### Wie entsteht das Laserlicht?

Die Entstehung des Laserlichtes physikalisch korrekt zu erklären, ist aufwendig

und schwierig. Für den Schulunterricht bietet sich ein anschauliches Modell an, mit dessen Hilfe die Schülerinnen und Schüler die Wechselwirkungsprozesse zwischen Stickstoff und Licht verstehen können. Dieses Modell für den Stickstoff-Laser besteht aus Photonen- und Stickstoff-Symbolen. Letztere sind Pfeile, die den Anregungszustand des Stickstoff-Moleküls anzeigen. Mit Hilfe der Symbole lassen sich die Absorptions- und Emissionsprozesse in Momentaufnahmen darstellen. Der Stickstoff-Anteil der Luft beträgt rund 78 %, weshalb man modellhaft davon ausgehen kann, dass sich nur Stickstoff-Moleküle im Laserkanal befinden. Für das Modell benötigt man zwei Niveaus: ein „oberes Niveau“ und ein „unteres Niveau“. Anhand des Pfeil-Modells werden die drei Wechselwirkungsprozesse besprochen:

- Absorption: Das Stickstoff-Molekül kann ein Photon passender Energie absorbieren und springt dabei vom unteren aufs obere Energieniveau.
- Spontane Emission: Befindet sich das Stickstoff-Molekül im oberen Energieniveau, so fällt es nach einer Zeit, die nicht vorhersagbar ist, spontan aufs untere Niveau zurück. Dabei sendet es ein Photon aus. Dieses Photon besitzt dieselbe Energie wie das zuvor absorbierte.
- Stimulierte Emission: Trifft ein Photon ein Stickstoff-Molekül, das sich im oberen Energieniveau befindet, so kann es eine vorzeitige Emission sti-





mulieren: Das Stickstoff-Molekül fällt sofort wieder aufs untere Niveau zurück und sendet ein Photon aus. Das stimulierende und das entstandene Photon haben dieselbe Energie und laufen beide im Gleichschritt (Kohärenz).

Die Schülerinnen und Schüler spielen mit diesem Modell und entdecken, dass eine große Photonenzahl (Lichtverstärkung) am besten zu erreichen ist, wenn alle Stickstoff-Moleküle im oberen Niveau sind. Diese sogenannte „Besetzungsinversion“ wird durch die vielen kleinen Funkenüberschläge im Laserkanal hergestellt.

Bei diesem Aufbau wird also Licht durch stimulierte Emission verstärkt: „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – LASER“.

### Weiterführung des Unterrichts in der Oberstufe

Mit Hilfe des Pfeilmodells kann man den Laser also bereits in der Mittelstufe verstehen. Das Modell setzt allerdings einige Annahmen voraus, die in der Mittelstufe nicht erklärt werden können:

- Atome senden Photonen aus und nehmen Photonen auf.
- Existenz diskreter Energieniveaus der Atome.
- An der Lichtentstehung sind (vereinfacht) nur zwei Energieniveaus beteiligt.
- Bei der stimulierten Emission „fliegen“ stimulierendes und stimuliertes Photon in dieselbe Richtung.

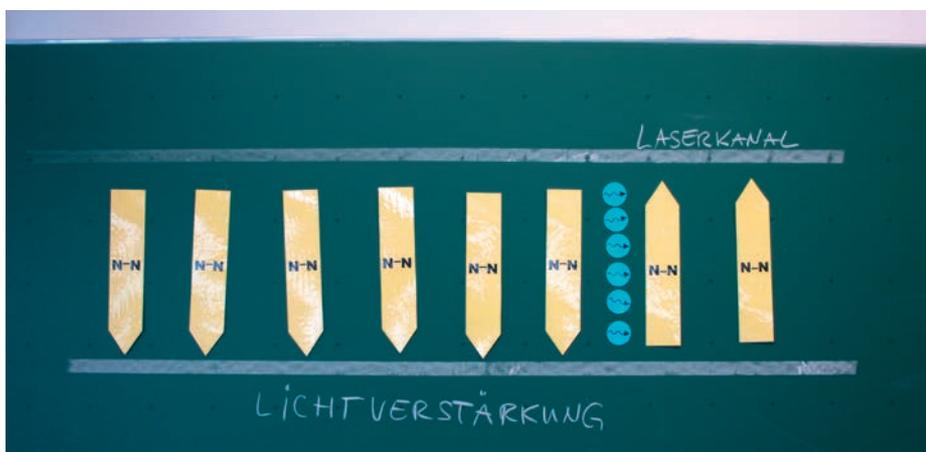
In der Oberstufe kann man weitergehen und diese Annahmen erforschen und ver-

stehen (die vierte Annahme ist eigentlich erst an der Universität erklärbar). Hierzu untersuchen die Schülerinnen und Schüler die Absorption und Emission von Strahlung und erkennen anhand des Wasserstoffs den Zusammenhang zwischen diskreten Energieniveaus und Spektrallinien. Sie verstehen, warum das Bohr'sche Atommodell mit seinen festen Elektronenbahnen nicht richtig sein kann, und beschäftigen sich mit dem heute verwendeten Atommodell. Über die Schrödingergleichung, die Energiequantisierung und die Energiestufen des Wasserstoffatoms wird eine Erklärung für die Spektrallinien des Wasserstoffs erarbeitet.

Mit Hilfe des Stickstoff-Lasers ist es also möglich, das faszinierende Prinzip des Lasers auch in der Schule anschaulich und motivierend zu erklären.

### Weitere Informationen zum Stickstoff-Laser und zum Unterrichtsgang

[www.floriankarsten.de/laser.html](http://www.floriankarsten.de/laser.html)



### KONTAKT:

**Florian Karsten**  
Staatliches Seminar für Didaktik  
und Lehrerbildung (Gymnasien)  
Stuttgart

E-Mail: [karsten@seminar-stuttgart.de](mailto:karsten@seminar-stuttgart.de)  
Internet: [www.floriankarsten.de](http://www.floriankarsten.de)