

Der Stickstofflaser

Dr. Diane M. Neisius

WARNUNG

Die Verfasserin dieser Anleitung übernimmt keine Gewährleistung oder Haftung für irgendetwas, weder für das Funktionieren des hier beschriebenen Gerätes noch für seine Ungefährlichkeit. Ein Stickstofflaser der hier beschriebenen Bauart IST gefährlich. Er stinkt, ist laut, produziert reizende Gase, hat potentiell tödliche elektrische Spannung führende Metallteile, kann implodieren und gibt UV-Strahlung ab, die in ihr ausgesetzter Haut den denkbar unangenehmsten Fall von Sonnenbrand (einschließlich Hautkrebs-Risiko) verursacht.

WER DIESEN LASER NACHBAUT TUT ES AUF EIGENE GEFAHR!

Der Stickstofflaser gehört zu den am einfachsten aufgebauten Lasern überhaupt. Er nutzt die Inversion zwischen zwei angeregten elektronischen Zuständen des Stickstoffmoleküls. Da dieses Molekül mit seiner Dreifachbindung zwischen den beiden Atomen sehr fest gebunden ist, sind die Energieniveaus der Anregung entsprechend hoch. Anders als bei anderen Molekül-Lasern, bei denen Schwingungen der Bindungen angeregt werden, liegt die emittierte Laserstrahlung deshalb auch im Ultraviolett-Bereich des Spektrums bei 337 Nanometern.

Stickstofflaser gehören zu einer speziellen Klasse, den sogenannten *selbsterminierenden Lasern*. Bei ihnen ist eine wesentliche Bedingung für kontinuierlichen Laserbetrieb nicht erfüllt, nämlich, daß das obere Laserniveau eine größere Lebensdauer als das untere hat. Man kann daher diese Klasse von Lasern nur mit sehr kurzen und heftigen Pulsen betreiben: die gesamte Anregungsenergie wird in das Gas eingebracht, noch ehe das obere Laserniveau Zeit hat, sich durch spontane Emissionen zu entleeren. Als eine Folge dieses Tricks tritt eine enorm große Inversion auf, mit einer gegenüber anderen Lasern um viele Größenordnungen höheren Verstärkung. Diese kann so groß werden (bei Stickstoff bis zu 10^{34} pro Meter), daß die Anordnung ohne jede Art von Rückkopplung durch Spiegel starke Laserblitze aussendet. Laser dieser Art bezeichnet man auch als *Superstrahler*.

In der Folge wird der Bau einer sehr einfachen Laserröhre für den Betrieb mit Stickstoff (technische Reinheit genügt) oder sogar gewöhnlicher Luft beschrieben. Da Luft nur etwa 80% Stickstoff enthält (der Rest ist im wesentlichen Sauerstoff, der die Inversion des Stickstoffes stark stört), kann man in diesem Fall aber nur mit verringerter Ausgangsleistung rechnen – grobe Daumenregel ist etwa ein Viertel des Wertes von reinem Stickstoff bei gleichen Betriebsbedingungen.

Die Röhre

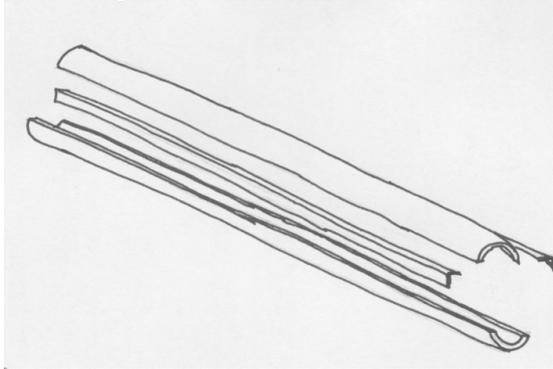
Für den Bau einer Stickstoff-Laserröhre bieten sich die Materialien Plexiglas und Messing an. Kleine Messingprofile für die Elektroden lassen sich in Meterlänge über den Modellbau-Handel beziehen, Plexiglas-Rohre sind in Standardgrößen über kunststoffverarbeitende Betriebe zu bekommen. Als Austrittsfenster für die Laserstrahlung eignen sich gewöhnliche Mikroskop-Objekträger aus dem Laborhandel. Sie werden heute aus BK7-Glas gefertigt, das im UV bis ca. 340 nm durchlässig ist. Die Strahlung des Stickstofflasers liegt also gerade an der Grenze. Meiner Erfahrung nach bringt der Kauf eines teuren UV-durchlässigen Herasil-Objekträgers (das ist Quarz) aber keinen Vorteil.

Stickstoff-Laser werden i.a. *transversal* gepumpt, d.h. die Gasentladung läuft quer zur Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung. Das macht den Bau der Entladungsstrecke gegenüber dem longitudinalen Fall etwas anspruchsvoller, doch ist Plexiglas leicht genug zu bearbeiten, daß hierdurch kein wesentlicher Nachteil entsteht.

Stickstoff verlangt ein gewisses Verhältnis von Feldstärke der elektrischen Entladung zu Gasdruck, um in die Inversion zu gelangen. Der optimale Wert ist von vielen verschiedenen Autoren empirisch als $200 \text{ Vcm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$ gefunden worden; er ist beim Bau eines Stickstofflasers in Hinblick auf die verfügbare Hochspannung und Vakuumpumpe die wichtigste Größe für den Entwurf. Das gilt jedoch nicht für alle möglichen Extremfälle, sondern nur in einem Bereich von wenigen bis zu einigen hundert Torr Druck und Spannungen größer als ein paar Kilovolt. Folglich wird die Länge der Entladungsstrecke (und damit der Durchmesser der Röhre) ein bis wenige Zentimeter betragen. Für meine Spannungsversorgung von 10 kV haben sich Elektrodenabstände zwischen 10 und 15 Millimeter als brauchbar erwiesen. Die Drücke müssen dann ungefähr zwischen 20 und 50 Torr liegen – ein Wert, der sich gut mit sehr preiswerten Laborpumpen erreichen läßt. Im Betrieb ist ein Stickstofflaser dann relativ gutmütig, d.h. erfahrungsgemäß gibt es einen relativ breiten Druckbereich um 35 Torr, in dem optimale Betriebsbedingungen erreicht werden.

Für den Bau einer Röhre mit einem Elektrodenabstand von 10 mm besorgt man sich zwei ineinanderpassende Rohre aus Plexiglas mit 2 mm Wandstärke, z.B. 16 mm außen/ 12 mm innen und 20 mm außen/ 16 mm innen. Für die Elektroden eignen sich kleine Winkel- oder T-Profile aus Messing mit einer Schenkellänge von 4 oder 5 mm.

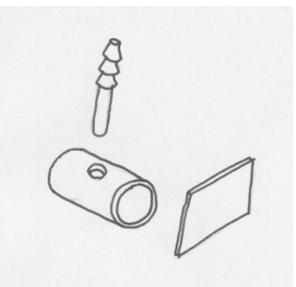
Ein kleiner Laser kommt schon mit 30 cm Verstärkungsstrecke aus (ich habe auch welche bis hinab zu 10 cm noch erfolgreich betrieben), längere Laser bringen jedoch mehr Leistung, sind aber auch schwieriger zu bauen bzw. brauchen stärkere Netzteile und Kühlung. 30 cm sind gut handhabbar.



Man sägt zuerst aus den Messingprofilen zwei 30 cm lange Stücke ab. Diese bilden die Elektroden. Von dem dünneren Plexiglasrohr sägt man dann ein zwei Zentimeter längeres Stück ab (hier also 32 cm), das dann als nächstes *längs* durchgesägt werden muß. Bei 30 cm Länge läßt sich das noch ganz gut mit einer gewöhnlichen Laubsäge bewerkstelligen, längere Laser erfordern hier eine Bandsäge oder eine Zugsäge, in der das Blatt quer eingespannt werden kann. Es ist sehr wichtig, daß der Schnitt eine Ebene bildet, die beiden Kanten dürfen nicht windschief zueinander sein! Vorher

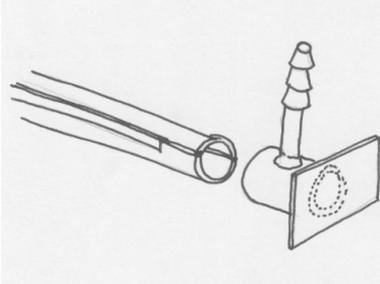
anzeichnen (mit Edding) und Peilen entlang der Rohrachse ist hilfreich. Kleine Unebenheiten werden nach dem Sägen flachgeschliffen (Schmirgelpapier auf glatter Unterlage), bis die beiden Halbrohre mit den dazwischengeklebten Messingelektroden sich an den Enden in die größeren Plexiglasrohre schieben lassen. Paßt das, werden die Elektroden und die Rohrhälften mit Epoxidharz (Zweikomponentenkleber) auf ganzer Länge verklebt. (Mit Wäscheklammern oder Gummiband fixieren; darauf achten, daß die Elektrodenkanten parallel verlaufen!).

Für die Endkappen sägt man zwei etwa 5 cm lange Stücke des größeren Rohres ab. Die Schnittkanten, die später die Austrittsfenster der Röhre tragen, dürfen dabei ruhig etwas schräg sein, um unkontrollierte Reflexionen der Laserstrahlung zurück in die Röhre zu verhindern. Seitlich in beide Rohre bohrt man je ein Loch von 7 mm Durchmesser, auf oder in das die Schlaucholiven geklebt werden. (Man kann hier entweder eine beidseitige Glasolive vom Glasbläser holen, mit dem Glasschneider in der Mitte ritzen und durchbrechen und erhält so zwei Oliven, die man mit Epoxidharz in das Loch klebt – natürlich ohne daß der Kleber das Loch verstopft! - oder man besorgt sich einen Messing-Schlauchverbinder für Preßluftschläuche aus dem Baumarkt, den man in der Mitte durchsägt.) Es ist wichtig, hier für eine gewisse Zugentlastung zu sorgen, damit man die Oliven nicht später unbeabsichtigt beim Aufschieben oder Abziehen der Schläuche abbricht. Das kann mit Hilfe von Plexiglasresten oder durch "Modellierung" mit Hilfe einer größeren Menge Epoxidharz geschehen. Ggfs. ist auch Spachtelmasse oder Glasfasermatte geeignet.



Für die beiden Austrittsfenster ritzt man einen Mikroskop-Objektträger in der Mitte mit dem Glasschneider und bricht ihn durch. Man erhält so zwei ca. 38 x 25 mm große Scheiben, die auf je eine der Endkappen aufgeklebt werden. Es hat sich als günstig erweisen, die Endkappen dabei senkrecht auf den Tisch zu stellen, nur den äußeren Rand der Schnittfläche mit Epoxy sparsam

einzustreichen und das Glas einfach aufzulegen. Es drückt sich in den ersten Minuten durch sein Eigengewicht langsam selbst an. Vorsicht bei schräg geschnittenen Endkappen, hier kann das Glas ins Rutschen kommen – abstützen! Vorsicht auch mit verschmiertem Epoxidharz, es läßt sich vom Glas nicht mehr entfernen! Sauberes Arbeiten ist an diesem Punkt sehr wichtig, denn die Fenster lassen die Laserstrahlung nur dann ungestört austreten, wenn sie frei von Verschmutzungen sind. Fingerabdrücke sind unbedingt zu vermeiden.



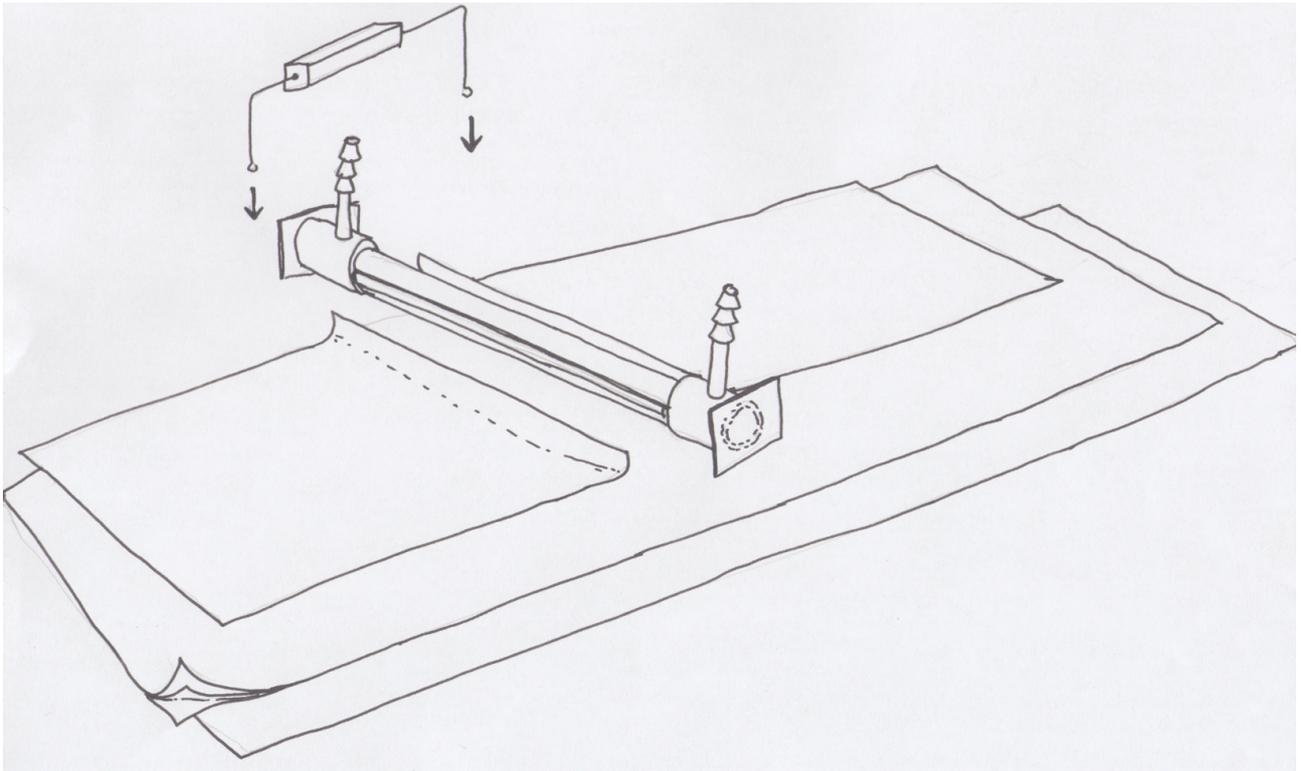
Wenn alles ausgehärtet ist, werden die Endkappen auf das Mittelteil der Röhre mit den Messingelektroden aufgeschoben und verklebt. Besitzt man eine Pumpe und ein Vakuum-Meßgerät, kann man die Röhre an diesem Punkt schon auf Dichtigkeit testen: sie sollte sich, wenn die eine Olive durch einen Blindstopfen verschlossen ist, schon bis zum Grenzdruck der Pumpe evakuieren lassen. Ist das nicht der Fall, müssen fehlerhafte Klebestellen gesucht und mit Epoxidharz abgedichtet werden.

Die Bandleiter

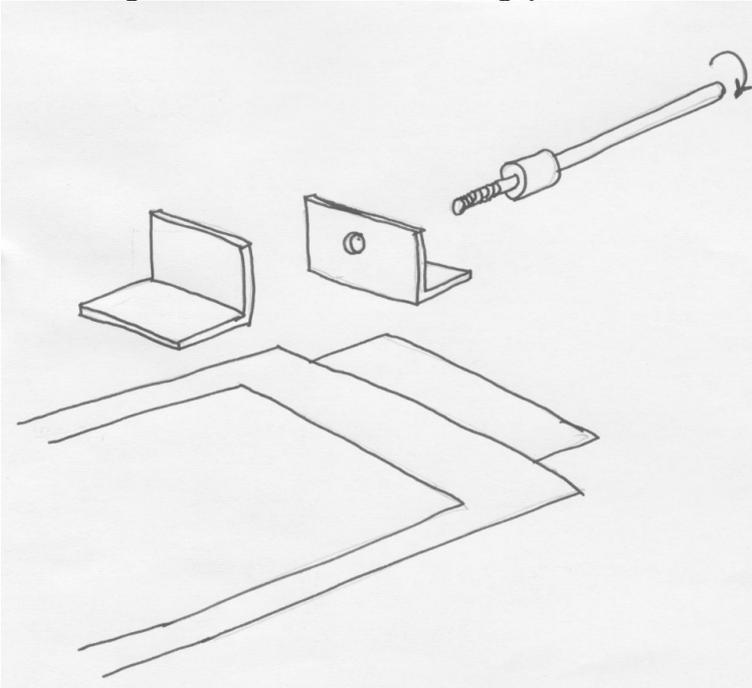
Zur Erzeugung des kurzen starken Entladungspulses, der die Inversion erzeugt, verwendet man eine Schaltung, die als *Blümlein-Generator* bekannt geworden ist. Sie besteht aus zwei bandförmigen Leitern, die auf ganzer Breite mit den Elektroden des Lasers verbunden sind. Beide Bandleiter liegen auf einem Dielektrikum auf, das seinerseits auf einem gemeinsamen Leiter liegt. Beide Bandleiter bilden mit dem gemeinsamen Leiter also Kondensatoren. Einer der beiden Bandleiter kann gegen den gemeinsamen Leiter mit Hilfe einer Funkenstrecke kurzgeschlossen werden. Damit während des Ladezyklus beide Bandleiter gegen den gemeinsamen Leiter mit der Hochspannung geladen werden, liegt ein Drahtwiderstand parallel zur Entladungsstrecke in der Röhre.

Der Blümlein-Generators wird in Betrieb gesetzt, indem nach Laden beider Bandleiter auf das gleiche Potential die Funkenstrecke gezündet wird. Anfangs liegt jetzt noch keine Spannungsdifferenz über der Röhre, doch bilden der eine Bandleiter und die damit verbundene (jetzt leitende) Funkenstrecke einen LC-Schwingkreis, dessen Eigenfrequenz wegen der kompakten Bauweise ziemlich hoch ist. Innerhalb weniger Nanosekunden schwingt der Kreis über, und jetzt liegt sehr schnell eine hohe Spannungsdifferenz über der Röhre, die dann ebenfalls zündet. Anders als in einer gewöhnlichen Kondensatorentladung, in der die Spannung schnell fällt, neigt der LC-Kreis aber dazu, die Spannungsdifferenz gegen den 2. Bandleiter weiter zu erhöhen. In der Folge bildet sich ein enorm starker Strompuls in der Röhre, der schon in kleinen Lasern einige tausend Ampere erreichen kann. Wenige Nanosekunden hält die Entladung in der Röhre an und hinterläßt eine hohe Population an Stickstoffmolekülen im oberen Laserniveau, die sich in einem kurzen starken Laserblitz abbaut.

Ein Blümlein-Generator kann auf einfache Weise aus billigen Materialien gebaut werden. Küchen-Alufolie (die praktischerweise gerade 30 cm breit ist) eignet sich für die Bandleiter, und das Dielektrikum kann man aus mehreren Lagen PVC-Folie herstellen, wie sie für wasserfeste Gartentischdecken verwendet wird. Diese Folie, am besten geeignet ist die farblose Sorte, ist i.a. 0,1 mm stark und hält im Dauerbetrieb minimal ca. 4 kV Spannung aus. Für einen mit 10 kV betriebenen Laser müßten also drei Lagen gestapelt werden (ergibt $d = 0.3$ mm). Die zugehörige Dielektrizitätskonstante von PVC beträgt $\epsilon_r = 3,25$. Die Länge der Bandleiter beeinflußt natürlich die Kapazität (und damit die pro Puls zur Verfügung stehende Energie), man kann mit 50 cm beginnen und die Länge im Experiment variieren. Auch zwei unterschiedlich lange Bandleiter sind möglich. Man darf keinesfalls vergessen, die PVC-Folie größer als die Alufolie zuzuschneiden, damit es am Rand nicht zu Funkenüberschlägen kommt! Pro 10 kV Spannung sind 1 cm Überstand ein gutes Maß, an kritischen Stellen sind 2 cm besser.



Als gemeinsamen Leiter kann man ebenfalls Alufolie nehmen oder, in der haltbaren Variante, eine Metallplatte. Es ist auch möglich, den Bandleiter aus einer doppelseitig kupferkaschierten Platine herzustellen, wobei man dann allerdings die Spannungsfestigkeit des Dielektrikums vorher testen sollte. Der gesamte Aufbau einschließlich Röhre muß auf einer dicken Grundplatte aus isolierendem Material befestigt werden. Die Alufolie wird an den Messingelektroden mit etwas transparentem Klebeband befestigt. Es sollte möglichst kein Luftspalt bleiben, da die Funkenerosion sonst in kurzer Zeit einen beträchtlichen "Mottenfraß" an der Folie anrichten kann. Am Dielektrikum muß man die Alufolie nicht befestigen, sie wird beim Einschalten der Hochspannung durch die elektrostatische Anziehung unter hörbarem Knistern angepreßt.



Die Funkenstrecke kann ebenfalls recht einfach aus Messing- oder Aluminiumwinkeln gebastelt werden, die mit isolierenden Klammern am Bandleiter und gemeinsamen Leiter befestigt werden (das erlaubt es, für Experimente die Position zu verändern!). Der Abstand zwischen beiden sollte mindestens 2 cm betragen. Der außen liegende Winkel wird vorher durchbohrt und in die Bohrung Gewinde geschnitten (alternativ kann bei einem Messingwinkel vor das Loch eine Mutter gelötet werden). Da hinein dreht man eine lange Schraube, an deren Kopf mit Hilfe eines darübergezogenen Restes Vakuumschlauch ein langer Plastikstab befestigt ist. Er erlaubt das gefahrlose Verstellen der Funkenstrecke bei

eingeschalteter Hochspannung. Ich habe allerdings auch Amateur-Laser gesehen, bei denen zwei Hutmuttern mit je einer hineingedrehten Sechskantschraube lose auf Bandleiter und gemeinsamem Leiter auflagen und mit einem Plastikstab verschoben wurden, bis der Funken übersprang.

Als Ladewiderstand über den Elektroden der Röhre kann man einen handelsüblichen $1k\Omega$, 10W Drahtwiderstand verwenden.

Auch die Bandleiter sollte man vor Inbetriebnahme des Lasers testen. Dazu wird die Röhre auf Atmosphärendruck belassen und die Funkenstrecke ganz herausgedreht, so daß keine Zündung erfolgen kann. Die Hochspannungsversorgung wird nun angeschlossen und eingeschaltet. Üblicherweise laden sich beide Bandleiter nun mit hörbarem Knistern auf, doch weiter sollte nichts geschehen (VORSICHT – nicht anfassen! Lebensgefahr!). Vielleicht wird nach einiger Zeit Ozongeruch bemerkt. Falls mit hörbarem Knall irgendwo Funken überspringen (oder gar das Dielektrikum durchschlägt, was i.a. durch einen blauweißen Lichtbogen und eine Menge Gestank leicht zu bemerken ist), ist das Dielektrikum falsch dimensioniert und muß ausgewechselt werden. Erfahrungsgemäß reicht es für diesen Test, die Hochspannung für etwa eine Viertelstunde eingeschaltet zu lassen. Hat es dann noch keinen Überschlag gegeben, ist alles ok. Achtung: nach Abschalten des Stromes warten, bis die Spannung auf Null gefallen ist. Ein Entladewiderstand und ein Meßgerät an der Spannungsversorgung sind eine gute Idee.

Vakuumpumpe

An dieser Stelle sind vielleicht ein paar Worte zur Vakuumpumpe angebracht. Grundsätzlich kann ein Stickstofflaser mit der einfachsten und billigsten Pumpe für das Labor betrieben werden, nämlich einer Wasserstrahlpumpe. Es gilt dabei nur zu bedenken, daß die beiden Arbeitsumgebungen Feuchtigkeit und Hochspannung sich überhaupt nicht gut vertragen. Eine Mischung aus beiden bedeutet eine gute Chance auf einen überraschenden Stromschlag. Bei der Höhe der Spannung wird das üblicherweise der letzte im Leben sein.

Falls jemand unbedingt eine Wasserstrahlpumpe verwenden will (wider alle besseren Ratschläge), so sollte dringend darauf geachtet werden, daß Wasser und Strom weit voneinander getrennt werden. Sprich: die Strahlpumpe, die üblicherweise am Wasserhahn angeschraubt ist, sollte (a) über ein *Rückschlagventil* verfügen, damit unter keinen Umständen Wasser in die Röhre gelangen kann und (b) über einen *sehr langen Vakuumschlauch* mit der Röhre verbunden sein, die ihrerseits auf einer *erhöhten, trockenen, isolierenden Unterlage weit entfernt* vom Wasserhahn steht und unter keinen Umständen mit Wasser in Berührung gelangt. Besser und nicht viel teurer ist jedoch eine einfache Membranpumpe, die ohne Wasser auskommt.

Grundsätzlich braucht man zum Betrieb des Lasers sonst nur noch eine drosselbare Öffnung, wie sie zum Beispiel ein Nadelventil aus einer Lötlampe (gibt's in manchen Baumärkten als Ersatzteil auch einzeln) darstellt. Man kann aber auch aus Glasrohr eine Siedekapillare ausziehen, von der man im Betrieb solange kleine Stücke mit der Zange abbricht, bis die Laserstrahlung ein Maximum erreicht. Mit etwas Geschick ist das auch ohne Druckmeßgerät möglich, ein einfaches Manometer aus dem Laborhandel (auch ein Meßgerät für Vergaserunterdruck aus dem Kfz.-Handel ist geeignet) vermeidet jedoch den totalen Blindflug und ist nicht übermäßig teuer.

Siedekapillare oder Nadelventil werden auf der einen Seite an die Laserröhre angeschlossen, Pumpe und Druckmeßgerät an die andere. Auf die oben beschriebene Weise wird nun bei laufender Pumpe der Druck am Nadelventil eingestellt. Es empfiehlt sich, das vorab ohne Hochspannung zu testen. Wer eine Gasflasche mit Stickstoff besitzt, kann natürlich auch diese mit dem Nadelventil (über einen Druckminderer!!!) verbinden. Im Betrieb wird nun das Gas, ob Luft oder Stickstoff, ständig durch die Röhre gepumpt. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß sie bei genügend leistungsfähiger Pumpe gegen kleine Undichtigkeiten nahezu immun ist und zugleich die Erwärmung des Lasergases durch die Hochspannungsentladung bei nicht zu hoher Pulsfolge keine Rolle spielt.

Bei den Schläuchen gibt es leider keine Alternative zum Vakuumschlauch aus dem Laborhandel. Andere Schläuche sind nicht dickwandig genug, um dem äußeren Luftdruck zu widerstehen.

Hochspannungsnetzteil

Ein technisch etwas aufwendigeres Kapitel bildet die Hochspannungsversorgung. Es ist am einfachsten, sich ein Netzteil für eine Neon-Leuchtreklameanlage zu besorgen. Übliche Größen solcher Netzteile sind z.B. Werte von 4 kV~, 35 mA. Heutzutage meist als Schaltnetzteile ausgeführt, kann man Glück haben und aus einer verschrotteten alten Anlage einen Trafo ausschlagen. Diese Trafos sind i.a. unverwüstlich (ich besitze einen, der mit Baujahr 1960 älter als ich ist, einen angerosteten Kern hat und noch immer anstandslos läuft) und haben den großen Vorteil, daß sie aufgrund einer eingebauten Kerndrossel praktisch kurzschlußfest sind.

Für ein solches Netzteil (welcher Art auch immer), das zunächst nur Wechselspannung liefert, bastelt man sich einen einfachen Brückengleichrichter oder Spannungsverdoppler. Wer nicht weiß, wie das geht, sollte von der ganzen Geschichte besser die Finger lassen und jemand fragen, der oder die sich damit auskennt; ich gebe deshalb hier keine Details an. Die Bauteile dafür sind handelsübliche Dioden 1N4007 (bis 1000 V) und Netz-Elkos (400 V-Typen) in Reihenschaltung. Die Daumenregel, bei einer solchen Reihenschaltung ungefähr 50% Sicherheitsspielraum zu lassen, hat sich dabei bewährt (das bedeutet, daß ich für eine 10 kV-Diode nicht 10, sondern 15 Dioden 1N4007 mit je 1000 V Spannungsfestigkeit in Reihe schalte! - entsprechend für die Kondensatoren). Einen so gebauten Spannungsverdoppler in Villard-Schaltung betreibe ich seit fast 20 Jahren ohne Durchschlag.

Meßgeräte für Hochspannung gibt es ebenfalls nicht von der Stange zu kaufen, hier kann man sich mit einem Mikroamperemeter behelfen, dem man einen passenden Vorwiderstand spendiert (für ein 10-kV-Voltmeter z.B. 100 µA-Meßgerät mit 100 MΩ-Vorwiderstand). Man sollte diesen Aufwand aber nicht scheuen, er vermeidet nicht nur Blindflug, sondern kann auch lebensrettend sein.

Kabelverbindungen für die Hochspannungsversorgung bastelt man sich zweckmäßig aus Zündkabel, das es als Meterware im Kfz.-Ersatzteilhandel gibt. Es ist dick genug isoliert, um 40 kV standzuhalten und sollte für alle Amateuranwendungen ausreichend sein. Sehr wichtig ist es, auf ausreichenden Berührungsschutz in der Nähe aller Löt-/ Verbindungsstellen zu achten, an denen die Isolierung ja entfernt werden muß.

Ein anderes Kapitel ist die Begrenzung des Ladestromes. Mit einem Neon-Trafo alter Bauart ist man hier auf der sicheren Seite, besser ist es aber in jedem Fall, einen Widerstand zur Strombegrenzung vorzusehen. Die erforderlichen hohen Ohmwerte gibt es in der nötigen Wattzahl natürlich wieder mal nicht zu kaufen, man muß sich daher auch hier mit Reihenschaltungen behelfen.

Inbetriebnahme des Lasers

Sind alle Vorbereitungen abgeschlossen, so kann man den Laser in Betrieb nehmen. Dazu verbindet man die eine Seite der Röhre über ein Stück Vakuumschlauch mit dem Nadelventil, das zunächst zugedreht wird, und die andere Seite der Röhre über Vakuumschlauch mit dem Druckmeßgerät und der Pumpe. Die Pumpe wird eingeschaltet und die Röhre evakuiert.

Ist der Laser im Rahmen der Genauigkeit des Druckmeßgerätes evakuiert (die Pumpe bleibt die ganze Zeit eingeschaltet!!!), dreht man vorsichtig das Nadelventil auf, bis ein Druck von etwa 25 bis 50 Torr im Durchfluß erreicht wird. Das sollte selbst mit einer groben Vergaseruhr halbwegs machbar sein.

Nun wird die Hochspannung an den Laser angeschlossen, und zwar je ein Pol der gleichgerichteten Spannung an eine Seite der Funkenstrecke. Die Schraube in der Funkenstrecke wird bis auf einen Abstand von etwa 15 mm (ich gehe mal von den anfangs angeregten 10 kV Ladespannung aus) herausgedreht. Jetzt kann die Hochspannung eingeschaltet werden (ACHTUNG – nicht anfassen! Lebensgefahr!). Noch sollte es jetzt wie beim Test der Bandleiter keine Überschläge geben.

Als nächstes kann man den *isolierenden Plastikstab* an der Schraube in der Funkenstrecke *am äußersten Ende* vorsichtig anfassen und langsam hineindrehen. Wenn der Abstand in der Funkenstrecke etwas weniger als 10 mm beträgt, wird es mit einem lauten Knall zum ersten Zünden des Blümlein-Generators kommen. Gleichzeitig wird zwischen den Elektroden in der Röhre ein blaßviolette Lichtband sichtbar sein. Das ist die Hauptentladung.

Man dreht die Schraube vorsichtig weiter hinein, bis der Laser in einer Folge von etwa 2 bis 3 Pulsen pro Sekunde zündet (das reicht zum Testen, man kann später noch "nachtunen"). Ein vor ein

Austrittsfenster gestelltes Stück gewöhnlichen Schreibpapiers sollte jetzt schon schwach eine ovale oder strichförmige blaue Fluoreszenz zeigen, wenn der Laser zündet (fast alle weißen Gegenstände enthalten heutzutage einen Weißtoner, meist 4-Methyl-Umbelliferon, der die ultraviolette Laserstrahlung absorbiert und dabei Fluoreszenz im blaugrünen Spektralbereich zeigt. Das klappt auch sehr gut mit Waschmittellösung). Man kann den Druck in der Laserröhre nun mit Hilfe des Nadelventiles noch feinjustieren, bis die Fluoreszenz auf dem Papier die größte Helligkeit erreicht. Ein wenig läßt sich der Stickstofflaser noch tunen. Die Pulsrate ist nur durch die Leistung des Netzgerätes und die vertretbare Erwärmung von Laserröhre und Bandleitern begrenzt (ich empfehle aber nicht, wesentlich über 10 pps zu gehen).

Die Divergenz und Stärke des Laserpulses läßt sich durch einen einseitig angebrachten Spiegel verbessern. Hierfür ist ein Bruchstück (15 x 15 mm) eines einfachen ebenen Taschenspiegels ausreichend, das auf eine Trägerplatte geklebt wird und mittels einer Dreipunktlagerung (in jedem Punkt Schraube – Trägerplatte – Feder – Halterung – Mutter) an einer auf die Grundplatte geschraubten isolierenden Halterung befestigt wird. Für die Federn sind Stapel aus Unterlegscheiben und Gummi-Dichtungsringen für F-Stecker von Sat-Anlagen übrigens bestens geeignet.

Den Spiegel justiert man bei ausgeschaltetem (Kabel und Schläuche abziehen!!!) Laser vor, indem man durch das freie Fenster hineinpeilt und solange an den Schrauben des Spiegelträgers dreht, bis die Messingelektroden und ihre im Spiegel sichtbaren Spiegelbilder in einer Flucht liegen. Nun kann man die Schläuche und Kabel wieder anschließen und nimmt den Laser in Betrieb. Üblicherweise wird man dann auf dem Papier vor dem Fenster, das sich am dem Spiegel entgegengesetzten Ende der Laserröhre befindet, zwei nahe beieinanderliegende Fluoreszenzflecken sehen. Man justiert die Schrauben des Spiegelträgers nun solange nach, bis die beiden Flecken zusammenfallen. Üblicherweise registriert man dabei, daß der resultierende Fluoreszenzfleck deutlich kleiner und heller ist als die Einzelflecken vorher.

Wie schon eingangs erwähnt, läßt sich die Effizienz des Lasers durch Verwendung von Stickstoff anstelle von Luft etwa vervierfachen. Eine weitere Steigerung auf etwa das Doppelte ist mit einer 1:1-Mischung aus Stickstoff und Helium (Ballonhelium genügt) zu erreichen. Der Druck muß dann allerdings verändert werden, damit wieder der gleiche Stickstoff-Partialdruck wie vorher erreicht wird.

© 2007 ~Diane Neisius. -- (medusa at diane minus neisius dot de)

Lizenz: Dieses Dokument darf unter den Bedingungen der *Creative Commons License* kopiert und weiterverwertet werden.

Das Original ist im Internet im Verzeichnis <http://www.diane-neisius.de/download/> unter dem Namen "N2laser.pdf" zu finden.