

Lasersaur Sicherheit

Handlungsplan

!!! Work in Progress !!!

Ansprechpartner:

- [Maik Fox](#)
- [Alex Wenger](#)
- *in letzter Instanz auch Christian Caroli*

Das Wichtigste zuerst:

Als übergeordnete Regel gilt hier:

Der Laser wird -auch nicht testweise- in Betrieb genommen, bevor es für den jeweils beabsichtigten Zweck nicht eine dokumentierte und von den Mitgliedern der Sicherheitsgruppe abgenommene Verfahrensbeschreibung gibt!

Das bedeutet, dass auch für den Funktionstest nach Lieferung zunächst ein Szenario entworfen werden muss, wie dieser ohne Eigengefährdung oder Gefährdung Dritter stattfinden kann. Gleiches gilt für die Kalibrierung und Testläufe!

Bereiche der Betrachtung

Welche Gefahren gehen von deinem Lasercutter aus?

- unsichtbare Laserstrahlung hoher Leistung
 - Reflektionen extrem gefährlich
 - Streulicht bei dieser Leistung auch als gefährlich einzustufen
- Brandgefahr
 - Materialien werden thermisch zersetzt
 - ohne Schutzgas und bei der standardmäßigen Luftspülung besteht bei bestimmten Materialien ein reales Brandrisiko
- elektrische Verkabelung
- es muss Netzspannung verkabelt werden
- Aluprofile sind elektrisch leitfähig

Lasersicherheit

Themen:

- Zusammenstellen der notwendigen Maßnahmen
 - mechanisch
 - elektrisch
 - elektronisch
 - optisch
- Laserschutzbeauftragter?
- Sichten der entsprechenden Unterlagen, die seitens der BGs zur Verfügung gestellt werden
- Gefühl für das Zerstörungspotential eines solchen Lasers im Fablab schaffen
- Handlungsanweisungen / Best Practices / etc.
 - Verfahrensanweisung erstellen
 - Laser-Inbetriebnahme
 - Regelbetrieb
 - Wartung und Justage
 - Schutzausrüstung (Laserschutzbrillen) beschaffen
 - Warningschilder etc.

Laserschutzklasse

Die Betrachtung eines unumbauten 100 W CO₂ Lasers ohne Sicherheitsvorkehrungen ist eindeutig und liefert Laserschutzklasse 4. Entsprechend müssen bauliche und sicherheitstechnische Vorkehrungen getroffen werden, um Laserschutzklasse 1 zu erreichen.

Funktionale Sicherheit

Klassifikation

Da bei einer Fehlfunktion der Schutzeinrichtungen wie Türschaltern/Interlock/... ein hohes Gefährdungs- und Verletzungsrisiko seitens des Lasers ausgeht, müssen diese Systeme fehlertolerant ausgelegt werden. Hier gibt es diverse Vorgehensweisen (Redundanz, aktive Überwachung durch andere Systeme), um entsprechende Sicherheitslevel zu erreichen (vgl. EN61508).

Mögliche / Notwendige Maßnahmen

- Notaus-Kreis
 - absolut letzter Weg, da hier alles dranhängt
 - Kühlung der Röhre ist kritisches System für die Lebensdauer der Röhre
- Nothalt-Kreis
 - notwendig, wenn Röhrenkühlung weiterlaufen soll im Nothalt-Fall
- Laser-Interlock
 - Türschalter
 - in Lasersaur-BOM: Magnetschalter
 - besser: „manipulationssichere“ Schalter, zB RFID [zB von Pilz](#)
 - Schlüsselschalter
 - Bewegungsüberwachung der Schrittmotoren
 - eher Eindämmung der Brandgefahr

- hier als Last angeschlossen
 - Lasernetzteil (im Lasersauerdesign über Solid-State-Relais)
 - evtl. Shutter (Bezugsquelle evtl. Wolfgang)
- Effektive Einhausung des Laserbereichs
 - Welche flächigen Materialien eignen sich als Beamstop für 10,6 μm ?
 - Aluträger/-platten prinzipiell gut zur Wärmeabfuhr
 - Fenstermaterialien
 - Verbundglas
 - Acrylglasplatten
 - Welcher Belastung müssen sie standhalten?
 - Eventuell auch „Dachrinnenstrahldeckung“ über Laserstrahltrajektorie
 - Fehlerfälle von optischer Sicht her betrachten
 - kein Schnittgut im Laserweg
 - Linse kaputt
 - eher Splittergefahr als optische
 - Spiegel kaputt
 - entsprechende Strahlfallen hinter Spiegeln aufbauen
 - Diskussion in [Google Groups](#)

Umsetzung

Betroffene Gruppen:

- [Lasersaur Mechanik Gruppe](#)
- [Arbeitsgruppe Elektronik](#)

Maßnahmen

To Do

- Erfahrungen mit CO₂-Lasern recherchieren/sammeln
 - [Kohlendioxidlaser auf Wikipedia](#)
 - [Sam's Laser FAQ zu CO₂ Lasern](#)
- Strahlparameter der im Lasersaur verwendeten CO₂-Röhre zusammenstellen
 - Leistung
 - Strahlradius
- Review der Lasersaur Interlockschaltung
 - Fokus auf Funktion und Fehlertoleranz
 - siehe [Beschreibung der Sicherheitsschaltung auf dem original Board](#)
- Abschätzung darüber, ob Luftfilter Anforderungen bezüglich Einsatz brandhemmender Filter o.ä. erfüllen müsste
 - Erfahrungen anderer Fablabs bzw. Anforderungen an die Luftfilter klären
 - ist es überhaupt ein realistisches Szenario, dass glühende abgetragene Partikel in den Luftfilter kommen, oder wird im Normalfall alles verdampft?
 - In dem Kontext wäre Beschäftigung mit Materialien und Brandschutz generell sinnvoll
- Schnüren von konkreten Maßnahmenpaketen und Checklisten für die einzelnen Arbeitsgruppen
- MIR Detektor Karte: [Thorlabs VRC6](#)

Interlockschaltung

siehe [Beschreibung der Sicherheitsschaltung auf dem original Board](#).

Einhausung Laser

Vorüberlegungen

Anforderungen ans Material etc.

Informationen von Peter Moster (werden später in die Seite integriert):

Zum Thema Oberflächenreflexion und Gefahren: Ich habe mal mit unserem Laserbeauftragten gesprochen.

1. Eine perfekt symmetrische amorphe Reflexion dürfte in 2m Abstand sicher sein (Energieverteilung auf Halbkugel). In 1m Entfernung dürfte jedes Auge, das getroffen wird - egal ob es dahin schaut oder nicht - zeitweise erblinden. Falls näher, streiche zeitweise.
2. Wir erreichen keine perfekt symmetrische amorphe Reflexion. Der Risikobereich erweitert sich also deutlich.
3. Licht der Wellenlänge unseres Lasers wird von Auge und Linse im wesentlichen nicht gebrochen.
4. Der Strahl geht durch Linse und Iris mehr oder weniger unbehindert durch. Fokussierung findet nicht statt.
5. Das ist gut, weil bei hinreichend geringem Energieeintrag reparable Schäden entstehen, bei wenigen Milliwatt pro Auge.
6. Das Auge ist daher in der Wellenlänge des CO₂-Lasers deutlich weniger empfindlich als bei sichtbaren Wellenlängen.
7. Matt != Angeschliffen. Wir brauchen eine amorph reflektierende Oberfläche. Die Oberflächen von Schleifkratzern sind im mikroskopischen glänzend. Im Prinzip erzeugt man lauter kleine Ausschnitte aus konkaven Spiegeln - jeder mit einem eigenen Fokus.
8. Farben und Lacke sind in Infrarot anders als man das sieht. Heizkörperlack bspw ist im Infraroten schwarz und strahlt ideal ab. Ein im sichtbaren mattschwarzer Lack könnte im Infraroten durchsichtig sein und dann am Metall ideal reflektieren.
9. Alu reflektiert IR ziemlich gut - je nach Oberflächengüte. Die Oberflächen von eloxierten Profilen und Blechen sind relativ rau und matt.
10. Daraus folgt, dass jede austretende Infrarotstrahlung an irgendeiner Stelle im Lab das Augenlicht gefährden dürfte.

Fazit: Wir suchen für unsere Bleche eine Beschichtung, die das Risiko minimiert, falls mal etwas schiefeht. Während der Arbeiten bei der Laser-Justage müssen wir für entsprechende Sicherheitseinrichtung sorgen. Beim Betrieb des Gerätes muss jeder Austritt des Lasers unmöglich sein.

Für die Oberfläche bedeutet das: Maximale Absorption, gestreute Reflexion. Darunter muss eine Schicht liegen, die die Energie optimal verteilt - also Alublech. Es gibt verschiedene Lacke für Solarkollektoren, die das optimieren.

Ein paar Ergänzungen zu den Infos von dem Laserschutzbeauftragten (von Sebastian Höfer):

- Das Auge ist für die Strahlung von einem CO₂-Laser vollkommen undurchlässig (nicht unempfindlich). D.h. ein direkter Treffer vom Auge verbrennt „nur“ die vordere Hornhaut und nicht die Netzhaut im Auge. Ok ... das mag zwar nur ein schwacher Trost sein, aber es bedeutet, dass Streustrahlung (der gebündelte Strahl ist trotzdem sehr gefährlich) im Vergleich zu sichtbaren Lasern relativ ungefährlich ist.
- Glas und Plastik ist meist auch undurchlässig. D.h. Schutzfenster und Brillen bestehen idR nur aus gewöhnlichem Glas (teuer macht sie nur das beiliegende Zertifikat). Für den Aufbau und die Justage von dem Lasersaur kann ich gern ein Satz Brillen mitbringen.
- Als einfachen Strahlenfang nimmt man meist einen Block Keramik/Stein
- Ein richtiger Strahlenfang besteht meist aus einem Trichter oder einem „Labyrinth“, wo der Laser bis zur völligen Absorption hin und her reflektiert wird. Das ganze muss dementsprechend gekühlt werden.
- Metall reflektiert den Laser nur! Auch wenn wir's matt schleifen, bei der Wellenlänge des Lasers ist das immernoch ein perfekter Spiegel.
- Farbe als absorbierende Beschichtung wird einem direkten Treffer keine Sekunde Standhalten und man weiß nicht, was da alles raus dampft, wenn die verbrennt. Ist allerdings eine gute Maßnahme gegen Streustrahlung! Kommerzielle Geräte haben einfach Pulverbeschichtete Bleche: [Bsp von einem zerlegten Epilog-Laser](#)

Fazit: Wenn wir davon ausgehen, dass der Laser in einem geschlossenen Gehäuse Arbeitet, ist das gefährlichste, dass der Rohstrahl vom Laser unkontrolliert verläuft. Also wenn er einen seiner Spiegel verfehlt. Man kann also überlegen hinter die Spiegel ans Gehäuse absorbierende Keramik anzubringen. Am besten versehen mit einem Sensor, der bei Übertemperatur den Not-Aus-Interlock unterbricht. Für das Gehäuse würde wohl eine Pulverbeschichtung helfen. Wenn man sich anschaut, dass kommerzielle Geräte auch nicht mehr Vorsichtsmaßnahmen treffen, kann man wohl davon ausgehen, dass das ausreichend ist. Schutzbrillen sollten (und dürfen) für den normalen Betrieb nicht notwendig sein.

Damit will ich nicht runterspielen, dass der Laser gefährlich ist!!! Die Inbetriebnahme und Aufbau des Lasers + Optik sollte gut geplant sein.

to be continued.

Elektrische Sicherheit

Themen:

- Erdung
- Notaus
- Berührschutz (speziell bei Netzspannung)
- Leitungsquerschnitte
- Verbindungstechniken
- evtl. FI vorsehen (alle Steckdosen inkl. Drehstrom im Fablab sind mit FI abgesichert!)

Umsetzung

Betroffene Gruppen:

- [Lasersaur Mechanik Gruppe](#)
- [Arbeitsgruppe Elektronik](#)

Brandgefahr

Betrachtung der Brandgefahr beim Schneiden der Materialien (nicht Lasersicherheit).

- Anschaffung von sinnvollen Feuerlöschern
 - CO2-Löcher für erste Lösversuche ohne Zerstörung der Maschine
 - geschnittenes Material fängt Feuer oder ist kurz davor
 - nahezu keine Zerstörungswirkung des Feuerlöschers
 - Pulverlöcher bei Gefahr für Menschen und wenn CO2-Löcher nicht ausreichend ist

Links aus erster Übersichtsseite

Diese Infos stammen aus der ersten Version der Übersichtsseite und können hier thematisch in die entsprechenden Abschnitte verschoben werden.

- [Unfallverhütungsvorschrift Laserstrahlung der Berufsgenossenschaften](#)
- [Durchführungsanweisungen zu den Unfallverhütungsvorschriften Laserstrahlung](#)
- [Bundesanstalt für Arbeitsschutz: Laserstrahlung](#)
- [Fablab München :-\)](#)
- [Unterweisung zum Thema Lasersicherheit der Uni Bayreuth](#)
- [Fablab Dresden: Einführungskurs Lasercutter](#)
- [Fablab Dresden: Aufbaukurs Lasercutter](#)