

TheoPrax – Projektarbeit mit Ernstcharakter

Vorwort

7 Mädchen und 7 Jungen (davon ein Junge aus China) bearbeiteten im diesjährigen TheoPrax Kurs ein Projekt der Firma TRUMPF Maschinenbau GmbH & Co. KG, Ditzingen.

Fragestellung: Optimierung der Kühlung eines Lasergases! Zu schwer für 14–15 jährige Jugendliche!

Wir standen der Aufgabe sehr kritisch gegenüber. Verlangte doch dieses Thema von den Teilnehmern eine Einarbeitung in ein völlig schulfremdes Fachgebiet.

Die ersten Klarheiten verschaffte uns Dr. Gerold Mahr von der Firma TRUMPF, der in verständlicher Weise den Jugendlichen die Lasertechnik zum Eröffnungswochenende vermittelte.

Und innerhalb von nur wenigen Wochen – und letztlich in der Sommerzeit in Adelsheim, verwandelten sich die 14 Jugendlichen in Fachleute für Lasertechnik!

Zur Abschlusspräsentation standen 14 Jungen und Mädchen vor ihren Eltern und Gästen sowie natürlich vor Herrn Mahr, dem Auftraggeber, und überzeugten durch gute klare Darstellungen und vermittelten auch völlig „Unwissenden“ die Lasertechnik – und natürlich ihre Lösung für das Problem „Optimierung der Kühlung eines Lasergases“.

In Teamarbeit wurden die Lösungsvorschläge erarbeitet. Und genauso entstand dieser Text - in Teamarbeit!

Viel Spaß beim Lesen.

Dörthe Krause und Simon Budjarek

14 Teilnehmer – jeder hat seine Stärken und Schwächen

Um unser Projektthema bearbeiten zu können, haben wir uns schon während des Eröffnungswochenendes in vier Kleingruppen aufgeteilt.

Team CoLa

Jens Keicher, 15 Jahre

sorgte mit seiner entschlossenen und tatkräftigen Art gerne dafür, dass „Nägel mit Köpfen“ gemacht wurden und seine Teammitglieder nicht zu lange überlegten. Er war immer bereit, Kontakt mit der Firma TRUMPF aufzunehmen, wenn etwas geklärt werden musste.

Kevin Sommer, 15 Jahre

war immer dort zu finden, wo Hilfe gebraucht wurde. Er arbeitete oft still vor sich hin und große Teile seiner Freizeit fielen unserem Projekt zum Opfer. Wenn er gerade nicht konzentriert am Arbeiten war, konnte man gut mit ihm reden und lachen.

Judith Blank, 14 Jahre

war immer gut drauf, und beendete kleine Scherereien in unserem Team, bevor sie überhaupt angefangen hatten. Sie hatte gute Ideen und sorgte sich sehr um ihre Teammitglieder, wenn es ihnen einmal nicht so gut ging.

Team Molekül

Lea Kübler, 15 Jahre

zeigte im Laufe der Projektarbeit viel Hilfsbereitschaft und war immer sehr an der Meinung der anderen interessiert. Sie gewann ganz schnell unser vollstes Vertrauen.

Maria Pelzl, 15 Jahre

zeigte uns ihr schauspielerisches Talent als „Maikäfer im Rückwärtsflug“. Sie war sehr aufgeschlossen und man konnte super mit ihr lachen und Spaß haben.

Eva Blawert, 15 Jahre

„Keep smiling!“ war auf dem Plakat mit Evas Beschreibung zu lesen. Durch ihre ermutigende und verständnisvolle Art konnte sie dieses Motto auch anderen nahe bringen. Eva war eine tolle Gesprächspartnerin und konnte sehr gut zuhören.

Markus Ortlieb, 15 Jahre

hat sich allein in einem Team mit drei Mädchen super geschlagen. „Der charmannte Markus“ sagte immer, was er dachte und konnte sich sehr gut durchsetzen, war aber auch bereit, Kompromisse einzugehen.

Team AMP

Philipp Vormittag, 15 Jahre

war immer sehr kreativ, wenn es darum ging, zusammen mit anderen alle möglichen inoffiziellen KüAs zu gründen (Treppen-KüA, Tisch-KüA, Rasen-KüA. . .) oder unser TheoPrax Lied zu dichten. Er war (fast) immer gut drauf und trug viel zu einer lockeren Stimmung bei.

Maximilian Hänel, 15 Jahre

bekam aufgrund seiner ruhigen und sachlichen Art, die Dinge zu erklären, den Spitznamen „Der Professor“. Seine Fähigkeiten in Mathe und Physik waren vor allem bei der Rotation sehr hilfreich. Seine Freizeit war ihm auch dann nicht zu schade für „Überstunden“, wenn er mit Kevin zusammen zum x-ten Mal die selbe Rechnung zu

lösen versuchte und wieder etwas anderes dabei heraus kam.

Astrid Beerlage, 15 Jahre

arbeitete sehr organisiert und sorgte oft für klare Absprachen zwischen den Teams, wenn Dörthe gerade nicht da war, um Ordnung in das Chaos zu bringen. Trotz ihres großen Temperaments konnte sie sich gut auf andere einstellen.

Team Ji guang qi

Tobias Bitzer, 14 Jahre

war der jüngste Kursteilnehmer. Er wusste immer alles mögliche Wichtige und Unwichtige zu erzählen und tat dies in seiner ganz eigenen Variante des Schwäbischen. Auf diese Weise trug er gerne zur Erheiterung der anderen Kursteilnehmer bei.

Huangshuai Jin (King), 17 Jahre

war „unser“ chinesischer Gastschüler. Mit ihm konnten wir uns nur auf Englisch unterhalten. Nach einiger Zeit lernte er jedoch ein paar einfache deutsche Sätze und revanchierte sich, indem er uns ein paar chinesische Ausdrücke beibrachte. Es war interessant mit ihm zu arbeiten, und wir alle konnten dadurch unsere Englischkenntnisse ausbauen.

Mareike Hoffmann, 15 Jahre

organisierte für die ganze Akademie 110 Tafeln Schokolade. Doch nicht nur dadurch sorgte sie für gute Stimmung, auch ihre fröhliche und optimistische Art war sehr ansteckend, und man traf sie sowohl im Kursraum als auch außerhalb fast immer mit einem Lächeln an.

Karin Gau, 14 Jahre

beglückte den ganzen Kurs mit einer Menge Gummibärchen und ihrer Kreativität, sowie mit ihrem sehr freundlichen und rücksichtsvollen Wesen. Nichts desto trotz konnte sie sich mit viel Charme durchsetzen.



Die Leiterriege

Dörthe Krause aus Karlsruhe-Durlach

Dörthe ist die Mutter von TheoPrax und auch im Vorstand der TheoPrax Stiftung. Sie war es, die den ganzen Kurs mit Hilfe der anderen Leiter und unserem Schülermentor geplant und souverän durchgeführt hat, weshalb sie auch in unserem Kurs das Heft in der Hand und alles unter Kontrolle hatte. Auch in schwierigen Situationen konnte sie uns motivieren und steckte uns mit ihrer immer vorhandenen Fröhlichkeit an. Wenn an Arbeiten im Kurs nicht mehr zu denken war, überraschte sie uns immer wieder mit neuen Spielen, mit denen wir unseren Kopf wieder frei bekamen. So gestaltete sie den Kurs höchst abwechslungsreich und angenehm, sodass wir viel von dem behalten werden, was sie und ihr Team uns beigebracht haben.

Simon Budjarek aus Karlsruhe

Simon ist unser absolutes Sportass und bot uns jeden Nachmittag und Abend eine Sport-KüA an, die uns den teilweise vorhandenen Kurs-Stress vergessen ließ. Im Kurs wusste der Sportler aus Leidenschaft und Lehrer für Sport und Mathematik mit Fachwissen zu überzeugen und die Atmosphäre mit ein paar flotten Sprüchen und Witzen aufzulockern. Als rechte Hand von Dörthe führte natürlich auch er diverse Präsentationen durch und half, wo es nur ging. Sogar nachts half er uns, und zwar ins Bett zu kommen, denn als „Nachtwächter“ sorgte er dafür, dass wir genügend Schlaf bekamen.

Christopher Köhler aus Ettlingen

Christopher war unser Schülermentor und somit das jüngste Mitglied unserer Leiterriege. Das absolute Tanzass war uns in vielen Punkten eine große Hilfe, da er vor zwei Jahren selbst an der Science Academy und dem TheoPrax Kurs teilnahm und somit schon Erfahrung hatte. Auch er wusste, wie man die Stimmung auflockerte und offenbarte die eine oder andere lustige Geschichte über die Science Academy 2004 und die damaligen Leiter und Teilnehmer. Unser Chris, der in eineinhalb Jahren sein Abitur machen möchte, nahm oft selbst an Dörthes Lockerungsspielchen teil, was das Ganze noch lustiger machte.

Dr. Hans Ebeling aus Pfnztal

Hans Ebeling arbeitet am ICT in Pfnztal und war unser Retter in der Not. Da keiner von uns viel von der Quantenphysik verstand, musste ein Fachmann her. Er reiste extra an, um uns bei der Ausarbeitung der Lösungsansätze zu helfen und in die Quantenphysik einzuführen. Dies erleichterte uns die ganze Arbeit unheimlich, da er uns auch einige Formeln erklärte, die für die Lösung unseres Problems wichtig waren.

Was wird denn im TheoPrax Kurs gemacht?

Der Titel des Kurses 6 im Programmheft der Science Academy lautete „Angewandte Forschung/Entwicklung/Wirtschaft – Projektarbeit mit Ernstcharakter“ und weiter unten im Text stand etwas, das sich „TheoPrax“ nannte. Doch was bedeutet „TheoPrax“? Ist es die Erfindung eines Mannes namens Theo Prax? Und was bedeutet „Projektarbeit mit Ernstcharakter“ in Verbindung mit „Angewandte Forschung/Entwicklung/Wirtschaft“?

TheoPrax ist eine Stiftung im Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT) in Pfnztal bei Karlsruhe, die lehr- bzw. stundenplanintegrierte Projektarbeit im Team an industriellen/wirtschaftlichen Themen im Angebots-Auftrags-Verhältnis plant und durchführt. Das heißt, dass TheoPrax an Schulen und Hochschulen, ganz egal welcher Art, Projekte betreut. Diese Projekte, wie an der Science Academy unser Projekt „Kühlung eines Laser-gases“, behandeln Themen aus der freien Wirtschaft. In unserem Fall wurde uns die Aufgabe von TRUMPF gestellt. Angebots-Auftrags-Verhältnis bedeutete, dass wir erst ein Angebot schreiben mussten, um dann den Auftrag zu bekommen. Also wie in der Realität!

Die Arbeitsatmosphäre im Kurs gestaltete sich höchst angenehm und locker, da wir uns alle sehr gut verstanden. Gearbeitet wurde meist in vier Teams, die wir während des Eröffnungswochenendes gebildet haben. Dies war sehr sinnvoll, denn unser Projektthema stellte sich als so komplex heraus, dass wir oftmals parallel an verschiedenen Teilbereichen arbeiten mussten, um erfolgreich zu sein und vor allem, um im Zeitplan zu bleiben.

Am Eröffnungswochenende führte uns Herr Mahr von der Firma TRUMPF in das Arbeitsgebiet ein. Ein Arbeitstag am ICT, kurz vor den Sommerferien, brachte weiteres Verständnis für das Thema und natürlich lernten wir uns dabei gegenseitig auch besser kennen. Zu Beginn der Science Academy in Adelsheim hatten wir schon etliche Recherchen in Büchern und im Internet gemacht. Drei Tage lang lernten wir durch Hans Ebeling vom ICT die Quantenphysik kennen und kamen den Lösungsansätzen immer näher. Doch auch zum Teil heftig geführte Problemdiskussionen innerhalb des Kurses brachten uns weiter. Ein wichtiger Bestandteil unserer Projektarbeit war auch die Kontaktaufnahme mit un-

serem Auftraggeber, da hier verschiedene Sachfragen zur Lasertechnik geklärt werden konnten.

Die Ergebnisse dieser Gruppenarbeit präsentierten wir dann bei der Rotation und Abschlusspräsentation. Bei der Abschlusspräsentation stellte eine Gruppe die Methode TheoPrax, eine andere das Projektmanagement vor. Die dritte Gruppe berichtete über den Laser TLF 5000 und das Laserprinzip und die letzte Gruppe erklärte die Lösungsansätze bzw. den wichtigsten Lösungsansatz.

Projektmanagement – oder wie man Süßigkeiten ordnet

Für ein derart komplexes Projekt, wie wir es bearbeiten und natürlich auch zu Ende bringen wollten, genügte es nicht, dass wir uns mit der Einstellung „Das schaffen wir schon!“ an die Arbeit machten, sondern wir mussten das Projekt planen und organisieren, also managen. Dazu gibt es das Projektmanagement, in das uns Dörthe und Simon schon am zweiten Tag einführten. Zunächst lernten wir die Definition und den Nutzen des Projektmanagements kennen:

Projektmanagement beinhaltet alle Führungsaufgaben, -organisationen, -techniken und -mittel zur Durchführung eines Projekts. Es dient dazu, die Inhalte von Projekten mit ihren charakteristischen und wichtigen Aufgaben (z. B. Versuche) innerhalb einer vorgegebenen Zeit und in einem vorgegebenen Kostenrahmen zu erledigen.

Nach dieser ersten Einführung stellten wir uns das Projektmanagement bildlich etwa so vor:



Abb. 1: Gummibären ungeordnet



Abb. 2: Gummibären geordnet

Diese Gummibärchen stellen dabei nichts Anderes als unsere Projektinhalte dar. In Abbildung 1 ohne Projektmanagement und in Abbildung 2 mit Projektmanagement. Es ordnet hier ein großes Durcheinander von Gummibärchen nach Farbe und bringt diese in Reih und Glied, was einen wesentlich besseren Überblick erlaubt. Ebenso kann man sich auch die Wirkung des Projektmanagements auf unser Projekt vorstellen.

Dass wir für diesen Vergleich gerade Gummibärchen auswählten, lag übrigens nicht nur daran, dass sie besonders anschaulich sind, sondern auch daran, dass wir uns alle mit ihnen (vor allem mit ihrem Geschmack) identifizieren konnten, da wir in unseren

Pausen reichlich Gelegenheit dazu hatten und dies auch gerne und ausführlich taten.

Danach beschäftigten wir uns mit den verschiedenen Phasen eines Projektes. Dies waren die Startphase, die Planungsphase, die Umsetzungsphase und die Abschlussphase.

Nachdem wir dann zumindest theoretisch über diese Phasen Bescheid wussten, lag es nun an uns, diese auch in unserem Projekt umzusetzen. Besondere Bedeutung kam dabei der Planungsphase zu, die vor allem dazu dient, das Projekt zu ordnen, um spätere Komplikationen und unnötigen Zeitdruck zu vermeiden.

Damit dies nicht passieren konnte, erstellten wir einen Projektstrukturplan, mit dem wir alle für das Projekt notwendigen Arbeiten ermittelten und sie in Arbeitspakete aufteilten. Diese ordneten wir dann in einen Zeitplan ein.

Während der Umsetzungsphase führten wir nun das durch, was wir zuvor geplant hatten. In dieser Phase beinhaltet Projektmanagement auch die Projektsteuerung, das Controlling, bei dem überprüft wird, inwieweit der zuvor aufgestellte Zeitplan eingehalten bzw. überschritten wurde.

Zu guter Letzt folgte die Abschlussphase, in der wir unsere Ergebnisse präsentierten und dokumentierten und unsere Arbeit bewertet wurde.

Teambildung und Motivation

Unsere Kursarbeit kann man mit vier Worten beschreiben: „Working together to win.“ Darin steckt, dass wir gemeinsam arbeiteten, unsere Schwächen und Stärken kannten und so zum Ziel gelangten. Doch um so ein gutes Team zu erhalten, mussten wir uns zuerst richtig kennen lernen. Im ersten Kurstreffen der Sommerakademie schrie-

ben wir gemeinsam Regeln für die gute Zusammenarbeit im Kurs auf ein großes Plakat und hängten es an die Wand.

Aber was ist ein Team?

Eine Gruppe von Menschen, die ein gemeinsam definiertes Ziel gemeinsam erreichen wollen und dazu ihre unterschiedlichen Stärken nutzen.

Um nun aber alle Teilnehmer unseres Kurses besser einschätzen und die Rollen im Team verteilen zu können, stellten wir in den Kleingruppen eine Schwächen-Stärken-Analyse auf, die wir dann den anderen als Systemische Landkarte auf Plakaten präsentierten.

Die Fragen „Wer bin ich?“ und „Welche Rolle habe ich im Team?“ waren genauso wichtig wie die Fremdeinschätzung „Wie sehen die anderen mich?“. Durch eine Selbst- und Fremdbildermittlung stellten wir fest, dass unser Selbstbild nicht immer identisch mit dem Bild ist, das andere von uns haben.

Da das Vertrauen in der Gruppe sehr wichtig ist, gaben uns unsere Kursleiter folgenden Arbeitsauftrag: Wir sollten uns in zwei Gruppen aufteilen und zwischen zwei Bäumen ein Spinnennetz mit acht Schnüren spannen. Wir standen alle auf eine Seite und jeder musste durch ein Fach des Netzes auf die andere Seite gelangen, ohne dabei die Fäden zu berühren. Dies war teilweise sehr schwierig, aber es machte allen Spaß und wir lösten das Problem kreativ.



Unser Kurs am „Spinnennetz“

Eine weitere Aufgabe war der Aufbau eines Zelttes. Zwei Personen wurden die Augen verbunden und die andere Person durfte die Hände nicht benutzen. Es erwies sich als sehr schwer, die „blinden“ Personen richtig anzuweisen ohne selbst mithelfen zu dürfen. Vor allem die Gruppe mit King hatte es nicht leicht, da sie alles auf Englisch erklären musste! Doch zum Schluss hatten es doch alle Gruppen geschafft!

Mittlerweile waren wir ein richtig starkes Team, das aber hin und wieder auch Motivation brauchte. Der Film „Fish!“ war genau das richtige für uns. Er zeigte in witziger Art, wie amerikanische Fischverkäufer ihren Laden zu einer echten Attraktion machten, da sie Spaß an ihrer Arbeit hatten und neue Ideen zur Motivation gefunden hatten: Sie warfen sich ihre Fische zu, machten Witze mit ihren Kunden und waren einfach immer gut gelaunt!

Die Grundregeln der Motivationssteigerung sind nämlich Spaß an der Arbeit zu haben, anderen eine Freude zu bereiten und präsent zu sein. Man muss aber erst einmal bei sich anfangen: „Das Leben verändern durch die Veränderung der eigenen Einstellung!“

Kreativität

Damit wir unsere Aufgabe erfüllen konnten, mussten wir kreativ werden um Lösungsvorschläge zu entwickeln. Doch was ist überhaupt Kreativität?

Verschiedene Definitionen von Kreativität:

- *Lösungen finden bei kniffligen Problemen*
- *Vorhandenes Wissen in ungewöhnlicher Weise kombinieren*
- *Kreativität ist die Fähigkeit, produktiv gegen die Regeln zu denken und zu handeln*

Verschiedene Kreativitätstechniken:

Es gibt viele verschiedene Arten und Methoden die Kreativität anzuregen. Wir haben im Kurs viele davon ausprobiert und zwei davon wollen wir nun näher erklären.

Kopfstand-Methode:

Dörthe hat uns als Beispiel die Aufgabe gegeben, eine Fensterscheibe zu verschlechtern. Wir haben uns natürlich erst mal gewundert, denn wer verschlechtert schon eine Scheibe ...? Doch uns sind sehr viele witzige Ideen eingefallen, z. B. einen Stein hineinzuworfen, sie zu verkratzen, u. s. w.. Dann sollten wir diese Ideen ins Gegenteil umkehren und auf den Kopf stellen, z. B. statt sie kaputt zu machen, sie härter und kratzfester zu machen.

Identifikations-Methode:

Die Beispiel-Aufgabe war, den Transport eines Mineralwasserkastens zu verbessern. Eine Gruppe wurde zum Lieferanten des Wassers, eine andere sollte sich in den Kunden hineinversetzen und jeweils eine andere in den Kasten und in die Flaschen. Eine witzige Erfahrung, mal ein Kasten oder eine Flasche zu sein! Als Flasche wollten wir z. B. bequemer reisen, sodass wir eine Polsterung für jede Flasche vorgeschlagen haben. Bei dieser Methode kamen sehr viele überraschende Ideen zusammen!



Rauchende Köpfe beim Brainwriting

Der Laserprozess

Wie bereits vorher erwähnt, ging es in unserem Projekt darum, die Kühlung eines Lasergases zu optimieren. Deswegen haben wir uns natürlich als erstes mit der Funktion eines Lasers beschäftigt. Zu Beginn der Arbeiten hatten so gut wie alle in unserem Kurs keine Ahnung, wie ein Laser funktioniert. Als jedoch Herr Mahr, unser Auftraggeber, am Eröffnungswochenende kam, erklärte er uns neben unserer Aufgabe auch die Funktionsweise eines Lasers. Nach diesem Vortrag waren wir alle nahezu erschlagen und mit Wissen vollgestopft. Doch schon bald legte sich dieses anfängliche Unwohlsein und es folgte nun vielmehr eine freudige Erwartung auf den Sommer und die dortige zweiwöchige Akademie. Alle waren gespannt, ob und wie wir unser Problem lösen könnten.

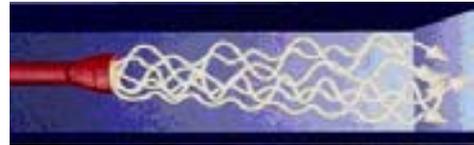
Lichtarten

Zuerst einmal mussten wir, um das Prinzip des Lasers zu verstehen, wissen, was Laserlicht, oder besser Licht im Allgemeinen überhaupt ist. Sicher, Licht ist hell und kommt von der Sonne bzw. aus der Lampe, wenn ich den richtigen Schalter drücke. Aber Licht ist nicht gleich Licht, es gibt einige große Unterschiede. Licht besteht aus Wellen großer, mittlerer und kleiner Frequenz. Bei normalem Licht sind all diese verschiedenen Wellenlängen gemischt. Eine bestimmte Wellenlänge oder Frequenz gehört zu einer bestimmten Farbe. Im normalen Licht einer Glühbirne sind alle diese Farben gemischt und ergeben so ein buntes Gemisch, das wir als weißes Licht wahrnehmen.



normales Licht

Eine Verbesserung in Richtung Laserlicht ist die Taschenlampe. Bei ihr wird das Licht in eine Richtung gelenkt und heißt deswegen gerichtetes Licht. Es besteht jedoch immer noch aus vielen verschiedenen Wellenlängen.



gerichtetes Licht

Das besondere am Laserlicht ist, dass die einzelnen Wellen kohärent (zeitlich synchron), monochromatisch (einfarbig, gleiche Frequenz) und nahezu parallel sind.



Laserlicht

Dadurch ist der Laserstrahl extrem gebündelt, die Energie des Lichtes wird also auf einen sehr kleinen Punkt konzentriert. Dies macht es möglich, mit Laserlicht z. B. Bleche zu schneiden. Um den weiteren Laserprozess zu verstehen, mussten wir ein wenig in die Quantenphysik einsteigen. Für das Verständnis der nachher erklärten Energieniveauwechsel und das Freiwerden, bzw. Aufnehmen von Energie bei diesen Wechseln benutzt man das Bohr'sche Atommodell.

Dieses sagt aus, dass ein Atom aus den positiv geladenen Protonen und den Neutronen, die jedoch keine Auswirkung auf den Laserprozess haben, besteht. Um diesen positiv geladenen Kern kreisen die negativ geladenen Elektronen. Diese Elektronen können sich aber nicht irgendwo um den Kern herum bewegen. Sie befinden sich in verschiedenen Schalen. Je nach Schale haben die Elektronen verschieden viel

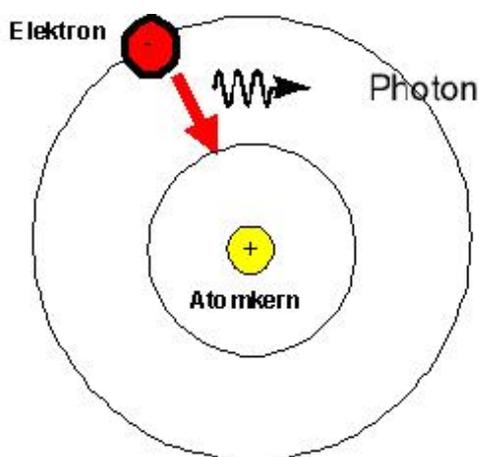
Energie. Je weiter außen die Schale ist, desto mehr Energie haben die sich darin befindenden Elektronen.

Der Laser ist also, wie wir gesehen haben, etwas ganz Besonderes. Aber wieso der Lichtstrahl nur auf einen ganz kleinen Punkt fallen kann, sein Licht so stark ist und wieso er nicht weiß ist wie das normale Licht, das aus einer Glühbirne kommt, ist jetzt dadurch noch nicht klar. Darum heißt das nächste Teilthema:

Das Laserprinzip – Elektronenbewegung

Um das Laserprinzip zu verstehen, ist es nötig, sich in ein paar theoretische Grundlagen einzuarbeiten, die mit einigen Beispielen erweitert werden. Wie der Titel dieses Unterthemas ja schon sagt, geht es um Elektronenbewegung und Energieniveaus.

Elektronen bleiben nicht stur auf einer Bahn, sondern können diese wechseln. Da die Elektronen auf den unterschiedlichen Bahnen auch unterschiedlich viel Energie besitzen, nämlich auf den höheren Bahnen mehr und auf den niedrigeren weniger, muss Energie aufgenommen und abgegeben werden, wenn eine Bahn gewechselt wird. Denn von nichts kommt nichts und Energie kann auch nicht verloren gehen. Eine Art von Elektronenbewegung zeigt die folgende Abbildung.

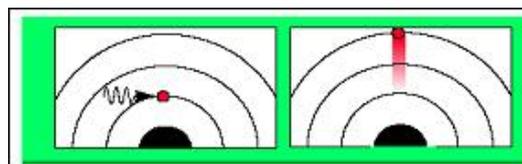


Elektronenbewegung

Da Elektronen generell lieber auf niedrigeren energetischen Niveaus sind, bleiben sie auch nicht lange auf höheren Bahnen. So wechselt hier unser Elektron auf eine niedrigere Bahn und gibt dabei die Energie in Form eines Photons frei.

Uns Menschen geht es genauso wie den Elektronen, am liebsten sind wir auf unserem niedrigsten energetischen Niveau: im Bett schlafend. Über den Tag, der unser höheres energetisches Niveau darstellt, geben wir Energie durch Arbeit und Bewegung ab, die sinnbildlich dem Photon entspricht.

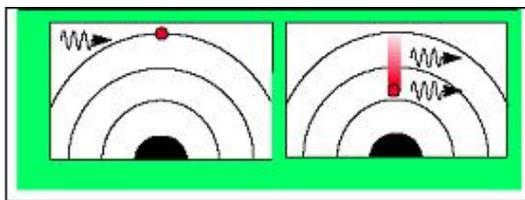
Diese Art von Elektronenbewegung mit anschließender Aussendung eines Photons heißt „**spontane Emission**“.



Die zweite Form ist die „Absorption“. Hier trifft ein Photon mit der Energie, die das Elektron braucht, um auf die höhere Bahn zu springen, auf das Elektron. Das Photon wird absorbiert und das Elektron springt auf die höhere Bahn. Dabei „**verschwindet**“ der Lichtpartikel. Vergleichbar ist dieser Vorgang mit dem Phänomen des schwarzen T-Shirts im Sommer, in dem es uns sehr heiß wird, wenn die Sonne scheint. Auch da nehmen die Elektronen die Energie in Form von Lichtpartikeln auf.

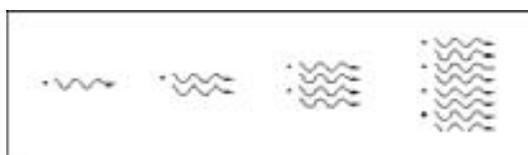
Die eigentlich für den Laser relevante Elektronenbewegung ist die „**stimulierte Emission**“. In Kenntnis der ersten beiden Elektronenbewegungen vermutete Albert Einstein die „**stimulierte Emission**“. Damit legte er den Grundstein zur Entwicklung des Lasers. Die Theorie konnte jedoch nicht zu Einsteins Zeit in die Praxis umgesetzt werden. Erst später wurden die ersten Laser entwickelt (1960, der erste Laser überhaupt: ein Rubinlaser, gebaut von Theodor Maiman). Die Theorie besagt anschaulich, dass ein Elektron wie ein Apfel

vom Baum geschüttelt werden kann, also durch Energie, und das ist hier das Photon, das das Elektron auf eine niedrigere Bahn bringt:



Das Photon, das auf das Elektron trifft, muss genau die Energie besitzen, die das Elektron aussendet, wenn es auf die niedrigere energetische Bahn fällt. Das erste Photon bewegt sich nun in die gleiche Richtung weiter. Da das Photon die Energie besitzt, die das Elektron in Form eines zweiten Photons abgibt, sind die beiden Photonen völlig identisch. Beide haben dieselbe Richtung und dieselbe Wellenlänge (Farbe). Im Laser passiert genau das. Deshalb ist der Strahl auch gerichtet und kohärent (also mit der gleichen Wellenlänge und Phase).

Dies passiert im Laser mehrmals. Um diesen Vorgang so oft wie möglich im Laser stattfinden zu lassen, wird der Weg des Photons durch den Einsatz von Spiegeln möglichst lang gemacht. So entstehen schnell sehr viele gleichgerichtete, kohärente Photonen, wie in folgender Abbildung auch dargestellt:



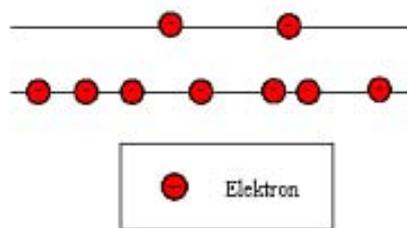
Der Laserprozess findet außer in Atomen auch in Molekülen statt. Durch die größere Anzahl von Atomen und Elektronen in verschiedenen Bindungszuständen sind hier eine Vielzahl von Energiezuständen und -übergängen möglich, von denen einige laseraktiv sein können. Damit können auch Laserstrahlen im infraroten und ultravioletten Spektralbereich erzeugt werden.

Der Laserprozess im TLF 5000

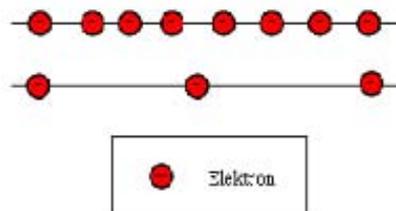
Im TLF 5000 (TRUMPF Laser Frequenz angeregt) zirkuliert ein Gasgemisch, das aus den Gasen Stickstoff (N_2), Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Helium (He) besteht. Dabei hat jedes dieser drei Gase eine andere Aufgabe. Im Endeffekt ist das Kohlenstoffdioxid das laseraktive Medium, weil es die Photonen aussendet. Deshalb wird diese Art von Lasern CO_2 -Laser genannt. Ohne die anderen beiden Gase wäre der Laserprozess jedoch nicht möglich.

Die zugeführte Energie wird vom Stickstoff aufgenommen und an die Kohlenstoffdioxidmoleküle weitergegeben. Diese werden dadurch auf ein höheres energetisches Niveau gebracht.

Ziel des Laserprozesses ist es, durch die Zuführung von Energie das untere Energieniveau des Kohlenstoffdioxids möglichst unbesetzt zu halten, während das höhere energetische Niveau stark besetzt sein sollte. Da dies in Umkehrung zu dem natürlichen Zustand steht, wo das niedrigere Energieniveau stark besetzt ist, wird dieser Zustand Besetzungsinversion genannt.



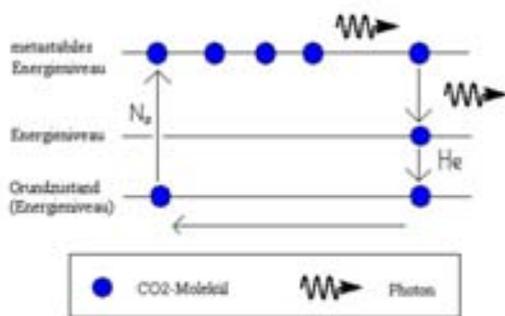
Elektronenanordnung: Normalzustand



Elektronenanordnung: Besetzungsinversion

Die Besetzungsinversion führt dazu, dass, wenn nun ein Photon der richtigen Wellenlänge kommt, die Chance für eine stimulierte Emission größer ist.

Bei der stimulierten Emission fallen nun die Kohlenstoffdioxidmoleküle unter Aussendung eines zusätzlichen Photons auf ein niedrigeres energetisches Niveau. Zum Schluss des Laserprozesses wird die Restenergie, die die CO_2 -Moleküle noch besitzen, an das Helium abgegeben. Die CO_2 -Moleküle kehren in den Grundzustand zurück und der Laserprozess kann von vorne beginnen. Jedoch bleibt die Energie, die an das Helium abgegeben wurde, im Gasgemisch zurück, das Gasgemisch erwärmt sich.

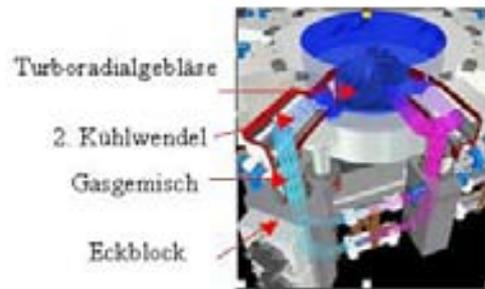


Laserprozess im TLF 5000

Hier setzt nun ein Kühlungssystem ein, das in den folgenden Abschnitten näher erläutert wird.

Unser Problem und die Aufgabenstellung

Um uns das Problem bzw. die Aufgabenstellung näher zu erklären, besuchte uns Herr Mahr schon während des Eröffnungswochenendes. Er informierte uns über den Aufbau des Lasers von TRUMPF, den TLF 5000 und über das darin enthaltene CO_2 -Gas. Damit wir das alles besser verstehen konnten, zeigte er uns unter anderem das folgendes Bild, das den Laser von innen darstellt.



TLF 5000

Um die nötige Geschwindigkeit zu erreichen wird das CO_2 -Gasgemisch im Turboradialgebläse in der Mitte des Lasers angetrieben. Dadurch wird es allerdings auch gleichzeitig auf $85\text{ }^\circ\text{C}$ erhitzt und gelangt deshalb sofort in die zweite Kühlwendel, in der es dann auf $32\text{ }^\circ\text{C}$ gekühlt wird und mit dieser Temperatur auch in den Eckblock gelangt.

Das ist allerdings ein bisschen zu warm, sodass die Spiegel, die sich in den Eckblöcken befinden, minimal verzogen werden, was wiederum die Funktion des Lasers ebenfalls minimal beeinträchtigt.

Unsere Aufgabe bestand nun darin dieses Gasgemisch im Eckblock auf $25\text{ }^\circ\text{C}$ zu kühlen, um die Laserfunktion zu verbessern und möglichst genaue Konzepte zu entwickeln.

Lösungsansätze

Schon vor der Akademie im Sommer gab es gute Lösungsvorschläge, von denen die meisten, wie sich sehr schnell herausstellen sollte, nicht praktikabel waren oder den gewünschten Temperaturabfall von $7\text{ }^\circ\text{C}$ nicht gewährleisten konnten. So mussten wir Ideen wie „den Laser einfach in einen Art Kühlschranks packen“ leider verwerfen und uns neu orientieren.

Und somit begannen wir während der Sommer Akademie durch verschiedene Kreativitätstechniken neue Ideen zu sammeln.

Ideen, wie der Einbau eines zusätzlichen, externen Kühlkreislaufs, die Verbesserung der Kühlwendeln durch Verlängerung oder der Abbau des Drucks mit Hilfe eines Ventils, um die Temperatur in den Eckblöcken zu senken, wurden von uns genauer bearbeitet. Unsere Ausarbeitungen zeigten, dass viele unserer Vorschläge in der Umsetzung einfach zu aufwendig und zu teuer gewesen wären. Andere waren von TRUMPF schon anderweitig gelöst worden oder konnten in dem von uns bedachten Bereich des Lasers nicht weiter optimiert werden.



Unser „Professor“ bei der Arbeit

Doch zu unserer Freude hatte sich herausgestellt, dass der Lösungsansatz, über den wir im ICT gesprochen hatten, von TRUMPF bisher noch nicht genau bedacht worden war. So entschieden wir uns, diese Lösung detaillierter auszuarbeiten. Der schwierigste Teil dabei war, uns vorzustellen, dass bei der Verengung der Rohre nicht zwangsläufig eine Druckerhöhung stattfindet.

Am Ende der Akademie hatten wir nun zehn sehr kreative Vorschläge, die wir unseren Eltern, allen Interessierten, aber in erster Linie Herrn Mahr von der Firma TRUMPF präsentieren konnten.

Unser favorisierter Lösungsvorschlag

Unser favorisierter Lösungsvorschlag war, das Gasrohr nach Austritt aus dem oberen Teil des Eckblocks zunächst zu verengen und es anschließend wieder auf den ursprünglichen Durchmesser zu erweitern. Dies hat zur Folge, dass sich das Laser-gas durch die Rohrerweiterung ausdehnen kann, was zu einer Abkühlung führt.

Ein kleiner Versuch (Messung der Temperatur in einer Luftpumpe bei Druckvergrößerung) konnte diese Erwärmung durch Erhöhung des Druckes veranschaulichen. Im Lauf unserer Arbeit kristallisierte sich dann immer deutlicher heraus, dass diese Idee zur Verbesserung der Kühlung des Lasermediums am geeignetsten zu sein schien. Gegenüber anderen Möglichkeiten bietet dieser Lösungsvorschlag den großen Vorteil, dass eine aufwändige Veränderung im Bau des Lasers nicht nötig ist. Nun hatten wir aber eine harte Nuss zu knacken, denn es stellte sich die Frage, auf welchem Durchmesser das Rohr verengt werden musste, damit sich das Gas zum Schluss genau um die gewünschten 7 °C abkühlt.

Zwischendurch mussten wir einfach immer wieder eine kleine Denkpause einlegen, da unsere Köpfe so sehr rauchten, dass wir sonst irgendwann den Rauchmelder ausgelöst hätten.

Der von uns errechnete Druckunterschied, der für die gewünschte Temperaturabsenkung von 7 °C nötig ist, beläuft sich auf 286,778 Pa = 2,86 mbar, da gilt:

$$\Delta P \approx \Delta T \frac{\gamma}{\gamma - 1}$$

Wobei γ der mit 1,524 angegebene Isentropenexponent der Gasmischung des CO₂-Lasers ist.

Wir empfehlen auf Grund geringeren Aufwandes folgende Möglichkeit:



Lösung 1

Die nötige Verengung des Rohrdurchmessers lässt sich über folgende Formel berechnen:

$$A_1 * P_1 = A_2 * P_2$$

A_1 ist die gesuchte Querschnittsfläche an der verengten Stelle des Rohres, A_2 ist die momentan bestehende Querschnittsfläche. P_1 und P_2 sind der ursprüngliche Druck (180 hPa) bzw. der benötigte Druck (177,1 hPa). Hieraus ergibt sich eine Verengung des Rohres von momentan 50 mm auf ungefähr 49,60 mm Durchmesser. Auf Grund dessen, dass wir die für eine wie hier vorliegende turbulente Strömung benötigte Reynolds-Kennzahl leider nicht berücksichtigen konnten, handelt es sich „nur“ um Berechnungen für eine laminare Strömung und somit um Näherungswerte.

Stolz auf unsere Arbeit (aber trotzdem aufgeregt) präsentierten wir dann am Mittwoch den 13.9. unserem Auftraggeber von der Firma TRUMPF, Herrn Mahr, unsere Ergebnisse. Wir stellten einige unserer Ideen zur Verbesserung der Gaskühlung vor, wobei wir genauer auf unseren favorisierten Lösungsvorschlag eingingen und erklärten, wie wir zu diesem Ergebnis gekommen waren. Wir wiesen jedoch auch auf potentielle Schwierigkeiten in der Umsetzung hin.

Zum Beispiel muss eventuell die Drehgeschwindigkeit des Turboradialgebläses erhöht werden, um den Gasfluss, der durch den Druckunterschied entsteht, aufrecht zu erhalten. Außerdem muss damit gerechnet werden, dass die Gesamtgasmasse im Gassystem abnimmt, da durch die Verengung des Rohres das Volumen verringert wird.

Mitarbeiter der Firma TRUMPF werden in der nächsten Zeit diese Verbesserungsmöglichkeit genau berechnen und auf ihre Eignung zur Umsetzung im CO₂-Laser überprüfen. Natürlich warten wir TheoPraxler schon alle gespannt auf eine Rückmeldung.

Schlusswort

Dank hervorragender Vorarbeit konnten wir mit Stolz zu Beginn der Akademie im Plenum verkünden, dass jeder eine Tafel Schokolade bekommen würde. Der Großteil der Schokolade blieb aber dennoch im, für Fremde unzugänglichen, Nebenraum des TheoPrax Kurses: Eine Tafel für jeden, das musste reichen. Diesen Haufen von Süßigkeiten konnten wir dank der tollen Sponsorensuche von Karin und Mareike unser Eigen nennen.

Dass wir TheoPraxler immer großen Hunger hatten, zeigte sich dadurch, dass wir fast 10 kg Schokolade, 5 kg Gummibärchen und anderes Naschwerk schon vor Akademieende aufgegessen hatten. So musste Simon uns noch am letzten Tag mit einer Packung Kekse versorgen. Nicht nur, dass die Süßigkeiten den Hunger stillten, sie regten auch das kreative Denken an und lockerten die öfters vom Stress geprägte Atmosphäre. Unser Kurs war ein lebendes Beispiel dafür, dass Essen eben obiges fördert und auch zum Lösen sozialer Konflikte hilft: („Wer holt denn jetzt die nächste Tafel Schokolade?“).

Man nannte uns jedoch oft die, die mehr essen als arbeiten und die, die immer Mo-

tivationsspiele machen.



Doch das war natürlich nicht der Fall! Wir lernten verschiedene Präsentationstechniken kennen, erfuhren etwas über Projektmanagement, Controlling, Teamentwicklung und Konfliktlösung, mussten uns an Kosten- und Zeitpläne halten und ganz nebenbei haben wir uns mit viel Erfolg auch noch um die Optimierung der Laserkühlung gekümmert. Sicherlich haben sich unsere Arbeitsmethoden von denen der anderen Kurse unterschieden – eben Theorie und Praxis. Der TheoPrax Kurs – ein Kurs für die Zukunft!

Astrid Beerlage, Tobias Bitzer, Judith Blank, Eva Blawert, Simon Budjarek, Karin Gau, Maximilian Hänel, Mareike Hoffmann, Jens Keicher, Christopher Köhler, Dörthe Krause, Lea Kübler, Markus Ortlieb, Maria Pelzl, Kevin Sommer, Philipp Vormittag

Quellenverzeichnis

- [1] <http://www.trumpf.com/>
- [2] Anders- von Ahlften, Angelika: Laser – das andere Licht. - 1.[Aufl.]. - TRIAS ISBN: 3-89373-085-0
- [3] Dr. Nicola Leibinger-Kammüller, Trumpf GmbH (Hrsg.): Werkzeug Laser – Ein Lichtstrahl erobert die industrielle Fertigung Trumpf GmbH + Co.KG., Ditzingen ISBN-13 978-3-8343-3052-9 ISBN-10 3-8343-3052-3
- [4] Krause, D.; Eyerer, P. (Hrsg.): Projektarbeit mit Ernstcharakter – ein Handbuch für die Praxis der Aus- und Weiterbildung in Schule und Hochschule. Karlsruhe: TheoPrax-Stiftung, 2004, ISBN: 3-8167-6567-X