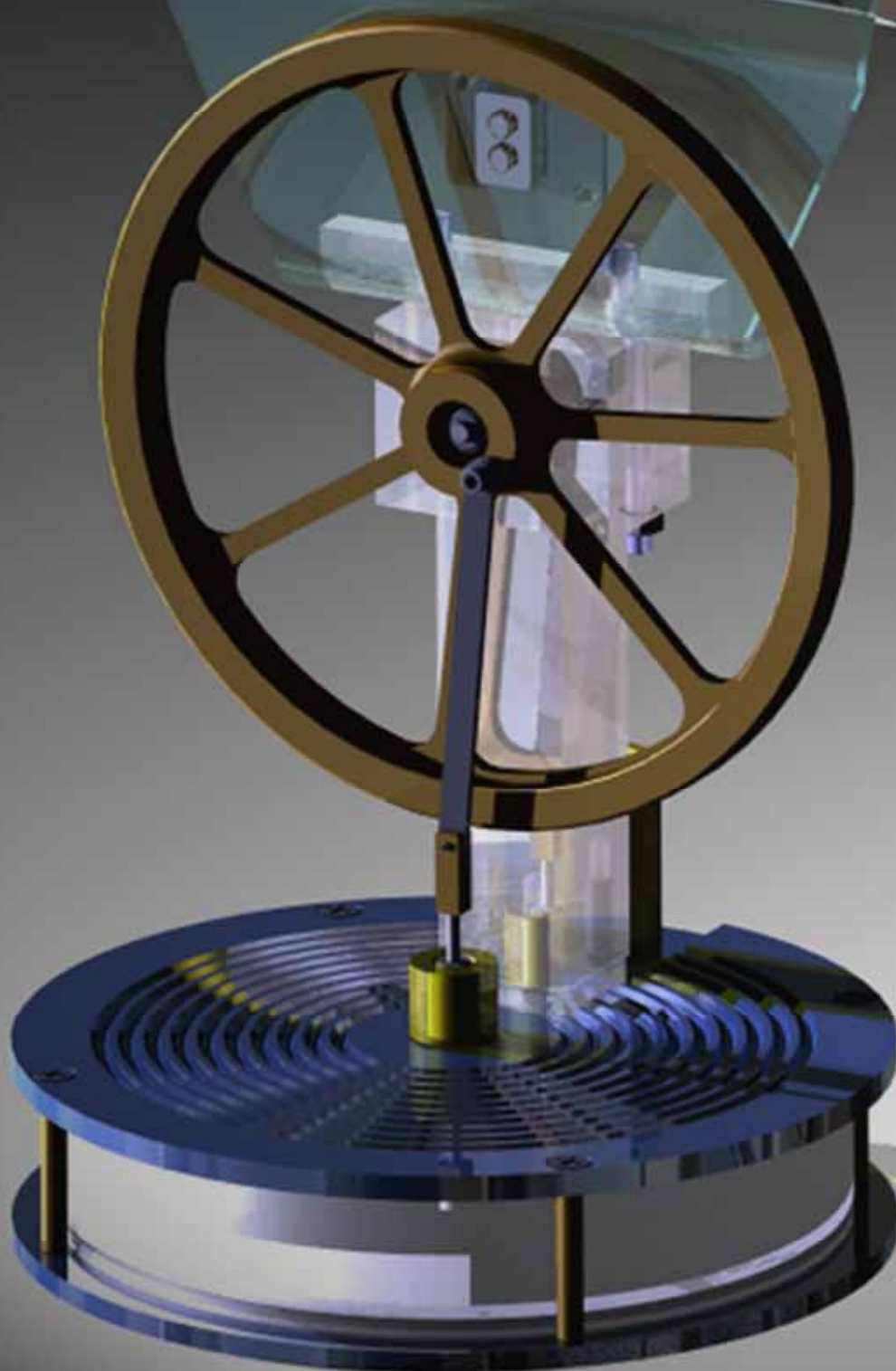


# Stirlingmotor

Projektarbeit der GIB Liestal  
mit der GHS Emmendingen

24.01.2007





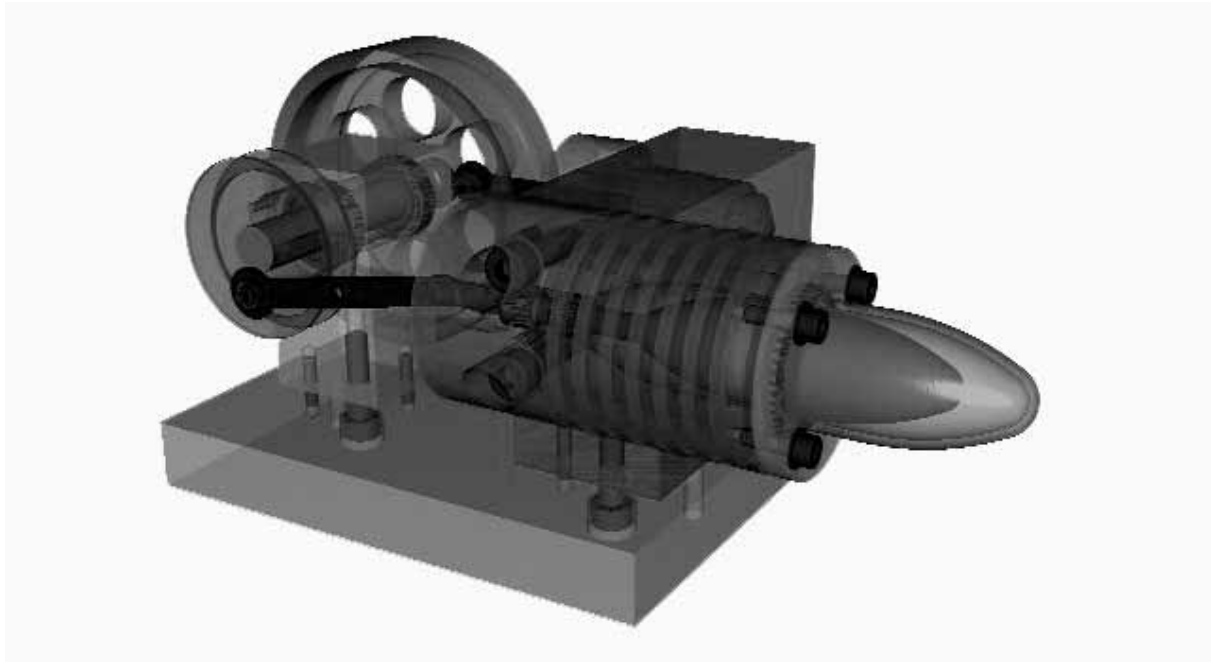
## 1. Inhaltsverzeichnis

1.	Inhaltsverzeichnis .....	1
2.	Einleitung .....	2
3.	Zielformulierung .....	3
4.	Termine .....	4
5.	Start- up .....	5
6.	Projektteilnehmer .....	6
7.	Mind- Map .....	8
8.	Projektvorgaben .....	9
9.	Pflichtenheft .....	10
10.	Prototypenbau .....	11
10.1	Prototypen A und B .....	11
10.1.1	Prototyp A .....	12
10.1.2	Prototyp B .....	13
10.1.3	Prototypen Präsentation .....	14
10.2	Prototyp 2 .....	15
11.	Der Stirlingmotor 2 .....	16
11.1	Fertigung .....	16
11.1.1	Pleuelstange .....	16
11.1.2	Arbeitskolben .....	17
11.1.3	Distanzhülse .....	17
11.1.4	Kurbelwelle A .....	18
11.1.5	Führungsbüchse .....	18
11.1.6	Distanzbüchse .....	18
11.1.7	Zylinder .....	19
11.1.8	Kurbelwelle B .....	19
11.1.9	Verdränger .....	20
11.2	Montage .....	21
11.2.1	Eindrücke .....	24
12.	Terminplan .....	26
13.	Arbeitsjournal .....	27
14.	Reflexion .....	28
15.	Quellenangabe .....	29
16.	Danksagung .....	30
17.	Anhang .....	31



## 2. Einleitung

Die GIB-Liestal und die GHS-Emmendingen pflegen seit geraumer Zeit eine Partnerschaft. Vor sechs Jahren lief ein Projekt mit beidseitiger Beteiligung. Dreissig Stirlingmotoren wurden dabei hergestellt.



**Vorgänger.** Der erste gemeinsame Stirlingmotor sollte einen Nachfolger erhalten.

Das neue Projekt, das Stirlingprojekt 2, bezog sich wieder auf die Herstellung eines Stirlingmotors. Doch die Stückzahl und das Pflichtenheft waren nicht im Rahmen des ersten Projektes.

Der „alte“ wurde noch mit einer Flamme betrieben. Der Energiebedarf sollte diesmal viel geringer sein. Der Motor sollte alleine mit der Wärmeabgabe einer mit heissem Kaffee gefüllten Tasse zum Laufen gebracht werden. Als Steigerung hielt man sich die Option offen, den Motor mit blosser Handwärme zu betreiben.

Von der Stückzahl her kann man es durchaus eine kleine Serienproduktion nennen. Fünfundsiebzig Motoren wurden gefordert.



### 3. Zielformulierung

Es soll ein „Ultra Low Temperature Stirlingengine“ mit einer dazu kombinierbaren elektronischen Drehzahlmessung konstruiert werden.

Die Anzahl der zu fertigenden Motoren liegt bei fünfundsiebzig Stück. Jeder Projektmitarbeiter erhält ein Exemplar.

Über eine Prototypenreihe sollte man zu einer gemeinsamen Lösung kommen und einen Stirlingmotor konstruieren, der dem Pflichtenheft entspricht. Die Prototypen können für Versuche und genauere Erkenntnisse verwendet werden.

Das Gruppenziel der GIB Liestal lautet wie folgt:

Aufgeteilt in zwei Gruppen sollen zwei verschiedene Motoren entstehen (gemäss Pflichtenheft). Die Erkenntnisse daraus werden für den entgültigen Prototypen (nur ein Modell) verwendet. Es kann somit ein „Mix“ aus den beiden erstellten Prototypen entstehen. Die Funktion steht dabei im Vordergrund, das Design sollte aber gleichwohl einen gewissen Stellenwert haben.

Beim Konstruieren des endgültigen Motors sollte darauf geachtet werden, dass die Einzelteile für die Serienproduktion geeignet sind (Pflichtenheft).

Die Erfahrungen und Erkenntnisse sollten gesammelt und dokumentiert werden. Zum Abschluss des Projektes ist eine vollständige und aufschlussreiche Dokumentation zu erstellen.



## 4. Termine



Bildungs-, Kultur- und Sportdirektion  
Kanton Basel-Landschaft  
Gewerblich-industrielle  
**Berufsfachschule Liestal**

Andreas Schaub und Max Wirz  
Mühlemattstrasse 34, CH-4410 Liestal  
www.gibliestal.ch/vu



**GHSE**

Gewerbliche und Hauswirtschaftlich-  
Sozialpflegerische Schulen Emmendingen

Martin Lehmann und Peter Pogrzeba  
Jahnstrasse 12-14, D-79312 Emmendingen  
www.ghsem.em.schule-bw.de

## Projekt Stirlingmotor 2 mit CAD und CNC / 2006-07

### Idee

Die Berufsfachschule Liestal und die GHS-Emmendingen pflegen seit Jahren eine Schulpartnerschaft. Um die Zusammenarbeit zu verstärken, führen Berufsschüler technischer Richtung beider Schulen erneut im Herbstsemester 2006 ein gemeinsames Projekt durch.

### Ziel

Es soll ein „**Ultra Low Temperature Stirlingengine**“ mit einer **elektronischen Drehzahlmessung** konstruiert und dann für jeden Projektmitarbeiter ein Exemplar gefertigt werden. Die Anzahl der zu fertigenden Motoren wird etwa bei **70 Stück** liegen.

### Mitarbeiter

**Berufsfachschule Liestal** (19)  
Andreas Schaub: Planungsunterlagen, 3D-CAD  
Max Wirz: CNC, Fertigung, Lehrmeisterkontakte  
10 Lehrlinge  
3 Lehrmeister  
2 Schulleitungsmitglieder

**GHSE** (39)  
Martin Lehmann: Fertigung und Mechanik  
Peter Pogrzeba: Elektronikentw. und Fertigung  
30 Lehrlinge  
4 Lehrmeister  
1 Schulleiter

### Termin-Fixpunkte

- Fr, 23.06.07** **Startupveranstaltung:** Begrüssung aller Teilnehmenden an der GIB-Liestal in der Aula, Grobkonzept des Projekts, gemeinsames Mittagessen auf dem Rhein, Besuch des Tinguely-Museums
- Mi, 16.08.06** **Planungsbeginn der GIBL-Gruppe** mit dem Ziel, einen 1. Prototypen geplant und gefertigt zu haben bis am 27.09.06
- Mi, 20.09.06** **Planungsbeginn der GHSE-Gruppe**
- Mi, 27.09.06** **Treffen aller in Emmendingen**, mit dem Ziel, den Prototypen abzusegnen und Start mit der Fertigung
- Mi, 29.11.06** **Gemeinsame Montage der Motoren in Emmendingen**
- Mi, 17.01.07** Interne Präsentation des Projekts an der GIBL
- Mi, 24.01.07** **Öffentliche gemeinsame Präsentation des Projekts in Emmendingen**, mit Schulleitungen und Gästen sowie Pressekonferenz und Apéro





## 5. Start- up

Zum Projektbeginn trafen sich alle Beteiligten in der Gewerbeschule Liestal. Die Gäste aus Emmendingen wurden herzlich empfangen und nahmen, wie auch die Lehrlinge aus Liestal, an einer Informationsveranstaltung teil.



**Start- up.** Beim Start- up traf man sich in der Aula der GIBL.

Andres Schaub und Max Wirz, die Verantwortlichen Lehrkräfte der Liestaler Gruppe, bestritten zusammen mit dem Schulrektor J.Oehler eine informative Vorschau über das Projekt. Nebst einem aufschlussreichen Film über die Entstehung und Entwicklung eines Stirlingmotors, wurden sogleich die Aufgabenteilung, wer macht was, für beide Schulen vorgenommen.



**Feinschmecker.** Die Projektleiter an einem Tisch auf dem „Lällenkönig“

Die GIB Liestal konstruiert den Stirlingmotor, fertigt Prototypen und legt diese für die Serienproduktion aus. Die GHS Emmendingen erhält als Aufgabe, eine Drehzahlmessung zu entwickeln und diese dann geschickt mit dem Motor zu kombinieren. Bei der Serienproduktion beteiligt sich die GHSE auch bei der mechanischen Fertigung.



## 6. Projektteilnehmer

### *der GIB Liestal*

**Andreas Brönnimann**  
Polymechniker



**Diedrich Manuel**  
Polymechniker



**Ertl Manuel**  
Polymechniker



**Guarrera Nico**  
Polymechniker



**Michel Heiniger**  
Konstrukteur



**König Patrick**  
Polymechniker





**Karakas Ayhan**  
Polymechaniker



**Schwarzmeier René**  
Polymechaniker



**Sokoll Thomas**  
Konstrukteur



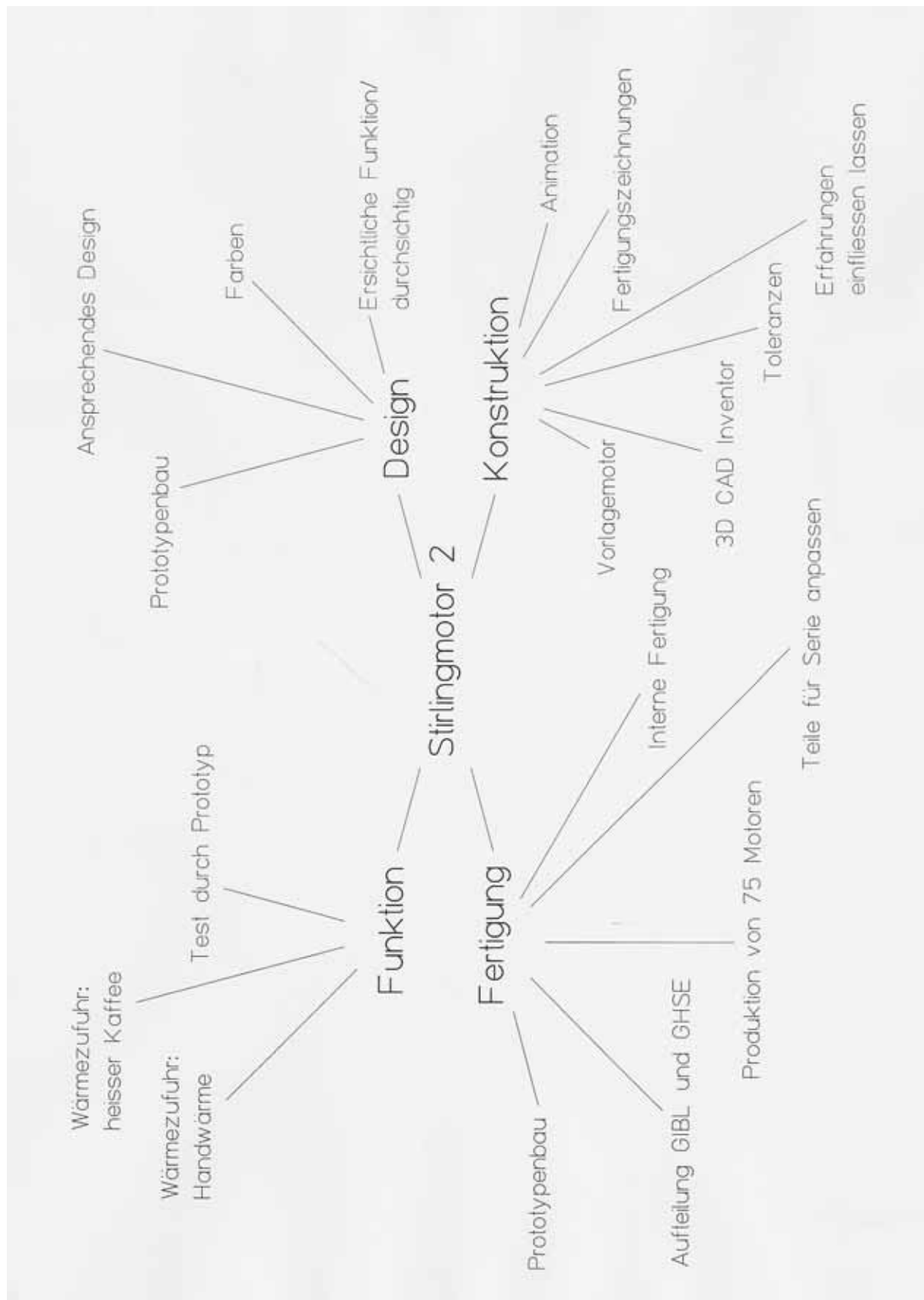
**Sommer Patric**  
Polymechaniker





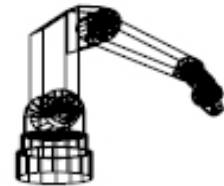


## 7. Mind- Map





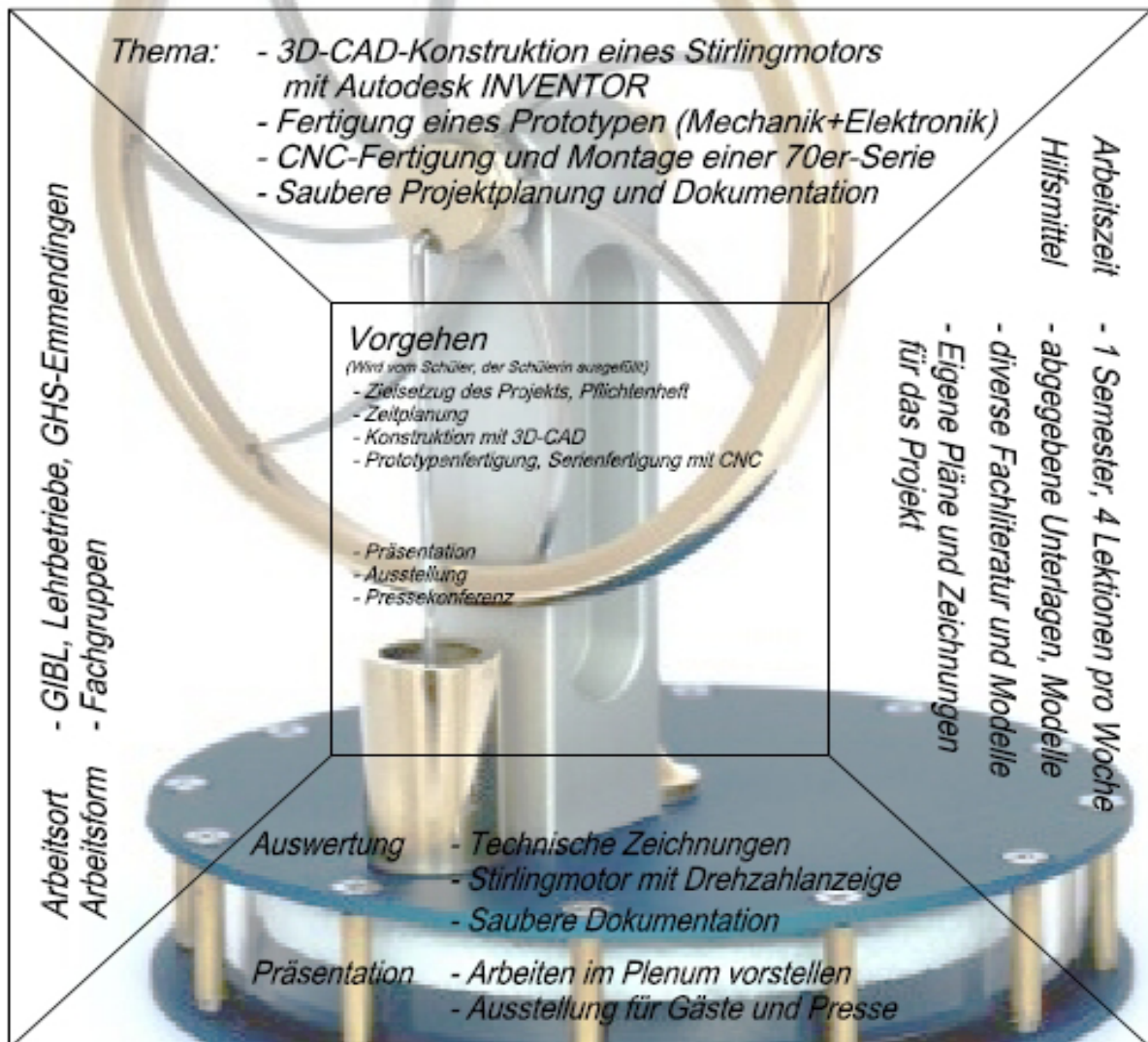
## 8. Projektvorgaben



### *GIB-Liestal / Konstrukteure, Polymechniker* **PROJEKT: Stirlingmotor 2 mit 3D-CAD und CNC**

<i>Lehrkräfte</i>	<i>A. Schaub und M. Wirz</i>	<i>KP_Stirling2_06.051.dwg / ASch</i>
<i>Durchführung</i>	<i>GIBL, Lehrbetriebe und GHS-Emmendingen / Datum: Augst - Januar</i>	
<i>Kosten pro Schüler</i>	<i>Gemäss separatem Budget</i>	
<i>Bemerkungen</i>	<i>CAD- und CNC- Kenntnisse sind von Vorteil, aber nicht Bedingung</i>	
<i>Fertigung</i>	<i>Die Fertigung erfolgt in Lehrfirmen</i>	

<i>Thema und Ziele</i>	<i>3D-CAD-Konstruktion mit Animation und Visualisierung CNC-Fertigung eines Prototypen und einer 70er-Serie Erstellung einer sauberen Projektdokumentation</i>
------------------------	--



im Mai 2006 / A. Schaub, M. Wirz



## 9. Pflichtenheft

### Lösungsfindung

- >> Die Lösung soll im Team erarbeitet werden. Für die Prototypenserie können mehrere Gruppen gebildet werden.  
Für das gesamte Projekt muss ein Teamleader bestimmt werden. Dieser kontrolliert stets die bereits erledigten, sowie die zu erarbeitenden Punkte. An den Fixpunkten (Termine) ist jeweils Stellung zu nehmen.

### Konstruktion

- >> Die Konstruktion wird auf dem „3D CAD Inventor“ erstellt. Für die Prototypen genügen ausführliche Handskizzen. Die Einzelteile müssen auf die Serienproduktion von fünfundsiebzig Stück ausgelegt werden.  
Nebst der Funktion muss das Design berücksichtigt werden, es soll ansprechend und gleichwohl zweckmässig sein. Über das Design sollte versucht werden, die Funktion besser ersichtlich zu machen.  
  
Es müssen komplette Fertigungszeichnungen, sowie eine 3D Animation erstellt werden.

### Auslegung

- >> Der Motor muss so ausgelegt werden, dass er auf einer Tasse heissem Kaffee seine Funktion erreicht.  
Als „höheres“ Ziel sollte versucht werden den Motor so auszulegen, dass er mit der Handwärme funktioniert.

### Fertigung

- >> Die Fertigung erfolgt intern in den Firmen. Es können auch Teile in der GIBL produziert werden.

### Montage

- >> Die Montage findet gemeinsam mit der GHSE in Emmendingen statt. Zum gleichen Zeitpunkt wird die Drehzahlmessung mit dem Motor kombiniert.

### Dokumentation

- >> Über das Projekt ist eine ausführliche Dokumentation zu erstellen.



## 10. Prototypenbau

### 10.1 Prototypen A und B

Was mit Handskizzen begann, fand sich bald als 3D Model auf dem Computer wieder. Für den Prototypendurchgang „1“ entstanden in zwei Gruppen zwei verschiedene Stirlingmotoren. Die Vorgabe war klar, die Umsetzung verschieden. Es war ein Vorteil, zwei Modelle zu konstruieren. Verschiedene und vor allem mehr Ideen konnten so eingebracht werden.



**Feinarbeit.** Polymechanikerlehrling Ayhan Karakas bei einer Dreharbeit.

*Prototyp A:*

- + Einfach
- + Gutes Schwungrad
- + Grosser Verdrängerkolben
- Gelenkverbindung
- Lagerung

*Prototyp B:*

- + Gelenkköpfe, schöneres Design
- Zu kleines und zu leichtes Schwungrad
- Doppelkammer, um grössere Wärmeunterschiede zu gewähren. Zu aufwändig!

Nach der Fertigung der ersten Prototypreihen ergab sich die Entwicklung zweier Modelle als sehr hilfreich. Die Funktion des Prototyp B war besser, jedoch bestach der Prototyp A durch sein Design. Nun sollten die beiden zu einem weiteren Prototypen umgesetzt beziehungsweise zum Prototypen „2“ kombiniert werden.





### 10.1.1 Prototyp A

Am Anfang überlegten wir uns, wie wir für den Prototypen ein neues Design kreieren konnten. Zuerst diskutierten wir in der Gruppe darüber, was wir am bereits vorhandenen Stirlingmotor ändern und verbessern können, damit wir ihn mit Handwärme zum Laufen bekommen. Nach einigen Diskussionen haben wir uns überlegt, wie man das Schwungrad herunterklappen könnte, um uns so vom gekauften Stirlingmotor abzusetzen. Der zweite Grund war die Hoffnung, dass wenn das Schwungrad dicht über der oberen Platte kreist, eine gewisse Kühlwirkung der Platte entsteht. Wir fanden dann eine Lösung, wie wir dies realisieren können. Wir benützen ein Material, das zwar biegsam ist, sich jedoch nicht in die Länge dehnt. Die Lösung wäre eine Litze oder ein weicher Draht gewesen. Diese Litze hätte aber mit Lagern und Führungsschiene geführt werden müssen. Dies hätte zufolge, dass sehr starke Reibung entstehen würde, die den Stirlingmotor stark ausgebremst hätte. Deshalb verwarfen wir diese Idee und belassen das Schwungrad im aufrechten Zustand, jedoch haben wir viel Zeit mit der Realisierung des heruntergeklappten Schwungrades verloren.



Wir suchten nun nach einer anderen Lösung, wie wir die Kühlwirkung und Wärmeaufnahme verstärken können. Wir kamen auf die Idee, die Flächen, welche Wärme abgeben, zu vergrössern. Wir entschieden, in die oberen Seiten der Platten Rillen einzufräsen, damit wir eine Flächenvergrößerung erzielen konnten. Somit könnte der Wärmeaustausch in die von uns bestimmte Richtung verstärkt werden. Zudem haben wir versucht, die Gelenke zu verbessern und eine effektivere Alternative zu finden. Wir haben die Gelenke zwar auf Zeichnungen festgehalten, konnten sie aber wegen mangelnder Zeit nicht produzieren. So mussten wir beim ersten Prototypen Kunststoffschläuche verwenden.

Die Dimensionen haben wir vom Anschauungsmodell übernommen, da uns die Zeit fehlte, die Grössen neu zu berechnen.

Da wir die wichtigsten Änderungen in unseren Platten haben, wurde bei unserem Prototypen einige Teile von einem vorhandenen Motor mit eingebaut. Vor allem hatten wir Probleme mit dem Zylinder und dem Kolben, weil diese eine falsche Oberfläche hatten und ausserhalb der Toleranzen lagen.

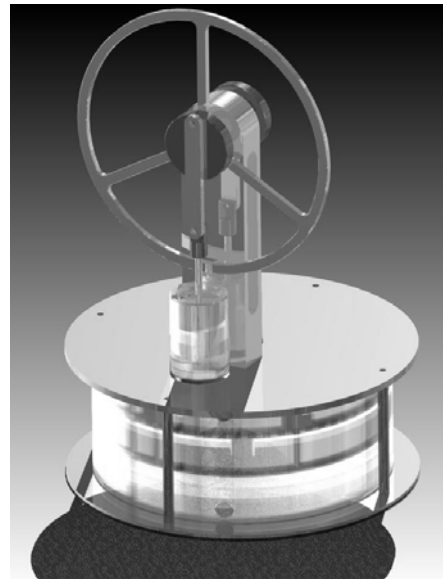


### 10.1.2 Prototyp B

Der Prototyp B zeichnete sich durch sein Design aus. Die Funktion wurde durch die neue Idee einer Doppelkammer negativ beeinträchtigt.

Die Idee einer Doppelkammer wurde durch den Gedanken geprägt, die Luft besser abzukühlen. Beim Stirlingmotor zeichnet sich ein grösserer Temperaturunterschied, der durch eine bessere Abkühlung verstärkt wird, positiv aus. Die Dimensionen der Luftkammern am hergestellten Prototypen stellten sich jedoch als zu gross heraus.

Der Verdränger konnte deshalb nicht an das vorhandene Luftvolumen angepasst werden. So stimmte das Verhältnis der Luftausdehnung mit dem Weg, welcher der Verdränger zurücklegen sollte, nicht überein.



Ein weiteres, grosses Problem, welches die Funktion ebenfalls beeinflusste, war das Schwungrad. Durch die zu kleine Dimensionierung und der zu geringen Masse am Aussendurchmesser erzeugte das Rad zu wenig Schwung, um den Motor in Bewegung zu setzen.

Zur Fertigung (Spezielles):

<b>Schwungrad</b>	Ist:	Wasserstrahlgeschnitten, D 80 x 3 mm
	Soll:	Maschinellgefertigt, grössere Masse am Aussendurchmesser.
		D > 80 x 5 mm

Da das Schwungrad mit dem Wasserstrahler ausgeschnitten wurde, war die Bohrung nicht konzentrisch. Das ausgeschnittene Loch war zudem unrund und musste nachgearbeitet werden.

<b>Gelenkkopf</b>	Ist:	Zu fein für Serienproduktion
	Soll:	Für Serienproduktion ausgelegt

Bei der Serienproduktion der Gelenkköpfe traten vermehrt Fehler auf. Es wurde zu viel Ausschuss produziert. Deshalb sollten die Teile für die Serienproduktion angepasst werden.





### 10.1.3 Prototypen Präsentation

Auf den Zeitpunkt des Besuches in Emmendingen waren die beiden Prototypen fertig. Über deren Funktion wurde noch gemunkelt.

Der Prototyp A wurde schliesslich erfolgreich getestet. Mit Komponenten aus einem bestehenden Modell konnte er perfektioniert und zum Laufen gebracht werden.

Mit dem Prototypen B wurde auf einen Test verzichtet.



**Prototyp.** In Emmendingen stellte die GIB Liestal ihre Prototypen „A“ und „B“ vor.

Das zu leichte Schwungrad machte eine in Betriebnahme nicht möglich. Jedoch konnte er durch sein Design überzeugen.

Den Emmendingern wurde versprochen, bis zum abgemachten Datum eine neue, angepasste Lösung zu entwickeln.



## 10.2 Prototyp C

Was aus der ersten Prototypreihe mit Typ A und B mitgenommen wurde, konnte als Erfahrung für die neue Auslegung genutzt werden. Zugleich konnte immer auf Unterstützung der Lehrkräfte gezählt werden, die durch ihre Beteiligung an verschiedenen anderen Projekten gute Unterstützung bieten konnten.

Nach kreativen Stunden und tatkräftiger Unterstützung von Andreas Schaub am 3D CAD entstand schliesslich der Prototyp C, der sich bewähren sollte. In den folgenden zwei Wochen wurden noch verschiedene Anpassungen vorgenommen. Fertigungstechnisch wurden die Einzelteile auf die Massenproduktion abgestimmt.

Bei verschiedenen Herstellern wurden die Normteile bestellt. In allen Fällen konnten die Teile kostenlos als Probe bezogen werden. Für die weitere Massenbestellung wurden diese Lieferanten berücksichtigt.



**Teamwork.** Manuel Diedrich und Thomas Sokoll in der SKF Magnetik.

So kamen die Einzelteile komplett neu gefertigt zur Montage. Einzig das Schwungrad konnte noch nicht gänzlich nach der Zeichnung gefertigt werden, was jedoch die Funktion des Stirlingmotors nicht beeinflussen würde. Der erste Test war erfolglos, der Grund schnell gefunden. Die Laufbüchse und der Stift zum Verdrängerkolben waren der Toleranz wegen nicht perfekt abgestimmt. Mit einer Woche Verspätung wurde er dann in Betrieb genommen. Nach einer „Aufwärmphase“ mit dem Bunsenbrenner zeigte der Stirlingmotor auf heissem Wasser seine Funktion. Der Prototyp C konnte in die Serienproduktion gehen und sollte als Stirlingmotor „2“ in die Geschichte eingehen.



Für die Serienproduktion wurden die zu fertigenden Einzelteile auf die GIBL und die GHSE aufgeteilt. Von der GHS-Emmendingen erhielten wir kurz darauf die Bestätigung für den Produktionsstart. Die meisten von uns hatten noch nie eine Produktionsreihe wie diese, für die natürlich auch nur begrenzt Zeit zur Verfügung stand. Doch beide Schulen konnten ihre Teile fristgerecht fertig stellen.

Nichts mehr stand im Wege. Der Besuch in Emmendingen und die dortige gemeinsame Montage sowie die Inbetriebnahme konnte geplant werden.

## 11. Der Stirlingmotor 2

### 11.1 Fertigung

#### 11.1.1 Pleuelstange

*René Schwarzmeier*

Probleme sind beim Zerschneiden des Bleches aufgetreten, da sie sich verbogen haben. Um sie wieder gerade zu biegen, musste jedes Stück einzeln im Schraubstock mit der Zange bearbeitet werden.

Da die Teile leicht asymmetrisch waren, war es auch problematisch, die Pleuelstangen ideal zu spannen, ohne sie zu verbiegen. Alle Pleuelstangen wurden konventionell hergestellt. Das Bohren wäre mit CNC problematisch gewesen, da die Lochdurchmesser sehr klein waren. Zudem war die Spannweise, der Form wegen, nicht gerade ideal.

Nachdem die Löcher gebohrt und gerieben waren, wurden die Radien gefräst. In der Trommlerei konnten alle Pleuelstangen entgratet werden.



**Serienproduktion.** René Schwarzmeier bei der Produktion.



### 11.1.2 Arbeitskolben

*Manuel Ertl*

Ich stellte die Arbeitskolben her, diese fertigte ich aus Aluminium.

Das Überdrehen war kein Problem, die Oberfläche war nach Wunsch und das tolerierte Mass konnte eingehalten werden. Das Bohren verlief ebenfalls ohne Schwierigkeiten. Einzig bei der Flachsenkung traten vereinzelt Probleme auf. Durch die Senkung dehnte sich der Aussendurchmesser aus, was das Mass stark beeinflusste. Deshalb musste jeder Kolben mit dem Poliertuch nachbearbeitet werden.

### 11.1.3 Distanzhülse

*Guarrera Nico und Karakas Ayhan*

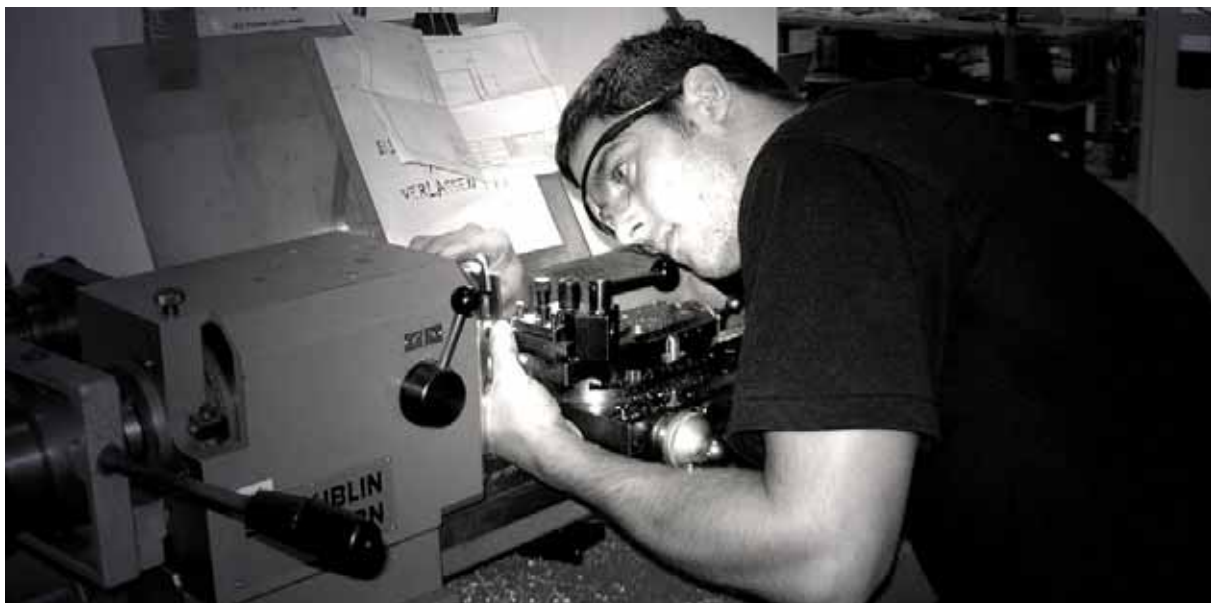
Für die Distanzhülsen bestellten wir sechs Meter Messingrohr, innen  $\varnothing 2$  mm, aussen  $\varnothing 3$  mm, bei der Firma Prometall.

Wir wollten eigentlich die Produktion in der Firma Häusler AG durchführen, bis wir feststellen mussten, dass dies auf deren grossen und für uns zu ungenauen Drehmaschinen nicht möglich war. Beim Schneiden der Gewinde brach bei den ersten drei Versuchen jeweils der Gewindebohrer.

Aufgrund der hohen Anzahl, von dreihundert Stück teilten wir die Arbeit untereinander auf. Nico sägte die Teile ab und drehte sie anschliessend auf die Länge vom achtzehn Millimeter ab.

Für die Durchgangsgewinde M 2.5 hatte Ayhan die Verantwortung. Da der Gewindebohrer mit  $\varnothing 2.5$  mm sehr fein war, verbog er sich beim Schneiden und verlief nicht mehr in der Kernbohrung. So trat er beim Rohrmantel aus.

Nach diesen erfolglosen Versuchen musste festgestellt werden, dass ein Durchgangsgewinde nicht möglich war. Also musste auf  $\varnothing 2.1$  mm aufgebohrt und von beiden Seiten ein Gewinde mit 8 mm Länge geschnitten werden.



**Serienproduktion.** Nico Guarrera brachte dreihundert Teile auf die richtige Länge.

24.01.2007

Seite 17 von 31





#### 11.1.4 Kurbelwelle A

*Andreas Brönnimann*

Bei der Produktion der Kurbelwellen gab es keine Schwierigkeiten. Da die Teile aus kaltgezogenem Stangenmaterial gefertigt wurden, besaßen sie bereits den korrekten Durchmesser. So musste nur noch das Gewinde angedreht werden. Ich stach zum Schluss die Teile noch auf die richtige Länge ab.



**Genau.** Andreas Brönnimann misst seine gefertigten Teile nach.

#### 11.1.5 Führungsbüchse

*Patrick König*

Ich musste bei der Fertigung der 75 Stirlingmotoren die Führungsbüchsen und die Distanzbüchsen herstellen. Bei den Führungsbüchsen gab es nur bei der Bohrung  $\varnothing 6$  p6 Probleme. Grund dafür war, dass bei dem CNC Drehbank die X- Achse nicht zu hundert Prozent stimmte. Deshalb musste die Reibung später auf einer Schaublin 102 erledigt werden. Für die geriebene Bohrung wurde eine Reibahle  $\varnothing 6$  mm bestellt. So war gewährleistet, dass die Bohrungen genau werden.

#### 11.1.6 Distanzbüchse

*Patrick König*

Die Fertigung der Distanzbüchsen war eine ziemlich einfache Arbeit. Zudem war keine besondere Toleranz einzuhalten. Das Material konnte am Aussendurchmesser unbearbeitet belassen werden. Deshalb traten auch keinerlei Probleme bei der Herstellung dieser Teile auf.



### 11.1.7 Zylinder

*Patric Sommer*

Ich fertigte die Arbeitskolben mit einer CNC Drehbank (Kern) ohne Werkzeugrevolver, was mir das Arbeiten erschwerte, da ich das Bohren konventionell, mit einem Reitstock machen musste.

Die Reibung machte ich auf einem Schaublin 102 Drehbank. Das Werkstück spannte ich mit einer Spannzang, die mir einen sehr guten Rundlauf gewährleistet.

Nach dem Reiben polierte ich die Bohrungen aus, um eine optimale Oberfläche zu erhalten.

Ich musste jeden Arbeitskolben auf „seinen“ Zylinder anpassen, damit die Paarung genau passte und keine zu grosse Reibung entstand.

### 11.1.8 Kurbelwelle B

*Patric Sommer*

Auch dieses Stück fertigte ich an einer CNC-Drehbank (Kern). Ich konnte das Stück in einer Aufspannung drehen, bohren, reiben und abstechen.

Das Gewinde M1.6 fertigte ich anhand einer Lehre. Es ermöglichte mir das Kernloch zu bohren und anschliessend das Gewinde mit einem „Tapmatik“ Gewindeschneidapparat sicher und schnell zu schneiden, da ich für die gesamte Serie lediglich einen M 1.6 Gewindebohrer zur Verfügung hatte.

*Tapmatik Gewindeschneidapparat:*

**Anwendung:**

- Auf allen Tisch- und Ständerbohrmaschinen

**Eigenschaften:**

- Längenausgleich
- Anschnittfederung
- Rechtslauf
- Mehrbereichspannzangen
- Schnellrücklauf
- Auswechselbare Schäfte





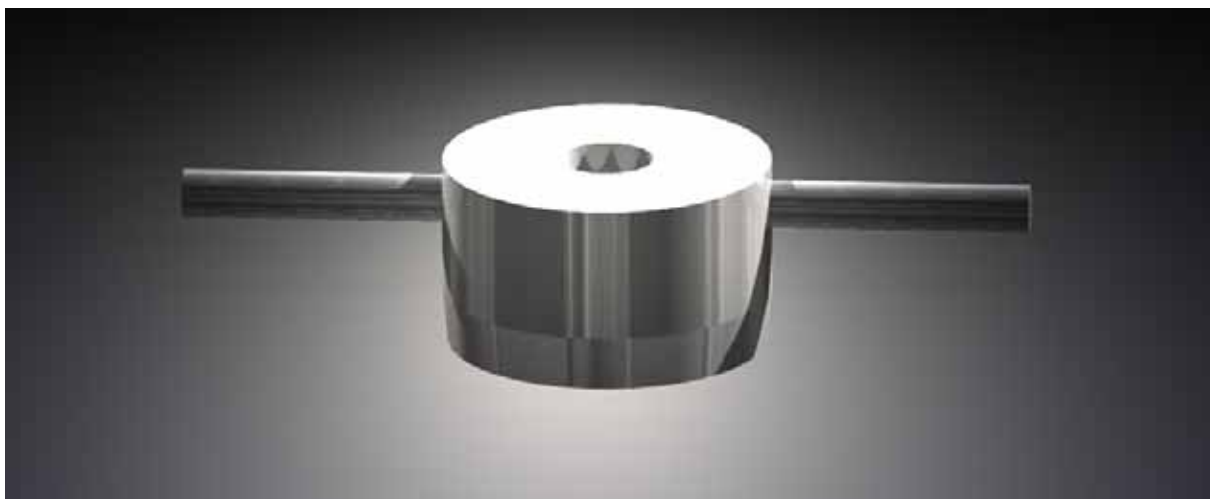


### 11.1.9 Verdränger

*Michel Heiniger, Manuel Diedrich und Thomas Sokoll*

Für die Produktion der Verdränger gingen etliche Ideen durch unsere Köpfe. Die runden Styroporteile mussten möglichst genau sein.

Ein Aussägen auf der Laubsäge kam nicht in Frage, der erste Versuch ergab ein ziemlich enttäuschendes Ergebnis. Deshalb entschieden wir uns für eine Stanze. Michel Heiniger und Thomas Sokoll, die beiden Konstrukteure, stellten Zeichnungen für ein Stanzwerkzeug her, welches dann von Manuel Diedrich gefertigt wurde.



**Stanze.** Das Stanzwerkzeug konnte sich leider nicht bewähren.

Eine spontane Idee beendete jedoch den Einsatz des Stanzwerkzeuges, mit welchem bereits ca. vierzig Verdränger hergestellt wurden. Ein Zirkel mit Klinge zum Schneiden von runden Teilen ergab hervorragende, bessere Ergebnisse. Der Zirkel wurde in die Bohrmaschine eingespannt und konnte so sehr einfach eingesetzt werden.



**Bestellwerkzeug.** Ein einfaches Bestellutensil brachte den letzten Schliff.



## 11.2 Montage



**Montage.** Zusammen wurden Fünfundsiebzig Stirlingmotoren komplett montiert.

In der Firma Feromatik (D) durften wir unsere Motoren montieren. Ein Teil der deutschen Mechatroniker löteten die Drehzahlmessung, die später zum Test des Stirlingmotors beitragen sollte. Nach kleineren Problemen bei der Montage standen fünfundsiebzig Stirlingmotoren auf den Tischen.



**Montage.** Die Drehzahlmessung wurde noch vor Ort gelötet und programmiert.



Dann das Bängen, der erste Test nur mit warmem Kaffee: Langsam, ganz langsam jedoch, setzte sich das Schwungrad in Bewegung. Und es schien beinahe so, als könnte man es nicht mehr stoppen. Der Motor beschleunigt sich und drehte ganz leise Runde um Runde. Grosse Freude herrschte!!



**Lautlos.** Nur mit der Wärme eines heissen Kaffees, dreht der Motor seine Runden.

Das Projekt war gelungen. Trotz der Fertigung an verschiedenen Orten in der Schweiz und in Deutschland konnten die Komponenten zusammengefügt und in Betrieb genommen werden.

Nicht genug, es gab sogar noch eine Überraschung. Was nach Test's mit den Prototypen im Grunde für utopisch galt, schien plötzlich zu funktionieren. **Der Stirlingmotor begann mit blosser Handwärme zu laufen!**

Um die Abkühlung der oberen Platte zu verbessern, wurde ein feiner Film mit Spiritus darauf verteilt. Der merklich langsamer drehende Motor erreichte im Vergleich mit den Tests auf der Kaffeetasse dennoch fünfzig Prozent der Drehzahl.

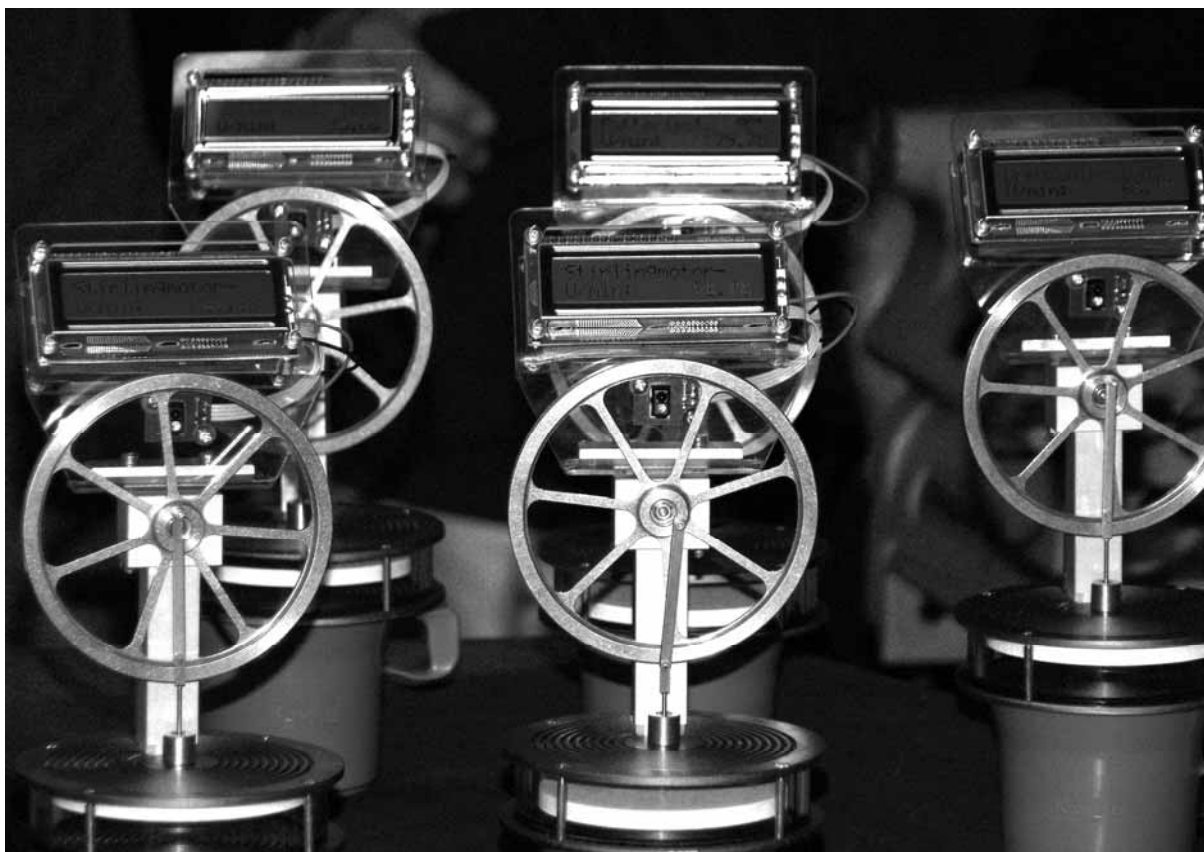


**Drehzahlmessung.** Mit der Drehzahlmessung lassen sich die U/min messen.

Da der Test erfolgreich verlaufen ist, konnte die vor Ort fertig gestellte Drehzahlmessung mit dem Stirlingmotor kombiniert werden.

Die ersten Messungen verliefen ebenfalls erfolgreich. Leider reichte es noch nicht dazu, alle Motoren in Betrieb zu nehmen, dennoch entstanden eindruckliche Bilder. Gut zehn Stirlingmotoren drehten so zum Schluss lautlos ihre Runden. Ein tolles Bild, das bestimmt jedem in Erinnerung bleiben wird.

**Die Zusammenarbeit der beiden Partnerschulen war ein voller Erfolg!**



**Sinnbild.** Die laufenden Motoren mit der Drehzahlmessung.





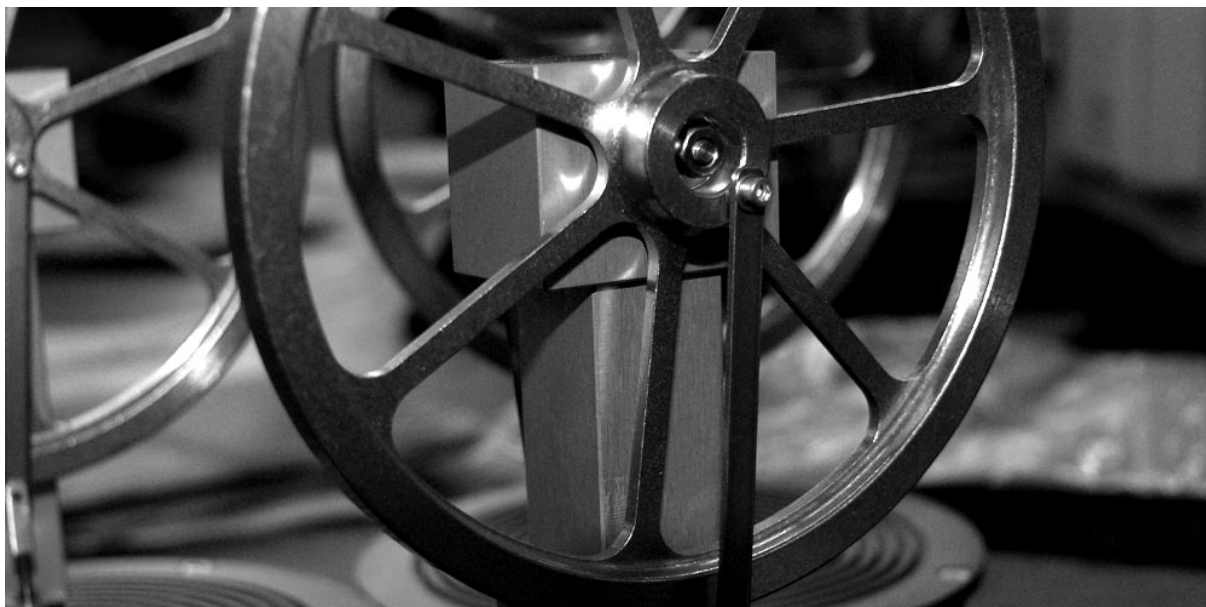
### 11.2.1 Eindrücke



**Gelenkteile.** Viele Komponenten erforderten geschickte Finger.



**Genauigkeit.** Um die Funktion zu gewähren, musste jeder Motor genau justiert werden.



**Eleganz.** Die fertig montierten Stirlingmotoren waren eine Augenweide.



**Fünfundsiebzig.** Insgesamt erblickten Fünfundsiebzig Motoren das Licht der Welt.





## 12. Terminplan

KW	Datum	Ort	Arbeit	Erledigen bis
33	<b>16.08.06</b>	GIBL	Planungsbeginn der GIBL-Gruppe.	
34	<b>23.08.06</b>	GIBL	Entwicklung zweier Prototypen „A“ und „B“ in zwei getrennten Gruppen	27.09.06
35	<b>29.08.06</b>	GIBL	Entwicklung der Prototypen	27.09.06
36	<b>06.09.06</b>	GIBL/ Firmen	Entwicklung der Prototypen >> Model >> Fertigung	27.09.06
37	<b>13.09.06</b>	GIBL/ Firmen	Entwicklung der Prototypen >> Fertigung	27.09.06
38	<b>20.09.06</b>	GIBL	Ende Prototypenphase >> Prototypen ist fertig	
39	<b>27.09.06</b>	GHSE	<b>Prototypen vorstellen</b>	
40	<b>Ferien</b>	---		
41	<b>Ferien</b>	---		
42	<b>18.10.06</b>	GIBL	Entwicklung des Prototypen C	25.10.06
43	<b>25.10.06</b>	GIBL	Absegnen des Prototypen C >> Funktionstest	
44	<b>01.11.06</b>	GIBL	Fertigung des Stirlingmotors 2	22.11.06
45	<b>08.11.06</b>	GIBL/ Firmen	Fertigung des Stirlingmotors 2 >> Fertigung der Einzelteile	22.11.06
46	<b>15.11.06</b>	GIBL/ Firmen	Fertigung des Stirlingmotors 2 >> Fertigung der Einzelteile	22.11.06
47	<b>22.11.06</b>	GIBL	Fertigung des Stirlingmotors 2 >> Fertigung abgeschlossen	22.11.06
48	<b>29.11.06</b>	GHSE	<b>Gemeinsame Montage in Emmendingen</b>	
49	<b>07.12.06</b>	GIBL	Erstellen der Dokumentation	17.01.07
50	<b>13.12.06</b>	GIBL	Erstellen der Dokumentation	17.01.07
51	<b>21.12.06</b>	GIBL	Erstellen der Dokumentation	17.01.07
52	<b>Ferien</b>	---		
01	<b>03.01.07</b>	GIBL	Erstellen der Dokumentation	17.01.07
02	<b>10.01.07</b>	GIBL	Erstellen der Dokumentation	17.01.07
03	<b>17.01.07</b>	Liestal	Öffentliche Präsentation	
04	<b>24.01.07</b>	Freiburg	Öffentliche Präsentation	



## 13. Arbeitsjournal

KW	Datum	Ort	Arbeit	Besonderes
33	16.08.06	GIBL	Planungsbeginn der GIBL- Gruppe.	
34	23.08.06	GIBL	Entwicklung zweier Prototypen „A“ und „B“ in zwei getrennten Gruppen. (bis 27.09.06)	
35	29.08.06	GIBL	Entwicklung der Prototypen >> 3D CAD Modelle.	
36	06.09.06	GIBL/ Firmen	Entwicklung der Prototypen >> 3D CAD Modelle. >> Fertigung.	Fertigung intern in der Firma
37	13.09.06	GIBL/ Firmen	Entwicklung der Prototypen >> Fertigung	„
38	20.09.06	GIBL	Ende Prototypenphase >> Prototypen ist fertig	„
39	27.09.06	GHSE	<b>Prototypen vorstellen</b> >> Fertigung besprochen >> Drehzahlmessung besprochen	
40	Ferien	---		
41	Ferien	---		
42	18.10.06	GIBL/ Firmen	Entwicklung des Prototypen C >> Gemeinsame Entwicklung >> Prototyp für Serienproduktion >> Fertigung der Einzelteile >> Bestellen der Normteile und Rohmaterial	Fertigung intern in der Firma
43	25.10.06	GIBL	Absegnen des Prototypen C >> Funktionstest	„
44	01.11.06	GIBL/ Firmen	Fertigung des Stirlingmotors 2 >> Fertigung der Einzelteile >> Aufteilung der Einzelteile mit der GHSE	„
45	08.11.06	GIBL/ Firmen	Fertigung des Stirlingmotors 2 >> Fertigung der Einzelteile	„
46	15.11.06	GIBL/ Firmen	Fertigung des Stirlingmotors 2 >> Fertigung der Einzelteile	„
47	22.11.06	GIBL	Fertigung des Stirlingmotors 2 >> alle Teile fertig	
48	29.11.06	GHSE	<b>Gemeinsame Montage in Emmendingen</b> >> Montage >> Funktionstest	
49	07.12.06	GIBL	Erstellen der Dokumentation >> Reflexion Einzel und im Team	
50	13.12.06	GIBL	Erstellen der Dokumentation	
51	21.12.06	GIBL	Erstellen der Dokumentation	
52	Ferien	---		
01	03.01.07	GIBL	Erstellen der Dokumentation	
02	10.01.07	GIBL	Erstellen der Dokumentation	
03	17.01.07	Liestal	Öffentliche Präsentation	GIBL
04	24.01.07	Freiburg	Öffentliche Präsentation	GHSE



## 14. Reflexion

Pflichtbewusst ging die gesamte Gruppe an das Projekt. Man konzentrierte sich am Anfang eher auf das Design, bevor über die Funktion diskutiert wurde. Als dieses Problem gelöst und gemäss Pflichtenheft die Funktion erarbeitet wurde, kamen beide Prototypengruppen rasch zu einer Lösung.

Die dabei entstandenen Modelle unterschieden sich nicht stark vom bereits vorhandenen Motor. Dennoch fand man bei beiden Modellen kleinere Details, die verbessert oder nur geändert wurden.

Die Konstruktion verlief reibungslos. Leider schlichen sich bei der Fertigung teilweise kleinere Fehler ein. Grund dafür waren zu wenig ausgearbeitete Zeichnungen. Hand-skizzen, die vollkommen ausreichend gewesen wären, oder schöne Fertigungszeichnungen nützen nichts, wenn sie nicht ausreichend geprüft werden.

Mit einer Woche Verspätung konnten aber auch diese normalen Probleme gelöst werden.

Für die späteren Motoren gab es nur noch CAD Zeichnungen. Dennoch entstanden sich wieder Fehler, Fehler, die nicht zu vermeiden waren. Toleranzen mussten verfeinert und Führungen angepasst werden. Mit solchen zeitraubenden Mängeln rechnete man nicht und man kam teilweise echt ins Schwitzen.

Samstagarbeit war die Folge, Überzeit stand sowieso an der Tagesordnung.

Die funktionierenden Motoren aber waren sicherlich das Zeichen einer guten Zusammenarbeit. Die Kommunikation verlief nicht immer nach Wunsch, und das Einhalten der Termine machte einigen von uns ein wenig zu schaffen. Trotzdem gelang das Projekt nach Wunsch.

„Es ist unser erstes solches Projekt, ich bin zufrieden.“

„Noch nie habe ich eine Serie nicht auf CNC produziert.“

„Man müsste besser organisieren, trotzdem finde ich das Erarbeitete gut.“

Für die meisten von uns war es eine neue Erfahrung. Eine Erfahrung, die mit allen Tücken auch genau so viel Freude und Spass bereitete. Man lernte sich kennen, musste sich auf einander verlassen und kam zusammen ans Ziel.



## 15. Quellenangabe

### Bestehendes Modell

- Masse
- Design
- Funktion

### Stirlingprojekt 1

- Rahmenbedingungen
- Allg. Infos zur Projektarbeit

### Internet

- Funktion eines Stirlingmotors
- Ideen, Beispiele



## 16. Danksagung

Eine spezielle Danksagung gilt unseren Lehrern Andreas Schaub und Max Wirz.

Ihre Erfahrungen mit vorgehenden Projekten, wie dem Stirlingmotor „1“, liessen sie gekonnt einfließen und unterstützten uns so hervorragend.

Die Kenntnisse und Erfahrungen von ihrer Seite, sowie der bisherige Wissensstand der Lehrlinge, ergänzten sich gut und ergaben ein angenehmes Arbeitsklima.

**Wir danken hiermit Andreas Schaub sowie Max Wirz für ihre Unterstützung!**

Ein herzliches Dankeschön an alle beteiligten Firmen.




## **17. Anhang**

- Technische Zeichnungen des Stirlingmotors 2
  - Stückliste
  - Zusammenstellzeichnungen
  - Fertigungszeichnungen
  
- Dokumentation der Drehzahlmessung der GHS-Emmendingen