

## Stirling - Maschine (STI)

### Zu Aufgabe 1 (Kalibrierung des p-V-Indikators):

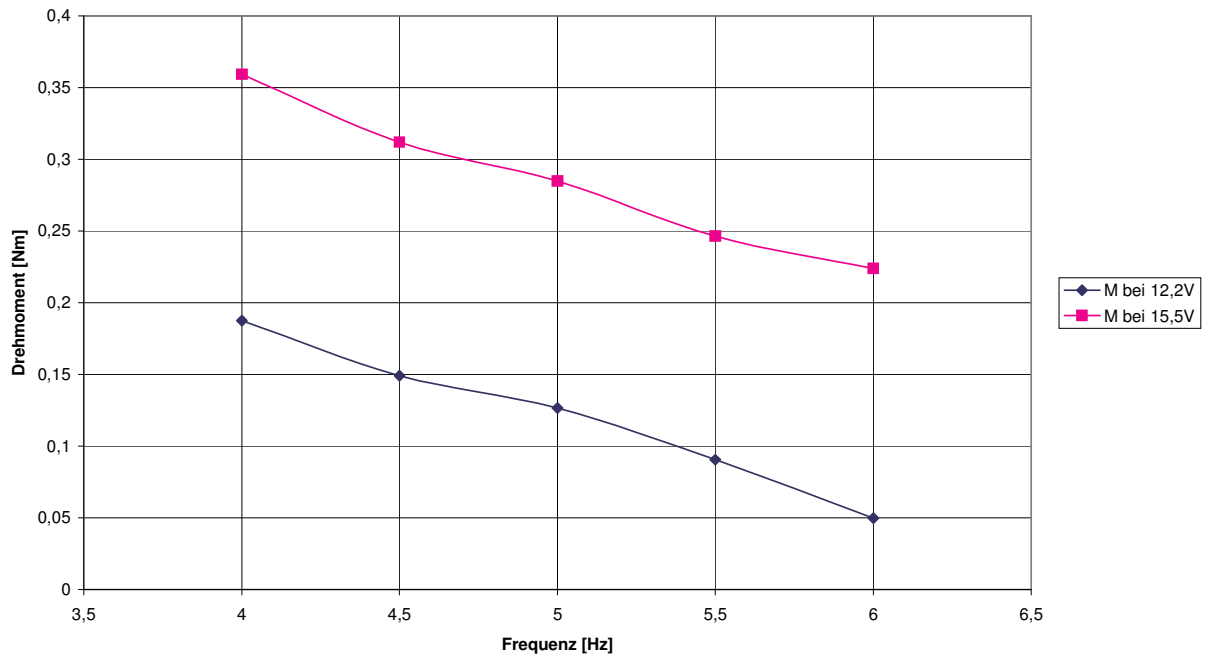
Das Millimeterpapier wird am Projektionsschirm so befestigt, daß sich der durchlaufene Kreisprozess gut darauf abzeichnen läßt. Die Volumenskalierung ist durch den Motor vorgegeben ( $150 \pm 0,5 \text{ cm}^3$ ) – man ermittelt auf dem Papier also Maximum und Minimum des Kreisprozesses. Die Druckskalierung erfolgt mit einem Luftpumpe-Manometer-Kombigerät bei abgeschaltetem Motor. Bei einem eingegebenen Druck schlägt der Spiegel aus und man kann die Achse bis etwa 800hPa beschriften. Die Druckachse verläuft dabei aber nicht senkrecht zur Volumenachse, sondern in einem Winkel von ca.  $87^\circ$ . Wie man jetzt bei nichtorthogonalen Koordinatensystemen die Fläche ausrechnet, wissen wir nicht genau. Wenn wir aber die Flächenänderung mit dem sinus annähern, so ergibt sich bei orthogonal gemessener Fläche für die reale Fläche ein etwas kleinerer Wert. Der Faktor dafür beträgt  $\sin 87^\circ \approx 0,999$  sprich eine Abweichung von einem Tausendstel. Dies kann man also getrost vernachlässigen. Weiterhin ist bei uns der Nullpunkt der Skala im Vergleich zum Minimum des Kreisprozesses etwas nach oben verschoben. Vermutlich lag durch den zuvor schon in Betrieb gewesenen Motor eine Abweichung diesbezüglich vor. Es ist natürlich auch möglich, daß die Skalierung fehlerhaft war. Um aber die Kalibrierung nicht mehrmals durchführen zu müssen, haben wir die darauffolgenden Blätter einfach über das Skalierte geheftet. Das erspart einiges an Arbeit und die Zeichnungen werden nicht ganz so unübersichtlich. Die Nichtlinearität der Druckachse behandelt man am besten mit einer Unterteilung in näherungsweise lineare Teilstücke. Wir haben bei einem Diagramm das in dieser Form noch einmal nachgerechnet und sind auf das gleiche Ergebnis gekommen wie bei der Behandlung mit Mittelwert über die gesamte Fläche (siehe Diagramm). Die Volumenachse muß ich als linear behandeln, da nur zwei Referenzpunkte gegeben sind. Die Abweichung des Volumens beträgt ca. 0,3%, also vernachlässigbar, vor allem in Hinblick auf die Ungenauigkeit des Abzeichnens.

### Zu Aufgabe 2 (Messung der mechanischen Leistung):

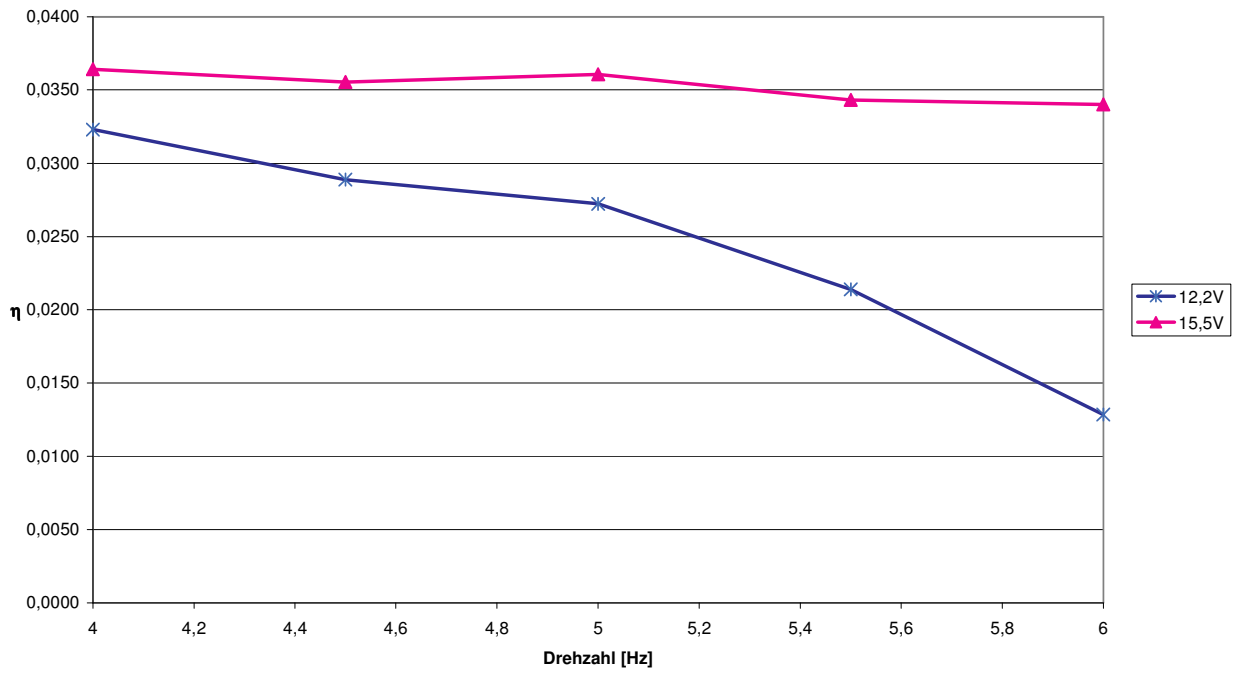
1. unbelastet:  $U=12,2\text{V}$ ;  $I=12,0\text{A}$ ;  $L_H=146\text{W}$ ;  $f=5,9\text{Hz}$  (Die Drehzahl ist der Zehnte Teil des am Meßgerät abgelesenen Werts.);  $W_P=4,0\text{J}$  (durch Abzählen);  $L_P=24\text{W}$ ;  $\eta_T=0,16$
2. belastet:  $U=12,2\text{V}$ ;  $I=12,0\text{A}$ ;  $L_H=146\text{W}$ ;  $f=4,0\text{Hz}$ ;  $W_P=3,6\text{J}$  (durch Abzählen);  $L_P=14\text{W}$ ;  $L_M=4,7\text{W}$ ;  $\eta_T=0,099$ ;  $\eta_E=0,032$
3. belastet (da unbelasteter Motor zu schnell wurde):  $U=15,5\text{V}$ ;  $I=16,0\text{A}$ ;  $L_H=248\text{W}$ ;  $f=6,0\text{Hz}$ ;  $W_P=6,0\text{J}$  (durch Abzählen);  $L_P=36\text{W}$ ;  $L_M=8,4\text{W}$ ;  $\eta_T=0,15$ ;  $\eta_E=0,034$
4. belastet:  $U=15,5$ ;  $I=16,0\text{A}$ ;  $L_H=248\text{W}$ ;  $f=4,0\text{Hz}$ ;  $W_P=5,3\text{J}$  (durch Abzählen);  $L_P=21\text{W}$ ;  $L_M=9,0\text{W}$ ;  $\eta_T=0,085$ ;  $\eta_E=0,036$

Wie man in den Diagrammen sehen kann, ergibt sich für beide Diagramme ein annähernd linearer Zusammenhang. Für niedrige Drehzahlen ist die abgegebene Leistung höher und somit auch der Wirkungsgrad. Dies rührt vermutlich von der Tatsache her, daß bei langsam laufendem Motor das Gas mehr Zeit hat seinen Zustand zu ändern (Wärmeaustausch mit dem Regenerator).

### Drehmomente



### Drehzahlabhängigkeit des effektiven Wirkungsgrades



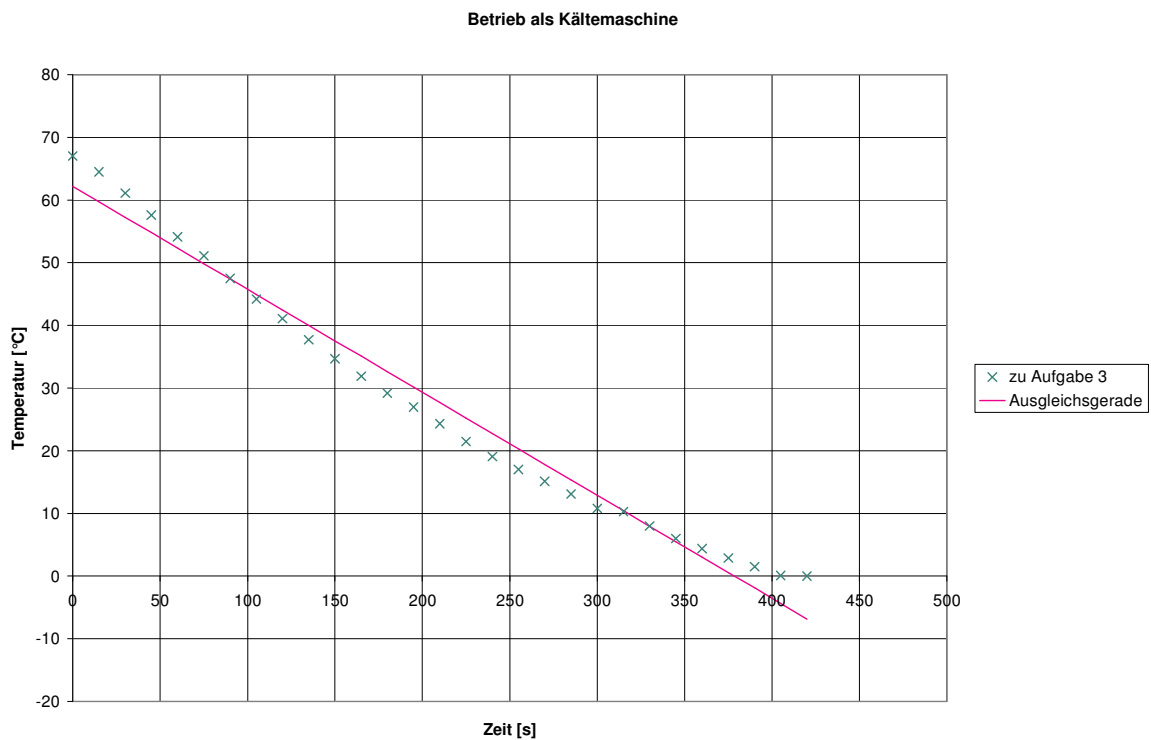
Zu Aufgabe 3 (Kältemaschine):

Die Heizung wird hier durch eine Wasserprobe ersetzt. Durch Zuführung mechanischer Arbeit wird die Probe gekühlt.

(Graphische Darstellung der Meßwerte, siehe Diagramm.)

Aus dem Diagramm läßt sich ein nahezu linearer Temperaturverlauf erkennen. Das bedeutet, die Maschine hat eine konstante Kühlleistung.

Die Temperatur blieb nach 420 Sekunden konstant bei 0°C. Da wir etwas mehr Wasser verwendeten als angegeben war, haben wir nicht das gesamte Wasser zum Gefrieren gebracht, sondern nur einen Teil davon. Theoretisch wäre es natürlich möglich gewesen zu warten, bis das gesamte Wasser gefroren wäre. Da dies jedoch keine neuen Meßergebnisse gebracht hätte, haben wir nicht so lange abgewartet.



Zu Aufgabe 4 (Wärmepumpe):

Um die Maschine als Wärmepumpe zu verwenden, mußten wir nur die Drehrichtung des antreibenden Motors umkehren.

Wir haben unsere Wasserprobe von 0°C auf 95°C erhitzt (siehe Diagramm).

Die Erwärmung der Probe beginnt nicht sofort, sondern setzt erst ca. eine Minute später ein. Das ist dadurch zu erklären, daß die zugeführte Energie anfangs dazu dient, das in der Wasserprobe enthaltene Eis vollständig aufzutauen. Danach verläuft die Temperaturkurve linear. Bei höheren Temperaturen werden die Wärmeverluste immer größer, so daß sich schließlich bei 95°C ein Gleichgewicht einstellt. Eine weitere Temperaturerhöhung ist danach nicht mehr möglich.

