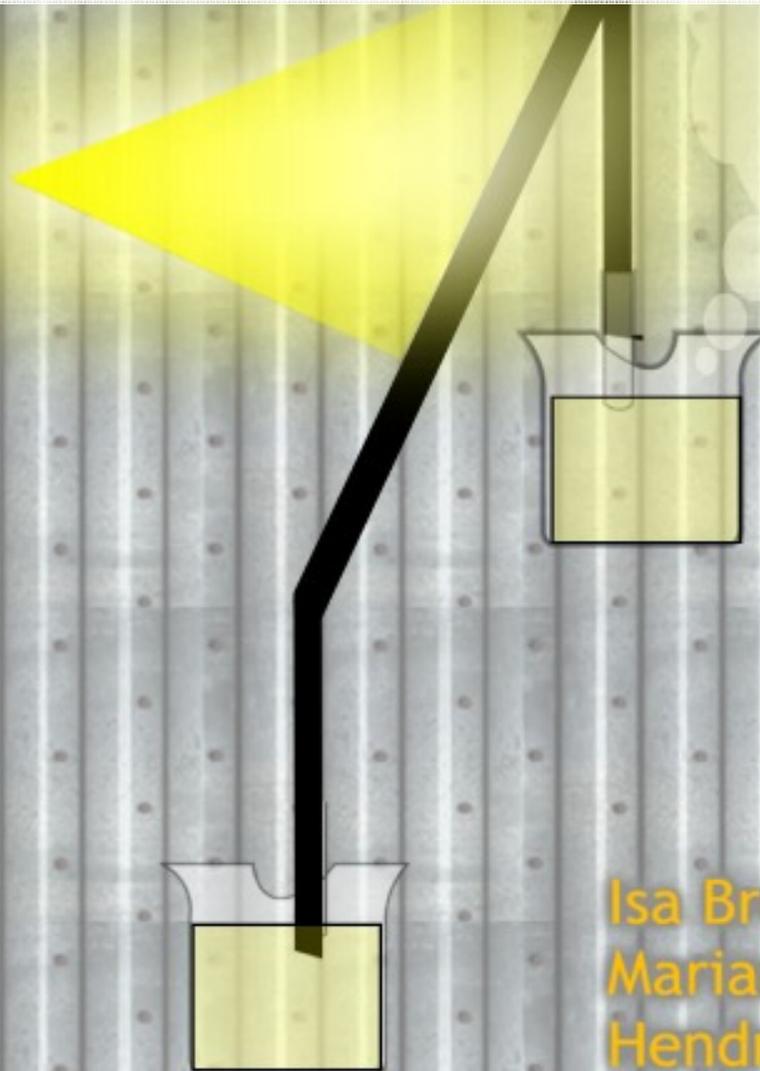
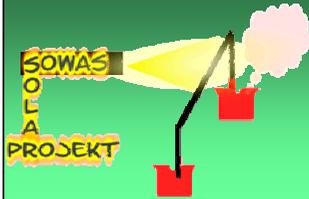


Wirkungsgrade eines Solarkollektors

SOWAS
SOLA
PROJEKT

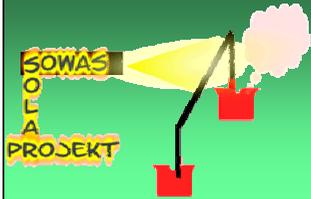


Isa Brenzinger
Marianne Langener
Hendrik Vondracek



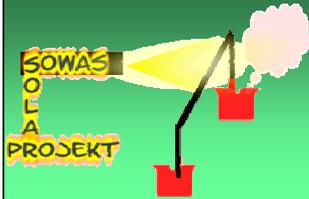
Übersicht

1. Grundlagen
2. Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der spezifischen Wärmekapazität
3. Wirkungsgrad in Abhängigkeit von verschiedenen Glasabdeckungen
4. Wirkungsgrad in Abhängigkeit von verschiedenen Wellenlängen
5. Ausblick & Fazit

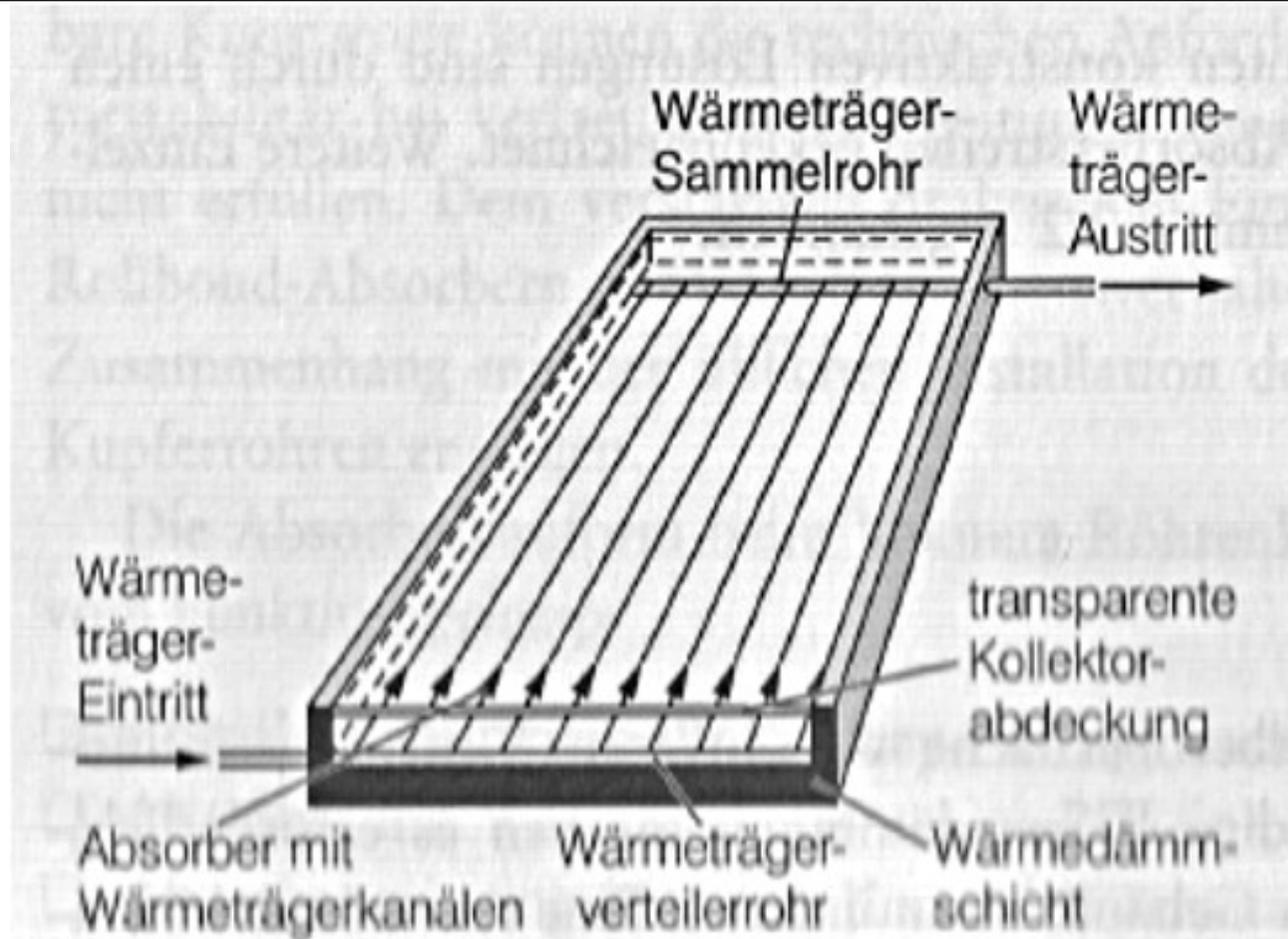


1. Grundlagen

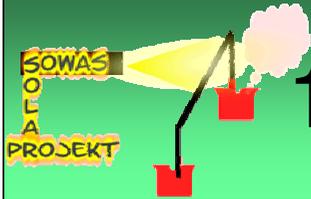
- 1.1 Kollektor
- 1.2 Versuchsaufbau
- 1.3 Lampe
- 1.4 Absorber
- 1.5 Wärmeträger
- 1.6. Thermischer Wirkungsgrad
- 1.7 Versuchsdurchführung
- 1.8 Messgrößen



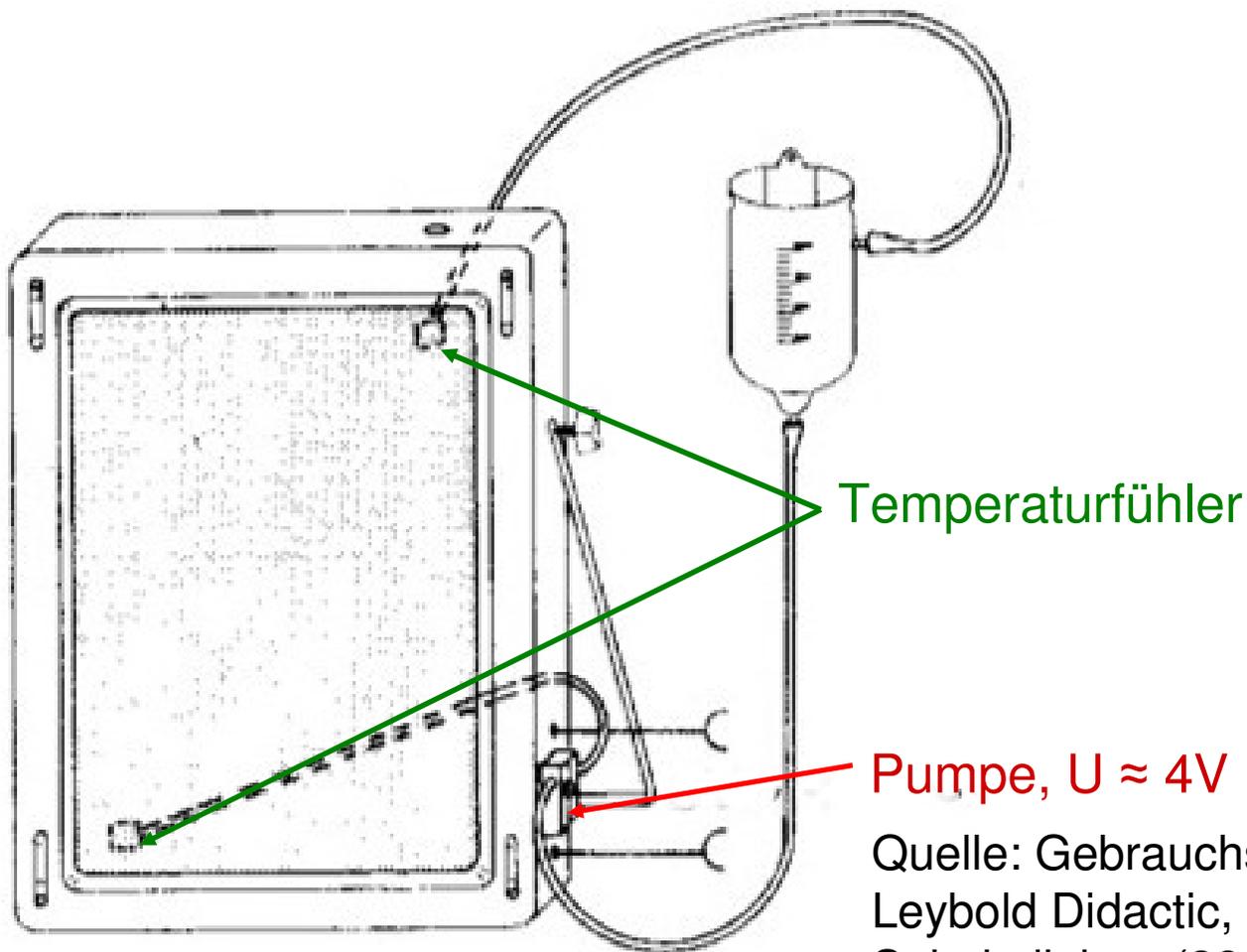
1.1 Skizze eines Flachkollektors



Quelle: Hadamovsky, H.-F.; Jonas, D. – Solaranlagen: Die neue Meisterprüfung, 1. Aufl., Vogel, Würzburg, 2000, S. 122



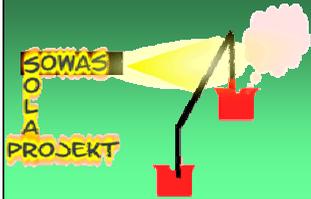
1.2 Der verwendete Versuchsaufbau



Temperaturfühler

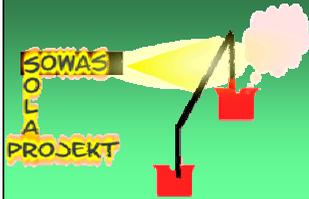
Pumpe, $U \approx 4V$

Quelle: Gebrauchsanweisung der Firma
Leybold Didactic, Hürth zum
Solarkollektor (389 50)



1.2 Foto des Versuchsaufbaus

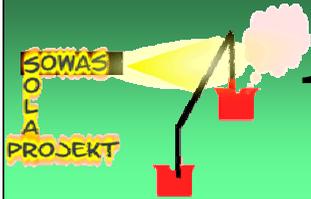




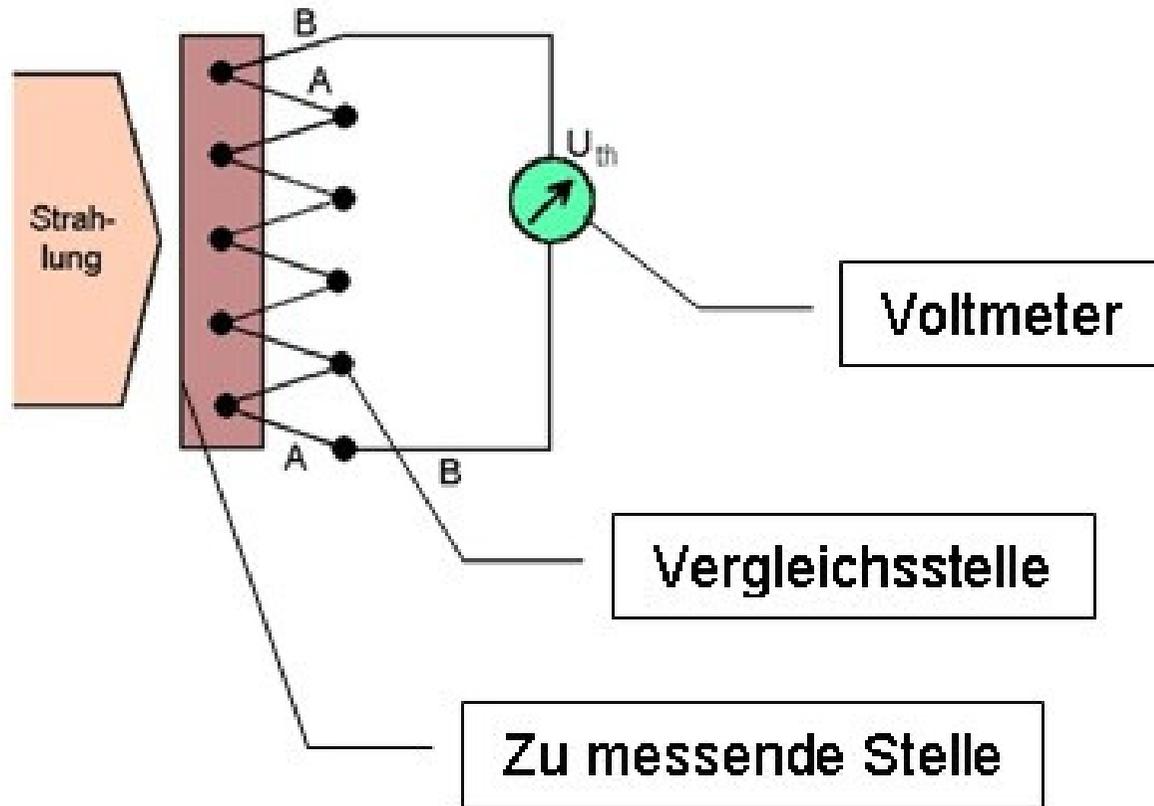
1.3 Die Lampe



- handelsüblicher Halogenstrahler
- aufgenommene Leistung:
1000 W
- genähert als punktförmige
Lichtquelle
- der Absorber sollte möglichst
vollständig ausgeleuchtet sein

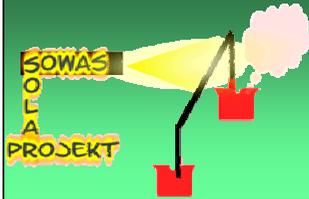


1.3 Funktionsweise einer Thermosäule

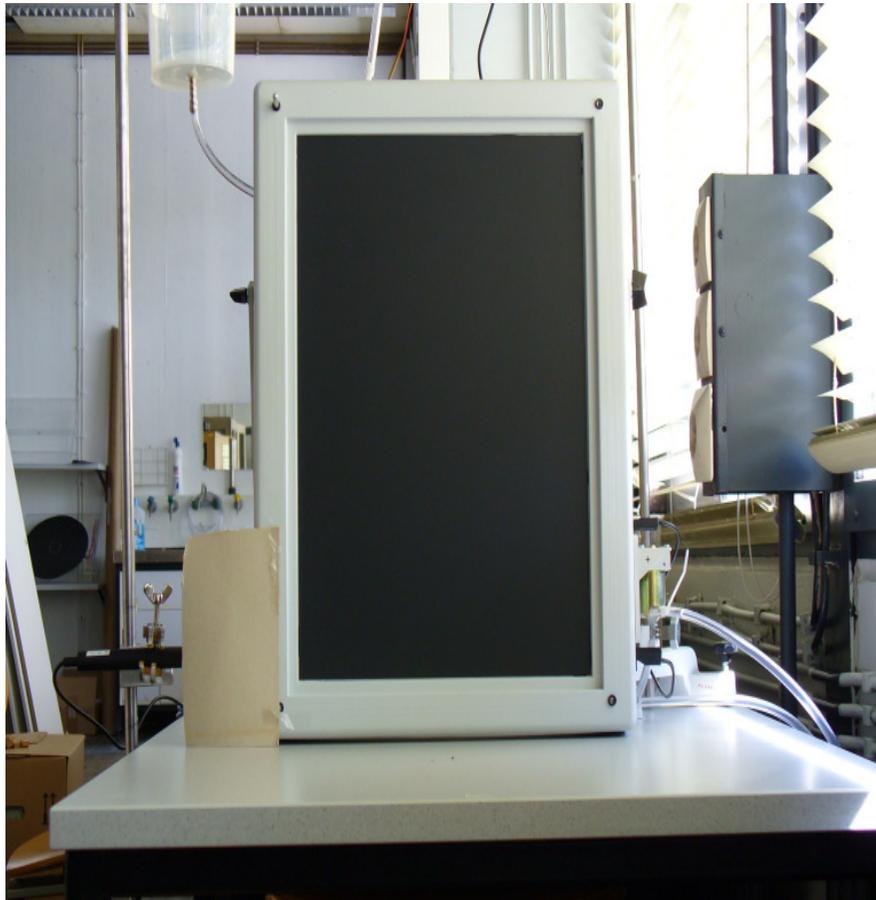


- Messwert:
 $E=761,364 \text{ W/m}^2$
- Thermosäule
empfindlich
für $\lambda > 500 \text{ nm}$

Quelle: <http://www.ben-newman.de/thermosaeule/>, 20.04.2009



1.4 Der Absorber



- mattschwarze Aluminiumplatte

$$A=0,1281\text{m}^2$$

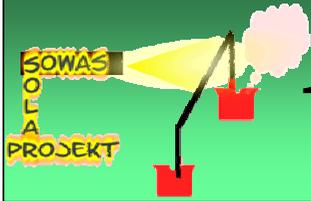
- raue Oberfläche

- Absorptionskoeffizient

$$\alpha: 0,95$$

- Emissionskoeffizient

$$\varepsilon: 0,88$$



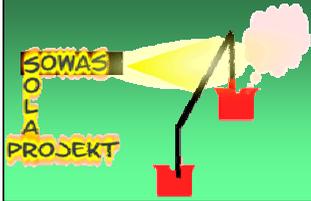
1.4 Physikalische Prozesse im Absorber

- Temperaturdifferenz zwischen Vorder- und Rückseite
→ Wärmeleitung

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda A \frac{dT}{dx}$$

- Charakteristisch für einen Absorber:
 - Absorptionsvermögen
 - Wärmeleitfähigkeit
 - Dicke des Materials
- Wiedemann-Franz-Gesetz

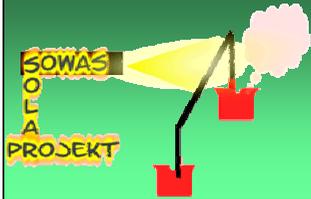
$$\frac{\lambda}{\sigma} = \frac{\pi^2 k^2}{3 q^2} T$$



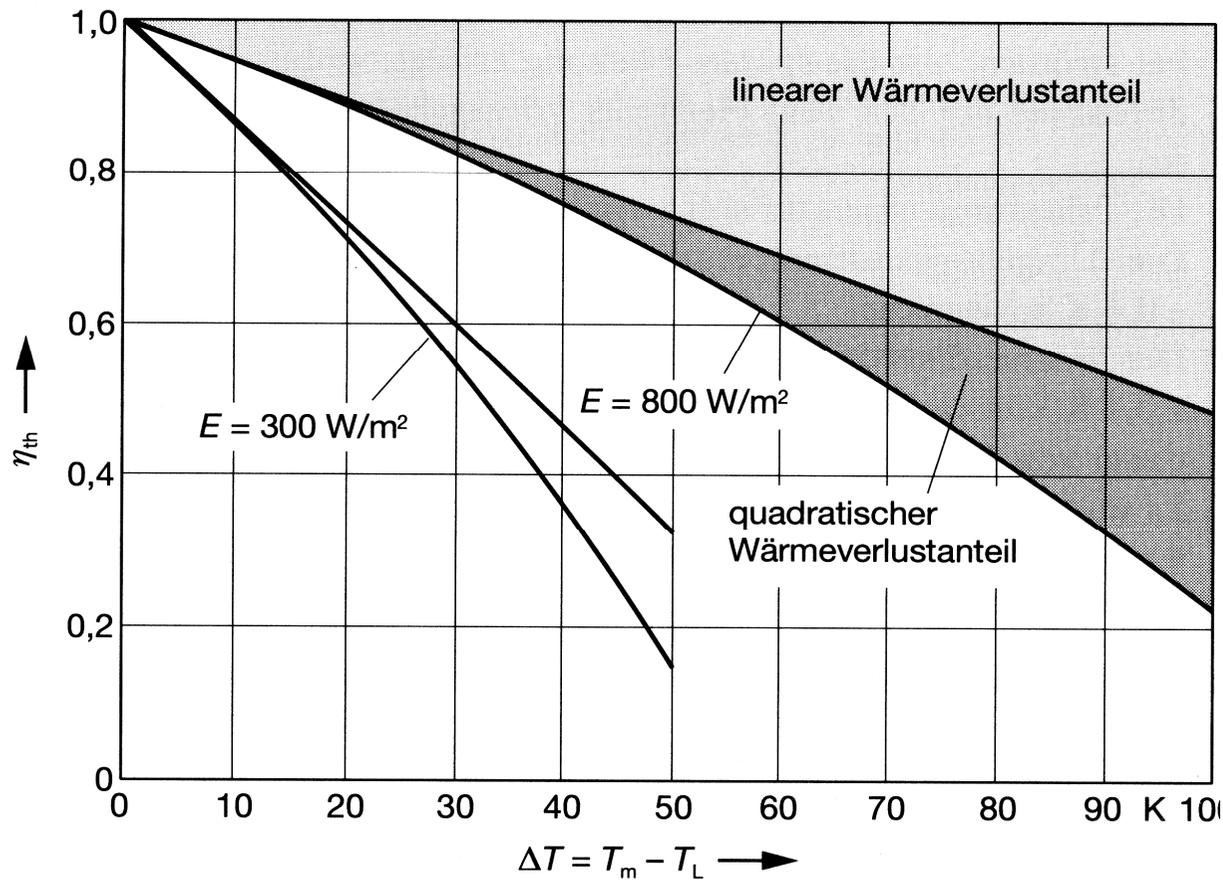
1.5 Der Wärmeträger

- Wärmeleitvermögen:
sehr klein
- Konvektion:
ausgeprägt und erzwungen
- spezifische Wärmekapazität des Fluids

$$C = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$



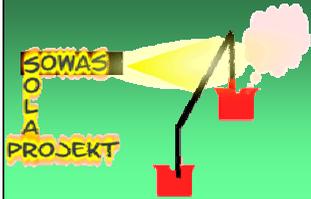
1.6 Der thermische Wirkungsgrad



$$\eta_{th} = 1 - V$$

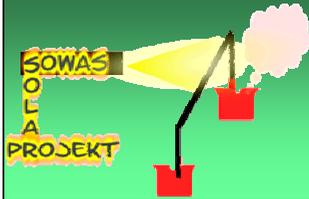
$$V = \frac{a_0 \Delta T + a_1 (\Delta T)^2}{E}$$

Quelle: Hadamovsky, H.-F.; Jonas, D. – Solaranlagen: Die neue Meisterprüfung, 1. Aufl., Vogel, Würzburg, 2000, S. 138



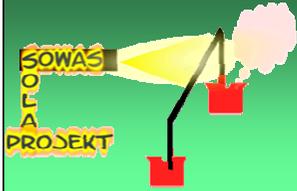
1.7 Versuchsdurchführung

- Kollektor wird betriebsbereit gemacht
 - Überprüfen der Elektronik
 - Einfüllen Flüssigkeit
 - Einschalten der Pumpe
 - Entfernen der Luft aus dem Kreislauf
- Einstellen der Massendurchflussrate
- Einschalten der Lampe
- Aufzeichnen der Temperatur mit CassyLab



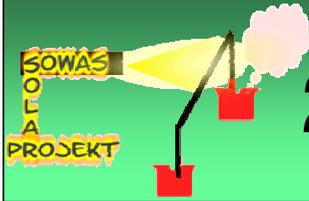
1.8 Übersicht über Messgrößen und -methoden

<u>Messgröße</u>	<u>Messgerät</u>	<u>Bemerkungen</u>
Temperaturen T1, T2	Temperatursensor mit Cassy	Gesamte Versuchszeit
Betriebsspannung der Pumpe	Voltmeter	Gesamte Versuchszeit
Durchfluss des Kollektormediums	Durchflussmessgerät Oszilloskop	Gesamte Versuchszeit
Spektraluntersuchung	USB-Spektralmessgerät	Einzelmessung
Strahlungsleistung der Lampe	Thermosäule Luxmeter	Einzelmessung Einzelmessung



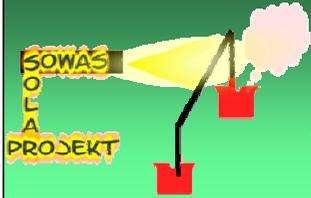
2. Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der spezifischen Wärmekapazität

- 2.1 Warum verschiedene Flüssigkeiten?
- 2.2 Berechnung des Wirkungsgrades
- 2.3 Massendurchflussrate
- 2.4 Chemikalien
- 2.5 Messung mit Chemikalien
- 2.6 Ergebnisse
- 2.7 Probleme und Fehlerquellen



2.1 Warum verschiedene Flüssigkeiten?

- Frostschutzmittel notwendig
 - Anwendung im Winter
 - Zulassung im Brauchwasserkreislauf
- Möglicherweise auch Erhöhung des Wirkungsgrades?
 - Auswirkungen der Änderung der spezifischen Wärmekapazität c



2.2 Berechnung des Wirkungsgrades

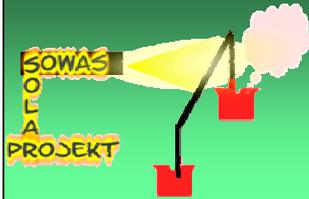
Vom Wärmeträgerfluid aufgenommene Wärmemenge

$$Q_A = mc\Delta T = mc(T_{Anf} - T_{End})$$

Auf den Detektor auftreffende Wärmemenge

$$Q_Z = tEA$$

$$\Rightarrow \eta_{total} = \frac{Q_A}{Q_Z} = \frac{mc\Delta T}{tEA} = \frac{mc(T_{Anf} - T_{End})}{tEA}$$



2.3 Massendurchflussrate

Charakteristika des Messgerätes

Durchflussmenge: 0,06 - 0,6 l/min

Impulse: 1880 Impulse/Liter

Temperaturbereich: -10 °C - 65 °C



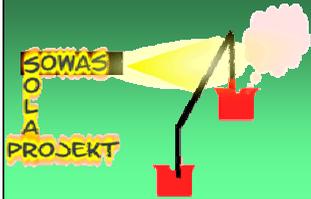
Bestimmung der Massendurchflussrate

$$\frac{m}{t} = \frac{V}{t} \cdot \rho$$

In unserem Versuch:

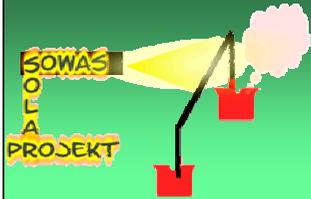
$$3,55 \frac{g}{s}$$



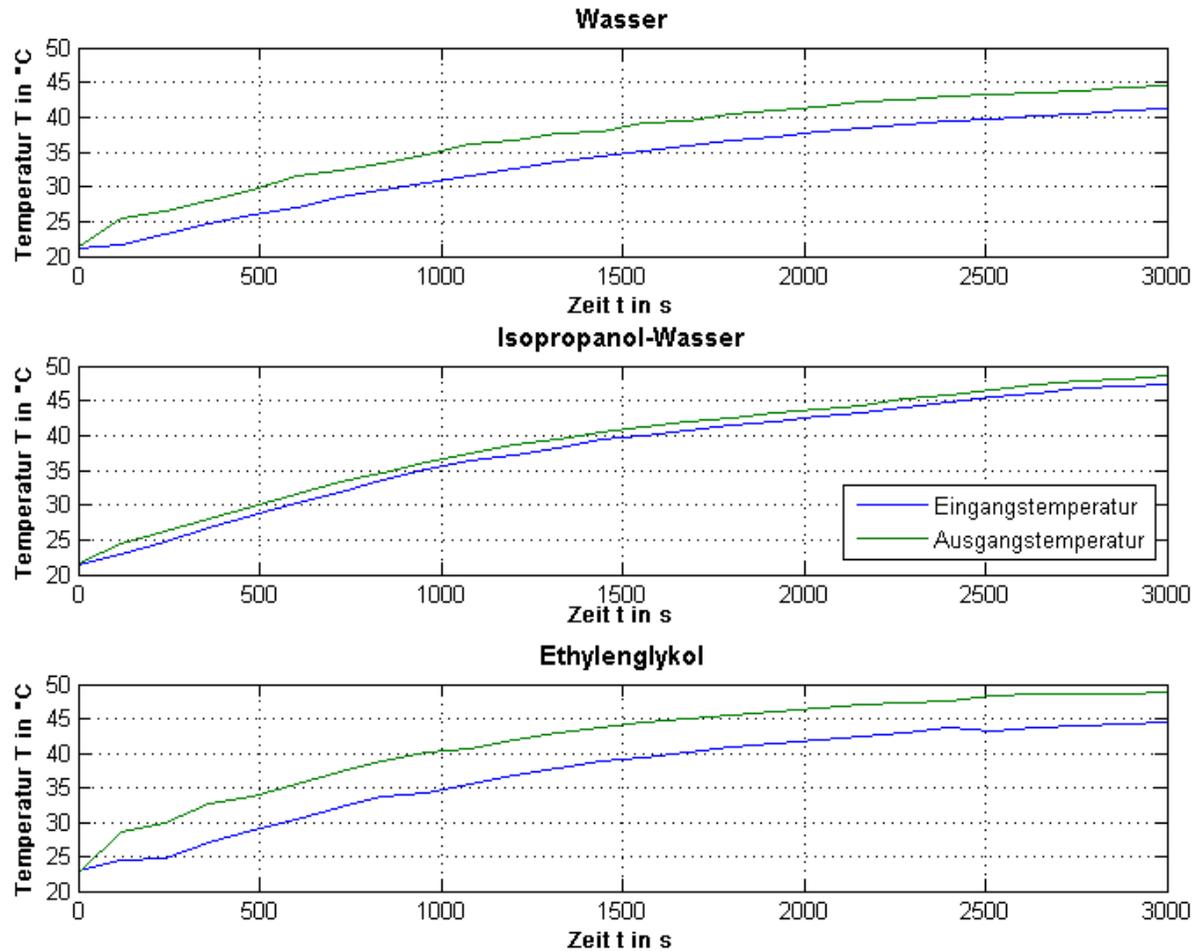


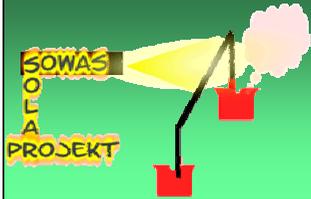
2.4 Chemikalien

Stoff	Spezifische Wärmekapazität c in J/(kg·K)	Dichte ρ in g/cm ³	Schmelztemperatur T in °C
Wasser	4182	0,998	0
Ethylenglykol	2400	1,110	-16
Isopropanol	2350	0,780	-88
Isopropanol-Wasser-Lösung	3380	0,890	--



2.5 Messung mit Chemikalien

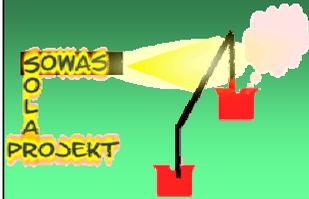




2.6 Ergebnisse der Messung

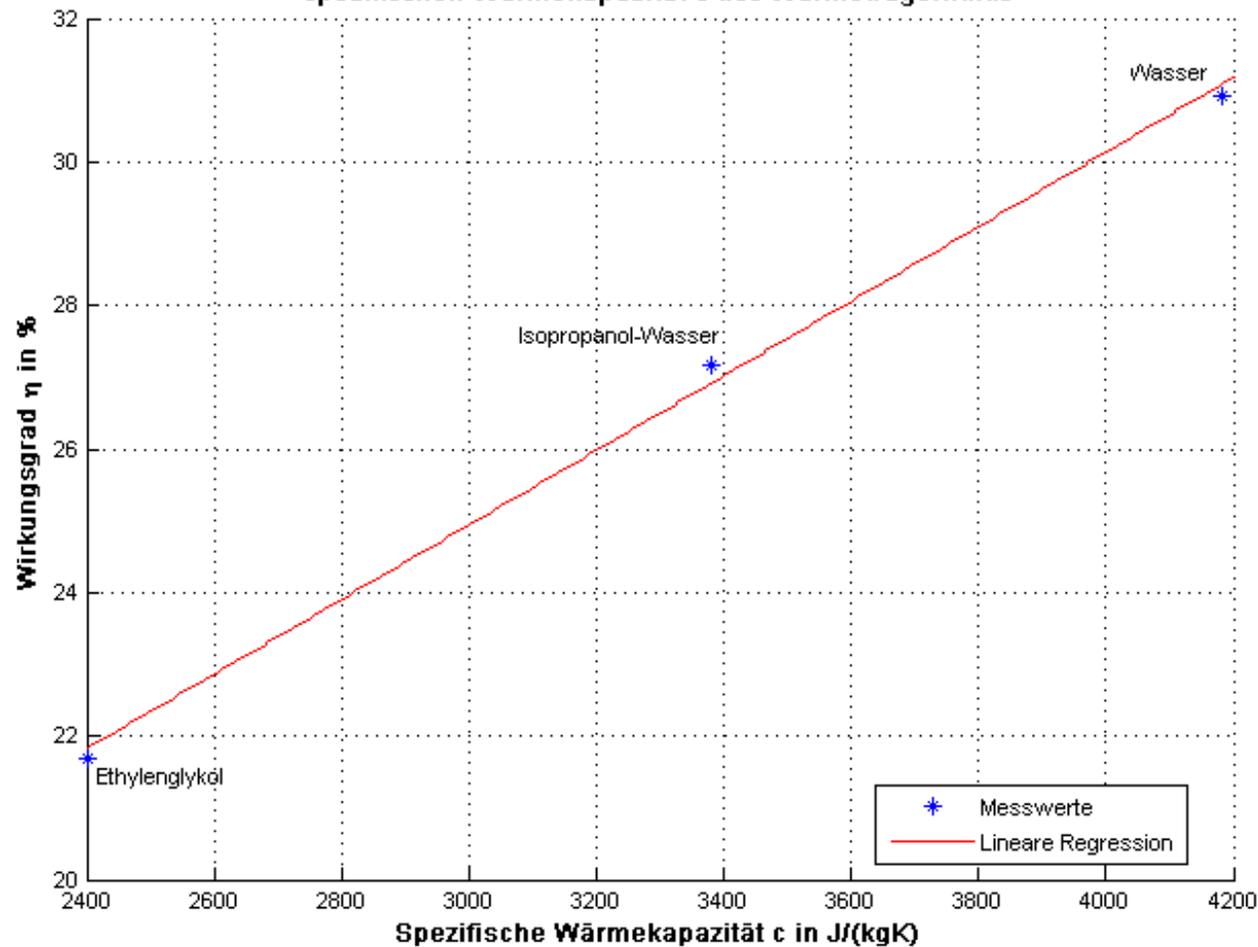
Wirkungsgrad:
$$\eta = \frac{cm\Delta T}{tEA}$$

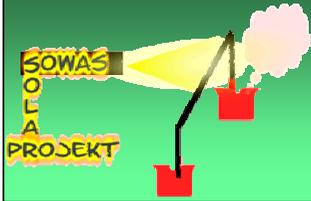
Stoff	Spez. Wärmekapazität c in J/(kg·K)	Temperaturdifferenz ΔT in °C	Wirkungsgrad η in %
Wasser	4182	21,7	31
Isopropanol-Wasser	3380	26,4	27
Ethylenglykol	2400	23,8	22



2.6. Zusammenhang zwischen Wirkungsgrad und spezifischer Wärmekapazität c

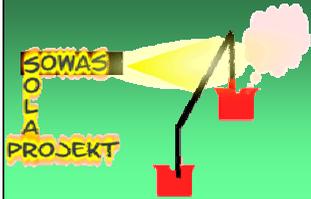
Der Wirkungsgrad eines Solarkollektors in Abhängigkeit von der spezifischen Wärmekapazität c des Wärmeträgerfluids





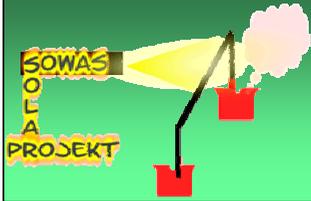
2.7 Probleme und Fehlerquellen

- Veränderlichkeit der Dichte nicht beeinflussbar
- Restflüssigkeit im Kollektor
- Variationen in der Pumpenleistung (nicht beeinflussbar)
- Wärmeverlust (Konvektion, Wärmestrahlung, Wärmeleitung)



3. Wirkungsgrad in Abhängigkeit von verschiedenen Glasabdeckungen

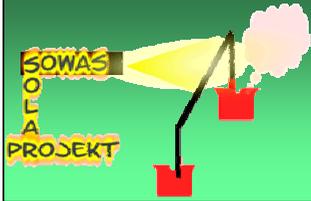
- 3.1 Optischer Wirkungsgrad
- 3.2 Ergebnisse der Spektraluntersuchung
- 3.3 Gesamtwirkungsgrade



3.1 Optischer Wirkungsgrad

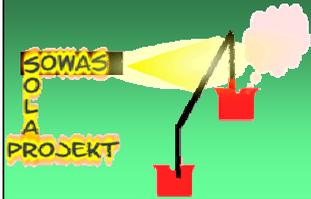
- Optische Parameter des Kollektors und der Abdeckung
- Absorption α des Absorbers
- Transmission τ des Glases

$$\eta_{\text{opt}} = \alpha * \tau$$

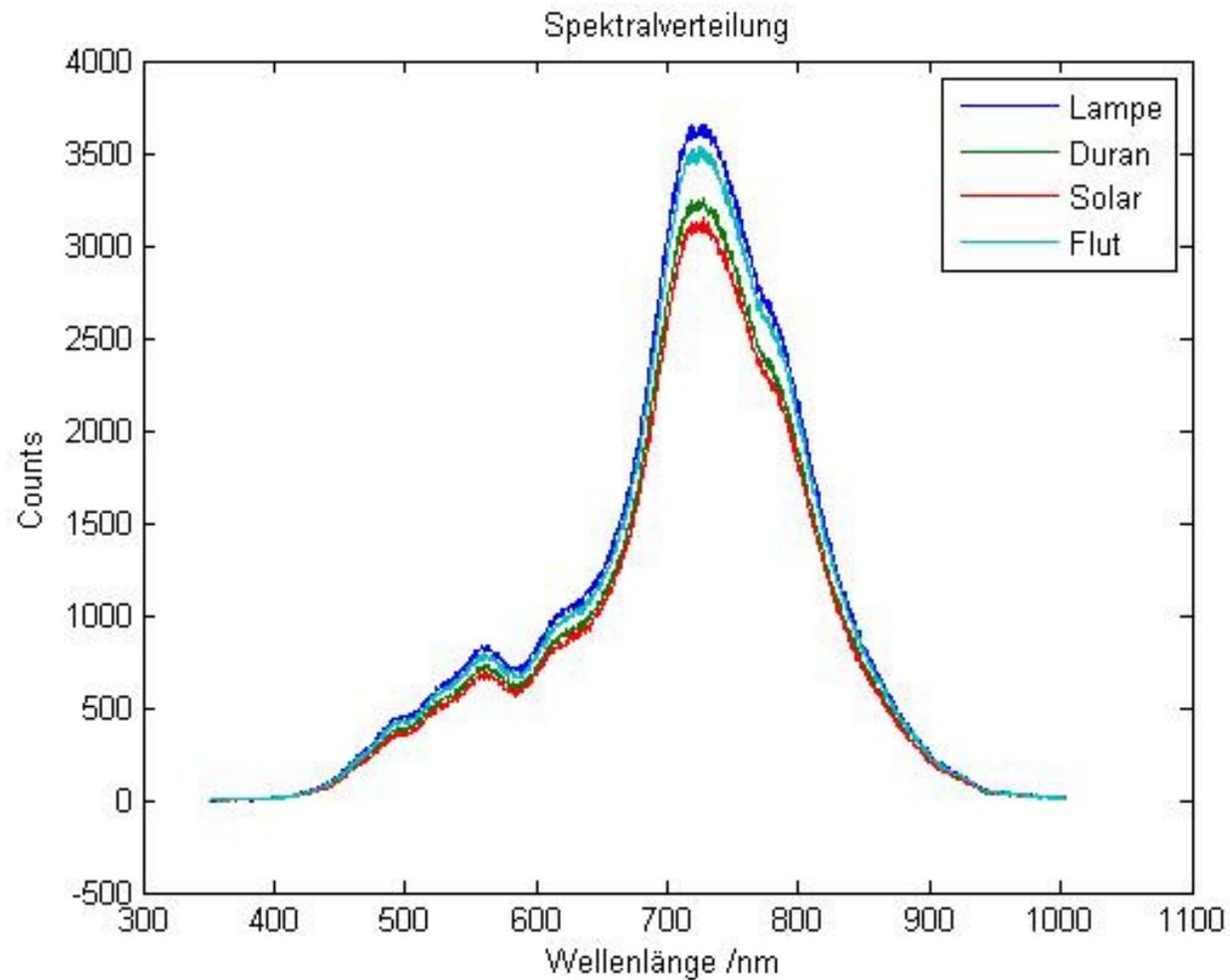


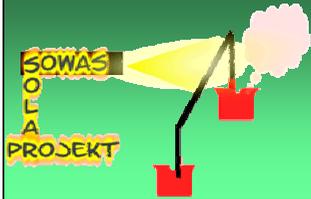
3.2 Ergebnisse der Spektraluntersuchung

Gläser	Transmission τ in	Optischer Wirkungsgrad η_{opt} in %
Floatglas	0,96	91,21%
Duranglas	0,886	83,66%
Solarglas	0,8459	80,36%



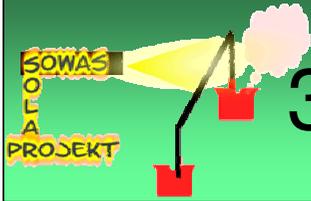
3.2 Gesamtspektralverteilung



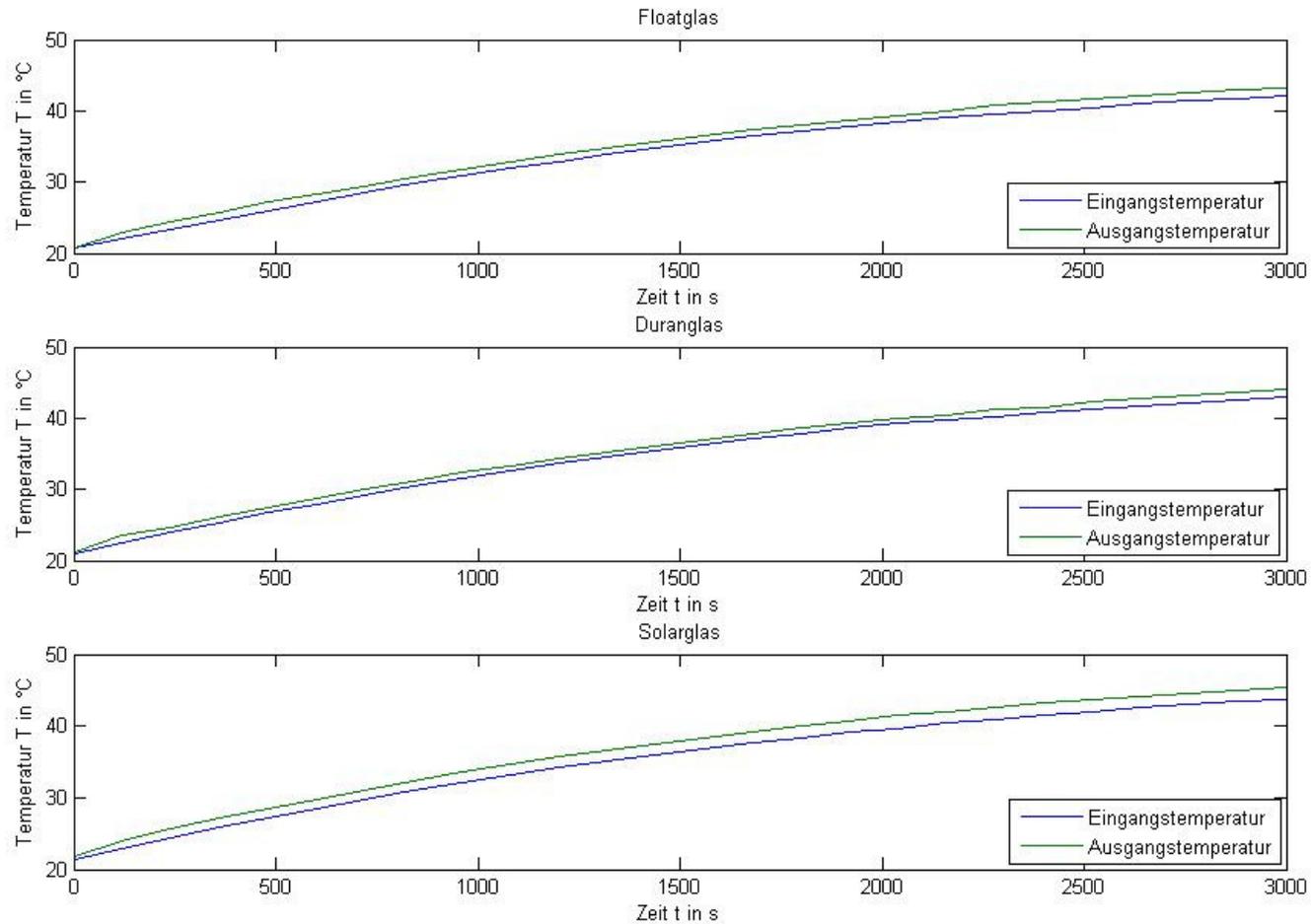


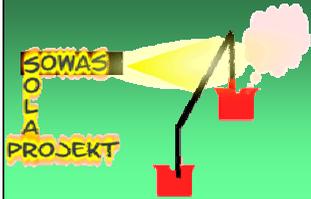
3.3 Gesamtwirkungsgrade

Gläser	Temperaturdifferenz ΔT in °C	Gesamtwirkungsgrad η in %
Floatglas	22,52	28,98
Duranglas	22,86	29,40
Solarglas	23,70	30,49

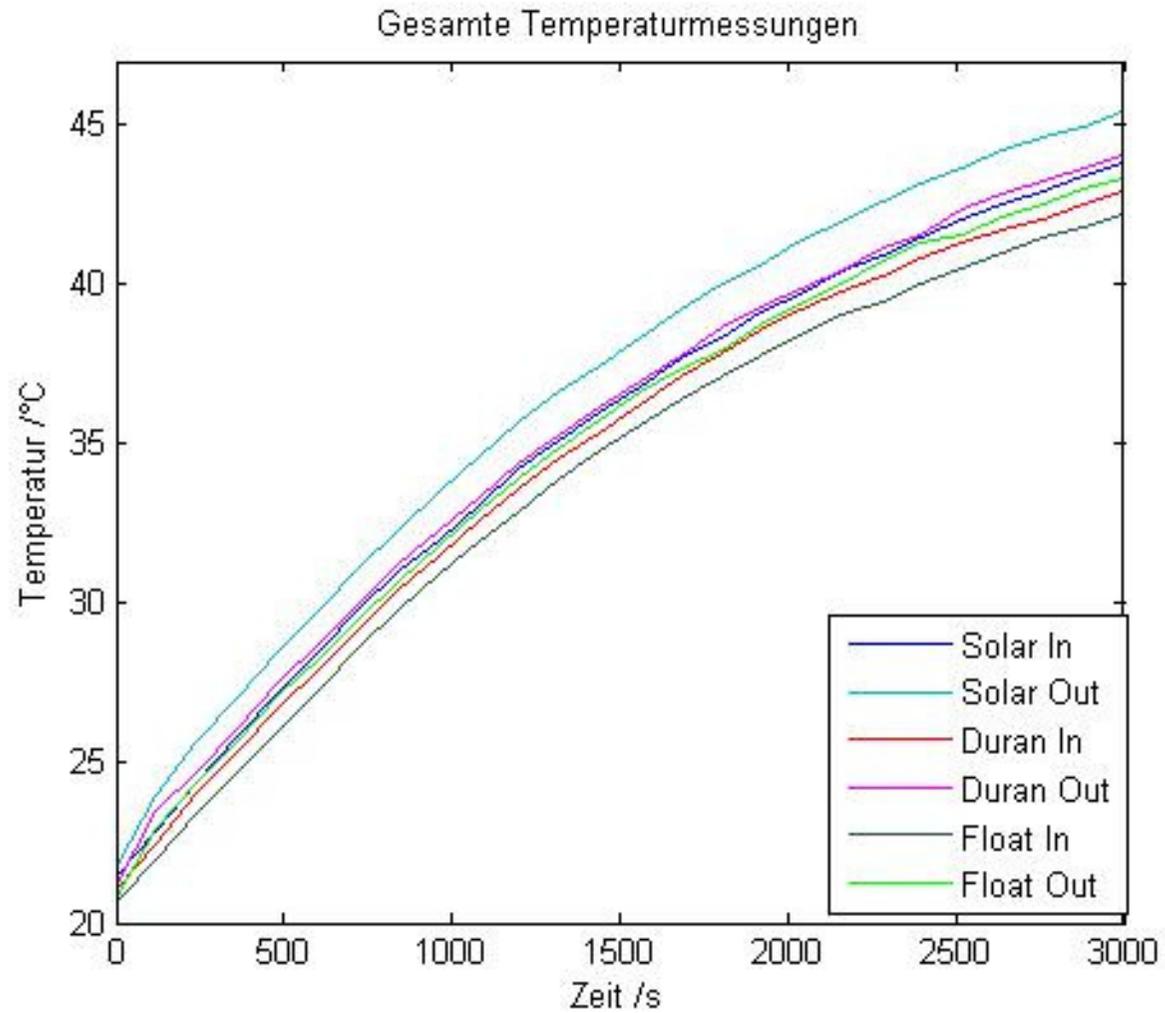


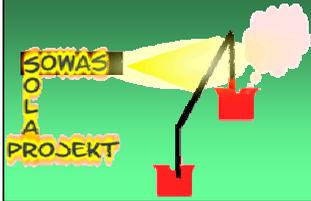
3.3 Ergebnisse der Temperaturmessungen





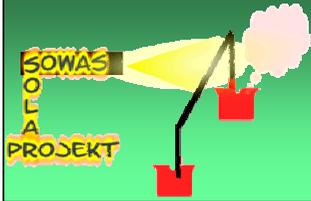
3.3 Gesamttemperaturmessung





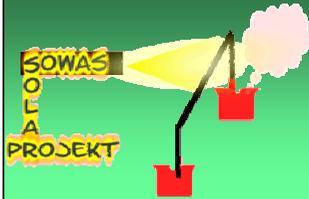
4. Wirkungsgrad in Abhängigkeit von verschiedenen Wellenlängen

- 4.1 Warum eine Filtermessung?
- 4.2 verschiedene Filter - Spektraluntersuchung
- 4.3 Temperaturmessungen - Wirkungsgrade

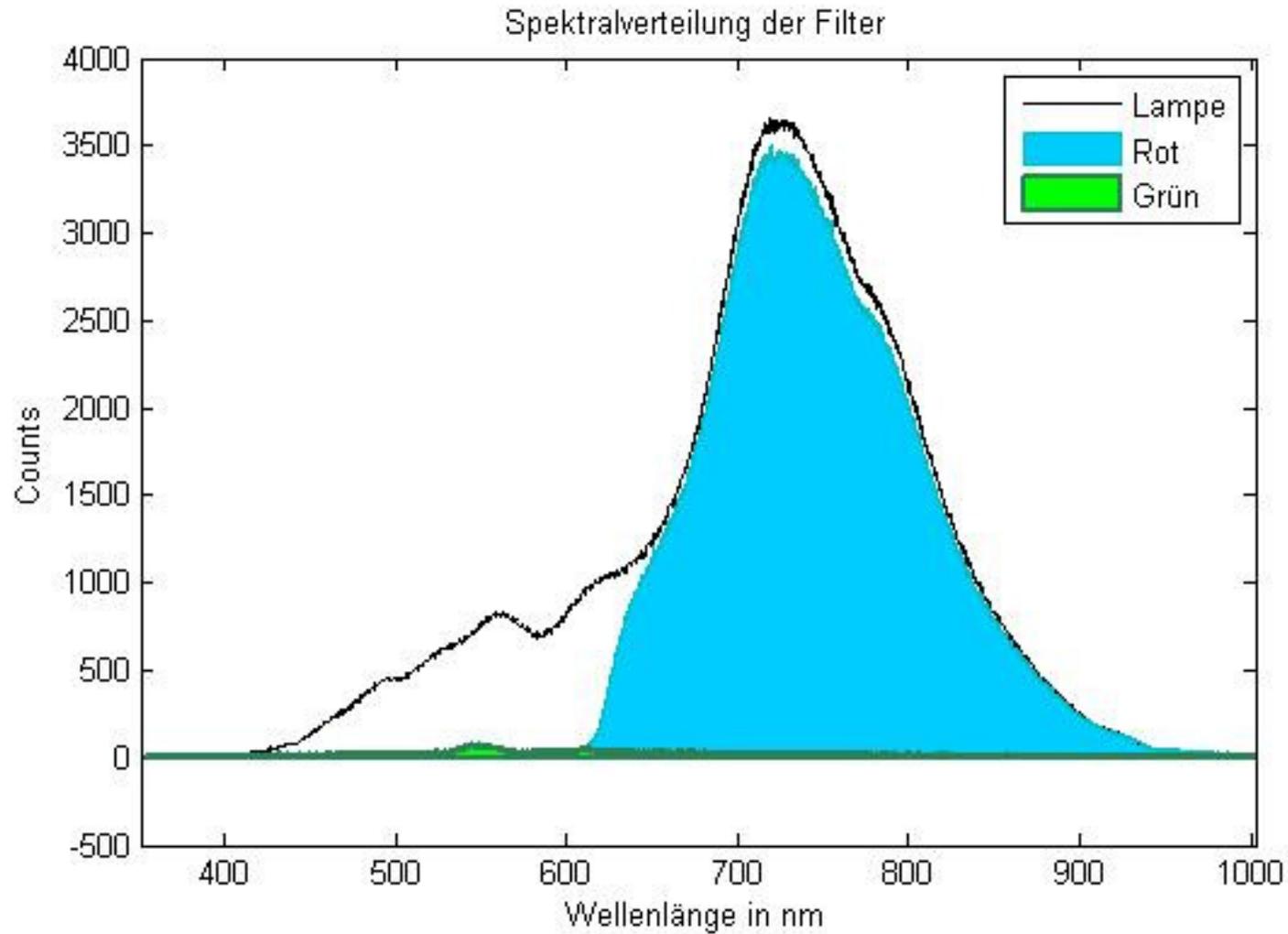


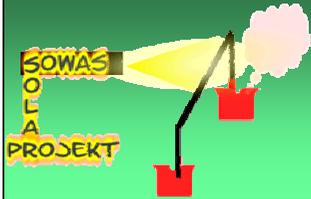
4.1 Warum eine Filtermessung?

- beschränkter Wellenlängenbereich
- Wärmefilter: Kann überhaupt noch eine Erwärmung stattfinden?
- Auswirkung des minimalen Strahlungsverlust durch breitbandigen Filter ?



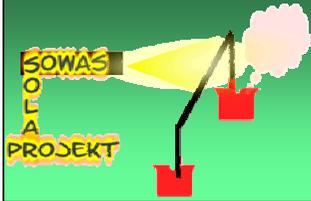
4.2 Ergebnisse der Spektraluntersuchung



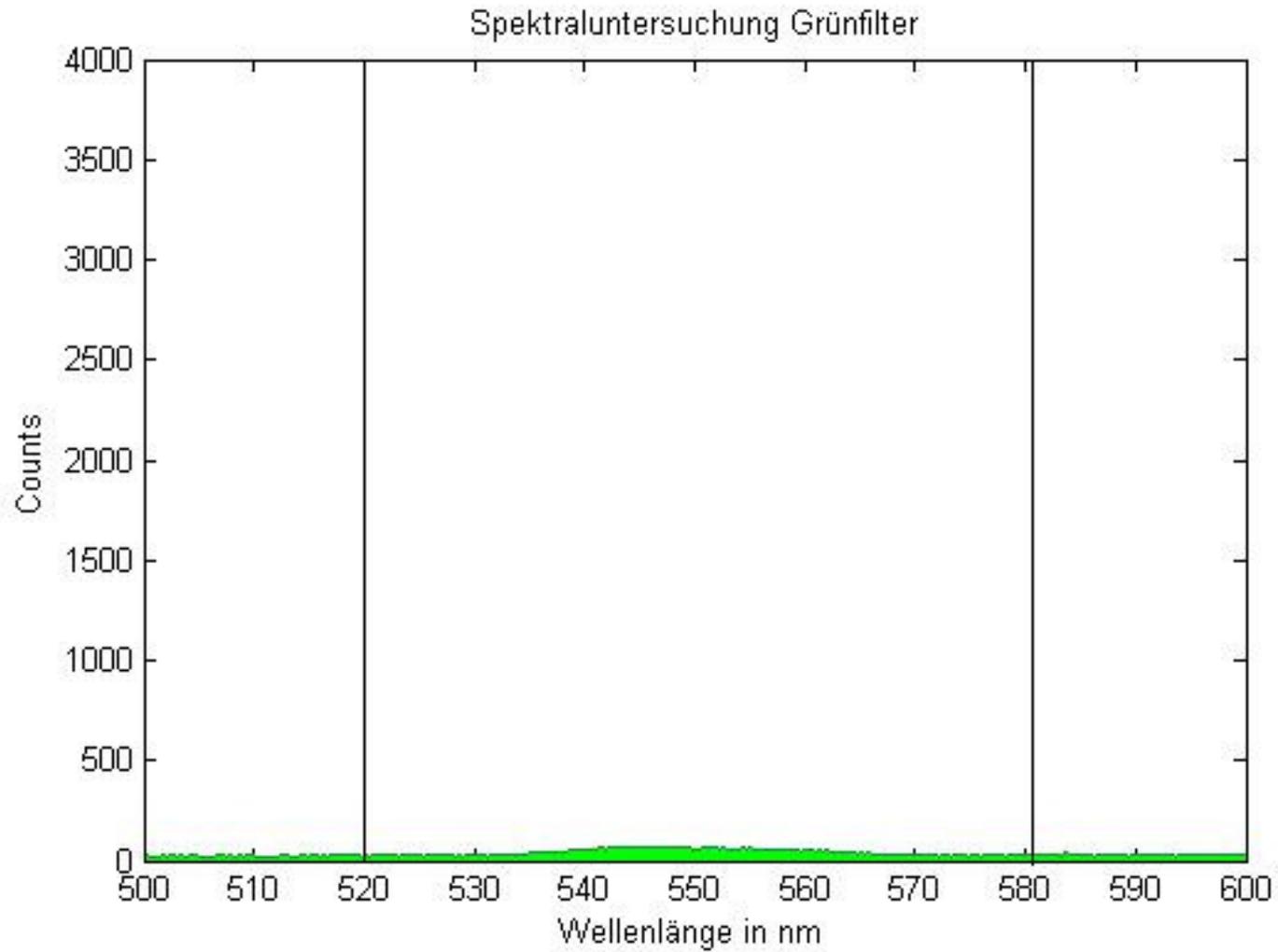


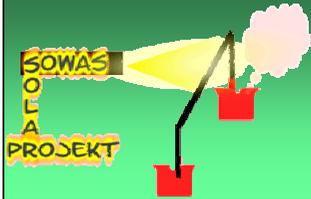
4.2 Die verschiedenen Filter

Filter	Aufbau	Spektrum	sonstiges
Grün	vier parallele Filter	relativ schmalbandig	Wärmefilter
Rot	vier Filter parallel	relativ breitbandig	kein Wärmefilter

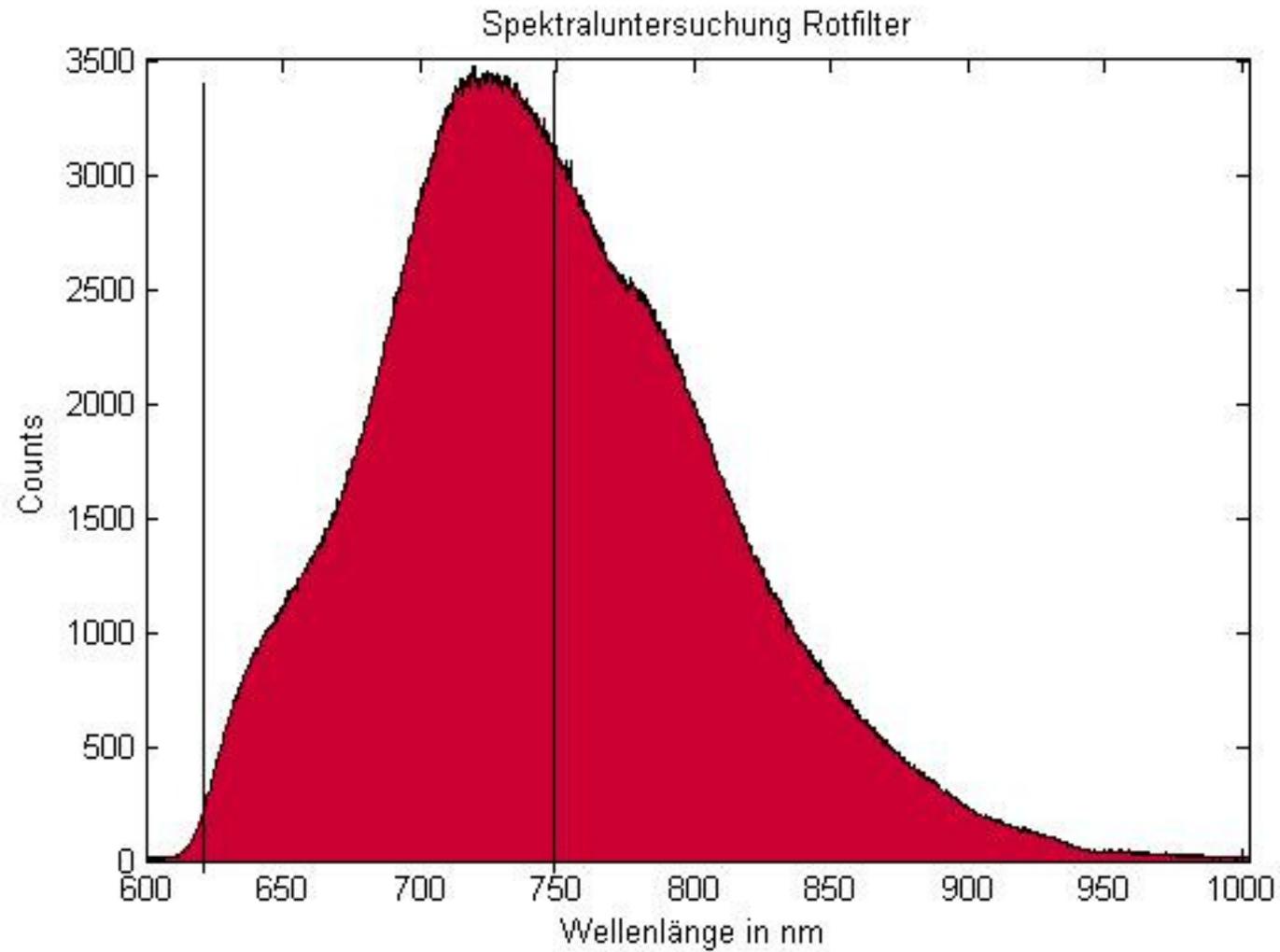


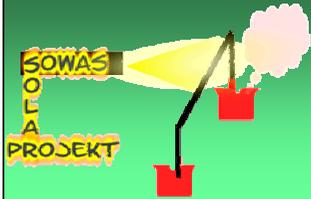
4.2 Spektraluntersuchung Grünfilter



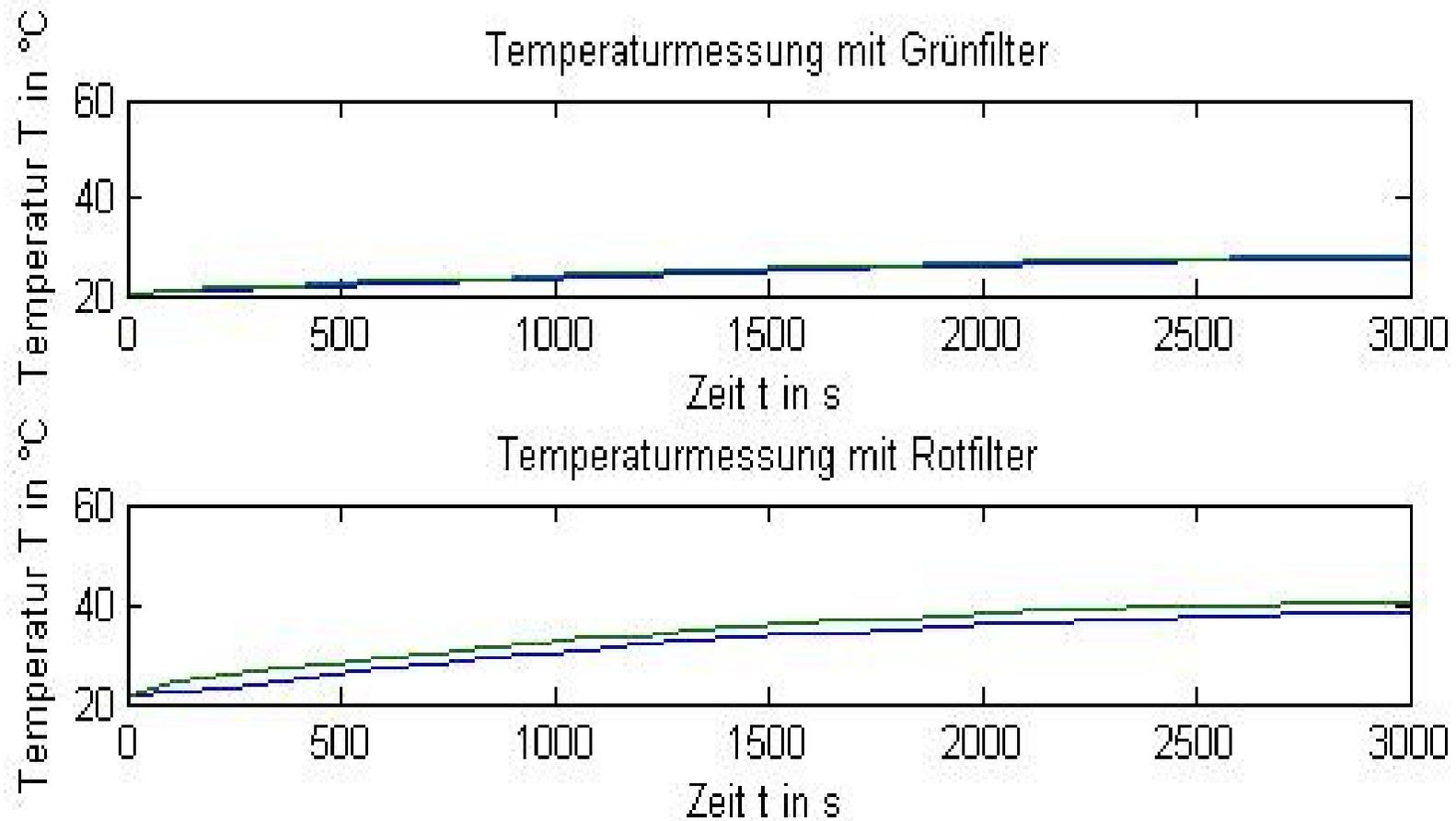


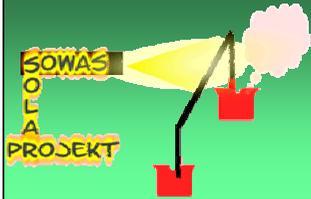
4.2 Spektraluntersuchung Rotfilter





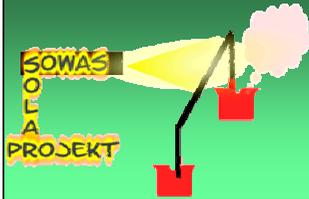
4.3 Temperaturmessungen





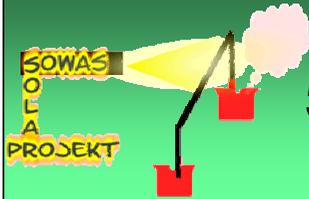
4.3 Wirkungsgrade

Filter	Temperaturdifferenz ΔT in °C	Gesamtwirkungsgrad η in %
Grün	7,62	9,7%
Rot	19,08	24,55%



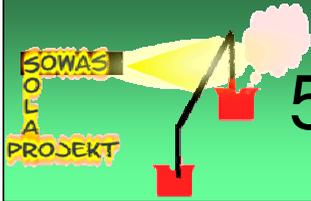
5. Ausblick & Fazit

- 5.1 Verbesserungsvorschläge und Folgethemen
- 5.2 Was haben wir gelernt?
- 5.3 Steinchen im Weg?
- 5.4 Zukünftige Gruppen



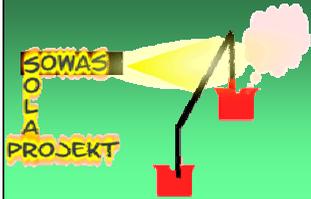
5.1 Verbesserungsvorschläge und Folgethemen

- Isolation gegen Wärmeverluste
 - Glasabdeckungen (versch. Solargläser)
 - Isolation der Kollektorrückseite (Mineralwolle, Styropor)
 - Isolation der Leitungen (PU-Schaum, Isolierverbund)
- Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Durchflussrate
 - Massendurchflussrate
 - Volumendurchflussrate



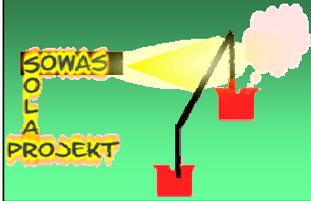
5.1 Verbesserungsvorschläge und Folgethemen

- Absorberbeschichtungen
 - matt-schwarz
 - spiegelnd
 - selektive Beschichtungen
- Vergleich mit anderen Kollektortypen
 - Flachkollektor vs. Röhrenkollektor
- Bau eines eigenen Kollektors



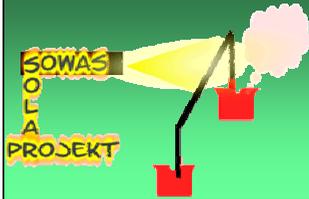
5.2 Was haben wir gelernt?

- Selbständiges Handeln
- Physikalische Theorien in die Tat umsetzen
- Praktische Arbeit
- Kommunikation
- Einblick in das wissenschaftliche Berufsleben
- Verantwortung



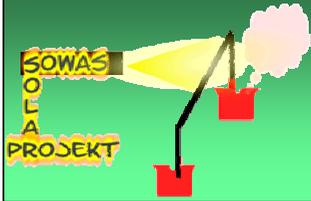
5.3 Steinchen im Weg?

- Experimentalphysik braucht Zeit
- Fehlschläge
- Keine Ausweichmöglichkeiten
- Lückenhafte Informationen



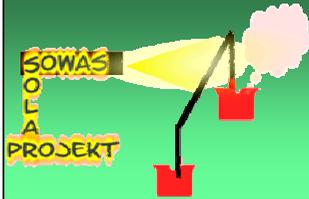
5.4 Zukünftige Gruppen

- Beginn ab 3. Semester
 - erforderliche Übung von Experimenten
 - genügend physikalisches Wissen
- möglichst in vorlesungsfreier Zeit
 - Konzentration auf das Projekt
 - genügend Zeit am Stück



5.4 Zukünftige Gruppen

- Strukturierung
 - in den ersten Wochen nur Theorie
 - danach Absprache mit Betreuer
 - Plan erstellen über alles, was gemessen und ausgewertet werden soll



Quellenverzeichnis

- Brunold, Stefan / Frei, Ueli - Was ist Solarglas?, Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, via www.spf.ch/publ/materialien/OTTI2002_Solarglas.pdf
- Demtröder, Wolfgang - Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärme, Springer, Berlin, 2006 (4)
- Demtröder, Wolfgang - Experimentalphysik 2 - Elektrizität und Optik, Springer, Berlin, 2006 (4) & 1999 (2)
- Fischer, S / Hahne, E. - Einführung einer neuen Bezugsfläche in der Darstellung des Wirkungsgrads von Solarkollektoren, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart, zur Veröffentlichung in der Zeitschrift „Sonnenenergie und Wärmetechnik 3/98“, via www.itw.uni-stuttgart.de/abteilungen/tzs/literatur/son_wt2.pdf
- Hadamovsky, Hans-F. / Jonas, Dieter - Solaranlagen: Die neue Meisterprüfung, Vogel, Würzburg, 2000 (1)
- Kittel, Charles – Einführung in die Festkörperphysik, Oldenbourg, München, 1999 (12)
- Kuchling, Horst - Taschenbuch der Physik, C. Hanser, Leipzig, 2007 (19)
- Rauser, Peter - Nutzleistung Q , Wirkungsgrad η und Temperaturdifferenz von thermischen Solarkollektoren, ohne Verlagsangabe, Baden-Baden, 1999
- Rauser, Peter, Thermische Verluste von Solar-Kollektoren durch Strahlung, Konvektion und Wärmeleitung, ohne Verlagsangabe, Baden-Baden, 1999
- Schrüfer, Elmar, Elektrische Messtechnik, C. Hanser, München, 2001 (7)
- Walcher, Wilhelm - Praktikum der Physik, Teubner, Wiesbaden, 2006 (9)
- Leybold Didactic (Hrsg.) - Gebrauchsanweisung Solarkollektor [389 50], o.A.
- <http://de.wikipedia.org> - u.A. „Sonnenkollektor“, „Lux (Einheit)“, „Bestrahlungsstärke“ zwischen 11/2008 und 04/2009