

# CONATEX

## D-I-D-A-G-T-I-G

Lehrmittel GmbH

Experimentiergeräte für Naturwissenschaft und Technik

Postfach 1407 · D-66514 Neunkirchen

Rombachstraße 65 · D-66539 Neunkirchen

Tel.: 0 68 21 / 43 46 · Fax: 0 68 21 - 44 11 · Telex: 444851 CODID

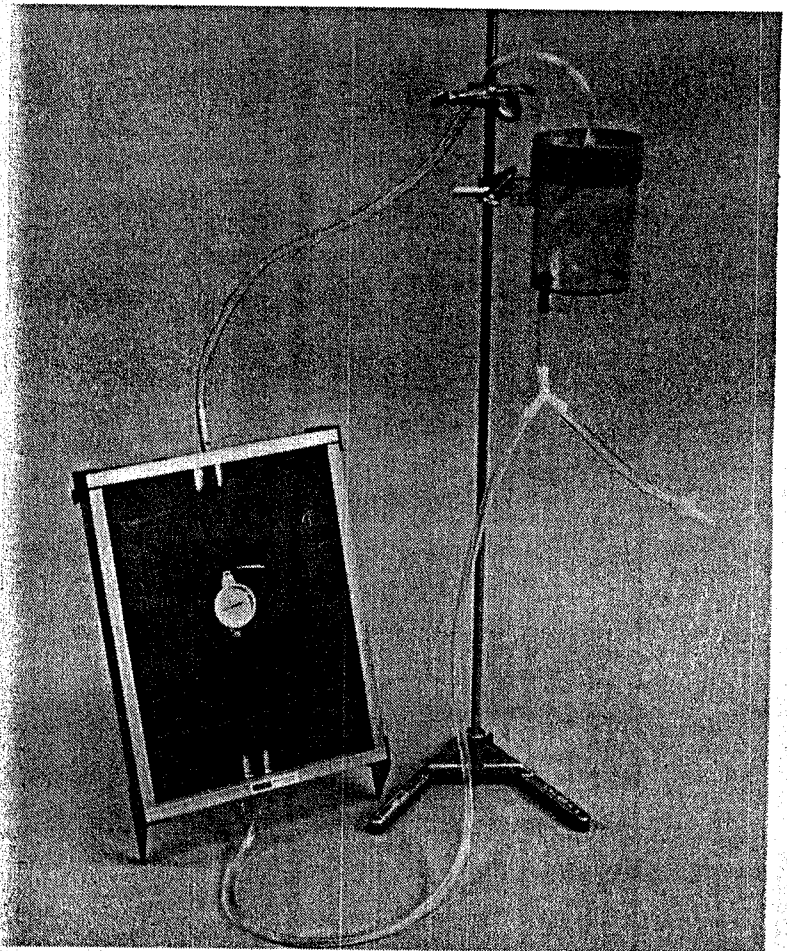
## Sonnenkollektor

Art. 6035

Mit dem Sonnenkollektor wird Strahlungsenergie der Sonne in Wärme umgewandelt. Die Umwandlung der Sonnenstrahlung in thermische Energie vollzieht sich auf der geschwärzten Absorberoberfläche. Die Wärme wird mittels Wasser abgeführt und in einem Becher gespeichert. Zwischen Kollektor und Speicher zirkuliert das Wasser ohne Umwälzpumpe!

("Thermosyphon-Effekt").

Trotzdem ist die Zeitkonstante des ganzen Systems so klein, dass innerhalb 20 Min. ein  $\Delta T$  von über 20° C gemessen werden kann.



Das Kollektorgehäuse besteht aus einem eloxierten Aluminiumrahmen und kann mit Hilfe eines verstellbaren Fusses beliebig geneigt werden. Eine Glasscheibe auf der Vorderseite verhindert Wärmeverluste (Konvektionsverluste). Die Rückseite ist mit einer PVC-Platte abgeschlossen.

Zwischen PVC-Rückwand und Absorberblech ist eine Isolierplatte aus Styropor eingeschoben.

Alle Einzelteile wie Absorberblech, Glasscheibe oder Isolation können einzeln oben aus dem Rahmen gezogen werden. Dies ermöglicht dem Lehrer, Funktion und Aufbau eines Sonnenkollektors einfach im Detail zu zeigen.

Dank dieser Zerlegbarkeit können aber auch interessante, vergleichende Erwärmungsmessungen gemacht werden (z.B. mit und ohne Glasscheibe, mit und ohne Isolierplatte). Die Absorbiertemperatur kann direkt am festmontierten Thermometer abgelesen werden. Durch eine Bohrung im oberen Rahmenteil kann man mit einem Stabthermometer die Lufttemperatur zwischen Glasscheibe und Kollektor messen. Eine weitere Bohrung im Deckel des Wasserbehälters erlaubt die Messung (Stabthermometer) der Wassertemperatur.

Die Versuche können auch an sonnenlosen Tagen im Schulzimmer durchgeführt werden. Als Sonnenersatz dient die Infrarot-Lampe (Art. 6048), welche in der Lampenfassung mit Gelenk (Art. 7697) am Stativmaterial befestigt wird.

### Technische Daten

- Gehäuse : Aluminiumprofile goldfarbig eloxiert, Rückwand PVC  
H x L x B = 450 x 300 x 65 mm
- Absorberblech : Aluminiumblech walzplattiert mit 10 Kanälen.  
Oberfläche schwarz beschichtet.  
Thermometer 0 - 110° C fest montiert.  
Fläche 375 x 265 mm = 10 dm<sup>2</sup>
- Glasscheibe : 5 mm dick
- Isolierplatte : 8 mm dick; Styropor einseitig mit Alufolie beschichtet
- Gewicht des kompletten Kollektors : ca. 4 kg
- Wasserbehälter : Kunststoff glasklar mit Deckel, ø 100 x 150 mm mit Halter für Stativbefestigung und Auslaufstutzen inkl. 2 PVC-Schläuchen ø 8 / 10 mm. Längen 700 bzw. 1000 mm. Ablauf mit Y-Verzweigung und Hahn.

Lieferung inkl. Anleitung, jedoch ohne Stativ.

## Inhaltsverzeichnis

1. Historisches
2. Funktion
  - 2.1 Aufbau und Funktion eines Flachkollektors
  - 2.2 Strahlenfluss am Flachkollektor
  - 2.3 Wasserkreislauf mit selbsttätiger Zirkulation
3. Anwendung
  - 3.1 Einige Daten der Sonne
  - 3.2 Die Sonnenstrahlung auf der Erde
  - 3.3 Absorption, Reflexion der Wärmestrahlung
  - 3.4 Sonnenkollektor-Betrieb
    - 3.4.1 Versuchsaufbau
    - 3.4.2 Kollektor mit bzw. ohne Glasscheibe
    - 3.4.3 Kollektor mit bzw. ohne Wärmeisolierung

### 1. Historisches

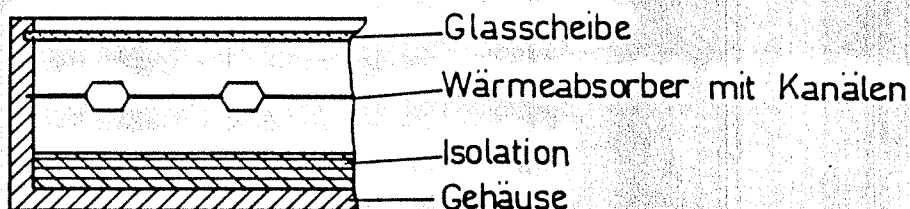
Wir nutzen Sonnenenergie schon seit Urzeiten in den verschiedensten Formen, allerdings meist unbewusst. So bräunt die Sonne jeden Sommer unsere Haut und erspart uns während einigen Monaten pro Jahr die Heizkosten.

Aber schon früh hat der Mensch erkannt, wie man die Sonnenenergie gezielt nutzen kann. Im alten Aegypten hat man damit Warmwasser aufbereitet, Speisen gekocht und Räume geheizt. Der Schweizer Naturwissenschaftler Nicolas de Saussur konstruierte 1770 zum ersten Mal einen Wärmekasten. Mittels fünf Halbwürfeln auf einer geschwärzten, isolierten Tafel erreichte er Temperaturen bis  $87^{\circ}\text{C}$ . Der englische Astronom John Frederick Herschel hat 1837 in Südafrika einen Kasten aus Mahagoni in den Sand eingegraben und Temperaturen von  $115^{\circ}\text{C}$  erreicht. Er kochte damit Fleisch und Gemüse.

### 2. Funktion

#### 2.1 Aufbau und Funktion eines Flachkollektors

Eine weit verbreitete Bauform ist der Flachkollektor. Die Sonnenstrahlung fällt auf die Glasscheibe des Kollektors, tritt zum grössten Teil durch diese hindurch und trifft auf den Absorber.



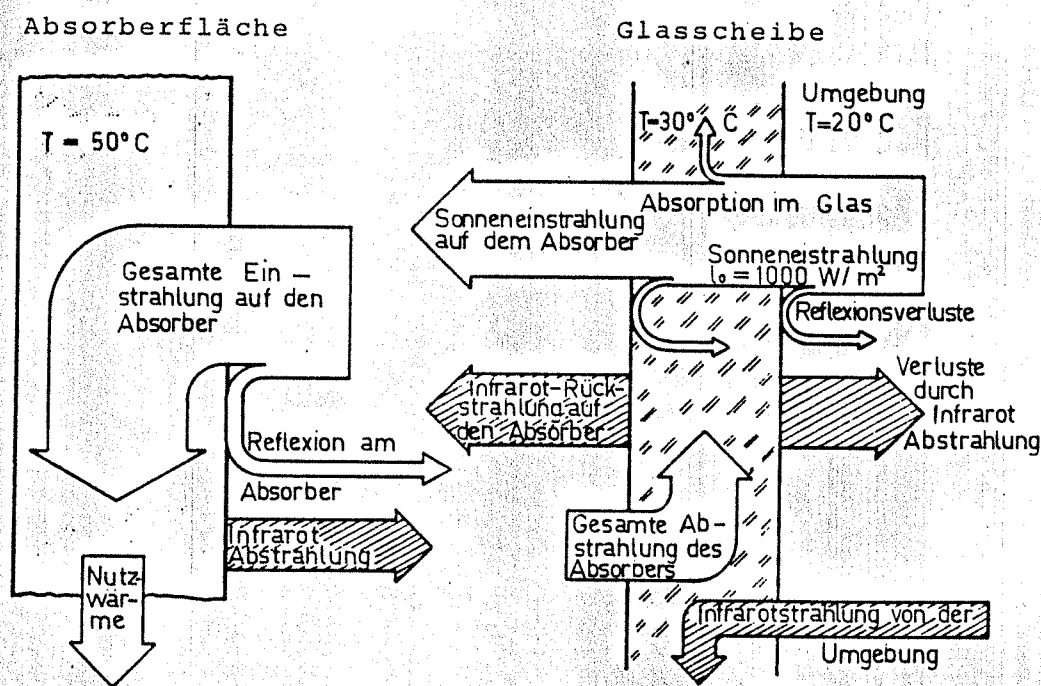
Schnitt durch Flachkollektor

Ein Teil der Strahlung wird von der Glasabdeckung absorbiert bzw. reflektiert, geht also verloren. Diese Verluste werden vom Treibhauseffekt (siehe unten) jedoch mehr als kompensiert. Die Absorberoberfläche ist schwarz beschichtet und absorbiert die auftreffende Strahlung. In der Folge erhöht sich die Absorbertemperatur. Die Temperaturerhöhung wird begrenzt durch Wärmeabführung einerseits als Nutzwärme, andererseits als Verlustwärme. Zur Abführung der Nutzwärme sind im Absorberblech Kanäle eingepresst durch die ein Wärmetransportmedium - eine Flüssigkeit (z.B. Wasser) oder eine Gas (z.B. Luft) - strömt. Das hindurchströmende Medium wird erwärmt und gibt die Wärme, z.B. in einem Heizkörper oder einem Speicher, wieder ab. Im Abschnitt 2.3 wird gezeigt, wie eine Zirkulation ohne Umwälzpumpe erreicht werden kann.

Der Flachkollektor wird auch Strahlenfalle genannt. Der Effekt wird mit der vorgelagerten Glasscheibe erreicht. Fensterglas ist für das sichtbare Licht und den nahen Infrarotbereich äusserst transparent. Im fernen Infrarotbereich (ab ca. 3  $\mu\text{m}$ ) ist es undurchsichtig, lässt also langwellige Wärmestrahlung nicht durch.

Wird der Absorber durch die Sonnenstrahlung nun warm, so beginnt er selbst Wärme abzustrahlen. Diese Strahlung liegt im langwelligen Bereich und wird von der Glasscheibe nicht durchgelassen. Die Strahlungswärme des Absorbers bleibt so erhalten und hilft das Kollektorsystem weiter zu erwärmen: "Treibhauseffekt"

## 2.2 Strahlungsfluss am Flachkollektor



Die Abbildung zeigt quantitativ den Strahlungsfluss in einem Flachkollektor bei folgenden Daten:

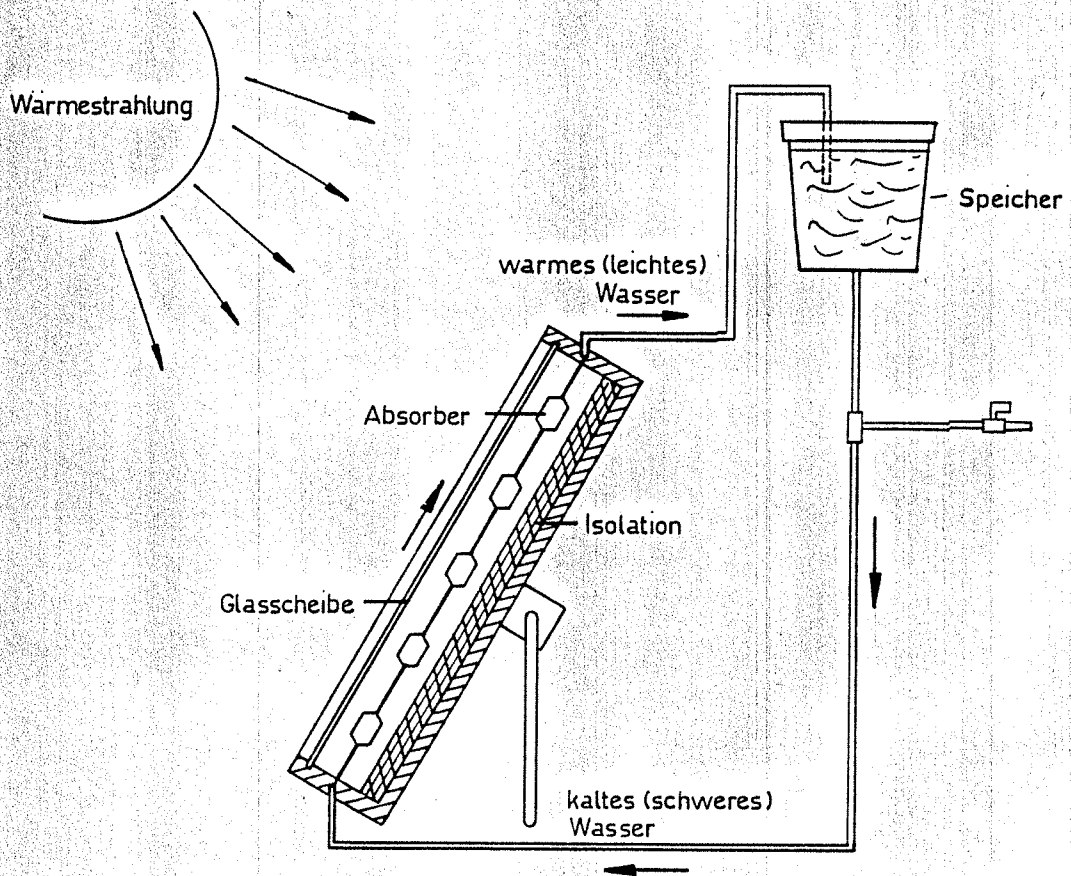
|                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| Sonneneinstrahlung     | 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ |
| Glasscheibentemperatur | 30° C                      |
| Absorbertemperatur     | 50° C                      |
| Umgebungstemperatur    | 20° C                      |

Bei höheren Temperaturen (unser Kollektor erreicht an der Sonne bis 80° C) verschieben sich die quantitativen Anteile etwas; zudem müssten dann auch die Konvektionsverluste an der Glasscheibe einbezogen werden.



### 2.3 Wasserkreislauf mit selbständiger Zirkulation

Die selbsttätige Zirkulation des Wasserkreislaufes beruht auf dem "Thermosyphon-Effekt". Durch temperaturbedingte Dichteunterschiede treten in einem geschlossenen Wasserkreislauf Ausgleichsströmungen auf. Wird an einer Stelle im Kreislauf das Medium erwärmt und an einer anderen Stelle im Kreislauf wieder abgekühlt, so kann eine stetige Zirkulation erreicht werden. Hierzu ist aber erforderlich, dass die



Wärme aufnehmende Stelle (Kollektor) im Kreislauf niveaumässig tiefer liegt als die Wärme abgebende Stelle (Speicher). Der "Thermosyphon-Effekt" wird oft in Sonnenenergieanlagen genutzt. Man spart sich dadurch die Kosten für die Umwälzpumpe und braucht zudem keine Stromversorgung. In der Schweiz steht der Sonnenkollektor meist auf einem Dach, der Speicher in der Regel im Keller, also unterhalb der Wärme aufnehmenden Stelle. In solchen Anlagen muss natürlich eine Umwälzpumpe eingebaut werden.

### 3. Anwendung

#### 3.1 Einige Daten der Sonne

Zentralgestirn des Planetensystems, Energiequelle der Erde, Voraussetzung für das bestehende Leben auf der Erde.

Masse : 333tausendmal die der Erde  
 Dichte : 1,41fache des Wassers  
 Entfernung : 147'000'000 bis 152'000'000 km von der Erde  
 Durchmesser: 109 mal Erddurchmesser (Erddurchmesser 12757 km)  
 Temperatur : - im Mittelpunkt 19 Millionen Grad C  
 - an der Oberfläche 6000 Grad C

#### 3.2 Die Sonnenstrahlung auf der Erde

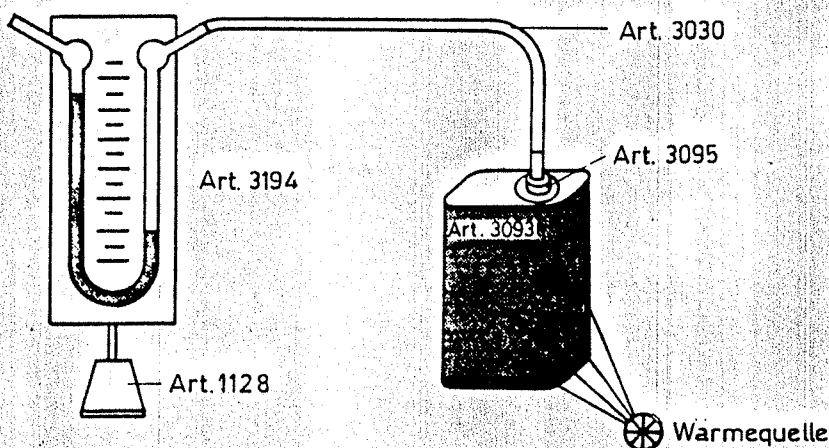
Die Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche ist regional sehr unterschiedlich. In tropischen Gebieten liegt die Strahlungsleistung auf der horizontalen Erdoberfläche bei 2100 bis 2500W/m<sup>2</sup>, in der Schweiz bei etwa 1000W/m<sup>2</sup>, gemessen zur Mittagszeit, bei sauberer Luft auf ca. 500 m über Meer.

Von den 8760 Stunden eines Jahres scheint die Sonne in der Schweiz im Mittel zwischen 1500 bis 2000 Stunden. (zum Vergleich: Sahara über 3000). Bei uns entfällt 3/4 der Sonnenstrahlung auf das Sommerhalbjahr, April - September.

#### 3.3 Absorbtion, Reflexion der Wärmestrahlung

Wiso erwärmt sich der Sonnenkollektor stärker als die Umgebung? Eine dunkle Oberfläche nimmt Wärmestrahlung besser auf (absorbiert) als eine helle (reflektiert). Dieser Sachverhalt wird in der Regel rasch verstanden, zeigen doch Erfahrungen aus dem Alltag (helle/dunkle Flächen in der Badeanstalt) das gleiche Verhalten.

Folgender Versuch unterstreicht diese Erfahrungen und zeigt gleichzeitig, dass sich erwärmendes Material ausdehnt.



Das Manometer wird bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt; Wasser mit roter Lebensmittelfarbe etwas färben. Die Kanister erhalten einen Deckel mit Schlauchanschluss (Art. 3095). Zuerst wird der weisse Kanister mit einem Stück Schlauch an das Manometer angeschlossen und mit der Wärmelampe während 30 s bestrahlt. Der Kanister nimmt Wärme auf und erwärmt die darin liegende Luft. Diese dehnt sich aus, das Manometer zeigt den Ueberdruck an. Nun wird der schwarze Kanister ans Manometer angeschlossen und aus gleichem Abstand während 30 s bestrahlt. Der Druckunterschied zwischen weissem und schwarzem Kanister ist frappant!

### 3.4 Sonnenkollektor-Betrieb

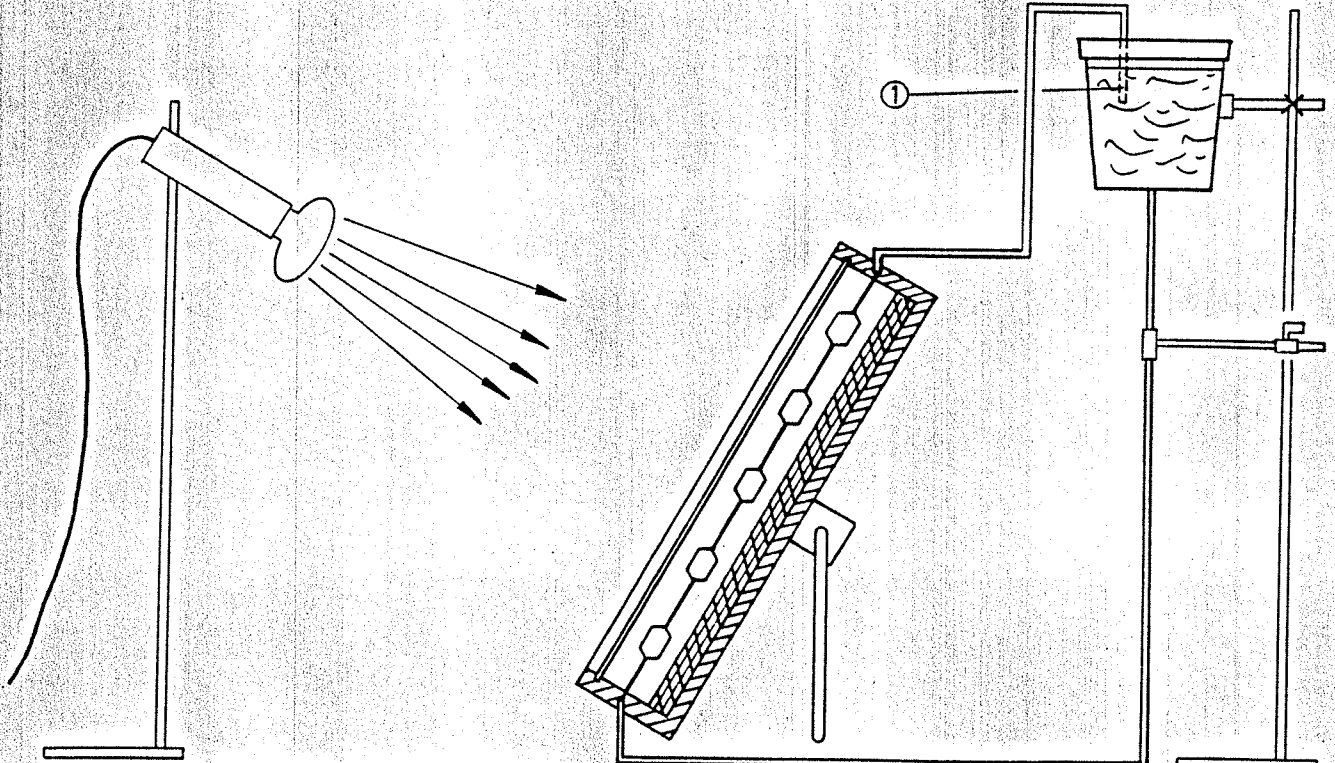
#### 3.4.1 Versuchsaufbau

**Material:**

- |             |                      |             |               |
|-------------|----------------------|-------------|---------------|
| 1 Art. 6035 | Sonnenkollektor      | 2 Art. 1132 | Stativstangen |
| 1 Art. 6048 | Infrarot-Lampe 375 W | 2 Art. 1122 | Dreieckfuss   |
| 1 Art. 7697 | Lampenfassung        | 2 Art. 3483 | Thermometer   |
| 1 Art. 1124 | Doppelklemme         |             |               |

Wie Sie sehen ist als Wärmequelle eine Infrarot-Lampe vorgesehen. Damit die Versuchsergebnisse verglichen werden können, muss ein konstanter Abstand Lampe - Kollektor eingehalten werden. Empfehlung 35 cm.

Selbstverständlich können die Versuche auch an der Sonne durchgeführt werden. Bitte beachten Sie: An der Sonne, bei wolkenlosem Himmel, verlaufen die Versuche schneller. Der Speicher-Behälter sollte im Schatten stehen. Der Kollektor muss evtl. der Sonnenbahn nachgeführt werden.



Füllen des Systems mit Wasser:

1. Man verwendet mit Vorteil destilliertes Wasser. (Einfachere Reinigung von Wassergefäss und PVC-Schläuchen).
2. Kollektor und Wasserbehälter gemäss Skizze aufbauen.
3. System so lange mit Wasser füllen, bis der Wasserbehälter zu ca. 3/4 voll ist.
4. Deckel vom Wasserbehälter abschrauben und Schlauchende Nr. ① senkrecht in die Höhe halten, damit die im System eingeschlossenen Luft entweichen kann.

5. Schlauchende Nr. ① dann langsam neben dem Behälter senken bis Wasser austritt. Die Schlauchöffnung mit dem Zeigefinger verschliessen und mit Schlauch wieder senkrecht nach oben fahren. Abwarten, bis sich die noch im Schlauch befindende Luft im Schlauchende austritt. Punkt 4 solange wiederholen, bis sich im ganzen System keine Luft mehr befindet. Evtl. Kollektorteil leicht schütteln.
6. Das verschlossene Schlauchende (Schlauch ganz mit Wasser gefüllt) in den Wasserbehälter halten und unter Wasser öffnen.
7. Deckel auf den Wasserbehälter (Speicher) schrauben; soviel Wasser nachfüllen, dass Speicher  $3/4$  voll ist.
8. Das Schlauchende Nr. ① muss immer ca. 2 cm im Speicherinhalt eingetaucht sein!

### 3.4.2 Die selbsttätige Wasserzirkulation

Die in 2.3 beschriebene selbsttätige Zirkulation kann auf einfache Art sichtbar gemacht werden:

Versuchsaufbau gemäss 3.4.1. Geben Sie nun wenige Tropfen roter Lebensmittelfarbe in das ruhig liegende Speicherwasser und bestrahlen (erwärmen) nun den Kollektor. Sofort wird ein dünner Faden der roten Farbe in den Speicherabfluss gesogen. Nach 2-3 Minuten tritt die rote Farbe am oberen Kollektorrohr bereits aus (im Schlauch sichtbar). Für jede Demonstration dieses Effektes muss natürlich das Wasser erneuert werden.

### 3.4.3 Kollektor mit bzw. ohne Glasscheibe

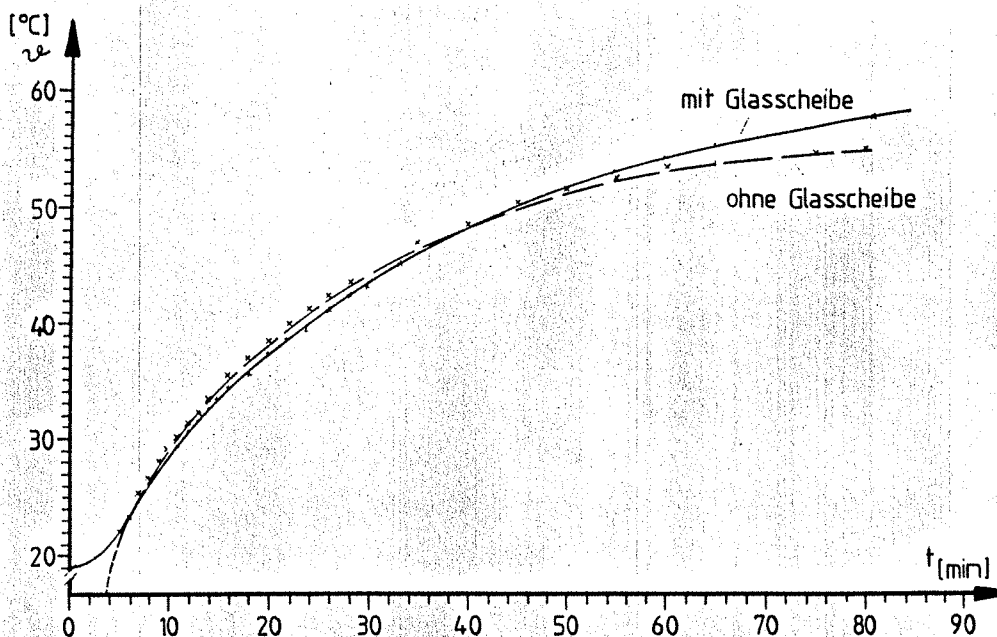
Versuchsaufbau gemäss 3.4.1, jedoch z.T. ohne Glasscheibe.

Um eine Schichtung des Wassers im Speicher zu verhindern, muss das Wasser während des Versuches von Zeit zu Zeit umgerührt werden.

Messkurven : Wassertemperatur im Speicher in Funktion der Zeit bei konstanter Bestrahlung

Versuchsdaten: Wassermenge 0,7 Liter  
Wärmequelle 375 W Infrarot-Lampe  
Abstand Kollektor 35 cm

Kollektor mit und ohne Glasscheibe





### Feststellungen:

1. Ohne Glasscheibe steigt die Temperatur am Anfang schneller als mit Glasscheibe. Glas absorbiert vorerst einen Teil der auftreffenden Strahlung.
2. Ohne Glasscheibe ist die Endtemperatur (nach 60 Min. bereits) niedriger als mit Glasscheibe. Die Verluste durch Konvektion (Wärmeabgabe an die vorbeistreichende Luft) sind ab ca. 50° C am Kollektor ohne Glasscheibe grösser.

### 3.4.4 Kollektor mit bzw. ohne Wärmeisolation

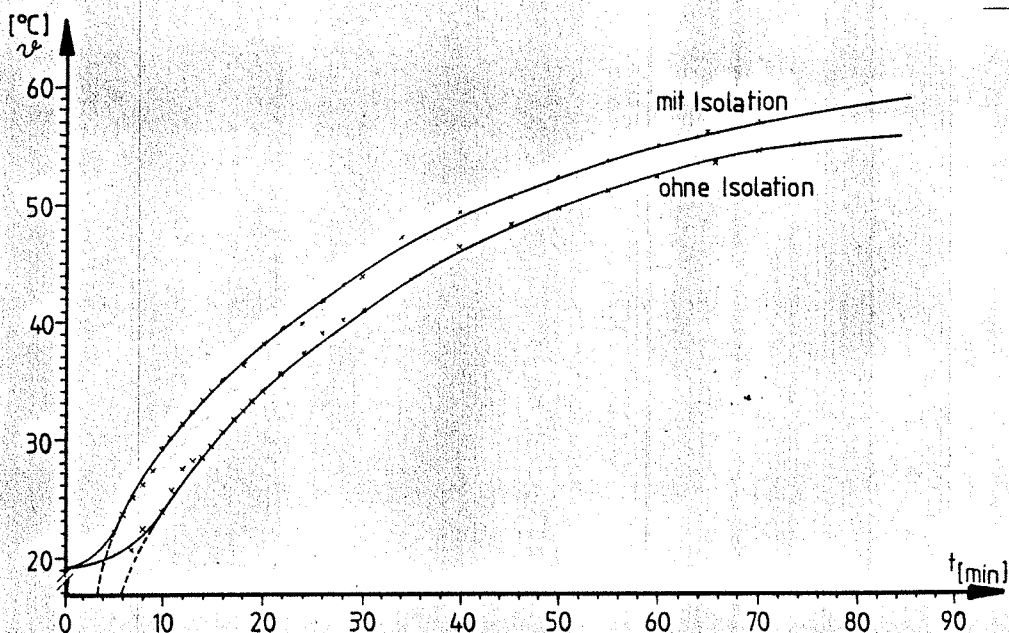
Versuchsaufbau gemäss 5.4.1, jedoch z.T. Isolation auf Absorberrückseite herausziehen.

Um eine Schichtung des Wassers im Speicher zu verhindern, muss das Wasser während des Versuches von Zeit zu Zeit umgerührt werden.

Messkurven: Wassertemperatur im Speicher in Funktion der Zeit bei konstanter Bestrahlung

Versuchsdaten: Wassermenge 0,7 Liter  
 Wärmequelle 375 W Infrarot-Lampe  
 Abstand Lampe-Kollektor 35 cm

### Kollektor mit Glasscheibe, mit und ohne Isolation



### Feststellungen:

1. Die beiden Kurven verlaufen parallel. Die Temperatur steigt mit Isolation früher an.
2. Die Wärmeabstrahlung der Absorberrückseite wird von der Isolation stark gedämmt.