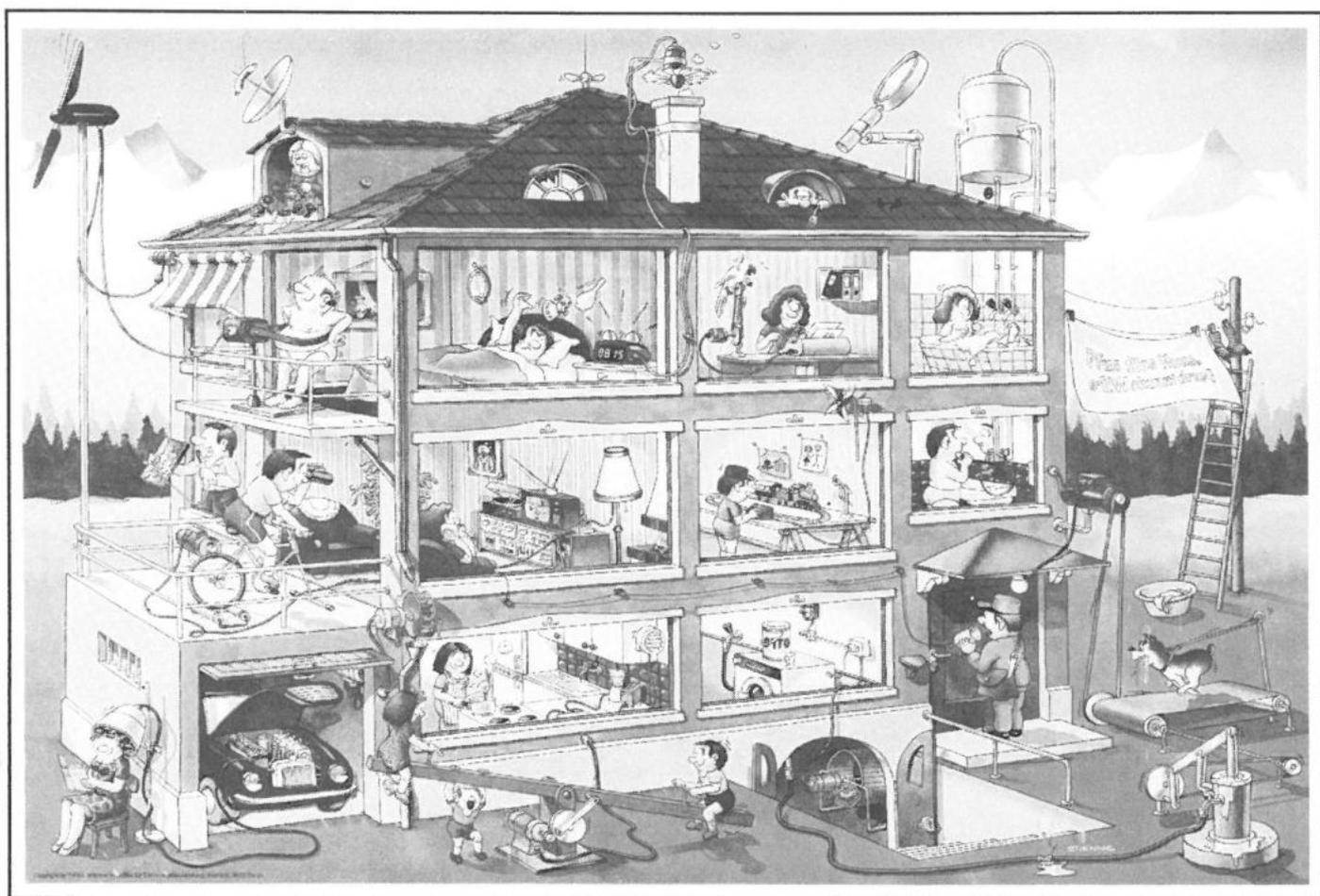


Additive Energien Alternative Energien



**Unterrichtshilfen für den
Physikunterricht an der Oberstufe**

zusammengestellt von

Peter Mäder

1 Erneuerbare Energie

- 1.00 Erschöpfliche und unerschöpfliche Energie, Kurzbeschreibung*
- 1.01 Erschöpfliche und unerschöpfliche Energie, Bilder*
- 1.02 Erschöpfliche und unerschöpfliche Energie, Übersicht*
- 1.03 L Erschöpfliche und unerschöpfliche Energie, Übersicht*

2 Energieumwandlung

- 2.01 Umwandlung erneuerbarer Energien in Endenergie
- 2.02 Experimente zu Energieumwandlungen
- 2.03 L Experimente zu Energieumwandlungen

3 Sonnenkollektoren

- 3.00 Grafische Auswertung zu 3.03 L
- 3.01 Flachkollektoren
- 3.02 Versuche mit Flachkollektoren
- 3.03 L Versuche mit Flachkollektoren
- 3.04 Aufbau eines Flachkollektors/Vakuumisolierter Flachkollektor
- 3.05 Verschiedene Kollektortypen
- 3.06 Parabolspiegel
- 3.07 L Parabolspiegel
- 3.08 Versuche mit zylindrischem Parabolspiegel
- 3.09 L Versuche mit zylindrischem Parabolspiegel
- 3.10 Grafische Auswertung zu 3.09 L
- 3.11 Solarthermische Kraftwerke
- 3.12 Solarfarm-Kraftwerk*
- 3.13 L Solarfarm-Kraftwerk*
- 3.14 Solarturm-Kraftwerk*
- 3.15 L Solarturm-Kraftwerk*
- 3.17 Erfahrungen und Zahlen aus der Praxis
- 3.19 Abbildungen Solarturm-Kraftwerk /Solarfarm-Kraftwerk

4 Solarzellen

- 4.00 Solarzellen - Grundversuche
- 4.01 L Solarzellen - Grundversuche
- 4.02 Kopiervorlage Solarzellen-Aufbau
- 4.03 Solarzelle - Physikalische Grundlagen
- 4.05 Solarzelle - Physikalische Grundlagen
- 4.06 Solarzellen - Serie- und Parallelschaltung
- 4.07 L Solarzellen - Serie- und Parallelschaltung
- 4.09 Verschiedene Arten von Solarzellen
- 4.10 Mont - Soleil, Das grösste fotovoltaische Solarkraftwerk Europas
- 4.11 Abbildung Mont - Soleil

5 Windenergie

- 5.01 Windgenerator, Verschiedene Windradarten*
- 5.03 Verschiedene Windradarten*

6. Wärme, Wärmeenergie

I 2

- 6.00 Wärme - Wärmemenge - Wärmeenergie, Experiment mit einfachem Tauchsieder
- 6.01 L Wärme - Wärmemenge - Wärmeenergie, Experiment mit einfachem Tauchsieder
- 6.02 Wärme - Wärmemenge - Wärmeenergie, Experiment mit Energiemessgerät
- 6.03 L Wärme - Wärmemenge - Wärmeenergie, Experiment mit Energiemessgerät
- 6.04 Spezifische Wärmekapazität, Experiment mit einfachem Tauchsieder
- 6.05 L Spezifische Wärmekapazität, Experiment mit einfachem Tauchsieder
- 6.06 Spezifische Wärmekapazität, Experiment mit Energiemessgerät
- 6.07 L Spezifische Wärmekapazität, Experiment mit Energiemessgerät

7. Wärmetransport - Wärmedämmung

- 7.00 Wärmeleitung
- 7.01 L Wärmeleitung
- 7.02 Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe, graf. Auswertung
- 7.03 Wärmedämmung, Wärmedämmeigenschaften von Baustoffen
- 7.04 Behaglichkeitsempfinden
- 7.05 Wärmeverlust, Wärmestrom, Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert)
- 7.06 Aufgaben zum k-Wert
- 7.07 L Aufgaben zum k-Wert
- 7.08 Wärmewanderung, Wärmekonvektion
- 7.09 L Wärmewanderung, Wärmekonvektion
- 7.10 Wärmestrahlung
- 7.11 L Wärmestrahlung

8. Die Wärmepumpe

- 8.00. 10 Versuche zur Wärmepumpe**
- 8.01 L 10 Versuche zur Wärmepumpe**
- 8.02 Wärmepumpe, Versuche 4 und 5**
- 8.03 L Wärmepumpe, Versuche 4 und 5**
- 8.04 Wärmepumpe, Versuch 6,7 und 8**
- 8.05 L Wärmepumpe, Versuch 6,7 und 8**
- 8.06 Wärmepumpe, Versuche 9 und 10**
- 8.07 L Wärmepumpe, Versuche 9 und 10**
- 8.08 Schlussfolgerungen**
- 8.09 L Schlussfolgerungen**
- 8.10 Änderung der Zustandsformen
- 8.11 L Änderung der Zustandsformen
- 8.13 Zustandsformen
- 8.14 Nachweis von Schmelz- und Verdampfungsenergie
- 8.15 L Nachweis von Schmelz- und Verdampfungsenergie
- 8.16 Der Kühlschrank
- 8.17 L Der Kühlschrank
- 8.18 Die Wärmepumpe**
- 8.19 L Die Wärmepumpe**
- 8.20 Übersicht Farbfolien der INFEL zum Thema Wärmepumpe*
- 8.21 Übersicht Farbfolien der INFEL zum Thema Wärmepumpe*

9. Geothermische Energie

- 9.00 Geothermische Energie, Kopiervorlage*
- 9.01 Geothermische Energie*
- 9.02 Geothermische Kraftwerke, Kopiervorlage*
- 9.03 Geothermische Kraftwerke, Kopiervorlage*

10. Biogasanlage

I 3

- 10.00 Biogasanlage*
- 10.01 L Biogasanlage*
- 10.02 Experiment zur Biogasgewinnung
- 10.03 Experiment zur Biogasgewinnung

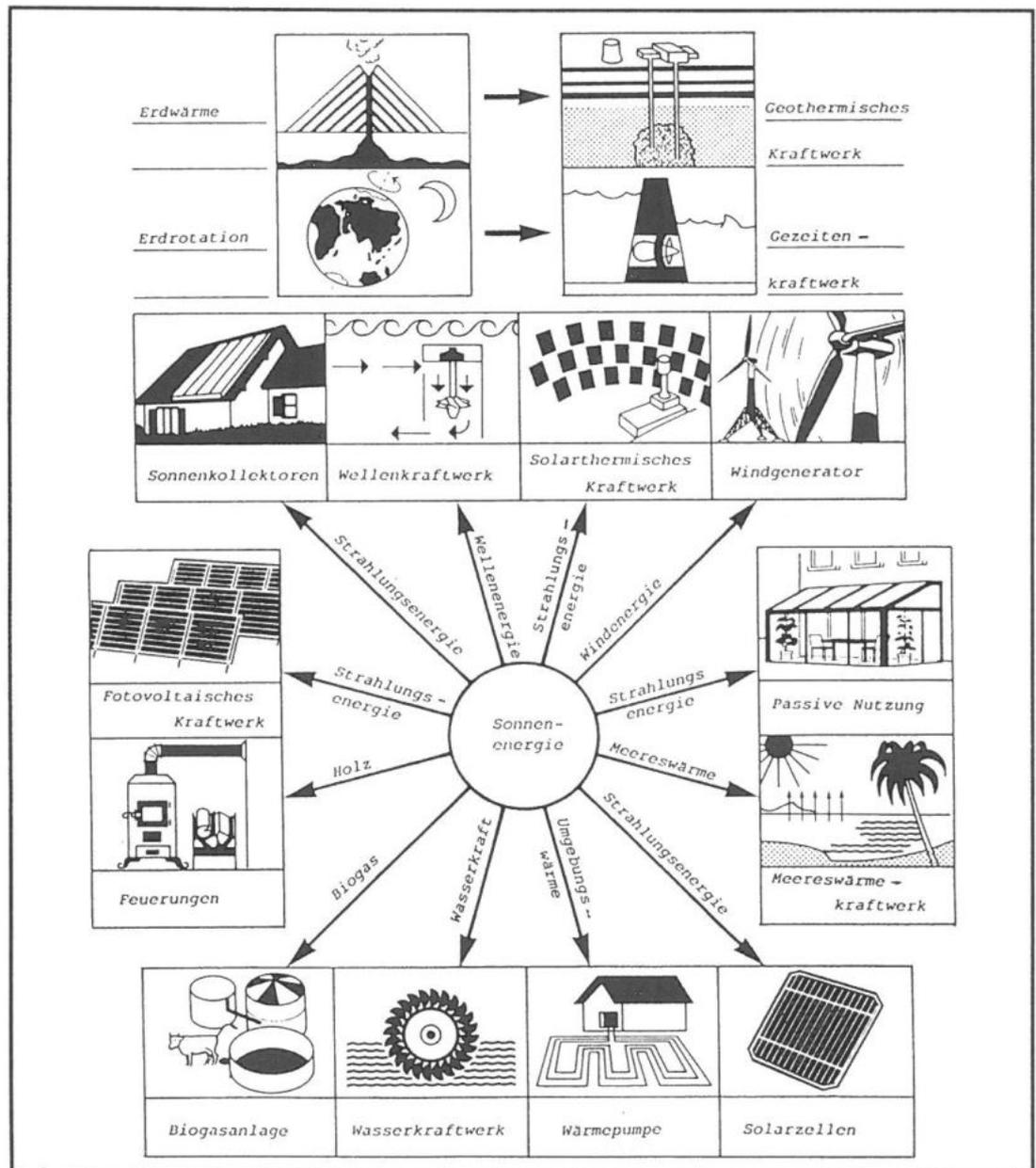
Quellennachweis:

Die mit ** versehenen Seiten "10 Experimente zur Wärmepumpe" sind von mir vor einigen Jahren für die INFEL (Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung, Zürich) verfasst worden und werden dort als Unterrichtsunterlagen angeboten.

Die mit * versehenen Seiten sind Kopien von Unterrichtsunterlagen oder enthalten Teile von Unterrichtsunterlagen, die von der INFEL angeboten werden.

Erneuerbare Energien

Regenerative Energien, Additive (Alternative) Energien



ERSCHÖPFLICHE UND UNERSCHÖPFLICHE ENERGIEN

Alle Energiequellen, die wir heute kennen, lassen sich drei grossen Familien zuordnen:

Fossile Energieträger

Erdöl, Erdgas, Kohle und Torf gehören zu den vor Urzeiten entstandenen fossilen Energieträgern. Sie sind nicht in unbeschränkter Menge vorhanden und gehen darum irgendwann zur Neige. Man nennt sie deshalb erschöpfliche oder nicht erneuerbare Energien.

Kernbrennstoffe

Uran und Thorium sind Kernbrennstoffe, mit denen Atomkraftwerke betrieben werden. Auch sie gehören zu den erschöpflichen Energieträgern.

Erneuerbare Energien

Die erneuerbaren Energien sind dagegen nach menschlichen Zeitbegriffen **unerschöpflich**: Die Natur sorgt dauernd für ihre Erneuerung. Sie werden aus drei völlig verschiedenen Quellen gespeist: Aus Sonnenenergie, aus Wärmeenergie im Erdinnern und aus der Rotationsenergie der Erde.

Sonnenenergie

Die Strahlungsenergie der Sonne kann direkt genutzt werden:

- Beim Sonnenkollektor wird Wasser erwärmt und zum Aufheizen des Warmwassers oder des Gebäudes genutzt.
- Bei solarthermischen Kraftwerken wird die Sonnenstrahlung durch Spiegelsysteme so stark gebündelt, dass mit der entstehenden Wärme Dampf erzeugt werden kann. Dieser treibt über eine Turbine einen Generator zur Stromerzeugung an.
- Bei der passiven Nutzung wird durch die besondere Bauweise der Häuser möglichst viel Sonnenwärme eingefangen, z.B. durch den Anbau von sogenannten Wintergärten.
- Solarzellen erzeugen direkt elektrischen Strom. Sie eignen sich beispielsweise für die Stromversorgung von abgelegenen Alphütten.
- Befinden sich sehr viele Solarzellen in derselben Anlage, spricht man von einem photovoltaischen Kraftwerk.

Die Strahlungsenergie der Sonne kann aber auch indirekt genutzt werden. Sie ist nämlich auch verantwortlich für die Erwärmung der Meere, für die Entstehung von Pflanzen, des Windes und der Wellen im Meer. Selbst das aus der Gülle unserer Bauernhöfe entstehende brennbare Biogas ist auf die Sonne zurückzuführen. Schliesslich wärmt die Sonne aber auch unsere Umgebung, nämlich die Luft, das Erdreich und das Grundwasser. Diese Wärme kann mittels Wärmepumpen ebenfalls genutzt werden.

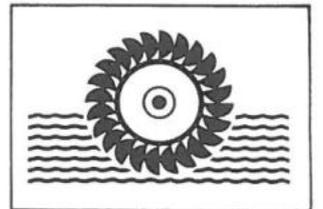
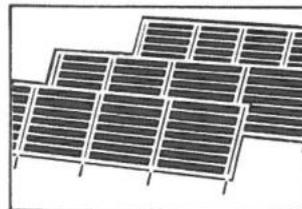
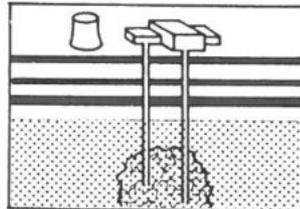
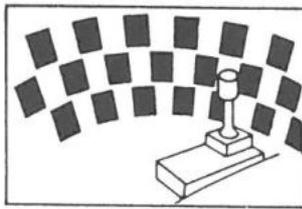
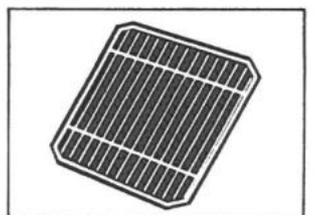
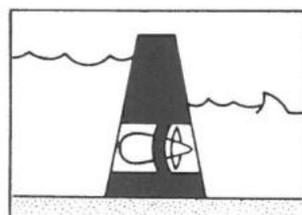
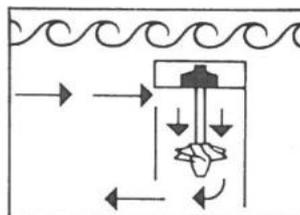
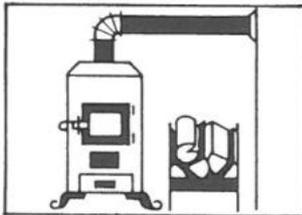
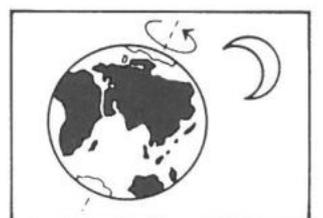
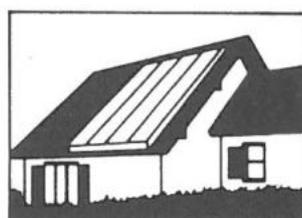
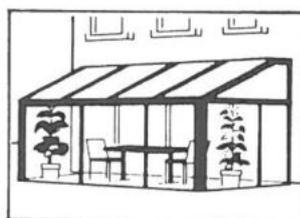
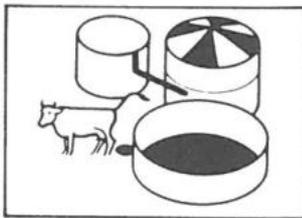
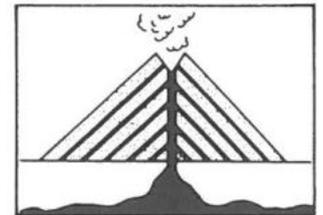
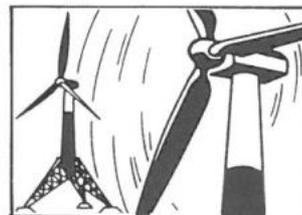
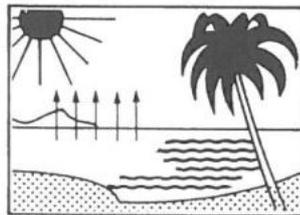
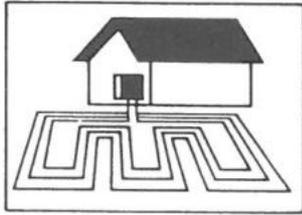
Wärmeenergie aus dem Erdinnern

Die Energie des teils flüssigen und sehr heissen Kerns im Erdinnern kann als thermische Energie (Erdwärme) nutzbar gemacht werden.

Rotationsenergie

Die Rotationsenergie der Erdkugel bewirkt im Zusammenspiel mit den Anziehungskräften von Sonne und Mond Ebbe und Flut. Diese Wasserbewegungen können mit Gezeitenkraftwerken genutzt werden.

- Aufgaben:**
1. Studiere das Blatt "Erschöpfliche und unerschöpfliche Energien !"
 2. Schneide die Zeichnungen aus und klebe sie auf das entsprechende Arbeitsblatt !
 3. Schneide die vorgegebenen Begriffe aus und beschrifte damit die Darstellung.



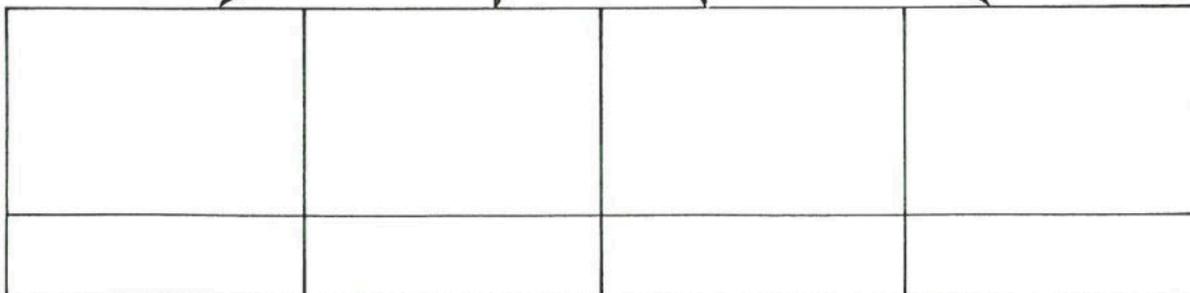
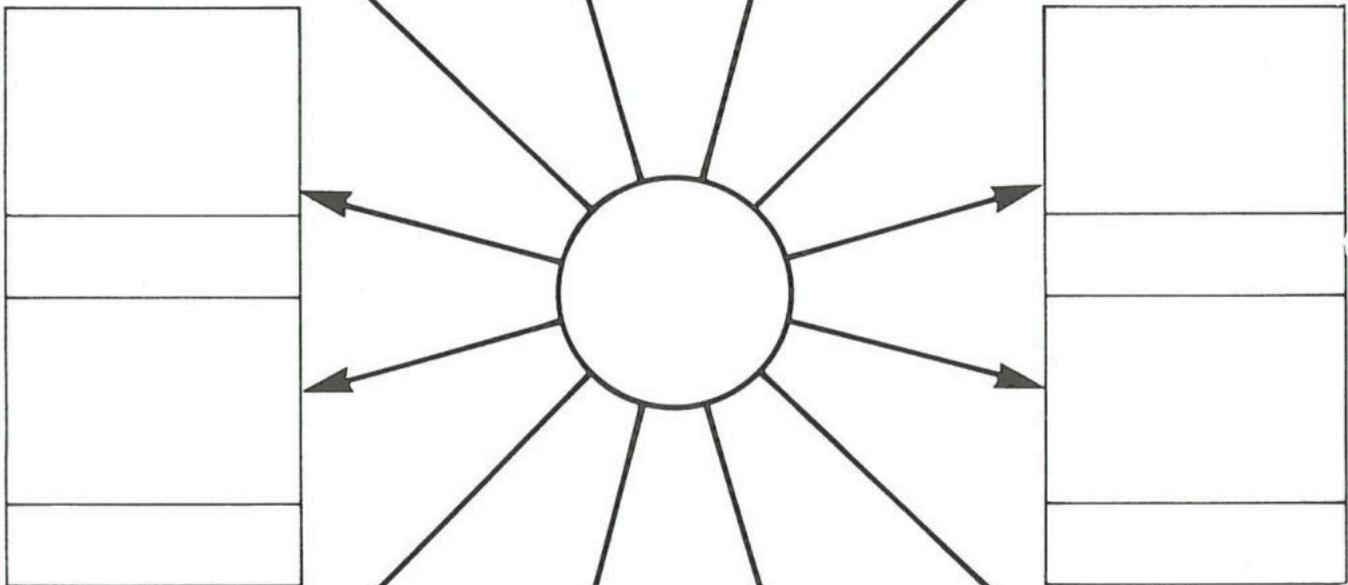
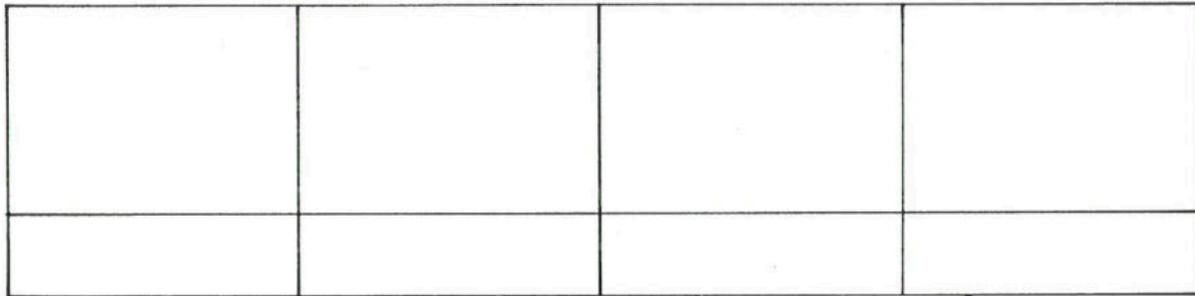
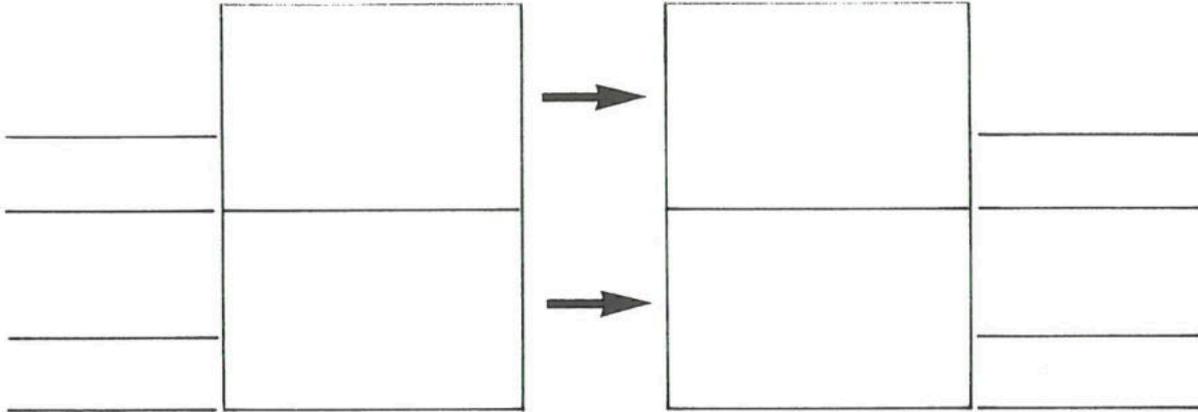
Fotovoltaisches Kraftwerk
 Wasserkraftwerk
 Erdrotation
 Feuerungen
 Erdwärme
 Wellenkraftwerk
 Meereswärmekraftwerk
 Sonnenkollektoren
 Geothermisches Kraftwerk
 Solarthermisches Kraftwerk
 Biogasanlage
 Solarzellen

Passive Nutzung
 Wellenenergie
 Windgenerator
 Strahlungsenergie (5x)
 Biogas
 Windenergie
 Gezeitenkraftwerk
 Wasserkraft
 Wärmepumpe
 Holz
 Meereswärme
 Umgebungswärme

Erneuerbare Energien

1.02

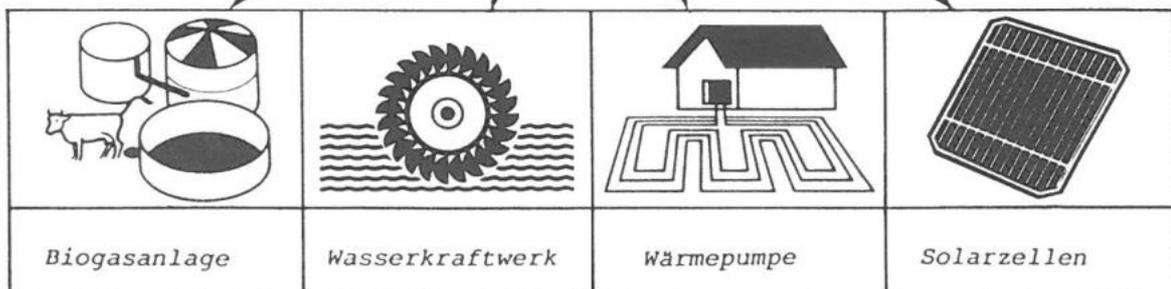
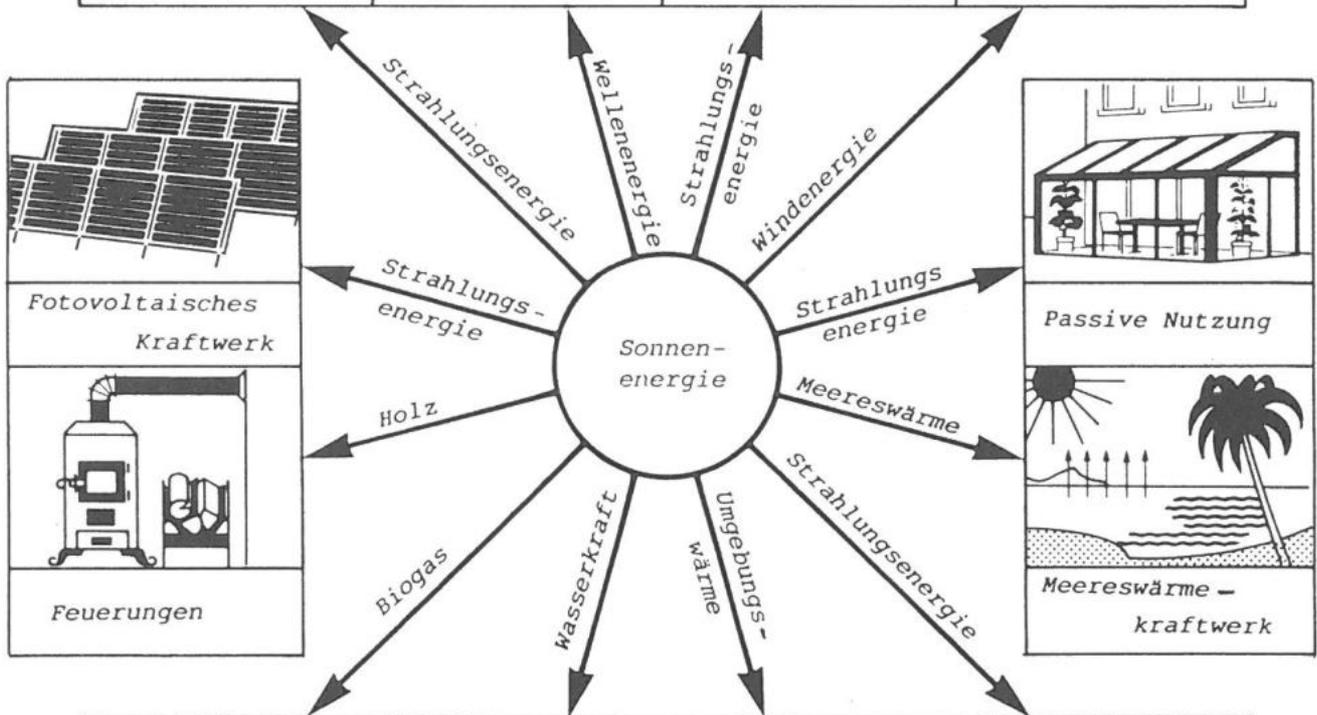
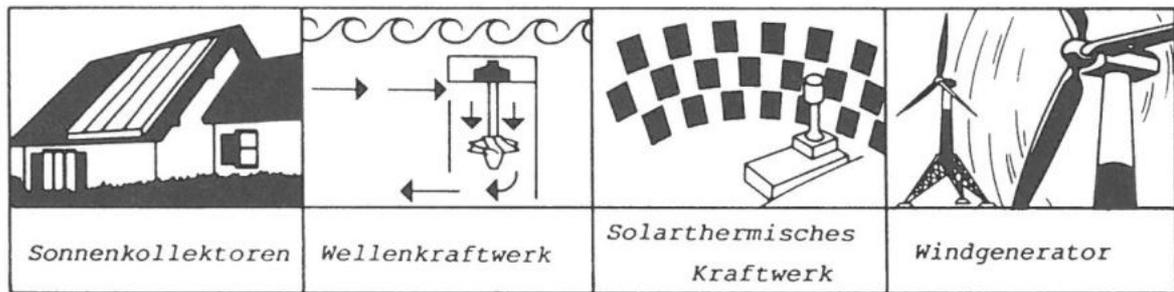
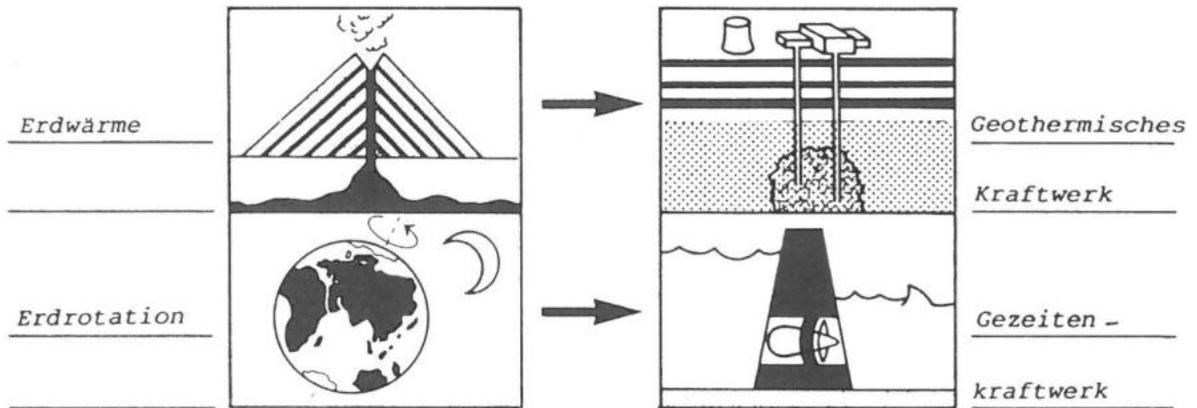
Wir unterscheiden erschöpfliche oder nicht erneuerbare Energien und unerschöpfliche oder erneuerbare Energien. Erschöpflich sind die Kernenergie und die fossilen Energien: _____, _____, _____ und _____. Die unerschöpflichen Energien werden von der Sonne, der Wärme aus dem Erdinnern oder von der Erdrotation gespiesen.



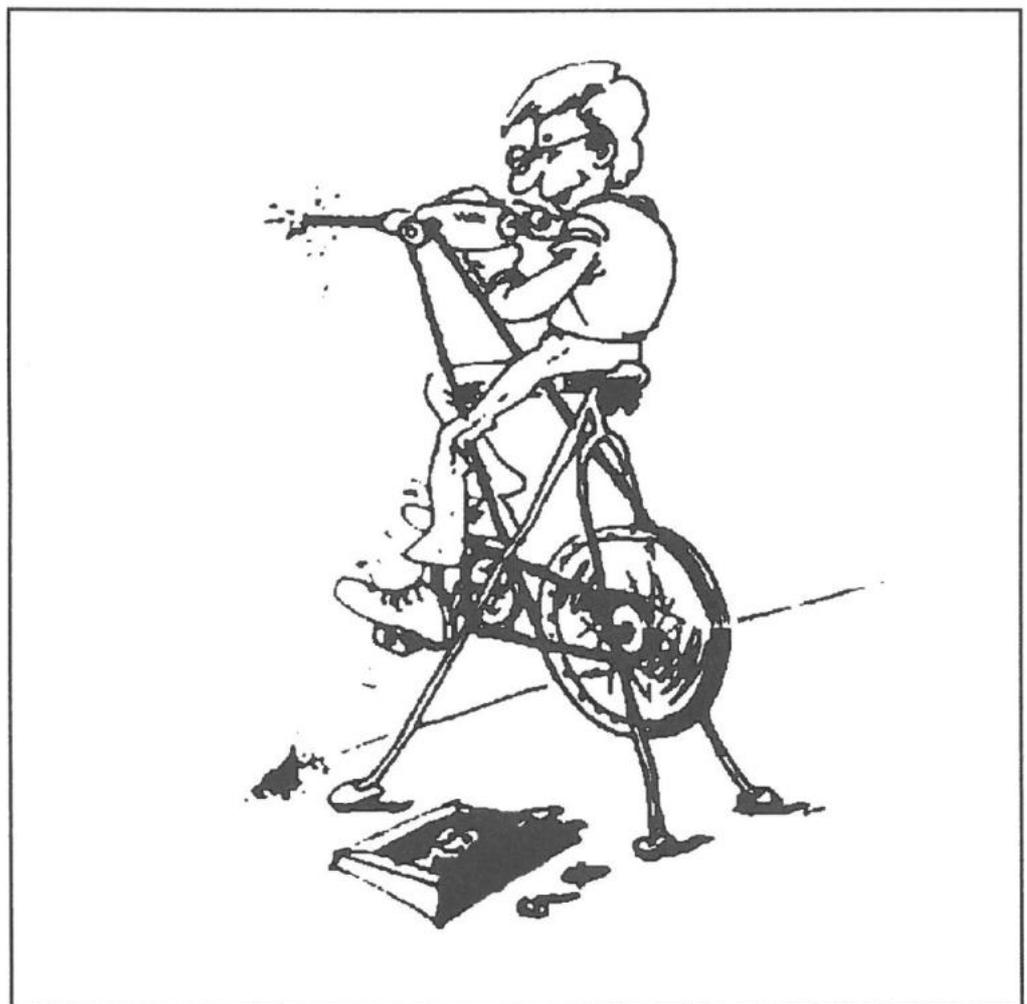
Erneuerbare Energien

1.03 L

Wir unterscheiden erschöpfliche oder nicht erneuerbare Energien und unerschöpfliche oder erneuerbare Energien. Erschöpflich sind die Kernenergie und die fossilen Energien: Erdgas, Erdöl, Kohle und Torf. Die unerschöpflichen Energien werden von der Sonne, der Wärme aus dem Erdinnern oder von der Erdrotation gespeisen.



Energie- Umwandlung



Umwandlung erneuerbarer Energien in Endenergie

PRIMÄRENERGIE

ENERGIEWANDLER

ENDENERGIE

Solarstrahlung



Kollektor



Wärmeenergie einer Flüssigkeit

Hilfsenergie

Solarstrahlung



Solarzelle



elektrische Energie

Windenergie



Windkonverter



elektrische Energie

Umweltwärme



Wärmepumpe



Wärmeenergie einer Flüssigkeit

Hilfsenergie

Biomasse



Anlagen zum
● Verbrennen
● Vergasen
● Vergären



gasförmige Treib- und Brennstoffe, elektrische Energie, Fernwärme

Wasserkraft



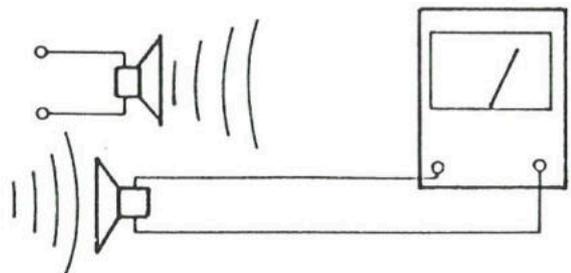
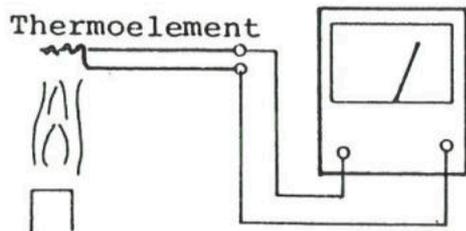
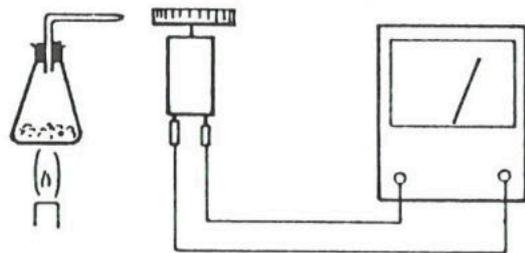
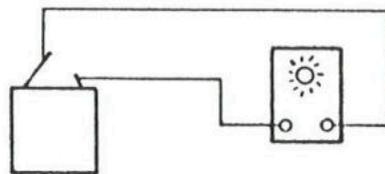
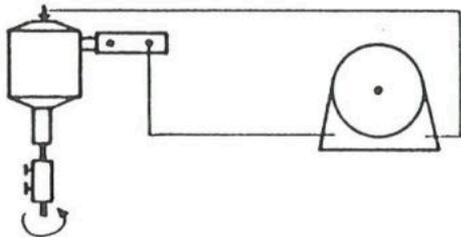
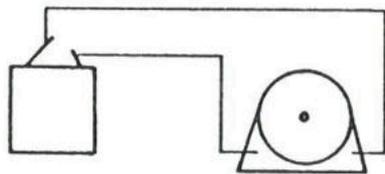
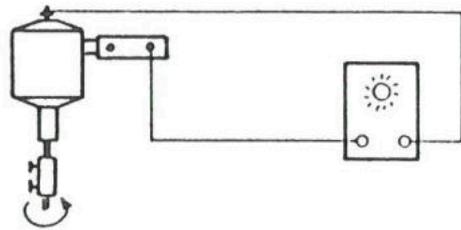
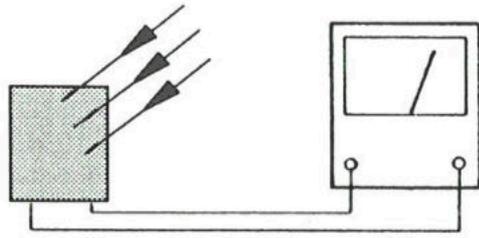
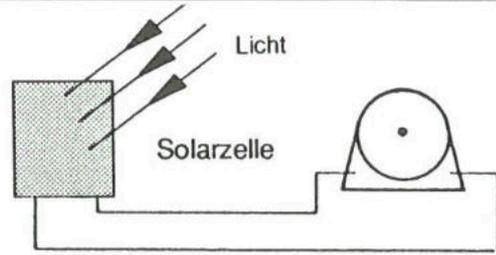
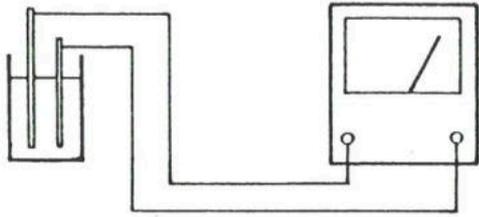
Wasserkraftwerk



elektrische Energie

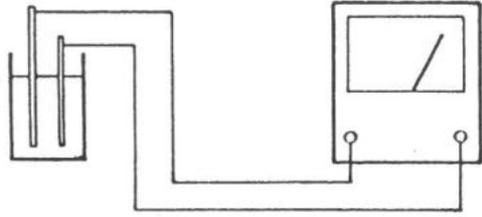
Energieumwandlungen

2.02

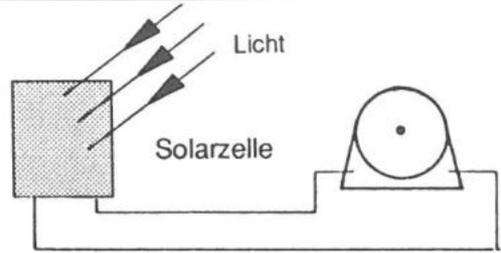


Energieumwandlungen

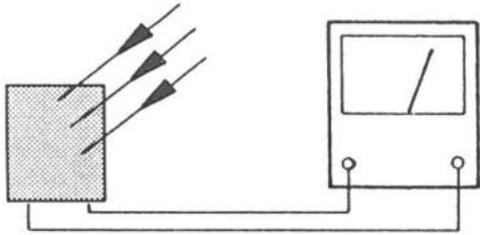
2.03 L



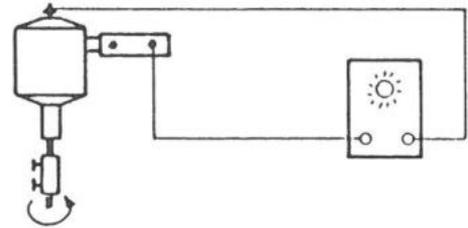
chem. Energie → el. Energie



Lichtenergie → el. Energie →
Bewegungsenergie



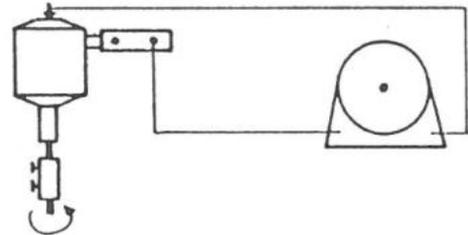
Lichtenergie → elektrische
Energie



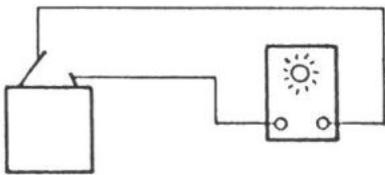
Bewegungsenergie → el. Energie →
Lichtenergie



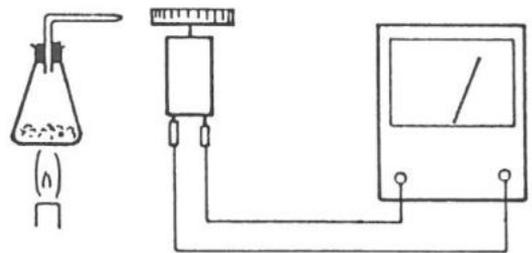
chemische Energie → el. Energie
→ Bewegungsenergie



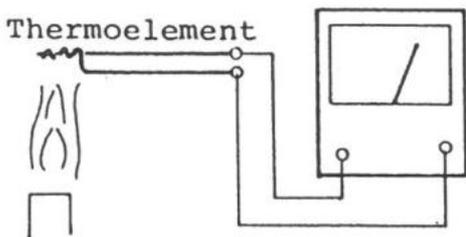
Bewegungsenergie → el. Energie →
Bewegungsenergie



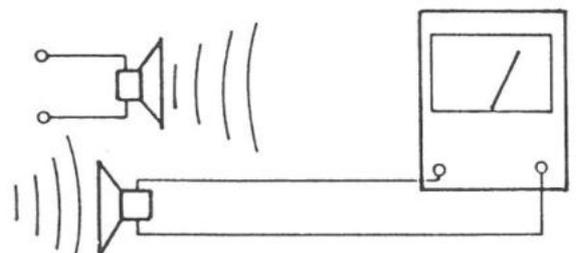
chemische Energie → el. Energie →
Lichtenergie



Wärmeenergie → Bewegungsenergie
→ el. Energie



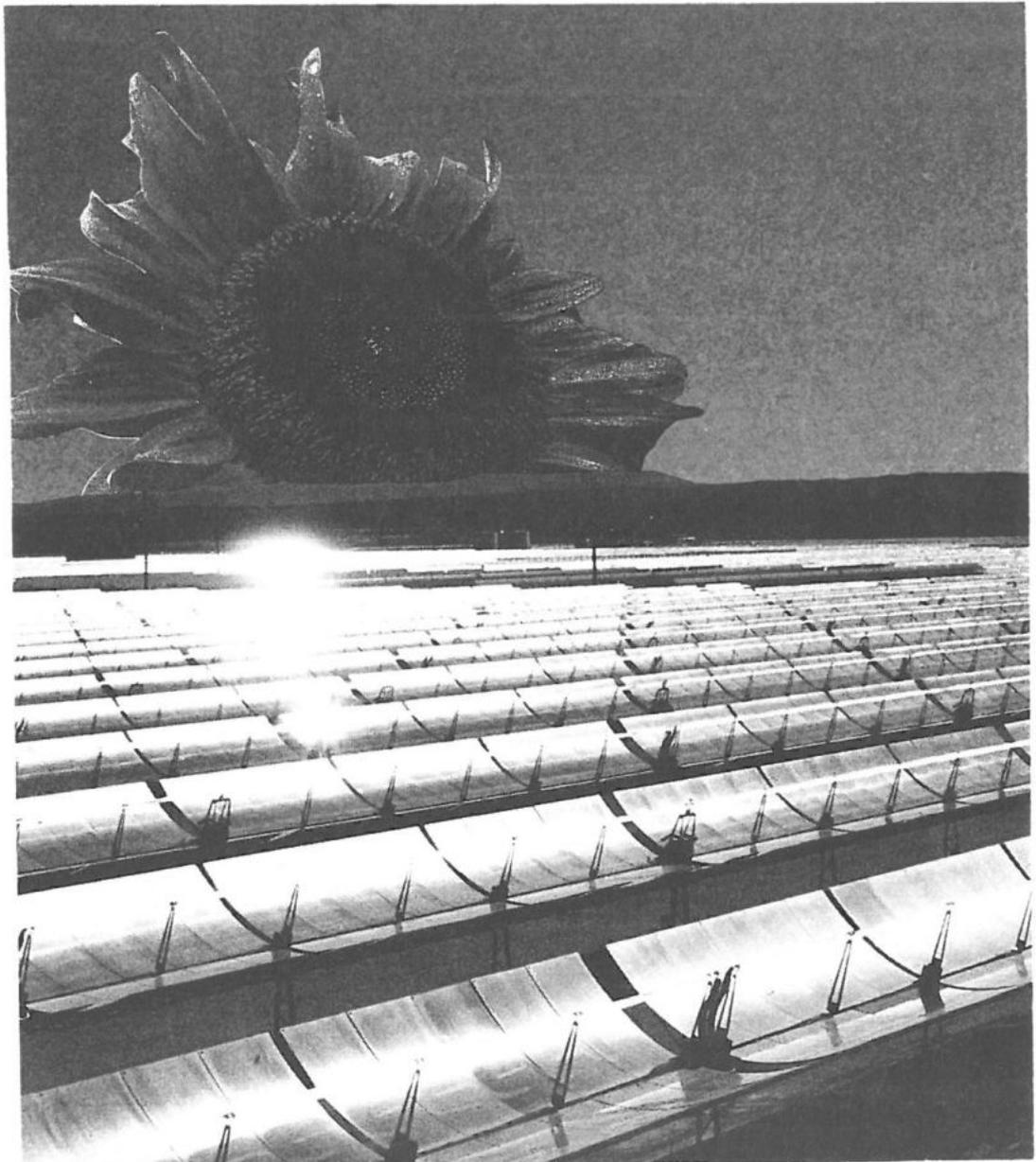
Wärmeenergie → el. Energie

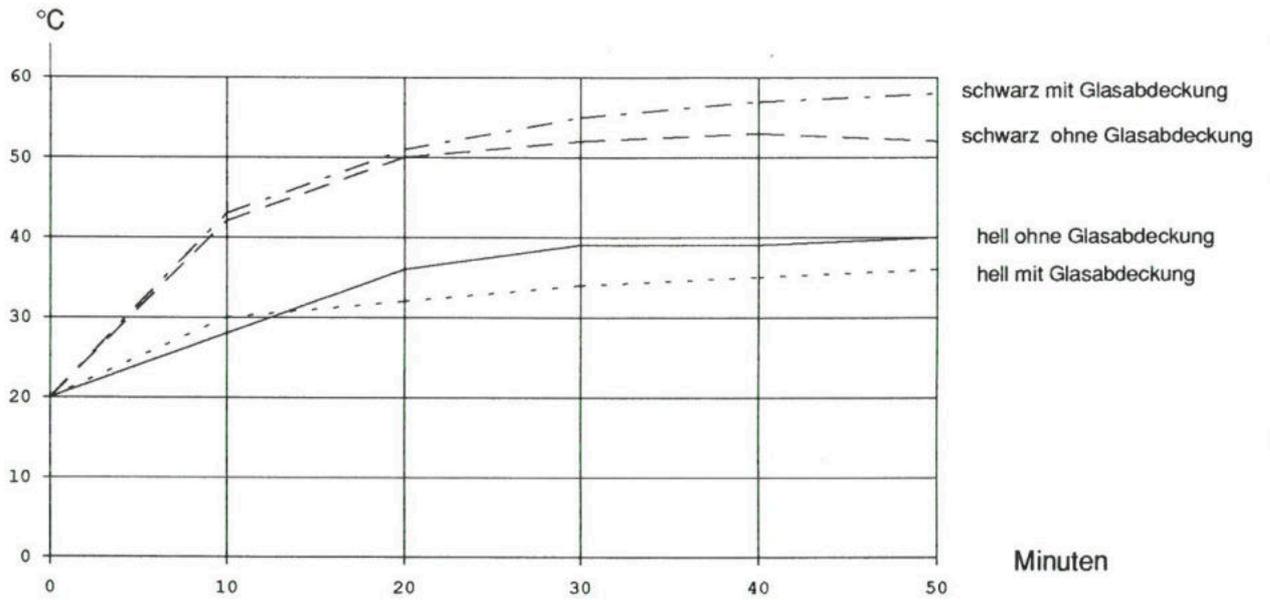


el. Energie → Bewegungsenergie
(Schall) und umgekehrt

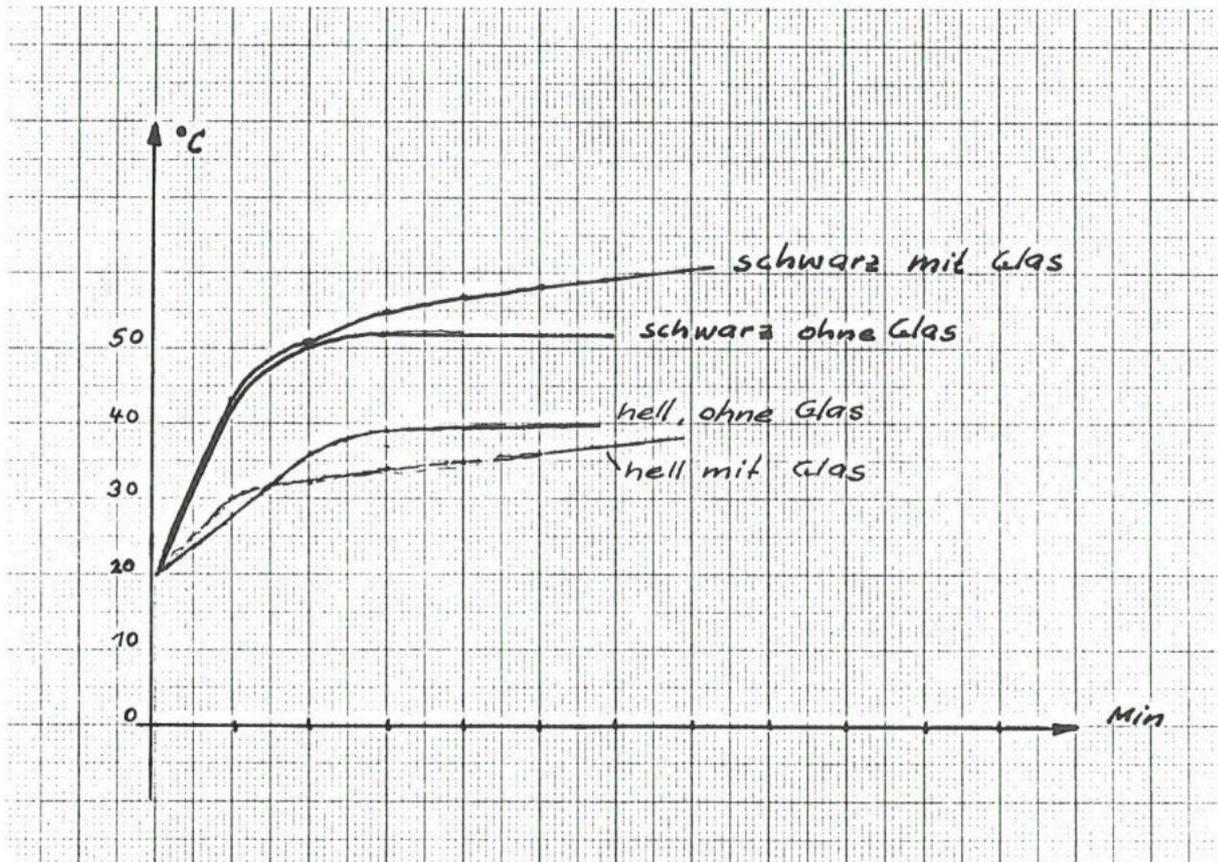
Sonnenkollektoren

Flachkollektoren, Solarturm- und Solarfarm - Kraftwerke





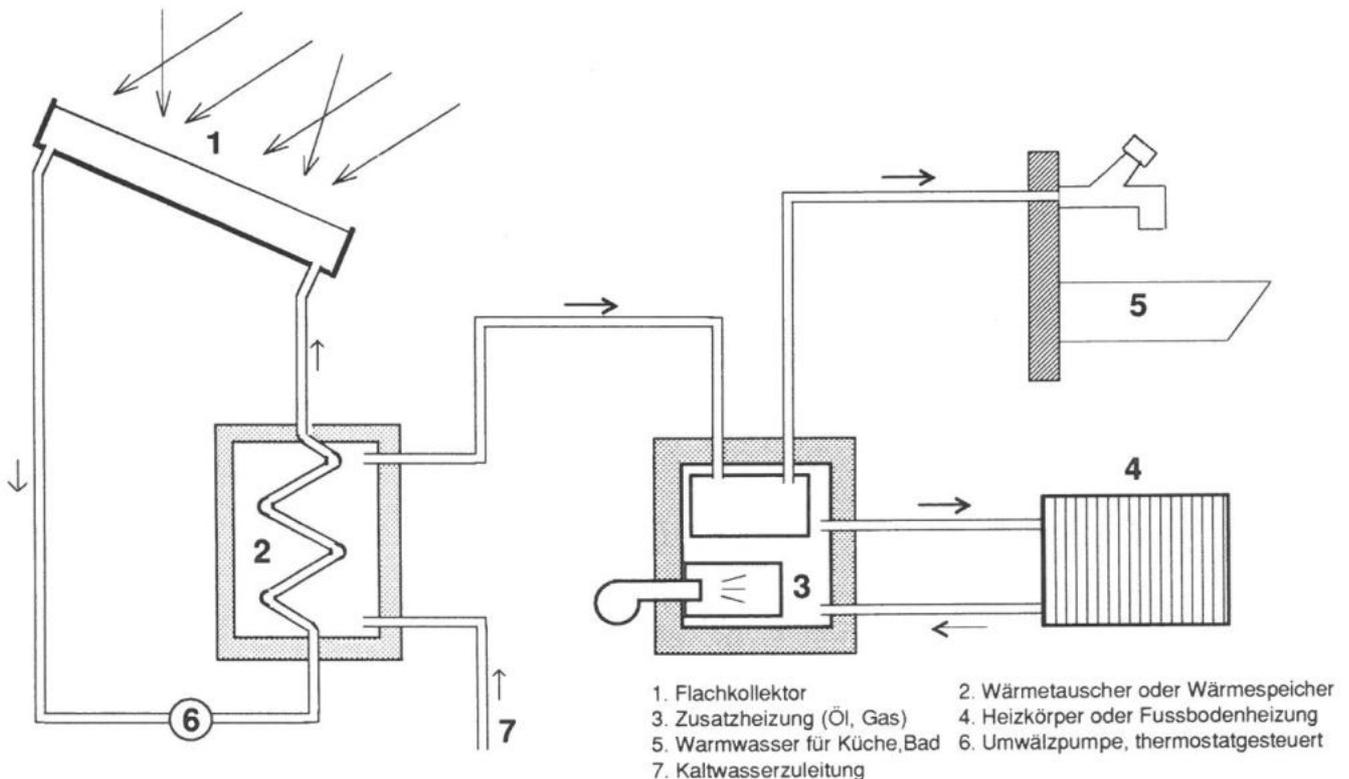
Bestrahlung mit Halogenlampe im Parabolspiegel, Abstand zum Kollektor 60 cm.



Das Prinzip eines Sonnenkollektors ist einfach: Die Licht- und Wärmestrahlung trifft auf eine Oberfläche, von der sie möglichst vollständig aufgenommen (absorbiert) wird. Die entstehende Wärme wird durch eine Wärmeträgerflüssigkeit (z.B. Wasser mit Frostschutz) an den Gebrauchsort transportiert. Da die Sonnenenergie eine geringe Leistungsdichte aufweist (d.h. es fällt nur relativ wenig Energie auf einen m^2), muss die Sonnenstrahlung von möglichst grossen Flächen eingefangen werden. Dies kann auf zwei Arten geschehen: Entweder durch Verwendung von grossflächigen Absorbersystemen, sogenannten Flachkollektoren, oder durch den Einsatz von optischen Systemen (Linsen, Spiegel), welche die Sonnenstrahlung, die auf eine grosse Fläche fällt, in einem Punkt oder einer Linie konzentrieren. Konzentrierende Systeme funktionieren jedoch nur mit parallel einfallenden, direkten Sonnenstrahlen und nicht mit der ungerichteten, diffusen Strahlung.

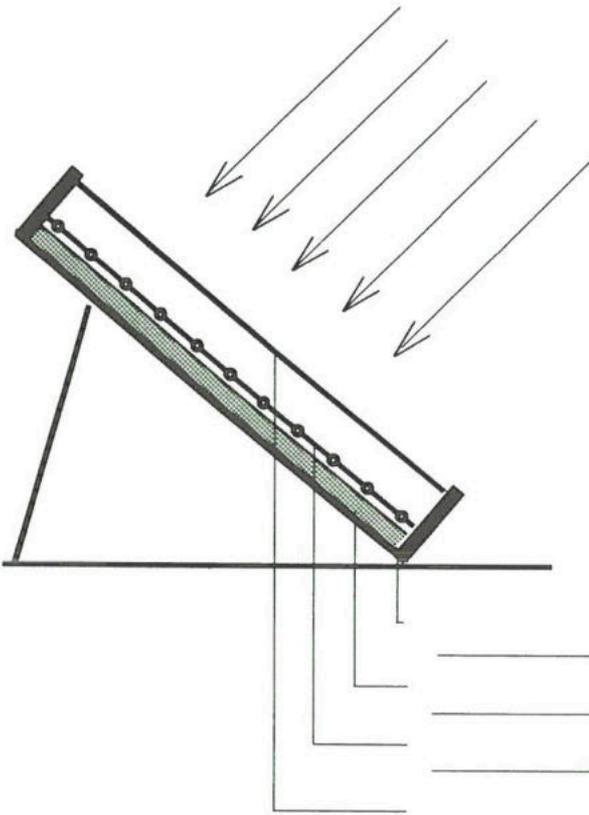
Flachkollektoren

Bei den in der Schweiz herrschenden Klimaverhältnissen kann für die direkte Umwandlung von Sonnenstrahlung in Wärme nur der Flachkollektor verwendet werden, da bei uns der Anteil an diffuser Strahlung recht gross ist. Flachkollektoren eignen sich für die Warmwasserversorgung und für die Wassererwärmung bei Schwimmbädern. In der Übergangszeit vermögen sie auch einen gewissen Beitrag an die Raumheizung zu liefern.



Der einfachste Flachkollektor besteht aus einem schwarzen Schlauch. Etwas geeigneter sind schwarze Gummimatten mit dünnen Kanälen, in denen das Wasser zirkulieren kann. Die Wärmeverluste in solchen unverglasten Kollektoren sind jedoch gross: Der Absorber gibt einen Teil der Wärme an die Luft ab. Durch eine einfache oder mehrfache Abdeckung mit Glas kann der Wirkungsgrad eines Kollektors stark verbessert werden. In vielen Gebieten der Schweiz könnte ein grosser Teil des Warmwasserverbrauchs mit Flachkollektoren bereitgestellt werden. Die Anlagekosten sind jedoch noch so hoch, dass es immer noch etwas billiger ist, das Warmwasser mit Heizöl aufzuheizen - und so lassen es halt auch viele "Umweltschützer" bei der Theorie bewenden !

Versuche mit Flachkollektoren



Wir stellen ein Flachkollektormodell an die Sonne oder bestrahlen es mit einer hellen künstlichen Lichtquelle. Nach jeweils gleichen Zeitintervallen messen wir die Temperaturzunahme:

- bei heller Absorberfläche ohne Glasabdeckung;
- bei dunkler Absorberfläche ohne Glasabdeckung;
- bei heller Absorberfläche mit Glasabdeckung;
- bei dunkler Absorberfläche mit Glasabdeckung.

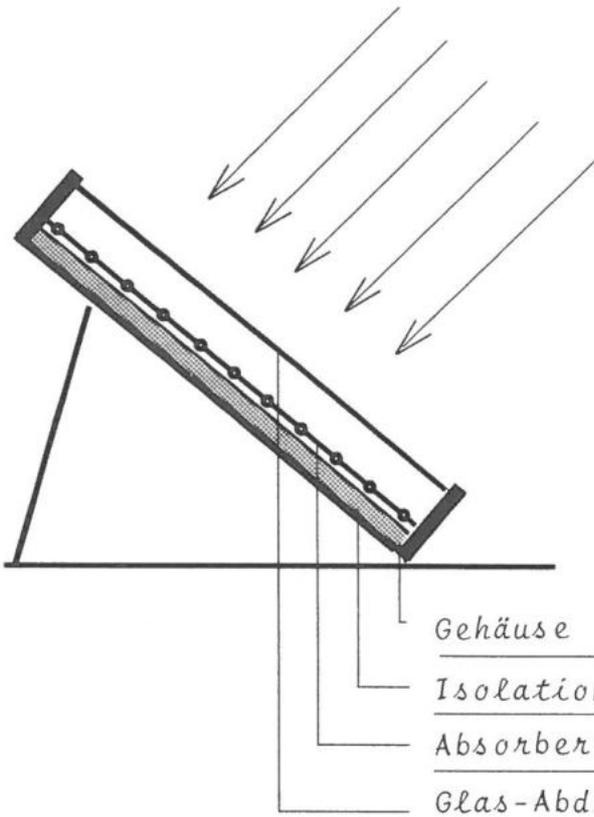
Notiere die Messergebnisse! Was zeigen uns die Messergebnisse?

Absorberfläche	Endtemperaturen in °C nach folgenden Zeitintervallen in Min.					
	0	10	20	30	40	50
hell ohne Glasabdeckung						
schwarz ohne Glasabdeckung						
hell mit Glasabdeckung						
schwarz mit Glasabdeckung						

Ergebnisse: _____

Eine dunkle Fläche übernimmt (absorbiert) die auffallende Strahlung und wird dadurch aufgeheizt. Durch eine einfache oder mehrfache Abdeckung mit Glas kann der Wirkungsgrad eines Kollektors stark verbessert werden. Die Sonnenstrahlung kann nahezu ungehindert durch die Glasabdeckung dringen. Nach der Umwandlung in Wärmestrahlung wird diese Wärme vom Glas zurückgehalten. Der Kollektor wirkt als Wärmefalle. Den gleichen Effekt nutzt man schon lange beim Treibhaus. Gleichzeitig verhindert die Glasabdeckung, dass der Absorber durch die vorbeiströmende Luft abgekühlt wird.

Versuche mit Flachkollektoren



Wir stellen ein Flachkollektormodell an die Sonne oder bestrahlen es mit einer hellen künstlichen Lichtquelle. Nach jeweils gleichen Zeitintervallen messen wir die Temperaturzunahme:

- bei heller Absorberfläche ohne Glasabdeckung;
- bei dunkler Absorberfläche ohne Glasabdeckung;
- bei heller Absorberfläche mit Glasabdeckung;
- bei dunkler Absorberfläche mit Glasabdeckung.

Notiere die Messergebnisse! Was zeigen uns die Messergebnisse ?

Gehäuse

Isolation

Absorber mit Wärmeträger (Wasser)

Glas-Abdeckung

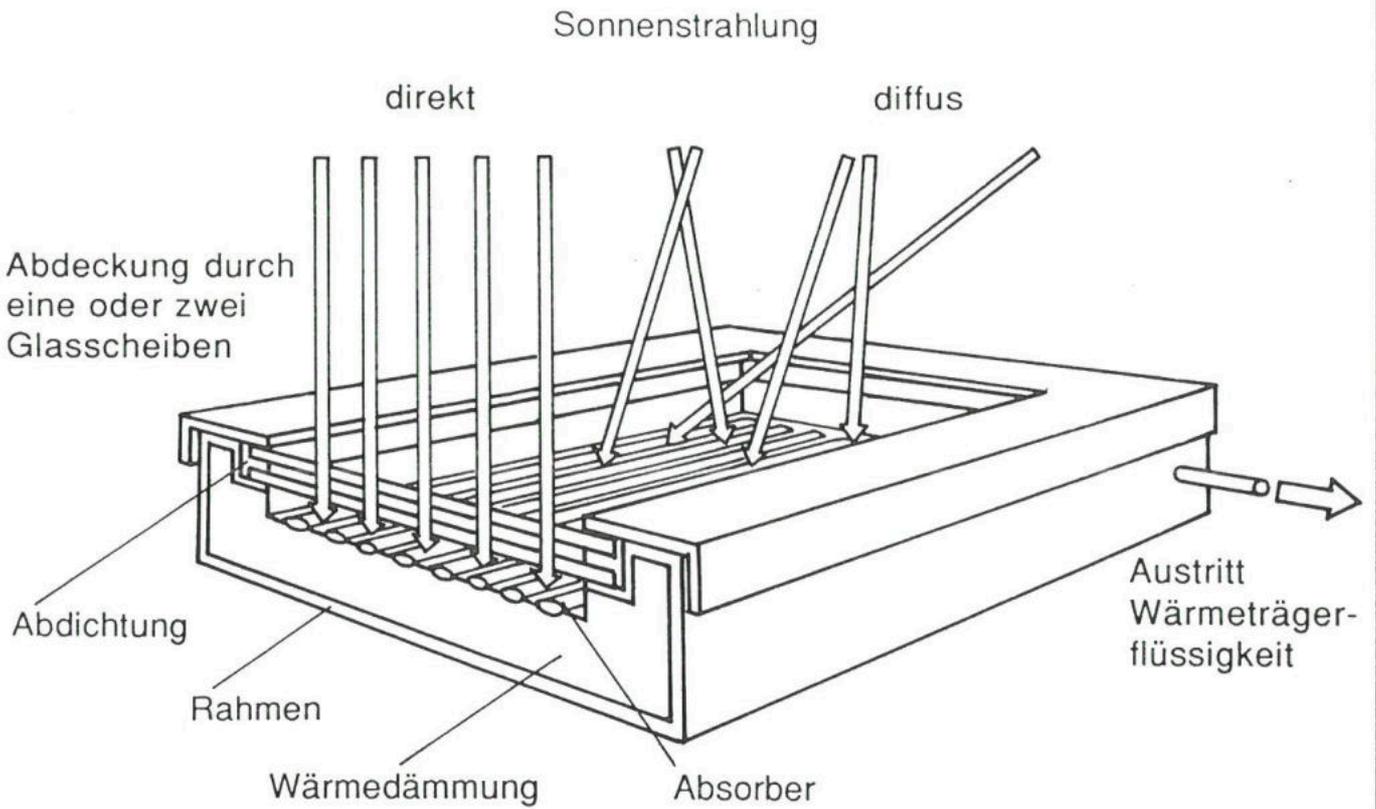
Absorberfläche	Endtemperaturen in °C nach folgenden Zeitintervallen in Min.					
	0	10	20	30	40	50
hell ohne Glasabdeckung	20	28	36	39	39,5	40
schwarz ohne Glasabdeckung	20	42	50	52	52	52
hell mit Glasabdeckung	20	30	32	34	35	36
schwarz mit Glasabdeckung	20	43	51	55	57	58

Ergebnisse: 1. Dunkle Flächen nehmen mehr Wärmeenergie auf als helle.

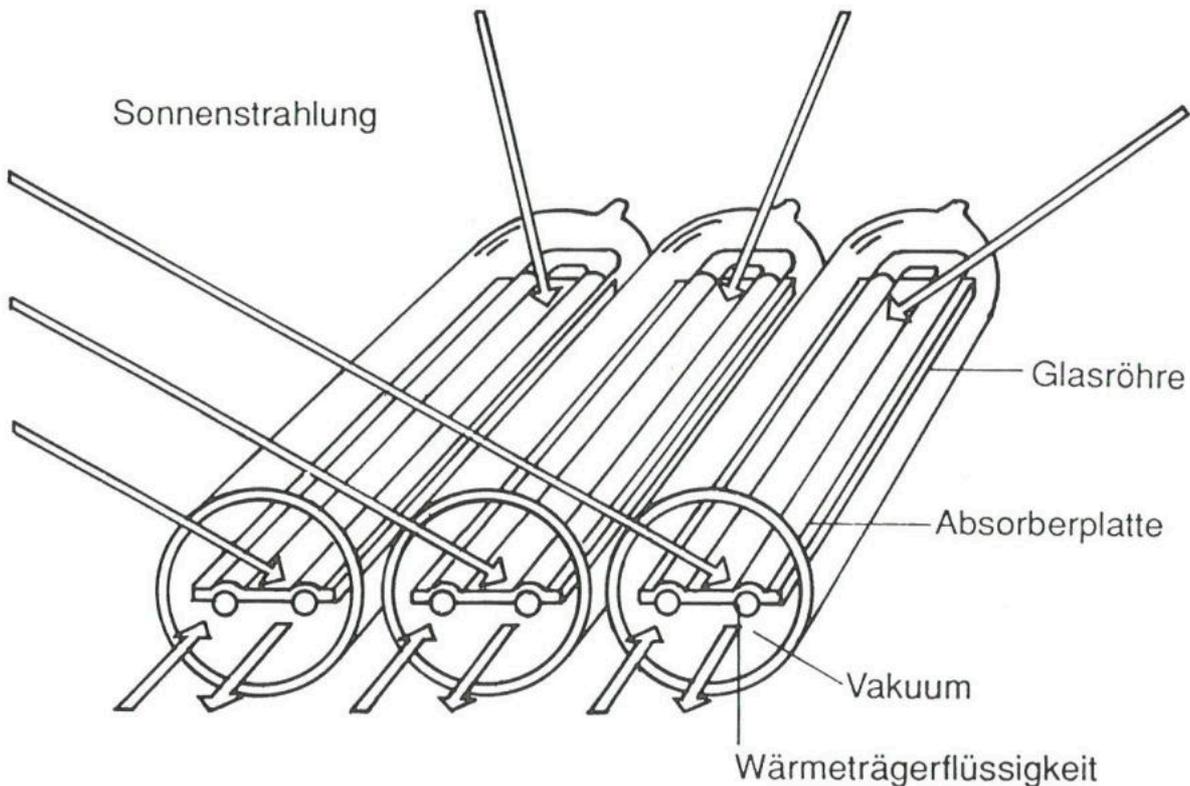
2. Wenn der Flachkollektor mit Glas abgedeckt ist, kann vor allem bei höheren Temperaturen mehr Wärmeenergie aus dem Licht gewonnen werden.

Eine dunkle Fläche übernimmt (absorbiert) die auffallende Strahlung und wird dadurch aufgeheizt. Durch eine einfache oder mehrfache Abdeckung mit Glas kann der Wirkungsgrad eines Kollektors stark verbessert werden. Die Sonnenstrahlung kann nahezu ungehindert durch die Glasabdeckung dringen. Nach der Umwandlung in Wärmestrahlung wird diese Wärme vom Glas zurückgehalten. Der Kollektor wirkt als Wärmefalle. Den gleichen Effekt nutzt man schon lange beim Treibhaus. Gleichzeitig verhindert die Glasabdeckung, dass der Absorber durch die vorbeiströmende Luft abgekühlt wird.

Aufbau eines Flachkollektors

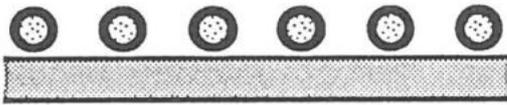


Vakuumisolierter Flachkollektor



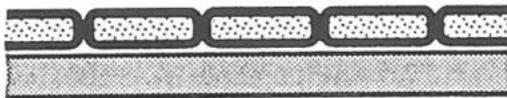
Verschiedene Kollektortypen

Schlauchkollektor: 0° bis 30° C



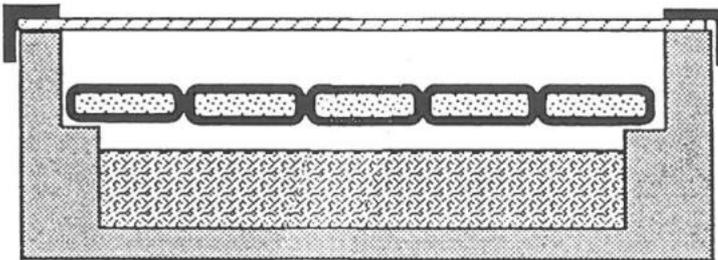
- für Kleinanlagen und Experimente (Dusche)
- überall erhältlich
- auch für Diffusstrahlung
- geringe Leistung, teuer

Unverglaster Flachkollektor: 0° bis 30° C



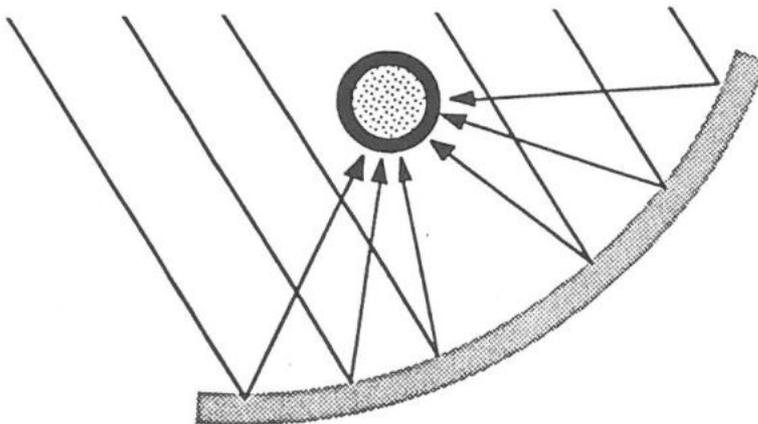
- für Schwimmbad und Wärmepumpen
- auch für Diffusstrahlung
- hohe Wärmeverluste
- relativ billig

Verglaster Flachkollektor: 30° bis 100° C



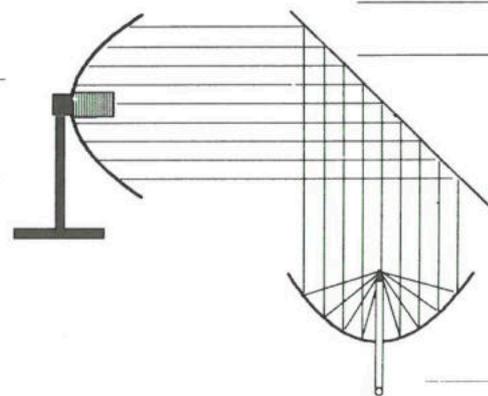
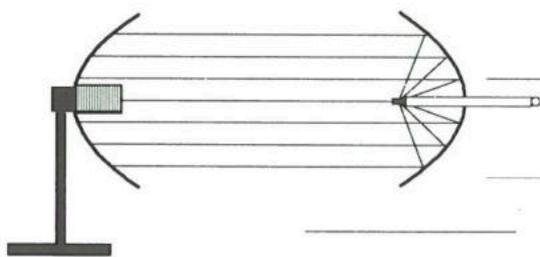
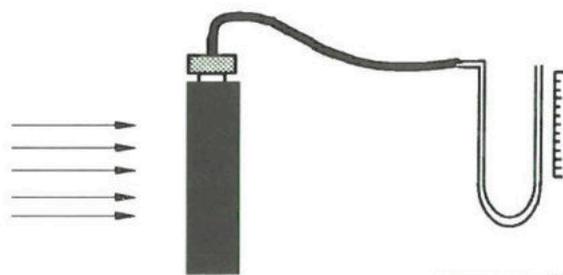
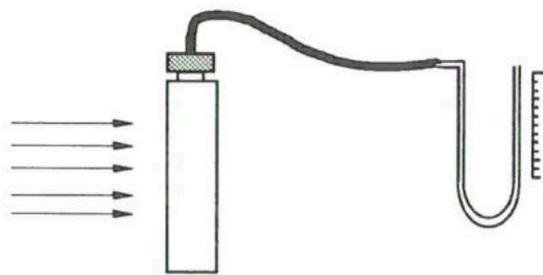
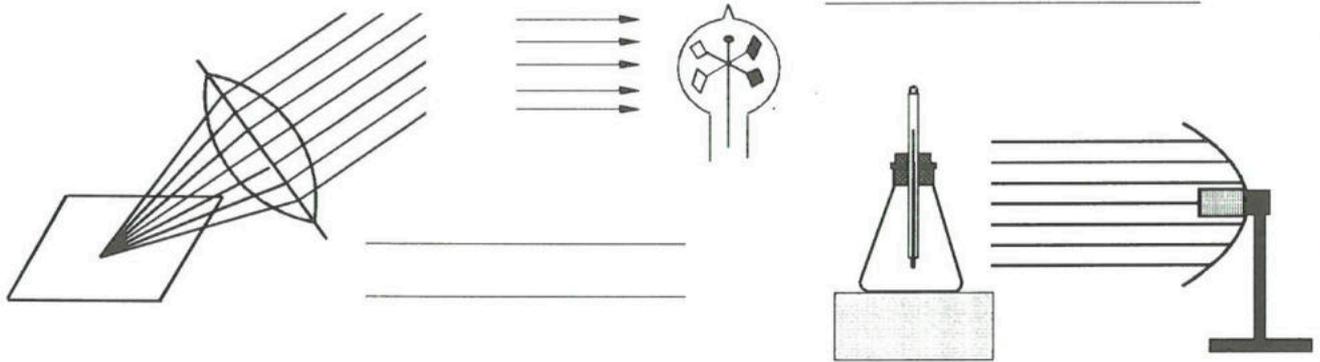
- für Haushalt, Gewerbe und Industrie
- auch für Diffusstrahlung
- Klein- u. Grossanlagen
- Kleine Wärmeverluste

Konzentrierender (fokussierender) Kollektor: 80° bis 800° C

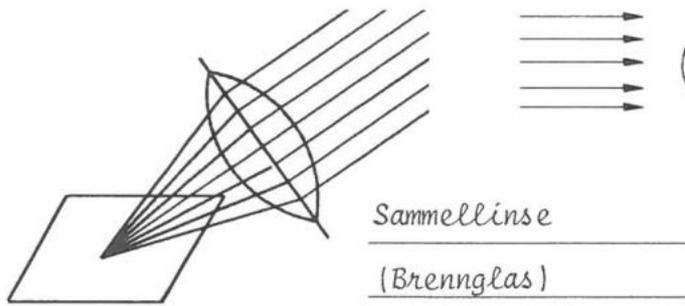


- für Grossanlagen in heissen Ländern
- nur für Direktstrahlung
- Nachführung notwendig
- staubempfindlich, teuer

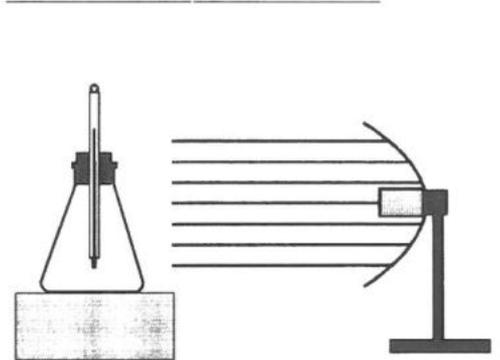
Der Parabolspiegel



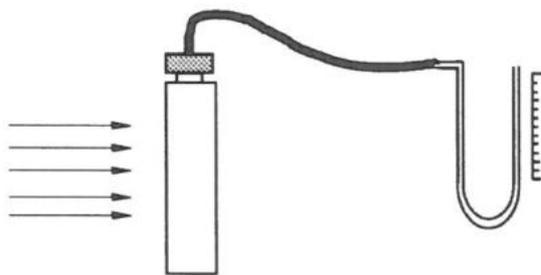
Der Parabolspiegel



Radiometer



1. Wärmestrahlen breiten sich wie Licht aus.
2. Wo Wärmestrahlen auftreffen, wird es warm. Beim Radiometer verursachen die Wärmestrahlen eine raschere Molekülbewegung der dunklen Flächen.

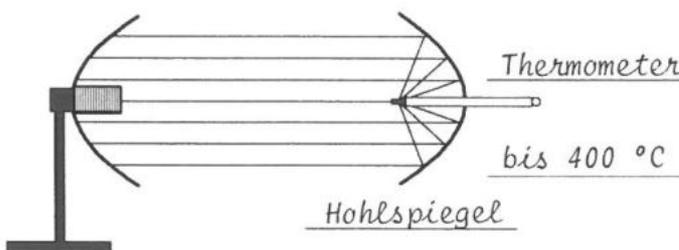


3. Helle Flächen und Spiegel erwärmen sich wenig.

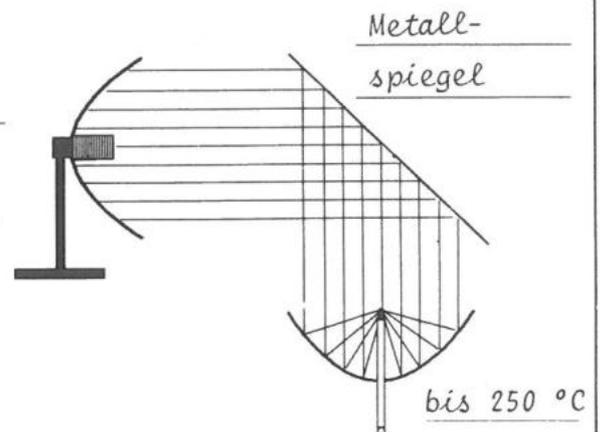


Dunkle Flächen erwärmen sich bei Bestrahlung stark.

Thermoskop



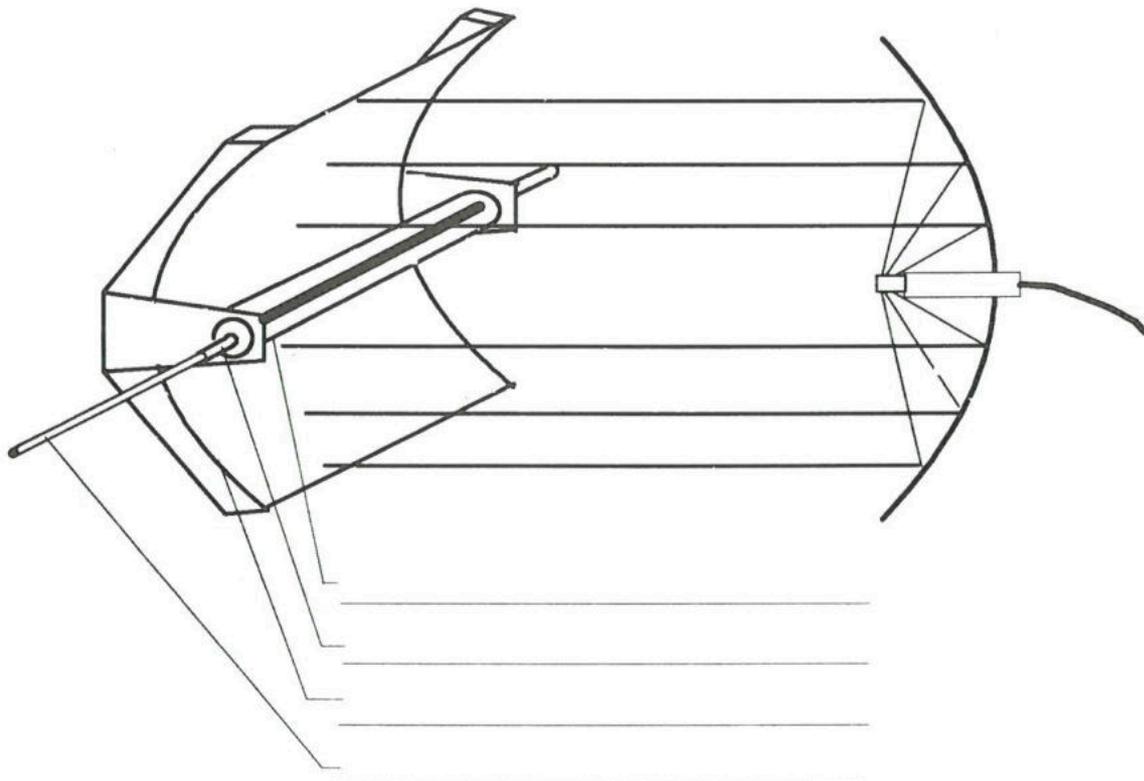
Hohlspiegel



Metallspiegel

4. Spiegel reflektieren die Wärmestrahlen (werfen sie zurück).
5. Hohlspiegel sammeln die Wärmestrahlen in einem Punkt. In diesem Punkt entstehen sehr hohe Temperaturen.

Versuche mit zylindrischem Parabolspiegel



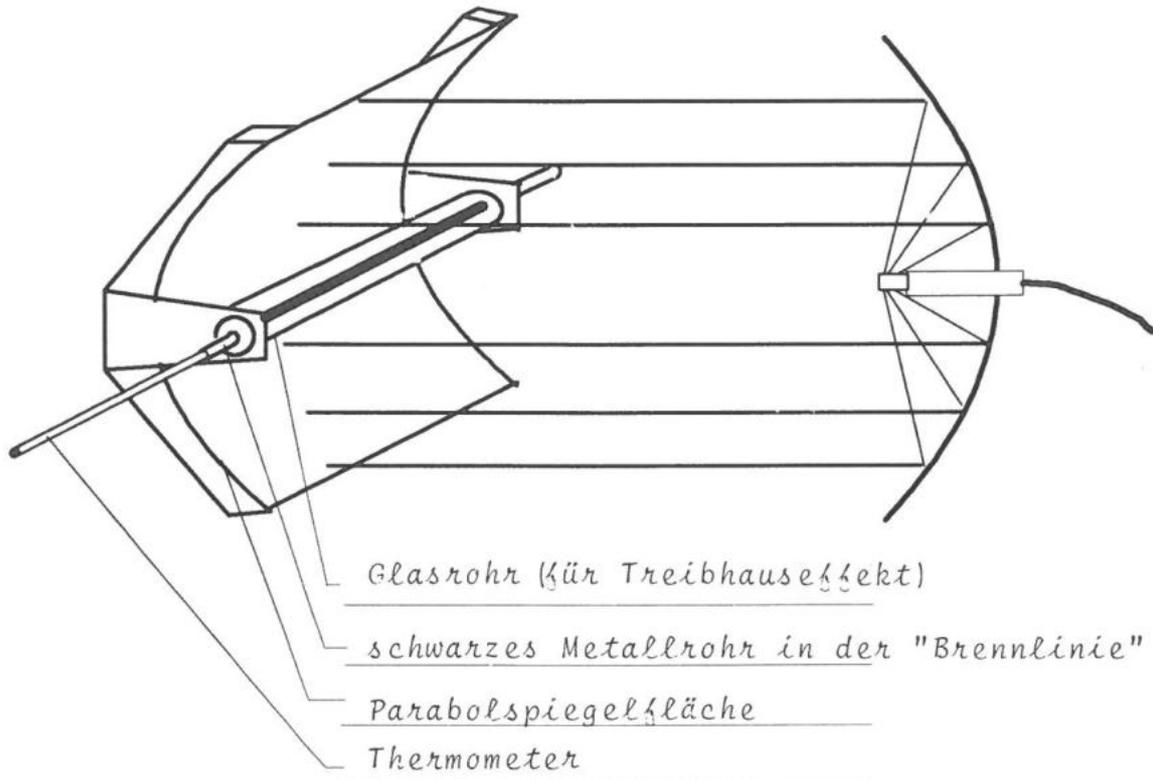
Wir richten einen Licht-Wärmestrahler (Halogenlampe) auf einen zylindrischen Parabolspiegel (Abstand etwa 60 cm) und messen die Temperatur in der Röhre, die durch die "Brennlinie" des zylindrischen Parabolspiegels führt.

Zeit in Minuten	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aluminium-Röhre blank ohne Glasabdeckung											
Aluminium-Röhre blank mit Glasabdeckung											
Aluminium-Röhre schwarz ohne Glasabdeckung											
Aluminium-Röhre schwarz mit Glasabdeckung											

Die so erhaltenen Werte zeichnen wir auf Millimeter-Papier auf !

Ergebnis: _____

Versuche mit zylindrischem Parabolspiegel



Wir richten einen Licht-Wärmestrahler (Halogenlampe) auf einen zylindrischen Parabolspiegel (Abstand etwa 60 cm) und messen die Temperatur in der Röhre, die durch die "Brennlinie" des zylindrischen Parabolspiegels führt.

Zeit in Minuten	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aluminium-Röhre blank ohne Glasabdeckung	22	26	31	35	36	37	38	39	40	40.5	41
Aluminium-Röhre blank mit Glasabdeckung	22	26	31	35	36	41	43	45	46	46.5	47
Aluminium-Röhre schwarz ohne Glasabdeckung	22	42	57	66	72	76	80	83	84	84.5	85
Aluminium-Röhre schwarz mit Glasabdeckung	22	40	56	67	76	83	90	96	102	106	109

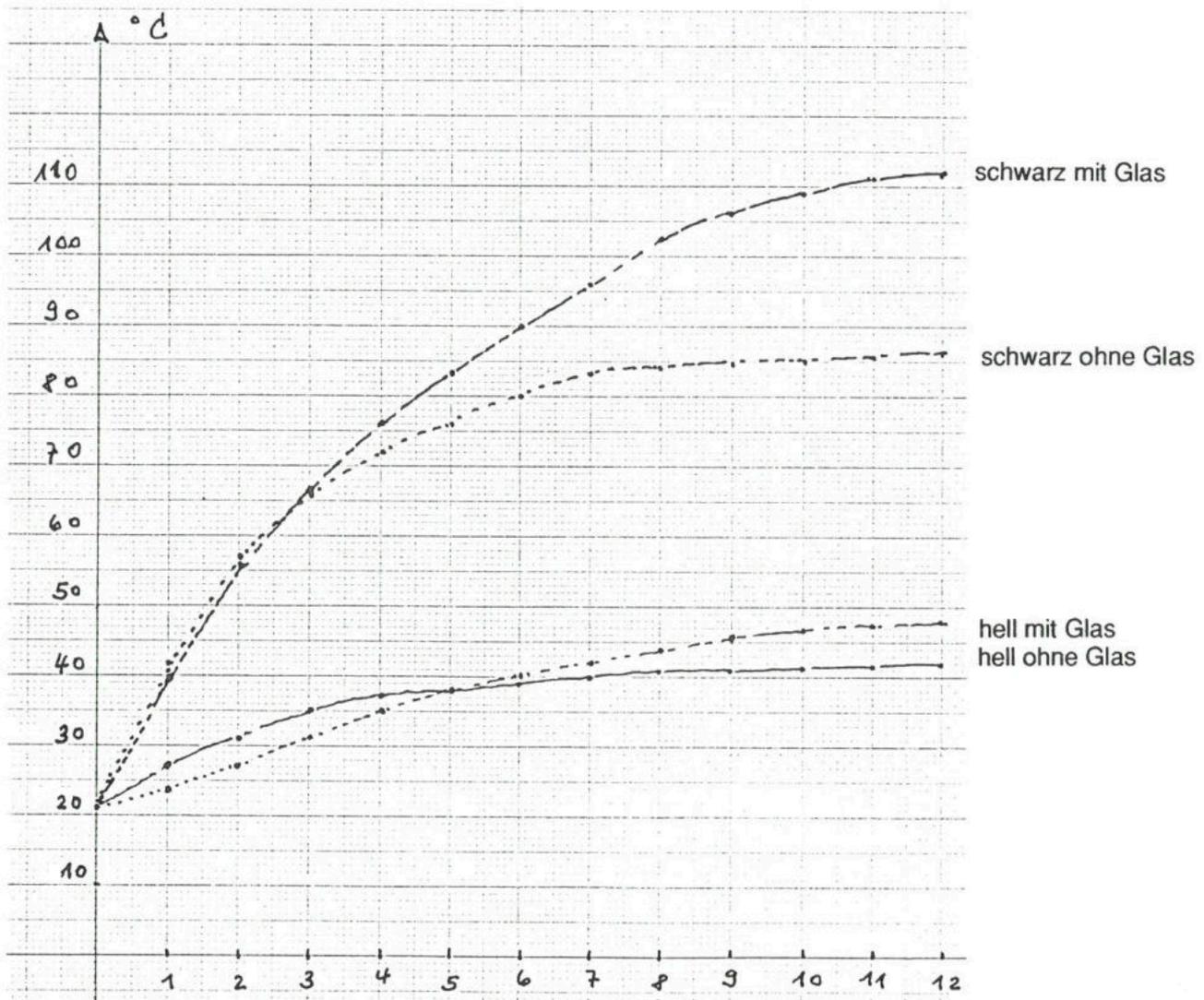
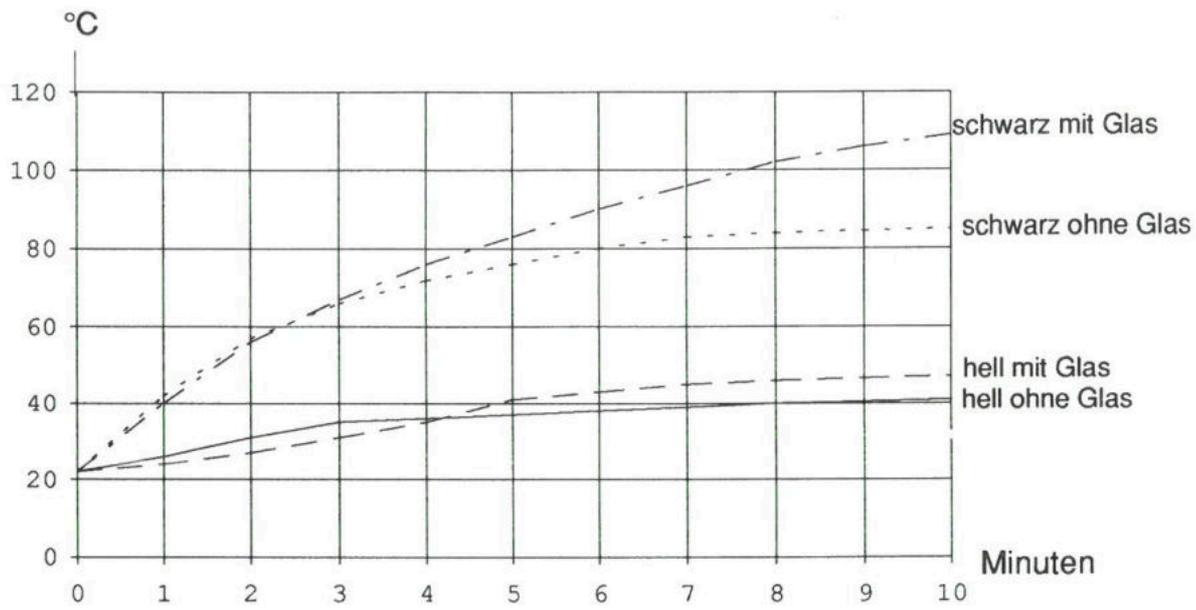
Die so erhaltenen Werte zeichnen wir auf Millimeter-Papier auf !

Ergebnis: 1. Die schwarze Röhre wird bei gleicher Wärmebestrahlung viel wärmer.

2. Wenn die Röhre in der Brennlinie mit einem Glasrohr umgeben wird, wirkt zusätzlich zur Absorbtion der Treibhauseffekt. Die Erwärmung ist viel stärker als ohne Glasrohr.

Zylindrischer Parabolspiegel

Grafische Auswertung zu 3.09 L



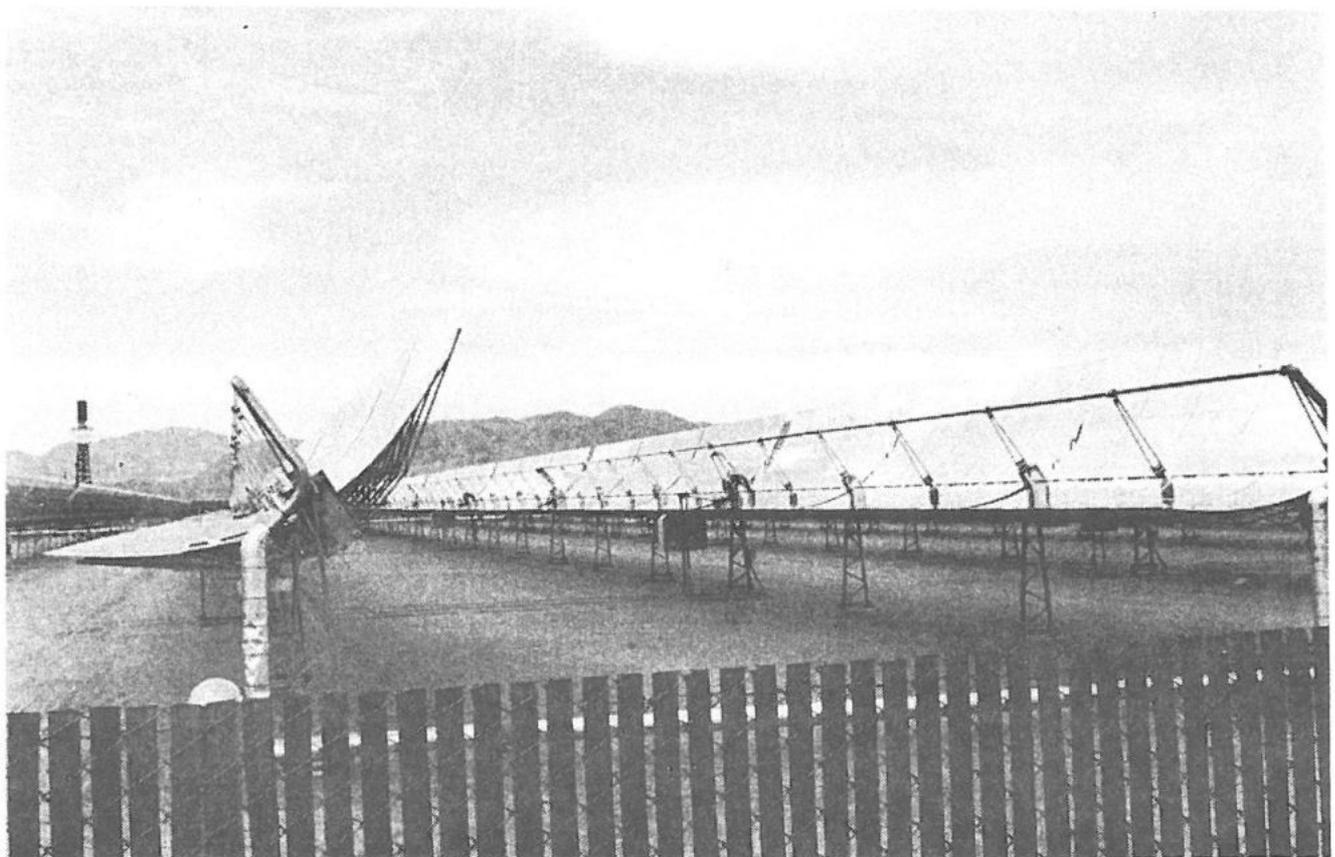
Solarthermische Kraftwerke

Solarthermische Kraftwerke erzeugen mit Hilfe der Sonnenenergie Wasserdampf, der über eine Dampfturbine einen Generator zur Stromerzeugung antreibt. Sie funktionieren also ähnlich wie Kraftwerke, die zur Erzeugung des Dampfes mit Öl, Gas, Kohle oder Uran beheizt werden. Um die notwendigen hohen Temperaturen zu erreichen, muss die Sonneneinstrahlung grosser Flächen mit optischen Hilfsmitteln wie Linsen oder Spiegeln konzentriert werden.

In der Praxis werden zur Konzentration der Sonnenstrahlung Parabolspiegel oder viele Flachspiegel verwendet, die das Licht auf einen Punkt oder auf eine Linie gerichtet reflektieren. Ein Parabolspiegel ist ein Hohlspiegel, der die parallel zur Spiegelachse einfallende Strahlung in einem Punkt, dem Brennpunkt, vereinigt. Ein wannenförmiger Parabolzylinder konzentriert die Sonnenstrahlung in einer Brennlinie. Alle Spiegelsysteme sind entsprechend dem Sonnenstand auszurichten. Mit Hilfe von automatischen Regeleinrichtungen werden sie der Sonne in einer oder zwei Richtungen nachgeführt.

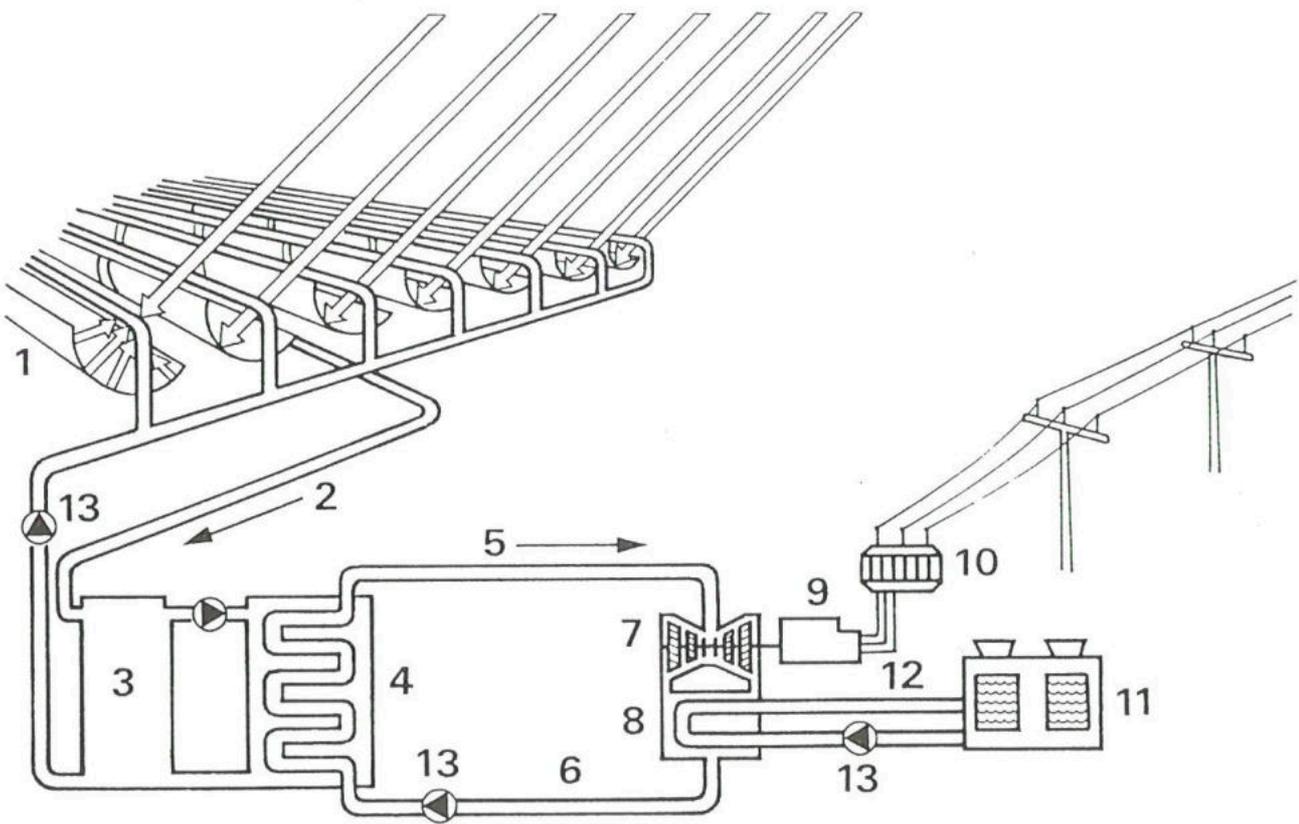
Konzentrierende Systeme fangen nur die direkte Sonnenstrahlung ein. In unseren Breitengraden mit einem relativ hohen Anteil an diffuser Strahlung dürften solche Kraftwerke deshalb kaum je realisiert werden. Es werden zwei Arten von solarthermischen Kraftwerken unterschieden: Solarturm- und Solarfarm-Kraftwerke.

Das folgende Bild zeigt die zylindrischen Parabolspiegel des Solarfarm-Kraftwerkes SEGS II (Leistung 15 MW) bei Dagett in der Mojave-Wüste (Kalifornien). Links im Hintergrund ist der Turm des grössten Solarturm-Kraftwerkes SOLAR ONE (Leistung 10 MW) zu sehen.



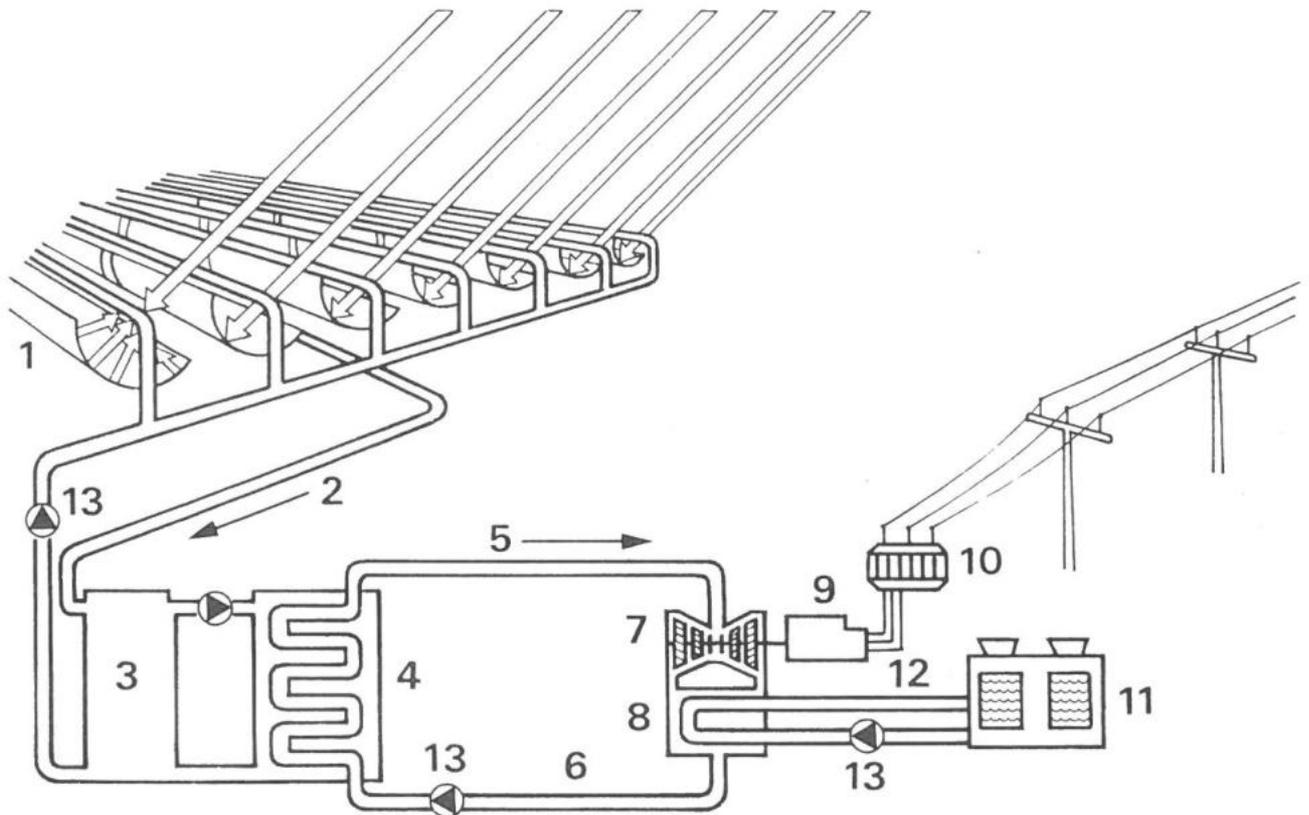
Solarfarm-Kraftwerk

Im Kollektorfeld stehen viele Reihen von zylindrischen Parabolspiegeln, die alle dem sich dauernden ändernden Stand der Sonne nachgeführt werden. Durch diese Parabolspiegel wird die einstrahlende Sonnenenergie auf ein vakuumisoliertes Stahlrohr gebündelt, das in der Brennpunktachse der Spiegelrinne verläuft und mit zirkulierendem, hitzebeständigem Thermoöl gefüllt ist. Dieses ermöglicht, im Gegensatz zu Wasser, einen weitgehend druckfreien Betrieb bis über 400 °C. Das auf mehr als 400 °C aufgeheizte Öl strömt zu einem Wärmetauscher und gibt dort die Wärmeenergie an einen Wasserkreislauf ab. Das Wasser verdampft und treibt wie in herkömmlichen Dampfkraftwerken Turbinen und Generatoren an. Nach den Turbinen strömt der Dampf durch den Kondensator, wo er sich wieder in Wasser verwandelt. Das erwärmte Kühlwasser wird, sofern für die Wärme kein Bedarf vorhanden ist, einem Kühlturm zugeführt. Sollte die Kraftwerksanlage trotz fehlender Sonneneinstrahlung Strom ans Netz abgeben können, so wird der benötigte Wasserdampf mit Erdgas erzeugt.



Solarfarm-Kraftwerk

Im Kollektorfeld stehen viele Reihen von zylindrischen Parabolspiegeln, die alle dem sich dauernden ändernden Stand der Sonne nachgeführt werden. Durch diese Parabolspiegel wird die einstrahlende Sonnenenergie auf ein vakuumisoliertes Stahlrohr gebündelt, das in der Brennpunktachse der Spiegelrinne verläuft und mit zirkulierendem, hitzebeständigem Thermoöl gefüllt ist. Dieses ermöglicht, im Gegensatz zu Wasser, einen weitgehend druckfreien Betrieb bis über 400 °C. Das auf mehr als 400 °C aufgeheizte Öl strömt zu einem Wärmetauscher und gibt dort die Wärmeenergie an einen Wasserkreislauf ab. Das Wasser verdampft und treibt wie in herkömmlichen Dampfkraftwerken Turbinen und Generatoren an. Nach den Turbinen strömt der Dampf durch den Kondensator, wo er sich wieder in Wasser verwandelt. Das erwärmte Kühlwasser wird, sofern für die Wärme kein Bedarf vorhanden ist, einem Kühlturm zugeführt. Sollte die Kraftwerksanlage trotz fehlender Sonneneinstrahlung Strom ans Netz abgeben können, so wird der benötigte Wasserdampf mit Erdgas erzeugt.



1) Konzentrierende Kollektoren
(Parabolzylinder)

2) Thermoöl

3) Speicher für Thermoöl

4) Dampferzeuger

5) Wasserdampf

6) Kondensiertes Wasser

7) Dampfturbine

8) Kondensator

9) Generator

10) Transformator

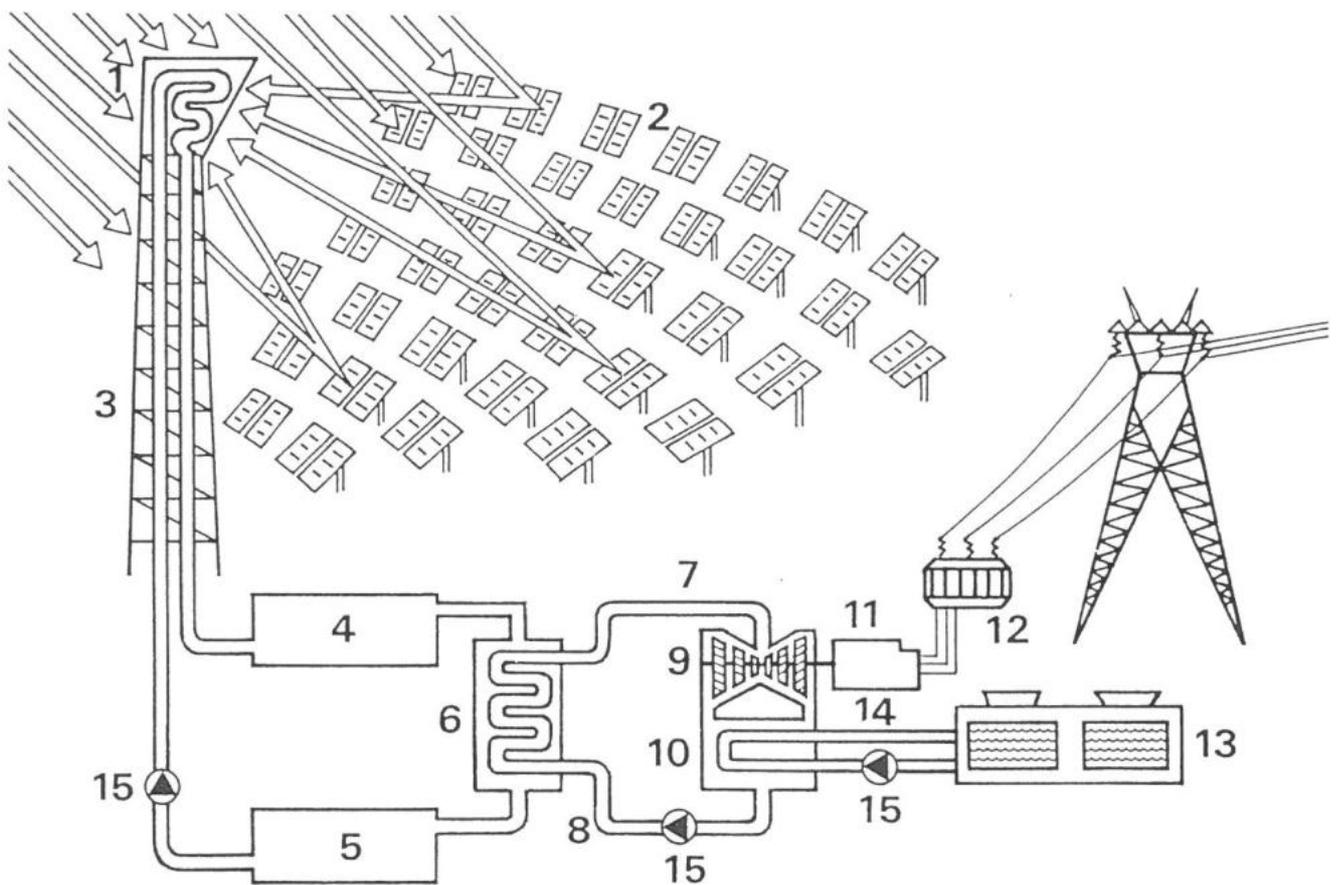
11) Kühlturm

12) Kühlwasser

13) Umwälzpumpe

Solarturm-Kraftwerke

Bei Solarturm-Anlagen reflektieren viele grosse computergesteuerte Spiegel (Heliostaten mit je 40 m² Fläche) das einfallende Sonnenlicht auf den in einer Turmspitze montierten Strahlungsempfänger. Hier wird das Arbeitsmittel, z.B. flüssiges Natrium oder ein Thermoöl, auf eine Temperatur von 500 bis 600 °C erhitzt. Im Dampferzeuger gibt das Arbeitsmittel seine Wärmeenergie an einen Wasserkreislauf ab. Das Wasser verdampft und treibt eine Dampfturbine an, die mit einem Generator gekoppelt ist. Glaubte man vor 10 Jahren noch, das Solarturm-Kraftwerke sei geeigneter und günstiger für Anlagen mit über 20 MW Leistung als Solarfarm-Kraftwerke, so hat die Praxis heute das Gegenteil bewiesen. In Kalifornien sind heute Solarfarm-Kraftwerke mit Leistungen von 160 MW und mehr im Betrieb.



1) Strahlungsempfänger

2) Heliostaten

3) Turm mit Empfänger

4) Aufgeheiztes Natrium

5) Abgekühltes Natrium

6) Dampferzeuger

7) Wasserdampf

8) Kondensiertes Wasser

9) Dampfturbine

10) Kondensator

11) Generator

12) Transformator

13) Kühlturm

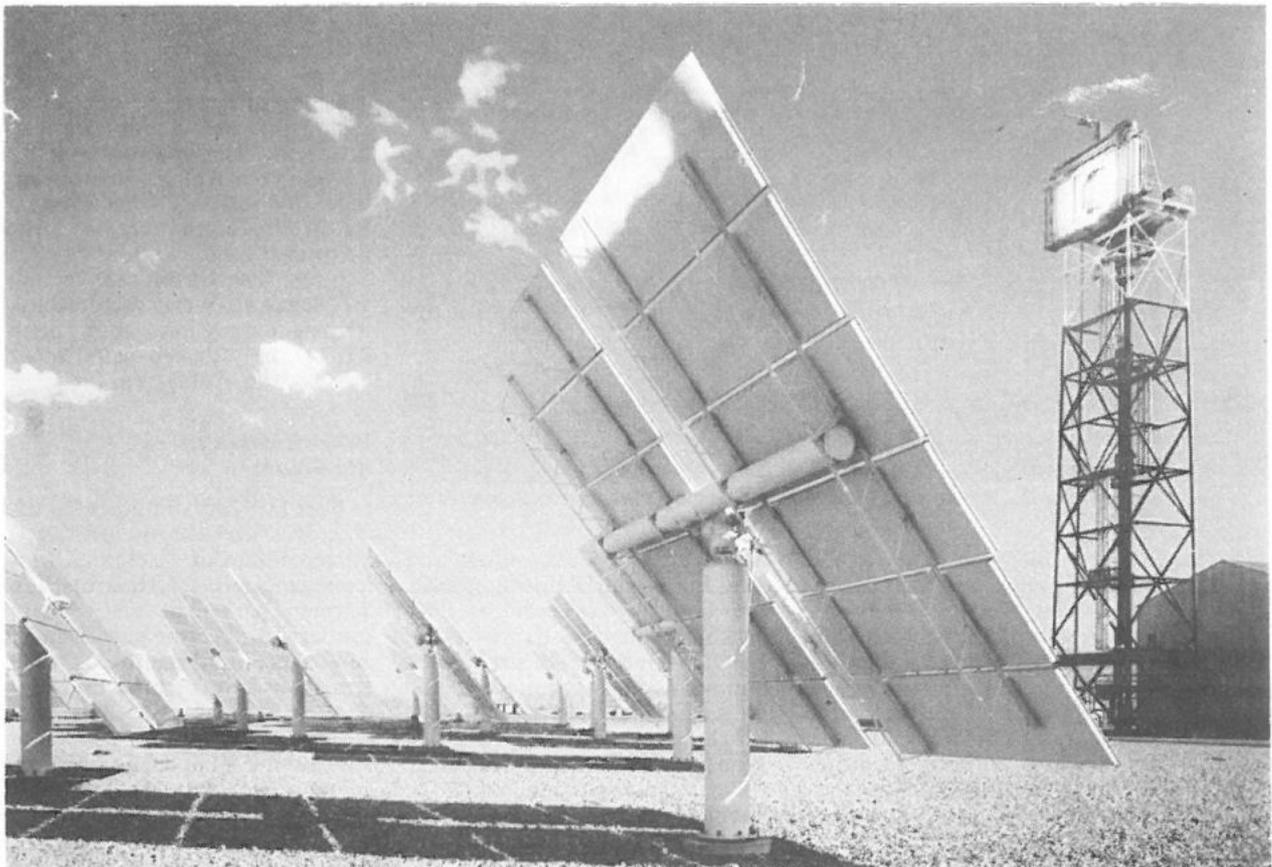
14) Kühlwasser

15) Umwälzpumpe

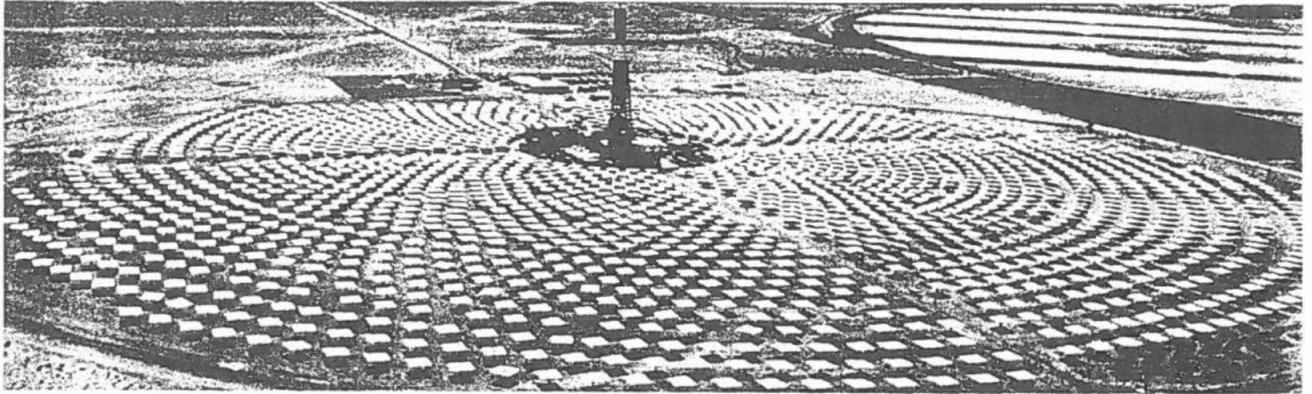
Erfahrungen und Zahlen aus der Praxis

Kann man Solarenergie in grossem Stil wirtschaftlich in elektrischen Strom umwandeln und verwerten? Seit den frühen siebziger Jahren ist auf dieses Ziel hin weltweit geforscht und entwickelt worden. In Europa und in den USA wurden versuchsweise Solarturm- und Solarfarmkraftwerke gebaut, um Erfahrungen zu sammeln. Wir erinnern uns an einen Professor namens Giovanni Francia, der schon 1965 mit 120 kreisrunden Flachspiegeln Sonnenlicht auf einen Dampfkessel bündelte. Er erreichte mit 500 °C und 100 bar genügend Druck und Temperatur, um eine Turbine mit Generator zur Stromerzeugung anzutreiben. Da jedoch die Ölkrise noch fern lag, erhielt Francia keine Lira zur Verwirklichung seiner Pläne für ein Solarturm-Kraftwerk. Erst nach dem Ölschock erinnerte man sich wieder an diese Erfindung, und in den Jahren nach 1981 wurden verschiedene Prototyp-Solar-Kraftwerke zum grossen Teil mit öffentlichen Geldern erbaut:

- Frankreichs "Themis" nutzte die Pyrenäen-Sonne;
- "Eurelios" auf Sizilien wurde von der Europäischen Gemeinschaft finanziert;
- In Almeria wurde eine Grossanlage von einer internationalen Energieagentur errichtet und betrieben, unter Beteiligung von Deutschland, den USA, Spanien, Italien, Belgien, der Schweiz, Oesterreich, Schweden und Griechenland;
- In Almeria baute Spanien zudem seine eigene Anlage CESA-1;
- Japan nennt seine Anlage auf Hokkaido "Sunshine";
- die USA errichteten mit der 10-Megawatt-Anlage "SOLAR-ONE" die weltweit grösste Anlage, was die Leistung betraf, denn bei allen anderen Anlagen lag diese nur zwischen 0,5 und 2 Megawatt.



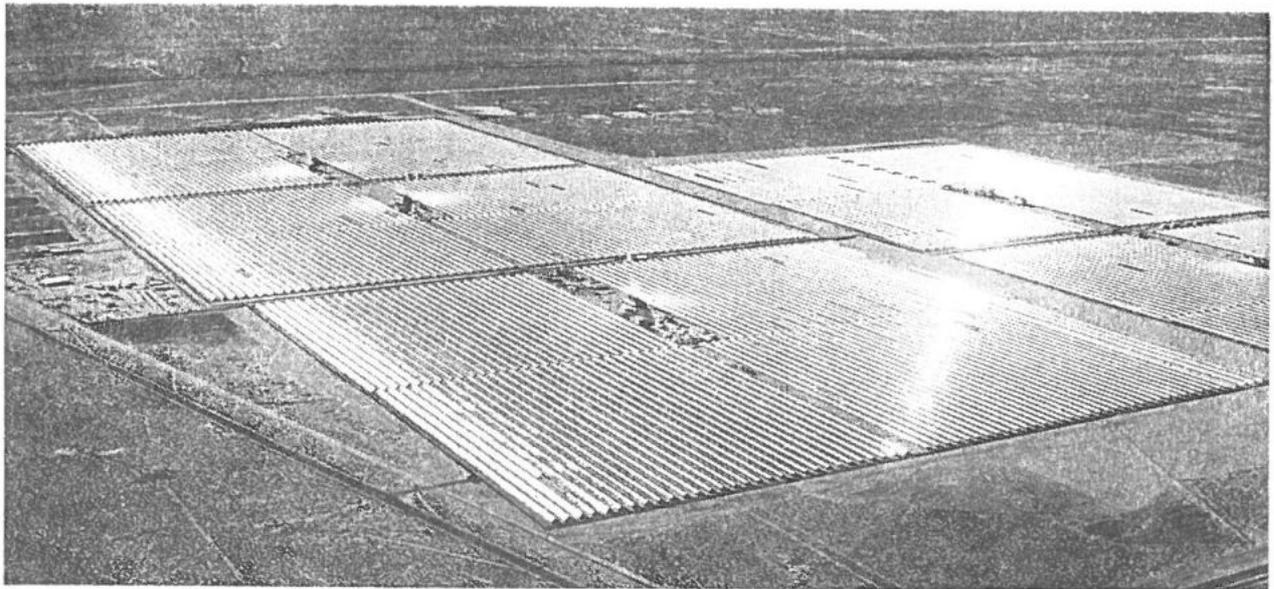
Die Heliostaten dürfen einander nicht vor der Sonne und vor dem Empfänger – im Bild ganz rechts – stehen. Hier im IEA-Sonnenkraftwerk Almería muss öfters der Staub von den Spiegeln gewaschen werden, was die Stromerzeugungskosten erhöht.



Die grösste Solarturm-Anlage der Welt: SOLAR ONE bei Daggett (Kalifornien) mit 10 MW Leistung (Dieses Kraftwerk ist heute stillgelegt).

Die Ergebnisse der verschiedenen Versuchsanlagen deckten sich weitgehend und lassen sich etwa so zusammenfassen: Die Technik hat sich bewährt, aber der produzierte Strom war zu teuer.

Wie man mit Solarenergie erfolgreich im Stromversorgungsgeschäft mithalten kann, wenn man günstige äussere Bedingungen nützt und in der Technik kostengünstige Serienfertigung einsetzt, zeigt die "LUZ International Limited" in Kalifornien (USA). Ihre Solarfarm-Anlagen in der Mojave-Wüste, die sogenannten SEGS (Solar Electric Generating Systems), dürfen sich sehen lassen:



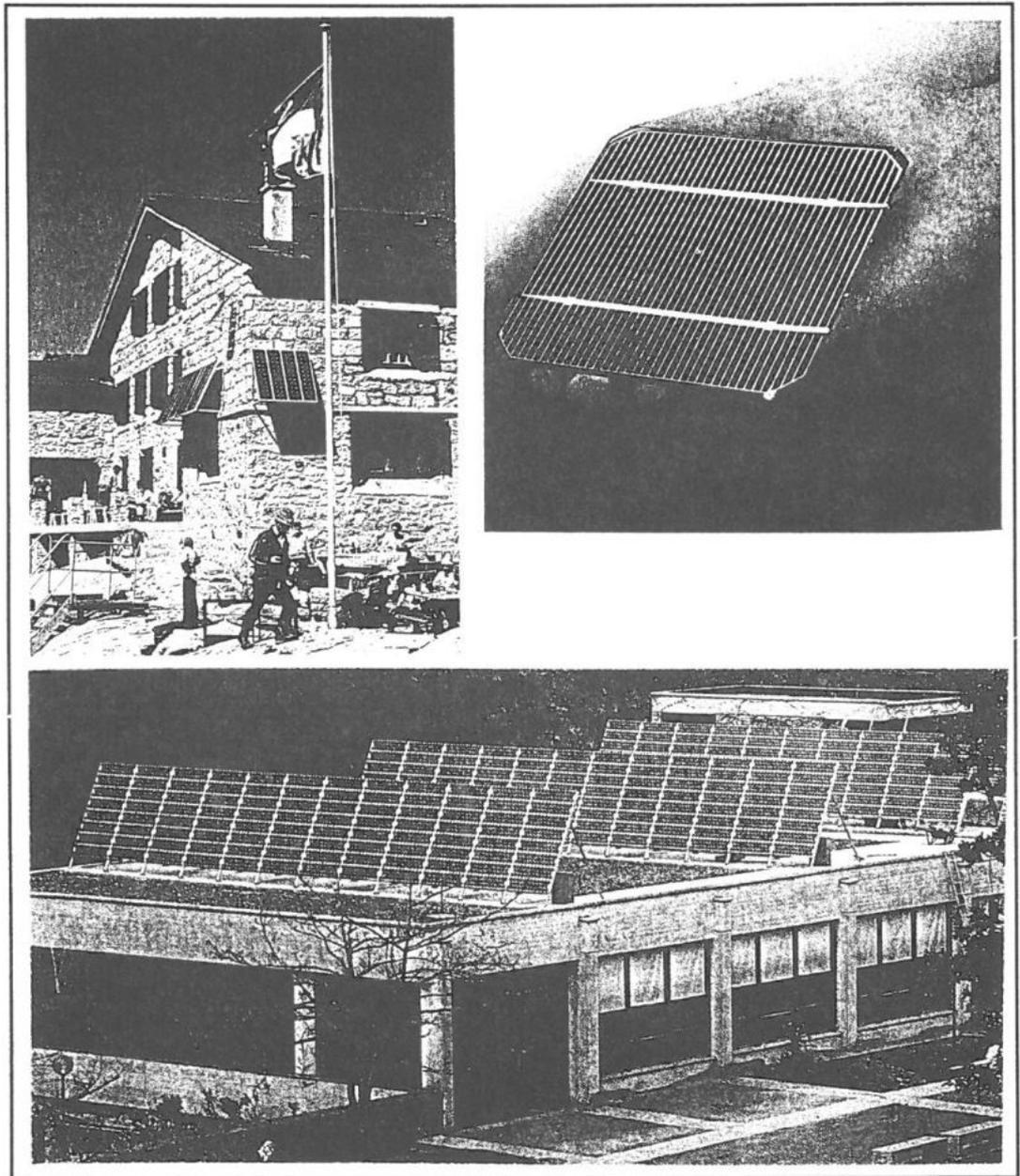
Die fünf Solarfarm-Kraftwerke von Kramer Junction (Kalifornien) mit total 160 MW Leistung.

- 1985: - SEGS 1, bei Daggett, 15 MW, zyl.Parabolspiegel ca 2,5m Bogenlänge
- 1985: - SEGS 2, bei Daggett, 30 MW, zyl.Parabolspiegel ca 5 m Bogenlänge
- 1986: - SEGS 3 - 5, bei Kramer Junction, 3 Anlagen mit je 30 MW
- 1987: - SEGS 6 und 7, bei Kramer Junction, 2 Anlagen mit je 35 MW
- 1990: - SEGS 8 und 9, bei Harper Lake, 2 Anlagen mit je 90 MW
- 1991: - SEGS 9, 90 MW

Für vier weitere Solarfarm-Kraftwerke SEGS 11 bis SEGS 14 mit Leistungen bis 160 MW pro Anlage laufen die Projekte. All diese Solarfarmen produzieren Strom zu Gestehungskosten, die mit jenen aus fossil befeuerten Kraftwerken durchaus konkurrieren können. (7-14 Rp/kWh). Über eine Milliarde Dollar hat LUZ bislang in ihre Anlagen investiert. Die Rendite durfte sich sehen lassen: 12 - 14 % warfen die Beteiligungen ab, mit denen sich Banken, Versicherungen, Pensionskassen und Private in der Finanzierung der Solarkraftwerke engagiert hatten. Nun hat der Staat die steuerlichen Vergünstigungen aufgehoben, und der Abnahmepreis für den Strom wurde tiefer angesetzt. Dadurch ist LUZ in finanzielle Schwierigkeiten geraten.

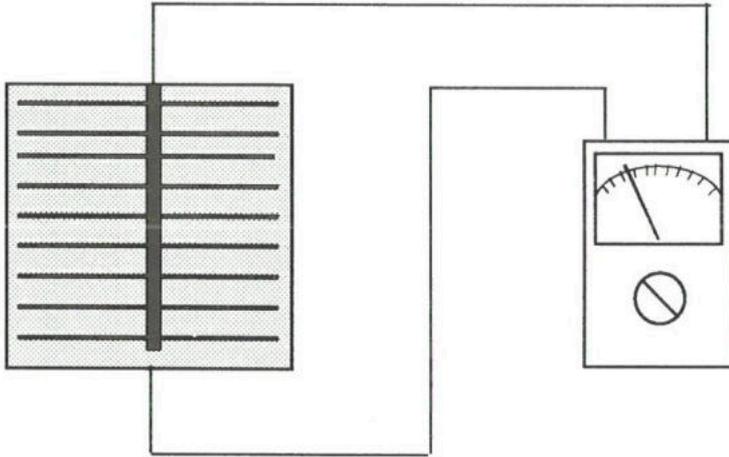
Solarzellen

Physikalische Funktionsweise und Anwendungen



Versuch 1: Wir schliessen ein Messgerät an eine Solarzelle an und messen
 a: die Spannung und
 b: den Kurzschluss-Strom

Wie verhalten sich Strom- und Spannungswerte, wenn wir
 - grössere Solarzellen verwenden,
 - die Helligkeit der Lichtquelle verändern ?



Messwerte:

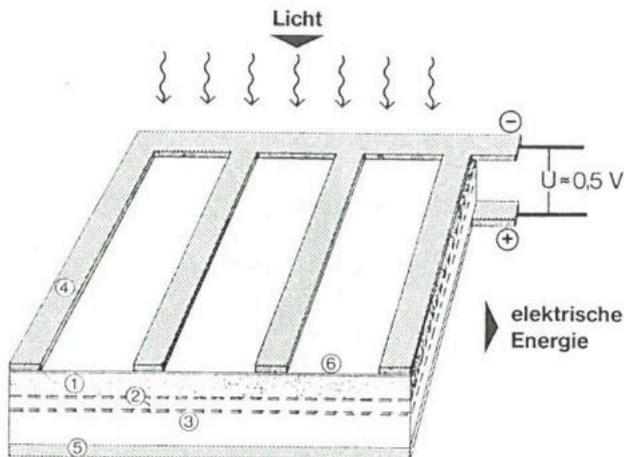
Spannung: _____

Strom: _____

Beobachtungen: _____

Mit Solarzellen lässt sich das Sonnenlicht direkt in elektrische Energie umwandeln. Man nennt diese Art der Gewinnung von elektrischer Energie fotovoltaisches Verfahren.

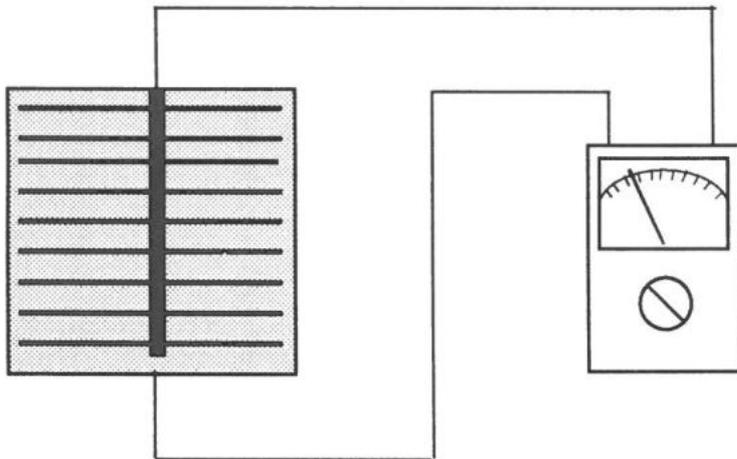
Aufbau einer Solarzelle



- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____
- 5 _____
- 6 _____

Versuch 1: Wir schliessen ein Messgerät an eine Solarzelle an und messen
 a: die Spannung und
 b: den Kurzschluss-Strom

Wie verhalten sich Strom- und Spannungswerte, wenn wir
 - grössere Solarzellen verwenden,
 - die Helligkeit der Lichtquelle verändern ?



Messwerte:

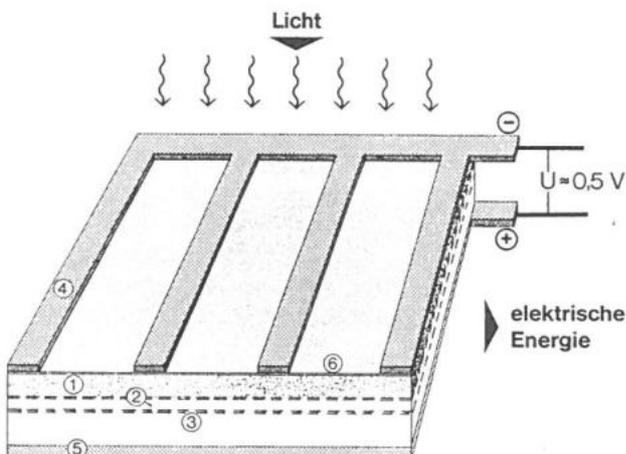
Spannung: 0,5 V

Strom: 50 - 300 mA

Beobachtungen: 1. Die Spannung pro Solarzelle ist immer etwa 0,5 V
2. Der von der Solarzelle abgegebene Strom hängt ab von der Fläche
der Solarzelle und von der Helligkeit der Lichteinstrahlung.

Mit Solarzellen lässt sich das Sonnenlicht direkt in elektrische Energie umwandeln. Man nennt diese Art der Gewinnung von elektrischer Energie photovoltaisches Verfahren.

Aufbau einer Solarzelle



1 n-leitendes Silizium

2 p - n -Übergang

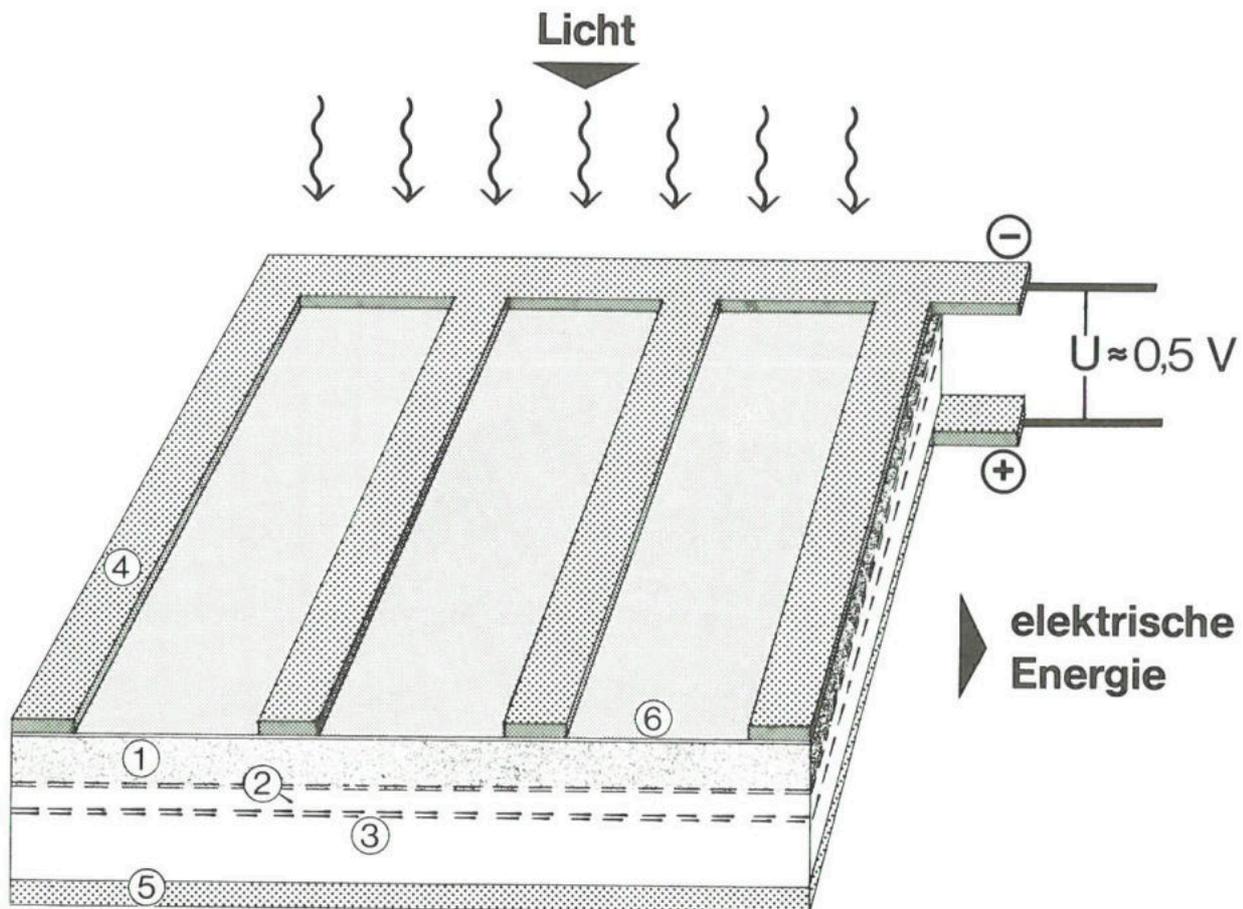
3 p-leitendes Silizium

4 Kontaktfinger

5 Rückseiten-Kontakt

6 Oberflächenvergütung

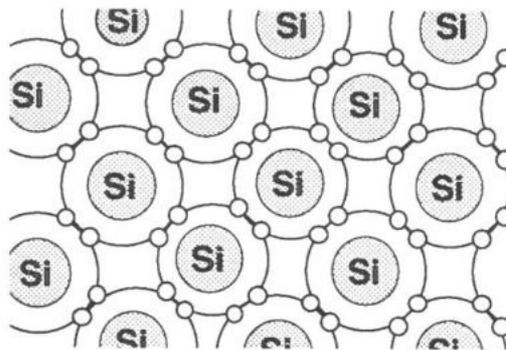
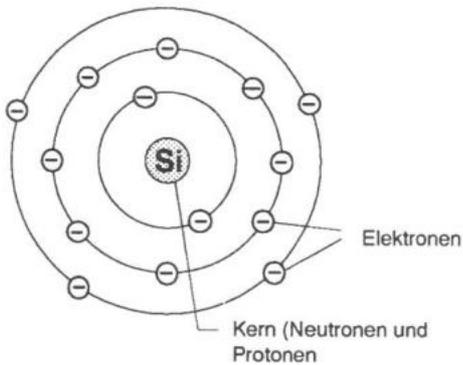
Solarzelle als Spannungsquelle



- | | |
|------------------------|------------------------|
| ① n-leitendes Silizium | ② p-n-Übergang |
| ③ p-leitendes Silizium | ④ Kontaktfinger |
| ⑤ Rückseiten-Kontakt | ⑥ Oberflächenvergütung |

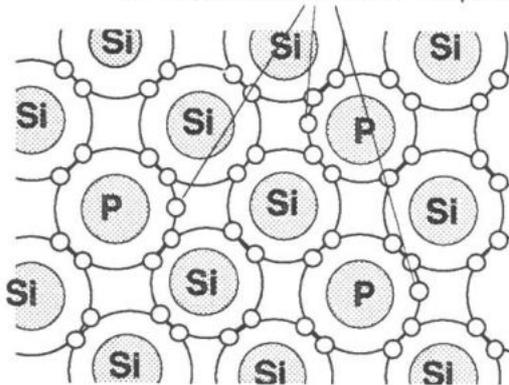
Am Übergang von der n-leitenden zur p-leitenden Schicht wird ein elektrisches Feld aufgebaut. Fällt Licht auf die Oberfläche, so entstehen Elektronen-Löcher-Paare, die durch dieses Feld getrennt werden. Zwischen den Kontaktfingern und dem Rückseitenkontakt kann eine Spannung von zirka 0,5V abgegriffen werden.

Solarzellen bestehen aus Silizium. Wenn wir ihre Wirkungsweise verstehen wollen, müssen wir uns mit dem Atombau von Silizium befassen.



Schematische Darstellung des Silizium-Gitters mit den Elektronenpaaren (Valenzelektronen).

5. Valenzelektron des Phosphoratoms



Silizium hat die Ordnungszahl 14, d.h. es steht an 14. Stelle im Periodensystem der Elemente. Es hat also total 14 Elektronen, die sich gemäss nebenstehender Zeichnung auf die verschiedenen Schalen verteilen.

Silizium (Si) 14 (2, 8, 4)

Die 4 Restelektronen gehen mit den Nachbaratomen Paarbildungen ein. So entsteht ein Kristall-Atomgitter. Diese 4 Restelektronen bezeichnet man als *Valenzelektronen*.

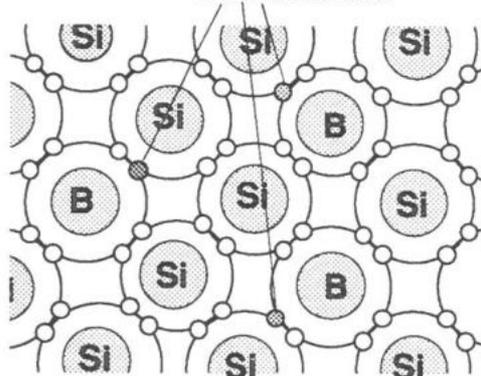
Ist das Element Silizium rein, so leitet es den elektrischen Strom praktisch nicht. Wird es aber mit anderen Elementen "*verunreinigt*", d.h. *dotiert*, so kann es zu einem guten Leiter werden.

n-Silizium

Phosphor (P) 15 (2, 8, 5)

Phosphor besitzt 5 Valenzelektronen. Bei der Verbindung mit Silizium bleibt stets ein Elektron frei, das für die Stromleitung zur Verfügung steht. Mit Phosphor dotiertes Silizium hat also zu viele Elektronen. Es ist negativ geladen und wird deshalb **n-Silizium** genannt. Die überzähligen Elektronen können sich nahezu frei im Siliziumkristall bewegen.

Elektronenlöcher



p-Silizium

Bor (B) 13 (2, 8, 3)

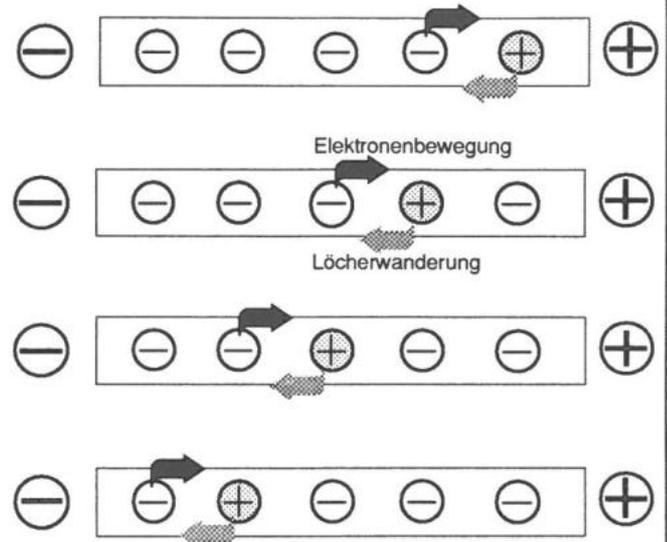
Bor besitzt nur drei Elektronen auf der äussersten Schale, hat also drei Valenzelektronen. Bei der Verbindung mit Silizium entsteht also ein *Elektronenloch*. Ein fehlendes Elektron bedeutet aber eine positive Ladung. Auch solche Elektronenlöcher können die Elektrizität leiten. Man spricht in diesem Zusammenhang vom *Löcherstrom*.

Der Löcherstrom

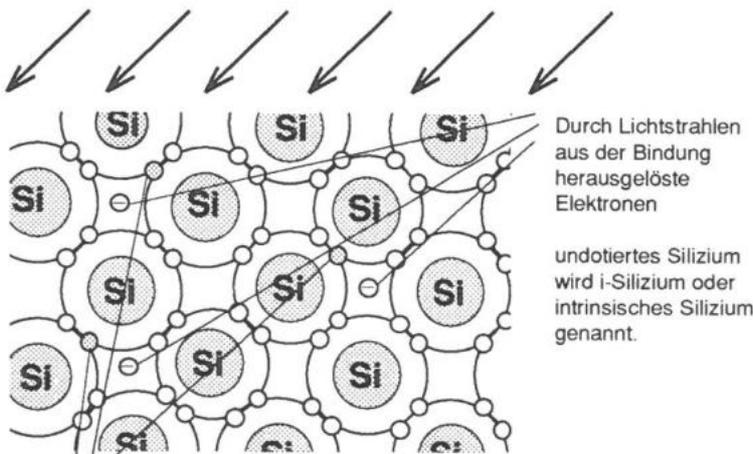
Elektronen sind Träger der negativen Ladung und ermöglichen als solche die Leitung des Stromes. Elektronenlöcher stellen eine positive Ladung dar (Mangel an - Ladung ist + Ladung).

Wird an ein Stück p-Silizium eine Spannung gelegt, so wandern die Elektronen gegen den Pluspol. Dabei springen sie jeweils in das nächste Elektronenloch. Die Elektronenlöcher "wandern" so gegen den Minuspol, ohne ihre eigene Position zu verändern. So können auch Elektronenlöcher den Ladungstransport ermöglichen, also den Strom leiten. Man nennt diese "Löcherwanderung" Löcherstrom.

P-Silizium-Stück, an eine Spannung angeschlossen

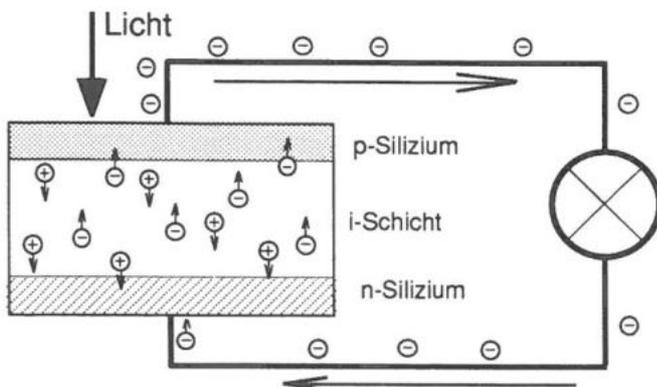


Verhalten des Siliziums bei Lichteinstrahlung



"Atomrümpfe" mit Elektronenlöchern

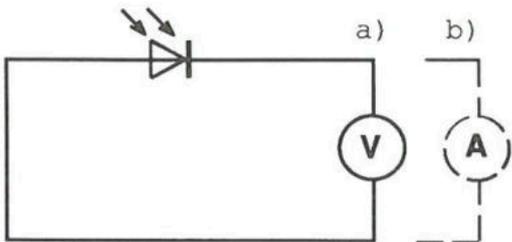
gewordenen Elektronen als auch die Elektronenlöcher stehen für den Ladungstransport zur Verfügung. Bei der Solarzelle werden p-Silizium, n-Silizium und reines Silizium so aneinandergesetzt, dass bei Lichteinfall von selbst eine Ladungsbewegung einsetzt, sobald der Stromkreis geschlossen wird.



Zwischen den beiden dotierten Siliziumschichten (p-Silizium und n-Silizium) besteht ein elektrisches Feld. In diesem wandern die freien Elektronen dem p-Silizium und die Elektronenlöcher dem n-Silizium zu. Die Elektronen fließen durch den Verbraucher wieder der n-Siliziumschicht zu: Es fließt ein Strom.

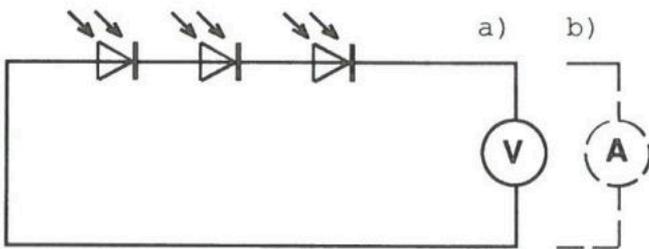
Versuch: Wir schalten Solarzellen a) in Serie und b) parallel, messen jeweils die Strom- und Spannungswerte und vergleichen diese Werte mit den Messwerten an einer einzelnen Solarzelle.

Messwerte an einer einzelnen Solarzelle



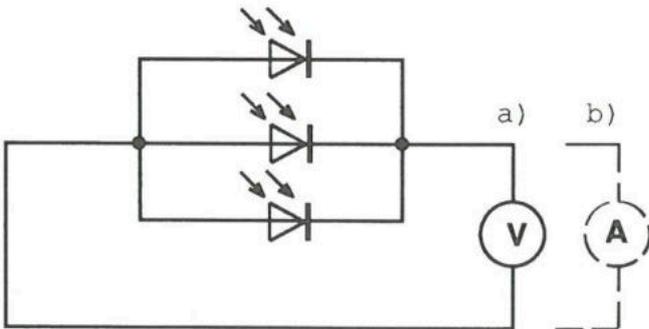
Gemessene Werte: U = _____
I = _____

Serieschaltung von Solarzellen



Gemessene Werte: U = _____
I = _____

Parallelschaltung von Solarzellen



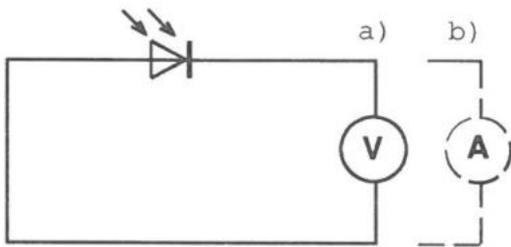
Gemessene Werte: U = _____
I = _____

Ergebnisse: _____

Durch Hintereinanderschalten (Serieschaltung) und Parallelschalten mehrerer Solarzellen erhält man Module oder Solarpanels. Die Zusammenschaltung mehrerer Module ergibt einen sogenannten Solargenerator. So erreicht man Spannungen, die bei einem Strom von mehreren A ins Netz (220 V) eingespeist oder direkt dem Verbraucher zugeleitet werden können.

Versuch: Wir schalten Solarzellen a) in Serie und b) parallel, messen jeweils die Strom- und Spannungswerte und vergleichen diese Werte mit den Messwerten an einer einzelnen Solarzelle.

Messwerte an einer einzelnen Solarzelle

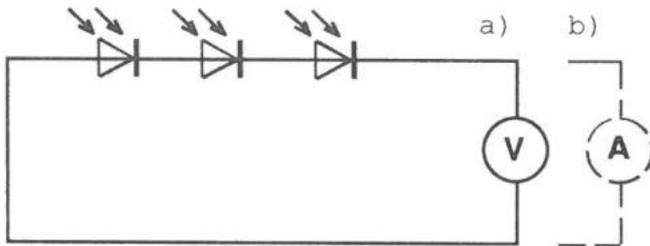


Gemessene Werte:

$$U = \underline{\underline{0,5 \text{ V}}}$$

$$I = \underline{\underline{200 \text{ mA}}}$$

Serieschaltung von Solarzellen

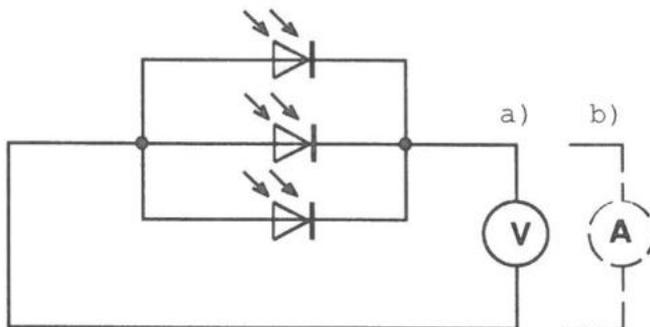


Gemessene Werte:

$$U = \underline{\underline{1,5 \text{ V}}}$$

$$I = \underline{\underline{200 \text{ mA}}}$$

Parallelschaltung von Solarzellen



Gemessene Werte:

$$U = \underline{\underline{0,5 \text{ V}}}$$

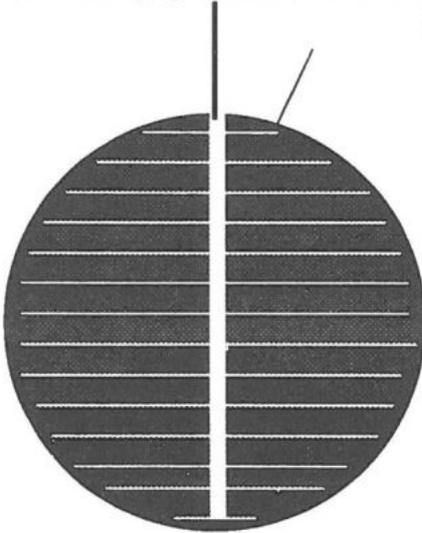
$$I = \underline{\underline{550 \text{ mA}}}$$

Ergebnisse: 1. Bei Serieschaltung von Solarzellen addieren sich die Spannungen; der Strom bleibt etwa gleich wie bei einer Solarzelle.

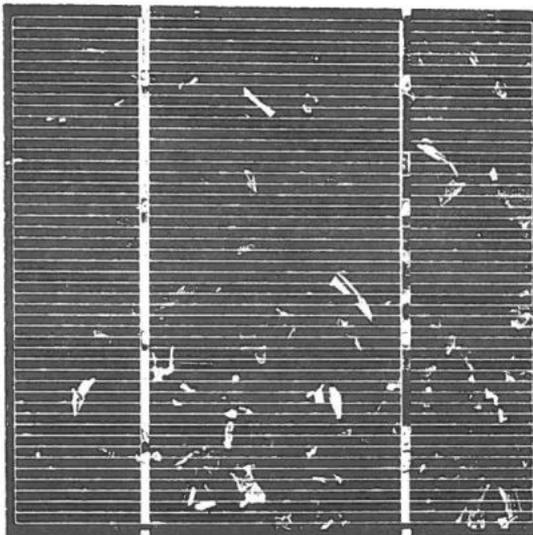
2. Bei Parallelschaltung von Solarzellen addieren sich die Ströme der einzelnen Zellen; die Spannung bleibt gleich wie bei einer Solarzelle.

Durch Hintereinanderschalten (Serieschaltung) und Parallelschalten mehrerer Solarzellen erhält man Module oder Solarpanels. Die Zusammenschaltung mehrerer Module ergibt einen sogenannten Solargenerator. So erreicht man Spannungen, die bei einem Strom von mehreren A ins Netz (220 V) eingespeist oder direkt dem Verbraucher zugeleitet werden können.

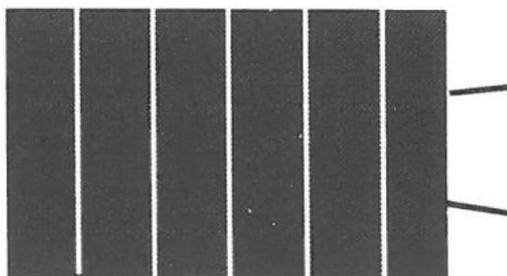
Monokristalline Silizium-Zellen
(Wirkungsgrad bei Serienfertigung
max.16 %)



Polykristalline Siliziumzellen
(Wirkungsgrad 10 - 12 %)



Amorphe Siliziumzellen
(Wirkungsgrad 8 - 10 %)



Verschiedene Arten von Solarzellen:

Die erste Solarzelle, basierend auf kristallinem Silizium, wurde im Jahre 1954 vom amerikanischen Forscherteam Chapin, Fuller und Pearson im Labor hergestellt. Wie häufig bei neuen Technologien, begann auch in der Photovoltaik die kommerzielle Nutzung in der Raumfahrt. Die Solarzellen dienten dazu, die Satelliten im All mit elektrischer Energie zu versorgen.

Die ersten Solarzellen wurden aus sogenannten Silizium-Einkristallen hergestellt. Von runden, anfänglich etwa 5 cm, in späteren Jahren bis 10 cm dicken Silizium-Einkristall-Stäben, wurden dünne Scheiben, sogenannte Wafer abgeschnitten und daraus die Solarzellen hergestellt. Die Herstellung von reinem einkristallinem (monokristallinem) Silizium bot anfänglich etwelche Probleme, die heute aber gut gelöst werden können, so dass heute monokristallines Silizium in grossen Mengen hergestellt wird. Es dient auch als Ausgangsmaterial für alle integrierten Bauteile (Chips) der Elektronik- und Computerbranche. Bald gelang es auch, mehrkristalline Silizium-Scheiben für die Herstellung von Solarzellen zu verwenden. Die Herstellung von polykristallinem Silizium ist weniger aufwendig und der Wirkungsgrad polykristalliner Solarzellen ist heute annähernd gleich wie der von monokristallinen Zellen.

In den achtziger Jahren ist es gelungen, auch sogenanntes amorphes Silizium für die Herstellung von Solarzellen zu nutzen. Auf eine transparente Trägerschicht (z.B. Glasplatte) lässt man in einem komplizierten Verfahren drei sehr dünne Schichten abscheiden. Die dem Licht zugewandte Schicht besteht aus transparentem SnO_2 , die mittlere aus amorphen Siliziumverbindungen (SiH_3 , SiH_2 , SiH und Si) und die Rückseite aus Aluminium. Die n-Schicht wird durch Zugabe von Phosphin (PH_3) und die p-Schicht durch Zugabe von Diboran (B_2H_6) erzeugt.

Mont-Soleil - Das grösste fotovoltaische Solarkraftwerk Europas

Auf dem Mont-Soleil bei St-Imier steht ein fotovoltaisches Sonnenkraftwerk mit einer maximalen Leistung von 500 Kilowatt in Betrieb. 4500 Quadratmeter Silizium-Solarzellen produzieren jährlich rund 700 000 Kilowattstunden Strom. Mit der ersten Anlage dieser Grösse in der Schweiz wollen die Betreiber Möglichkeiten und Grenzen der Sonnenenergienutzung kennenlernen und zeigen.

Drei Fussballfelder voll Solarzellen

Die rund 4 500 Quadratmeter Silizium-Solarzellen, montiert auf 110 Tischen zu je 5 Kilowatt Leistung, sind verteilt auf einem leicht geneigten Südhang von 20 000 Quadratmetern, was etwa der Fläche von drei Fussballfeldern entspricht. Bei optimaler Sonneneinstrahlung erbringt das Sonnenkraftwerk eine maximale Leistung von 500 Kilowatt. Die Jahresproduktion von rund 700 000 Kilowattstunden Strom entspricht dem Bedarf von etwa 200 Haushaltungen. Dennoch ist das Sonnenkraftwerk nicht primär eine Produktionsanlage. Es wird mit einem geschätzten Kilowattstundenpreis von rund 1.10 Franken auch nicht in den Bereich der Wirtschaftlichkeit fallen.

Forschen, entwickeln und zeigen

Das Sonnenkraftwerk Mont-Soleil dient zunächst als gesamtschweizerische Pilot-, Entwicklungs- und Demonstrationsanlage für den Bereich der Fotovoltaik in unseren Breitengraden. Die Partner des Konsortiums erwarten konkrete Messwerte und Resultate zur Beurteilung der Produktionsmöglichkeiten, der Wirtschaftlichkeit und des Entwicklungspotentials der Stromerzeugung mit Solarzellen. Die Anlage dient zudem als eigentliches Forschungszentrum für Fotovoltaik. Ziel der wissenschaftlichen Arbeiten ist die Durchführung von Messungen sowie die Verbesserung und Weiterentwicklung solcher Anlagen. Umfangreiche Mess- und Überwachungseinrichtungen erfassen während des Betriebes Anlagedaten, welche eine schlüssige Analyse des Verhaltens grösserer Solaranlagen erlauben.

Technische Daten

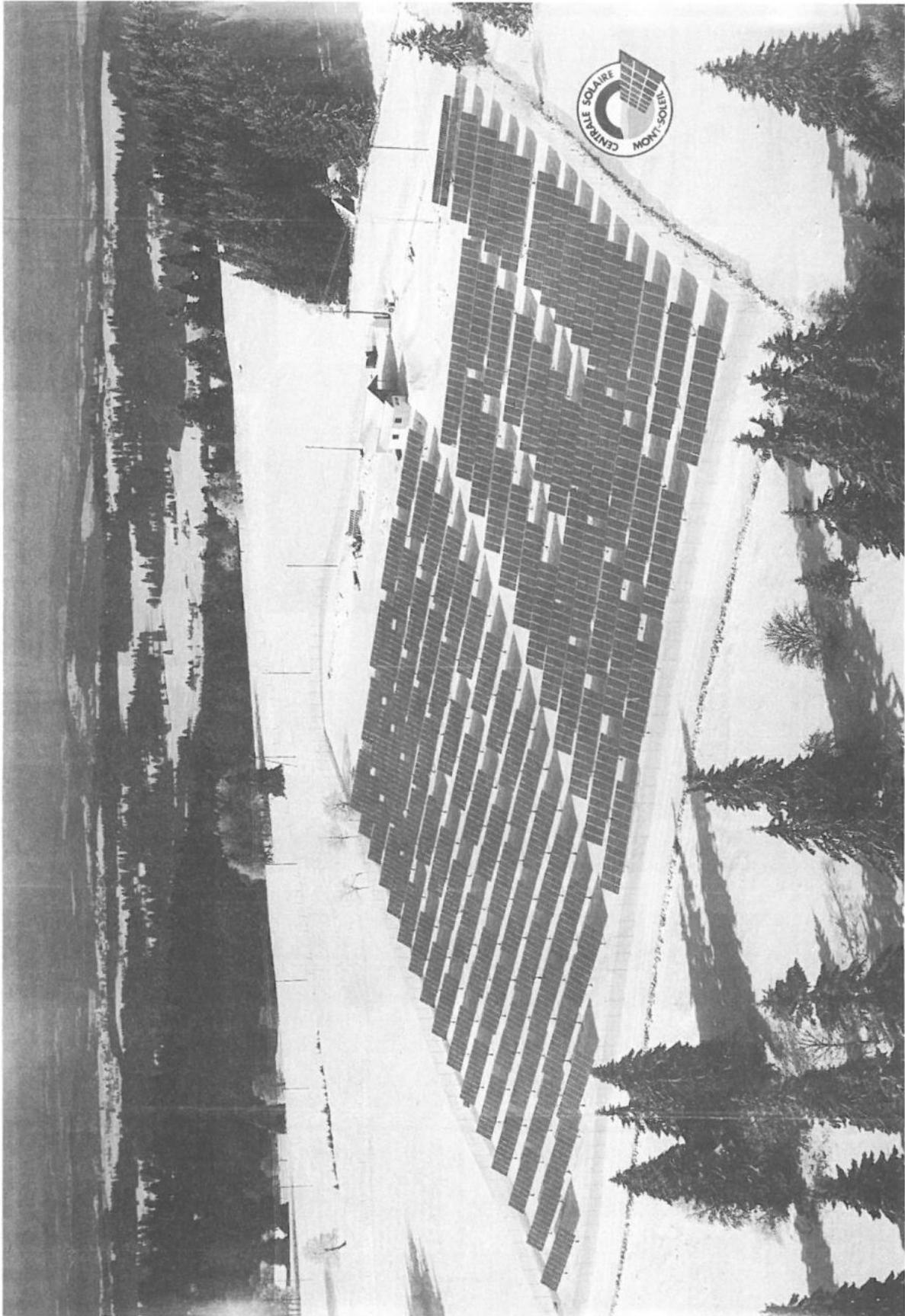
Standort	Mont-Soleil, Gemeinde St-Imier, 1270 m ü. M.	Lieferant	Siemens Solar Industries (USA)
Leistung	500 Kilowatt Wechselstrom bei optimaler Sonneneinstrahlung	Anstellwinkel	50°, optimiert für Winterproduktion
Produktion	zirka 700 000 Kilowattstunden pro Jahr (40% im Winter, 60% im Sommer)	Betriebsspannung	840 Volt
Solarzellenfläche	4575 m ²	Spannung ab Trafo	16 000 Volt, Wechselstrom
Landfläche	20 000 m ²	Wechselrichter	Asea Brown Boveri Baden
Solarzellen	Silizium, monokristallin auf 10 560 Laminaten. 8 Lamine (Panels) bilden ein Grossmodul, 12 Gross- module einen Tisch. Die Anlage besteht aus 110 Tischen	Wirkungsgrade	Solarzellen: 12 bis 13 % Wechselrichter: 80 bis 90% Gesamtanlage: 10 %
		Investitionskosten	8,4 Millionen Franken (Anteil der Solarzellen: 44 %)

Informationen und Besichtigungen

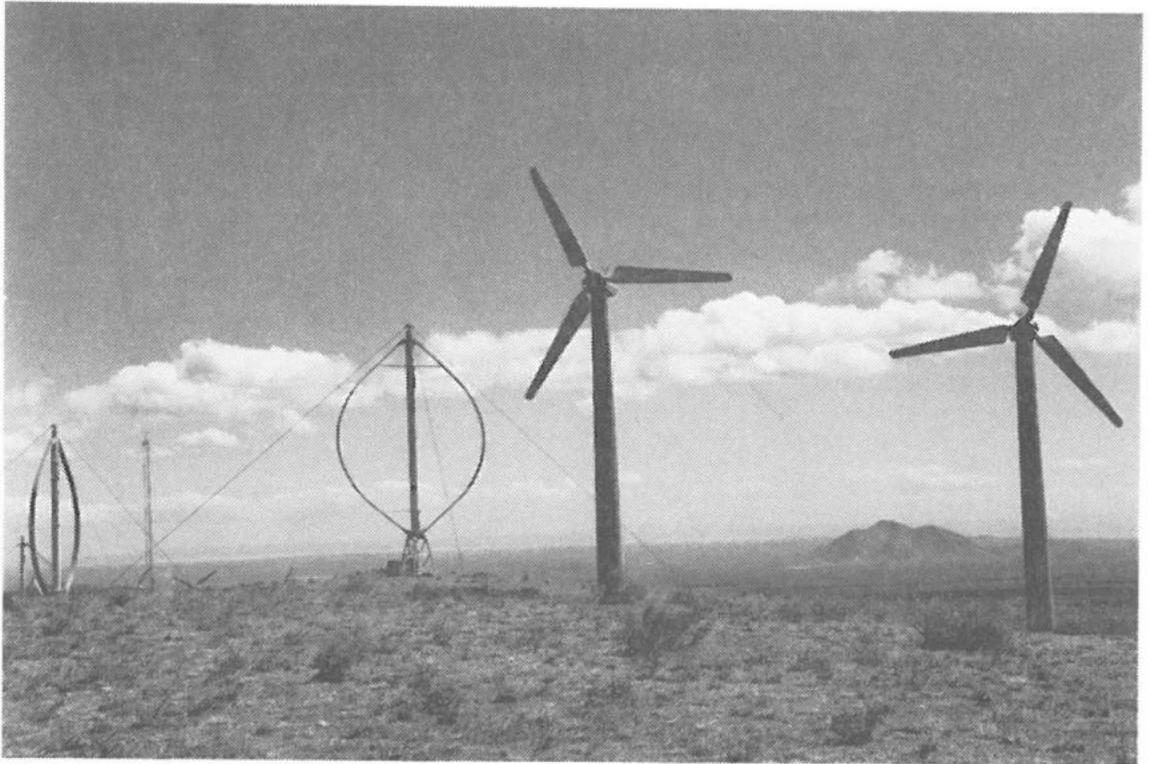
Informationsstelle
Sonnenkraftwerk Mont-Soleil
c/o Bernische Kraftwerke AG
3000 Bern 15
Telefon 031 40 51 11
Telefax 031 40 56 35
Telefax 039 41 40 28

Auskünfte für Führungen
von Besuchergruppen:
Besucherinformation
Sonnenkraftwerk Mont-Soleil
Telefon 039 41 38 58
oder 031 40 51 25

Mont-Soleil: Das grösste photovoltaische Sonnenkraftwerk Europas



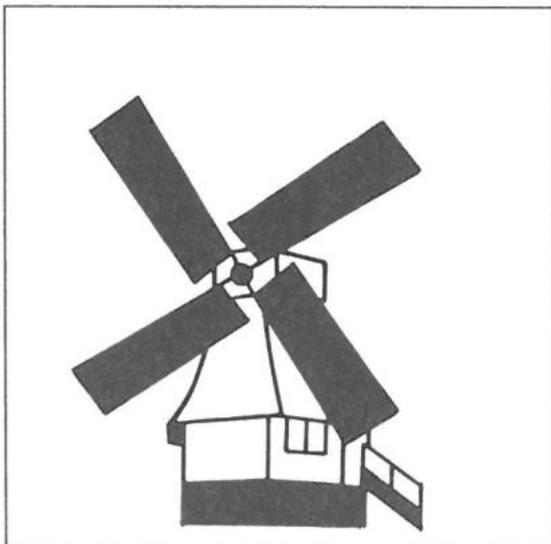
Windgeneratoren Windkonverter



Windmaschinen - Windgeneratoren - Windkonverter

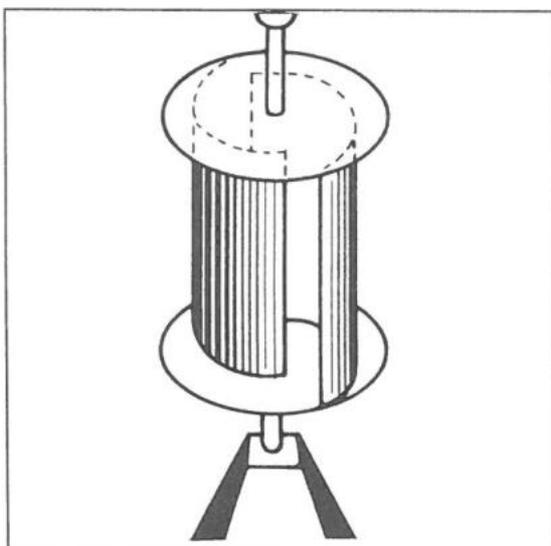
Die Sonneneinstrahlung auf die Erde variiert von Region zu Region. Dadurch wird die Erdoberfläche unterschiedlich aufgeheizt, und in den darauf lagernden Luftschichten entstehen Druckunterschiede. Diese werden durch Winde wieder abgebaut. Windenergie ist also nichts anderes als eine spezielle Form der Sonnenenergie. Das Potential der Windenergie ist zwar enorm, einer weitgehenden Nutzung stehen jedoch wesentliche Nachteile im Weg. In vielen Gegenden, vor allem fernab der Meeresküsten, sind die Windgeschwindigkeiten infolge der starken Reibung an der unebenen Landschaftsoberfläche zu gering, um wirtschaftlich genutzt werden zu können. So sind in der Schweiz ausreichend kräftige und genügend häufig wehende Winde nur auf den Bergkämmen und in gewissen bevorzugten Tälern (z.B. im Unterwallis) anzutreffen. Zudem wehen diese Winde sehr unregelmässig, sodass die Turbinen bald infolge Windmangels, bald auch aus Sicherheitsgründen wegen zu starken Windes abgestellt werden müssen. Diese Grenzen liegen bei der Darrieus-Maschine in Martigny (Höhe 28 m, Durchmesser 19 m) bei 2 m/s bzw. 15 m/s. Bei der Propeller-Maschine "Growian", die während einigen Jahren an der Westküste Schleswig-Holsteins in Betrieb war (Turmhöhe 97 m, Rotorblattlänge ca. 50 m) betragen sie etwa 6 bzw. 24 m/s.

Windradarten



Historische Windräder:

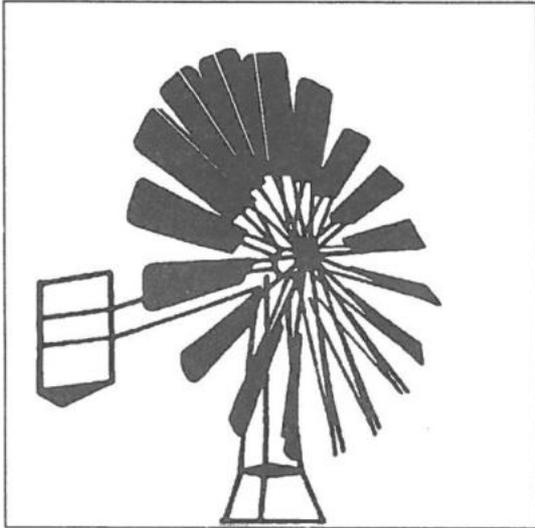
Als erstes traten die starren *Turmwindmühlen* in Erscheinung, die nicht nach der Windrichtung gedreht werden konnten. Eine Verbesserung brachten die deutsche *Bockwindmühlen*. Das ganze Mühlenhaus war beweglich auf einem Bock gelagert und konnte mit Hilfe eines Hebelbalkens gedreht werden. Bei der *Holländerwindmühle* (auch *Kappenwindmühle*) besteht das Mühlenhaus aus einem massiven Bau; drehbar ist nur noch der oberste Teil mit dem Windrad.



Heute gebräuchliche Windradkonstruktionen

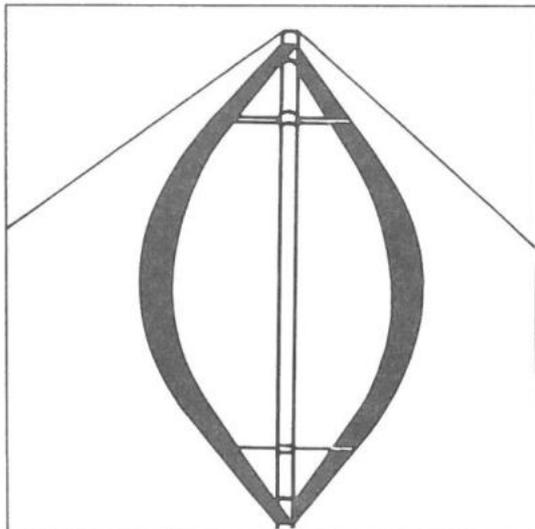
Savonius-Rotoren

Der *Savonius-Rotor* besteht im wesentlichen aus zwei gegeneinander versetzten Zylinderhälften. Seine Drehachse steht vertikal, er muss daher der Windrichtung nicht nachgeführt werden. Er läuft auch bei kleinen Windgeschwindigkeiten problemlos an, bringt jedoch nur geringe Leistungsausbeuten. Infolge seiner einfachen Bauweise eignet er sich für den Einsatz in Ländern der dritten Welt.



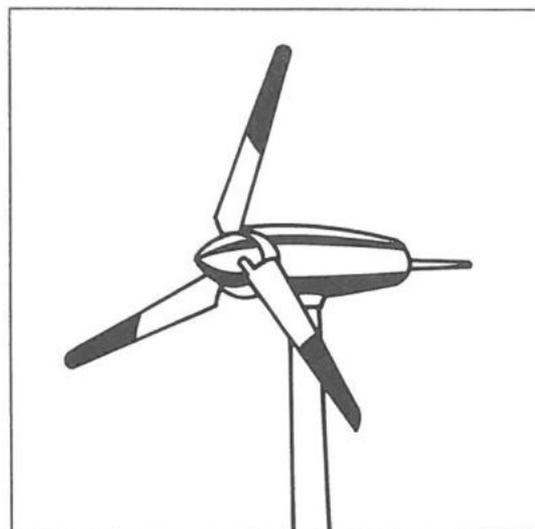
Western-Rotoren

Moderne Versionen des vielblättrigen *Western-Rotors* (er wurde früher in Nordamerika häufig zur Stromversorgung abgelegener Farmen benutzt) erreichen etwas grössere Leistungen. Ihre Drehachse ist jedoch horizontal gelagert; sie müssen darum der Windrichtung nachgeführt werden.



Darrieus-Rotoren

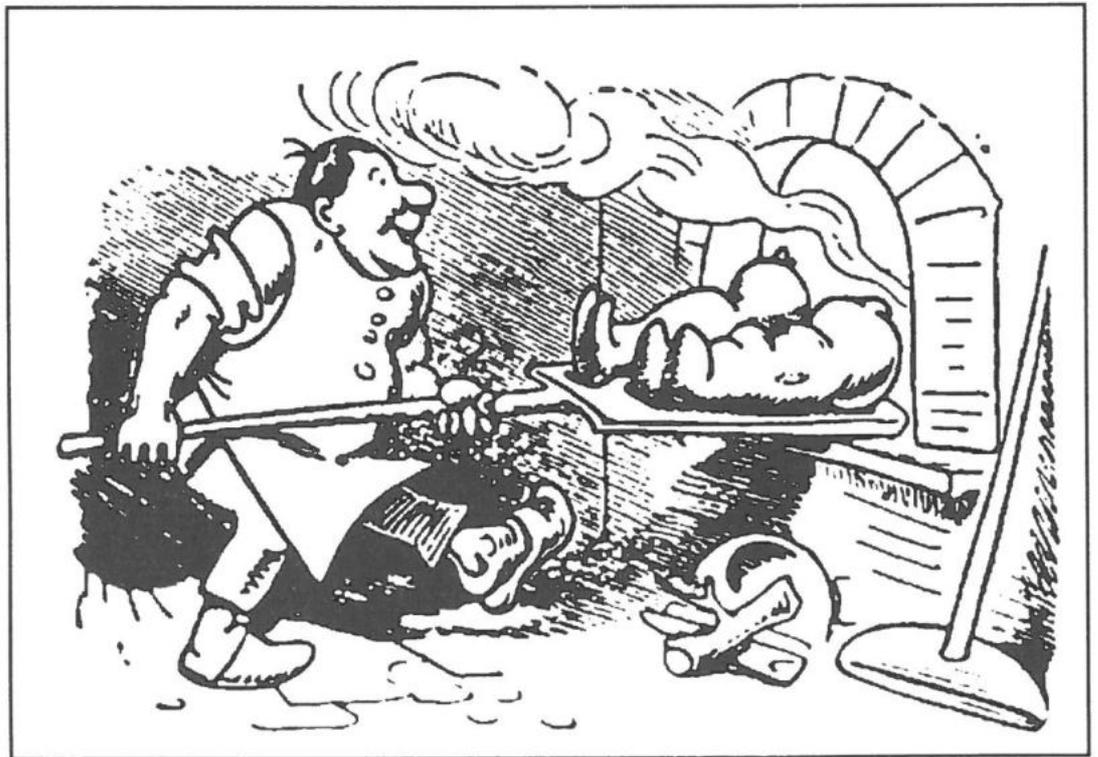
Darrieus-Rotoren bestehen aus zwei bis drei gebogenen Profilblättern und drehen sich um die vertikale Achse. Nachteilig wirkt sich aus, dass sie bei niedrigen Windgeschwindigkeiten nur schlecht anlaufen. Sie brauchen deshalb als Starthilfe einen Elektromotor oder ein bis zwei Savoniusrotoren. Hingegen erreichen sie Leistungen bis 300 kW.



Propeller-Maschinen

Für noch grössere Leistungen geeignet sind Windräder mit horizontaler Achse und einem oder mehreren Flügeln, sogenannte Propeller-Windmaschinen. Für solche Anlagen sind jedoch relativ hohe Windgeschwindigkeiten erforderlich, wie sie auf Bergkuppen oder an der Meeresküste vorkommen. Der bereits erwähnte "Growian" in Schleswig-Holstein erbrachte beispielsweise eine Leistung von 3 MW. Von der mechanischen Belastbarkeit her gesehen eignen sich mittlere und kleinere Windgeneratoren besser für die Energiegewinnung. Man baut deshalb heute eher viele mittlere Anlagen als wenige grosse Windgeneratoren. In Californien z.B. gibt es einige Windgeneratorfelder mit je 5000 - 6000 Windmaschinen mit Leistungen von je 100 kW - 300 kW.

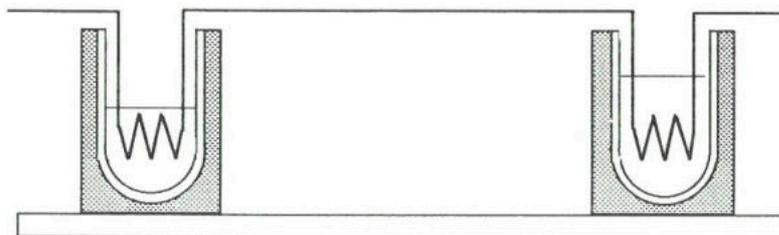
Wärme Wärmeenergie



Wärme - Wärmemenge - Wärmeenergie

6.00

Versuch: Wir führen zwei verschiedenen Wassermengen gleiche Wärmemengen, das heisst gleich viel Wärmeenergie, zu und messen die Temperaturen vor und nach dem Erwärmen.



Wassermenge				
Anfangstemperatur				
	nach 60 s	120 s	nach 60 s	120 s
Endtemperatur				
Temperaturdifferenz				
zugeführte Energie:				

Ergebnis: _____

Die Wärmemenge (Wärmeenergie) wird in Joule (sprich:dschul) gemessen.

Die Wärmemenge, die 240 cm³ (genauer 238,83 cm³) Wasser um 1 °C erwärmt, ist 1 kJ.

1 kJ (Kilojoule) = 1000 Joule

ergänze:

Die Wärmemenge, die 1 kg Wasser um 1 °C erwärmt, ist _____

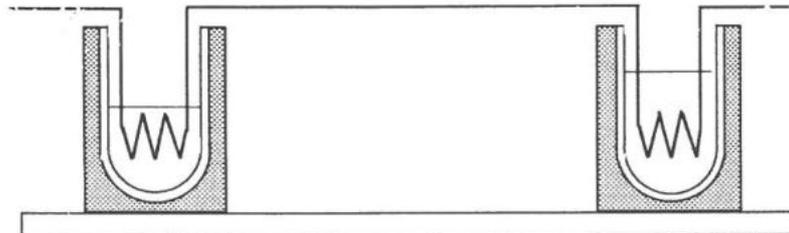
Früher wurde die Wärmemenge in Kalorien (cal) angegeben: 1 cal = 4,187 J.

Heizwerte von Brennstoffen: Beim Verbrennen von 1 kg der aufgeführten Stoffe werden die in der Tabelle angegebenen Wärmemengen abgegeben.	Wasserstoff	120 000 kJ	Steinkohle	33 500 kJ
	Propan	46 500	Erdgas	32 000
	Benzin	44 000	Koks	29 300
	Petrol	42 000	Alkohol	26 800
	Heizöl	40 600	Holz, trocken	19 000
	Anthrazit	35 200	frisch	8 400

Wärme - Wärmemenge - Wärmeenergie

6.01 L

Versuch: Wir führen zwei verschiedenen Wassermengen gleiche Wärmemengen, das heisst gleich viel Wärmeenergie, zu und messen die Temperaturen vor und nach dem Erwärmen.



Wassermenge	240 cm ³		480 cm ³	
Anfangstemperatur	18,5 °C		18,5 °C	
Endtemperatur	nach 60 s	120 s	nach 60 s	120 s
	21,5 °C	24,5 °C	20 °C	21,5 °C
Temperaturdifferenz	3 °C	6 °C	1,5 °C	3 °C
zugeführte Energie:	3 kJ	6 kJ	3 kJ	6 kJ

Ergebnis: 1) Obwohl wir den beiden verschiedenen Wassermengen gleiche Wärmemengen zuführen, stellen sich verschiedene Endtemperaturen ein.

2) Eine bestimmte Wärmemenge erwärmt 480 cm³ Wasser nur halb so viel wie 240 cm³ Wasser, oder, um die doppelte Wassermenge um die gleiche Temperaturdifferenz zu erhöhen, wird die doppelte Wärmemenge benötigt.

Die Wärmemenge (Wärmeenergie) wird in Joule (sprich:dschul) gemessen.

Die Wärmemenge, die 240 cm³ (genauer 238,83 cm³) Wasser um 1 °C erwärmt, ist 1 kJ.

1 kJ (Kilojoule) = 1000 Joule

ergänze:

Die Wärmemenge, die 1 kg Wasser um 1 °C erwärmt, ist 4,18 kJ

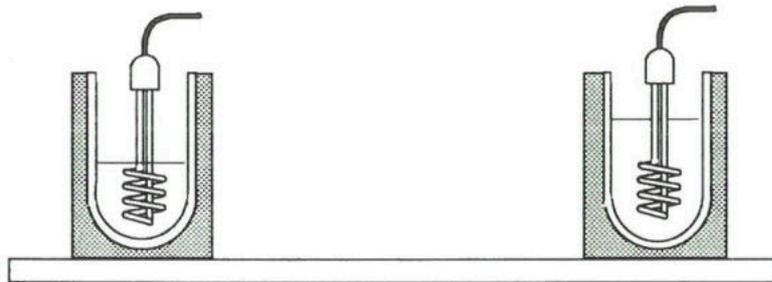
Früher wurde die Wärmemenge in Kalorien (cal) angegeben: 1 cal = 4,187 J.

Heizwerte von Brennstoffen:

Beim Verbrennen von 1 kg der aufgeführten Stoffe werden die in der Tabelle angegebenen Wärmemengen abgegeben.

Wasserstoff	120 000 kJ	Steinkohle	33 500 kJ
Propan	46 500	Erdgas	32 600
Benzin	44 000	Koks	29 300
Petrol	42 000	Alkohol	26 800
Heizöl	40 600	Holz, trocken	19 000
Anthrazit	35 200	frisch	8 400

Versuch: Wir führen zwei verschiedenen Wassermengen gleiche Wärmemengen, das heisst gleich viel Wärmeenergie, zu und messen die Temperaturen vor und nach dem Erwärmen.



Wassermenge		
Anfangstemperatur		
Endtemperatur		
Temperaturdifferenz		
zugeführte Energie:		

Ergebnis: _____

Die Wärmemenge (Wärmeenergie) wird in Joule (sprich:dschul) gemessen.

Die Wärmemenge, die 240 cm³ (genauer 238,83 cm³) Wasser um 1 °C erwärmt, ist 1 kJ.

1 kJ (Kilojoule) = 1000 Joule

ergänze:

Die Wärmemenge, die 1 kg Wasser um 1 °C erwärmt, ist _____

Früher wurde die Wärmemenge in Kalorien (cal) angegeben: 1 cal = 4,187 J.

Heizwerte von Brennstoffen: Beim Verbrennen von 1 kg der aufgeführten Stoffe werden die in der Tabelle angegebenen Wärmemengen abgegeben.	Wasserstoff	120 000 kJ	Steinkohle	33 500 kJ
	Propan	46 500	Erdgas	32 000
	Benzin	44 000	Koks	29 300
	Petrol	42 000	Alkohol	26 800
	Heizöl	40 600	Holz, trocken	19 000
	Anthrazit	35 200	fisch	8 400

Wärme - Wärmemenge - Wärmeenergie

6.03 L

Versuch: Wir führen zwei verschiedenen Wassermengen gleiche Wärmemengen, das heisst gleich viel Wärmeenergie, zu und messen die Temperaturen vor und nach dem Erwärmen.



Wassermenge	240 cm ³	480 cm ³
Anfangstemperatur	20 °C	21 °C
Endtemperatur	52 °C	37 °C
Temperaturdifferenz	32 °C	16 °C
zugeführte Energie:	36 kJ (10 Wh)	36 kJ (10 Wh)

Ergebnis: 1) Obwohl wir den beiden verschiedenen Wassermengen gleiche Wärmemengen zuführen, stellen sich verschiedene Endtemperaturen ein.

2) Eine bestimmte Wärmemenge erwärmt 480 cm³ Wasser nur halb so viel wie 240 cm³ Wasser, oder, um die doppelte Wassermenge um die gleiche Temperaturdifferenz zu erhöhen, wird die doppelte Wärmemenge benötigt.

Die Wärmemenge (Wärmeenergie) wird in Joule (sprich:dschul) gemessen.

Die Wärmemenge, die 240 cm³ (genauer 238,83 cm³) Wasser um 1 °C erwärmt, ist 1 kJ.
1 kJ (Kilojoule) = 1000 Joule

ergänze:

Die Wärmemenge, die 1 kg Wasser um 1 °C erwärmt, ist 4,18 kJ

Früher wurde die Wärmemenge in Kalorien (cal) angegeben: 1 cal = 4,187 J.

Heizwerte von Brennstoffen:

Beim Verbrennen von 1 kg der aufgeführten Stoffe werden die in der Tabelle angegebenen Wärmemengen abgegeben.

Wasserstoff	120 000 kJ	Steinkohle	33 500 kJ
Propan	46 500	Erdgas	32 000
Benzin	44 000	Koks	29 300
Petrol	42 000	Alkohol	26 800
Heizöl	40 600	Holz, trocken	19 000
Anthrazit	35 200	frisch	8 400

Wir erwärmen die Flüssigkeiten in den drei Gefässen mit drei genau gleich gebauten Tauchsiedern. Die zugeführte Wärmeenergie ist also bei allen drei Flüssigkeiten gleich gross.



Flüssigkeit			
Anfangstemperatur			
Endtemperatur			
zugeführte Wärmeenergie			
Temperaturanstieg			

Beobachtungen: _____

Die Wärmemenge, die 1 kg eines Stoffes um 1 °C erwärmt, heisst *spezifische Wärmekapazität*.

Ihre Einheit ist $1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, Formelbuchstaben: *c*

Spezifische Wärmekapazitäten einiger Stoffe:

Wasser	4,18 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	Beton	0,84 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
Alkohol	2,42 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	Eisen	0,45 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
Aether	2,26	Kupfer	0,39
Petrol	2,14	Gold	0,13
Luft	1,005	Quecksilber	0,14
Glas	0,8	Blei	0,13

Aufgabe: Welche Wärmemenge ist nötig, um 10 kg Eisen um 50 °C zu erwärmen ?

Lösung: 1 kg Eisen erwärmt um 1 °C, benötigt _____ kJ
 10 kg Eisen erwärmt um 1 °C, _____ kJ
 10 kg Eisen erwärmt um 50 °C, _____ = _____ kJ

Im Vergleich zu anderen Stoffen hat Wasser eine grosse spezifische Wärmekapazität.

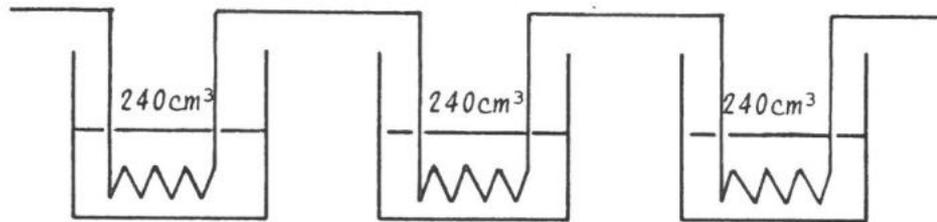
Folgen für die Erwärmung:

Folgen für die Abkühlung:

Spezifische Wärmekapazität

6.05 L

Wir erwärmen die Flüssigkeiten in den drei Gefässen mit drei genau gleich gebauten Tauchsiedern. Die zugeführte Wärmeenergie ist also bei allen drei Flüssigkeiten gleich gross.



Flüssigkeit	Wasser	Alkohol	z. B. Terpentinöl
Anfangstemperatur	17,5 °C	18 °C	18,5 °C
Endtemperatur	30,5 °C	40,5 °C	33 °C
zugeführte Wärmeenergie	13 kJ	13 kJ	13 kJ
Temperaturanstieg	13 °C	22,5 °C	15,5 °C

Beobachtungen: Bei gleicher Wärmezufuhr erwärmen sich verschiedene Stoffe verschieden.

Die Wärmemenge, die 1 kg eines Stoffes um 1 °C erwärmt, heisst spezifische Wärmekapazität.

Ihre Einheit ist $1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, Formelbuchstaben: c

Spezifische Wärmekapazitäten einiger Stoffe:

Wasser	4,18 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	Beton	0,84 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
Alkohol	2,42	Eisen	0,45
Aether	2,26	Kupfer	0,39
Petrol	2,14	Gold	0,13
Luft	1,005	Quecksilber	0,14
Glas	0,8	Blei	0,13

Aufgabe: Welche Wärmemenge ist nötig, um 10 kg Eisen um 50 °C zu erwärmen ?

Lösung:

1 kg Eisen erwärmt um 1 °C, benötigt	<u>0,45</u> kJ
10 kg Eisen erwärmt um 1 °C,	<u>4,5</u> kJ
10 kg Eisen erwärmt um 50 °C, $4,5 \text{ kJ} \cdot 50$	<u>= 225</u> kJ

Im Vergleich zu anderen Stoffen hat Wasser eine grosse spezifische Wärmekapazität.

Folgen für die Erwärmung:

Wasser erwärmt sich langsam und nimmt dabei viele Joule Wärmeenergie auf.
Ein See erwärmt sich langsam, ent-
hält dann aber viel Wärmeenergie.

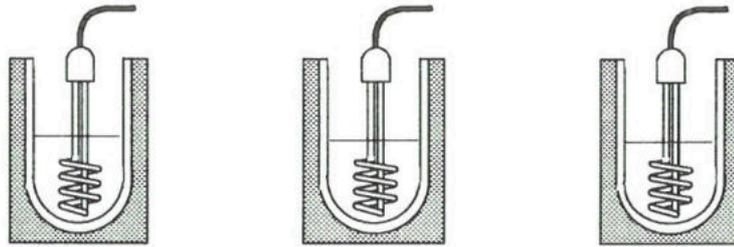
Folgen für die Abkühlung:

Wasser kühlt sich langsam ab. Ein
See bleibt auch im Winter noch lange
wärmer als die Umgebung. Er kann viel
Wärmeenergie abgeben (SEEKLIMA).

Spezifische Wärmekapazität

6.06

Wir führen den drei verschiedenen Flüssigkeiten mit dem gleichen Tauchsieder in einem gleichen Isoliergefäß genau gleich viel Wärmeenergie zu. Die drei Flüssigkeitsmengen sind gleich gross.



Flüssigkeit			
Anfangstemperatur			
Endtemperatur			
zugeführte Wärmeenergie			
Temperaturanstieg			

Beobachtungen: _____

Die Wärmemenge, die 1 kg eines Stoffes um 1 °C erwärmt, heisst *spezifische Wärmekapazität*.

Ihre Einheit ist $1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, Formelbuchstaben: *c*

Spezifische Wärmekapazitäten einiger Stoffe:

Wasser	4,18 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	Beton	0,84 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
Alkohol	2,42	Eisen	0,45
Aether	2,26	Kupfer	0,39
Petrol	2,14	Gold	0,13
Luft	1,005	Quecksilber	0,14
Glas	0,8	Blei	0,13

Aufgabe: Welche Wärmemenge ist nötig, um 10 kg Eisen um 50 °C zu erwärmen ?

Lösung: 1 kg Eisen erwärmt um 1 °C, benötigt _____ kJ
 10 kg Eisen erwärmt um 1 °C, _____ kJ
 10 kg Eisen erwärmt um 50 °C, _____ = _____ kJ

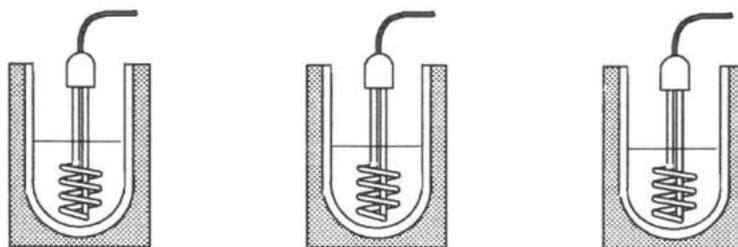
Im Vergleich zu anderen Stoffen hat Wasser eine grosse spezifische Wärmekapazität.

Folgen für die Erwärmung:

Folgen für die Abkühlung:

Wir führen den drei verschiedenen Flüssigkeiten mit dem gleichen Tauchsieder in einem gleichen Isoliergefäss genau gleich viel Wärmeenergie zu. Die drei Flüssigkeitsmengen sind gleich gross.

Flüssigkeitsmenge
je 480 cm³



Flüssigkeit	Wasser	Spiritus	Petrol
Anfangstemperatur	20 °C	20 °C	20 °C
Endtemperatur	36 °C	49 °C	59 °C
zugeführte Wärmeenergie	36 kJ (10 Wh)	36 kJ (10 Wh)	36 kJ (10 Wh)
Temperaturanstieg	16 °C	29 °C	39 °C

Beobachtungen: Bei gleicher Energiezufuhr erwärmen sich verschiedene Stoffe verschieden.

Die Wärmemenge, die 1 kg eines Stoffes um 1 °C erwärmt, heisst spezifische Wärmekapazität.

Ihre Einheit ist $1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, Formelbuchstaben: *c*

Spezifische Wärmekapazitäten einiger Stoffe:

Wasser	4,18 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	Beton	0,84 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
Alkohol	2,42	Eisen	0,45
Aether	2,26	Kupfer	0,39
Petrol	2,14	Gold	0,13
Luft	1,005	Quecksilber	0,14
Glas	0,8	Blei	0,13

Aufgabe: Welche Wärmemenge ist nötig, um 10 kg Eisen um 50 °C zu erwärmen ?

Lösung: 1 kg Eisen erwärmt um 1 °C, benötigt 0,45 kJ
 10 kg Eisen erwärmt um 1 °C, 4,5 kJ
 10 kg Eisen erwärmt um 50 °C, 4,5 kJ · 50 = 225 kJ

Im Vergleich zu anderen Stoffen hat Wasser eine grosse spezifische Wärmekapazität.

Folgen für die Erwärmung:

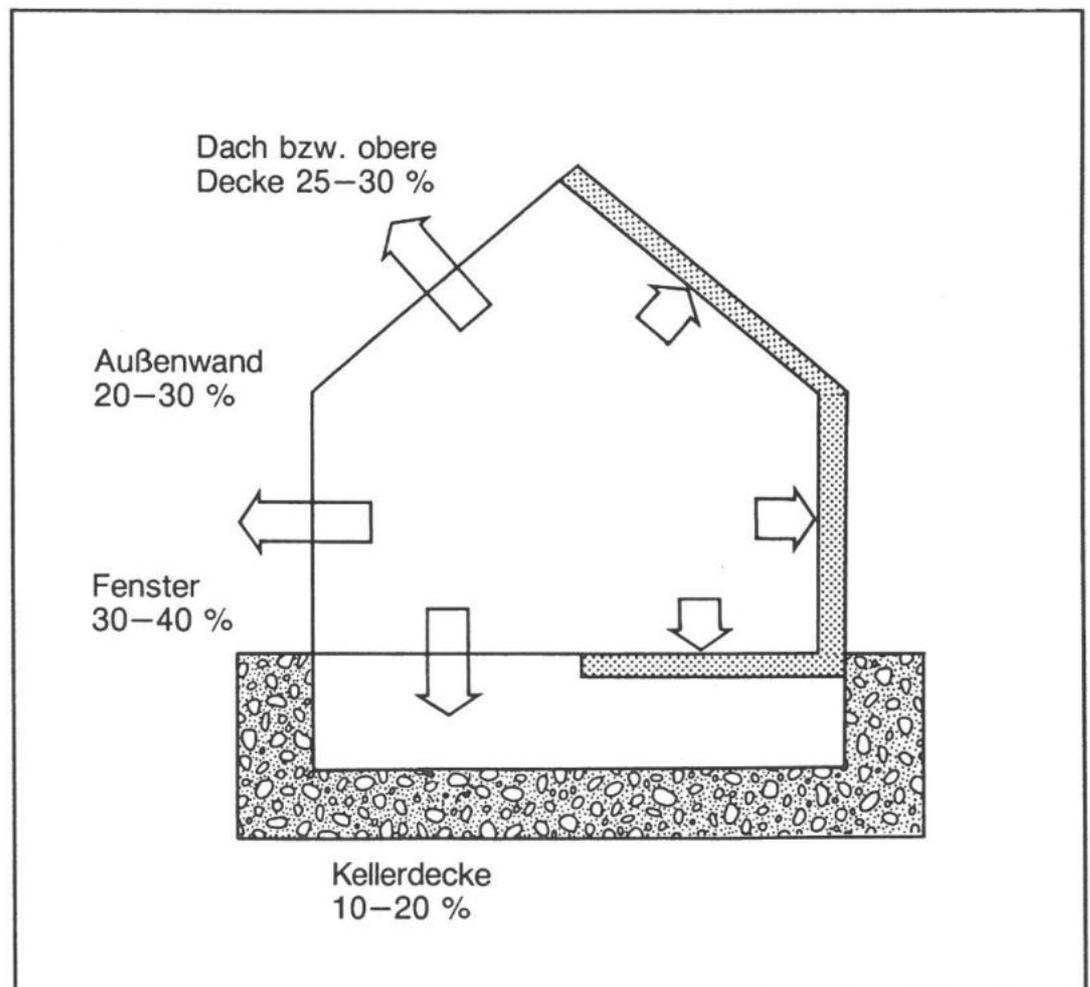
Wasser erwärmt sich langsam und nimmt dabei viel Wärmeenergie auf.

Ein See erwärmt sich langsam, enthält dann aber viel Wärmeenergie.

Folgen für die Abkühlung:

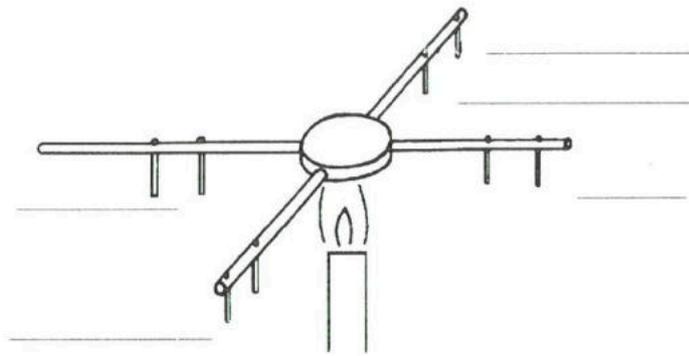
Wasser kühlt sich langsam ab. Ein See bleibt auch im Winter noch lange wärmer als die Umgebung. Er kann viel Wärmeenergie abgeben (SEEKLIMA).

Wärmetransport Wärmedämmung



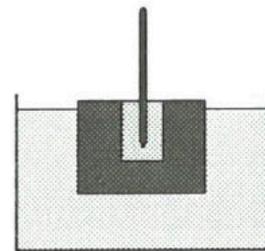
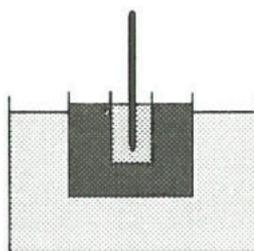
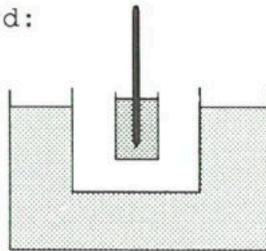
a) Wärmeleitung

Versuche:



Beobachtungen _____

Beim folgenden Experiment prüfen wir, wie rasch Wärme durch verschiedene Materialien vom Wassergefäß in der Mitte nach aussen geleitet wird:



Material						
Anfangstemperatur						
Temperatur nach 60 s						
120 s						
180 s						
240 s						

Gute Wärmeleiter: _____

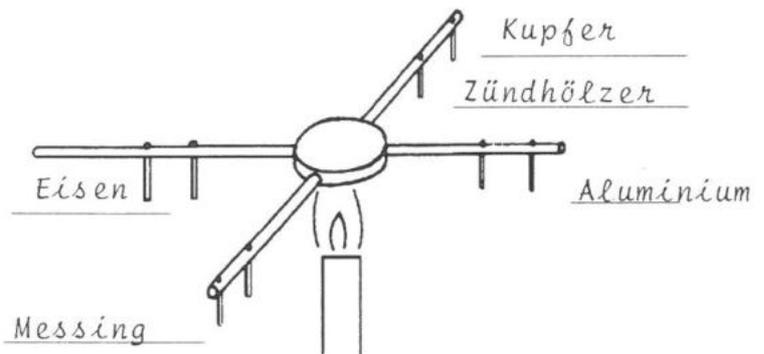
Schlechte Wärmeleiter _____

Wärmeleitfähigkeit einiger Stoffe, bezogen auf Luft = 1

Luft	1	Hartgummi	7	Eisen	3 500
Lockere Wolle	2	Alkohol	8	Aluminium	10 000
Kork	2	Wasser	20	Gold	14 000
Filz	3	Glas	30	Kupfer	18 000
Öl	6	Porzellan	60	Silber	20 000

a) Wärmeleitung

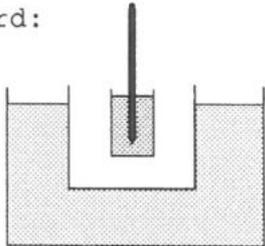
Versuche:



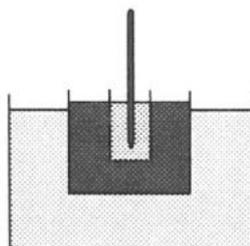
Beobachtungen Die Wärme wird in den Stoffen weitergeleitet.

Nicht alle Stoffe leiten die Wärme gleich gut

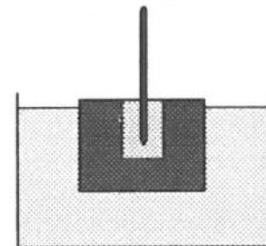
Beim folgenden Experiment prüfen wir, wie rasch Wärme durch verschiedene Materialien vom Wassergefäß in der Mitte nach aussen geleitet wird:



1) Luft



3) Spiritus



5) Eisen

2) Dämmstoff

4) Wasser

6) Aluminium

Material	Luft	Dämmmaterial	Spiritus	Wasser	Eisen	Aluminium
Anfangstemperatur	88 °C	88 °C	88 °C	88 °C	88 °C	88 °C
Temperatur nach 60 s	86 °C	86 °C	77 °C	71 °C	53 °C	50 °C
120 s	85 °C	85 °C	69 °C	61 °C	42 °C	35 °C
180 s	84 °C	84 °C	64 °C	54 °C	37 °C	31 °C
240 s	83 °C	83 °C	59 °C	48 °C	35 °C	28 °C

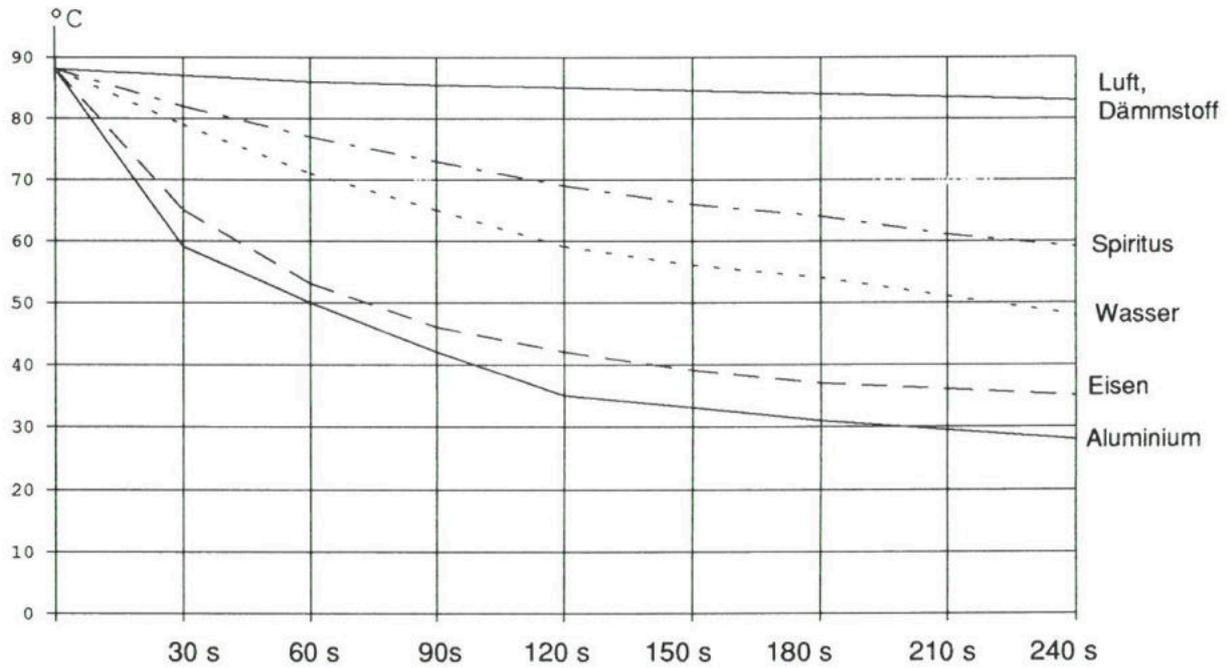
Gute Wärmeleiter: Gold, Silber, Kupfer, Aluminium, Eisen, Metalle

Schlechte Wärmeleiter Luft, Dämmstoffe, Textilien, Kunststoffe

Wärmeleitfähigkeit einiger Stoffe, bezogen auf Luft = 1

Luft	1	Hartgummi	7	Eisen	3 500
Lockere Wolle	2	Alkohol	8	Aluminium	10 000
Kork	2	Wasser	20	Gold	14 000
Filz	3	Glas	30	Kupfer	18 000
Öl	6	Porzellan	60	Silber	20 000

Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe



Die klimatischen Bedingungen in unseren Regionen erfordern in der Regel eine Heizperiode bis zu neun Monaten im Jahr. Der grösste Teil der Wärme wird den beheizten Räumen über die Heizung zugeführt. Ein kleiner Teil kommt von aussen durch die Sonneneinstrahlung sowie von Wärmequellen innerhalb der Räume, von Personen, Beleuchtungskörpern und elektrischen Geräten. Die erzeugte Wärme wird über die Aussenfläche des Gebäudes, die Transmissions- und Lüftungsverluste, abgegeben.

Wärme lässt sich nicht in einem Raum, dessen Temperatur sich von der Umgebungstemperatur unterscheidet, einschliessen. Sie fliesst vom höheren zum niedrigeren Temperaturniveau. Verantwortlich für den Wärmestrom ist die Temperaturdifferenz. Der Wärmestrom ist bestrebt, bestehende Temperaturgefälle auszugleichen. Der Wärmestrom kann durch Wärmedämmung (Wärme-Isolation) vermindert werden.

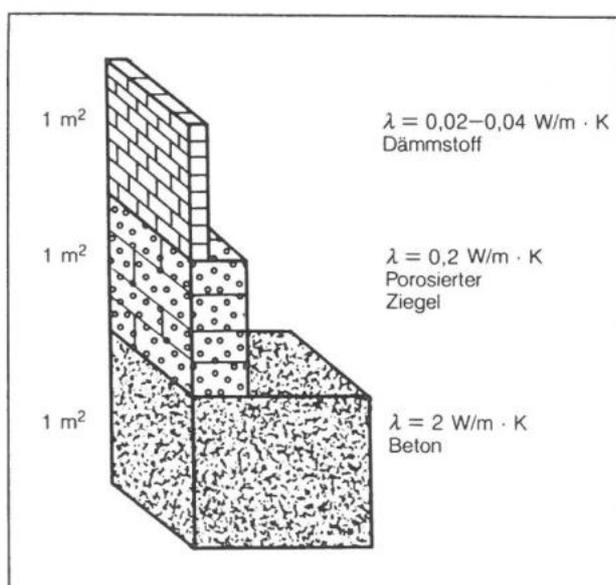
Wärmedämmeigenschaften von Baustoffen

Luft ist ein schlechter Wärmeleiter. Die Wirkung der Dämmstoffe beruht darauf, dass sie Luft einschliessen bzw. an ihrer Bewegung hindern. Gute Wärmedämmstoffe bestehen zu einem hohen Prozentsatz aus Luft. Die Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffes hängt insbesondere von dem Feuchtigkeitsgehalt und dem Raumgewicht des Materials ab. Je geringer das Raumgewicht und der Feuchtigkeitsgehalt eines Baustoffes ist, desto grösser ist seine Wärmedämmung. Unterschiedliche Baustoffe gleicher Dicke haben daher unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit.

Die Wärmedämmeigenschaften von Baustoffen werden durch den Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten charakterisiert. Dieser wird mit λ bezeichnet und gibt die Wärmemenge Q pro Zeiteinheit Δt an, die durch einen Baukörper einer Fläche (A) von 1 m^2 und 1 m Dicke bei einer Temperaturdifferenz ΔT von 1 Kelvin (K) strömt.

Beispiel: Beton hat $\lambda = 2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
 Dämmstoff hat $\lambda = 0,02-0,04 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

Je niedriger der λ -Wert eines Materials ist, desto grösser ist seine Wärmedämmung.



Die λ -Werte der verschiedenen Baustoffe sind durch Messreihen ermittelt worden und stehen als Tabellenwerte zur Verfügung, die in Wärmeleitgruppen eingeteilt sind. Graphisch stellt sich die Wärmedämmwirkung unterschiedlicher Baustoffe folgendermassen dar:

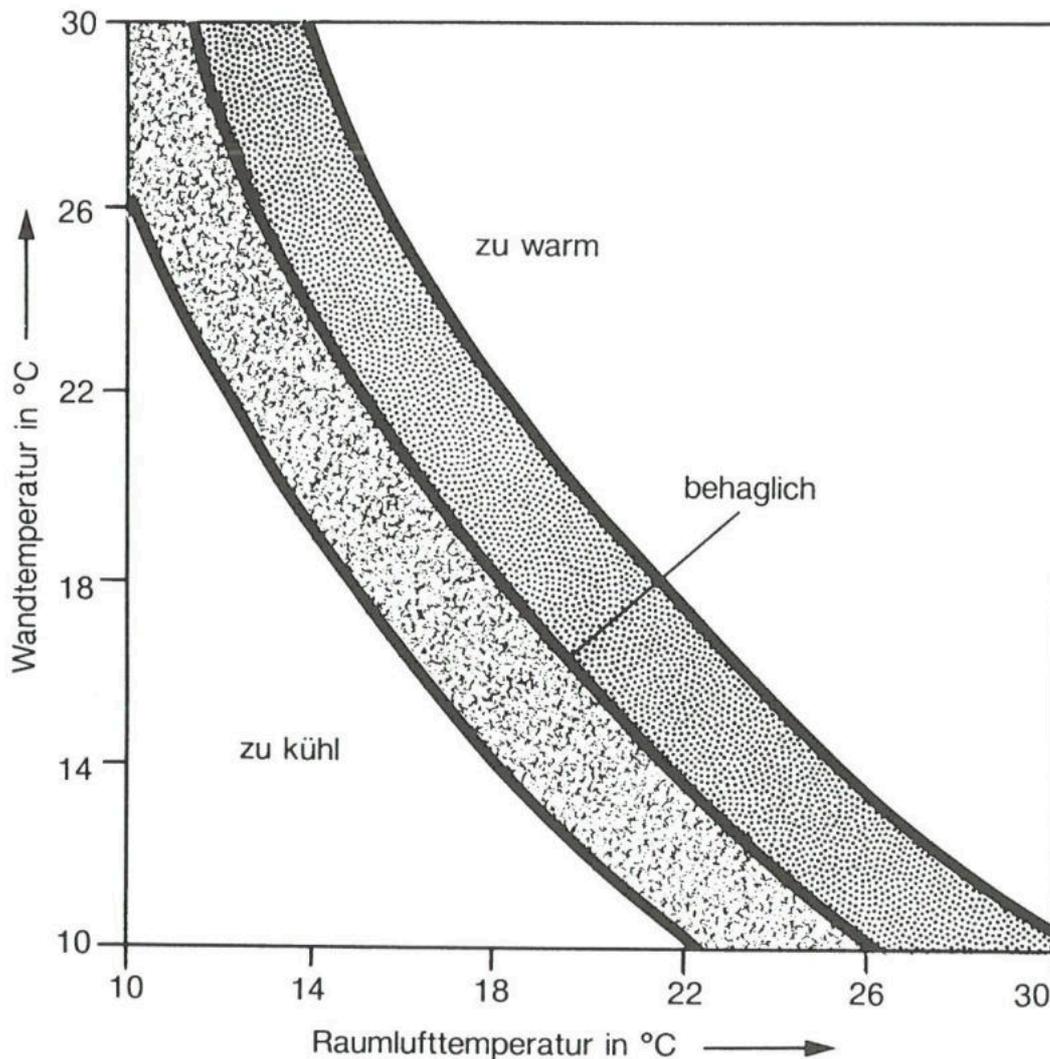
Abb.links: Gleiche Wärmedämmwirkung unterschiedlicher Baustoffe

Behaglichkeitsempfinden

Das Behaglichkeitsempfinden in beheizten Wohnräumen lässt sich durch Befragung ermitteln. Es ist von vielen Faktoren abhängig wie:

Alter, Geschlecht, Konstitution und körperliche Aktivität der Befragten sowie Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung.

Weiterhin ist die Behaglichkeit von Klimagrößen wie Lufttemperatur und Temperatur der umschliessenden Wände abhängig. Das folgende Bild zeigt eine Behaglichkeitskurve in Abhängigkeit der Variablen "Raumtemperatur" und "mittlere Wandtemperatur".



Aufgaben:

1. Überlege: Warum ist die Behaglichkeitskurve so breit mit schraffierten Flächen dargestellt ?
2. Leite die benötigten Lufttemperaturen für ein Behaglichkeitsgefühl (mittlere Kurve) in einem Wohnraum ab bei den mittleren Wandtemperaturen von 12 °C und 17,5 °C !
3. Welche Folgerungen lassen sich daraus in bezug auf das Energiesparen ableiten ?
4. Setze die Behaglichkeitstemperatur in Beziehung zu verschiedenen k-Werten der Aussenwand !

Wärmeverluste/Wärmestrom

Um konkrete Berechnungen des Energieverbrauchs und mögliche Energiesparmassnahmen durch Wärmedämmung anstellen zu können, bedarf es der Ermittlung des Wärmestroms P. Der Wärmestrom ist die Wärmeenergie, die in einer Sekunde durch eine bestimmte Fläche strömt.

$$\text{Wärmestrom } P = \frac{\text{Wärmeenergie}}{\text{Zeit in s}} = \frac{Q}{t}$$

Masseinheit: $\frac{\text{Joule}}{\text{Sekunde}} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \frac{\text{Ws}}{\text{s}} = \text{W} ; 1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$

Mit Hilfe des **Wärmedurchgangskoeffizienten k** (oder auch k-Wert) lassen sich die Wärmeverluste (=Wärmestrom P) nach folgender Gleichung berechnen:

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{Wärmeleitung}).$$

Wärmedurchgangskoeffizient k (k-Wert)

Der k-Wert lässt sich aus den empirisch ermittelten Wärmeübergangskoeffizienten [Übergang Bauteil/Luft (α_a) bzw. Luft/Bauteil (α_i)], der Dicke (d) und der Wärmeleitfähigkeit (λ) eines Bauteils errechnen und liegt ebenfalls als Tabellenwert vor.

Die Formel für ein einschichtiges Mauerwerk lautet:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}}$$

Wenn die Wärmeübergangskoeffizienten vernachlässigt werden, ergibt sich die Formel

$$K = \frac{\lambda}{d}$$

Der k-Wert kann für die verschiedenen Bauteile eines Gebäudes, d.h sowohl für Wand- als auch für Fensterflächen, berechnet werden, wenn λ bekannt ist. Er ist ein Mass für den Wärmestrom, der bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin zwischen innen und aussen durch einen 1 m² grossen Bauteil fliesst. Seine Einheit ist **W/ m².K**

Beispiel:

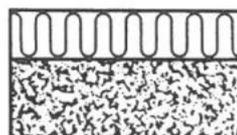
Eine Stahlbetondecke von 20 cm Dicke hat einen k-Wert von 2,96 W/m².K

Die gleiche Decke wird mit 15 cm Wärmedämmmaterial obenliegend versehen Der k-Wert vermindert sich auf 0,22 W/m².K

Wärmeverlust pro Tag und 100 m² Gebäudefläche:



240 kWh



16 kWh

Grundsätzlich gilt: Hoher k-Wert = hohe Wärmeverluste (hohe Heizkosten)
Niedriger k-Wert = geringe Verluste (niedrige Heizkosten)

Aufgabe:

Welcher Wärmestrom fliesst durch eine 10 m^2 grosse Aussenwand mit einem k-Wert von $0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ bei einer Temperaturdifferenz von 30 K zwischen innen und aussen ? Wie gross ist der Wärmeverlust in 24 Stunden ?

Bekannte Formeln: Wärmeverlust = Die in einer bestimmten Zeit "abfliessende" Wärmeenergie

Wärmestrom = Die pro Zeiteinheit transportierte Wärmemenge

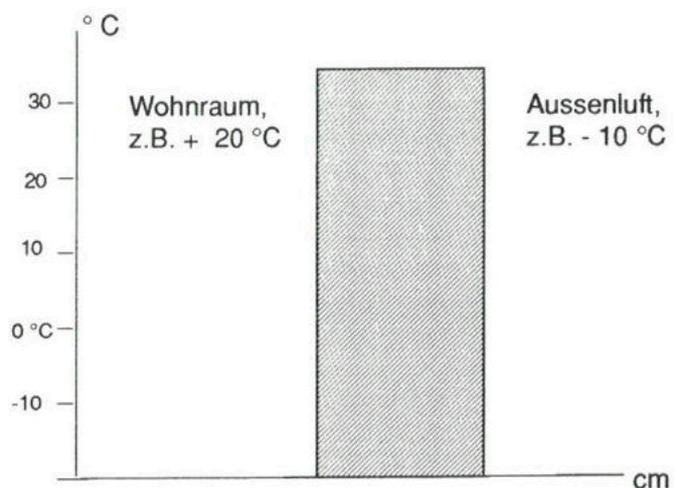
$P = \text{-----} = \text{-----} =$

Überlegungen zu den Begriffen "Wärmeübergang" und "Temperaturverlauf in Wänden"

1. Welche Bedingung muss erfüllt sein, damit ein Körper Wärmeenergie abgeben kann ?

2. Welche Bedingung muss erfüllt sein, damit ein Körper Wärmeenergie aufnehmen kann ?

3. Wie ist der Temperaturverlauf in einer Hauswand, wenn es aussen kalt und innen warm ist ?



4. Zeichne den Temperaturverlauf in die nebenstehende Zeichnung ein !

Aufgabe:

Welcher Wärmestrom fließt durch eine 10 m² grosse Aussenwand mit einem k-Wert von 0,5 W/m².K bei einer Temperaturdifferenz von 30 K zwischen innen und aussen ? Wie gross ist der Wärmeverlust in 24 Stunden ?

Bekannte Formeln: Wärmeverlust = Die in einer bestimmten Zeit "abfliessende" Wärmeenergie

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$$

Wärmestrom = Die pro Zeiteinheit transportierte Wärmemenge

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T \cdot t}{t} = k \cdot A \cdot \Delta T$$

$$= 0,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 10 \text{ m}^2 \cdot 30 \text{ K} = 150 \text{ W}$$

Durch die Wand fließt ein Wärmestrom von 150 W. Um diesen Wärmeverlust auszugleichen, müsste eine Heizquelle von 150 W Leistung eingesetzt werden.

In 24 Stunden werden also 150 W · 24 h = 3,600 kWh an Heizenergie benötigt.

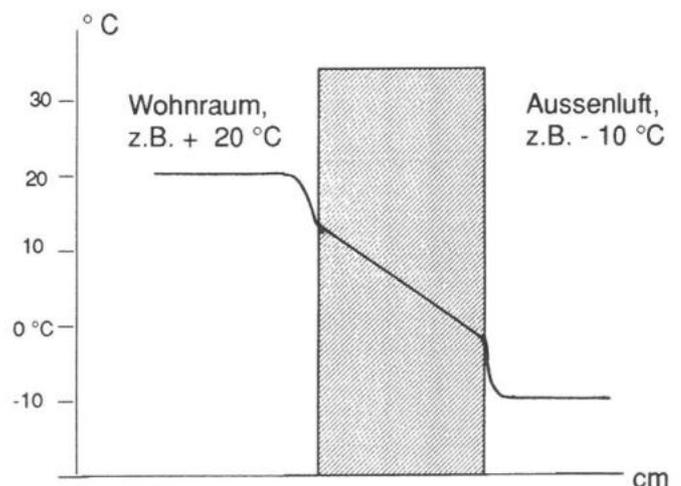
Überlegungen zu den Begriffen "Wärmeübergang" und "Temperaturverlauf in Wänden"

1. Welche Bedingung muss erfüllt sein, damit ein Körper Wärmeenergie abgeben kann ?

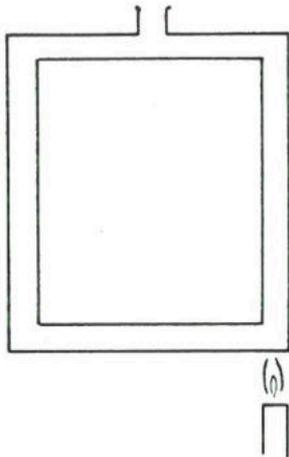
2. Welche Bedingung muss erfüllt sein, damit ein Körper Wärmeenergie aufnehmen kann ?

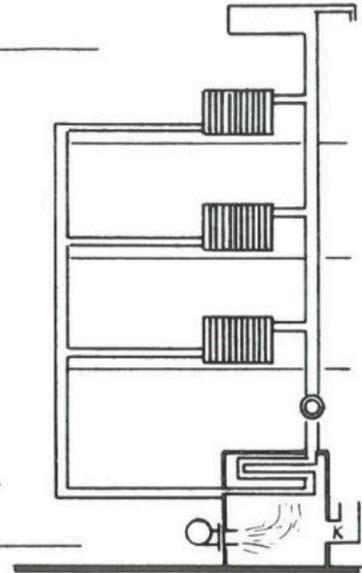
3. Wie ist der Temperaturverlauf in einer Hauswand, wenn es aussen kalt und innen warm ist ?

4. Zeichne den Temperaturverlauf in die nebenstehende Zeichnung ein !



b) Wärmewanderung, Konvektion



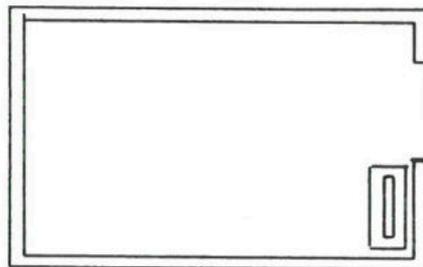
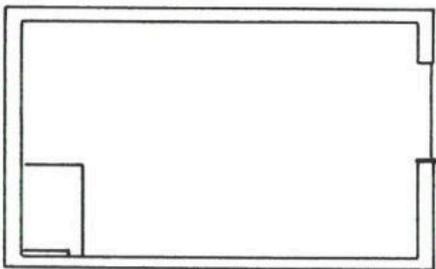


Erklärung der gemachten Beobachtungen: _____

Zeichne den Verlauf der Luftströmung in den beiden Zimmern !

a) mit Ofen an der Innenwand

b) mit Heizkörper unter dem Fenster

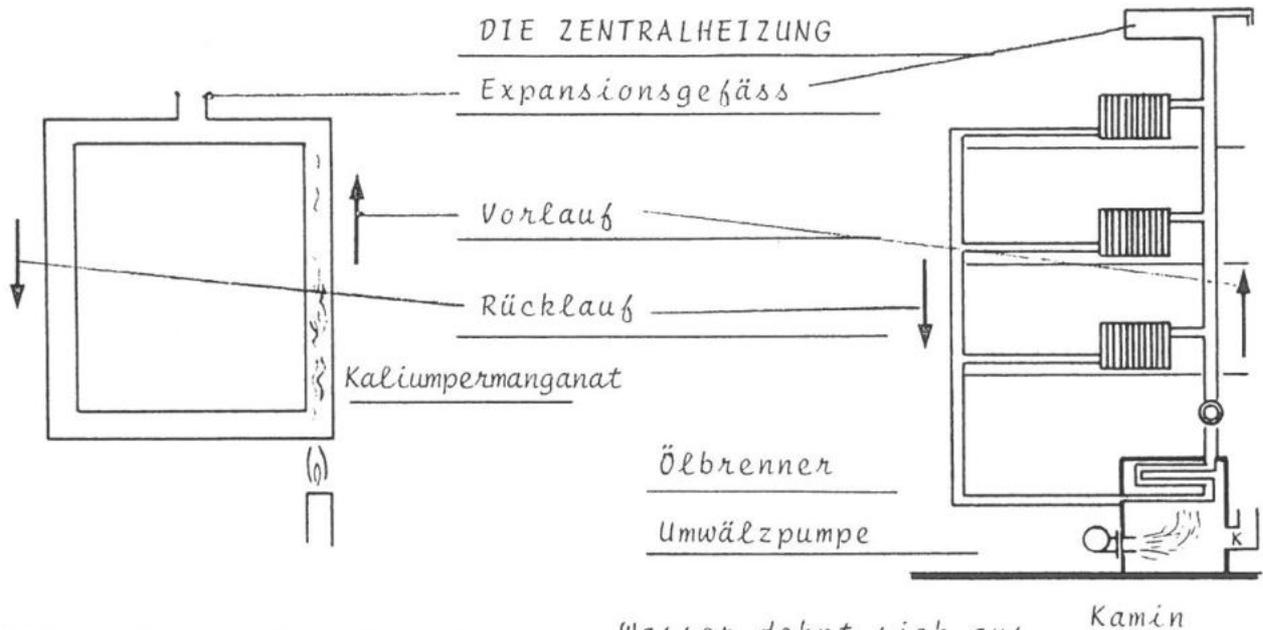




Bei der Wärmewanderung (Konvektion) geschieht die Wärmeausbreitung mittels Stoffen, die Wärme aufnehmen, transportieren und wieder abgeben können. Oft dienen Wasser und Luft als solche "Transportmittel".

Beispiele für die Ausbreitung der Wärme mittels Wärmewanderung:

b) Wärmewanderung, Konvektion

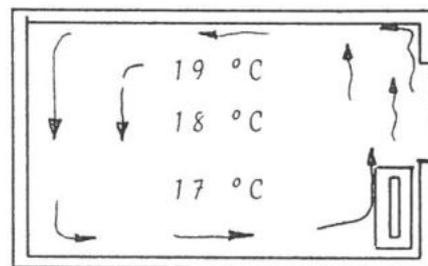
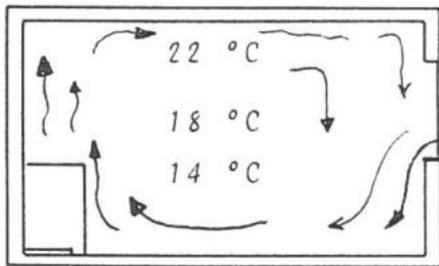


Erklärung der gemachten Beobachtungen: Wasser dehnt sich aus beim Erwärmen, wird dadurch leichter und steigt. In den Heizkörpern kühlt es sich wieder ab und kehrt wieder in den Heizkessel zurück. Eine Umwälzpumpe fördert diese Zirkulation.

Zeichne den Verlauf der Luftströmung in den beiden Zimmern !

a) mit Ofen an der Innenwand

b) mit Heizkörper unter dem Fenster



Wenn der Heizkörper direkt unter dem Fenster steht, wird die Kaltluft erwärmt, bevor sie ins Zimmer strömt.



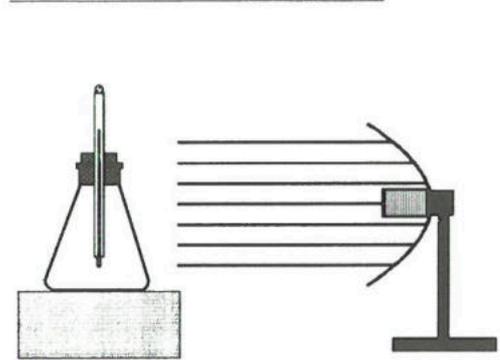
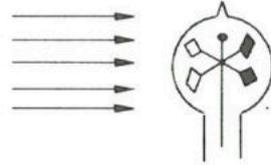
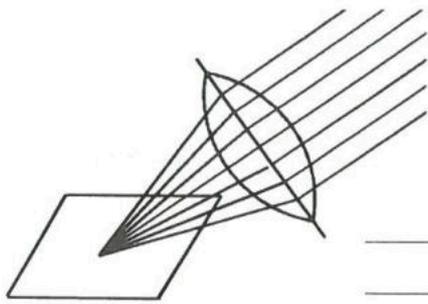
Warme Luft ist leichter und steigt. Die Papierspirale zeigt die Luftströmung.

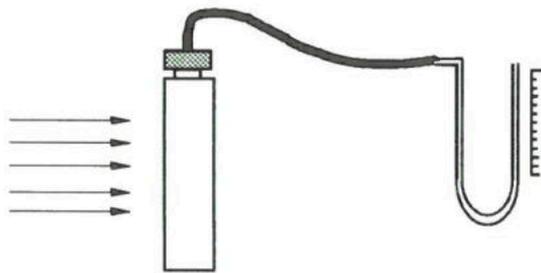
Bei der Wärmewanderung (Konvektion) geschieht die Wärmeausbreitung mittels Stoffen, die Wärme aufnehmen, transportieren und wieder abgeben können. Oft dienen Wasser und Luft als solche "Transportmittel".

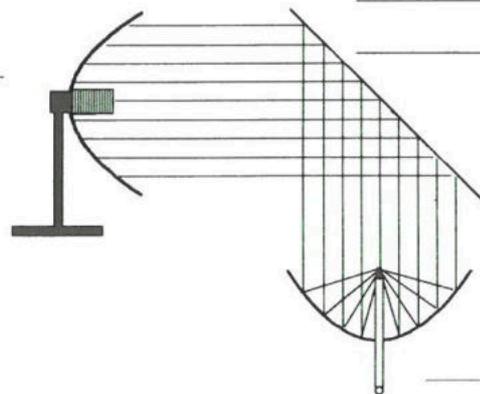
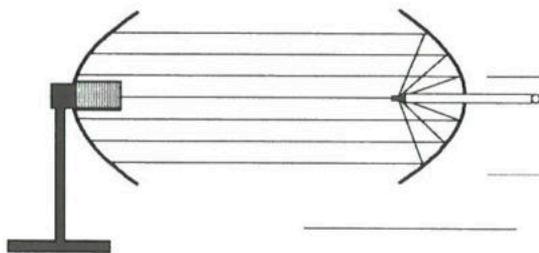
Beispiele für die Ausbreitung der Wärme mittels Wärmewanderung:

Wind (Föhn,...) Meeresströmungen (Golfstrom ...), Autokühler, Schornstein, Zentralheizung

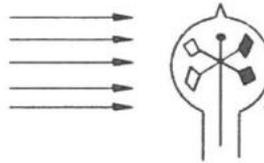
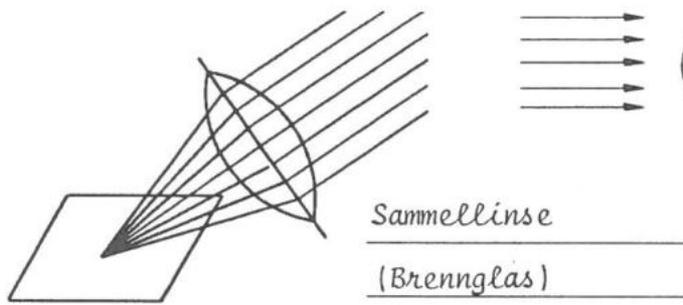
c) Wärmestrahlung



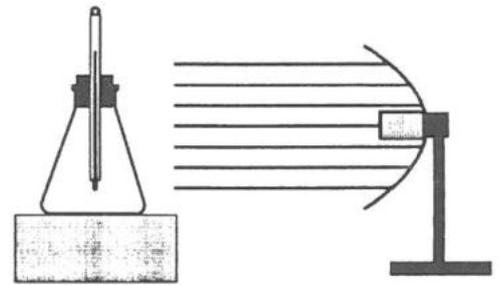




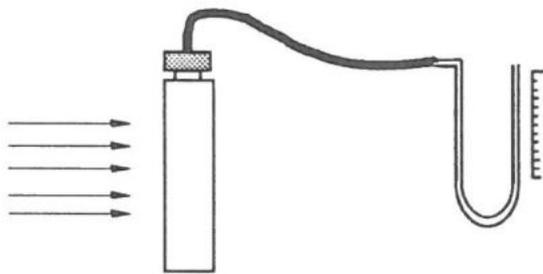
c) Wärmestrahlung



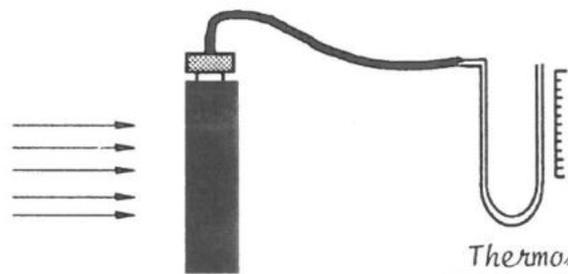
Radiometer



1. Wärmestrahlen breiten sich wie Licht aus.
2. Wo Wärmestrahlen auftreffen wird es warm. Beim Radiometer verursachen die Wärmestrahlen eine raschere Molekülbewegung der dunklen Flächen.

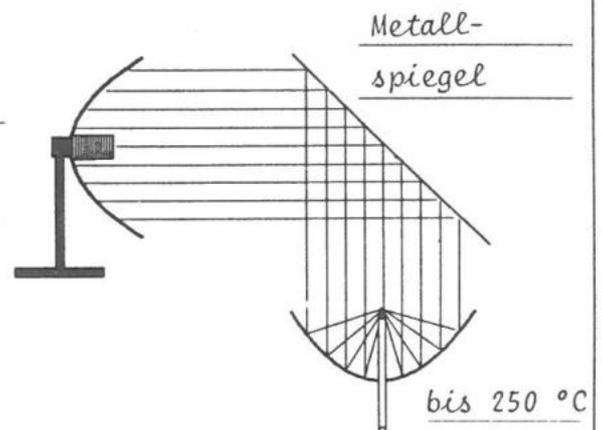
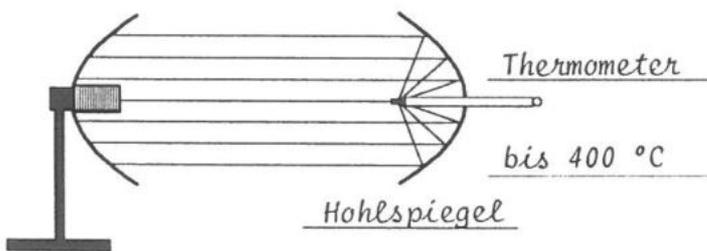


3. Helle Flächen und Spiegel erwärmen sich wenig.



Dunkle Flächen erwärmen sich bei Bestrahlung stark.

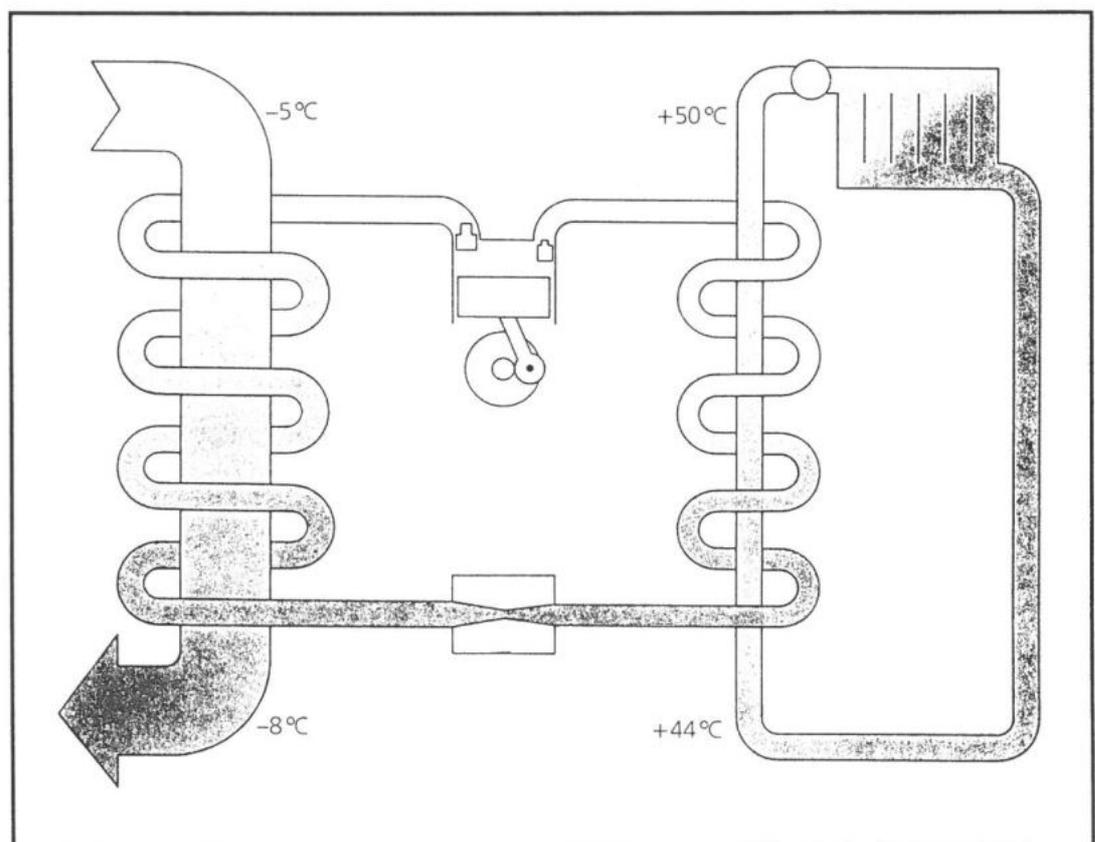
Thermoskop



4. Spiegel reflektieren die Wärmestrahlen (werfen sie zurück).
5. Hohlspiegel sammeln die Wärmestrahlen in einem Punkt. In diesem Punkt entstehen sehr hohe Temperaturen.

Die Wärmepumpe

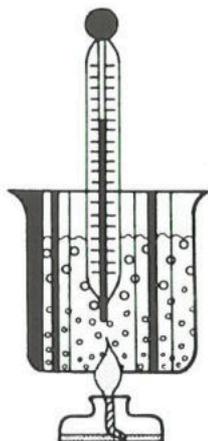
Physikalische Funktionsweise und Anwendungen



10 Versuche zum Thema Wärmepumpe

VERSUCH 1

Wir erwärmen Wasser in einem offenen Becherglas. Sobald das Wasser siedet, messen wir die Temperatur und beobachten sie während dem Siedevorgang.

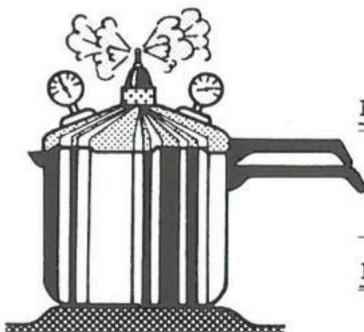


Beobachtung:

Erklärung:

VERSUCH 2

Wir erhitzen Wasser in einem verschlossenen Dampfkochtopf und beobachten dabei die Temperatur und den Druck im Kochtopf.

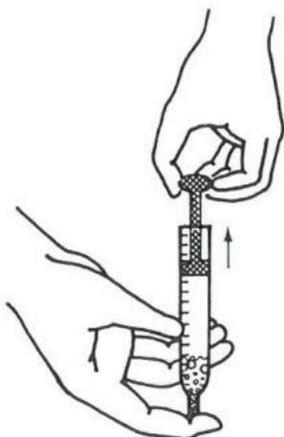


Beobachtung:

Erklärung:

VERSUCH 3

Wir beschaffen uns Plastikspritzen, wie sie im Spital oder beim Arzt als Abfall zu erhalten sind, füllen etwa einen Drittel heisses Wasser ein, verschliessen die kleine Oeffnung mit dem Zeigefinger und schaffen durch Herausziehen des Kolbens Unterdruck in der Plastikspritze.

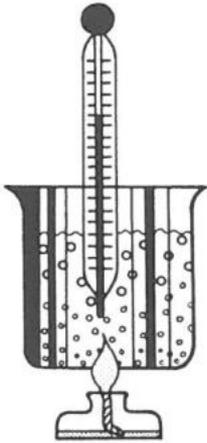


Beobachtung:

Erklärung:

10 Versuche zum Thema Wärmepumpe

VERSUCH 1

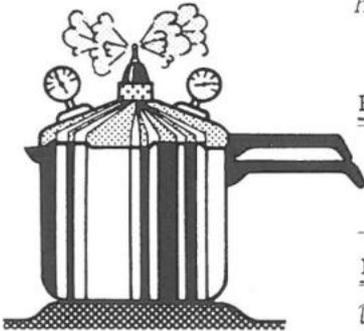


Wir erwärmen Wasser in einem offenen Becherglas. Sobald das Wasser siedet, messen wir die Temperatur und beobachten sie während dem Siedevorgang.

Beobachtung: Die Siedetemperatur des Wassers beträgt etwa $98 - 99^{\circ}\text{C}$. Trotz weiterem Erwärmen steigt die Temperatur des Wassers nicht weiter an.

Erklärung: Die dem siedenden Wasser zugeführte Wärmeenergie wird zum Verdampfen des Wassers gebraucht.

VERSUCH 2

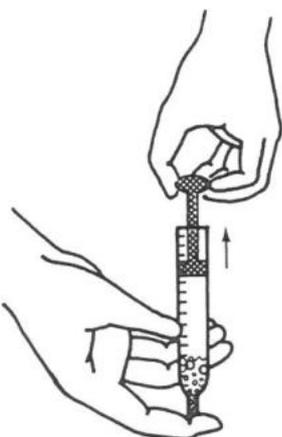


Wir erhitzen Wasser in einem verschlossenen Dampfkochtopf und beobachten dabei die Temperatur und den Druck im Kochtopf. (Dampfkochtopf mit eingebautem Thermometer und Manometer erhältlich bei der Metallarbeiterschule Winterthur)

Beobachtung: Das Wasser erreicht eine Temperatur von etwa 112°C . Der Druck im Kochtopf steigt auf $1,3 \text{ bar}$ an.

Erklärung: Durch den im Dampfkochtopf entstehenden Dampf erhöht sich der Druck über dem siedenden Wasser. Mit steigendem Druck erhöht sich die Siedetemperatur des Wassers.

VERSUCH 3



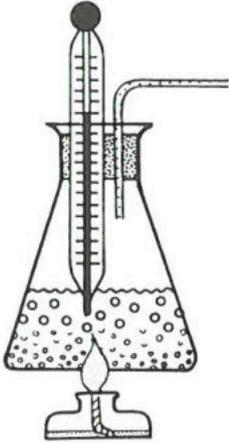
Wir beschaffen uns Plastikspritzen, wie sie im Spital oder beim Arzt als Abfall zu erhalten sind, füllen etwa einen Drittel heisses Wasser ein, verschliessen die kleine Oeffnung mit dem Zeigefinger und schaffen durch Herausziehen des Kolbens Unterdruck in der Plastikspritze. (Spritzengrösse: $15 - 25 \text{ ml}$)

Beobachtung: Das Wasser in der Plastikspritze beginnt lebhaft zu siedeln. Die Temperatur des Wassers sinkt rasch ab.

Erklärung: Beim Herausziehen des Kolbens entsteht Unterdruck. Mit sinkendem Druck reduziert sich die Siedetemperatur des Wassers.

VERSUCH 4

Wir geben heisses Wasser von etwa 80°C in einen Glaskolben, verschliessen diesen Glaskolben mit einem Gummipfropfen, durch den ein Thermometer und ein Glasrohr führt, und saugen mit einer Wasserstrahlpumpe oder einer Handpumpe die Luft im Glaskolben ab.



Beobachtung:

Erklärung:

VERSUCH 5

Wir geben etwas Aether, Rasierwasser oder Kölnischwasser auf einen Wattebausch und bestreichen damit den Handrücken.



Beobachtung:

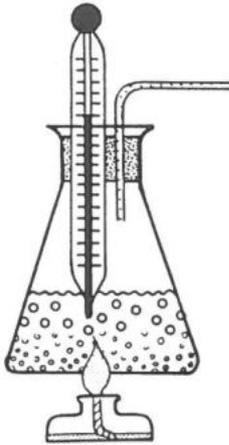
Erklärung:

Ueberlege:

Warum riecht es in einer Arztpraxis oft nach Aether?

Warum friert man beim Verlassen des Schwimmbades vor allem solange die Haut nass ist?

VERSUCH 4



Wir geben heisses Wasser von etwa 80°C in einen Glaskolben, verschliessen diesen Glaskolben mit einem Gummipfropfen, durch den ein Thermometer und ein Glasrohr führt, und saugen mit einer Wasserstrahlpumpe oder einer Handpumpe die Luft im Glaskolben ab.

Beobachtung: 1. Das Wasser im Glasgefäss beginnt lebhaft zu kochen.

2. Die Temperatur des Wassers sinkt rasch ab.

Erklärung: Beim Abpumpen der Luft entsteht Unterdruck im Glasbehälter. Bei Unterdruck sinkt die Siedetemperatur der Flüssigkeit. Die zum Verdampfen notwendige Wärmeenergie wird, da sie ja nicht von aussen zugeführt wird, der Flüssigkeit selber entzogen.

VERSUCH 5



Wir geben etwas Aether, Rasierwasser oder Kölnischwasser auf einen Wattebausch und bestreichen damit den Handrücken.

Beobachtung: An der Stelle, wo die Flüssigkeit aufgetragen wurde, wird die Haut kalt.

Erklärung: Die verwendete Flüssigkeit verdunstet leicht. Die dazu notwendige Verdampfungswärme wird der Haut entzogen.

Ueberlege:

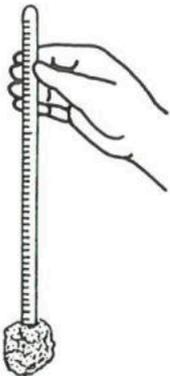
Warum riecht es in einer Arztpraxis oft nach Aether?

Damit der Einstich bei Spritzen weniger schmerzt, wird die Einstichstelle vorher mit etwas Aether abgekühlt.

Warum friert man beim Verlassen des Schwimmbades vor allem solange die Haut nass ist?

Die Wassertropfen auf der Haut verdunsten. Die dazu notwendige Verdampfungswärme wird der Haut entzogen.

VERSUCH 6

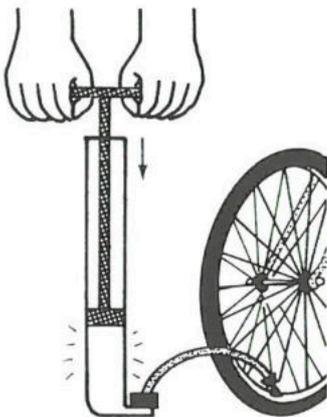


Wir wickeln etwas Watte um den vordersten Teil eines Thermometers und benetzen diese Watte mit Aether. Durch leichtes Bewegen des Thermometers fördern wir das Verdunsten des Aethers. In Abständen von etwa 10 Sekunden lesen wir die Temperatur am Thermometer ab.

Beobachtung:

Erklärung:

VERSUCH 7



Wir pumpen den Pneu eines Velorades mit einer Hand-Velopumpe auf.

Beobachtung:

Erklärung:

VERSUCH 8

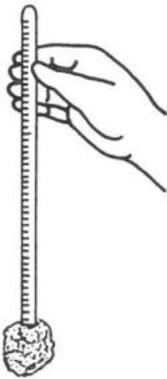


Wir geben etwa 8 mm Pyroxylgarn in das pneumatische Feuerzeug und führen 2 bis 3 kräftige Pumpbewegungen aus.

Beobachtung:

Erklärung:

VERSUCH 6

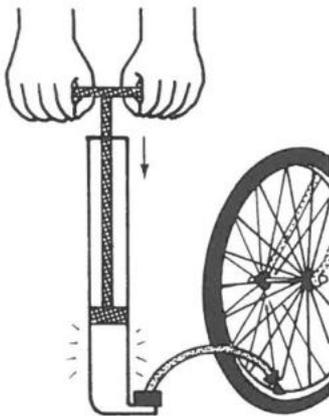


Wir wickeln etwas Watte um den vordersten Teil eines Thermometers und benetzen diese Watte mit Aether. Durch leichtes Bewegen des Thermometers fördern wir das Verdunsten des Aethers. In Abständen von etwa 10 Sekunden lesen wir die Temperatur am Thermometer ab.

Beobachtung: Die Temperatur sinkt von 20°C bis etwa -10°C ab.

Erklärung: Die zum Verdunsten des Aethers notwendige Wärmeenergie wird dem Aether, der Watte und dem Thermometer entzogen.

VERSUCH 7

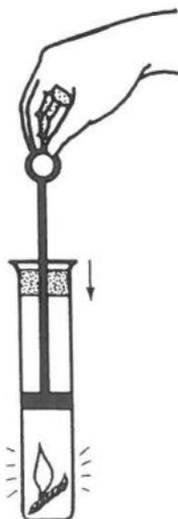


Wir pumpen den Pneu eines Velorades mit einer Hand-Velopumpe auf.

Beobachtung: Die Velopumpe wird heiss, und zwar am heissesten zuunterst, wo der Kolben keine Reibung verursachen kann.

Erklärung: Beim Zusammenpressen erhitzt sich die Luft. Man spricht von KOMPRESSIONSWÄRME.

VERSUCH 8



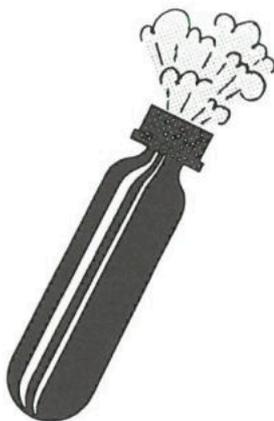
Wir geben etwa 8 mm Pyroxylgarn in das pneumatische Feuerzeug und führen 2 bis 3 kräftige Pumpbewegungen aus.

Beobachtung: Das Pyroxylgarn im pneumatischen Feuerzeug verbrennt mit hellem Aufleuchten.

Erklärung: Beim Zusammenpressen erhitzt sich die Luft. Dabei wird die Selbstentzündungstemperatur des Garnstückleins erreicht.

VERSUCH 9

Aus einer CO₂-Patrone, wie sie beim Rahmbläser verwendet wird, lassen wir das unter hohem Druck stehende Kohlendioxid möglichst rasch ausströmen.



Beobachtung:

Erklärung:

VERSUCH 10

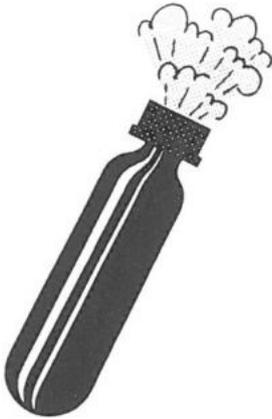
Wir schütteln den vollen Gasbehälter (Kartusche) eines Campinggasbrenners oder eines Laborgasbrenners. Wir prüfen das Gas in einem Flüssiggas-Feuerzeug!



Beobachtung:

Erklärung:

VERSUCH 9



Aus einer CO₂-Patrone, wie sie beim Rahmbläser verwendet wird, lassen wir das unter hohem Druck stehende Kohlendioxid möglichst rasch ausströmen. (Spezieller Patronenöffner bei der Metallarbeiterschule Winterthur erhältlich.)

Beobachtung: Die CO₂-Patrone wird beim Ausströmen des Gases sehr kalt.

Erklärung: Das unter hohem Druck stehende Kohlendioxid entspannt sich beim Ausströmen aus der Patrone und kühlt sich dabei ab.

VERSUCH 10



Wir schütteln den vollen Gasbehälter (Kartusche) eines Campinggasbrenners oder eines Laborgasbrenners. Wir prüfen das Gas in einem Flüssiggas-Feuerzeug!

Beobachtung: Man hört und spürt, dass sich eine Flüssigkeit im Behälter befindet. Im durchsichtigen Gasbehälter des Feuerzeugs sieht man die Flüssigkeit.

Erklärung: Bei normalem Luftdruck und bei Zimmertemperatur ist das "Campinggas" gasförmig. Beim Zusammenpressen, dem sogenannten Verdichten, wird es flüssig.

Versuch	Schlussfolgerung
1	<hr/> <hr/> <hr/>
2	<hr/> <hr/>
3 + 4	<hr/> <hr/>
5 + 6	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
7 + 8	<hr/> <hr/>
9	<hr/>
10	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

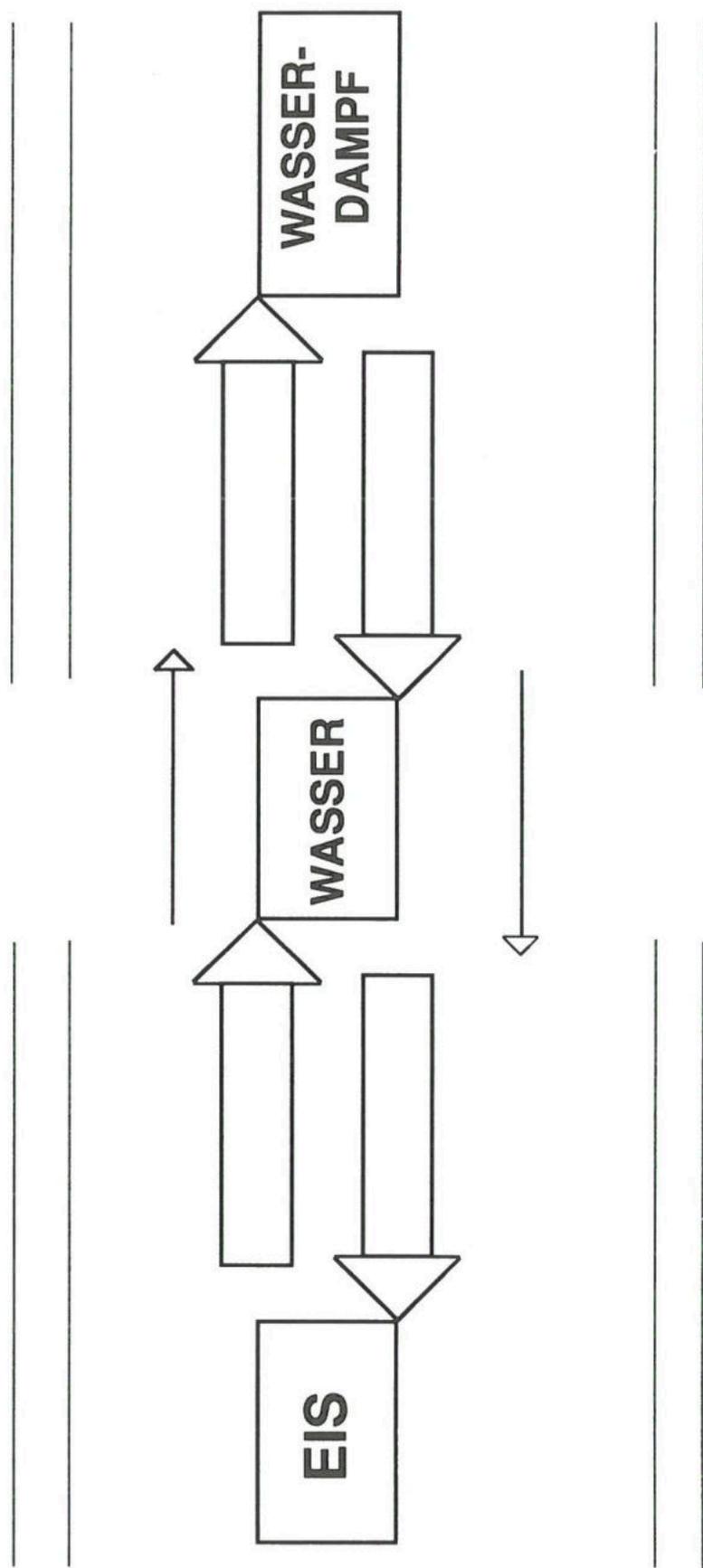
Solche Stoffe, die bei Zimmertemperatur und bei normalem Druck gasförmig sind, durch Druckerhöhung (Verdichten) leicht verflüssigt und durch Entspannen wieder verdampft werden können, werden als Arbeitsmittel für den Kreislauf der Wärmepumpe verwendet.

Die Wärmepumpe

8.09 L

Versuch	Schlussfolgerung
1	<u>Damit ein flüssiger Stoff siedet und verdampft, muss ihm Wärmeenergie zugeführt werden. Während dem Verdampfen bleibt die Temperatur der Flüssigkeit unverändert.</u>
2	<u>Durch Druckerhöhung (VERDICHTEN) kann der Siedepunkt einer Flüssigkeit erhöht werden.</u>
3 + 4	<u>Durch Druckverminderung (ENTSPANNEN) kann der Siedepunkt einer Flüssigkeit herabgesetzt werden.</u>
5 + 6	<u>Es gibt Stoffe, die gehen schon bei Zimmertemperatur vom flüssigen in den gasförmigen Zustand über: sie verdunsten. Die für diesen Verdunstungsvorgang notwendige Wärmeenergie wird der Umgebung und dem Stoff selber entzogen.</u>
7 + 8	<u>Wird ein Gas verdichtet (komprimiert), so erhöht sich seine Temperatur.</u>
9	<u>Wird ein Gas plötzlich entspannt, so kühlt es sich ab.</u>
10	<u>Wird ein Gas stark zusammengedrückt (verdichtet), so verflüssigt es sich (es kondensiert).</u> <u>Wird ein Stoff, der bei Zimmertemperatur nur unter hohem Druck flüssig ist, entspannt, so wird er gasförmig.</u>

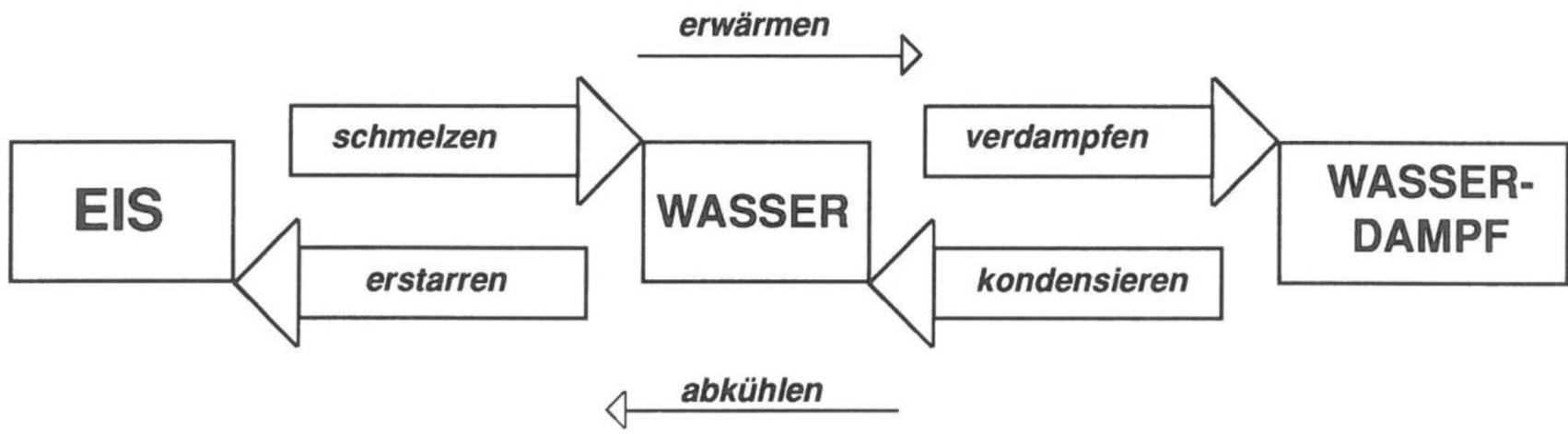
Solche Stoffe, die bei Zimmertemperatur und bei normalem Druck gasförmig sind, durch Druckerhöhung (Verdichten) leicht verflüssigt und durch Entspannen wieder verdampft werden können, werden als Arbeitsmittel für den Kreislauf der Wärmepumpe verwendet.



ENERGIEZUFUHR

Der Übergang von Eis zu Wasser heisst
schmelzen.

Der Übergang von Wasser zu Wasserdampf
heisst verdampfen.

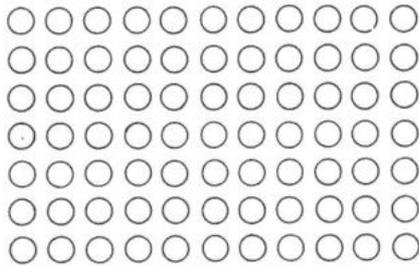


Der Übergang von Wasser zu Eis heisst
gefrieren oder erstarren.

Der Übergang von Wasserdampf zu Wasser
heisst kondensieren oder verflüssigen.

ENERGIEENTZUG

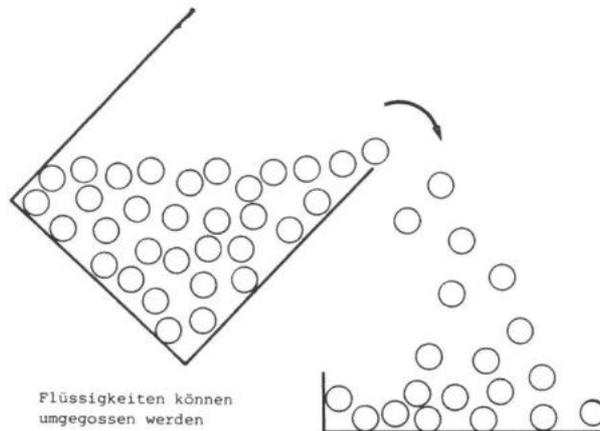
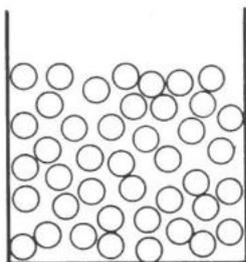
Die Zustandsformen (fest - flüssig - gasförmig)



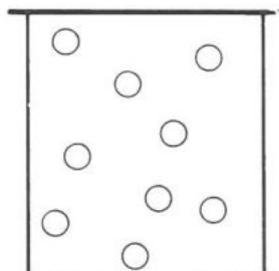
Modell für Molekülverband in festen Stoffen

In festen Körpern sind die Moleküle infolge ihrer starken Anziehungskräfte im Molekülverband fest und regelmässig angeordnet und nehmen dabei einen fest umgrenzten Raum ein. Sie können nur schwach hin und her schwingen. Führt man dem Stoff Wärme zu, so bewegen sich die Moleküle stärker und brauchen dazu mehr Platz. Die Bewegung kann schliesslich so stark werden, dass die Moleküle durcheinander geraten und die Ordnung im Molekülverband verloren geht. Die feste Form des Körpers kann nicht mehr beibehalten werden, der Körper schmilzt und zerfliesst, er wird flüssig.

Modell für Molekülanordnung in Flüssigkeiten

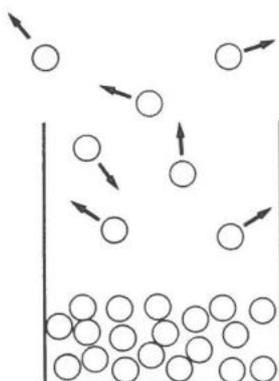


Flüssigkeiten können umgegossen werden



Modell für Moleküle in Gasen

Im flüssigen Zustand wirkt zwar die Anziehungskraft zwischen den Molekülen immer noch. Die Geschwindigkeit der Bewegung ist aber grösser als bei festen Stoffen, und auch der Abstand der einzelnen Moleküle ist grösser. Eine feste Anordnung der Moleküle ist nicht mehr vorhanden. Bei weiterem Erwärmen wird die Bewegung der Moleküle so stark, dass sie die Anziehungskräfte überwinden und den Molekülverband verlassen können: Der Stoff verdampft, er wird gasförmig.



Moleküle beim Verdunsten

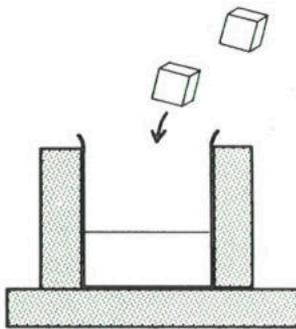
Im gasförmigen Zustand werden die gegenseitigen Anziehungskräfte der Moleküle durch die rasche Bewegung vollständig überwunden. Die Moleküle können sich frei im Raum bewegen und sind weit voneinander entfernt. Deshalb verteilt sich ein Gas im Raum, wenn es nicht eingeschlossen ist.

Beim Verdunsten können sich einzelne Moleküle von der Oberfläche in den freien Raum absetzen, ohne dass weiter Wärmeenergie zugeführt wird. Die für das Loslösen aus dem Molekülverband notwendige Wärmeenergie wird dabei dem Molekülverband entzogen: der Körper kühlt sich beim Verdunsten ab !

Bei Wärmezufuhr wird also die Bewegung der Moleküle beschleunigt, bei Wärmeentzug verlangsamt. Ein fortwährender Wärmeentzug müsste schliesslich zum vollständigen Stillstand der Molekülbewegung führen. Dem Körper könnte keine weitere Energie mehr entzogen werden, das heisst, die tiefstmögliche Temperatur, der sogenannte absolute Nullpunkt von 0 K oder $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ wäre erreicht.

Nachweis der Schmelzenergie für Eis

- Stelle ein isoliertes Becherglas (400-600 ml) bereit! Die Isolation kann mit einem Stück Isolierrohr erfolgen, in welches das Becherglas genau hineinpasst. Dann wird das Becherglas auf ein Stück Styropor (Sagex) gestellt.
- Giesse in das Becherglas etwa 300 ml Wasser, dessen Temperatur etwa 50 °C betragen soll!
- Wäge das Wasser auf g genau und lies seine Temperatur ab !
- Trockne zwei Eiswürfel mit Haushaltspapier und wirf sie ins Becherglas!
- Warte bis die Eiswürfel geschmolzen sind, miss dann die Temperatur im Becherglas ein zweites Mal und wäge die Wassermenge nochmals.
- Trage die Messwerte in die Tabelle ein !

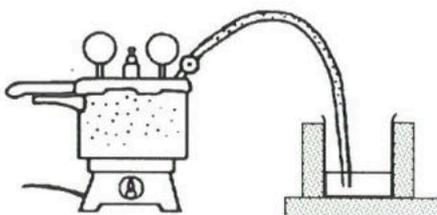


	Wasser	Eis
Masse in kg		
Wassertemperatur vor Eiszugabe		
Temperatur nach Schmelzen des Eises		
Temperaturzunahme		
Temperaturabnahme		
Abgegebene Wärme-Energie		
Aufgenommene Wärme-Energie		
Energiedifferenz (Schmelzenergie)		
Schmelzenergie für 1 kg Eis		

Ergebnis: _____

Nachweis der Kondensations-Energie (Verdampfungsenergie).

- Wäge im Becherglas etwa 400 g Hahnenwasser ab und miss die Temperatur!
- Fülle in den Dampfkochtopf wenig Wasser ein und erhitze es bis zum Sieden!
- Leite den Dampf durch den Schlauch ins Glas. (Becherglas isolieren!)
- Ist der Wasserspiegel darin um etwa 1 cm angestiegen, wird die Dampfzufuhr unterbrochen !
- Miss die Temperatur des Wassers im Becherglas.
- Trage die Messwerte in die Tabelle ein !

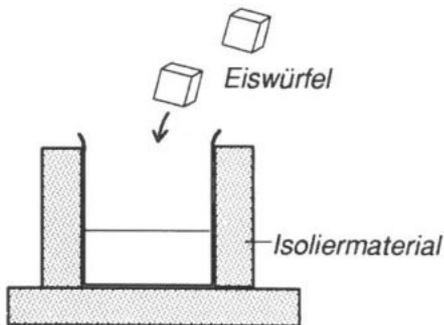


	Wasser	Dampf
Masse in kg		
Temperatur vor der Dampfzufuhr		
Mischtemperatur nach der Dampfzufuhr		
Temperaturzunahme		
Temperaturabnahme		
Abgegebene Wärme-Energie		
Aufgenommene Wärme-Energie		
Energie-Differenz (Kondensationsenergie)		
Kondensationsenergie für 1 kg Wasserdampf		

Ergebnis: _____

Nachweis der Schmelzenergie für Eis

- Stelle ein isoliertes Becherglas (400-600 ml) bereit! Die Isolation kann mit einem Stück Isolierrohr erfolgen, in welches das Becherglas genau hineinpasst. Dann wird das Becherglas auf ein Stück Styropor (Sagex) gestellt.
- Giesse in das Becherglas etwa 300 ml Wasser, dessen Temperatur etwa 50 °C betragen soll!
- Wäge das Wasser auf g genau und lies seine Temperatur ab !
- Trockne zwei Eiswürfel mit Haushaltspapier und wirf sie ins Becherglas!
- Warte bis die Eiswürfel geschmolzen sind, miss dann die Temperatur im Becherglas ein zweites Mal und wäge die Wassermenge nochmals.
- Trage die Messwerte in die Tabelle ein !

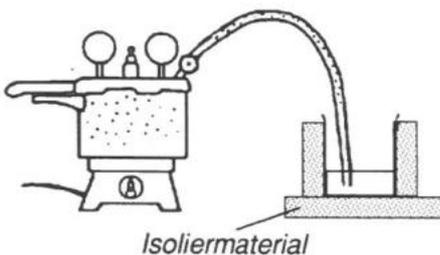


	Wasser	Eis
Masse in kg	0,2883	0,0491
Wassertemperatur vor Eiszugabe	49 °C	0 °C
Temperatur nach Schmelzen des Eises	31 °C	
Temperaturzunahme		31 °C
Temperaturabnahme	18 °C	
Abgegebene Wärme-Energie	21,72 kJ	
Aufgenommene Wärme-Energie		6,37 kJ
Energiedifferenz (Schmelzenergie)		15,346 kJ
Schmelzenergie für 1 kg Eis		312,5 kJ

Ergebnis: Für das Schmelzen des Eises ist Wärmeenergie notwendig, ohne dass sich dabei die Temperatur erhöht.

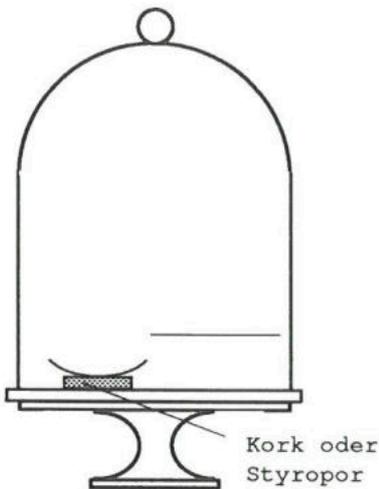
Nachweis der Kondensations-Energie (Verdampfungsenergie).

- Wäge im Becherglas etwa 400 g Hahnenwasser ab und miss die Temperatur!
- Fülle in den Dampfkochtopf wenig Wasser ein und erhitze es bis zum Sieden!
- Leite den Dampf durch den Schlauch ins Glas. (Becherglas isolieren!)
- Ist der Wasserspiegel darin um etwa 1 cm angestiegen, wird die Dampfzufuhr unterbrochen !
- Miss die Temperatur des Wassers im Becherglas.
- Trage die Messwerte in die Tabelle ein !



	Wasser	Dampf
Masse in kg	0,4278	0,0421
Temperatur vor der Dampfzufuhr	23 °C	99 °C
Mischtemperatur nach der Dampfzufuhr	74 °C	74 °C
Temperaturzunahme	51 °C	
Temperaturabnahme		25 °C
Abgegebene Wärme-Energie		4,4068 kJ
Aufgenommene Wärme-Energie	91,351 kJ	
Energie-Differenz (Kondensationsenergie)		86,944 kJ
Kondensationsenergie für 1 kg Wasserdampf		20656 kJ

Ergebnis: Beim Übergang vom dampförmigen in den flüssigen Zustand wird viel Wärmeenergie frei.



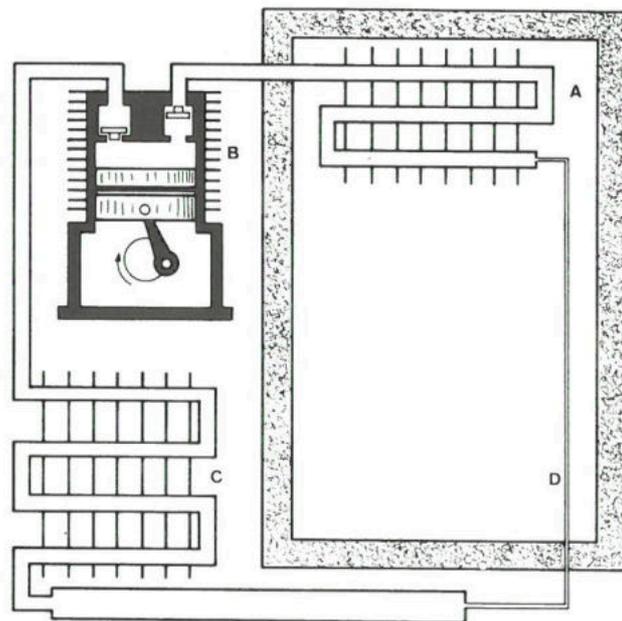
Wenn wir in einem Becherglas etwas Wasser offen stehen lassen, verdunstet es in einigen Tagen. Die für den Übergang in den gasförmigen Zustand notwendige Wärmeenergie wird der Umgebung entzogen.

Versuch: Wir geben etwas Aether oder Alkohol in einer Glasschale zusammen mit etwas Wasser unter die Glasglocke und pumpen möglichst viel Luft heraus.

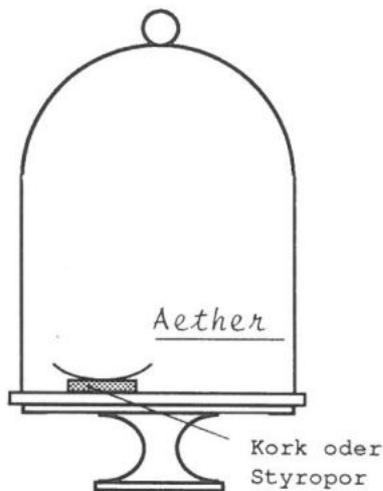
Beobachtung: _____

Der Kühlschrank (Kompressorprinzip)

Die Kälteerzeugung im Kühlschrank beruht auf der Ausnutzung der Verdunstungskälte. Der Kompressor *B* saugt den Dampf des Kühlmittels aus dem Verdampfer *A*. Der dadurch erzeugte Unterdruck verursacht das Verdunsten des Kühlmittels. Dabei wird der Umgebung, also dem Kühlschrank, Wärmeenergie entzogen. Der Kompressor presst dann das Kühlmittel in den Kondensator *C*, wo es sich verflüssigt und über die Kühlrippen die aufgenommene Wärmeenergie an die Umgebung wieder abgibt. Unter dem Druck des Kompressors fließt die Kälteflüssigkeit durch ein dünnes Kapillarrohr zurück in den Verdampfer. Im dort herrschenden Unterdruck verdunstet die Kälteflüssigkeit wieder, und der Kreislauf beginnt von vorne. Als Kälteflüssigkeit wird *Freon*, eine speziell zu diesem Zweck entwickelte Fluor-Kohlen-Wasserstoff-Verbindung verwendet.



Ausser dem Kompressions-Kühlschrank findet der Absorptions-Kühlschrank immer noch Verwendung, vor allem dort, wo als Energiequelle Gas zur Verfügung steht (z.B. in Campingeinrichtungen, Wohnwagen, Schiffen und Booten). Er wird aber, wo immer möglich, durch den leistungsfähigeren und wirtschaftlicheren Kompressions-Kühlschrank verdrängt.



Wenn wir in einem Becherglas etwas Wasser offen stehen lassen, verdunstet es in einigen Tagen. Die für den Übergang in den gasförmigen Zustand notwendige Wärmeenergie wird der Umgebung entzogen.

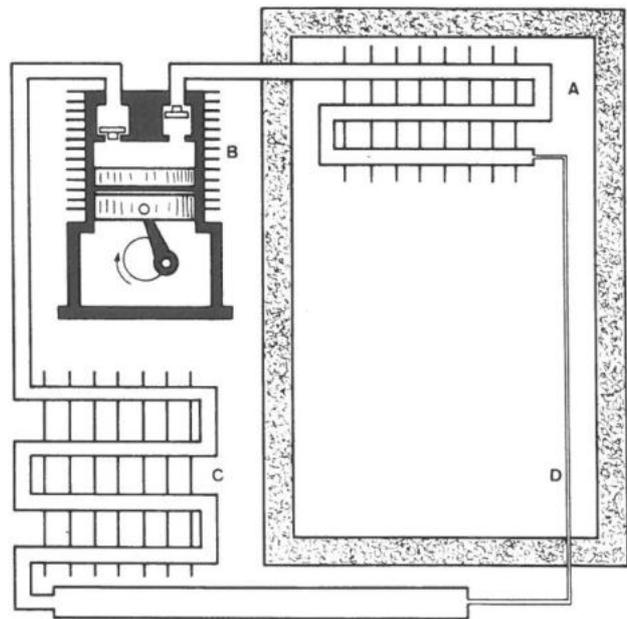
Versuch: Wir geben etwas Aether oder Alkohol in einer Glasschale zusammen mit etwas Wasser unter die Glasglocke und pumpen möglichst viel Luft heraus.

Beobachtung: Nach einiger Zeit verschwindet der Aether nach und nach. Das Wasser an der Glasschale gefriert zu Eis.

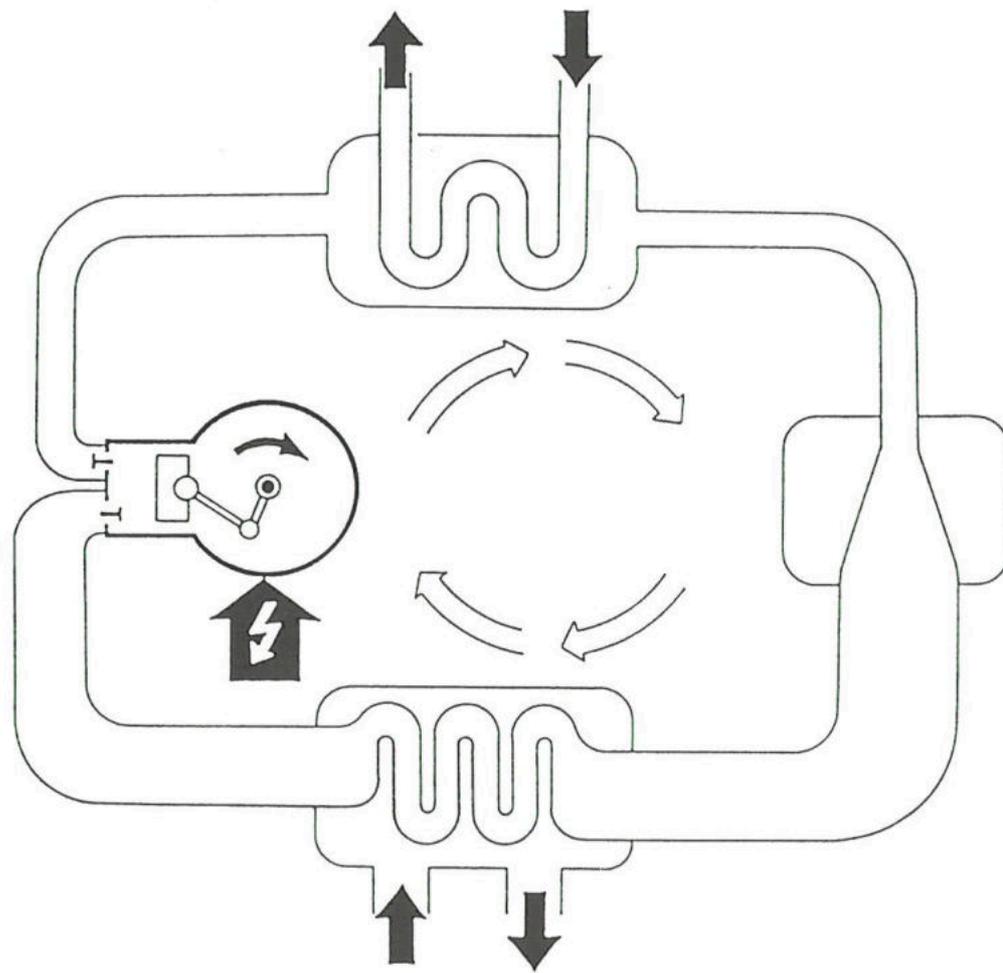
Der Aether hat die zum Verdampfen notwendige Wärmeenergie dem Wasser und der Glasschale entzogen.

Der Kühlschrank (Kompressorprinzip)

Die Kälteerzeugung im Kühlschrank beruht auf der Ausnutzung der Verdunstungskälte. Der Kompressor B saugt den Dampf des Kühlmittels aus dem Verdampfer A. Der dadurch erzeugte Unterdruck verursacht das Verdunsten des Kühlmittels. Dabei wird der Umgebung, also dem Kühlschrank, Wärmeenergie entzogen. Der Kompressor presst dann das Kühlmittel in den Kondensator C, wo es sich verflüssigt und über die Kühlrippen die aufgenommene Wärmeenergie an die Umgebung wieder abgibt. Unter dem Druck des Kompressors fließt die Kälteflüssigkeit durch ein dünnes Kapillarrohr zurück in den Verdampfer. Im dort herrschenden Unterdruck verdunstet die Kälteflüssigkeit wieder, und der Kreislauf beginnt von vorne. Als Kälteflüssigkeit wird Freon, eine speziell zu diesem Zweck entwickelte Fluor-Kohlen-Wasserstoff-Verbindung verwendet.



Ausser dem Kompressions-Kühlschrank findet der Absorptions-Kühlschrank immer noch Verwendung, vor allem dort, wo als Energiequelle Gas zur Verfügung steht (z.B. in Campingeinrichtungen, Wohnwagen, Schiffen und Booten). Er wird aber, wo immer möglich, durch den leistungsfähigeren und wirtschaftlicheren Kompressions-Kühlschrank verdrängt.

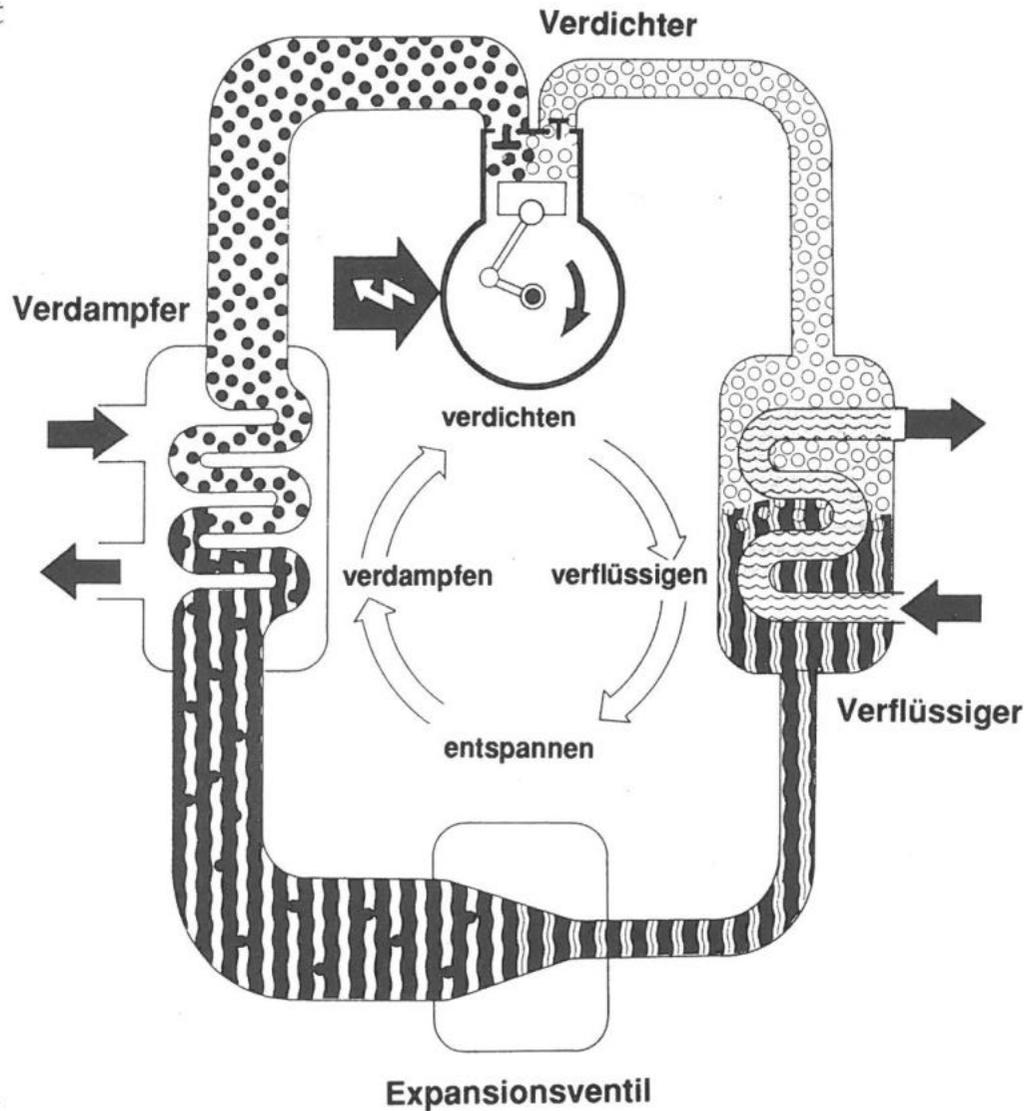


VERDAMPFEN

Im Verdampfer herrscht Unterdruck. Dadurch wird das flüssige Arbeitsmittel zum Sieden und Verdampfen gezwungen. Die dazu notwendige Verdampfungswärme wird der Umgebung entzogen.

ENTSPANNEN

Nach dem Expansionsventil ist der Druck kleiner; das flüssige Arbeitsmittel kann sich entspannen und beginnt zu verdampfen. Die Verdampfungswärme wird dem Arbeitsmittel entzogen.



VERDICHTEN

Der Dampf des Arbeitsmittels wird vom Kompressor stetig angesaugt und zusammengepresst. Die entstehende Kompressionswärme wird an die Umgebung abgegeben.

VERFLÜSSIGER

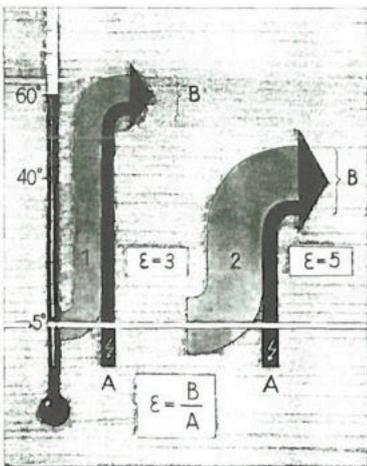
Der Dampf kühlt sich ab und wird flüssig. Auch die frei werdende Verflüssigungswärme wird zum grossen Teil an die Umgebung abgegeben.



Was ist eine Wärmepumpe?

Unter einer Wärmepumpe ist eine technische Einrichtung zu verstehen, die an und für sich brachliegende Wärme mit niedriger Temperatur (vorwiegend Umweltwärme) aufnimmt und sie mit Hilfe hochwertiger Energie (Elektrizität, Öl, Gas) bei höherer Temperatur wieder abgibt.

- 1 Wärmequelle Luft
- 2 Wärmequelle Erdreich
- 3 Wärmequelle Grundwasser oder Oberflächengewässer
- 4 Wärmepumpe, bestehend aus Verdichterantrieb (Motor), Verdichter, Verflüssiger, Expansionsventil und Verdampfer
- 5 Wärmeabgabe (Heizung)

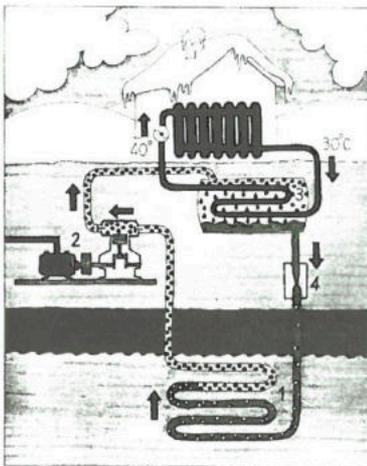


Leistungszahl ε

Die Leistungszahl ϵ errechnet sich aus der am Verflüssiger abgegebenen Heizleistung B (Wärmestrom), dividiert durch die vom Elektromotor aufgenommene elektrische Leistung A.

Die Leistungszahl ϵ ist umso **größer**, je **kleiner** die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und beispielsweise dem Vorlauf einer Warmwasserheizung ist.

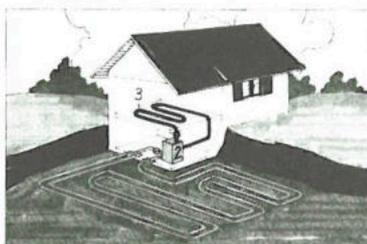
- 1 In diesem Beispiel beträgt die Temperaturdifferenz 55°C. Mit einem Teil Fremdenergie können **zwei Teile** an Umweltenergie «geschöpft» werden.
- 2 Hier beträgt die Temperaturdifferenz nur 35°C. Mit einem Teil Fremdenergie können **vier Teile** an Umweltenergie «geschöpft» werden.



Wasser/Wasser-Wärmepumpe

Das erste Wort bezeichnet das Medium, dem der Verdampfer die Wärme entnimmt; das zweite das Medium, an die der Verflüssiger die Wärme abgibt.

- 1 Verdampfer (Wärmeaufnahme). Wärmequelle: Grundwasser
- 2 Verdichter mit Elektromotor als Antrieb
- 3 Verflüssiger (Wärmeabgabe). Wärmeverteilmedium: Heizungswasser. Das Heizungsrücklaufwasser tritt mit einer Temperatur von 30°C in den Verflüssiger, wird in diesem um 10°C erwärmt und fließt mit einer Temperatur von 40°C im Heizungsvorlauf zum Heizkörper. In diesem wird die Wärme abgegeben. Dadurch kühlt sich das Heizungswasser wieder auf 30°C ab. Eine Umwälzpumpe hält diesen Kreislauf aufrecht.
- 4 Expansionsventil.

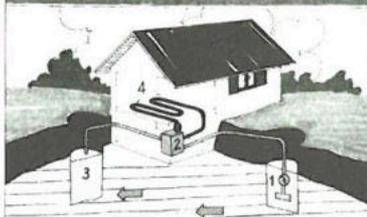


Wärmequellen der Wasser/Wasser-Wärmepumpe

Wärmequelle Erdreich (oben)

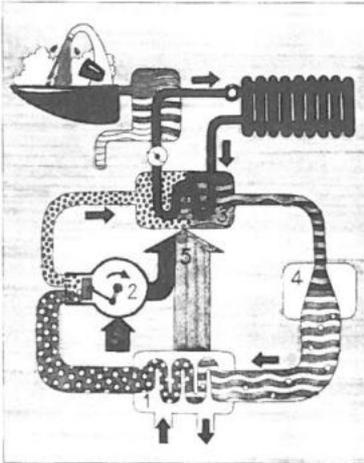
Dem Erdreich wird Wärme mit einem frostgeschützten Wasserkreislauf entzogen.

- 1 Erdreichregister (nötige Erdreichfläche: ca. das 2- bis 3fache der zu beheizenden Fläche). Die Rohrschlangen werden in einer Tiefe von ungefähr 1–1,5 m verlegt.
- 2 Wärmepumpe.
- 3 Fußbodenheizung.



Wärmequelle Grundwasser (unten)

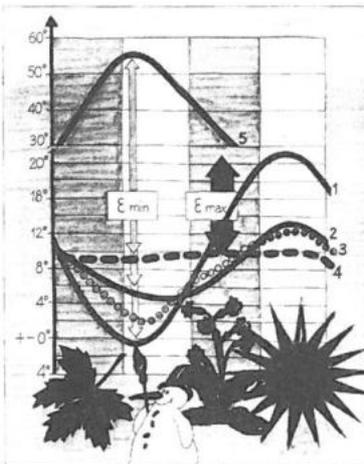
- 1 Grundwasserfassung
- 2 Wärmepumpe
- 3 Sickerbrunnen (Wasserrückgabe)
- 4 Fußbodenheizung



Arbeitsweise der Wärmepumpe

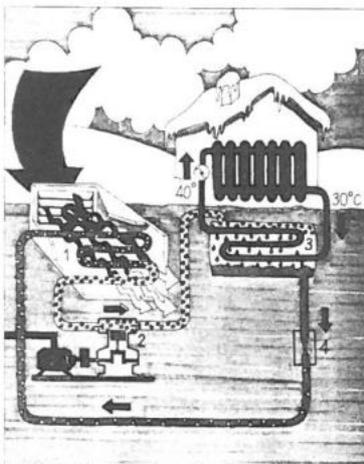
In der Wärmepumpe zirkuliert ein Arbeitsmittel, das die Wärme transportiert.

- 1 **Verdampfer:** Dem Verdampfer wird Wärme (vorwiegend Umweltwärme), die im entsprechenden Medium (Wasser oder Luft) enthalten ist, zugeführt. Durch Verdampfung des Arbeitsmittels wird diesem bei niedrigem Druck und niedriger Temperatur Wärme entzogen. Das nun abgekühlte Medium wird wieder in die Umwelt zurückgeführt.
- 2 **Verdichter:** Der im Verdampfer produzierte Arbeitsmitteldampf wird vom Verdichter angesaugt, auf hohen Druck und dadurch auf höhere Temperatur gebracht und in den Verflüssiger gepresst.
- 3 **Verflüssiger:** Dem Verflüssiger wird das kühlere Wärmeverteilmedium (Heizungsrücklaufwasser) zugeführt. An den Rohrwandungen desselben kondensiert (verflüssigt) der Arbeitsmitteldampf und erwärmt dadurch das Heizungswasser.
- 4 **Expansionsventil:** Das nun flüssige Arbeitsmittel gelangt über das Expansionsventil wieder zum Verdampfer. Das Expansionsventil dient zum Ausgleich des Druckunterschiedes.
- 5 Die Breite der Pfeile entspricht den Wärmemengen, die einerseits aus der Umwelt stammen und andererseits vom Verdichterantrieb herrühren.



Leistungszahl ϵ in Abhängigkeit des Temperaturverlaufes der Umweltwärmequelle und der Heizungsvorlauftemperatur

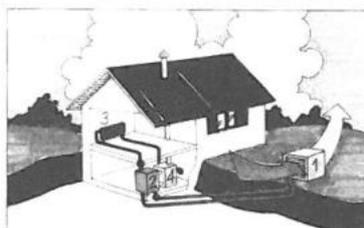
- 1 Mittlere Lufttemperatur
 - 2 Erdreichtemperatur in 1,5 m Tiefe
 - 3 Temperatur des Oberflächengewässers
 - 4 Temperatur des Grundwassers
 - 5 Temperatur des Heizungsvorlaufes
- ϵ_{min} . In der kältesten Jahreszeit weisen auch die Umweltwärmequellen tiefe Temperaturen auf. In dieser Zeit muss aber am stärksten geheizt werden, was hohe Heizungsvorlauftemperaturen erfordert. Die Temperaturdifferenz zwischen Umweltwärmequelle und Heizungs-vorlauf ist gross und damit die Leistungszahl ϵ minimal.
- ϵ_{max} . Hier ist das Gegenteil der Fall.



Luft/Wasser-Wärmepumpe

Das erste Wort bezeichnet das Medium, dem der Verdampfer die Wärme entnimmt; das zweite das Medium, an die der Verflüssiger die Wärme abgibt.

- 1 Verdampfer (Wärmeaufnahme). Wärmequelle: Luft
- 2 Verdichter mit Elektromotor als Antrieb
- 3 Verflüssiger (Wärmeabgabe). Wärmeverteilmedium: Heizungswasser. Das Heizungsrücklaufwasser tritt mit einer Temperatur von 30 °C in den Verflüssiger, wird in diesem um 10 °C erwärmt und fliesst mit einer Temperatur von 40 °C im Heizungsvorlauf zum Heizkörper. In diesem wird die Wärme abgegeben. Dadurch kühlt sich das Heizungswasser wieder auf 30 °C ab. Eine Umwälzpumpe hält diesen Kreislauf aufrecht.
- 4 Expansionsventil

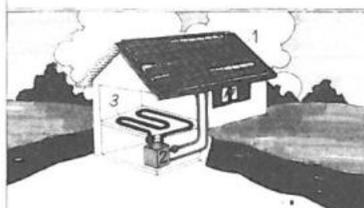


Bivalente Heizungsanlage (oben)

(Bivalent heisst zweiwertig)

Bis zu einer Aussentemperatur von ungefähr +3 °C deckt die Luft/Wasser-Wärmepumpe den Wärmebedarf. Bei tieferen Aussentemperaturen übernimmt ein mit Öl, Kohle, Gas oder Holz befeuerter Kessel die Heizabgabe.

- 1 Verdampfer
- 2 Wärmepumpe (ohne Verdampfer)
- 3 Heizkörper
- 4 Heizkessel für Öl, Kohle, Gas oder Holz



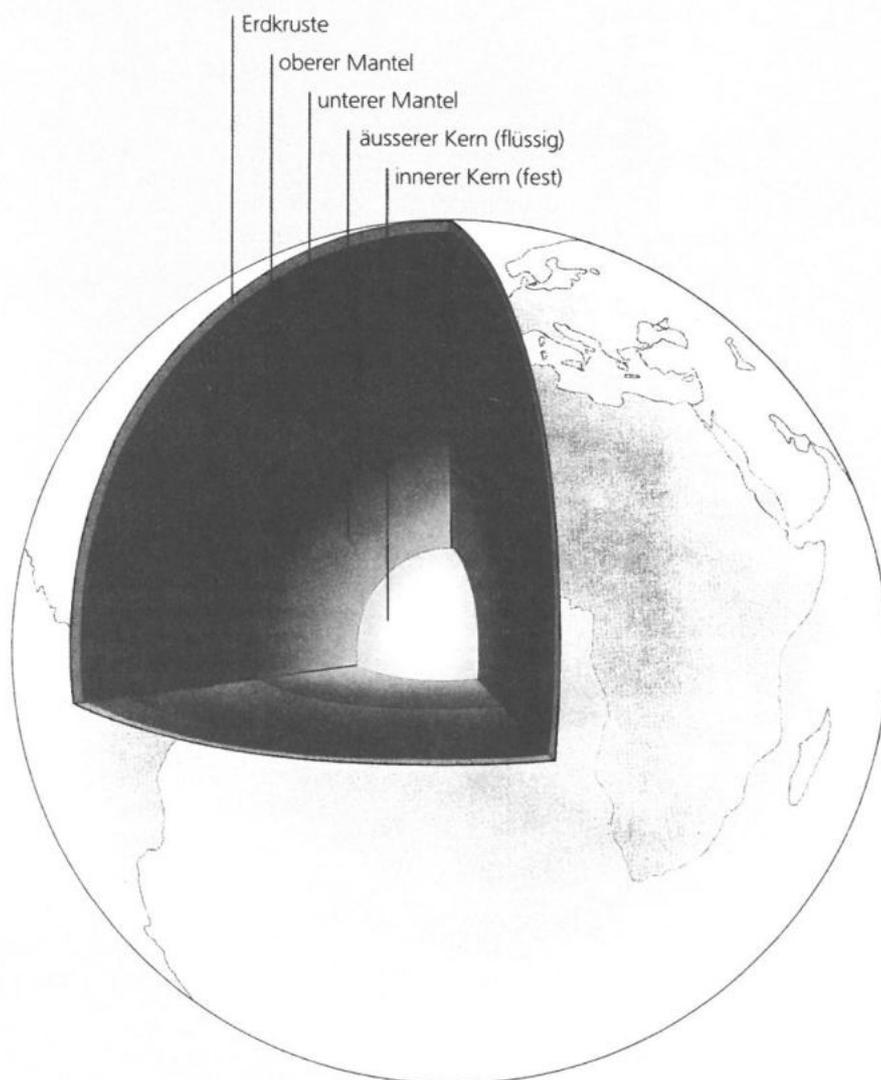
Energiedach (unten)

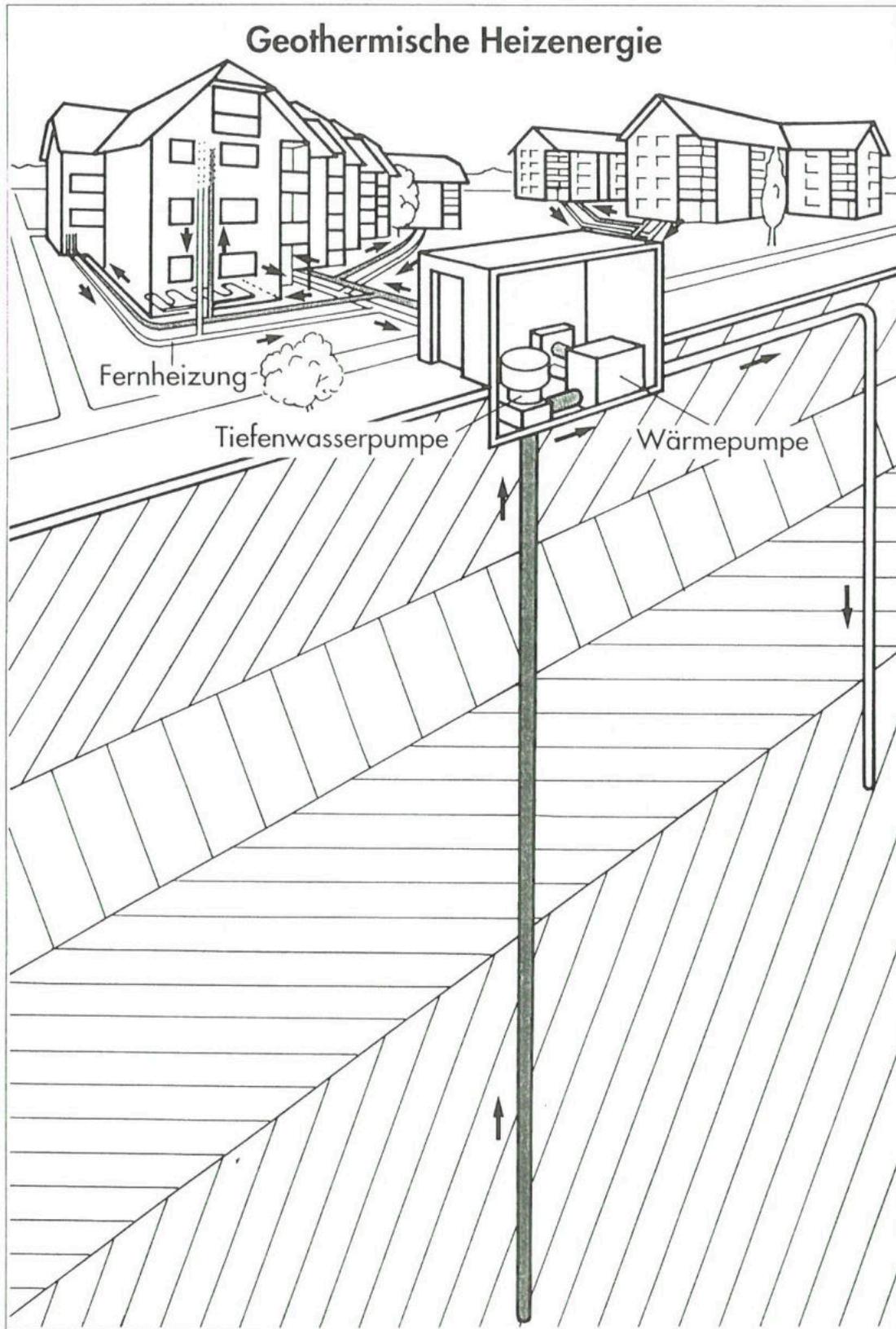
Auf dem Dach sind Wärmetauscherflächen montiert, die an einem frostgeschützten Wasserkreislauf angeschlossen sind. Dadurch kann bei sonnigem Wetter Sonnenenergie direkt genutzt werden. Das Energiedach ermöglicht, im Gegensatz zu den Sonnenkollektoren, eine Nutzung von Umweltwärme auch bei schlechtem Wetter. Die Wärmepumpe bewirkt eine Abkühlung der Wärmetauscherflächen unter die Aussentemperatur. Dadurch fliesst ihnen laufend neue Umweltwärme zu.

- 1 Energiedach / Sonnenkollektoren
- 2 Wärmepumpe
- 3 Fussbodenheizung

Geothermische Energie

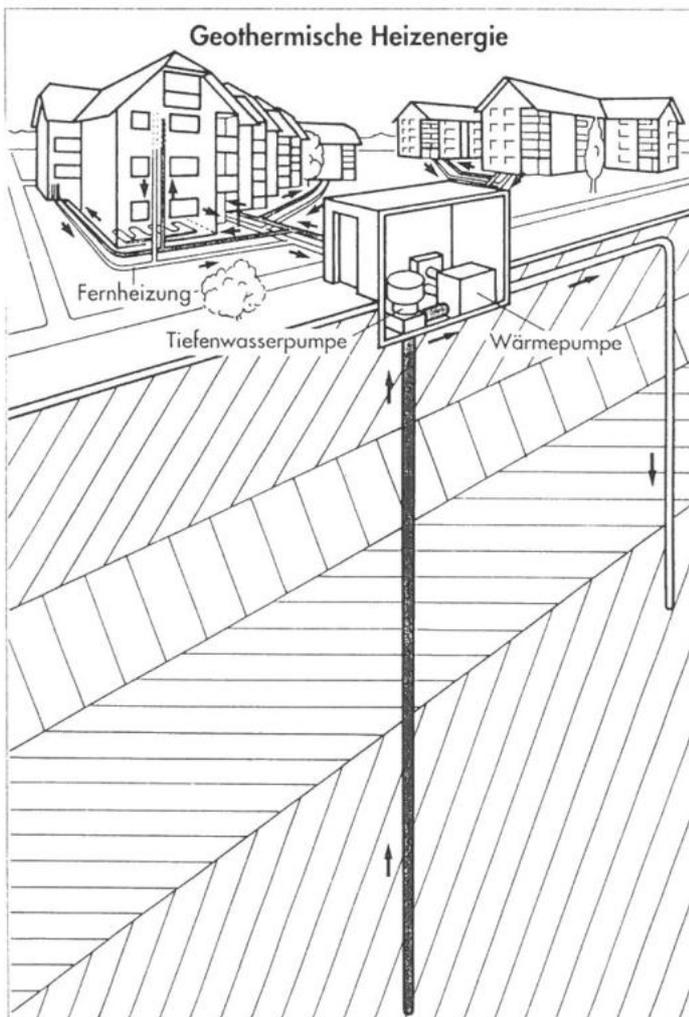
Das Erdinnere, ein natürlicher Wärmespender





Weniger beachtet als die Wind- und Sonnenenergie ist die geothermische Energie. Sie nutzt das Wärmepotential des Erdinnern dort, wo dieses Potential so gross ist, dass sich seine Ausbeutung lohnt.

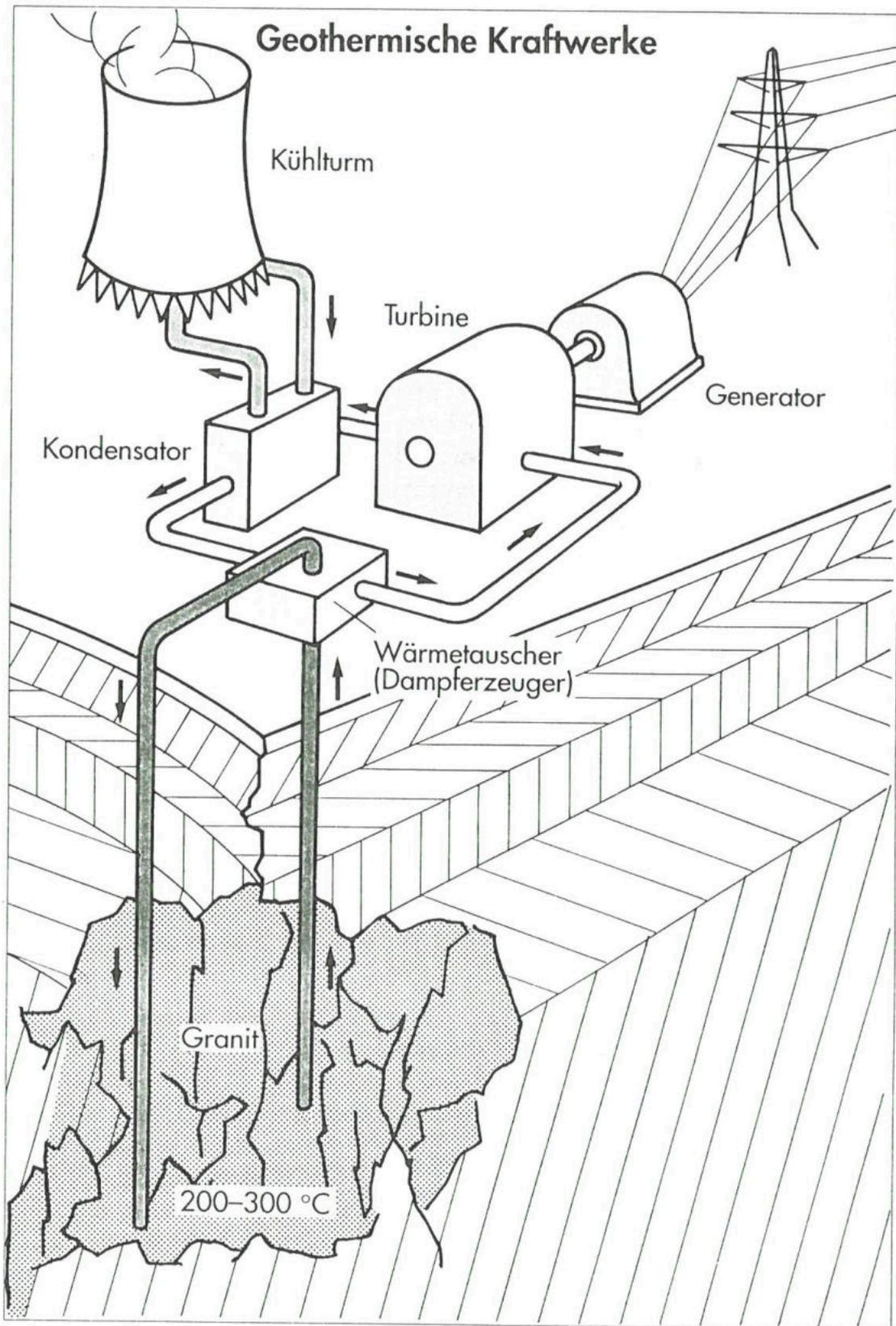
Im Innern unserer Erde findet ein andauernder Zerfall von radioaktiven Elementen statt. Dabei entsteht viel Wärme. Darum besteht der äussere Teil des Erdkerns aus einer flüssigen Masse (Magma) mit einer Temperatur von etwa 4000 °C. Dies ist der Grund, warum die Temperatur immer höher wird, je weiter man von der Erdoberfläche ins Erdinnere vordringt. Dieser Temperaturanstieg beträgt im allgemeinen etwa 3 °C pro 100 m. In einigen Gebieten der Erde tritt jedoch das heisse flüssige Gestein so nahe an die Erdoberfläche, dass bereits in geringen Tiefen sehr hohe Temperaturen gemessen werden können. Von der Erdwärme begünstigt sind jene Regionen, in denen die gewaltigen "Platten" unserer Kontinente und Ozeane aneinanderstossen. In diesen besonders von Erdbeben bedrohten Grenzzonen ist die Erdkruste sehr dünn. Solche Stellen zeichnen sich durch das Auftreten von Vulkanen, Geysiren oder zahlreichen Heisswasserquellen aus. In diesen Gegenden wird die geothermische Energie seit langer Zeit genutzt, sei es durch die Errichtung von Thermalbädern oder zur Beheizung von Häusern.



Geothermische Heizenergie

Die Erdwärme kann aber zu Heizzwecken oder zur Warmwassererzeugung genutzt werden. Warme Gesteinsschichten, die sich in relativ geringen Tiefen befinden, sind auch bei uns ziemlich weit verbreitet. Bei der sog. **untiefen Geothermie**, die sich beinahe überall nutzen lässt, holt man mit Doppelrohren (Erdsonden) Wärme aus Tiefen von 50 - 100 m: Durch das Innenrohr leitet man Wasser, das sich beim Aufsteigen im Aussenrohr erwärmt. Mit Hilfe einer Wärmepumpe wird dessen Temperatur auf das benötigte Heizniveau angehoben. Bei der **tiefen Geothermie** erlauben es Bohrungen von einigen hundert Metern bis zu einigen Kilometern Tiefe, die Wärme des in durchlässigen Schichten und Klüften vorhandenen Wassers zu nutzen. Bei ungenügender Temperatur des geförderten Wassers kann ebenfalls eine Wärmepumpe zugeschaltet werden.

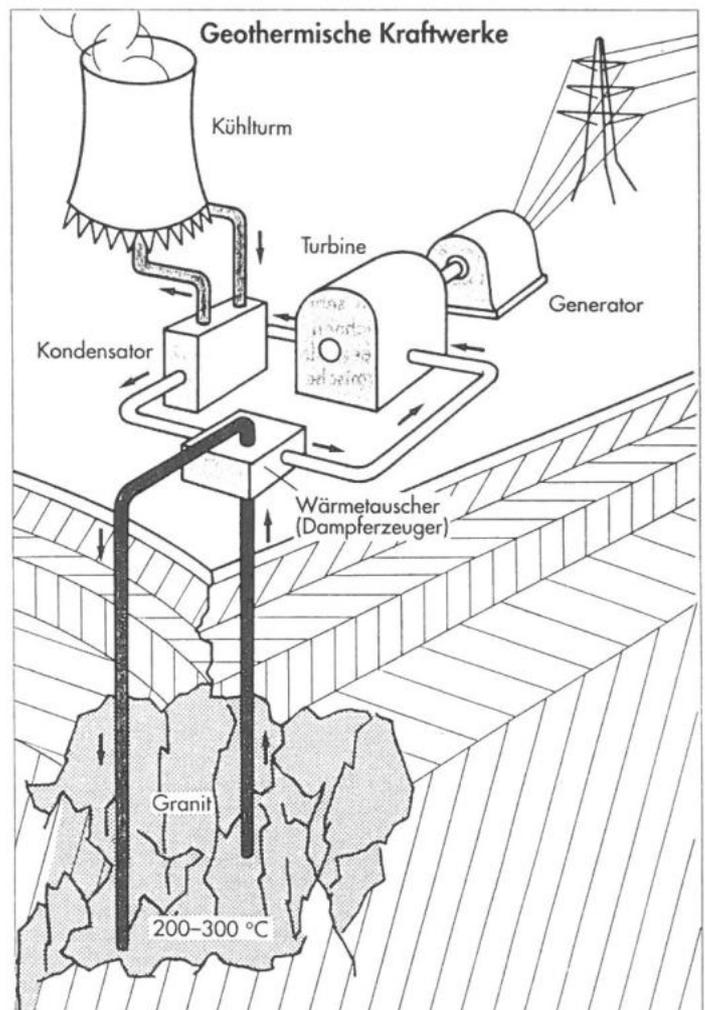
Ist das Wasser salzhaltig, muss es nach der Nutzung durch eine zweite, genügend weit entfernte Bohrung wieder in die Gesteinsschicht zurückgeführt werden. Rund ein Drittel der Schweizer Bevölkerung wohnt in Gegenden, die für eine Nutzung der tiefen Geothermie geeignet wären. Diese dicht besiedelten Gebiete liegen bei Basel, südlich des Juras von Genf bis Zürich, am Bodensee, im Rhonetal unterhalb Brig und im Rheintal zwischen Chur und Altstätten.



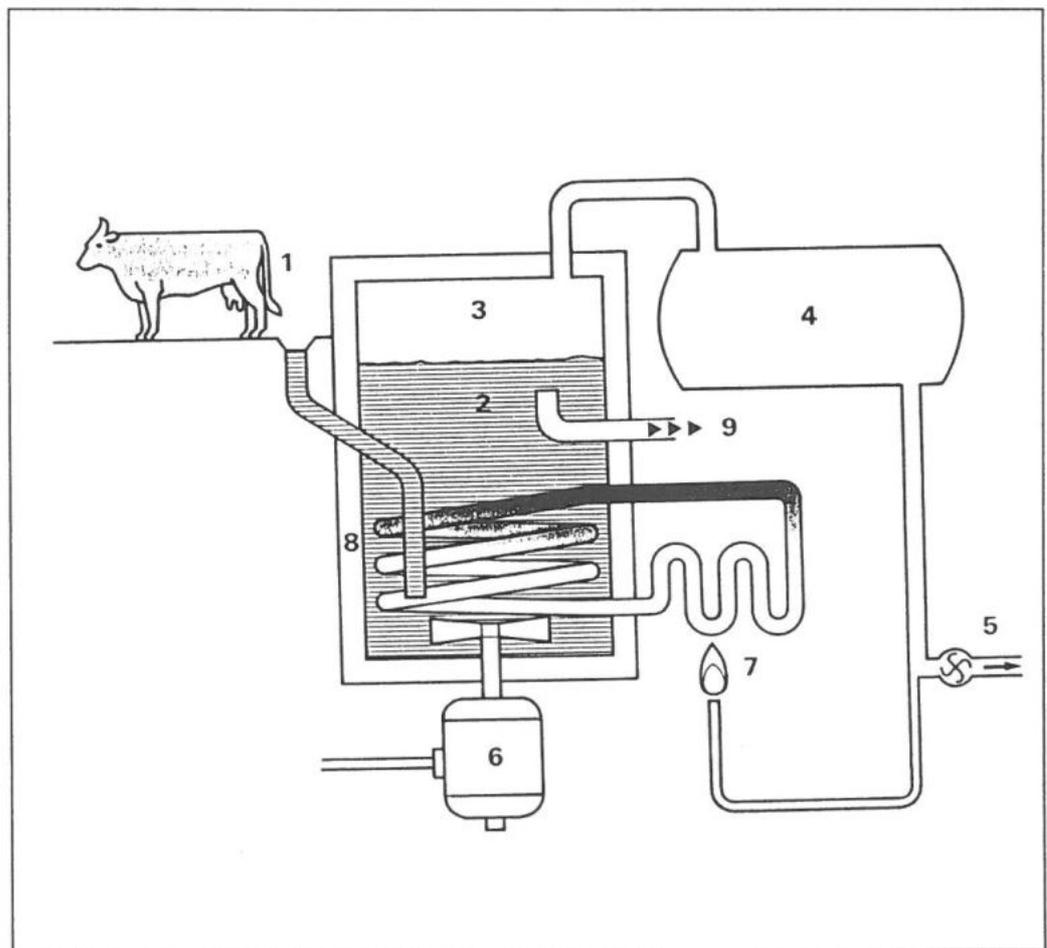
Geothermische Kraftwerke

An einigen Stellen der Erde sind bereits Kraftwerke gebaut worden, die den aus der Tiefe austretenden Wasserdampf ausnutzen. Das älteste Kraftwerk dieser Art steht bei Lardello in der Toscana. Über 500 Bohrungen führen dort auf einer Fläche von etwa 250 km² in eine Tiefe von etwa 1000 m. Rund 200 davon liefern Dampf mit einer Temperatur von 240 °C, der auf die Turbinen des Kraftwerkes geführt wird, dessen Leistung 400MW beträgt. Das bis heute grösste und erfolgreichste geothermische Projekt der Welt, "The Geysers", liegt in Kalifornien, etwa 150 km nördlich von San Francisco. In dieser Stromerzeugungsanlage mit einer Kapazität von rund 2000 MW liefern etwa 250 geothermische Quellen den Dampf, um die Dampfturbinen zu treiben. Diese Kapazität reicht etwa aus, um eine Grossstadt wie San Francisco zusammen mit dem benachbarten Oakland mit Strom zu versorgen. Ein anderes, zunehmend stärker erschlossenes Feld liegt in Südkalifornien, im fruchtbaren "Imperial Valley", 150 km östlich von San Diego, direkt am Ufer der Salton Sea. Hier machte die Erschliessung der Geothermischen Quellen extreme Schwierigkeiten, weil der aus etwa 5000 m Tiefe strömende Wasserdampf mit äusserst aggressiven, salzhaltigen Stoffen durchsetzt ist, die durch Korrosion und Ablagerungen in den Rohren und Anlagen die Ingenieure fast zur Verzweiflung brachten. In jahrelanger Forschung gelang es, dieser Probleme durch die Entwicklung neuer Technologien Herr zu werden. Auch diese Energieanlagen haben mittlerweile eine Kapazität von etwa 2000 MW erreicht.

Der Bau solcher Kraftwerke ist jedoch nicht an vielen Orten möglich, denn nur selten treten Magmavorkommen in geringer Tiefe, verbunden mit genügend Wasservorkommen zur Dampfbildung auf. Es werden deshalb Versuche unternommen, auch an Orten mit fehlendem Tiefenwasser elektrischen Strom aus geothermischer Energie zu erzeugen. Zwei Bohrungen werden so tief vorangetrieben, bis die Gesteinstemperatur 200 bis 300°C beträgt. Dann wird durch die tieferliegende Bohrung kaltes Wasser eingepresst. Dadurch wird das umliegende Gestein gesprengt und das erhitze Wasser kann durch die andere, etwas weniger tiefe Bohrung zur Erdoberfläche zurückgeführt werden. In einem Wärmeaustauscher wird der Dampf für den Betrieb der Turbinen erzeugt. Mit diesem "Hot-Dry-Rock" genannten Verfahren laufen erfolversprechende Versuche in den USA und in England.



Biogasanlage



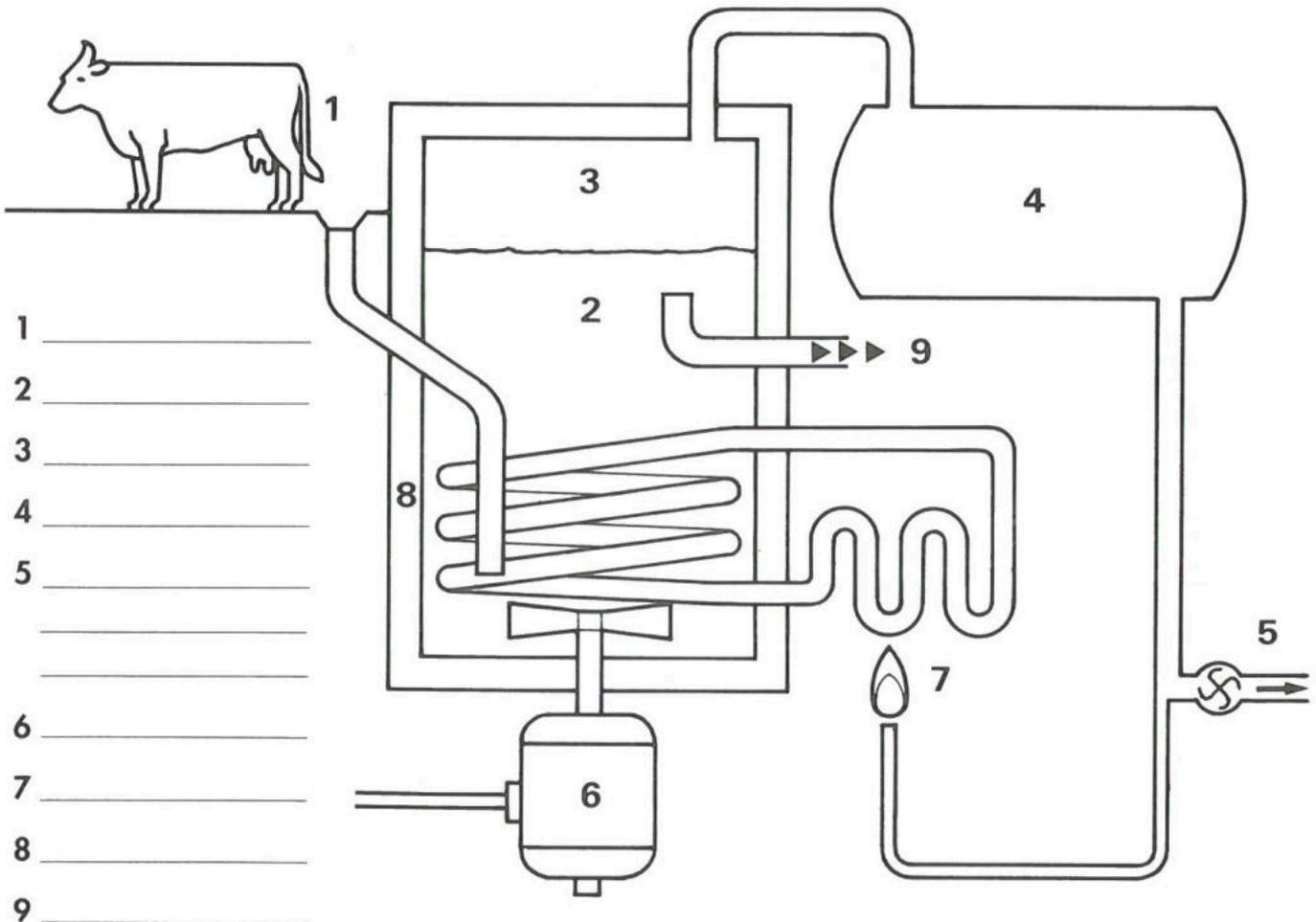
Um eine Biogasanlage in der Landwirtschaft wirtschaftlich betreiben zu können, braucht es eine Mindestmenge von Biomasse:

Ein Rührwerk mischt die Jauche, und eine Heizung führt die nötige Prozesswärme zu. Welche Voraussetzungen ermöglichen eine Biogasproduktion und eine gute Energieausbeute ?

Was geschieht mit dem entstehenden Biogas ?

Die beste Ausnützung erreicht man, wenn gleichzeitig Strom und Wärme produziert werden. Wie nennt man solche Anlagen ?

Wegen der benötigten Prozesswärme produzieren die Biogasanlagen am meisten Energie im _____, was sich leider negativ auf die Kosten-Nutzen-Rechnung auswirkt. Würden alle landwirtschaftlichen Betriebe mit mehr als 25 Grossvieheinheiten mit Biogasanlagen ausgerüstet, würden sie ___ % des Energiebedarfs der Landwirtschaft decken.



Um eine Biogasanlage in der Landwirtschaft wirtschaftlich betreiben zu können, braucht es eine Mindestmenge von Biomasse:

Diese Mindestmenge ist z.B. die Fäkalienmenge von mindestens 25 Grossvieheinheiten, z. B. von Pferden, Kühen oder entsprechend mehr Schweinen.

Ein Rührwerk mischt die Jauche, und eine Heizung führt die nötige Prozesswärme zu. Welche Voraussetzungen ermöglichen eine Biogasproduktion und eine gute Energieausbeute?

Das Biogas wird am besten bei einer Prozesswärme von etwa 35 °C gebildet. Der Gärtank muss gut isoliert werden (möglichst kleiner Wärmeverlust).

Was geschieht mit dem entstehenden Biogas?

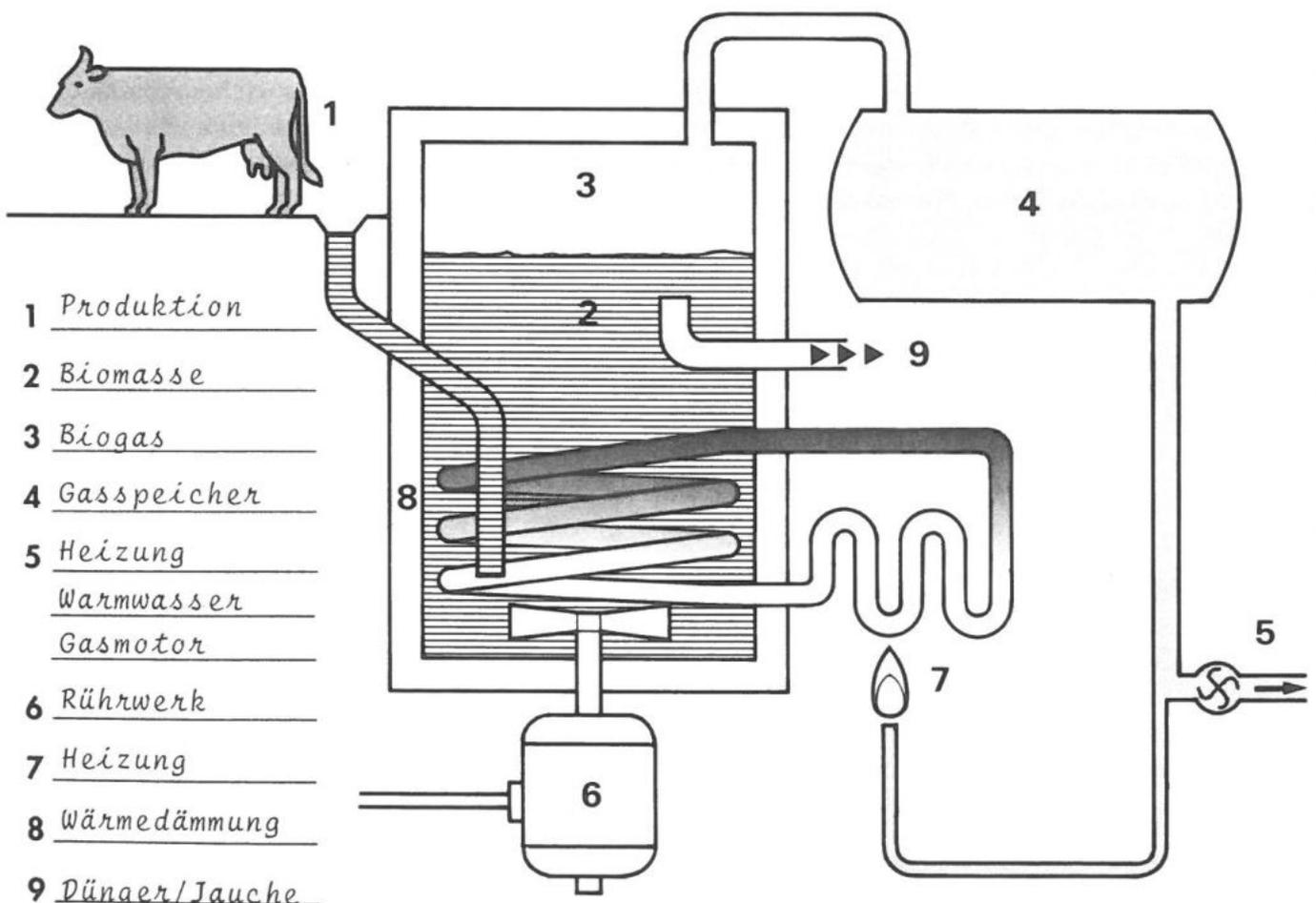
Das Gas wird in einem Gasspeicher aufgefangen und je nach Bedarf den Verbrauchern wie Gasmotor mit Generator, der Heizung oder dem Boiler zugeführt.

Die beste Ausnützung erreicht man, wenn gleichzeitig Strom und Wärme produziert werden. Wie nennt man solche Anlagen?

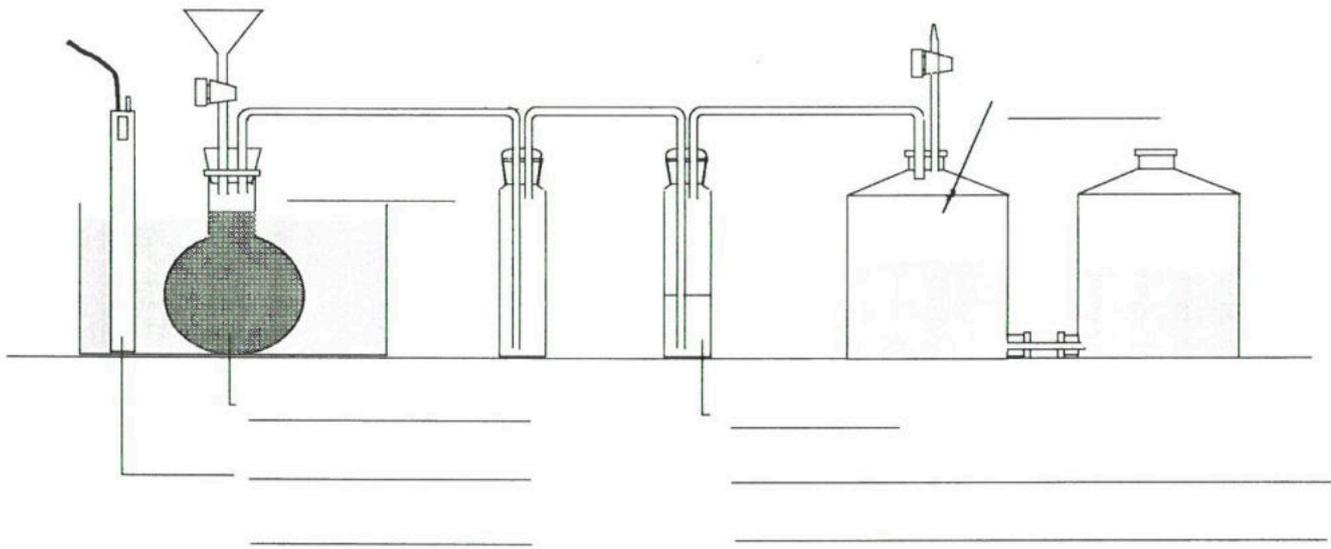
Solche Anlagen nennt man Wärmekraftkoppelungsanlagen (WKK - Anlagen).

Wegen der benötigten Prozesswärme produzieren die Biogasanlagen am meisten Energie im Sommer, was sich leider negativ auf die Kosten-Nutzen-Rechnung auswirkt.

Würden alle landwirtschaftlichen Betriebe mit mehr als 25 Grossvieheinheiten mit Biogasanlagen ausgerüstet, würden sie 10 % des Energiebedarfs der Landwirtschaft decken.



Biogas-Anlage mit Klärschlamm



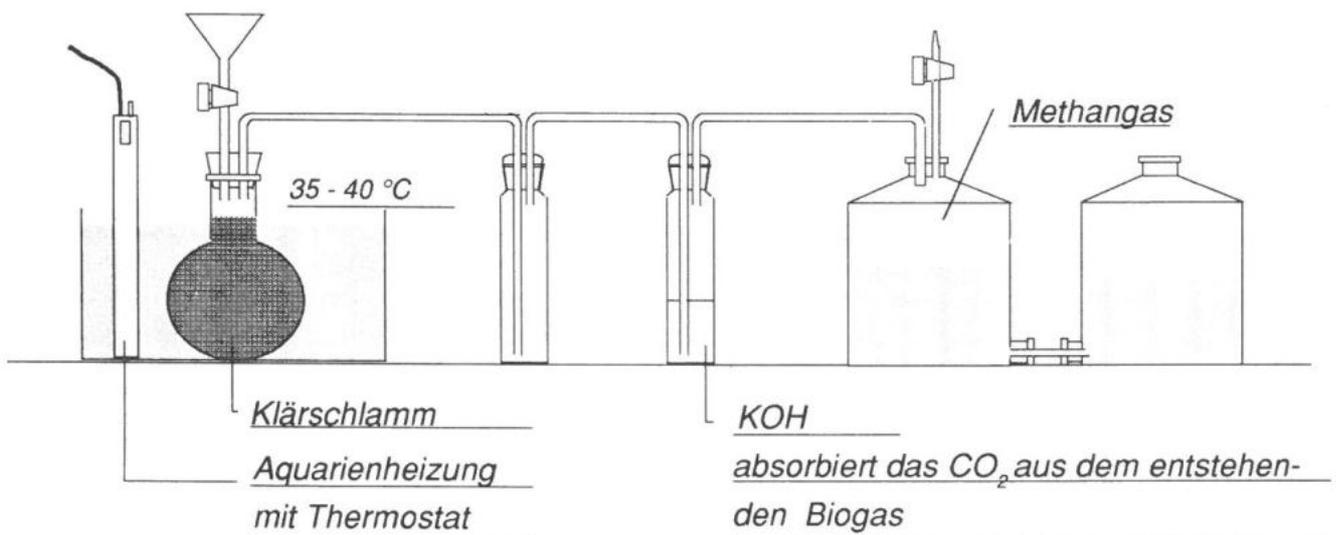
Versuchsanleitung:

Wir bauen obige Versuchsanlage auf und besorgen uns etwa 1 Liter Klärschlamm von der nächstgelegenen Kläranlage. Der Klärschlamm wird im Faulraum der Kläranlage auf einer Temperatur von 35 °C bis 40 °C gehalten, damit sich die für den Faulprozess notwendigen Bakterien gut entwickeln können. Diese Tatsache müssen wir auch für den Transport berücksichtigen. Temperaturstürze von wenigen Graden können sich sehr negativ auf die Kleinlebewesen im Klärschlamm und damit auf den Erfolg unseres Experimentes auswirken. Für den Transport eignen sich Picknick-Kühlboxen oder andere Isolierbehälter. Als "Futter" für diese Bakterien verwenden wir Frischschlamm, wie er zur Verarbeitung in der Kläranlage anfällt.

Den Klärschlamm geben wir in einen Glaskolben, der in einem Wasserbad 35-40°C warm gehalten wird (Mit Aquarienneheizung). Jeden Tag geben wir etwa 50 cm³ Frisch-Schlamm zu und mischen den Kolbeninhalt durch kräftiges Schütteln. Damit wir den Faulprozess im Dunkeln ablaufen lassen können, stellen wir die Glaswanne mit dem Warmwasserbad in eine wärmeisolierte Kartonschachtel. Jetzt lassen wir die Anlage einige Tage stehen und beobachten die Entwicklung.

Beobachtungen: _____

Biogas-Anlage mit Klärschlamm

**Versuchsanleitung:**

Wir bauen obige Versuchsanlage auf und besorgen uns etwa 1 Liter Klärschlamm von der nächstgelegenen Kläranlage. Der Klärschlamm wird im Faulraum der Kläranlage auf einer Temperatur von 35 °C bis 40 °C gehalten, damit sich die für den Faulprozess notwendigen Bakterien gut entwickeln können. Diese Tatsache müssen wir auch für den Transport berücksichtigen. Temperaturstürze von wenigen Graden können sich sehr negativ auf die Kleinlebewesen im Klärschlamm und damit auf den Erfolg unseres Experimentes auswirken. Für den Transport eignen sich Picknick-Kühlboxen oder andere Isolierbehälter. Als "Futter" für diese Bakterien verwenden wir Frischschlamm, wie er zur Verarbeitung in der Kläranlage anfällt.

Den Klärschlamm geben wir in einen Glaskolben, der in einem Wasserbad 35-40°C warm gehalten wird (Mit Aquariumheizung). Jeden Tag geben wir etwa 50 cm³ Frisch-Schlamm zu und mischen den Kolbeninhalt durch kräftiges Schütteln. Damit wir den Faulprozess im Dunkeln ablaufen lassen können, stellen wir die Glaswanne mit dem Warmwasserbad in eine wärmeisolierte Kartonschachtel. Jetzt lassen wir die Anlage einige Tage stehen und beobachten die Entwicklung.

- Beobachtungen:
1. Nach einigen Minuten setzt im Klärschlamm eine Gasentwicklung ein. Das Gas kann im Glasbehälter (Gasometer) aufgefangen werden.
 2. Das entstehende Gas ist brennbar und brennt mit leicht bläulicher Farbe.
 3. Von 50 cm³ Frisch-Schlamm kann bis 1/2 Liter Gas gewonnen werden.

