

Modellversuch A 5683

Umweltschutz als Erziehungsaufgabe

Unterrichtseinheit Nr. 14

Sonnendusche und Wärmepumpe

Diese Unterrichtseinheit ist geeignet für den Unterricht im Fach Polytechnik/Arbeitslehre in den Stufen 9 und 10 aller allgemeinbildenden Schulen

Autoren: Richard George  
Detlef Meinecke  
Dr. Lutz Stäudel

Grafik: Richard George

Alle Rechte bei: Hessischer Kultusminister und Bundesminister  
für Bildung und Wissenschaft

Baunatal, Dezember 1979

**- ERPROBUNGSFASSUNG -**

<u>Inhaltsübersicht</u>	<u>Seite</u>
Vorwort .....	3
WP/SD I. Problemfindungsphase .....	12
WP       Wärmepumpe .....	21
WP II.   Planungs- und Konstruktionsphase .....	21
WP III.   Messungen an der Wärmepumpe .....	36
SD        Sonnendusche (Sonnenkollektor) .....	42
SD II.    Planungs- und Konstruktionsphase .....	42
SD III.   Experimente mit dem selbstgebauten Sonnenkollektor .....	67
WP/SD IV. Auswertungsphase .....	69
Energie-Rollenspiel .....	70
Personenübersicht f.d. Rollenspiel .....	72
Literaturhinweise .....	79
Anhang .....	83

## Vorwort

Die Unterrichtseinheit "Sonnendusche und Wärmepumpe" wurde als Projekt im Frühjahr 1978 gemeinsam von den Autoren und einer Schülergruppe des 10. Schuljahres im Wahlpflichtbereich Ökologie an der Theodor-Heuss-Schule in Baunatal 1 (Integrierte Gesamtschule) durchgeführt.

Die hier vorliegenden Materialien stellen das Ergebnis einer didaktisch-methodischen Überarbeitung und Ergänzung der damals stattgefundenen Unterrichtssituationen und -strukturen dar.

Die Unterrichtseinheit verbindet physikalisch-technische Aspekte und handwerkliches Arbeiten; sie versteht sich als einen Beitrag zu den Problemen der umweltfreundlichen Energiegewinnung; sie greift darüberhinaus Themen auf, die den Bereichen Physik, Ökologie, Gesellschaftslehre und Polytechnik/Arbeitslehre zuzuordnen sind. Als (unter Umständen projektartig durchzuführende) Unterrichtseinheit ist sie besonders für die Anforderungen des Bereichs Polytechnik/Arbeitslehre ausgelegt, und zwar für die Klassenstufen 9 oder 10 der allgemeinbildenden Schulen.

### Gründe für die Behandlung der Thematik:

Seit dem Erdölförderstop der arabischen Staaten und der Diskussion ökologischer Fragen in populärwissenschaftlichen Büchern wie "Grenzen des Wachstums" haben Fragen von zukünftiger Energieversorgung und möglicher Energieeinsparung eine breite Öffentlichkeit erreicht. Die Schule hat u.E. die Pflicht, die heutigen Schüler und zukünftigen erwachsenen Bürger über diese Sachverhalte und ihren Stellenwert so zu informieren, daß sie zu einer differenzierten Einstellung und Beurteilung der Probleme gelangen können. Nun ist bekannt, daß die Behandlung radioaktiver Zerfallsreihen nicht gleichzusetzen ist mit der Förderung des Verständnisses der Kerntechnik, die Kenntnis der Funktionsweise eines Kernreaktors ist noch nicht dasselbe wie die Einsicht in gesellschaftliche, politische und ökonomische Zusammenhänge staatlicher und privatwirtschaftlicher Kernenergiepolitik. Gleiches gilt für den Bereich "alternative Energieproduktion"; auch hier stellt die Kenntnis nicht-konventioneller Verfahren (Solartechnik, Wärmerückgewinnung usw.) nur eine notwendige Voraussetzung für die Herausbildung eines argu-

mentativ differenzierten Standpunkts dar. Welches sind nun die Komponenten, die zu der naturwissenschaftlichen Behandlung der Thematik hinzu kommen müssen?

Unserer Meinung und Erfahrung nach ist dies einmal die Einbindung und der Rückbezug auf den gesellschaftlichen Hintergrund, zum anderen die aktive technisch-experimentelle und konstruktive Bearbeitung des Themas. "Begreifen" hat zu tun mit "greifen".

Praktische, konstruktive Arbeit hat hier nicht nur die Bedeutung, neben kognitiven Fähigkeiten auch andere, z.B. handwerkliche, zu fördern. Sie kann auch das Vertrauen in die eigene Urteilsfähigkeit stärken, im Zusammenhang mit Fragen des Energiehaushalts Technikfeindlichkeit abbauen und blindes Vertrauen oder Mißtrauen gegenüber den sog. Experten in differenzierte Auseinandersetzung umwandeln helfen.

Unter dem Aspekt der Realisierung unter den Bedingungen des schulischen Unterrichts bieten sich die Technologien "Sonnenkollektor" und "Wärmepumpe" als leicht zugänglich an, und zwar sowohl hinsichtlich des Arbeitsaufwandes als auch des Materialbedarfs und der Kosten.

Zur Erreichung der oben erwähnten Ziele ist es schließlich wichtig, daß man beim Bau entsprechender Versuchsapparaturen nicht stehen bleibt. Um die Reichweite und die Grenzen dieser alternativen Technologien beurteilen zu können, müssen die Anlagen funktionsfähig sein und zu Vergleichsuntersuchungen herangezogen werden.

#### Zum Sonnenkollektor:

Von den beiden heute verwendeten Solartechniken

- der Erzeugung von warmem Wasser für Heizzwecke mittels Kollektoren und
- der direkten Umwandlung von Sonnenenergie zu elektrischer Energie in Solarzellen

fällt die letztgenannte Technologie aus dem Rahmen der schulischen Möglichkeiten des Eigenbaus heraus: Die dazu notwendigen Siliziumzellen können weder selbst hergestellt noch einfach verarbeitet werden. Demonstrationsversuche mit käuflichen Zellen sind jedoch seit Jahren im Physikunterricht üblich (lichtelektrischer Effekt).

Die Kollektortechnik wird andererseits heute bereits im größeren Umfang angewandt, die Tendenz der Verbreitung ist deutlich expansiv. Ihr Anwendungsgebiet liegt vorzugsweise in der Gebäudeheizung, wodurch ein dezentraler Einsatz von kleineren Einheiten begünstigt wird. Da der Hauptanteil des privaten Energieverbrauchs im Heizungsbereich liegt, kann gerade im Rahmen des Wohnungsbaus mit verstärkter Nutzung der Sonnenwärme gerechnet werden.

Auch bezüglich der Investitionskosten und des Energiebedarfs zur Herstellung von Kollektorteilen zeichnet sich diese Technik durch Sparsamkeit aus. Der Bedarf an konventioneller Energie zum Betreiben der Anlage betrifft nur die Pumpvorrichtungen; kann außerdem durch Verwendung moderner Steuerungs- und Regelverfahren weiter vermindert werden.

Allerdings reicht in unseren Breiten eine Kollektoranlage alleine nicht für die Heizung von Wohnungen aus. Neben einer konventionellen Zusatzheizung bietet sich eine Wärmepumpe als günstige Kombinationsmöglichkeit an.

#### Zur Wärmepumpe:

Wärmepumpen stellen nicht nur eine geeignete Ergänzung für Sonnenkollektoren dar. Damit kann z.B. einmal erwärmtem Brauchwasser nach Benutzung ein Teil der Wärme entzogen und zur erneuten Warmwasserbereitung eingesetzt werden (z.B. Spül- oder Duschwasser). Auch im Zusammenhang mit industrieller Abwärme niedrigerer Temperatur ist ein Einsatz sinnvoll (Schlachthöfe, wassergekühlte Maschinen, Prozeßwärme usw.). Nur ein vergleichsweise geringer Aufwand von zusätzlicher Energie in Form von Elektrizität oder fossilen Energieträgern (Kohle, Öl, Erdgas) ist nötig, um die Wärmepumpe zu betreiben. Der damit angetriebene Kompressor bewirkt einen "Kühlmittelkreislauf" und dadurch den Wärmetransport.

Für die Wohnhausbeheizung kommt darüberhinaus auch der Wärmeentzug aus dem Erdboden, dem Grundwasser, fließenden Gewässern oder der Luft in Frage (wobei die ökologischen Probleme durch Boden- oder Wasserabkühlung jedoch nicht zu vernachlässigen sind!).

Im Unterricht bietet sich die Beschäftigung mit der Wärmepumpe besonders deshalb an, da dazu ein fertiges Kühlaggregat aus einem Kühlschrank benutzt

werden kann. Damit wird die Anwendung einer bereits jahrzehnte gebräuchlichen Technologie vom Zweck her umgekehrt, wodurch der Zugang zu den Wirkungsprinzipien wesentlich erleichtert wird.

Zum Aufbau und Inhalt der Unterrichtseinheit:

Die vorliegende Unterrichtseinheit besteht aus den beiden relativ unabhängigen Teileinheiten

"Sonnendusche" (Sonnenkollektor)

und

"Wärmepumpe".

Die beiden Teile können sowohl einzeln als auch gemeinsam (parallel oder nacheinander) behandelt werden.

Die didaktischen Vorbemerkungen beziehen sich auf beide Teile.

Ebenso kann die später ausgeführte Problemfindungsphase zum Ausgangspunkt für eine oder beide Teileinheit(en) werden.

Wichtig erscheint, unabhängig von der von Lehrer und Lerngruppe getroffenen Wahl, daß die praktische Arbeit eingebunden bleibt in ihren gesellschaftlichen Zusammenhang von Energieumwandlung, -gewinnung, -bedarf, -reserven und Energiepolitik. Erfahrungsgemäß wird die Aktualität möglicher Unterrichtsmaterialien (Texte aus verschiedenen Quellen) schnell überholt. Die hier, besonders im Anhang, beigefügten Beispiele verstehen sich daher tatsächlich als Beispiele, die entsprechend den inzwischen eingetretenen Veränderungen von Technologie, öffentlicher Meinung und politischen Programmen ersetzt und vor dem konkreten Hintergrund der Voraussetzungen der betroffenen Klasse ausgewählt werden müssen.

Thematisch gehört auch das weite Feld sonstiger "Alternativtechnologien" - bezüglich der Energiegewinnung: Erdwärme, Gezeitenkraft, Wasserkraft, Biogas, etc. - eng zum vorliegenden Gegenstand, diese können aber hier nicht weiter ausgeführt werden. Als interessante Quelle sei auf die "Alternativ-Kataloge I - III" verwiesen.

Die Ausführungen zu dieser Unterrichtseinheit beziehen sich daher - relativ begrenzt - auf die beiden herstellbaren Produkte, die Sonnenkollektoranlage und das Funktionsmodell der Wärmepumpe, und den Umgang damit. Gleichzeitig wird durch die Darstellung möglicher Unterrichtsstrukturen und Verläufe unter Einbeziehung der gemachten Erfahrungen bei der Erprobung versucht, den Bau der Anlagen in einem unterrichtlichen Gesamtzusammenhang von theoretischer Vorbereitung, praktischer Durchführung, Auswertung und Rückbeziehung auf die Ausgangssituation entstehen zu lassen und so einer blinden Bastelei entgegenzuwirken.

#### Unterrichtsziele:

Die aktive Beschäftigung mit den Gegenständen "Sonnenkollektor" und "Wärmepumpe" im Unterricht soll zu einer vertieften Auseinandersetzung mit den Problemen des Energieverbrauchs, der Energieversorgung, -nutzung und -umwandlung führen. Die Herstellung eines konkreten Produkts, nämlich eines Sonnenkollektors und/oder eines Funktionsmodells der Wärmepumpe ist außerdem geeignet, Schülern den Erwerb oder die Erweiterung von Qualifikationen zu ermöglichen, und zwar auf verschiedenen Ebenen:

- handwerkliche/psychomotorische Qualifikationen:
  - z.B.: - Gebrauch von Werkzeugen (Bohrmaschine, Lötkolben, Säge, .....)
  - Umgang mit Werkstoffen (Metalle, Kunstharz, Elektrokabel, Holz, .....)
  - Isolieren von Funktionselementen aus technischen Apparaturen, Anpassung verschiedener Bauteile;
- kognitive Qualifikationen im Bereich Technik/Naturwissenschaften:
  - z.B.: - Planung und Herstellung eines Funktionsmodells/einer funktionierenden Apparatur,
  - Planung und Realisierung von Strom/Schaltkreisen,
  - Funktionsbeschreibung einer komplexen technischen Anlage,
  - Transfer physikalischer Grundkenntnisse auf technische Systeme;
- Qualifikationen bezogen auf den gesellschaftlichen Bereich:
  - z.B.: - Differenzierte Wahrnehmung und Beurteilung der "Energiediskussion" (politische, ökonomische, ökologische Argumente),

- Ermittlung von Möglichkeiten "ökonomischer"/sparsamer Nutzung von Energie in der Industriegesellschaft,
  - ökologische Probleme durch gesellschaftliche Energienutzung,
  - private Konsum- und Verhaltensgewohnheiten und gesellschaftliche Interessen (Werbung, Energieindustrie, Lebensstandard/Lebensqualität);
- Qualifikationen im sozialen Bereich/bezogen auf Lern- und Arbeitsprozesse:
- z.B.: - Fähigkeit in Gruppen zu arbeiten, sich zu integrieren, gruppenfähig zu sein,
  - Übernahme von Verantwortung in Teil-Arbeitsprozessen.

Die Struktur der vorgeschlagenen Unterrichtseinheit orientiert sich bezüglich der kognitiven und sozialen Anforderungen/Möglichkeiten soweit möglich an zunehmender Komplexität oder Schwierigkeit.

So wird den Schülern auf drei Ebenen der begriffliche Umgang mit "Energie" ermöglicht (in Anlehnung an die RR SI Py78, vgl. BRUNER), womit eine schrittweise Begriffsbildung und -ausdifferenzierung beabsichtigt ist:

- in der praktischen Arbeit beim Bau der Wärmepumpe/Sonnendusche erfolgt Begriffsbildung durch Handeln (enaktive Ebene),
- bei Darstellung und Funktionsbeschreibung ist die bildliche (ikonische) Lernebene angesprochen,
- die Durchführung von Messungen und deren Auswertung zielt auf die symbolische Bearbeitung des Begriffs ab.

Eine "Förderung von positiven Sozialbeziehungen" ist mit dem Wechsel von Arbeitsformen/Unterrichtsmethoden intendiert:

- In der Vorbereitungs- und Planungsphase erleben sich die Schüler in ihren gewohnten Rollen, die sie vom sonstigen Unterricht her kennen. Jedoch bereits bei der Planung werden Gruppen gebildet, die kooperatives Handeln und Interessenformulierung fördern.
- In der Konstruktionsphase sind veränderte Rollenbeziehungen zu erwarten, einmal bedingt durch die Arbeitsorganisation, andererseits dadurch, daß durch unterschiedliche Arbeitsanforderungen (handwerkliche, kognitive, ..) einzelnen Schülern Entfaltungsmöglichkeiten angeboten werden, die im Unterricht mit der ganzen Klasse nicht oder kaum zum Tragen kommen. Daraus resultieren Rollenveränderungen mit Auswirkungen auf die Gruppenstruktur - wieweit, das ist abhängig vom Spielraum, der den Schülern in den einzelnen Phasen gewährt wird.



Für den Lernprozeß im Bereich der gesellschaftlichen Dimension von Energie stellt sich für den Lehrer die Aufgabe, den Zusammenhang zwischen Energie/Energiepolitik und der subjektiven Erfahrungswelt der Schüler herzustellen und bewußt zu machen. Daß Energie nach ihrer Quantität berechnet und bezahlt werden muß, ist den Schülern bekannt. Mit "Strom sparen" als isolierter Forderung an den einzelnen kann der angekündigten Energiekrise aber nicht beigegeben werden. Wärmepumpe und Sonnenkollektoren stellen eine konkrete Möglichkeit dar, technische Alternativen auch individuell erfahrbar zu machen.

Die Schüler besitzen aber auch sicher energiepolitische Informationen aus den Massenmedien. Diese Informationen können über die Gegenstände Sonnenkollektor bzw. Wärmepumpe in den Unterricht einbezogen werden.

In diesem Prozeß sollen die vielfältigen Verknüpfungen von Energie und Gesellschaft aufgezeigt und die Verbindung von Einzelnen und politisch-ökonomischem System deutlich gemacht werden:

- Einerseits muß die Energieproblematik als gesamtgesellschaftliches Problem dargestellt werden:

Aspekte: Arbeitsplätze, energieintensive Produktion, Verwertungs- und Profitinteressen, Wohlstand .....,

- andererseits muß eine Rückbeziehung der allgemeinen Problematik auf die individuelle Sphäre der Schüler erfolgen:

Aspekte: Arbeitsplatz des einzelnen, Energie im Haushalt, Verhaltensgewohnheiten, individuelle Initiative - gesellschaftlicher Rahmen, Ökologische Probleme, Angebote der Industrie.

Insgesamt soll erreicht werden, daß die Schüler zu einer differenzierten Einschätzung der Problematik gelangen, die auch Auswirkungen auf das individuelle Verhalten hat oder zumindest haben kann.

#### Bemerkungen zur Unterrichtsorganisation/Strukturvorschlag:

Wie bereits ausgeführt, ist es erforderlich, im Verlauf der Unterrichtseinheit nicht nur das eine oder andere Produkt herzustellen und seine Wirksamkeit durch Messungen nachzuweisen, es muß auch eine Einbeziehung in die Lebensumwelt/-erfahrung der Schüler erfolgen. Dies ist - mehr als

die Bearbeitung der technischen Aspekte - abhängig von der Situation der Lerngruppe, Alter, Schulstufe, regionalen Verhältnissen und vielen anderen mehr. Daher kann der unten ausgeführte Vorschlag nicht als Muster übernommen werden, sondern bedarf der Anpassung oder Differenzierung. Das Beispiel stellt so nur eine Möglichkeit der Realisierung dar, die sich aus der konkreten Situation bei der Erprobung ergeben hat.

### I. Problemfindungsphase

Themen in Stichpunkten:

- Energie in der Industriegesellschaft
- Energiepolitik (Programme, Prognosen, aktuelle Politik)
- Probleme der Energienutzung, -bedarf und -versorgung
- Energieumwandlung, traditionelle Prinzipien, alternative Technologien
- Funktionsprinzipien von Sonnenkollektor/Wärmepumpe.

### II. Planungs- und Konstruktionsphase

- Erörterung der Möglichkeiten, selbst eine (beide) Anlage(n) zu bauen
- Grobplanung der Arbeitsschritte, Materialbedarf, Werkzeuge usw.
- Bau von Wärmepumpe/Sonnenkollektor.

Es ist angebracht, in dieser Phase arbeitsteilig vorzugehen, zunächst jeweils Teilplanungen zu präzisieren und auszuführen und dabei auch die Arbeitsorganisation zu berücksichtigen. Den Schülern sollte Gelegenheit gegeben werden, eigene Vorschläge einzubringen und zu erproben. Damit kann erreicht werden, daß die Schüler sowohl bezüglich des herzustellenden Gegenstandes als auch der Organisation der Arbeitsabläufe zunehmend an Selbständigkeit gewinnen. Der Lehrer sollte sich, wenn möglich, immer mehr auf die Funktion eines Beraters zurückziehen.

Mögliche Organisationsmodelle der praktischen Arbeit sind bei den Teileinheiten als Fließschemata wiedergegeben.

- Planung weiterer Aktivitäten.

### III. Auswertungsphase

- Durchführung von Messungen an den hergestellten Anlagen
- Vergleichsmessungen
- Beurteilung der Anlagen, Diskussion technischer Anlagen gleichen Prinzips

- Diskussion der praktischen Bedeutung alternativer Energieumwandlung/-gewinnung
- Energie in 10, 100 Jahren?
- Rollenspiel
- Ausstellung.

Hinweise zur Gliederung der Materialien und ihrer Verwendung

Die Materialien dieser Unterrichtseinheit besitzen unterschiedlichen Charakter. Sie wenden sich teilweise an den Lehrer, teils an die Schüler, andere sind als Arbeits-Planungshilfen gedacht, z.T. wurden auch praktische Hinweise gegeben, die sich im wesentlichen auf die bereits vorliegenden Erfahrungen beziehen. Um die Benutzung zu vereinfachen, ist weitgehend eine entsprechende Kennzeichnung erfolgt.

WP/SD I. Problemfindungsphase

Aufgrund der gegenwärtigen und sicher anhaltenden Aktualität bedarf es unseren Erfahrungen nach keiner besonderen Motivation, mit Schülern das Thema "Energie" zu bearbeiten. Vor Beginn der Planung konkreter Alternativen sollte jedoch die Spannweite der Energieproblematik wenigstens einigermaßen verdeutlicht und einzelne Argumentations- und Begründungszusammenhänge in Verbindung mit Energieproduktion und -bedarf erkennbar gemacht werden. Dazu eignen sich Publikationen verschiedenster Art in Tages- und Wochenzeitungen, Aussagen von politischen Parteien, Gewerkschaften, Industrie u.a. Allerdings sollten kurze Ausführungen vorgezogen werden: Diese können kurzfristig in Gruppen erarbeitet und anschließend in einer Aussprache diskutiert werden. Gleichzeitig fördern die dabei notwendig verkürzt dargestellten Meinungen die Fragehaltung der Schüler, fehlende Sachinformationen zu beschaffen, ausführlichere Recherchen anzustellen, den Problemen auf den Grund zu gehen.

Als Beispiel für einen solchen Einstieg sind die folgenden Texte wiedergegeben.

(A)

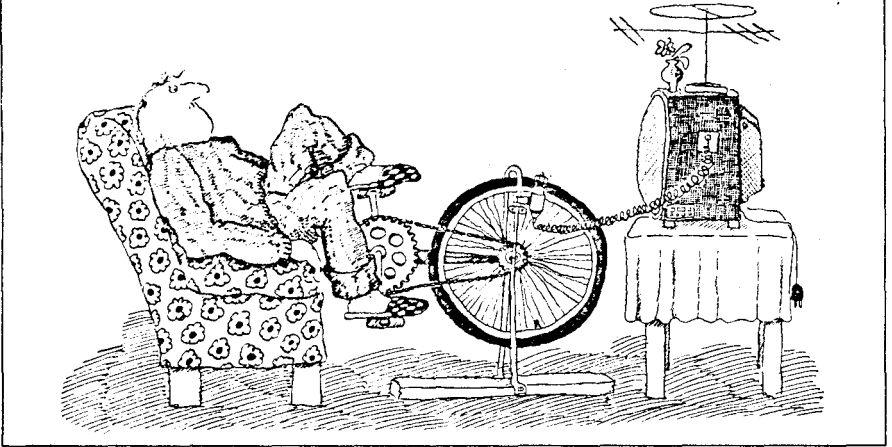
Die wichtigsten Probleme, die die Energiesituation langfristig kennzeichnen, sind:

- Die Vorräte der bisher hauptsächlich genutzten fossilen Energieträger sind begrenzt. Vor allem die Weltvorräte an Erdöl und Erdgas werden in wenigen Jahrzehnten erschöpft sein.
- Ein weiteres wirtschaftliches Wachstum in den Industrieländern und der Nachholbedarf der Entwicklungsländer werden zu weltweit steigender Nachfrage nach Energieträgern und damit zu schnellerer Erschöpfung der nutzbaren Vorräte führen.
- Eine schon früher eintretende Verknappung kann sich ergeben, wenn die Gewinnung fossiler Energieträger entweder aus wirtschaftlichen Gründen oder wegen technischer Schwierigkeiten hinter der Nachfrageentwicklung zurückbleibt.
- Energieumsatz ist immer mit Umweltbelastungen verbunden, die begrenzende Bedingungen für den Umfang der Energienutzung insgesamt und die Art der Verwendung einzelner Energieträger darstellen.

(Aus: Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977 - 80, BMFT, Bonn 1978, S. 11)

B: Aus: Erziehung und Wissenschaft, Heft 7/79, S. 15

Karikatur Nr. 820, Erhard Diell, 23 Jahre, Kunststudent, München



**Es sagt sich so einfach:**

**„Die deutschen  
E-Werke haben sich  
bei der Berechnung  
des Stromverbrauchs  
verkalkuliert.“**

**Stimmt denn das?**

Beim Ausbau der Kraftwerke und Netzanlagen richtet sich die deutsche Elektrizitätswirtschaft nach den Anforderungen ihrer Kunden. Dabei muß ein höchstmöglicher Strombedarf einkalkuliert werden. Er tritt auf, wenn extrem hohe Anforderungen von Industrie und Gewerbe, von privaten Haushalten sowie ungünstige Wetterverhältnisse zusammenfallen.

In der Zukunft wird mehr Strom als heute gebraucht, obwohl die Wirtschaft langsamer wächst. Mehr Strom vor allem deshalb, weil Strom andere knapper

werdende Energien – hauptsächlich Erdöl – mehr und mehr ersetzen muß.

Das bedeutet: Die Elektrizitätswirtschaft richtet sich beim Ausbau ihrer Kraftwerke und Netzanlagen nach den Vorgaben des Energieprogramms der Bundesregierung für die künftige Wirtschaftsentwicklung und nach eigenen Berechnungen.

Die Energieversorgung braucht diese Richtwerte. Wer Verantwortung trägt für die Lösung von Zukunftsproblemen, muß sich an Realitäten halten.

Aus dieser Erkenntnis heraus sagte Bremens Senatspräsident, Hans Loschnik: „Wer Kernenergie aus Umweltschutzgründen ablehnt und sich zugleich auch gegen Kohlekraftwerke wendet, wird von der Politik kaum mehr als ernsthafter Gesprächspartner angesehen werden können.“

**Mehr wissen –  
sicher urteilen.**

Wenn Sie an weiteren Daten und Fakten zur Energiediskussion oder an einer kleinen Karikaturenauswahl interessiert sind, schreiben Sie bitte an:

Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft e.V. (IZE), Heinrich-Lübke-Straße 19, 5300 Bonn

**Die deutschen Elektrizitätswerke informieren.**

Im anschließenden Unterrichtsgespräch wird der Problemhorizont des angesprochenen Bereichs "Energie in unserem Alltag" abgesteckt und durch die Schüler anhand ihrer eigenen Erfahrungen und Gewohnheiten im Umgang mit Energie konkretisiert.

Sich hier ergebende Fragestellungen, die weiterer Untersuchungen bedürfen, können als Arbeitsaufträge für Teilgruppen thematisiert und während der Konstruktionsphase parallel bearbeitet werden.

### Energie im Alltag (Tafelprotokoll)

Wir sind daran gewöhnt, daß Energie überall zur Verfügung steht:

- Heizung: Kohle, Erdöl, Gas, Elektroheizung
- Beleuchtung: elektrisches Licht
- Maschinen im Haushalt: Mixer, elektrische Zahnbürste, Aufzug,  
Waschmaschine, .....
- Elektrische Geräte: Fernsehen, Radio, Tonband, .....
- Maschinen in Industrie und Handwerk: Pressen, Sägen, Förderbänder,  
Kräne, Bagger, .....
- Verkehr: Autos, Straßenbahn, Eisenbahn, Flugzeuge, .....
- usw.

Die Schüler erhalten den Arbeitsauftrag (in Gruppen), die jeweils benutzte Energie bzw. die Energieform herauszufinden und diese zu ordnen. Nach Ergänzung in gemeinsamer Auswertung ergibt sich z.B. eine Tabelle wie folgt:

Energieform (Beispiele)	Aus welchen Prozessen wird die Energie gewonnen?	Woher stammt die Energie?
<u>mechanische</u> <u>Energie</u> Beispiele: Auto, Flugzeug, Fahrrad	Verbrennungsprozesse in Motoren Elektromotoren, Turbinen Muskelkraft des Menschen/ Tiere	Benzin, Dieselöl, Gas  elektrische Energie, Wasserdampf, Wasser, Nahrung

elektrische

Energie

Beispiele: Beleuchtung, Antrieb von Elektromotoren, Kühlschrank	aus Dynamos in Kraftwerken  und Kernkraftwerken  aus Batterien	aus mechanischer Energie (s.o.) (Kohle, Öl, Wasser) Kernkraftwerk: Uranzerfall Wärme Wasserdampf  mechanische Energie chemische Reaktionen
---	---	--

Wärme

Beispiel: Heizung	Verbrennungsprozesse in Öfen Elektroheizung	Kohle, Gas, Heizöl  elektrische Energie
----------------------	---	---

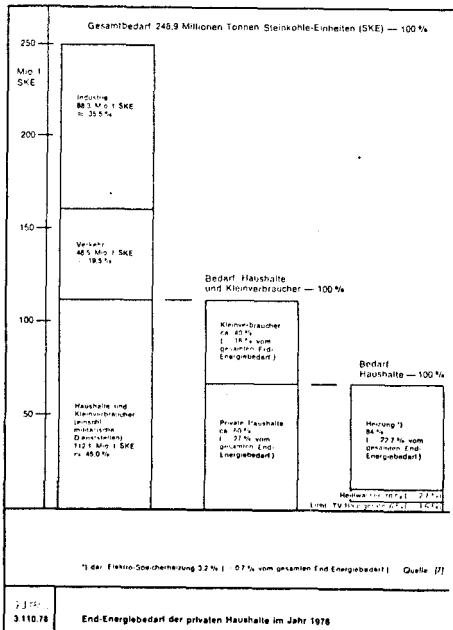
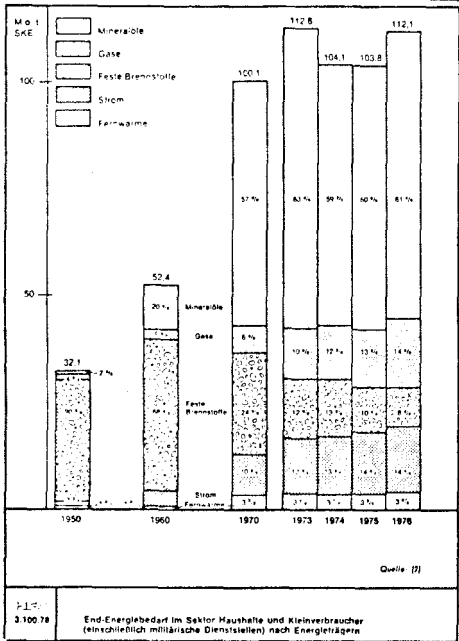
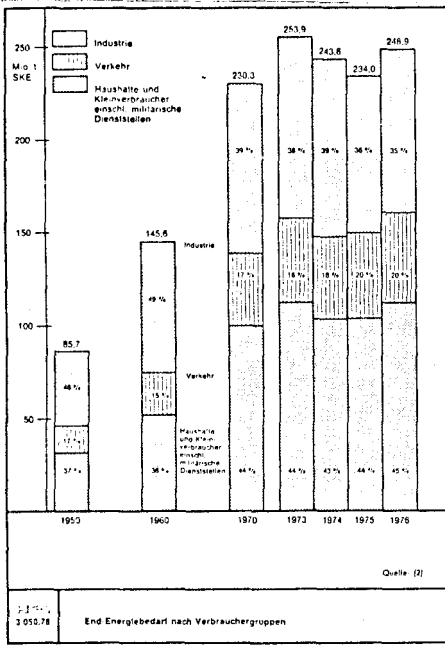
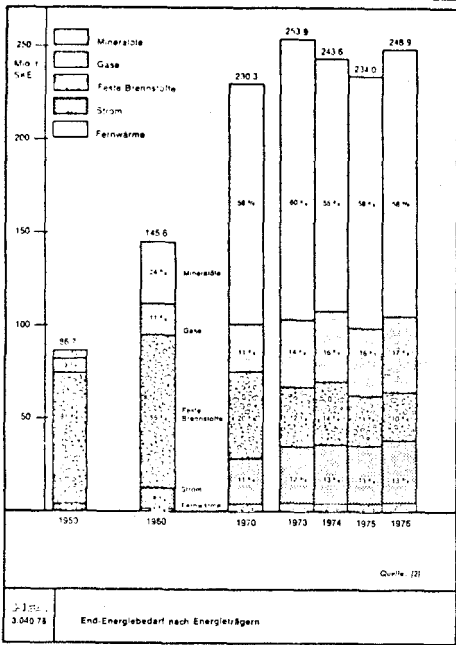
Es wird deutlich, daß in vielen Fällen Energieformen ineinander umgewandelt werden, daß elektrische Energie universell verwendbar ist, und daß fast alle genutzten Energieformen auf primäre Energieträger zurückführbar sind (Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran, Nahrung), die dabei verbraucht werden.

Der weitere Gang der Diskussion, die zu den alternativen Möglichkeiten von Energiegewinnung/-nutzung führen soll, kann - kurz skizziert - z.B. wie folgt aussehen:

Frage: In welchem Umfang werden die einzelnen Energieformen genutzt?  
Zu welchem Zweck?

Information:





Private Haushalte verbrauchen ca. 27 % der Energie, 84 % davon für Heizzwecke, 10 % zur Warmwasserbereitung und 6 % für Licht, Fernsehen, usw.

Frage: Wie ökonomisch ist eine Elektroheizung?

Elektrische Energie wird über mechanische Energie (Dynamo) aus Verbrennungsprozessen (Wärme) gewonnen (Motor, Dampfmaschine). Dabei treten überall Verluste bei der Energieumwandlung auf. Der Wirkungsgrad der Stromerzeugung beträgt ca. 25 %. Durch Leistungsverluste verliert man davon nochmal ca. 10 %.

Und:

Elektrische Energie ist "hochwertig" und kann an vielen Stellen nicht ersetzt werden (Licht, direkter Motorenantrieb, ...).

Frage: Welche Alternativen gibt es für die Heizung?

- Verbrennung in Öfen, Zentralheizung  
aber: Es gibt immer weniger fossile Energieträger wie Öl, Kohle, Gas.
- Fernwärme  
aber: Fernwärme ist nur rentabel bei vorhandener Abwärme von Kraftwerken/Industrieanlagen.

Frage: Welche anderen Alternativen gibt es?

Frage: Welche "Qualität" muß Wärme für Heizzwecke im Haushalt haben?

- maximal 70° C für heißes Wasser (Duschen)
- maximal 40° C für Heizung (insbesondere Fußbodenheizung)

Frage: Wie kann man solches Warmwasser erzeugen?

- z.B. durch Sonneneinstrahlung (vgl. Autoinnenraum im Sommer)
- z.B. durch Wärmeaustausch aus bereits erwärmten Brauchwasser.

Information: Weitere Möglichkeiten

- Sonnenkollektoren
- Wärmepumpen
- andere alternative Energiequellen

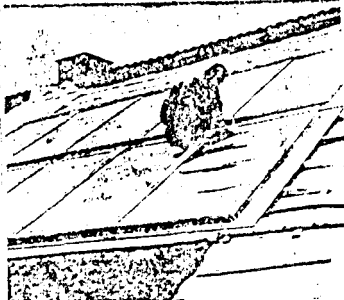
HNA 15. Juni 74

WIRTS

# Heiße Chance oder „kalter Kaffee“?

## Möglichkeiten der Sonnenenergie unter der Lupe

Jülich. Der Beitrag der Sonnenenergie zur Deckung unseres Energiebedarfs kann im Jahre 2000 allenfalls einige Prozent betragen. Zu diesem Ergebnis kommen Überlegungen von Wissenschaftlern der Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA). Wie Dr. Voss, der Leiter der Programmgruppe Systemforschung und technologische Entwicklung der KFA, jetzt erklärte, stellt in Mitteleuropa die Sonnenenergie deshalb keine Alternative dar zu den derzeit verfügbaren Energiequellen.



Niedertemperatur-Kollektoren — hier bei der Montage auf dem Dach — dienen zur Warmwasserbereitung. (Verfoto: nh)

Angeichts der Tatsache, daß Erdöl und Erdgas derzeit zwei Dritteln den Hauptbeitrag zu unserer Energieversorgung beisteuern, erwine die Finanz- der Künftigen, Bedarfsdeckung an Bedeutung. Neben der heimischen Steins- und Braunkohle und der Kernenergie werde auch immer wieder die Sonnenenergie genannt — aber die Möglichkeiten würden überschätzt.

### Neue Untersuchung

Die KFA hat für das Bundesforschungsministerium eine Untersuchung darüber angestellt. Einige der Nutzungsmöglichkeiten der Sonnenenergie haben danach keine Bedeutung für unser Land: Geleisheits-Kraftwerke, Meeresstromnutzungswerke oder Meerwasseranlagen. Wellenkraftwerke zählen insbesondere dazu. Durch Umwandlung von Wasserkraft in Elektrizität ließe 3 Prozent der Strombedarfsdeckung möglich. Nicht hinzugezogen werden, sagt Voss: Bis 1985 würden alle „Wasserkraftpotentiale“ ausgebaut sein.

Auch die direkte Umwandlung der Sonnenstrahlung in elektrische Energie — mit Hilfe von Solarzellen oder über Kollektoren mit mechanisierten Turbinengeneratoren — sei wegen der zu geringen Sonneneinstrahlung nicht machbar. Sonnenenergie werde vielmehr vorwiegend mittels Niedertemperatur-Kollektoren, Wärmepumpen oder Windenergie-Konvertern genutzt werden können.

Die Wärme aus Niedertemperatur-Kollektoren könne zur Warmwasserbereitung und Raumheizung verwendet werden — aber zum System müsse immer eine konventionelle Heizung gehören. Im Jahresdurchschnitt werde damit etwa die Hälfte des Wärmebedarfs durch

Sonnenenergie gedeckt werden können (bei hohen Investitionskosten).

Die Rechnung der Jülicher: Würde man bis zum Jahre 2000 die Hälfte aller privaten Häuser mit Solaranlagen ausstatten, würden damit rund 13 Millionen Tonnen Steinkohlenäquivalente (SKE = Energiemaß) an Primärenergie eingespart. Das sind aber nur rund 2 Prozent des erwarteten Gesamtenergieverbrauchs.

Mit Wärmepumpen kann man Energie aus dem Erdreich, dem Wasser oder der Luft nutzbar machen. Die Wärmepumpe arbeitet umgekehrt wie ein Kühlschrank. Wasser oder Luft bringt ein Kältemittel über einem Wärmetauscher zum Verdampfen, der Dampf wird verdichtet, mit einer Druckerhöhung sinkt die Temperatur an, wobei die mechanische Arbeit des Kompressors in Wärme umgewandelt wird. Über einen Kondensator gibt der Dampf dann einen Teil seiner Wärme an das Heizungswasser ab.

### Viel Wind mit

Die Wärmepumpe braucht aber hochwertige elektrische Energie zum Arbeiten. Pro Einheit Primärenergie stellt sie 40 Prozent mehr Wärmenergie zur Verfügung als eine Ölheizung. Eine mit Verbrennungsmotoren nur 120 Prozent. Wäre die Hälfte aller Häuser damit ausgestattet, dürfte im Jahre 2000 etwa 2,5 Prozent des Energiebedarfs gedeckt werden können, sagen die Wissenschaftler.

Schließlich zur Windenergie: 2000 Windkraftanlagen von rund 100 Metern Höhe und einem Rotorflächendurchmesser von etwa 120 Metern wären für um ein halbes Prozent unseres Bedarfs sicherzustellen. Rainer Meisoth

Am Ende der Problemfindungsphase sollte die Beschäftigung mit bzw. die Herstellung eines Sonnenkollektors und/oder einer Wärmepumpe für die Schüler zur realistische Unterrichtsperspektive erkennbar sein. Die dazu notwendigen weiteren Informationen über bereits bestehende Möglichkeiten alternativer Energiegewinnung werden in den einzelnen Abschnitten "Wärmepumpe" und "Sonnenkollektor" gegeben.

Die hier vorgenommene deutliche Abgrenzung von Problemfindungsphase und Planungs- und Konstruktionsphase dient ausschließlich einer übersichtlichen Gliederung des Textes - in der Unterrichtspraxis werden eher fließende Übergänge auftreten.

WP Wärmepumpe

WP II. Planungs- und Konstruktionsphase

Methodische Vorbemerkungen:

Mit dem Bau der Wärmepumpe können sich nach den vorliegenden Erfahrungen maximal 3 Gruppen mit jeweils 5 Schülern beschäftigen - wenn ein arbeitsteiliges Vorgehen gewählt wird. Ergänzend dazu können weitere Gruppen

- Versuchsanordnungen entwerfen, um die Leistungsfähigkeit der Apparatur zu überprüfen,
- Texte verarbeiten, bzw. auswerten, die sich mit den in der Problemfindungsphase aufgerissenen Problemen befassen,
- eine Ausstellung vorbereiten,
- eine Sammlung von Informationsmaterial zusammenstellen, o.ä.

Das weiter unten abgebildete Schema "Arbeitsablauf" bezieht sich auf die Folge der tatsächlichen Arbeitsschritte, die den Bau der Wärmepumpe direkt betreffen (ohne Planungs- und Plenumsabschnitte), und zwar für 3 arbeitsteilige Gruppen.

Der Arbeitsplan selbst sollte von der Gesamtgruppe, die sich mit dem Bau der Wärmepumpe befaßt, vorher entwickelt werden. Falls nur eine Grobplanung gemeinsam erfolgt, müssen die Einzelgruppen Detailplanungs-Besprechungen für ihre Arbeit vorsehen - alternativ gemeinsame Besprechungen in der Großgruppe.

Um eine sinnvolle Planung zu ermöglichen, muß den Schülern das Funktionsprinzip der Wärmepumpe mindestens in groben Zügen bekannt sein. Eine genaue Funktionsbeschreibung sollte aber erst später erstellt werden.

#### Unterrichtsverlauf und Materialien

- WP II. 1. Die Schüler erhalten/beschaffen sich Unterlagen, aus denen die Funktionsweise einer Wärmepumpe hervorgeht bzw. erschlossen werden kann.

- Materialien: - Funktionsbeschreibung eines Kühlschranks aus dem Physikbuch
- Beschreibung der Wärmepumpe aus einer der Darstellungen im Anhang
  - Text "Funktionsweise der Wärmepumpe".

Die Materialien werden in Gruppenarbeit/Partnerarbeit ausgewertet.

#### Funktionsweise der Wärmepumpe

Das Wirkungsprinzip der Wärmepumpe erschließt sich aus ihrer Bezeichnung: Sie stellt eine Vorrichtung dar, die "Wärme transportiert". Nun ist folgende Gesetzmäßigkeit aus der Erfahrung allgemein bekannt: Kommen zwei Körper verschiedener Temperatur in Berührung, so erfolgt ein Temperaturengleich. Ein Wärmeübergang vom Medium höherer Temperatur zum Medium niedrigerer Temperatur verläuft also freiwillig.

Mit Hilfe einer geeigneten Anordnung (Motor) kann ein Teil der ausgetauschten Energie bei diesem Prozeß als Arbeit genutzt werden. Erzwingt man einen Wärmeübergang in umgekehrter Richtung, so muß Arbeit (Energie) aufgewendet werden. Ein Apparat, der solches vollbringt, heißt Wärmepumpe.

Wärmepumpen sind weder selten noch exotisch. Wir kennen sie alle, nur unter anderem Namen. Sie heißen z.B.: Kühlschrank, Klimaanlage, Gefriertruhe, usw. Bei diesen Geräten interessiert uns in der Regel der "kalte" Teil. Einem begrenzten Reservoir (Innenraum) wird durch Aufwendung eines gewissen Betrages an (elektrischer) Energie Wärme entzogen. Die dabei an der Rückseite des Kühlschranks abgegebene Wärme interessiert den Benutzer in der Regel wenig.

Bei der Wärmepumpe steht gerade der andere Aspekt einer Kühleinrichtung im Vordergrund: Hier fragt man nach der abgegebenen Wärmemenge.

Das Funktionsprinzip ist folgendes: Auf der "kalten" Seite wird einem mehr oder weniger unbegrenzten Reservoir (Luft, Boden, Grundwasser, Gewässer, usw.) Wärme entzogen. Da Energie niemals verloren gehen kann, erhält man auf der "warmen" Seite die Wärmemenge, die dem kalten Medium entzogen wurde, sowie zusätzlich die "Abwärme" der Pumpe (als Äquivalent der in Form von Arbeit zugeführten Energiemenge).

Die Schüler sollten gleichzeitig die Möglichkeit haben, die Funktionsweise der Wärmepumpe anhand des mittlerweile beschafften Kühlschranks nachzuvollziehen. Anschließend kann der Aufbau einer Wärmepumpe im Analogschluß erarbeitet werden:

### Aufbau und "innere" Funktionsweise der Wärmepumpe:

Ebenso, wie sich die äußere Funktionsweise der Wärmepumpe über die des Kühlschranks erschließt, ist auch das Innenleben der Wärmepumpe anhand des Kühlschranks sehr leicht zu begreifen.

Sehen wir uns also den Kühlschrank genauer an: Er besteht aus einem Kompressor und einem geschlossenen Kühlkreislauf. Das "Kältemittel" passiert nacheinander jeweils den Verdampfer (=Kühlfach) und den Verflüssiger (= Wärmetauscher an der Rückwand des Kühlschranks). Der Verdampfer ist der Ort, an dem der Umgebung Wärme entzogen wird, welche im Verflüssiger wieder abgegeben wird. Der Kompressor besorgt den Kreislauf, hier wird die zum Transport erforderliche Arbeit in den Prozeß hineingesteckt. Wie wird die Wärmeaufnahme bzw. -abgabe bewirkt?

Das im Kreislauf befindliche Kältemittel, in der Regel ein Frigen (Frigen sind fluorierte Kohlenwasserstoffe, deren Siedepunkte bei Normaldruck weit unterhalb der Zimmertemperatur liegen), wird abwechselnd verdampft und verflüssigt. Es ist bekannt, daß Phasenübergänge stets mit einer erheblichen Wärmeaufnahme bzw. -abgabe verbunden sind. Z.B. muß man einer Portion Eis von  $0^{\circ}\text{C}$  wesentlich mehr Energie zuführen, um es zu schmelzen, als der dabei entstehenden Wassermenge, um diese um  $1^{\circ}\text{C}$  zu erwärmen. Gleiches gilt für das Verdampfen von Wasser oder anderer Flüssigkeiten. Darüberhinaus weiß man, daß Siedepunkte keine konstanten Größen sind, sondern vom Außendruck abhängen (auf der Zugspitze kocht Wasser schon bei  $90^{\circ}\text{C}$ !). Man kann also dieselbe Flüssigkeit bei einer bestimmten Temperatur verdampfen lassen und unter Druck bei einer anderen (höheren) Temperatur wieder verflüssigen. Genau das ist das Prinzip des Kühlschranks.

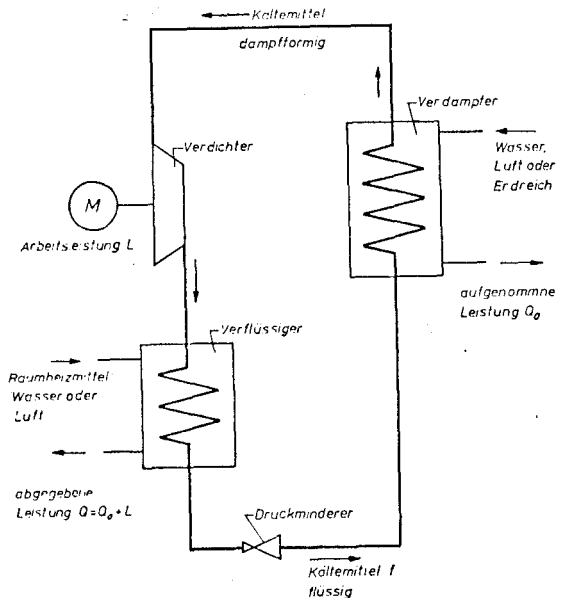
Im Verdampfer (Kühlfach) wird das flüssige Kühlmittel nach Passieren eines Entspannungsventils verdampft. Es entzieht dabei dem Kühlschranksinneren Wärme. Im Kompressor wird das Gas verdichtet, dadurch noch weiter erwärmt (vgl. den Effekt beim schnellen Zusammendrücken einer Fahrradpumpe) und im Verflüssiger unter Abgabe von Wärme an die Umgebung, immer noch unter Druck, wieder verflüssigt. Der Kompressor wird also dazu benötigt, eine Wärmeabgabe auf höherem Temperaturniveau (unter Druck) zu ermöglichen.

Physikalisch formuliert lautet das Funktionsprinzip der Wärmepumpe also folgendermaßen:

Im Verdampfer erfolgt Wärmeaufnahme durch Entzug der erforderlichen Verdampfungswärme aus der Umgebung. Im Verflüssiger wird die Verdampfungswärme durch Kondensation des Kühlmittelsgases wieder an die Umgebung abgegeben, und zwar unter Druck bei einer höheren Temperatur.

Ein Schema wie in Abb.1 kann die Verhältnisse weiter verdeutlichen. Es gilt gleichermaßen für Wärmepumpe und Kältschrank.

Schema Wärmepumpenkreislauf  
Abb.1



Eine weitergehende ausführliche Beschreibung des Kältemittelkreislaufs kann bei Bedarf einschlägigen Physikbüchern oder dem Anhang entnommen werden.

Die Schüler werden aufgefordert, unter Berücksichtigung ihrer bisherigen Kenntnisse über Aufbau und Funktionsweise von Kältschrank und Wärmepumpe eine realisierbare und funktionsfähige Apparatur unter Verwendung von Teilen des Kältschranks zu entwerfen.

(Gruppenarbeit/Partnerarbeit)

Überlegungen:

- Kühlmittelkreislauf wird zum Herzstück der Wärmepumpe
- Wärme- und Kältereservoirs müssen endlich sein, damit die Wirkung kontrolliert und der Wirkungsgrad berechnet werden kann ( → 2 Wannen oder andere Behälter)
- Wärme- und Kältereservoirs sollten eine hohe Wärmekapazität besitzen ( → Wasser)
- Es muß für eine Durchmischung der Behälter gesorgt werden ( → Rührwerke).

Ergebnis:

Das Funktionsmodell der Wärmepumpe kann also gebaut werden aus:

- dem Kühlmittelkreislauf, der als geschlossene Einheit aus einem Kühltank ausgebaut wird (Kompressor, Verdampfer, Verflüssiger),
- zwei Wannen (mit Wasser),
- der Stromversorgung
- und Rührvorrichtungen.

WP II. 2. Die Gesamtgruppe erstellt die Grobplanung für die Konstruktion der Wärmepumpe:

- Demontieren des Kühltanks, Isolieren des Kühlmittelkreislaufs,
- Umbau zur Wärmepumpe,
- Bau der Hilfsapparaturen
  - + Rührwerke,
  - + Wasserbehälter, eventuell mit Isolation,
  - + elektrische Anlagen,
- Zusammenbau, Funktionsüberprüfung, Messungen an der Wärmepumpe.

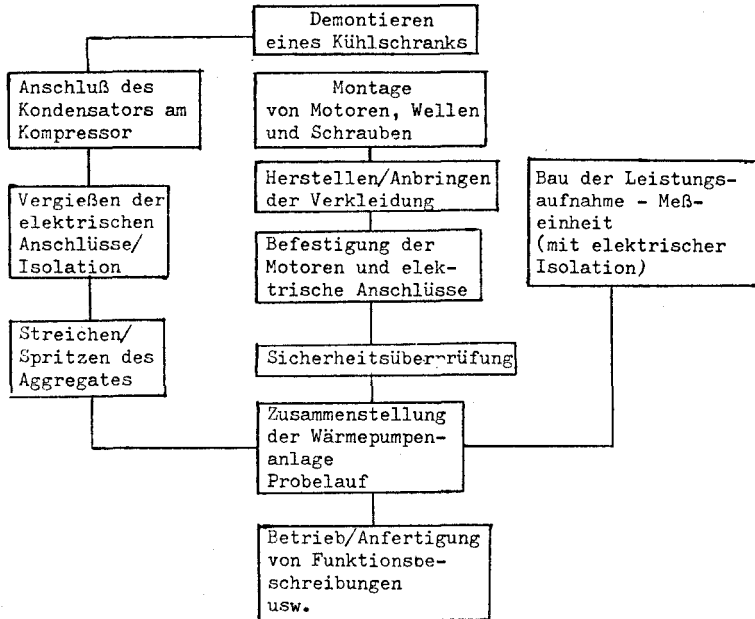


Es werden Gruppen gebildet, die einzelne Arbeitsschritte/ Bauelemente übernehmen.

Die jeweils notwendige Detailplanung der Teilgruppen sollte mindestens eine Stunde im voraus erfolgen. Dabei muß der Bedarf an Werkzeugen und Material ermittelt werden, damit die Arbeitsschritte ohne unnötige Verzögerung durchgeführt werden können.

Bei Einrichtung von drei Teilgruppen kann ein Arbeitsplan wie der folgende erstellt werden:

Arbeitsplan (ohne Planungs- und Plenumsabschnitte)



Eine Übersicht über die insgesamt benötigten Werkzeuge und Materialien befindet sich im Anhang

### WP II. 3. Demontieren des Kühlschranks - Isolieren des Kühlmittelkreislaufs

Anmerkung: Die einzelnen Arbeitsschritte werden im folgenden - wegen der notwendigen Beschränkung der Ausführungen - nur kurz beschrieben und zum Teil durch praktische Hinweise ergänzt.

Der vorgesehene Kühlschrank wird zunächst auf seine Funktionstüchtigkeit überprüft. Das Kühlaggregat wird mit dem geschlossenen Kühlmittelkreislauf als Ganzes ausgebaut.

#### Praktische Hinweise:

Zunächst sollte der Verlauf der Kühlmittleitungen und die Verdrahtung der elektrischen Anschlüsse festgestellt werden. Dadurch werden unnötige Arbeiten vermieden und eine Wiederverwendung einzelner Bauelemente ermöglicht.

Beim Ausbau des Kühlmittelkreislaufs ist zu beachten:

- daß die Kühlmittleitungen nicht geknickt werden dürfen: Durch Rißbildung würde sich sonst das Kühlmittel verflüchtigen. Müssen die Leitungen unter Umständen gebogen werden, so sind scharfe Krümmungen zu vermeiden.
- daß die elektrischen Anschlüsse gekennzeichnet werden, damit später der Stromkreis wieder hergestellt werden kann.

Das Relais am Kompressor wird zweckmäßigerweise entfernt, damit dieser später nach Isolation mit in das Warmwasserbecken eingetaucht werden kann.



WF II. 4. Elektrischer Anschluß des Kompressors

Der ausgebaute Kompressor wird wieder mit der Stromzuführung verbunden.

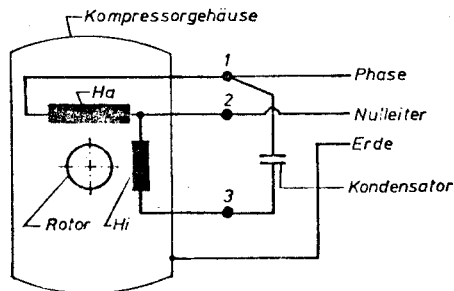
Erläuterungen:

Der Kompressor wird von einem Einphaseninduktionsmotor (Kurzschlußläufer) angetrieben. Im Motor befinden sich zwei senkrecht (rechtwinklig) zueinander angeordnete Wicklungen, - eine größere Haupt- (Ha) und eine kleinere Hilfswicklung (Hi). Sie sind mit drei am Kompressor/Motorgehäuse befindlichen Anschlüssen (Stifte) verbunden (s. Abb. 2).

Im Betrieb besteht zwischen den beiden Wicklungen eine Phasenverschiebung bezüglich der anliegenden Spannung. Diese Phasenverschiebung in Verbindung mit der geometrischen Anordnung der Wicklungen erzeugt ein elliptisches Drehfeld, das ein Drehmoment erzeugt, also den Motor zum Laufen bringt.

Im Kühlschrank hat für diese Phasenverschiebung die Relais-schaltung gesorgt. Nach dem Entfernen dieses Schaltelements wird die notwendige Phasenverschiebung durch den Einbau eines Kondensators erreicht.

Abb. 2 Schaltbild Motoranschluß



### Praktische Hinweise zum Anschluß eines Kondensators:

Der Kondensator wird vor die Hilfswicklung (in Reihe mit ihr) geschaltet (s. Abb. 2 ). Wir haben einen Kondensator mit einer Kapazität von 5,9 nF verwendet. Er kann jedoch auch geringfügig kleiner oder größer gewählt werden (probieren). Zur Ermittlung der Punkte, an denen der Kondensator angeschlossen wird, mißt man den ohmschen Widerstand zwischen je zwei der drei Stifte.

Man erhält also drei verschiedene Werte:

- a) als größten Wert, den ohmschen Gesamtwiderstand beider Wicklungen (Meßstellen: Stifte 1 und 3),
- b) als nächst kleineren Wert, den ohmschen Widerstand der Hauptwicklung (Meßstellen: Stifte 1 und 2),
- c) als kleinsten Wert, den ohmschen Widerstand der Hilfswicklung (Meßstellen: Stifte 2 und 3).

Daraus folgt, daß zwischen die Stifte 1 und 3 der Kondensator gelegt wird. An Stift 1 wird dann zusätzlich die Phase an Stift 2 der Nulleiter der Stromzuführung angeschlossen. (S. Abb. 2 ).

Achtung: Es ist darauf zu achten, daß das Kompressorgehäuse an die Erdleitung angeschlossen wird.

### Alternative:

Eine einfache Lösung des Anschlusses des Kompressors besteht darin, die Verbindung des Relais zum Aggregat durch eine entsprechende Anzahl von Leitungen wieder herzustellen. Das Relais samt Thermoelement wird dann außerhalb des Bassins elektrisch isoliert montiert. Die Anbringung eines Kondensators entfällt in diesem Fall.

#### WP II. 5. Elektrische Isolation des Kompressors

Die elektrischen Anschlüsse am Kompressor werden mit Kunstharz vergossen.

##### Praktische Hinweise:

Nach einem Probelauf müssen alle Anschlüsse am Kompressor (am besten mit Lüsterklemmen) sorgfältig geprüft werden. Danach wird um die Anschlüsse herum eine Gießform aus Pappe oder Kunststoff befestigt (mit Isolierband, Tesakrepp, o.ä.) und alles mit Gießharz (Polyester o.ä.) ausgegossen. Nach dem Erstarren wird die Form entfernt und der Guß auf Risse oder Sprünge geprüft.

Da der Kompressor für den Guß gekippt werden muß, kann er anschließend nicht sofort wieder angeschlossen werden: Er sollte statt dessen einige Stunden in senkrechter Position ruhen.

#### WP II. 6. Einbau des Aggregates in die Kalt- und Warmwasserreservoirs

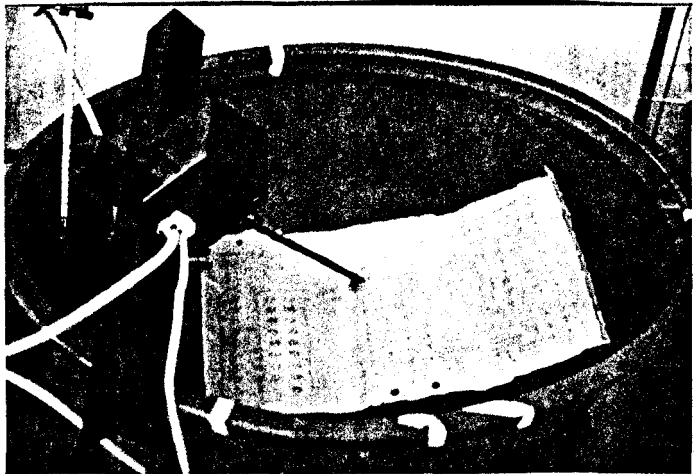
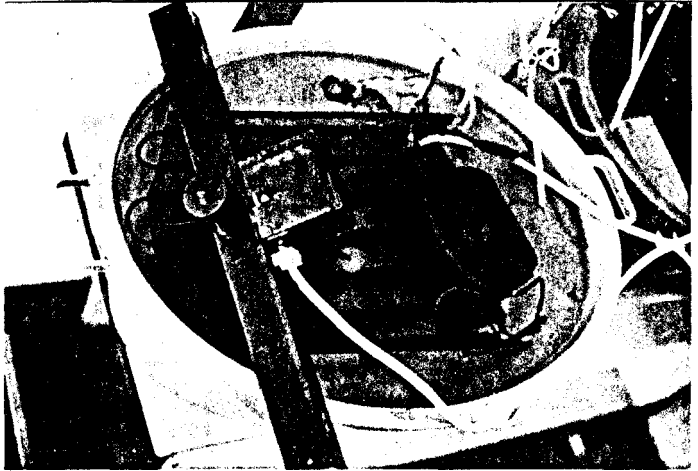
Der elektrisch isolierte Kompressor wird samt Verflüssiger in einen der beiden Behälter eingepaßt. Der Verdampfer kommt in den zweiten Behälter.

##### Praktische Hinweise:

Die Behälter sollten bei Verwendung eines üblichen Kühltischschrankaggregates ca. 50 Liter fassen. Die Dimensionierung richtet sich nach den Maßen des Aggregates.

Das Einbringen auch des Kompressors in das Warmwasserreservoir hat den Vorteil, daß auch die Abwärme der Kompression zur Heizung genutzt werden. Dadurch erhöht sich der Wirkungsgrad der Wärmepumpe.

Achtung: Der Kompressor muß aus technischen Gründen  
immer senkrecht stehen!



## WP II. 7. Bau der Hilfsapparaturen

### WP II. 7.1. Rührvorrichtungen

#### Erläuterungen:

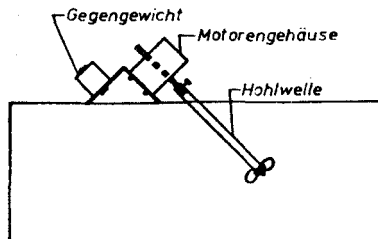
Besonders für den Kaltwasserteil der Wärmepumpe ist die Anbringung einer Rührvorrichtung erforderlich. Da das Kühl-schrankaggregat mit seinem Kühlmittel auf Temperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  ausgelegt ist, besteht bei mangelnder Durchmischung für das Kühlblech (Verdampfer) Gefahr der Vereisung. Dann ist der Wärmeübergang deutlich behindert, da Eis ein schlechter Wärmeleiter ist.

In der Ausführung des Prototypen wurden beide Wasserbecken mit Rührmotoren versehen; dadurch sollte für die Kontrolle und Messung der Temperaturänderungen eine bestmögliche Durchmischung erreicht werden.

Es werden zwei Rührwerke hergestellt, bestehend aus:

- einem Motor,
- einer Welle mit Schiffsschraube,
- ein Gehäuse (gegen Spritzwasser), das auf einem
- Winkeleisen montiert ist und
- der elektrischen Installation.

Abb.3 Rührvorrichtung



Praktische Hinweise:

Als Antrieb können zwei beliebige Elektromotoren verwendet werden. Im vorliegenden Fall wurden zwei 110 V-Motoren in Reihe geschaltet; wegen der Gefahren der Netzspannung von 220 V sollten statt dessen jedoch besser Niederspannungsmotoren mit einem vorgeschalteten Transformator (Eisenbahntrafo) eingebaut werden.

Auf der Achse der Motoren wird eine straffsitzende Hohlwelle (aus Aluminium oder Messing) befestigt.

An deren anderem Ende wird jeweils eine kleine Schiffsschraube (Modellbaubedarf) festgeschraubt.

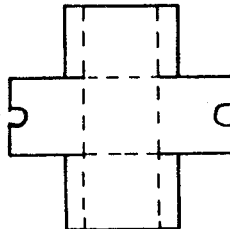
Man achte von Anfang an auf gute Zentrierung des Rührwerkes, da sonst ein Schlagen der Welle auftritt und die erwartete Wirkung stark beeinträchtigt wird.

Die elektrischen Anschlüsse werden an den Motoren als Lötstellen ausgeführt und sorgfältig isoliert. Die Zuführungskabel müssen später auf dem Winkeleisen so befestigt werden, daß eine Zugentlastung erreicht wird.

Um Schäden oder Kurzschluß durch Spritzwasser zu vermeiden, verwendet man Motoren mit wasserdichtem Gehäuse. Ansonsten muß ein Gehäuse entsprechend der Dimension des Motors angefertigt werden.

Als Material eignet sich dazu entweder Blech (verzinktes Eisenblech, mit Blechschere zu bearbeiten) oder ein verformbarer Kunststoff.

Die Maße des folgenden Zuschnittmodells ergeben sich nach den praktischen Anforderungen (Motorgröße):





An den gestrichelten Linien ist das Blech um  $90^\circ$  zu knicken. Motor und Welle, Schrauben und Gehäuse werden auf einem Winkeleisen befestigt, welches später quer über die Wasserbehälter gelegt wird (Abb. 3). Dadurch erreicht man ein Eintauchen der Rührwelle unter einem Winkel von  $45^\circ$ .

Das in der Skizze angedeutete Gegengewicht ist nur dann erforderlich, wenn das Winkeleisen selbst relativ leicht gewählt worden ist. Alle Metallteile werden lackiert (Rostschutz).

#### WP II. 7.2. Vorrichtungen zur Messung der Leistungsaufnahme

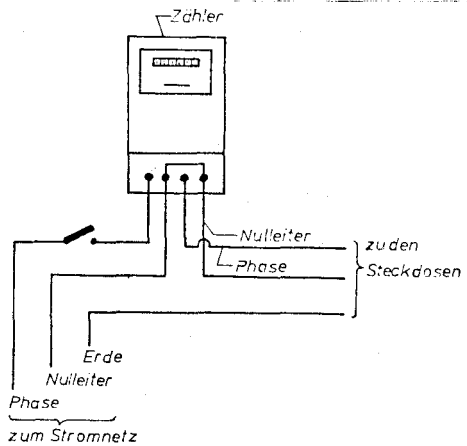
Es wird eine geeignete Anordnung zusammengestellt, die die Messung der durch die Wärmepumpe aufgenommenen Leistung ermöglicht. Dies kann durch Amperemeter und Verwendung einer Uhr erfolgen oder aber durch die unten dargestellte Benutzung eines Wechselstromzählers.

#### Praktische Hinweise:

Alte Zähler können gegen eine Anerkennungsgebühr bei den Elektrizitätswerken/Städtischen Werken erworben werden. Die Verdrahtung des Zählers ergibt sich aus dem unter dem Deckel befindlichen Plan. Die Anschlüsse sind so zu kennzeichnen, daß später die Phase ein- und ausgeschaltet werden kann. Die Erdleitung darf nicht unterbrochen werden.

Neben Zähler und Schalter sollten mindestens 2 (Schuko-) Steckdosen auf das Brett montiert werden. Daran kann einmal das Kühlschranksaggregat angeschlossen werden, außerdem die Motoren bzw. der Transformator. Der Zähler muß für den Betrieb senkrecht montiert werden.

Schaltbild Zähleranschluß



WP II. 2. Sicherheitsüberprüfung - Zusammenbau der WP

Vor dem Zusammenbau der einzelnen Teile und der Inbetriebnahme ist es erforderlich, daß unter Aufsicht des Lehrers eine Sicherheitsüberprüfung durchgeführt wird. Diese muß besonders den elektrischen Anschlüssen, Erdung, Isolation usw. gelten, außerdem den beweglichen Teilen (Rührwerke).

Es folgt die Endmontage und ein Funktionstest (ohne Wasser in den Behältern) dann die Inbetriebnahme.

WP III. Messungen an der Wärmepumpe

WP III. 1. Vorbemerkungen:

Ein Ziel beim Bau einer Wärmepumpe war es, handgreiflich zu zeigen, daß mit einer solchen Apparatur gegenüber normalen elektrischen Heizgeräten eine größere Heizleistung bei gleicher Aufnahme von Primärenergie erreicht werden kann. Das ist anhand der oben beschriebenen Funktionsweise einer Wärmepumpe qualitativ leicht einzusehen. Auch die Demonstration, bei der sich ein Wasserbecken abkühlt und ein anderes erwärmt, wirkt überzeugend. Genaue Aussagen über den Zugewinn an Heizleistung gegenüber konventionellen Heizgeräten, lassen sich jedoch nur durch eine genaue Messung und anschließende Berechnung machen.

WP III. 2. Prinzipiell gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Durchführung von entsprechenden Untersuchungen:

- Vergleich von Aufnahme elektrischer Energie und abgegebener Wärmemenge
- Vergleich von Heizleistung der WP und einer gleichstarken konventionellen Heizung (z.B. Tauchsieder)
- Untersuchung der Gesamtenergiebilanz der WP (elektrische Leistungsaufnahme, Temperaturverlauf auf der "kalten" und der "warmen" Seite)
- Variation der Anordnungen durch thermische Isolation der Behälter
- usw.

Wichtig erscheint, daß die Schüler die Möglichkeit haben, selbst Versuchsanordnungen zu entwerfen und gefahrlos durchzuführen. Die Auswertung sollte dabei den Vorkenntnissen der Schüler angemessen erfolgen.

Im folgenden wird ein Versuchsprotokoll wiedergegeben, das während einer Messung von Schülern erstellt worden ist.

WP III. 3. Versuchsbedingungen:

In beiden Wasserbehältern (50 l) der Wärmepumpe herrscht zu Versuchsbeginn die gleiche Temperatur ( $18^{\circ}\text{C}$ ). Nach Einschalten der Wärmepumpe wird der Temperaturverlauf in beiden Becken mit zwei Thermometern verfolgt, die gleich tief in das Wasser eintauchen.

Bei jeder Temperaturablesung wird gleichzeitig der jeweilige Zählerstand notiert. Die Ablesungen erfolgen ca. alle 20 - 30 Minuten.

Die Versuchsdauer beträgt voraussichtlich 4 - 6 Stunden.

Tabelle der Meßwerte:

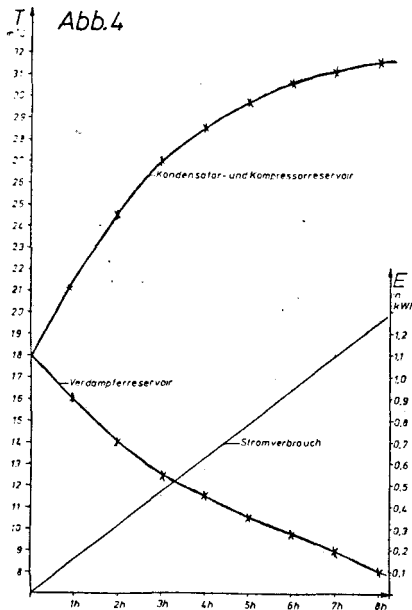
Uhrzeit	Temperatur		Energieaufnahme Zählerstand (kWh)
	warme Seite ( $^{\circ}\text{C}$ )	kalte Seite der Wärmepumpe ( $^{\circ}\text{C}$ )	
8 <sup>10</sup>	18,0	18,0	4876,03
8 <sup>40</sup>	19,7	17,0	4876,11
9 <sup>10</sup>	21,5	16,0	4876,19
9 <sup>40</sup>	23,2	15,2	4876,27
10 <sup>10</sup>	24,8	14,3	4876,35
10 <sup>40</sup>	26,0	13,5	4876,42
11 <sup>10</sup>	27,0	12,8	4876,50
11 <sup>40</sup>	27,9	12,0	4876,58
12 <sup>10</sup>	28,8	11,2	4876,66
12 <sup>40</sup>	29,5	10,5	4876,74
13 <sup>10</sup>	30,2	10,0	4876,81
13 <sup>40</sup>	30,9	9,6	4876,89
14 <sup>10</sup>	31,6	9,2	4876,97
.	.	.	.
.	.	.	.
8 <sup>00</sup>	33,0	7,0	4879,77

Die so erhaltenen Werte können in verschiedener Weise ausgewertet werden: (In den Reispielen werden die Daten aus der dargestellten Tabelle benutzt).

WP III. 4. Auswertung ohne Umrechnung:

Auf Millimeterpapier werden die abgelesenen Temperaturwerte gegen die Zeit aufgetragen. Man erhält dadurch zwei Kurven, die den Temperaturverlauf auf beiden Seiten der Wärmepumpe charakterisieren. Zusätzlich kann in dieses Diagramm die Aufnahme von elektrischer Energie unter Verwendung einer zweiten Maßskala (rechts) eingetragen werden. (Siehe Abb. 4).

Eine Interpretation ist nur qualitativ möglich: Auf der warmen Seite wird mehr Wärmeenergie abgegeben, als auf der kalten Seite entzogen wird. Dies geschieht unter Zufuhr von elektrischer Energie.



WP III. 5. Auswertung mit Umrechnung:

Für den Vergleich von aufgenommener elektrischer Energie und den ausgetauschten Wärmemengen ist es notwendig, ein gemeinsames Maßsystem zu benutzen und die tabellierten Werte entsprechend umzurechnen. Dies erfolgt nach folgender Beziehung:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kWh} &= 1000 \text{ Wh} \\ &= 3,6 \cdot 10^6 \text{ Wsec} \\ 1 \text{ Wsec} &= 1 \text{ Joule} \end{aligned}$$

also:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Joule}$$

Im Beispiel hat die WP pro Stunde ca 0,16 kWh an elektr. Energie aufgenommen, das entspricht

$$0,16 \cdot 3,6 \cdot 10^6 \text{ Joule} = 0,576 \cdot 10^6 \text{ Joule.}$$

(Ein Tauchsieder mit (theoretisch) 100 %iger Energieumwandlung müßte bei gleicher Energieaufnahme eine entsprechende Wärmemenge an einen Wasserbehälter abgeben.)

Zum Vergleich kann die vom Wasser aufgenommene Wärmemenge berechnet werden:

Im Beispiel wurden 50 l Wasser in einer Stunde um  $3,5^\circ$  erwärmt.

Um 1 g Wasser um  $1^\circ$  zu erwärmen braucht man 4,1868 Joule (früher: 1 cal)

Die Gesamtärmemenge ergibt sich dann nach:

$$T \cdot m \cdot 4,1868 \quad (T \text{ in } ^\circ, m \text{ in g})$$

also:

$$3,5 \cdot 50 \text{ 000} \cdot 4,1868 = 0,733 \cdot 10^6 \text{ Joule}$$

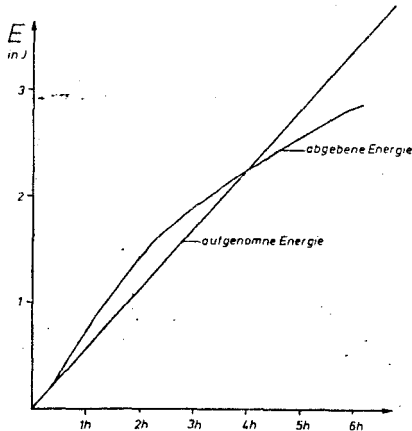
Beispiel für eine tabellarische Auswertung:

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Zeit	(bezogen auf $T_0$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	entsprechende Wärmemenge(J) $\cdot 10^6$	elektr. (kWh)	Energie (J) $\cdot 10^6$	$\frac{W}{e \cdot E}$
0	0	0	0,00	0,00	-
0,30	1,7	0,356	0,08	0,28	1,27
1,00	3,5	0,733	0,16	0,56	1,31
1,30	5,2	1,089	0,24	0,86	1,27
2,00	6,8	1,424	0,32	1,15	1,24
2,30	8,0	1,675	0,39	1,40	1,20
3,00	9,0	1,884	0,47	1,69	1,11
3,30	9,9	2,072	0,55	1,98	1,05
4,00	10,8	2,261	0,63	2,27	1,00
4,30	11,5	2,407	0,71	2,56	0,94
5,00	12,2	2,554	0,78	2,81	0,91
5,30	12,9	2,700	0,86	3,10	0,87
6,00	13,6	2,847	0,94	3,38	0,84

Der in Spalte (6) gebildete Quotient aus berechneter Wärmemenge und aufgenommener elektrischer Energie heißt Leistungszahl. Er gibt an, die wievielfache Wärmemenge man aus der eingesetzten elektrischen Energie erhält, und ist als Quotient zweier Energiebeträge dimensionslos.

Die Werte aus Spalte (3) und (4) lassen sich in einer grafischen Darstellung veranschaulichen:

Abb. 5



WP III. 6. Interpretationsmöglichkeiten:

Die in der Tabelle berechnete Leistungszahl fällt im Laufe der Versuchsdurchführung auf Werte unter 1.

Ursache: Fehlende Isolation des Warmwasser-Behälters und Wärmeabgabe an die Umgebung.

Die maximale Leistungszahl läßt sich im Dauerbetrieb dann erreichen, wenn die Temperaturdifferenzen klein gehalten werden und das erwärmte Wasser abgeführt wird.

An der Grafik kann die maximale Leistungszahl veranschaulicht werden, die mit der WP in vorliegender Ausführung erreichbar ist:

Die Steigung des ersten Kurvenstücks (als Tangente) im Vergleich zur Steigung der Geraden der aufgenommenen Energie zeigt die optimale Leistung der WP.

Alternativen der Auswertung:

Die in Tabelle 1, Spalte 3, aufgelisteten Energiebeträge können auch in kWh umgerechnet werden. Sie geben dann den Stromverbrauch an, den ein Tauchsieder hätte, der elektrische Energie zu 100 % in Wärme umsetzen würde.

Ein anderer Aspekt ergibt sich aus folgender Fragestellung: Welche Temperaturerhöhung hätte ein Tauchsieder gebracht, der den gleichen Stromverbrauch hat wie die Wärmepumpe (einschließlich der Rührmotoren)?

Für unser Beispiel ergibt sich folgende Tabelle:

t	(J) · 10 <sup>6</sup>	T (°C)
0,30	0,28	1,3
1,00	0,56	2,7
·	·	·
·	·	·
·	·	·

Es ist zu beachten, daß die T-Werte nur theoretische Werte sind, da hier die Verluste durch fehlende Isolation unberücksichtigt bleiben.



SD Sonnendusche (Sonnenkollektor)

SD II. Planungs- und Konstruktionsphase

Bezüglich der Unterrichtsorganisation für den Bau der Solaranlage (Sonnendusche) gilt das gleiche, wie für die Wärmepumpe (unter WP II.) ausgeführt:

Es können - bei arbeitsteiligem Vorgehen - maximal 3 Gruppen mit je 5 Schülern daran arbeiten. Für weitere Gruppen ergeben sich entsprechend die Möglichkeiten:

- Versuchsanordnungen zur Überprüfung der Effektivität der Solaranlage zu entwickeln
- eine Informationssammlung/-Kartei anzulegen (Energieprogramme, Forschungsprogramme, Prognosen, Stellungnahmen) und auszuwerten
- oder eine Ausstellung vorzubereiten.

Diese weiteren Gruppen können bei gleichzeitiger Bearbeitung der Projekte Sonnenkollektor und Wärmepumpe identisch sein bzw. zusammenarbeiten.

Das später wiedergegebene Schema eines Arbeitsplans bezieht sich auf die Arbeitsschritte, die in direktem Zusammenhang mit dem Bau des Sonnenkollektors stehen, und geht von arbeitsteiligem Vorgehen in 3 Gruppen aus.

#### Unterrichtsverlauf und Materialien

SD II. 1. Die Schüler erhalten/beschaffen sich Unterlagen, aus denen Funktionsweise und Aufbau von Sonnenkollektoren hervorgehen:

Materialien: (s. Anhang)

Die Materialien werden in Gruppen/Partnerarbeit ausgewertet.

Ergebnis:

Eine Sonnenkollektor-Anlage besteht aus folgenden Funktionselementen:

- Kollektor
- Wärmetauscher mit Warmwasserspeicher
- Umwälzpumpe

verbunden durch ein Leitungssystem, das mit Wasser (u.U. mit Frostschutzmittel vermischt) gefüllt ist. Aus dem Warmwasserspeicher kann warmes Wasser zu verschiedenen Zwecken (Heizung, Duschen ....) entnommen werden.

Die Schüler werden aufgefordert, nach Möglichkeiten zu suchen, wie ein Sonnenkollektor im Unterricht selbst herzustellen ist. Auf dieser Stufe der Planungsüberlegungen sollte bereits darauf geachtet werden, daß die Verwendung von Altteilen aus Gebrauchsgegenständen berücksichtigt wird.

Überlegungen:

- Wie muß ein Absorber beschaffen sein?
- Welche Teile eignen sich als Absorber?
- Wie kann der Absorber vor Wärmeabgabe durch Konvektion geschützt werden? (Gehäuse)
- Wie erreicht man eine optimale Aufstellung?
- Welche Behälter eignen sich als Warmwasserspeicher/Wärmetauscher?
- Welche Pumpe soll benutzt werden?
- Welches Leitungsmaterial wird verwendet?
- Wie erfolgt Isolation?
- Wie kann die Pumpe gesteuert werden?
- Welcher Verbraucher soll angeschlossen werden?

Die hierbei von den Schülern entwickelten Lösungen können sehr vielfältig sein. Eine Zusammenfassung der vorgeschlagenen Möglichkeiten, z.T. kommentiert, ist nachfolgend dargestellt:

SD II. 2. Ergebnisse:

a) Kollektor:

Man kann einen industriell gefertigten Kollektor käuflich erwerben: Preis ca. 250 DM/m<sup>2</sup>.

Ein Kollektor wird im Selbstbau aus einem geeigneten Absorber entwickelt, der in ein Gehäuse eingebaut wird und nach oben durch eine Glasplatte abgeschlossen ist. Als Absorber kommen alle Rohrsysteme in Frage, die eine möglichst große Fläche in ebener Anordnung besitzen.

z.B.: Plattenheizkörper

Gefrierschrank-Kühlbleche

spezielle Absorberplatten

Kupferrohr auf einem Eisenblech verlötet

Wärmetauschgitter von der Rückseite eines Kühlschranks

usw.

b) Warmwasserspeicher/Wärmetauscher:

Als Warmwasserspeicher eignen sich alle Behälter, die leichten Überdruck aushalten, dicht verschließbar sind und leicht mit Wasseranschlüssen versehen werden können.

Als Wärmetauscher kommen in Frage:

- Spiralen aus Metallrohr (rostfrei!), Kunststoffschlauch

- Autokühler

usw.

Beides vereint findet man in einem alten Boiler einer Heizungs- oder Warmwasseranlage.

c) Wasserleitungen:

Dazu kann beliebiges Material verwendet werden, soweit es gegen Wärmeverlust isoliert wird.

d) Verbraucher:

Mögliche Verbraucher können sein:

- Modellheizung
- Dusche
- Warmwasserzapfstelle
- o.a.

Aber auch der durch den Kollektor aufgeheizte Warmwasserbehälter kann selbst als Verbraucher angesehen werden.

e) Pumpe:

In Frage kommt eine Waschmaschinenpumpe oder aber:  
Natürlicher Wasserumlauf (Schwerkraftzirkulation:  
Warmes Wasser ist leichter als kaltes Wasser).

f) Steuerung:

Intervall-Zeitsteuerung oder Temperatursteuerung.

In beiden Fällen besteht die Notwendigkeit, den Pumpenmotor durch ein Relais ein- und auszuschalten. Bei einer Temperatursteuerung muß die Möglichkeit von Temperaturmessungen an verschiedenen Stellen des Sonnenkollektors vorgesehen werden.

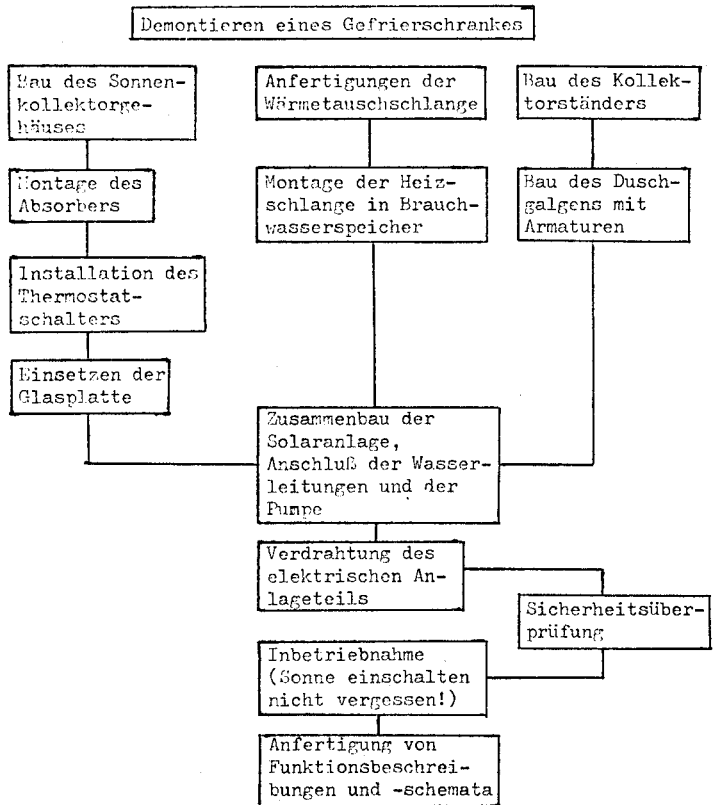
Aus diesen Vorschlägen und unter Berücksichtigung von leicht zugänglichem Material lassen sich eine ganze Reihe an Varianten einer Sonnenkollektoranlage entwickeln. Die im folgenden beschriebene Version hat daher nur Beispielcharakter und soll veranschaulichen

- wie Planung und Arbeit ablaufen können,
- was im Detail Schwierigkeiten machen kann,
- welche Hilfsmittel i.a. notwendig sind (vgl. Liste im Anhang).

Die Abbildungen und Hinweise beziehen sich - wenn nicht anders vermerkt - stets auf die bei der Erprobung entwickelte Anlage "Sonnendusche".

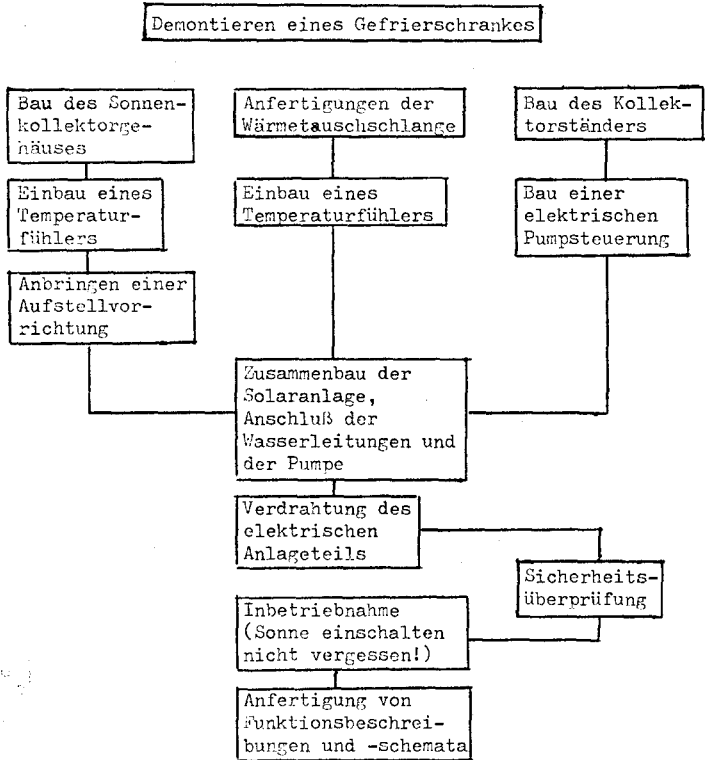
Die unterschiedliche Gestaltung des geplanten Produkts hat natürlich auch Einfluß auf die Struktur des Arbeitsplans, daher bietet sich auch hier eine gemeinsame Entwicklung von Produktplanung und Arbeitsplanung durch die Schüler an. 2 Varianten möglicher Arbeitsplanungen sind unten wiedergegeben:

Arbeitsplan (ohne Planungs- und Plenumsabschnitte)



Obiger Plan bezieht sich auf die bei der Erprobung realisierte Anlage. Wählt man eine einfachere Kollektoraufstellung, als die später vorgeschlagene und an Stelle einer einfachen Ther-

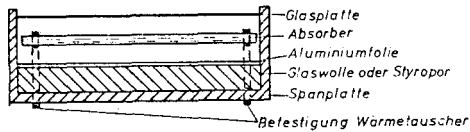
mostat-Temperaturschaltung eine elektronische Temperatur-Differenzsteuerung, dann ergibt sich ein veränderter Arbeitsplan:



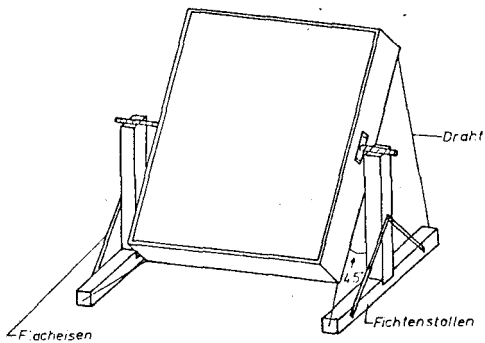
SD II. 3. Bau des Sonnenkollektors:

Entsprechend der Vorentscheidung für einen der vorgeschlagenen Absorber wird das benötigte Material (Flachheizkörper, Kühlschrankschrankteile, ....) beschafft, mit geeigneten Anschlüssen versehen, mattschwarz lackiert, auf Druckfestigkeit und Dichtigkeit geprüft, ein Gehäuse gebaut und der Absorber möglichst gut isoliert eingepaßt. Nach vorne wird der Kollektor durch eine Scheibe (Glas oder Kunststoff) abgeschlossen, alle Fugen abgedichtet und das Gehäuse wetterbeständig gestrichen.

Im hier beschriebenen Fall wurden<sup>4</sup> integrierte Kühl- und Haltebleche aus einem Gefrierschrank verwendet und zu einem Sonnenkollektor verarbeitet. (Siehe Abb.6).



a) Aufbau



b) Kollektoraufhängung

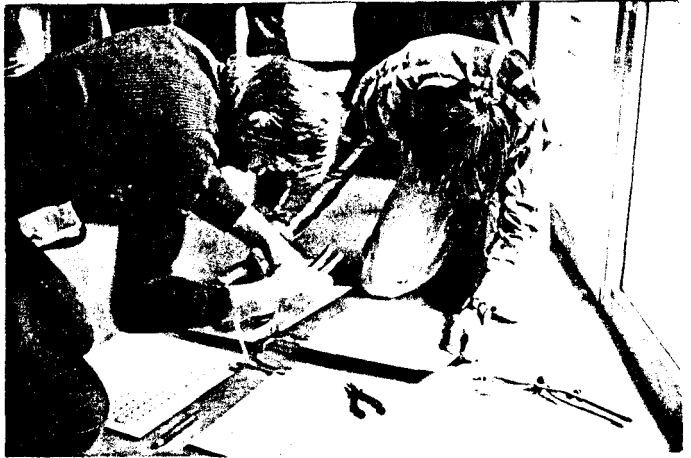
Abb. 6  
Sonnenkollektor

Praktische Hinweise:

**Absorber:**

Die 4 aus einem (defekten) Gefrierschrank ausgebauten integrierten Kühl- und Halteplatten sollten zur Vergrößerung des Durchflußquerschnitts paarweise parallel verbunden werden. Als Schlauchverbindung eignet sich z.B. Vakuum-Gummischlauch, weniger gut verwendbar sind Polyäthylenschläuche, da sie bei den auftretenden Temperaturen schnell weich werden, knicken oder platzen. Die Anschlüsse können durch Schlauchschellen gesichert werden.

Die Leitungsverzweigung für die Parallelanordnung kann leicht durch T-Stücke aus Glas (mit Oliven) realisiert werden. Notfalls können diese Teile selbst aus Glasrohr angefertigt werden.



Für eine "Schwerkraftanlage" (natürlicher Umlauf) eignet sich die oben beschriebene Anordnung wegen des geringen Querschnitts und des hohen Durchflußwiderstandes nicht. Besser geeignet als Absorber ist hier ein Flachheizkörper.



Anstrich:

Der Absorber sollte matt schwarz gestrichen werden. Glänzender Lack kann durch leichtes Schmirgeln mattiert werden.

Abfall auf den Müll?:

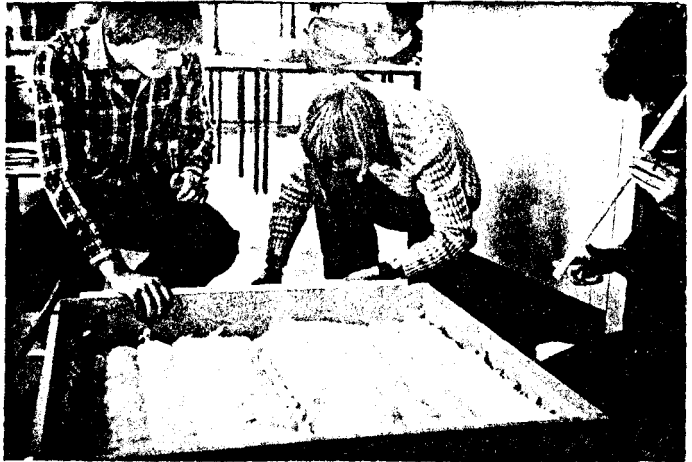
Das Gehäuse des ausgeschlachteten Kühl-/Gefrierschranks kann u.U. als ganzes zur Aufnahme des Warmwasserspeichers verwendet werden. Auf jeden Fall kann das enthaltene Isoliermaterial (i.a. Styropor) weiter verwendet werden.

Gehäuse:

Die Abmessungen des Gehäuses sind entsprechend der Größe des Kollektors zu bestimmen. Zu berücksichtigen ist dabei Platz für die Isolation (s.u.).

(Unsere Maße: 100 x 100 x 20 cm)

Als Material eignen sich wasserverleimte Spanplatten, die nach dem Zuschnitt miteinander verleimt und verschraubt werden.



Isolation:

Zur Isolation kann der Boden des Gehäuses mit einer Glaswollmatte o.ä. ausgelegt werden. Zusammen mit einer darüber angebrachten Aluminiumfolie verhindert diese Isolation eine unkontrollierte Wärmeabgabe an die Umgebung.



Durch die Reflexionswirkung der Alufolie wird ein zusätzlicher Wärmeeffekt auf der Rückseite des Absorbers erreicht.

Die Hauptisolation des Absorbers erfolgt durch Luft: Zwischen Absorber und Alufolie einerseits und zwischen Absorber und abschließender Glasplatte andererseits sollte ein Zwischenraum von mindestens 2 cm sein.

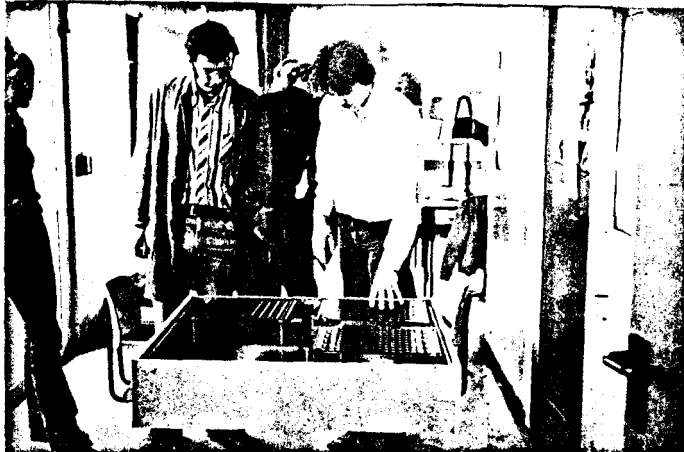


#### Montage des Absorbers im Gehäuse:

Je nach Gewicht des Absorbers und verfügbarem Material kann dessen Befestigung im Gehäuse auf unterschiedliche Art erfolgen:

- durch Anschrauben mit Gewindestangen,
- durch Befestigung mittels Vierkantstäben aus Holz und Schrauben
- oder auf andere Weise.

Es ist darauf zu achten, daß der montierte Absorber gut gegen die Rückwand isoliert ist und die Isolierschicht nicht berührt.



#### Lichtdurchlässiger Abschluß:

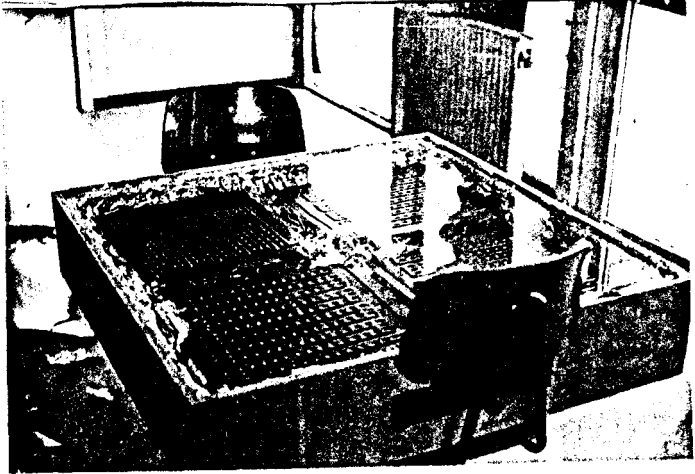
Nach oben hin wird der Kollektor durch eine Scheibe aus einfachem Fensterglas abgeschlossen. Damit ist eine gute Strahlendurchlässigkeit gewährleistet; die geringe Wärmeleitfähigkeit des Glases verhindert gleichzeitig größere Wärmeverluste durch Konvektion.

Als Halterung für die Glasplatte werden in ca. 1 cm Abstand von den Oberkanten des Kollektorgehäuses Leisten (z.B. Viertelstäbe) an die Innenwände des Kastens geleimt bzw. mit Nägeln geheftet.

Meßstelle/Anschlüsse:

An der Rückseite des Absorbers ist die Anbringung eines Temperaturfühlers vorzusehen ( → Steuerung).

Beim Gehäuse sind außerdem Bohrungen für Zu- und Ablauf des Wassers im Primärkreislauf zu berücksichtigen.



SD II. 4. Warmwasserbehälter/Wärmetauscher:

Als Gegenstück zum Absorber wird ein Warmwasserbehälter mit Wärmetauscher hergestellt. Für den Fall der Verwendung eines alten Boilers werden bei diesem Arbeitsschritt lediglich die Dichtigkeit geprüft und die Anschlüsse kontrolliert. Ein Vorschlag zum Selbstbau findet sich unten.

Praktische Hinweise:

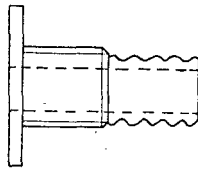
Als Warmwasserspeicher eignet sich z.B. ein Kunststoffbehälter, wie er für Chemikalien verwendet wird. Er sollte ein Fassungsvermögen von 50 - 200 l haben und einem leichten Überdruck ( $3 \text{ kg/cm}^2$ ) standhalten.

Im Innern des Behälters wird ein Wärmetauscher montiert:

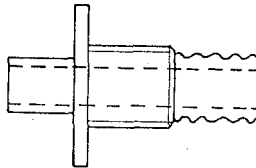
- z.B. einige Meter Kupferrohr als Spirale aufgedreht
- oder steifer Kunststoffschlauch (Polyäthylen).

Der Wärmetauscher wird durch Übergangsstücke, die in die Behälterwand eingepaßt werden, mit den Zuleitungen vom Kollektor verbunden. Die z.B. aus Messing gedrehten Teile (s. Abb.) werden mit Teflonband oder Hanf und einem Sanitärkleber abgedichtet. Die Maße richten sich nach dem verwendeten Rohr/Schlauch bei Wärmetauscher und Zuleitungen ( ca. 1/2" )

*Abb. 7*  
*Übergangsstücke*



*a) Brauchwasserschlauch - Brauchwasserspeicher*



*b) Heizschlauch - Heizschlange*

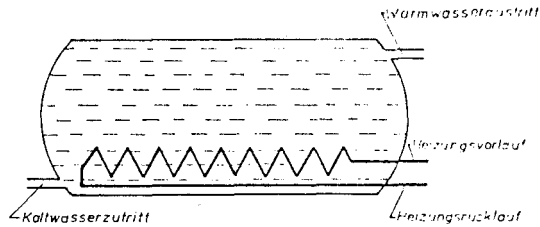
Der Wärmetauscher selbst kann entweder

- im unteren Drittel des Warmwasserspeichers  
oder

- über den ganzen Speicher verteilt angebracht werden (Abb. 8 ).

Abb. 8

Prinzip der Speicher-Brauchwassererwärmung mit Heizschlange



Außerdem ergeben sich zwei unterschiedliche Möglichkeiten der Heizwasserführung:

- a) entgegen der Strömungsrichtung des Brauchwassers oder
- b) mit der Strömungsrichtung des Brauchwassers.

Bei Ausführung a) (Gegenstromprinzip) ist im Vergleich zu den anderen Möglichkeiten eine etwas schnellere Aufheizung des Wassers im oberen Teil des Behälters zu erreichen, bei geringer Temperaturdifferenz zwischen Heizwasser (aus dem Kollektor) und Vorratswasser ist der Wärmeaustausch aber nicht mehr optimal.

Bei Gleichstromanordnung oder bei asymmetrischer Anbringung der Wärmetauscherschlange wird insgesamt eine gleichmäßigere Erwärmung der gesamten Wassermenge erreicht.

Nach Fertigstellung und Anschluß sollte der Warmwasserspeicher von außen gut isoliert (Glaswolle, Styropor, o.ä.) und die Isolation vor Nässe geschützt werden (Kunststoffplane).



SD II. 5. Pumpe und Leitungen im Primärkreislauf:

Für den Transport des im Absorber erhitzten Wassers in den Wärmetauscher kann entweder eine Pumpe verwendet werden - oder die Anlage wird für "natürlichen Umlauf" ausgelegt. Die Verbindungsleitungen müssen im Querschnitt entsprechend ausgelegt werden. Im Primärkreislauf ist auch ein Ausgleichsbehälter vorzusehen.

Praktische Hinweise: Pumpe

Die Pumpe wird am tiefsten Punkt des Primärkreislaufs eingebaut (zur Vermeidung von Überhitzung vorzugsweise in die Rücklaufleitung von Wärmetauscher zum Kollektor). Die Pumpe sollte - für Anlagen wie die vorgeschlagene - eine Leistung von ca. 2 - 3 mWs besitzen.

Es eignen sich:

- alte Waschmaschinenpumpen
- starke Aquariumpumpen oder
- andere Pumpen entsprechender Leistung.

#### Anmerkungen:

Bei der Installation einer Waschmaschinenpumpe (220 V ~) sind unbedingt die VDI-Richtlinien zu beachten. Die Schiffer können die Installation nur vorbereitend ausführen. Auf elektrische Isolierung, Erdung und bedienungssichere Unterbringung (wasserfestes Gehäuse) ist besonders zu achten. Dabei muß die Anbringung so erfolgen, daß die Kühlung durch das Lüfterrad gewährleistet ist. (Luftzutritt!).

Aquariumpumpen müssen so ausgesucht werden, daß sie den auftretenden Temperaturen (max. 50° C) standhalten.

#### Praktische Hinweise: Wasserleitungen

Zur Vermeidung von Wärmeverlusten und der leichten Verarbeitung wegen empfehlen wir, sämtliche Leitungen aus Kunststoff- oder Gummischlauch auszuführen. Hierfür hat sich 1/2" Gartenschlauch (oder PVC-Schlauch) bewährt. Alle Anschlüsse sind in diesem Fall durch verschraubbare Schlauchschellen zu sichern. Die Leitungen können zusätzlich mit geeignetem Polystyrolmantel thermisch isoliert werden.

#### Praktische Hinweise: Ausgleichsbehälter

Der Ausgleichsbehälter bildet den höchsten Punkt der Anlage. Er gleicht die temperaturabhängige Volumenänderung des im Primärkreislauf befindlichen Wassers aus. Des weiteren ist er ein Sicherheitsbehälter für den Fall des Stromausfalls: Wird das erwärmte Wasser bei starker Sonneneinstrahlung nicht aus dem Kollektor abgeführt, erreicht es leicht Temperaturen von über 100° C. Die Wasserdampfbildung und der damit einhergehende Druckanstieg würde dann zum Platzen der Anlage führen. Der Ausgleichsbehälter sollte ein etwas größeres Vo-



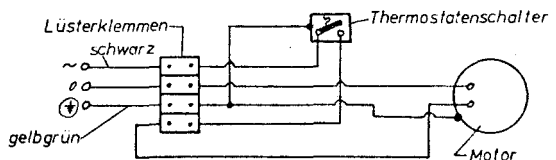
lumen als der Kollektor haben und steht mit der Atmosphäre in Verbindung.

Der Ausgleichsbehälter wird im Rücklauf unmittelbar vor dem Kollektor angeschlossen. Sollten sich Kollektor und Brauchwasserspeicher auf ungefähr gleicher Höhe direkt nebeneinander befinden, so kann der Ausgleichsbehälter auch auf der Ansaugseite der Pumpe angeschlossen werden. Der Ausgleichsbehälter ist mit einem Schlauch (lichte Weite mindestens 10 mm) an den Primärkreislauf anzuschließen, weiter sollte die vom Ausgleichsgefäß kommende Leitung senkrecht in den Heizungsrücklauf münden. Durch diese beiden Maßnahmen wird während des Betriebs der Anlage eine selbsttätige Entlüftung erreicht.

#### Praktische Hinweise: Pumpensteuerung

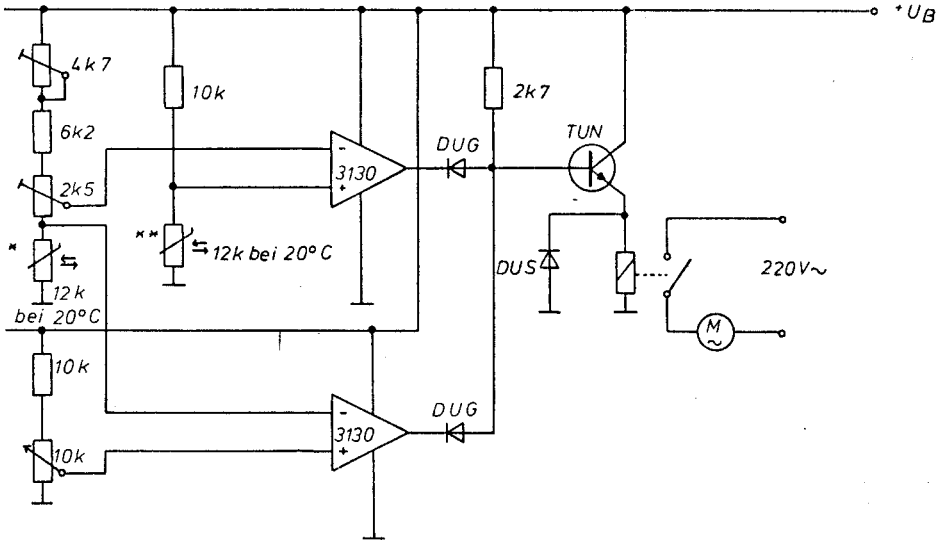
Eine einfache Möglichkeit der Pumpensteuerung läßt sich durch Verwendung eines Thermostatschalters mit Wärmefühler realisieren. Der Fühler wird an der Rückseite des Absorbers angebracht und der regelbare Schalter so eingestellt, daß das Relais bei Erreichen einer bestimmten Temperatur die Pumpe einschaltet. Das Temperaturintervall zwischen Ein- und Ausschaltzeitpunkt ist von der Bauart des Schalters abhängig.

Anmerkung: Da bei dieser Konstruktion am Schalter/Relais 220 V ~ anliegen, sind hier ebenfalls geeignete Sicherheitsvorkehrungen zu berücksichtigen.



Schaltbild für Thermostat-Steuerung

Eine aufwendigere Steuerung mit regelbarem Temperaturintervall kann unter Verwendung von 2 Meßfühlern (Heißleiter oder Widerstandsthermoelemente), die die Temperaturen von Absorber und Warmwasserbehälter messen und vergleichen, zwei regelbaren Vergleichswiderständen und einem Relais (u.U. mit vorgeschaltetem Verstärker) gebaut werden. Vorteil: Niederspannungsbereich ( 40 V ), optimale Nutzung der Sonneneinstrahlung; Nachteil: Aufwendigere Konstruktion, es sind zwei Spannungsquellen (Trafos) notwendig.



\* Kollektor

\*\* Speicher

Schaltbild für Temperatur-Intervall-Steuerung \*

\* Für die Überlassung der Temperatur-Intervall-Steuerung danken wir Herrn K.H. Hellwig und Mitarbeitern der Elektronikwerkstatt der GhK.

SD II. 6. Kollektoraufstellung und Dusche (Verbraucher):

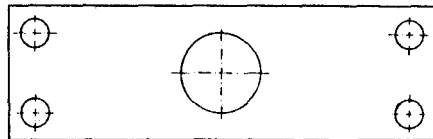
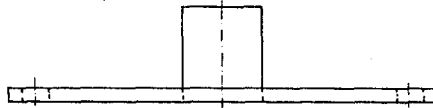
Zur Aufstellung des Kollektors wird eine geeignete Vorrichtung konstruiert. Der Kollektor sollte mit einer Neigung von ca.  $45^\circ$  gegen die Senkrechte aufgestellt und gegebenenfalls entsprechend dem Sonnenstand orientiert werden können.

Praktische Hinweise:

Die einfachste Ausführung eines Ständers erhält man, wenn auf der Rückseite des Kollektorgehäuses zwei Kanthölzer so befestigt werden, daß Kollektor und Kanthölzer ein gleichschenkliges Dreieck bilden.

Eine aufwendigere Aufstellung ist im folgenden beschrieben, ihr Vorteil liegt in der variablen Einstellung der Kollektorfläche - je nach Sonnenstand.

An zwei Längsseiten des Kollektorgehäuses sind zwei Flacheisen mit senkrecht eingeschweißten Rundeisen mittels Schloßschrauben befestigt (Abb. 9). Die Rundeisen ruhen in den halbrund gefeilten Stirnseiten eines jeden Ständers.



Bemerkung:  
Rund- und Flacheisen sind miteinander verschweißt!

Abb. 9  
Halter für Sonnenkollektor

Das Gestell wird aus 8 x 8 cm Fichtenholzstollen ange-  
fertigt, die miteinander verzapft und verleimt werden.



Um ein Aufspalten der Träger längs der Faser zu verhindern, kann man auf das obere Ende ein Stück (Hart-) Holz aufleimen, in das längs zur Faser eine halbrunde Vertiefung für die Aufnahme der Rundeisen (vom Kollektor) eingelassen wurde.

Schließlich bekommt auch der Ständer einen witterungsbeständigen Anstrich.

An den vier Ecken des Kollektorgehäuses und den vier Enden der Auflagegestellen befinden sich Ösen, durch diese sind Drähte gezogen. Sie halten den Sonnenkollektor in dem gewünschten Anstellwinkel.

Um die Funktionsfähigkeit des Kollektors und den "Wirkungsgrad" einer solchen Anlage demonstrieren zu können, sind einerseits Messungen angebracht, andererseits sollte die Wirkung durch praktische Nutzung veranschaulicht werden. Als Verbraucher des gewonnenen Warmwassers eignet sich z.B. eine Dusche.

#### Praktische Hinweise:

Der Duschgalgen kann ebenfalls aus Kanthölzern gefertigt werden, die man durch Verzapfung miteinander verbindet.

Der Duschkopf wird mit Kabelschellen an dem Galgen befestigt. In ihn ist ein Y-Stück geschraubt, von dem eine Leitung zu den Wasserhähnen führt. Die andere wird später mit dem Warmwasserauslauf des Brauchwasserbehälters verbunden.

Die beiden Wasserhähne arbeiten als Mischbatterie. Sie werden über einen Wandhalter und ein T-Stück mit dem Wasserleitungsnetz verbunden. Der eine Hahn reguliert den Kaltwasserzulauf zum Duschkopf (s.o.), der andere den Zulauf zum Vorratsbehälter - damit also den Warmwasserlauf zur Dusche.

Auch hier sind alle Schlauchanschlüsse mit verschraubbaren Schellen zu sichern.

(Duschkopf und Hähne können meist leicht vom Altwarenhändler erhalten werden).



SD II. 7. Zusammenbau der Anlage:

Kollektor und Warmwasserbehälter werden, zunächst einzeln, dann nach Anschluß von Pumpe und Ausgleichsbehälter in den Primärkreislauf einer Druckprobe unterzogen. Das Warmwasserreservoir wird an Dusche und Wasserleitung angeschlossen und alle Verbindungen gesichert und überprüft. Die elektrischen Anschlüsse werden kontrolliert, die Erdung überprüft und die Anlage eingeschaltet. Während des Betriebs dürfen keine elektrischen Anschlüsse frei zugänglich sein!

Praktische Hinweise:

Das Füllen des Primärkreislaufs mit Wasser kann über das Ausgleichsgefäß erfolgen. Dabei ist dafür zu sorgen, daß die verdrängte Luft an anderer Stelle entweichen kann. Alle elektrischen Anschlüsse müssen nach VDI-Normen mit Naßraum-Materialien ausgeführt werden.

Die Kaltwasserzufuhr sollte durch einen Druckminderer oder durch entsprechendes Regeln des Anschluhhahns auf max. 0,5 atü eingestellt werden, um die Belastung der Schlauchverbindung gering zu halten.

Inbetriebnahme:

- Stecker in die Steckdose
- Wasserhahn aufdrehen
- Sonne einschalten
- abwarten
- Duschen

SD II. 8. Funktionsschema:

Zur Festigung des eigenen Verständnisses und zur Darstellung für andere fertigen die Schüler Funktionsschemata an, die die wichtigsten Teile der Solaranlage beinhaltet. (Abb. 10).

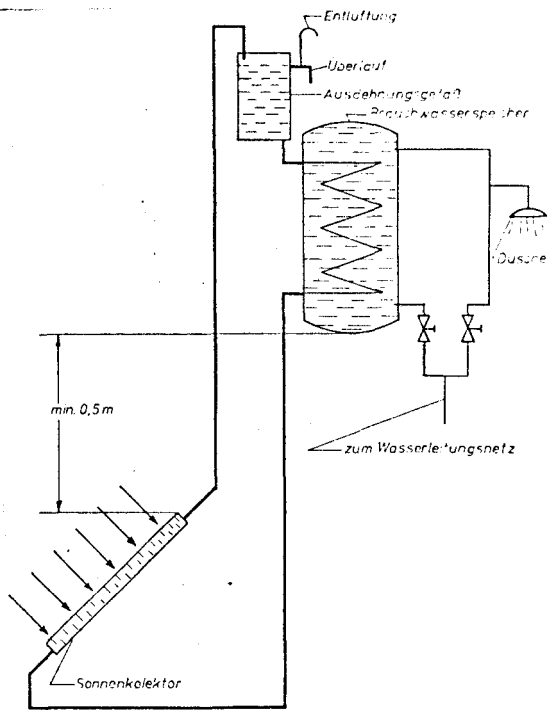


Abb. 11  
 Schema Solaranlage  
 (natürlicher Umlauf)

Anmerkungen zur Schwerkraftanlage:

- Bei einer Schwerkraftanlage entfällt die Pumpe sowie die gesamte elektrische Anlage,
- statt dessen ist hier das mit der Atmosphäre in Verbindung stehende Ausgleichsgefäß am höchsten Punkt der Anlage angebracht. Durch ein Steigrohr gelangt das im Kollektor erwärmte Wasser in den Ausgleichsbehälter und verläßt ihn an seinem Boden. Der Transport des warmen Wassers zum Wärmetauscher erfolgt durch die Eigenmasse des Wassers - unter Ausnutzung der unterschiedlichen Dichte der warmen bzw. kalten Flüssigkeit. Um diesen "Schwerkraftantrieb" jedoch voll zur Wirkung kommen zu lassen, müssen die Leitungen einen Mindest-Innendurchmesser von 25 mm aufweisen, gleiches gilt für den Absorberquerschnitt. Des weiteren muß mindestens eine Höhendifferenz zwischen Oberkante Kollektor und Unterkante Brauchwasserspeicher von 0,5 m vorhanden sein.



### SD III. Experimente mit dem selbstgebauten Sonnenkollektor

Das für die Schüler wichtigste Experiment mit dem Sonnenkollektor ist der Test auf seine Funktionsfähigkeit. Zwar ist das Erfolgserlebnis einer funktionierenden Warmwasserdusche, die vom Sonnenkollektor über ein Warmwasserreservoir gespeist wird, kaum durch andere Versuche zu ersetzen - die Bedeutung von Sonnenkollektoren als alternative Möglichkeit der Energiebereitstellung kann in ihrer gesellschaftlichen Bedeutung jedoch nur durch gründliche Überprüfung der Leistungsfähigkeit abgeschätzt werden. Die im folgenden aufgeführten Vorschläge lassen sich zum Teil nicht während der normalen Unterrichtsstunden realisieren. Unsere Erfahrungen mit dieser Unterrichtseinheit haben jedoch gezeigt, daß einzelne Schüler oder Schülergruppen nach der Fertigstellung der Apparatur so motiviert sind, daß sie selbständig auch außerhalb der Schulzeit zur Durchführung der entsprechenden Untersuchungen bereit sind. Bei Berücksichtigung aller Sicherheitsvorkehrungen entsteht dabei kein besonderes Risiko, so daß ein entsprechendes Vorgehen durchaus zu verantworten ist.

#### Vorschläge für Untersuchungen:

##### - Untersuchungen im Dauerbetrieb

Der Sonnenkollektor wird nach Süden ausgerichtet, die Neigung der Kollektorfläche sollte entsprechend dem höchsten Stand am Mittag gewählt werden. Gemessen wird die Temperatur des Warmwasserbehälters in zeitlich festgelegten Abständen (z.B. zu jeder vollen Stunde).

Diese Beobachtungen werden bei verschiedenen Bedeckungs- und Witterungsverhältnissen wiederholt.

Als Variante bietet sich an eine Nachführung des Sonnenkollektors in Abhängigkeit vom Sonnenstand.

##### - Kurzzeitversuche

Durch Einschalten der Pumpe wird der Absorber mit Wasser einer definierten Temperatur aus dem Warmwasserreservoir

gefüllt, es wird die Zeit gemessen, bis eine gewählte Endtemperatur bzw. eine Temperaturerhöhung um einen bestimmten Betrag erreicht wird. Variiert werden können dabei:

Die Neigung der Kollektorfläche,  
die Wahl des Temperaturintervalls,  
Aufstellungsbedingungen.

Schließlich können die Kurzzeituntersuchungen ebenfalls bei verschiedenen Witterungsverhältnissen durchgeführt werden.

Aus der Pro-Zeiteinheit um eine bestimmte Temperaturdifferenz erwärmten Wassermenge kann die maximale Leistung des Sonnenkollektors errechnet werden. Da an der geschlossenen Anlage Veränderungen (z.B. betreffend Isolation, Absorberanstrich, Verglasung usw.) nur unter erheblichem Arbeitsaufwand vorgenommen werden können, die Leistung eines Sonnenkollektors jedoch pauschspezifisch ist, können zusätzlich verschiedene andere Versuche an Teilmodellen durchgeführt werden. Ausführliche Anleitungen dazu finden sich in folgendem Beitrag: Manfred Brockt, Ein Sonnenkollektormodell für Unterrichtszwecke, in: Naturwissenschaften im Unterricht, Physik/Chemie, Heft 9, 1977, Seite 257 - 64.

Über weitere und andere Erfahrungen mit Sonnenkollektormodellen wird berichtet in: Energie selbst gemacht, Broschüre der FOS 12, Paul Ehrlich-Schule, 6230 Frankfurt-Höchst 80. Ebenfalls in: Unterricht in Alternativer Technologie? Bericht von Peter Fuchs, Oberstufenkolleg, Bielefeld.

Anmerkung: Bei Verwendung eines Pyranometers kann aus dem Vergleich der Stärke der Globalstrahlung und der berechneten Kollektorleistung ein anlagenspezifischer Wirkungsgrad berechnet werden.

WP/SD IV. Auswertungsphase

Eine technisch orientierte, die hergestellten Apparate betreffende Auswertung alleine würde dem Ziel der Unterrichtseinheit nicht voll gerecht werden. Die eingangs im Abschnitt Unterrichtsziele beschriebenen "Qualifikationen bezogen auf den gesellschaftlichen Bereich" erfordern die Rückbeziehung der bis zu diesem Zeitpunkt von den Schülern gemachten Erfahrungen auf eben diese gesellschaftliche Ebene. Unserer Erfahrung nach fällt den Schülern der Übergang zu einer eher allgemeinen und theoretischen Betrachtung des Umfeldes von "Energie" nach der Phase intensiver praktischer und naturwissenschaftlich technischer Arbeit jedoch schwer. Künftig wirkt sich hier ebenfalls eine Produktorientierung aus: Z.B. Vorbereitung einer Ausstellung, in der die angefertigten Anlagen der Schulöffentlichkeit oder einer breiten Öffentlichkeit, z.B. im Rahmen eines Tages der offenen Tür, vorgestellt werden. Dabei ergibt sich ganz natürlich die Notwendigkeit der Aufbereitung von Informationen, Materialien und Texten, damit den Besuchern Ziele und Bedeutung der schulischen Auseinandersetzung mit einem solchen Thema verständlich gemacht werden können.

Sofern sich eine oder mehrere Schülergruppen parallel zu Konstruktionsgruppen weiter mit Texten und Materialien beschäftigt haben, liegen zu diesem Zeitpunkt dann bereits umfangreiche Erfahrungen aus der Bearbeitung der beschafften Materialien vor. Die Ergebnisse können als zusammengefaßte, auch kontrovers dargestellte Arbeitsberichte oder Kurzreferate in die Gesamtgruppe eingebracht und weiter diskutiert und bearbeitet werden.

Sofern weder die Möglichkeit für eine Ausstellung oder ähnliche Aktivitäten besteht und während der Konstruktionsphase keine Beschäftigung mit allgemeineren Materialien erfolgt ist, bietet sich folgende Alternative an:

### Energie-Rollenspiel

Das Rollenspiel geht von einer vorgegebenen Situation aus, die Teilnehmer erhalten kurze Personenbeschreibungen, an die sie sich in etwa während des Spiels halten sollen. Die Rollenbeschreibungen sind jedoch nur in Umrissen gegeben, so daß die Spieler die Möglichkeit haben, die Rollen nach ihren eigenen Interessen und Meinungen zu modifizieren. Die Spielsituationen sollten so gewählt werden, daß sich möglichst viele Anknüpfungspunkte an die Erfahrungen der Schüler ergeben.

Damit das Spiel selbst übersichtlich bleibt und innerhalb der vereinbarten Spieldauer von 15 - 30 Minuten alle Teilnehmer die Möglichkeit haben, sich mehrmals zu äußern, sollte die Spielerzahl auf höchstens 8 begrenzt werden. Der Rest der Klasse spielt Zuschauer, bei bestimmten Spielsituationen können die Zuschauer auch aktiv eingreifen (Spielsituation: Podiumsdiskussionen).

Das Spiel kann mit anderen Spielern, anderen Rollen, anderen Spielsituationen oder aber nach einer ersten Auswertung ohne Veränderung von Personen und Situationen wiederholt werden. Für die Auswertung muß mindestens die doppelte Zeit der Spieldauer veranschlagt werden. Die Zuschauer sollten sich während des Spiels Notizen machen.

Vorschläge für Spielsituationen:

- Altbaumodernisierung,  
Gesprächsteilnehmer: Hausbesitzer, Mieter, Beratungsfachmann des örtlichen Energieversorgungsunternehmens, Architekt, Baudezernent, Mieter mit unterschiedlichen Berufen.
- Kraftwerksbau,  
Teilnehmer einer Bürgerversammlung: Fachleute von Wirtschaft und Staat, Bürger mit unterschiedlichen Berufen, Interessen und Meinungen.

- die Energiekrise,  
Teilnehmer am Stammtisch: Verschiedene Personen mit unterschiedlichen Interessen und Meinungen, die sich regelmäßig zum Stammtisch treffen (gemeinsames Interesse, z.B. Lokalpolitik, Brieftaubenzüchter, o.a.).
- Energiesparmaßnahmen,  
Teilnehmer der Betriebsversammlung: Beschäftigte des Betriebes, Gewerkschaftsvertreter, Vertreter der Betriebsleitung.
- andere Situationen nach Bedarf.

Die nachfolgenden Personenbeschreibungen sind, ebenso wie die Vorschläge für Spielsituationen, als Beispiele zu verstehen.

Personenübersicht für das Rollenspiel

Für folgende Personen sind Beschreibungen zusammengestellt:

Friedrich Vollmer, 56 Jahre, Maschinenbau-Ingenieur,  
Angestellter;

Hannelore Friedrich, 15 Jahre, Schülerin;

Rolf Bäcker, 38 Jahre, Angestellter des örtlichen  
Energieversorgungsunternehmens, Berater;

Hans-Georg Schneider, 28 Jahre, angestellter Handelsvertreter  
für Heizungs- und Klimatechnik;

Elfriede Schmidt, 55 Jahre, Hausbesitzerin, nichterwerbstätig;

Johann Baumeister, 58 Jahre, Beamter beim Regierungspräsidium,  
Referat Bauwesen;

Helmut Brettschneider, 16 Jahre, Schüler;

Iris Töbler, 32 Jahre, Facharbeiterin (Kunststoffverarbeitende  
Industrie), Gewerkschaftsmitglied (IG-Chemie);

Dr. Karin Fuchs, 41 Jahre, Physikerin;

Gerhard Wagner, 44 Jahre, Public Relationsmann in einem  
Stahlkonzern;

Heinrich Müller, 45 Jahre, Kaufm. Angestellter, Mieter.

Rolf Bäcker, 38 Jahre, Angest. des örtl. Energieversorgungsunternehmens  
(Berater)

---

Hat gerade einen Kurs über elektr. betriebene Wärmepumpen hinter sich.

Seine Beratungsstrategie orientiert sich am Firmeninteresse:

Strom verkaufen, damit der Umsatz weiter steigt.

Dies ist besonders wichtig, da er weiß, daß die installierte Leistung höher als der Bedarf ist, da der Ausbau der Energieversorgung nach älteren und zu hoch angesetzten Bedarfsprognosen durchgeführt wurde.

Seine Beratungsaussagen:

Strom ist immer noch am saubersten,

läßt sich leicht transportieren,

Wärmepumpen sind gut, da umweltfreundlich.

Elektr. Wärmepumpen sind optimal, da

- erprobt (Kühlschrank)

- wartungsfrei.

Sonnenkollektoren lohnen in unseren

Breiten nicht.

Hans-Georg Schneider, 28 Jahre, angestellter Handelsvertreter  
für Heizungs- und Klimatechnik

---

Wird nach Umsatz bezahlt,

seine Firma stellt her:

konventionelle Öl/Gas/Koks-Zentralheizungen,

neuerdings auch:

Gas/Öl- betriebene Wärmepumpen und

Wärmepumpen/Sonnenkollektoren-Verbundsysteme.

Er argumentiert immer entsprechend den vermuteten Interessen und Meinungen eines möglichen Kunden.

Privat hat er Kontakt zu einem engagierten Vertreter einer Bürgerinitiative, deshalb kann er bei Bedarf die Vorteile eines Wärmepumpen/Sonnenkollektor-Verbundsystems besonders gut schildern.

Friedrich Vollmer, 56 Jahre, Maschinenbau-Ingenieur, Angestellter  
verheiratet, 2 erwachsene Kinder

---

Experimentiert selbst mit Sonnenkollektoren,  
hat eine Wärmepumpe im Keller (Abwärmenutzung),  
arbeitet engagiert in einer Bürgerinitiative (gegen KKW, gegen  
"wilden" Straßenbau),  
hat schon häufig für die Bürgerinitiative an Podiumsdiskussionen  
teilgenommen.

Seine These:

Dadurch, daß sich die Menschen  
die Natur willkürlich untertan  
gemacht haben und sie nach Be-  
lieben ausbeuten, entziehen sie  
sich selbst bald die Lebens-  
grundlage.  
Gleichzeitig behandeln die  
Menschen sich gegenseitig ebenso  
unmenschlich, wie die Natur.

Sein Ziel: Nutzung aller Möglichkeiten,  
die Mitbürger für einen ver-  
nünftigen Umgang mit der Natur  
und einen freundlicheren Umgang  
miteinander zu gewinnen.

Hannelore Friedrich, 15 Jahre, Schülerin

---

Hat an einem Projekt teilgenommen, bei dem eine Wärmepumpe oder ein  
Sonnenkollektor gebaut worden ist,  
wohnt mit Eltern und 2 Geschwistern in eigenem Einfamilienhaus in  
einem Neubaugebiet,  
ist von den Möglichkeiten der Alternativ-Energiegewinnung überzeugt:

"Jedem sein Sonnenkollektor aufs Dach!"

"Ölheizung raus, Wärmepumpe rein!"

"Fahrräder statt Autos!"

"Es wird viel zu viel Energie verbraucht -

Wozu braucht ihr eine elektr. Brotschneidemaschine".

Sie hat im Rahmen der SV eine AG zur Alternativenenergie/Technologie  
organisiert.



Dr. Karin Fuchs, 41 Jahre, Physikerin

---

Arbeitet in einer Arbeitsgruppe "Theoretische Physik".

Hält die Diskussion über Energie für überzogen, die Berichte in den Medien für zu wenig sachlich fundiert; besonders kritisiert sie Ausdrucksweisen wie "Energieverbrauch" (Energie kann nicht verbraucht werden, sie wird nur umgewandelt und bleibt insgesamt erhalten).

Hält Bürgerinitiativen für inkompetent, glaubt, daß der Staat unter Herbeiziehung von Fachleuten die wichtigen Entscheidungen rechtzeitig treffen wird.

Hält sich im übrigen für das Problem "Energie" nicht als kompetent.

Gerhard Wagner, 44 Jahre, Public Relationsmann in einem Stahlkonzern

---

Porsche-Fahrer, Zweitwagen für Familie (4 Kinder);

weist ständig auf die umweltfreundliche Produktionsweise seines Konzerns hin;

aber: Die Auflagen der Bundesregierung und der Landesbehörden zum Umweltschutz haben die Gewinnmarke schon mehrmals unterschreiten lassen. Gefahr für Arbeitsplätze!

Daher: Expansive Energiepolitik notwendig für den Bedarf der 80er Jahre, Atomkraftwerke!

Hält außenpolitische Aktivitäten der Regierung für notwendig. (Ziel: billige Erdölimporte), befürchtet sonst die Belagerung des Konzerns.

Er sagt: "Sogar die Gewerkschaften haben das erkannt und berücksichtigt".

Seine Meinung: Industrielle Produktion braucht zentrale Energieversorgung.

Alternative Energiegewinnung taugt höchstens für Schrebergärtner.

Helmut Brettschneider, 16 Jahre, Schüler

---

Hat an einem Projekt teilgenommen, bei dem eine Wärmepumpe/ein Sonnenkollektor gebaut worden sind.

Wohnt mit seinen Eltern im Mietshaus.

Er lehnt Alternative Energietechnologien nicht prinzipiell ab, meint aber, daß Atomkraftwerke notwendig sind, und zwar heute schon.

Seine Argumentation: Industrie und Haushalte brauchen Strom.

Strom ist nicht zu ersetzen, Kernkraftwerke haben geringe Umweltbelastung (kein  $SO_2$ ).

Alternativtechnologien sind gar nicht so umweltfreundlich:

Grundwasser wird abgekühlt, negative Auswirkungen auf die Vegetation; Windmühlen verschandeln die Landschaft; Einzelproduktion von Wärmepumpen-Aggregaten ist energieaufwendiger als Großaggregate in Kraftwerken. Sonnenkollektoren sind in unseren Breiten nicht effektiv.

Dem hat das Projekt aber trotzdem Spaß gemacht - wegen des Bastelns.

Iris Töbner, 32 Jahre, Facharbeiterin (Kunststoffverarbeitende Industrie), Gewerkschaftsmitglied (IG-Chemie)

---

verh., keine Kinder, seit 9 Jahren Gewerkschaftsmitglied.

Hält alles für wichtig, was Arbeitsplätze sichert und erhält, hat sich dazu gründlich mit den DGB-Thesen zur Energiepolitik beschäftigt und vertritt in Diskussionen einen differenzierten und zustimmenden Standpunkt zum Bau von Kernkraftwerken (Bedingung: Mehr Sicherheit).

Von Alternativ-Energietechnologien weiß sie nicht viel, vermutet aber, daß damit keine Arbeitsplätze gesichert werden. Spricht sich für Sparsamkeit beim Energieverbrauch aus. Führt selbst einen kleinen Wagen.

Elfriede Schmidt, 55 Jahre, Hausbesitzerin, nicht erwerbstätig

Hat kürzlich ein 4-Familien-Mietshaus geerbt, wohnt aber selbst zur Miete.

Sie will das Mietshaus renovieren lassen und dabei günstige Kredite in Anspruch nehmen.

Im Rahmen einer notwendigen Erneuerung der Heizungsanlagen hat sie sich vom ortsansässigen Energieversorgungsunternehmen beraten lassen. Sie ist jetzt unsicher, ob sie die alte Ofeneinzelheizung auf Zentralheizung umstellen lassen soll, welches System in Frage kommt, welcher Energieträger?

Johann Baumeister, 58 Jahre, Beamter beim Regierungspräsidium,  
Referat: Bauwesen

Er ist für die Einhaltung von Bauleitlinien verantwortlich und begutachtet auch Anträge zum "Modernisierungs- und Einsparungsgesetz".

Seine private Meinung: Die Energiekrise läßt sich nur durch private Initiative (Hausbesitzer, Bauherrn) auffangen - aber im Rahmen der gesetzlichen Vorschriften!

Seine Vorschriften:

- Begutachten von Maßnahmen, die der Energieeinsparung förderlich sind
- Baurichtlinien, z.B. wird das Stadt-/Landschaftsbild beeinträchtigt (z.B. durch Kollektoren auf dem Dach)?
- Einhaltung der Wasserschutzvorschriften (z.B. Abkühlung von Grundwasser durch Wärmepumpen).

Heinrich Müller, 45 Jahre, Kaufm. Angestellter, Mieter

---

Seine Wohnsituation: Mietshaus mit 10 Familien, gebaut 1960,  
hohe Heizungskosten, neue Öl-/Zentral-  
heizung eingebaut, steigende Ölkosten.

Sein Interesse: Die Kostensteigerung bei der Heizung hat  
seine finanzielle Grenze der Leistungs-  
fähigkeit erreicht.

Standpunkt: Unsicher, so geht es nicht weiter.  
Ideen: Hausbesitzer soll besser isolieren,  
besonders die Fenster.  
Hat von Alternativ-Technologien gehört,  
weiß aber nichts Genaues, ist verun-  
sichert.

Literaturhinweise:

Teil 1: Allgemeine Literatur zur Energieproblematik

Herausgeber/Anschrift	Titel, Literaturbeispiele	Preis
Bundesminister für Forschung und Techno- logie Referat Presse und Öffentlichkeit, Bonn	Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977 - 1980, Bonn, 1978	kostenlos
- " -	Programm Technologien zur Nutzung der Sonnenenergie 1977 - 1980, Bonn, 1978	kostenlos
- " -	Kernenergie, Eine Bürgerinformation, Bonn, 1978	kostenlos
- " -	Rahmenprogramm Energie- forschung, 1974 - 1977, Bonn, 1975	kostenlos
- " -	Energiediskussion, (Zeitschrift) - enthält selbst laufend neue Hinweise auf interes- sante Materialien und Texte -	kostenlos
Bundesminister für Wirtschaft, Referat Presse und Information	Energiesparen beim Wohnen und Bauen, Bonn, 1979	kostenlos
- " -	Damit Sie Ihr Geld nicht verheizen, Bonn 1978	kostenlos
- " -	Haushalten im Haushalt, Energie-Spar-Tips, Bonn, 1978	kostenlos
Presse- und Infor- mationsamt der Bundesregierung, Bonn	Reihe: Bürger-Service z.B. Band 6: So hilft der Staat beim Heizenergiesparen und Modernisieren in Gebäuden, Bonn, o.J.	kostenlos

Hans Matthöfer über: Presse- und Infor- mationsamt der Bundesregierung Bonn	Interviews und Gespräche zur Kernenergie, Heidelberg, 1977	kostenlos
Deutsche Shell AG Öffentlichkeitsarbeit Hamburg	Energie, Bausteine für den Unterricht, Hamburg, 1977	kostenlos
Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsan- wendung e.V. - HEA - Am Hauptbahnhof 12, 6000 Frankfurt/M.	Energie und sinnvolle Energieanwendung, 1978	kostenlos
- " -	Energieversorgung Daten und Fakten, Heidelberg, 1978	kostenlos
- " -	Literaturliste: Auswahl von Unterrichts- hilfen der EVU zum Thema Grundlagen der Elektrizität	kostenlos
Siemens AG, ZVW 112 Postfach 103, 8000 München 2	Energie für Morgen, Berlin, 1975	kostenlos
<u>Teil 2: Materialien, für den Unterricht aufbereitet</u>		
Informationskreis Kernenergie, Heussallee 10, 5300 Bonn	Projekt Kernenergie - Basisinformationen - Begleitheft etc. (für Unterricht auf- bereitet)	kostenlos
- " -	weitere Materialien auf Anfrage	kostenlos
W. Münzinger Graf-Stauffenberg- Schule, 6093 Flörsheim/M.	Energie, (Unterrichtseinheit) Flörsheim, 1979	ca. 5,-- DM
- " -	Kern-Energie (Unterrichtseinheit) Flörsheim, 1978	ca. 5,-- DM

Robert Borsch,  
Christian Knaupp,  
Fußhain 14,  
6364 Florstadt

Alternative Energie  
in der Schule

ca. 6,-- DM

- " -

Energie selbst gemacht  
(Bericht über Prospekte  
mit Bauanleitungen)

ca. 6,-- DM

Peter Fuchs,  
Oberstufenkolleg  
Bielefeld,  
Postfach 8640,  
4800 Bielefeld 1

Unterricht in alternativer  
Technologie,  
Projektberichte und  
Problemanalysen

ca. 5,-- DM

Teil 3: Literatur zur Wärmepumpe

Walter Baier

Die Wärmepumpe,  
in: Bild der Wissenschaft, Heft 1, 1978, S. 67-76

E. Schwarzer,  
U. Quast

Zur quantitativen Behandlung der Wärmepumpe  
anhand eines umgebauten Kühlschranks,  
in: Physica didacta, 4, S. 251-259 (1977)

Walter Witzel

Ein Vorschlag zur Behandlung des Heißluft-  
motors und der Wärmepumpe,  
in: Der Mathematische und naturwissenschaftliche  
Unterricht,  
Heft 1, 1978, 31. Jhg., S. 27-33

Die Wärmepumpe,  
Hrsg.: Rheinisch-Westfälisches Elektrizitäts-  
werk AG, Abt. Anwendungstechnik,  
Kruppstraße 5, 4300 Essen 1,  
Heidelberg, 1977 (kostenlos erhältlich)

Karl Hecht

Ein thermodynamischer Grundversuch mit der  
Wärmepumpe,  
in: Praxis der Naturwissenschaften, Physik, 28,  
Heft 2, 1978, S. 39-46

Weitere Literaturstellen siehe im Anhang!

Teil 4: Sonnenkollektoren, Energiesparmaßnahmen u.a.

Manfred Brockt

Ein Sonnenkollektormodell für Unterrichtszwecke,  
in: Naturwissenschaften im Unterricht,  
Physik/Chemie, 27,  
Heft 9, 1979, S. 257-264

U. Zimmermann

Ein Schulversuch zur Bestimmung der Energieeinsparung durch Wärmeisolation von Wänden oder durch Senkung der Raumtemperatur,  
in: Naturwissenschaften im Unterricht,  
Physik/Chemie, 25,  
Heft 12, 1977, S. 358-363

Sonderheft Naturwissenschaften im Unterricht  
"Elektrizität im Physikunterricht,  
Dezember 1977

Weitere Literaturstellen siehe im Anhang!



Anhang

Materialien für den Bau der Wärmepumpe:

Wärmepumpe

- 1 funktionsfähiger, alter Kühlschrank
- 2 Wannen à 50 l Fassungsvermögen
- 1 Widerstandsmeßgerät
- 1/2 kg Polyester - Gießharz und Härter
- Lüsterklemmen
- Pappe (zum Abdichten)
- Isolierband
- 1 Kondensator

Rührwerke

- 2 Elektromotoren (evtl. Trafo)
- 2 Leichtmetallrohre
- 2 Schiffsschrauben (Modellbau)
- Zinkblech oder Kunststoffgehäuse
- 2 Winkeleisen
- Kabelschellen
- Elektrokabel 3-adrig

Leistungsaufnahme - Meßvorrichtung

- 1 Wechselstromzähler
- 1 Spanplatte 50 x 50 cm
- 1 Lichtschalter
- 3 Schukostecker
- 2 Steckdosen
- Elektrokabel (Stücke)

außerdem

- Karton und Filzschreiber
- zur Anfertigung von-
- Funktionsskizzen und Beschriftungen

Werkzeuge

Flachfeile

Flachmeißel

Flachzange (o. Kombizange)

Hammer (ca. 500 g)

Körner

LötKolben

Maulschlüssel

Messer

Metallbohrer

Metallsäge

Schraubendreher (div.)

Seitenschneider

Spitzmeißel

Spitzzange

Phasensucher

Pinsel

Materialien für den Bau des Sonnenkollektors:

Flachheizkörper oder Kühlplatten aus einem alten Gefrierschrank

Fensterglasscheibe

Wasserpumpe (Waschmaschinen- oder Aquarienpumpe, Leistung ca. 2-3 mWs).

Wasserbehälter 50 - 200 l oder Wasserboiler von Warmwasserheizungsanlage

Polyethylenflasche

Thermostatschalter mit Fühler

4 m Kupferrohr, 10 mm  $\varnothing$  oder 10 m Polyethylenschlauch,  
Gummischlauch (z.B. Vakuumschlauch), Gartenschlauch 1/2",  
Schlauchschellen

Spanplatte (19 - 21 mm) oder Massivholzbretter

Viertelstab und Leisten, Kantholz (8 x 8 cm)

Glaswolle, Aluminiumfolie

Nägel

Holzschrauben

Maschinenschrauben oder Gewindestangen und Muttern

Dreiadriges Elektrokabel 1,5 mm<sup>2</sup>

Lüsterklemmen, Feuchtraumabzweigdose

Lötzinn, Löthönig (Lötfett)

Dichtband (Teflonband)

Fensterkitt oder Silikondichtmasse, Kaltleim

mattschwarze Farbe (für Kollektorplatten)

wetterfeste Holzschutzfarbe und Grundierungsfarbe

Übergangsstücke von Schlauch auf Kupferrohr  
von Schlauch in Wasserbehälter

Kollektorhalter aus Flacheisen.

Werkzeuge

Hammer 100 g  
Hammer ca. 500 g  
diverse Schraubendreher  
diverse Maulschlüssel  
Messer  
Seitenschneider  
Spitzzange  
Flachzange  
Metallsäge  
Holzsäge  
diverse Metallbohrer  
Rundfeile  
Flachfeile  
Raspel (halbrund)  
Beitel (flach)  
Holzhammer  
Holzbohrer ca. 30 mm Ø  
Brustleier  
Körner  
Phasensucher  
LötKolben  
Zollstock  
Pinsel  
rechter Winkel  
Lötlampe  
Zollstock

# Frankfurter Rundschau

Samstag, 22. Juli 1978, Nr. 157

## Eine Energiequelle mit Zukunft

### Solartechnik wird rentabel werden

Die Entwicklung der Solartechnik ist ein wichtiger Teil des Programms zur Entwicklung neuer Energiequellen. Wegen des hohen Bedarfs an Niedrigtemperaturwärme und des möglichen hohen Umwandlungsgrades von Sonnenstrahlung in Wärme kommt bei unseren Klimaverhältnissen besonders der thermischen Nutzung der Sonnenenergie Bedeutung zu. Mit diesen Worten umriss Staatssekretär Hans-Ulrich Haunschild vom Bundesforschungsministerium auf dem Zweiten Internationalen Sonnenforum, das jetzt in Hamburg stattfindet, die Bedeutung der Sonnenenergie in den kommenden zehn oder 20 Jahren.

Tatsächlich haben die von der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie gemeinsam mit der COMPLES (Coopération méditerranéenne pour l'énergie solaire) veranstaltete Kongreß und die gleichzeitig stattfindende Fachausstellung „Solar-Technik 78“ gezeigt, daß die Nutzung der Sonnenenergie heute erheblich an Bedeutung gewonnen hat. Vor Jahren noch belächelt, ist sie trotz noch bestehender Schwierigkeiten ein fester Bestandteil bei der Planung unserer Energie-Zukunft geworden. Es komme jetzt darauf an, so Sonnenenergie-Präsident Albert Derichsweiler, daß Industrie und Handwerk den Beweis antreten und Solaranlagen einschließlich Wärmepumpen herstellen, die nicht nur im Prinzip, sondern in jedem Anwendungsfall einen Energiegewinn bringen, der in einem wirtschaftlich vertretbaren Verhältnis zu den Investitionen steht.

Die Sonnenenergie wird, wie der Hamburger Kongreß noch einmal deutlich machte, zunächst nur einen kleinen Prozentsatz des gesamten Energiebedarfes decken können. Doch bedeutet das immerhin schon eine erhebliche Einsparung bei den traditionellen Energien wie Kohle, Gas oder Erdöl. Und sie wird vor allem für den Hausgebrauch da sein, für die Erzeugung von sogenannter Niedrigtemperaturwärme, das heißt vor allem Warmwasser und Heizwärme.

Das Problem bei der Hauswärme in unseren Breitengraden wird ist nach wie vor, daß wir in denjenigen Jahreszeiten am meisten Wärme benötigen, in denen die Sonnenenergie am geringsten ist. Bisher aber gibt es kein praktikables System, das es ermöglichen würde, im Sommer eingefangene Sonnenwärme für die kälteren Jahreszeiten zu speichern. Sinn vieler auf der

Hamburger Ausstellung gezeigter Solar-Kollektoren war es deshalb auch in erster Linie, Heizöl einzusparen. Würden sich die Heizölpreise in absehbarer Zeit verdoppeln, dann würden sich auch die jetzigen Anlagen schon voll amortisieren.

Diese Anlagen funktionieren alle nach ähnlichem Prinzip. Es kommt darauf an, die zumeist diffuse Sonnenstrahlung in dem Kollektor, dem Wärmesammler, einzufangen. Aber es gilt nicht nur, die Wärme einzufangen und an eine Flüssigkeit im Absorber weiterzuleiten. Es soll gleichzeitig gelingen, so wenig Wärme wie möglich wieder abzugeben. Die im Absorber von der Sonne erwärmte Flüssigkeit wird dann zum Beispiel in einen Brauchwasserspeicher geleitet.

Nach den Berechnungen des Instituts für Kernenergie und Energiesysteme in Stuttgart sowie der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt lassen sich bis zum Jahr 2000 durch Nutzung der Sonnenwärme günstigstenfalls zehn Prozent an Energie im häuslichen Bereich einsparen. Bei einem Marktanteil von 35 Prozent und bei den privaten Haushalten wären in diesem Fall um das Jahr 2000 etwa 1,2 Millionen Wohnungen mit derartigen Anlagen ausgerüstet. 1976 waren es nur 250, für Ende 1978 wird immerhin schon mit 3 000 Anlagen gerechnet.

Wesentlich höhere Einsparungen erwarten Experten von den in Hamburg ebenfalls in größerer Zahl gezeigten Wärmepumpen. Diese Anlagen ziehen Wärme direkt aus ihrer Umwelt, vor allem aber aus der Luft, und geben sie an Wasser als Träger weiter. Diese Pumpen sind zwar technisch schon weitgehend ausgereift, aber eine große Verbreitung scheiterte bisher an den hohen Preisen und den zu geringen Auftragszahlen.

Eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Solartechnik und der Wärmepumpen spielt die Erwartung, daß in den kommenden Jahren die Kosten für

die übrigen Energien erheblich ansteigen werden, und daß dann die Sonnenenergie immer attraktiver wird. Zwar kamen Experten in der Hansestadt zu dem Ergebnis, daß die Sonnenenergie bei Kostenvergleichsrechnungen gegenwärtig schlecht abschneidet. Mit steigenden Energiekosten werde sich das aber vielleicht bald ändern. Schon in zehn Jahren könne die Sonnenwärme zur billigsten Energie werden.

Bisher war es schwer, genaue Zahlen über die Kosten der Sonnenenergie zu bekommen. Solche Zahlen hat jetzt die Fachhochschule München vorgelegt. Bei einem durchschnittlichen Einfamilienhaus kostet imnach die konventionelle Ölheizung an Betriebskosten einschließlich Kapitalverzinsung und Abschreibung pro Jahr 4960 Mark; eine Ölheizung, die durch eine Solar-Heizung ergänzt wird, kommt auf etwa 6160 Mark, und eine Motorheizung aus Wärmepumpe und Motorenantriebe kostet 5470 Mark jährlich. Die Kosten für die Installation einer Solaranlage in Einfamilienhäusern bewegen sich durchschnittlich etwa bei 19 000 Mark. Mit diesen Einrichtungen lassen sich in den wärmeren Monaten mehr als 500 Mark an Energiekosten einsparen. Alle diese Zahlen gelten für das Jahr 1978 und können sich schnell ändern.

KARSTEN PLOG

# HEIZWÄRME VON DER SONNE

von Dr.-Ing. Bernd Stoy

Unerschöpflich, umweltfreundlich, heute und in aller Zukunft kostenlos, diese Eigenschaften liefern die Energiequelle Sonne zur Wunschenergie werden. Mit ihr könnten – so wird es unerschwinglich dargestellt – die meisten Probleme in kurzer Zeit gelöst werden: Der Energiebedarf der Industrienationen, die wirtschaftliche Abhängigkeit der zumeist sonnenreichen Entwicklungsländer, die Nahrungslücken der Menschheit, die zunehmende Verschmutzung unserer Atmosphäre und vieles andere. Die Nutzung von Sonnenenergie hat sicher eine große Zukunft, aber auch noch viele Jahre der Entwicklungsarbeit vor sich. Und Jahrzehnte werden vergehen, bis ihr Anteil an der Energiebedarfsdeckung deutlich ins Gewicht fällt.

In unserem an sich sonnenarmen Land hat das Interesse an der Nutzung von Sonnenenergie für die Heizwärmeerzeugung in jüngster Zeit sprunghaft zugenommen. „Sonnige Zeiten“ scheinen bevorzuziehen, denn die Sonnenenergie an sich kostet nichts. Der Kollektor auf dem Dach – aus ästhetischer Sicht oft als störend empfunden – findet überraschend viele Käufer. Allerdings muß man hierfür tief in die Tasche greifen. Für die Sommer-Warmwasserbereitung aus Sonnenenergie kostet die komplette Anlage rd. 10000 DM und für die ganzjährige Heizwärmeversorgung eines Wohnhauses rd. 40000 DM.

Wer nachrechnet, muß zudem betrüblichen Ergebnissen kommen, daß die Tilgung und die Zinsen für solche Anschaffungskosten derzeit noch höher sind als die möglichen Einsparungen an Heizenergie.

Dennoch, jede Entwicklung braucht ihre Pioniere. Zweifellos haben alle, die mit Idealismus, Risikobereitschaft, persönlichem Einsatz und finanziellen Aufwendungen Sonnenkollektoren installiert, in unserem Land die Nutzung dieser unerschöpflichen Energiequelle gefordert. Auch gewährt der Staat seit einigen Monaten beträchtliche Steuererleichterungen oder Investitionszulagen bei der Installation von Solaranlagen.

Die einfache schematische Darstellung nach Bild 1 zeigt die Funktionsweise einer Kollektoranlage für die Brauchwasserbereitung. Bild 2 veranschaulicht Meßergebnisse über den Energiegewinn solcher Anlagen, und Bild 3 zeigt ein bewohntes Solarhaus (siehe auch Titelbild). Sofort wird klar, daß trotz der hohen Anlagekosten in jedem Fall eine Zusatzheizung, z. B. Heizöl, erforderlich ist.

Noch mehr Sonnenenergie kann nutzbar gemacht werden, wenn die Kollektoranlage mit einer Wärmepumpe verbunden wird. Dies aber erhöht die Anlagekosten beträchtlich. Deshalb setzen sich vor allem solche Wärmepumpenanlagen durch, welche die Heizenergie nicht aus der Sonnenstrahlung über Kollektoren erzeugen, sondern über einfache Wärmetauscher aus dem Energieinhalt der Außenluft oder des Grundwassers oder des Erdreiches. Das nennt man indirekte Nutzung von Sonnenenergie; denn Außenluft, Grundwasser, fließendes Wasser, Erdboden, – sie alle werden von der Energie der Sonne gespeist.

Wie unterscheidet sich zum Beispiel ein Kollektor von einer Außenluft-Wärmepumpe? Der Kollektor wandelt die Energie der Sonneneinstrahlung in Wärme um und ist ein Versager, wenn die Sonne nicht scheint, erst recht wäh-

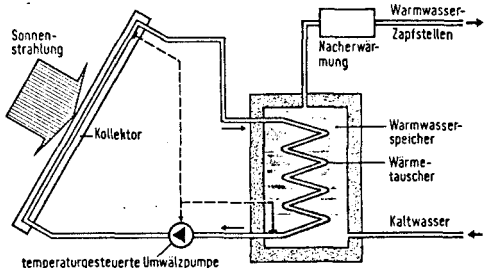


Bild 1: Principalschema einer Solaranlage für die Erwärmung von Brauchwasser.

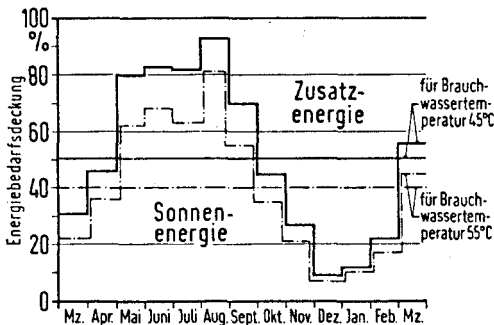
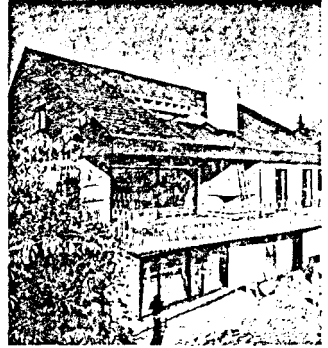


Bild 2: Wärmedarstellung durch eine Kollektoranlage während eines Jahres. Der Wärmebedarf muß durch zusätzliche Energie gedeckt werden.



▲ Bild 3: Mehrfamilienhaus eines BfW-Bausparers in Essen, ausgestattet mit Dornier-Kollektoren, Wärmepumpe und Zwischenspeichern; vom RWE als Versuchshaus betrieben.  
 Bild 4: Einfamilienhaus mit Dachteilen aus Pan-a-Therm-Absorbern, die als ENERGIE-DACH ausgebildet sind.



rend der Nacht. Die Außenluft-Wärmepumpe ist zwar Tag und Nacht einsatzbereit, doch sie ist nicht in der Lage, die Sonneneinstrahlung direkt nutzbar zu machen.

Kürzlich hat das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk (RWE) nach mehrjähriger Entwicklungsarbeit mit dem ENERGIE-DACH eine Lösung vorgezeigt, die sowohl die Eigenschaften des Kollektors – die Sonneneinstrahlung in Wärme umzuwandeln – als auch die Eigenschaften einer Wärmepumpe besitzt – nämlich den Energieinhalt aus Luft, Regen, Wind, Kondenswasser, Eis nutzbar zu machen. Dieses ENERGIE-DACH besteht nur noch aus einer dunkelfarbenen, unterseitig stark wärmedämmten Dacheindeckung (siehe Bilder 4 und 5), durch die ein Gemisch von Wasser und Frostschutzmittel (Sole) zu einer kleinen Sole-Wärmepumpe im Haus gepumpt wird. Die Oberfläche des mit sogenannten Absorbern ausgestatteten Daches kann aus Stahl, Aluminium, Kupfer oder Kunststoff bestehen. Das Dach ist Wetterschutz und Energiesammler zugleich. Während der kalten Jahreszeit ist es stets noch kälter als seine Umgebung. Dadurch nimmt es Energie aus der Umgebung auf. Auch nachts oder bei bedecktem Himmel wird mit Hilfe der Wärmepumpe Heizenergie erzeugt. Im Sommer kann das Absorberdach so heiß werden, daß auch ohne Wärmepumpe Heizenergie direkt vom Dach in das Heizsystem fließt.

Inzwischen steht fest, daß das ENERGIE-DACH gegenüber einem Kollektorsystem zweieinhalbmal soviel Sonnenenergie während eines Jahres nutzbar macht, geringere Anlage- und Wartungskosten mit sich bringt und viele herkömmliche Probleme des Kollektors nicht aufweist. Auch der Streit um

die Ästhetik von Kollektoranlagen erledigt sich ganz von selbst, denn das ENERGIE-DACH wird man von einem normalen Dach kaum noch unterscheiden können. Ein Vergleich der Bilder 3 und 4 macht dies deutlich. Das RWE hat seine Meß- und Prüfergebnisse sowie seine praktischen Erfahrungen allen interessierten Firmen inzwischen zur Verfügung gestellt. Schon für das nächste Jahr ist zu erwarten, daß nach den ersten Häusern, deren Dach in diesem Jahr teilweise mit Absorbern belegt wurde (siehe Fotos 4 und 5), Versuchshäuser entstehen werden, deren gesamte Dachfläche als ENERGIE-DACH ausgebildet ist, wie derzeit das

denen aber keine Energiegewinne und kein zusätzlicher Wärmeschutz gegeben ist. Es gehört nicht viel Phantasie zu der Vorhersage, daß schon in den nächsten Jahren ein gewaltiger Umstellungsprozeß bei der Eindeckung von Dächern und der Verkleidung von Fassaden durch die Verwendung von Solarabsorbern zu erwarten ist; denn das ENERGIE-DACH erzeugt Heizwärme bei jedem Wetter, bei Tag und bei Nacht.

Der Verfasser dieses Artikels, Dr.-Ing. Bernd Stoy, ist Vorsitzender des Bundesverbandes Solarenergie und Autor des Standardwerkes über Solarenergie

Bild 5: Versuchshaus der „Energieversorgung Schwaben“ in Pfalzgrafenweiler, bei dem über dem Dach Kunststoffabsorber montiert werden.

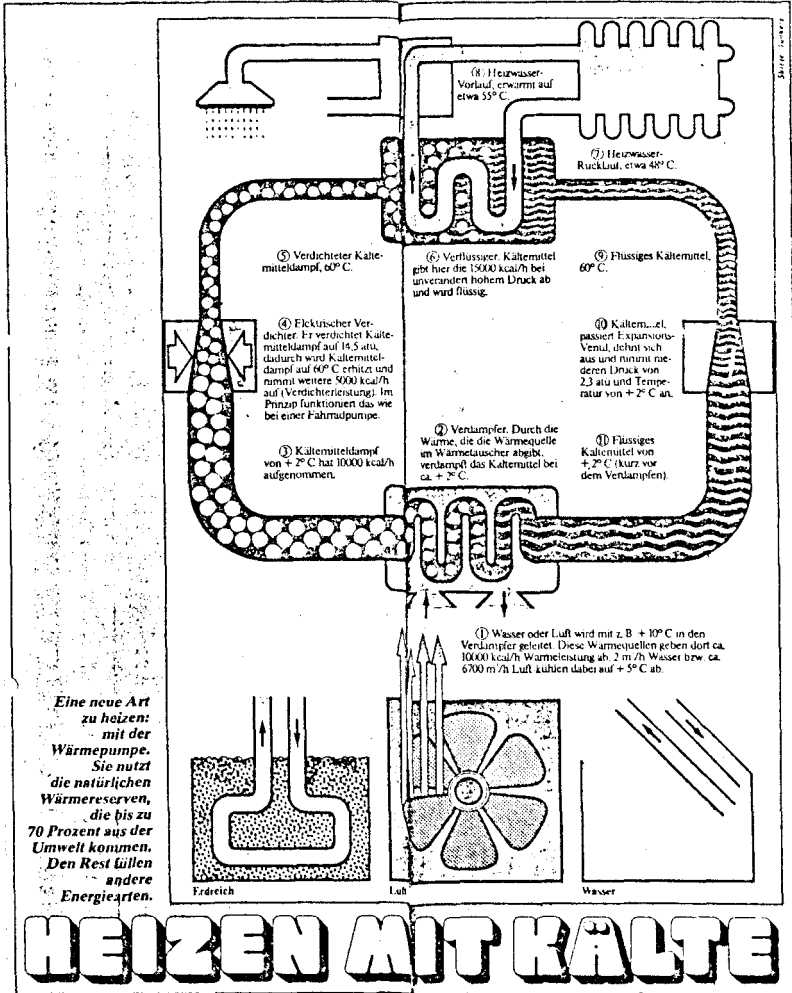


weltweit erste Experimentierhaus für Entwicklungen zum ENERGIE-DACH bzw. ENERGIE-FASSADE in Ratingen. Sowohl Flachdächer als auch Steildächer, selbst Fassaden oder Brüstungen können mit diesem System Solarstrahlung und Umweltwärme zugleich nutzen. Mit Beginn der Serienfertigung, die für 1979/80 zu erwarten ist, dürfen solche Dacheindeckungen oder Fassadenverkleidungen höchstens doppelt so teuer sein wie konventionelle Baustoffe, mit

mit dem Titel WUNSCHENERGIE SONNE, DM 58,-, das im Energie-Verlag erschienen ist. Für unsere Leser hat der Autor wichtige Abschnitte dieses Werkes in einem Buch zusammengefaßt, das Sie unter dem Titel „Ausgabe aus WUNSCHENERGIE SONNE“ für DM 25,- beim Energie-Verlag, Blumenstraße 13, 6900 Heidelberg 1, beziehen können. Diese Ausgabe enthält eine ausführliche Darstellung mit Dimensionsierungsbeispielen zum ENERGIE-DACH.

# Der praktische Tip

(aus: Mein Eigenheim (Würstenrot)  
Nr. 2 (1978 März/April))





# Der praktische Tip

Wenn über neue Heizsysteme diskutiert wird, fällt mit Sicherheit auch das Stichwort „Wärmepumpe“. Und sofort setzt unter Fachleuten ein hitziges Für und Wider ein. Der Laie hat's da meistens schwer, mitzuhalten. Es will ihm nicht so recht in den Kopf, wie man aus kühlem Grundwasser Wärme herausholen kann.

Ganz einfach: Indem man das Grundwasser noch kühler macht. Dabei wird Wärme frei, die genutzt werden kann. Man braucht dazu allerdings eine aufwendige Apparatur und eine Substanz mit dem – im ersten Augenblick verwirrenden – Namen „Kältemittel“.

Vielleicht wäre es besser, in diesem Zusammenhang von einem „Wärmeretter“ zu sprechen. Das wesentliche Merkmal dieses Stoffes ist es, daß er schon bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen zu sieden beginnt, in Dampf übergeht. Während man dem Wasser erheblich einheizen muß, um es in Dampf zu verwandeln, setzt dieser Prozeß bei einem Kältemittel schon bei etwa zwei Grad über Null ein. Man nimmt also eine Rohrschlinge, in der sich das Kältemittel befindet, und führt Luft oder Wasser daran vorbei, die wärmer sind als zwei Grad. Schon beginnt die merkwürdige Substanz in der Röhre, Wärme an sich zu ziehen und sich in Dampf zu verwandeln. Luft oder Wasser kühlt dabei ab. Es würde, wie der Fachmann sagt, Energie ausgetauscht. Sie steckt jetzt im Dampf, muß jedoch erst verdichtet werden, damit sie sich nützlich machen kann. Die Arbeit des Verdichtens übernimmt die eigentliche Wärmepumpe. Sie drückt den Dampf zusammen und dadurch erreicht er eine Temperatur von 60 Grad. (Es geht natürlich auch höher, aber dann muß die Pumpe mehr Arbeit leisten.)

### Ein „umgekehrter“ Kühlschrank

Mit dem heißen Dampf wird ein Wärmetauscher „bedient“, wiederum eine Rohrschlinge, durch die Wasser fließt, dessen Temperatur

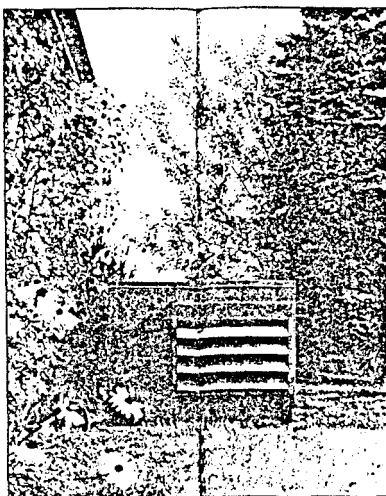


Foto: W. EDWARDS

*Die „Bivalente Wärmepumpen-Heizung“ ist in erster Linie für den nachträglichen Einbau in bestehende Häuser entwickelt worden. Der bereits vorhandene Ölkessel wird auch weiterhin benötigt. Die Wärmepumpe kommt als zusätzliches Aggregat hinzu, sozusagen als „Ölparasit“. Das Ganze sieht auf unserem Photo aus wie eine Wunderkiste. Dabei sind die Dinge, die in ihr vorgehen, alles andere als ein Geheimnis. Im Inneren sitzt eine Luft-Wasser-Wärmepumpe, die der Außenluft Wärmeenergie entzieht und diese an den Wasserkreislauf*

*der Heizung im Hause abgibt. Elektrische Energie sorgt dafür, daß die Temperatur der kostenlosen Umweltwärme auf die Vorlauftemperatur des Heizkreislaufes angehoben wird. Dabei werden mit nur 1 Kilowatt elektrischer Energie rund 3 Kilowatt Heizenergie gewonnen. Das ganze System funktioniert bis zu einer Außentemperatur von + 3° C. Erst an kälteren Tagen schaltet sich automatisch der Ölkreislauf ein. Die Ölheizung ist daher nur während rund 15 Prozent aller Heiztage in Betrieb.*

niedriger ist als die des Dampfes. Wiederrum wird Wärme getauscht, das Wasser erhitzt sich. Und damit soll wir am Ziel. Mit dem heißen Wasser kann man sich ein Bad bereiten oder eine Fußbodenheizung versorgen. Das „Kältemittel“ inzwischen wieder flüssig, darf sich entspannen. Es nimmt wieder seinen normalen Druck an, fließt aber flüssig, bis es wieder über den Verdampfer geht. Dieser Kreislauf ist übrigens auch das „Geheimnis“ eines Kühlschranks – mit dem wesentlichen Unterschied, daß man beim Kühlschrank genau das Gegenteil wie bei einer Wärmepumpe will.

Aber zurück zur Heizung. An den Verdampfer muß ein Medium herangeführt werden, das sich abkühlen läßt und damit Energie liefert. In Frage kommen Luft, Wasser und indirekt auch das Erdreich. Luft steht praktisch unbegrenzt zur Verfügung, hat aber den wesentlichen Nachteil, daß man braucht eine gehörige Menge davon, um den Verdampfer in Trab zu halten. Anders gesagt, der Verdampfer muß entsprechend groß gehalten werden. Außerdem hat Luft die Eigenschaft, daß ihre Temperatur ständig schwankt. Tagsüber ist sie höher als bei Nacht, an einem heißen Sommertag erreicht sie 30 Grad über Null, in strengen Wintern kann sie auf 30 Grad minus sinken. Wärmepumpen-Anlagen, die mit Luft arbeiten, „enden“ unter dem gleichen Nachteil wie Solar-Anlagen. Wenn Wärme im Haus am meisten gefragt ist, nämlich im Winter, wird am wenigsten geliefert.

### Die Wärme aus dem Boden

Wesentlich beständiger sind die beiden anderen Wärmequellen, Erdreich und Wasser. Im Boden herrscht ab einer gewissen Tiefe immer eine gleichbleibende Mitteltemperatur, Sommer wie Winter. Indigie Köpfe haben deshalb in ihrem Garten Rehrschlangen verlegt, in denen Wasser zirkuliert und sich erwärmt. Diese gewonnene Wärme (sprich Energie) wird dem Verdampfer zuge-

## HEIZEN MIT KRÄFTE

# Der praktische Tip

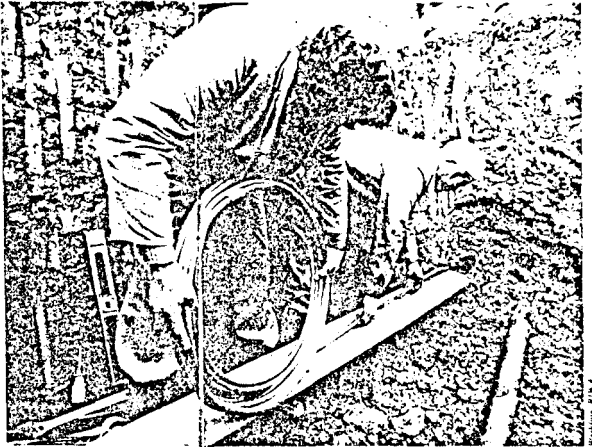
führt und über die Wärmepumpe nutzbar gemacht. Dazu braucht es allerdings ein genügend großes Grundstück – etwa 150 Quadratmeter für ein Einfamilienhaus, es sollte außerdem noch flach sein. Kalte Böden, also Böden, die sich langsam und eigen sich weniger gut wie wasserhaltige. Und man muß sich darauf gefaßt machen, daß die Tulpen später blühen als beim Nachbarn.

### ... und aus dem Grundwasser

Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Grundwasserstrom anzuzapfen. Praktisch bedeutet das, einen Brunnen zu schlagen. Die Temperatur des Grundwassers ist ähnlich konstant wie die des Erdreichs, man kann also gut und gerne damit den Verdampfer zum Arbeiten bringen. Das Grundwasser wird lediglich abgekühlt und fließt wieder in den Erdboden zurück. Voraussetzung ist allerdings, daß sich die zuständige Wasserwirtschaftsbehörde einverstanden erklärt. Das gleiche gilt, wenn ein Bauherr einen Fluß oder einen Bach zur Wärmegewinnung anzapfen möchte. Für den Betrieb der Wärmepumpe selbst ist eine Energiequelle notwendig, das ist bei den bisher angebotenen Systemen der elektrische Strom. Dazu müssen jedoch die entsprechenden Anschlußwerte vorhanden sein. Deshalb ist es unbedingt notwendig, vor der Installation einer solchen Anlage mit dem E-Werk Verbindung aufzunehmen. Der Einsatz von Elektrizität ist übrigens der Punkt, an dem sich die Kritik entzündet. Denn um Strom zu erzeugen, ist eine erhebliche Wärmemenge notwendig, von der mehr als zwei Drittel verlorengehen und zum Teil die Umwelt belasten. Bei einer mit Gas angetriebenen Wärmepumpe kann dieser Vorwurf nicht erhoben werden, derartige Geräte kommen jetzt auch für den „Hausgebrauch“ auf den Markt.

### Gesparte Heizungskosten?

Die wesentliche Frage für den Haus- und Bauherrn



W. Krollmann, Bf. 4

geht dahin, inwieweit einen Wärmepumpe seinen Geldbeutel entlastet. Eine generelle Aussage darüber ist jedoch schwer möglich. Angenommen, in einem Einfamilienhaus werden jährlich 6.000 Liter Heizöl verbraucht (ca. 2.000 Mark). Im besten Fall können davon 50 Prozent eingespart werden, das heißt also 1.000 Mark. Doch von dieser Summe müssen die Kosten für den elektrischen Strom abgezogen werden, den die Wärmepumpe braucht (ca. 500 Mark). Unterm Strich bleiben also 500 Mark. Nur: Mit der Wärmepumpe allein läßt sich bei niedrigen Außentemperaturen ein Haus nicht warmhalten, insbesondere dann, wenn sie mit Luft arbeitet. In der Regel wird also ein bivalentes Heizungssystem notwendig sein, eine

Kombination von Wärmepumpe und herkömmlicher Heizung. Das bedeutet, daß Kauf und Einbau einer Wärmepumpe zusätzliches Geld kosten, groß gesprochen um die zehntausend Mark herum. Dieser Summe stehen die jährlich eingesparten 500 Mark gegenüber. Es dauert also – bei unserem Beispiel – 20 Jahre, bis die Anlage abbezahlt ist, Zinsen nicht mit eingerechnet. Nicht einkalkuliert ist bei dieser Rechnung, wie sich in Zukunft die Ölpreise entwickeln – wahrscheinlich nach oben. Und es ist auch durchaus möglich, daß die Wärmepumpen billiger werden. In jedem Fall wird die Wärmepumpe auf der Tagesordnung bleiben als wichtiger Baustein zur besseren Nutzung der Energie.

Erich Milchgeier

**Verlegung der Kupferrohre**  
Die Sommerwärme des Erdreichs wird mit Kältemittel in Kupferrohren genutzt. Genau wie die Wärme im Quellwasser oder Bächen und Flüssen.

Für Interessierte: Wärmepumpen-Anlagen stellen wir an bei Robert Bosch GmbH Geschäftsbereich Jankens, Postfach 1109, 71114 W. Gmünd Rheinstahl AG, Postfach 26, 8010 Witten-Annen, W. Kuppelbusch AG, Kupferbuschstraße 16, 46103 Schenkeln, bei Sandtours de Metallwerke GmbH, Postfach 1320, 10019 W. Berlin

### Leistungszahl 3

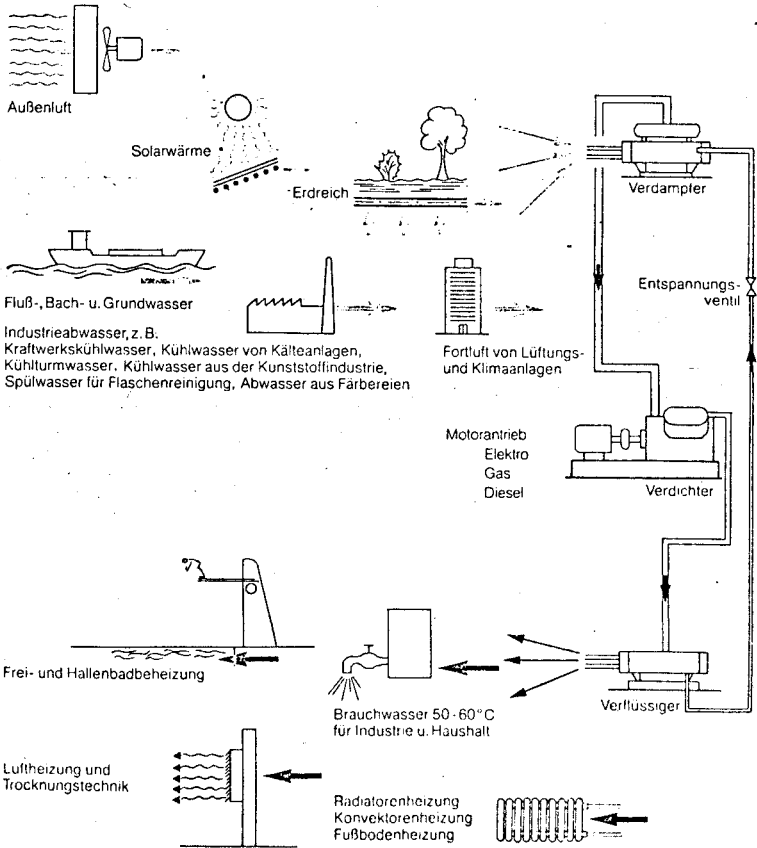
Bei der Wärmepumpe wird von einer „Leistungszahl“ gesprochen, die Hersteller geben sie meist mit 3 an. Das bedeutet, daß ich 1 Teil Energie (also etwa in Form von Strom) zuführen muß, um zwei weitere Teile Energie „geschenkt“ zu bekommen. Aus Eins werden also praktisch Drei gemacht!

# HEIßEN MIT KÄLTE

## Technische Information

# Wissenswertes über Wärmepumpen - leicht verständlich

von Ing. (grad.) Klaus Gollnow



## 1. Notwendigkeit von Wärmerückgewinnung

Es ist sicher unbestritten, daß Energie zukünftig immer teurer werden wird. Die Gründe hierfür sind der stark steigende Weltenergiebedarf und die Abnahme der Reserven fossiler Energie, wie Kohle, Erdöl, Erdgas.

Die zukünftig drohenden Energielücken sollen nach den Plänen der Bundesregierung durch Kernenergie bzw. durch Energieeinsparmaßnahmen gefüllt werden.

Eines der Mittel dazu ist, bereits genutzte Energie möglichst wirtschaftlich zur abermaligen Nutzung zurückzugewinnen.

## 2. Gesetzliche Maßnahmen zur Förderung von Wärmepumpen

Der Einsatz von Wärmepumpen ist bereits in vielen Fällen wirtschaftlich vertretbar. Wegen der gegenüber der elektrischen Energie bei Primärenergie in stärkerem Maße zu erwartenden Kostensteigerungen leitet sich eine erhebliche Zunahme der Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen für die Zukunft ab.

Mit dem Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden vom 22.7.76 ist die Bundesregierung ermächtigt, durch Rechtsordnungen den Einsatz von Wärmerückgewinnungsanlagen (z.B. Wärmepumpen) vorzuschreiben.

Eine weitere Maßnahme der Bundesregierung zur Förderung von Wärmerückgewinnungsanlagen besteht durch eine Investitionszulage von 7,5 % der Anschaffungs- oder Herstellkosten nach dem Investitionszulagengesetz in der Fassung vom 24.2.75. Hier ist im Paragraph 4a die Wärmepumpenanlage ausdrücklich erwähnt. Bescheinigungen für die Anerkennung einer Wärmepumpe als Wärmerückgewinnungsanlage gemäß Paragraph 4a/InvZulG können beantragt werden bei:

- a) Bundesminister für Wirtschaft  
Referat III B2-706107/1  
Villemombler Str. 76  
5300 Bonn
  
- b) Bundesamt für gewerbliche Wirtschaft  
Referat IV 5  
Frankfurter Str. 29 - 31  
6236 Eschborn/Taunus

Bei der Antragstellung ist die LINDE AG hinsichtlich der erforderlichen technischen Erklärungen selbstverständlich behilflich.

---

## 3. Physikalische Eigenschaften von Wärme

Physikalisch gesehen ist Wärme Bewegungsenergie der Moleküle von Stoffen. Je höher das Temperaturniveau um so höher ist der Wärmeinhalt des Stoffes bzw. die Bewegungsenergie der Moleküle und umgekehrt. Man kennt den Punkt, an dem die Bewegungsenergie gleich null ist, d.h. es ist keine Wärme mehr vorhanden. Diesen Punkt nennt man den absoluten Nullpunkt; er liegt etwa bei -273 °C und wird mit 0 K (Kelvin) bezeichnet.

Im täglichen Leben jedoch wird das Temperaturniveau eines Stoffes immer relativ bewertet. Als Vergleichsmaßstab dient meist das Temperaturniveau der Umgebung oder auch die dem Menschen zuträglichste Temperatur. Liegt die Temperatur darunter, so spricht man von Kälte, liegt sie darüber, so von Wärme.

#### 4 . Wirkungsweise einer Wärmepumpe .

Wie kann man nun den "Wärmemüll" noch verwerten?

Hierzu ist es erforderlich, dem nicht mehr nutzbaren niedrigen Temperaturniveau des "Wärmemülls" weitere Wärme zu entziehen (abkühlen), diese auf ein höheres und deshalb nutzbares Temperaturniveau zu transformieren ("zu pumpen") und an ein höheres Niveau abzugeben. Hierbei soll der für diesen Vorgang notwendige Energieeinsatz niedriger sein als der zurückgewonnenen Wärmemenge entspricht, denn sonst hätte man natürlich keinen Gewinn.

Diese eben geschilderten Vorgänge und Bedingungen erfüllt eine Wärmepumpe.

Grundsätzlich unterscheidet sich eine Wärmepumpe nicht von einer Kälteanlage. Der Unterschied liegt lediglich in der Nutzung der Anlage. Kommt es bei einer Kälteanlage darauf an, eine Temperatur unterhalb des Umgebungsniveaus zu erzielen (Verdampfer), so ist bei einer Wärmepumpe eine über dem Umgebungsniveau liegende Temperatur erwünscht (Verflüssiger).

Erinnern wir uns an den allseits bekannten Kühlschrank, dessen Wirkungsgrade jedoch dem Nichtfachmann meist unbekannt ist und genau mit der Wirkungsweise einer Wärmepumpe identisch ist. Im folgenden ist aus Gründen des besseren Verständnisses nur die Rede von Kaldampf-Kompressionsanlagen. (Abb. 1)

In den Verdampferrohren im Innern des Kühlschranks verdampft flüssiges Kältemittel bei einer Temperatur, die tiefer liegt als die Kühlschrankinnentemperatur. Die zum Verdampfen erforderliche Wärme wird der Luft im Kühlschrank entzogen. Sie muß sich also abkühlen.

Das nunmehr verdampfte gasförmige Kältemittel wird durch einen an der Rückseite des Kühlschranks angeordneten Kolbenverdichter mit eingebautem Antriebsmotor aus dem Verdampfer angesaugt und auf einen höheren Druck verdichtet. Bei dem Verdichtungsvorgang wird dem Kältemittelgas Energie zugeführt. Die Energiezufuhr (Antriebsenergie durch den Motor) hat neben der Druckerhöhung noch eine Erwärmung des Kältemittelgases zur Folge. Es strömt jetzt durch die Rohre des ebenfalls an der Rückseite außerhalb des Kühlschranks angeordneten Verflüssigers. Dieser ist mit Lamellenblechen versehen, die als Kühlfäche wirken. Das Kältemittelgas ist jetzt wärmer als die an der Kühlfäche des Verflüssigers vorbeistreichende Außenluft. Dadurch kühlt sich das Kältemittelgas soweit ab, daß es zu kondensieren beginnt (wie bei Wasserdampf und Wasser). Die Verflüssigungswärme wird dabei an die kältere Luft abgegeben, wodurch sich diese erwärmt und an der Verflüssigerkühlfäche nach oben steigt.

---

In der Praxis wird bei Heizwärme der jeweilige Wärmeinhalt eines Stoffes (Wasser, Luft) durch die Temperatur gekennzeichnet. Je höher die Temperatur des Stoffes, um so größer ist sein Wärmeinhalt und seine Wertigkeit. Wir wissen z.B., daß Wasser von 90 °C sich für Heizzwecke sehr gut eignet, Wasser von 20 °C jedoch ist zum Heizen von Wohnräumen wertlos, da es sich auf dem Umgebungstemperaturniveau befindet.

Nun hat Wärme die unangenehme Eigenschaft, sich zu "verflüchtigen", d.h. Wärme fließt von allein nur von einem höheren Temperaturniveau auf ein darunterliegendes. Sowie das Umgebungstemperaturniveau erreicht ist, ist die Wärme für Heizzwecke "verbraucht". Man spricht dann von Wärmemüll.

Um bei Kraftwerken möglichst hohe Wirkungsgrade bei den die Generatoren antreibenden Dampfturbinen zu erzielen, versucht man, auf möglichst große Dampfdruckdifferenzen zu kommen. Indem man den aus den Turbinen austretenden Dampf kondensiert. Damit wird der Austrittsdruck gesenkt und die Dampfdrucknutzung in der Turbine verbessert. Zur Kondensation des Dampfes werden jedoch erhebliche Kühlwassermengen benötigt. Dabei ergeben sich dann Abwassertemperaturen von 30 - 35 °C, wobei in dem Abwasser etwa die Hälfte der ursprünglich im Heizmittel des Kessels (Kohle, Öl, Gas) enthaltenen Energie ungenutzt z.B. in Flußläufe geleitet wird. Das Beispiel zeigt die Größenordnung des Energieverlustes auf.



Das sich verflüssigende Kältemittel strömt in den Verflüssigerbereich nach unten und tritt flüssig in eine Rohrleitung ein, die einen außerordentlich kleinen Durchströmquerschnitt hat (Kapillarrohr).

Dieses Kapillarrohr führt zu dem im Kühlschranksinnern befindlichen Verdampfer. Verursacht durch den engen Strömungsquerschnitt des Kapillarrohres baut sich der durch den Kolbenverdichter vorher erzeugte hohe Druck ab. Hierdurch senkt sich auch die Temperatur des bis jetzt noch flüssigen Kältemittels ab, so daß es kälter ist als die im Kühlschrank befindliche Luft. Dies hat zur Folge, daß die Flüssigkeit zu sieden beginnt und unter Wärmeaufnahme erneut verdampft. Damit schließt sich der Kreislauf. Der beschriebene Vorgang läuft kontinuierlich ab, solange der Kolbenverdichter durch den Elektromotor angetrieben wird.

Beim Kühlschrank wird also Wärme eines niedrigen Temperaturniveaus durch das Kältemittel entzogen, durch den Verdichtungsprozeß unter Hinzufügung einer gewissen Energiemenge auf ein höheres Temperaturniveau als das der Umgebungsluft "gepumpt" und durch den Verflüssigungsvorgang im Verflüssiger an die kältere Umgebungsluft abgegeben. Diese wird also beheizt.

Die gerade beschriebenen Merkmale sind kennzeichnend für die Wirkungsweise einer Wärmepumpe. Der Leser stelle sich nun den Verdampfer aus dem Kühlschrank entfernt und beispielsweise außerhalb des Hauses im Freien montiert vor. Beim Betrieb der so erhaltenen Anlage würde ständig Wärme aus der Außenluft entzogen und in die Küche transportiert, in der der Kühlschrank mit Verdichter und Verflüssiger sich befindet. Die Küche würde beheizt. Es bestünde auch die Möglichkeit, den Verdampfer von Wasser umströmen zu lassen, beispielsweise von Kühlwasser eines Kraftwerks von 30 - 35 °C. In diesem Fall würde die Wärme dem Wasser entzogen und die Küche in gleicher Weise beheizt. Das Medium, dem die Wärme jeweils entzogen wird, nennt man Wärmequelle.

Wenden wir uns nun jedoch den Energiebilanzen einer Wärmepumpe zu. Das Kältemittel wird in einem geschlossenen Kreislauf geführt. Hierbei verändert es zweimal seinen Aggregatzustand. Durch den Verdampfungsvorgang wird im Verdampfer aus der zugeführten Kältemittelflüssigkeit Gas. Hier wird also Wärme in den Kältemittelkreislauf aufgenommen. Das Gas wird durch den Kolbenverdichter auf ein höheres Druck- und Temperaturniveau gebracht. Es muß also Leistung zugeführt werden. Diese entnimmt der Antriebsmotor aus dem Stromnetz. Die aufgenommene Leistung wird fast vollständig dem Kältemittelgas als Verdichtungswärme zugeführt. Nach dem Verdichtungs Vorgang enthält es also die Summe der im Verdampfer und im Verdichter zugeführten Wärmemengen. Man beachte, daß hiervon nur die im Verdichter zugeführte Wärme als äquivalente Leistung des Antriebsmotors kostengemäß berücksichtigt werden muß. Die durch den Verdampfer aufgenommene Wärme kostet nichts.

Nach dem Verdichtungs Vorgang erfolgt eine weitere Änderung des Aggregatzustandes im Verflüssiger. Das Kältemittelgas wird unter Wärmeabgabe verflüssigt und die im Druck und in der Temperatur reduzierte Flüssigkeit erneut dem Verdampfer zugeführt.

Aus der Beschreibung geht hervor, daß durch den Verflüssiger die gesamte vorher durch Verdampfer und Verdichter dem Kältemittel zugeführte Wärme abgegeben wird, d.h. nicht nur der mit Kosten verbundene Teil, sondern auch der ohne Kosten behaftete Teil.

### 5. Einfluß der Betriebsbedingungen auf die Wirtschaftlichkeit

Es kann also folgende Wärmebilanzgleichung bei verlustlosem Betrieb gelten:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 + P \quad (\text{kW})$$

$\dot{Q}$  = Verflüssigungsleistung = Heizleistung der Wärmepumpe (kW)

$\dot{Q}_0$  = Kälteleistung = der Wärmequelle entnommene Wärmemenge (kW)

P = Verdichterleistung (kW)

Aus dieser Wärmebilanz wird ersichtlich, daß die Verflüssigungsleistung größer als die Antriebsleistung ist. Das Verhältnis der zum Heizen nutzbaren Verflüssigungsleistung zur Verdichterleistung, genau genommen zur Leistungsaufnahme des Antriebsmotors, bezeichnet man als Leistungsziffer oder Leistungszahl  $\epsilon$ .

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{P}$$

Die Leistungszahl ist ein Maß für die Betriebskosten. Im praktischen Betrieb können Leistungszahlen bis zu etwa 7 erreicht werden; das bedeutet: in diesem Fall ist gegenüber einer elektrischen Heizung bei gleichen Energiekosten (gleicher Zahlenwert von P) die Heizleistung einer Wärmepumpe 7 x höher.

Es ist also erstrebenswert, eine möglichst hohe Leistungszahl zu erzielen.

Die Leistungszahl ist jedoch von den Betriebsbedingungen der Wärmepumpe maßgeblich abhängig.

Grundsätzlich gilt:

- a) Je höher die Wärmequellentemperatur, um so größer wird die Leistungszahl.
- b) Je höher die zu erzielende Heizmitteltemperatur (Wasser- oder Lufttemperatur), um so kleiner wird die Leistungszahl.
- c) Je größer die Differenz zwischen Wärmequellen- und Heizmitteltemperatur (Temperaturhub), um so kleiner wird die Leistungszahl.

Beispiel 1: Wärmepumpe zur Beheizung eines Freibades. (Abb. 2)

Wärmequelle: Flußwasser	10 °C
Badewassertemperatur	26 °C
Gewählt LINDE-Wärmepumpsatz	LUD 850.
Heizleistung	568 kW
Kälteleistung	483 kW
Leistungsaufnahme	105 kW
Leistungszahl	5,4

Beispiel 2: Wärmepumpe zur Beheizung von Brauchwasser. (Abb. 3)

Wärmequelle: Flußwasser	10 °C
Brauchwasservorlauftemperatur	45 °C
Der gleiche LINDE-Wärmepumpsatz	LUD 850.
hat jetzt nur folgende Leistungsdaten:	
Heizleistung	504 kW
Kälteleistung	384 kW
Leistungsaufnahme	140 kW
Leistungszahl	3,6



Aus dem Vergleich der beiden Beispiele für den gleichen Wärmepumpensatz LUD 650. ist klar zu erkennen, daß bei steigendem Temperaturhub die Leistungszahl abnimmt, d.h. die Heizleistung wird geringer, die Leistungsaufnahme steigt jedoch. Würde im Beispiel 2 die Wärmequellentemperatur von 10 °C auf 25 °C angehoben, so ergibt das bereits eine wesentliche Verbesserung der Leistungszahl, die auf 5,0 bei einer Heizleistung von 786 kW steigen würde. Auch die Heizleistung ist erheblich größer geworden. Die Beispiele zeigen weiter, daß die gewählten Betriebsbedingungen auch einen erheblichen Einfluß auf die Heizleistung selbst und damit auf die Größe der Wärmepumpanlage bzw. die Investitionskosten haben:

- a) Je höher die Wärmequellentemperatur, um so größer wird die Heizleistung (ergibt geringere Investitionskosten).
- b) Je höher die zu erzielende Heizmitteltemperatur (Wasser- oder Lufttemperatur), um so geringer wird die Heizleistung (ergibt höhere Investition).
- c) Je größer die Differenz zwischen Wärmequellen- und Heizmitteltemperatur (Temperaturhub), um so geringer wird die Heizleistung (ergibt höhere Investition).

## 6. Technische Anwendungsgrenzen von Wärmepumpanlagen

Wie eben erläutert, ist die Wahl der optimalen Betriebsbedingungen für die Wirtschaftlichkeit von Bedeutung. Es ist wirtschaftlich nicht zu vertreten, mit Wärmepumpen beispielsweise einen Temperaturhub von 0 °C auf 90 °C erzielen zu wollen, obwohl dies technisch durchaus möglich ist.

Für den Planer von Wärmepumpanlagen ist die Kenntnis der technischen Grenzen wichtig:

- a) Die unterste Grenze der Temperatur für Wasser als Wärmequelle liegt bei etwa 4 °C bis 8 °C je nach Bauart des Verdampfers und nach dem zur Verfügung stehenden Wassermengenstrom. 6 °C - 8 °C als Eintrittstemperatur ist bei der Verwendung von Rohrbündelverdampfern als unterste Grenze anzusehen, für Plattenverdampfer, die in gemauerte von Wärmequellenwasser durchströmte Becken eingehängt werden, ist die tiefste Eintrittstemperatur etwa 4 °C bei einer Wasserabkühlung von 2 °C. Dies bedeutet, daß große Wassermengen zur Verfügung stehen müssen, weil sonst das Wasser einfriert.
- b) Eine unterste Grenze der Temperatur für Luft als Wärmequelle ist durch den Gefrierpunkt nicht gegeben. Es ist technisch durchaus möglich, Außenluft von beispielsweise -15 °C als Wärmequelle zu nutzen. Eine Vereisung der Luftkühler läßt sich natürlich nicht vermeiden. Es müssen Abtauvorrichtungen vorgesehen werden. Aus wirtschaftlichen Gründen liegt die Einsatzgrenze jedoch erheblich höher.
- c) Die höchste mit Wärmepumpen erzielbare Heizmittelaustrittstemperatur aus dem Verflüssiger (Luft oder Wasser) liegt etwa bei 100 °C. Sie ist jedoch praktisch ohne Bedeutung, sofern nicht Wärmequellentemperaturen oberhalb von etwa 50 °C zur Verfügung stehen und deshalb eine gewisse Wirtschaftlichkeit erwartet werden kann.

Je nach wünschenswerter Heizmittelaustrittstemperatur am Verflüssiger müssen verschiedene Kältemittel mit unterschiedlichen thermodynamischen Eigenschaften eingesetzt werden. Dies ist notwendig, um die Einsatzgrenzen der Kältemittelverdichter nicht zu überschreiten. Diese Grenzen werden beispielsweise durch eine maximal zulässige Druckdifferenz und Verdichtungsendtemperatur gebildet.

Steigt der gewünschte Temperaturhub der Wärmepumpe, so erhöht sich die durch den Kältemittelverdichter aufzubringende Druckdifferenz und damit auch die Verdichtungsendtemperatur. Dies führt dazu, daß bei Betriebsbedingungen, die ein Überschreiten dieser Anwendungsgrenzen zur Folge haben, ein anderes Kältemittel mit günstigerem Druck- und Temperaturverhalten verwendet werden muß, ohne daß die Anwendungsgrenzen überschritten werden.

Unter Berücksichtigung dieser Grenzen kann überschlägig für die bei Wärmepumpen am häufigsten verwendeten Kältemittel mit folgenden maximal erreichbaren Heizmitteltemperaturen (Austrittstemperatur aus dem Verflüssiger) gerechnet werden:

50 - 55 °C	mit dem Kältemittel R 22 (CHF <sub>2</sub> Cl)
60 - 65 °C	mit dem Kältemittel R 12 (CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )
90 °C	mit dem Kältemittel R 114 (C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> )

Alle diese Kältemittel sind chemisch gesehen chlorierte und fluorierte Kohlenwasserstoffe. Sie sind geruchlos und ungiftig im Gegensatz zu Ammoniak, einem - abgesehen von diesen negativen Eigenschaften - sonst durchaus für Wärmepumpen im Industriebereich mit gutem Erfolg verwendbaren Kältemittel.

Leider jedoch sind die spezifischen Heizleistungen der genannten drei Kältemittel sehr unterschiedlich. Die spezifische Heizleistung ist bezogen auf 1 m<sup>3</sup> Kältemittelgas, das der Kältemittelverdichter ansaugt. Sie ist als Maß für die zur Erzielung der gewünschten Heizleistung erforderliche Verdichtergröße zu werten. Die Maßeinheit lautet kW/m<sup>3</sup>. Für gleiche Betriebsbedingungen verhält sich die Größenordnung der spezifischen (oder auch volumetrischen) Heizleistung der drei genannten Kältemittel zueinander etwa wie folgt:

$$R22 : R12 : R114 = 1,0 : 0,6 : 0,2$$

Das bedeutet, daß z.B. für R22 gegenüber R114 bei gleichen Betriebsbedingungen der Verdichter im Verhältnis 1,0 : 0,2, nämlich bei R114 5x größer sein muß als für R22, um die gleiche Heizleistung zu erzielen. Die Wärmepumpe wird bei Verwendung von R114 also teurer als von R22. Es sollte also das Bestreben des Planers sein, mit dem Kältemittel R22 und maximalen Heizmitteltemperaturen von 50 - 55 °C auszukommen, um die Anwendungsgrenzen der Verdichter nicht zu überschreiten und die Investitionskosten für die Wärmepumpe gering zu halten.

Dagegenüber ist zu bedenken, daß beispielsweise bei der Verwendung von Radiatoren für statische Heizungen die Heizflächengröße bei abgesenkter Vorlauftemperatur größer wird und oft aus räumlichen Gründen nicht ausführbar ist. In diesen Fällen läßt es sich nicht umgehen, auf Konvektoren (berippte Wärmetauscher) auszuweichen.

Bei der Bemessung von Wärmetauschern in Klimazentralen bzw. grundsätzlich bei belüfteten Wärmetauschern bereitet die Herabsetzung der für die Bemessung maßgeblichen Vorlauftemperatur meist keine Schwierigkeiten. Jedoch muß damit gerechnet werden, daß die Wärmetauscher größer und damit die Investitionskosten höher werden. Nach unserer Erfahrung gleichen sich die Kostenerhöhungen für Heizkörper oft mit den geringeren Kosten für die Wärmepumpe bei Verwendung von R22 als Kältemittel aus, so daß die bei R22 gegenüber den anderen Kältemitteln aufgrund des begrenzten Temperaturhubs geringeren Energiekosten den Ausschlag geben. Es ist jedoch erforderlich, alle Kosten und Kosteneinflüsse für jeden Bedarfsfall vor einer Entscheidung sorgfältig zu prüfen. Hierbei ist die LINDE AG mit ihren Ingenieurbüros selbstverständlich behilflich.

## 7. Wärmepumpverdichter

Grundsätzlich werden für Wärmepumpenanlagen die gleichen Verdichterbauarten wie bei Kälteanlagen eingesetzt; dies sind Kolbenverdichter, Schraubenverdichter und Turboverdichter. Nach unseren Erfahrungen sind jedoch Turboverdichter im allgemeinen gegenüber den anderen beiden Verdichterbauarten im Nachteil, da sie für große Fördermengen und kleinere Druckdifferenzen geeignet sind. Für den Wärmepumpbetrieb kommen deshalb fast ausschließlich zweistufige Turboverdichter in Frage, wobei wegen der bei Turboverdichtern zu beachtenden Pumpgrenze bei Teillast energetisch ungünstigere Ergebnisse erwartet werden müssen.

Der Schraubenverdichter mit Schieberregelung läßt sich dagegen ausgezeichnet stufenlos regeln. Die Anwendungsgrenzen liegen etwas günstiger als bei Kolbenverdichtern. Wegen der für den Betrieb erforderlichen Öleinspritzung, -abscheidung und -kühlung ist jedoch ein erheblicher apparativer Aufwand notwendig. Auch die Schieberregelung bedingt erhebliche Mehrkosten. Deshalb muß bei der Verwendung von Schraubenverdichtern im allgemeinen mit höheren Investitionskosten gegenüber Kolbenverdichtern gerechnet werden. Im Übrigen ist der Schraubenverdichter außerordentlich betriebssicher, da er nur wenige bewegliche Teile enthält.

Von den Kosten her ist der Kolbenverdichter am günstigsten und in der Kältetechnik die am meisten verwendete Bauart. Er hat sich dort in allen Anwendungsfällen bestens bewährt und ist auch für Wärmepumpen voll einsetzbar. Von der Bauart her sind ihm jedoch bei großen Leistungen Grenzen gesetzt, die seinen Einsatz wirtschaftlich nicht mehr vertretbar erscheinen lassen. Es ist bei großen Kolbenverdichtern wegen der erheblichen Massenkräfte notwendig, die Drehzahl zu reduzieren. Dadurch steigen die spezifischen Kosten an, so daß bei großen Leistungen Schraubenverdichter günstiger sein können. Die LINDE AG baut Kolbenverdichter bis zu etwa 1,5 MW mit nur unwesentlich herabgesetzten Drehzahlen im Vergleich zu kleineren Kolbenverdichtern, so daß die Wirtschaftlichkeit gewährleistet ist. Nach unserer Erfahrung ist es bei Großanlagen empfehlenswert, eine Leistungsunterteilung in mehrere Verdichter vorzusehen. Die Aufteilung ist aus Regelungsgründen, aber auch aus Gründen einer größeren Betriebssicherheit anzuraten. Auch die Tarife der EVU's müssen hierbei berücksichtigt werden.

## 8. Verdichterantriebe

In den meisten Fällen werden Verdichter durch Elektromotoren angetrieben. Bei sehr großen Verdichtern werden oft Hochspannungsmotoren eingesetzt, die mit Wasserkühlung versehen sein können. Es wird empfohlen, die Kühlwasservärme unbedingt in den Kältemittelkreislauf der Wärmepumpe mit einzubeziehen. (Abb. 4)

Seit kurzen verzeichnen wir jedoch einen Trend, der bei großen Anlagen als Antrieb erdgasgespeiste Verbrennungsmotoren vorsieht, statt des konventionellen Elektromotorantriebes.

Die Vorteile des Gasmotors als Antrieb liegen darin begründet, daß die gesamte Kühlwasservärme sowie etwa die Hälfte der Abgaswärme auf einem Temperaturniveau von 60 - 80 °C direkt als Heizwärme nutzbar wird. Somit betragen die Abgas- und Abstrahlungsverluste nur ca. 20 % der Primärenergie (Abb. 5). Demgegenüber entstehen bei Elektromotorantrieb Verluste von über 70 %, die zum überwiegenden Teil bereits im Kraftwerk anfallen. (Abb. 4).

Als eines der ersten Unternehmen in der Bundesrepublik hat auch die LINDE AG im März 1977 eine Anlage mit erdgasgespeistem Antriebsmotor in Betrieb genommen. Sie dient zur Beheizung eines Wohnkomplexes mit 36 Wohneinheiten über eine Fußbodenheizung sowie zur Erzeugung und Speicherung von Brauchwasser. (Abb. 6)

Sofern bei Wärmepumpenprojekten beide Energiearten zur Verfügung stehen, empfehlen wir, Tarifgespräche mit den zuständigen Stadtwerken zu führen.

Abbildung 4

Energieflussschema einer Wärmepumpe mit elektromotorischem Antrieb (zu Punkt 8)

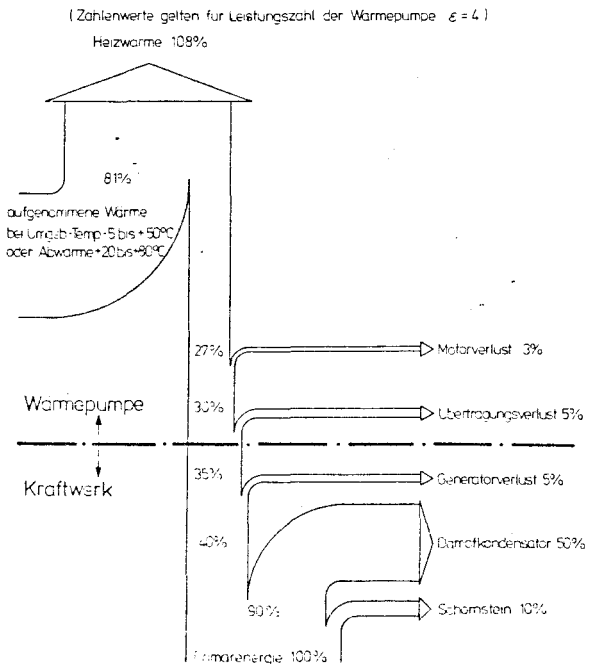
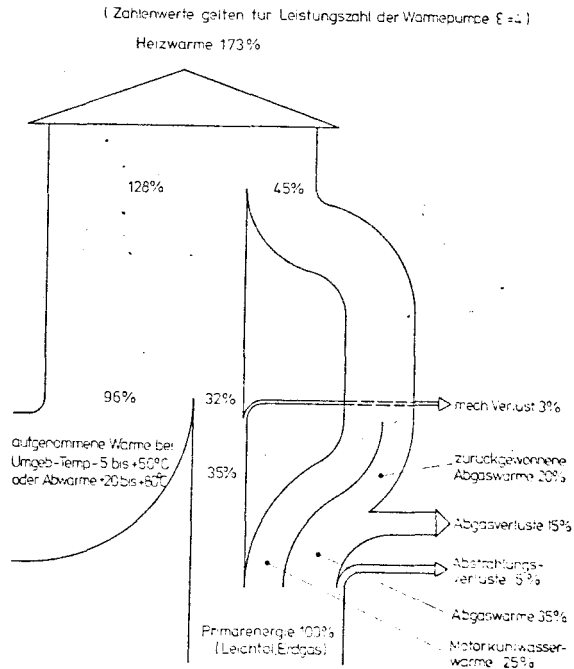


Abbildung 5

Energieflussschema einer Wärmepumpe mit Antrieb durch Verbrennungsmotor (zu Punkt 8)



#### 9. Korrosionsgefahr bei Verwendung von Oberflächenwasser als Wärmequelle

Sofern Oberflächenwasser (Fluß-, Bachwasser, Wasser aus Teichen) als Wärmequelle verwendet wird, sollte in jedem Fall bereits im Planungsstadium eine Analyse des in Frage kommenden Wassers durchgeführt werden. Dies ist erforderlich zur Kenntnis der möglicherweise im Wasser enthaltenen korrosionsaktiven Bestandteile, die zum Defekt des Verdampfers führen können.

Wie bekannt, ist z.B. Flußwasser zunehmender Fremdstoffbelastung ausgesetzt. Hier sind insbesondere die gelösten Salze (Düngemittel, Streusalz von Straßen, Salze aus Industrieabwässern) zu nennen. In diesem Zusammenhang ist auch der Eisengehalt des Wassers von Wichtigkeit, der möglichst gering sein sollte. Gefährlich ist auch die Anwesenheit von freier überschüssiger Kohlensäure, wobei meist auch der pH-Wert des Wassers im sauren Bereich liegt.

Wünschenswert sind solche Gewässer, die aufgrund ihrer Bestandteile eine Kalkrostschuttschicht an der wasserbenetzten Oberfläche des Verdampfers bilden. Diese Schicht wirkt bei geschlossenem Aufbau einer Korrosion entgegen. Folgende Bedingungen wirken sich günstig bei der Bildung einer Kalkrostschuttschicht aus:

- a) Die Carbonathärte muß mindestens 4 - 6  $\text{Odt}$  betragen.
- b) Sauerstoffsättigung mindestens 25 - 50 %.
- c) Überschüssige freie Kohlensäure darf nicht enthalten sein, da diese die Schuttschicht zerstört.
- d) Der pH-Wert soll zwischen 7 und 8 liegen.
- e) Der Chloridgehalt soll nicht wesentlich über 150 mg/l liegen.
- f) Die Anwesenheit von Phosphaten und Silikaten wirkt sich günstig aus.

Der häufigste Korrosionsdefekt entsteht durch Lochfraß bei Buntmetallen. In diesem Fall bildet sich auf dem Buntmetall eine Korrosionsgrube, verursacht durch die Ablagerung eines Rostpartikels, z. B. bei hohem Chloridgehalt und ungünstigem pH-Wert des Wassers.

Enthält das Wasser Ammonium, so kann dies als Zeichen dafür gewertet werden, daß organische Faulstoffe enthalten sind. Ammonium führt bereits in geringen Spuren bei Buntmetallen zur Zerstörung (Spannungsrißkorrosion).

Aus erwähnten Gründen ist deshalb eine sorgfältige Beurteilung der Wasseranalyse durch den Fachmann anzuraten, um eine entsprechende Materialauswahl der geeigneten Verdampferwerkstoffe treffen zu können.

Die von der LINDE AG getroffene Werkstoffauswahl für deren Verdampfer ist jedoch bereits standardmäßig bei Wärmepumpen auf große Korrosionsstandfestigkeit ausgerichtet. Bei besonders aggressiven Gewässern wird von uns eine mehrschichtige wasserseitig aufgetragene Kunstharzschuttschicht vorgesehen.